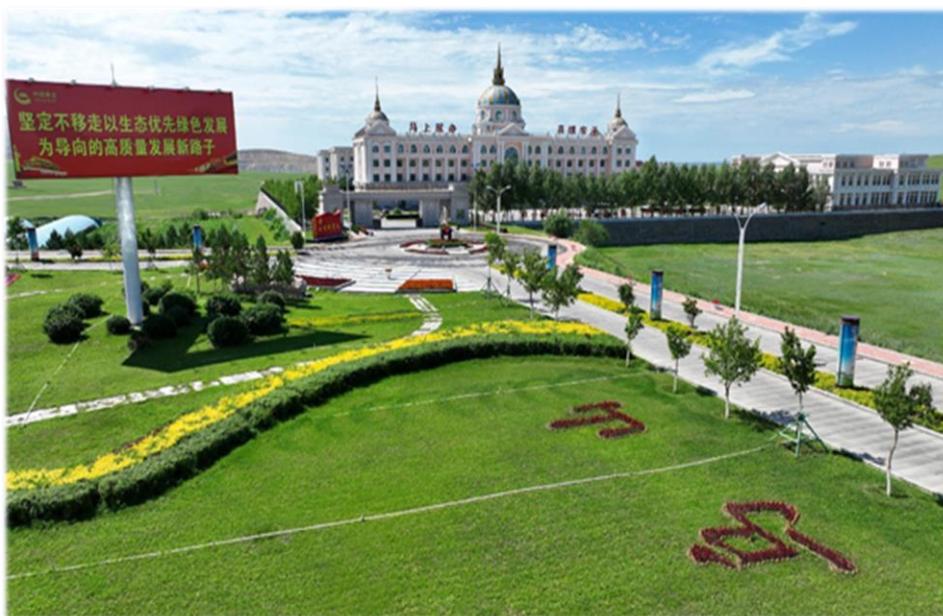


中国黄金集团内蒙古矿业有限公司
乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程
初步设计（代可研）说明书

工程代号：【1452-2022】



长春黄金设计院有限公司

2024 年 12 月

中国黄金集团内蒙古矿业有限公司
乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程
初步设计（代可研）说明书

工程代号：【1452-2022】



长春黄金设计院有限公司
2024年12月



长春黄金设计院有限公司

执 行 董 事： 高 金 昌

总 经 理： 张 广 篇
总 工 程 师：

责 任 副 总： 王 晓 民

总 设 计 师： 马 晶 伟
王 兆 博

参加设计人员名单

专业	岗位	姓名	签名栏
尾矿	专业负责人	马晶伟、王兆博	
	审核	何明亮	
	组审	高辉	
	审定	邹建伟	
概算	专业负责人	张晓兰	
	审核	肖瑶	
	组审	姜娜	
	审定	孙国飞	

目 录

1	总论	1
1.1	项目名称及业主单位	1
1.2	企业概况	1
1.3	项目背景、必要性及意义	3
1.4	项目位置及地貌	3
1.5	气象、水文及地震	5
1.6	建设条件	6
1.7	设计原则和依据	9
1.8	设计范围	15
1.9	建设方案	15
2	尾矿库工程概况和方案比较	17
2.1	尾矿库建设概况	17
2.2	尾矿库原设计概况及现状概况	17
2.3	加高扩容方案比较	29
2.4	扩容设计概况	33
2.5	存在的问题及采取的工程措施	43
3	尾矿库地质条件和周边环境	47
3.1	尾矿库地质条件	47
3.2	尾矿库周边环境	75
4	前期进行的工程勘察和开展研究简述	78
4.1	工程研究方向及必要性	78
4.2	研究概况及结论	79
5	尾矿设施设计方案	80
5.1	库容计算	80
5.2	设计标准	80
5.3	水文计算	82
5.4	排洪设施	87
5.6	尾矿坝	102
5.7	排渗设施	195
5.8	安全监测设施	195
5.9	尾矿输送及回水	202
5.10	辅助设施	205
5.11	尾矿库闭库	207
6	尾矿库安全管理	208
6.1	安全管理	208
6.2	尾矿库安全运行管理主要控制指标	223

7	节能减排	225
7.1	节能	225
7.2	减排	225
8	环境保护	226
8.1	编制依据和环保标准	226
8.2	环境影响因素	227
8.3	生态环境保护措施	227
8.4	环保机构	228
9	水土保持	229
9.1	编制依据	229
9.2	水土保持现状评价	229
9.3	水土流失预测	229
9.4	水土保持措施	230
10	建设用地	231
10.1	建设用地规划布局分析	231
10.2	土地利用和合理性分析	231
10.3	移民安置规划方案	231
11	投资概算	232
11.1	投资概况	232
11.2	编制依据	232
11.3	投资分析	233
12	成本分析	244
12.1	综合技术经济指标	244
12.2	编制依据	244
12.3	成本分析	244
13	问题及建议	245
14	附件及附图	246
14.1	附件	246
14.2	附图	246

1 总论

1.1 项目名称及业主单位

项目名称：中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程初步设计说明书。

项目性质：加高扩容工程。

项目规模：二等库。

项目业主单位：中国黄金集团内蒙古矿业有限公司

1.2 企业概况

1.2.1 基本情况

中国黄金集团内蒙古矿业有限公司隶属中国黄金集团有限公司，是其上市公司中金黄金股份有限公司控股子公司。该公司成立于 2005 年，重点开发乌努格吐山铜钼矿项目，该项目是国内著名的超大型采选联合企业。先后被评为“国家级高新技术企业”、“国家级绿色矿山”、“矿产资源节约与综合利用先进适用技术推广应用示范矿山”、“国家 CNAS 认证企业”、“全国和谐劳动关系示范企业”等荣誉称号。

乌努格吐山铜钼矿选矿厂工程分二期建设，即一期和二期选厂，选厂一期工程于 2009 年 9 月建成，二期工程于 2012 年 8 月建成。选矿生产规模为 2475 万吨/年，即 7.5 万吨/天。目前，已批复的采矿许可证载生产规模为 2958 万吨/年，即 8.7 万吨/天。选矿厂已具备同等处理能力。

乌山属于大型次火山岩斑岩型铜钼矿床，已查明资源量铜金属量 301 万吨，钼金属量 62 万吨。截至 2024 年 11 月底，矿床保有资源量矿石量 12.72 亿吨，铜金属量 172.19 万吨，钼金属量 43.24 万吨。

1.2.2 尾矿库历史沿革

现有的一、二期尾矿库均由长春黄金设计院有限公司（原长春黄金设计院）设计，两座尾矿库一次性规划，分期设计、分期建设。

（1）一期尾矿库历史沿革

2009年11月，长春黄金设计院编制的《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库一期工程初步设计安全专篇》通过国家安全监管总局组织的专家评审，于2010年3月3日取得批复，批复文件编号：安监总管-函〔2010〕18号。

一期尾矿库于2009年9月建成投入运行。目前一期尾矿库坝顶标高已经达到设计810m标高，坝前滩顶标高804.02-808.21m。设计总库容5158万立方米，剩余有效库容约230万立方米，剩余库容可服务约40天。

（2）二期尾矿库历史沿革

2017年7月，长春黄金设计院编制的《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿二期扩建工程尾矿库安全设施设计》通过国家安全监管总局组织的专家评审，于2017年7月28日取得批复，批复文件编号：安监总非煤项目审字〔2017〕15号。

二期尾矿库于2017年8月通过建设单位组织的安全设施竣工验收，取得安全生产许可证。尾矿库安全运行至今。

二期尾矿库于2012年12月建成投入运行至今。目前二期尾矿库主坝坝顶标高已经达到设计810m标高，坝前滩顶标高804.08-809.87m，设计总库容22519万 m^3 ，剩余有效库容约680万 m^3 ，还可服务4个月。

1.3 项目背景、必要性及意义

1.3.1 项目背景

根据长春黄金设计院有限公司编制的《内蒙古自治区新巴尔虎右旗乌努格吐山铜钼矿矿产资源开发利用方案》，截至 2024 年末，矿山剩余服务年限 35.2 年（开发利用方案推荐的生产规模为 2958 万吨/年）。合计排放尾矿 103080 万吨。现有的一、二期尾矿库不能满足上述尾矿堆存需求，还需要建设新的尾矿库。目前新的尾矿库已经选址，正在办理相关手续。受外部条件制约，短期内无法建成。为了解决生产接续，需要对二期尾矿库进行加高扩容。

1.3.2 项目必要性和意义

乌山尾矿库加高扩容工程性质为过渡工程，用以保证南区尾矿库建成前企业的正常生产运行。同时项目投产后，根据南区尾矿库的实际进展情况，企业酌情决定是否提前使用南区尾矿库，终止排矿，降低生产成本。

乌努格吐山铜钼矿自投产以来一直是当地的利税大户，为地方经济蓬勃发展、民生美好幸福、民族团结进步做出了积极贡献；同时乌努格吐山铜钼矿也是中国黄金集团的支柱企业。在南区尾矿库建成投产前，以适合的方式顺利过渡，维系企业的正常生产，对当地民生和中国黄金集团的未来发展都是非常必要的。

1.4 项目位置及地貌

中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿位于内蒙古自治区满洲里市南西 22km，行政区划属新巴尔虎右旗（即西旗）呼伦镇。地理坐标：东经 117° 15′ ~117° 20′ ，北纬 49° 24′ ~49° 26′ 30。

331 国道从矿区西侧通过，企业建有二级矿山专用道路与之联通，

专用线路 11.9km。满洲里市为滨洲铁路线终点，有铁路通往国内外，交通便利。交通位置见图 1.4-1。



图 1.4-1 矿区交通位置图

项目所在地为低山丘陵地貌，山势平缓、地形开阔。采、选、尾等工业场地集中布置在东西向长约 8km、南北向宽约 4.5km 的条带上，自西向东依次为采矿工业区、选矿工业区、尾矿库。其中，采矿工业区与选矿厂、尾矿库工业区分别位于东西两条沟谷内，之间有山脊相隔。选矿厂与尾矿库位于东侧同一沟谷内，选矿厂在上游、尾矿库在下游。

公司现有一、二期两座尾矿库，均位于选矿厂东侧东西走向的浅沟内。本次设计仅对二期尾矿库进行加高扩容，二期尾矿库位于一期库下游，初期坝址距离选矿厂直线距离约 3.8km。尾矿库地理位置见图 1.4-2。



图 1.4-2 尾矿库地理位置

1.5 气象、水文及地震

1.5.1 气象

乌山矿区地处中纬度地区，属于温带半干旱大陆性气候。春季气温变化较大、过渡快、多大风、较为干旱，平均降水量 32mm；夏季短暂、温暖、日照时间较长、降雨集中、量大，平均降水量为 212.7mm；秋季气温下降急剧，霜冻、寒潮相继出现，降水明显减少，平均降水量为 42.6mm。冬季严寒、漫长、干燥，常出现寒潮，平均降水量为 11.6mm。

据满洲里气象站 1957~2009 年 53 年资料，年平均降雨量 287.70mm，最大降雨量 586.40mm（1998 年），最小降雨量 140.40mm（2001 年），日最大降雨量 97.50mm（1995 年 6 月 20 日），降水量多集中在 5~8 月份，占全年的 74.3%；年平均蒸发量为 1457.10mm，最大 1833.80mm（1979 年），是降水的 3.2~5.1 倍；年平均气温为 -0.7℃，二月份平均气温为 -19.70℃，最低为 -42.7℃（1960 年 1 月 16 日），七月份平均气温为 19.90℃，最高为 40.50℃（2004 年 7 月）；绝对平均湿度为 5.4mm；冻

土最大深度为 3.89m（1974 年 2 月 24 日~30 日）；风向多为西南风，风速最大达 40m/s（1968 年），月平均风速 2.6~4.9m/s。

1.5.2 水文

区域内水系不发育，无河流分布，仅在外围有少量沿北西方向成串分布的淡碱水泡。矿区东南 25km 处有呼伦湖，系大陆型内陆淡水湖，面积 1820~2315km²，淡水储量丰富，湖面标高 542.05~545.59m，蓄水量 130 亿 m³。矿区以东 60km 有海拉尔河常年流水，水量较大。

1.5.3 地震

依据《中国地震动参数区划图》（18306-2015）的划分，尾矿库所在地位于新巴尔虎右旗呼伦镇，该地区地抗震设防烈度为 VI 度，二类场地地震动峰值加速度值为 0.05g。

1.6 建设条件

1.6.1 交通条件

矿区建有专用公路与 331 国道相连，往北至满洲里市公路里程为 25km，往南至阿拉坦额莫勒镇公路里程为 105km，四季畅通。满洲里市为滨洲铁路线终点，有铁路通往国内外，交通较为方便。

矿区内部各工作区域有柏油路面连接，尾矿泵站至尾矿库和选厂至尾矿库有简易碎石路面相连。

1.6.2 电源和水源条件

乌山尾矿库扩建工程是在原有的尾矿库上进行加高，企业已经建有完备的供电和供水设施。

矿山现有两回 220kV 架空供电线路，引自呼伦变 220kV 双母线系统，线径 LGJ-300，供电距离 30km。目前已建成一座 220kV 总降压变电站，

主变 63MVA+80MVA，总降压变电站 220kV 采用 GIS 单母线分段系统，中压以 35kV 向露天采场、尾矿泵站、水源地供电；以 10kV 分别向磨浮高压配电室及车间变电所供电。

矿山目前生产用水主要来源：

(1) 满洲里市及扎赉诺尔区污水处理厂中水作为生产用水水源，通过专用管道输送至矿区高位水池（扎赉诺尔至满洲里中水管线 28.5 公里，满洲里至矿区中水 31.5 公里），高位水池中水及循环水自流至选矿厂及相关生产用水单元使用；

(2) 尾矿回水循环利用，采用深锥浓密机和尾矿库内浮船泵站、坝下回水泵站，实现尾矿回水有效利用；

(3) 生活废水利用，现有 2 个污水处理站，即生产区污水处理站和生活区污水处理站。2 个污水处理站的污水经臭氧氧化、消毒后，补充到工艺回水系统中。经多年的生产实践，上述水源可完全满足矿山生产用水需求。

矿山生活用水主要以满洲里市自来水公司供水为主，完全满足生活需要。

1.6.3 尾矿库扩容条件

二期尾矿库位于一期尾矿库下游，初期坝址距离选矿厂直线距离约 3.8km。二期尾矿库设计最终坝顶标高 810.00m，沿东、南、北三侧筑坝，最终坝长 5985m。二期尾矿库西侧依托一期尾矿库主坝体目前已构成平地型尾矿库。

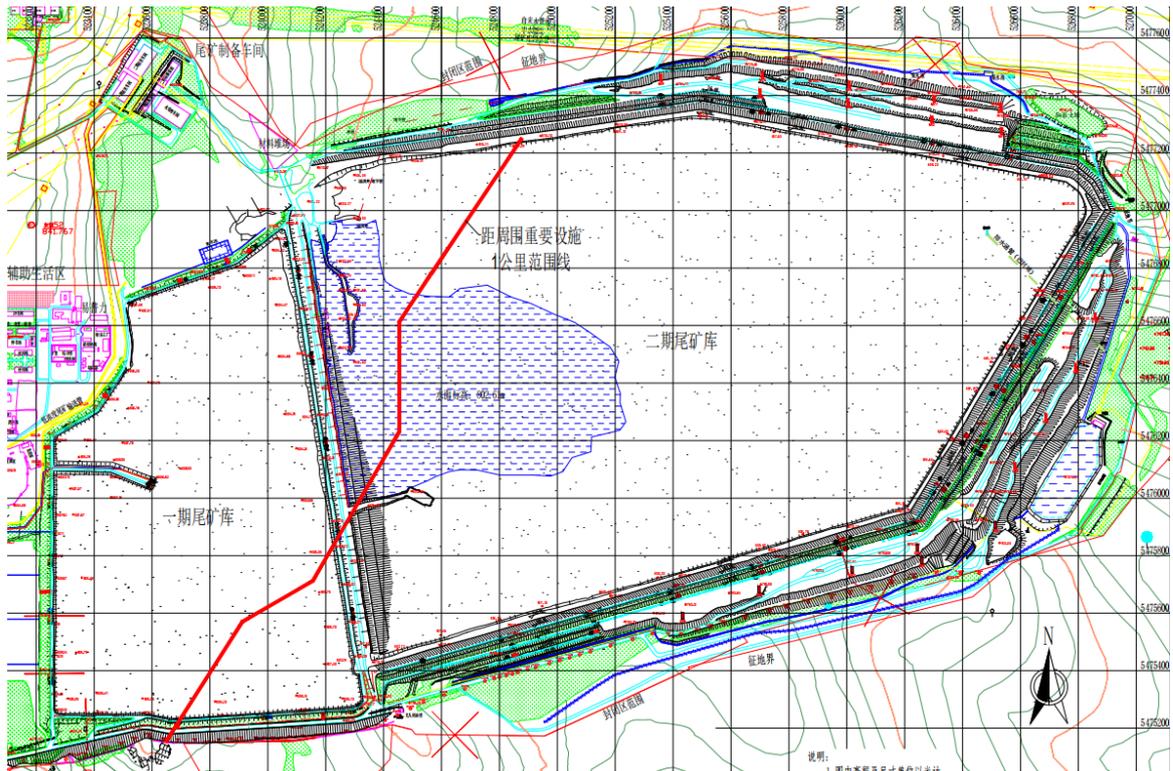


图 1.6.3 尾矿库现状平面图

根据《关于印发防范化解尾矿库安全风险工作方案的通知》（应急〔2020〕15号）文件要求“头顶库为初期坝坡脚起至下游尾矿流经路径1公里范围内有居民或重要设施的尾矿库”。尾矿库加高扩容工程主要在二期尾矿库范围内建设，实际可利用面积约330 hm²，东西方向可利用长度约2000m，南北方向可利用长度约1680m，现有二期尾矿库库址具备尾矿库加高扩容的条件。尾矿库加高扩容后形成的四面坝体外坡脚至下游尾矿流经路径1公里范围内均无居民或重要设施。二期尾矿库安全设施均按设计施工和运行，目前尾矿库运行正常。

通过以上分析，二期尾矿库满足加高扩容的要求。

1.6.4 尾矿库安全现状评价结论

2023年8月，沈阳万益安全科技有限公司编制的《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿二期扩建工程尾矿库安全现状评价报告》对乌山尾矿库评价结论如下：

中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿二期扩建工程尾矿库的安全设施与已批复的《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿二期扩建工程尾矿库安全设施设计》（批复文号：安监总非煤项目审字〔2017〕15号）相符，具备《中华人民共和国安全生产法》及相关法律、法规及国家标准、行业标准规定的安全生产条件。

1.7 设计原则和依据

1.7.1 设计原则

结合本次扩容设计的特点与企业设计委托的内容，本次设计的原则如下：

1. 在安全的前提下，应最大化有效库容；
2. 原则上筑坝石料用量满足露采采场剥离废石总量；
3. 原则上用地不能超过基本草原红线、新征地面积不能超过 70 公顷；
4. 根据《尾矿库安全规程》中的规定尾矿库加高扩容，一次性加高高度不得超过 50m。

在满足服务年限前提下，尽量降低坝体高度，减少不确定性，确保尾矿库安全、可靠运行。

1.7.2 设计依据

1.7.2.1 设计依据的安全生产法律、法规、规章和规范性文件

1.7.2.1.1 法律

(1)《中华人民共和国矿山安全法》(中华人民共和国主席令〔1992〕第 65 号，1993 年 5 月 1 日起施行。中华人民共和国主席令〔2009〕第 18 号修正，2009 年 8 月 27 日起施行)。

(2)《中华人民共和国防震减灾法》(中华人民共和国主席令第 7

号，2009年5月1日）；

(3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（中华人民共和国主席令第43号，2020年9月1日）；

(4) 《中华人民共和国安全生产法》（中华人民共和国主席令〔2002〕第70号，2002年11月1日起施行。中华人民共和国主席令〔2021〕第88号修正，2021年9月1日起施行）。

1.7.2.1.2 法规

(1) 《中华人民共和国矿山安全法实施条例》（中华人民共和国劳动部令〔1996〕第4号，1996年10月30日起施行）；

(2) 《建设工程安全生产管理条例》（中华人民共和国国务院令〔2003〕第393号，2004年2月1日起施行）；

(3) 《安全生产许可证条例》（中华人民共和国国务院令〔2004〕第397号，2004年1月13日起施行。中华人民共和国国务院令〔2014〕第653号修正，2014年7月29日起施行）；

(4) 《生产安全事故应急管理条例》（中华人民共和国国务院令〔2019〕第708号，2019年4月1日起施行）；

(5) 《建设工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令〔2021〕第744号，2021年9月1日施行）；

(6) 《中共中央办公厅 国务院办公厅关于进一步加强矿山安全生产工作的意见》（厅字〔2023〕21号）。

1.7.2.1.3 部门规章

(1) 《建设项目安全设施“三同时”监督管理办法》（国家安全生产监督管理总局令〔2010〕第36号，2011年2月1日起施行。国家安全生产监督管理总局令〔2015〕第77号修正，2015年5月1日起施行）；

(2) 《尾矿库安全监督管理规定》（国家安全生产监督管理总局令〔2011〕第38号，2011年7月1日起施行。国家安全生产监督管理总局令〔2015〕第78号修正，2015年7月1日起施行）；

(3) 《生产安全事故应急预案管理办法》（中华人民共和国应急管理部令〔2019〕第2号，2019年9月1日起施行）；

(4) 《金属非金属矿山建设项目安全设施目录（试行）》（国家安全生产监督管理总局令〔2015〕第75号，2015年7月1日起施行）；

(5) 《非煤矿山安全生产许可证实施办法》（国家安全生产监督管理总局令〔2009〕第20号，2009年6月8日起施行。国家安全生产监督管理总局令〔2015〕第78号修正，2015年7月1日起施行）。

1.7.2.1.4 相关文件

(1) 《关于金属与非金属矿山实施矿用产品安全标志管理的通知》（安监总规划字〔2005〕83号）；

(2) 《生产安全事故应急预案管理办法》（国家安全生产监督管理总局令〔2016〕88号，2016年7月1日起施行。中华人民共和国应急管理部令〔2019〕第2号修正，2019年9月1日起施行）；

(3) 《关于印发防范化解尾矿库安全风险工作方案的通知》（应急〔2020〕15号，2020年2月21日）；

(4) 《关于加强非煤矿山安全生产工作的指导意见》（矿安〔2022〕4号，2022年2月8日）；

(5) 《金属非金属矿山重大事故隐患判定标准》（国家矿山安全监察局，矿安〔2022〕88号，2022年9月1日起施行）；

(6) 《国家矿山安全监察局综合司关于加强模袋法尾矿堆坝安全生产工作通知》（矿安综函〔2023〕175号，2023年8月3日）；

(7) 《非煤矿山建设项目安全设施重大变更范围》（国家矿山安

全监察局，矿安〔2023〕147号，2023年11月14日）；

（8）《金属非金属矿山重大事故隐患判定标准补充情形》（国家矿山安全监察局，矿安〔2024〕41号，2024年4月23日）；

（9）《国家矿山安全监察局关于进一步加强非煤矿山安全生产行政许可工作的通知》（国家矿山安全监察局，矿安〔2024〕70号，2024年6月28日）。

1.7.2.1.5 地方规章和规范性文件

（1）《关于印发内蒙古自治区非煤矿山建设项目安全设施“三同时”监督管理办法的通知》（内安监管一字〔2016〕177号）；

（2）《内蒙古自治区防范化解尾矿库安全风险工作实施方案》（内蒙古自治区应急管理厅，2020年6月22日）；

（3）《内蒙古自治区安全生产条例》（内蒙古自治区第十三届人民代表大会常务委员会第三十八次会议修订，2023年1月1日实施）。

1.7.2.2 设计采用的主要技术标准

（1）《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001，2009版）；

（2）《水工建筑物抗冰冻设计标准》（GB/T 50662-2011）；

（3）《构筑物抗震设计规范》（GB 50191-2012）；

（4）《尾矿设施设计规范》（GB 50863-2013）；

（5）《尾矿设施施工及验收规范》（GB 50864-2013）；

（6）《土工合成材料应用技术规范》（GB 50290-2014）；

（7）《防洪标准》（GB 50201-2014）；

（8）《土工合成材料应用技术规范》（GB/T 50290-2014）；

（9）《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》（GB 51108-2015）；

（10）《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）；

（11）《尾矿堆积坝排渗加固工程技术规范》（GB 51118-2015）；

- (12)《水电水利工程振冲法地基处理技术规范》(DL/T 5214-2016)；
- (13) 《水工建筑物抗震设计标准》（GB 51247-2018）；
- (14) 《溢洪道设计规范》（SL 253-2018）；
- (15)《水电工程软弱土地基处理技术规范》(NB/T 10343-2019)；
- (16) 《尾矿库安全规程》（GB 39496-2020）；
- (17) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）；
- (18) 《尾矿堆积坝岩土工程技术标准》（GB/T 50547-2022）；
- (19) 《尾矿库安全监测技术规范》（AQ 2030-2010）；
- (20) 《碾压式土石坝设计规范》（SL 274-2020）。

1.7.3 基础资料

1.7.3.1 选矿工艺资料

- (1) 选矿规模：87000t/d；
- (2) 选矿工艺：SABC 碎矿—混合浮选—混合精矿再磨分选；
- (3) 尾矿产率：99%；
- (4) 工作制度：340d/a，3 班/d，8h/班；
- (5) 尾矿粒度：

表 1.7.3.1 尾矿粒径组成表

d(mm)	+0.2	-0.2~+0.1	-0.1~ +0.074	-0.074~ +0.043	-0.043~ +0.028	-0.028
d(平均)	0.02	0.15	0.087	0.0585	0.0355	0.014
产率 (%)	2.35	15.15	15.35	16.48	13.51	37.16
加权平均粒径 $d_p=0.0604\text{mm}$						

- (6) 尾矿重量浓度：入库尾矿浓度 60%–66%；
- (7) 原矿真比重：2.70；
- (8) 固体废物类别：属于 I 类一般工业固体废物。

1.7.3.2 测量资料

- (1) 库区 1:1000 现状地形图；
- (2) 库区及周边地区 1:50000 地形图。

1.7.3.3 水文参数

《黑龙江省水文图集》（1972 年版）。

1.7.4 其他设计依据

(1) 《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格土山铜钼矿二期扩建工程初步设计说明书》（长春黄金设计院，工程号：936—2010，2016 年 12 月）；

(2) 《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿二期扩建工程尾矿库安全设施设计》（长春黄金设计院，2017 年 7 月）；

(3) 《中国黄金集团公司内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿二期扩建工程（含尾矿库）安全设施设计安全许可意见书》（安监总非煤项目审字〔2017〕15 号，国家安全生产监督管理总局，2017 年 7 月 28 日）；

(4) 《内蒙古自治区新巴尔虎右旗乌努格吐山铜钼矿矿产资源开发利用方案》（长春黄金设计院有限公司，2022 年 5 月）；

(5) 《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库东侧排水系统质量检测报告》（沈阳兴禹水利建设工程质量检测有限公司，2024 年 1 月）；

(6) 《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库排水管封堵质量检测报告》（沈阳兴禹水利建设工程质量检测有限公司，2024 年 1 月）；

(7) 《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿

库加高扩容工程可行性研究报告》（长春黄金设计院有限公司，2024年9月）；

（8）《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌山铜钼矿尾矿库加高扩容工程地质勘察项目岩土工程勘察技术报告书〈详细勘察〉》（中冶沈勘秦皇岛工程设计研究总院有限公司，2024年10月）；

（9）《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程安全预评价报告》（北京中职安康科技有限公司，2024年10月）；

（10）《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程三维渗流分析报告》（应急管理部信息研究院，2024年11月）；

（11）《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程地震动力稳定性分析报告》（应急管理部信息研究院，2024年11月）；

（12）《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程西侧坝体筑坝区域坝基处理试验段工程试验研究报告》（中国京冶工程技术有限公司，2024年11月）。

1.8 设计范围

本次设计内容包括：尾矿库扩容方案、扩容方案所采用安全设施并论证其安全性、尾矿输送及回水设施的能力校核等设计内容。

1.9 建设方案

1.9.1 年入库尾矿量

根据选矿厂 87000t/d 的生产规模，尾矿产率 99%，工作制度 340d/a，年排尾矿量 $2928 \times 10^4 \text{t}$ 计算，尾矿堆积干密度 1.45t/m^3 ，每年尾砂堆存

所需库容为 $2020 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

1.9.2 处置工艺

根据目前乌山尾矿库采用高浓度湿排工艺的实际运行情况及企业所在地区的严重缺水的现状，本次设计尾矿仍采用高浓度湿排的工艺。

1.9.3 设计方案概况

本次扩容设计利用原尾矿库的坝体、二期尾矿库第三套排水设施、二期尾矿库主坝侧下游回水泵站、尾矿输送、尾矿脱水、尾矿回水及原尾矿库的附属设施。新建工程包括：尾矿库加高坝体、尾矿库排洪设施、库内回水设施、尾矿库监测设施及道路等附属设施。

表 1.9.3 利旧设施表

序号	利旧设施	备注
1	坝体	一期尾矿库小部分初期坝、堆积坝； 二期尾矿库东侧坝体、北侧坝体和南侧坝体。
2	排水设施	二期尾矿库第三套“井-管”排水设施
3	坝下回水池	原坝下回水池 30万 m^3 ，压坡后剩余约 20万 m^3 ，维持现有坝下回水泵设置 2 台 1 用 1 备，单台设备能力 $450 \text{m}^3/\text{h}$ 。
4	尾矿输送	尾矿低浓度输送（选厂到深锥浓密脱水车间）， 尾矿高浓度输送（浓密底流到尾矿库）已提前改造，本次设计仅根据输送位置新增部分管路。
5	尾矿脱水	深锥浓密脱水车间
6	尾矿回水	回水浮船泵站，改造后作为西侧坝下集水池回水泵站使用
7	附属设施	电力、道路、尾矿库值班房等

2 尾矿库工程概况和方案比较

2.1 尾矿库建设概况

公司现有一、二期两座尾矿库，均位于选矿厂东侧东西走向的浅沟内。本次设计仅对二期尾矿库进行加高扩容，二期尾矿库位于一期库下游，初期坝坝址距离选矿厂直线距离约 3.8km。

尾矿库区为丘陵地貌，沟谷地势平缓开阔，沟口最低标高 716m、周边山脊最大标高 810.00m，坝高 94m。库区主沟近 EW 走向，北、西、南三面环山，形成封闭的天然盆地。两座尾矿库库区覆盖范围的沟谷全长 4km，河槽纵坡 2%，二期尾矿库工程占地面积合计约 4.73km²。

尾矿库区周边均为草原，尾矿库西北侧有矿山自身的选矿厂、生产辅助区及尾矿制备车间等设施。库区下游 1 公里范围之内无居民，无重要厂矿、交通等设施。

二期尾矿库于 2012 年 12 月建成投入运行至今。目前二期尾矿库主坝坝顶标高已经达到设计 810m 标高，坝前滩顶标高 804.08-809.87m，设计总库容 22519 万 m³，剩余有效库容约 680 万 m³，还可服务 4 个月。尾矿库东侧坝体、南侧坝体及北侧坝体下游 1 公里无其他民居、工矿企业和交通等重要设施；西侧与建筑物距离均超过 1 公里。尾矿库与周围重要设施距离满足《关于印发防范化解尾矿库安全风险工作方案的通知》（应急〔2020〕15 号）文件要求。

2.2 尾矿库原设计概况及现状概况

2.2.1 选矿工艺资料及尾矿特性

- (1) 原设计选矿规模：75000t/d；
- (2) 选矿工艺：SABC 碎矿—混合浮选—混合精矿再磨分选；
- (3) 尾矿产率：99%；

(4) 工作制度：330d/a，3班/d，8h/班；

(5) 尾矿粒度：见表 2.2.1；

表 2.2.1 尾矿粒径组成表

d(mm)	+0.2	-0.2~+0.1	-0.1~ +0.074	-0.074~ +0.043	-0.043~ +0.028	-0.028
d(平均)	0.02	0.15	0.087	0.0585	0.0355	0.014
产率(%)	2.35	15.15	15.35	16.48	13.51	37.16
加权平均粒径 $d_p=0.0604\text{mm}$						

(6) 尾矿重量浓度：入库尾矿浓度 60%~66%；

(7) 原矿真比重：2.70；

(8) 固体废物类别：属于 I 类一般工业固体废物。

2.2.2 二期尾矿库原设计概况

二期尾矿库于 2010 年设计，2012 年 12 月底投入运行。二期尾矿库位于一期库下游，主坝初期坝位于选厂东侧直线距离 3.8km 处。该尾矿库设计最终坝顶标高 810.00m，最大坝高 94m，总库容 22519 万 m^3 ，该尾矿库为二等库。

受地形高度限制，二期尾矿库运行中后期需在东、南、北三面筑坝，西侧依托一期尾矿库坝体构成平地型尾矿库。

(1) 尾矿坝

① 初期坝

尾矿库共 3 条坝体围合而成，按照坝体所在方位称为东侧、南侧、北侧坝，其中东侧坝体位于库区所在沟谷底部为主坝，南侧、北侧位于山脊附近，为副坝。

二期尾矿库东侧、南侧和北侧均设有初期坝，其中南副坝与主坝连为一体，北副坝相对独立。其各侧初期坝顶标高均为 770m，坝高分别为 54m、17m，初期坝均采用剥离废石堆筑。

主坝初期坝为透水堆石坝，坝长 1195m，设计坝顶宽 8m，内、外坡

坡比均为 1:2.5，坝体上游坡面、标高 732m 以下设 1.0mm 厚复合土工膜防渗层；标高 732m 以上为土工布反滤层。上游坡面防渗层和反滤层均设有砂砾石保护层。主坝初期坝下游坡面均采用碎石护坡。

南副坝坝段初期坝坝长 960m。该侧初期坝上游坡均设 0.5mm 厚复合土工膜防渗层，防渗层上下均设砂砾石保护层。南副坝初期坝下游坡采用碎石护坡。

北副坝初期坝坝长 1210m。坝顶宽 8m，内、外坡坡比均为 1:2.5，该初期坝上游坡设 0.5mm 厚复合土工膜防渗层，防渗层上下均设砂砾石保护层。北副坝初期坝采用碎石护坡。

初期坝以下全库容 7380 万 m^3 。

② 堆积坝

堆积坝采用上游法堆筑，设计堆高 40m（标高 770m-810.00m），平均堆积坡比 1:4，沿东、南、北三侧筑坝，最终坝长 5985m。

依据北京宏冶安泰环境岩土技术中心所做的筑坝试验研究，最初二期尾矿库的子坝拟采用大池填筑坝法堆筑。即在初期坝蓄满尾矿的沉积滩面上采用模袋筑梗形成 5m 高的围堰，并利用全尾矿充填构筑 5m 高的单级子坝，以此类推，最终堆坝至设计标高 810.00m。设计的内梗高 5m，顶宽 3m，外坡比为 1:2.0，内坡比 1:1.5；外梗高 5m，顶宽 10m，外坡比为 1:2.0，内坡比 1:1.5；隔梗高 5m，顶宽 3m，内、外坡比为 1:1.5；内、外梗坝顶轴线间距 73.5m，隔梗坝顶轴线间距 250m。

受尾矿性质和气候条件限制，实际堆筑中仅进行了一级子坝的大池填筑法筑坝（标高 770m-775m），筑坝过程中，内、外、隔梗均已完成，充填尾矿时陆续进入冬季，池内尾矿充填高度 3-4m，且无法固结，故一期子坝内尚未充满尾矿的部分采用废石回填至标高 775m，考虑到后期排渗需要，废石回填部分采用土工布包裹，形成排渗褥垫层。

根据筑坝工业试验虽然池填法筑坝试验失败，但模袋筑坝是可行的。设计结合实际情况，对子坝填筑进行了优化，即自坝顶标高 775m 起，夏季（5 月-10 月）先采用模袋堆筑 5m 高的宽顶子坝至坝顶标高 780m，由于夏季施工期短，不足部分有石料填补；冬季（11 月-4 月）在模袋子坝上部再堆筑 5m 高的废石子坝至坝顶标高 785m，一年筑坝高度 10m，可以满足 2 年左右的贮存尾矿量。在上述子坝蓄满尾矿后，仍采用模袋、废石子坝交替筑坝方式加高坝体，直至最终坝顶标高 810m。各级子坝堆筑情况详见表 2.2.2。

表 2.2.2 各级子坝筑坝工程详情

标高 (m)	子坝堆筑方式	设计参数
770-775	池填法 (埂为模袋堆筑)	外埂：外坡比为 1:2.0，内坡比 1:1.5，顶宽 10m； 内埂：外坡比为 1:2.0，内坡比 1:1.5，顶宽 3m； 隔埂：内坡比 1:1.5，顶宽 3m； 顶宽 80m、底宽 100m。
775-780	模袋筑坝	坝顶宽 40m、底宽 70m；上、下游坡比均为 1:3.0。
780-785	石料筑坝	坝顶宽 10m、底宽 30m；上、下游坡比均为 1:2.0。
785-790	模袋筑坝	坝顶宽 40m、底宽 70m；上、下游坡比均为 1:3.0。
790-795	石料筑坝	坝顶宽 10m、底宽 30m；上、下游坡比均为 1:2.0。
795-800	模袋筑坝	坝顶宽 40m、底宽 70m；上、下游坡比均为 1:3.0。
800-805	石料筑坝	坝顶宽 10m、底宽 30m；上、下游坡比均为 1:2.0。
805-810	石料筑坝	坝顶宽 20m、底宽 50m；上、下游坡比均为 1:3.0。

(2) 库内排洪设施

原设计在二期尾矿库内设置 3 套排水系统。一是初期排水系统，采用“井—管”系统，用于初期坝顶标高 770m 以下排洪，已经封堵；二是设在主坝左肩的开敞式溢洪道，主要用于 770m~795m 坝高之间的排洪，库内部分均已拆除；三是库内“排水井—管”系统，用于 795m~810.00m 坝高之间的排洪。详细介绍如下：

① 第一套排洪系统（排水井、管）

在库区东北侧内设置 1 座内径 2m 钢筋混凝土框架式排水井，连接内径 1.5m、壁厚 600mm、长度 560m 的钢筋混凝土现浇排水涵管。排水井井高 20m，最低进水标高 750.00m，井顶标高 770.00m。排水设施基础

落于中风化花岗岩层。第二套排洪系统运行后，第一套排洪系统采用 C30 混凝土进行了封堵。

② 第二套排洪系统（溢洪道）

尾矿坝顶标高在 770.00~795.00m 运行期间采用溢洪道进行防洪。每年雨季来临前在东侧主坝左坝肩附近修建一条伸向库区内部 200m 长的溢洪道，溢洪道进口段为梯形断面，顶宽 14m，底宽 8m，高 2m，进口段浆砌石衬砌 5m；过渡段顶宽 14~12m，底宽 8~6m，高 2m；坝内明渠段顶宽 12m，底宽 6m，高 2m；渐变段和明渠段的土渠内衬 1.5mm 厚 HDPE 防渗膜，坝内段施工坡度 $\geq 1\%$ ，后部接入坝外溢洪道明渠段和主渠段，坝外溢洪道明渠段和主渠段均为浆砌石结构，矩形断面 6.0m \times 2.0m，敷设坡度 $\geq 2\%$ 。第三套排洪系统运行后，第二套排洪系统已拆除。

③ 第三套排洪系统（排水井-管）

尾矿库内正在使用的排水系统为井+管+消力池+排水明渠形式，布置在库区西北侧，排水井 1 座，为内径 2m、高度 15m 的钢筋混凝土四柱框架式排水井，排水管为内径 1.5m、壁厚 300mm 的钢筋混凝土现浇排水涵管，排水涵管自西向东敷设，横穿北侧副坝。排水井最低进水标高 795.00m，井顶标高 810.00m；排水管进水中心标高 793.05m，出口中心标高 788.84m，管长 686m，敷设坡度 $\geq 0.5\%$ ，基础落于中风化花岗岩层。目前，尾矿库淹没排水井高度 8m，排水井、排水圆管混凝土强度等级均为 C25。

（3）排渗工程

在初期坝坝底最低点设置宽度 5m、高度 2.5m，用 400g/m² 的土工布包裹碎石的排渗盲沟排渗，加快初期坝坝前的尾砂固结。

一级子坝(标高 770m-775m)内埂、外埂堆筑过程中均在标高 772.00m 层面布设了排渗席垫。每幅排渗席垫幅宽 2m、厚度 10mm，外包 200g/m²

土工布，沿坝体轴线方向每间距 4m 设一幅。

在宽体模袋子坝 1/2 坝高层间按间距 4m 一幅布置 10mm 厚的土工排渗席垫，席垫外包 200g/m² 土工布。



图 2.2.2 排渗席垫敷设现场照片

（4）监测设施

二期尾矿库初期坝 770.00m 设置 4 组监测点和标高 750.00m 设置 2 组监测点，主要包括坝体表面位移、坝体内部位移、浸润线、降雨量监测及视频监控等子系统，作为尾矿库在线监测、预警系统的监测指标。

堆积坝上设人工位移监测点和浸润线监测孔，分别布置在标高 775.00m、785.00m、795.00m、805.00m 及 810.00m 处，南侧、北侧和东侧堆积坝上每侧设置 5 个观测孔，孔深 15m，浸润线观测孔在位移监测点旁设置。

（5）尾矿输送及排矿

选矿厂排出的尾矿浆通过 2 台 $\Phi 43\text{m}$ 深锥浓密机浓缩后，以重量浓度 60-66% 左右高浓度通过隔膜泵输送至二期尾矿库内堆存。尾矿坝放矿管道为 Q345B 无缝钢管，管径 $\Phi 480 \times 16\text{mm}$ ，在坝顶环库布置，通过多

个放矿口轮换放矿排入尾矿库堆存。

（6）尾矿回水

二期尾矿库回水分为库内浮船回水和坝下回水两部分，库内设置浮船泵站，配备 3 台 250DL450-60（I）×2 型水泵，设备参数 $Q=450\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=120\text{m}$ ， $P=450\text{Kw}$ ，回水管为 DN450mm 钢管，管长 $L=2500\text{m}$ 。初期坝下游截渗坝内设置 1 座回水泵站，泵站内配 5 台型号 D450-60×5 回水泵，设备参数 $Q=450\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=300\text{m}$ ， $P=500\text{Kw}$ ，回水管为 DN500mm 钢管（直埋），管长 $L=5000\text{m}$ 。

2.2.3 二期尾矿库增设安全设施

原设计的水平排渗席垫从现场反馈仅施工后第 1 年出水。2020 年做的 11 孔长度 150m 顶管排渗试验工程也是由于天气原因仅施工当年出水，翌年全部冻结失去排渗功能。为了进一步加强坝前尾砂固结，降低浸润线埋深，提高坝前尾砂的物理力学指标，经过多次技术交流，最终选在堆积坝筑坝区域进行竖向排渗试验工程。

2021 年二期尾矿库开展竖向排渗试验工程，试验区域是二期尾矿堆积坝筑坝局部区域，2023 年在二期尾矿库堆积坝全面实施竖向排渗工程。

2021 年布设断面和标高分别为主坝 G2、G4 断面，785m、790m、795m 标高；2023 年布设断面及标高分别为北侧坝体 N1、N3、N5 断面，主坝 G3、G5 断面，南侧坝体 S1、S3、S4、S5、S6 断面，785m、795m、805m 标高。

截至 2023 年底，二期尾矿库主坝、南侧副坝、北侧副坝均已实施竖向排渗工程。



图 2.2.3-1 竖向排渗工程

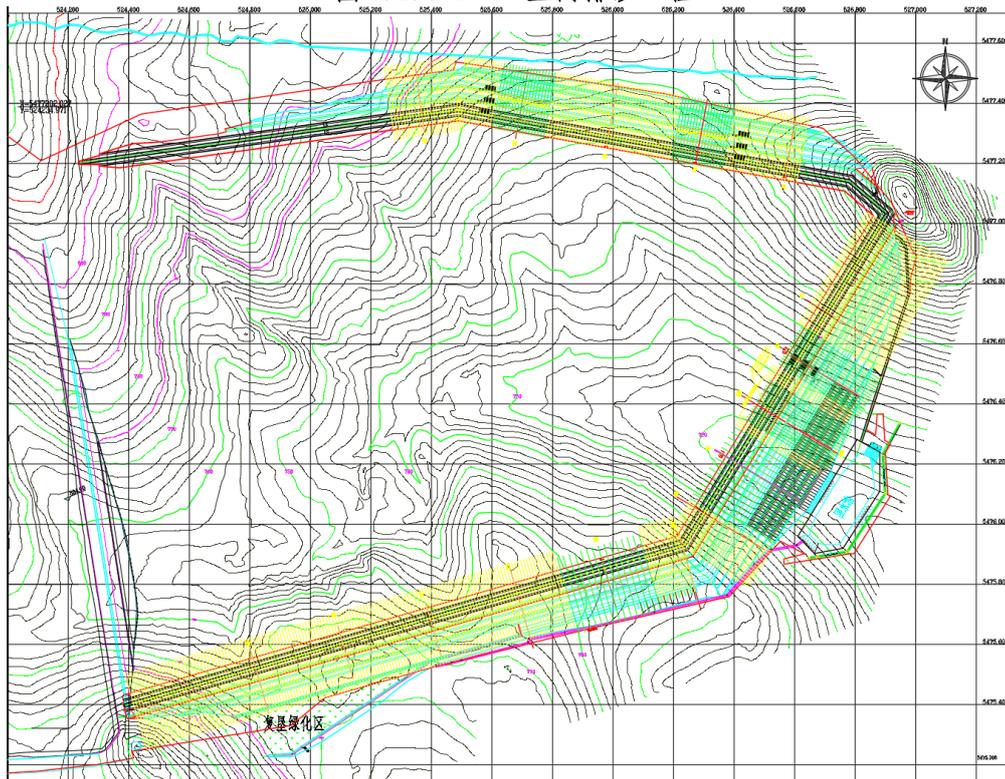


图 2.2.3-2 已施工竖向排渗工程平面布置图

根据竖向排渗设施施工前后浸润线监测数据对比，连续运行的竖向排渗系统可以通过强制排水，增加坝体浸润线埋深。但竖向排渗设施由于投产时间短且连续有效运行时长也不足，从同一区域几次勘察指标对比，无法判断竖向排渗设施是筑坝区域尾矿物理力学指标变化的直接因素。

2.2.4 二期尾矿库变更设计内容

2023 年落实《国家矿山安全监察局综合司关于加强模袋法尾矿堆坝

安全生产工作通知》（矿安综函〔2023〕175号）文件精神，对筑坝材料和东、南、北侧的坝体进行压坡等内容变更。

（1）堆积子坝筑坝材料变更

根据原二期尾矿库安全设施设计对子坝堆筑要求，夏季采用模袋筑坝，冬季采用石料筑坝。由于805m-810m子坝筑坝时间横跨冬、夏两季，以及“矿安综函〔2023〕175号”文件要求，该级子坝需由模袋筑坝调整为废石筑坝，子坝顶宽和上、下游坡比均不变。

（2）露采剥离废石压坡

落实“矿安综函〔2023〕175号”文件精神，从本质安全角度出发，利用露天剥离废石对东侧、南侧、北侧坝体800m标高以下进行压坡。通过坝体下游加重增强坝体的抗滑稳定性。企业陆续对二期尾矿库东侧、南侧、北侧坝体进行压坡。压坡平台顶标高800m，平台顶宽60m（不含原平台宽度）。压坡工程外坡在标高780m、790m、795m设三个平台，平台顶宽10m，标高780m-800m台阶坡比均为1:3.0，标高780m以下外坡坡比1:1.75。目前大部分工程已完成施工。

压坡工程外围设置排水沟，排水沟距压坡工程外坡脚距离不小于10m，与现有排水沟连接。排水沟为梯形断面，底宽1.0m，沟深1.0m，两侧边坡坡比为1:1.0，排水沟采用水泥毯进行护砌，水泥毯下部设置1.5mm厚复合土工膜防渗层。同时，压坡平台形成后在780m、790m标高设置人工位移监测点。

2.2.5 二期尾矿库运行情况现状及概况

（1）尾矿坝

截至2024年11月末，二期尾矿库堆积子坝全部堆筑至最终设计标高810.00m，北副坝现状滩顶标高为806.31-809.87m，南副坝现状滩顶标高为807.12-808.80m，东侧坝（主坝）现状滩顶标高为808.43-809.95m，

库区内水面标高 802.61m。

（2）库内排水设施

二期尾矿库排水设施均已按设计施工。第一套排水设施已按设计要求封堵，未出现异常现象。第二套排水设施按设计要求拆除，目前正在使用第三套排水设施。

第三套排水设施为“排水井—管”联合排水，根据《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库东侧排水系统质量检测报告》中排水井和排水涵管断面尺寸符合设计要求，混凝土外观质量完好，混凝土表面平整，无蜂窝、麻面、露筋等现象，排水涵管不存在渗水、漏水现象。

（3）监测设施

① 东侧坝体监测设施

二期尾矿库东侧初期坝坝顶标高 770m 已设置 5 个人工位移监测点和 3 个浸润线监测孔，标高 750.00m 设置 5 个人工位移监测点。

东侧堆积坝标高 775.00m、785.00m、795.00m 和 805m 上分别设置了 5 个人工位移监测点和 5 个人工浸润线监测孔，同时设置 5 个在线浸润线监测孔和 5 个在线位移监测点。795m 标高以下监测点由于压坡施工，已部分拆除，但增设轨道式边坡雷达预警系统，加强坝体位移在线监测。

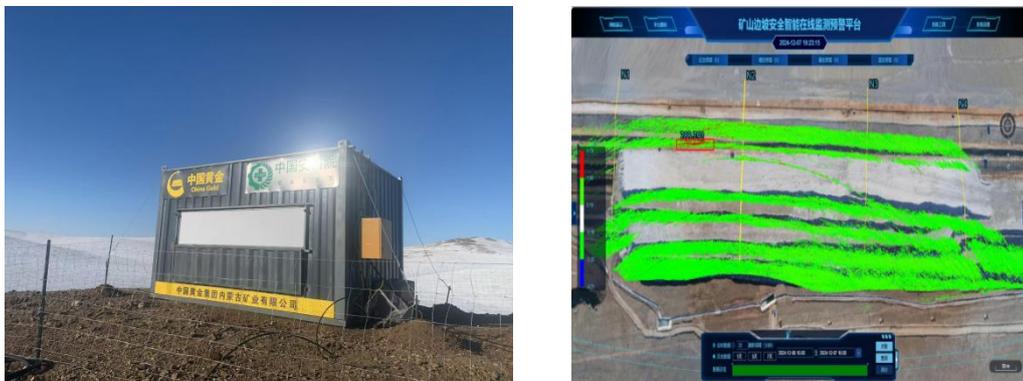


图 2.2.5 轨道式边坡雷达预警系统

② 南侧坝体监测设施

在标高 795.00m 和 805m 上分别设置 6 个人工位移监测点和 6 个人工浸润线监测孔，同时设置 6 个在线位移监测点和在线浸润线监控孔。其余 795m 以下监测点由于压坡施工，已部分拆除，但增设轨道式边坡雷达预警系统，加强坝体位移在线监测。

③ 北测坝体监测设施

在标高 795.00m 和 805m 上分别设置了 5 个人工位移监测点和 5 个人工浸润线监测孔，同时设置 5 个在线位移监测点和 5 个在线浸润线监测孔。其余 795m 以下监测点由于压坡施工，已全部拆除，但增设轨道式边坡雷达预警系统，加强坝体位移在线监测。

表 2.2.5 2024 年 1 月-10 月坝体实测浸润线埋深

置	剖面号	在线监测点号	1 月		2 月		3 月		4 月		5 月		6 月		7 月		8 月		9 月		10 月	
			在线水位埋深 (m)	人工水位埋深 (m)																		
北副坝	N3	805NJ3	---	---	---	---	---	---	---	---	14.00	---	14.00	---	11.40	---	11.51	---	11.57	---	11.76	---
		795NJ3	---	13.64	---	13.58	---	13.54	---	13.50	17.00	13.50	17.00	13.54	13.70	13.66	14.34	14.70	---	---	---	---
主坝	G3	805GJ3	11.41	---	11.55	---	14.00	11.70	11.67	11.80	10.89	11.00	10.90	10.90	11.01	11.00	10.92	---	10.51	10.70	10.71	10.90
		795GJ3	14.59	14.40	14.76	14.42	15.01	14.75	15.27	15.00	14.42	14.10	13.77	13.44	13.94	13.70	13.93	13.75	13.92	13.70	13.76	13.57
		785GJ3	9.46	14.50	9.77	14.70	9.69	14.30	9.94	14.70	9.65	---	9.25	13.70	9.60	14.10	9.45	14.00	9.34	13.96	9.39	14.00
		775GJ3	7.80	9.50	7.88	9.62	7.87	9.50	7.91	9.50	7.86	---	8.10	9.16	8.08	---	7.95	8.90	8.00	9.30	7.96	---
南副坝	S1	805SJ1	11.26	---	11.41	---	11.54	---	11.55	---	10.71	10.95	10.85	11.00	10.90	11.07	10.82	11.03	10.52	11.00	10.70	10.94
		795SJ1	12.07	---	11.79	11.80	12.15	12.15	12.53	---	12.25	12.27	12.29	12.20	12.26	12.18	12.13	12.2	12.12	12.2	11.96	12.12
		785SJ1	14.38	---	14.69	---	14.80	---	14.90	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

（4）尾矿输送

原设计采用的隔膜泵存在运行稳定性差，维修量大的缺陷。经过改造，目前采用多级渣浆泵串联的方式进行高浓度尾矿输送，现用尾矿输送管为 $\Phi 480 \times 16\text{mm}$ 无缝钢管，尾矿输送管长约8740m。

（5）回水系统

二期尾矿库回水分为库内浮船回水和坝下回水两部分，库内设置两座浮船回水泵站。二期尾矿库初期坝下设置1座回水泵站，目前正常工况下仅使用1台回水泵，正常工况下坝下回水每天18-20小时，大部分回水采用浮船回水。

2.3 加高扩容方案比较

东、南、北侧坝体以原设计上游法最终堆积坝顶轴线为基准采用中线式废石筑坝方案加高坝体该方案已在前期设计中经过多次论证，本次设计不在重新论证；西侧坝体为新建坝体，本次方案比选仅对新建西侧坝体的筑坝位置及筑坝方案进行比选后确定。

2.3.1 坝址方案比选



图 2.3.1 库址方案比选平面示意图

2.3.1.1 坝址方案一

在距选矿厂、生产辅助区、易普利及尾矿制备车间等区域 1 公里范围外新建尾矿坝。

按生产规模 87000t/d 设计，方案一可为选矿厂服务 3.5 年。

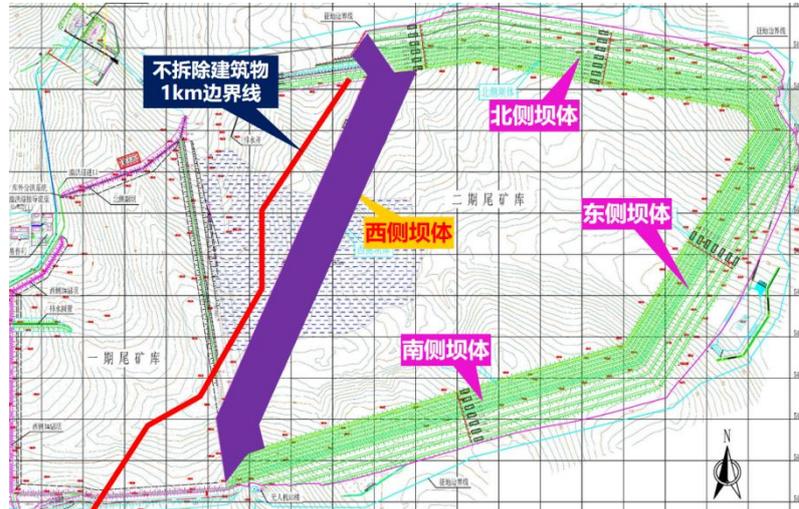


图 2.3.1.1 库址方案一平面示意图

2.3.1.2 坝址方案二

通过拆除距离尾矿库最近的易普利及周边其他附属设施，拆除尾矿制备车间的水处理车间，在距选矿厂、生产辅助区等区域 1 公里范围外新建尾矿坝。

按生产规模 87000t/d 设计，方案二可为选矿厂服务 4.0 年。

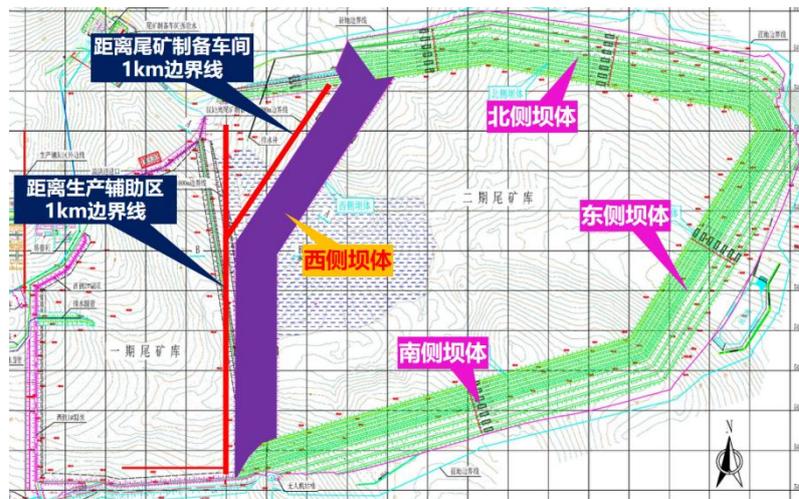


图 2.3.1.2 库址方案二平面示意图

上述两种坝址方案，地基处理措施及投资基本相同，方案二拆除易普利及水处理车间，搬迁重建施工期较长，且搬迁重建费用较大，会直接导致矿山停产，不利于企业发展。综合技术、经济分析，可研推荐坝址方案一，即不拆除周围建筑物的坝址方案。

2.3.2 筑坝方案比选

2.3.2.1 筑坝方案一

方案一采用中线式废石筑坝方案。坝体最大高度 30m，最终设计标高 840m。设计坝体顶宽 20m，终期坝体外坡分为 3 个台阶，台阶高度 10m、宽度 10m，台阶坡比 1:3，坝体平均外坡比 1:4。尾矿坝随库区滩面的升高分期填筑。共 6 级子坝，每级子坝高 5m，子坝顶宽 20m，内、外坡比分别为 1:2.0、1:3.0。子坝上游排放尾矿，下游利用废石堆筑坝壳，子坝与废石坝壳共同构成坝体。

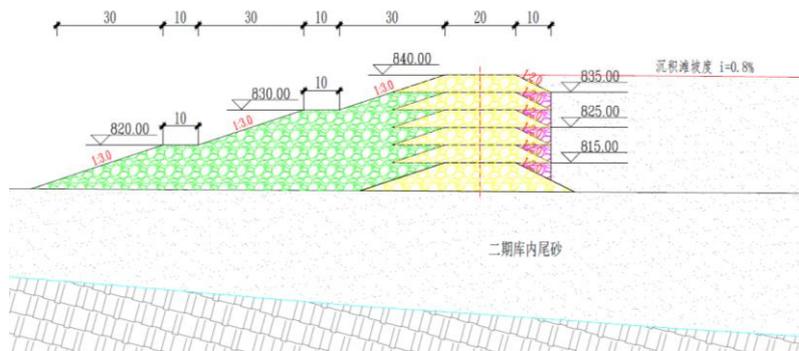


图 2.3.2.1 筑坝方案一剖面图

2.3.2.2 筑坝方案二

方案二采用废石一次性筑坝方案（分期施工）。第一期平台顶标高 815m，顶宽 25m，内外坡比均为 1:2.0。最终外坡分为 3 个台阶，标高 810.00m-840.00m 每加高 10m 设一道平台，平台宽 10m，相邻两级平台的外坡比 1:3.0，标高 840.00m 平台宽 25m，最终内坡坡比为 1:2.0，每隔 10m 高设一道平台，平台宽 5m。

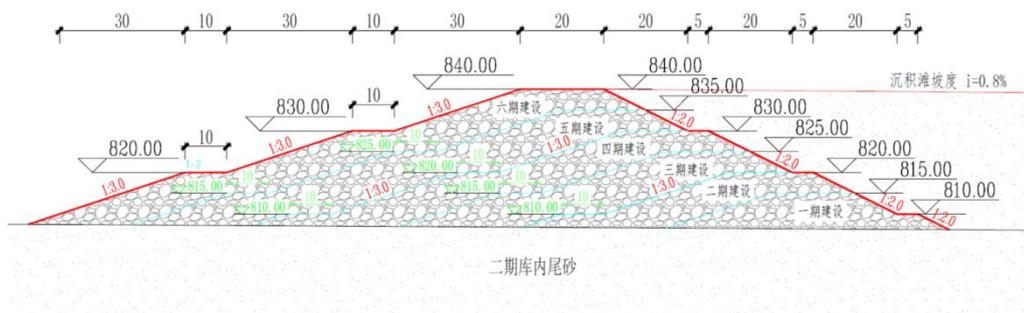


图 2.3.2.2 筑坝方案二剖面图

2.3.2.3 筑坝方案比选汇总表

表 2.3.2.3 筑坝方案比选汇总表

筑坝方案 项目	方案一 (中线式废石筑坝方案)	方案二 (一次性筑坝方案)
一、基建期		
筑坝量	75 万 m ³	201 万 m ³
地基处理碎石桩	56755 桩	67240 桩
碎石桩废石填筑	288 万 m ³	342 万 m ³
工程费用	70705 万元	84942 万元
二、生产期		
筑坝量	分五期加高坝体, 每期筑坝高度 5m, 废石筑坝。总体筑坝量 761 万 m ³ 。	分五期加高坝体, 每期筑坝高度 5m, 废石筑坝。总体筑坝量 1144 万 m ³ 。
地基处理碎石桩	56755 桩	98693 桩
碎石桩废石填筑	288 万 m ³	502 万 m ³
工程费用	83971 万元	139076 万元
三、综合		
总库容	7873 万 m ³	7676 万 m ³
服务年限	3.5 年	3.4 年
优缺点	①生产期运营成本低; ②总体筑坝石料量较少; ③服务年限较长。	①生产期运营成本高, 主要是基础处理范围较方案一大; ②总体筑坝石料量大; ③服务年限较短。

