

振动切槽防渗墙施工技术

段玉凤¹ 战博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】近年来出现了很多修筑防渗墙的新技术,振动切槽就是其中之一。介绍了成墙原理、工艺、设备等。该方法简单实用,效率高,质量稳定,在砂层、土层施工中,已初露锋芒,有着广阔的应用前景。

【关键词】 振动切槽;防渗墙;切槽工艺;质量控制

【中图分类号】 TV 543.85

【文献标识码】 B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2009.05.011

Technology of Cut off Wall Construction by Vibrating Grooving

Duan Yufeng¹ Zhan Bo¹ Zheng Pengjiu²

(1. North China Engineering Investigation Institute, Shijiazhuang 050021, Hebei, China;

2. Institute of Geological Survey, Yellow River Design Co., Ltd., Luoyang 471002, Henan, China)

【Abstract】 There were lots of new technologies on cut off wall construction in which vibrating grooving was one. Wall formation principal, processes and equipments were introduced in this paper. Vibrating grooving is a technology of simple and practical, high efficiency and quality stability, which has been applied to sand and soil layer construction and has wide application prospect.

【Key words】 vibrating grooving; cut off wall; slotting process; quality control

0 引言

振动可以成孔、成桩,同样的道理,也可以将一矩形切刀,振动切入土层,这样可以将防渗墙修筑得很薄,而又能获得很好的经济效益。这就是振动切槽修筑防渗墙的施工法。

切刀通过刚性很强的振管联接着振动锤,振动锤的振动便可将切刀沉入地下(见图1),达到设计深度后,即可提升切刀,在切刀沉入与提升时,通过



图1 振动切槽施工图

振管与切刀的通道,向下灌注浆液,切刀提出槽口,也就修筑浇注了一小段灌满浆液的槽段。若若干个相连小槽段的地下墙,即可形成地下连续的防渗墙,便为振动切槽浇注防渗墙。

振动切槽虽与振动沉模有某些相似之处,但仍有很大的区别,振动沉模是将一与墙深相同长度的空心模板,振动沉入土中,在提升过程的同时,从空心模板中灌入浆液。而振动切槽是用振管连接一矩形切刀,高不过0.5m,宽不超过1m,振动切入土中,通过振管灌入浆液,与振动沉模相比节省了大量能源,效率有所提高,成本也有所下降。

这种工艺构思很新颖,具有工序简单、成墙质量好、效率高、成本低、对环境无污染等诸多优点,通常用它修筑混凝土防渗墙,或者塑性混凝土防渗墙,此工艺开创了建造地下薄防渗墙的新途径。

该新技术适用于标贯 $N_{63.5} \leq 18$ 的土层。如砂土、壤土、淤泥、砂壤土、粉质粘土、砂层和含少量砾石的松散地层。

振动切槽工艺造墙深度一般在 25 m 以内,厚度可以从 5~25 cm,可以说是最薄的防渗墙修筑工艺之一。可以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。不足之处是对砂卵石层,有大漂石的地层以及基岩,振动切入均很困难。

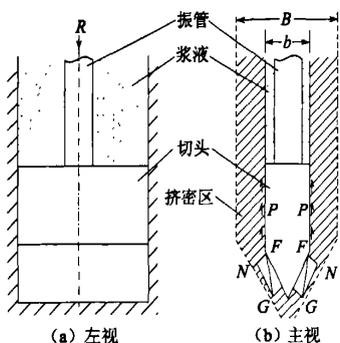
2000 年 4 月由国内著名专家学者鉴定的时候,该工艺创始研究不到 10 年,但已经完成了约 20 万 m^2 的工作量,几乎获得了所有业主的好评。均为优质工程。以马云良为主任委员、陈文斌、蒋振中为副主任委员为首的鉴定委员会一致认为:“该项技术工艺成熟,技术含量高,设备较为完善,适用于我国国情”。“该项工艺及设备为国内首创,达到国际先进水平”(鉴定书摘录)。评委们给予了很高的评价。

