

尾矿库排渗工程技术方法

奚兴符, 阮茂盛

(安徽省地质矿产勘查局 322 地质队, 安徽 马鞍山 243000)

摘要:为消除或减少尾矿库的安全风险,重要措施就是降低尾矿库坝体内的浸润线,而排渗工程技术方法是其主要手段。本文结合部分岩土工程技术在尾矿库排渗工程中的运用,并通过多项工程实践,系统讨论与总结尾矿库排渗工程技术方法中的盲沟排渗法、水平孔排渗法、辐射井排渗法、井点管抽水法、其它联合排渗措施的原理特点、施工方法与质量控制要点。

关键词:尾矿库;排渗工程;盲沟排渗法;水平孔排渗法;辐射井排渗法;井点管抽水法;联合排渗措施

中图分类号:TD745+.22 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2018)05-0081-06

Technological Method of Seepage Drainage of Tailing Pond/XI Xing-fu, RUAN Mao-sheng (No. 322 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Maanshan Anhui 243000, China)

Abstract: The important measure to eliminate or reduce the safety risk of tailing pond is to reduce the saturation line in the dam body, and the seepage drainage technology is the main means. Based on the application of some geotechnical engineering technology in the seepage drainage project of tailing pond and with a number of engineering practice, this paper discusses and summarizes the blind ditch drainage, horizontal hole drainage, radiation well drainage, well point pipe drainage and some other combined drainage measures about their principles, characteristics, construction methods and quality control points in tailing pond seepage drainage engineering technology.

Key words: tailing pond; seepage drainage engineering; blind ditch drainage; horizontal hole drainage; radiation well drainage; well point pipe drainage; combined drainage measures

我国是一个矿产资源大国,在进行选矿完成后,排放的废渣矿渣,多以水带渣的形式外排而形成尾矿。以前,多数尾矿都被集中统一排入尾矿库内,从而形成库坝。尾矿库虽然具有一定的潜在价值,但部分尾矿库由于其浸润线较高也具有极高的安全风险。因此,对尾矿库设置排渗工程,是降低坝体浸润线、维护坝体安全与稳定的重要措施。

1 我国尾矿库概况

1.1 基本情况

截止到 2008 年底,我国各类尾矿库总计有 12600 多座,其中三级及以上(大中型)少量,多数均为四级及以下。尾矿库中私营及集体的库坝占 60%,且多数为中小型尾矿库。其筑坝方式中,采取上游式筑坝的也占多数。

1.2 工程地质特点

尾矿库内主要成分是尾矿渣、尾矿泥及水等组成。其中,尾矿泥属不透水或弱透水层,而尾矿渣属

透水层。因矿石岩性的组成成分、筑坝方式等的不同,尾矿泥可能会形成层状,从而阻隔尾矿库内上下层尾矿渣中水的串通渠道。

2 排渗工程技术方法

“排渗工程”简单地说就是将地下水排出,以改善工程地质条件,提高地基的承载(包括抗滑移)能力。在尾矿库中运用时,就是减少坝体内局部尾矿库内富含的水,从而降低尾矿库的浸润线,达到维护坝体稳定的作用。岩土工程中抽、降、排水的原理都是我们进行尾矿库排渗工程的指南。

2.1 盲沟排渗法

2.1.1 原理及特点

由于盲沟的透水较强,通过盲沟的设计与施工,将尾矿库内水通过盲沟排出坝外,以降低库内水位,达到降低坝体浸润线的目的。该方法主要在坝体内具备较好的施工环境时采用,工程费用较低。

2.1.2 技术措施

收稿日期:2017-11-24

作者简介:奚兴符,男,汉族,1967 年生,从事地质、尾矿库排渗工程和基础施工工作。

通信作者:阮茂盛,男,汉族,1964 年生,正高级工程师,从事探矿工程、基础施工工程、尾矿库排渗工程和地质灾害工程的研究与技术管理工作,安徽省马鞍山市花山区江东大道 1500 号,mrms322@qq.com。

