

# 水平~竖直联合排渗体在赤泥坝加固中的应用

张尤慧

中冶武勘工程技术有限公司, 湖北 武汉 430080

**摘 要 :** 水平孔~竖直井联合自流排渗工艺是国内领先的矿山尾矿坝坝体降低浸润线的方法, 它采用了竖直井与水平排渗管双重同步自流排渗的原理, 具有排渗量大、浸润线降幅大、排渗加固效果显著、不需动力维护、施工简单快捷等优点, 适用于各种尾砂类矿山尾矿坝坝体排渗加固。由于尾矿砂渗透性能好, 地层均匀, 坝坡较缓, 竖井浅, 容易实现竖直井与水平孔的对接。而在尾矿赤泥堆积坝中, 由于坝体由胶结、半胶结及未胶结的赤泥组成, 坝坡陡, 竖直高度大, 传统的竖井施工工艺及其与水平孔的对接技术难以实现, 笔者及团队根据某赤泥坝坝体实际情况, 首次在赤泥坝中引进应用“水平孔~竖直井联合自流排渗技术”并取得了成功, 解决了该工艺在中深微型竖直管井与水平孔的精准对接难题。开创了在赤泥坝中采用“水平孔~微型竖直管井联合自流排渗工艺”进行排渗加固治理的先例<sup>[1]</sup>。

**关键词 :** 浸润线; 微型竖直井; 水平孔; 水平孔~微型竖直井联合自流排渗体; 赤泥坝

## Application of Horizontal ~ Vertical Combined Seepage Drainage Body in Red Mud Dam Reinforcement

Zhang Youhui

WSGRI Engineering & Surveying Incorporation Limited. Wuhan, Hubei 430080

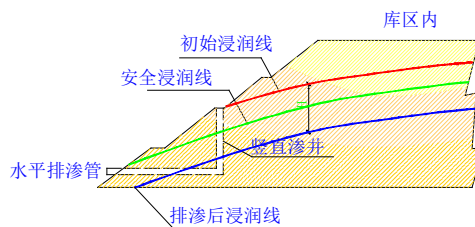
**Abstract :** The horizontal hole ~ vertical shaft combined artesian infiltration drainage process is the leading method for reducing the infiltration line of the mine tailings dam body in China, which adopts the principle of dual synchronous self-flowing infiltration drainage of the vertical shaft and the horizontal drainage pipe, and has the advantages of large drainage volume, large reduction of infiltration line, remarkable drainage reinforcement effect, no dynamic maintenance, simple and fast construction, etc. It is suitable for the drainage and reinforcement of tailings dams of various tailings mines. Due to the good permeability of tailings sand, uniform formation, slow dam slope and shallow shaft, it is easy to realize the docking of vertical shaft and horizontal hole. In the tailings red mud accumulation dam, because the dam body is composed of cemented, semi-cemented and uncemented red mud, the dam slope is steep, the vertical height is large, the traditional shaft construction technology and its docking technology with the horizontal hole is difficult to realize, the author and his team according to the actual situation of a red mud dam dam, the first time to introduce the application of "horizontal hole ~ vertical shaft combined self-flow seepage drainage technology" in the red mud dam and achieved success, to solve the process in the medium and deep micro vertical tube well and horizontal hole accurate docking problem. It has created a precedent for the use of "horizontal hole ~ micro vertical tube well combined with artesian seepage drainage process" for infiltration reinforcement treatment in red mud dams.

**Keywords :** infiltration line; micro vertical shaft; horizontal hole; horizontal hole~micro vertical shaft combined with artesian seepage body; red mud dam

### 一、水平孔~竖直井联合自流排渗体降低地下水浸润线加固坝体的原理

水平孔~竖直井联合自流排渗体结构参见图1, 它是由竖直井和水平排渗管组成, 二者必须准确地对接形成一个有机的完整体才能有效地发挥其排渗作用。

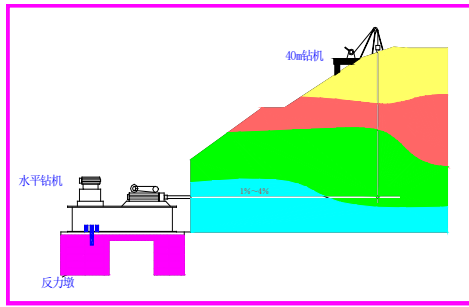
水平排渗管是排渗体的主体, 它与水平方向向上呈一定夹角, 其坡度为1%~4%。它具有集水和导排水双重功能。竖直井是在位于水平排渗管终点的坝体表面沿垂直方向施工一组竖直孔, 然后向内充填入透水性能较好的滤料或安装透水滤管而成<sup>[1]</sup>,



