

多扶正器防斜钻具组合在大岗山水电站帷幕灌浆工程中的应用

赵国法¹, 邱顺兵², 韦 猛²

(1. 浙江省地勘投资发展有限公司, 浙江 杭州 310007; 2. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘 要:大岗山水电站帷幕灌浆工区施工局限性显著、地层自然造斜力强, 灌浆孔孔斜设计要求高, 其顶角要求 $\leq 0.5^\circ/100\text{ m}$, 防斜技术难度大。采用多扶正器防斜钻具组合, 有效地限制了灌浆孔轴线顶角变化和孔底偏移量, 控制了灌浆孔弯曲偏斜, 灌浆孔成孔质量明显提高, 获得了较好的经济效益。

关键词:帷幕灌浆孔; 防斜钻具; 扶正器; 孔底偏移量; 大岗山水电站

中图分类号: P634.7; TV543 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2013)04-0071-04

Application of Multi-stabilizer Anti-deflection BHA in the Curtain Grouting Engineering at Dagangshan Hydropower Station/ZHAO Guo-fa¹, QIU Shun-bing², WEI Meng² (1. The Geological Prospecting and Investing Development Company of Zhejiang Province, Hangzhou Zhejiang 310007, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

Abstract: The dykes of curtain grouting work area in Dagangshan hydropower station are steep and the environmental limitation and natural deflecting force of formation are significant. So the design of hole-deflection is strict and the vertex angle requirement is up to $\leq 0.5^\circ/100\text{ m}$. By using multi-stabilizer anti-deflection BHA, the grouting hole axis vertex angle changing and hole bottom offset were effectively limited and the grouting hole bending deflection was controlled with the quality of grouting holes significantly improved.

Key words: curtain grouting hole; anti-deflection BHA; stabilizer; hole bottom offset; Dagangshan hydropower station

1 工程概况

在建的大岗山水电站位于四川省石棉县挖角乡境内, 其设计为混凝土双曲拱坝, 该水电站帷幕灌浆主要涉及大坝、二道坝、厂房帷幕灌浆及排水工程。其拱坝对基础的防渗性能要求高, 防渗系统直接影响大坝蓄水发电可靠性, 影响坝肩稳定和大坝的安全运行。工程主要采用帷幕灌浆、结合排水方法减少大坝基岩渗漏、降低大坝和抗力体扬压力。

2 帷幕灌浆孔防斜难度大

2.1 施工局限性显著

该灌浆工程都在灌浆廊道内进行, 工作面环境狭窄(廊道内净空 $3.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$), 在高精度质量要求下(孔、排距 $\geq 2\text{ m}$, 单根钻具长度受限), 钻孔极易出现偏斜弯曲。

2.2 地层自然造斜力强

灌浆区地应力高, 岩石各向异性显著; 侵入性辉

绿岩脉产状陡倾, 花岗岩与辉绿岩脉软硬互层, 具强造斜性。前期的灌浆试验孔、先导孔测斜资料表明, 灌浆孔轴线顶角变化过大, 灌浆孔弯曲严重, 极易超过设计要求, 现场被迫进行大量纠斜、人工造斜工作, 生产效率低, 工期进度慢, 工程附加费用高。其部分孔斜数据见表 1。表中 R2x-III-76 孔按均角全距法计算孔深 60 m 时孔底偏移量已达 1.227 m, 其纠斜造斜时间花费共 7 天, 严重影响施工进度。

2.3 孔斜设计要求高

帷幕灌浆孔孔斜设计要求高, 防斜技术难度大: 帷幕灌浆孔开孔孔位与设计位置的偏差 $\geq 10\text{ cm}$; 灌浆孔设计孔距 1.5 m, 排距 1.5 m, 孔深 160 m 左右, 钻孔偏斜不能超过孔距, 即终孔水平偏移 $< 1.5\text{ m}$, 达到 $\leq 0.5^\circ/100\text{ m}$ 的顶角偏差, 钻孔精度大大超过常规地质钻孔孔斜(顶角变化 $2^\circ/100\text{ m}$) 要求。为保证灌浆孔孔斜设计要求, 钻进时效慢, 部分孔钻进时效见表 2。