2000 年 8 月振动切槽施工法获得第九届中国专利新技术新产品博览会特别金奖。

1 振动切槽防渗墙的施工原理

振动切槽防渗墙的施工原理是利用振动锤,产生强大的激振力与振幅,将切刀挤入地层。振动锤的技术性能、振动体系的质量、土层的性质以及操作的技术参数等直接影响着切刀的切入速度。

切刀在振动力作用下,激振力 R 大于三种阻力之和。三种阻力为刃面的法向力 N 、刃面的磨擦力 F 的竖向分力、切刀周边的磨擦力 P (见图 2)。激振力克服了这些阻力,带来的振幅使土体的粘结力被切割,此时切刀便能沉入下切,如果相等平衡时,则振幅会小到接近于零,此时切刀便不能下沉,而平衡在原地^[1]。



R —激振力; B —挤压区宽度; b —防渗墙厚度

图 2 切刀挤压沉入受力图

此外,振管与切刀受到振动时,其振动频率与土体的自由振动频率接近时,土体则会与其产生共振,这当然是指土体处于饱和状态下。此时,土颗粒中的结合水析出,它们之间的粘结力会急剧下降,使其 P 值等于“0”,其间与切刀刃部分表面的摩擦力也会

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。

1.1 切刀切入的挤压作用

1.1.1 挤密作用^[2]

切刀沉入,不排出土碴,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 3~4 倍,此有利于槽壁的的稳定与墙边土体的防渗。

1.1.2 振浮作用

通过振动锤的振动,使周围土体内超孔隙水压力升高,促使土粒间结构力破坏,再形成稳定的结构形式。

1.1.3 固结作用

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

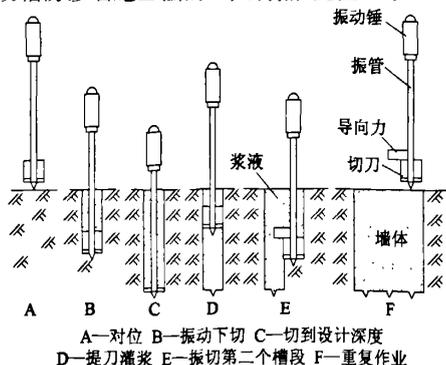
在上述三个加密作用下,都可以提高墙两侧土体的防渗能力,增加墙两侧土体的渗流稳定性,使槽壁稳定,不易出现塌槽。

1.2 槽壁的稳定

振动切刀切槽的速度很快,切刀过后的槽孔无需泥浆来护壁,而是利用其成墙材料的水泥浆液,在振动切槽的同时通过振管注入槽内。由于这种防渗墙是一种先成槽、后成墙的灌注施工方法,故其水泥浆液的密度较大,一般为 1.6 g/cm^3 左右,几乎接近土体密度,注入槽段后,有非常可靠的稳定槽壁作用。

1.3 浆液浇注

振动切刀沉入到设计深度后,即停止振动,上提切刀,无论是在切刀沉入与提升中,都需向槽内注入浆液。即成槽与浇注是紧密相连的,比一般的“两冲一抓”施工、挖槽与浇注分成两个工序的施工方法,效率高出很多,也有利于提高防渗墙的质量,此为振动切槽防渗墙施工法的一大特点(见图 3)。



A—对齐 B—振动下切 C—切到设计深度
D—提刀灌浆 E—振切第二个槽段 F—重复作业

图 3 振动切槽防渗墙施工原理图

1.4 墙体连续

第一个切刀槽段完成后,切刀提出槽口,移振动切槽机,便可立即进行第二个切刀槽段的施工。为了使各切刀槽段有完好的连续性,施工第二个槽段时,要在切刀上安装一导向管(见图 1),导向管在已完成的槽段内起着导向作用,确保槽体的整体连续,不开叉。

