

虹吸排渗系统在尾矿坝降水工程中的应用

王凤江

(中国冶金建设集团 秦皇岛冶金设计研究总院 河北 秦皇岛 066001)

摘要 :为保证尾矿坝加高工程的顺利实施 ,采用虹吸排渗系统来降低坝体内部的浸润线高度。以马兰庄铁矿尾矿库为例 ,对尾矿库工程中虹吸排渗系统的组成和尾矿砂中虹吸井的施工方法进行了简要介绍。虹吸井设置在初期坝上游附近 ,相对下游高差为 8 m。虹吸井深 12 ~ 16 m ,直径 550 mm ,相邻井点的间距均为 6 m。虹吸管为 DN57 型 PVC 软管。现场完成了 14 口虹吸井 ,并进行了 13 组双井抽水试验和一组单井抽水试验。其结果表明 ,采用清水冲击钻进方法施工的虹吸井成井质量较好。虹吸井的涌水量可达 147 m³/d。虹吸系统在井内水深小于 6.5 m 时可自动工作。监测结果表明 ,在虹吸系统投入使用后 ,坝体地下水位埋深普遍在坡面 7 m 以下。虹吸系统自行启动性能较强 ,降水效果明显 ,完全可以适应加高工程的需要。

关键词 虹吸排渗系统 ;尾矿坝 ;降水工程 ;抽水试验 ;马兰庄铁矿尾矿库

文章编号 :1003-8035(2005)01-102-04

中图分类号 :P642.2 ;TD74

文献标识码 :A

1 引言

我国多数尾矿库采用上游法筑坝工艺^[1,2]。其显著特点是随着尾矿堆筑高度的不断加大 ,尾矿坝坝体内浸润线也相应抬升 ,导致坝面溢出水位升高 ,易引发坝体渗流破坏 ,降低坝体的抗震稳定性。因此应最大可能地加强尾矿库排渗系统的建设 ,以最大限度地降低坝坡浸润线高度 ,增大坝体的干燥部分或适当增加尾矿池内的干滩长度。通过修筑降、排水设施 ,达到控制坝坡内水位线的方法^[3~5]很多。如井式排渗、管沟式排渗、褥垫排渗和墙式排渗等。其中 ,井式和墙式排渗方法均采用水泵抽水 ,应用的不多 ;管沟式排渗和褥垫排渗方法采用自流原理 ,节省能源 ,但投入的工作量相对较大。比较起来 ,按虹吸原理设计的虹吸排渗设施同时具有上述各种处理方法的优点 ,而且施工方便、经济 ,运营成本最低 ,也便于管理。马营尾矿坝、水泉沟尾矿坝 ,首钢马兰庄尾矿坝利用虹吸排渗方法成功地实现了降低坝坡水位的目的 ,从运行情况看 ,效果相当不错 ,对同类型尾矿库的降水工程有借鉴意义 ,值得推广。本文以马兰庄铁矿尾矿库虹吸排渗系统为例 ,介绍其施工方法及工作效果。

2 尾矿库基本情况

马兰庄铁矿尾矿库属山谷型尾矿库 ,位于河北省唐山市境内 ,建成投产于 1980 年 ,汇水面积为 0.2 km²。目前为首钢和唐山市共同管理。尾矿库原设计

最终堆积标高为 142 m(相对坝顶高度 62 m) ,外坡比为 1:4。由于作业不规范 ,坝体实际堆筑坡角为 1:5 ,造成库容减少 ,缩短了使用年限。尾矿库初期坝坝长 80 m ,高 11 m ,坝顶宽 10 m ,坝底宽 30 m ,主要由含粘粒较多的碎石组成 ,其岩性为强风化混合花岗岩 ,透水性较差。堆积坝主要由尾粉细砂组成 ,现场注水法实测的渗透系数见表 1。

表 1 尾粉细砂的渗透系数

Table 1 Penetrability coefficient of tailings sand		
统计指标	水平渗透系数(m/d)	垂直渗透系数(m/d)
范围值	0.56 ~ 1.73	0.23 ~ 0.78
平均值	1.28	0.44

考虑尾矿生产的连续性 ,矿山拟在原有基础上将尾矿库加高至 145 m ,并将下游坡面角度恢复到 1:4。勘察期间 ,坝顶标高已达 125 m。由于坝坡无任何排渗设施 ,造成在标高 99.6 m 的台阶处出现渗流出溢现象。根据渗流有限元数学模型模拟结果 ,在不采取任何排渗措施的情况下 ,坝体加高以后 ,渗流出溢点位置浸润线将普遍抬升 ,最大达 2.12 m(表 2)。