收稿日期: 2012-12-11; 修回日期: 2013-03-20

作者简介: 赵国法(1970-), 男(汉族), 浙江绍兴人, 浙江省地勘投资发展有限公司总经理, 探矿工程专业, 从事隧道工程、地质灾害防治工程方面管理及研究工作, 浙江省杭州市体育场路 298 号, 1348380766@qq.com; 邱顺兵(1986-), 男(汉族), 四川隆昌人, 成都理工大学硕士研究生在读, 地质工程专业, 从事岩土钻掘工程方面研究工作, 四川省成都市成华区二仙桥东三段一号, z474984942@163.com。

表 1 前期灌浆孔顶角测斜记录 / (°)

孔号	高程/m	孔深/m	测斜深度/m							
			0	10	20	30	40	50	60	70
R1s - Ⅲ - 59	941. 11	81. 80	0	0	0. 1	0. 3	0. 5	0. 8	0. 8	0. 8
R1s - Ⅰ - 62	941. 21	84. 86	0	0. 1	0. 3	0. 5	0. 8	0. 9	1. 3	1. 6
L1x - Ⅰ - 61	941. 28	81. 60	0	0. 1	0. 3	0. 5	0. 9	1. 1	1. 2	1. 3
L2x - Ⅱ - 74	941. 48	85. 59	0	0. 2	0. 3	0. 5	0. 7	1. 1	1. 1	1. 5
R2s - Ⅱ - 72	980. 59	80. 70	0	0	0. 5	0. 9	1. 3	1. 7	1. 8	2. 1
R2x - Ⅲ - 76	980. 64	85. 10	0	0. 2	0. 5	1. 1	1. 6	1. 6	1. 7	2. 0
L2x - Ⅰ - 54	980. 04	76. 94	0	0. 5	0. 8	0. 8	1. 2	1. 1	1. 2	1. 5
L2x - Ⅲ - 57	980. 10	83. 50	0	0	0. 9	2. 2	2. 7	2. 7	2. 0	2. 2

表 2 前期部分钻孔钻进时效

孔号	孔深/m	用时/h	进尺/m	时效/m
R1s - Ⅲ - 56	8. 0 ~ 9. 2	1. 67	1. 2	0. 72
	16. 6 ~ 17. 8	1. 83	1. 2	0. 66
	29. 2 ~ 30. 4	1. 92	1. 2	0. 63
	39. 3 ~ 40. 6	2. 00	1. 4	0. 65
	49. 2 ~ 50. 3	1. 68	1. 1	0. 65
	59. 1 ~ 60. 2	1. 53	1. 1	0. 72
	62. 6 ~ 63. 8	1. 65	1. 2	0. 45
	70. 7 ~ 72. 0	2. 07	1. 3	0. 63
	平均			0. 64
R1s - Ⅲ - 60	8. 0 ~ 9. 1	1. 93	1. 1	0. 57
	12. 7 ~ 14. 0	1. 67	1. 3	0. 78
	22. 9 ~ 23. 9	1. 73	1. 0	0. 58
	33. 0 ~ 34. 2	1. 32	1. 2	0. 52
	42. 8 ~ 44. 0	1. 72	1. 2	0. 70
	49. 2 ~ 50. 0	1. 32	0. 8	0. 61
	51. 7 ~ 53. 0	1. 82	1. 3	0. 71
	65. 4 ~ 66. 0	1. 42	0. 6	0. 42
	平均			0. 61

1. 其能减小钻进时的阻力,使冲洗液能通过螺旋结构顺利返出,减少卡钻事故的发生^[4];螺旋形设计,支撑面积较大,可防止其吃入力学性质较差的辉绿岩地层中。

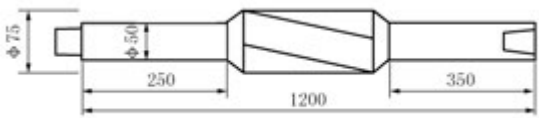


图 1 螺旋型扶正器结构示意图

3.2.2 多扶正器防斜钻具组合

要取得理想的防斜效果,除扶正器选型外,还必须做好扶正器安装位置的计算。扶正器安装位置优劣对防斜效果起到决定性作用^[4]。

在多扶正器钻具组合中,近钻头扶正器作用主要是抵消地层自然造斜力,中扶正器主要作用是减小钻头倾斜角。由于近钻头扶正器直接装在岩心管之上,无需进行计算。该多扶正器防斜钻具结构见图 2。