1.5 振捣密实

每一切刀槽段施工所需工时很短,一般仅为 3~5 min,灌注到槽内的浆液还末初凝,就能得到下一个槽段振动切入时的捣实,连续多个槽段的振动切刀,每个槽段内的浆液都得到了振动捣实,密实地混为一体,不会出现空洞,不会出现槽段的连接缝问题,可保证整个墙体的连续性与完整性(见图 4)。



图 4 开挖出的振动切槽防渗墙墙体

2 施工设备与工艺

2.1 施工设备

振动切槽防渗墙所需设备很简单,主要设备是振动切槽机(见图 5)、振动锤、泥浆泵、搅拌机、振管、切刀等。

振动切槽机的机架高可达 35 m,一个立根到达设计深度。机上有主副两个卷扬,并有液压系统,有油压步履机构,振动切槽机可自身爬行,其主要技术性能见表 1。

表 1 DY-90 振动切槽机性能表

项 目	指 标	备 注
切槽深度/m	28	
切槽宽度/cm	5~25	
导架高度/m	35	可根据需要调整
主卷扬起重/kN	100	
主卷容量/m	100	
副卷起重/kN	30	
副卷容量/m	100	
切槽效率/(m ² ·d ⁻¹)	1500	最高可达 2000
功率/kW	180	
外形尺寸/m (长×宽×高)	9×6×35	
总质量/kg	40000	

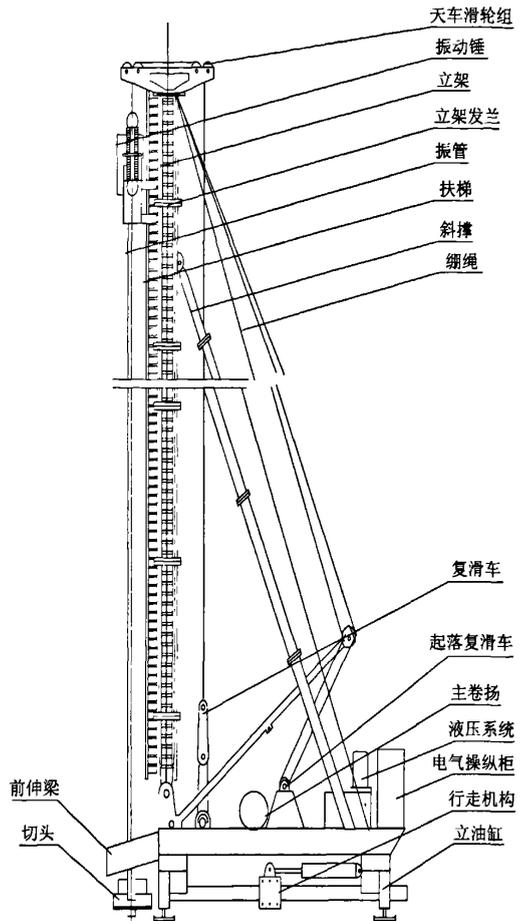


图 5 振动切槽机全图

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。目前国内有专业的工厂生产振动振动锤,型号有 DZ 型、DZJ 型、DZKS 型、HFV、SH 型等。

振动切槽机上采用 DZJ 型,它是一种双动力带有中心孔的垂直振动锤,振管便于通过中心孔,安装方便。锤的功率有 60 kW、90 kW、120 kW 等,可根据防渗墙的深度与土体情况进行选择,一般多用 90 kW。振动锤利用滚轮在高架导杆上滑行。

振管选用厚壁钢管,规格为 φ108 mm、φ127 mm、φ159 mm、φ168 mm 四种,根据不同墙深、墙厚以及振动锤的功率进行选用。

切刀根据墙厚设计制作,宽度一般为 0.7~0.9 m,高 0.5~0.6 m,由钢板焊接而成。切刀为空心。

泥浆泵可根据施工条件与技术要求进行选用。

2.2 施工工艺

施工前的试验:由于防渗墙是隐蔽工程,不可能进行全面直观的质量检查,因此施工前应进行小区

的施工试验。需在防渗墙附近或轴线上作施工试验,以验证设计的可行性,并提出切实可行的施工参数,最终提出试验报告,修正设计或者是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;墙体抗压强度试验;墙体完整性与连续性;墙体渗透试验与合理的工艺参数等。