通过技术分析, 上述两种筑坝方案均适用于本工程, 从安全方面、环评方面评价两种筑坝方案区别不大。

通过经济分析, 方案一优于方案二。

综合技术、经济分析, 可研推荐方案一, 即中线法废石筑坝方案。

2.3.3 西侧筑坝区域地基处理方案比较

根据工程勘察, 目前西侧坝基沉积尾矿由尾粉土(自上向下的状态:

流塑、软塑、松散-稍密、密实）及冻层组成，沉积尾矿最大厚度 50m，平均厚度 40m，较软地基最大深度 30m 左右，其强度和承载力低，不满足构建尾矿坝的要求，需要进行地基处理。

对于软土地基处理，工程上常用的有置换、强夯、排水固结、灌入固化物、振密（挤密）等处理方法。这些方法中，排水固结见效慢，不满足该工程工期要求；灌入固化物对大面积、埋藏深的尾矿坝基也不适合。因此采用“置换+振密”是西侧坝体地基处理的首选。从置换效果上，抛石挤淤置换处理深度有限（不超过 4m）；强夯法可控性差、材料用量大，因此均不适用本工程。从土的分类、处理后土的加固深度、能提供的材料、施工工期、施工条件及周围环境的等因素考虑，振冲置换能够克服上述方法弊端，安全可靠，可作为西侧坝体坝基处理的试验研究主攻方向。

本工程拟采用碎石振冲桩处理西侧坝基，工艺相对简单，可充分利用现场材料；在振冲形成致密碎石桩的同时，施工成桩过程的地基扰动可破坏坝基尾矿中絮凝剂高分子链条，加快坝基尾矿排水固，加密桩间土、提高其力学性能，进一步提高复合地基强度。

企业应尽快聘请有资质的单位进行西侧坝基处理的试验研究工作，为设计提供科学可靠的设计依据。

2.4 扩容设计概况

2.4.1 尾矿特性及入库尾矿量

依据采矿许可证，采矿生产规模由 2475 万吨/年调整为 2958 万吨/年，选矿厂已具备同等处理能力，本次尾矿库加高扩容工程按选矿厂最大处理规模 87000t/d 进行设计，尾矿产率 99%，工作制度 340d/a，年排尾矿量 2928 万吨计算，尾矿堆积干密度 1.45t/m^3 ，每年尾砂堆存所

需库容为 2020 万 m^3 ，入库尾矿特性无变化。

2.4.2 总体处置规划

根据长春黄金设计院有限公司编制的《内蒙古自治区新巴尔虎右旗乌努格吐山铜钼矿矿产资源开发利用方案》，截至 2024 年末，矿山剩余服务年限 35.2 年（开发利用方案推荐的生产规模为 2958 万吨/年）。合计排放尾矿 103080 万吨。现有的一、二期尾矿库不能满足上述尾矿堆存需求，还需要建设新的尾矿库。目前新的尾矿库已经选址，正在办理相关手续。受外部条件制约，短期内无法建成。为了解决生产接续，需要对二期尾矿库进行加高扩容。

待二期尾矿库加高扩容工程评审通过后，且一期尾矿库达到设计终期标高，开展一期尾矿库闭库工程的相关工作。

本次尾矿库加高扩容工程设计服务年限 3.5 年，贮存尾矿 7086 万 m^3 。

2.4.3 尾矿库利旧工程

本次扩容设计利用原尾矿库的坝体、二期尾矿库第三套排水设施、二期尾矿库主坝侧下游回水泵站、尾矿输送、尾矿脱水、尾矿回水及原尾矿库的附属设施。新建工程包括：尾矿库加高坝体、尾矿库排洪设施、库内回水设施、尾矿库监测设施及道路等附属设施。

表 2.4.3 利旧设施表

序号	利旧设施	备注
1	坝体	一期尾矿库小部分初期坝、堆积坝； 二期尾矿库东侧坝体、北侧坝体和南侧坝体。
2	排水设施	二期尾矿库第三套“井-管”排水设施
3	坝下回水池	原坝下回水池 30 万 m^3 ，压坡后剩余约 20 万 m^3 ，维持现有坝下回水泵设置 2 台 1 用 1 备，单台设备能力 450 m^3 /h。
4	尾矿输送	尾矿低浓度输送（选厂到深锥浓密脱水车间）， 尾矿高浓度输送（浓密底流到尾矿库）已提前改造，本次设计仅根据输送位置新增部分管路。
5	尾矿脱水	深锥浓密脱水车间

序号	利旧设施	备注
6	尾矿回水	回水浮船泵站，改造后作为西侧坝下集水池回水泵站使用
7	附属设施	电力、道路、尾矿库值班房等

2.4.4 尾矿库等别

按 1:1000 地形图计算二期尾矿库加高扩容部分容积，见表 2.3.4.1。

本次设计加高扩容至 840.00m 标高，加高 30m，增加全库容约 7873 万 m^3 （有效库容 7086 万 m^3 ），最大坝高 124m（东侧主坝），二期尾矿库加高扩容后总库容为 30392 万 m^3 ，尾矿库等别为二等。

表 2.4.4 二期尾矿库加高扩容库容计算表

标高 (m)	面积 (m^2)	累计增加库容 (m^3)	增加有效库容 (m^3)	上升速率 (m/a)	预计堆满时间
810	2624400	0	0	0	2025.03
820	2624400	26244000	23619600	8.55	2026.05
830	2624400	52488000	47239200	8.55	2027.07
840	2624400	78732000	70858800	8.55	2028.09

按选矿厂生产规模 87000t/d 设计，加高扩容工程可为选矿厂服务 3.5 年。

2.4.5 坝体加高方案

本次尾矿库坝体工程设计是当二期尾矿库达到设计终期坝顶标高 810m 时，在其四周加高坝体。根据尾矿库平面布置，尾矿坝按位置关系划分为东侧坝体、南侧坝体、西侧坝体及北侧坝体，各侧坝体均采用中线式筑坝法利用废石加高至终期坝顶标高 840m。

（1）西侧坝体

西侧坝体采用中线式废石筑坝方案，经处理后的建基面标高 810m，坝体最大高度 30m，最终设计标高 840m。设计坝体顶宽 20m，终期坝体外坡分为 3 个台阶，台阶高度 10m、宽度 10m，单台阶坡比 1:3，坝体平均总外坡比 1:4。

尾矿坝随库区滩面的升高分期填筑。共 6 级子坝，每级子坝高 5m，子坝顶宽 20m，内、外坡比分别为 1:2.0、1:3.0。子坝上游排放尾矿，

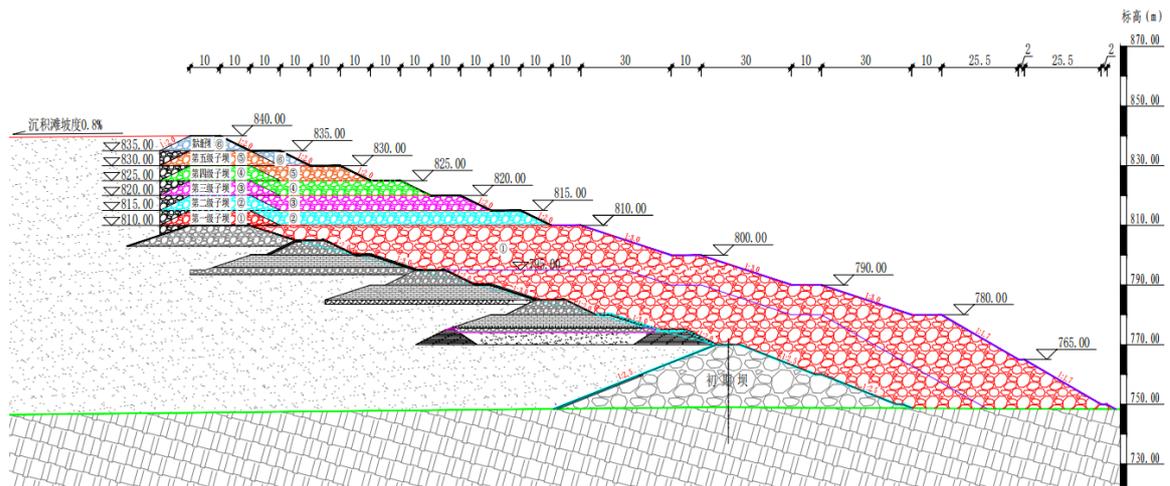


图 2.4.5-2 中线式废石筑坝断面图

2.4.6 排洪方案

加高扩容尾矿库为平地型，库内不具备修建排水井条件。根据尾矿库库区及回水条件，新建排水设施采用“废石码头+溢洪道”的形式。排水设施布置在西侧坝体中间位置，距北坝端约 680m，自西侧坝体向库内敷设，深入库内 300m。溢洪道自库内坡向尾矿坝，敷设坡度 0.1%，溢洪道采用废石堆建而成，断面尺寸为梯形，内坡设 200mm 厚混凝土衬砌。溢洪道进水口设置混凝土溢流堰，溢流堰随库内尾砂升高逐级修筑，每级溢流堰高 0.1m。溢洪道下游接预制钢筋混凝土排水圆管接排水明渠，穿过坝体部分为排水圆管，长度 45m，临时埋设，随坝体升高向上迁移，与库内溢洪道同步升高；排水圆管下游接排水明渠，长度约 450m，明渠为梯形结构，明渠采用 1.5mm 厚 HDPE 土工膜+2cm 厚水泥毯衬砌。排水明渠通往西侧坝外新建集水池，排出的雨洪水进入集水池，通过集水池内的原二期尾矿库在用的第三套排水设施排入库外下游外坡脚坝肩排水沟。

2.4.7 监测设施

目前尾矿库已布置人工及在线监测系统，本次扩容设计采用中线法筑坝，原有监测设施全部被掩埋，需要对安全监测设施重新设计。

安全监测系统由在线监测和人工监测两套监测系统组成。其中，在线监测内容包括：尾矿坝表面位移、内部位移、浸润线、干滩、降水量、库水位和视频监控等；人工监测内容包括：尾矿坝表面位移、浸润线、外坡比、库水位和日常巡视检查等。

（1）位移监测

东侧、南侧、北侧坝体位移监测点布置在标高 780m、790m、800m、810.00m、820m、830m 和 840.00m，间距 300m。

西侧位移监测点布置在标高 820m、830m 和 840.00m，间距 300m。

（2）堆积坝坡比监测

东侧、南侧、北侧坝体堆积坝坡比监测点布置在标高 780m、790m、800m、810.00m、820m、830m 和 840.00m，间距 100m。

西侧坡比监测点布置在标高 820m、830m 和 840.00m，间距 100m。

（3）浸润线监测

东侧、南侧、北侧坝体浸润线监测孔布置在标高 800m、820m 和 840.00m，浸润线观测孔采用 DN50mm 钢管制作，标高 800m 和标高 820m 浸润线监测孔埋深 25m，标高 840.00m 浸润线监测孔埋深 30m。

西侧坝体浸润线监测孔布置在标高 830m 和 840m，浸润线观测孔采用 DN50mm 钢管制作，监测孔埋深 20m。

（4）库水位监测

在回水浮船附近围堤适当位置设置水位标尺，标尺刻度要求清晰醒目，应标注实际标高，便于观测和记录。

（5）干滩监测

包括滩顶标高、干滩长度、沉积滩坡度的监测。

2.4.8 排渗设施

本次设计尾矿坝均采用中线式废石筑坝，筑坝物料本身就是透水体，

因此，尾矿库加高扩容工程不再增设排渗设施。

2.4.9 尾矿输送与回水设施

2.4.9.1 尾矿输送设施

企业已提前对现有尾矿输送设备进行了升级改造，升级后的尾矿输送设备能力可以满足尾矿库扩容后的输送需求。

扩容工程需新增输送管线长度 1600m，管材为 Q346B 无缝钢管，管径 $\Phi 480 \times 16\text{mm}$ 。

2.4.9.2 尾矿回水设施

尾矿回水分为库内浮船回水和坝下回水两部分。

（1）坝下回水

初期坝下现有 1 座回水泵站，扩容后仍利用现有坝下回水系统进行回水。扩容后原有 30 万 m^3 回水池部分被占用，剩余容积约 20 万 m^3 ，目前坝下汇水泵站运行正常，满足回水要求。

（2）库内浮船回水

库内现有两座回水浮船均位于原二期尾矿库库尾澄清水域，本次设计将一座回水浮船泵站改造后作为西侧坝体下游集水池回水使用。在库内新增加一座回水浮船泵站，作为尾矿库回水设施使用。

2.4.10 新增土地

项目新征用地 69.6 公顷，不涉及移民安置。

2.4.11 建设工期

本次设计第 1 年工程的建设计划包括 5 个月的基建期建设计划和 7 个月的生产期建设计划。

基建期工程主要包括废石筑坝工程（各侧子坝坝顶标高为 812.5m，

东、南、北侧顶宽 60m 下游坝壳，顶标高 810m），西侧坝体筑坝范围振冲碎石桩基础，新建库内排水设施等工程。基建期具体时间安排如表

2.4.11-1。

生产期工程包括废石筑坝工程（各侧子坝坝顶标高为 815.0m，东、南、北侧 810m 以下剩余部分坝壳），西侧坝体筑坝范围振冲碎石桩基础、监测设施等工程。生产期具体时间安排如表 2.4.11-2。

表 2.4.11-1 基建期工程实施计划表

工序	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	备注
东侧、南侧、北侧 810mm 以下 60m 宽中线法下游石料坝						部分已施工
东侧、南侧、北侧 810m-812.5m 中线法堆积子坝						
西侧坝坝基处理						基建期地基处理施工周期为 2-3 个月，满足基建期要求的 地基处理宽度 42.5m 后，地基 处理工程应继续施工，以满足 后续西侧坝体筑坝要求。
西侧 810m-812.5m 堆积子坝						
排水设施						
监测设施						
其他设施						包括回水、道路等设施

表 2.4.11-2 生产期工程实施计划表

工序	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月	第 11 月	第 12 月	备注
东侧、南侧、北侧 810m 以下中线法下游石料坝								
东侧、南侧、北侧 812.5m-815m 中线法堆积子坝								
西侧坝坝基处理								根据气候条件确定施工时间，尽快完成西侧坝体基础处理工程。
西侧 812.5m-815.0m 堆积子坝								
监测设施								具备施工条件时进行施工
其他设施								具备施工条件时进行施工，包括回水、道路等设施

2.4.12 项目投资概算、技术经济指标

本工程固定资产投资为 167212.00 万元，其中工程费用 138811.85 万元，其他费用 28400.15 万元（含征地 9427.09 万元）。

生产期投入主要包含南北主坝、西侧坝、排水设施、人工监测设施和在线监测设施、北坝帷幕灌浆等设施共计 127660.00 万元。

2.5 存在的问题及采取的工程措施

高浓度尾矿堆存在高纬度地区及国际上基本无可借鉴的资料。只能通过在生产实践中不断总结经验来弥补设计初期对此类高浓度尾矿堆存技术认识的不足，以下是现场存在的问题和采取的相应工程措施。

2.5.1 存在的问题

2.5.1.1 尾矿特性

该矿入库尾矿中-5 μm 含量 15-18%，排矿浓度 60-66%，库区尾矿为低液限黏土，渗透系数在 $10^{-6} \leq k_x < 10^{-5} \text{cm/s}$ 区间，尾矿不分选、不易固结。

2.5.1.2 严寒低温

乌努格吐山铜钼矿尾矿库位于高纬度地带，属于旱型寒温带，冬季严寒，春季有暴风雪。年气温平均为 -0.71°C ，二月份平均气温为 -19.64°C ，最低为 -42.7°C （1960 年 1 月 16 日），冻土最大深度为 3.89m（1974 年 2 月 24 日~30 日）。

严寒对尾矿库安全的影响主要体现在以下几个方面：

（1）冬季时间漫长、入库尾矿不易固结，上游法筑坝时可利用的筑坝时间不足；

（2）入库尾矿在冬季形成多年冻土，导致坝体沉积尾矿和库内尾

矿长期处于欠固结状态；同时，导致坝体超孔压，影响坝体稳定性；

（3）由于冰夹层的存在，以及排矿和筑坝过程中的加载，超孔隙水压力无法消散，降低坝体的有效应力，可能出现坝体沉降变形和移位现象；

（4）由于尾矿排放浓度高，库区尾矿不分选、渗透系数低及冰夹层的存在，入库尾矿长期处于欠固结状态。

低温可导致尾矿堆积体冻结，形成冻土。冻土会造成冻结时冻胀、融化时土体融陷，进而给尾矿库安全带来一系列安全隐患。因此严寒地区的尾矿坝填筑过程中，应尽可能避免坝体结冰。

根据尾矿库岩土工程勘察，从勘察的结论和典型断面来看，该尾矿库的堆积物主要由尾粉土冻土层、尾粉土和尾粉质粘土组成。其中局部冻层以夹层形式出现于尾粉土层中。在典型断面上，基本上是一年一层，平面上零碎分布，厚度 0~3.1m，并不连续，冰层的存在导致层间、层下的尾矿不易固结。

2.5.1.3 软基

由于本工程特点，西侧坝体必须在软基上筑坝，西侧坝基由尾粉土（自上向下的状态：流塑、软塑、松散-稍密、密实）及冻层组成，沉积尾矿最大厚度 50m，平均厚度 40m，较软地基最大深度 30m 左右，其强度和承载力低，不满足构建尾矿坝的要求，需要进行地基处理。

2.5.2 采取的工程措施

针对该尾矿库的尾矿特性和严寒低温的客观因素，建设单位现场管理及本次加高扩容方案均已采取相应应对措施。

（1）建设单位现场管理采取的主要措施如下：

① 严格放矿管理，合理调整各侧坝体的放矿时间、强调冰下放矿

的理念，做到周边均匀放矿，避免某侧坝体冬季放矿时间过长导致冰夹层过厚。

② 在堆积坝马道设置竖向排渗系统，采取有效的保温措施保证排渗系统全季运行，确保浸润线埋深。

③ 在库内筑坝施工前，库内滩面根据实际的地面标高和尾砂厚度，每隔 20-40m 设置一排 35m 左右孔深的泄压孔，并根据筑坝工程的进度合理安排打孔位置和时间。根据现场情况增减泄压孔，为筑坝施工全期提供超孔隙水消散通道，确保坝体安全。

④ 石料筑坝施工中严格控制石料运输车辆的载重，按施工作业面区域的实际情况合理调配车辆载重或选用小型车辆进行运输，并调整作业车辆行驶间距，精细规划车辆运输路线，尽量减少对坝体的扰动。

⑤ 合理调整筑坝时间和筑坝高度。冬春交替季节严禁筑坝，并确保周边子坝坝体均匀上升，保证筑坝区域尾砂有充分固结排水时间及超孔隙水压力充分消散。

⑥ 增加监测频率和监测点位，通过实时数据的反馈，为企业生产提供精准数据参考，保证企业作出合理生产规划。

⑦ 目前采取了以上工程措施后，坝体位移速率降低至可控范围内，并趋于稳定。

(2) 本次加高扩容方案采取的主要措施如下：

本次加高扩容工程尾矿坝均采用中线法废石堆筑，进一步降低冻害影响。初春季节，在临近坝体 40m 范围内的滩面上挖掘破冰沟，有效破坏滩面冻层连续性，为尾矿库坝体稳定和浸润线控制奠定基础。

(3) 软基筑坝采取的主要措施：

针对软基的客观因素，经过技术及经济比较，本工程采用振冲碎石桩处理西侧坝基，工艺相对简单，可充分利用现场材料；在振冲形成致

密碎石桩的同时，施工成桩过程的地基扰动可破坏坝基尾矿中絮凝剂高分子链条，加快坝基尾矿排水固结，加密桩间土、提高其力学性能，进一步提高复合地基强度。

3 尾矿库地质条件和周边环境

3.1 尾矿库地质条件

3.1.1 项目勘察工作概况

针对该尾矿库的加高扩容，企业委托中冶沈勘秦皇岛工程设计研究总院有限公司对尾矿库进行全面勘察。2023年2月，编制了《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司尾矿库加高扩容工程地质勘察项目岩土工程勘察技术报告书》（简称《2023年加高扩容报告》）。由于该项目勘察施工时间在冬季，低温对尾矿物理力学参数有一定的影响，按照专家意见和设计要 求于当年夏季进行了补充勘察，于2023年12月出具了《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格土山铜钼矿尾矿库加高扩容工程延续地质勘察岩土工程勘察技术报告书〈补充勘察〉》报告（简称《2023年延续报告》）。后期设计对西侧副坝位置进行了调整，又对调整后的西侧副坝进行了勘察，于2024年10月编制了《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程西侧筑坝区域岩土工程勘察报告书（详细勘察）》（简称《2024年西侧坝报告》）。

为便于使用，在设计方案最终确定后，勘察单位将上述3本报告合并为一本报告，将与最终设计方案有关的钻孔及试验保留在本报告之中，形成了该尾矿库扩建项目的勘察报告，即《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格土山铜钼矿尾矿库加高扩容工程地质勘察项目岩土工程勘察技术报告书〈详细勘察〉》（2024年10月）。

本设计依据合并报告对尾矿库的地质情况进行介绍。

3.1.2 区域工程地质、水文地质条件

3.1.2.1 区域地质构造

矿区位于中生代陆相火山盆地边缘的古隆起部位。区域性北东向额尔古纳~呼伦深断裂在矿区东侧约 25km 处通过，受其影响，旁侧次一级断裂构造十分发育，矿区主要断裂系统为北东向、北西向和近东向 3 组，北东向断裂形成早，近东西向断裂形成晚于北东向断裂，早于北西向断裂，北西向断裂形成较晚。

据内蒙古自治区区域地质志，晚近构造活动比较活跃，以区域性差异升降运动为主，全新世以来全区基本为缓慢上升状态，没有重大地质活动发生，属稳定区。此外，区内无明显影响场地不稳定性的不良地质现象。其地质构造图如下图 3.1.2.1 所示。

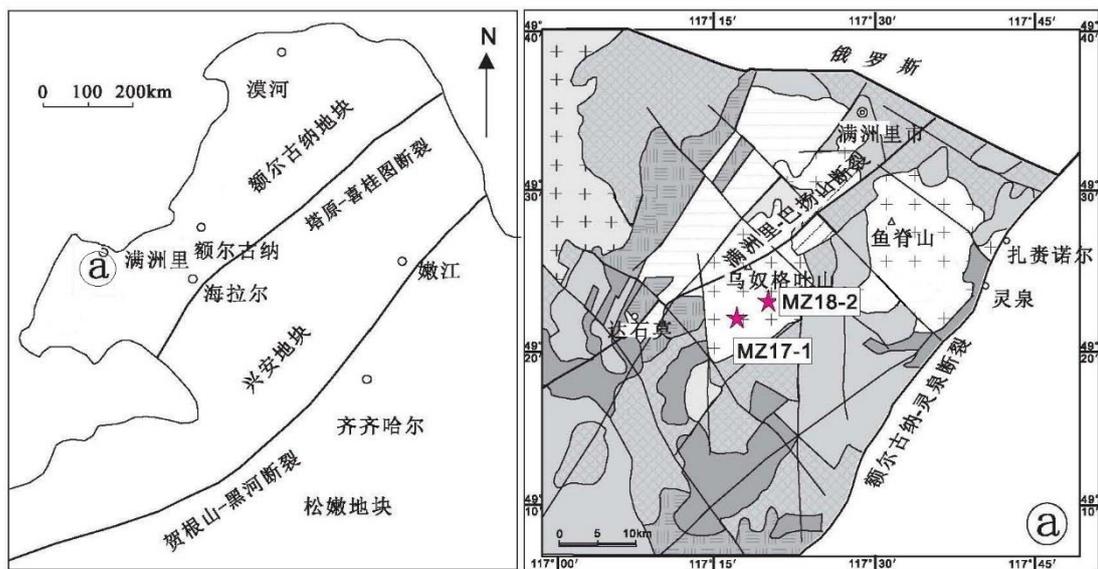


图 3.1.2.1 区域地质构造图

3.1.2.2 区域地层

区域出露的地层较为发育，从老至新分别为中生界侏罗系、白垩系及新生代第四系沉积，地层划分特征见表 3.1.1.2。

表 3.1.2.2 区域地层表

界	系	统	组	段	代号	厚度/m	主要岩性
中生界	白垩系	下统	大磨拐河组		K_1d	>1165	砂岩、砂砾岩、粉砂岩、泥岩夹煤
			伊列克得组		K_1y	>149.6	玄武岩、粗玄岩、安山玄武岩、砂泥岩
			上库力组	上段	K_1s^3	>670	流纹岩及其凝灰岩、沉凝灰岩
				中段	K_1s^2	414	安山岩、粗面岩，局部夹中酸性熔结凝灰岩
				下段	K_1s^1	1002.7	酸性凝灰熔岩、流纹岩及其凝灰岩，夹沉凝灰岩、中酸性熔结凝灰岩
	木瑞组		K_1m	509.5	酸性玻屑凝灰岩、沉凝灰岩、砂砾岩及杂砂岩等		
	侏罗系	上统	塔木兰沟组	上段	J_3f	>434.9	片理化安山岩
				下段	J_3f	>823.8	玄武岩、安山玄武岩、玄武安山岩等
		中统	南平组		J_2n	>237	砾岩、含砾杂砂岩

3.1.2.3 区域水文地质条件

矿区主要地下水类型为第四系松散沉积层孔隙潜水、基岩风化裂隙水及构造裂隙水。大气降水是矿区地下水的主要补给来源，第四系覆盖区，降水通过松散层孔隙渗入补给地下水，雨季地下水水位抬高，枯水期地下水水位下降，地下水水位与降水量呈正相关关系；基岩风化裂隙水水位年变幅 1.25~3.53m；构造裂隙水水位年变幅 0.92~1.01m。地下水的排泄以地下侧向径流，总体流向由北东流向南西。

①第四系砂砾石孔隙含水层

主要分布在矿区北部、西部。含水层厚度 6.7~17.2m，水位埋深 7.9~8.4m，单位涌水量 0.173~0.622L/s·m，为中等富水性。

②燕山期侵入岩风化裂隙含水层

分布在矿区东南部，面积 1.08km²。主要岩性为次英安质角砾熔岩、次斜长花岗斑岩，水位埋深 28.0~54.0m，含水层厚度 7.4~41.2m，单位涌水量 0.002~0.008L/s·m，属弱富水性。

(3) 矿区断裂构造裂隙含水带

主要以北东、北西向断裂构造含水带为主。厚度 4.2~53.5m，平均厚度 25.5m，水位标高 769~798m，单位涌水量 0.008~0.780L/s·m，属弱富水性-中等富水性。

区内水系不发育，不存在较大的河流。矿区附近有少数水塘，矿区

东南 25km 处有呼伦湖，系大型内陆淡水湖，面积 2000km²，蓄水量达 130 亿 m³。

3.1.3 库区地质条件

二期尾矿库采用高浓度排放，沉积滩较长，尾矿堆积体沉积的规律不明显，大小颗粒混杂沉积。该尾矿库主要以尾粉土为主、局部为尾粉质黏土。在尾矿堆积层的下部即为天然地层。

库区、初期坝、堆积子坝、副坝及其坝前场地的地层结构自上而下依次为：

1 素填土（堆积子坝、副坝筑坝材料）：黄褐-灰色，棱角形，主要由碎石、黏性土组成，一般粒径 60-100mm，最大粒径 500mm，为矿山采矿剥离废石，为堆积子坝或副坝的筑坝材料，部分地段为填筑路基，中密-密实。层厚介于 0.50-16.5m，层底高程介于 723.65-805.24m。

1-1 素填土（二期尾矿库初期坝）：黄褐-灰色，棱角形，主要由碎石、块石组成，一般粒径 60-200mm，最大粒径 500mm，为矿山采矿剥离废石，为初期坝筑坝材料。层厚介于 3.50-46.80m，层底高程介于 732.46-782.03m。

2 尾粉土（模袋）：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，为尾矿库筑坝所用模袋内尾矿，水上湿，水下饱和，稍密-中密。该层仅在设计的 775、785、795 子坝上采用（770m 池田法的坝埂上采用），层厚介于 1.60-11.50m，层底高程介于 767.57-798.51m。

3 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，饱和，局部为尾粉质黏土，流塑。该层在库内普遍分布，位于库内表层，层厚介于 1.20-12.20m，层底高程介于 780.19-800.26m。

3-1 多年冻土：灰色，为库内冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。该层在库内普遍存在

（仅局部缺失），层厚介于 0.20-6.00m，层底高程介于 783.63-799.24m。

4 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，水上湿，水下饱和，局部为尾粉质黏土，软塑。该层在库内普遍存在（仅局部缺失），层厚介于 0.20-21.30m，层底高程介于 767.55-784.89m。

4-1 多年冻土：灰色，为库内冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。该层在库内普遍存在（仅局部缺失），层厚介于 0.70-8.00m，层底高程介于 770.34-787.79m。

5 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，水下饱和，局部为尾粉质黏土，松散-稍密。该层在库内普遍存在（仅局部缺失），层厚介于 3.10-15.30m，层底高程介于 754.05-776.75m。

5-1 多年冻土：灰色，为库内冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。该层分布不连续，呈透镜体状或岛状，层厚介于 0.90-4.00m，层底高程介于 760.66-771.39m。

6 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，水下饱和，局部为尾粉质黏土，局部为多年冻土薄夹层，稍密-中密。该层分布不连续，层厚介于 6.70-25.80m，层底高程介于 744.95-767.55m。

7 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，水下饱和，局部为尾粉质黏土，局部为多年冻土薄夹层，中密-密实。该层分布不连续，层厚介于 3.70-22.10m，层底高程介于 724.27-756.35m。

8 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，为尾矿堆积层，水上湿，水下饱和，局部为尾粉质黏土，稍密-中密。该层分布在坝体及其附近，层厚介于 1.60-22.70m，层底高程介

于 766.78-789.85m。

8-1 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，为尾矿堆积层，水上湿，水下饱和，中密，局部为尾粉质黏土，局部密实。该层分布在坝体及其附近，层厚介于 1.80-23.60m，层底高程介于 757.74-779.97m。

8-2 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，为尾矿堆积层，水上湿，水下饱和，密实。该层分布在坝体及其附近，层厚介于 13.20-44.10m，层底高程介于 755.73-765.96m。

8-3 多年冻土：灰色，为平台下冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。该层分布在坝体及其附近，层厚介于 0.50-2.10m，层底高程介于 759.65-782.45m。

9-1 花岗岩（Mz）：灰白色、杂色，全风化，主要矿物由长石、石英及少量暗色矿物组成，花岗结构，块状构造，极破碎，岩芯呈碎块状， $RQD < 10$ ，软岩-较软岩，岩体基本质量等级为 V。该层分布不连续，揭露厚度介于 0.10-18.20m，相应高程介于 715.17-793.74m。

9-2 花岗岩（Mz）：灰白色、杂色，强风化，主要矿物由长石、石英及少量暗色矿物组成，花岗结构，块状构造，破碎，岩芯呈碎块状， $10 \leq RQD < 25$ ，软岩-较软岩，岩体基本质量等级为 V。本次钻探大部分钻孔未穿透该层，最大揭露厚度 18.80m。

9-3 花岗岩（Mz）：灰白色，中风化，主要矿物由长石、石英及少量暗色矿物组成，花岗结构，块状构造，较破碎-较完整，岩芯呈短柱状、长柱状， $25 \leq RQD < 75$ ，较软岩-较硬岩，岩体基本质量等级为 IV-III。本次钻探大部分钻孔未穿透该层，最大揭露厚度 5.20m。

3.1.4 库区水文地质条件

3.1.4.1 水文地质条件概述

本场地水源类型主要为地下水及地表水。

本场地钻孔深度揭露范围内的地下水按其成因和埋藏条件可细分为人工冲填堆积层孔隙潜水和基岩裂隙水，这两种类型的地下水与沟谷中其他地段的地表水之间存在着密切的联系。地下水的补给来源为大气降水，其径流条件受地形、人工构筑物、岩体的结构构造的控制。

(1) 人工冲填堆积层孔隙潜水主要赋存于库内的尾矿地层中，含水层厚度变化较大，由大气降水及地表其他地段的小溪流补给，沿地形坡向径流，渗入补给基岩裂隙含水层或排泄至低洼处小溪流。

(2) 基岩裂隙水主要赋存于基岩裂隙中，其水量随风化程度的强弱和地势高低变化，基岩风化强烈且低洼处富水较强，反之则弱，为潜水类型，含水层底板与风化带下限一致，主要接受大气降水和第四系孔隙水补给，二者之间没有隔水体存在，水力联系密切。本场地基岩裂隙水较少，由上覆人工冲填堆积层孔隙潜水或地表径流补给。

本次勘察期间，地下水埋深在 0.50~21.00m 之间，相应标高为 718.96~798.13m 之间。地下水的变幅受大气降水、排矿、人工排渗影响较大。

本场地地表水主要为库区内的澄清水区及初期坝前的回水池，库内澄清水区由排矿澄清汇集在尾矿库低洼的中间部分及上游形成，初期坝前的回水池由坝体各处排渗设施排水汇集形成。人工冲填堆积层承压水赋存于库内部分多年冻土层底部，主要为当年冬季尾矿排放时的滞留水，随冻土层的消融，尾粉土的固结排水而逐渐消散。

3.1.4.2 岩土层的渗透性

勘察区段地下水位由西向东逐渐降低，整体地下水流向为两侧山体流向山谷中间，整体方向为由西向东。根据在钻孔中进行的水文试验、室内渗透试验结果，各层岩土的渗透系数详见表 3.1.4.2。

表 3.1.4.2 库区岩土体渗透性分级表

地层编号	地层名称	渗透系数	渗透性分级	备注
		K(cm/s)		
1	素填土（填土层）	3.6E-03	中等透水	
1-1	素填土（初期坝）	(3.0E-02)	强透水	
2	尾粉土（模袋）	5.7E-06	微透水	
3	尾粉土（流塑）	6.3E-06	微透水	
3-1	多年冻土	<1.0E-06	极微透水	经验值
4	尾粉土（软塑）	4.8E-06	微透水	
4-1	多年冻土	<1.0E-06	极微透水	经验值
5	尾粉土（稍密-中密）	5.0E-06	微透水	
5-1	多年冻土	<1.0E-06	极微透水	经验值
6	尾粉土（中密）	4.6E-06	微透水	
7	尾粉土（密实）	4.6E-06	微透水	
8	尾粉土（稍密）	5.1E-06	微透水	
8-1	尾粉土（稍密-中密）	4.3E-06	微透水	
8-2	尾粉土（密实）	2.8E-06	微透水	
8-3	多年冻土	<1.0E-06	极微透水	经验值
9-1	花岗岩（全风化）	(1.1E-03)	中等透水	
9-2	花岗岩（强风化）	2.4E-03	中等透水	
9-3	花岗岩（中风化）	4.0LU	弱透水	

注：括号内数值为利用前期工作成果；岩土体的渗透性分级执行《水利水电工程地质勘察规范》（GB 50487-2008）附录 F。

3.1.4.3 水土腐蚀性评价

该地下水及地表水对混凝土结构具弱腐蚀，对钢筋混凝土结构中钢筋在长期浸水时具微腐蚀性、干湿交替时具弱腐蚀性；该场地环境土尾矿对混凝土结构具弱腐蚀，其他填筑土对混凝土结构具微腐蚀，都对钢筋混凝土结构中钢筋具微腐蚀。

3.1.5 坝体渗透分析

3.1.5.1 坝体浸润线分析

(1) 北侧副坝及堆积子坝浸润线

通过钻探可知，北侧副坝坝体浸润线埋深在 9.10~17.00m 之间，相应标高为 760.59~791.04m 之间，坝体浸润线总体由沉积滩—子坝—初期坝逐渐降低。勘察过程可以发现，由于受 3-1 剖面附近竖向排渗井的影响，该位置附近浸润线较低位。

（2）初期坝及堆积子坝堆积子坝浸润线

本次勘察期间，初期坝及子坝堆积子坝地段浸润线的埋深在 7.10~21.00m 之间，相应标高为 761.02~794.67m 之间，勘察过程可以发现，由于受正在运行的排矿影响，现堆积子坝顶部沉积滩附近地下水位置较高。由于受 4、4-1 剖面附近竖向排渗井的影响，该位置附近浸润线较低。

（3）南侧副坝及堆积子坝浸润线

通过钻探可知，南侧副坝坝体浸润线埋深在 7.60~20.70m 之间，相应标高为 764.27~787.56m 之间，坝体浸润线总体由沉积滩—子坝—初期坝逐渐降低。

3.1.5.2 坝体渗透变形分析

（1）北侧副坝坝址坝肩渗漏性分析

该坝体为不透水堆石坝，坝基大部分地段持力层为全风化-强风化花岗岩，坝址地段经过了防水处理。西侧坝肩接壤风化花岗岩层，风化程度高，节理裂隙较发育；东侧坝肩与东侧主坝北侧坝肩接壤，803m 标高以下接触主要土体为原始的全风化-强风化的花岗岩地层。两侧坝肩现有 803m 标高下接触的主要地层基本一致，未经处理时，有通过岩体风化裂隙渗漏的风险。

（2）初期坝及堆积子坝坝址坝肩渗漏性分析

初期坝坝体为透水堆石坝，坝基持力层为全风化-强风化花岗岩，坝址地段经过了防水处理。北侧坝肩与北侧副坝的东侧坝肩在 803m 标

高以下接触主要土体为原始的全风化-强风化的花岗岩地层；南侧坝肩与南侧副坝的东侧坝肩接壤①素填土及模袋层，稍密-密实。①素填土颗粒不均匀，有大块石。当水位到达两侧坝肩标高时，不经过处理时，北侧坝肩有通过岩体风化裂隙渗漏的风险，南侧坝肩由于模袋层的存在可能有局部有出水点的风险。

（3）南侧副坝坝址坝肩渗漏性分析

该坝体为不透水堆石坝，坝基持力层为全风化-强风化花岗岩，坝址地段经过了防水处理，且副坝的初期坝外坡脚附近进行了止水帷幕施工（正在进行中）。西侧坝肩接壤于填筑土层，并与一期库初期坝坝肩衔接封闭；东侧坝肩与东侧主坝的南侧坝肩接壤 1 素填土及模袋层，稍密-密实。1 素填土颗粒不均匀，有大块石；从钻探、水文试验及现场地质测绘来看，西侧坝肩渗漏性较小，东侧坝肩由于模袋层的存在可能有局部有出水点的风险。

由于在子坝上采用的模袋筑坝，实际运行过程中，模袋子坝库内侧由于接触的尾矿相对于外侧强度低的缘故，本应处于水平状态改变为内低外高的斜面状态，加剧了水平排渗的困难，客观上会导致填筑碎石坝及碎石垫层的区域渗透性大，进而导致堆积子坝外坡面局部可能出现渗水点。

3.1.6 尾矿库冻土层

3.1.6.1 冻土层分布及性质

二期尾矿库库内普遍存在多年冻土层，且分布广泛，厚薄不一，与当时的排放状态、排放时间、气候温度、所处位置等各种因素相关。由钻探揭露的冻土层和通过室内试验，冰冻层土样的物理力学性质如下所示：

(1) 在钻探范围内，多年冻土层大部分集中出露在 770m 标高以上部分，深层多年冻土局部也有揭露，呈不连续透镜体状。

(2) 在钻探范围内，库内多年冻土随深度增加，总含水量相应小幅度逐渐减小，相应的天然密度小幅度逐渐增加。

(3) 在钻探范围内，库内多年冻土随深度增加，密实度也相应增加，抗剪强度指标随深度增加。

(4) 由土工试验可知：3-1 多年冻土平均融化下沉系数为 11.2、4-1 多年冻土平均融化下沉系数为 9.6、5-1 多年冻土平均融化下沉系数为 8.4、8-3 多年冻土平均融化下沉系数为 8.0，依据《冻土工程地质勘察规范》（GB 50324-2014）“多年冻土的融沉性分级”可知（参考粉土）：该 3-1 多年冻土层融沉等级为 IV，融沉类别为强融沉，其他多年冻土层融沉等级为 III，融沉类别为融沉。

3.1.6.2 与以往勘察成果对比

收集二期尾矿库 2018 年中冶沈勘工程技术有限公司的勘察报告（以下简称“《2018 年报告》”）；2020 年中冀石化工程设计有限公司勘察报告（以下简称“《2020 年报告》”）；2023 年中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司竖向排渗效果工程勘查验证项目报告（以下简称“《2023 年复查报告》”），共计 3 份其他公司报告。

表 3.1.6.2 二期尾矿库各年勘察报告冻土层分布表

位置 报告	二期尾矿库冻土层分布	
	堆积坝下	库内
2018 年 报告（滩 顶标高 785m）	坝前及 785 子坝以下零星分布⑥1 尾粉土（冰冻层）透镜体层。	⑤1 尾粉土（冰冻层），为库内表层冰冻层（不做讨论）；⑤3 尾粉土（冰冻层），该层分布不连续，主要揭露于 785 平台下部尾矿区域以及沉积滩内。层厚介于 1.00-1.60m，层底高程介于 771.05-775.58m；⑥1 尾粉土（冰冻层），该层分布不连续，主要揭露于沉积滩内。层厚介于 1.00-1.60m，层底高程介于 760.90-772.22m。

位置报告	二期尾矿库冻土层分布	
	堆积坝下	库内
2020 年报告（滩顶标高 795m）	揭露了 B2-1-1、B2-2-1、B2-3-1、B2-4-1 共计 4 层模袋内冻土层，大都呈透镜体状，位于模袋层表层或底层；B3-1 冻土层层厚(m) 0.20~3.20、层底标高(m) 775.87~779.55，仅出现在南北侧副坝 795 子坝下或在坝下尖灭；B4-1 冻土层层厚(m) 0.50~5.00、层底标高(m) 767.15~779.61，仅出现在南北侧副坝 795 子坝下或在坝下尖灭，东侧主坝位置仅有 9、10 剖的 795 子坝下有出露；B4-2 冻土层层厚(m) 0.40~5.80、层底标高(m) 750.55~763.87，该层大都集中在北侧副坝及东侧主坝 770 标高以下，且具有多层次特征。连续厚层出现在北侧副坝 3 剖面。	库内表层冰冻层（不做讨论）；K1-1 冻土层层厚(m) 1.00~3.80、层底标高(m) 780.35~784.20；K1-2 冻土层层厚(m) 0.50~5.10、层底标高(m) 776.40~780.10；K2-1 冻土层层厚(m) 0.50~5.30、层底标高(m) 769.36~775.03；K2-2 冻土层层厚(m) 1.20~6.50、层底标高(m) 761.89~769.40；K3-1 冻土层层厚(m) 1.10~6.50、层底标高(m) 757.20~761.35；K3-2 冻土层层厚(m) 0.80~4.20、层底标高(m) 750.68~755.70；其中库内 k3 与坝下 B4 冻土层有延续连接关系。
勘察报告（滩顶标高 800m）	8-3 多年冻土：层厚介于 0.50-2.10m，层底高程介于 759.65-782.45m。在北侧副坝呈透镜体状分布。	3-1 多年冻土：层厚介于 0.20-21.30m，层底高程介于 767.55-784.89m；4-1 多年冻土：层厚介于 0.70-8.00m，层底高程介于 770.34-787.79m；5-1 多年冻土：层厚介于 0.90-4.00m，层底高程介于 760.66-771.39m。在库内基本连续分布，在坝前尖灭。
2023 年复查报告（滩顶标高 800m）	2-1-1 模袋内冻土层仅在 2 剖面有出露；3-1 冻土层：层厚介于 1.00~1.50m，层底高程介于 780.09~785.88m；4-1 冻土层：层厚介于 1.60~2.80m，层底高程介于 766.04~774.56m；4-2 冻土层：层厚介于 1.00~3.80m，层底高程介于 754.00~764.19m；	库内无钻孔

由上表对比分析需要做如下补充说明：

（1）由 2018 年报告可知：勘察时二期尾矿库启用了大约 5-6 年时间，初期坝还具备良好的排渗效果，坝下冻层较薄且零星透镜体状分布，比较符合实际状况；

（2）由 2020 年报告可知：勘察时二期尾矿库启用了大约 7-8 年时间，钻探揭示库内基本分布连续的 6 层冻土层，770m 标高以上的冻土层在延伸至堆积坝前时变薄或尖灭，770m 标高以下的部分冻土层延伸至堆积坝内并与堆积坝下的冻土层连为一体。堆积坝下约有 3 层冻土层，但大都为薄层状透镜体分布，且向初期坝方向有尖灭趋势。唯一有较大差

别的是北侧副坝的 3 剖面，揭示的 B4-2 冻土层（标高 762m 以下，层厚约 5.0-6.0m）有连续分布。

（3）由勘察报告（钻探时间 2022 年 11 月-2023 年 1 月）可知：勘察时二期尾矿库启用了大约 8-9 年时间，钻探揭示库内在 760m 标高以上赋存 3 层基本连续的冻土层。堆积坝下仅在北侧副坝 770m 标高下赋存多层、薄层、透镜体状分布的冻土层。

（4）由 2023 年复查报告可知：勘察时二期尾矿库启用了大约 8-9 年时间，堆积坝下揭示了 3 层冻土层存在，但 770m 标高以上的冻土层大都在最高级子坝下尖灭或向初期坝方向尖灭，770m 标高以下的冻土层以不连续薄层状分布。

对比结论：

（1）从四次勘察结果来看，库内存在多层、连续的冻土层各个公司揭示的结果基本一致；堆积坝下揭示的冻土层稍有差异，但以薄层、透镜体状分布的特征是一致的、且都有在最高子坝下变薄或尖灭的规律，特别是 770m 标高以上的堆积坝下冻土层，四次勘察结果规律基本一致，不同之处在于对库内冻土层向库内延伸时处理的原则不同。

（2）堆积坝内的冻土层在浸润线（表层冻层除外）以下以内附近时，水热交换强烈，具备在此地段逐渐尖灭或融化的条件，四次勘察结果也基本揭示了该规律。

（3）堆积坝下 770m 标高以下及库内深处的冻土层，四次勘察结果有一定差异，判断应与钻探时的天气气温、钻探时采用的热循环水等因素有关，天气越冷，深处的冻层越不容易查明。

3.1.7 库内超静孔隙水

3.1.7.1 库内超静孔隙水概况

二期尾矿库库内的尾矿在 40.0m 深度以上处于极缓慢的沉积状态，通过钻探库内的钻孔可以发现，超静孔隙水存在于穿透某一层冻层之后出现，且有多层超静孔隙水（钻机机长在钻探过程中体会到，由于大部分承压水头未能漫出孔口，所以没有记录，仅记录高于孔口的承压水），几乎所有的库内钻孔均存在超静孔隙水，且越靠近堆积坝超静孔隙水压力越大，超静孔隙水压力水头从刚漫出孔口至高出孔口地面 0.5-4m 高，且涌水量均较大。如钻孔 F31，在穿透深度 32.5m 冻层后，超静孔隙水从孔内喷涌而出，喷涌数天才逐渐变小。探究其原因，库内超静孔隙水的形成与当地冬季极低的气温有极大关系。

3.1.7.2 超静孔隙水的影响

(1) 连续的多年冻土层使库内富集了大面积的超静孔隙水层，使钻探施工难度增大，库内大多钻孔需要前期引孔释放承压水后才能施钻，等待期从几小时至几天不等。

(2) 超静孔隙水的存在使库内有效自重应力减小，尾矿自重不易固结，不利于尾矿库坝体安全。

3.1.7.3 消除超静孔隙水的措施

(1) 每年的 10-11 月份进入库内施钻卸压孔，使超静孔隙水得以释放；

(2) 设计更为优化的排渗措施。

3.1.8 二期尾矿库岩土物理力学性质参数推荐值

本次勘察岩土物理力学性质参数推荐值详见下表 3.1.8 所示。

表 3.1.8 岩土物理力学性质参数推荐值

地层编号	地层名称	重力密度	抗剪强度指标		干密度	渗透系数	承载力特征值	压缩模量
			粘聚力	内摩擦角				
		r (KN/m ³)	C (kPa)	Φ (度)	ρ _d g/cm ³	K (cm/s)	f _{ak} kPa	E _s Mpa
1	素填土 (筑坝层)	21.8	5.0	32.0	/	3.9E-03	/	/
1-1	素填土 (初期坝)	(22.1)	5.0	35.0	/	(3.0E-02)	/	/
2	尾粉土 (模袋)	20.5	11.1	24.6	/	5.7E-06	/	/
3	尾粉土 (流塑)	19.0	8.8	1.5	1.50	6.3E-06	/	/
3-1	多年冻土	16.9	10.0	10.2	/	<1.0E-06	400	30.0
4	尾粉土 (软塑/松散)	19.7	11.5	15.2	1.56	4.8E-06	80	6.6
4-1	多年冻土	17.1	12.8	13.3	/	<1.0E-06	400	30.0
5	尾粉土 (松散-稍密)	19.9	17.7	21.3	1.60	5.0E-06	120	7.5
5-1	多年冻土	17.2	14.1	14.2	/	<1.0E-06	400	30.0
6	尾粉土 (稍密-中密)	20.2	17.9	22.3	1.66	4.6E-06	180	8.1
7	尾粉土 (中密-密实)	20.5	19.4	22.9	1.69	4.6E-06	200	8.7
8	尾粉土 (稍密-中密)	20.5	16.1	23.2	1.68	5.1E-06	180	8.5
8-1	尾粉土 (中密-密实)	20.5	19.2	25.6	1.69	4.3E-06	200	8.5
8-2	尾粉土 (密实)	20.7	18.4	27.5	1.70	2.8E-06	240	9.2
8-3	多年冻土	17.2	16.0	15.5	/	<1.0E-06	400	30.0
9-1	花岗岩 (全风化)	(20.6)	(9.0)	(32.0)	/	2.84E-03	250	8.0
9-2	花岗岩 (强风化)	(23.5)	(15.0)	(35.0)	/	1.62E-03	700	50.0
9-3	花岗岩 (中风化)	27.1	/	/	/	2.54LU	2000	/

注：1. 括号内数值为利用前期资料结论；粗粒土的模量为变形模量；⑦花岗岩中风化渗透系数指标单位为吕荣；多年冻土渗透系数按极微透水考虑。
2. 稳定性计算时，3尾粉土（流塑）表层0.0-3.0m建议内摩擦角按0考虑。

3.1.9 场地地震效应

依据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）的划分，尾矿库所在地位于新巴尔虎右旗，该地区地抗震设防烈度为VI度，二类场地地震动峰值加速度值为0.05g。

场地抗震设防烈度为VI度，粉土的黏粒含量不小于10时，可判别为不液化土，本场地内尾粉土的黏粒含量均不小于10，因此该场地的饱和粉土为非液化地层。

3.1.10 场区不良地质作用及地质灾害

二期尾矿库库区范围山体平缓，无岸边滑坡、塌陷、无泥石流等其他不良地质作用及地质灾害。有高浓度尾矿、尾粉土（冰冻层）等地层，为特殊性土。

3.1.11 工程勘察结论

通过现场水文地质调查、水文地质钻探、水文地质试验等工作，得出以下结论：

（1）勘察场地山体平缓，地层较为简单，分布不均匀，地质构造较为简单，场地基本稳定，无活动性构造断裂通过，适宜修筑尾矿库及其附属设施。

（2）尾矿库地层组成及物理力学指标建议值结论：

尾矿堆积物主要由尾粉土组成，局部为尾粉质黏土薄夹层，堆积子坝、副坝及初期坝由素填土（块石、碎石、黏性土）组成，其下天然地层为花岗岩（全风化-中风化）。

（3）场区地下水及浸润线结论：

本次勘察期间，地下水埋深在0.50~21.00m之间，相应标高为718.96~798.13m之间。地下水的变幅受大气降水、排矿、人工排渗影

响较大。北侧副坝坝体浸润线埋深在 9.10~17.00m 之间，相应标高为 760.59~791.04m 之间；初期坝及堆积子坝地段浸润线的埋深在 7.10~21.00m 之间，相应标高为 761.02~794.67m 之间；南侧副坝坝体浸润线埋深在 7.60~20.70m 之间，相应标高为 764.27~787.56m 之间。坝体浸润线总体由沉积滩—子坝—初期坝逐渐降低。

(4) 该地下水及地表水对混凝土结构具弱腐蚀，对钢筋混凝土结构中钢筋在长期浸水时具微腐蚀性、干湿交替时具弱腐蚀性；该场地环境土对混凝土结构具弱腐蚀，其他填筑土对混凝土结构具微腐蚀，都对钢筋混凝土结构中钢筋具微腐蚀。

(5) 二期尾矿库无不良地质作用。

(6) 库区范围山体平缓，无岸边滑坡、塌陷、泥石流等其他不良地质作用及地质灾害。高浓度尾矿、尾粉土（冰冻层）等地层，为特殊性土。

3.1.12 2023 年延续报告

3.1.12.1 工程勘察分析

(1) 多年冻土影响分析

① 冻土层分布及性质

该尾矿库多年的勘察其中目的之一就是查明库内冻土层的分布及规律，多次专家审查的建议也是需要查明冻土层的分布规律。通过分析该尾矿库多年的勘察资料可以得出如下结论：

a. 在钻探范围内，多年冻土层大部分集中出露在 770m 标高以上部分，深层多年冻土局部也有揭露，呈不连续透镜体状。

b. 初期坝及堆积坝坝坡垂直投影范围内冻层分布较少，且呈不连续透镜体状。

c. 该尾矿库内冻土层应区别与天然地层中的冻土层，其尾矿性质与季节性冻结、部分融化以及筑坝压重、排渗泄压等影响较大。其中，该尾矿的性质及冻结状态决定了该尾矿冻层在考虑抗剪参数时应按不利组合考虑。

d. 由于排矿方式、排矿时间、排矿位置、筑坝时间、尾矿沉积变形、多年气候不一、钻探季节、技术水平等各种因素影响，综合分析以往勘察资料可以发现，冻土层的规律处在单一临近钻孔的对比上，并不存在按排放年份分层的明晰规律。

② 冻土层的影响

a. 通过本次夏季的延续勘察，发现库内的多年冻土层与层间的承压水对尾矿的固结度有很大的影响。相比《2023年主报告》的认识，本次夏季的延续勘察更进一步认识到多年冻土层与层间的承压水对尾矿固结度产生的根本性影响。由于层间承压水的存在，使冻土层间的尾矿受到的有效应力削弱，致使未冻结的尾矿不易自然完成自重固结，并且形成了冻土层间上部为透镜体离析水，下部为欠固结的尾矿，使尾矿固结压密过程变得缓慢，形成了尾矿库内除冻土层及素填土层外的局部尾砂欠固结状态。

b. 由于冻土层的存在且规律性较差，在稳定性计算时，库内及初期坝顶面标高以上的冻土层要按照不利情况考虑（该不利情况是指：局部稳定性计算时，冻土层按推荐的抗剪强度参数参与计算；整体稳定性计算时，冻土层按临近地层抗剪强度参数低的值参与计算），以涵盖其不均匀性及冻层间承压水的不利影响。

（2）坝体破坏模式定性分析

① 坝体渗透破坏分析

该尾粉土的渗透变形特征为“过渡型”，易在尾矿与筑坝碎石材料

接触的部位发生接触冲刷。由于该尾矿极低的渗透特性，且在堆积坝体上直接接触的为渗透系数大的碎石类土，两者渗透系数差距很大，可能在两者接触的位置发生接触冲刷。

② 坝体强度破坏分析

a 原始地层强度破坏分析

勘察场地沟谷平缓，谷底纵向坡度约 2° 。两侧山体坡度较为平缓，平均地面坡度 $5^{\circ}-10^{\circ}$ ，地层岩性较为简单，地质构造较为简单，基岩埋藏浅，岩性主要以中生代岩浆岩地层为主，分布深厚，场地稳定，无活动性构造断裂，不易发生沿原始地层接触面或穿越原始地层而破坏。

b 堆积坝强度破坏分析

该坝体 770m 标高以下为初期坝，废石砌筑，原始地层为良好基础持力层，不易在 770m 标高以下发生强度破坏；770m 标高以上为堆积坝区域，该区域库内尾矿多处处于欠固结状态。

(3) 本次勘察地层物理力学参数分析

本次夏季延续勘察后，结合本次勘察的岩土试验，对岩土物理力学性质参数推荐值进行局部调整（以黑色加重字体表示），调整的主要范围内 4-8 层（含其亚层）的抗剪强度及压缩（变形）模量。

本次勘察岩土物理力学性质参数推荐值详见下表：

表 3.1.12.1 岩土物理力学性质参数推荐值

地层编号	地层名称	重力密度	抗剪强度指标		干密度	渗透系数	承载力特征值	压缩模量
			粘聚力	内摩擦角				
		r	C	Φ	ρd	K	f_{ak}	E_s
		(KN/m ³)	(kPa)	(度)	g/cm ³	(cm/s)	kPa	Mpa
1	素填土(筑坝层)	21.8	5.0	32.0	/	3.9E-03	/	/
1-1	素填土(初期坝)	(22.1)	5.0	35.0	/	(3.0E-02)	/	/
2	尾粉土(模袋)	20.5	11.1	24.6	/	5.7E-06	/	/
3	尾粉土(流塑)	19.0	8.8	1.5	1.50	6.3E-06	/	/
3-1	多年冻土	16.9	10.0	10.2	/	<1.0E-06	400	30.0
4	尾粉土(软塑/松散)	19.7	11.5	14.5	1.56	4.8E-06	80	6.0
4-1	多年冻土	17.1	12.8	13.3	/	<1.0E-06	400	30.0
5	尾粉土(松散-稍密)	19.9	16.4	18.8	1.60	5.0E-06	120	7.0
5-1	多年冻土	17.2	14.1	14.2	/	<1.0E-06	400	30.0
6	尾粉土(稍密-中密)	20.2	16.8	20.9	1.66	4.6E-06	180	7.6
6-1	多年冻土	17.2	16.0	15.5	/	<1.0E-06	400	30.0
7	尾粉土(中密-密实)	20.5	17.2	21.2	1.69	4.6E-06	200	8.0
7-1	多年冻土	17.2	16.0	15.5	/	<1.0E-06	400	30.0
8	尾粉土(稍密-中密)	20.5	16.1	21.4	1.68	5.1E-06	180	8.0
8-1	尾粉土(中密-密实)	20.5	19.2	23.9	1.69	4.3E-06	200	8.5
8-2	尾粉土(密实)	20.7	18.4	24.8	1.70	2.8E-06	240	9.2
8-3	多年冻土	17.2	16.0	15.5	/	<1.0E-06	400	30.0
9-1	花岗岩(全风化)	(20.6)	(9.0)	(32.0)	/	2.84E-03	250	8.0
9-2	花岗岩(强风化)	(23.5)	(15.0)	(35.0)	/	1.62E-03	700	50.0
9-3	花岗岩(中风化)	27.1	/	/	/	2.54LU	2000	/

注：1. 括号内数值为利用前期资料结论；粗粒土的模量为变形模量；⑦₃花岗岩中风化渗透系数指标单位为吕荣；多年冻土渗透系数按极微透水考虑。
2. 稳定性计算时，3尾粉土(流塑)表层 0.0-5.0m 建议内摩擦角按 0 考虑。

3.1.12.2 结论及建议

(1) 结论

① 勘察场地山体平缓，地层较为简单，分布不均匀，地质构造较为简单，场地基本稳定，无活动性构造断裂通过，适宜堆筑尾矿库及其附属设施。

② 有关尾矿库的堆积方式、运行状况、现状条件见下表 3.1.12.2-1 所示。

表 3.1.12.2-1 尾矿库现状主要参数

地段	构筑物名称	构筑物参数	沉积滩坡比	干滩长度
二期尾矿库	北侧副坝	副坝长度 1209m，坝顶宽为 8m（兼道路），上、下游坡比均为 1:2.5，坝顶标高为 770m，采用采场剥离废石堆筑，依据原始地貌起伏堆筑而成，最大坝高约 17m，为不透水堆石坝。堆积子坝坝高约 28.0m-35.0m，达到 6 级子坝，堆积坝整体坡比平均值不陡于 1:4.0。勘察期间，尾矿库堆积子坝坝顶高程约 804.00m，滩顶标高约 803.00m	8.0%	>300.0m
	东侧主坝	初期坝坝轴线长 1195m，坝底标高约 716.00m，坝顶标高约 770.00m，坝高约 54m，坝顶宽约 8m（兼做通行道路），上下游坡比约 1:2.5，为透水堆石坝。现状堆积子坝坝高约 35m，已堆积 7 级子坝，总坝高达 94m，堆积坝整体坡比平均值不陡于 1:4.0。勘察时期，尾矿库堆积子坝坝顶高程约 808.00m，滩顶标高约 802.00m。	10.4%	>300.0m
	南侧副坝	副坝长度 961m，坝顶宽为 8m（兼道路），上下游坡比均为 1:2.5，坝顶标高为 770m，为不透水堆石坝。堆积子坝坝高约 33m，已堆积 7 级子坝，堆积坝整体坡比平均值不陡于 1:4.0。勘察时期，尾矿库堆积子坝坝顶高程约 805.00m，滩顶标高约 803.50m。	9.8%	>300m

③ 尾矿库地层组成及物理力学指标建议值结论：

尾矿堆积物主要由尾粉土组成，局部为尾粉质黏土薄夹层，堆积子坝、副坝及初期坝由素填土（块石、碎石、黏性土）组成，其下天然地层为花岗岩（全风化-中风化）。

④ 场地除二期尾矿库 3 尾粉土不宜做天然地基外，其余各层土均

可做天然地基。

⑤ 场区地下水及浸润线结论：

本次勘察期间，地下水埋深在 0.20~19.20m 之间，相应标高为 719.68~802.84m 之间。地下水的变幅受大气降水、排矿、人工排渗影响较大。北侧副坝坝体浸润线埋深在 6.40~19.20mm 之间，相应标高为 761.48~792.54m 之间；东侧主坝浸润线的埋深在 9.80~19.00m 之间，相应标高为 764.36~788.59m 之间。浸润线受正在运行的排矿及局部竖向排渗井的影响，坝体浸润线总体由沉积滩—子坝—初期坝逐渐降低。

⑥ 本次勘察为夏季勘察，钻探期间冻土层岩芯较明显，现场极易分辨，故揭露冻土层层数及厚度较准确，相对以往冬季勘察，所揭示的冻土层层数有所增加，根据本次在北副坝及东主坝进行钻探的结果，冻土层分布情况如表 3.1.12.2-2。