在尾矿库内垂直和平行于坝的方向设置盲沟,纵横向盲沟相互连接,再在垂直于坝体方向,按一定间距设置排水沟,将尾矿库内表面水尽量排出。盲沟间距根据尾矿库的具体情况而定,在用的尾矿库一般为20~50 m,排水沟的间距为30~60 m即可;病库以上危险的或已经闭库而需要对库中土地进行再利用的可适当加密。沟的断面为梯形,其尺寸可根据现场条件确定,一般顶、底、高为600 mm×400 mm×300 mm。沟内铺设350~400 g/m²的土工布并回填滤料。

2.1.3 施工方法

主要是在坝面进行排水沟的施工,开挖沟的断面尺寸应符合要求;然后用土工布铺设在沟的断面内,之后将用滤料回填,最后将土工布覆盖。如果坝面开挖有困难,也可采用各种材质的滤水管取代,滤水管外应采用土工布包裹,管径不宜小于200 mm。坝体排水沟应与盲沟相通,且应有一定坡度,以利于排水。

2.1.4 质量控制要点

(1)沟的断面尺寸应符合设计要求;沟(盲沟或排水沟)的坡度应利于排水。

(2)滤料应是级配合理的碎石料。

(3)土工布质量符合要求,最好采用两层。

(4)排水沟或排水管应与盲沟连接可靠;排水管的使用寿命要长。

2.2 水平孔排渗法

2.2.1 原理及特点

主要是利用水的自重,通过库内尾矿渣的渗透作用进入在尾矿库内安置的水平滤管,自然排出坝外。其特点是自然排水,减少尾矿库的维护费用;埋设的水平滤管长度大且方向设置灵活,有效地增大了降水面积;通过降低库坝体内的浸润线,增强尾矿的固结能力,提高坝体的安全与稳定性,但工程施工费用较高。水平排渗孔数量可根据坝体长度、坝体浸润线的状况等实际情况确定,可以是一组,也可以多组。

2.2.2 技术措施

在尾矿库坝体上通过钻机向库内钻成水平钻孔,并在水平孔内铺设滤管进行排水。水平孔布设应考虑库内浸润线的较高区域;口径应尽量选择大一些,以增大排水能力;其仰角应控制在1°~2°;口径应与滤管直径相匹配,钻孔口径91~130 mm时,同步跟进的套管直径为89~127 mm,滤管直径为65~90 mm;长度即是水平排渗法的影响范围,应根

据设备能力确定,一般为70~80 m。滤管应设计成可导水滤管,即:为保证滤管中水从集渗下部漏失,滤管截面1/3不打花眼,安装时应将该部位处于孔截面下端,以利于排水,其余2/3应打成花眼,开孔率为10%~15%为宜,外包40~60目尼龙网套和350~400 g/m²土工布并绑扎好,土工布接头部位搭接长度<50 mm;滤管安装应可靠。

2.2.3 施工方法

2.2.3.1 工艺流程

首先在库坝上设计的位置开挖并浇注混凝土机座;机座应满足顶管和拔管时产生的作用力的需要;由于机座位于坝体上,在施工时要有可靠的措施保证坝体的安全。然后是安装钻机,并调整好钻机的仰角。其次是通过全套管同步跟进的方式钻成水平钻孔,待到达设计孔深后,封住套管顶部,并对套管内壁因跟管时产生的残留的尾砂进行清洗。再次在水平套管内安装滤管。最后将套管拔出并封闭好滤水管出口。施工情况如图1、图2所示。



图1 施工现场



图2 出水情况

2.2.3.2 设备选择

钻机应采用全液动力头水平钻机,型号可根据水平排渗孔的长度、场地环境等进行选择,钻机的主要参数为机座尺寸、水平推力与拉拔力、转速等。水泵可采用变量泵。

2.2.3.3 施工技术参数

水平推力 ≤ 100 kN,拉拔力 ≤ 120 kN,转速 $30 \sim 60$ r/min,钻孔时泵量为 $30 \sim 50$ L/min,清管时可选择稍大泵量。

