

复杂地质条件下的围堰高喷防渗施工质量控制

杜林, 邓树密

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

摘要:复杂地质条件下的高喷防渗,尤其是处在大江大河上的水利水电工程围堰防渗一直是高喷施工的一个技术难题。在这种地质条件下构筑高喷防渗墙,往往要从设计、施工两个方面采取很多技术措施、手段,并且还需有针对性,否则难免会导致围堰防渗失败。围绕水利水电工程围堰高喷设计、施工及质量检查等方面阐述了如何在复杂地层中加强高喷质量控制的措施,可供从事高喷设计、施工的人员参考。

关键词:复杂地质;围堰高喷;防渗;质量控制

中图分类号:TV52;TV543

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2015)01-0078-05

高喷灌浆技术自20世纪70年代引进我国后,在水利行业中除应用于地基加固之外,更广泛地应用在水工建筑物的防渗工程中,已建成了大量的高喷防渗墙。举世瞩目的长江三峡工程和黄河小浪底工程就是采用高压喷射灌浆技术在临时围堰防渗中构筑了一道道防渗帷幕墙,保证了工程的成功建设。高喷防渗墙的主要施工方法是:首先采用钻孔机械在地层中造孔,然后采用定喷、摆喷、旋喷或几种相结合的方法进行高压喷射注浆,高压泵形成的高速液流、空压机形成的气流从喷嘴中同轴喷射出来,直接冲击、切割地层,所灌注的水泥浆胶凝颗粒与被破坏的地层土石颗粒发生完全的强制性渗透混合,充分挤压、置换直至胶凝硬化形成具有足够防渗性能的防渗墙。目前,高压喷射灌浆的基本种类有单管法(CCP法)、二重管法(JSG法)、三重管法(CJP法)和多重管法(SSS-MAN法)等四种方法,其各具特点,实施中可根据工程要求和地质条件选用。

高喷防渗墙属于地下隐蔽工程,在其使用过程中,首先要熟悉施工区域的地质条件,判断其是否能采用高压喷射灌浆技术;其次,根据防渗标准进行高喷设计,包括孔排距、钻孔深度、搭接厚度等;最后,依据设计参数进行高喷试验,用以验证设计参数的可靠性和施工工艺参数的合理性,待其达到防渗标准后方可实施高压喷射灌浆。这几个方面是相互关联、缺一不可的,尤其是在复杂地质条件下进行高压喷射灌浆,必需将这几个方面

有机地结合起来,对设计、施工到质量检查每个环节都进行有效地控制,才能保证最终完工的高喷防渗墙的质量。

1 复杂地质条件的定义

从事地下岩土工作的工程技术人员经常会遇到“复杂地质条件”这个词语,实际上它是一个笼统、综合性的术语,在地质上一般系指具备以下任何一条:地质灾害发育强烈;地形与地貌类型复杂;地质构造复杂,岩性岩相变化大,岩土体工程地质性质不良;工程地质、水文地质条件不良;破坏地质环境的人类工程活动强烈等。但根据笔者多年的施工经验,高压喷射灌浆遇到的复杂地质条件主要包括以下几方面中的任何一方面:(1)地层结构组成变化大,颗粒级配不均一;(2)地层中含有高喷无法切割或搬运的漂卵石和大孤石;(3)地层为人工回填大块石或受到人工扰动的卵(砾)石地层,透水性极强且存在地下水;(3)地层中含有粉质细砂层或饱和淤泥质粘土层。

2 高喷设计质量控制

高压喷射灌浆的设计师是确保高喷灌浆工程质量的重要环节,该项工作应由熟知高压喷射灌浆知识并具有丰富高喷灌浆实践经验的工程技术人员来承担。由于高喷技术应用于隐蔽工程,其施工质量的控制经验性强,质量检测手段单一,经常会使设计人员感到无奈,心中没有底,这主要是因为这些人员在理论上解释不了高喷灌浆在不同地层中的成墙机理及多种因素对成墙的影响。根据笔者从事高喷作业多年的实践经验认为:在设