> 图1 水平~竖直联合自流排渗体加固原理示意图

它主要是将各层透水性不同的尾矿体在竖直方向上联系起来而增加垂直渗透效果, 让上部被透水性较弱的尾矿泥所阻隔的水能顺利沿竖直井下渗到水平排渗管而排出坝外。

作者简介: 张尤慧(1978.09-), 苗族, 本科, 中共党员, 现就职于中冶武勘工程技术有限公司, 工程师, 研究方向: 岩土工程勘察设计咨询等。



> 图2水平-竖直联合自流排渗体加固施工示意图

## 二、不同性能尾矿坝排渗体参数的选取

### (一) 排渗体间距的确定

(1) 铁矿尾矿粉的颗粒度较粗，其透水性一般较好，其渗透系数一般在 $10^{-3}$ cm/sec，其间夹渗透系数小于 $10^{-5}$ cm/sec的尾矿泥夹层，需在现场进行抽水注水试验等水文地质勘查求取其参数<sup>[5][6]</sup>。对于这类透水性好的地层，根据施工经验排渗体间距一般取值为16~20米。

(2) 对于铬及铅锌矿、钼矿、铜矿，其尾矿颗粒度稍细，渗透性在 $10^{-4}$ cm/sec左右，一般排渗体间距取值在12~16米区间。

(3) 对于硫铁矿、金矿等采用<sup>[7]</sup>化选工艺的矿，其尾矿极细，渗透系数在 $10^{-5}$ cm/sec左右，一般排渗体间距取10~14米为宜。

(4) 对于铝厂赤泥坝，其母矿为粘土矿，排放的尾矿颗粒在尾矿库内随着时间的推移而具有逐渐胶结的性能，由于其胶结程度的不同导致其排渗加固体间距的设置较为复杂，其排渗设计需接合其采选工艺和尾矿的松散程度、颗粒大小等的不同而采用不同的排体间距。

### (二) 排渗体水平排渗管长度的确定

从理论上讲，排渗体水平排渗管长度越长，其排渗效果将越好，但长度过长，其施工难度也成倍数关系增加，造价也相应呈倍数上升，因此需寻求一个性价比较高的排水管管长值。可根据为维持坝体稳定所需干滩面长度估算，若一坝体需坝前50米干滩面才能保证坝体稳定，则水平管长以大于 $1.2 \times 50\text{m} = 60\text{m}$ 为宜，设计一般取值60~70m。目前已施工工程中单管最长已达到142米（中州铝厂赤泥坝加高治理工程）。根据多年施工经验，建议尾矿渗透系数大于 $10^{-4}$ cm/sec的坝体取值70~80米为宜。

### (三) 水平排渗管开孔率的选择

水平排渗管除本身具备集水和自流排渗的功能外，还对具有集水功能的竖井起导流排水作用，以形成另一个更大范围的降落漏斗，从而达到更有效的排渗效果。因此，水平排渗管就应有一个经济合理的开孔率。

理论上开孔率愈大排水条件愈好，但实验结果表明，开孔率从7%增加到15%时，其综合渗透系数几乎不变，水平管对被保护的尾矿砂无阻水作用。因此，从既满足水平排渗管有良好的排渗能力，又保证其具有足够的承受送管荷载（20~30MPa）和拉压强度（最大顶推力36kN，最大拉管力100MPa）的作用下，最后选择开孔率8%左右较合适。水平排渗管的下游端部5~10米为无孔管，便于管外封口堵渗。

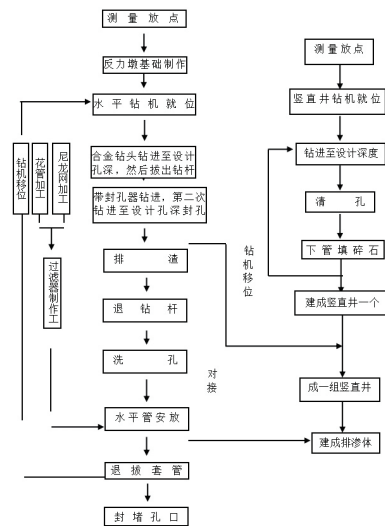
### (四) 竖直井参数的选择

因竖井起着将各向异性的尾矿体内的水体上下联系起来的作用，为将尾矿体内的上层水导入水平排渗管内，竖井必需与水平管相切并进入水平管底标高之下，其底部标高要求必须小于相切时水平排渗管所处位置的标高，由于竖井施工及长期运行时不可避免地会在管底部产生一部分沉淀堆积物，故竖井施工时底标高还要考虑竖井的沉淀管作用<sup>[8]</sup>。故竖井井底标高位于离水平排渗管终端底标高约3~5米范围内。