2.2.4 质量控制要点

(1) 钻孔和滤管的长度应符合设计要求。

(2) 钻孔的仰角应严格控制,且不得出现形成俯角;方向应符合设计要求。

(3) 套管内清渣要干净;管内有渣时,严禁安装滤管。

(4) 滤管的材料应具有防腐性能,应尽量采用 UPVC;滤管的制作质量应符合要求,其连接应可靠;管口外部要密封可靠等。

2.3 辐射井排渗法

2.3.1 原理及特点

辐射井主要由主井、集渗管、排渗管组成,如图 3 所示。主井设置在坝体内,其主要作用,一是集中集渗管排出的水,二是安放施工集渗管和排渗管的施工机械,因此主井的直径不需要太大。集渗管是在主井内中向坝内不同方向和层位(深度)进行设置的水平排渗滤管,以增大其排渗的范围和深度,其方向可设置在尾矿库内浸润线较高的位置,也可在不同层位设置多层(因为尾矿库中常含有尾矿泥层,属弱或不透水层,应避免),并通过集渗管将坝内的水导入主井内。排渗管是在主井内设置的,将集渗管向主井内排出的水集中排出坝外的管道。由于水平集渗孔辐射的范围更大且可多层设置,因此降低浸润线幅度会更大、更有效。适用于大型或即将闭库的尾矿库,但一次性工程费用较大。辐射井数量可根据尾矿库的具体情况和辐射井的影响范围等因素综合确定。

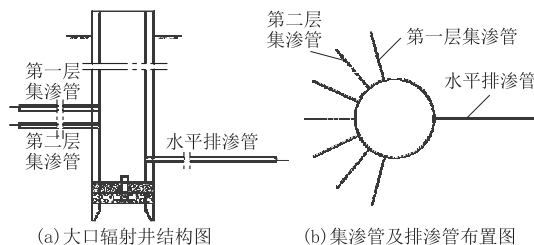


图 3 辐射井结构示意图

2.3.2 技术措施

辐射井排渗技术应根据坝体长度、库的面积、浸润线的高低区域及施工环境等进行布置。主井直径为 $2.6 \sim 2.9$ m,井壁厚度 ≤ 300 mm,采用钢筋混凝土结构,混凝土等级一般为 C25,钢筋的设置按相关规范配置,井深根据坝体高度、降水位置及区域、坝内施工环境等综合考虑。集渗管可设置多层,其孔径、跟管直径和滤管直径,以及钻孔为仰角,滤管的制作方法等与水平排渗法相同;但由于施工设备在主井内,其施工能力受到限制,因此,单个集渗管长度(即影响范围)不宜大于 50 m。排渗管应考虑主井内集渗管数量、排渗管长度、设备能力等因素,一般要求成孔直径为 130 mm,同步跟管直径为 $108 \sim 127$ mm,受设备能力的影响,钻孔的长度不宜超过 80 m,钻孔在井内俯角为 $1^\circ \sim 3^\circ$ 。

2.3.3 施工方法

2.3.3.1 工艺流程

(1) 主井施工。在坝体内设计位置施工主井,主井施工主要采取沉井方式,井筒按一节一节向下沉,每节 1 m 为宜,最后一节应高出坝面 $0.5 \sim 1$ m。在沉井过程中,水位以上的可采用挖掘的方式,进入水位以下可采取井内排渣的方式,井内排渣可选用高压水液化后,排渣泵排渣的方式或直接采用抓斗清的方式,井筒在其自重作用下自然下沉,直到设计深度以下 $1 \sim 2$ m,以备封底。主井的封底分二次进行,第一次采用片石等压制水头,再利用预制的带有减压装置的钢筋混凝土板放入井内压制井内尾砂,再用水下浇筑的方法向井底浇筑混凝土,待达到混凝土强度的 70% 后,抽取井筒内的水,并清除井筒内的残渣;第二次是在清理井内杂物后再进行钢筋混凝土浇筑,其钢筋必须与主井中的钢筋焊接牢靠,混凝土厚度不宜小于 500 mm。应特别注意,在主井进行排渣法施工过程中,井口周边形成的坍塌面应及时回填。