收稿日期:2014-11-11

计阶段,重点应做好以下几方面工作。

2.1 做好设计前地质勘察资料的收集工作

这项工作对高喷防渗墙设计尤为重要,是把握好高喷设计质量控制的第一关。所收集到的地质资料应包括工程地质和水文地质资料、高喷防渗墙轴线上的勘探孔柱状图和地质剖面图,勘探孔的间距一般不超过50 m,如果资料的翔实性达不到设计要求,则必要时还应做补充地质勘察,以详细查明高喷施工区域的地层结构及分布特点。对于地层的变化特点、是否富含漂卵石和孤石的架空地层、地下高速水流地层、流沙和粉细砂、大粒径和不均匀地层的资料要了解的尽量全面。

2.2 确定高喷墙体连接的形式

根据地质勘察资料、防渗要求并结合工程特点等提出高喷防渗墙的初步布置形式。一般遵循防渗效果最好、工程量小、工程造价最低和施工最方便的原则。根据施工经验,一般可采用单、双(多)排旋喷套接方式,摆喷对接或折接方式,定喷折接或对接,摆喷、旋喷结合等多种方式形成高喷连续墙体。定喷由于其切割范围小,在复杂地层中一般不建议采用;对于富含漂卵石和孤石等地层中,采用摆喷时因角度有限,对大孤石可能无法实现完全包裹,因此,一般在这种地层不建议采用摆喷连续墙。

2.3 高喷孔排距和深度的确定

合理地确定高喷灌浆孔的排距和深度,是保证高喷灌浆质量的重要条件。工程实践证明:众多高喷工程事故是由于高喷灌浆孔距设计不合理而造成高喷板墙不能有效连接,从而导致板墙防渗的失效。有试验表明:防渗墙开孔面积为1%时,则截水效果只有21%,即仍有79%的渗流量会通过孔洞流失,所以,合理地确定高喷灌浆孔排距,对于确保高喷防渗墙的完整性至关重要。确定高喷孔排距主要考虑的因素有:高喷凝结体的有效尺寸,亦即高喷单桩的有效喷射直径;高喷有效墙体的厚度,即两单桩搭接部分的长度,根据我国相关规范规定,此长度应不小于30 cm;国外设计相对保守,一般取值不小于50 cm。此外,还有一个重要因素需要考虑,即钻孔偏斜率。前两者主要是为高喷灌浆孔的排距设计理论计算时提供数据,而后者主要是从施工角度考虑。因为目前国内施工队伍的钻孔水平参差不齐,即便是非常

专业的施工队伍,其钻孔偏斜率也只能控制在0.5%~1%以内(规范允许为1%),所以,在进行高喷灌浆孔设计时,必需对理论计算出的孔距作必要的修正,以确保在施工最不利的情况下也能使高喷板墙有效连接,确保高喷防渗板墙具有完好的整体性。

根据笔者多年从事高喷灌浆设计和施工的经验,在水利水电工程围堰防渗工程中,当地层为砂卵(砾)石结构、地质条件适中时,高喷灌浆孔的排距可以按照以下标准设计:①孔深小于15 m,采用单排直线型布孔,孔距1 m;②孔深在15~25 m之间,采用单排直线型布孔,孔距0.8 m;③孔深大于25 m,采用双排梅花型布孔,孔距1 m,排距0.5~0.7 m。

高喷灌浆孔深度一般应根据基坑开挖深度和防渗要求进行渗流计算后确定。根据高喷防渗墙对整个透水地层的封闭程度,可以将其分为接地式全封闭防渗墙和悬挂式半封闭高喷防渗墙。如何选用则需要根据不同工程对渗流控制的要求确定。