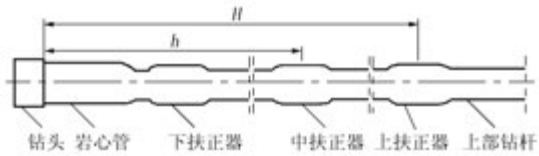


图 2 多扶正器防斜钻具结构示意图

3.2.3 多扶正器防斜钻具结构参数设计

3.2.3.1 上扶正器与钻头间的最大间距(H_{max})

采用压杆稳定理论,认为钻柱为细长杆件,其在端部固定条件下会产生横向相对位移^[5],从而计算出 H_{max} :

$$H_{max} = \sqrt{\pi^2 EI/P} = \pi \sqrt{EI/P} (m)$$

式中: I ——钻柱的截面惯性矩, $I = \pi (D_0^4 - D_1^4)/64$, m^4 ; E ——钢的弹性模量, 2.1×10^{11} Pa; P ——上扶正器以下钻柱发生一次弯曲时的临界钻压, $P = L_1 q$, $L_1 = 2.04 \sqrt[3]{EI/P}$, N; q ——扶正段钻柱在冲洗液中单位长度的重力, N/m; L_1 ——钻柱发生一次弯曲

3 多扶正器防斜钻具组合

为创建优质精良帷幕灌浆工程,切实做好灌浆孔防斜技术工作,必须把灌浆孔孔底偏斜量控制在设计范围内,并进一步提高生产效率,加快施工进度,节约工程费用。

3.1 多扶正器防斜钻具工作原理

为减小灌浆孔孔斜,根据相关工程经验,结合大岗水电站灌浆工程实际需要,在钻柱下部安装几个扶正器,组成刚度较大且孔径与钻柱外径之间间隙较小的刚性满眼钻具^[2]。其防斜原理是安装扶正器后,可扶正钻头和钻柱,提高下部钻柱的刚度,减小其弯曲程度,消除钻头的严重倾斜^[3],能减小和限制因钻柱弯曲而产生的增斜力;同时扶正器能支承在孔壁上,抵消地层自然造斜力,从而把孔斜控制在最小范围内。

3.2 扶正器钻具组合设计

3.2.1 螺旋型扶正器

根据地层情况选用螺旋型扶正器,其结构见图

时,中性截面距钻柱底端的距离,近似于受压部分的长度,m; D_0 ——扶正段钻柱外径,m; D_1 ——扶正段钻柱内径,m。

3.2.3.2 上扶正器与钻头间的最小间距($H_{\min}$)

利用霍克公式^[6],计算绘制出图表(见图3),现场使用时直接查出即可确定 $H_{\min}$ 。

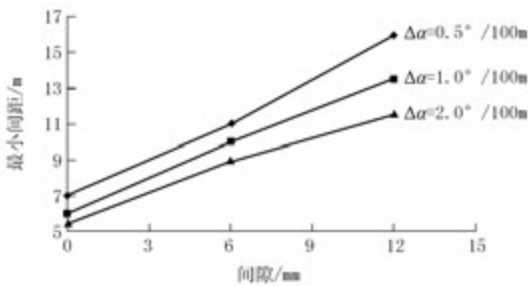


图3 上扶正器与钻头间距计算图

3.2.3.3 各扶正器与钻头的最佳间距

为最大限度的发挥扶正器的防斜作用,按照理论分析计算结果,施工时采用下式计算上、中扶正器距钻头的最佳间距 H 、 h :

$$H = \alpha(H_{\max} + H_{\min}), h = \alpha H$$

式中: α ——一般取值 0.4 ~ 0.5。

由:

