

# 液压抓斗造塑性砼防渗墙在梅铺水库除险加固中的应用

马 健, 武营军, 丁 晔

(长江勘测规划设计研究院长江岩土工程总公司〈武汉〉, 湖北 武汉 430010)

**摘 要:**以郧县梅铺水库大坝除险加固工程为例,结合工程实际地质及塑性砼防渗墙设计情况,从施工程序、施工工艺、成墙施工难点及对策、塑性砼防渗墙施工过程及质量控制等方面,介绍了液压抓斗造塑性砼防渗墙在土坝加固中的应用。

**关键词:**液压抓斗;防渗墙;塑性砼;水库除险加固

**中图分类号:**TU476<sup>+</sup>.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)08-0064-03

**Application of Plastic Concrete Cut-off Wall Made by Hydraulic Grab in Meipu Reservoir Reinforcement Project/** MA Jian, WU Ying-jun, DING Ye (Changjiang Geotechnical Engineering Corporation〈Wuhan〉, Wuhan Hubei 430010, China)

**Abstract:** Taking the example of Meipu reservoir reinforcement project of Yun Country and combining with the practical engineering geology and the design of plastic concrete cut-off wall, the paper introduced the application of plastic concrete cut-off wall made by hydraulic grab in reservoir reinforcement about construction programs, construction technology, construction difficulties and countermeasures, construction processes and the quality control.

**Key words:** hydraulic grab; cut-off wall; plastic concrete; reservoir reinforcement

## 1 工程概况

梅铺水库位于丹江一级支流滔河下游,郧县城关以北70 km的梅铺镇。梅铺水库坝址以上集雨面积1076 km<sup>2</sup>,总库容2089万m<sup>3</sup>。它是一座集灌溉、发电、防洪、城镇供水等综合效益的中型水库。水库坝址以上主河道多属高山区,平均坡度比降在3‰~7.5‰之间不等,流域内多年平均降雨量841 mm,最大年降雨量1334.5 mm,多年平均径流量8.02 m<sup>3</sup>/s,最大年来水量6.84亿m<sup>3</sup>。

## 2 工程地质

坝址区海拔标高一般190.2~255.4 m,相对高差范围65.2 m左右。出露地层主要为上元古界震旦系上统灯影组(Z<sub>2</sub>)白云质灰岩及白云岩、中生界白垩系上统胡岗组(K<sub>2</sub>hg)砾岩、第四系全新统(Q<sub>4</sub>)冲洪积砂砾层及上更新统(Q<sub>3</sub>)坡洪积粘性土,广泛分布于库区周边丘陵-河流阶地地带,构成库岸及基底。

大坝最大坝高33.0 m,心墙土坝,坝基承载能力较高,应力较小,能满足大坝要求,不存在整体滑动问题。

根据现场压水试验结果,坝基渗水率 $q = 6.71$

Lu,具弱透水性,无不利地质体及构造存在,无不利结构面组合,岩体稳定性良好。

心墙填土为粘性土,棕褐色,稍湿,硬塑状~可塑状,含少量铁锰质结核及碎石(5%),碎石成分为白云岩碎块。天然含水量 $w = 24.3\%$ ,孔隙比 $e = 0.732$ ,塑性指数 $I_p = 13.7$ ,液性指数 $w_L = 0.01$ ,压缩系数 $a_{1-2} = 0.31 \text{ MPa}^{-1}$ ,压缩模量 $E_s = 7.12 \text{ MPa}$ ;从试验资料统计来看,塑性指数在10.9~9.8之间,平均值为13.7,填土由粘土和粉质粘土组成,填土不均匀,粘性一般。土工膨胀试验结果表明,大坝心墙土的自由膨胀率在29%~60%,具弱膨胀性,标贯击数 $N = 6 \sim 16$ 击。心墙粘土实测干容重平均值 $\gamma = 15.70 \text{ kN/m}^3$ ,平均压实度为0.90,未达到压实度0.98的基本要求。

## 3 塑性砼防渗墙的设计

液压抓斗法构筑塑性砼防渗墙布置在坝顶,轴线位于坝轴线上游2.0 m,桩号0+100~500,全长400 m。

### 3.1 墙体厚度

防渗墙厚度是根据破坏时的水力梯度来确定的,其公式为:

