

振动切喷技术在重庆草街航电枢纽工程中的应用

战博¹, 段玉凤¹, 曾鹏九²

(1. 华北有色工程勘察院有限公司, 河北 石家庄 050021; 2. 黄河设计公司地质勘察院, 河南 洛阳 471002)

摘要:在振动切刀下部安装有定喷的喷嘴, 振动切槽之前, 超前进行定喷, 将振动切槽与定喷两种工艺综合成一种工艺, 构成一种新的薄防渗墙的施工工艺——振动切喷技术。介绍了该新技术在重庆草街航电枢纽工程中的应用情况, 实践证明, 此工艺提高了防渗墙的施工效率与成墙质量。

关键词:振动切喷; 振动切槽; 定喷; 灌注; 防渗墙

中图分类号:TV543⁺.82 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)01-0049-04

Application of Vibration Cutter with Jetting in Navigation-power Junction of Chongqing/ZHAN Bo¹, DUAN Yufeng¹, ZENG Peng-jiu² (1. North China Engineering Investigation Institute Limited Company, Shijiazhuang Hebei 050021, China; 2. Yellow River Consulting Co., Ltd., Geological Survey Institute, Luoyang Henan 471002, China)

Abstract: Directional jetting nozzles are under the vibrating cutters, directional jetting is carried before vibrating cutting for trenching. Vibrating cutting and directional jetting are combined into one technology; a new construction technology for thin cutoff wall was formed. The paper introduced the application of vibrating cutting technology in navigation-power junction of Chongqing, which improved the construction efficiency and quality.

Key words: vibration cutter with jetting; vibrating trenching; directional jetting; grouting; cutoff wall

1 概述

重庆草街航电枢纽工程是在嘉陵江上修建一座低水头水利工程, 一为通航, 二为发电, 故称航电工程。工程分 2 部分进行, 从中修以临时围堰, 一侧为电厂, 一侧为航道。临时围堰靠右侧, 为枢纽的纵向混凝土围堰和 15 孔泄洪闸混凝土底板的干地施工服务。临时围堰轴线长约 1130 m, 由上横堰 287 m、纵堰 660 m 和下横堰 183 m 组成。堰顶高程 183 ~ 181 m, 平均防渗深度约 10 m, 总的防渗面积约 1.1 万 m²。

防渗深度内的地层自上而下分述如下。

(1) 堰体抛填层。厚 2 ~ 6 m, 主要由右岸边坡开挖的泥岩和砂岩的大岩块组成, 岩石软弱, 中等硬度。施工设计中要求防渗轴线附近抛填只含小块径的碎石土, 实际中轴线上有很多大块径石块, 特别是在上横堰和纵堰的龙口段附近。经过挖沟换填后, 防渗线上的大石块含量有所减少, 仅在较深部位有部分残存, 漏水量极大。

(2) 河床砂卵石层。厚 0 ~ 7 m, 卵石粒径多在 100 mm 以内, 150 ~ 200 mm 以上的漂石也占一定比例。卵石的原岩为石英岩、石英砂岩等坚硬岩石, 磨圆良好, 属强透水层。

(3) 基岩系侏罗纪的泥岩和砂岩, 表面多风化, 属软岩, 为弱透水层。在急流和深槽部位, 部分堰体直接覆盖在基岩上。

(4) 坡积碎块石层分布在近岸坡的 50 m 内, 尤其是下游岸坡部分分布较厚, 透水性极强。

设计对防渗墙没有提供具体参数与工艺要求, 也没有提供有关轴线地质资料与剖面图, 仅要求基坑最终抽水量 < 1500 m³/h。

针对上述情况, 要以最短的时间, 保证质量完成该临时围堰防渗墙的施工, 采取了优势互补, 把施工工效最高、质量最好的施工方法——振动切喷与可控灌浆结合、振孔高喷与可控灌浆结合, 历时 26 天, 高质高效地完成了任务。