3 重视高喷试验

高压喷射灌浆虽然作为一个比较成熟的防渗加固技术在各个施工领域内被推广应用,从事相关专业的技术人员在长期的实践过程中也积累了成熟的施工经验,但在水利水电工程施工领域,由于每一个高喷灌浆工程所处的地质条件(包括岩石的物理力学性质)和地下水情况千差万别,在这些地层中进行高压喷射灌浆,所形成的高喷凝结体的尺寸和质量亦各不相同,而且这种差异很难用经验的方法或理论计算的方法进行判断。因此,对于复杂地质条件下的围堰高喷防渗工程,在设计或施工前一般都要做高喷试验,通过现场喷射试验来验证高喷灌浆用于该地层在技术上的可行性、经济上的合理性、工期上的先进性和质量上的可靠性。通过高喷试验,确定适合该工程地层的最佳高喷灌浆参数组合。但有些中小型水电工程的围堰防渗项目往往为了赶工期而压缩防渗施工时间,以此来加快主体建筑物的施工速度,确保度汛要求,在进行高喷施工前没有时间做高喷试验,而采用与该工程地质及地下水相似情况的高喷灌浆工程的一些参数,如果所用参数与该工程地质和地下水流情况出入较大则有可能出问题。

所以,高喷实施前做好高喷试验,也是确保高喷质量的一个重要环节。

4 高喷浆液的控制及配比选择

注浆材料及其配方是高压喷射灌浆法的主要组成部分之一,其采用的恰当与否,将会影响到固结体的质量、物理力学指标和工程造价。由于围堰是为满足基坑开挖挡水要求而设置的,因此其一般也是临时性的,所以,对于高喷防渗的要求相对于其它永久性工程要低一些。为降低施工成本,围堰高喷防渗以水泥作为注浆的基本材料,一般情况下,均采用纯水泥浆液进行高压喷射注浆。但是,当高喷遇到复杂地质条件时,如地下水流速较大、地层中充填物少、存在架空现象、地层由富含漂(卵)石等大粒径物体组成、地层中含粉砂细砂等细颗粒物等,此时,采用普通硅酸盐水泥浆液就不一定完全有效了,就需要根据不同的地质条件、有针对性地在普通水泥浆液中适当添加由特殊的外加剂配置成的复合浆材,以达到不同的目的和防渗要求。可用于复杂地质条件下围堰高喷防渗浆液的化学外加剂主要有速+凝和早强剂、水下抗分散絮凝剂两种。物理充填主要以掺砂、粉煤灰、粘土或膨润土为主,经搅拌制成一定比例的水泥混合浆液,一方面可节约高喷防渗主材——水泥的消耗量;另一方面可达到快速、高效、可靠封堵地层中裂隙(缝)的目的。根据施工经验,在颗粒级配不均一、充填物少的地层中,为保证浆液稳定,可在浆液中掺入5%的优质膨润土。

根据水利水电高压喷射灌浆技术规范的规定,

高喷灌浆浆液的水灰比可为1.5:1~0.6:1(密度为1.4~1.7 g/cm³)。在实际应用中,一般认为:采用水灰比1:1是最经济、合理的,但这只能代表地层的地质条件是较好的情况;如果遇到上述定义中的复杂地质条件,往往就需要根据实际情况调整和变换浆液配比,以适应不同地层高喷灌浆的需要。根据笔者多年从事高喷施工的经验,在复杂地层结构中进行高喷防渗,除在浆液中掺入一定量的外加剂之外,在普通水泥浆液配比上一般可按照双管法水胶比1:1~0.8:1、三管法不低于0.8:1的原则进行高喷试验。

5 高喷施工参数的选择

影响高喷灌浆凝结体形成的因素众多,除设计方面需要考虑的孔排距、钻孔深度、防渗板墙连接形式之外,在高喷施工方面还受喷射流压力、流量、提升速度、旋转(摆动)速度、喷嘴直径等一系列因素的影响,故复杂地层围堰高喷防渗施工参数应在对地质资料和实际钻孔揭示出的地层结构进行综合分析后确定,所采取的施工参数也不是固定的,而是要根据不同的地质情况有针对性地制定、修改或调整每个施工区段甚至每个孔(段)的高喷参数和特殊情况处理措施,所以,复杂地层高喷防渗施工参数从严格意义上说是处于一种动态调整和变换过程中。只有通过不断调整、变换,才能使施工参数更趋于科学、合理,高喷防渗施工才能在技术上更先进、质量上更可靠、经济上更合理。表1列出了复杂地层高喷防渗试验施工的参数,可供从业人员参考选用。

