

振孔高压旋喷施工技术

彭万军, 刘晓波, 曾鹏九

(黄河勘测规划设计公司地质勘探院, 河南 洛阳 471002)

摘要 针对普通高压旋喷施工防渗墙工序繁琐、质量稳定性不高等情况, 研究出一种振孔高压旋喷技术, 该技术凭借高桅杆, 用振管浆管合一和振动回转的方法高速成孔, 当振动成孔达到设计深度后上提即构成二管法的旋喷, 成为一种新的施工方法。使用该技术后, 施工中可不间断连贯作业, 施工效率高出普通高压旋喷 2 倍左右。同时可以根据工程需要采用不同工艺, 修筑厚 1.2 m 或 0.2 m 的防渗墙。该技术施工参数大, 喷射影响半径远, 墙体连续性与防渗性好, 在三峡三期围堰防渗墙与三峡电源电站围堰防渗墙的施工中均收到很好的效果。

关键词 振动成孔 新二管旋喷 质量控制 防渗墙

中图分类号 TV52 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2008)01-0074-04

Construction technology of vibrating boring and high-pressure jet grouting//PENG Wan-jun, LIU Xiao-bo, ZENG Peng-jiu
(Institute of Geological Survey of YREC Co., Ltd., Luoyang 471002, China)

Abstract : In consideration of the complex working procedure, low intensity of construction parameters and low stability of quality in diaphragm wall construction by common high-pressure jet grouting, the technology of vibrating boring and high-pressure jet grouting was designed, in which high mast, integrated vibrating pipe and grouting pipe, and vibration rotation method were used for rapidly boring, and two-pipe jet grouting was formed by lifting up the pipes when the design depth of boring was reached. With the technology, the continuous construction was realized with the efficiency of construction being 2 times higher than that of common high-pressure jet grouting, and the diaphragm walls with thickness 1.2 m or 0.2 m could be constructed according to the needs of the project. The technology was also characterized by large parameters and far jet influence distance, and the diaphragm wall was of good continuity and good performance of seepage-control. The technology was applied to diaphragm wall construction for the third-stage cofferdam and for the cofferdam of the Electrical Power Supply Plant in the Three-Gorges Project, and good effect was achieved.

Key words : vibrating boring ; new two-pipe jet grouting ; quality control ; diaphragm wall

振孔高压旋喷(以下简称振孔高喷)是在普通高喷的基础上发展起来的一种新的桩墙施工技术。它采用大功率顶驱电动振动锤与液压回转动力头, 将振动与回转的功能传递给刚性较强的振管, 使振管沉入地下。振孔高喷以很高的效率形成钻孔, 达到预定深度后, 振管可立即转换成喷管, 即刻进行旋喷, 工序连续, 是真正意义上的钻喷一体化。

振动回转成孔的效率很高, 在一般的松散地层达 5 ~ 8 m/min, 在砂卵石层中也可达到 0.5 ~ 1 m/min, 并有一定的入岩能力, 在某些情况下可单独形成全封闭式防渗墙。

振孔高喷多次在中小工程中成功应用, 在三峡三期围堰防渗墙的施工中也得到了成功的应用, 三峡业主给予很高的评价: 该技术在三峡下游土石围堰防渗墙施工中, 以优质高效的突出优势, 首次获得成功

应用”(施 2 字(2004)第 01 号)。因此, 在 2004 年 1 月三峡工程电源电站下游围堰防渗墙的施工中, 再次采用了该技术, 同样也获得了优质高效的业绩。

振孔高喷的优点是 ①工序连贯性好, 成孔效率极高, 无须护壁, 较普通旋喷省去了专门的成孔设备、泥浆设备, 也节省了大量辅助时间, 如分序施工来回搬家、置换泥浆等; ②振孔高喷的高喷机桅杆高, 不接杆, 一立根回次可完成一桩, 不会发生断桩; ③孔距小, 不分序, 桩与桩结合紧密, 连续性好, 防渗性能强; ④操作简便。