振动切喷技术适用于标贯击数 $N_{63.5} \leq 18$ 的土层, 如粘土、砂土、壤土、淤泥、砂壤土、粉质粘土、砂层和含少量砾石的松散地层。可建造连续混凝土防渗墙、塑性混凝土防渗墙或土工模防渗墙。

振动切喷工艺造墙深度一般在 25 m 以内, 厚度 8 ~ 20 cm, 可以说是最薄防渗墙的修筑工艺之一。可广泛用于堤防防渗墙或水力坡比不大的临时围堰防渗墙等。不足之处是对卵石含量高、有大漂石的地层以及基岩(软岩可以短距离的切入)等, 振动切

收稿日期: 2009-06-23; 修回日期: 2009-11-26

作者简介: 战博(1981-), 男(汉族), 吉林珲春人, 华北有色工程勘察院有限公司天津市场开发部主任、助理工程师, 勘察技术与工程专业, 从事岩土工程工作, 河北省石家庄市汇通路 39 号, zhanbo121@126.com。

喷成墙困难较大或不能进行封闭。

2 振动切喷防渗墙的施工原理

振动切喷是在振动切槽的切刀下约0.5 m的距离,安装2个相隔180°的喷嘴,与切刀在同一轴线上(见图1)。切刀未切入原始土层之前,喷嘴超前先进入原始土层,超前对土层进行定向喷射切割,可降低切刀切入阻力。

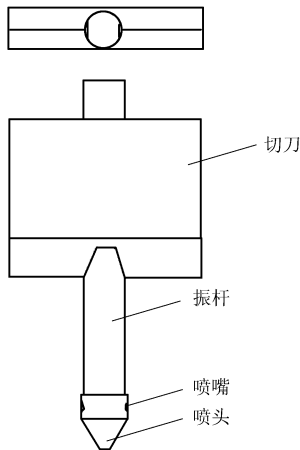


图1 振动切喷钻具图

槽深达到设计要求后,通过振管与切刀的通道,由喷嘴向下灌注浆液,灌注的同时提升振管。振管提出槽口,即修筑了一小段灌满浆液的防渗墙。若干个小槽段地下墙相连,即形成地下连续的防渗墙。其工作原理如图2所示。

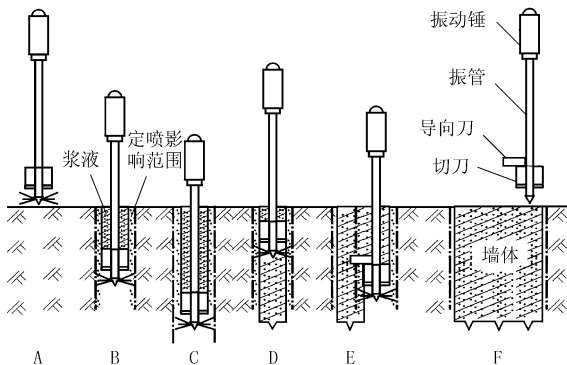


图2 振动切喷防渗墙施工原理图

2.1 超前土体定喷切割

由于喷嘴超前切刀,切刀未切入之前,喷嘴先由空气包裹的浆液进行高压定向喷射,对土体进行切割破坏,空气与部分浆液上返,被切割的土体变得松散,对于密实土层、砾石层、砂层,能显著提高成槽效率。

2.2 切刀振动沉入

定喷自身能形成很薄的防渗墙,但有些工程仍

需要一定厚度的防渗墙,这个厚度又不是很大,则跟进切刀成型是最好的办法,切刀厚度可根据防渗墙厚的设计要求而定,本工程切刀厚为15 cm。

切刀的沉入是由振动所控制的,振动使摩擦阻力降低。如果在饱和土中受到振动,振杆的强迫振动频率与土体的自由振动频率接近时,土体则会发生共振,产生液化。土颗粒中的结合水析出,土颗粒间的粘结力急剧下降,土体与切刀刃部分表面的摩擦力大大降低,切刀靠振管与振动锤的自重就能很容易沉入土层。