振动切槽施工工艺流程见图6。

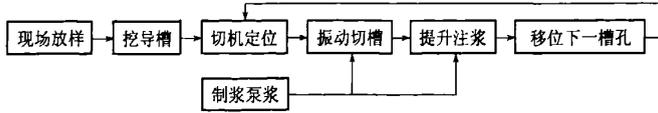


图6 振动切槽工艺流程图

2.2.1 开导槽

以防渗墙中心线,挖宽80~100cm、深40~50cm的施工导槽。

此导槽的目的是为了在振动切槽与提升注浆时,检查注浆面高低,是否满槽。从而决定提升速度与供浆量的协调配合,保证浆液量充足,不会引起槽壁坍塌与断墙。

2.2.2 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,只能从旁边的辅助定位线引导过来。在振动切槽机的前后,引出加长杆,以重锤定于辅助线上,辅助线与防渗墙轴线平行,上定有孔号,重锤便可标定孔位。

2.2.3 调整振动切槽机的垂直度

切槽机到位后,利用切槽机四个垂直油缸,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,只须利用垂直油缸调整水准气泡居中,高架就能垂直。从而使钻孔垂直。

2.2.4 泵浆

振动切槽开机即要使用水泥浆液,所以在开机之前就需配制好浆液。按水灰比搅拌均匀,并测

试浆液密度,控制在1.6~1.65g/cm³。

2.2.5 振动切槽

开机之前,试送浆液,以检查管路是否通畅,然后开机振动切槽,开始向振管内送浆,需保持槽口浆液面满槽。振动切入速度可根据土层地质情况与槽口供浆量来控制。可高速沉入,提高效率。

2.2.6 提升切刀与注浆

振动切槽到设计深度后,停止振动,提升切刀,同时向槽内不停地注浆,要注意第一个槽孔,切刀是满眼成槽的,提升速度不宜过快,一般控制在30~50cm/min。过快恐形成抽吸,造成切刀下槽段坍塌,或槽壁收缩。同样在切刀提升时需保持槽口的浆液面。当进行第二个槽段时,由于与第一个槽段相通,不可能再形成抽吸,就可以提高提升速度至1m,甚至更快。

2.2.7 第二个槽段的振动切槽

第二个槽段施工前,需安装导向管。位移到第二个槽孔时,除导向管完全置于第一个槽段内,还需将切刀长度约10cm左右也置于第一个槽段内,以保证相连槽段不开叉。调整好高架垂直度,便可进行第二个槽段与以下槽段的施工。

振动切槽常用技术参数可参考表2。

表2 振动切槽常用技术参数

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	切槽切入速度 /(m·min ⁻¹)	提升速度 /(m·min ⁻¹)	振锤功率 /kW	备注
0.4~0.8	10~15	5~25	≥1.6	60~120	3~5	3~8	0.3~3	90	切入与提升可酌情调整

2.3 浇筑塑性混凝土

如果用振动切槽修筑塑性混凝土防渗墙,那只需按塑性混凝土的配比进行制浆即可,其它工艺无区别。

3 施工特殊情况的处理

3.1 致密土层的振动切槽

致密土层强度较高,孔隙率小,在振动的影

响下,地层自由水析出量少且慢,无疑对振动切刀的沉入阻力会加大。此时,可考虑在切刀部位进行高压喷射浆液,构成对土体的切割,并形成高饱和度,使切刀顺利振动切入。

3.2 遇卵石、大块石的振动切槽

振动切槽工艺不适宜于块卵石地层,在偶然遇

到块卵石时,振管会有明显地跳动,强烈振动有可能损坏振管与机械设备,应立即减压减振,慢速试沉,以试图挤开块卵石。如果不成功,则应拔出切刀,从一旁绕切沉入。但需注意槽段的连续性与墙体的封闭性。