1 振孔高喷成墙机理

1.1 振动回转成孔机理

1.1.1 成孔

将大功率的振动锤与振管刚性连接, 使振管产

生振动。一方面,这种振动产生的振幅切断了振管表面与土壤间的联系,克服了沿管侧面的摩擦力与土的黏着力,使振管很容易沉入土中。另一方面,振管的振动频率与土体的自振频率接近时,土体发生共振,使土中的结合水流出,成为自由水,颗粒间黏结力急剧下降,呈现液化状态,使土体对振管表面的摩阻力降为零,管端面的阻力也大大降低。此时,在振动锤与振管自重的作用下,钻头便可下沉^[1]。

只是当孔深超过 30 m 以后,振动能量衰减,振管沉入效率才会大大降低。

振管下端接有带喷嘴的球齿合金钻头,当遇到大漂石或卵石时,振管下部的球齿合金钻头在振动激振力的作用下很容易将卵石击碎。回转动力头以 20 r/min 的低转速回转,将保持旋喷孔形状的完整,并构成返浆通道,为振管的上下提动减轻阻力。

1.1.2 排渣

任何钻孔仅仅靠挤压成孔,成孔效率不可能很高。振孔高喷成孔须在孔口返浆冒气排渣的情况下才可连续下沉。浆液上返时带出钻渣,为高压旋喷时大量被置换的土渣上返设置了宽松的通道。为此,在成孔过程中要注入排渣的冲洗液,成孔排渣的冲洗液即是旋喷的水泥浆,其密度与旋喷成桩的水泥浆密度相同,只不过成孔的水泥浆压力为 2 ~ 3 MPa,浆量约 60 L/min。

1.1.3 成孔后转换旋喷

成孔时要求由底孔的冲洗液冲刷,而旋喷时则须从侧孔喷浆,要求能即刻进行切换,以达到施工的连贯性。如果停泵打开振管用投球关闭底孔,即使时间很短,喷嘴也可能被堵塞,内外管可能涌进细砂。日本有一个 OCP 工法钻底孔的自动开关装置,由特殊的活门(NCN)来控制,钻进时打开,高压喷浆时自动关闭,但该技术申报了专利,我国并未引进。我国自行研究了这项技术,在三峡三期围堰工程中获得突破。

成孔入岩到预定深度后,在不停空压机与高压泵的情况下,通过特殊装置关闭钻头底孔,将水泥浆压力瞬间提高到 35 MPa,上提振管即可进行侧孔旋喷(或定喷、摆喷)。

1.2 旋喷成墙机理

1.2.1 旋喷的置换机理

高压喷射流高度集中,且连续地冲击一个很小的区域。随着喷嘴的旋转,冲击切割破坏的土体越来越多,做过功的射流束能量大量释放。只要浆液没有大量流失,又在不停地向孔内压入浆液,此时,在射流影响半径内,浆液的能量就不会全部释放,会使多余的浆液夹带着土颗粒向地面返出,形成置

换^[2]。

同轴喷射的压缩空气在能量释放过程中产生大量气泡,也推动包裹着土体的浆液向地面升扬。只要高压射流不停地切割破坏土体,浆液就应不停地将土体颗粒带出地面(图 1)。这种升扬置换对高压旋喷灌浆来说是至关重要的。它可以提高浆液与土体的搅拌均匀性,从而提高墙(或桩)的防渗质量。

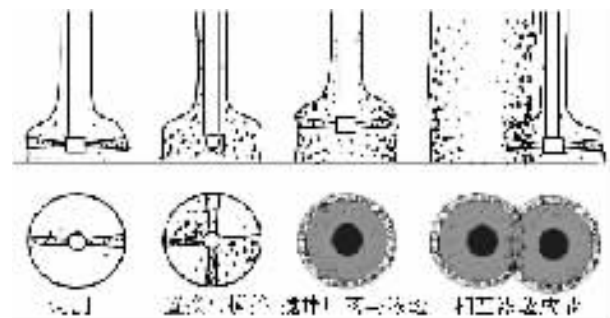


图 1 振孔高喷的旋喷成墙工作原理

三峡三期围堰防渗墙施工中,上返地面的浆液随着气泡的破裂可喷出高约 1.2 m,可见剩余能量之大。喷射流的破坏力与喷射流速度的平方成正比,因此,增加浆液的压力是增大高速喷射流破坏力最合理的方法。破坏力越大,上返的速度也越快,上返被置换的土体也就越多,只有置换充分,才能使地层得到充分搅拌。