表 3.1.12.2-2 二期尾矿库本次勘察冻土层分布表

位置 报告	二期尾矿库冻土层分布	
	堆积坝下	库内
北副坝	795 以上存在多层冻土层，随坝高增加，冻层数量骤增，较集中分布于 800-805 坝下标高 760.00-785.00 范围，冻土层分布连续，与库内冻土层连续分布，795 坝方向尖灭。	多年冻土在尾矿范围内普遍存在，层数较多，厚薄不一，最大埋藏深度 51.00m 相当于标高 752.14m。
东主坝	795-800 坝下存在极少量冻土层，且呈透镜体分布，805-810 坝下存在少量冻土层，标高 760.00-784.00m 范围较连续，标高 760m 以下基本无冻土层。	多年冻土在尾矿范围内普遍存在，层数较少，厚薄不一，最大埋藏深度 47.10m 相当于标高 754.24m。

⑦ 工勘孔内尾砂试验结果表明以超固结比判定固结时为欠固结，以固结度估算固结程度时，坝体下土体固结度明显好于库内，但总体固结度小于 1，需要较长的时间完成固结。

(2) 建议

① 重视多年冻土层及层间承压水的影响，应按不利情况考虑其对稳定性的影响，4-8 层（含其亚层）在稳定性计算时，要考虑该区间范围有效应力传递削弱的影响；

② 碎石压坡和对堆积坝下地层的加固应作为后续加高设计主要的

坝基处理措施，避免计算滑裂面剪出口出现在初期坝顶面标高附近。

3.1.13 2024 年西侧坝报告

3.1.13.1 坝址位置及地形、地貌

拟建西侧坝体位于一期库初期坝及堆积坝下游（部分地段与一期库初期坝及堆积坝重叠）、二期尾矿库上游澄清水区域附近。二期尾矿库位于选矿厂南侧一东西走向的浅沟中，初期坝坝址距原一期库主坝下游 2.0km 处，属低山丘陵地貌，周围山体西北高东南低，标高介于 756.00-860.00m，相对高差 104.00m 左右，沟长约 4.0km（含一期库），该沟谷地势平坦开阔，呈浅宽型，沟谷南北两岸平均坡度 5° - 10° ，平均利用长度 2.0km，平均利用宽度 2.1km，沟底纵向坡度 2.0%。尾矿库周围植被简单，多为草类。坝址位置地貌见图 3.1.13.1。



图 3.1.13.1 坝址区现状图（左图：镜向北、右图：镜向南）

3.1.13.2 拟建西侧坝体的工程地质条件

（1）坝址范围地层分布规律及组成

由于高浓度性尾矿排放分选不明显，导致整体尾矿堆积体沉积规律不明显，大小颗粒混杂沉积，仅能在宏观上发现上游澄清水区细颗粒变

多。该拟建西侧坝体坝址范围内以尾粉土和尾粉质黏土为主，在尾矿堆积层的下部即为天然地层。

（2）地层组成

坝址范围及其影响地段的地层结构自上而下依次为：

1 素填土（堆积子坝、副坝筑坝材料）：黄褐-灰色，棱角形，主要由碎石、黏性土组成，一般粒径 60-100mm，最大粒径 500mm，为矿山采矿剥离废石，为堆积子坝或副坝的筑坝材料，部分地段为填筑路基，中密-密实。层厚介于 1.40-22.50m，层底高程介于 781.32-805.84m。

1-1 素填土（一期库初期坝）：黄褐-灰色，棱角形，主要由碎石、块石组成，一般粒径 60-200mm，最大粒径 500mm，为矿山采矿剥离废石，为初期坝筑坝材料。层厚介于 3.10-30.10m，层底高程介于 756.43-777.11m。

2 尾粉土（模袋）：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，为尾矿库筑坝所用模袋内尾矿，水上湿，水下饱和，稍密-中密。该层仅在设计的 775、785、795 子坝上采用（770 池田法的坝埂上采用），层厚介于 4.30-11.40m，层底高程介于 787.17-790.60m。

3 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，饱和，局部为尾粉质黏土，流塑。该层在库内普遍分布，位于库内表层，层厚介于 1.40-15.70m，层底高程介于 781.33-804.76m。

3-1 多年冻土：灰色，为库内冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。该层在库内普遍存在（仅局部缺失），层厚介于 0.30-3.80m，层底高程介于 783.24-803.04m。

3-3 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，饱和，局部为尾粉质黏土，流塑。该层主要分布在澄清水区，位于地表水体下，层厚介于 1.70-11.10m，层底高程介于 788.93-799.54m。

4 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，水上湿，水下饱和，局部为尾粉质黏土，软塑。该层在库内普遍存在（仅局部缺失），层厚介于 0.50-14.90m，层底高程介于 769.88-786.52m。

4-1 多年冻土：灰色，为库内冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。该层在库内普遍存在（仅局部缺失），层厚介于 0.90-2.50m，层底高程介于 771.94m-785.06m。

5 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，水下饱和，局部为尾粉质黏土，松散-稍密。该层在库内普遍存在（仅局部缺失），层厚介于 1.00-20.10m，层底高程介于 753.78m-775.43m。

5-1 多年冻土：灰色，为库内冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。该层分布不连续，呈透镜体状或岛状，层厚介于 1.50-3.80m，层底高程介于 768.37m-773.93m。

8 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，为尾矿堆积层，水上湿，水下饱和，局部为尾粉质黏土，稍密-中密。该层分布在坝体及其附近，层厚介于 1.40m-10.60m，层底高程介于 774.40m-793.15m。

8-1 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，为尾矿堆积层，水上湿，水下饱和，中密，局部为尾粉质黏土，局部密实。该层仅在 T29 钻孔有揭露，揭露厚度 3.60m。

8-3 多年冻土：灰色，为平台下冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。该层分布在坝体及其附近，该层仅在 T83 钻孔有揭露，揭露厚度 0.90m。

9-1 花岗岩（Mz）：灰白色、杂色，全风化，主要矿物由长石、石

英及少量暗色矿物组成，花岗结构，块状构造，极破碎，岩芯呈碎块状， $RQD < 10$ ，软岩-较软岩，岩体基本质量等级为V。该层分布不连续，揭露厚度介于1.10-6.30m，相应高程介于750.88m-788.05m。

9-2 花岗岩（Mz）：灰白色、杂色，强风化，主要矿物由长石、石英及少量暗色矿物组成，花岗结构，块状构造，破碎，岩芯呈碎块状， $10 \leq RQD < 25$ ，软岩-较软岩，岩体基本质量等级为V。本次钻探大部分钻孔未穿透该层，最大揭露厚度7.40m。

9-3 花岗岩（Mz）：灰白色，中风化，主要矿物由长石、石英及少量暗色矿物组成，花岗结构，块状构造，较破碎-较完整，岩芯呈短柱状、长柱状， $25 \leq RQD < 75$ ，较软岩-较硬岩，岩体基本质量等级为IV-III。本次钻探大部分钻孔未穿透该层，最大揭露厚度3.00m。

(3) 岩土物理力学性质参数推荐

表 3.1.13.2 岩土物理力学性质参数推荐值

地层编号	地层名称	重力密度	抗剪强度指标		干密度	渗透系数	承载力特征值	压缩模量
			粘聚力	内摩擦角				
		r	C	Φ	ρ_d	K	fak	Es
		(KN/m ³)	(kPa)	(度)	g/cm ³	(cm/s)	kPa	Mpa
1	素填土 (筑坝层)	21.8	5.0	32.0	/	3.9E-03	/	/
1-1	素填土 (初期坝)	(22.1)	5.0	35.0	/	(3.0E-02)	/	/
2	尾粉土 (模袋)	20.5	11.1	24.6	/	5.7E-06	/	/
3	尾粉土(堆积坝、 沉积滩)	19.5	11.4	1.8	1.53	(6.3E-06)	/	/
	尾粉土 (澄清水区)	19.4	10.9	1.4	1.52	12.4E-06	/	/
3-1	多年冻土	16.9	10.0	10.2	/	<1.0E-06	400	30.0
3-3	尾粉土 (高浓度尾矿)	14.0	0.0	0.6	/	/	/	/
4	尾粉土 (堆积坝、沉积 滩)	19.7	14.1	11.7	1.56	(4.8E-06)	80	6.7
	尾粉土 (澄清水区)	19.7	14.9	10.2	1.56	8.5E-06	70	6.6

地层编号	地层名称	重力密度	抗剪强度指标		干密度	渗透系数	承载力特征值	压缩模量
			粘聚力	内摩擦角				
		r	C	Φ	ρd	K	fak	Es
		(KN/m ³)	(kPa)	(度)	g/cm ³	(cm/s)	kPa	Mpa
4-1	多年冻土	17.1	12.8	13.3	/	<1.0E-06	400	30.0
5	尾粉土(堆积坝、沉积滩)	20.1	20.9	19.3	1.61	(5.0E-06)	140	7.1
	尾粉土(澄清水区)	20.1	17.4	15.1	1.61	7.4E-06	120	7.1
5-1	多年冻土	17.2	14.1	14.2	/	<1.0E-06	400	30.0
8	尾粉土(稍密-中密)	20.5	16.1	21.4	1.68	5.1E-06	180	8.0
8-1	尾粉土(中密-密实)	20.5	19.2	23.9	1.69	4.3E-06	200	8.5
8-3	多年冻土	17.2	16.0	15.5	/	<1.0E-06	400	30.0
9-1	花岗岩(全风化)	(20.6)	(9.0)	(32.0)	/	2.84E-03	250	8.0
9-2	花岗岩(强风化)	(23.5)	(15.0)	(35.0)	/	1.62E-03	700	50.0
9-3	花岗岩(中风化)	27.1	/	/	/	2.54LU	2000	/

注：1. 括号内数值为利用前期资料结论；粗粒土的模量为变形模量；2. ⑦3 花岗岩中风化渗透系数指标单位为吕荣；多年冻土渗透系数按极微透水考虑；3. 本次勘察除了 3-5 层不含其层间冻层，其他地层参数利用了《2023 年主报告》数值。

3.1.13.3 结论及建议

(1) 结论

① 勘察场地原始地形平缓，地质构造较为简单，场地基本稳定，无活动性构造断裂通过，现状地层较为复杂，分布不均匀，经地基处理、检测合格、满足稳定性计算要求后可以筑坝。

② 坝址范围内的地层结构见 2.2.1.12.2 所述。场地除 3 尾粉土、3-1 多年冻土、3-3 尾粉土、4 尾粉土、4-1 多年冻土不宜做天然地基外，其余各层土均可做天然地基。场地各层土的承载力特征值及压缩模量 Es 建议采用表 2.2.1.12.2 的数值。

③ 作为尾矿库稳定性计算依据，其主要物理力学性质指标建议值

可采用表 2.2.1.12.2。其中当在堆积坝区域进行稳定性分析时，可采用《2023 年加高扩容报告》中推荐值。当在沉积滩、澄清水区进行稳定性分析时，建议采用表 2.2.1.12.2 数值。

④ 本次勘察期间，地下水埋深在 0.00~9.20m 之间，相应标高为 782.82~808.36m 之间。地下水的变幅受大气降水、排矿、人工排渗影响较大。该地下水及地表水对混凝土结构具弱腐蚀，对钢筋混凝土结构中钢筋在长期浸水时具微腐蚀性、干湿交替时具弱腐蚀性；该场地环境土尾矿对混凝土结构具弱腐蚀，其他填筑土对混凝土结构具微腐蚀，都对钢筋混凝土结构中钢筋具微腐蚀。

⑥ 坝址范围无岸边滑坡、塌陷、无泥石流等其他不良地质作用及地质灾害。有素填土、尾粉土（膜袋）、膏体尾矿、多年冻土等特殊土地层。

⑦ 依据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）的划分，该区地震动峰值加速度值为 0.05g，反应谱特征周期为 0.35s。场地饱和粉土为不液化地层。

⑧ 采场与排土场有足量的弃石供筑坝选择，物理力学性质好，且采场和排土场均距离尾矿库较近，可以满足筑坝需要。

（2）建议

① 地基处理措施建议采用碎石桩，处理深度达到原始地层或根据稳定性计算结果达到最危险滑动面下不小于 2.0m 的深度。

② 现状条件下，坝基、坝肩均稳定。

③ 坝址地段澄清水区建议先将水体排出，固结一段时间后再进行地基处理；

④ 应加强地基土抗水平力的措施；

⑤ 在沉积滩上碎石桩施工时，应考虑冻土层融化的不利影响。

3.2 尾矿库周边环境

3.2.1 与采选工业设施的相互影响

尾矿库区周边均为乌山矿及承包单位的生产生活设施，无其他居民区及工矿企业等，尾矿库周边环境敏感点距离尾矿库最终边界的距离见表 3.2.1。尾矿库周边环境示意图见图 3.2.1。

表 3.2.1 尾矿库周边环境敏感点一览表

环境要素	敏感点	最低标高 (m)	相对方位	与工程距离
生产辅助设施	易普力	812.0	西	距尾矿坝 1054m
	生产辅助区	808.3	西北	距尾矿坝 1120m
	中铁十九局驻地	804.6	西	距尾矿坝 1860m
工业设施	尾矿制备车间	809.8	北	距尾矿坝 1160m
	选矿厂	810.0	西	距尾矿坝 1460m
	露天采场	--	西	距尾矿坝 2.4km
	排土场	--	西	距尾矿坝 2.4km

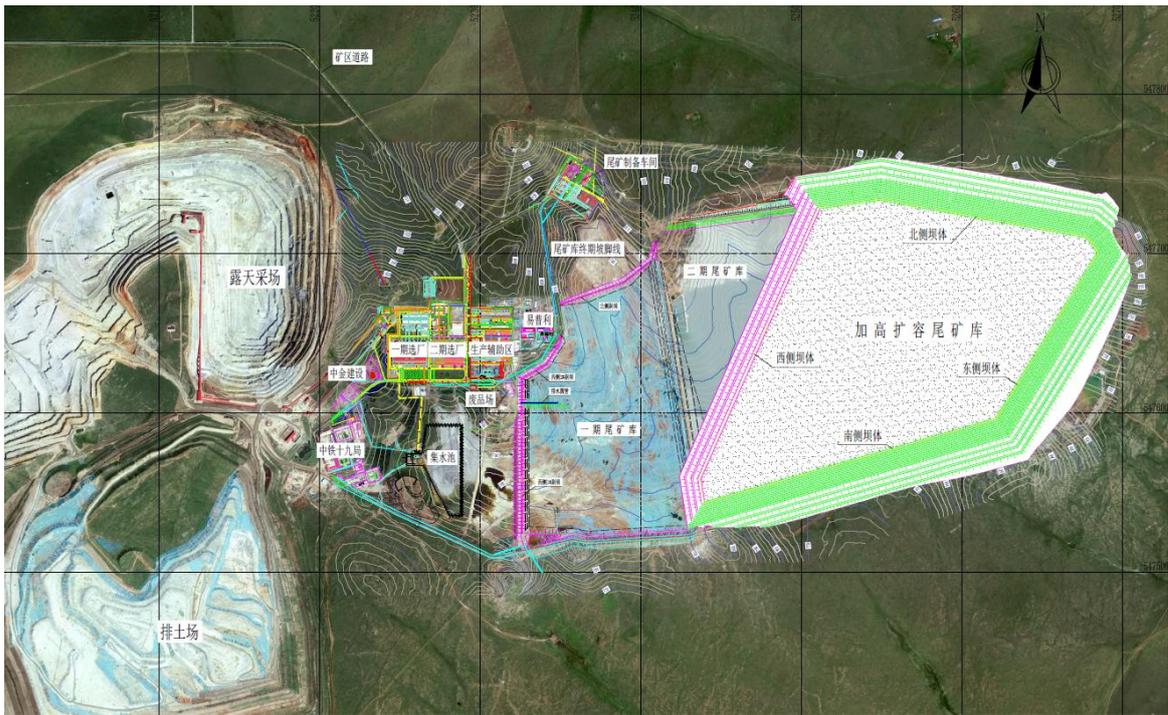


图 3.2.1 尾矿库周边环境图

尾矿库各侧坝体坡脚起至下游尾矿流经路径 1 公里范围内无其他居民、工矿企业和交通等重要设施。尾矿库与周围重要设施距离满足《关于印发防范化解尾矿库安全风险工作方案的通知》（应急〔2020〕15 号）

文件要求。

3.2.2 对下游居民的影响

乌山尾矿库地处草原牧区，人口密度很小。尾矿坝坝址下游 1km 内的牧民点均已搬迁，初期坝下游无其他居民，符合尾矿库选址要求。

3.2.3 对环境的影响

根据工程勘察和筑坝研究提供的库内尾砂地层渗透系数均在 $10^{-5}\text{cm/s} \sim 10^{-6}\text{cm/s}$ 之间，尾矿堆积物总体呈弱透水性，高浓度尾矿本身起到天然防水层的作用，且在乌山尾矿库周边设置连续墙+帷幕灌浆截渗设施，防止渗水流入下游，防渗墙的整体渗透系数不大于 5lu 。防渗墙与回水池间设置多座集水井，将渗水集中扬送至库内回水区，这些设施都确保了周围的水体环境不受影响。

3.2.4 对一期尾矿库的影响

(1) 加高扩容坝体稳定性对一期尾矿库的影响分析

二期尾矿库原设计终期坝顶标高与一期尾矿库设计终期坝顶标高相同，均为 810m，一期尾矿库位于二期尾矿库上游，现状条件下，二期尾矿库不会对一期尾矿库构成安全威胁。尾矿库加高扩容工程仅在二期尾矿库内进行，仅有西侧坝体靠近一期尾矿库。西侧坝体采用中线式废石筑坝方案，子坝及下游坝壳均采用废石堆筑，子坝与坝壳共同构成坝体，平均外坡比为 1:4；西侧坝体基础通过现场试验，采取能够保证坝体安全的振冲碎石桩坝基处理方案。利用废石筑坝及采取有效的坝基处理措施，大大缓解了加高坝体的安全风险。通过对加高扩容后尾矿坝的抗滑稳定计算，其坝体在各个工况下均满足规范最小安全系数的要求，其抗滑稳定系数较高，尾矿坝安全性裕度较大。因此，尾矿库扩容工程

不会对一期尾矿库运行产生安全威胁。

（2）加高扩容尾矿库排洪方式对一期尾矿库的影响分析

根据尾矿库加高扩容工程西侧坝体筑坝位置，西侧坝体施工后，原二期尾矿库内“井-管”式排水设施位于加高扩容工程尾矿库外，可作为利旧设施。加高扩容尾矿库为平地型，库内不具备修建排水井条件，根据尾矿库库区及回水条件，新建排水设施采用“废石码头+溢洪道”的形式，排水设施布置在西侧坝体中间位置。加高扩容尾矿库排水形式及排水路径为：库内溢洪道→穿坝排水圆管→排水明渠→坝外集水池→原二期库内排水井→排水涵管→二期尾矿库外坝肩排水沟。该套排洪系统均在二期尾矿库内建设及运行，且泄流能力满足加高扩容尾矿库泄洪要求。同时，由于排洪系统出口位置位于二期尾矿库尾矿坝下游，因此，在满足其安全泄洪时并不会对一期尾矿库造成不利影响。

综上所述，从加高扩容尾矿库的坝体稳定性、排洪方式等方面分析，均不会对一期尾矿库的运行产生不利影响。

4 前期进行的工程勘察和开展研究简述

4.1 工程研究方向及必要性

依据尾矿库的加高扩容工程设计方案，尾矿库加高扩容后尾矿库最终坝顶标高 840m、最大坝高为 124m、总库容 30392 万 m^3 ，为二等库，尾矿坝级别为 2 级。

该尾矿库安全方面存在主要影响因素包括以下几个方面：

(1) 高浓度排矿入库尾矿不分级、渗透系数低（ 10^{-6} cm/s 量级）不易固结；

(2) 项目地处高寒地区，库内存在尾矿冻土层，导致库内沉积地层存在超孔压；

(3) 加高扩容工程中，西侧坝体位于原二期尾矿库尾软泥和水区，坝基为 40m~50m 深度的沉积尾矿（尾粉土），自上而下分别为流塑、软塑、可塑状态，其软塑下限最大埋深 30m，坝基强度低，未经处理不满足筑坝要求。

(4) 2 级尾矿坝抗震可靠性问题。

针对（1）、（2）因素，设计采用中线法废石筑坝方案，可有效预防坝体上升过程中，库内尾矿不固结（固结差）带来的影响，该方案经验成熟，无需试验支撑。

根据以往软土地基工程处理经验，西侧副坝地基处理选择振冲碎石桩加固处理方案。为了确定该地基处理方案在本工程的可行性和可靠性，并为设计提供必要的参数，进行西侧坝体筑坝区域坝基处理专项试验研究。

地震对尾矿坝的安全影响及风险程度与建筑场地地质情况及尾矿库溃坝致灾害程度有关。依据《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015) 的划分，项目所在地抗震设防烈度为 VI 度，二类场地地震动峰值加速度

值为 0.05g。尾矿库加高扩容后，尾矿坝的等级为 2 级，最大坝高 124m，从安全和风险角度考虑，该尾矿库的抗震设计烈度按 VII 度设防。依据相关规定，需要进行尾矿库三维渗流和地震动力稳定性方面的研究，确定尾矿库加高扩容工程坝体渗流稳定和抗震安全可靠，并为设计提供支撑。

4.2 研究概况及结论

（1）西侧坝体筑坝区域坝基处理试验研究

西侧坝体筑坝区域坝基处理试验研究由中国京冶工程技术有限公司完成。2024 年 11 月 1 日~2024 年 11 月 22 日完成了试验段(面积 1600m²)的试验施工及碎石桩、桩间土、堆坝变形等试验检测工作，出具了《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼尾矿库加高扩容工程西侧坝体筑坝区域坝基处理试验段工程试验研究报告》。根据该试验研究报告结论，西侧副坝坝基采用 15m、30m 长短桩结合处理后，地基强度大幅提高，沉陷变形可控，满足坝体稳定要求。

（2）尾矿库三维渗流和地震动力稳定性研究

尾矿库加高扩容工程三维渗流和地震动力稳定性研究工作由应急管理部信息研究院完成，出具了《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼尾矿库加高扩容工程三维渗流分析报告》和《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼尾矿库加高扩容工程地震动力稳定性分析报告》。研究结果表明，该尾矿库加高扩容设计方案安全可靠，尾矿坝满足渗流稳定和静动力稳定要求。

上述研究报告的结果均在尾矿坝设计得到应用和体现。西侧坝基处理试验报告主要内容见 5.6.2 节；尾矿坝三维渗流分析、地震动力稳定性研究报告的主要内容见 5.6.8、5.6.9 节。

5 尾矿设施设计方案

5.1 库容计算

根据 1:1000 现状地形图计算，本次设计从原设计标高 810.00m 开始似中线法筑坝加高，最终坝顶标高 840.00m，总坝高 124m，扩容后增加库容 7873 万 m^3 ，库容利用系数 0.90，有效库容 7086 万 m^3 。根据选矿厂 87000t/d 的生产规模，尾矿产率 99%，工作制度 340d/a，年排尾矿量 $2928 \times 10^4 t$ 计算，尾矿堆积干密度 $1.45 t/m^3$ ，每年尾砂堆存所需库容为 $2020 \times 10^4 m^3$ ，扩容后尾矿库可堆存选厂排尾量约 3.5 年。扩容后尾矿库库容计算见下表 5.1。

表 5.1 标高 810.00m 以上库容计算表

标高 (m)	面积 (m^2)	累计增加库容 (m^3)	增加有效库容 (m^3)	上升速率 (m/a)	预计堆满时间
810	2624400	0	0	0	2025.03
820	2624400	26244000	23619600	8.55	2026.05
830	2624400	52488000	47239200	8.55	2027.07
840	2624400	78732000	70858800	8.55	2028.09

5.2 设计标准

5.2.1 尾矿库设计等别

根据《尾矿设施设计规范》（GB50863-2013）“尾矿库等别按下表 5.2.1-1 确定。尾矿库各使用期的设计等别应根据该期的全库容和坝高分别确定。当按尾矿库的全库容和坝高分别确定的尾矿库的等别的等差为一等时，应以高者为准；当等差大于一等时，应按高者降一等确定。”

表 5.2.1-1 尾矿库的等别

等别	全库容 V ($10000m^3$)	坝高 H(m)
一	$V \geq 50000$	$H \geq 200$
二	$10000 \leq V < 50000$	$100 \leq H < 200$
三	$1000 \leq V < 10000$	$60 \leq H < 100$
四	$100 \leq V < 1000$	$30 \leq H < 60$
五	$V < 100$	$H < 30$

本次设计最终堆积坝顶标高 840.0m，最大坝高 124.0m；增加库容

7873 万 m^3 ，原设计全库容 22519 万 m^3 ，即扩容后尾矿库库容 30392 万 m^3 。按坝高确定尾矿库为二等，按库容确定尾矿库为二等，因此尾矿库的终期设计等别为二等，其各使用期的等别如下表 5.2.1-2。

表 5.2.1-2 尾矿库各使用期等别

坝顶标高 (m)	坝高 (m)	全库容 (万 m^3)	尾矿库等别
815	99	23831	二等
840	124	30392	二等

5.2.2 构筑物级别

根据《尾矿设施设计规范》（GB50863-2013），尾矿设施构筑物级别应根据尾矿库最终设计等别按表 5.2.2 确定。

表 5.2.2 尾矿库构筑物的级别

尾矿库等别	构筑物的级别		
	主要构筑物	次要构筑物	临时构筑物
一	1	3	4
二	2	3	4
三	3	5	5
四	4	5	5
五	5	5	5

根据上表，该尾矿库构筑物级别：主要构筑物（坝体、库内防洪设施）级别为 2 级，次要构筑物 3 级、临时构筑物级别为 4 级。

5.2.3 设计防洪标准

按《尾矿设施设计规范》（GB50863-2013），尾矿库的防洪标准应根据各使用期等别，综合考虑坝高、库容、使用年限及对下游可能造成的危害等因素按表 5.2.3-1 确定。

表 5.2.3-1 尾矿库防洪标准

尾矿库各使用期等别	一	二	三	四	五
洪水重现期 (年)	1000~5000 或 PMF	500~1000	200~500	100~200	100

根据《尾矿库安全规程》（GB39496-2020）第 5.2.8 章节加高扩容的尾矿库除一等库外，防洪标准按表 5.2.3-1 确定的防洪标准的基础上提高一个等别。该尾矿库等别为二等，提高一个等别后防洪标准按 5000

年一遇洪水设防。

表 5.2.3-2 尾矿库使用期防洪标准

坝顶标高 (m)	坝高 (m)	全库容 (万 m ³)	尾矿库防洪标准
815	99	23831	5000 年一遇洪水
840	124	30392	5000 年一遇洪水

5.3 水文计算

5.3.1 库区水文计算

5.3.1.1 计算参数

由于原满洲里行政区划属于黑龙江省管辖，水文资料可由《黑龙江省水文图集》（1972 年版）查得。

表 5.3.1.1 尾矿库洪水计算参数

名称	P (%)	F (km ²)	C _v	C _s /C _v	K _p	H ₂₄	L	J	n ₁	n ₂	m	α ₂₄
库区汇水	0.02	2.694	0.45	3.5	4.00	46.4	1.2	0.002	0.7	0.75	1.0	0.75

注：各服务期尾矿库的等别、防洪标准和汇水面积（2.694Km²）均一致，本次设计仅进行终期标高 840m 的洪水计算。

5.3.1.2 计算公式

设计采用水科院简化推理公式和地方经验公式进行计算，对比分析后选用计算结果。

5.3.1.2.1 简化推理公式

(1) 洪峰流量公式

$$Q_p = \frac{A \times (S_p \times F)^B}{\left(\frac{L}{MJ^{1/3}}\right)^c} = D \times \mu \times F$$

式中：

Q_p——设计频率 P 的洪峰流量，m³/s；

S_p——频率为 P 的暴雨雨力，mm/h；

$$H_{24P} = K_p \times \bar{H}_{24}, \quad S_p = \frac{H_{24P}}{24^{1-n_2}}$$

H_{24P} ——设计频率 P 时 24 小时降雨量；

K_P ——模比系数。重现期为 P 的经验式参数指数，

\bar{H}_{24} ——一年最大 24 小时降雨量均值， mm；

F ——坝址以上汇水面积， km^2 ；

L——由坝址至分水岭主沟长， km；

j ——主河槽平均坡降；

μ ——产流历时内平均渗率， mm/h；

A、B、C、D——计算指数，据 n 值查表；

n——暴雨递减指数（ $\tau \leq 1$ 时， $n=n_1$ ， $\tau > 1$ 时 $n=n_2$ ）；

τ ——流域产流历时， 小时；

m——汇流参数；

μ ——产流历时内流域平均入渗率；

α_{24} ——降雨历时为 24 小时的径流系数；

h_r ——历时为 t_r 的主雨峰产生的径流深；

h_{r24} ——24 小时降雨的径流深；

t_c ——主雨峰产流历时

$$T_c = \left[\frac{(1-n_2)S_p}{\mu} \right]^{\frac{1}{n_2}}$$

(2) 一次洪水总量计算公式：

$$W_{tP} = 1000\alpha_t H_{tP} F$$

式中：

W_{tP} ：历时为 t，频率 P 的洪水总量， m^3 ；

α_t ：与历时 t 相应的降雨径流系数；

H_{tP} ：历时为 t，频率为 P 的降雨量， mm；

F：汇水面积 Km^2

5.3.1.2.2 地方经验公式

(1) 洪峰流量计算

$$(Q_m)_P = \frac{K_p}{K_{5\%}} \times C_p \times F^{0.67}$$

式中：

K_p — 不同频率模比系数；

$K_{5\%}$ — 20 年一遇模比系数；

C_p — 最大流量参数；

F — 汇水面积， Km^2 ；

表 5.3.1.2.2 洪水计算参数表

项目	参数 (P=5%)	C_v	C_s/C_v	K_p	
				20 年一遇	5000 年一遇
最大流量	$C_p=1$	0.9	2.5	2.80	8.20
最大一日流量	$B_1=10$	0.9	2.0	2.78	7.42

(2) 最大 24 小时洪水总量 ($F < 20km^2$)

$$W_{24max} = 1.16W_1 = 1.16 \times 0.1 \times \frac{F}{20} \times \frac{K_p}{K_{5\%}} \times B_1 \times 20^{0.83}$$

式中：

K_p — 不同频率模比系数；

$K_{5\%}$ — 20 年一遇模比系数；

C_p — 最大流量参数；

F — 汇水面积， Km^2 ；

B_1 — 最大 1 日洪量参数（二十年一遇）；

W_{24max} — 最大 24 小时洪量。

5.3.1.3 洪水计算结果

表 5.3.1.3 洪水计算结果

设计洪水 频率 P (%)	名 称	洪峰流量 (m^3/s)		一次洪水总量 (10^4m^3)	
		简化公式	地方公式	简化公式	地方公式
0.02	标高 840.00m	61.70	5.69	37.50	5.50

根据两种计算方法比较，结果差别悬殊，简化推理公式计算的结果更大。从汇流原理分析，对于小流域洪水计算，简化推理公式计算结果更合理。故设计从安全出发，选择简化推理法计算结果作为本次设计的依据。

5.3.1.4 洪水过程线

洪水过程线采用概化多峰三角形过程线，该过程线能够反映推理公式的特点，且更加切合实际。绘制多峰三角形过程线前，首先需进行暴雨时程分配，为了安全起见，主雨峰置于整个降雨时程的 3/4 或稍后一些时程上；次雨峰对称出现在主雨峰两侧。计算结果如图 5.3.1.4。

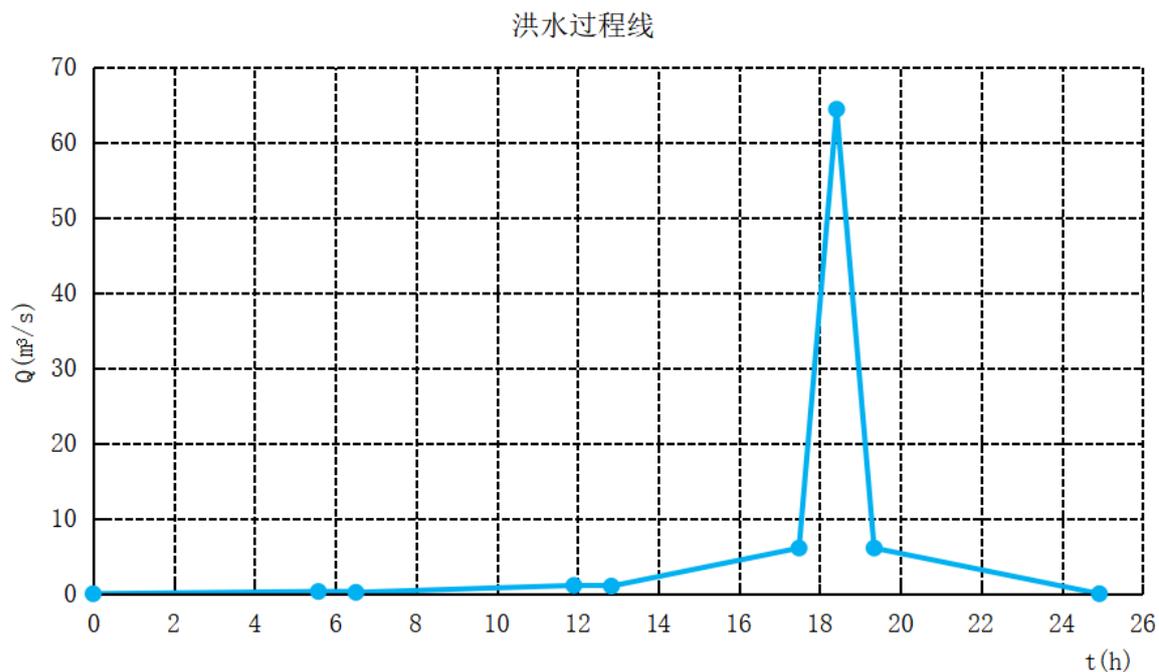


图 5.3.1.4 尾矿库坝顶标高 840m 洪水过程线（5000 年一遇）

5.3.2 库外水文计算

库外洪水计算区域主要为原二期尾矿库内加高扩容工程以外区域，汇水面积约 0.9km^2 。该区域汇水主要通过原二期尾矿库“井-管”式排

水系统进行排洪，在排水井周围新建 200m×300m×5m 的集水池，周围其他区域以 0.1% 的坡度坡向集水池。

5.3.2.1 计算参数

由于原满洲里行政区划属于黑龙江省管辖，水文资料可由《黑龙江省水文图集》（1972 年版）查得。

表 5.3.2.1 尾矿库洪水计算参数

名称	P (%)	F (km ²)	C _v	C _s /C _v	K _p	H ₂₄	L	J	n ₁	n ₂	m	α ₂₄
库外汇水	0.02	0.9	0.45	3.5	4.00	46.4	1.0	0.001	0.7	0.75	1.0	0.75

5.3.2.2 洪水计算结果

洪水计算公式与库内洪水计算公式一致，采用简化推理公式法计算。计算结果如下表：

表 5.3.2.2 洪水计算结果

设计洪水频率 P (%)	名称	洪峰流量 (m ³ /s)	一次洪水总量 (10 ⁴ m ³)
0.02	库外洪水计算	15.88	12.53

5.3.2.3 洪水过程线

洪水过程线采用概化多峰三角形过程线，该过程线能够反映推理公式的特点，且更加切合实际。绘制多峰三角形过程线前，首先需进行暴雨时程分配，为了安全起见，主雨峰置于整个降雨时程的 3/4 或稍后一些时程上；次雨峰对称出现在主雨峰两侧。

由于库内雨洪水需要通过库外排水设施排洪，因此，库外汇水区洪水过程线需要与库内调洪过程线进行叠加，叠加后洪水过程线计算结果如图 5.3.2.3。

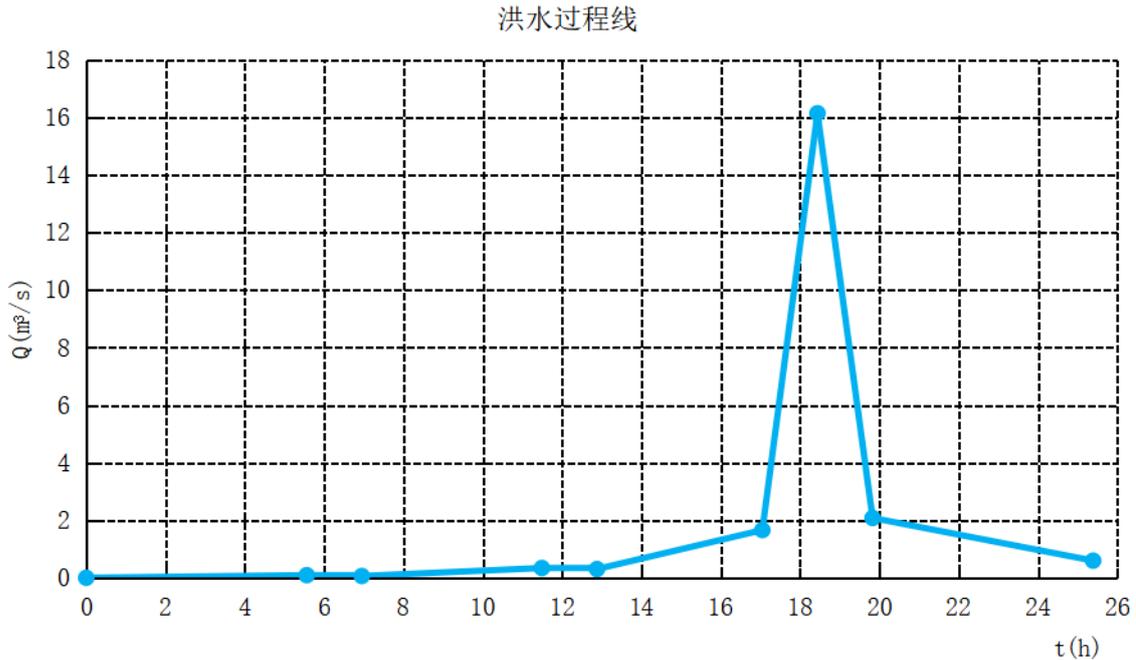


图 5.3.2.3 尾矿库坝顶标高 840.00m 洪水过程线 (5000 年一遇)

5.4 排洪设施

5.4.1 排洪设施现状

尾矿库内正在使用的排水设施为“井-管”形式，布置在库区西北侧，排水井 1 座，为内径 2m、高度 15m 的钢筋混凝土四柱框架式排水井，排水管为内径 1.5m、壁厚 300mm 的钢筋混凝土现浇排水涵管，排水涵管自西向东敷设，横穿北侧副坝。排水井最低进水标高 795.00m，井顶标高 810.00m；排水管进水中心标高 793.05m，出口中心标高 788.84m，管长 686m，敷设坡度 $\geq 0.5\%$ ，基础落于中风化花岗岩层。目前，尾矿库淹没排水井高度 8m，排水井、排水圆管混凝土强度等级均为 C25。

根据《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库东侧排水系统质量检测报告》（沈阳兴禹水利建设工程质量检测有限公司，2024 年 1 月），排水井、排水涵管、消力池及下游排水沟混凝土外观质量整体表面完好，未见明显裂缝、剥蚀、漏筋、渗水等现象；所检部位混凝土抗压强度（回弹法）检测结果均满足设计要求。

5.4.2 新建排洪设施

根据尾矿库加高扩容工程西侧坝体筑坝位置，西侧坝体施工后，原二期尾矿库内“井-管”式排水设施位于加高扩容工程尾矿库外，可作为利旧设施；并在加高扩容尾矿库内新建排水系统。

加高扩容尾矿库为平地型，库内不具备修建排水井条件。根据尾矿库库区及回水条件，新建排水设施采用“废石码头+溢洪道”的形式。排水设施布置在西侧坝体中间位置，距北坝端约 680m，自西侧坝体向库内敷设，深入库内 300m。溢洪道自库内坡向尾矿坝，敷设坡度 0.1%，溢洪道采用废石堆建而成，断面尺寸为梯形，底宽 2.0m，高 5.0m，两侧边坡坡比为 1:1.5，溢洪道内坡设 200mm 厚混凝土衬砌，并在边坡设直径 25mm 减压排水孔，排水孔间距为 2.0m。溢洪道进水口设置混凝土溢流堰，溢流堰随库内尾砂升高逐级修筑，每级溢流堰高 0.1m，终期溢流堰断面尺寸为顶宽 1.0m，高 5.0m，上、下游坡坡比均为 1:0.5。溢洪道下游接预制钢筋混凝土排水圆管接排水明渠，穿过坝体部分为排水圆管，长度 45m，临时埋设，随坝体升高向上迁移，与库内溢洪道同步升高；排水圆管下游接排水明渠，长度约 450m，明渠为梯形结构，底宽 1.0m，高 1.0m，顶宽 3.0m，明渠采用 1.5mm 厚 HDPE 土工膜+2cm 厚水泥毯衬砌。排水明渠通往西侧坝外新建集水池，排出的雨洪水进入集水池，通过集水池内的原二期尾矿库排水系统排出库外坝肩排水沟。排水设施具体布设方式见图 1452-尾-17，排水设施结构见图 1452-尾-18。

5.4.3 现有排水设施封堵复核

(1) 封堵体概况

二期尾矿库第一套排水系统为钢筋混凝土“井-管”式，混凝土强度等级为 C30。排水井位于初期坝上游 450m 处，为内径 2m、高度 15m

的框架排水井；排水管为内径 1.5m、壁厚 600mm 的钢筋混凝土圆管，排水管出口位于初期坝脚外，出口标高 738m。

排水系统的封堵位置位于井座及出口段，出口段封堵长度 9m，采用添加微膨胀剂的 C30 混凝土注浆封堵。

根据《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库排水涵管封堵质量检测报告》（沈阳兴禹水利建设工程质量检测有限公司，2024 年 1 月），尾矿库排水涵管封堵混凝土外观质量整体表面完好，未见明显裂缝、剥蚀、漏筋、渗水等现象；所检部位混凝土抗压强度（回弹法）检测结果满足设计要求。

（2）计算条件

① 外部荷载按尾矿库加高扩容最终坝高水位计算，按 102m 水头高度计算水压力。考虑排水管埋藏较深，排水井、管内尾矿沉积多年，内摩擦角取 11° 计算封堵体土压力。

② 忽略排水管坡度，按水平管计算荷载和抗力。

③ 混凝土质量密度 24KN/m^3 ，尾矿浮容重取 10.52KN/m^3 。

（3）计算公式

依据《水工隧洞设计规范》（SL279-2016）中关于封堵段计算采用力学抗剪断公式为：

$$KS \leq R$$

$$S = \Sigma P$$

$$R = f' \Sigma W + C' \Sigma \lambda_i A_i$$

式中：

f' ：混凝土与混凝土之间的抗剪断摩擦系数，取 $1.10 \sim 0.90$ ，本次取 0.9 ；

C' ：混凝土与混凝土间的抗剪断粘聚力，取 $1100\text{KPa} \sim 700\text{KPa}$ ，取

700Kpa;

A_i : 除顶拱部位, 封堵段底、侧面与混凝土接触面的面积, 取取 $2.355\text{m}^2/\text{m} \times 9\text{m} = 21.20\text{m}^2$;

λ_i : 除顶拱部位, 封堵体底面、侧面与原结构混凝土有效接触面的面积系数, 取 1.0;

K : 按抗剪强度计算的抗滑稳定安全系数, 按规范;

R : 封堵体承载力设计值。

S : 荷载效应设计值。

ΣW : 封堵体承受全部荷载效应对滑动面的法向分量

ΣP : 封堵体承受全部荷载效应对滑动面的切向分量

(4) 计算结果

表 5.4.3 一期排洪系统封堵体抗滑稳定计算表

ΣW (KN)	f'	$\Sigma \lambda_i A_i$ (m^2)	C' (KPa)	R (KN)	P_w (KN)	P_s (KN)	S (KN)	K
381.51	0.9	21.2	700	15183.36	1801.58	1283.61	3085.18	4.92

注: P_s 、 P_w 分别为作用于封堵体上表面的水压力和土压力。

经计算, 按加高扩容的最终堆积标高 840m 计算, 尾矿库一期排水系统封堵体抗滑稳定安全系数 $K > 3$, 满足规范要求, 排水管无泄漏风险。因此, 无需对该排水设施采取其他治理措施。

5.4.4 库区调洪演算

5.4.4.1 计算方法

对于一般情况的调洪演算, 可根据洪水过程线和排水构筑物的泄水量与尾矿库的蓄水量关系曲线, 通过水量平衡法计算出泄洪过程线, 从而计算出泄流量、调洪库容、最高洪水位、干滩长度等参数。

尾矿库内任一时段 Δt 的水量平衡方程式以下述公式表示。

$$\frac{1}{2}(Q_S + Q_Z)\Delta t - \frac{1}{2}(q_S \pm q_Z)\Delta t = V_S - V_Z$$

令 $\bar{Q} = \frac{1}{2}(Q_S + Q_Z)$ ，则水量平衡方程式化简为：

$$V_Z + \frac{1}{2}q_Z\Delta t = \bar{Q}\Delta t + \left(V_S - \frac{1}{2}q_S\Delta t\right)$$

对库区内“溢流堰”排水设施计算出泄洪过程。根据上述水量平衡方程，采用程序进行调洪演算。

5.4.4.2 调洪库容

尽管二期尾矿库加高扩容工程的调洪库容远远大于一次洪水总量，尾矿库很难遇到排水泄洪的运行工况，但顾及到极端状态下尾矿库的安全，本次设计按照《尾矿设施设计规范》（GB50863-2013）要求，在库区设置了排洪设施；并针对极端状态下一干滩长度 300m、排水设施开始泄洪时，遭遇的设计洪水工况进行调洪演算。

调洪库容与沉积滩坡比、干滩长度、库区地形条件有关。沉积滩坡比与尾矿粒度、放矿流量、尾矿比重有关。本次设计根据工勘提供的数据及安全考虑，尾矿库沉积滩坡度按 0.8% 设计，则调洪库容计算如下：

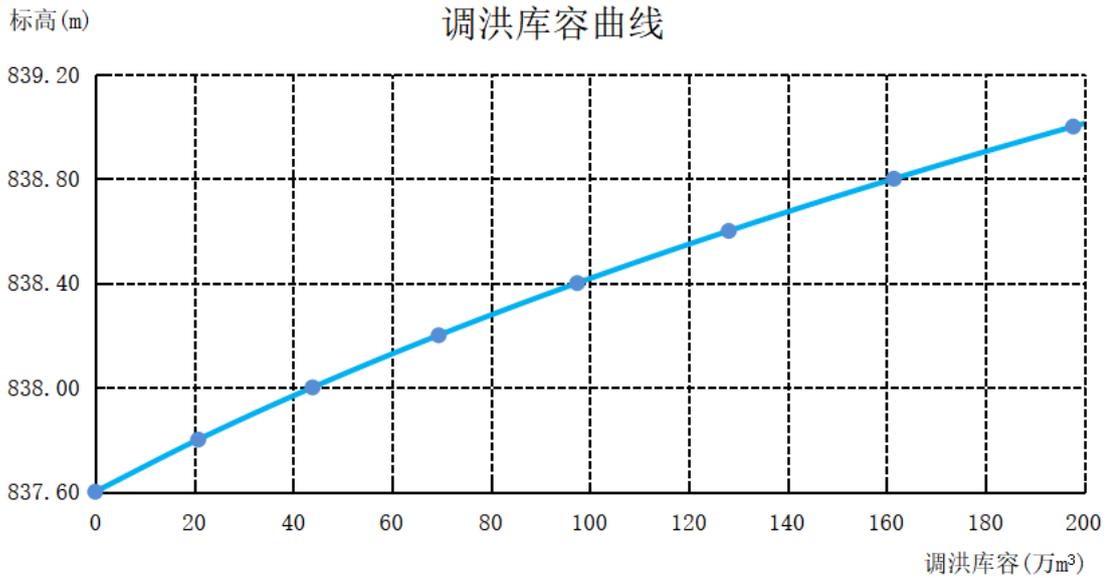


图 5.4.4.2 库区坝顶标高 840.00m 调洪库容曲线图

5.4.4.3 库区溢流堰泄流计算及调洪演算

5.4.4.3.1 泄流计算公式及结果

(1) 溢流堰泄流计算

溢流堰泄流计算公式：

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{1.5}$$

其中：

m—为宽顶堰流量系数；

b—为堰宽，设计按最小堰宽 2.0m 计算；

H—为堰上水头。

溢流堰泄流计算成果见表 5.4.4.3.1。

表 5.4.4.3.1 溢流堰泄流量成果表

堰顶水头 (m)	泄流量 (m³/s)
0.0	0.00
0.2	0.28
0.4	0.78
0.6	1.44
0.8	2.22
1.0	3.10
1.2	4.08
1.4	5.14

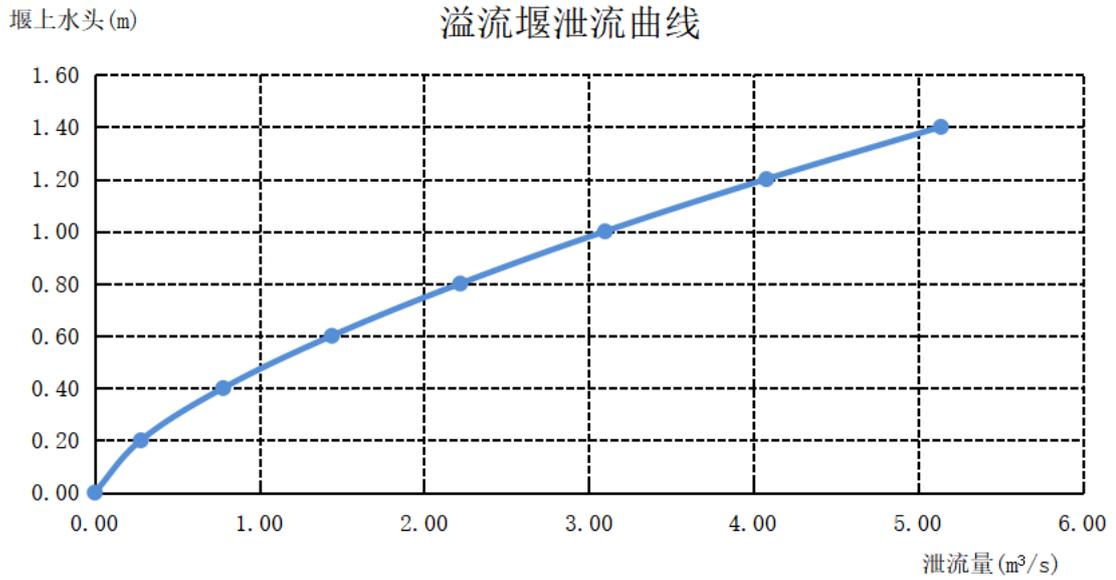


图 5.4.4.3.1 溢流堰泄流曲线图

5.4.4.3.2 库区调洪演算结果

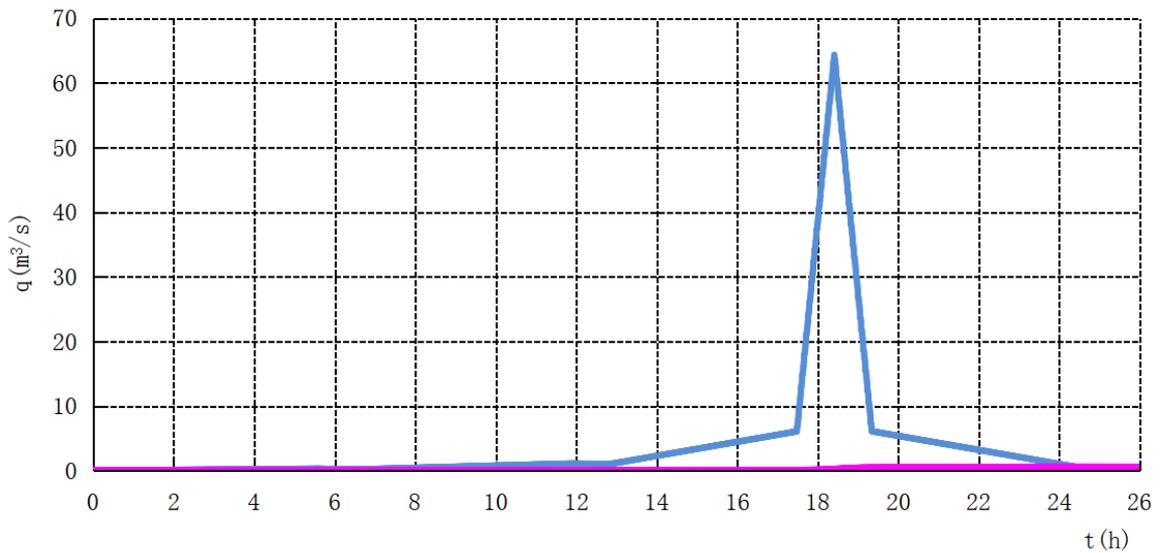


图 5.4.4.3.2 尾矿库坝顶标高 840.00m 时调洪曲线图

表 5.4.4.3.2-1 调洪演算计算结果表

项目	坝顶标高 (m)
	840.00
设计洪水标准 (a)	5000
沉积滩坡比 (%)	0.8
汛期正常运行干滩长度 (m)	300
正常水位 (m)	837.60
防洪高度 (m)	2.40
最大泄流量 (m ³ /s)	0.598
调洪高度 (m)	0.34
最高洪水位 (m)	837.94
安全超高 (m)	2.06
最小干滩长度 (m)	258

由《水工建筑物抗震设计标准》(GB51247-2018)第 2.2.2 节可知：地震区尾矿坝根据设计烈度和坝前水深，取地震涌浪高度为 0.5-1.5m。项目所在地地震烈度为 VI 度，且库区水深在 10m 以下，故设计地震涌浪高度取 0.5m，故尾矿坝标高 840.00m 最小超高见下表。

表 5.4.4.3.2-2 最小安全超高计算表

标高	地震涌浪高度	地震沉降	尾矿规程规定最小安全超高	最小安全超高
m	m	m	m	m
840	0.5	0.71	1.0	2.21

最终设计坝顶标高 840.00m 时，坝高 124m，二等库，调洪高度 2.4m 时，调蓄库容约 197.83 万 m³，一次洪水总量 37.5 万 m³，可以蓄存约 5 次五千年一遇洪水，排洪设施最大泄流量 0.215m³/s，所需调洪库容 37.5 万 m³。安全超高 2.4m > 2.21m 的最小安全超高要求，最小干滩长度 258m，均满足规范要求。

5.4.4.4 排水设施泄流能力复核

根据库区调洪演算结果，溢洪道、排水圆管及排水明渠所需最大泄流量为 $Q=0.598\text{m}^3/\text{s}$ 。

(1) 溢洪道泄流计算

溢洪道断面尺寸为梯形，底宽 2.0m，高 5m，边坡坡比为 1:1.5，混凝土衬砌。设计坡度 0.1%。

溢洪道泄流量按明渠均匀流计算，计算公式如下：

$$Q = AC\sqrt{Ri}$$

式中：A—过流面积；

C—谢才系数；

R—水力半径；

I—水力坡降；

n—糙率。

经计算，溢洪道内水深为 0.31m 时，满足泄流要求。

（2）排水圆管泄流计算

排水圆管为混凝土管，内径 $D=1.2\text{m}$ ，设计坡度 $i=0.1\%$ 。根据排水设施布置，排水圆管泄流量按明口隧洞计算，计算公式参考《尾矿设施设计参考资料》，根据尾矿库排洪条件，排水圆管按无压流公式计算，计算公式如下：

$$Q = mb\sqrt{2gH_0^{1.5}}$$

式中：m—流量系数，根据进口形式，取 0.30；

b—圆管宽度，米，非矩形断面取 $b = (\omega_k/h_k)$ ；

ω_k —临界水深 h_k 时的过水断面面积，平方米；

H_0 —圆管进口处的计算水头，米，自洞口底起算；

经计算，排水圆管内水深为 0.66m 时，满足泄流要求。

（3）排水明渠泄流计算

排水明渠断面尺寸为梯形，底宽 1.0m，高 1m，边坡坡比为 1:1.0，水泥毯衬砌。最小设计坡度 0.1%。

排水明渠泄流量按明渠均匀流计算，计算公式如下：

$$Q = AC\sqrt{Ri}$$

式中：A—过流面积；

C—谢才系数；

R—水力半径；

I—水力坡降；

n—糙率。

经计算，排水明渠内水深为 0.54m 时，满足泄流要求。

5.4.5 库外调洪演算

5.4.5.1 计算方法

对于一般情况的调洪演算，可根据洪水过程线和排水构筑物的泄水量与尾矿库的蓄水量关系曲线，通过水量平衡法计算出泄洪过程线，从而计算出泄流量、调洪库容、最高洪水位、干滩长度等参数。

尾矿库内任一时段 Δt 的水量平衡方程式以下述公式表示。

$$\frac{1}{2}(Q_s + Q_z)\Delta t - \frac{1}{2}(q_s \pm q_z)\Delta t = V_s - V_z$$

令 $\bar{Q} = \frac{1}{2}(Q_s + Q_z)$ ，则水量平衡方程式化简为：

$$V_z + \frac{1}{2}q_z\Delta t = \bar{Q}\Delta t + \left(V_s - \frac{1}{2}q_s\Delta t\right)$$

对库区外“排水井+管”排水设施计算出泄洪过程。根据上述水量平衡方程，采用程序进行调洪演算。

5.4.5.2 调洪库容

库外区域周围坝体顶标高 810m，洪水通过集水池进行调节，设计池顶标高为 809.50m，池内排水井进水口标高位 806.50m。则调洪库容计算如下：

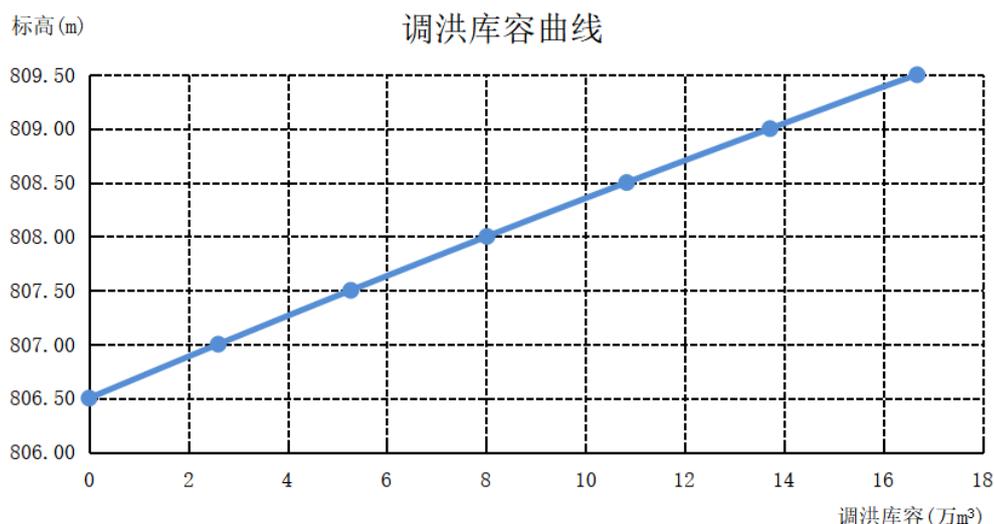


图 5.4.5.2 库区坝顶标高 840.00m 调洪库容曲线图

5.4.5.3 库外排水设施泄流计算及调洪演算

5.4.5.3.1 泄流计算公式及结果

库外排水设施主要为排水井+排水圆管。井-管（或隧洞）式排水系统的工作状态，随泄流水头的大小而异。当水头较低时，泄流量较小，为自由泄流；当水头增大，井内被水充满，但排水管（或隧洞）尚未呈满管流，泄流量受排水管（或隧洞）的入口控制，此时为半压力流；当水头继续增大，排水管（或隧洞）呈满管流时，即为压力流。框架式排水井不同工作状态时的泄流量按下述公式计算。

（1）自由泄流

① 水位未淹没框架圈梁时

$$Q_C = n_c m s b_c \sqrt{2g} H_y^{1.5}$$

② 水位淹没框架圈梁时

$$Q_d = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = 1.8 n_c s b_c H_0^{1.5}$$

$$Q_2 = 2.7 n_c \omega_c \Sigma \sqrt{H_i}$$

（2）水位淹没井口的孔口泄流

$$Q_e = \varphi \omega_s \sqrt{2gH_j}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_4 + \xi_5 f_6^2}}$$

(3) 半压力流

$$Q = \varphi F_s \sqrt{2gH}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda_j \frac{l_d}{d} f_2^2 + \xi_2 + \xi_3 f_1^2 + \xi_4 f_1^2 + \xi_5 f_6^2 + \xi_5 f_7^2}}$$

(4) 压力流

$$Q = \mu F_x \sqrt{2gH_z}$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda_g \frac{L}{D} f_3^2 + \Sigma \xi f_3^2 + \xi_2 f_9^2 + \xi_3 f_3^2 + \xi_4 f_5^2 + \xi_5 f_8^2}}$$