振动切刀挤入有以下3种作用:

(1) 挤密作用。切刀沉入,不排出土渣,完全是挤开土体,向下沉入。故两侧土体受压而密实,受挤压的范围为墙厚的2~3倍,使土体孔隙率降低,密度加大,有利于槽壁的稳定与墙边土体的防渗^[2]。

(2) 振浮作用。切刀通过振动,使周围土体内超孔隙水压力升高,促使土粒间结构力破坏,形成新的稳定结构形式。

(3) 固结作用。砂土地层中,在其上覆有效应力作用下,超孔隙水压力消散时,将产生排水固结压密。

在上述作用下,提高了墙两侧土体的防渗能力,增加墙两侧土体的渗流稳定性,使槽壁稳定,不易出现塌槽。

2.3 提升定喷灌注

切刀到达设计深度后,提升振管,同时可由振管向槽内灌注水泥浆。切刀下有40 cm没有切到的土层,但定喷会对土体进行切割并注浆,仍可形成封闭墙。

2.4 对浆液的振捣作用

振动切喷无需分序施工,在振动沉入过程中,对上一个槽段已注入的浆液有连续振捣作用,使墙体内部浆液充分振捣密实,气体充分的排出,有利于提高墙体的抗渗性能与强度。

2.5 浆液护壁作用

振动切喷因切刀要比振管宽很多,切刀宽0.7~0.9 m,振管直径一般不超过切刀厚度。切刀过后,其上部挤出的槽段空间,浆液会立即填入,起到护壁作用(因浆液密度在 1.35 g/cm^3 以上),而无需另采用专门泥浆护壁。

2.6 墙体的连续性

第一个切喷槽段完成后,槽内充满了浆液,此时可立即进行第二个序槽的切喷,为使各切喷槽段有完好的连接性,在切刀上安装一导向刀,当第二个序

槽切刀下沉时,导向刀即在已形成的槽段内起着导向连接作用,而且切刀与上槽段重叠 10 cm,确保墙体不开叉。每一切喷槽段所需工时很短,一般仅为 5~8 min,灌注到槽内的浆液还没初凝就连续完成了另外多个切喷槽段,定喷压力达 20~35 MPa,其影响半径比切刀大。当第一个槽孔灌注之后,往下槽孔定喷的影响范围,几乎可以串过 1~2 个切刀段,使单个切刀槽孔能有效的连接起来,保证墙体的连续性,每个槽段内的浆液都得到了振动搅拌密实,

均能混为一体。

3 施工设备

3.1 振动切喷机

振动切喷机与振动切槽机只需略加变更便可以通用,振动切喷机的机架较高,可达 30 m,一根喷管即可到设计深度。机上有主副 2 个卷扬,并有液压系统,可使振动切喷机自身爬行。本工程采用的 DY-90 型振动切喷(槽)机主要技术性能见表 1。

表 1 DY-90 型振动切喷(槽)机性能表

切槽深度 /m	切槽宽度 /cm	导架高度 /m	主卷扬起重力 /kN	主卷容量 /m	副卷扬起重力 /kN	副卷容量 /m	切槽工效 / $(m^2 \cdot d^{-1})$	功率 /kW	外形尺寸(长×宽×高)/m	总质量 /kg
28	5~25	31	100	100	30	100	1500	180	9×6×31	40000

注:导架高度可根据需要进行调整。

(1)振动锤是切槽机上的重要构件,对切槽效率有着重要的影响。该机选用的是 DZJ 型双动力中心孔垂直定向振动锤,根据墙深与土体情况,功率可在 60、90、120 kW 之间选用。振动锤利用滚轮在高架的导杆上滑行。

(2)振动切刀与振管:振动切刀由厚 10 mm 钢板焊接而成,振管选用 DZ 型厚壁钢管,规格为 $\varnothing 108$ 、127、159 mm 三种,可根据不同墙厚、墙深以及振动锤功率大小选用。