1.2.2 旋喷的搅拌机理

松散砂土只有与浆液充分搅拌才能形成具有一定强度的凝固体。在旋喷浆压、离心力和重力的共同作用下,土颗粒得到充分搅拌。在横断面上的土颗粒会按质量的大小排列起来,小颗粒居中,大颗粒在外侧或边缘部分。浆液的剩余能量仍能在有效射程内向周边土产生挤压力,产生一种压密作用。部分浆液进入土颗粒之间的空隙里,使凝结体与四周土紧密相连。不过由于土颗粒间空隙的不规律及气泡压力的不稳定,会使墙体壁很不规则。

振孔高喷的每一个旋喷桩完工后,紧接着可以不分序施工后续的桩孔。不分序的优点是,在施工后续的桩孔时,前面已完成的旋喷桩水泥浆液尚未初凝,能达到相互串通混合的效果,桩与柱间连接得更紧密,开挖出的墙面比分序旋喷墙面要平整很多。

1.2.3 新二管法旋喷

人们普遍认为三重管旋喷效果较好,但从近期国内外的研究与发展来看,新二管法旋喷的效果要优于普通三重管旋喷,新二管法旋喷新就新在它的浆压、浆量、风压、风量等都增大了,国内施工浆压达 35 MPa,浆量可达 140 L/min;国外施工浆压达 45 MPa,浆量可达 225 L/min^[3]。空气压力增到 0.8 ~ 1 MPa,风量增加到 3 ~ 4 m³/min。

三峡三期围堰防渗墙应用这种新二管法单排施工的墙厚达 1.2 m (孔距 0.8 m)。小浪底施工用 45 MPa 旋喷的双排防渗墙厚达 2.4 m (排距 0.9 m, 孔距 1 m)。

新二管法以水泥浆作为大能量载体直接喷射土层,浆液以高压射流方式进入土层,水泥成分扩散均匀,特别是在地下水丰富的土体中减少了浆液被稀释的程度,有利于提高结石率。

2 施工设备

a. XJZ90 振孔高喷机。XJZ90 振孔高喷机高主要由高桅杆、底盘、90 kW 电动振动锤、液压回转动力头、液压系统、液压步履机构、卷扬机等组成。

b. 高压泥浆泵。天津产 XPB-90E 型高压泥浆泵,压力 45 MPa,流量 95 L/min,采用调速电机控制转速。小浪底水利枢纽工程用意大利的 HT-450 型高压泥浆泵,最大压力可达 100 MPa,当压力为 50 MPa 时流量可达 453 L/min。国产泵因流量小,施工中可根据工程量的大小和工期的情况采用单泵作业或双联泵作业。双联泵旋喷可加大 1 倍的流量,可加快旋喷速度与提升速度,提高施工效率。三峡三期围堰工程采用了双联泵施工方案,确保了工期。

c. 空压机。如果 1 台振孔高喷机施工,可用沈阳陵 2 V-5.5/1.2 型空压机。风量为 5 m³/min,风压为 1.2 MPa。如果多台振孔高喷机工作,则可采用英格索兰移动式 VHP750 型空压机,风压为 1.2 MPa,但风量为 21 m³/min。