其中：

H_i — 第 i 层全淹没工作窗口的泄流计算水头，m；

H_0 — 最上层未淹没工作窗口的泄流计算水头，m；

H — 计算水头，为库水位与隧洞入口断面中心标高之差，m；

H_z — 计算水头，为库水位与隧洞下游出口断面中心标高之差，当下游有水时，为库水位与下游水位的高差；

H_y — 溢流堰泄流水头，m；

H_j — 井口泄流水头，m；

ω_c — 一个排水窗口的面积，m²；

ω_s — 井口水流收缩断面面积，m²；

ω_l — 框架立柱和圈梁之间的过水净空总面积，m²；

ω —井中水深范围内的窗口总面积， m^2 ；

ω_j —排水井井筒横断面面积， m^2 ；

ω_1 —排水井窗口总面积， m^2 ；

ω_2 —排水井井筒外壁表面积， m^2 ；

F_s —隧洞入口水流收缩断面面积， m^2 ， $F_s = \varepsilon_b F_e$

F_e —隧洞入口断面面积， m^2 ；

F_x —隧洞下游出口断面面积， m^2 ；

F_g —隧洞计算洞段断面面积， m^2 ；

ζ —隧洞沿线的局部水头损失系数，包括转角、分叉、断面变化等，由《尾矿设施设计参考资料》第 331 页表 4-2 查取。

ζ_0 —系数，由《尾矿设施设计参考资料》第 335 页表 4-3 查取。

ζ_2 —隧洞入口局部水头损失系数，直角入口取 0.5，圆角或斜角入口取 0.2-0.25，喇叭口入口取 0.1-0.2；

ζ_3 —排水井中水流转向局部水头损失系数，由《尾矿设施设计参考资料》第 335 页表 4-4 查取；

ζ_4 —排水井进口局部水头损失系数，由《尾矿设施设计参考资料》第 329 页图 4-8 查取；

ζ_5 —框架局部水头损失系数，为立柱、横梁的局部水头损失系数之和，即： $\zeta_5 = \Sigma \zeta' = \beta K_1$ ；

β —梁、柱形状系数，矩形断面取 2.42，圆形断面取 1.79；

K_1 —梁、柱有效断面系数，可按其净间距与中心间距的比值 b/B 由《尾矿设施设计参考资料》第 329 页图 4-9 查取；

ε —侧向收缩系数， $\varepsilon = 1 - 0.2 \zeta_0 H_y b_c$ ；

ε_b —断面突然收缩系数，由《尾矿设施设计参考资料》第 335 页表 4-5 查取。

d —排水井内径，取 2.5m；

D —隧洞计算段的内径，m，对于非圆形洞取 $D=4R_g$ ；

l —排水井内隧洞洞顶以上的水深，m；

L —隧洞计算洞段的长度（断面无变化时，即为隧洞的全长）；

R_g —隧洞计算洞段的水力半径，m；

R_f —排水井井筒断面的水力半径，m；

m —堰流量系数；

$$\frac{\delta}{H_y} < 0.67, \text{ 按薄壁堰计算, } m = 0.405 + \frac{0.0027}{H_y};$$

$$0.67 < \frac{\delta}{H_y} < 2.5, \text{ 按实用堰计算, } m = 0.36 + 0.1 \left(\frac{2.5 - \delta/H_y}{1 + 2\delta/H_y} \right);$$

δ —堰顶宽，m；

b_c —一个排水口的宽度，m；

n_c —同一个横断面上排水口的个数；

$$\lambda_j \text{—排水井沿程水头损失系数, } \lambda_j = \frac{8g}{C^2};$$

$$\lambda_g \text{—隧洞沿程水头损失系数, } \lambda_g = \frac{8g}{C^2};$$

C —谢才系数； n —洞壁粗糙系数；

$$f_1 = \frac{F_s}{\omega_j}; \quad f_2 = \frac{F_s}{\omega}; \quad f_3 = \frac{F_x}{F_g}; \quad f_4 = \frac{F_x}{\omega}; \quad f_5 = \frac{F_x}{\omega_j}; \quad f_6 = \frac{\omega_s}{\omega_l}; \quad f_7 = \frac{F_s}{\omega_l};$$

$$f_8 = \frac{F_x}{\omega_l}; \quad f_9 = \frac{F_x}{F_e}$$

计算结果：

水位与泄流量关系如图 5.4.5.3.1。

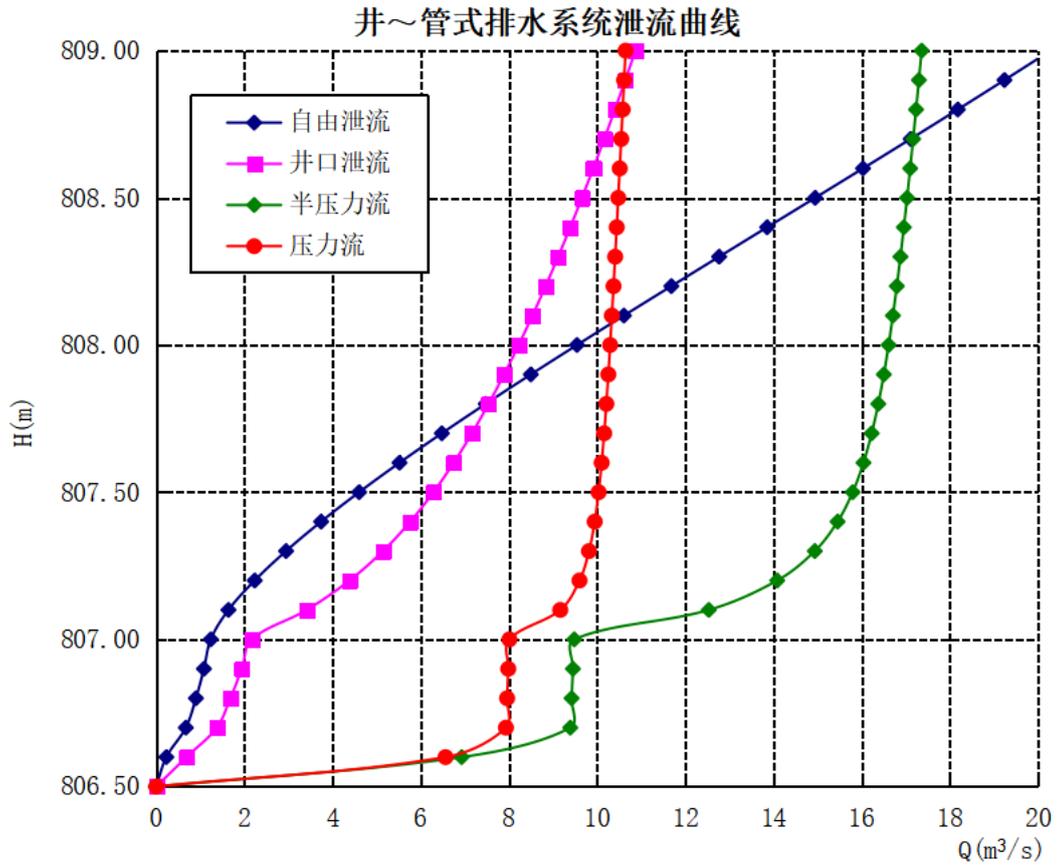


图 5.4.5.3.1 集水池水位-泄流量关系曲线

5.4.5.3.2 库区调洪演算结果

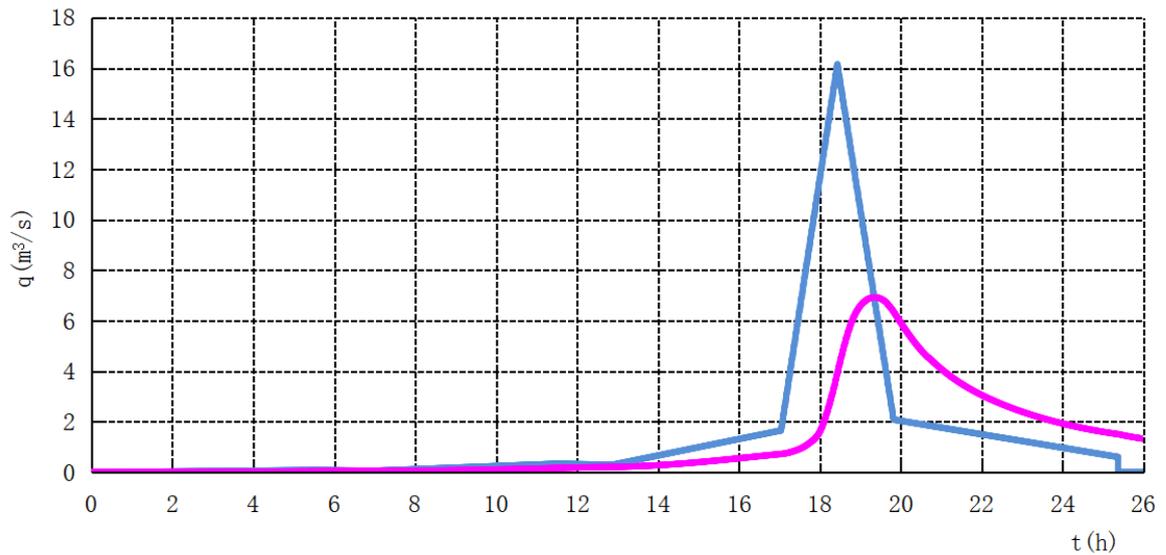


图 5.4.5.3.2 库外调洪曲线图

表 5.4.5.3.2 调洪演算计算结果表

项目	坝顶标高 (m)
	810.00
设计洪水标准 (a)	5000
正常水位 (m)	806.50
防洪高度 (m)	3.0
最大泄流量 (m ³ /s)	6.927
调洪高度 (m)	1.26
最高洪水位 (m)	807.76
安全超高 (m)	2.24

通过调洪演算，库外“井-管”式排水系统满足排洪需求。

5.6 尾矿坝

5.6.1 坝体组成

本次尾矿库加高扩容设计，坝顶标高由原设计终期坝顶标高 810m，加高 30m 至最终坝顶标高 840m。加高后的尾矿库由东侧坝体、南侧坝体、西侧坝体、北侧坝体围合而成，构成平地型尾矿库。其中东、南、北侧坝体是在原有坝体基础上的加高工程，加高部分的坝体均位于原尾矿坝坡和天然地基上；西侧坝体为新建工程，大部分坝段的基础位于二期尾矿库尾沉积滩和水区（需地基加固），小部分坝段坐落在原一期尾矿库初期坝、堆积坝上。根据坝体建设顺序和坝高，东侧坝体为主坝，其他坝体为副坝。尾矿坝组成见图 5.6.1。

外坡比 1:4。

尾矿坝随库区滩面的升高分期填筑。共 6 级子坝，每级子坝高 5m，子坝顶宽 20m，内、外坡比分别为 1:2.0、1:3.0。子坝内坡自下而上依次铺设 300mm 厚砂砾石保护层（ $d=2-20\text{mm}$ ）、SNG-PP-15 型 $400\text{g}/\text{m}^2$ 土工布、300mm 厚砂砾石保护层（ $d=2-20\text{mm}$ ）。子坝上游排放尾矿，下游利用废石堆筑坝壳，子坝与废石坝壳共同构成坝体，终期尾矿坝外坡设置 300mm 厚碎石护坡。

为防止坝基渗透破坏，减小坝基的不均匀沉陷，坝体堆筑时，首先在处理后的坝基顶面自下而上铺设双向焊接纤塑高强土工格栅 50-50、SNG-PP-15 型 $400\text{g}/\text{m}^2$ 土工布、300mm 厚砂砾石保护层（ $d=2-20\text{mm}$ ）。

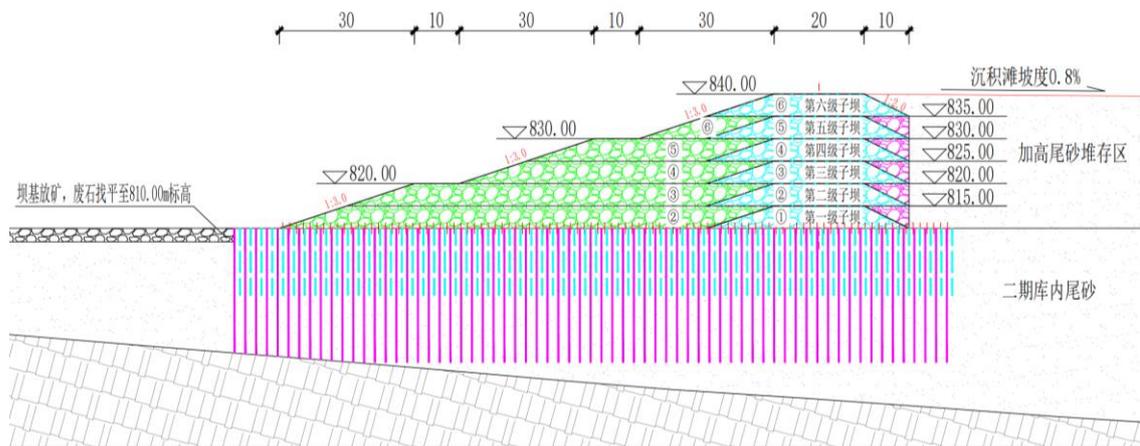


图 5.6.2.2 西侧坝体筑坝典型断面图

5.6.2.3 筑坝材料及填筑要求

筑坝石料为露天采场剥离废石，石料极限抗压强度不小于 40MPa ，软化系数不低于 0.75，筑坝石料粒径不大于 500mm ，粒径小于 0.075mm 颗粒含量不大于 5%。

坝体堆筑子坝设计孔隙率 $\leq 25\%$ ，坝壳部位设计孔隙率 $\leq 28\%$ ，砂砾石的相对密度不低于 0.75。

坝体填筑施工前应进行筑坝碾压试验，确定施工机械、铺料层厚度、压实遍数等施工碾压参数，确保工程质量。

5.6.2.4 坝基加固处理试验研究

5.6.2.4.1 方案选择

根据工程勘察，目前西侧坝基沉积尾矿由尾粉土（自上向下的状态：流塑、软塑、松散-稍密、密实），及冻层组成，沉积尾矿最大厚度 50m，平均厚度 40m，较软地基最大深度 30m 左右，其强度和承载力低，不满足构建尾矿坝的要求，需要进行地基处理。

对于软土地基处理，工程上常用的有置换、排水固结、灌入固化物、振密（挤密）等处理方法。这些方法中，排水固结见效慢，不满足该工程工期要求；灌入固化物对大面积、埋藏深的尾矿坝基也不适合。因此采用“置换+振密”是西坝地基处理的首选。从置换效果上，抛石挤淤置换处理深度有限（不超过 4m），强夯置换可控性差、材料用量大，均不适用本工程。振冲置换能够克服上述方法弊端，安全可靠，可作为西侧坝基处理的试验研究主攻方向。

本工程采用碎石振冲桩处理西侧坝基，工艺相对简单，可充分利用现场材料；在振冲形成致密碎石桩的同时，施工成桩过程的地基扰动可破坏坝基尾矿中絮凝剂高分子链条，加快坝基尾矿排水固，加密桩间土、提高其力学性能，进一步提高复合地基强度。

由于目前西侧坝基处的尾矿沉积标高较低，且约 800m 长坝段穿越水区（水面标高 802.35m）；为了便于施工作业，首先通过库尾放矿将西侧坝基滩面标高充填至 809m-810m，而后在坝基范围内抛填碎石至标高 810m 形成振冲碎石桩施工作业平台，开展振冲碎石桩加固地基施工作业。

5.6.2.4.2 试验布桩方案

根据坝基地层情况和初步分析结果，试验选择了长、短振冲碎石桩

相结合的地基加固试验处理方案进行试验，目的在于加固地基的同时控制地基变形量。试验的长桩深度 30m，短桩深度 15m。坝基下深度 15m 内置换率达到 39%，深度 30m 内置换率达到 19.5%。

长、短桩直径均为 1.2m，长桩与长桩之间，短桩与短桩之间均采用正方形布桩，桩间距为 2.4m；长桩与短桩之间桩距为 1.7m，相互之间交叉布置。振冲碎石桩点位布置见图 5.6.2.4.2-1。

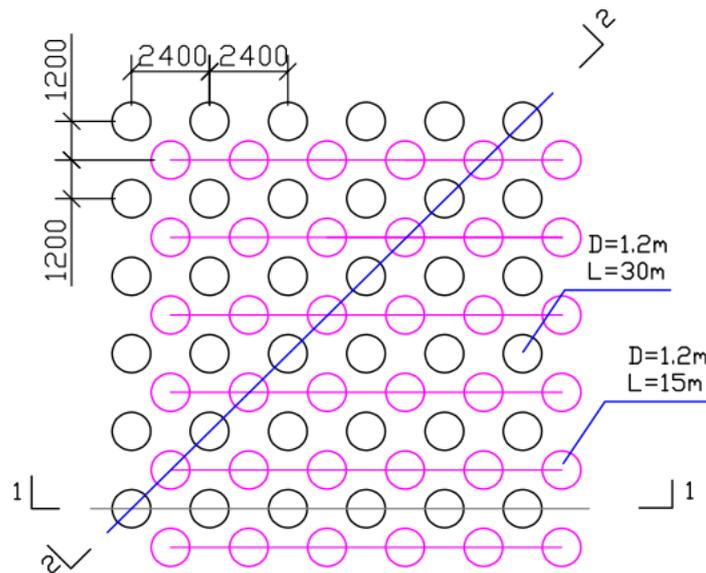
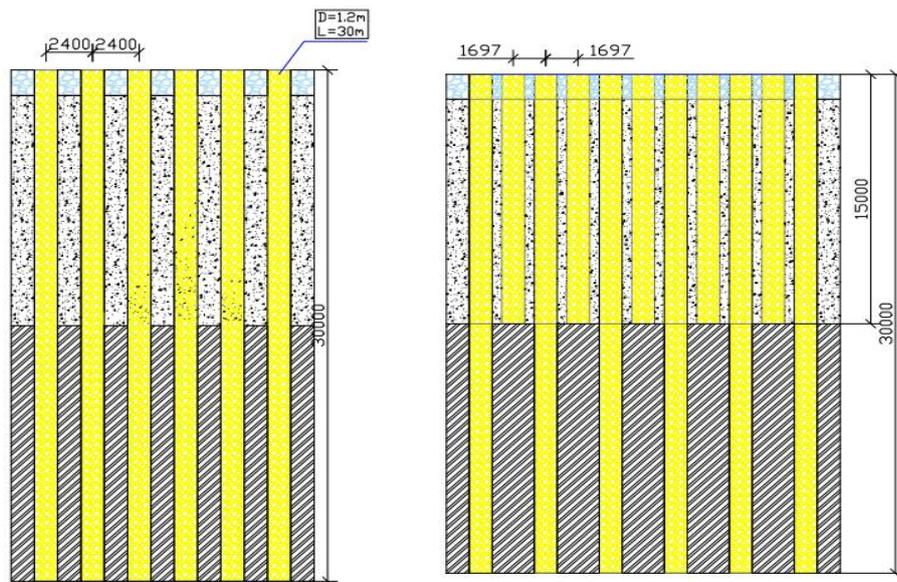


图 5.6.2.4.2-1 试验布桩平面图



(a) 1-1 剖面

(b) 2-2 剖面

图 5.6.2.4.2-2 试验布桩剖面图

5.6.2.4.3 试验段及施工过程

（1）试验段及准备工作

选择西侧副坝水区坝段作为坝基加固处理的试验段，试验段坝基面积 1600m^2 ($B \times L = 80\text{m} \times 20\text{m}$, B 为坝基宽度, L 为坝轴线方向的坝基长度)。

试验正式开始前，矿方通过向试验段抛填碎石方式形成了试验段施工作业面，并用同样的方法修筑了通往试验段的交通道路。

（2）施工过程

①施工机械

根据现场实际生产条件，结合以往施工经验，30m 桩宜采用 BJV130E-426 型振冲器，15m 桩宜采用 BJV75E-426 型振冲器。水冲压力 0.6MPa（规范建议水冲压力为 0.3-0.6MPa）。

②填料方法

根据土层情况，分为两种填料方式结合。第一阶段：采用全长碎石护壁进行造孔；第二阶段：采用间断填料成桩，精确到每 0.5m 控制成桩质量。

试验表明：根据土层分布情况，碎石护壁造孔可有效预防塌孔和缩径问题；采用两种方式相结合，可以有效保证地基处理效果，适用于本工程。

③施工参数

根据选用的现场施工设备，确定了三种试验方案，以确定最终施工参数。现场试桩发现，提高试桩的加密电流和留振时间，对充盈系数影响较为明显，为保证工程质量建议采用第三种成桩工艺。

表 5.6.2.4.3 单桩施工工艺试验结果表

试验方案序号	桩长 (m)	加密电流 (A)	留振时间 (s)	填料量 (m ³ /m)	延米填料量 (m ³ /m)	充盈系数	成桩时间 (h:min)
一	30	20	20	58	2	1.77	2:52
二	30	30	15	65	2.16	1.91	4:15
	15	30	15	30	2	1.77	1:31
三	30	30	30	70	2.34	2.06	4:38
	15	30	30	32	2.13	1.9	1:45

5.6.2.4.4 加固坝基监测效果

坝基加固施工完成后，委托第三方进行了地基加固效果监测，检测结果如下：

(1) 碎石桩体检测

检测碎石桩 4 根：Z32、Z164、Z395、Z461（8 天），见图

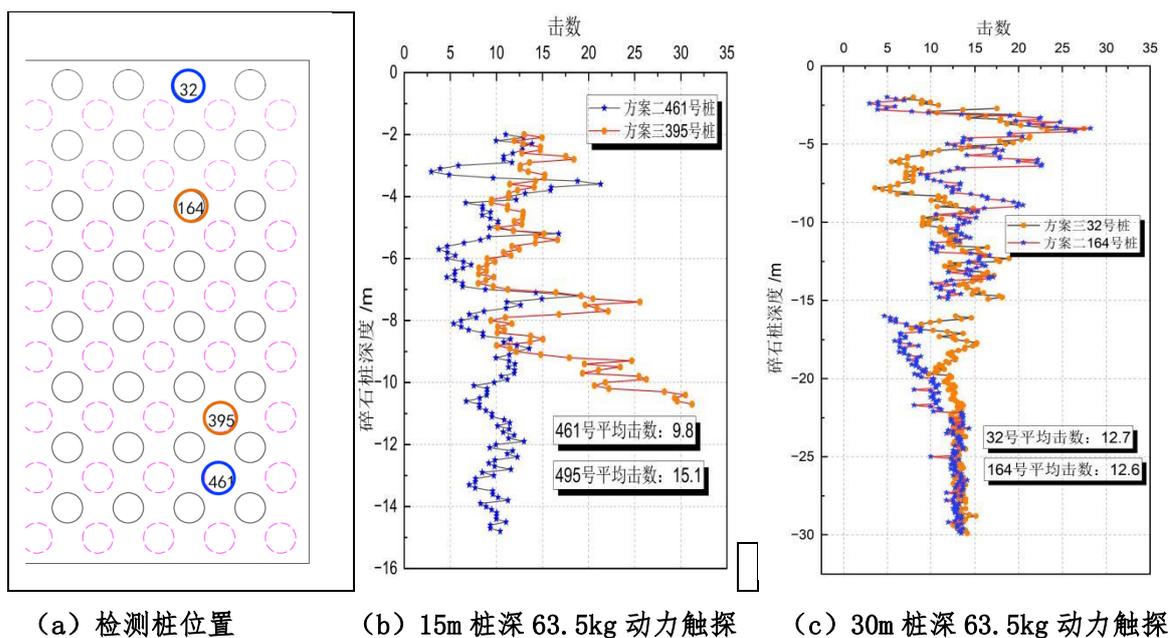


图 5.6.2.4.4-1 振冲碎石桩检测结果图

依据《建筑地基检测技术规范》，处理后的碎石桩体动力触探大部分 $N \geq 7$ ，密实度较好。

(2) 桩间土检测

桩间土检测 4 个点：ZJ01、ZJ03、395-1、460，位置见图 5.6.2.4.4-2

(a) 监测平面位置

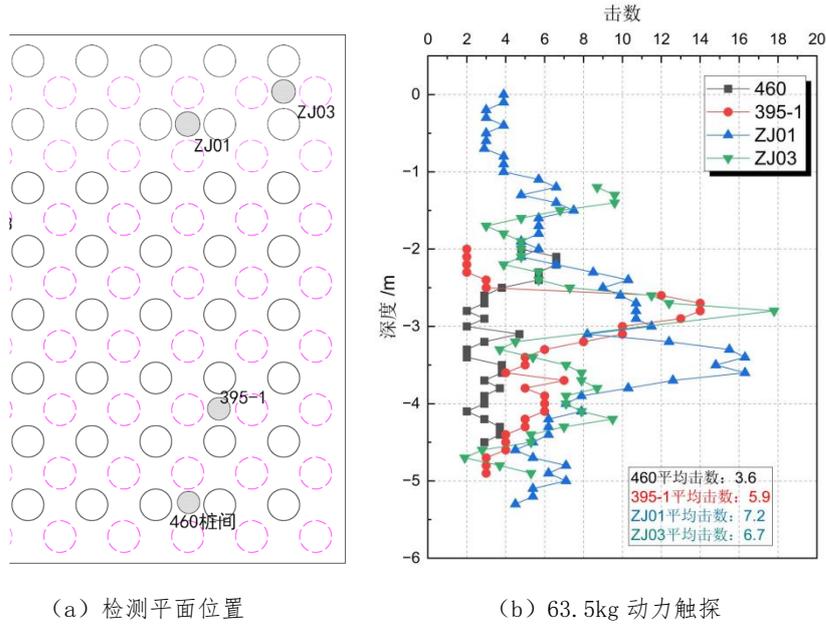


图 5.6.2.4.4-2 桩间土检测结果图 (1)

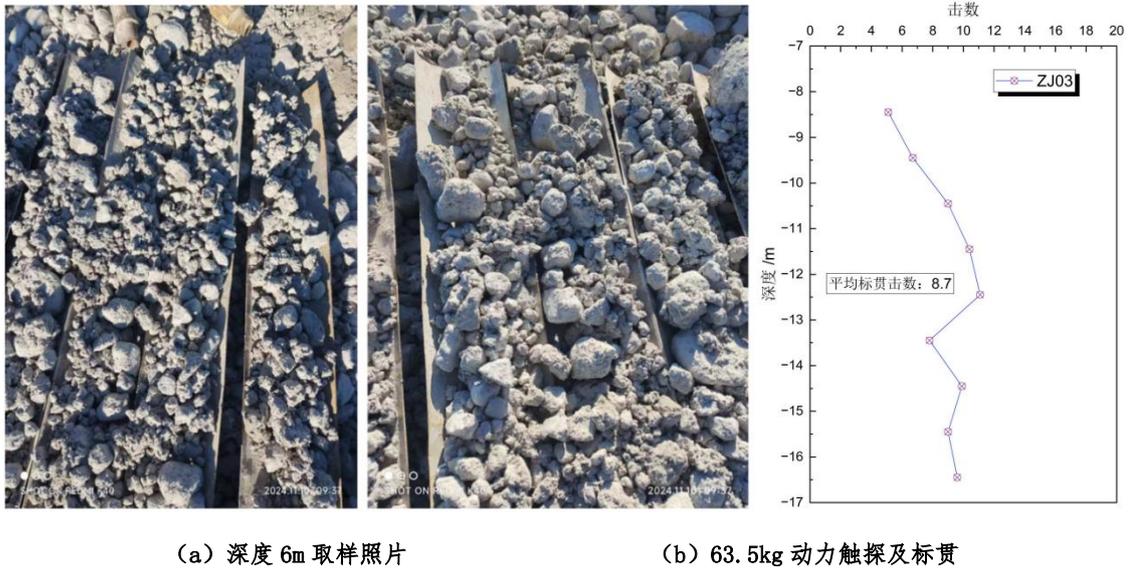


图 5.6.2.4.4-3 桩间土检测结果图 (2)

根据桩间土动力触探和标准贯入试验的检测结果可以发现，表层 6m 以内的桩间土基本被碎石所填充。桩间土检测点（460、395-1、ZJ01、ZJ03）重型动力触探平均锤击数最小值为 3.6 击，桩间土取得良好的置换效果。

由桩间土标贯入试验曲线（修正值）可知，加固后桩间土平均标贯（修正后）击数为 8.7 击，比原地层标贯击数有很大的提高（勘察报告中该层土的标贯击数最大值为 3 击）。根据桩间土的检测成果，建议设计桩间土检验时，采用标准贯入试验，平均贯入击数不小于 5 击。

（3）坝体堆筑试验

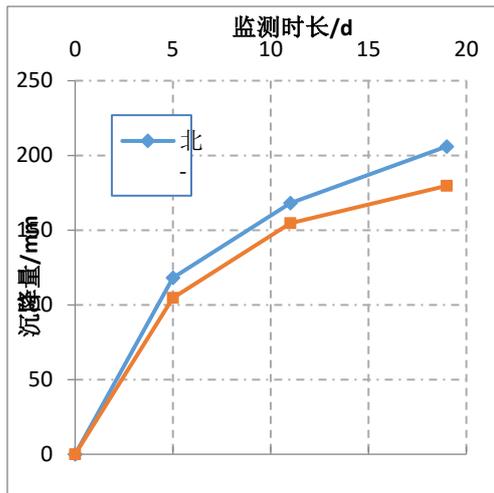
为验证坝基加固效果，在已经加固完成区域进行现场筑坝试验，堆筑试验坝体高度 4.3m，长度 20m，边坡基本为自然安息角（坡比陡于 1:1.5）。

坝体筑坝完成后 19 日内，坝基累计沉降为 180~210mm，沉降累计值随时间逐渐增加，沉降变化为非线性发展，变形量仍有增长趋势。

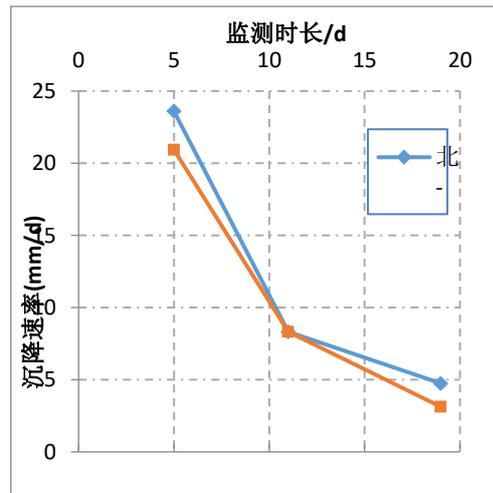
坝基沉降变形速率曲线表明，在坝基监测第一次监测的 5 日内，坝基平均日沉降了 21~24mm，而第 11 日监测坝基的日平均沉降量已经降到 8mm，平均沉降速率约为第一次监测沉降速率的 1/3，第 19 日后的日平均沉降量为 3~5mm，约为第二次变形速率的 1/2 左右，表明坝基沉降收敛迅速，坝基变形处于稳定收敛状态，即在振冲碎石桩加固后的坝基上筑坝，坝基沉降逐渐趋于稳定。堆筑坝体现场照片及检测结果见图 5.6.2.4.4-4。



(a) 坝体堆筑照片



(b) 现场筑坝试验坝基累计沉降曲线



(c) 现场筑坝试验坝基变形率曲线

图 5.6.2.4.4-4 现场堆筑坝体及沉陷变形监测结果

5.6.2.4.5 加固处理地基强度特征及坝体稳定性研究

(1) 加固地基强度特征

采用振冲碎石桩工艺处理坝基土，取得了良好的加固与置换效果，坝基土的强度性能得到极大的改善，根据现场碎石桩与桩间土重型动力触探试验、标准贯入试验的检测结果和桩间土的级配特性，表 5.6.2.4.5-1~表 5.6.2.4.5-3 分别给出了坝基处理后，碎石桩与桩间土的强度参数建议值。总加固处理深度 30m，分为四个加固土层。

表 5.6.2.4.5-1 碎石桩强度参数及现场测试结果汇总表

土层编号	层厚	强度参数		动力触探击数
	m	C _c (kPa)	Φ _c (°)	(击)
地基加固层 1	2	0	25	2-6
地基加固层 2	4	0	30	3-18
地基加固层 3	9	0	35	6-18
地基加固层 4	15	0	35	6-12

说明：地基加固层中碎石桩的强度参数根据现场动力触探检测结果给出经验参数，相关参考依据为《工程地质手册》有关动力触探击数与强度指标的对照关系。

表 5.6.2.4.5-2 桩间土强度参数及现场测试结果汇总表

土层编号	层厚	不排水强度		固结不排水强度		动力触探击数	标贯击数
	(m)	C	Φ	C	Φ	(击)	(击)
		(kPa)	(°)	(kPa)	(°)		
地基加固层 1	2	0	25	\	\	3-9	\
地基加固层 2	4	0	20	\	\	2-16	\
地基加固层 3	9	14.9	10.2	16.9	18.4	\	6-10
地基加固层 4	15	18.6	12.8	21.1	23	\	\

注：1、地基加固层 1 和地基加固层 2 的强度参数为根据现场检测结果给出的经验数值，参考依据为《工程地质手册》有关动力触探击数与强度指标的对照关系。
2、地基加固层 3 和地基加固层 4 的强度参数根据实测标贯测试结果与处理前的土层的标贯击数进行对照，修正勘察报告中强度参数而得到；地基加固层 3 比尾粉土 3 参数提高 1.5 倍，地基加固层 4 比尾粉土 4 参数提高 1.25 倍。

表 5.6.2.4.5-3 处理后坝基复合地基物理力学参数表

土层编号	层厚	容重 γ	不排水强度		固结不排水强度	
	m		C	Φ	C	Φ
			(kPa)	(°)	(kPa)	(°)
地基加固层 1	2	22	0	25	/	/
地基加固层 2	4	21	0	24.1	/	/
地基加固层 3	9	20.4	9.1	20.9	10.3	25.5
地基加固层 4	15	20.2	15	17.7	17	25.6

(2) 西侧坝体稳定研究

尾矿库坝体的抗滑稳定性能研究，是针对设计确定的坝体设计剖面进行的，加固后坝基土层的分布特征由现场检测结果确定。计算分析方

法采用总应力法，采用简化 Bishop 计算分析方法，对乌努格吐山铜钼尾矿库加高扩容工程西侧坝体不同工况条件下，坝体剖面进行了抗滑稳定安全分析。为了解不同坝高时，坝体的抗滑稳定安全性能，研究中分析了表 5.6.2.4.5-4 列出的计算工况和稳定安全计算分析结果。

分析计算结果表明，试验段坝体在各种工况下坝坡抗滑稳定安全系数均满足规范要求。

表 5.6.2.4.5-4 坝坡稳定性结果汇总表

序号	工况	FS	简图	工况说明
1	815m（内坡基建期）	1.409		施工期第一级子坝（815m 标高）上游坡潜在滑动位置示意图
2	815m（外坡运行期）	1.703		正常运行第一级子坝（815m 标高）下游坡潜在滑动位置示意图

序号	工况	FS	简图	工况说明
3	820m（外坡运行期）	1.705		正常运行第二级子坝（820m 标高）下游坡潜在滑动位置示意图
4	825m（外坡运行期）	1.607		正常运行第三级子坝（825m 标高）下游坡潜在滑动位置示意图
5	830m（外坡运行期）	1.592		正常运行第四级子坝（830m 标高）下游坡潜在滑动位置示意图

序号	工况	FS	简图	工况说明
6	835m（外坡运行期）	1.588		正常运行第五级子坝（835m 标高）下游坡潜在滑动位置示意图
7	840m（外坡运行期）	1.585		正常运行第六级子坝（840m 标高）下游坡潜在滑动位置示意图
8	840m（洪水期）	1.549		洪水条件下第六级子坝（840m 标高）下游坡潜在滑动位置示意图

序号	工况	FS	简图	工况说明
9	840m（外坡地震期）	1.189		地震作用下第六级子坝（840m 标高）下游坡潜在滑动位置示意图

5.6.2.4.6 坝体沉陷变形研究

依据《碾压式土石坝设计规范》（SL274-2020），坝体变形研究采用分层总和法计算。根据坝体荷载类型，采用查表法计算坝基竖向附加应力。

$$S_{\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{p_i}{E_i} h_i$$

式中： S_{∞} ——坝体或坝基最终沉陷量，m；

p_i ——第 i 计算土层由坝体荷载产生的竖向应力，Kpa；

E_i ——第 i 计算土层变形模量，Kpa。

研究报告推荐的处理后地基变形模量见 5.6.2.4.6-1。

表 5.6.2.4.6-1 加固后各土层模量

土层编号	土层埋深 (m)	土层厚度 (m)	土层压力 (kPa)					
			50	100	200	400	800	1200
坝基加固层 1、2	6	6	25	25	25	25	25	
坝基加固层 3	15	9	9.38	10.02	11.37	13.17	16.46	20.07
坝基加固层 4	30	15	6.52	7.34	9.44	12.07	16.83	21.56
尾粉土 5	50	20	1.72	3.10	6.64	11.07	19.08	27.02

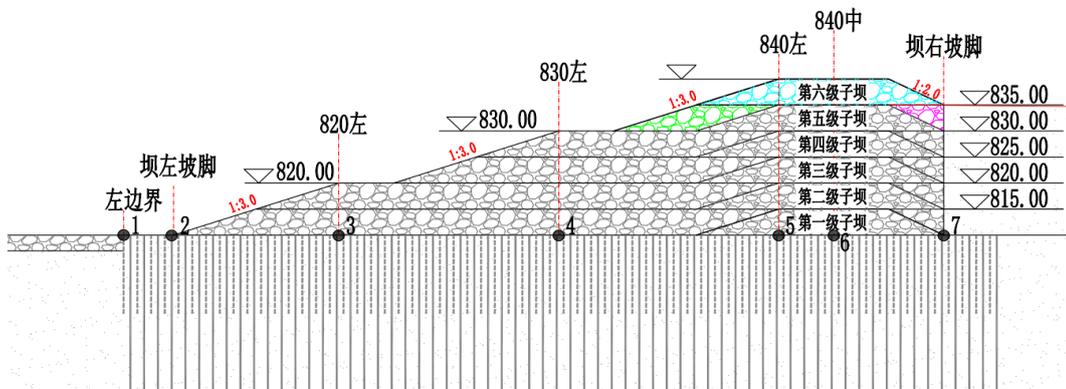


图 5.6.2.4.6 西侧坝体沉陷计算位置图

根据表 5.6.2.4.6-2 计算，西侧副坝达到最终坝高时，坝体累计沉陷量 1.4m。由于沉陷在尾矿库运行中，随着坝体填筑逐渐产生，可在生产过程中填料回补，因此总体是可控的。

表 5.6.2.4.6-2 坝基沉陷变形计算结果 (mm)

筑坝阶段	1	2	3	4	5	6	7
一级坝	-64	-127	-297	-339	-330	-315	-243
二级坝	-79	-172	-513	-643	-622	-590	-468
三级坝	-80	-176	-580	-868	-897	-850	-687
四级坝	-80	-176	-611	-1035	-1118	-1090	-907
五级坝	-80	-176	-616	-1106	-1281	-1271	-1112
六级坝	-80	-176	-617	-1139	-1400	-1398	-1283

5.6.2.4.7 结论及建议

(1) 碎石桩成桩工艺参数

根据坝基加固试验的检验结果，推荐坝基加固处理工艺参数为：

- ① 加密电流：空载电流+30A；
- ② 加密留振时间：30s；
- ③ 充盈系数：不小于 1.9；
- ④ 桩体长度及间距：采用长短桩间隔布置，长桩 30m，短桩 15m。

(2) 碎石桩施工质量控制要点

- ① 控制好每根碎石桩的填料。
- ② 由于场地地层较软，每次填料厚度不应大于 500mm。
- ③ 留振时间和加密电流严格按施工工艺参数控制。
- ④ 桩底 1~2m 土层要适当增加填料量，确保底部桩体密实。
- ⑤ 填料质量：填料粒径控制在 40~150mm，含泥量不大于 5%。
- ⑥ 施工质量检验标准：

表 5.6.2.4.7 振冲碎石桩施工质量检验标准

序号	检查项目	允许偏差或允许值		检查方法
1	填料量	$\geq 95\%$		实际用量与计算体积比
2	石料的含泥量	%	≤ 5	试验室测定
3	桩位	mm	≤ 50	用钢尺量
4	桩标高	mm	± 150	水准仪
5	垂直度	%	≤ 1.5	经纬仪检查套管垂直度

(3) 坝基加固层复合土体物理力学参数

根据坝基加固试验检验结果，推荐复合地基物理力学参数见表

5.6.2.4.5-3。

(4) 施工组织控制要点

①由于后期大面积施工，且工期要求紧迫。前期施工平台提前修筑，平台高出尾矿不小于 1.5m-2m，以保证排浆通畅。

②一台设备可完成碎石桩 150m/天，每台设备平均功率 125KW。每台设备用水量 0.4m³/min。

(5) 检测标准建议值

根据坝基加固试验检验结果，推荐坝基碎石桩地基检验参数为：

① 碎石桩密实度采用重型动力触探检验，平均锤击数不小于 6 击。

② 桩间土密实度采用标准贯入试验检验，标准贯入击数平均值不小于 5 击。

③ 考虑到筑坝周期短，验收检测应在施工结束后不少于 10 天进行。

5.6.2.5 坝基加固处理设计方案

5.6.2.5.1 处理范围

西侧副坝坝基下的沉积尾矿自上而下主要由尾粉土 3（流塑）、尾粉土 4（软塑）、尾粉土 5（松散~稍密）组成，其中尾粉土 3 和尾粉土 4 中存在 2~4 层多年冻土，即冻土层 3-1、冻土层 4-1。上述地层中，尾粉土 5 固结程度相对较好，无须处理；坝基加固处理重点为坝基下的

尾粉土 3 和尾粉土 4，以及冻土层 3-1、冻土层 4-1 等软弱地层。勘察钻孔揭示，上述软弱地层最大埋深不超过 30m。

依据软弱地层的埋藏深度和西侧副坝的设计高度，本次设计坝基加固处理深度确定为 30m，其中 0~15m 地基更软需要加强处理。

对于坝基处理的布桩范围，根据《水利水电工程振冲法地基处理技术规范》（DL/T 5214-2016），应满足以下要求：

（1）对于可液化的软土地基，坝基外缘扩大处理宽度不小于液化土层厚度的 1/2，且不小于 5m；

（2）对于土石坝，按变形和稳定分析结果确定布桩范围。

该尾矿库的入库尾矿粘粒含量 10%~18%，坝体的动力分析结果表明，在设计地震力作用下，仅库内表层尾矿发生液化。综合考虑液化和稳定分析结果，本次设计布桩范围按坝基外缘扩大处理宽度 10m 设计。

5.6.2.5.2 碎石桩布桩方案

根据坝基加固治理的试验研究，采用振冲碎石桩进行坝基加固处理的方案是可行的，处理后的地基满足西侧副坝填筑要求。因此，设计最终选择该方案对西侧副坝坝基进行加固处理。

设计的布桩方案与试验方案相同，即：长、短桩交叉布置，长桩深度 30m、短桩深度 15m。短桩范围内的地基置换率 39%，15m~30m 深度范围的地基置换率 19.5%。

设计长、短碎石桩直径为 1.2m，长、短桩均为正方形方式布置，间距 2.4m，桩间距 1.7m。

5.6.2.5.3 施工机械设备及参数

根据坝基加固处理试验确定施工设备和参数。

（1）施工设备

长度 30m 桩宜采用 130KW 型振冲器，15m 桩宜采用 75KW 型振冲器。水冲压力 0.6MPa（规范建议水冲压力为 0.3 MPa-0.6MPa）。

（2）施工参数

加密电流：空载电流+30A，振冲器的空载电流与所选的机械相关。

加密留振时间：30s，达到加密电流时需要持续加密时间。

充盈系数：建议不小于 1.9，试验区场地表层流塑层基本没有强度，会有大量碎石充填至桩间，尾矿干滩土层强度会强于澄清区。因此，施工时可根据实际情况调整。

5.6.2.5.4 质量控制要求

（1）填料质量

根据试验结果，设计填料粒径控制在 40mm~150mm，含泥量不大于 5%。施工过程中，填料按 2000m³~5000m³ 一组送检。

（2）施工填料

本场地地层较软，每次填料厚度不应大于 500mm；地下 1~2m 土层要适当增加填料量，确保底部桩体密实。

（3）质量检测

① 检测标准：执行试验建议推荐标准，见表“5.1.2.4.7 振冲碎石桩施工质量检验标准”。

② 检测方法及检验批

桩体密实度宜采用重型动力触探试验确定，检测数量应达到成桩数量的 1%~3%， $N \geq 6$ ；

桩间土：深度 ≤ 5 m，采用动力触探， $N \geq 3$ ；深度 > 5 m，采用标准贯入试验、静力触探和室内试验检测， $N \geq 5$ ，同时抗剪强度指标不低于设计采用值。

对于地基承载力宜根据复合地基载荷试验或碎石桩、桩间土载荷试

验确定，也可根据实际情况采用其他原位测试方法综合评定。检测点数量按每 200-400 个桩抽检 1 点，且检测点总数不少于 3 点。

5.6.2.5.5 坝基处理施工

（1）施工计划

按照总体计划安排并考虑气候特点，振冲碎石桩坝基加固工程的施工计划在 2025 年 4 月 1-15 日开工，历时 3 个月至 6 月底完成基建期一期子坝范围（含边缘扩大部分，共计 16 万 m^2 ）坝基加固，而后开始填筑西侧副坝。其他坝基处理工程在运行期陆续完成。

依据试验段坝基加固工程进度和计划工期，预计施工时需投入 80 台振冲及配套设备（130KW、75KW 各 40 台）。

（2）施工前准备工作

西侧副坝的设计坝基标高 810m，目前西侧坝基处的尾矿沉积标高较低，且约 800m 长坝段穿越水区（水面标高 802.35m、水下滩面标高约 800m）。为了便于施工作业，首先通过库尾放矿将西侧坝基部位的滩面标高充填至 809m-810m，然后在坝基范围内抛填碎石至标高 810m 形成振冲碎石桩施工作业平台，具备条件后开展振冲碎石桩加固地基施工作业。此前应做好施工现场的电、水、路及坝基处理场地的碎石抛填场地，完成“三通一平”工作、施工备料及招投标工作。这些工作均应在项目审查通过后及时开展。

振冲充填石料和场地碎石抛填所用石料均应满足设计要求，这部分材料用量较大，是制约本工程的进度的关键因素。基建期施工期间，废石总量约 288 万 m^3 ，平均 3.2 万 m^3/d 。上述石料可优先在采场破碎筛分，不足部分可利用现有堆浸车间的破碎设备提前备料。堆浸车间破碎站日处理能力为 2.5 万 m^3/d ，两者合计能够满足施工要求。

高峰时，现场的施工用电负荷约 12000KW。目前矿区变电站容量 14.3

万 KW, 剩余容量 2 万 KW, 用电容量有富裕, 能够满足施工要求。矿区变电站位于生产区大门口, 距离尾矿库约 1.4km, 通过新建输电线路可解决施工用电。

施工用水量 $1920\text{m}^3/\text{h}$, 利用尾矿库回水, 并循环使用。

(3) 施工管理

施工过程中应制定科学合理的施工组织计划, 并严格落实施工过程的安全责任制度, 确保坝基加固工程在安全的前提下, 依照计划有序进行, 最终实现计划目标。

5.6.2.6 西侧坝体分期填筑方案及工程量

西侧坝体 810m 至 840m 标高分 6 期填筑, 每期高度 5m。坝体填筑顺序依照自下而上的次序逐层填筑。坝体填筑时, 先填筑子坝, 后填筑子坝下游侧的废石坝壳, 并保持坝体顶面均衡上升。子坝上升速度应大于库内尾矿上升速度, 并始终保持子坝坝顶与库内尾矿滩顶高差不超过 5m。子坝下游侧废石坝壳填筑应满足子坝上升速度要求, 滞后不大于一级, 即当上一级子坝全部堆筑完成时, 其下部坝体 (含坝壳) 应全部完工。

按照设计要求, 尾矿库运行过程中, 西侧尾矿坝临时坝坡的平均坡比始终缓于 1:3。

西侧坝体工程量见表 5.6.2.6-1~2:

表 5.6.2.6-1 西侧坝体施工分期石料用量计划表

筑坝分期	子坝		下游坝壳		石料量 (m^3)	累计石料量 (m^3)
	坝顶标高 (m)	石料量 (m^3)	坝顶标高 (m)	石料量 (m^3)		
第一期 (基建期)	812.5	163576			163576	163576
第一期 (生产期)	815	591299			591299	591299
第二期	820	566156	815	1912350	2478506	3233381
第三期	825	566156	820	1207800	1773956	5007338
第四期	830	566156	825	830363	1396519	6403856
第五期	835	566156	830	603900	1170056	7573913
第六期	840	566156	835	226463	792619	8366531

表 5.6.2.6-2 西侧坝体基础石料用量表

筑坝分期	西侧坝体基础处理		累计石料量 (m^3)
	处理宽度 (m)	石料量 (m^3)	
第一期（基建期）	42.5	1553737	1553737
第一期（生产期）	37.5	1333298	2887035
第二期	80	2887035	5774070

5.6.3 东侧、南侧及北侧坝体

5.6.3.1 坝型及坝体结构

尾矿库东、南及北侧坝体以原设计上游法最终堆积坝顶轴线为基准采用中线式废石筑坝方案加高坝体，即标高 810.00m~标高 840m 的坝体采用中线筑坝方式。

本期加高扩容工程加高坝体均由子坝和废石坝壳（压坡体）构成，子坝随着库区滩面上升分期填筑，废石坝壳随子坝升高自下而上分层填筑，坝体堆筑过程中，始终保持坝壳部分滞后子坝一级、且同步升高。

设计子坝 6 级，单级子坝高度均为 5m，内、外坡比均为 1:2.0。1~5 级子坝顶宽 20m，第 6 级子坝顶宽 10m。子坝内坡自下而上依次铺设 300mm 厚砂砾石保护层（ $d=2-20mm$ ）、SNG-PP-15 型 $400g/m^2$ 土工布、300mm 厚砂砾石保护层（ $d=2-20mm$ ）。子坝上游排放尾矿，下游堆筑废石坝壳共同构成坝体。终期尾矿坝外坡设置 300mm 厚碎石护坡。

为了保证坝体安全，对标高 780m 以上、坐落在原堆积坝面的废石坝壳（压坡体）按有效厚度 25m 左右控制，该段的设计平均坡比 1:4，由 9 个台阶（含第 6 级子坝）构成。其中：标高 780m~810m 设 3 个台阶，台阶高度 10m、顶宽 10m，台阶坡比 1:3；标高 810m~840m 设 6 个台阶，台阶高度 5m、顶宽 10m，台阶坡比 1:2。

标高 780m 以下的废石坝壳（压坡体）坐落在原初期坝和天然地基上。其设计平均坡比 1:1.83，自上而下每 15m 高设 1 个台阶，台阶顶宽 2m、坡比为 1:1.7。

东、南、北侧坝体加高典型剖面图见 5.6.3.1-1~3。

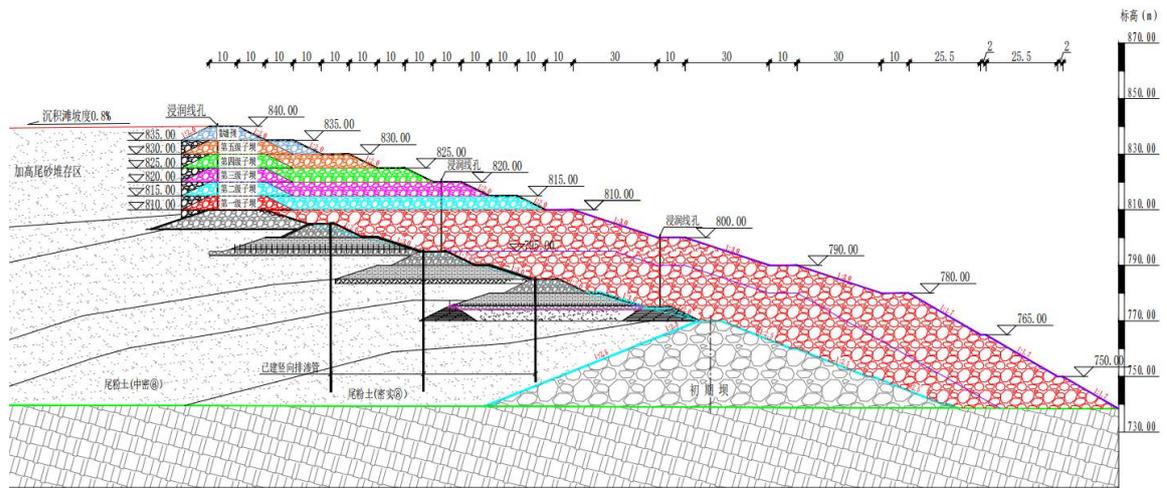


图 5.6.3.1-1 东侧坝体典型断面图

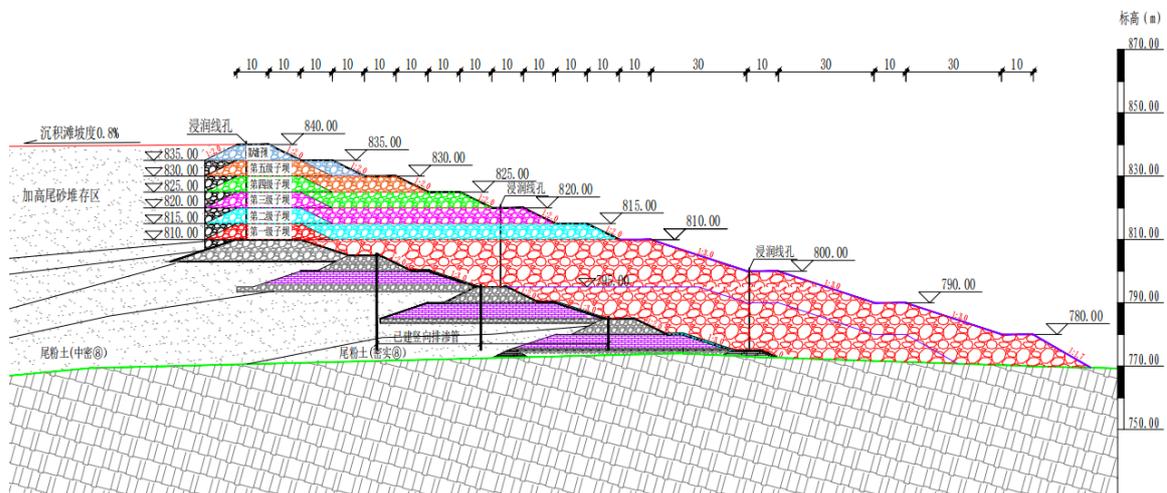


图 5.6.3.1-2 南侧坝体典型断面图

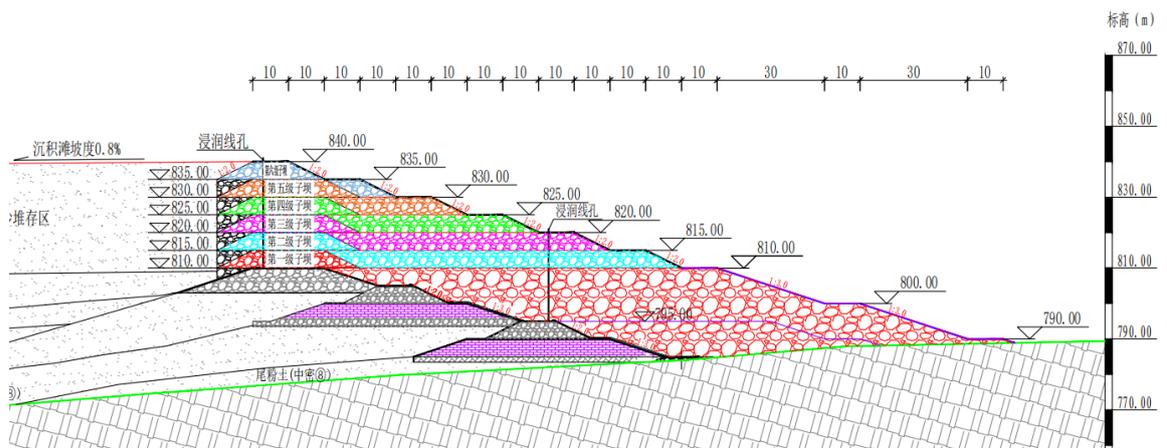


图 5.6.3.1-3 北侧坝体典型断面图

尾矿坝垂直坝轴线方向设置踏步，踏步间距不大于 500m。

尾矿坝坝面设置网状排水沟，排水沟除过路段均为钢筋混凝土矩形

结构。坝面台阶纵向排水沟净断面尺寸为 $b \times h = 500 \times 500 \text{mm}$ ；坡面竖向排水沟净断面尺寸为 $b \times h = 500 \times 400 \text{mm}$ ，间距 100m 设一条。尾矿坝最终边线外侧修建坝趾排水沟，排水沟为梯形断面，上底宽 2.0m，下底宽 1.0m，高 1.0m，为钢筋混凝土结构，壁厚 0.2m。

上述排水沟应在下游坡面终期边坡面形成后开始修筑。

5.6.3.2 筑坝材料及填筑要求

筑坝石料为露天采场剥离废石，石料极限抗压强度一般不小于 40MPa，软化系数不低于 0.75。

坝体堆筑子坝设计孔隙率 $\leq 25\%$ ，其他部位设计孔隙率 $\leq 28\%$ ，砂砾石的相对密度不低于 0.75。坝体填筑施工前应进行筑坝碾压试验，确定施工机械、铺料层厚度、压实遍数等施工碾压参数，确保工程质量。

5.6.3.3 坝体分期建设实施方案及工程量

根据现场实际情况，本次设计基建期要求完成第一级子坝堆筑，坝壳废石压坡至标高 810m。尾矿库运行过程中，坝体随库区滩面逐级堆筑，并始终保持子坝高于库区滩面、废石坝壳压坡滞后子坝不超过一级。

东侧、南侧及北侧坝体废石筑坝工程量如下表：

表 5.6.3.3 东、南及北侧坝体施工分期石料用量表

标高范围 (m)	东、南、北侧坝体 (m ³)		合计 (m ³)	累计石料量 (m ³)
	子坝	子坝下游坝体		
770 以下		4595433	4595433	4595433
770~775		1962556	1962556	6557989
775~780		2519921	2519921	9077909
780~785		2519255	2519255	11597164
785~790		2935175	2935175	14532339
790~795		2856133	2856133	17388472
795~800		3129719	3129719	20518191
800~805		2931535	2931535	23449726
805~810		3138235	3138235	26587961
810~815	1229811	2624548	3854359	30442320
815~820	1037190	1987502	3024692	33467012
820~825	1037190	1399863	2437053	35904065
825~830	1037190	836791	1873981	37778046
830~835	1037190	280901	1318091	39096137
835~840	745759		745759	39841896

5.6.4 石料平衡

根据尾矿库运行情况，对尾矿库加高扩容工程全部运行期内的石料筑坝量与采场剥离废石量按筑坝高度及施工顺序进行平衡计算，坝顶上升速度需满足库内沉积滩面的上升速度和防洪安全的需要，并保证坝顶与库内沉积滩面的最大高差不超过 5m。

表 5.6.4 石料平衡关系表

筑坝分期	东、南、北侧坝体					西侧坝体						石料总计 (万 m ³)	采场岩石采剥计划		石料量平衡关系	设计滩顶标高 (m)	新增全库容 (万 m ³)	新增有效库容 (万 m ³)	服务年限 (年/月)
	子坝		子坝下游坝体			子坝		子坝下游坝体		坝体基础石料量 (万 m ³)	小计 (万 m ³)		作业时间	石料量 (万 m ³)					
	顶标高 (m)	石料量 (万 m ³)	顶标高 (m)	石料量 (万 m ³)	小计 (万 m ³)	顶标高 (m)	石料量 (万 m ³)	顶标高 (m)	石料量 (万 m ³)										
第一期 (基建期)	812.5	59	810	1279	1338	812.5	16			155.4	172	1509	2024 年-2025 年	3857	2348	812.5	656	590	0.32/3.8
第一期 (生产期)	815	64	810	1380	1444	815	59			133.3	192	1637	2024 年-2025 年	2348	711	815	656	590	0.32/3.8
第二期	820	104	815	262	366	820	57	815	191	288.7	537	903	2026 年	1614	711	820	2624	2362	1.17/14
第三期	825	104	820	199	302	825	57	820	121		177	480	2026 年	711	231	825	3937	3543	1.75/21
第四期	830	104	825	140	244	830	57	825	83		140	383	2027 年	1550	1167	830	5249	4724	2.34/28
第五期	835	104	830	84	187	835	57	830	60		117	304	2027 年	1167	862	835	6561	5905	2.92/35
第六期	840	75	835	28	103	840	57	835	23		79	182	2028 年	1487	1305	840	7873	7086	3.51/42
合计:		612		3372	3984		359		478	577	1414	5398							

5.6.5 尾矿排放

（1）尾矿排放

尾矿库采用周边排矿，放矿主管道 2 条 $\Phi 480 \times 16\text{mm}$ ，分别从北侧副坝及南侧副坝向主坝侧敷设，两条管道同时运行。主管道每隔 50m-80m 设一个放矿支管，放矿支管管径 $\text{DN}=100\text{mm}$ ，同时作业放矿支管数量 13 条。

由于坝轴线较长，应采取各坝段交替轮流放矿，控制沉积滩长度和坡度，保持库区滩面均匀上升，并将水区按设计要求控制在库区中央，尾矿库正常运行时干滩长度不小于 300m，防洪高度不小于 2.4m，300m 干滩范围内平均坡度不小于 0.8%。

目前西侧库尾沉积滩（包括水下沉积滩）较低，标高约 798.50m，为便于西侧坝体基础加固施工，首先在库区西侧放矿，使西侧筑坝区坝基范围的滩面标高达到 809m~810m，并将库内水区控制在库区中央。按 87000t/d 生产规模计算，预计 2 个月时间西侧筑坝区坝基范围的滩面标高可达到 809m~810m，计划 2025 年 1 月开始在库区西侧排矿。

（2）冬季放矿

根据前期冬季排矿经验及库区气候条件，冬季排矿时间为 9 月-翌年 5 月。

冬季放矿期间，采用末端独头放矿形式，管径 $\text{DN}300\text{-DN}400$ ，末端 PE 管探出滩面上的长度不小于 15m。优先主坝排矿，两条尾矿输送管各占主坝一半，主坝排满后，南副坝、北副坝依次回撤放矿；当尾矿每升高 0.5m 即改至下一个排矿点放矿，排矿点间距约 100m。

冻害是严寒地区尾矿库的普遍现象。根据现有尾矿库运行情况，乌山尾矿库很难彻底消除冰冻现象，只能控制冰冻对坝体的安全影响。对此，设计采取了废石堆筑子坝、增大坝体厚度等措施，进一步降低冻害

影响。在冬季尾矿库滩面满足机械施工作业条件下，对滩面进行挖掘破冰沟作业，沟宽 1.2m-2.0m、深度不小于 2.0m(根据实际开挖冻土情况进行调整)、间距 50m-100m、伸向库内 100m-150m。挖掘破冰沟能有效破坏滩面冻层连续性，为尾矿库坝体稳定和浸润线控制奠定基础。在冻土处理完毕后恢复分散放矿。

