

坝体劈裂灌浆技术的特点及其应用

包宝华¹ 陈星辰² 陈 斌³ 徐 铭³ 张 军¹

(1. 江苏省水文水资源勘测局南京分局, 江苏 南京 210008; 2. 徐州工程学院机电工程学院, 江苏 徐州 221008;
3. 江苏省三河闸管理处, 江苏 洪泽 223100)

摘要 介绍了劈裂灌浆法的主要工艺与特点, 从基本原理和理论计算上论证了该方法与低压速凝式灌浆法、高压填充式灌浆法相比的技术进步和主要优势。坝体劈裂灌浆法在骆马湖邳洪河大堤的实际应用效果表明, 该法在大堤渗漏加固中效果良好, 具有推广应用价值。
关键词 堤坝加固 劈裂灌浆 邳洪河大堤
中图分类号 TV543+.6 **文献标识码** B **文章编号** 1006-764X(2007)S2-0126-03

堤坝坝体灌浆是加固土堤坝的一项重要技术措施, 堤坝灌浆防渗从低压速凝式灌浆法、高压填充式灌浆法发展成今天应用最为广泛的劈裂式帷幕灌浆法。劈裂灌浆技术是我国近年来研究成功的处理病险堤坝经济而有效的一项新技术, 为我国首创。

20 世纪 50 年代, 堤坝隐患先采用低压充填式灌浆, 此法不但效果不佳, 而且工期长, 不能及时消除堤坝隐患, 给防汛与堤坝安全带来影响。为了解决这些问题, 到了 80 年代发展成高压填充式灌浆, 此法虽克服了低压充填式灌浆的许多不足, 但也出现了新的问题, 特别是在灌浆过程中有时坝体出现了劈裂现象, 形成新的隐患甚至造成事故。

填充式灌浆法是以处理坝体内已有的裂缝、洞穴等隐患为出发点的, 所以它的灌浆理论以渗透理论、充填理论为基础, 为了寻找坝体内已有的裂缝和洞穴, 相应的灌浆工艺是采用多排梅花形式布孔, 然后进行充填灌浆。它的技术要求是灌注颗粒较细的浆料, 在灌浆时不允许产生新的裂缝和使原有裂缝扩大(实际上是做不到的, 甚至泥浆自重即可将坝体劈裂)。灌浆的结果是充填了部分坝体内已有裂缝和洞穴, 但新的裂缝和隐患随之出现, 而且细小裂缝充填不好, 在坝体内很难形成竖直连续的浆体防渗帷幕, 浆体固结情况和固结后的密度也不尽如人意。

针对上述问题, 工程技术人员经过反复研究与试验, 发明了劈裂灌浆新技术。

1 劈裂灌浆工艺及主要优势

坝体劈裂灌浆是从产生坝体隐患的原因入手,

以断裂力学和水力劈裂原理为理论基础, 根据坝体弱应力的分布规律, 沿坝轴线布孔, 以浆液为能量载体, 施加一定的灌浆压力, 有控制性地劈裂坝体, 灌注适宜的浆液, 灌浆时并进行综合控制, 灌浆结果是在坝体内形成密实竖直连续的浆体防渗帷幕, 而且帷幕的厚度可以随坝体质量的好坏自行调整。与浆脉连通的所有裂缝洞穴等隐患均被浆液充填挤压密实。并且通过浆坝互压和坝体的湿陷固结等作用, 坝体内部应力得到改善, 从而使土坝坝体达到防渗加固的目的。

劈裂灌浆技术工艺主要的优势有二, 一是对应力平衡分析劈裂坝体所需灌浆孔口压力研究的进展; 二是浆在坝体中固结计算方法的改进。

1.1 劈裂灌浆技术应力平衡分析方法

填充式灌浆法根据弹性力学应力平衡分析推导出的灌浆坝体孔口压力公式为

$$P_0 = 3\sigma_3 - \sigma_2 + \sigma_1 - h\rho_{\text{浆}} \quad (1)$$

劈裂灌浆法根据弹性力学应力平衡分析推导出的灌浆坝体孔口压力公式为

$$P_0 = \frac{\mu E [\epsilon]}{\mu + 1} + 3\sigma_3 - \sigma_2 + \sigma_1 - h\rho_{\text{浆}} \quad (2)$$