d. 立式灰浆搅拌机。XJL-10 型立式搅拌机性能稳定,工作可靠,使用寿命长,流量可达 200 L/min。

e. 送浆泵。从搅拌站送到高压泥浆泵,采用 3SNS 型泥浆泵或者 BW150 泵均可。

3 施工工艺

振孔高喷由成孔到设计深度后,接着转换成旋喷。一个桩一个周期,其施工工艺流程如图 2 所示。

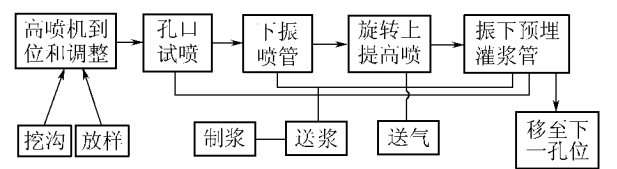


图 2 振孔旋喷流程

3.1 施工现场布置

平整场地,合理分布设备,高压泥浆泵不可离喷机太远,以免造成过多的压力损失。在防渗墙轴线一侧 4 m 左右分别设置气水管路。

在防渗墙轴线上挖宽 1 m、深 1 ~ 2 m 的槽,每隔

5 m 留一厚 0.5 m 隔墙,当槽内浆液满后,可挖一临时引流沟,将上返浆渣引到排污沟内,送到远处。

3.2 喷机的位移与定位

第一个桩孔定好位后,在喷机的一侧前后各伸出 1 根活动杆,长约 2 m,端头挂有定位尖锤,对中辅助定位线(约离轴线 3.5 m),如图 3 所示。辅助线平行于防渗墙轴线,形成矩形框,在辅助线上定有桩桩号,即防渗墙轴线的桩桩号。

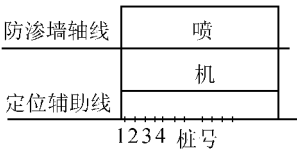


图 3 喷机定位示意图

3.3 桅杆的垂直校正

振孔高喷成墙的垂直度主要由 2 个方面控制: ①保证高架桅杆的垂直度,它是制约桩孔垂直度的关键; ②大质量的振管,由重力作用使成孔垂直。

振动锤与回转动力头是沿着滑道上下滑行的,滑道与桅杆平行,钻头(与喷头)对中第 1 个桩孔孔位后,用经纬仪对中桅杆,通过前后 4 个垂直油缸调整桅杆,桅杆垂直后,调整桅杆上的水准泡,使其居中,便可以开始成孔。喷机位移到第 2 个桩孔后,只须操作垂直油缸,水准气泡居中便可进行施工。

3.4 振动回转成孔

气压 0.8 MPa、水泥浆泵压 2 ~ 3 MPa,地面试喷成功便可开始振动成孔。振管下沉速度主要根据返浆情况由卷扬机控制,返浆正常并不断有气泡冒出时便可正常沉入。

孔内阻力大时应放慢沉入速度,必要时可上下提动。注意保持振管的自由拉伸状态,以保证桩孔的垂直度。当遇到大卵石或大漂石,球齿合金钻头能充分发挥作用,用振动锤的激振力将其击碎。但岩石坚硬,振幅会过大,振管激烈跳动不宜超过 1 min,并应减压成孔,以免造成事故。

三峡三期围堰防渗墙工程基岩是弱风化花岗岩,岩石强度较高,振管到基岩面时便激烈跳动,为保证施工顺利进行,考虑到墙下还设有灌浆帷幕,将设计方案由原入岩 0.5 m 改为 0.2 m。同时在孔底旋喷段降低提速,增加喷浆量,以保证接触带的防渗性能。

3.5 水泥浆的配制与输送

水泥浆的密度为 1.4 ~ 1.45 g/cm³。XJL-12 立式搅拌机设有定水量的多孔装置,当压力恒定时,流量基本恒定,操作者只需定时倒入定量的水泥,并定期抽查检测密度即可。搅拌好的浆液通过过滤后流入储浆桶,再经过滤后,由高压泵泵入振管到孔底。层

层过滤是保证施工不间断的重要措施,因为喷嘴直径很小,必须保证其通畅。

3.6 成孔转换为旋喷

振动成孔到预定深度后,在不停止回转、不停空压机、不停高压泥浆泵的情况下,只需将振动锤停止振动,在原地将球齿合金钻头底孔出流转换成侧孔射流。如果是双泵并联施工,1号高压泵提速,同时启动2号高压泵,将压力调到35 MPa,流量达到140~150 L/min,开始旋喷。考虑到离孔底10 m以上防渗墙与基岩面的充分结合,提速采用15 cm/min。再往上的提速为30 cm/min,直至孔口。