## 三、排渗体施工工艺及技术要求

### (一) 排渗体施工工艺

排渗体施工工艺流程图



### (二) 施工技术要求

(1) 排渗体是以排水、降低坝体浸润线为目的，因此在钻探施工过程中严禁采用泥浆护壁，需完全清水或干孔作业，其钻探具体要求要满足相关钻探技术标准<sup>[9]</sup>。

(2) 竖井与水平排渗管必需严格对接，对接是该工程的关键技术之一；一般可采用测量放线加经验估算法找准竖井点位或先采用高精度数字水平测斜仪对水平孔进行精确测量，然后结合测量放线进行施工竖井定位。

(3) 水平孔施工时应严格控制施工设备扬角，控制水平孔向上仰角在1%~4%之间，严禁水平管向下倾斜。

(4) 施工过程中下入孔、井内的充填材料必需洁净：土工布无污染且不得有破损（若有破损需及时修复），充填滤料需清水冲洗干净，以确保建成后的排渗体的排渗效果，并控制排渗的含砂量。

(5) 施工前在坝体布置一定量的观测孔<sup>[10]</sup>，观测孔尽量设置在排渗体之间，排渗体终点处也需设置相应的观测孔。及时观测水位，判断浸润线的变化情况，掌握地下水浸润线的动态变化规律，形成系统的地下水观测资料以进一步指导、优化设计。

(6) 单组排渗体施工完毕后应定时测量单孔排水量并做好记录，观测排渗量变化情况，必要时应对排出水进行含砂量分析，以确定排渗体对坝体的影响。

(7) 整个排渗工程完工后，应及时对坝面进行恢复。

## 四、河南中州铝厂某赤泥堆场排渗加固案例

### (一) 工程概况

河南中州铝厂某赤泥堆场为沟口筑坝，沟内堆积，呈“V”字型，坝体由初期坝和逐渐堆高的各子坝组成。其中初级坝的坝高18.00m，标高为168.00m，坝顶宽4.00m，坝底宽87.13m，坝外坡坡比1:2.25，坝内坡坡比1:2.25，坝外坡脚设置一道堆石排水棱体，坝前设置一条截水沟。坝顶最终设计标高为220m（设计坝高为70m）。在堆坝标高约190.00m（坝高49m）时，坝体顶部平台出现两条平行裂缝。裂缝在坝体外侧呈倒“八”字形，延伸至坝底，裂缝宽度约2—3cm。东侧裂缝出现泄水现象（一度呈现浑浊），坝体外侧二级初期坝坝底出现几十处鼓起现象。块石鼓起出现潮湿现象。两侧裂缝与下部的初期坝鼓起部分的连线基本上呈“U”形。坝体浸润线偏高，坝体安全受到威胁，必须进行排渗加固治理。为此，项目团队开展技术攻关研究，对水平~竖直井联合自流排渗工艺技术在弱渗透性能赤泥坝中进行排渗加固的技术可行性进行了试验研究，并首次在赤泥坝中采用“水平孔~微型竖直管井联合自流排渗技术”对其坝体进行排渗加固治理。

### (二) 场区工程地质、水文地质条件简述

#### 1. 场区地层堆积方式

尾矿赤泥的堆积方式主要为水力填充法，将赤泥和水的混合物通过输送管道向堆场内排放，赤泥通过沉淀、沉积，澄清的尾水经回水塔、回水管线再泵送回氧化铝车间再利用。

#### 2. 堆积地层

据筑坝工艺及勘探揭露，库区两侧主要由粗颗粒赤泥组成，呈胶结及半胶结状态，库区中轴线部位主要由细颗粒及部分粗颗粒赤泥组成，细颗粒赤泥大部分为未胶结或半胶结状态，粗颗粒赤泥基本处于半胶结状态；子坝体内赤泥由粗颗粒赤泥组成，呈胶结状态；未胶结泥状或砂状赤泥以橙黄、灰绿色为主，水平层理发育，夹砂状赤泥薄层，震动析水，具触变现象，很湿~饱和，软塑~流塑。半胶结泥状或砂状赤泥以橙黄、灰绿色为主，水平层理发育，层间夹砂状赤泥薄层，岩芯较破碎，一般呈短柱状，湿~很湿，可塑~硬塑。胶结状赤泥以橙黄、灰绿、兰灰等颜色，水平层理发育，夹薄层半胶结泥状赤泥薄层，岩芯一般呈长柱状。