(2) 排渗管施工。采用水平钻机进行施工,钻机安放在井筒内,按设计的坐标调整坐标位置并调整好俯角。首先采用合金钻头钻穿过井筒壁,然后采用“堵砂逆止钻头”钻进,同步跟管的方式进行成孔作业,直到穿过坝体到达指定的出水口位置即可。施工结束后,应固定好井内与出口的排渗管。

(3) 集渗管施工。集渗管施工与“水平孔排渗法”施工相似,只不过钻机是安装在主井内。不同层

位的集渗管施工时,主要靠调节钻机在井筒内的高度来实现。施工情况见图4。



图4 辐射井井内施工照片

2.3.3.2 设备选择

由于考虑到在井下有水的作业环境,施工设备应是全液压钻机,钻机尺寸应小于主井内径,钻杆尺寸以1 m为宜;其它设备与水平孔排渗法相同。

2.3.3.3 施工技术参数

除推进力与拉拔力稍小外,其它参数同水平孔排渗法。

2.3.4 质量控制要点

(1)主井:直径(特别是内径)、沉入深度与垂直度、钢筋与混凝土质量、钢筋的搭接(包括底钢筋与井筒壁钢筋)等。

(2)排渗孔:开孔(井内)坐标位置、俯角、出口位置、排渗管质量,特别是其防腐性等。

(3)集渗管:同“水排孔排渗法”。

(4)各集渗管在井内均要固定好;排渗管在井内入口和在坝体外出口均要固定并密封好。

2.4 井点管抽水法

2.4.1 原理及特点

在尾矿库坝内成井点管(轻型井点或深井),然后通过设备(真空泵或深井泵)抽水的方式,以降低库坝内水位。其特点是布置灵活,但主要是动力机械抽水的方式实现,属强制性抽水;施工费用较低,但运行维护费用高。

2.4.2 技术措施与施工方法

2.4.2.1 轻型井点

在坝内可采用高压水套管冲击法成孔,成孔直径一般为150~250 mm,然后再安装 $\text{O}20\sim40\text{ mm}$ 轻型井点管,并将各井点管与总管($\text{O}50\sim80\text{ mm}$)和真空泵连接,并通过真空泵造成的负压,将水通过井点管的滤管进入管路系统,再由泵集中排出坝外。

其抽水系统负压应不小于0.08 MPa;井点管底部的滤管长度为1~2 m,滤管开孔率为10%~15%,外包40~60目尼龙网和350~400 g/m²土工布;孔与井点管之间采用中粗砂回填,回填率 $\leq 95\%$,顶部1~2 m应采用粘性土封堵严实。井点间距1~2 m,井点管深度不宜超过8 m。每台真空泵带动的井点管数量,应视现场情况确定,一般不宜超过40根。施工完成的轻型井点如图5所示。



图5 轻型井点

2.4.2.2 深(管)井

在坝内可采用回转钻机成孔,成孔直径不宜小于500 mm,然后下入滤管等,滤管采用无砂混凝土管或其它形式的材料制作而成,直径宜为200~350 mm,其底部应封闭,并留有2.5~3.5 m沉砂管。钻孔与井管之间应回填级配合理的中粗砂,回填率 $\leq 95\%$ 。然后在井管内安装潜水泵,由潜水泵将库坝内的水排出坝外。潜水泵应根据井深、井内水量选择确定。施工完成的深井无砂管如图6所示。