3.2 空压机

根据施工条件、工程量的大小以及技术要求进行选用。以 1.2 MPa 的高压空压机为首选。

3.3 高压泥浆泵

优选天津产 XPB-90E 型高压泥浆泵,压力 45 MPa,流量 95 L/min,采用调速电机控制流量。

4 施工工艺

4.1 施工前的试验

振动切喷在施工前,应在防渗墙附近或线上作施工试验,以验证设计的可行性,并提出切实可行的施工参数,提出试验报告后,修正业主的施工设计与施工单位提出的施工组织设计。

试验报告内容包括:成墙方法的可行性、成墙材料试验配比、抗压强度试验、墙体质量、渗透试验与合理的工艺参数等,并由监理工程师批准执行。

4.2 施工工艺流程

振动切喷施工工艺流程如图 3 所示。

4.3 开导槽

以防渗墙中心线为准挖宽 20~30 cm、深 40~50 cm 的施工导槽,长约 20 m 隔槽一次(即在槽中

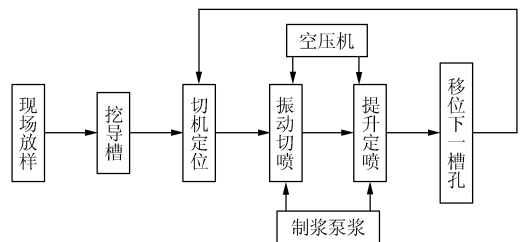


图 3 振动切喷工艺流程图

每 20 m 设置一小隔墙,以防止大面积跑浆)。

4.4 施工移位放样

由于有导槽,切刀孔位无法放在防渗墙轴线上布置,只能从旁侧辅助定位线引导过来(见图 4)。

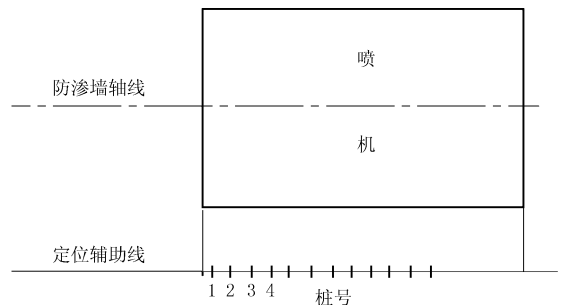


图 4 振动切喷辅助线定位放样图

4.5 调整振动切喷机的垂直度

切喷机到位后,利用 4 个垂直油缸,将高架调垂直,用经纬仪进行校正。然后将高架上的水准气泡调中,再移动孔位时,只须用垂直油缸调整水准气泡居中,高架就能垂直。保证槽孔的垂直度。

4.6 泵浆试验

开机之前,需配制好浆液。按水灰比搅拌控制好,并测试浆液密度,一般控制在 $1.35 \sim 1.5 \text{ g/cm}^3$ 。

4.7 振动切喷成槽

开机前,地面试喷以检查管路与喷嘴是否通畅(图5),向槽内送浆后,需保持槽口浆液面,以保槽段不坍塌。振动切入速度可根据土层地质情况与槽口供浆量控制。



图5 振动切喷地面试喷图

振动切喷到设计深度后,停止振动,提升切刀,通过振管不停地向槽内注浆,第一个槽孔,切刀是满眼成槽的,提升速度 ≥ 30 cm/min,第二个槽段开始,由于与上个槽段相通,则可以提高提升速度到1 m/min,只须槽口能保证浆面的高度即可。

4.9 第二个槽段的振动切喷

第二个槽段施工前,需重新安装导向头。位移到第二个槽孔时,除将导向头完全置于第一个槽段内,还需将切刀长度的10 cm左右也置于第一个槽段内,以保证相连槽段不开叉。振动切喷常用技术参数可参考表2。