3.3 缩径槽段的振动切槽

如果地质资料表明,振动切槽的地段为缩径土层,可事先采取措施。如果没有地质资料,可以观察注浆量的大小确定槽孔是否缩径。当注浆量小于槽的容积,就说明缩径了,必须安装多片刮刀(见图7),反复地振入与提升,每提升刮一次缩径土都需提出槽口,薄钢板复盖槽口,用振动将刮刀上的土体振下,然后再振动沉入刮削,直到刮刀上没有土存量为止。



图7 缩径地层振动刮刀切槽施工图

3.4 砂层的振动切槽

砂层由于松散,一旦受振动很容易液化,但如果沉入速度过快,控制不好,也可能造成砂层的压实,而无法再继续沉入。因此,砂层的沉入速度不可太快,同时也可以切刀底部用喷射水流的办法,助以切刀的沉入。切刀上部仍注以浆液。

3.5 病险堤坝防渗墙的浇灌

病险堤坝一般多指堤坝有渗漏、管涌和地下洞穴。尽管注浆压力很小,耗浆量仍很大时,可掺入1%~3%的水玻璃,加大浆液密度或掺粒度小于2mm砂石,采用反复灌浆与间歇灌浆,降低提升速度。直至槽孔口反浆,方可进行正常施工。

4 质量控制

4.1 垂直度的控制

振动切槽防渗墙为薄防渗墙,如果垂直度得不到保证,就有可能出现严重的质量问题。除了上面提到的高架校直外,每个孔都需认真进行校直。

在焊接振管过程中,应对其平直度进行校正,不得弯曲。在地基很软的区域进行振动施工时,有可能出现不均匀沉陷,尽管一个孔只要几分钟,也应在施工过程中要加强对水准气泡的检查,防止桅杆的倾斜。

4.2 墙体开叉的质量控制

第二个槽段开始安装导向管,导向管要焊接牢固,并有支撑架。由于振管上切刀的位置控制是由液压力头控制的,如果液压元件出现问题,或者在振动切槽过程中,遇强阻力,切刀有可能发生偏转,造成切刀的摆动,有可能影响墙体的连续性,操作者必须引起高度的注意。遇此情况,必须上下多穿越几次,提出槽口校正切刀后,再次进行振动下切。

4.3 浆液的质量控制

振动切槽是一种低压灌注浆液,而不是喷灌,浆液的密度比较大,如果遇到空洞,耗浆量很大,可增添添加剂或砂子等。必须注意观察浆液面保持在导槽的高度,也不溢出导槽外。

4.4 墙厚的质量控制

切刀的厚度就是防渗墙的厚度。因此,切刀必须有一定的刚性,运作中不得发生变形。

4.5 入岩的质量控制

振动切槽入岩石是非常困难的,除非是软弱的基岩。所以,振动切槽最适宜修筑悬挂式防渗墙,或者是下层有粘性土的隔水层,修筑半封闭式防渗墙。如果基岩坚硬,需修筑封闭式防渗墙时,可考虑灌浆工艺进行连接封堵。

4.6 墙体可达质量标准^[2]

- 1) 单轴抗压强度: $R_{28} = 2 \sim 6 \text{ MPa}$
- 2) 弹性模量: $E = 1000 \sim 4000 \text{ MPa}$
- 3) 渗透系数: $k \leq i \times 10^{-6} \sim i \times 10^{-8} \text{ cm/s}$
- 4) 允许比降: $J \geq 100$