图6 深井无砂管

2.4.3 质量控制要点

2.4.3.1 轻型井点

泵的真空度、井点管材质量、井点管深度(长度)、滤管的长度及其制作、安装、回填滤料的质量与

数量、井点管的间距与数量、顶部封孔的质量,各管路连接的密封性等。

2.4.3.2 深(管)井

井深与井径、井管材料与质量、滤管质量(包括制作)与长度、井底的封闭情况、回填滤料的质量与数量、潜水泵的安装位置等。

2.5 其它联合排渗措施

2.5.1 原理与措施

由于尾矿渣的透水性较好,而尾矿泥具有一定的隔水作用,为解决尾矿库中两者之间的透水性,通常采用塑料排水板、碎石桩、砂袋桩等技术措施串通尾矿泥隔水层的流通渠道,然后结合上述排渗方法,以有效降低坝体内的整体浸润线。设计原则是沿水平排渗管或集渗管方向布置。

2.5.2 技术措施与施工方法

2.5.2.1 塑料排水板

是采用专用设备将塑料排水板(“土工聚合物排水带”的简称)安装在设备的垂直钢管套上并安装专用桩尖,然后插入尾矿内,到达设计深度后,将钢管套拔出并剪断塑料排水板即可。塑料排水板宽 100 ± 2 mm,厚度 $(3.5 \sim 6.0) \pm 0.5$ mm;芯板的外面包化纤无纺布,起着隔土滤膜作用;其型号根据打入的深度可选择 A、B、C、D 型(分别为 15、25、30、40 m)。

2.5.2.2 碎石桩

应尽量采用振动沉管的方式进行,碎石料从管内灌入,边灌料边振动边拔管,以防缩径造成断桩。桩身直径一般为 $200 \sim 400$ mm;桩身垂直度 $\geq 1\%$ 。施工情况见图 7。



图 7 塑料排水板施工情况

2.5.2.3 砂袋桩

尽量采用振动沉管的方式,也可以采取钻孔的方式成孔;再将制作好的砂袋顺着管的内壁或钻孔安放在管(孔)内。采用振动沉管时,应在砂袋进入

预订后及时拔出管子;而采用钻孔时,应采用清水钻孔,如果采用泥浆钻孔时,应清洗孔壁的泥皮。砂袋桩直径一般为 $80 \sim 150$ mm;桩身垂直度偏差 $\geq 1\%$ 。施工完成后的照片如图 8 所示。



图 8 砂袋桩

2.5.3 质量控制要点

2.5.3.1 塑料排水板

质量应可靠;埋设深度应达到设计要求;下沉、搭接与埋设应平整;顶部应设计标高 $30 \sim 50$ cm,且应埋设,以防暴露在空气中老化。

2.5.3.2 碎石

桩深应达到设计深度;材料用量应不少于理论用量的 95% ,且不得出现断桩等现象;碎石应级配合理且含泥量 $< 5\%$ 。成孔直径不得小于设计直径。

2.5.3.3 砂袋桩

桩深应达到设计深度;应采取 $350 \sim 400$ g/m² 土工布制成,缝制应结实,搭接部位应不少于 100 mm;每节袋长不宜超过 2 m,以防砂袋质量过大而断裂。材料应是级配合理且含泥量 $< 5\%$ 的中粗砂。

2.5.3.4 桩位

板或桩位置应合理,要穿透尾矿泥层且不影响其它排渗工程的施工。

3 工程实例

3.1 马鞍山向山硫铁矿岷山尾矿库联合排渗治理情况

3.1.1 项目概况

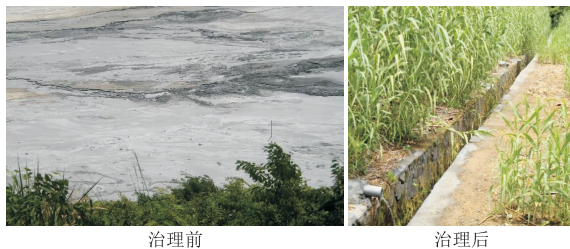
该库因企业改制后,无人管理,被列为“安徽省十大安全隐患”之一,存在着严重的安全与环境污染等问题,政府通过该土地与房地产开发商进行合作,对该项目进行治理,其主要目的是消除安全隐患,如果能够将该土地进行再利用,则更好。