振动切喷进入第二槽段,当墙深 ≥ 10 m时,可不安装导向管,但要保证切刀不会转动,定喷流与切刀纵中心线重合,确保防渗墙连续性。

5 施工特殊情况的处理

5.1 遇卵石、大块石

4.8 提升切刀定喷注浆

表2 振动切喷常用技术参数

槽孔间距 /m	重复段长 /cm	切刀厚度 /cm	浆液密度 /(g·cm ⁻³)	浆量 /(L·min ⁻¹)	浆压 /MPa	切喷切入速度 /(m·min ⁻¹)	提升速度 /(m·min ⁻¹)	振锤功率 /kW
0.4~0.8	10~15	8~30	1.35~1.6	70~150	10~35	≈8	0.3~1	90

注:土层不同可采用不同参数。

施工中经常遇到块石与卵石,此时振管会有明显的跳动,必须立即减压,降低切刀沉入速度。因为强烈的振动有可能损坏切刀与喷嘴头,还可能挤开块石卵石,造成槽孔的偏斜。在反复穿越不成功时,采用移位绕行的措施,同样可以保证防渗墙的封闭。

5.2 缩径槽段

如有缩径地段,则需观察注浆量的大小,当注浆量小于槽的容积时,说明缩径,应立即采取措施。安装多片刮刀,反复穿越,将刮下的缩径土提出槽口,用振动将刮刀上的土体振下,然后再进行刮削。

5.3 病险堤坝防渗墙的浇灌

堤坝有渗漏、管涌和地下洞穴。尽管无压注浆,耗浆量也很大。此时,可掺入1%~3%的水玻璃,并采用反复灌浆与间歇灌液,直至反浆为止。

6 施工效率

2005年秋季正逢嘉陵江水大,围堰戗堤进占自2005年11月2日和5日分别从上游和下游两端开始,11月20日在桩号0+850附近合拢,当施工平台部分完成后,第一台振动切喷机于11月26日在纵堰的0+440附近开始振动切喷施工,第二台振孔高喷机于11月29日开始振孔高喷施工。11月26

日起可控灌浆从纵堰全面展开。至12月10日总量约1万m²的防渗工程全部完成,基坑开始试抽水。经过11天的试抽和补充性防渗工作,于12月21日围堰闭气,同时约15万m²基坑内近30万m³的坑内积水全部抽干,围堰总渗透量降至1000 m³/h以下。防渗工程开始至基坑内积水抽干,历时26天,共使用一台振孔高喷机,一台振动切喷机(仅工作20天),二台可控灌浆设备,实现了大型水电工程围堰防渗施工少见的高速度^[1]。

7 墙体质量标准

- (1)单轴抗压强度: $R_{28} = 2 \sim 6$ MPa;
- (2)弹性模量: $E = 1000 \sim 4000$ MPa;
- (3)渗透系数: $K \leq i \times 10^{-7}$ cm/s;
- (4)允许比降: $J \geq 100$ 。

8 振动切喷防渗墙的施工特点

工程实践证明,振动切喷防渗墙施工具有以下特点。

- (1)质量可靠。振动切喷建成的墙体连续性好,无接缝,无横向开叉。墙面平整,厚度均匀,同时不会出现断墙断桩。

(下转第56页)

(4) 钢笼掉落时往往拉弯悬挂插杠并连同落入孔内,酿成事故,因而必须采用高强度杆件,如采用一组两根规格为 15~20 号槽钢或 $\text{Ø}75\text{ mm} \times 6.5\text{ mm}$ 无缝钢管并内穿 $\text{Ø}60\text{ mm}$ 钢管加强的高强度插杠等,其长度应大于孔径 1 m,另外,尚须以角钢把钢筋笼和钢护筒连焊在一起,以防钢筋笼掉落。

2.3.3 处理办法

2.3.3.1 钢筋笼脱逃处理

发生钢筋笼掉落事故,应迅即测定钢筋笼脱落后的笼顶深度,若笼顶位于孔口以下 3 m 之内,可将砼灌至笼顶以上 1 m,7 日后做开挖接笼处理。若钢筋笼掉落较深,可迅即加工一节直径略小的长度适宜的钢筋笼,从原笼中空下入,并保证上下搭接长度 1 m 以上,重新固定笼顶后灌注成桩。