#### 3. 库区水文地质条件

堆场地下水总体上呈中部高，两侧低，库内高，坝前低的趋势。该地下水属赋存于未胶结及半胶结状赤泥中的地下潜水，受赤泥龟裂裂隙的影响，局部亦可形成小范围的上层滞水，其补给源为生产排放赤泥水及少量的大气降水。据工勘报告中现场注水试验结果可知，半胶结赤泥渗透性较好，未胶结及胶结赤泥渗透性较差，初期坝代料为不透水介质，故堆场赤泥均为弱透水介质。

### (三) 竖直管井与水平孔对接难题及关键技术

在传统的尾矿砂堆积坝中，竖直井孔深度较浅，约12—15m左右，尾矿砂较松散，渗透性能好，其竖直井采用“套管相切法+管内高压射水排砂”成井，各竖直井外径相切相连，从而很容易实现竖直井与水平孔的对接。但在渗透性能弱且局部胶结的赤泥坝地层中，坝体为各层呈胶结、半胶结状态，各层土软、硬不均呈互层状分布，且竖直井孔深达到28—30m左右。孔径为 $\phi 150\text{mm}$ ，过去传

统的竖井施工设备和施工工艺完全不能满足要求，须采用专制回转钻进工艺成孔，然后下入 $\phi 75 - 90\text{m}$ 塑料管；由于回转钻进时钻孔垂直度很难满足1‰，竖直井管中心距须大于300mm才能保证各竖直井不穿档从而保证不损坏竖直井管；在施工第一组排渗体时，施工人员在现场曾采用多种导正措施进行垂直回转钻进都未能实现竖直井与水平孔的对接；为此，在现场进行了二十余组钻进工艺对接实验，并对水平~竖直对接工艺进行了改进，最后确定大角度的斜向定向钻探代替垂直钻探，以垂直于水平孔轴线方向的主偏移方向来约束控制其他方向的偏位，成功地实现了竖直井与水平孔的对接，从而解决了其对接技术难题，为项目的顺利实施打下坚实的基础。

### (四) 项目排渗加固工作量

本工程共设计7组水平孔~微型竖直管井联合自流排渗体，由于是首次在赤泥坝中引进应用该排渗工艺，业主建议先施工3组，待工艺成熟且效果明显后再施工剩余的4组。该联合排渗体的竖直孔孔径为 $\phi 150\text{mm}$ ，孔深28m，孔内下入 $\phi 75$ 塑料滤水管，滤水管外包双层60目尼龙网，管外围填 $\phi 1 - 3$ 级配的砾石。水平排渗管采用外径 $\phi 90\text{mm}$ ，壁厚7mm的高强聚氯乙烯管，开孔率8%—10%，孔径8mm，管外包双层60目尼龙网。水平孔孔深约75，每组排渗体由1根水平排渗管和8个竖直排渗管井组成。

### (五) 现场监测情况

第一组排渗体位于漏水裂缝的斜下方，待第一组排渗体建成后，裂缝中的漏水出现了断流现象，其漏水经周围的微裂缝进入该竖直渗水管井并由水平孔排出坝外。前3组排渗体建成后，坝体浸润线有明显降低，故业主通知我方继续施工剩余的4组排渗体。所有排渗体建成后，坝体浸润线降低约2m左右。竣工后，对所有排渗体的对接质量再次进行了检验，当往竖直管井内增加排水时，其对应的水平排渗管流量明显增加，说明所有的排渗体对接质量良好。

## 五、结语与体会

本文在介绍传统水平~竖直联合自流排渗体施工工艺及其应用情况的基础上，创新在弱渗透强胶结的尾矿赤泥堆积坝中引进采用“水平孔~竖直井联合自流排渗工艺”进行坝体加固，在国内尚属首次。它的成功应用，得到了业主的充分肯定，可广泛用于赤泥坝老尾矿库闭库及坝体加高增容综合加固治理中使用，具有广阔的市场前景。

## 参考文献

- [1] 王光进等编著《尾矿库溃坝事故案例分析》（北京：冶金工业出版社，2022）。
- [2] 《尾矿库安全技术规程》（AQ2006—2005）。
- [3] 林宗元等主编的《岩土工程治理手册》（沈阳：辽宁科技出版社，1993年第一版）。
- [4] 陈幼雄主编的《井点降水设计与施工》（上海：上海科学普及出版社，2004年第一版）。
- [5] 彭易华、丁洪元等主编的《冶金工业建设水文地质勘察规范》（GB）。
- [6] 丁洪元等主编的《供水水文地质勘察标准》（GB/T 50027—2024）。
- [7] 王运敏等主编的《中国黑色金属选矿实践》（北京：科学出版社，2008）。
- [8] 彭易华、丁洪元等主编的《管井技术规范》（GB50296—2014）。
- [9] 王哲英等主编的《冶金建设钻探技术规范》（GB50734—2012）。
- [10] 林祚顶等主编的《地下水监测规范》（SL183—2005）。