表1 复杂地层高喷灌浆试验主要施工参数表

项目	技术参数	相应要求	备注
高压水	压力:35~40 MPa 排量:65~75 L/min	水嘴个数:2个 水嘴直径:1.7~2 mm	最低不应小于35 MPa
压缩空气	压力:0.4~0.7 MPa 排量:1.5~4 m ³ /min	风嘴个数:2个 气嘴与水嘴间隙:1.5~2 mm	
浆液	压力:0.1~1 MPa 排量:60~100 L/min	进浆比重:大于1.6 g/cm ³ 回浆比重:大于1.25 g/cm ³	
提升速度	一次孔:6~8 cm/min 二次孔:8~10 cm/min	根据地层和返浆量可做适当调整。在漂石和孤石密集区域采取静喷、复喷、静灌、降低提速等措施,在架空、大漏失和地下水流速度快的地层中采取静灌水泥砂浆、掺有絮凝剂、速凝剂的水泥膏浆,孔口掺砂、双液法静灌等措施	一般分为两个次序施工。如果地层特殊,可根据需要分为三个次序施工,一次孔不超过4 cm/min,二次孔不超过6 cm/min,三次孔不超过8 cm/min
旋转速度	6~8 r/min,也可与提升速度相同		
摆喷角度	摆动角度:45°~60°	最小不能低于45°	富含漂石和孤石的地层不适用于摆喷

6 对高喷主要施工过程进行控制

6.1 钻孔方法及偏斜控制

根据水利水电工程围堰所处的地质条件,一般采用偏心(或同心)跟套管钻进技术。偏心跟套管超前钻进(ODEX工法)造孔技术,超前钻进、偏心扩孔、跟管护孔连续完成是目前在覆盖层中最先进的钻孔工艺之一。钻孔机械一般采用锚固工程钻机或全液压履带式潜孔钻机。由于采用潜孔锤跟套管钻进速度快、成孔效率高,因此,对钻孔偏斜的控制也成为造孔质量的关键。有资料分析表明:高压旋喷轴线上的相邻钻孔在地层中向相反方向偏斜和摆喷折接时出现相邻两个孔一个向上游偏斜,另一个向下游偏斜的情况时,对于高喷而言是最不利的;而设计又不可能把这种极端、个别的情况作为孔排距设计的依据,否则将会大大增加施工成本,造成工程浪费,所以,在这种情况下,必需要求在施工过程中采取相应的措施和手段来控制钻孔偏斜。目前主要的做法是:通过在地面监测、调整、控制钻进设备立轴(桅杆)垂直度和护壁套管的垂直度两个方面来保证钻孔垂直度要求。由于高喷钻孔的偏斜率要求小于1%,且采用的又是钢制套管护壁,故采用一般的测斜仪难以满足该要求。在现场可根据倒垂法原理采用浮标测斜仪测量孔斜,其测斜精度可高达0.1%。在钻孔过程中,要通过观察孔口返渣和返水的情况判断地层结构和变化情况并做好详细的地质描述,用来指导下一步高喷参数的制定和调整。

6.2 钻孔分序

复杂地质条件下的围堰高喷防渗必需注意施工分序,如果分序不好,就会影响施工质量。根据笔者总结的施工经验:对于复杂地层的高喷防渗施工,一般分2~3个次序;对于防渗标准要求不高、施工难度较小的工程多分为两个次序施工。施工过程中,要充分把握好两序孔间的施工间隔,一般按分序加密的原则,在前一次序孔高喷施工结束后合理地确定下一次序孔的开孔时间尤为重要;对于单排孔,同序孔分时间间隔、异序孔之间以间隔48h以上为宜;对于双排孔,则先施工迎水面一侧,再在围堰内侧加密施工第二排。