坝坡渗流出溢范围的扩大 ,使安全问题变得非常严峻 :其加高以后静力条件下的安全系数接近规范要求的最低值 ;Ⅷ度地震条件下的稳定性不满足规范要

收稿日期 2004-04-23 ,修回日期 2004-07-20

作者简介 :王凤江(1968—) ,男 ,工学博士 ,高级工程师 ,主要从事地质灾害的防治与研究工作。

表 2 加高后坝坡水位上升情况模拟结果

Table 2 The variety of water line result from FEM simulation with the climbing of tailings dam

位置	加高后坝面标高/m	现状计算水位标高/m	加高后计算水位标高/m	水位上升高度/m	水位线距坡面距离/m
钻孔 14	135.4	119.6	126.8	7.2	8.6
钻孔 11	122.6	112.53	119.4	6.87	3.2
钻孔 8	115.6	107.88	113.85	5.97	1.15
钻孔 5	103.8	101.68	103.8	2.12	渗出
探井 1	99.63	99.12	99.33	0.21	0.3
钻孔 2	97.02	95.8	96.65	0.85	0.37
探井 2	94.61	92.6	92.8	0.20	2.01

求,有失稳的可能性,将成为“陷库”。渗流稳定性校核结果表明:应在初期坝上游 103 m 标高位置设置具有较大降深的排渗设施,并在 110 m、125 m 标高位置增设截渗盲沟。考虑矿山的实际承受能力,经技术经济对比后,决定采用虹吸排渗方法解决上述问题。其主要目的是解决坝体 99 m 标高的渗流溢出问题,保证尾矿库加高扩容后的渗流稳定性。主要工作量包括在 103 m 标高设置 14 口虹吸井,在平行坝体轴线方向依次布置。相邻井点的间距均为 6 m,井深 12 m ~ 16 m 不等。要求虹吸排渗设施启动后,应保证尾矿库的浸润线埋深稳定在 6m 以下。工程从 1998 年 4 月 14 日开工,1998 年 6 月 26 日竣工,历时 75d。

3 虹吸排渗系统的组成

虹吸排渗系统主要由虹吸井、观测井、水封槽和虹吸管路组成。其中,虹吸井是关键的降水设施,其成井质量要求较高。虹吸井井口标高 101 m,虹吸管出水口标高 93 m,水头差 8 m 左右。水封槽的作用在于保证虹吸系统要求的真空度,即在虹吸系统启动后应保证排水管出口始终位于一定水位高度以下。观测井主要用来观测虹吸排渗系统的降水效果。虹吸井设计井径为 250 mm,施工钻井直径采用 550 mm,井底采用混凝土井底。本工程中虹吸管采用单根长度 95 m 的 DN57 型 PVC 软管。水封槽为钢筋混凝土结构,长、宽、高各 1 m。为检修方便,在虹吸井上部 101 m 标高以上做内径 1.2 m 的井口,详见图 1 (a) 和图 1 (b)。

4 虹吸井的施工与检测

为保证虹吸井在尾矿砂中的成井质量,经现场不

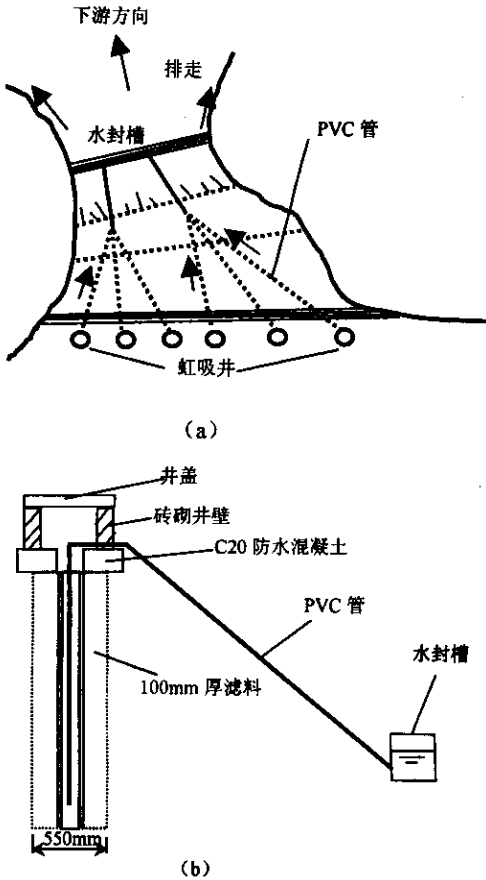


图 1 虹吸排渗系统的组成

Fig.1 Layout of siphonic drainage system

同施工方法的对比性试验,采用了分 2 次扩孔、清水冲击钻成孔的施工工艺。首次成井直径为 350 mm,以保证井身的稳定性。然后采用清水抽砂钻,在原孔位置进行扩孔,孔径由 350 mm 扩大到 550 mm。当钻孔完成后,迅速下放水泥无砂过滤管,过滤管接头处用无纺布密封,竹片和铁丝进行固定。过滤管四周采用 0.5 ~ 1 mm 粗砂清洁滤料充填。填充井管周围滤料时,应采用边填边用大降深、反冲洗洗井方法,并不断补充滤料,直至填料稳定、井口出现清水。采用降深法逐个检测成井质量。用潜水泵降低虹吸井井内水位,稳定后连续排水 8 h。当排水 1 h 后,发现相邻 2 个虹吸井内的水位有下降反应,排水 8 h 后邻近虹吸井水位下降超过 1 m,且井底淤砂厚度均小于 100 mm,说明虹吸井洗井合格。为检测降水效果,现场进行了 13 组双井抽水试验,试验结果见图 2。