5.6.6 坝体稳定性分析

5.6.6.1 扩建前的坝基地层

扩容前原尾矿库由东、南、北三面筑坝，后期坝采用上游法堆筑而成，子坝由模袋坝、废石坝交替筑坝堆积而成，入库尾矿采用坝前排矿。扩容后尾矿库坝体由东、南、西、北四面筑坝围合而成，四面均采用中线法筑坝，下游坝壳和子坝均由采场剥离废石堆筑。其中东、南、北三侧坝体坝基均坐落于原二期尾矿库堆积坝、初期坝和原地面上；西侧坝体大部分坐落于二期尾矿库库尾澄清水区。根据尾矿特性库内沉积尾矿主要为尾粉土，受气候的影响，库内存在多年冻土（尾矿），受放矿影响，各坝体沉积尾矿地层分布虽有差异，但总体相近。坝前沉积滩区域库内尾矿自上而下分别由 3 尾粉土（流塑）、4 尾粉土（软塑）、5 尾粉土（松散-稍密）、6 尾粉土（稍密-中密）、7 尾粉土（中密-密实）、8 尾粉土（稍密-密实）构成，随着尾矿埋深增加，固结程度逐渐提高，由于尾矿渗透性较差，坝体尾矿处于欠固结状态。库尾澄清水区尾矿自上而下分别由 3-3 高浓度尾矿浆、3-2 尾粉土（流塑、澄清区）、4-2 尾粉土（软塑、澄清区）、5-2 尾粉土（松散-稍密、澄清区）构成，相比其他侧坝体，固结程度更低。依据尾矿勘察报告，对扩建前的地层说明如下：

5-1 多年冻土：灰色，为库内冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。

5-2 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，水下饱和，局部为尾粉质黏土，松散-稍密。该层主要分布在澄清水区。

6 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，水下饱和，局部为尾粉质黏土，稍密-中密。

7 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，水下饱和，局部为尾粉质黏土，中密-密实。

8 尾粉土：灰色，切面无光泽，摇振反应中等-迅速，干强度高，韧性低，为尾矿堆积层，水上湿，水下饱和，局部为尾粉质黏土，稍密-中密。

8-1 尾粉土：灰色，切面无光泽，中密，局部为尾粉质黏土，局部密实。

8-2 尾粉土：灰色，切面无光泽，密实。

8-3 多年冻土：灰色，为平台下冰冻层，岩芯基本呈柱状，切面有冰晶，局部有薄冰夹层，局部为尾粉质黏土，密实。

9-1 花岗岩（Mz）：全风化，块状构造，极破碎，岩芯呈碎块状， $RQD < 10$ ，软岩-较软岩，岩体基本质量等级为V。

9-2 花岗岩（Mz）：强风化，块状构造，破碎，岩芯呈碎块状，软岩-较软岩，岩体基本质量等级为V。

9-3 花岗岩（Mz）：中风化，块状构造，较破碎-较完整，岩芯呈短柱状、长柱状， $25 \leq RQD < 75$ ，较软岩-较硬岩，岩体基本质量等级为IV-III。

5.6.6.1.2 设计地层概化

依据勘察建议，对尾矿库地层概化如下：

(1) 二期尾矿库现状计算概化分区

① 3-1 多年冻土层、4-1 多年冻土层在稳定性分析时可按周围土体考虑，在局部稳定性分析时按推荐值考虑；

② 770m 标高以下局部的冻土层按周围土体考虑；

(2) 二期尾矿库扩容后计算概化分区

① 标高 810.00m-840.00 m 范围地层按 3 尾粉土层、3-1 多年冻土层、4 尾粉土层、4-1 多年冻土层考虑；

② 标高 795.00m-810.00m 范围按 4 尾粉土层、4-1 多年冻土层、5 尾粉土层考虑；

③ 加高后 795.00m 标高以下的 4-1 多年冻土层按 4 尾粉土层考虑，冻土层可视为周围土体考虑；

④ 加高后 840.00m 标高以下，6 尾粉土层、7 尾粉土层、8 尾粉土层、8-1 尾粉土层、8-2 尾粉土层和 8-3 多年冻土层保持不变；

⑤ 其他原始地层保持不变。

⑥ 根据二期尾矿库地层组成情况，分析整理后各层的物理力学指标见下表 5.1.6.1.3。

(3) 西侧副坝坝基处理后的概化分区

① 坝基加固 1 层：原地面以下 2m，碎石施工平台；

② 坝基加固 2 层：原地面以下 3-6m，碎石施工平台和长、短碎石桩；

③ 坝基加固 3 层：原地面以下 7-15m，长、短碎石桩；

④ 坝基加固 4 层：原地面以下 16-30m，长碎石桩。

⑤ 安全起见，处理后坝基土强度均采用不排水强度参数进行计算。

计算结果详见表 5.6.2.4.5-3。

5.6.6.1.3 物理力学指标

表 5.6.6.1.3 二期尾矿库各层的物理力学指标表

序号	材料名	容重 (KN/m ³)	渗透系数 (m/s)	凝聚力 C (KPa)	摩擦角 (°)
1-1	初期坝	22	3.0E-04	5	35.0
1-2	石料子坝	22	3.0E-05	5	32.0
2	尾粉土 (模袋)	20.5	5.7E-08	11.1	24.6
3	尾粉土 (流塑)	19	6.3E-08	8.8	2.1
3-1	多年冻土	16.9	<1.0E-08	10.0	10.2
3-2	尾粉土 (澄清水区)	19	6.3E-08	8.8	2.1
4	尾粉土 (软塑/松散)	19.7	4.8E-08	11.5	14.5
4-1	多年冻土	17.1	<1.0E-08	12.8	13.3
4-2	尾粉土 (澄清水区)	19.7	8.5E-06	14.9	10.2
5	尾粉土 (松散-稍密)	19.9	5.0E-08	16.4	18.8
5-1	多年冻土	17.2	<1.0E-08	14.1	14.2
5-2	尾粉土 (澄清水区)	19.9	7.4E-08	16.4	15.1
6	尾粉土 (稍密-中密)	20.2	4.6E-08	16.8	20.9
7	尾粉土(中密-密实)	20.5	4.6E-08	17.2	21.2
8	尾粉土 (稍密-中密)	20.5	5.1E-08	16.1	21.4
8-1	尾粉土 (中密-密实)	20.5	4.3E-08	19.2	23.9
8-2	尾粉土 (密实)	20.7	2.8E-08	18.4	24.8
⑦ ₁ /9-1	花岗岩 (全风化)	20.6	2.8E-05	9.0	32.0
⑦ ₂ /9-2	花岗岩 (强风化)	23.5	1.6E-05	15.0	35.0
⑦ ₃ /9-3	花岗岩 (中风化)	27.1	4.0E-07	20.0	40.0

序号	材料名	容重 (KN/m ³)	渗透系数 (m/s)	凝聚力 C (KPa)	摩擦角 (°)
10	中线法石料坝壳	21	3.0E-05	6.0	30.0
11-1	坝基加固 1 层	22	3.0E-05	0	25
11-2	坝基加固 2 层	21	3.0E-05	0	24.1
11-3	坝基加固 3 层	20.4	8.0E-05	9.1	21.0
11-4	坝基加固 4 层	20.2	5.0E-06	15.0	17.7

注：西坝体 840m 标高 1-1 剖面一期库地层有一期库③层（稍密）和一期库④层（中密），其中凝聚力（KPa）和摩擦角（°）分别为（12.3，19.5）和（19.5，22.3）。

5.6.6.2 典型的计算剖面、工况、边界条件

本次设计二期尾矿库加高 30m，新增库容 7873 万 m³，扩容后总坝高 124m，全库容 30392 万 m³，尾矿库的终期等别为二等，依据《尾矿库安全规程》（GB39496-2020），坝体级别为 2 级。

根据该尾矿库扩容设计和工程勘察，东侧坝体、南侧坝体和北侧坝体稳定分析选择 810.00m（现状标高）和 840.00m（本次扩容后最终标高）典型剖面计算；西侧坝体稳定分析选择坝顶标高 812.50m 和 815.00m 和 840.00m（本次扩容后最终标高）典型剖面计算。坝体稳定分析计算工况除了正常、洪水、特殊工况外，西侧坝体标高 812.50m 和 815.00m 还涵盖施工期运行工况（施工工况坝顶均布荷载 20KPa）。典型剖面及位置见表 5.6.6.2-1 和图 5.6.6.2-1、5.6.6.2-2。

表 5.6.6.2-1 稳定性分析的计算剖面 and 工况表

序号	计算剖面	工况
一	现状坝体标高 810.00m	
1	东侧坝体（典型）	正常、洪水、特殊工况
2	南侧坝体（典型）	正常、洪水、特殊工况
3	北侧坝体（典型）	正常、洪水、特殊工况
二	扩容后最终设计标高 840.00m	
1	东侧 1-1 坝体剖面	正常、洪水、特殊工况
	东侧 2-2 坝体剖面	正常、洪水、特殊工况
	东侧 3-3 坝体剖面	正常、洪水、特殊工况
2	南侧 1-1 坝体剖面	正常、洪水、特殊工况
	南侧 2-2 坝体剖面	正常、洪水、特殊工况

序号	计算剖面	工况
3	北侧 1-1 坝体剖面	正常、洪水、特殊工况
	北侧 2-2 坝体剖面	正常、洪水、特殊工况
4	西侧 1-1 坝体剖面	正常、洪水、特殊工况
	西侧 2-2 坝体剖面	正常、洪水、特殊工况
三	施工期西侧坝体标高 812.50m 和 815.00m	
1	西侧坝体标高 812.50m 空库	施工工况
2	西侧坝体标高 812.50m 满库	正常、洪水、特殊工况
3	西侧坝体标高 815.00m 空库	
4	西侧坝体标高 815.00m 满库	

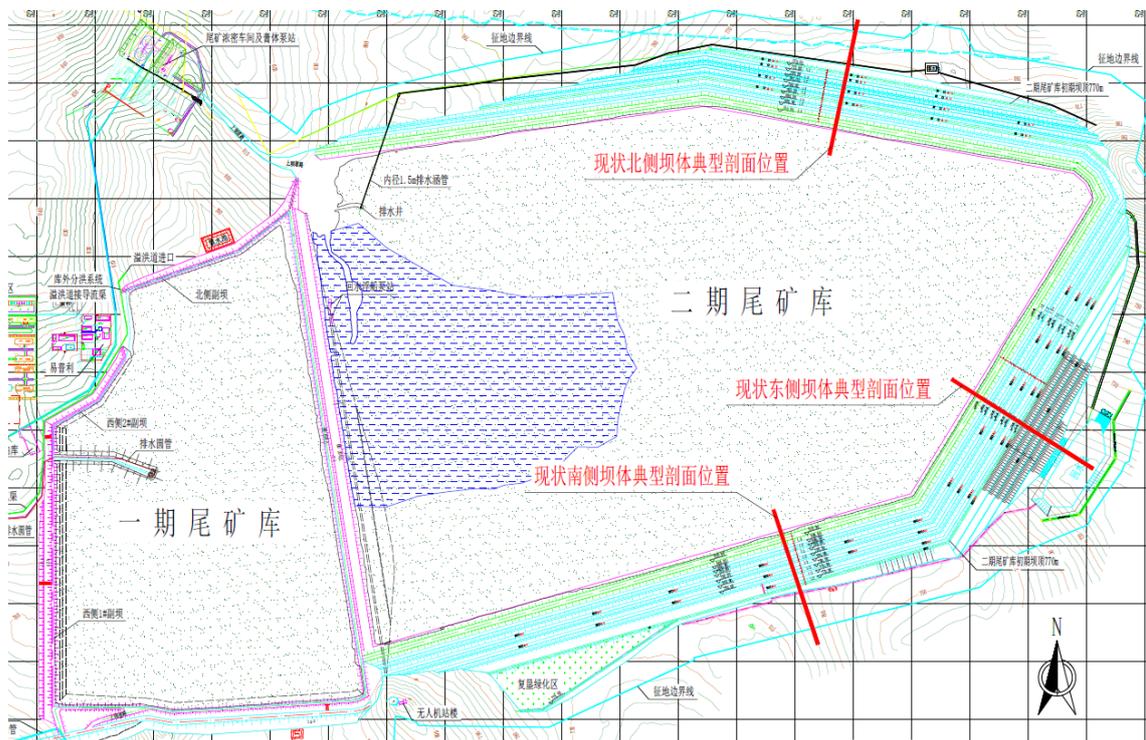


图 5.6.6.2-1 现状稳定分析典型剖面位置图

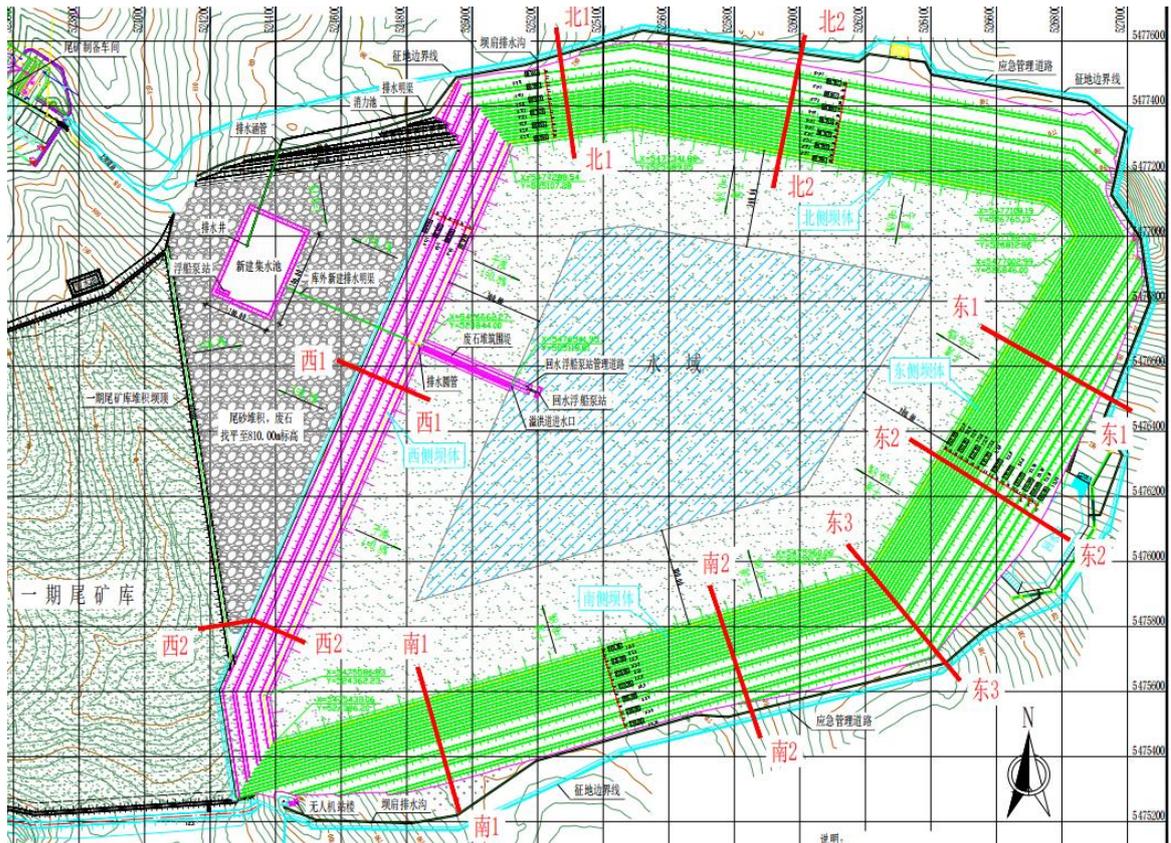


图 5.6.6.2-2 加高扩容后稳定分析典型剖面位置图

根据调洪计算，即便在不排水的情况下，尾矿库仍可容纳多次设计标准的全部洪水。设计尾矿库正常运行时的最小干滩长度均大于 300m，沉积滩坡度为 0.8%。考虑到库区尾矿的赋存状态和放矿水的影响，经化引后计算渗流。尽管上述假定也不能完全模拟实际运行状况，但正常运行时，计算浸润线埋深与实测浸润线埋深相近。

库内尾矿地层均属于微透水层，渗透系数均在 $10^{-6} \leq k < 10^{-5} \text{cm/s}$ 区间，洪水工况下不能形成稳定的浸润线，洪水与正常运行工况时浸润线基本相同，从安全考虑，本次设计洪水工况浸润线按正常工况计算的浸润线埋深抬升 1m 进行考虑。设计的边界条件如下表：

表 5.6.6.2-2 稳定边界计算条件

坝顶标高 (m)	正常运行		
	库水位 (m)	干滩长度 (m)	化引干滩长度 (m)
810	806.00	500	150
840	837.60	300	90

5.6.6.3 概化剖面

(1) 尾矿库现状标高 810.00m 概化分区剖面图

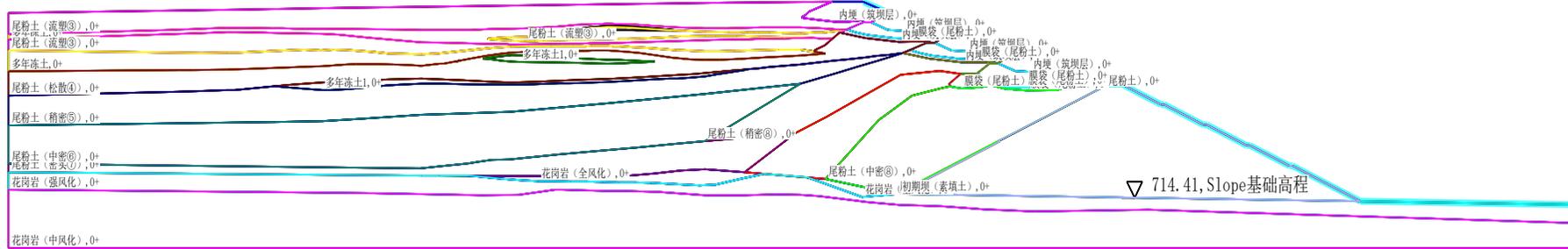


图 5.6.6.3-1 标高 810.00m 现状东侧坝体概化分区剖面

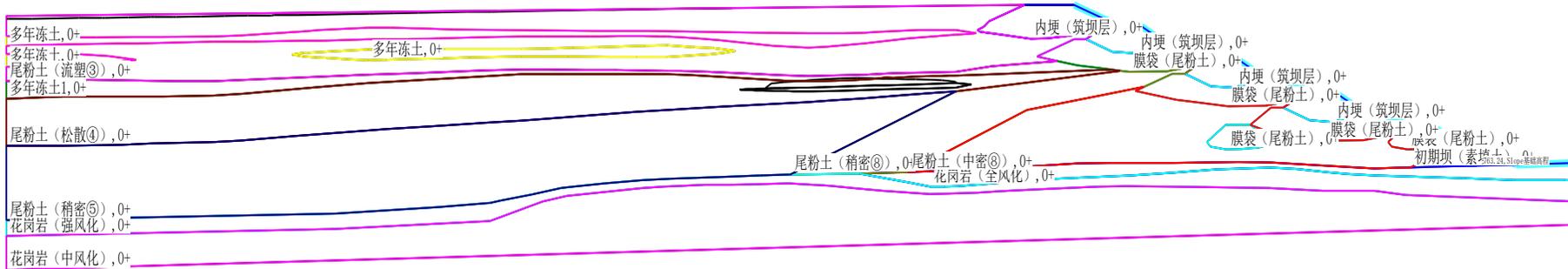


图 5.6.6.3-2 标高 810.00m 现状南侧坝体概化分区剖面

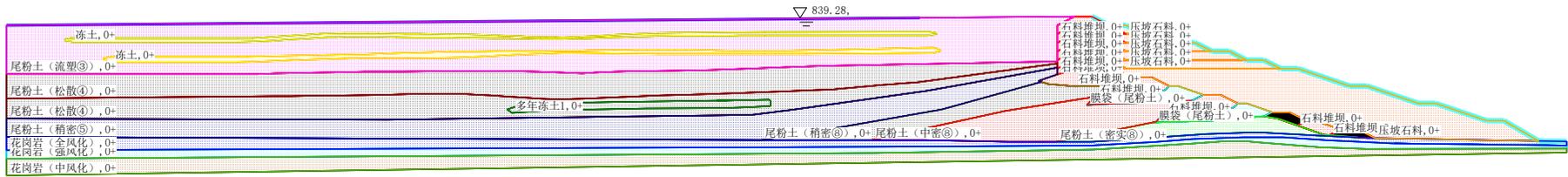


图 5.6.6.3-7 标高 840.00m 南侧 1-1 坝体概化分区剖面



图 5.6.6.3-8 标高 840.00m 南侧 2-2 坝体概化分区剖面



图 5.6.6.3-9 标高 840.00m 北侧 1-1 坝体概化分区剖面

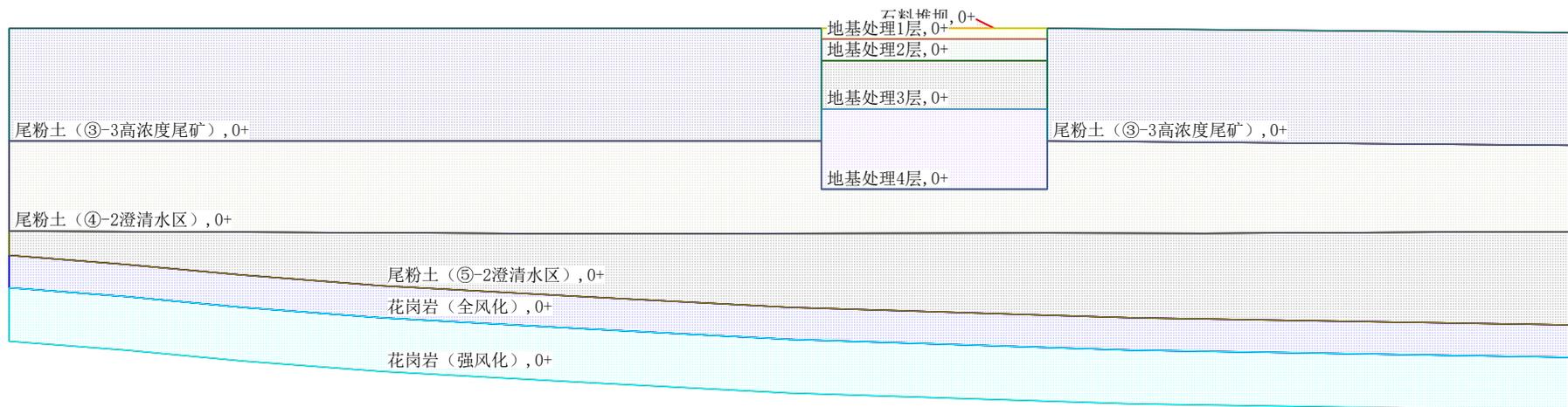


图 5.6.6.3-13 西侧坝体标高 812.50m 空库概化分区剖面

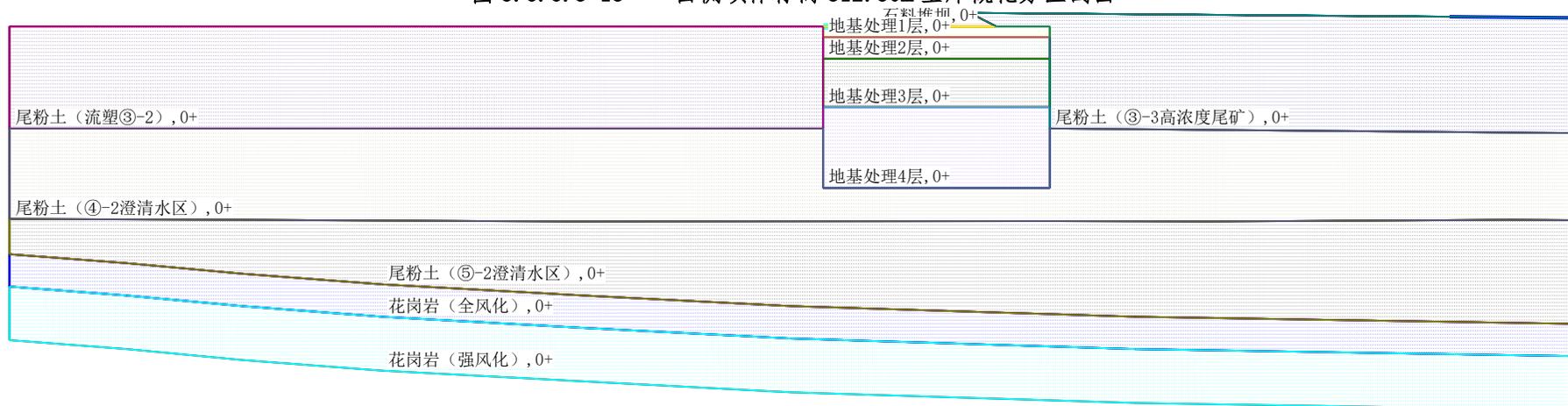


图 5.6.6.3-14 西侧坝体标高 812.50m 满库概化分区剖面

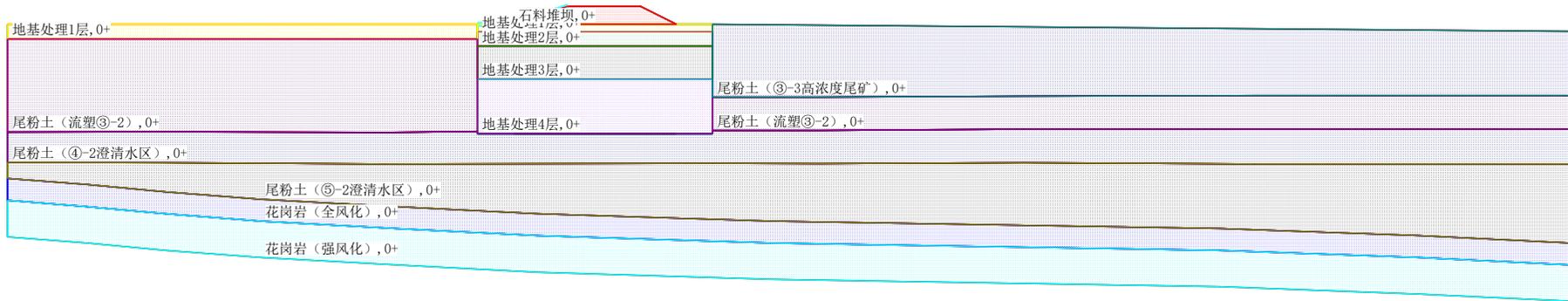


图 5.6.6.3-15 西侧坝体标高 815.00m 空库概化分区剖面

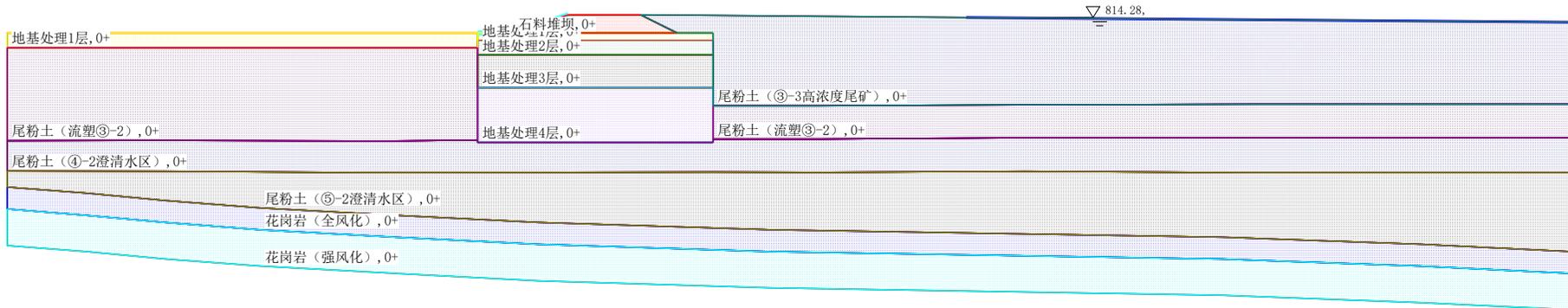


图 5.6.6.3-16 西侧坝体标高 815.00m 满库概化分区剖面

5.6.6.4 坝体渗流计算

5.6.6.4.1 渗流计算公式

对于稳定渗流，符合达西定律的非均各向异性二维渗流场，水头势函数满足微分方程：

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + Q = 0$$

式中： $\phi = \phi(x, y)$ 为待求水头势函数；

x, y 为平面坐标；

k_x, k_y 为 x, y 轴方向的渗透系数。

水头 ϕ 还必须满足一定的边界条件，经常出现以下几种边界条件：

①在上游边界上水头已知

$$\phi = \phi_n$$

②在逸出边界水头和位置标高相等

$$\phi = z$$

③在某边界上渗流量 q 已知

$$k_x \frac{\partial \phi}{\partial x} l_x + k_y \frac{\partial \phi}{\partial y} l_y = -q$$

其中 l_x, l_y 为边界表面向外法线在 x, y 方向的余弦。

将渗流场用有限元离散，假定单元渗流场的水头函数势 ϕ 为多项式，由微分方程及边界条件确定问题的变分形式，可导得出线性方程组：

$$[H] \{ \phi \} = \{ F \}$$

式中 $[H]$ ——渗透矩阵； $\{ \phi \}$ ——渗流场水头； $\{ F \}$ ——节点渗流量。

求解以上方程组可以得到节点水头，据此求得单元的水力坡降，流速等物理量。求解渗流场的关键是确定浸润线位置，Autobank7.51采用节点流量平衡法通过迭代计算自动确定浸润线位置和渗流量。

5.6.6.4.2 渗流计算结果

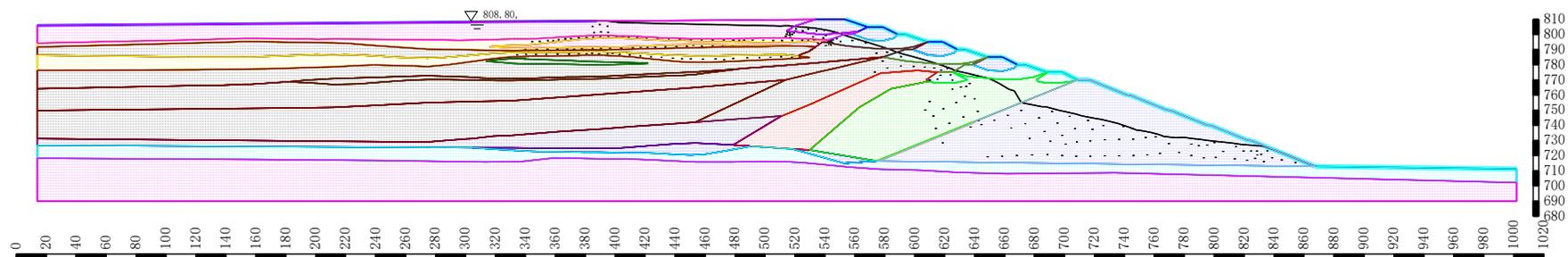
表 5.6.6.4.2 渗流量计算结果表

尾矿坝断面	运行工况	渗流量计算结果
现状 810.00m 东侧坝体	正常运行	$7.12 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$
现状 810.00m 南侧坝体	正常运行	$3.64 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$
现状 810.00m 北侧坝体	正常运行	$4.43 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$
840.00m 东侧 1-1 坝体	正常运行	$8.59 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$
840.00m 东侧 2-2 坝体	正常运行	$9.77 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$
840.00m 东侧 3-3 坝体	正常运行	$1.10 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$
840.00m 南侧 1-1 坝体	正常运行	$4.40 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$
840.00m 南侧 2-2 坝体	正常运行	$4.23 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$
840.00m 北侧 1-1 坝体	正常运行	$4.89 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$
840.00m 北侧 2-2 坝体	正常运行	$4.24 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$
840.00m 西侧 1-1 坝体	正常运行	$4.62 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{s}$
840.00m 西侧 2-2 坝体	正常运行	$2.52 \times 10^{-7} \text{m}^3/\text{s}$
西侧坝体标高 812.50m 满库	正常运行	$2.94 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$
西侧坝体标高 815.00m 满库	正常运行	$1.48 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$

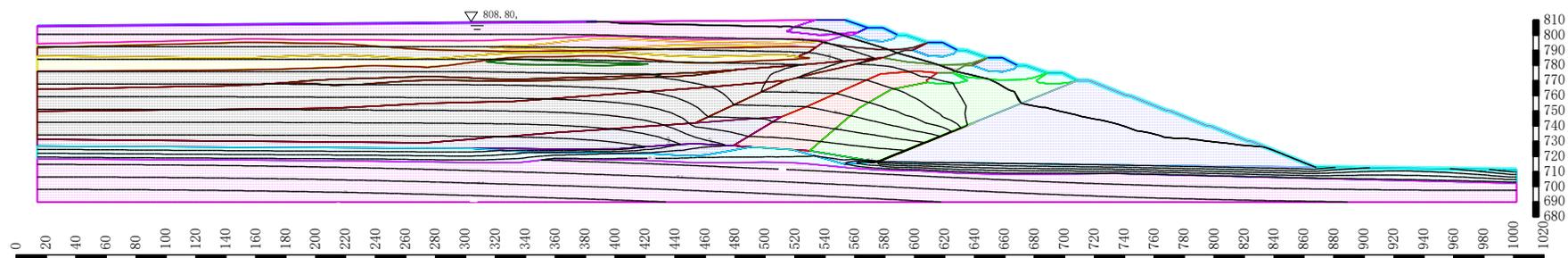
在考虑了库内存在冰冻层不利因素的情况下（由于无法判断竖向排渗设施是筑坝区域尾矿物理力学指标变化的直接因素，渗流计算时也暂未考虑），从数据上来看大部分尾矿水均通过地基渗出，计算结果合理。

5.6.6.4.3 渗流计算附图

(1) 810.00m 现状东侧坝体正常运行（图 5.6.6.4.3-1~2）

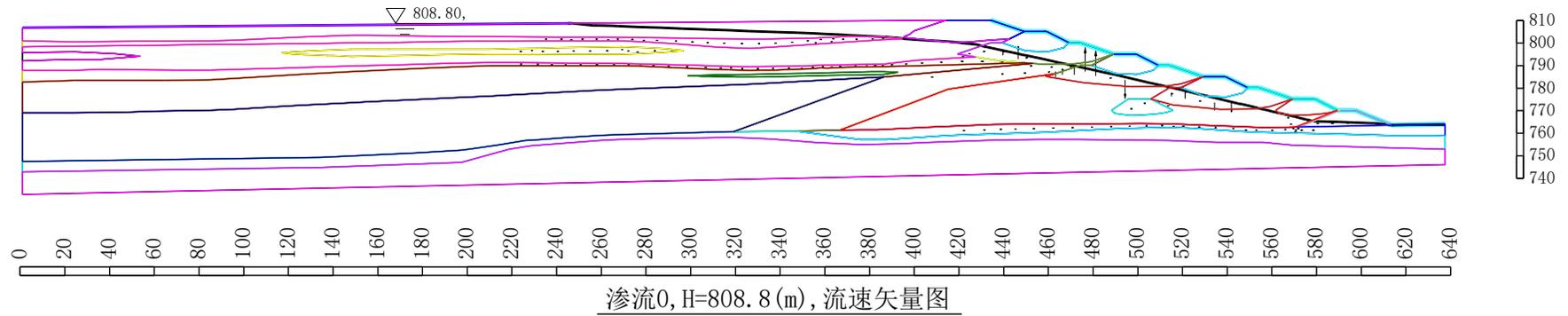
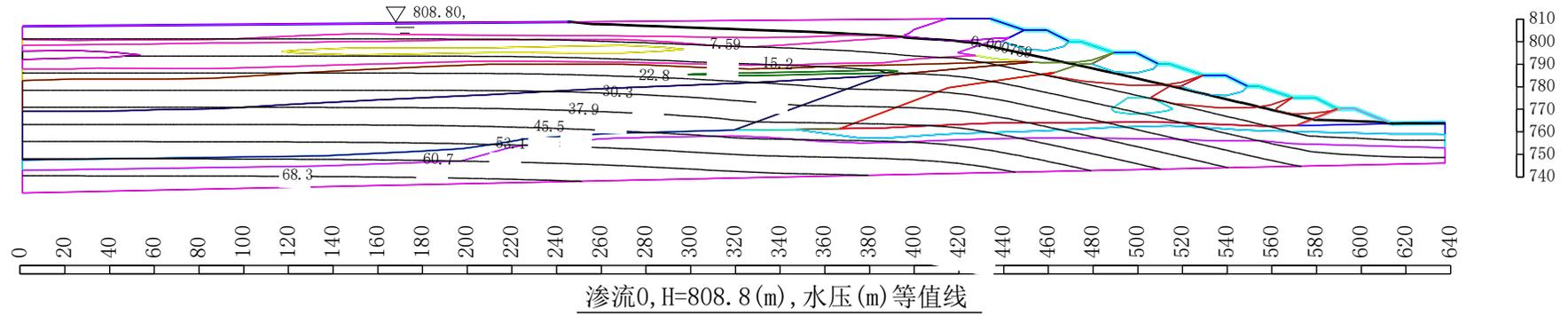


渗流0, H=808.8(m), 流速矢量图

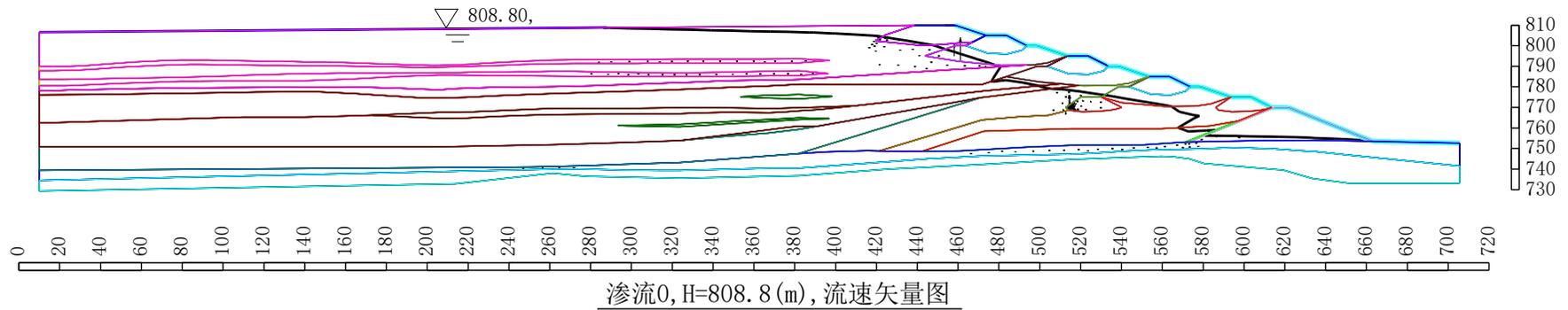
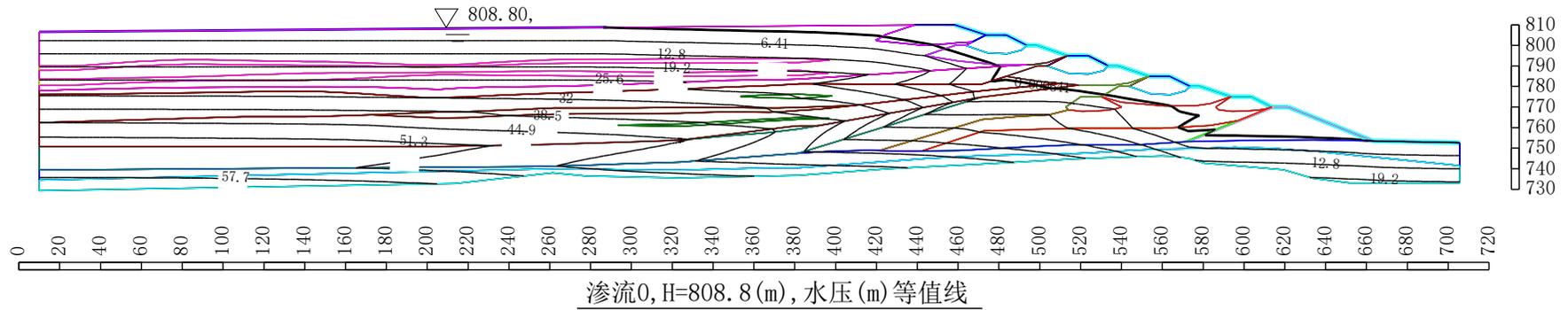


渗流0, H=808.8(m), 水压(m)等值线

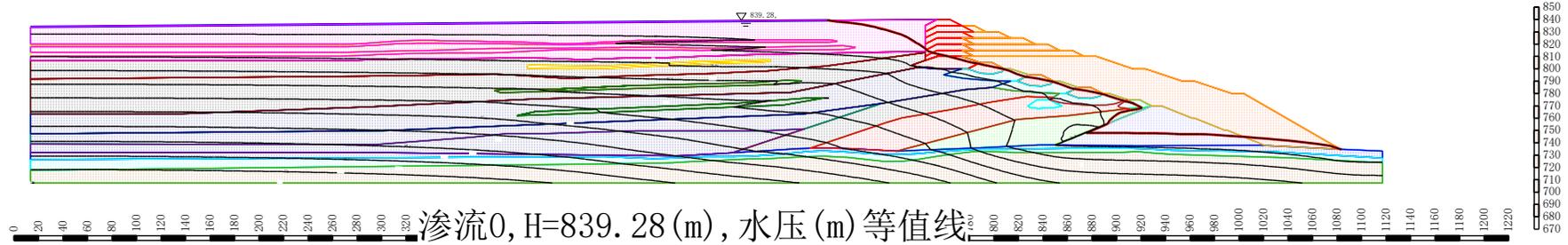
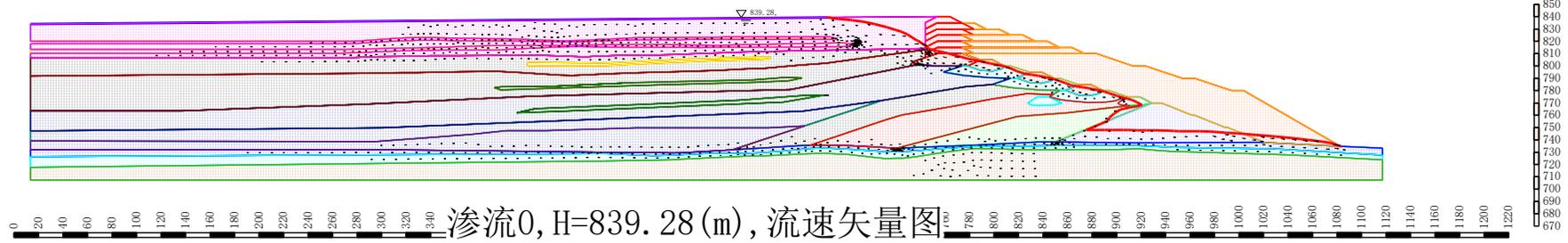
(2) 810.00m 现状南侧坝体正常运行 (图 5.6.6.4.3-3~4)



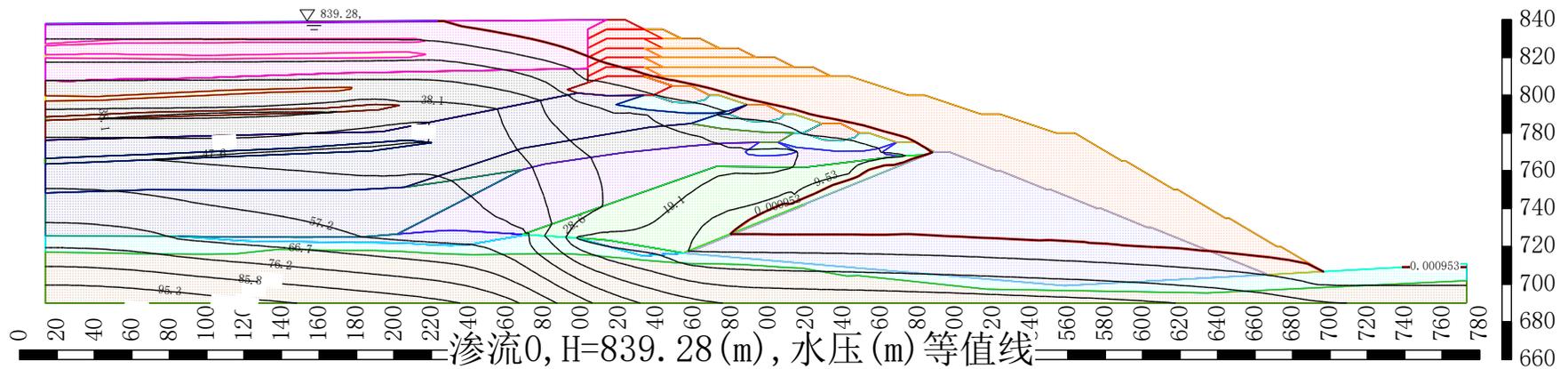
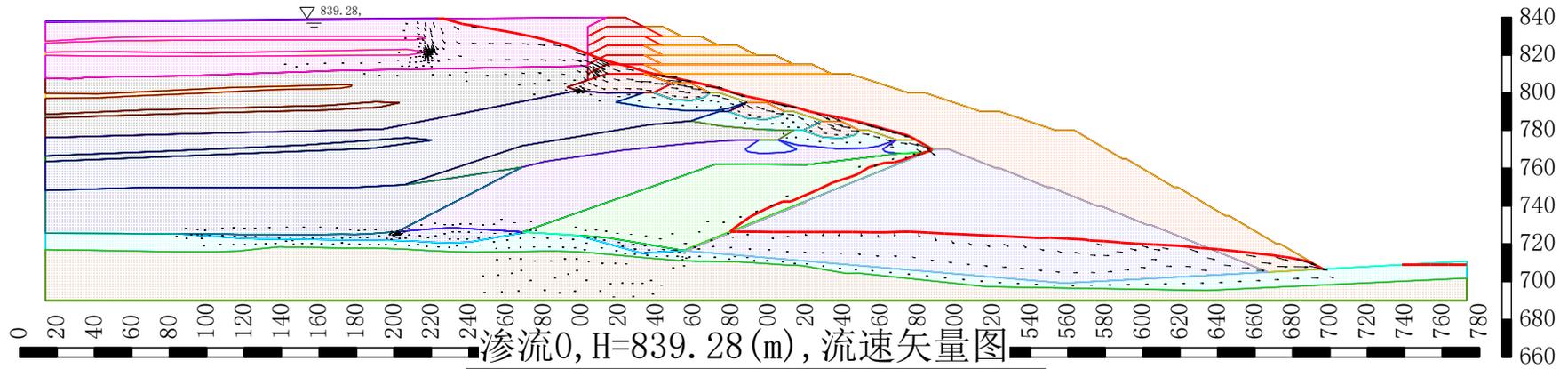
(3) 810.00m 现状北侧坝体正常运行（图 5.6.6.4.3-5~6）



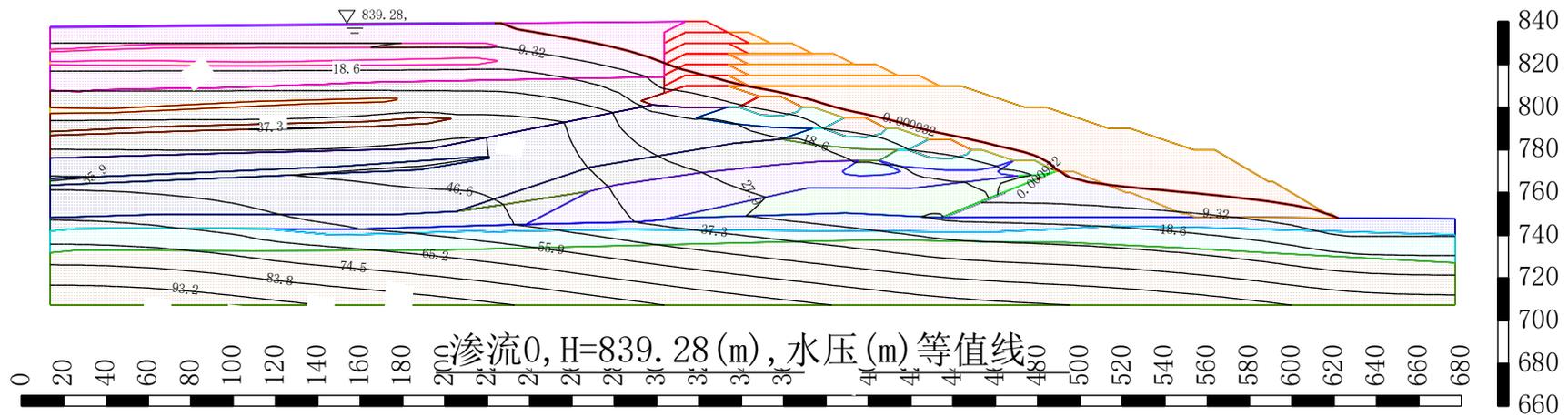
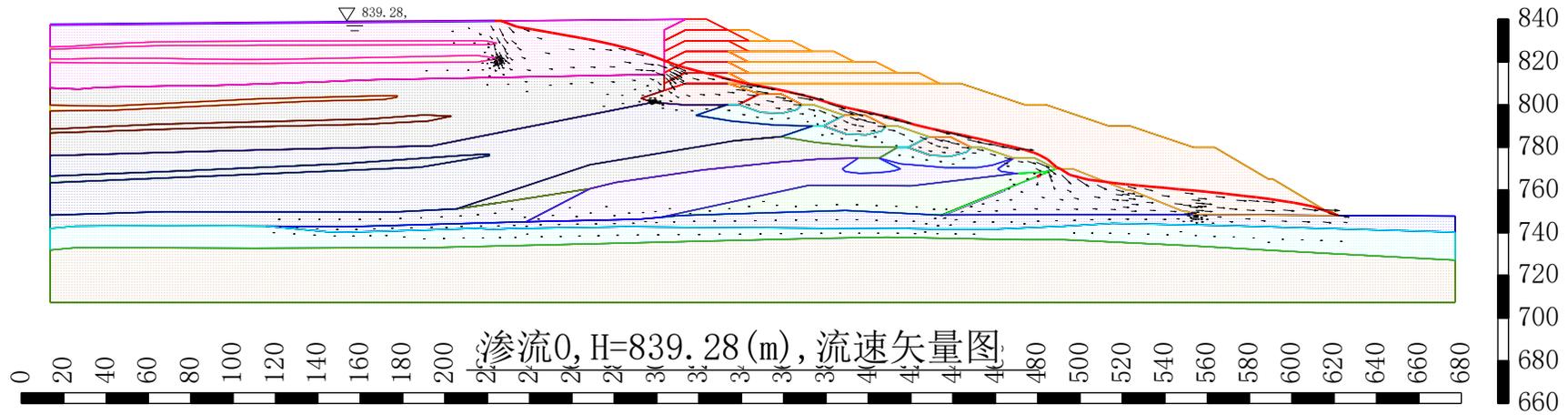
(4) 840.00m 东侧 1-1 坝体正常运行 (图 5.6.6.4.3-7~8)



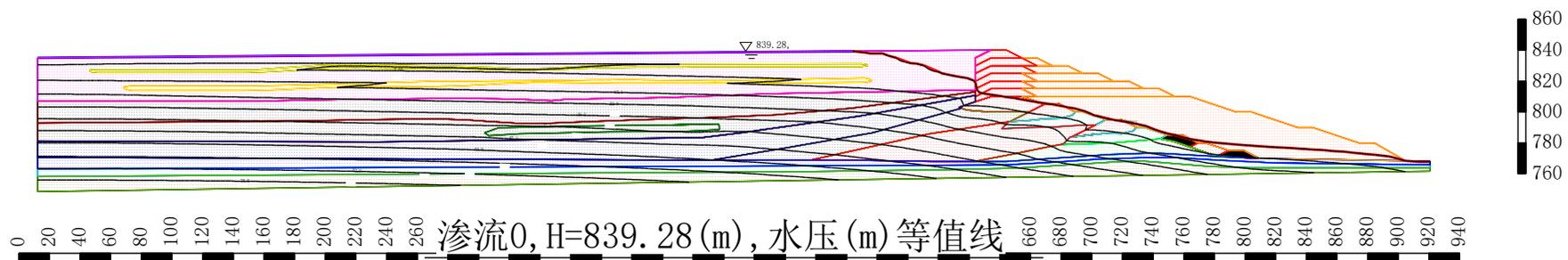
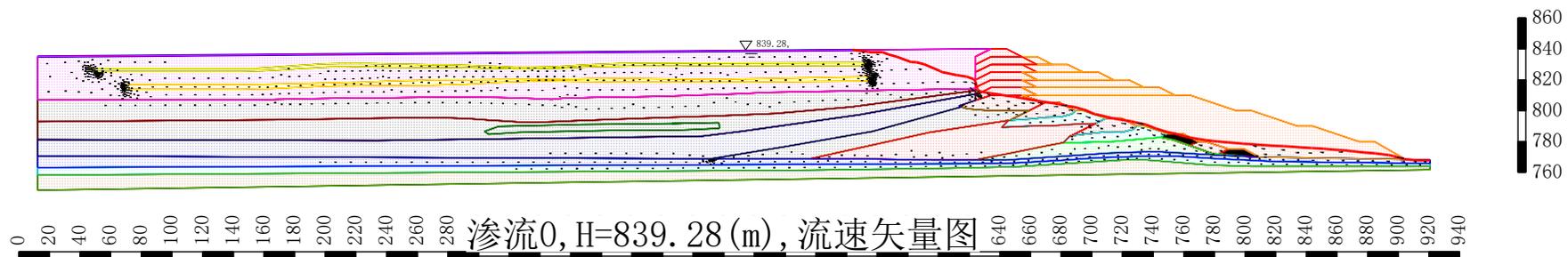
(5) 840.00m 东侧 2-2 坝体正常运行 (图 5.6.6.4.3-9~10)



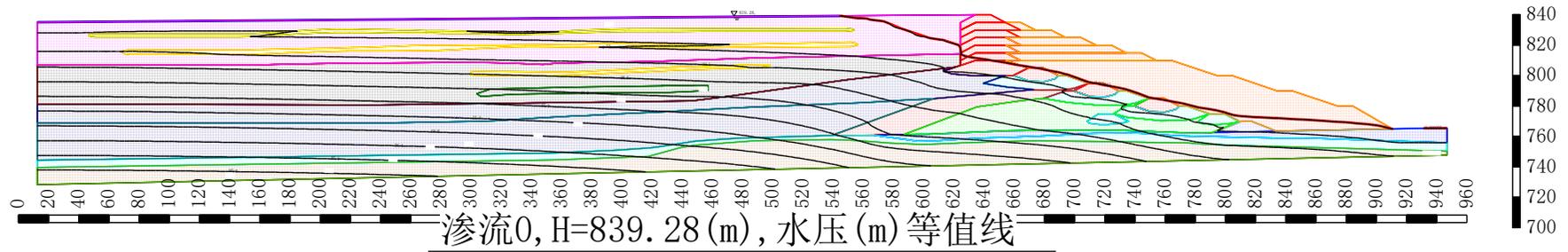
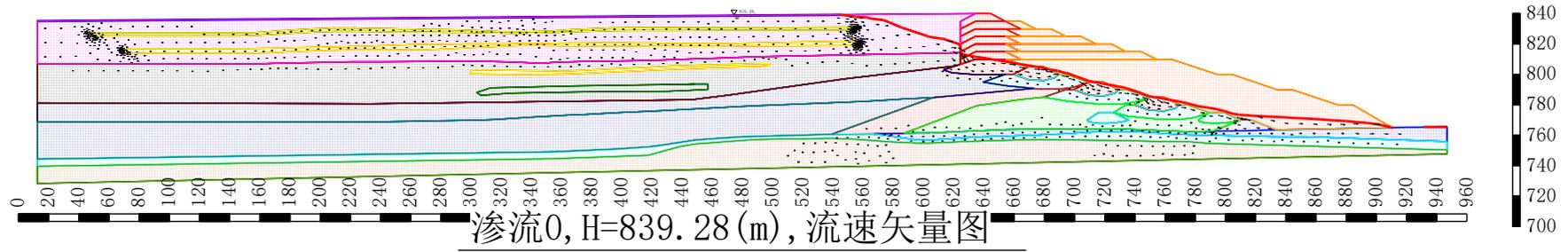
(6) 840.00m 东侧 3-3 坝体正常运行 (图 5.6.6.4.3-11~12)



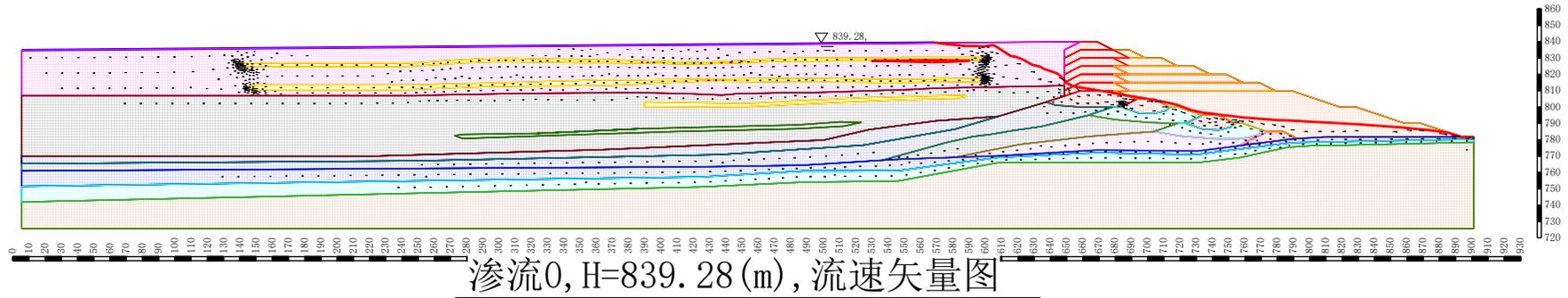
(7) 840.00m 南侧 1-1 坝体正常运行 (图 5.6.6.4.3-13~14)



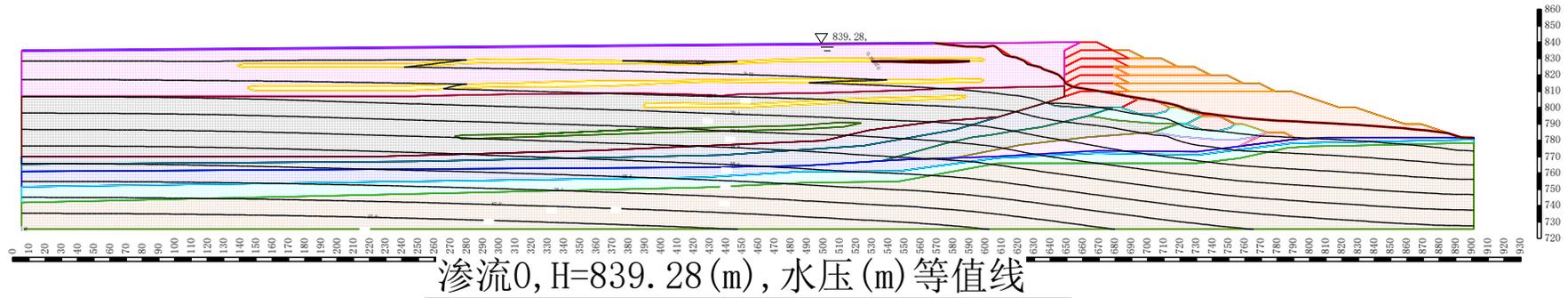
(8) 840.00m 南侧 2-2 坝体正常运行 (图 5.6.6.4.3-15~16)



(9) 840.00m 北侧 1-1 坝体正常运行 (图 5.6.6.4.3-17~18)

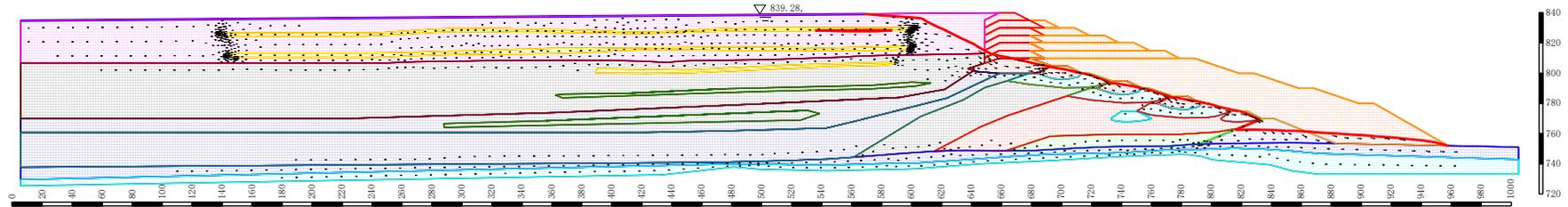


渗流0, H=839.28 (m), 流速矢量图

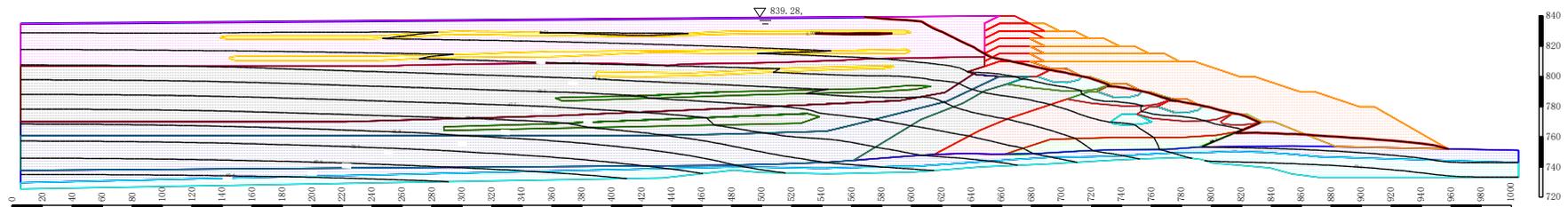


渗流0, H=839.28 (m), 水压 (m) 等值线

(10) 840.00m 北侧 2-2 坝体正常运行 (图 5.6.6.4.3-19~20)