收稿日期:2010-03-11;修回日期:2010-07-05

作者简介:马健(1967-),男(汉族),湖北武汉人,长江勘测规划设计研究院长江岩土工程总公司工程师,岩土工程专业,从事岩土工程、水利工程施工技术及管理工,湖北省武汉市解放大道1863号,yueguang\_dy@163.com。

$$B = H/J_{允}$$

式中: $B$ ——防渗墙厚度,  $m$ ;  $H$ ——作用在墙体上的水头,  $m$ ;  $J_{允}$ ——防渗墙的允许坡降。

防渗墙在渗流作用下的耐久性, 取决于机械力侵蚀和化学侵蚀作用, 试验表明塑性混凝土抗机械破坏和抗化学溶蚀破坏的水力梯度都很大, 设计采用  $J_{允} = 80$ 。

根据墙体承受的水头并结合施工机具, 墙体厚度定为 40 cm。

### 3.2 墙体伸入基岩的深度

墙体伸入基岩的深度是根据坝地质条件, 渗透稳定及结构要求确定, 坝基表层为节理裂隙发育的强风化岩层, 渗透性较强, 若墙底伸入基岩的深度不当, 则渗透比降很大, 风化基岩被强渗流冲刷, 仍有发生渗透破坏之虑。因此, 要求墙体伸入强风化基岩 1.0 m。

### 3.3 塑性砼防渗墙设计指标

塑性混凝土是一种水泥用量比较少的粘土类混凝土。由于加入粘土、膨润土后, 降低了水泥胶结的粘结力, 使混凝土的强度大大降低, 并且具有较大的塑性。与普通混凝土相比, 它具有初始弹模低, 极限应变大, 能适应较大的变形, 有利于改善防渗墙体的应力状态, 能节省水泥, 降低工程造价, 同时也具有一定的强度和良好的抗渗性能。

根据湖北省水利设计院对塑性砼在堤基防渗墙工程中的应用研究成果, 同时类比国内已建工程经验, 防渗墙的设计指标为: 渗透系数  $K \leq 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ , 抗压强度  $\geq 3.0 \text{ MPa}$ , 渗透破坏比降  $> 80$ 。

## 4 液压抓斗造塑性砼防渗墙的施工

### 4.1 施工程序

大坝塑性砼防渗墙的施工过程有: 施工准备、液压抓斗成槽、冲击钻冲击基岩、清孔换浆、砼浇筑等工序。具体工艺流程见图 1。

### 4.2 施工工艺

塑性砼防渗墙施工由 0 + 500 桩号向 0 + 100 桩号方向进行, 施工方法为粘土泥浆固壁, 冲击钻配合液压抓斗“二钻一抓”成一期槽和二期槽, 泥浆下直升导管法浇筑砼, 墙段连接采用双反弧桩柱法。

#### 4.2.1 导向墙施工方案

砼防渗墙开工之前, 根据施工强度要求, 完成施工场地平整, 孔口平台、施工导向墙修建, 以及供水、供电、泥浆站、拌合站的安装等工作。

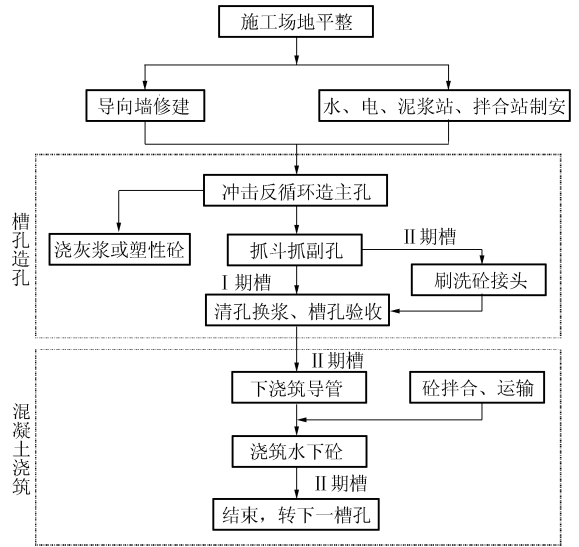


图 1 塑性砼防渗墙施工工艺流程图

具体要求如下: (1) 孔口平台设置在高于槽孔施工期最高洪水位以上; (2) 导向墙施工。

孔口的导向墙基础修筑在稳固的地基上。由于地基土松散, 为了增加地基土强度, 防止成槽时出现坍塌, 将导向墙设计成矩形钢筋砼结构, 导向墙深 1.2 m, 厚 0.6 m, 净宽 0.85 m, 采用钢筋砼导向墙, 导向墙顶部和底部设置纵向受力钢筋, 为使导向墙尽早发挥作用, 在导向墙砼中加入早强剂, 导向墙一次浇筑长度  $\leq 20 \text{ m}$ 。导向墙结构详见图 2。