从现场双井抽水试验效果看,主井动水位稳定后的降深多在 2.8 ~ 5.2 m,最大达 6.8 m,平均降深值为 4.5 m,降水效果明显。有关单井涌水量及降深数值

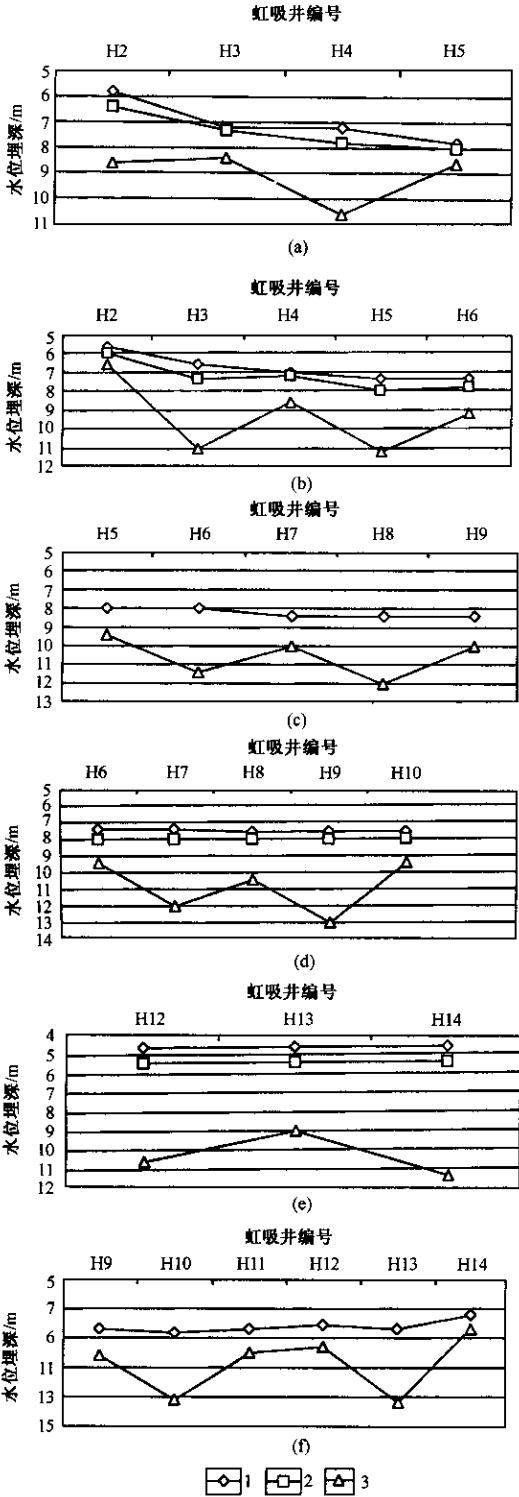


图2 双井同时抽水试验

Fig.2 Pumping test of the two wells

1—初始水位;
2—恢复水位 3—稳定动态水位
a—2号井与4号井 b—3号井与5号井
c—6号井与8号井 d—7号井与9号井
e—12号井与14号井 f—10号井与13号井

从现场双井抽水试验效果看,主井动水位稳定后的降深多在 2.8~5.2 m,最大达 6.8 m,平均降深值为 4.5 m,降水效果明显。有关单井涌水量及降深数值见表 3。

表3 抽水试验结果

Table 3 Results of pumping tests

抽水井组	降深(m)	涌水量(m^3/d)
2-4	2.8~3.4	44~116
3-5	3.8~4.4	114~130
6-8	3.4~3.6	112~120
7-9	4.6~5.4	137~147
12-14	6.0~6.8	121~125
10-13	4.6~5.0	95~120
11	5.2	163

观测井的成井方法同虹吸井,只是采用 150 mm 的井径。观测井采用注水法检测成井质量,要求注满水后在 1 h 内恢复原始水位。PVC 导水软管安装时不留接头。水封槽采用 C20 防水混凝土,槽底、两帮厚度 150 mm,底部采用 C10 混凝土,厚度 100 mm。水封槽每隔 10 m 设置沉降缝 1 道,用止水胶带密封,内部净断面尺寸 0.8m×0.6 m,长 80 m。两侧出口与尾矿库溢洪道相连。