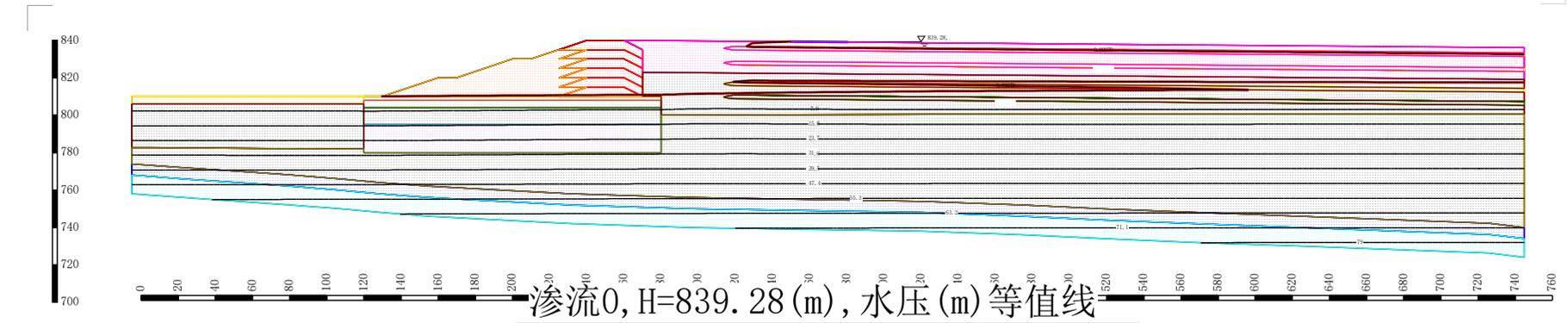
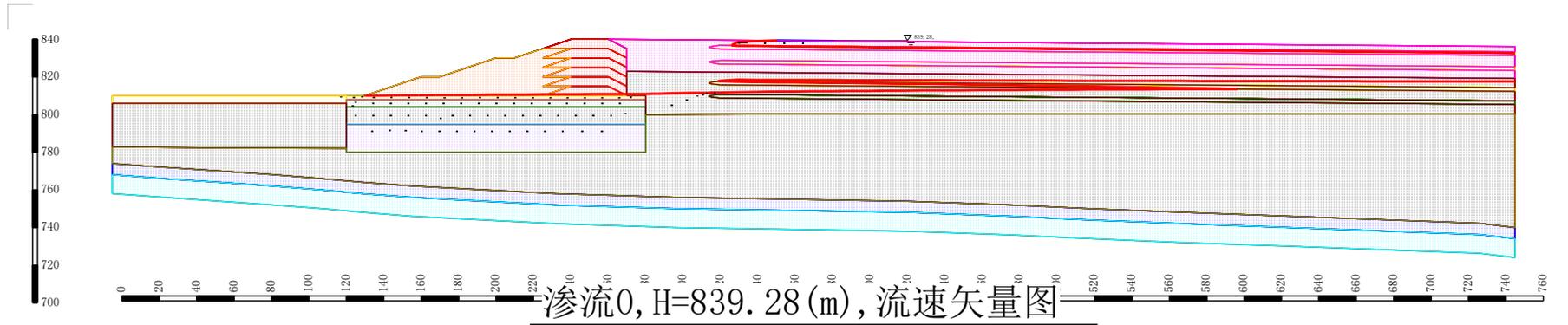


渗流0, H=839.28 (m), 流速矢量图

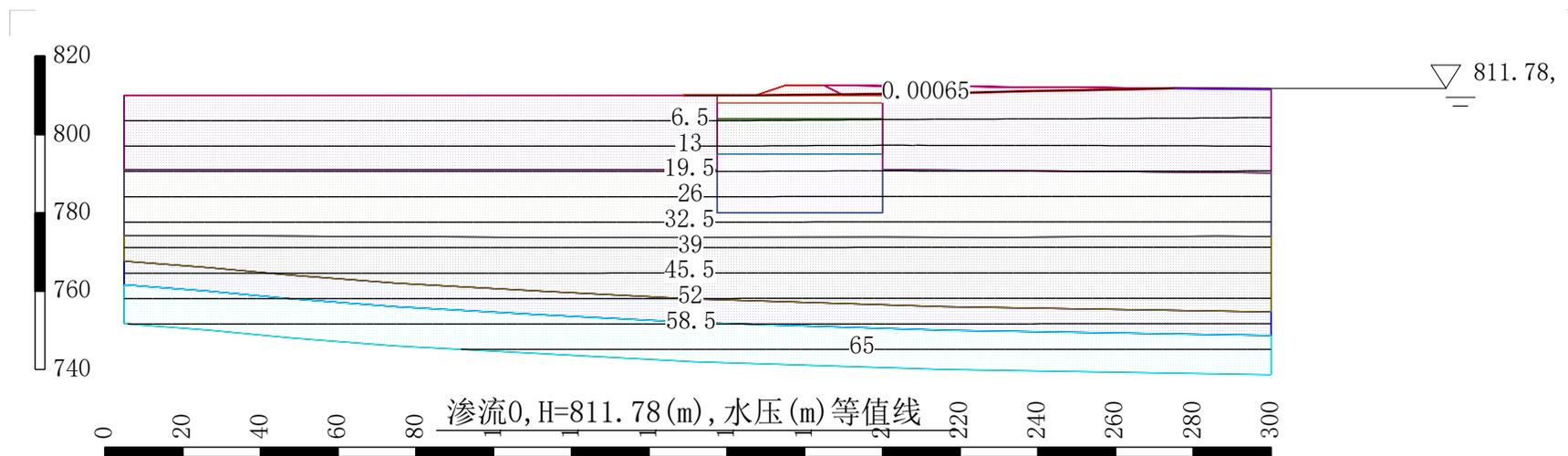
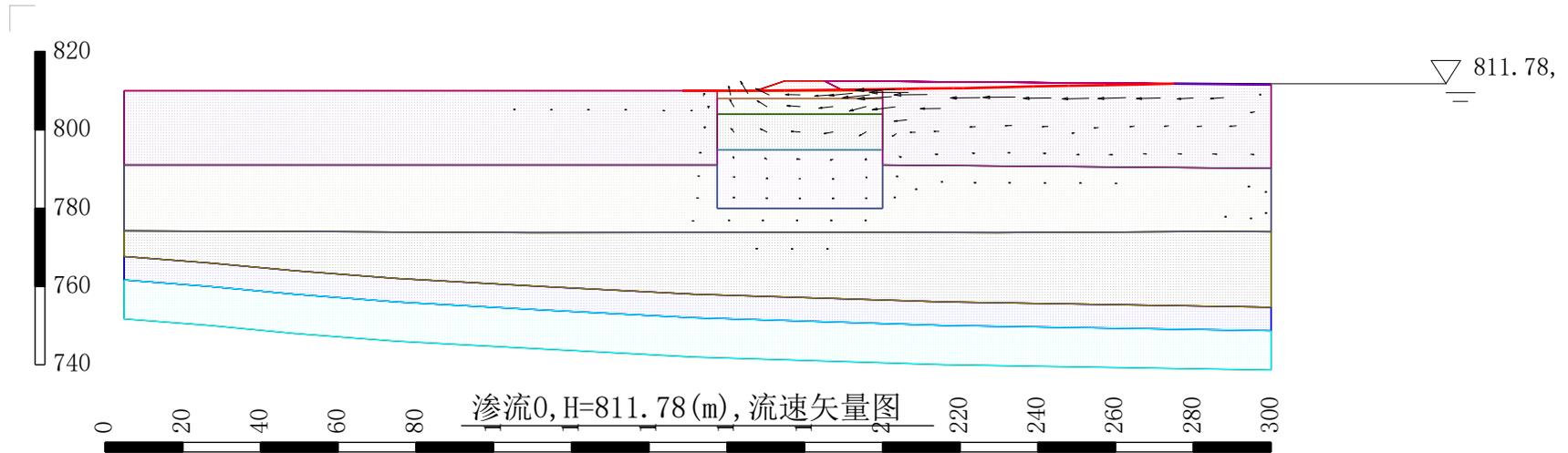


渗流0, H=839.28 (m), 水压 (m) 等值线

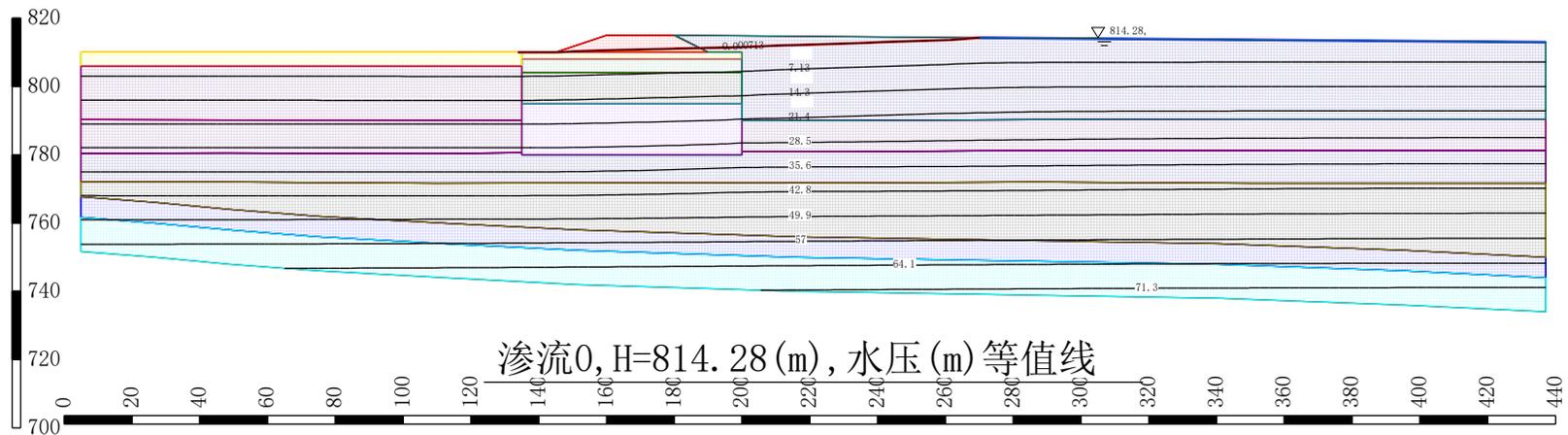
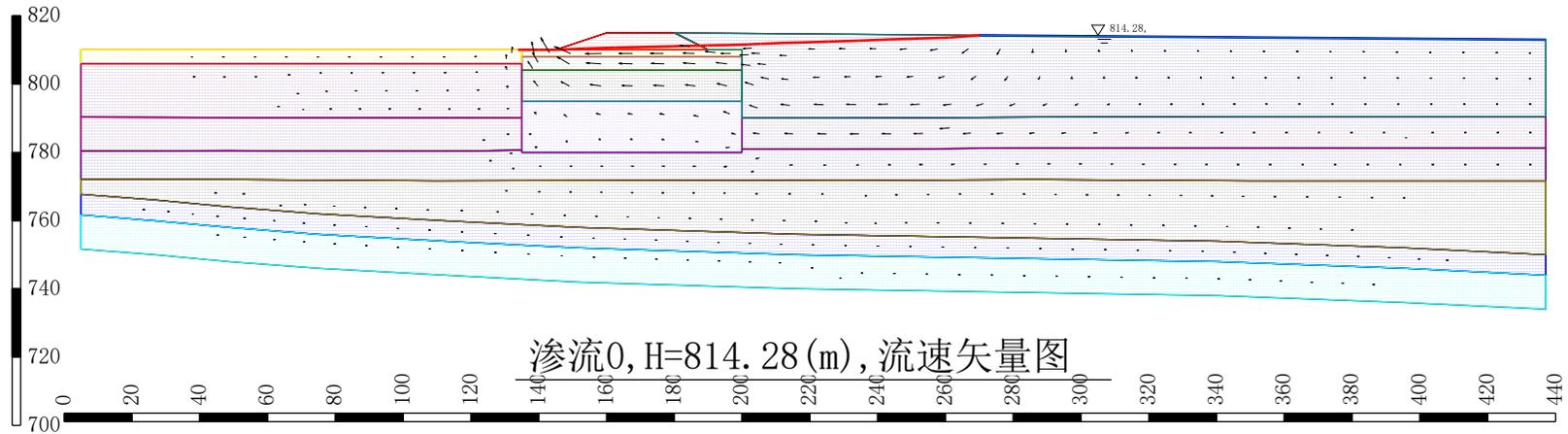
(12) 840.00m 西侧 2-2 坝体正常运行 (图 5.6.6.4.3-23~24)



(13) 西侧坝体标高 812.50m 满库正常运行 (图 5.6.6.4.3-25~26)



(14) 西侧坝体标高 815.00m 满库正常运行 (图 5.6.6.4.3-27~28)



5.6.6.5 坝体抗滑稳定性分析

5.6.6.5.1 荷载组合

根据《尾矿设施设计规范》（GB50863-2013），坝体稳定计算的荷载组合如下表 5.6.6.5.1。

表 5.6.6.5.1 尾矿坝稳定计算荷载组合

运行条件	计算方法	荷载类别				
		1	2	3	4	5
正常运行	总应力法	有	有	—	—	—
	有效应力法	有	有	有	—	—
洪水运行	总应力法	—	有	—	有	—
	有效应力法	—	有	有	有	—
特殊运行	总应力法	有	有	—	—	有
	有效应力法	有	有	有	—	有

注：1 荷载类别 1 系指正常库水位时的稳定渗流压力；
 2 荷载类别 2 系指坝体自重；
 3 荷载类别 3 系指坝体及坝基中的空隙水压力；
 4 荷载类别 4 系指设计洪水水位时有可能形成的稳定渗流压力；
 5 荷载类别 5 系指地震荷载，本项目取 0.1g。
 6 本设计坝体稳定计算采用总应力法。

依据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）的划分，尾矿库所在地位于新巴尔虎右旗呼伦镇，该地区地抗震设防烈度为 VI 度，震动峰值加速度值为 0.05g。本次尾矿库加高扩容设计，充分考虑到尾矿库的安全性，因此按提高一个标准进行设防，即坝体稳定性分析基本地震加速度值取 0.10g。

5.6.6.5.2 计算方法

采用 Autobank 进行稳定性验算，计算方法为简化毕肖普法。

毕肖普法计算公式为：

$$K = \frac{\sum \{[(W \pm V) \sec \alpha - ub \sec \alpha] \tan \varphi + cb \sec \alpha\} [1 / (1 + \tan \alpha \tan \varphi / k)]}{\sum [(W \pm V) \sin \alpha + M_c / R]}$$

式中：W——土条重量。稳定渗流期坝体浸润线以下、下游水位以上土体重量，对于滑动力按饱和容重计算，对于抗滑力按浮容重计算；

浸润线以上则不论滑动力或抗滑力，均用湿容重（或最大干容重）计算；
下游水位以下则都用浮容重计算。

Q 、 V —分别为水平和垂直地震惯性力；

u ——作用于土条底面的孔隙压力；

α ——一条块重力线与通过此条块底面中点的半径之间的夹角；

b ——土条宽度； R ——圆弧半径；

C 、 ϕ —土条底面的总应力抗剪强度指标；

M_c ——水平地震惯性力对圆心的力矩；

不同计算方法所对应的最小安全系数如下表所示。

表 5.6.6.5.2 坝坡抗滑稳定的最小安全系数

计算方法	坝的级别 运行条件	1	2	3	4、5
简化毕肖普法	正常运行	1.50	1.35	1.30	1.25
	洪水运行	1.30	1.25	1.20	1.15
	特殊运行	1.20	1.15	1.15	1.10

5.6.6.5.3 稳定性计算结果

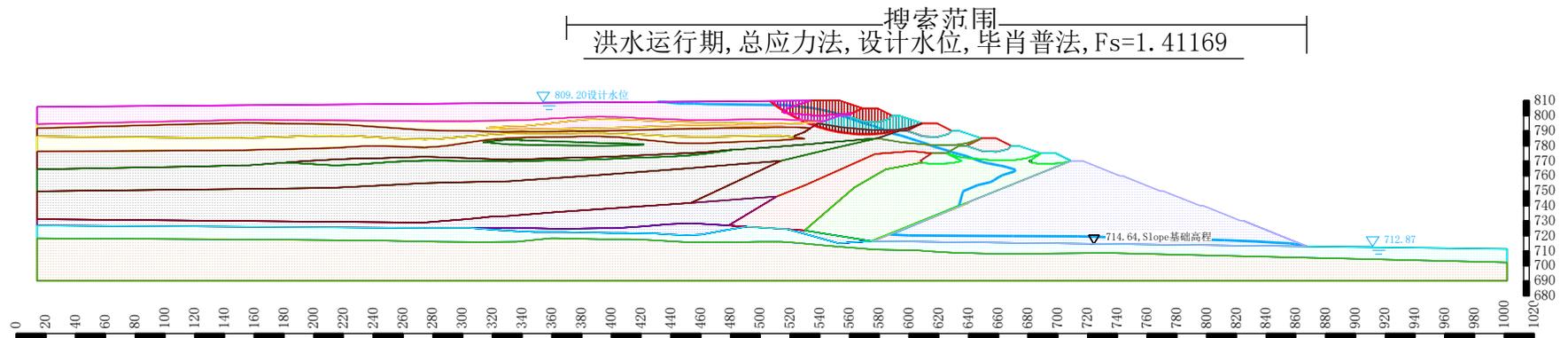
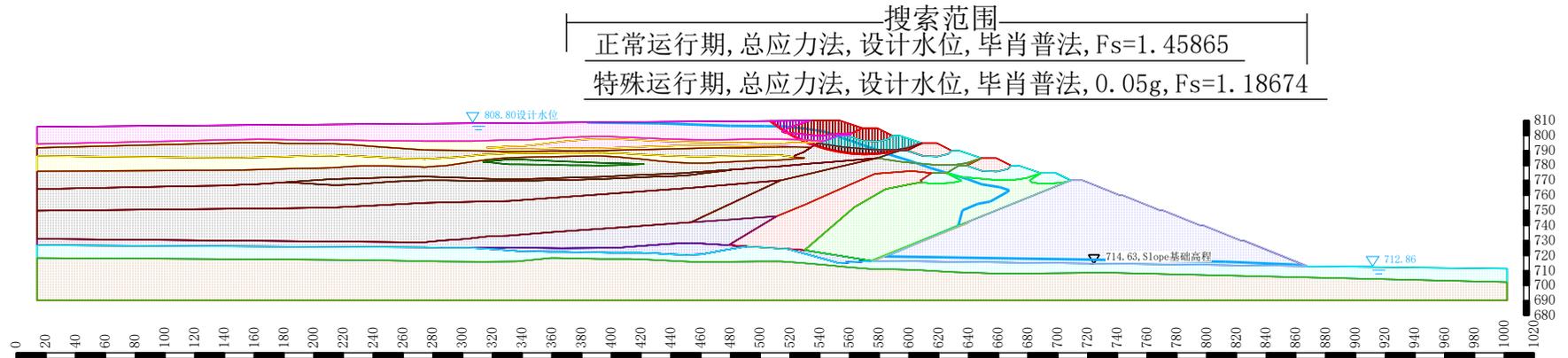
表 5.6.6.5.3 稳定性计算最小安全系数表

运行阶段	运行工况	毕肖普法 规范值	抗滑稳定 最小安全系数 K
现状 810.00m 东侧坝体	正常运行	1.35	1.458
	洪水运行	1.25	1.411
	特殊运行	1.15	1.186
现状 810.00m 南侧坝体	正常运行	1.35	1.457
	洪水运行	1.25	1.438
	特殊运行	1.15	1.324
现状 810.00m 北侧坝体	正常运行	1.35	1.476
	洪水运行	1.25	1.473
	特殊运行	1.15	1.256
840.00m 东侧坝体剖面 1-1	正常运行	1.35	1.877
	洪水运行	1.25	1.855
	特殊运行	1.15	1.483
840.00m 东侧坝体剖面 2-2	正常运行	1.35	1.931
	洪水运行	1.25	1.911
	特殊运行	1.15	1.477
840.00m 东侧坝体剖面 3-3	正常运行	1.35	1.850
	洪水运行	1.25	1.829
	特殊运行	1.15	1.473

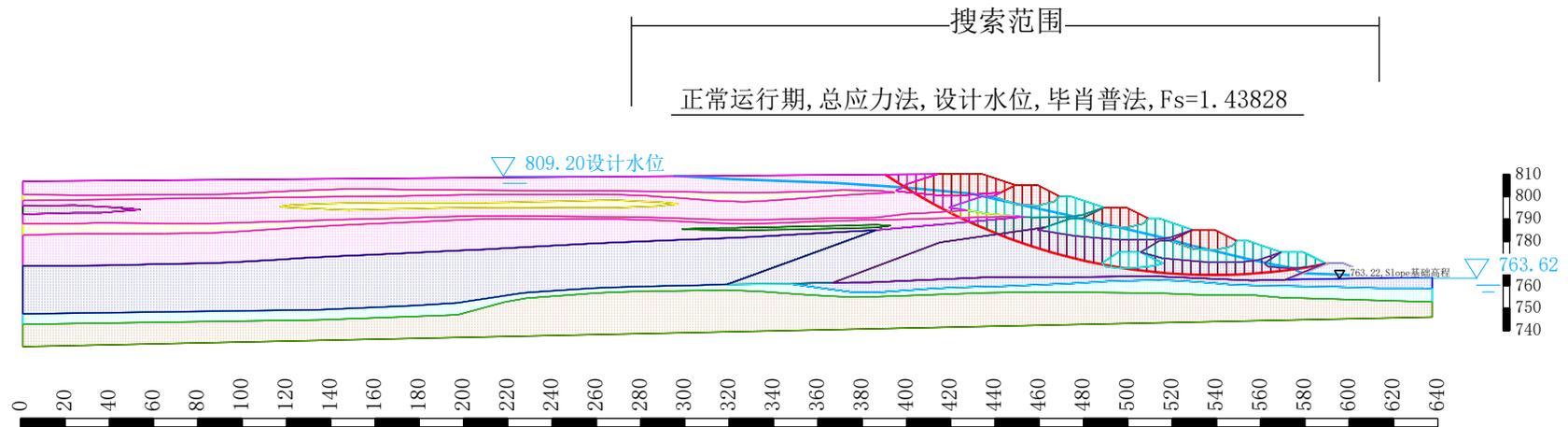
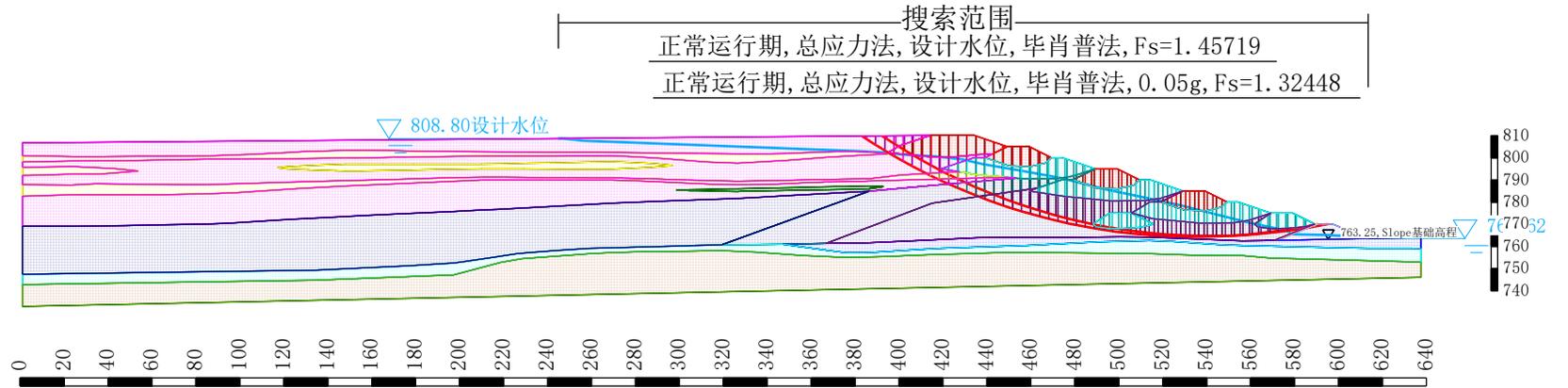
运行阶段	运行工况	毕肖普法 规范值	抗滑稳定 最小安全系数 K
840.00m 南侧坝体剖面 1-1	正常运行	1.35	2.219
	洪水运行	1.25	2.145
	特殊运行	1.15	1.838
840.00m 南侧坝体剖面 2-2	正常运行	1.35	2.002
	洪水运行	1.25	1.976
	特殊运行	1.15	1.650
840.00m 北侧坝体剖面 1-1	正常运行	1.35	2.170
	洪水运行	1.25	2.130
	特殊运行	1.15	1.765
840.00m 北侧坝体剖面 2-2	正常运行	1.35	2.003
	洪水运行	1.25	1.979
	特殊运行	1.15	1.628
840.00m 西侧坝体剖面 1-1	正常运行	1.30	1.602
	洪水运行	1.20	1.582
	特殊运行	1.15	1.369
840.00m 西侧坝体剖面 2-2	正常运行	1.30	1.550
	洪水运行	1.20	1.535
	特殊运行	1.15	1.333
西侧坝体标高 812.50m 空库	正常运行	1.35	1.988（左） 2.093（右）
西侧坝体标高 812.50m 满库	正常运行	1.35	1.919
	洪水运行	1.25	1.892
	特殊运行	1.15	1.701
西侧坝体标高 815.00m 空库	正常运行	1.30	1.886（左） 1.575（右）
西侧坝体标高 815.00m 满库	正常运行	1.30	1.740
	洪水运行	1.20	1.644
	特殊运行	1.15	1.543

5.6.6.5.4 稳定性计算简图

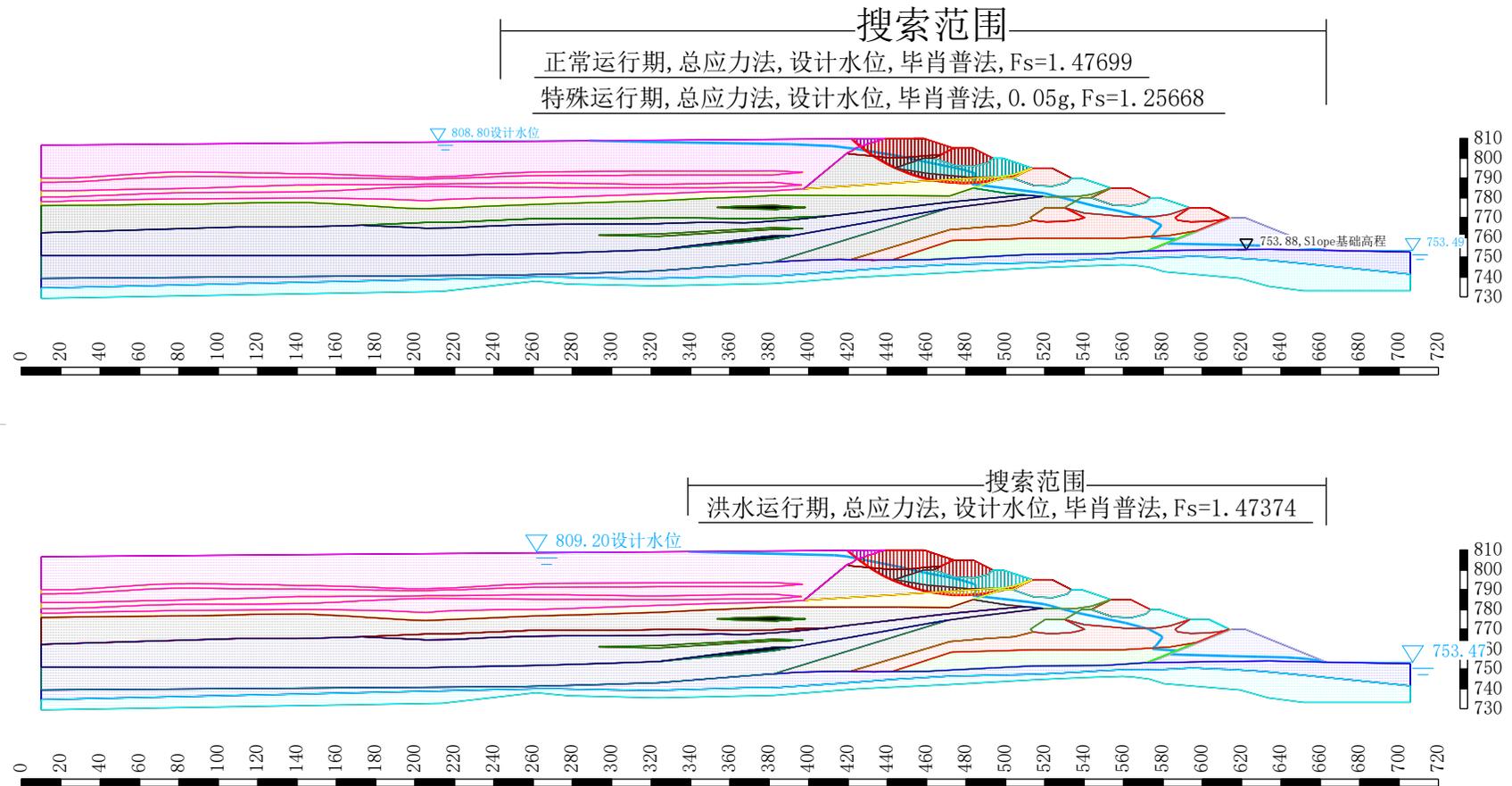
(1) 现状 810.00m 东侧坝体正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-1~2）



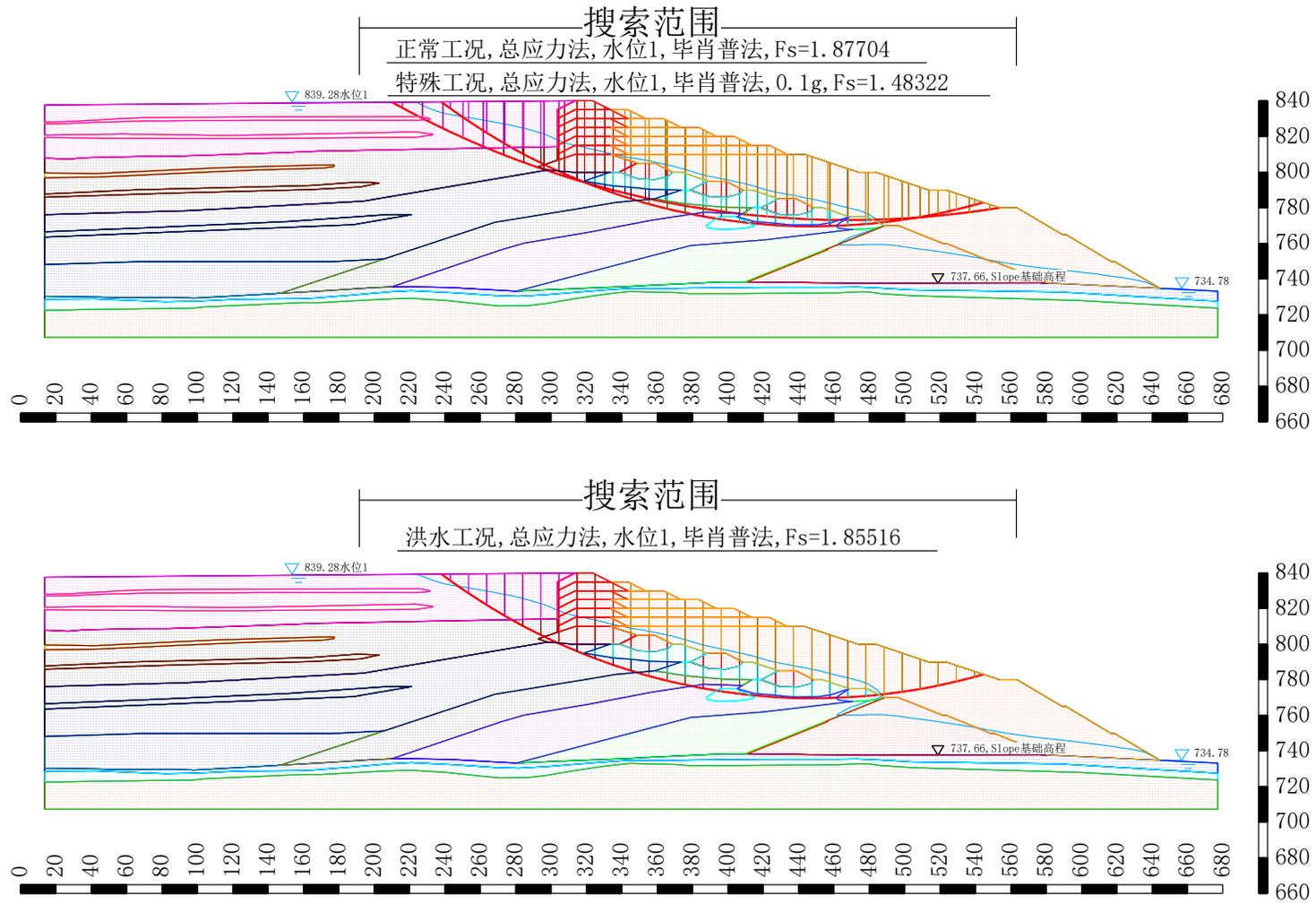
(2) 现状 810.00m 南侧坝体正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-3~4）



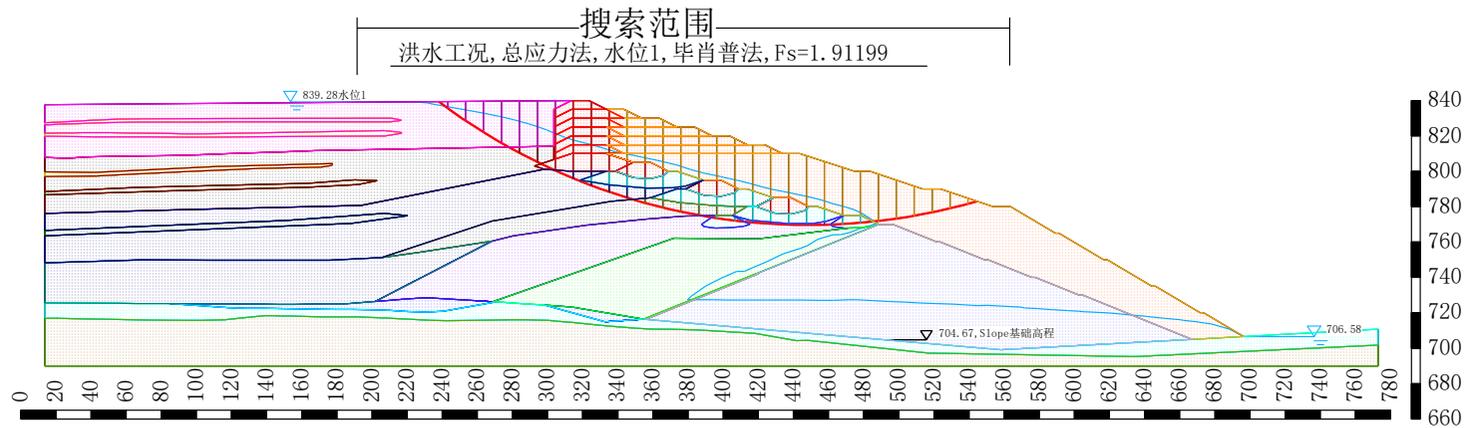
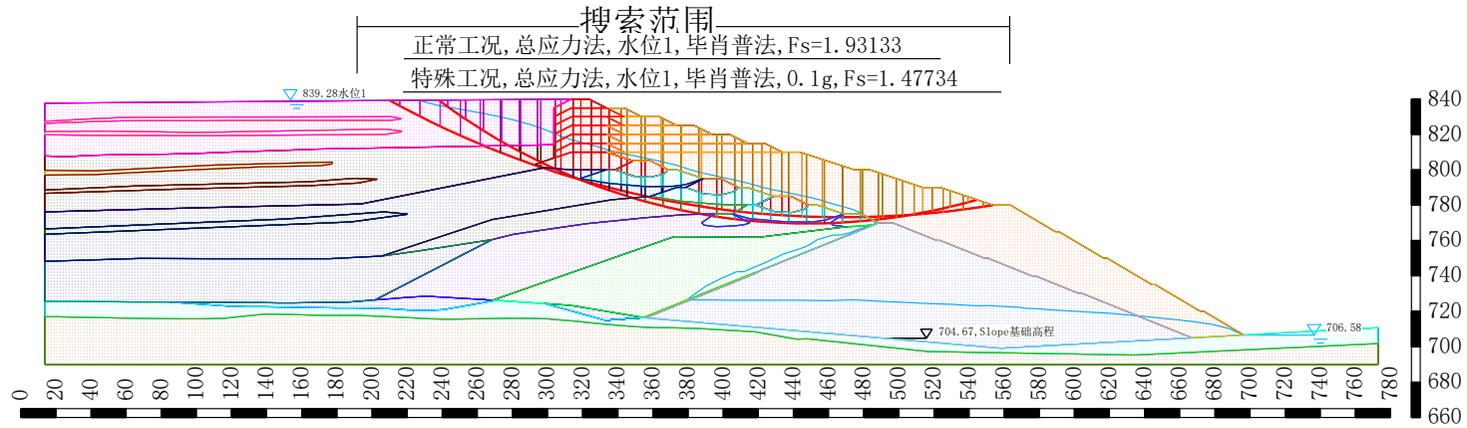
(3) 现状 810.00m 北侧坝体正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-5~6）



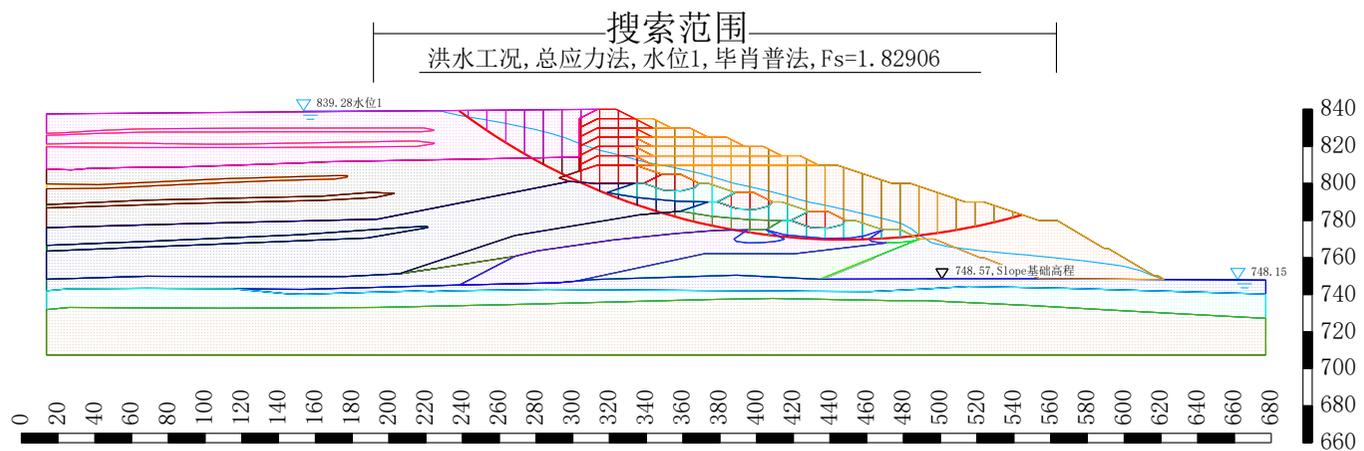
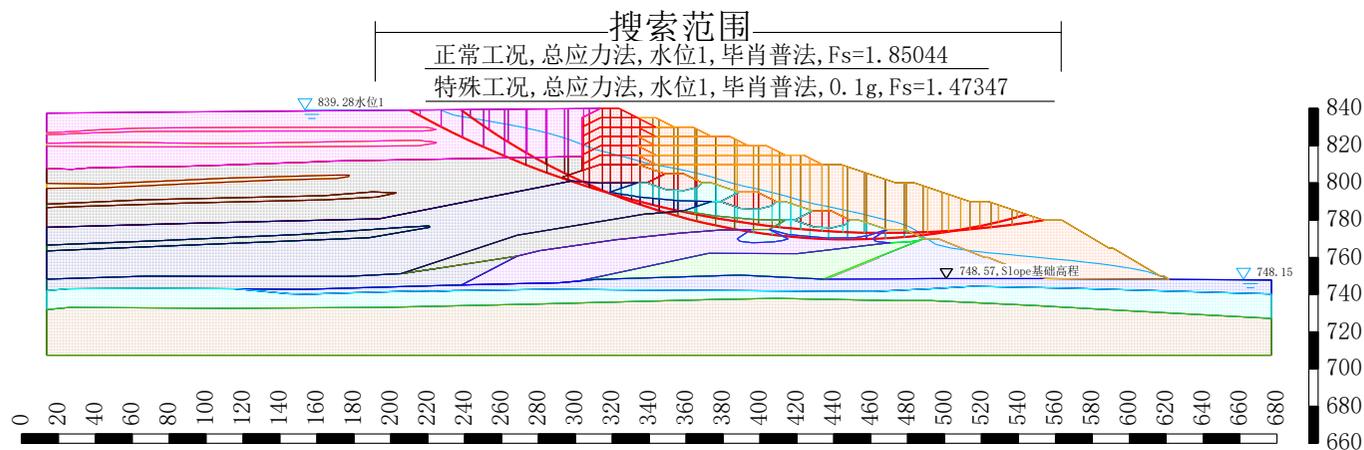
(4) 840.00m 东侧坝体剖面 1-1 正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-7~8）



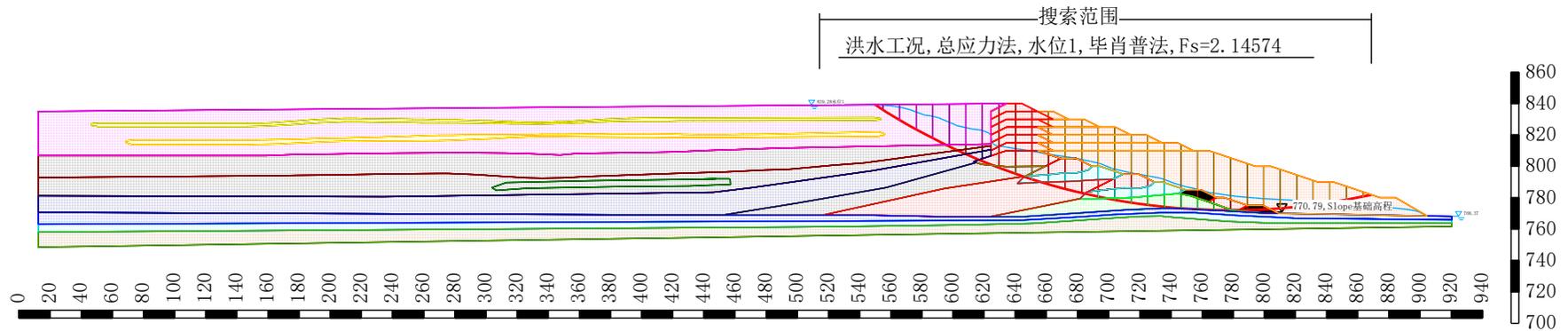
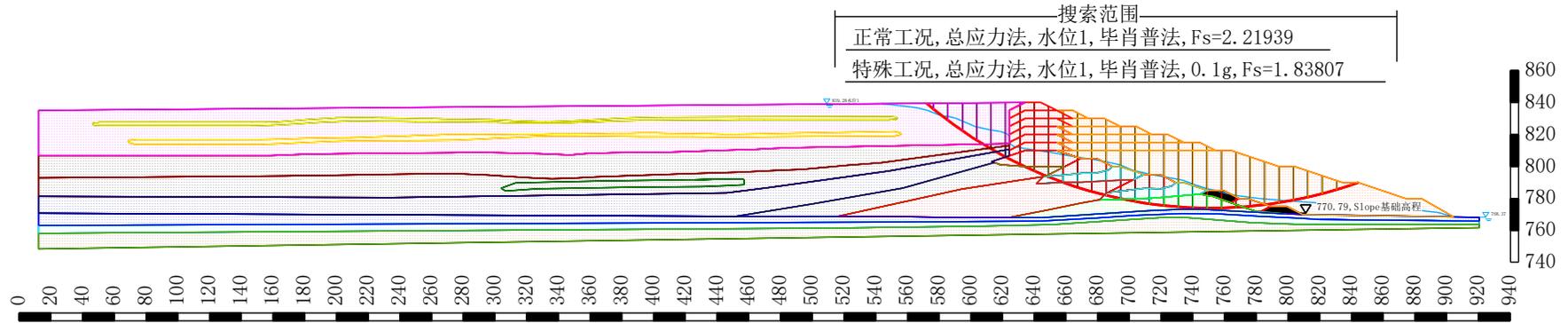
(5) 840.00m 东侧坝体剖面 2-2 正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-9~10）



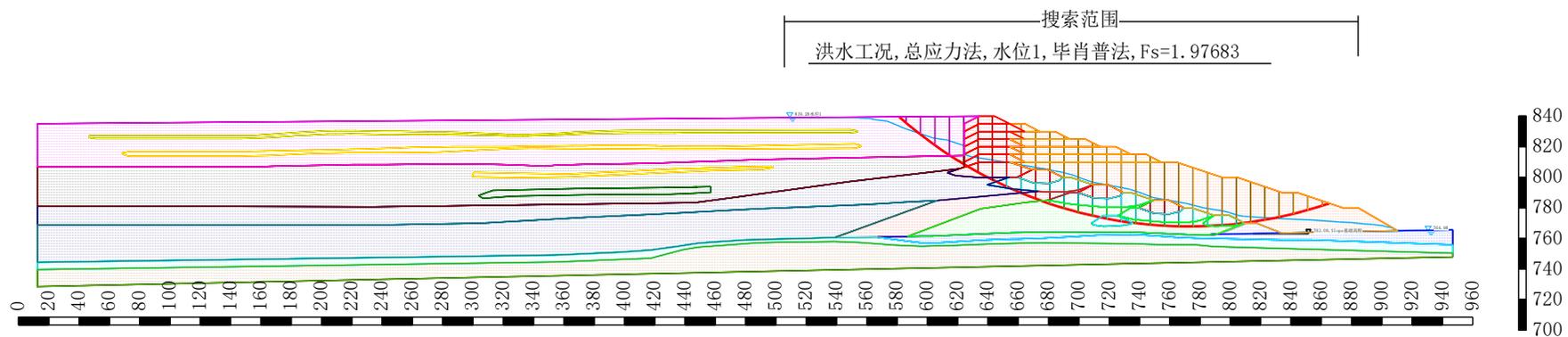
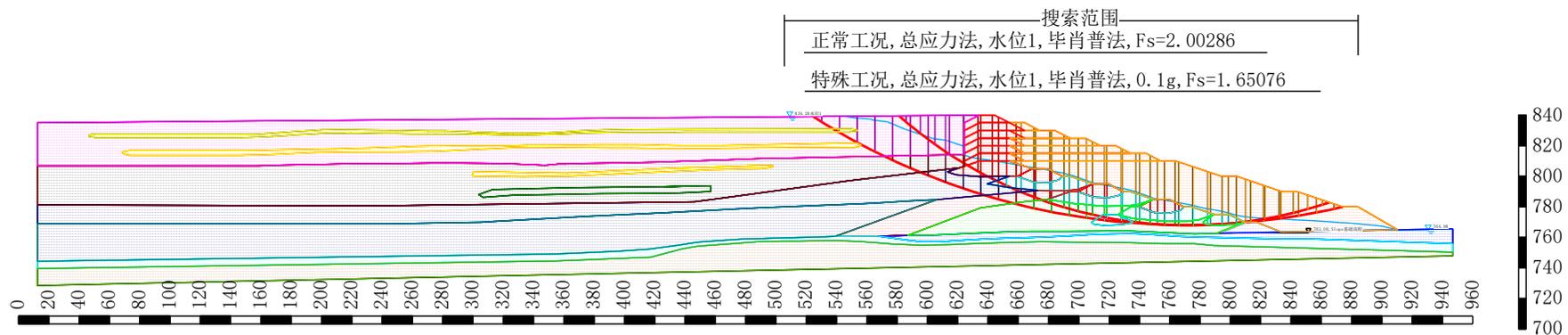
(6) 840.00m 东侧坝体剖面 3-3 正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-11~12）



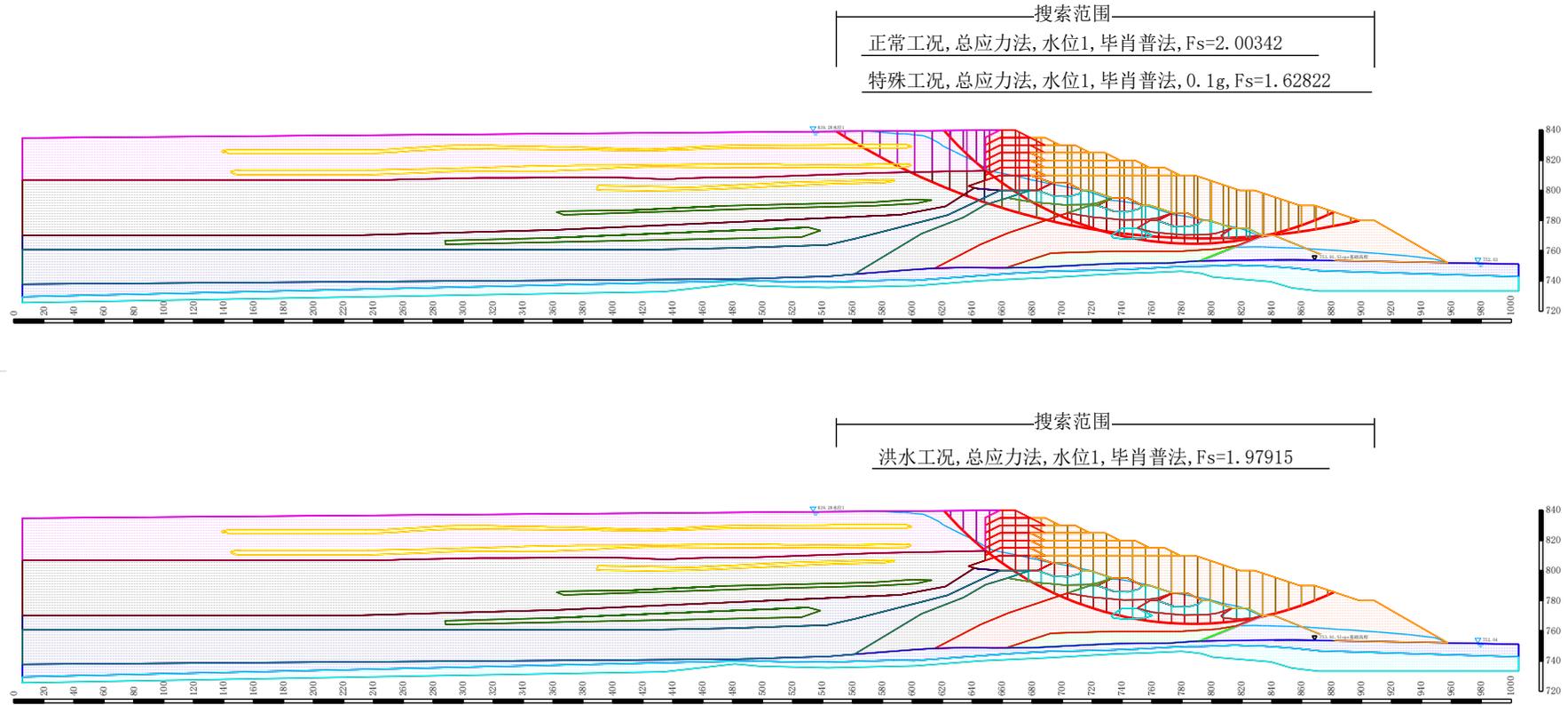
(7) 840.00m 南侧坝体剖面 1-1 正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-13~14）



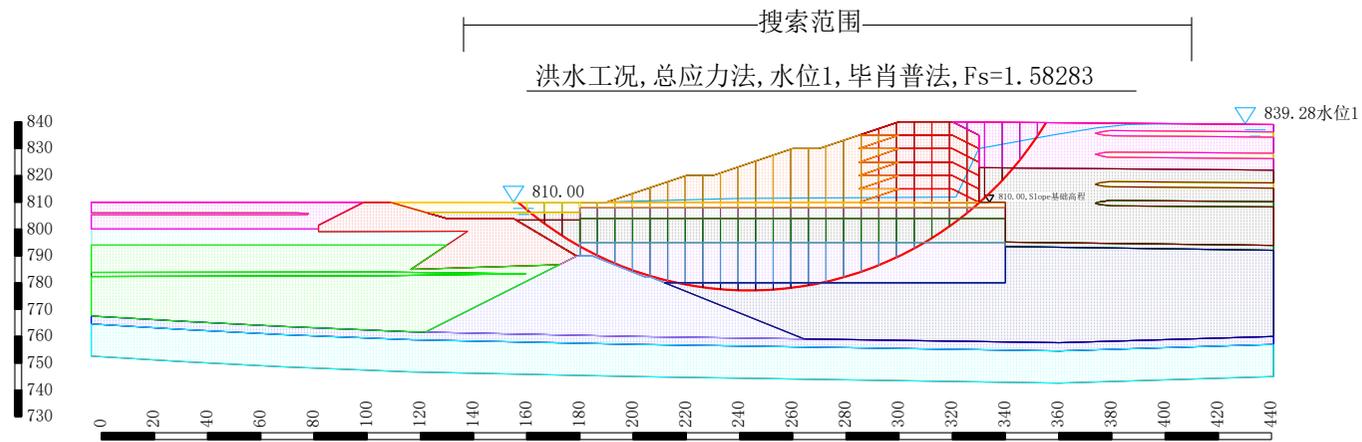
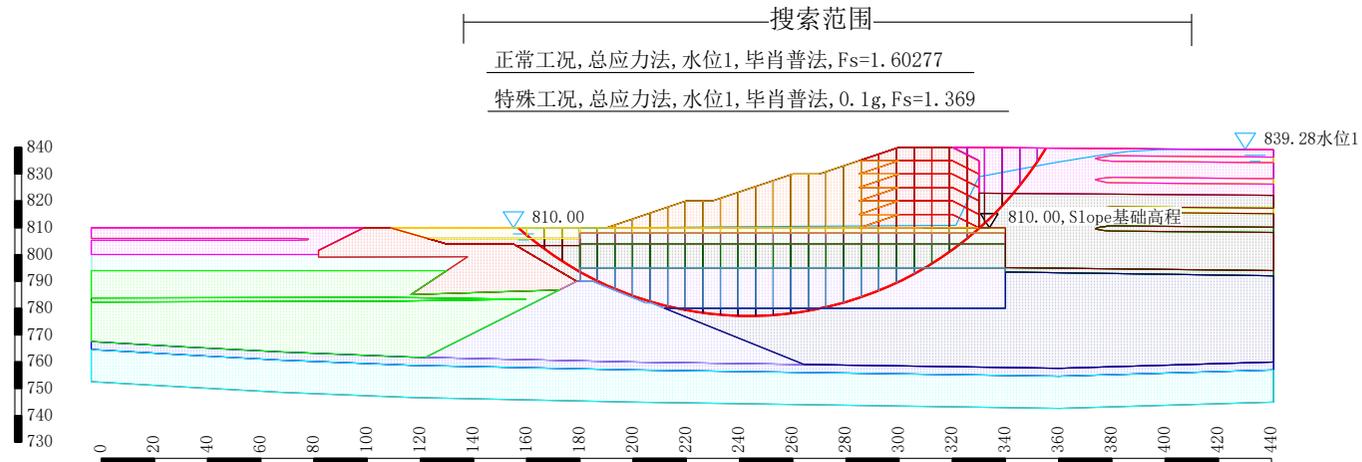
(8) 840.00m 南侧坝体剖面 2-2 正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-15~16）



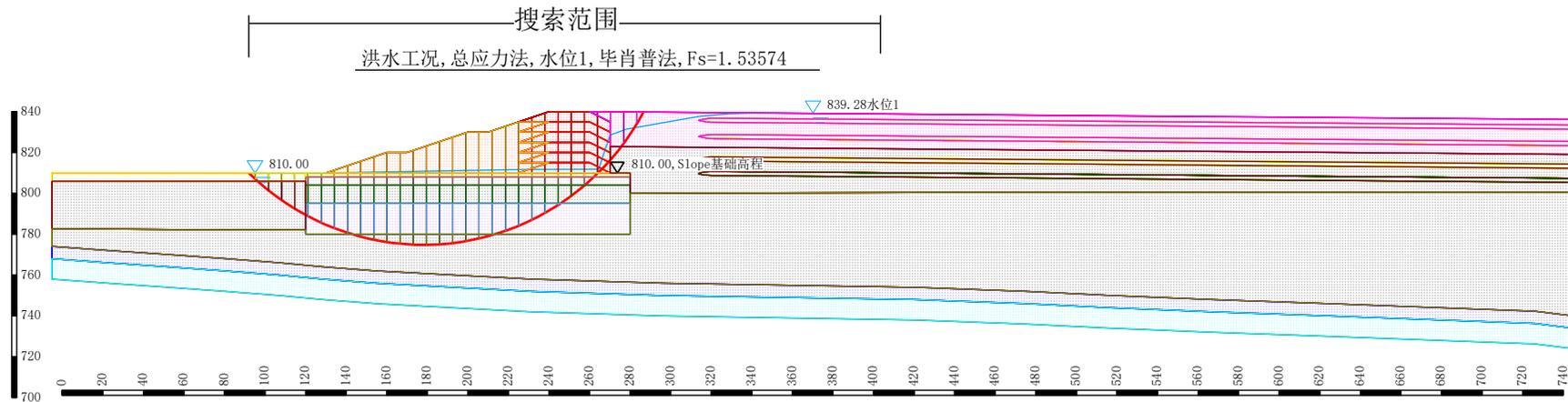
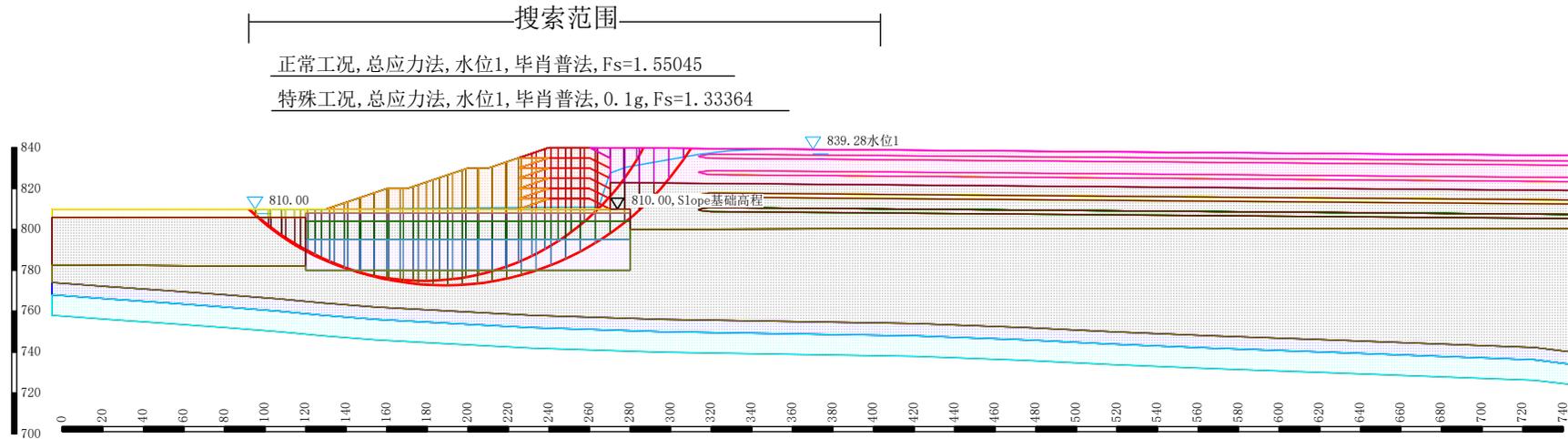
(10) 840.00m 北侧坝体剖面 2-2 正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-19~20）



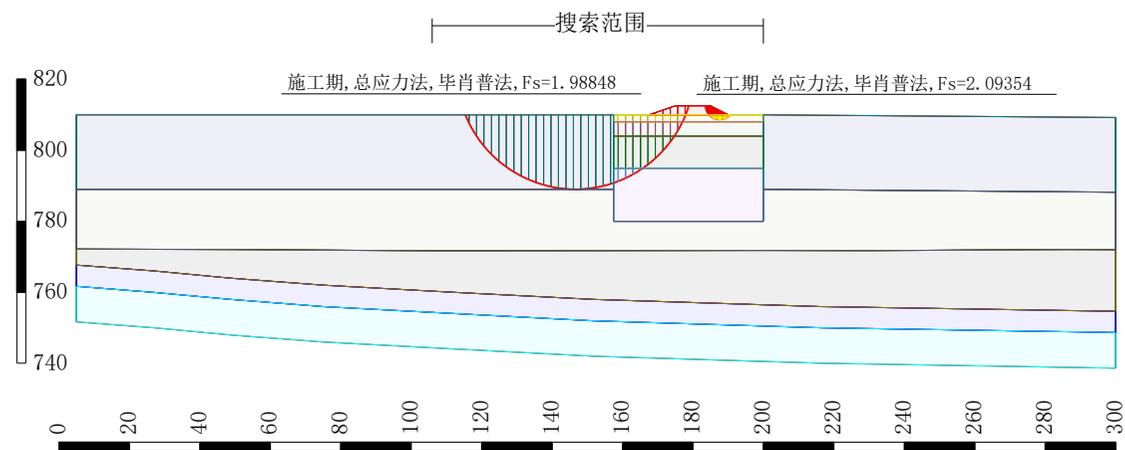
(11) 840.00m 西侧坝体剖面 1-1 正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-21~22）



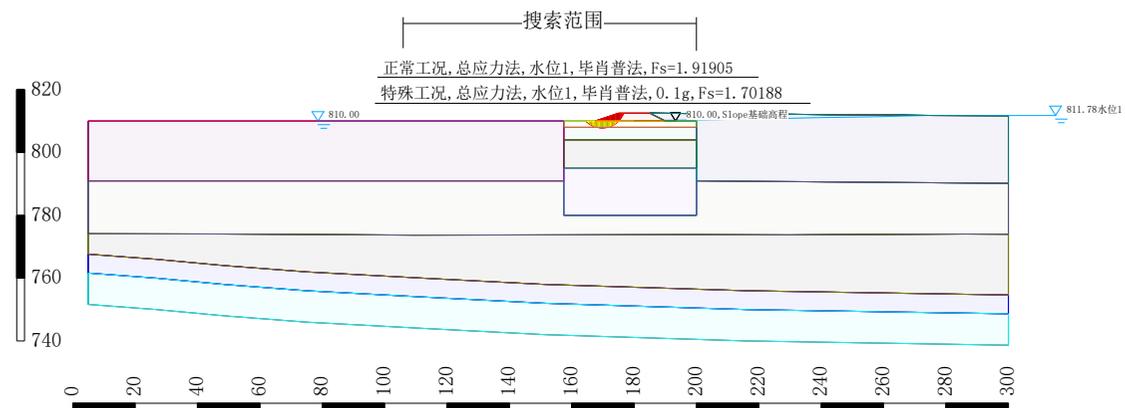
(12) 840.00m 西侧坝体剖面 2-2 正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-23~24）。