6.3 高喷施工时特殊情况的处理措施

当高喷遇到复杂地质条件时,必需及时调整

高喷参数,并有针对性地制定出应对不同地质条件的技术措施,只有这样,高喷在复杂地质条件下才能取得成功。根据笔者从事高喷施工的经验,在复杂地质条件下进行围堰高喷施工,若要确保施工质量的可靠性,对可能遇到的情况及采取的技术措施可以分为以下几种情况。

(1) 漂石及孤石密集地层的处理措施。

在较大漂石及孤石分布密集的区域进行高喷施工时,因高喷压力不能穿过漂石及孤石,很容易形成漏喷部位,从而导致局部不能达到防渗效果。遇到这种情况时,要根据钻孔探明的孤石和漂石厚度、埋深、地层及孤石上、下界面,采用先静喷5~10min,再静灌(停止提升、高压水压力降低至10MPa以下,其他参数不变)5min的高喷方法,目的是对孤石界面进行灌浆回填,以确保孤石界面被浆液充分包裹;在大孤石内,若直径大于0.5m,则将提升速度降为6cm/min;若孤石直径小于0.5m,则将提升速度按照正常要求选取。

(2) 架空、大漏失和地下水情况的处理措施。

对于高喷施工遇到架空、漏失和地下水等地层条件时,一般先停止提升,加浓浆液进行静喷,同时从孔口掺砂,必要时还可在浆液中掺入一定数量的速凝材料以加速浆液的凝固;如果短时间内孔口即出现正常返浆,则按照规定参数继续提升;如果孔口仍不返浆,可初步判断孔内漏失量较大,需对漏失孔(段)采取水泥砂浆灌注、双液灌注、膏浆灌注以及水下不分散水泥浆灌注等措施进行处理。灌注一般遵循以下原则:①对于架空地层、水流速度相对小的地层,直接使用砂浆进行灌浆;当孔口出现返浆后,恢复高喷灌浆;②对于架空地层、水流速度相对大的地层,在使用砂浆进行灌浆的同时,还需在浆液中加入速凝类化学材料、膨胀材料和絮凝类材料。对于膨胀材料,一般选用膨润土,速凝材料一般采用水玻璃,絮凝材料为专用水下抗分散剂;③当水流过大时,考虑双管甚至三管并配置化学控制液浆材进行灌浆;④对于架空、漏失严重的地层,考虑采用水泥速凝膏状浆材灌注;地下水条件下,也可采用水下不分散水泥浆液进行静灌充填,具体的做法是在普通水泥浆中掺入3%~5%(水泥重量)的膨润土搅拌以形成水泥膨润土浆液,然后再掺入专用絮凝剂和调凝剂,充分搅拌后形成一种类似水泥膏浆、

但性能又优于膏浆的水下抗分散性浆液,这种浆液稳定性好且具有一定的触变性能(高屈服剪切应力和低塑性粘度)和凝胶强度,对于抵抗水流冲刷是非常有利的。

(3)对粉砂层的处理。

高喷在复杂地质条件下,除了经常会遇到以上几种不良地层外,在钻孔过程中,局部孔(段)还可能遇到粉细砂层,在地下水等的作用下,粉细砂层产生液化现象,钻进容易,但喷浆却难以保证质量。对此所采用的处理措施为:高喷喷嘴进入砂层下界面时,一般先采用静喷10~20 min,使砂层下界面被高压水(浆)流切割;随着高喷喷嘴的提升,其上面的砂层分层下塌,自然地与浆液裹挟而形成结石。高喷在砂层中喷射时,高喷参数中的高压浆流采用最大值,提升速度减慢,使喷射作用的砂层在高喷墙范围内形成结石凝固。若处理效果不好,可对喷具进行适当改进,增加喷嘴数量,将上下喷嘴距离设为50 cm。