式中: σ_3 为坝体小主应力; σ_2 为坝体中主应力; σ_1 为坝体大主应力; σ_1 为坝体土单轴抗拉强度; h 为注浆管深度; $\rho_{\text{浆}}$ 为浆液密度; μ 为土的泊松比; E 为坝体土弹性模量; $[\epsilon]$ 为坝体土的极限拉应变。

后者考虑了土的变形效应所引起土体抗剪力的变化影响。由式(1)、式(2)的比较也可以看出, 式

(2)考虑了更多的影响因素,与式(1)相比更接近实际情况。

1.2 劈裂灌浆技术泥浆在坝体中固结计算的方法

充填式灌浆法泥浆的固结计算是按一维固结,把多次复灌的泥浆简化为一次灌入坝体考虑的,并且是计算灌浆结束泥浆在坝体中的固结过程,这虽然不太符合实际情况。

劈裂灌浆技术将浆体的整个固结计算分为灌浆期和坝体回弹期两个阶段,灌浆期是浆体在渗透力作用下的固结过程,回弹期是浆体在坝体回弹压力作用下的固结过程,并采用了二维固结计算方法,公式如下:

灌浆期浆体的固结方程为

$$\frac{\partial}{\partial X}\left(K\frac{\partial U}{\partial X}\right)+\frac{\partial}{\partial Y}\left[K\left(\frac{\partial U}{\partial Y}+\rho_w\right)\right]=\left(\frac{-\rho_w\frac{\partial e}{\partial \sigma}}{1+e}\right)\frac{\partial U}{\partial t}\quad(3)$$

在坝体回弹期浆体的固结方程为

$$\frac{(1+e_2)^2}{(1+e)^2}\frac{\partial}{\partial X}\left[K\frac{\partial U}{\partial X}\right]+\frac{\partial}{\partial Y}\left[K\left(\frac{\partial U}{\partial Y}+\rho_w\right)\right]=\frac{-\rho_w\frac{\partial e}{\partial \sigma}}{(1+e)}\frac{\partial U}{\partial t}\quad(4)$$

式中: U 为浆体中任一点的总孔隙水压力; ρ_w 为水的密度; K 为浆体的渗透系数; e_0 为泥浆的初始孔隙比; e 为浆体孔隙比; σ 为有效应力。

在式(3)和式(4)中 K 及 $\frac{\partial e}{\partial \sigma}$ 不是常数,而是孔隙比 e 的函数,由试验确定。在坝体浸润线以上考虑了坝体非饱和土计算参数对浆体固结的影响;在坝体浸润线以下,由于不同饱和土体渗透系数对浆体固结速率有显著影响,采用了半透水边界条件反映上述影响。由于泥浆在固结过程中变形较大,在式(3)和式(4)中还采用了大变形固结理论,使泥浆在坝体中的固结计算更趋于实际。

因此劈裂灌浆技术是灌浆技术的革新成果,同时还有着造价低、效果显著等优势,在工程实践中得到广泛应用,为加固堤坝、消除安全隐患提供了一种行之有效的方法,填补了国内与国际堤坝隐患除险加固技术的空白。

2 应用实例

2.1 工程概况

骆马湖邳洪河大堤位于皂河镇北3 km处的邳洪河闸至皂河抽水站南,全长1700 m,堤东为骆马湖迎水坡,紧与复线船闸相连,堤西为骆马湖背水坡,亦是邳洪河迎水坡,是皂河复线船闸配套工程,该堤

于1985年邳洪河闸开工而进行堆土施工。该段大堤由于是冬季施工,施工土质差,碾压不密实,内部隐患较多,为保大堤防洪安全,1988年11月曾对该堤段施行黏土充填式灌浆处理,1989年、1992年对该堤段又进行了复灌处理,堤身空隙得到初步填塞,密实度有所改善。但是,当充填灌注的泥浆析水固结后,堤内仍留有空隙,特别是单孔灌浆量大的堤段尤为明显,为彻底消除工程隐患,确保防洪安全,对该段堤防再实施劈裂式灌浆处理。