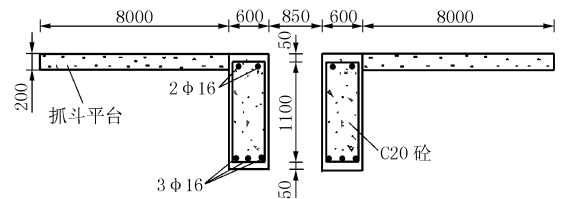


图 2 防渗墙施工平台结构图

导向墙修筑满足下列规定: ①导向墙平行于防渗墙中心线, 偏差不大于  $\pm 1 \text{ cm}$ ; ②导向墙顶面高程(整体)偏差不大于  $\pm 1 \text{ cm}$ ; ③导向墙顶面高程(单幅)偏差不大于  $\pm 0.5 \text{ cm}$ ; ④导向墙间净距偏差不大于  $\pm 0.5 \text{ cm}$ 。

#### 4.2.2 槽孔划分

根据类似工程经验, 槽孔长度拟定为 5 m, 双反弧桩法墙段连接拟定为 0.8 m。

#### 4.2.3 成槽施工

一期槽孔先用一台冲击反循环钻机钻先导孔, 直至基岩面, 然后用 BH12 液压抓斗抓取先导孔之间的土体, 孔口补充固壁泥浆, 最后再用一台 HG600 冲击反循环钻机冲击基岩, 入岩 1.0 m 成

槽。

双反弧桩柱法墙段槽孔施工时,在双反弧钻头两侧装上可拆卸的钢丝刷以洗刷一期槽孔两侧的泥胚,使槽孔接头完整,无夹泥现象。

#### 4.2.4 固壁泥浆

冲击钻造先导孔时固壁泥浆采用孔口直接抛投粘土自身造浆,抓斗成槽固壁泥浆采用 $0.4\text{ m}^3$ 立式高速搅拌机制浆,浆液性能指标达到设计要求。

#### 4.2.5 清孔换浆

当抓斗及冲击钻机成槽至设计深度后,先进行清淤处理直至符合槽孔验收标准,然后下设导管进行清孔换浆,即将导管下至孔底,用泵把性能良好的泥浆经导管送至孔内,由浆液以反循环流动携带钻渣出槽孔,达到清孔换浆之目的。

#### 4.2.6 砼浇筑

砼拌合采用锥形反转出料砼拌合机,砼坍落度控制在 $18\sim 22\text{ cm}$ 之内。浇筑采用直升导管法,导管内径 $\geq 200\text{ mm}$ ,多管浇筑时导管间距 $\geq 3.5\text{ m}$ ,导管距孔端:一期槽孔为 $1.0\sim 1.5\text{ m}$ ,二期槽孔为 $0.5\sim 1.0\text{ m}$ 。控制砼面均匀上升,高差控制在 $0.5\text{ m}$ 内,上升速度一般为 $2\text{ m/h}$ 。导管埋深不小于 $1\text{ m}$ ,不大于 $6\text{ m}$ ,每隔 $30\text{ min}$ 测量一次槽孔内砼面高度。

### 4.3 成墙施工难点及对策

#### 4.3.1 施工中遇到漂石时

(1)用重型冲击锤进行冲击作业,再把击散的土(石)料抓上来。完成特殊地层的槽孔施工。

(2)当槽孔边缘遇有大块石造成槽孔方向偏斜时,向槽内投入卵石、块石,用重型冲击锤冲击这些卵石、块石,将槽孔边缘大块石砸碎,用抓斗抓出。

(3)如漂石过大或呈探头状,采用定向聚能爆破或槽孔内钻孔爆破的方法解决含大孤石成槽问题。

#### 4.3.2 坝基透水性强出现严重坍孔时

(1)尽快补充大密度泥浆稳定孔壁,回填适量的粘土,平衡孔壁土压力;

(2)在泥浆中加入锯末或投放适量水泥封堵渗漏途径;