$$\begin{aligned} I &= \pi(D_0^4 - D_1^4)/64 \\ &= \pi(0.050^4 - 0.040^4)/64 \\ &= 1.81 \times 10^{-7} (\text{m}^4); \\ q_{\text{空}} &= 7.8 \times 10^3 \times 10\pi(0.050^4 - 0.040^4)/4 \\ &= 55.1 \text{ N/m}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= q_{\text{空}} - q_{\text{空}}\rho_{\text{泥}}/\rho_{\text{钢}} \\ &= 55.1 - [55.1 \times 1.0 \times 10^3 / (7.8 \times 10^3)] \\ &= 48.0 \text{ N/m}; \\ L_1 &= 2.04 \sqrt[3]{EI/P} \\ &= 2.04 \times \sqrt[3]{2.1 \times 10^{11} \times 1.81 \times 10^{-7} / 48.0} \\ &= 18.87 \text{ m} \\ P &= L_1 q = 18.87 \times 48.0 = 905.8 \text{ N} \\ H_{\max} &= \pi \sqrt{EI/P} \\ &= \pi \sqrt{2.1 \times 10^{11} \times 1.81 \times 10^{-7} / 905.8} \\ &= 20.34 \text{ m} \end{aligned}$$

式中: $q_{\text{空}}$ ——钻具在空气中单位长度的重力,N/m;
 $\rho_{\text{泥}}$ ——泥浆密度,取 $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; ρ ——钻具的密度,为 $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; $D_0 = 0.050 \text{ m}$; $D_1 = 0.040 \text{ m}$;经查图得: $H_{\min} = 14 \text{ m}$ 。

计算得出上、中扶正器距钻头的最佳距离 H 、 h 为(α 分别取 0.44 与 0.4):

$$\begin{aligned} H &= \alpha(H_{\max} + H_{\min}) = 0.44(20.34 + 14) = 15.11 \text{ m} \\ h &= \alpha H = 0.4 \times 16.48 = 6.04 \text{ m} \end{aligned}$$

4 工程应用效果

采用扶正器防斜钻具后,配合前期试验确定的最佳钻进规程参数进行灌浆孔施工,其测斜数据部分成果见表3。经计算,在孔深为 130 m 时,其孔底偏移量最小为 L1x - III - 14 孔 0.273 m,孔底偏移量最大为 L1s - II - 7 孔 0.415 m。对比可知,采用多扶正器防斜钻具施工,能够很好的抵消地层自然

表3 采用防斜钻具后灌浆孔顶角测斜记录 / (°)

孔号	高程 /m	孔深 /m	测斜深度/m														
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
R1x - Ⅲ - 2	940.02	147.49	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4	0.6	
R1x - Ⅲ - 4	940.06	144.71	0	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	
R1x - Ⅰ - 9	940.16	139.77	0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	
R1x - Ⅰ - 13	940.24	137.21	0	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	
R1s - Ⅰ - 17	940.33	136.96	0	0	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.5	0.5	
L1s - Ⅱ - 7	940.13	138.99	0	0.2	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	
L1x - Ⅲ - 8	940.14	138.40	0	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.6	
L1x - Ⅲ - 14	940.26	136.25	0	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	

造斜力,灌浆孔轴线的顶角变化减小,孔底偏斜量减少,灌浆孔弯曲偏斜情况得到有效控制,灌浆孔成孔质量明显提高,满足孔斜设计要求。

采用扶正器防斜钻具后,灌浆孔轴线平滑发展,未出现拐点或急弯点,使孔内埋钻、卡钻挤夹、钻具折断等事故概率减小,基本消除人工纠斜、造斜工作。在满足孔斜设计要求的前提下,使附加工序减