6.4 高喷质量检查

围堰高喷防渗质量检查的方式主要有墙体开挖、围井注(抽)水试验、钻孔取芯等几种。检查的重点宜布置在地层结构复杂、施工过程中异常孔(段)多、漏浆严重或其他可能引起质量缺陷的部位。由于水利水电工程围堰施工的特殊性,其工期安排的非常紧,而采用钻孔取芯需要达到28 d龄期,对于一般的临时围堰工程项目可能时间来不及,墙体开挖一般要在后期围堰拆除时才具备有利的施工条件,因此,宜优先考虑以围井注(抽)水试验检查为主,该方法也是高喷完成后了解地层渗透性最可靠的方法。如果现场条件允许,亦可辅以开挖和钻孔取芯的方法进行检查。

对于复杂地质条件下的围堰高喷防渗,质量检查是必不可少的环节,这也是保证高喷施工质量最后的一个环节;如果在质量检查中发现问题,应分析情况并采取措施进行处理;如果等到基坑开挖后出现问题,不但将增加补救的难度,还将延误施工工期,造成的损失更大。根据已有的施工经验,对于复杂地质条件下的围堰高喷防渗,通常采取以上几种方法相结合进行质量检查。

7 结语

(1)复杂地质条件下的水工建筑物围堰防渗应根据设计提供的地质勘探资料并结合生产试验揭露的地质情况,视不同的地层情况科学地采用与之相适宜的高喷施工参数进行质量控制。

(2)对于高喷中遇到大漂石、孤石、架空层和强透水层等复杂地质条件时,要保证高喷防渗施工取得较好的效果,往往还需与灌注砂浆、膏浆、不分散水泥粘土浆和水泥化学双液浆材等静压控制性灌浆手段结合起来,才能做到既节省高喷材料,又保证高喷施工质量。

(3)大量的实践证明:只要对影响高喷质量的各种因素进行分析并及时提出有针对性的防治措施,高喷灌浆在复杂地层中就能取得较好的防渗效果;反之,如果处理不当或对地层复杂性认识不足,就可能导致高喷防渗达不到预期的效果,甚至失败。

作者简介:

杜林(1981-),男,四川南充人,项目经理,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

邓树密(1971-),男,四川广安人,分局总工程师,教授级高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

四川木里河卡基娃水电站第一阶段蓄水验收会议召开

2014年12月26日,木里河卡基娃水电站初期蓄水验收会在成都召开。会议由水电水利规划设计总院主持,成都院副总经理王寿根参加了会议。会议听取了业主、设计、安鉴、质检、验收等单位的汇报,与会代表一致认为卡基娃电站具备初期蓄水条件,蓄水验收委员会通过了卡基娃水电站初期蓄水验收鉴定书,标志着卡基娃水电站经过7年艰苦建设完成了一个新的里程碑。工程预计于12月底下闸蓄水,2015年2月蓄至初期蓄水位2 805 m,同年3月1#组投产发电。2015年7月开始二期蓄水,10月蓄至正常蓄水位2 850 m。12月24~25日,会前,验收专家组查看了川大进行的放空洞生态放水泄放生态流量的模型试验情况,研阅了工程参建各方的报告并进行了质询,形成了蓄水验收专家组意见。

成都院继续获得中国水利水电勘测设计协会颁发的企业信用等级AAA+

根据中国水利水电勘测设计协会《关于开展2014年度全国水利水电勘测设计行业信用等级评价的通知》要求,成都院启动水利水电勘测设计信用评价申报工作。在自愿申报的基础上,本着“公平、公正、公开、科学”的原则,经信用评价专家组评审、信用评价工作委员会审议、中国水利水电勘测设计协会审定,并由中国水利水电勘测设计网公示,对2014年全国水利建设市场主体信用等级评价结果予以公布,成都院复评结果为企业信用等级AAA+。