(3)在泥浆中加入SM植物胶保护孔壁。

#### 4.3.3 保证垂直度,预防孔斜的措施

(1)保证机械底座稳定、牢固和平整,在整个成槽过程中不发生沉陷和变形;

(2)采用短行程冲击,根据垂体定向的原理,利用斗体的自重对土体进行切割;

(3)根据垂体定向的原理采用吊抓限制抓取

率,使钢绳在合斗过程中对斗体的提升始终起作用。

### 4.4 塑性砼防渗墙施工过程及质量控制要求

#### 4.4.1 导墙

导向墙平行于防渗墙中心线,其允许偏差为 $\pm 1\text{ cm}$ ;导向墙顶平面高程(整体)允许偏差 $\pm 1\text{ cm}$ ;导向墙顶面高程(单幅)允许偏差 $0.5\text{ cm}$ ;导向墙间净距允许偏差 $0.5\text{ cm}$ 。

#### 4.4.2 槽孔建造

设置地表水排水系统,防止地表水渗入槽内,以免影响泥浆性能和破坏孔壁稳定。造孔中,孔内泥浆面保持在导墙顶面以下 $30\sim 50\text{ cm}$ 。保证槽孔平整垂直,孔位中心允许偏差 $\geq 3\text{ cm}$ ,孔斜率 $\geq 0.2\%$ ;遇有含孤石、漂石的地层及基岩面倾斜度较大等特殊状况时,其孔斜率控制在 $0.6\%$ 以内。槽孔嵌入基岩的深度必须达到 $1.0\text{ m}$ 。造孔结束后,对造孔质量进行全面检查,经检查合格后方可进行清孔换浆。同一孔钻进使用的抓斗规格必须一致。坝基岩石钻进时,防止产生孔斜和溜坡现象。

#### 4.4.3 清孔换浆

造孔结束并经检查合格后方可进行清孔换浆工作。接头槽孔清孔换浆结束前,使用带刷子的钻头,分段刷洗砼孔壁上的泥皮。刷洗合格标准为刷子上基本不带泥屑,孔底淤泥不再增加。清孔换浆结束 $1\text{ h}$ 后,达到下列清孔标准:孔底淤积厚度 $\leq 10\text{ cm}$ ;当使用粘土泥浆时,孔内泥浆密度 $\leq 1.3\text{ g/cm}^3$ ,粘度 $\leq 30\text{ s}$ ,含砂量 $\leq 10\%$ 。

#### 4.4.4 泥浆

泥浆材料符合下列要求:粘土料宜选择粘粒含量 $> 50\%$ 、塑性指数 $> 20$ 、含砂量 $< 5\%$ 、二氧化硅与三氧化二铝含量的比值为 $34$ 的粘土。膨润土成品料的品质应符合《钻井液用膨润土标准》(SY 5060-35)规定。新制膨润土泥浆或粘土泥浆性能指标,应分别符合《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》(SL 174-96)表4.0.6和表4.0.7的规定。循环使用的泥浆应经常检测其性能,当泥浆性能指标超过规定值时,作废浆处理,废浆应集中排放在监理人指定的地点。配制泥浆的水质应符合《混凝土拌合用水标准》(JGJ 63-89)第3.0.4条的规定。按试验选定的配合比配制泥浆,粘土和水的加料量采用称量计量,加料量误差 $< 5\%$ ,拌制泥浆所采用的外加剂及其掺量通过试验确定。储浆池内的泥浆采用空压机定时冲风搅动,以免结块和沉淀。

(下转第69页)

扰动范围直径约10 m,根据地下扰动范围的异常现场东南西北成正方形布置4个孔,中间布置1孔(如图1所示)。中间孔与周边四孔间距约3.6 m。注浆施工时,我们先施工周边4孔,以形成有效的止浆帷幕,阻挡浆液的外流;再施工中间孔。

### 3.2 注浆施工工艺

在钻孔施工时,不允许冲击钻孔,以防溶洞再次突然塌落。此次钻孔使用的是XY-100型钻机。钻孔孔径为108 mm,周围4孔钻孔深度为8.2~8.5 m,中间1孔钻孔深度为12.5 m(5孔孔深均根据地质雷达资料及钻孔取心综合确定的)。确定孔底均为破碎带相连,孔底沉渣较少。在钻孔之后预埋 $\varnothing 75$  mm PVC管。