少,有效进尺增加,生产效率大为提高,加快了工程建设进度,创造了可观的经济效益,其部分钻进时效见表4。

5 结语

大岗山水电站帷幕灌浆工程采用多扶正器防斜钻具进行灌浆孔施工,很好地抵消了地层自然造斜

表 4 采用防斜钻具后部分钻孔钻进时效

孔号	孔深/m	用时/h	进尺/m	时效/m
L1s-Ⅱ-7	9.0~10.3	1.40	1.3	0.93
	19.1~20.3	1.20	1.2	1.00
	29.1~30.3	1.17	1.2	1.03
	37.8~39.0	1.18	1.2	1.02
	46.6~47.8	1.28	1.2	0.94
	54.1~55.4	1.32	1.3	0.98
	67.8~69.1	1.35	1.3	0.96
	77.8~79.1	1.28	1.3	1.02
平均				0.98
L1x-Ⅲ-8	7.8~9.1	1.33	1.3	0.98
	18.9~20.2	1.37	1.3	0.95
	29.5~30.6	1.12	1.1	0.98
	39.1~40.4	1.43	1.3	0.91
	49.1~50.1	1.03	1.0	0.97
	68.8~70.0	1.23	1.2	0.98
	84.1~84.9	0.93	0.8	0.86
	99.1~100.3	1.27	1.2	0.94
平均				0.95

力,有效地限制了灌浆孔轴线顶角变化和孔底偏移量,控制了灌浆孔弯曲偏斜,明显提高了灌浆孔成孔

(上接第 70 页)

减水剂、塑化剂(亚硫酸纸浆液,碱性造纸液),能提高水泥浆流动度和稳定性。流动度越大,其结石体凝固时间越长且强度越低,但对于路基土体加固而言无大影响。因此在注浆量很小的粉土地基中注浆对浆体的处理除合理加入减水剂、塑化剂外,应适当增大水灰比至 1.5 左右,并采用清水引浆和多级水灰比工法进行注浆,以提高粉土质路基注浆质量。

5.2.3 注浆材料的选配

就目前国内生产水泥材料而言,细度是影响水泥浆流动度的主要因素,水泥标号越高细度越细。已选择质量合格的 PO 42.5 的普通硅酸盐水泥能够满足路基注浆,要求水泥新鲜无结石。另外水泥的安定性是影响其浆体稳定和有无气孔的主要因素,除专用膨胀水泥凝固中有浆体膨胀特性外,一般普通硅酸盐水泥在凝结和硬化过程中浆体均呈微缩现象,但在浆量体积大、水化热量较大时会产生热开裂现象和包围土体受热产生膨胀,严重时导致路基上浮,因此在气温高、大体积注浆时要采用间歇注浆并

质量,很好地满足该帷幕灌浆工程防斜技术要求。
多扶正器防斜具的应用,使各类孔内事故发生概率减少,基本消除人工纠斜、造斜工作,使附加工序减少,生产效率提高,施工进度加快,在今后相关工程中可参考运用。

参考文献:

[1] 刘三虎,丁永波.蜀河水电站防渗帷幕灌浆技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):61-64.
[2] 张志峰.浅析钻孔孔斜的控制[J].中州煤炭,2005,(4):22-24.
[3] 赵新瑞.井斜控制理论及防斜钻井技术综述[J].钻采工艺,2000,23(1):4-9.
[4] 梁贵和,关洪军,毛云.螺旋式扶正器与钻铤组合满眼防斜钻具在基岩地层深水井施工中的应用[J].水文地质工程地质,2005,(1):98-101.
[5] 王伟.简易满眼钻具的设计[J].中国井矿盐,1999,(2):14-17.
[6] 雷宗明.钟摆钻具扶正器安装高度计算[J].断块油气田,1997,4(2):53-55.

适当加入缓凝剂。

为提高水泥浆体的安定性和塑性,可在浆体中加入 10%~20% 粘土,使水泥浆体具有一定的蚀变性,并可降低浆体泌水率,降低水泥结石微孔隙透水性,但其结石体强度有所降低,但对于路基加固工程效果不存在任何问题。

参考文献:

[1] 付敏,张可能,梁成根,等.注浆方法在路基沉陷处理设计中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(11):5-7.
[2] 王玉森.应用钻孔注浆工艺治理神延铁路路基下伏采空区[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(Z1):36-37.
[3] 祝保年.注浆技术在洛湛铁路岩溶路基施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(6):6-8.
[4] 胡朝彬,戴苗,王宝勋,等.公路路基下溶洞的探测与加固处理实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(8):67-69.
[5] 蔡年初,王雪平.某高速公路路基加固及路面抬升注浆施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(5):17-18.
[6] 蒋丹阳.采用掏土纠偏及袖阀管加固技术整治铁路桥涵不均匀沉降[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(11):15-17,19.