5 虹吸管的安放及虹吸系统启动

在有条件的情况下,虹吸管应尽量采用整根 PVC 管(DN57,长度 95 m),以免降低虹吸管的真空度,并便于维修。虹吸管由虹吸井出井口位置后,沿坝坡而下,直至水封槽。考虑冬季冻深和防止老化的因素,虹吸管埋深不小于坡面下 0.9 m。虹吸系统的启动方法是:在虹吸管出水口处,用水泵向管内注水。当水注满后撤去注水设备,便开始虹吸排水。从试运行期发现,地下水位已从虹吸系统启动前的埋深 5 m 左右下降到埋深 7 m 以下,均达到虹吸排渗的目的。虹吸系统自全部启动后,连续运行 5d 便出现了自行停止现象,原因在于地下水的补给能力小于系统排渗能力。在虹吸系统停止工作后,对观测井地下水位进行了连续 5d 的监测,发现地下水位一直维持在埋深 7.2 m 以下,没有发生变化。为了解虹吸系统再次自行启动所需要的地下水位埋深,对 6 个虹吸井进行了注水试验。结果表明,当地下水位埋深达到 6.5 m 左右时,虹吸系统便自行启动,使用非常便利。和其他降水设施相比,仅服务期的电费,就可为矿山节省资金 150 万元,经济效益明显。虹吸井运营过程中要注意

以下几点：

①确保水封槽中有一定量的积水,以保持必要的水头差。对本工程积水的顶面标高在 93 m 以上,否则,系统不能自行启动。对于北方冬季寒冷地区,要考虑浅层尾矿砂冻胀现象对虹吸井、虹吸管路及水封槽结构的影响,上述结构的埋深不应小于标准冻结深度。

②及时清除虹吸管出水口处的沉淀物,防止由于出水口堵塞造成虹吸井不能正常工作,影响使用。同时,每隔 2d 对虹吸井和观测井的水位进行检测。如水位高于设计要求时,应检测虹吸井是否全部启动;如果启动失灵时,则采用注水方法重新启动。

③受季节性降水和尾矿排放位置变化的影响,坝体下游的涌水量可能有所改变,相应虹吸排渗设施的工作能力必须满足上述要求。当水量很大,短时间又难于疏干时,可考虑临时增补大直径的虹吸管路,加快排水速度,确保坝坡安全。

6 结论

虹吸排渗系统自 1998 年运行以来,排渗效果良

好,坝体地下水位埋深始终控制在设计要求的范围以内。尾矿(库)坝特定的堆积环境,为使用虹吸原理降低坝体内浸润线水位创造了条件。虹吸排渗设施设计原理简单,可操作性强,对国内同类型矿山尾矿库的安全生产有极大的借鉴意义,值得推广。

参考文献：

- [1] 李作章. 尾矿库安全技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 1996. 122-123.
- [2] 徐宏达. 我国尾矿库病害事故统计分析[J]. 工业建筑, 2001, 33(1): 69-71.
- [3] 廖兴发. 地质勘察与地质灾害监测评估防治技术实用手册[M]. 北京: 世纪音像电子出版社, 2002. 104-120.
- [4] 林在贵, 高大钊, 顾宝和, 等. 岩土工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 448-449.
- [5] 孙希乐. 治理尾矿坝渗流降低坝体浸润线实践[J]. 有色矿山, 1994(3): 57-60.

Application of siphonic drainage system in the dewatering engineering of tailing dam

WANG Feng-jiang

(QERIM of MCC, Qinhuangdao 066001, China)

Abstract :To ensure the heightening engineering of tailing dam to successfully carry through, siphonic drainage system was adopted to lower the phreatic line in the dam. Tailing pond of Malanzhuang Iron Ore Mine was as the example to introduce the constitute of the siphonic drainage system and the construction technique of siphonic well in tailing sand. The siphonic wells are placed at upstream of primary dam with the height difference of 8 m to downstream. The depth of siphonic well is 12 m ~ 16 m, the space between both close well is 6 m, and the diameter of siphonic well is 550 mm. The siphonic tube is made of PVC whose diameter is 57 mm. 14 wells, 13 pumping tests with two wells and 1 with single well have been finished. The results of pumping test in situ show that the quality of drilling wells by means of water-percussion is creditable. The stream capacity of siphonic well is about 147m³/d. The system can automatically work when the water level is below 6.5 m. The monitoring results show that after the siphonic drainage system started to work, the water level in the dam was obviously lowered to 7m. The performance of the above system can run automatically with obvious dewatering effect and absolutely fit to the heightening engineering.

Key words :siphonic drainage system; tailing dam; dewatering engineering; pumping test; tailing pond of Malanzhuang Iron Ore Mine