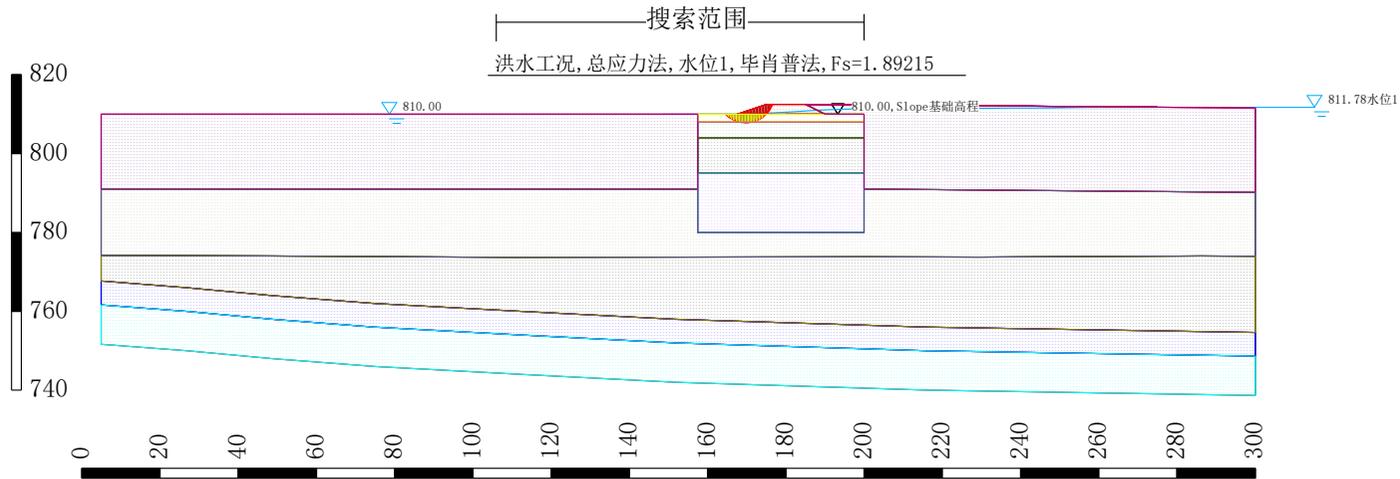


(13) 西侧坝体标高 812.50m 空库正常运行（图 5.6.6.5.4-25）。

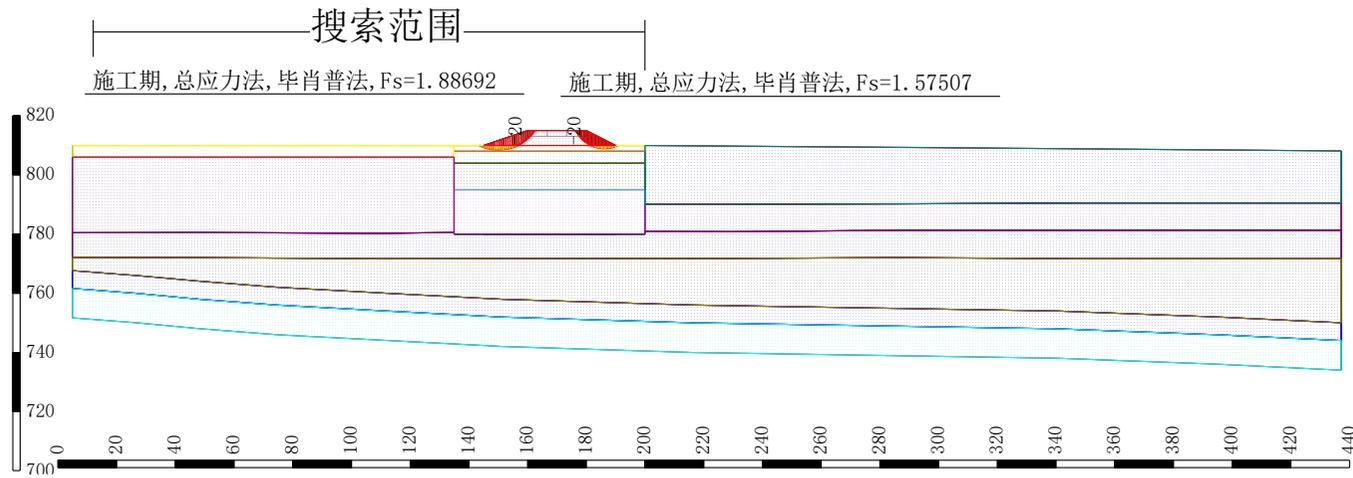


(14) 西侧坝体标高 812.50m 满库正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-26~27）。

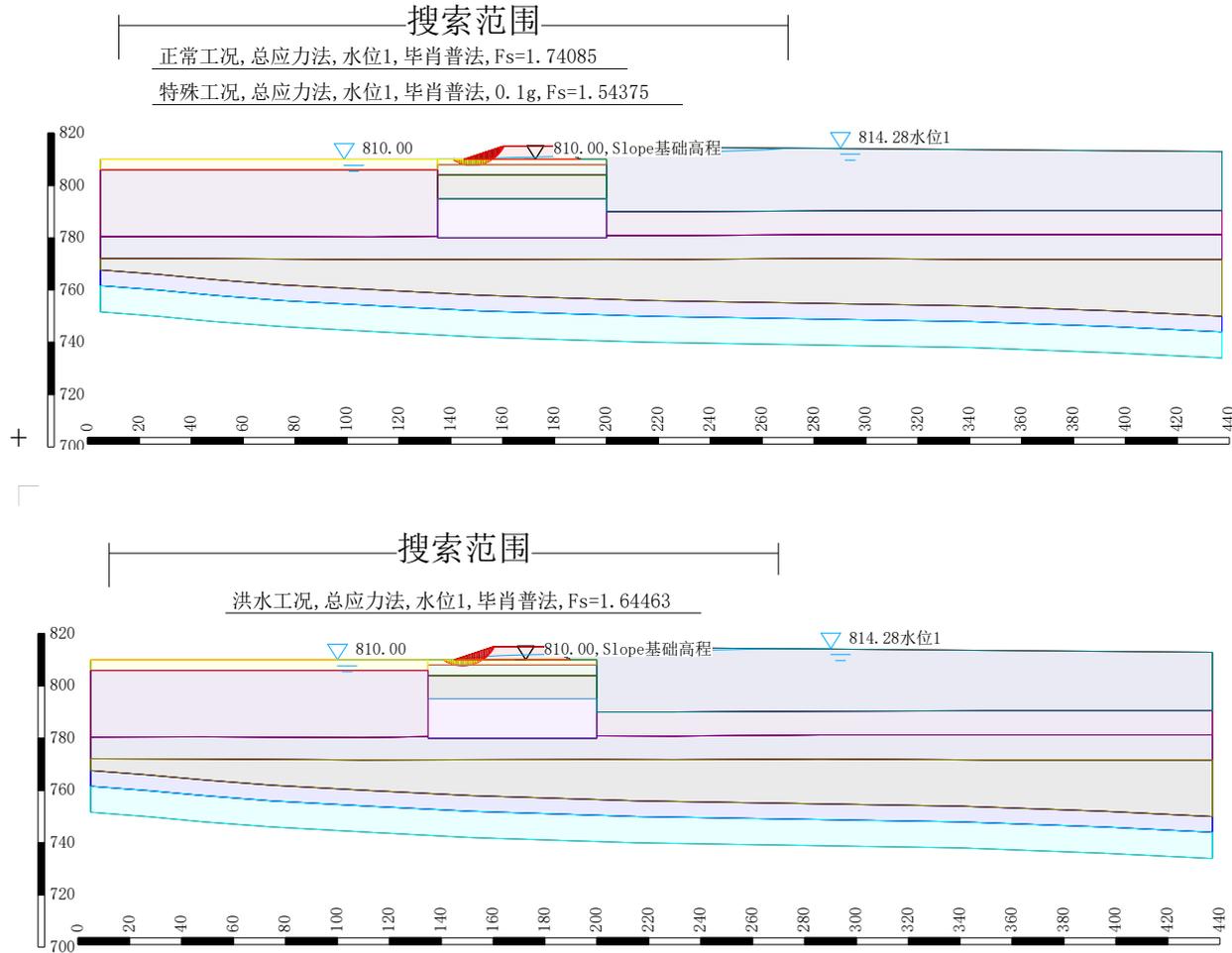




(15) 西侧坝体标高 815.00m 空库正常运行 (图 5.6.6.5.4-28)。



(16) 西侧坝体标高 815.00m 满库正常（特殊）和洪水运行（图 5.6.6.5.4-29~30）。



5.6.6.5.5 抗滑稳定分析结论

根据静力稳定性计算，二期尾矿库扩容后坝体上升过程中，坝面无浸润线溢出现象，坝体在加高过程中，计算的坝体稳定安全系数均大于规范的最小安全系数（正常运行 1.35、洪水运行 1.25、特殊运行 1.15），且有一定富余，因此坝体稳定性是可靠的。

5.6.7 控制浸润线计算

尾矿库扩容后东侧、南侧、北侧堆积坝高度 70m（770m~840.00m），西侧堆积坝高 30m（810m~840.00m）按照《尾矿设施设计规范》（GB50863-2013）“表 4.3.3 堆积坝下游坡浸润线最小埋深 H”：当 $100\text{m} > H \geq 60\text{m}$ 时，浸润线最小埋深 6m~4m，当 $60\text{m} > H \geq 30\text{m}$ 时，浸润线最小埋深 4m~2m。东侧坝体在浸润线埋深 6m 时，经过计算正常、特殊运行坝坡稳定的最小安全系数不满足稳定要求；南侧、北侧坝体在浸润线埋深 6m 时，经过计算正常、特殊运行坝坡稳定的最小安全系数均满足稳定要求；西侧坝体在浸润线埋深 4m 时，经过计算正常、特殊运行坝坡稳定的最小安全系数不满足稳定要求。

控制浸润线试算：

（1）东侧坝体计算浸润线埋深 8m 时，东侧坝体的正常、特殊运行坝坡稳定的最小安全系数（毕肖普法）为 $K_{\min}=1.504$ 、 1.151 ，满足稳定要求且与规范值较为接近。

（2）南侧坝体计算浸润线埋深 6m 时，南侧坝体的正常、特殊运行坝坡稳定的最小安全系数（毕肖普法）为 $K_{\min}=1.454$ 、 1.189 ，满足稳定要求且与规范值较为接近。

（3）北侧坝体计算浸润线埋深 6m 时，北侧坝体的正常、特殊运行坝坡稳定的最小安全系数（毕肖普法）为 $K_{\min}=1.417$ 、 1.176 ，满足规

范规定的坝坡抗滑稳定性的最小安全系数要求。

(4) 西侧坝体计算浸润线埋深 11m 时，西侧坝体的正常、特殊运行坝坡稳定的最小安全系数（毕肖普法）为 $K_{min}=1.353$ 、1.159，满足稳定要求且与规范值较为接近。

(5) 结论：根据《尾矿库安全规程》（GB39496-2020）“5.2.8 章节：设置可靠的排渗设施，尾矿堆积坝的控制浸润线埋深应不小于通过计算确定的控制浸润线的 1.2 倍”，故设计的东侧坝体控制浸润线埋深确定为 9.6m；南、北侧坝体控制浸润线埋深确定为 7.2m；西侧坝体标高 830m~840m 控制浸润线埋深确定为 13.2m，标高 820m 的控制浸润线埋深确定为 6m。

(6) 计算附图

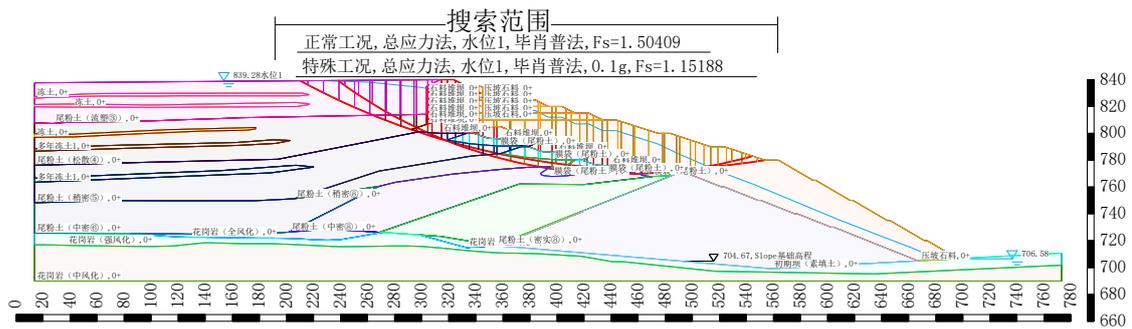


图 5.6.7-1 840.00m 东侧坝体控制浸润线埋深计算结果

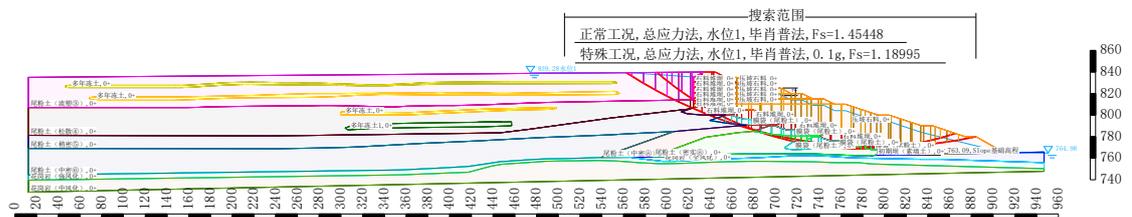


图 5.6.7-2 840.00m 南侧坝体控制浸润线埋深计算结果

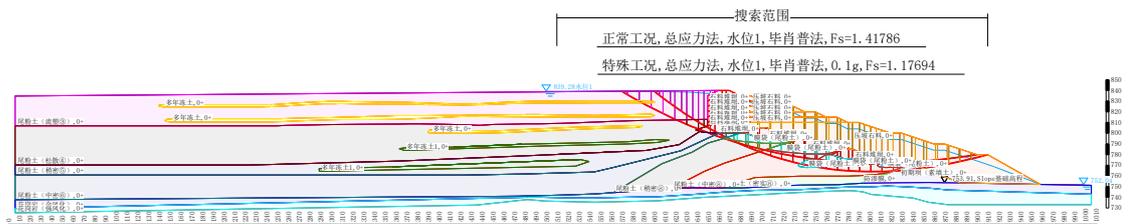


图 5.6.7-3 840.00m 北侧坝体控制浸润线埋深计算结果

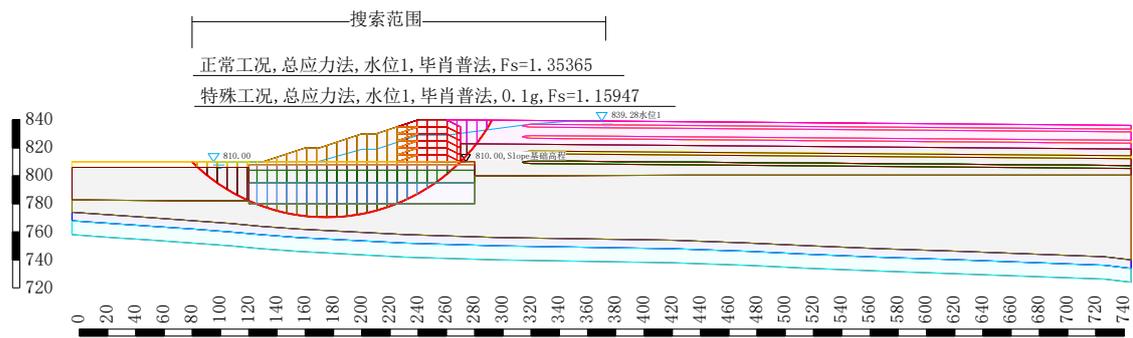


图 5.6.7-4 840.00m 西侧坝体控制浸润线埋深计算结果

5.6.8 三维渗流计算结论及建议

2024 年 11 月，应急管理部信息研究院编制完成《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程三维渗流分析报告》。报告结论摘录如下：

5.6.8.1 主要结论

(1) 本报告根据相关规范要求采用有限元分析软件对乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程进行三维渗流计算。建立了二期尾矿库 810m 和 840m 标高的三维渗流模型。各岩土层的渗透系数指标依据本项目岩土工程勘察报告选取。

(2) 计算分析了两种典型运行标高正常运行水位和最高洪水位时尾矿坝的渗流场，绘制了地下水位等值线图、典型断面浸润线和等势线分布图等，计算了最大渗透坡降。结果表明，坝体浸润面埋深均满足规范要求，各分区渗透稳定性满足要求。

(3) 二期尾矿库 810m 标高的渗流场和浸润面的空间分布三维特征不明显，在正常运行水位和最高洪水位工况下，尾砂最大渗透坡降分别为 0.55 和 0.57，位于尾矿库滩顶尾砂入渗处靠近东侧坝体区域，浸润面埋深由浅到深依次为：西侧坝体<北侧坝体<南侧坝体<东侧坝体，尾矿库各位置坝体及附近区域的水力比降均在 0.4 以下。

(4) 尾矿库堆积至 840m 标高时三维渗流计算结果表明，尾矿库浸润面空间分布三维效应不明显，此标高下滩顶水域位于坝顶中间位置，距离各边堆积坝长度较一致。浸润面埋深由浅到深依次为：西侧坝体<北侧坝体<南侧坝体<东侧坝体。在正常运行和洪水运行工况下，水力比降较大的区域位于东侧滩顶水位入渗处的尾砂附近，正常工况最大值为 0.83，洪水工况最大值为 0.87，堆积坝边坡位置渗流比降值较小，尾矿库各位置坝体及附近区域水力比降值均处于 0.4 以下，坝体的渗透性是相安全的，不会发生渗透破坏。

(5) 计算分析结果表明，洪水位情况下尾矿库的坝体浸润面高于正常运行水位工况的坝体浸润面，但两者坝体的浸润面埋深相差不大，均满足规范规定的最小埋深要求。

综上所述，本报告三维模型、计算参数和边界条件设置等方面在尽可能还原真实复杂情况的基础上，计算结果一定程度上反应坝体渗流规律。二期尾矿库加高扩容工程东侧、南侧及北侧坝体在现有二期尾矿库坝体基础上采用中线式废石筑坝方案，西侧坝体采用振冲碎石桩地基中线式废石筑坝，运行过程中需控制坝体施工质量及各项设施安全可靠，尾矿库浸润面的埋深、坝体孔隙水压力分布及水力比降值均在安全范围内，乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程渗流稳定性满足安全要求。

5.6.8.2 建议

(1) 建议进一步完善冬季运行措施，如子坝在冬季来临前将冬季运行所需高度筑好；冬季放矿前要做好内侧护坡，防止坝外废石或土体形成较大冰冻体；冬季放矿期间坝前冻结的尾矿滩面及时开沟，释放冻胀应力等措施。

(2) 加高扩容设计阶段建议采取针对性措施重点控制勘察和监测浸润线较浅部位，以及计算分析得到的渗流稳定较薄弱部位的浸润线。

(3) 建议下一步设计应分坝段分区域进行二维渗流分析，提出浸润线埋深控制要求和更精确的渗流控制措施。

(4) 尾矿坝完成阶段性堆筑后，需对坝体进行全面的工程地质和水文地质勘察，将后续勘察结果与前期开展的勘察工作进行对比分析论证，深入研究库内尾砂固结特性的发展规律，以验证中期及最终坝体的稳定性和确定后期的处理措施。

(5) 由于尾矿库所处的区域和气象条件，冻融循环条件对坝体渗流稳定性有较大影响，且考虑到尾矿排放的随机性和沉积的不确定性均会影响坝体浸润面位置及其埋深大小，因此，为安全考虑，建议二期尾矿库加高扩容工程运行期间的控制浸润线取为最高洪水位工况下坝体最大剖面的浸润线，以保证运行期尾矿库安全。

(6) 尾矿库在实际运行过程中，影响尾矿库稳定性的因素很多，而且很多因素是随机的、偶然的。由于尾矿库的特殊性，施工期不仅长而且也属于它的服务期，属于边施工边服务的工程，因而在实际生产运行中，极易出现与原设计要求有差异的情况。因此，建议加强尾矿库的日常生产管理，做好尾矿坝的排渗设施，并监测尾矿库的地下水位，及时分析评估其安全性态，消除影响坝体稳定的超静孔隙水压力，掌握尾矿库的异常信息，做到事前控制和事中控制，确保尾矿库安全运行。

5.6.9 动力抗震及地震液化分析

2024年11月，应急管理部信息研究院编制完成《中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程地震动力稳定性分析报告》。报告主要内容及结论摘录如下：

5.6.9.1 动力抗震计算结果及分析

采用动力时程法对二期尾矿库加高扩容工程810m标高和840m标高

进行地震动力反应分析。计算结果表明：

(1) 依据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）的划分，该区地震动峰值加速度值为 0.05g，反应谱特征周期为 0.35s。场地饱和粉土为不液化地层。

(2) 坝体在地震波作用下，水平向地震反应与竖向地震反应接近，地震加速度沿坝高放大效应不明显，尾矿坝大部分区域的加速度放大系数位于 1~1.8 之间。

(3) 设计地震作用下 7 个计算剖面的坝内浸润线抬升幅度不明显，超孔隙水压力增长较大区域位于库内滩顶以下约 20m 深度范围，未出现超孔隙水压力集中区。

(4) 取震前的应力分布和震后的孔隙水压力分布情况来计算永久变形，结果表明：尾矿库 810m 标高 3 个位置剖面水平向永久变形值分别为 0.48m、0.51m 和 0.43m，竖向永久变形值为 0.56m、0.50m 和 0.42m。尾矿库 840m 标高 4 个位置剖面水平向永久变形值分别为 0.65m、0.15m、0.68 和 0.72m，竖向永久变形值为 0.58m、0.27m、0.71 和 0.69m，较大值主要位于沉积滩面靠近后期堆积坝位置，其中南侧和北侧坝体永久变形值最大，采用振冲碎石桩地基的 840m 标高西侧坝体永久变形值最小。

二期尾矿库加高扩容工程 810m 标高及扩容终期 840m 标高各计算剖面水平及竖向永久变形值均满足安全超高要求，可认为坝体是安全的。

5.6.9.2 尾矿坝液化分析

图 5.6.9.2-1~7 分别给出了地震波作用下尾矿库 810m、840m 标高的东坝、西坝、南坝和北坝典型剖面模型的最大液化区计算结果（蓝色区域为液化区），从结果可以看出仅在库内水位范围内尾砂产生浅层液化区，产生的液化区范围远离坝坡，不会影响坝体边坡稳定。

二期尾矿库加高扩容工程东侧、南侧及北侧坝体采用中线式废石筑

坝方案，西侧坝体采用振冲碎石桩地基中线式废石筑坝，排洪排渗设施运行状况良好的条件下，各运行阶段浸润线埋深及干滩长度均处于安全范围。在 0.10g 地震荷载作用下超孔隙水压力上升幅度有限，浸润线抬升不明显，三种地震波作用下的计算结果近似，基本可不考虑液化对坝体产生的影响。

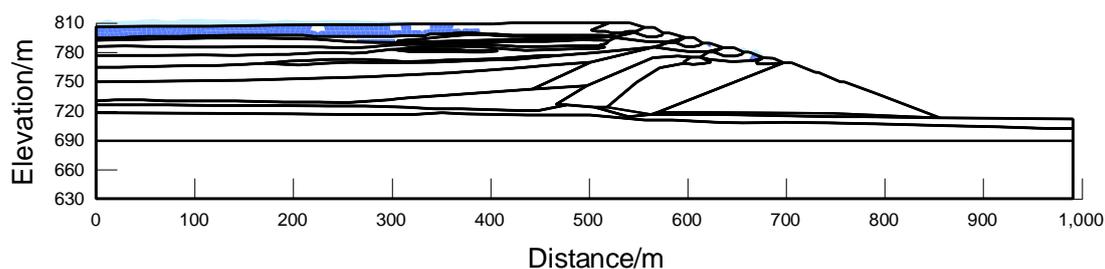


图 5.6.9.2-1 尾矿库 810.00m 标高东坝液化区范围

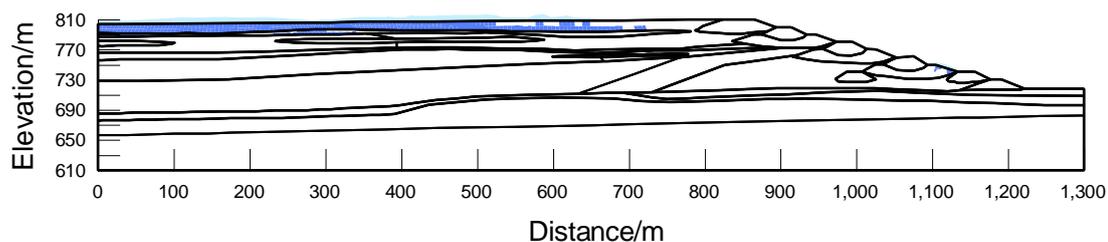


图 5.6.9.2-2 尾矿库 810.00m 标高南坝液化区

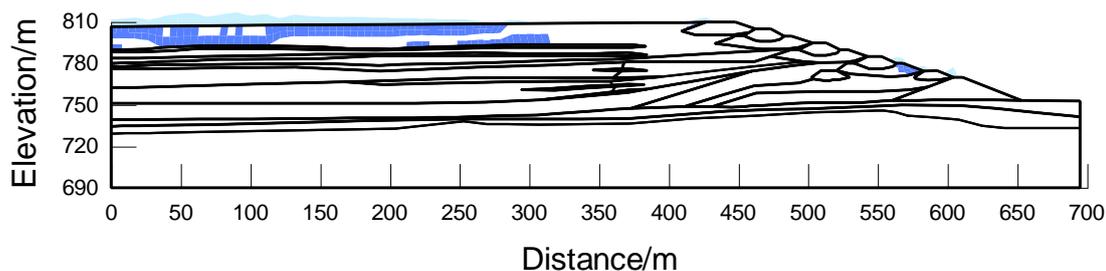


图 5.6.9.2-3 尾矿库 810.00m 标高北坝液化区

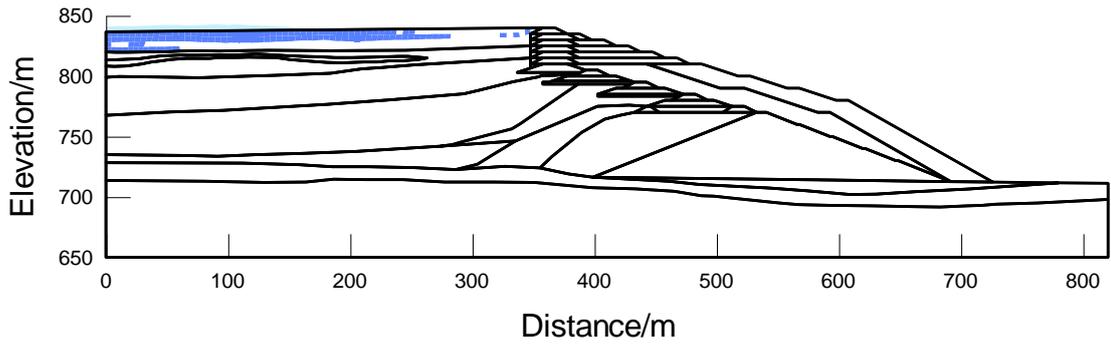


图 5.6.9.2-4 尾矿库 840.00m 标高东坝液化区

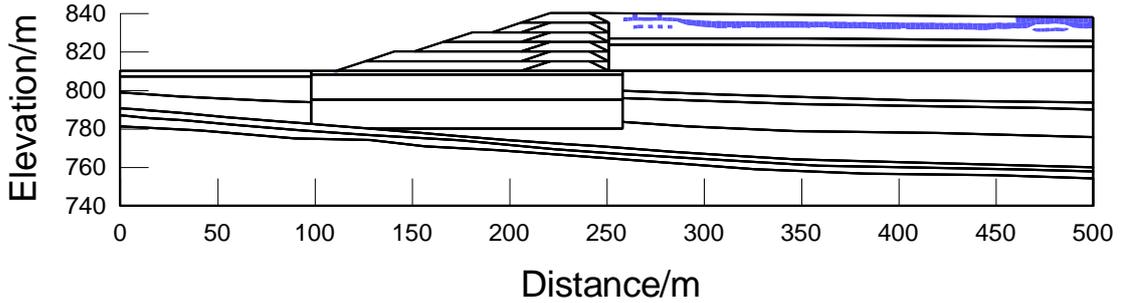


图 5.6.9.2-5 尾矿库 840.00m 标高西坝液化区

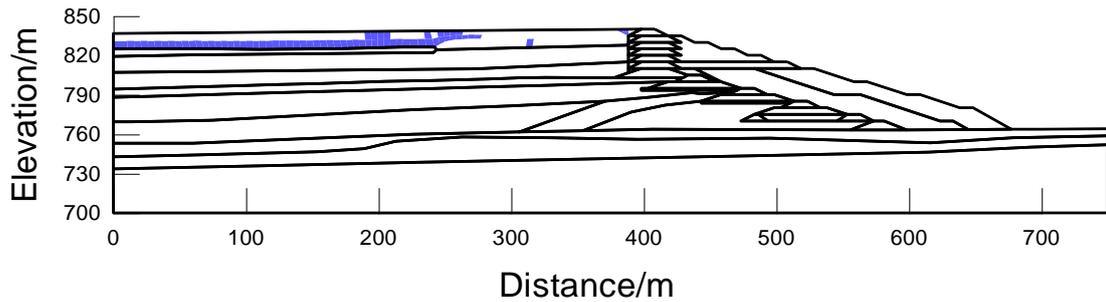


图 5.6.9.2-6 尾矿库 840.00m 标高南坝液化区

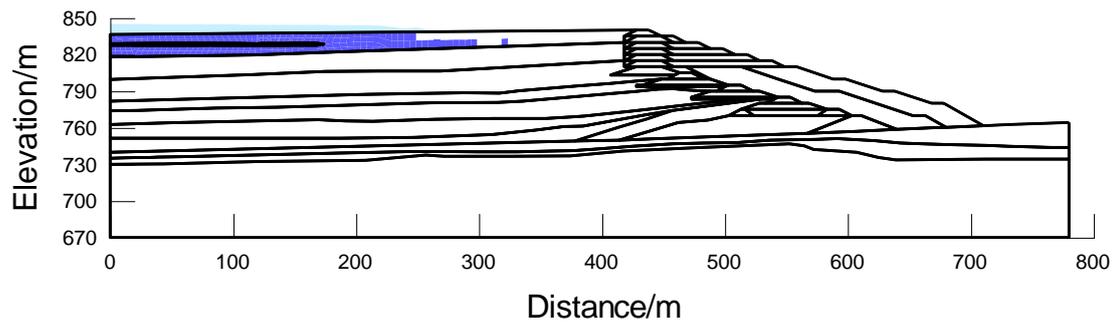


图 5.6.9.2-7 尾矿库 840.00m 标高北坝液化区

本章主要对二期尾矿库加高扩容工程在基本加速度 $0.10g$ 三种地震波下的液化范围进行计算。计算结果表明，设计地震作用下 7 个计算剖面的坝内浸润线抬升幅度不明显，未出现超孔隙水压力集中区，仅在尾矿库库内浅层尾砂产生液化区，液化区范围均位于坝体最危险滑动面之

外，且有一定距离，不会影响坝体边坡稳定。

5.6.9.3 尾矿坝动力稳定性评价

分别对二期尾矿库加高扩容工程 810.00m 和 840.00m 标高模型进行震后动力稳定分析，计算条件取震后孔隙水压力及震后应力重分布的结果。稳定计算结果如下所示。

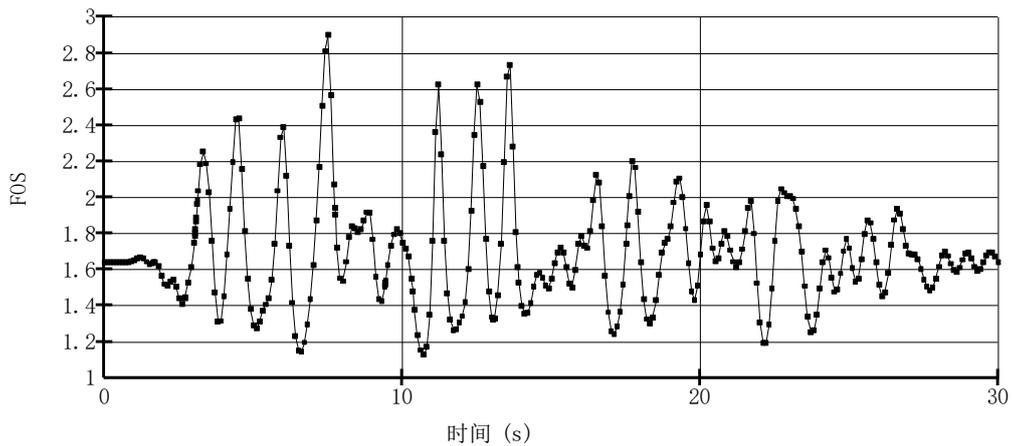


图 5.6.9.3-1 尾矿库 810.00m 标高东坝动力时程线法安全系数曲线
Factor of Safety vs. Time

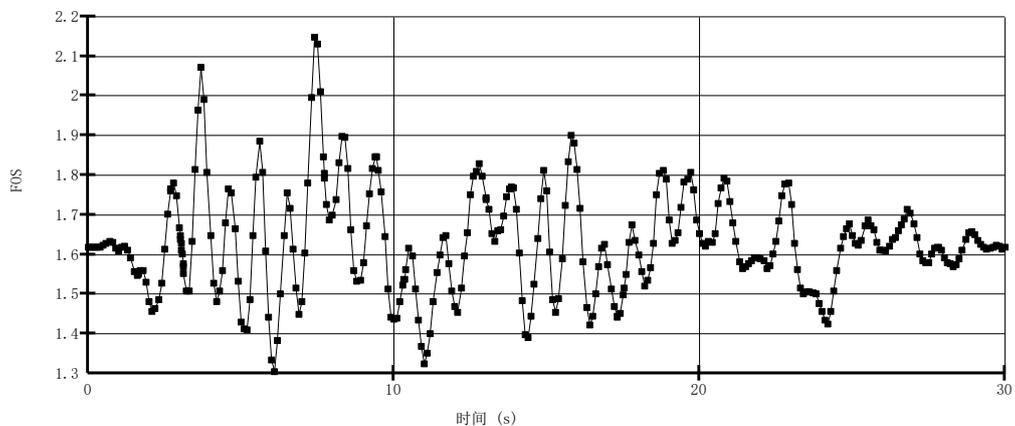


图 5.6.9.3-2 尾矿库 810.00m 标高南坝动力时程线法安全系数曲线

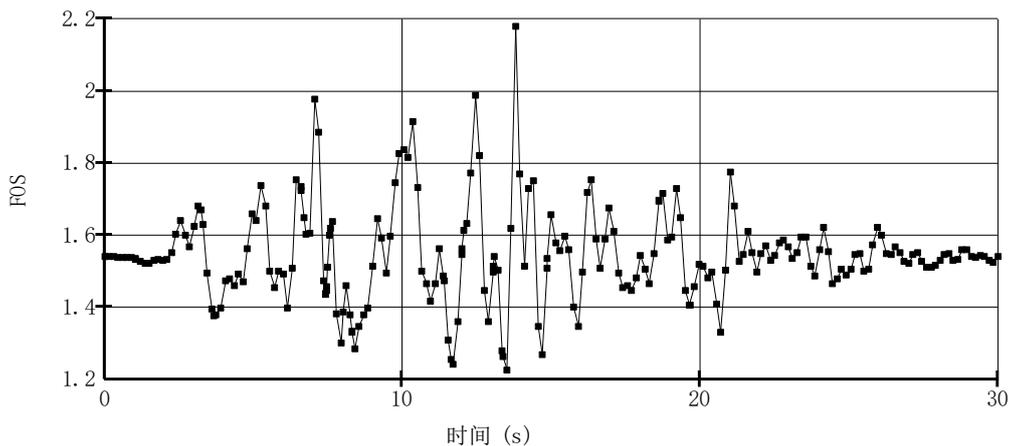


图 5.6.9.3-3 尾矿库 810.00m 标高北坝动力时程线法安全系数曲线

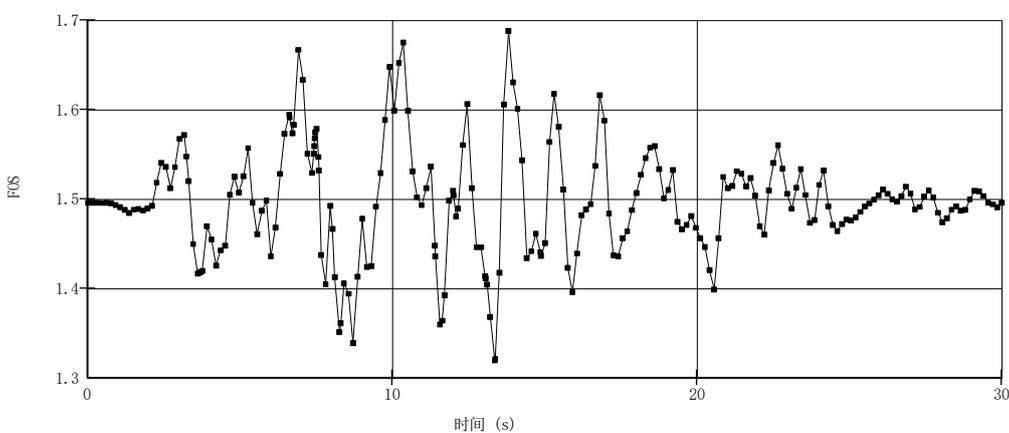


图 5.6.9.3-4 尾矿库 840.00m 标高东坝动力时程线法安全系数曲线

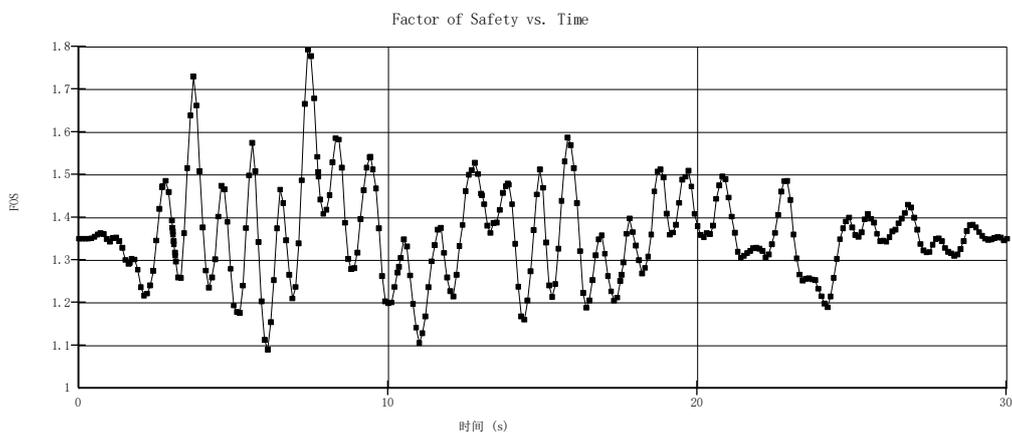


图 5.6.9.3-5 尾矿库 840.00m 标高西坝动力时程线法安全系数曲线

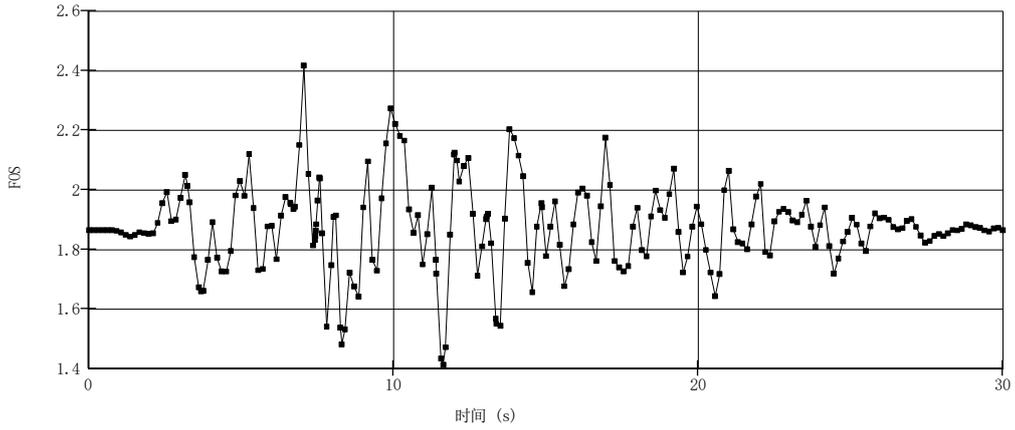


图 5.6.9.3-6 尾矿库 840.00m 标高南坝动力时程线法安全系数曲线

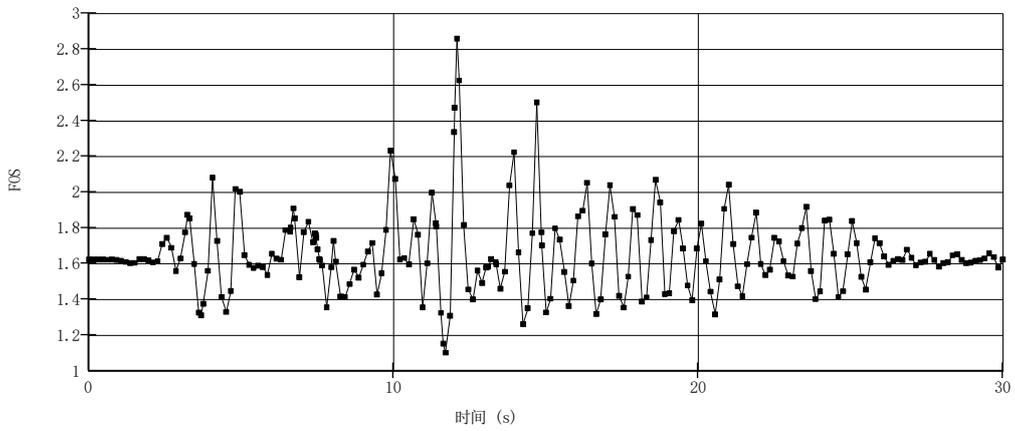


图 5.6.9.3-7 尾矿库 840.00m 标高北坝动力时程线法安全系数曲线

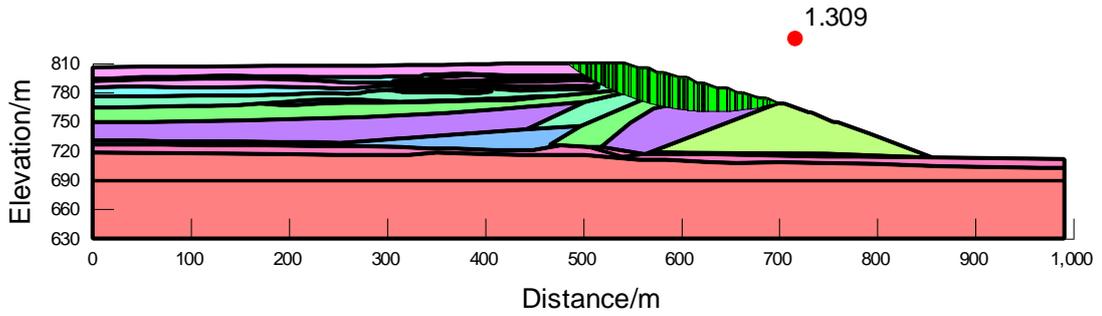


图 5.6.9.3-8 尾矿库 810.00m 标高东坝动力拟静力毕肖普法安全系数

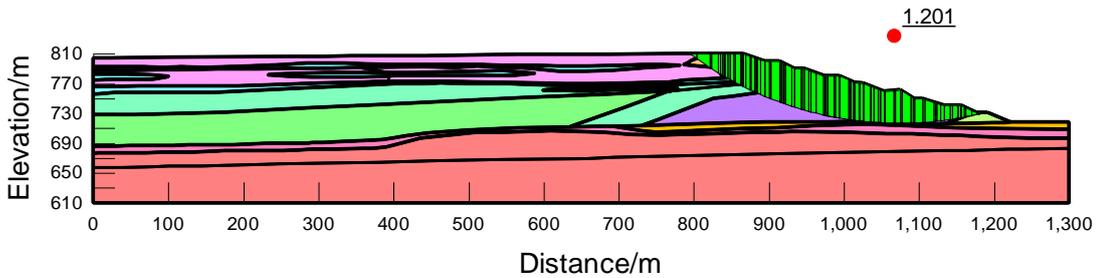


图 5.6.9.3-9 尾矿库 810.00m 标高南坝动力拟静力毕肖普法安全系数

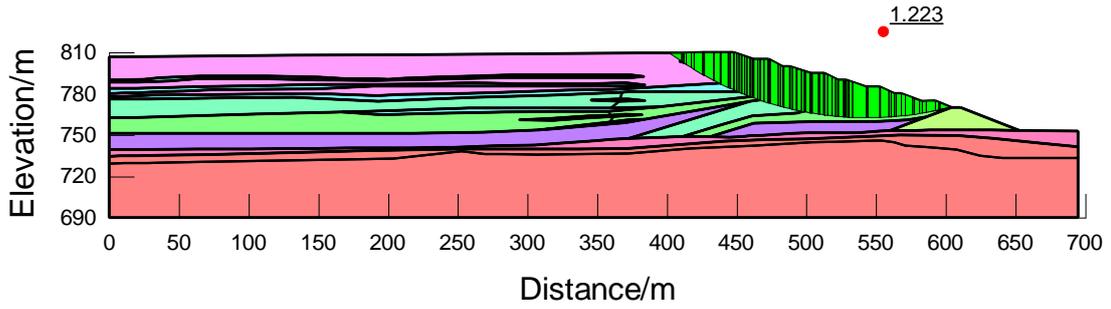


图 5.6.9.3-10 尾矿库 810.00m 标高北坝动力拟静力毕肖普法安全系数

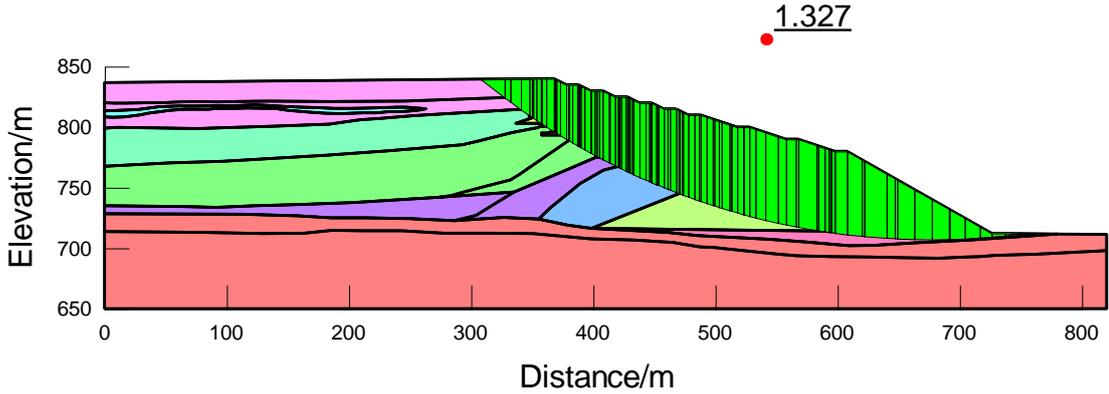


图 5.6.9.3-11 尾矿库 840.00m 标高东坝动力拟静力毕肖普法安全系数

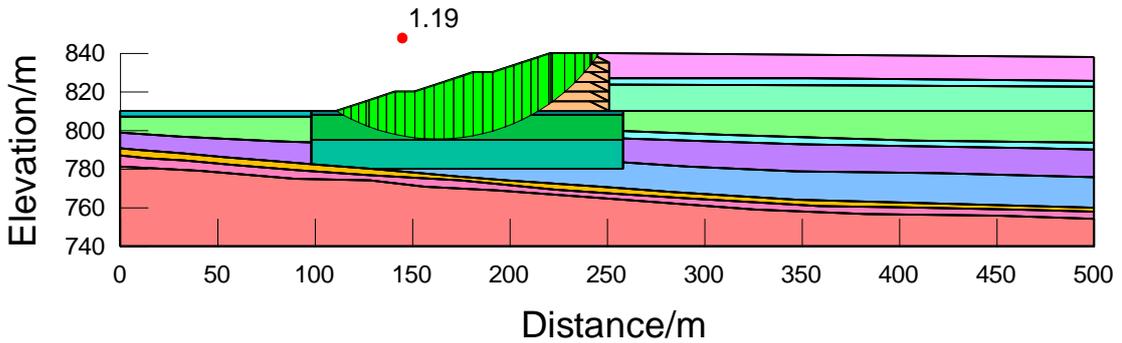


图 5.6.9.3-12 尾矿库 840.00m 标高西坝动力拟静力毕肖普法安全系数

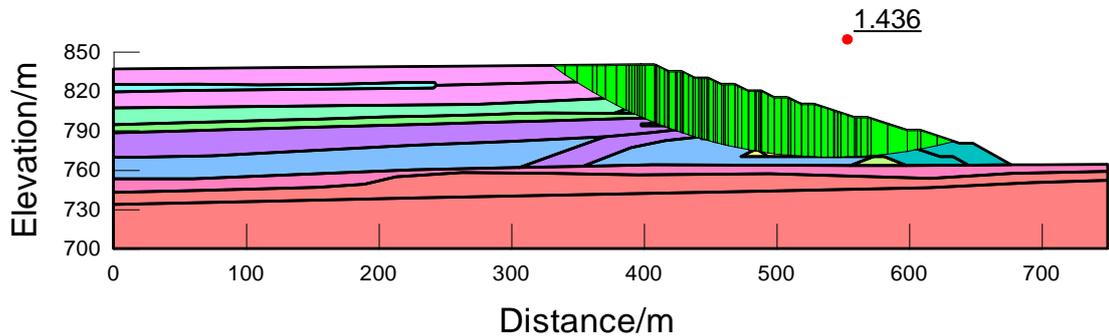


图 5.6.9.3-13 尾矿库 840.00m 标高南坝动力拟静力毕肖普法安全系数

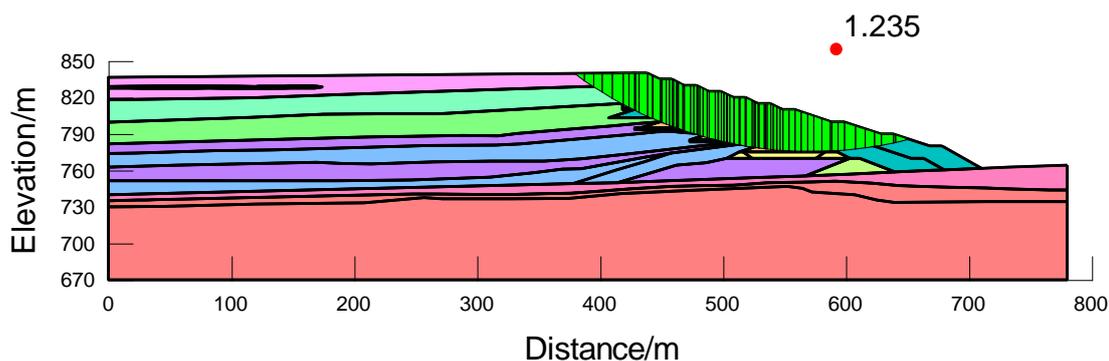


图 5.6.9.3-14 尾矿库 840.00m 标高北坝动力拟静力毕肖普法安全系数

图 5.6.9.3-1~图 5.6.9.3-14 分别示出了各标高坝体安全系数曲线及最危险滑动面的位置。由图可知，在 0.1g 的地震荷载作用下，动力时程线法算得的尾矿坝抗震稳定安全系数时程曲线的最小值为 1.1，最大值超过 2，安全系数轴线波动范围为 1.2~1.9 之间；按拟静力法算得的最小安全系数为 1.19，满足规范中对毕肖普法特殊运行工况的安全系数要求。在遭遇地震作用时，二期尾矿库加高扩容工程满足坝体抗滑稳定的要求。

由此可见，二期尾矿库加高扩容工程按设计要求进行筑坝、管理，尾矿库堆积至 840.00m 标高是安全的，满足动力稳定性要求。

5.6.9.4 结论及建议

5.6.9.4.1 结论

(1) 根据乌山尾矿库的区域地震地质环境、场地特征以及《尾矿设施设计规范》（GB50863-2013）的规定，采用了三条特征地震波，其中两条为实测的 TAR 波和兰州波，另一条为根据目标反应谱人工拟合的地震波，作为坝体动力时程分析的输入地震波。

(2) 采用 Duncan 的 E-B 模型计算了二期尾矿库加高扩容工程运行 810m 标高及扩容终期 840m 标高的应力应变状态和变形大小，形成如下结论：

① 尾矿坝在各个计算标高内，其有效大主应力、有效小主应力的分布及大小均在正常范围内，全部为压应力，坝体不存在拉应力区。

② 尾矿库 810m 标高各计算剖面的最大沉降量介于 1.29~2.55m，最大水平位移介于 0.84~2.01m，与在线监测数据基本一致。尾矿库 840m 标高各计算剖面的最大沉降量介于 1.72~5.4m，最大水平位移介于 0.21~1.2m。采用中线式废石筑坝方案可有效控制坝体水平位移，竖向沉降位移属长期累积的总位移，不会影响坝体稳定。

③ 坝内最大剪切应力主要分布在初期坝坝底及库底尾砂与基岩层。库内尾砂区域绝大部分剪应力值较小，不会产生相对错动滑移。

④ 静力状态下不存在深部滑动区域，局部区域坝体累积变形相对较大，需重点关注短期内变形相对较大区域尾砂的固结程度和浸润线埋深情况。

(3) 依据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）的划分，该区地震动峰值加速度值为 0.05g，反应谱特征周期为 0.35s。场地饱和粉土为不液化地层。

(4) 采用等效线性动力有限元分析方法，在静力分析基础上，重点研究了二期尾矿库加高扩容工程的地震液化区域、坝体永久变形及坝坡的抗震稳定性，得出了坝体地震动力稳定性的有关规律和结论，可供工程建设参考。

① 坝体在地震波作用下，水平向地震反应与竖向地震反应接近，地震加速度沿坝高放大效应不明显，尾矿坝大部分区域的加速度放大系数位于 1~1.8 之间。

② 设计地震作用下 7 个计算剖面的坝内浸润线抬升幅度不明显，超孔隙水压力增长较大区域位于库内滩顶以下约 20m 深度范围，未出现超孔隙水压力集中区。

③ 取震前的应力分布和震后的孔隙水压力分布情况来计算永久变形，结果表明：尾矿库 810m 标高 3 个位置剖面水平向永久变形值分别为 0.48m、0.51m 和 0.43m，竖向永久变形值为 0.56m、0.50m 和 0.42m。尾矿库 840m 标高 4 个位置剖面水平向永久变形值分别为 0.65m、0.15m、0.68m 和 0.72m，竖向永久变形值为 0.58m、0.27m、0.71m 和 0.69m。变形较大值主要位于沉积滩面靠近后期堆积坝位置，其中南侧和北侧坝体永久变形值最大，采用振冲碎石桩地基的 840m 标高西侧坝体永久变形值最小，尾矿库现状及扩容终期各计算剖面水平及竖向永久变形值满足安全超高要求。

(5) 根据地震反应分析结果，在 0.10g 的地震荷载作用下，动力时程线法算得的尾矿坝抗震稳定安全系数时程曲线的最小值为 1.1，最大值超过 2，安全系数轴线波动范围为 1.2~1.9 之间；按拟静力法算得的最小安全系数为 1.19，满足规范中对毕肖普法特殊运行工况的安全系数要求。在遭遇地震作用时，二期尾矿库加高扩容工程满足坝体抗滑稳定的要求。

综上所述，乌努格吐山铜钼矿尾矿库所在场地近区域内地震活动较弱，场地近区域内均不存在发震构造，只要实际运行过程中严格按设计及相关规范要求筑坝、管理，乌努格吐山铜钼矿尾矿库加高扩容工程坝体地震动力稳定性满足规范要求。

5.6.9.4.2 建议

(1) 考虑到该尾矿库扩容后总坝高为 124m，尾矿坝在后期建设不断加高过程中，要求对尾矿坝进行跟踪勘察和稳定性分析。根据规范要求 and 计算结果，建议尾矿坝堆至 825m 标高时，对坝体进行全面的工程地质和水文地质勘察，确定各区域浸润线埋深及尾砂材料参数，校核坝体静动力稳定性。

(2) 废石坝体结构可有效控制坝体向外的水平位移，为进一步加快提高废石子坝下部尾砂的承载力和强度，可采用软基处理措施控制废石坝的沉降和向库内方向的位移，确保坝体各方向的位移可控及坝体的整体安全性。

(3) 建议进一步完善冬季运行措施，如子坝在冬季来临前将冬季运行所需高度筑好；冬季放矿前要做好内侧护坡，尽量不要让坝外废石或土体形成大的冰冻体；冬季放矿期间坝前冻结的尾矿滩面及时开沟，释放冻胀应力等。

5.7 排渗设施

二期尾矿库东、南及北侧坝体在 785m、795m、805m 标高已施工竖向排渗设施，根据竖向排渗设施施工前后浸润线监测数据对比，连续运行的竖向排渗系统可以通过强制排水，增加坝体浸润线埋深。但竖向排渗设施由于投产时间短且连续有效运行时长也不足，从同一区域几次勘察指标对比，无法判断竖向排渗设施是筑坝区域尾矿物理力学指标变化的直接因素。

本次设计尾矿坝均采用中线式废石筑坝，筑坝物料本身就是透水体，因此，尾矿库加高扩容工程不再增设排渗设施。

5.8 安全监测设施

5.8.1 监测系统设置目标

监测系统设计总目标为：建立尾矿库全过程安全在线监测监控系统和综合的安全信息管理平台，提高矿山企业安全防范水平。

(1) 实现对尾矿库重要运行数据的实时采集、传输、计算、分析，包括库区降水量、坝体位移、坝体浸润线以及坝体视频监控等，实时掌握尾矿库整体运行的安全状态。

(2) 通过自动采集分析预处理模块、自动报警模块、多源数据自动建库与分析处理模块和变形预测模块，直观显示各项监测、监控信息数据的历史变化过程及当前状态，为矿区安全生产管理人员提供简便、直观、有效的信息参考。

(3) 适用于尾矿库多类监测项目的数据库合理构架，便于远程在线采集的监测数据、人工监测信息的存储、调用、查看和分析处理，一旦出现紧急异常情况（如坝体位移或位移速率超过警界值等），系统能及时发出预警信息。

(4) 借助尾矿库网络地图信息发布子系统，能够在网络地图中发布尾矿库监测信息、查看监测数据和图表、控制采集和传输、进行分析和预测，实现尾矿库的分级监管。

(5) 通过 Internet 能实现尾矿库安全在线监测系统的远程登录、远程访问、远程管理、远程控制和远程维护。

(6) 本次建设的尾矿库在线监测系统，与尾矿库管理委员会值班室联网，实现数据同步采集与更新、预报警功能等。

5.8.2 尾矿库安全监测等级

根据《尾矿库在线安全监测系统工程技术规范》（GB 51108—2015）表 3.3.2 规定，尾矿库安全监测等级见表 5.8.2。

表 5.8.2 尾矿库安全监测等级

监测等级	监测对象	
	尾矿库	库区地质滑坡体
I	一等尾矿库、二等尾矿库	—
II	三等尾矿库、四等尾矿库、五等尾矿库	大中型滑坡
III	—	小型滑坡

注：1. 一次建坝尾矿库的混凝土石坝、浆砌石坝表面位移监测等级为 I 级；
2. 大中型滑坡指大于 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 的滑坡，小型滑坡指不大于 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 的滑坡。

本尾矿库等别为二等，根据上表规定，该尾矿库安全监测等级为 I 级。

5.8.3 监测布点

（1）位移监测

东侧、南侧、北侧坝体位移监测点布置在标高 780m、790m、800m、810.00m、820m、830m 和 840.00m，间距 300m。运行期监测点共计表面位移 124 个监测点，内部位移 42 个监测点。

西侧位移监测点布置在标高 820m、830m 和 840.00m，间距 300m。运行期监测点共计表面位移 21 个监测点，内部位移 6 个监测点。

观测设施包括观测标点和测量基点。

观测标点：布置在可控制主要变形情况的断面，如最大坝高断面、工程地质变化较大地段。

观测时间：当坝体水平、垂直变形量已基本稳定后（变化有规律）可减为每季两次；当遇有地震、暴雨或久雨、库水位超过最高水位、渗透情况严重、变形量显著增大时应增加测次。

（2）堆积坝坡比监测

东侧、南侧、北侧坝体堆积坝坡比监测点布置在标高 780m、790m、800m、810.00m、820m、830m 和 840.00m，间距 100m。

西侧位移监测点布置在标高 820m、830m 和 840.00m，间距 100m。监测横剖面布置在尾矿坝最大坝高处及堆积坝外坡最大坡度地段。

（3）浸润线监测

东侧、南侧、北侧坝体浸润线监测孔布置在标高 800m、820m 和 840.00m，浸润线观测孔采用 DN50mm 钢管制作，标高 800m 和标高 820m 浸润线监测孔埋深 25m，标高 840.00m 浸润线监测孔埋深 30m。运行期监测点共计 17 条监测横剖面，51 个监测点。