3.1.2 治理方式

“振动碎石桩+盲沟+水平孔联合排渗法”进行治理。振动碎石桩主要作用是串通尾矿泥的隔水效应,同时也是增强尾矿库地层的地基承载能力;盲沟是串通碎石桩并在尾矿库面形成有效的排水系统;而水平孔是排出尾矿库内更深层和距坝肩更远处的水。在方案的具体设计过程中,各类技术参数均做了较大的调整,如盲沟网的密度,水平排孔的深度和直径,碎石桩的直径等。如果将来结合预压法等岩土工程技术对尾矿库进行地基处理,就可以形成有效的建筑用地。

3.1.3 治理结果

由于该库拟作为建筑用地,因此,通过对该库进行治理前后的工程地质勘察报告分析来看,各项工程地质参数(含水率、内摩擦角、粘聚力及地基承载力等)均有不同的改善。治理前后对比如图9所示。



治理前
治理后
图9 岷山尾矿库治理前后对比

3.2 马钢南山铁矿城门峒1号副坝辐射井排渗法治理情况

3.2.1 项目概况

该尾矿库是马钢南山铁矿的重要尾矿库,为增加其库容量,保证该库的安全,已经多次处理。2013年7月,由于库内浸润线过高,再次进行了治理。

3.2.2 治理方式

在库内施工2口辐射井,井深分别为12、14 m;集渗管均为上下层,分别为4根、6根,长度均为50 m,直径为65 mm;排渗管长度为60 m,直径为108 mm。如图10所示。

3.2.3 治理结果

经观测库内浸润线分别下降水了4.1、2.7 m。



图10 城门峒1号副坝辐射井施工现场

取得了较好的效果,达到了预期的目的。

4 结语

尾矿库排渗工程技术方法是解决尾矿库浸润线的有效手段,其技术方法多属于岩土工程技术范畴,但由于尾矿库的工程地质特性是地层软弱,渗透性差别明显且富含在库坝内的水位或浸润线不同,同时对工程质量的要求主要是要排出坝体的水,降低尾矿库坝的浸润线,保证尾矿库坝的安全与稳定,因此与岩土工程技术要求有所不同,特别是施工方法、对质量控制等都要有其一定的独特性,因此在实际设计施工时,应考虑现场情况和其特殊性要求,有针对性采取相应的技术措施,以便进行有效地质量控制,确保尾矿库浸润线能够有效地降低,而且能够达到一定的使用寿命。

参考文献:

- [1] 阮茂盛,刘庆祥.向山硫铁矿尾矿库联合排渗施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):71-73.
- [2] 阮茂盛,奚兴富,周晨晨.辐射井技术在尾矿库降排水工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):72-75.
- [3] 汪良峰,朱君星,项宏海,等.尾矿库排渗辐射井的设计探讨[J].金属矿山,2010,(2):55-56,61.
- [4] 向远华.灰坝辐射井排渗系统施工技术与受力性能研究[D].湖南长沙:中南大学,2007.
- [5] 国家经贸委,安全生产局.全国特种作业人员安全技术培训考核编教材(尾矿工)[M].北京:气象出版社,2006.
- [6] 殷永高,屠筱北.公路地基处理[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [7] 武汉地质学院等.钻探工艺学(下册)[M].北京:地质出版社,1980.
- [8] GB 50202-2002,建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].
- [9] JGJ 120-2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [10] 向山硫铁矿尾矿库再利用工程竣工技术报告书[R].安徽马鞍山:马鞍山长江地质工程公司,1998.
- [11] 山铁矿城门峒尾矿库1#副坝辐射井排渗工程竣工技术报告书[R].安徽马鞍山:马鞍山长江地质工程公司,2014.