在开始注浆前,进行简易压水试验,确定单孔吸浆量,5孔共需要注浆约 $18.6\text{ m}^3$ 。注浆时应先用稀浆,再用浓浆,最后再用稀浆。

注浆时选用一般细度及强度浆材,即用普通水泥、粘土、粉煤灰、砂等作为充填材料。本工程主要采用水泥粉煤灰浆和水泥砂浆两种,填加适量水玻璃速凝剂。在考虑到设计及施工在凝结时间、结石率及结石体强度等方面的要求的同时,配比时水泥的用量尽量少。注浆泵采用ZJ-250/10型变量挡定量泵,其额定排量为250 L/min,注浆泵压力为10 MPa(压力表最大压力指数 $>10$  MPa)。

灌浆压力是给予浆液扩散、充填、压实的能量,压力大有助于提高充实程度和结石体强度,但压力过大,易导致浆液冒入上部地基土中。我们按照相关规范要求按照以下标准控制:灌浆压力达到3.0 MPa持续稳定时间20~40 min,注浆量 $<50$  L/min后才终止注浆。

施工中采用先低后高、先周边后中间的注浆顺序,即先施工周边帷幕孔,使溶洞形成一个周圈帷幕,再施工中上部普通孔,这样,溶洞的充填效果非常明显。

### 3.3 注浆效果

(上接第66页)

## 5 结语

目前该工程施工自设备进场至今,进展顺利,已完成全部防渗墙施工,经质量检测,均已达到设计指标,且未出现异常情况,为该项技术的推广应用取得了宝贵的经验。

在注浆完成之后的2个星期之后,我们对加固区块进行了地质雷达复测,发现路基下溶洞及其扰动区域在雷达剖面上基本没有异常反应。此项目完成2年多以来,没有出现任何质量问题,说明用注浆充填技术处理公路路基下潜伏的溶洞或土洞具有良好效果,获得很好的社会效益和经济效益。

## 4 结语

在岩溶地区溶洞一般较为发育,工程地质条件较为复杂,在基础施工时一定要查清地下地质情况,采取相应的处理方案。利用地质雷达可较清楚的探测出公路路基下溶洞及破碎区的位置及分布范围,进而确定溶洞的大体规模,选择适合的注浆压力及最大注浆量。溶洞破碎区经过稳定性分析,选用水泥、砂石、粉煤灰等进行注浆,可以有效的对其进行加固处理,保证路基的质量与安全。

## 参考文献:

- [1] 刘崧.物探方法在岩溶勘查中的应用综述[J].地质科技情报,1997,(2):38-45.
- [2] Annan AP. Ground-penetrating radar principles, procedures & applications [M]. Canada: Sensors and Software Inc, 2003.
- [3] Davis JL, Annan AP. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy [J]. Geophysical Prospecting, 1986, 37: 531-551.
- [4] 胡朝彬,邓世坤,梅宝.探地雷达在调查地下人工构(建)筑物中的应用[J].工程地球物理学报,2007,4(1):46-51.
- [5] 李铁汉,潘别桐.岩体力学[M].北京:地质出版社,1980.
- [6] 黎斌范,秋雁,等.岩溶地区溶洞顶板稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2002,21(4):532-536.
- [7] 任红旗.煤矿采空区钻孔注浆治理工艺[J].中国煤田地质,2001,13(2):102-103.
- [8] 胡朝彬,邓世坤,王宝勋,等.探地雷达用于人工挖孔桩桩底岩溶探测的应用研究[J].地质灾害与环境保护,2009,20(75):74-78.
- [9] 肖永贵,肖亚辉,等.用注浆法处理采空区[J].湖南交通科技,2002,28(3):19-20.
- [10] 王发民,石永泉,韩永昌.大溶隙岩溶地层的有效钻孔堵漏方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(3):15-17.

## 参考文献:

- [1] 白永年.中国堤坝防渗加固新技术[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [2] 刘才高,夏洪华.混凝土防渗墙在富水水库主坝除险加固中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2).
- [3] 侯敏,赵建平.薄型抓斗在黄冈长孙堤防渗墙工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(S1):284-285.
- [4] 编委会.地基与基础(第2版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [5] 秦训松.在深厚砂层中建造薄型塑性砼防渗墙施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2003,(3):4-6.