西侧坝体浸润线监测孔布置在标高 830m 和 840m，浸润线观测孔采用 DN50mm 钢管制作，监测孔埋深 20m。运行期监测点共计 7 条监测横剖

面，14 个监测点。

（4）库水位监测

在回水浮船附近围堤适当位置设置水位标尺，标尺刻度要求清晰醒目，应标注实际标高，便于观测和记录。

（5）干滩监测

包括滩顶标高、干滩长度、沉积滩坡度的监测。

5.8.4 仪表选型

（1）坝体位移在线监测，采用 GPS 法和自动型全站扫描仪极坐标差分法结合。

（2）浸润线监测点的渗流压力监测采用振弦式或光纤光栅式渗压计。

（3）尾矿库滩顶高程及库水位的监测，可采用激光式测距仪及静压式液位计，测量误差应小于 20mm。

（4）流量监测采用电磁流量计、超声流量计。

（5）降雨量监测采用在线式降雨量测量传感器，例如容栅式、振弦式。

（6）库水位监测：采用雷达水位计。

5.8.5 工业电视及视频安防系统

电视监控系统可以给企业领导及生产管理人员提供直观真实的安全生产情况，以实现实时调度、指挥生产、提高安全生产保障的力度及效率，是企业管理的有力工具。

设计拟于尾矿坝、库水位标尺、排洪设施进出口等处设置 IP 监控摄像机，接入临近网络交换机，通过企业信息网络将视频信号送至尾矿库管理站。

设于无照明区域的监控点配备辅助照明灯，改善夜间监控效果。

5.8.6 尾矿库在线监测系统结构

尾矿库安全运行在线监测系统由监测点传感器、数据传输网络监测管理站三层构成。通过因特网将监测管理站内信息送至全矿信息管理系统，为高效、科学、优化的现代化管理创造条件。三层结构具体内容如下：

(1) 监测点传感器。用于监测浸润线的渗压计、排渗管流量计、库水位、干滩高程物位计、降雨量计等，

(2) 数据传输网络。含数据采集模块、电缆集线箱、调制解调仪、光纤分线盒、无线信号收发装置等。本项目所用各种监测装置信号均可接入，例如：光纤光栅式、振弦式、全站仪、GPS、4~20mA 输出制表。

(3) 监测管理站。包括数据采集设备、数据库服务器、监控站、WEB 服务器、视频监控终端等。监测管理软件对采集到的实时数据、历史数据进行自动解算、智能分析，分析坝体的结构健康状态，评估结构的可靠性，对异常参数进行报警，为尾矿库的管理与维护等提供依据。

5.8.7 尾矿库安全监测系统的功能

尾矿库安全监测系统实现的主要功能包含：

(1) 数据自动采集：利用传感器技术、信号传输技术，从宏观、微观相结合的全方位角度，来监测影响尾矿库及坝体安全的各种关键技术指标，保证数据的实时性及有效性。

(2) 现场网络通讯及远程通讯：实现数据传输。

(3) 数据存储及处理分析、综合预警功能：记录历史、现有的数据，分析未来的走势。针对尾矿库运行中的各项指标集中分析，提供历史数据查询及多个安全指标数据对比的功能，依托智能的软件系统建立分析

预警模型。实现与短消息平台结合，当发生异常时，及时自动发布短消息到矿方管理人员，以便辅助企业及政府决策，提升尾矿库安全保障水平，尽快启动相应的预案，有效防范和遏制重特大事故发生。

（4）防雷及抗干扰功能。

（5）数据备份、掉电保护、自诊断、故障显示等功能。

5.8.8 监测频率

5.8.8.1 人工监测频率要求

尾矿库应每天进行日常巡查，大雨或暴雨期间应在现场实时巡查，人工安全监测设施安装初期应每半个月监测1次，6个月后应每月监测不少于1次。遇下列情况之一时，应增加监测次数：

（1）汛期；

（2）地震、连续多日下雨、暴雨、台风后；

（3）尾矿库安全状况处于蓝色预警、黄色预警、橙色预警、红色预警期间；

（4）排洪设施、坝体除险加固施工前后；

（5）其他影响尾矿库安全运行情形。

5.8.8.2 在线安全监测频率

（1）尾矿库处于正常状态时，在线安全监测频率为1次/10min~1次/24h；

（2）尾矿库安全状况处于非正常状态时，在线安全监测频率为1次/5min~1次/30min。

5.8.9 在线监测与人工监测数据比较

尾矿库在线安全监测和人工安全监测的监测成果应定期进行对比

分析。每年应进行一次专门数据分析，下列情况下应增加专门数据分析：

- (1) 尾矿库竣工验收时；
- (2) 尾矿库安全现状评价时；
- (3) 尾矿库闭库时；
- (4) 出现异常或险情状态时。

5.8.10 监测设施阈值

(1) 位移阈值

表 5.8.10-1 尾矿坝位移预警阈值

尾矿坝位移预警项目	黄色预警	橙色预警	红色预警
监测点位移变化量	正常运行值的 1.3 倍	正常运行值的 2 倍	正常运行值的 3 倍
同级子坝相邻位移点的位移速率	正常运行值的 1.3 倍	正常运行值的 2 倍	正常运行值的 3 倍

尾矿坝位移量和位移变化速率的正常运营值需使用单位根据尾矿坝运行一定时间后的监测成果统计确定。

(2) 浸润线埋深阈值

① 东侧坝体浸润线阈值

蓝色预警值：浸润线埋深 11.5m。

黄色预警值：浸润线埋深 11.0m。

橙色预警值：浸润线埋深 10.5m。

红色预警值：浸润线埋深 9.6m。

② 南、北侧坝体浸润线阈值

蓝色预警值：浸润线埋深 8.7m。

黄色预警值：浸润线埋深 8.3m。

橙色预警值：浸润线埋深 8.0m。

红色预警值：浸润线埋深 7.2m。

③ 西侧侧坝体浸润线阈值

蓝色预警值：浸润线埋深 15.8m。

黄色预警值：浸润线埋深 15.2m。

橙色预警值：浸润线埋深 14.5m。

红色预警值：浸润线埋深 13.2m。

（4）降雨量阈值

表 5.8.10-2 降水量预警阈值

预警分级	预警阈值
蓝色预警	1h 内降雨量 14.55mm
	6h 内降雨量 23.33mm
	24h 内降雨量 46.40mm
黄色预警	1h 内降雨量 16mm
	6h 内降雨量 25mm
	24h 内降雨量 50mm
橙色预警	1h 内降雨量 52.38mm
	6h 内降雨量 87.50mm
	24h 内降雨量 167.04mm
红色预警	1h 内降雨量 58.64mm
	6h 内降雨量 93.64mm
	24h 内降雨量 186.70mm

（4）干滩长度、库水位

① 干滩长度预警值：

蓝色预警值：干滩长度 300m。

黄色预警值：干滩长度 250m。

橙色预警值：干滩长度 200m。

红色预警值：干滩长度 125m。

② 库内水位：正常运行水位低于滩顶标高 2.4m，洪水期最高洪水位低于滩顶 1m。

5.9 尾矿输送及回水

5.9.1 尾矿输送

目前隔膜泵存在运行稳定性差，维修量大的缺陷。经过改造后采用多级渣浆泵串联的方式进行高浓度尾矿输送，扩容后需新增

Q345BΦ480×16mm 无缝钢管，管长 1600m。

隔膜泵站地面标高约 809.80m，排放点标高 810.00–840.00m，原设计自然高差为 0（30）m。现用管道型号为 Q345BΦ480×16mm 无缝钢管（外径 480mm，壁厚 16mm，内径 448mm），一期和二期泵站分别布设一条管路，扩容后单管道长度约 5000m。

5.9.1.1 水力计算

尾矿输送扬程计算公式如下：

$$H_k = H \gamma_k + L I_k + h_j + h_n + h_y$$

式中： H_k ——压力输送所需扬程；

H ——输送自然高差，m；

γ_k ——尾矿浆容重， t/m^3 ；

L ——扬送距离，m；

I_k ——输送矿浆坡降；

h_j ——输送尾矿浆局部损失，m；

h_n ——泵站内损失，m；

h_y ——剩余压头，m；

表 5.9.1.1 一、二期高浓度尾矿输送扬程表

名称	单位	一期总管路	二期总管路
排尾干矿量	t/d	43481	45144
尾矿比重		2.70	2.70
输送浓度	%	60-66	60-66
矿浆容重	t/m^3	1.607-1.711	1.607-1.711
矿浆流量	m^3/h	1604.31-1878.81	1665.67-1950.67
选择管径	mm	448.00	448.00
工作流速	m/s	2.85-3.34	2.96-3.47
沿程水力损失	mH_2O/m	0.0190	0.0190
管线长度	m	5000	5000
起点标高	m	810	810
终点标高	m	810（840）	810（840）
几何高差	m	0（30）	0（30）
计算扬程	m	111（159-162）	111（159-162）

注：沿程损失是根据已有工程实际运行参数进行反推取得。

5.9.1.2 设备能力校核

深锥浓密机底流 60-66%的尾矿浆，一期和二期高浓度输送系统各 8 台 350ZJ-100-DCD-AZT 型 ($Q=1150-1400\text{m}^3/\text{h}$, $H=100\text{m}$, $n=900\text{r}/\text{min}$, $N=900\text{Kw}$, 变频电机) 渣浆泵，两两串联（4 用 4 备，初期单级泵输送，后期串联扬送），4 台渣浆泵布置在深锥底部，4 台布置在原隔膜泵站，扬送至尾矿库堆存。

两台泵串联的扬程大于计算扬程可满足加高后高浓度尾矿浆输送的要求。

5.9.2 尾矿回水

尾矿回水分为坝下回水和库内浮船回水两部分。

(1) 坝下回水

二期尾矿库初期坝下设置 1 座回水泵站，泵站内配 5 台 D450-60×5 型回水泵。由于库内浮船回水和坝体渗水量的减少，目前正常工况下仅使用 1 台，设备参数 $Q=450\text{m}^3/\text{h}$, $H=300\text{m}$, $P=500\text{Kw}$, 回水管为 DN500mm 钢管（直埋），管长 $L=5000\text{m}$ ，正常工况下坝下回水量每天运行 8-10 小时，大部分尾矿库回水采用浮船回水。

(2) 库内浮船回水

库内现有两座回水浮船均位于原二期尾矿库库尾澄清水域，本次设计将一座回水浮船泵站改造后作为西侧坝体下游集水池回水使用。在库内新增加一座回水浮船泵站，作为尾矿库回水设施使用。回水浮船内配备 3 台回水泵，设备参数 $Q=275\text{m}^3/\text{h}$, $H=70\text{m}$, $P=500\text{Kw}$, 回水管为 DN450mm 钢管（直埋），管长 $L=3050\text{m}$ 。

5.10 辅助设施

5.10.1 照明

为保证夜间和不良天气条件下的正常生产运行，在主、副坝侧应设置探照灯，且每侧坝体应设探照灯不少于3组，照明范围应覆盖尾矿库干滩区。

5.10.2 道路

在二期尾矿库加高扩容工程周围建设环尾矿库应急管理道路兼做日常管理道路，路宽8-10m，与现有通往尾矿库道路相连。尾矿库为平地型，四面筑坝，每侧坝体坡面马道平台及坝顶均作为应急管理道路兼做日常管理道路，坡面每级马道平台间均设置连通路，使每侧坝体的联络道路均能连通至坝顶，以保证每侧坝体均能满足应急抢险时通行和运送应急物资需求。

环尾矿库应急道路采用厂外辅助道路标准，设计行车速度:15km/h; 停车视距:15m; 最大纵坡:9%; 最小圆曲线半径:15m; 最小竖曲线半径:250m。采用碎石路面，路面结构层:50mm 厚砂砾磨耗层、200mm 厚级配碎石面层。

5.10.3 通讯和尾矿管理站

为了便于生产管理，在总调度室、尾矿库值班室（无人机房）、浮船泵站及坝下回水泵房设立专门的值班室分别装有无线固定电话，并给尾矿操作人员、管理人员配备移动电话和无线对讲机并确保畅通，以便及时与厂部取得联系。

乌山尾矿库日常运行管理已配备尾矿库运行车间科级管理人员、专职技术人员、巡坝工、回水泵工等，满足管理要求，本次加高扩容工程不再新增加尾矿库安全管理人员。

5.10.4 报警系统

企业应制定应急预案，定期演练。对库区作业人员进行安全教育培训，了解尾矿库失事的危害性；尾矿库库区已设有警报器及应急广播设备，并根据警报信号做出相应的响应。

5.11 尾矿库闭库

根据尾矿总体处置方案，从扩容工程投入生产的第3年末尾矿库开始闭库设计，闭库预计采用干式闭库。

尾矿库闭库需要在安全评价的基础上单独进行闭库设计，本阶段给出初步方案如下：

尾矿堆坝外坡以及库内滩面需要进行复垦，并通过实验找到合适的复垦方案。初步考虑初期复垦时采用2m×2m网格状植草形式，采用生物土、包衣种子及砂面PEG（聚乙烯醇）喷洒技术，先使砂地表面形成网格状植被，网格内随枯落物积聚及砂性改良，逐渐增加覆盖度，种植几季牧草压青后，即可实现畜牧业复垦或农业复垦。

利用尾矿或者当地土石料将尾矿库库内填平并形成1%坡度，由库区中部坡向尾矿堆积坝顶。同时对参照堆积坝下游坡坡面复垦方案对滩面进行复垦并适当增设坡面排水系统，坡面排水系统可参照尾矿堆积坝面排水系统。

6 尾矿库安全管理

6.1 安全管理

加高扩容后尾矿库总坝高 124m，总库容 30392 万 m³，属于二等库。尾矿库由中国黄金集团内蒙古矿业有限公司负责管理，矿区紧邻尾矿库，尾矿库在二期尾矿库西南侧设置专门的管理站，配置办公、生活等设施和通讯调度电话，用于保证尾矿库日常安全管理需要；同时还设置了无人巡检、无人机红外热成像、轨道式边坡雷达预警系统以及在线监测系统有效提升了尾矿库事故灾害的预警能力。二期尾矿库加高扩容工程正式建设后，企业必须从勘察、设计、施工、监理、管理等各个环节高度重视尾矿库的安全管理，全面严格执行《尾矿库安全监督管理规定》和《尾矿库安全规程》GB39496-2020 相关要求，据此建立健全管理机构和体系，确保尾矿设施安全运行。尾矿库现场安全管理人员必须经过尾矿库专业知识培训，取得上岗证后才能持证上岗从事管理工作。

6.1.1 安全管理机构及安全教育培训

6.1.1.1 安全管理机构

主要负责人是乌山铜钼矿安全生产的第一责任人，对安全生产工作全面负责。主要负责人必须接受政府安全生产管理部门组织的企业安全生产管理知识培训，并取得合格证书，持证上岗。

中国黄金集团内蒙古矿业有限公司乌努格吐山铜钼矿成立以主要负责人为主任的公司安全生产委员会。公司设立健康安全环保部，作为安全生产管理机构，负责管理全公司的安全生产、环境保护和职业健康工作。为进一步落实安全生产责任，专门成立尾矿库管理委员会，下设健康安全环保科负责尾矿库运行车间、尾矿制备车间安全管理、环境保护和职业健康工作；尾矿库运行车间具体负责尾矿库的日常管理。

企业主要负责人和各级安全生产管理人员必须按照国家有关规定进行安全生产培训，经培训单位考核合格并取得安全资格证书后方可任职，且每年参加安全生产再培训。

6.1.1.2 安全生产管理的职责

(1) 安全生产职责

① 贯彻落实国家、地方政府和上级公司安全生产相关法律法规和要求，组织制定矿安全生产规章制度。

② 组织制定安全生产年度工作安排和长远规划并组织实施。

③ 保证安全生产投入的有效实施。

④ 严格落实新建、改建、扩建项目“三同时”管理，负责参与或组织项目安全设施设计审查、竣工验收、试车投产工作。

⑤ 负责组织矿定期安全大检查及专项检查工作，研究重大安全隐患的处理方案。

⑥ 负责建立健全乌山铜钼矿应急救援体系，组织应急救援预案制定演练、评估和修订，并按要求配备应急救援物资和装备。

⑦ 负责突发安全事故应急处置，发现重大事故隐患和险情要及时向公司和有关安全生产监督管理部门报告，紧急情况下，应报请当地人民政府及有关部门给予协助。

⑧ 研究乌山铜钼矿安全方面的其它重大问题及应采取的措施。

(2) 乌山铜钼矿健康安全环保部安全生产职责

① 认真贯彻执行国家及上级安全生产方针政策、法律法规，具体负责全矿的安全生产工作。

② 负责对职工进行安全思想和安全技术知识的教育，严格按照要求开展新上岗职工安全培训和年度安全再培训；严格特种作业人员安全培训管理，做到持证上岗。

③ 组织制订、修订本矿安全生产管理制度和安全技术规程，编制安全技术措施计划，提出安全技术措施方案，并检查执行情况。

④ 组织参加安全大检查，贯彻事故隐患整改制度，协助和监督有关部门对查出的隐患制订防患措施，检查隐患整改工作。

⑤ 参加新建、改建、扩建及大修项目的设计审查、竣工验收、试车投产工作，使其符合安全技术要求。

⑥ 深入现场检查，解决有关安全问题，纠正违章指挥、违章作业，遇有危及安全生产的紧急情况，有权责令其停止作业，并立即报告有关领导。

⑦ 负责各类事故的汇总统计上报工作，并建立、健全事故档案按规定参加事故的调查处理工作。

⑧ 负责各部门、班组的安全考核评比工作，总结交流安全生产先进经验，积极推广安全生产科研成果、先进技术及现代安全管理方法。

⑨ 检查督促有关部门做好安全装备的维护保养和管理工作，并建立健全安全卫生管理网，指导基层安全生产工作，加强安全生产基础建设，定期召开安全生产专题会议，不断提高基层安全员的技术素质。

⑩ 具体负责应急救援体系管理，组织应急救援预案制定、演练评估和修订。

(3) 乌山铜钼矿尾矿库管理委员会安全生产职责

① 贯彻落实国家、地方政府和上级公司安全生产相关法律法规和要求，组织制定安全生产规章制度。

② 编制尾矿库管理委员会安全工作年度计划和长远规划并组织实施。

③ 保证安全生产投入的有效实施。

④ 严格落实新建、改建、扩建项目“三同时”管理，参与项目安

全设施设计审查、竣工验收、试车投产工作。

⑤ 负责组织安全生产检查及专项检查工作。

⑥ 建立健全尾矿库管理委员会应急救援体系，负责参与或组织应急预案制定演练、评估和修订，并按要求配备应急救援物资和装备。

⑦ 负责尾矿库管理委员会和尾矿库现场应急处置工作，发现重大事故隐患和险情及时向乌山铜钼矿、集团、上级单位和有关安全生产监督管理部门报告，紧急情况下，应报请当地人民政府及有关部门给予协助。

(4) 乌山铜钼矿尾矿库管理委员会健康安全环保科室安全生产职责

① 负责尾矿库有关法律法规、国家和行业标准、地方政府法规、标准的识别、获取和贯彻，制定、修订安全管理制度和安全操作规程并监督检查执行情况。

② 负责组织厂级安全隐患排查治理，并对检查出的隐患进行督促整改。

③ 组织或参与危险性较大作业施工安全措施制定和监督实施。

④ 具体做好所负责危险作业项目的审批、交底、管理工作。

⑤ 负责对全厂职业危害因素进行监测，定期对车间粉尘浓度、噪音进行监测，并做好记录。

⑥ 组织或参与新建、改建、扩建项目安全管理制度、安全操作规程的制定和落实。

⑦ 负责组织本单位职工和外委单位安全培训教育。

⑧ 落实尾矿库应急救援体系管理，配合完成应急救援预案制定、演练、评估和修订。

⑨ 监督检查劳动保护用品的发放、佩戴和使用情况。

(5) 尾矿库运行车间安全生产职责

- ① 认真贯彻上级下达的各项指令和任务。
- ② 建立健全尾矿设施安全管理工作制度。
- ③ 编制年度、季度作业计划，统筹安排和实施尾矿输送、放矿筑坝、排洪等的管理工作。
- ④ 严格按照相关规范、规定及设计文件的要求，做好尾矿库放矿防汛度汛、抗震等日常安全生产管理。
- ⑤ 做好日常巡检和观测，并进行及时、全面的记录，发现不安全隐患时，应立即采取应急措施并及时向上级报告。

6.1.1.3 人员配备

乌山尾矿库日常运行管理已配备尾矿库运行车间科级管理人员、专职技术人员、巡坝工、回水泵工等，满足管理要求。

6.1.1.4 安全教育和培训

根据《生产经营单位安全培训规定》，尾矿库的管理人员必须持证上岗，企业应做好岗前教育，对从事尾矿库作业的尾矿工进行上岗前专门的作业培训，并监督其取得特种作业人员操作资格证书方能上岗。企业要经常性的组织安全管理人员进行安全教育，教育形式为：企业设定安全生产月（国务院规定每年6月份为全国安全生产月）、安全活动日、班前班后会、组织安全会议、做好广播或板报宣传工作、召开事故现场会等。

为了提高职工的安全生产意识，普及安全生产知识，掌握安全操作技术和执行安全生产法规的自觉性，企业应建立安全生产教育、培训和考核制度。

目前，企业对职工进行安全教育、培训的形式主要有：

- (1) 组织专门的安全教育培训班。

- (2) 班前班后交待安全注意事项，讲评安全生产情况，
- (3) 施工和检修前进行安全技术措施交底。
- (4) 各级负责人员和安全人员进行现场安全宣传教育
- (5) 组织安全技术知识讲座、竞赛。
- (6) 召开事故分析会，分析事故发生的原因、责任、教训等，进行实例教育。

(7) 组织安全技术交流，安全生产先进展览，张贴宣传画、标语设置警示标志，利用广播、电视、电影、录相等方式进行安全教育。

(8) 安全技术部门召开安全例会、专题会、表彰会、座谈会或采用安全信息、简报通报等形式总结、评比安全生产工作，达到教育的目的。

对一般职工进行安全教育培训的主要阶段是入矿时专门的安全教育和日常的安全教育。目前，普遍采用三级安全教育包括：

(1) 入矿教育：新入矿的工人或调工作的工人以及在矿实习的人员在分配到具体工作岗位前，必须接受初步的安全教育。教育内容主要有：矿山安全生产的方针和基本法规、矿山安全的特殊性、本矿安全生产的一般状况、危险地点介绍；入矿安全须知和预防事故的基本知识及一般的安全知识等。

(2) 车间教育：新工人或调动工作的工人在接受完入矿教育后，分配到车间时所接受的教育主要包括：本车间安全生产情况、劳动纪律和生产规则、安全规章制度、安全注意事项、车间的危险区域、尘毒危害情况等。

(3) 岗位教育：指新工人或调动工作的工人到达岗位开始工作前，在班组所接受的安全教育。主要内容有：班组安全生产概况、工作性质和职责范围、机械设备的安全操作方法、各种防护设施的性能和作用、工作地点可能出现的不安全因素和事故的预防及控制方法、发生事故时

的安全撤退路线和紧急救灾措施、个体防护用具的使用方法等在教育时间上，新入矿的工人与实习人员接受安全培训时间不得少于 72 学时，每年接受再培训的时间不得少于 20 学时。各阶段教育结束后都要进行考试。考试不合格者，可允许补考一次，补考合格者，才允许进入下一程序。

6.1.2 尾矿库日常安全管理

6.1.2.1 尾矿库管理制度

(1) 尾矿库运行过程中，必须按设计和有关技术规定认真做好放矿及坝面的维护管理工作。

(2) 尾矿坝滩顶标高，必须满足防汛要求，确保足够的安全超高。

(3) 库内严禁滥挖尾砂、爆破等危害尾矿库安全的活动。

(4) 坝面及坝顶不得建设设计中没有的其它任何设施。

(5) 建立健全巡坝护坝制度。

(6) 尾矿库建成投产试运行正常后，应按照规定进行安全验收评价，对尾矿库工程进行竣工验收。

(7) 每年洪水期和化冰期后，应进行一次全面检查和分析，列出维修项目和补充措施项目，安排维修计划，要求按时完成。

(8) 平时巡回检查发现的问题，应及时处理，如填补塌坑、冲沟，修补排水设施，清除排水设施内的淤积物等。

(9) 建设单位应制定尾矿库生产安全事故应急预案，并每年汛期前进行一次演练，总结经验，提高应急救援水平。并根据实际情况补充和完善预案。

(10) 尾矿库满库前，应进行闭库设计，当需要扩建或新建尾矿库接续生产时，应根据建设周期提前制定扩建或新建尾矿库的规划设计工作，确保新老库使用的衔接。

6.1.2.2 尾矿库运行管理

(1) 尾矿库正常运行后，应对坝体进行定期的检查，其内容包括：坝体轮廓尺寸、变形、裂隙、滑坡和渗漏等。

(2) 巡回检查是及时发现尾矿库异常情况的重要途径，应纳入尾矿库管理人员的岗位责任制。巡回检查的内容包括：尾矿坝坝体边坡有无变形和异常；排水构筑物是否畅通；水质有无异常变化；回水的水质是否符合要求等。如发现异常，应及时处理；如不能处理，应立即上报，以便及时采取措施。

(3) 尾矿库应设昼夜值班人员，尤其是在汛期应有值班人员巡视，发现问题及时处理。尾矿库附近应准备一定数量的防汛器材。

(4) 加强日常（特别是汛期）排水构筑物的清理与维护，应保证其正常运行。排水构筑物运行管理中应引起企业的高度重视、重点监控和维护。对排洪构筑物状况应进行经常性检查，严防水面杂物漂浮，发现诸如变形、裂缝、淤堵、损毁等问题时，及时查明原因，及时妥善处理，确保其畅通无阻。

(5) 尾矿库应设有值班室，且配备通讯设备。

(6) 对排水设施，要派专人负责仔细检查，发现问题及时解决，以防溃坝重大事故发生。

(7) 库区应设明显的水位标尺。依据排矿现状确定安全防洪措施，严格控制尾矿滩面的坡比，留有足够的调洪库容确保坝体安全度汛。

(8) 任何单位和个人不得在库区从事采矿作业。严禁在库区爆破、滥挖尾矿等危害尾矿库安全的活动。

(9) 在工程建设、运行期间，对相关地质灾害进行监测，做到及时发现，及时处理，有效地保护工程及其设施的安全。

(10) 建设过程中要注意环境的保护，尽量降低人为活动对地质环

境的改变。

(11) 尾矿水流经回水设施后泵送至选厂，确保废水不外排。

(12) 尾矿库在正常使用过程中，必须保证尾矿坝安全超高满足规范要求。

(13) 降雨时，坝面出现冲沟、裂缝、塌坑和滑坡等现象时，应及时妥善处理。

(14) 对尾矿库滩面应采取喷淋等降尘、防尘措施。

(15) 洪水过后应对坝体和排洪构筑物进行全面认真的检查与清理，发现问题及时修复，同时，采取措施降低库内水位，防止连续降雨后发生溃坝事故。

(16) 经常检查电气设备（含照明设施）及线路，保证其完好。

(17) 必须保证排水、排洪系统的完好，并应严格按设计要求施工。

(18) 尾矿库回水设施周围设置醒目的警示标志及可靠的防护设施，库区周围也要设置醒目的警示标志。

(19) 设备裸露的转动部位应设置防护罩。

(20) 按规定向职工发放符合要求的劳动防护用品。

(21) 为职工配备防暑降温、防寒用品。

(22) 建立尾矿库工程档案，特别是隐蔽工程的档案，并长期保管。

(23) 制定完善应急救援预案，做好汛期前的防汛工作，洪水过后应对坝体和排洪构筑物进行全面认真的检查和清理。

(24) 尾矿库运行过程中，企业应加强尾矿坝的安全检查等安全管理，避免坝体出现裂缝、滑坡等安全隐患。

(25) 企业应按设计规定规模进行尾砂排放，不应超规模排放。

(26) 库区应设有满足夜间作业要求的照明设施。

6.1.2.3 筑坝、排矿及坝体监测管理要求

(1) 尾矿排放管理

尾矿库运行过程中，应严格执行坝前均匀分散放矿制度，保持库内滩面均匀上升，防止偏滩影响坝体稳定和防洪。尾矿库放矿形成的沉积滩坡度不应小于 0.8%。放矿支管应伸入库内，远离坝体内坡面，以免冲刷坝坡。

(2) 筑坝及坝坡维护管理

每期子坝的施工均由专业施工队伍完成。施工时前应做好碾压筑坝试验和有关材料的检验工作，施工时严格控制坝坡比、顶宽、坝体高度及坝体堆筑各项指标。同时，随着坝体的升高应及时按设计修建坝面排水沟等。此外，还应经常对坝体进行巡视和检查，一发现有坝面雨水冲沟，应及时修复。

(3) 坝体监测

尾矿库日常运行过程中，应定期监测坝体位移、浸润线埋深、干滩长度、防洪高度、沉积滩坡比等监测指标，汛期还要监测降雨量，并记录在案，形成台账。

6.1.2.4 防汛管理要求

(1) 库水位干滩控制

尾矿库正常干滩长度不小于 300m，库水位至滩顶高差不小于 2.4m，沉积滩坡度不小于 0.8%，上述指标必须满足。

(2) 排水系统安全检查

尾矿库汛期运行时，应经常巡视检查排水设施，对可能导致排水设施淤堵的树枝、乱石和不稳定边坡应提前清除或治理；一旦发现淤堵应及时清理，时刻保持排水设施通畅。

（3）防洪管理原则

尾矿库运行过程中，应坚持以下原则对尾矿库进行有效的管理：

① 在满足回水水质和水量要求前提下尽量降低库内水位。

② 当回水与尾矿库安全对滩长和超高的要求有矛盾时，必须保证尾矿库安全。

③ 选厂的排尾粒度、浓度必须满足本设计中的指标要求。当尾矿粒度变细、矿浆浓度降低影响尾矿放矿、沉积、筑坝时，必须服从安全要求，调整生产工艺。

④ 尾矿库水边线与坝轴线基本保持平行。不得因回水需要，擅自抬高库水位、缩小干滩长度。

6.1.2.5 标准化安全管理

矿山应根据《金属非金属露天矿山安全标准化规范导则》

（AQ/T2050.1-2016）建立健全尾矿库安全标准化系统，通过标准化管理来降低生产安全事故风险。对日常尾矿库工作进行危险源辨识和风险评估，并根据评估内容进行尾矿库整改和维护，做好人员的培训等工作。

6.1.3 矿山救护队或兼职救护队的人员组成及技术装备

该矿已经与新巴尔虎右旗矿山救护队签订了矿山救护协议。在发生意外安全生产事故，由上述专业救护组织实施救援，企业配合救护行动。

企业现有挖掘机2台、装载机2台、汽车5台，并常备土工布、废石等材料，上述设备和材料可以满足尾矿库抢险救援需要。

（1）应急物资

尾矿库应急常备物资：编织袋、土工布、铁锹、洋镐、铁丝、大锤、钳子、强光手电、木板、报警器、应急灯、无线对讲机等。坝区值班室常备一般救援物资，由单位指定专人负责看管，并做好应急物资的维护

保养和相关记录工作。

（2）应急救援装备

公司配备抢险所需的自卸车、铲运机、交通车、救护车辆、小车及其他应急资源。

6.1.4 尾矿库安全事故的应急预案

按照《尾矿库安全规程》GB39496-2020 以及《尾矿库安全监督管理规定》要求，企业应当建立健全尾矿库生产安全事故应急工作责任制和应急管理规章制度，实施 24 小时监测监控和值班值守，并针对可能发生的溃坝、漫顶、排洪设施损毁等生产安全事故和影响尾矿库运行的洪水、山体滑坡、地震等重大险情制定并及时修订应急救援预案，配备必要的应急救援器材、设备，放置在便于应急时使用的地方。

为了控制事故蔓延扩大，减少人员伤亡和财产损失，规范安全生产事故的应急管理和应急响应程序，明确职责，积极有效地实施应急救援工作，提高矿山防御重、特大事故的能力，及时消除、消减、控制事故（事件）所带来的人身伤亡、财产损失，维护广大职工群众的生命安全，矿山应根据《中华人民共和国安全生产法》《中华人民共和国矿山安全法》和《中华人民共和国突发事件应对法》等法律法规的要求，结合矿山生产实际，成立矿山应急管理机构，设立应急指挥中心和应急办公室，并按照“以人为本，安全第一；统一领导、层层负责；预防为主、平战结合；采集信息、科学决策”的工作原则，公司应重新制定矿山应急救援预案，预案体系包括：综合预案、专项预案和现场处置方案。

应急救援指挥中心由一把手全面负责协调、指挥，设备部、公司办公室、安全环保等部门领导协助工作，并组织专家组对事故状态及时准确地做出判断，以便在发生事故后各部门可以各司其职、有条不紊地开展事故救援，最大限度的减少事故损失，恢复生产。

尾矿库应急救援预案种类包括：

- (1) 尾矿坝溃坝；
- (2) 坝坡深层滑动；
- (3) 洪水漫顶；
- (4) 水位超警戒线；
- (5) 排洪设施损毁；
- (6) 排洪系统堵塞；
- (7) 发生暴雨、山洪、泥石流、山体滑坡、地震等灾害。

应急救援预案内容包括：

- (1) 应急机构的组成和职责；
- (2) 应急救援预案体系；
- (3) 尾矿库风险描述；
- (4) 预警及信息报告；
- (5) 应急响应与应急通信保障；
- (6) 抢险救援的人员、资金、物资准备；
- (7) 应急救援预案管理。

应急救援预案实施的保障措施：

- (1) 技术保障；
- (2) 资金保障；
- (3) 交通保障；
- (4) 救援物资保障上。

应急救援预案演练应包括：

- (1) 报警程序；
- (2) 应急预案启动；
- (3) 现场应急救援。现场应急救援包括：

- ① 现场应急救援指挥；
- ② 应急人员进场；
- ③ 应急物资进入；
- ④ 处理方案实施；
- ⑤ 紧急工作撤离；
- ⑥ 应急扩大。

(4) 应急预案关闭。

后期处置包括：

- (1) 现场清理；
- (2) 生产、生活设施恢复；
- (3) 善后处理；
- (4) 事故调查；
- (5) 总结评审。

根据尾矿库可能发生的险情，对具体的救援预案做如下设计：

(1) 生产经营单位应成立专门的尾矿库管理人员组，包括技术人员和普通工人。技术人员应具有尾矿库管理相关经验，负责尾矿库的管理、生产调度和任务分配等管理工作，并按照有关规定配备应急救援人员、装备，开展培训、演练，做到反应快捷，常备不懈，并与有关单位签订协议，必要时，调动其参加救援。

(2) 在尾矿库管理站等处设置生产调度电话，并配备无线通讯工具，使通信可靠性得到保障。

(3) 生产经营单位应预备救援预案专项资金，用于救援人员调度物资储备和预案演练等。

(4) 生产经营单位应同当地人民政府建立联动工作机制，对尾矿库可能存在的危害性、预防知识和紧急情况下避险知识进行宣传，通过多

种形式和渠道，告知尾矿库事故可能危及区域的群众；雨季前，应对尾矿库进行一次全面检查，消除事故隐患；雨季期间，加强对尾矿库的日常检查，同时与气象部门保持经常联系，及时掌握气象信息。

(5) 生产经营单位应在库区设置探照灯、水位标尺、库区水位报警器等设施，并在应急物资库预备若干的土工布及编织袋等必要的抢险物资，同时要求在尾矿库实施 24 小时监测监控和值班值守。

(6) 当尾矿库进入预警状态时，应立即报告安全生产监督管理部门、当地政府和设计单位，并立即组织救援人员加强对尾矿库排洪系统、堆积坝坡和库周环境等的巡视，及时发现并排除险情；并用尾砂充填土工布袋，用其修建应急防洪子堤；并可采取紧急开设坝肩溢洪道等措施以保证防洪安全；当进入警戒状态时，组织尾矿坝下游可能影响范围内人员疏散转移，提前撤离至安全地点，尽量防止事故扩大避免人员伤亡。

尾矿库异常迹象时的处理措施见下表：

表 6.1.4 尾矿库异常迹象及处理措施

迹象	原因	处理措施
坡脚隆起	坡脚基础变形	先降库水位，再设坡脚压重平台
坝坡渗水及沼泽化	浸润线过高	先降库水位，加长沉积滩，采取降低浸润线措施(如加强排渗设施)
	尾矿颗粒分级效果差，尾矿固结性差	及时调整磨矿粒度，加强坝前尾砂排渗，保证堆坝区域尾砂质量
坝坡或坝基冒砂	渗流失稳	先降库水位，在冒砂处铺反滤土工布，再压上粗砂、碎石、块石反滤层，设导渗沟，必要时加坝体排渗设施
坝坡向下游位移或沿坝轴向裂缝	基础强度不够	先降库水位，坝坡脚压重加固基础
	边坡剪切失稳	先降库水位，再降低浸润线或加固边坡
洪水位过高	调洪库容小或泄水能力小	先降低控制水位，改造排洪设施，增大泄水能力或利用后期排洪设施截洪
排水井倾斜或坍塌	基础强度不够	修建临时排洪设施，再封堵排水井
监测数据无法显示	监测设备损坏	及时检修监测设备，加强人工监测

生产经营单位应每三年进行一次应急救援预案评估，有下列情形之一的，应及时修订预案：

- (1) 制定预案所依据的法律、法规、规章、标准发生重大变化；
- (2) 应急指挥机构及其职责发生调整；
- (3) 尾矿库生产运行面临的潜在风险发生重大变化；
- (4) 重要应急资源发生重大变化；
- (5) 在预案演练或者应急救援中发现需要修订预案的重大问题；
- (6) 其他应修订的情形。

企业应设置尾矿库应急物资库，储备满足预案要求的应急救援器材、设备和物资，并定期进行检查、维保及更新补充

根据制定的应急计划，企业平时安排人员培训和演练，各部门从业人员都负有事故应急救援的责任，是应急救援的骨干力量担负着事故的应急救援及处理工作。每年公司应组织定期或不定期的预案演练和相关知识的理论学习，使每位员工熟悉应急救援的程序、救援方法和措施，增强自我防范的意识。从实战角度出发，切实提高应急救援能力，应急组织机构定期组织综合性应急处置演练。每次演练应按应急救援的要求，制定详细的演练计划，确定演练的时间、地点、人员、设备、资金等。参加人员严格按照实战的标准进行，整个演练过程做到事前有计划，事后有总结、讲评、记录。演练地点应选择安全可靠的地方，避免因演练时造成的意外。企业每年汛前应至少进行一次应急救援演练，并长期保存演练方案、记录和总结评估报告等资料。

6.2 尾矿库安全运行管理主要控制指标

本次加高扩容设计尾矿库运行管理的主要控制指标如下：

- (1) 汛前干滩长度：不小于 300m；
- (2) 坝体控制浸润线埋深。

表 6.2 控制浸润线埋深

滩顶标高 (m)	控制浸润线埋深 (m)			
	东侧	南侧	北侧	西侧
780-840 (西侧 820-840)	9.6	7.2	7.2	13.2 (830-840) 6 (820m)

(3) 沉积滩坡度：不小于 0.008；

(4) 安全超高：2.4m；

(5) 库内正常水位：低于滩顶 2.4m；

(6) 堆积坝平均外坡坡比：1:4.0。

7 节能减排

7.1 节能

本次尾矿库加高扩容项目主要筑坝、检修和维修时的施工机械，施工机械有自卸汽车、推土机或装载机等。施工机械节能措施为：

- (1) 减少汽车运输距离和爬坡频率；
- (2) 作业安排在白天，减少夜班作业；
- (3) 规划筑坝顺序，减少尾矿库筑坝区来回倒运。

次要的机械设备为尾矿输送渣浆泵、库区浮船回水和坝下回水中的回水泵，渣浆泵和回水泵均选用变频电机。

7.2 减排

- (1) 减少入场雨水；
- (2) 在工艺可行的前提下，加大回水利用率；
- (3) 尾矿表面采取降尘等措施，有效抑制扬尘；
- (4) 施工弃、排土均设有临时排土场，排土全部用于尾矿库运行期间覆盖、子坝填筑和闭库覆盖。

8 环境保护

8.1 编制依据和环保标准

8.1.1 编制依据

(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第九号，2015年1月1日起施行）；

(2) 《中华人民共和国水污染防治法》（中华人民共和国主席令第八十七号，2018年1月1日）；

(3) 《中华人民共和国大气污染防治法》（中华人民共和国主席令第三十一号，2016年1月1日）；

(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2016年11月7日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十四次会议修正）；

(5) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2018年12月29日修改）；

(6) 《中华人民共和国环境影响评价法》（第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议重新修订，2018年12月29日施行）；

(7) 《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令第六百八十二号，2017年10月1日）。

8.1.2 环保标准

(1) 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；

(2) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；

(3) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；

(4) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；

(5) 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；

(6) 《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）。

8.2 环境影响因素

尾矿库的主要环境问题有四个方面，一是尾矿库建设对区域生态环境的改变，尾矿库建设不可避免的要占用土地，减少植被，从而改变现有生态环境。二是尾矿库使用时干坡段暴露在大气中，尾矿粉尘对大气环境的影响。三是尾矿库底渗漏水对地下水水质、水位的影响。四是尾矿库排水对地表水的影响。

本项目的主要污染物有废渣、废水和粉尘。主要处理措施有以下几种：

(1) 设计采用了规范规定防洪标准的上限作为本次设计的防洪标准。后期子坝采用中线式废石筑坝，只要项目建设及投入使用后能够按设计要求实施，尾矿库就不会出现溃坝事故。

(2) 尾矿库使用过程中，尤其是汛期，应加强对尾矿库的防洪疏浚管理，防止发生排水设施堵塞，影响尾矿库的防洪能力。

8.3 生态环境保护措施

尾矿库建设运行过程中需要筑坝，修建排水设施等，不可避免破坏植被、改变生态环境，给生态环境带来一定的影响，应设法使其影响程度最小化。具体可采取以下措施：

(1) 尾矿库运行过程中应及时做好坝坡覆土植被绿化工作。

(2) 对已经堆筑完成的尾矿面应及时覆土植被，未堆筑完成的尾矿面采取洒水喷淋、覆土或防砂网覆盖，可有效降低粉尘量。

(3) 尾矿库停用后应做闭库设计并按闭库设计内容对库区进行绿化复垦。

8.4 环保机构

该矿为正在运行的矿山，已经建立了安全环保机构，该项目建设完成投入试运行前，企业还应根据该项目的环境检测需要完善环保机构，配备能够满足项目检测需要的设备，针对该尾矿库建立环境检测与监管的责任制度。

本项目中，检测重点是尾矿库下游河流水质和周边粉尘浓度。

9 水土保持

9.1 编制依据

(1) 《开发建设项目水土保持方案管理办法》（水利部、国家计委、国家环保局、水保[1994]513号）；

(2) 《水土保持生态环境监测网络管理办法》（2000年1月31日水利部令第12号公布 根据2014年8月19日《水利部关于废止和修改部分规章的决定》修改）；

(3) 《水土保持监测技术规程》（SL277—2002）；

(4) 《开发建设项目水土保持方案编报审批管理规定》（中华人民共和国水利部令第24号修改，2005年7月8日）；

(5) 《中华人民共和国水土保持法实施条例》（中华人民共和国国务院令第588号修改，2011年1月8日）；

(6) 《中华人民共和国水土保持法》（中华人民共和国主席令第三十九号，2011年3月1日）；

(7) 《开发建设项目水土保持方案技术规范》（GB50433—2008）；

(8) 《水土保持综合治理技术规范》（GB/T16453—2008）。

9.2 水土保持现状评价

该尾矿库地貌上属于低山丘陵区，山势平缓、地形开阔。区内均为草地，水土保持现状较好，属于生态一般区。

9.3 水土流失预测

在尾矿库施工期和生产运行期都可能存在水土流失的情况。在施工期，建设坝体和排洪设施的水土流失主要发生在基础开挖和弃渣场。在生产运行期，水土流失主要发生在开挖后临空面水力侵蚀和尾矿面的风力侵蚀。

在尾矿库基建期和生产运行期，若采用适当的水土保持措施将会大大减少水土流失量。

9.4 水土保持措施

预防和治理水土流失，保护和合理利用水土资源，可减少水、旱、风沙灾害，改善生态环境，发展生产，提高生活质量。

针对尾矿库在施工时期和生产运行时期产生的水土流失特点，选择合适的水土保持措施并加以落实：

（1）基建期水保措施

① 施工期场区和坝体清表土集中堆放在场区附近的排土场，并进行修坡、平整和植草，做为封场的料源。

② 压坡体地基开挖料应集中暂存至库区附近的排土场内，用于尾矿填筑时掺合料。

（2）运行期水保措施

① 尾矿库坝坡采用碎石护坡措施防止冲刷，避免产生水土流失。

② 对场区周边的山体稳定安全采取有效工程措施，在尾矿库堆积边界以上范围做好植被保护，防止水土流失和泥石流的生产。

③ 加强汛期尾矿库的监测和管理，避免因尾矿库水位骤升骤降而影响山体和坝体的自身稳定。

④ 确保尾矿库坝体和排洪设施构筑物的安全，这是尾矿库最重要的水土保持工程。

10 建设用地

10.1 建设用地规划布局分析

本次尾矿库扩容工程占地 69.6 公顷。

10.2 土地利用和合理性分析

本次尾矿库扩容是在原尾矿库的基础上进行加高库容，需新征地 69.6 公顷。项目选址区内无国家规定的风景名胜区、革命历史古迹等文物保护单位，无集中式水源地等特殊保护对象，区域内及附近无军事设施等保密单位，无军事国防通讯设施及其他通讯设施等敏感目标。

本次设计对原尾矿库进行扩建，可重复利用已有的基础设施，降低建设投资、减少用地规模。尾矿库闭库后可进行复垦。

10.3 移民安置规划方案

项目不涉及移民安置。

11 投资概算

11.1 投资概况

本投资概算是根据有色工业工程建设概预算编制办法进行编制，投资范围包含南北主坝、西侧坝、排水沟、排洪设施、坝肩排水沟、坝下集水池、浮船泵站等及相应的工程建设其他费、预备费、建设期利息。本工程固定资产投资为 167212.00 万元，其中工程费用 138811.85 万元，其他费用 28400.15 万元（含征地 9427.09 万元）。

生产期投入主要包含南北主坝、西侧坝、排水设施、人工监测设施和在线监测设施、北坝帷幕灌浆等设施共计 127660.00 万元。

本概算不含铺底流动资金。

按费用构成划分的投资分类表见表 11.1。

表 11.1 按费用构成划分的投资分类表

序号	项目名称	价值（万元）	占投资额
1	工程费用	138811.85	83.02%
1.1	建筑工程费	137596.27	82.29%
1.2	设备购置费	1111.80	0.66%
1.3	安装工程费	103.78	0.06%
2	工程建设其他费	18077.77	10.81%
3	预备费	10322.38	6.17%
1+2+3	建设投资	167212.00	100.00%

11.2 编制依据

11.2.1 指标的选取

(1) 设备购置：主要设备采用厂家询价，运杂费按设备原价的 8% 计算。

(2) 建筑工程：尾矿工程参照《有色金属工业尾矿工程预算定额》（尾矿工程）及《费用定额》（2019 版）；

(3) 安装工程：根据有色金属工业工程建设定额指标，以及本工程项目的实际情况拟定安装系数进行计算。

11.2.2 工程建设其他费用

(1) 工程建设其他费用依据 2019 版《有色金属工业工程建设其他费用定额》；

(2) 设计费参考国家计委、建设部计价格 [2002] 10 号文计取；

(3) 工程监理费参考国家发改委、建设部发改价格[2007]670 号文计列；

(4) 工程造价咨询服务费（含编制施工图预算、施工阶段全过程造价管理、工程结算审核等）按工程费用的 0.7% 计算。

11.2.3 预备费

(1) 基本预备费取工程费用和工程建设其他费用之和（不含已发生的费用）的 7%；

(2) 根据计投资【1999】1340 号文，未计取价差预备费。

11.2.4 资金来源

全部自筹。

11.2.5 铺底流动资金

根据原国家计委计建设【1996】1154 号文件的规定，按流动资金总量的 30% 作为铺底流动资金列入总投资中。

本工程在生产企业未计取铺底流动资金。

11.3 投资分析

(1) 综合概算表 见表 11.3-1；

(2) 工程建设其他费表 见表 11.3-2；

- (3) 尾矿工程及费用表 见表 11.3-3;
- (4) 浮船泵站设备及安装费用表 见表 11.3-4;
- (5) 生产期费用表 见表 11.3-5.

表 11.3-1 综合概算表

序号	工程或费用名称	概算价值(万元)					占投资额
		建筑工程	设备购置	安装工程	其他费用	总价值	
	总概算值	137596.27	1111.80	103.78	28400.15	167212.00	100%
I	尾矿工程费用	137596.27	1111.80	103.78		138811.85	83.02%
1	南、北及主坝石料堆筑子坝+压坡	58531.84				58531.84	35.00%
2	西侧坝	70830.28				70830.28	42.36%
3	排水设施	375.11				375.11	0.22%
4	马道+坝面排水沟	332.00				332.00	0.20%
5	人工监测设施和在线监测设施	940.00				940.00	0.56%
6	尾矿输送管线	587.20				587.20	0.35%
7	尾矿回水管线	1186.80				1186.80	0.71%
8	坝肩排水沟	1831.51				1831.51	1.10%
9	新建排洪设施+原排洪设施封堵	74.00				74.00	0.04%
10	坝下集水池	2101.29				2101.29	1.26%
11	浮船泵站		1111.80	103.78		1215.58	0.73%
12	管线移位(自来水管、中水管等)	806.25				806.25	0.48%
II	工程建设其他费用				18077.77	18077.77	10.81%
III	预备费				10322.38	10322.38	6.17%

表 11.3-2 工程建设其他费表

序号	工程或费用名称	价值（万元）	备 注
II	工程建设其他费用	18077.77	
1	建设单位管理费	291.50	工程费用 \times 2.8% \times 50% \times 15%（大部分已进入生产成本）
2	征地费	9427.09	征地 69.6ha
2.1	草原植被恢复费	156.60	实际发生
2.2	耕地占用税	3072.60	实际发生
2.3	土地出让金	6014.45	实际发生
2.4	印花税	3.01	实际发生
2.5	契税	180.43	实际发生
3	工程监理费	1066.43	国家发改委、建设部发布《建设工程监理与相关服务收费管理规定》（发改价格 2007）670 号文
4	可研报告编制费	566.17	多个版本多个方案
5	设计费	2872.72	参考国家计委、建设部发布《工程勘察设计收费管理规定》（计价格 2002）10 号文
6	工程造价咨询服务费	971.68	
7	工程竣工图编制费	229.82	参考国家计委、建设部发布《工程勘察设计收费管理规定》（计价格 2002）10 号文
8	安全评价费	86.00	实际发生

序号	工程或费用名称	价值（万元）	备 注
9	环保评价费	29.80	实际发生
10	工程勘察费	1436.36	实际发生
11	临时及措施设施费	416.44	工程费用×0.3%
12	工程保险费	485.84	工程费用×0.35%
13	生产准备及开办费	99.61	
14	工器具及生产家具购置费	5.56	设备购置费×0.5%
15	联合试运转费	8.89	
16	招投标代理服务费	83.85	
序号	工程或费用名称	价值 (万元)	备 注
II	工程建设其他费用	25027.00	
1	建设单位管理费	1953.30	工程费用×2.8%×50%
2	征地费	12597.60	征地 69.6ha 181 万元/ha
3	工程监理费	1785.09	国家发改委、建设部发布《建设工程监理与相关服务收费管理规定》（发改价格 2007）670 号文
4	前期工作费	837.13	工程费用×0.6%
5	设计费	3847.82	参考国家计委、建设部发布《工程勘察设计收费管理规定》（计价格 2002）10 号文
6	工程造价咨询服务费	1534.74	

序号	工程或费用名称	价值（万元）	备 注
7	工程竣工图编制费	307.83	参考国家计委、建设部发布《工程勘察设计收费管理规定》（计价格 2002）10 号文
8	安全及环境评价及其他评价费	500.00	
9	工程勘察费	558.09	工程费用×0.4%
10	临时及措施设施费	418.56	工程费用×0.3%
11	工程保险费	488.33	工程费用×0.35%
12	生产准备及开办费	100.22	
13	工器具及生产家具购置费	5.56	设备购置费×0.5%
14	联合试运转费	8.89	
15	招投标代理服务费	83.85	

表 11.3-3 尾矿工程及费用表

序号	定额号	工程或费用名称	单位	数量	概 算 价 值 (元)			
					单 价	其中工资	总 价	其中工资
1		南、北及主坝石料堆筑子坝+压坡					585318395	
1.1		石料筑坝（不含铲装及石料价）	m ³	27817502	6.70		186377263	
1.2		增加外运土石方 6.5km	m ³	27817502	13.00		361627526	
1.3		筑坝清基量（土石方）-1km 内	m ³	523238	12.00		6278856	
1.4		坝坡清基量	m ³	333480	15.00		5002200	
1.5		SNG-PP-15 型 400g/m ² 土工布	m ²	89890	15.00		1348350	
1.6		双向焊接纤塑格栅 50-50	m ²	217316	70.00		15212120	
1.7		砂砾石保护层	m ³	53934	120.00		6472080	
1.8		表土堆场迁移	m ³	300000	10.00		3000000	
2		西侧坝					708302828	
2.1		石料筑坝（不含铲装及石料价）	m ³	754875	6.70		5057663	
2.2		增加外运土石方 4.5km	m ³	754875	9.00		6793875	
2.3		砂砾石保护层	m ³	21982	120.00		2637840	
2.4		SNG-PP-15 型 400g/m ² 土工布	m ²	36637	15.00		549555	
2.5		双向焊接纤塑格栅 50-50	m ³	177144	70.00		12400080	

序号	定额号	工程或费用名称	单位	数量	概 算 价 值 (元)			
					单 价	其中工资	总 价	其中工资
2.6		振冲碎石桩（桩深 30m）	桩	28378	12750.00		361819500	
2.7		振冲碎石桩（桩深 15m）	桩	28378	7275.00		206449950	
2.8		振冲碎石桩废石填筑-4km（二次铲装）	m ³	2887035	39.00		112594365	
3		排水设施					3751108	
3.1		排水圆管（预制承插式钢筋混凝土管，内径 1.2m×10mm）	m	500	2000.00		1000000	
3.2		混凝土护坡	m ³	708	880.00		623040	
3.3		排水管 DN50	m	131	39.60		5188	
3.4		沥青木板	m ²	74	120.00		8880	
3.5		基础废石填筑	m ³	105700	20.00		2114000	
4		马道+坝面排水沟					3319956	
4.1		挖方量（石方）	m ³	2001	16.00		32016	
4.2		C20 钢筋混凝土排水沟	m ³	916	1800.00		1648800	
4.3		过路排水管：Q345B，DN250mm，壁厚 6mm	m	4821	340.00		1639140	
5		人工监测设施和在线监测设施					9400000	
5.1		人工监测					1400000	
5.2		在线监测设施					8000000	

序号	定额号	工程或费用名称	单位	数量	概 算 价 值 (元)			
					单 价	其中工资	总 价	其中工资
6		尾矿输送管线					5872000	
6.1		Q345B 输送管, $\phi 530 \times 16\text{mm}$	m	1600	3045.00		4872000	
6.2		Q345B 输送管 $\phi 530 \times 16\text{mm}$ -二次安拆费					1000000	
7		坝肩排水沟					18315129	
7.1		土方开挖	m ³	72107	17.50		1261873	
7.2		钢筋混凝土 C30	m ³	8422	1500.00		12633000	
7.3		素混凝土垫层 C20	m ³	1174	750.00		880500	
7.4		1.5mm 双糙面 HDPE 土工膜	m ²	51192	42.00		2150064	
7.5		浆砌石	m ³	2622	480.00		1258560	
7.6		排水管 DN50	m	269	39.60		10652	
7.7		沥青木板	m ²	1004	120.00		120480	
8		尾矿回水管线						
8.1		Q345B 回水管, $\phi 480 \times 16\text{mm}$	m	4300	2760.00		11868000	
9		新建排洪设施+原排洪设施封堵					740000	
9.1		C30 钢筋混凝土	m ³	370	2000.00		740000	
10		坝下集水池					21012858	

序号	定额号	工程或费用名称	单位	数量	概 算 价 值 (元)			
					单 价	其中工资	总 价	其中工资
10.1		土方开挖	m ³	309745	17.50		5420538	
10.2		1.5mm 双糙面 HDPE 土工膜	m ²	108280	42.00		4547760	
10.3		砂砾石保护层	m ³	43312	120.00		5197440	
10.4		块石护坡	m ³	32484	180.00		5847120	
11		管线移位（自来水管、中水管等）					8062472	
11.1		管 300	m	760	642.20		488072	
11.2		管 500	m	1150	1352.00		1554800	
11.3		管 600	m	2000	1892.80		3785600	
11.4		弯头 300	个	2	5000.00		10000	
11.5		弯头 500	个	4	11000.00		44000	
11.6		弯头 600	个	4	15000.00		60000	
11.7		挖方-土	m ³	10000	16.00		160000	
11.8		挖方-破碎锤	m ³	28000	70.00		1960000	
		概算值					1375962745	

表 11.3-4 浮船泵站设备及安装费用表

序号	定额号	设备及安装工程名称	单位	数量	重量(吨)		单位价值(元)			总价值(元)		
					单位	总重量	设 备	安 装 工 程		设 备	安 装 工 程	
					重量			总计	其中工资		总计	其中工资
1		浮船泵	台	1			10200000			10200000		
		小计								10200000		
		运杂费		8%						816000		
		安装费		6%							612000	183600
		备品备件		1%						102000		
		综合取费 安装×9%+人工×201.9%									425768	
		合计								11118000	1037768	
		概算值								12155768		

表 11.3-5 生产期费用表

序号	工程或费用名称	单位	数量	概 算 价 值 (元)	
				单 价	总 价
生产期费用					
1	南、北及主坝石料堆筑子坝+压坡	m ³			
1.1	石料堆筑子坝	m ³	12024124	19.70	236875243
1.2	SNG-PP-15 型 400g/m ² 土工布	m ²	449449	15.00	6741735
1.4	砂砾石保护层	m ³	269669	120.00	32360280
2	西侧坝				
2.1	石料筑坝	m ³	7611656	15.70	119502999
2.2	砂砾石保护层	m ³	109910	120.00	13189200
2.3	SNG-PP-15 型 400g/m ² 土工布	m ²	183183	15.00	2747745
2.4	振冲碎石桩（桩深 30m）	桩	28378	12750.00	361819500
2.5	振冲碎石桩（桩深 15m）	桩	28378	7275.00	206449950
2.6	振冲碎石桩废石填筑	m ³	2887035	39.00	112594365
3	排水设施				
3.1	混凝土护坡	m ³	3540	880.00	3115200
3.2	排水管 DN50	m	655	39.60	25938
3.3	沥青木板	m ²	370	120.00	44400
3.4	基础废石填筑	m ³	528500	20.00	10570000
4	排水沟	m ³			0
4.1	挖方量（石方）	m ³	45618	16.00	729888
4.2	C20 钢筋混凝土排水沟	m ³	22601	1800.00	40681800
4.3	过路排水管：Q345B，DN250mm×6mm	m	3358	340.00	1141720
5	人工监测设施和在线监测设施				
5.1	人工监测				2520000
5.2	在线监测设施				20000000
6	北坝帷幕灌浆+连续墙防渗	m	2776	38000.00	105488000
生产期工程价值					1276597963

12 成本分析

12.1 综合技术经济指标

表 12.1 综合技术经济指标

序号	名称	单位	指标	备注
1	年排尾矿量	$\times 10^4 \text{t}$	2928	
		$\times 10^4 \text{m}^3$	2020	
2	尾矿库建设期		5 个月	
3	尾矿库服务年限	a	3.5	
4	年折旧费	万元	37284	
5	年摊销费	万元	4519	
6	维持运营投资年折旧费	万元	37234	
7	年总成本费用	万元	79037	
8	单位尾矿量成本费用	元/t	26.99	

12.2 编制依据

(1) 计算期：建设期 5 个月，服务期 3.5a；

(2) 折旧：固定资产折旧按直线法计提。地面部分房产、构建筑物折旧年限 4 年，机器设备折旧年限 4 年；

(3) 摊销费：本次设计建设投资形成无形资产、其他资产摊销年限按 4 年计算。

12.3 成本分析

据以上基础数据，估算项目稳产年总成本费用 79037 万元/a，其中年折旧费 37284 万元/a，年摊销费 4519 万元/a，维持运营投资年折旧费 37234 万元/a。单位尾矿量成本费用 26.99 元/t。

13 问题及建议

(1) 在生产运行过程中建议尾矿坝堆至 825m 标高时，对坝体进行全面的工程地质和水文地质勘察，查明堆积坝的地层和冰夹层的确切情况，并经过稳定性论证，确定该尾矿库的坝体现状稳定性和是否具备下一级坝体的加高条件，确保工程安全。

(2) 浸润线是尾矿坝安全的生命线，东侧坝体控制浸润线埋深确定为 9.6m；南、北侧坝体控制浸润线埋深确定为 7.2m；西侧坝体标高 840m 和标高 830m 控制浸润线埋深确定为 13.2m，标高 820m 的控制浸润线埋深确定为 6m。在尾矿库运行期应加强观测，并确保排渗系统运行的可靠性，提高坝体的安全性。

14 附件及附图

14.1 附件

- (1) 设计委托书；
- (2) 营业执照；
- (3) 采矿许可证；
- (4) 二期尾矿库安全生产许可证；
- (5) 项目备案告知书；
- (6) 用地规划选址意见；
- (7) 二期尾矿库安全设施设计批复文件；
- (8) 安全现状评价报告（封皮、盖章页）；
- (9) 排洪系数检测报告；
- (10) 排水涵管封堵质量检测报告。

14.2 附图

- (1) 图纸目录；
- (2) 尾矿库周边环境图；
- (3) 尾矿库现状图；
- (4) 尾矿库加高扩容工程平面布置图；
- (5) 扩容后西侧坝体剖面图 1-1；
- (6) 扩容后西侧坝体剖面图 2-2；
- (7) 扩容后北侧坝体剖面图 1-1；
- (8) 扩容后北侧坝体剖面图 2-2；
- (9) 扩容后南侧坝体剖面图 1-1；
- (10) 扩容后南侧坝体剖面图 2-2；
- (11) 扩容后东侧坝体剖面图 1-1；

- (12) 扩容后东侧坝体剖面图 2-2;
- (13) 扩容后东侧坝体剖面图 3-3;
- (14) 二期尾矿库尾矿坝原设计典型剖面图;
- (15) 西侧坝体分期筑坝示意图;
- (16) 东、南及北侧坝体分期筑坝示意图;
- (17) 排水设施平面布置图;
- (18) 排水设施剖面图;
- (19) 现状二期尾矿库第三套排水设施结构图;
- (20) 现状二期尾矿库第三套排水系统纵断面图;
- (21) 坝高-库容曲线图;
- (22) 尾矿库监测设施布置图;
- (23) 排水沟、监测设施剖面图。