2.2 总体思路

由于邳洪河大堤质量普遍不好,填土不密实,内部隐患较多,所以本次灌浆采用水泥黏土劈裂灌浆,在坝体内部形成一道水泥黏土防渗帷幕,堵塞漏洞、裂缝,切断软弱层,提高坝体的防渗能力,同时通过浆、坝互压和湿陷,使坝体内部应力重分布,提高坝体变形稳定性。此次灌浆采用劈裂灌浆计算方法计算孔口压力等。

2.3 灌浆孔布置

劈裂灌浆孔在离上游堤肩2 m处,平行大堤纵轴线布置一排,采用2序孔,第一序孔距10 m,第二序孔距为5 m,孔深9 m。共需布置劈裂孔250个,计2250延长米。

2.4 浆液配比

为加速泥浆硬化,浆液采用水泥黏土浆,水泥含量约为10%,灌浆开始采用稀浆,相对体积密度为1.2左右,当坝体被劈开后,采用稠浆,浆液相对密度为1.50左右。水泥与黏土按质量比例配制好并拌和均匀后,再投放制浆筒内加水制浆,不允许将水泥直接倒入制浆筒,以防水泥与黏土混合不均造成堵管、堵孔事故,影响灌浆质量。

2.5 灌浆施工

2.5.1 灌浆机械的选择

造孔机械采用锥探机,造孔孔径为35 mm,灌浆机械采用泥浆泵。这次灌浆主要机械设备有:土钻机1台,BW200/40型双缸泥浆泵2台,D-07单桶打浆机1台,潜水泵1台,195柴油发电机1台,295柴油机2台,195柴油机1台,摩擦杆、输浆管若干。

2.5.2 造孔

首先按设计要求布孔,然后按序进行造孔,造孔应保证铅直,偏斜不得大于20 cm。造孔应采用干法,不得用清水循环钻进。

为施工方便及不影响交通,由施工方提议,经研究并报上级主管部门同意,灌浆孔更改为距上游肩1.5 m(原设计2.0 m)单排布置。造孔分两序进行,先打一序孔,孔距10 m,计125个,进尺1125 m;一序孔灌浆结束后,再在一序孔中间插入二序孔,孔距

10 m ,计 126 个 ,进尺 1 134 m ,最终孔距为 5 m。

本次灌浆造孔机械采用土钻机 ,利用卷扬机牵动重锤 ,锤击钻杆成孔。造孔采用干法 ,端部和中上部摩擦杆直径 50 mm ,下部花杆直径 38 mm ,孔深 9 m (孔口高程 28.00 m)。

2.5.3 制 浆

制浆采用泥浆搅拌机制浆。在迎水坡坡肩处挖一个泥浆过滤池 ,一个泥浆池 ,用 D—07 单桶打浆机制备纯黏土浆及黏土水泥浆 ,制成浆液经 2 mm 网筛过滤后流入泥浆池。制浆的土料塑性指数大于 12 ,是由上级主管部门指定地点并经检验合格后确定使用的。

2.5.4 灌 浆

灌浆采用孔底注浆全孔灌注的方法 ,灌浆开始采用稀浆 ,经过 3 ~ 5 min 后再加大泥浆稠度 ,在灌浆中 ,应先对第一序孔轮灌 ,采用“少灌多复”的方法 ,待第一序孔灌浆结束后 ,再进行第二序孔灌浆 ,每次最大灌浆量应按 7 m³ 左右控制 ,每孔灌浆 5 次 ,每次间隔时间 5 d ;灌浆过程中 ,坝顶裂缝小于 2 cm ,坝肩处横向水平位移小于 3 cm。

2.5.5 灌浆结束标准及封孔

当堤顶裂缝连续 2 次冒浆 ,堤顶裂缝又基本连成一线时 ,即可认为结束 ,灌浆结束后 ,将注浆管拔出 ,注满密度大于 1.5 t/m³ 的稠泥浆 ,如果浆面下降 ,可继续灌注稠浆 ,直至浆面升至坝顶不再下降为止。