2.3.3.2 混凝土流失处理

(1) 混凝土流失量不大,砼面未低于导管底口,可迅即组织调入足量混凝土灌注成桩。

(2) 万一发生巨漏连带的断桩事故,可采用下列处理方法:

精确测定砼面高度,将导管下入所测砼面以下 0.5 m,并将漏斗悬高 0.5 m,采用加大初灌量的传统做法,按自由落体折减计算排开导管内泥浆的时间,当下行砼流排开管内泥浆和浮浆后迅速下插悬高的 0.5 m 余量,使导管底口深埋 0.5 m,并进入纯砼之中,此时新砼老砼亲和,灌完首斗砼后已基本完成接桩程序,但为了稳妥,可再加长 1 m 导管,加大埋深 1 m,之后按常规操作并保持埋管深度在每次

拆管后不少于 3 m,确保新灌砼始终顶升离析砼并同步上升,终止时须排掉 3 m 以上浮浆和离析砼浆,以保证接桩的可靠性和成功几率。

(3) 处理后的桩若经检测不能满足设计要求,则需断然重冲处理。

3 结语

(1) 在岩溶地区施工桩基,必须按一桩一孔布置超前岩心钻探,获取直观的岩土勘察资料,以指导施工。

(2) 直径 110 mm 的超前钻孔资料尚不能代表整个桩孔断面形态,终孔后必经探测判定无溶洞存在时方能终孔,否则加深施钻。

(3) 把纠偏工作做为岩溶地区成孔中重点技术攻关课题,处理原则是:十字护桩定位,逢偏必纠及时,方法因况而异,严控一纠到底。

(4) 按照“标本兼治”的原则,采取积极措施,防止或减免混凝土灌注中因溶洞洞穿导致的成桩事故并稳妥处理,以减少损失。

参考文献:

- [1] 陆祖安,龙立民.岩溶地层大口径钻孔的防斜治斜实践[J].探矿工程,2002,(1):30-31.
- [2] 徐月松.岩溶地区高层建筑桩基的桩型选择与施工[J].探矿工程,2000,(6):17-19.
- [3] 何建文,何文生.岩溶发育区冲击成孔灌注桩事故防治[J].探矿工程,2000,(6):20-22.

(上接第 52 页)

(2) 施工方法简单。施工方法简单,操作容易,当切刀沉入设计深度后,送浆量加大的同时,切刀向上提升,提出槽口,即成段墙,不需置换与专门的浇注。

(3) 可施工最薄的防渗墙。切刀厚度即是防渗墙的厚度,所以非常适于修筑薄防渗墙,最薄可达 8 cm。在低水头坝防渗墙和堤坝防渗墙的施工中有广阔的市场。

(4) 施工效率高。振动切喷的成墙效率很高,平均成墙效率在 $500\text{ m}^2/\text{d}$ 左右,最高连续成墙效率可达 $1500\sim 2000\text{ m}^2/\text{d}$ 。

(5) 无污染。振动切喷无需护壁,成墙浆液也始终不出槽口,这种优越性只有振动切槽、振动切喷与振动沉模的成墙方法所具有,其它的施工方法无

法比拟。

(6) 造墙成本低,设备少,投入低。比高压旋喷造墙成本低约 30%,比薄壁抓斗造墙成本低约 20%。

9 结语

该工艺构思新颖、工序简单,开创了建造地下薄防渗墙的新途径。其有很强的适用性,应大力推广应用。

参考文献:

- [1] 曾鹏九.防渗墙的施工技术最新模式[J].水力发电,2008,(1):60-63.
- [2] 孙灵慧,李云崖,王开兰.切槽成墙技术在堤防工程中的应用[J].西部探矿工程,2001,(2):8-9.