振孔旋喷所用参数如下:浆压35 MPa;浆量60~70 L/min(单泵旋喷),140~150 L/min(双泵旋喷);浆液密度 $1.4 \sim 1.5 \text{ g/cm}^3$;风压 $0.8 \sim 1.2 \text{ MPa}$;风量 $3 \sim 4 \text{ m}^3/\text{min}$;提升速度15(单泵)~30(双泵) cm/min;旋转速度20 r/min;喷嘴直径1.9 mm(单泵),2.9 mm(双泵)。

3.7 预埋灌浆管

三峡导流明渠事先经过开挖,基岩为弱风化花岗岩。三峡三期围堰防渗墙下基础透水岩体及右岸坡透水带设计要求进行帷幕灌浆处理,为此,须在高喷墙体内预埋灌浆管。该工程采用振孔高喷机下设灌浆管,其方法是在振孔高喷完成后,立即将灌浆管振送到基岩面(图4),每根管只需3~5 min,简单快捷,省时省力,这也是振孔高喷的一大优点。

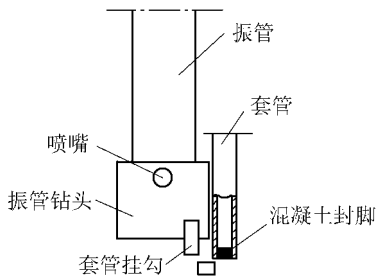


图4 振动下沉套管

4 质量控制

4.1 墙体垂直度的控制

振孔高喷成墙垂直度主要靠高架桅杆来控制,施工过程中由于振动锤的运转,机器在软基上工作,可能发生不均匀沉陷,造成桅杆倾斜。遇到这种情况时应及时调整桅杆垂直度,防止出现墙体开裂的质量事故。

4.2 返浆的质量控制

防渗墙是隐蔽工程,要保证质量就要加强施工过程的控制,返浆是振孔高喷质量控制的关键点,它可以说明地下土体的物理性能及浆液与土体的置换搅拌情况。施工过程中一般正常返浆量应不超过总

浆量的20%。如果返浆量过大,会造成大量浪费,此时应检查喷嘴的磨损程度或调整浆液,如果不返浆,说明土体有空洞裂隙,浆液漏失严重,则不可能形成置换与搅拌,此时喷管不可提升,必须采用砂浆、速凝剂等进行处理,只有浆液上返时喷管才可提升,继续进行旋喷。如果返浆量很少,浆液与土体的置换与搅拌范围会达不到设计要求,可采取调整浆液性能和外添加剂等措施。

4.3 施工中中断的质量控制

由于断浆、断电、断水或浆液不合格等情况引起施工中中断,在重新恢复施工时,振管必须往下与喷孔段重叠0.5 m,否则可能断桩、断墙,造成质量事故。

如果某个桩孔出现故障,不能到达设计深度,而又无法补救时,可在初凝后在一旁增设绕桩,以形成封闭墙体。

4.4 入岩的质量控制

振动成孔虽有一定的入岩能力,但岩石坚硬,振动成孔效率很低,在达到设计入岩深度有困难时,应考虑其他措施相辅,以提高经济效益。

5 结 语

水利工程往往受到水文气象条件的影响,很多项目都必须抢在汛期前完成。尤其是一些临时围堰防渗墙,质量与工期都显得十分重要。振孔高喷施工工艺给这种要求提供了一个新的选择,有着广阔的发展潜力和深入研究的价值。

参考文献:

- [1] 彭万军,曾鹏九,吴旭幸.砂卵石层高压旋喷的成孔技术[J].探矿工程,2006(8):32-34.
- [2] 朱庆林,郎伯清,吴钟秀.旋喷注浆加固地基技术[M].北京:中国铁道出版社,1984:43-44.
- [3] 刘开运.小浪底水利枢纽工程左岸心墙区砂卵石地基旋喷灌浆加固技术[J].西北水电,1999(2):23-24.

(收稿日期 2006-12-30 编辑 方宇彤)