3 灌浆过程中遇到的问题及处理

a. 在灌浆过程中 ,堤身转弯处及本工程中间偏北部分出现异常裂缝(斜、横向裂缝) ,分析是因为堤身原施工质量差 ,堤身局部应力复杂 ,尚未形成小主

应力的原因。出现异常裂缝后立即停灌 ,待堤身应力得到一定程度调整 ,过一段时间后再灌。第二次复灌时基本没有出现此现象。

b. 灌浆过程中 ,迎水坡冒浆情况较多 ,多与该处堤身原施工质量差有关。冒浆全部出现在护坡石缝处 ,经采取剔缝并拌和水泥封堵的方法处理后均不再冒浆。

c. 一序孔平均单孔吃浆量在 18 m³ 左右 ,部分孔吃浆量为 35 ~ 70 m³。一序 114 号孔的单孔吃浆量达 141.2 m³ ,在灌浆过程中 ,孔口压力与周边孔基本正常 ,但裂缝长达 13 m ,经核实 ,该处堤身构筑时系为两个乡的施工交界处 ,均未碾压到位 ,造成堤身极不密实 ,故吃浆量很大属正常。

4 结 语

在灌浆施工过程中 ,共计完成灌浆 251 孔 ,进尺 2 259 m ,灌浆(水泥黏土浆) 3 766.70 m³ ,均严格按照施工方案和相关规范进行施工。经有关部门对施工的质量进行监督和抽样检查 ,工程的布孔、造孔、工艺操作、浆液性能、综合控制情况、各孔终止灌浆均达到的标准 ,封孔、灌浆中出现的问题及处理情况等符合设计要求 ,灌浆效果较好。

根据灌浆现场观测和实际调查 ,灌浆后堤身形成一道防渗帷幕 ,说明此次灌浆是很成功的。灌浆结束 1 年后的汛前 ,经骆马湖高水位时的验收钻探测定分析 ,邳洪河大堤的渗漏管涌现象消失 ,由此可见劈裂式灌浆法满足设计要求 ,该法在骆马湖邳洪河大堤渗漏加固中应用效果良好。

(收稿日期 2006-09-07 编辑 熊水斌)

+++++

(上接第 122 页)

参考文献 :

[1] 周红星 ,曹洪 ,林洁梅 .管涌破坏机理模型试验覆盖层模拟方法的影响研究[J].广东水利水电 ,2005(2) :6-10.
[2] 刘建刚 ,陈建生 ,陈亮 .北江大堤石角段基岩渗漏评价及形成机理分析[J].水文地质工程地质 ,2001(4) :23-25.
[3] 杨传敏 .北江大堤石角段仍需加固[N].南方都市报 ,2005-07-13(A9).
[4] 郭清宏 .2005 广东两会焦点提案 :25 亿难固北江大堤[N].南方都市报 ,2005-01-28(A6).
[5] 王著杰 .简述北江大堤埋设测压管的必要性[J].西部探矿工程 ,2003(4) :13-15.
[6] 林忠 ,古晓明 .也谈北江大堤石角段管涌的认识[J].广

东水利水电 ,2005(5) :19-21.
[7] 李宁新 .北江大堤石角段若干地质问题初步分析[J].人民珠江 ,2000(2) :15-18.
[8] 陈建生 ,茹建辉 ,黄春华 ,等 .同位素水文学方法研究北江大堤石角段基础渗漏研究报告[R].南京 :河海大学等 ,2001.
[9] 肖楠森 .新构造分析及其在地下水勘察中的应用[M].北京 :地质出版社 ,1986.
[10] 刘建刚 ,陈建生 .基岩渗漏成因病险堤坝的两个典型实例[J].岩石力学与工程学报 ,2003 ,23(4) :683-688.
[11] 叶合欣 ,黄春华 ,陈建生 ,等 .北江大堤石角管涌多发段基岩地质条件分析[J].水文地质工程地质 ,2003(4) :76-78.

(收稿日期 2006-10-24 编辑 熊水斌)