5 工程实例

1) 湖北黄冈的黄冈堤段和安徽同马大堤的皖河北场等堤段防渗墙,采用振动切槽施工,质量优良。

2) 1999年1月~5月江西省九江市,长江干堤梁公堤采用振动切槽工艺施工,堤基土为粉土、粉细砂。墙深15~18m,总工程量37800m²。经开挖检查和取样测定;墙体连续性好,厚度 $\geq 14 \text{ cm}$ 、抗压强度4.5~9.0MPa,渗透系数 $3.9 \times 10^{-7} \sim 8.33 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ 、允许渗透坡降 ≥ 50 ,质量完全满足设计要求。经历了1999年长江特大洪水考验,被评为优质工程。

(下转封3页)

的试验为依据,不可盲目遵循设计及施工手册等的指导。

参 考 文 献

- [1] 左明麒,刘永超,孟庆文. 基础工程设计与地基处理[M]. 北京:中国铁道出版社,2000.
- [2] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [3] 陈新华,赵桂建. 高压旋喷桩在软土地基加固中的应用[J]. 地质学刊,2008,32(3):227-229.
- [4] 郑刚,裴颖洁. 天津地铁既有有线改造工程中的控制差异沉降研究[J]. 岩土力学,2004,28(4):728-732.
- [5] 刘浩,胡本涛. 高压旋喷在某地基加固工程中的应用[J]. 大连大学学报,2007,28(6):62-65.
- [6] 尹雨阳. 高压注浆在建筑物地基灾害处理中的应用[J]. 岩土工程界,2005,8(9):43-44.

- [7] 中华人民共和国建设部. JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [8] 郭勇,周振华. 潜孔钻机的应用现状与发展趋势[J]. 矿业快报,2008(4):13-14.
- [9] 李杨. 潜孔钻机的凿岩性能及其分形特征[J]. 爆破,1999,16(1):1-3.
- [10] 李胜利,崔明远. 潜孔钻在玉石水库固结灌浆工程中的应用[J]. 甘肃水利水电技术,2009,45(3):53-54.
- [11] 宋成才. 潜孔钻机在隧道中的应用[J]. 山西建筑,2007,33(36):307-308.
- [12] 郭世周,高峰. 高压旋喷与定喷结合注浆在帷幕支护施工中的应用[J]. 岩土工程界,2002,5(6):33-35.

收稿日期:2009-06-04

(上接第267页)

3)1999年江西省九江市济益公堤防渗墙采用振动切槽工艺施工,质量优良。

4)2000年江西省九江市永安堤段防渗墙采用振动切槽工艺施工,质量优良。

5)2000年4月~6月哈尔滨市城防堤防渗墙采用振动切槽工艺施工,堤身填筑的为非均质粉土、粉质粘土等,堤身下为原始砂、砂砾石,厚10~12m;砂砾石下为相对隔水的含砾粘土,墙深25m,墙体厚0.2m,嵌入相对隔水层2~3m。总工程量20000m²,经开挖检查和墙体取样测定,各项指标均满足设计要求,被评为优质工程。

6 结 论

振动切槽为最薄防渗墙的施工方法之一。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,按工艺施工,认真操作,不会出现断墙断桩现象。

振动切槽施工方法简单,操作容易,不需置换与专门的浇注工序,只需从振管内向槽底注浆即可,工作面只须3人操作。

振动切槽无需护壁,成墙浆液也始终不出槽口,很少有污染。

设备少,投入少。比高压旋喷造墙成本低30%,比薄壁抓斗造墙成本低20%。

振动切槽的效率很高,注浆灵活方便,故修筑防渗墙的效率很高,平均成槽成墙效率在500m²/d左右,最高连续成墙效率可达1500~2000m²/d。如果说德国宝峨公司的振动沉模机也能达到这个效率,但它的设备购置费却是振动切槽机的30多倍。还不计能源、维护、运输等成本费用。

参 考 文 献

- [1] 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):9-10.
- [2] 张晓明. 振动切槽防渗墙施工技术及其应用[M]//水利水电工程钻凿施工技术. 长春:吉林科学技术出版社,2005:157-160.

收稿日期:2009-07-13