

卡拉水电站高边坡危岩体治理支护成孔方法研究

彭 明

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 610213)

摘 要:卡拉水电站枢纽区左岸边坡浅表部岩体均有不同程度的倾倒而导致其表部岩体拉裂解体形成了大量的危岩,这些危岩对枢纽工程造成了极大的威胁,必须在主体工程建设前完成对倾倒危岩的处理。对目前常规使用的危岩处理措施进行了介绍,结合工程实践,阐述了对倾倒岩体下的成孔方法进行的研究。

关键词:卡拉水电站;危岩体治理;倾倒岩体;成孔

中图分类号:TV7;TV52

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)06-0063-05

Study on Support Drilling for the Treatment of Dangerous Rock Mass in High Slope of Kala Hydropower Project

PENG Ming

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: The shallow side slope of the left bank in the hub area of Kala Hydropower Project has collapsed to varying degrees, which leads to the rock mass of the topside cracking and dissolving, forming a large number of dangerous rocks, poses a great threat to the hub project. It is necessary to complete the treatment of dumped dangerous rocks before the construction of the main project. The currently commonly used dangerous rock treatment measures are introduced, and combined with engineering practice, the drilling method under dumped rock mass is summarized.

Key words: Kala hydropower Project; Treatment of dangerous rock mass; Toppling rock mass; Drilling

1 概 述

卡拉水电站位于四川省凉山彝族自治州木里藏族自治县境内的雅砻江干流河段上,是雅砻江干流中游两河口~卡拉河段水电开发规划一库七级中的第七级水电站,其开发任务为发电。坝址控制流域面积为 81 762 km²,电站装机容量为 1 020 MW,多年平均发电量为 46.460 亿 kW·h。正常蓄水位以下的库容为 2.378 亿 m³,调节库容为 0.365 亿 m³。

卡拉水电站工程区地质构造较发育,地质条件复杂;加之坝址地处深山峡谷,河床深切、两岸坡高且陡,受卸荷和不利结构面切割组合影响,岸坡不利地质现象发育。因坝址区边坡岩性组合中夹有较软弱的砂质板岩、碳质板岩,而且岸坡表层岩体在风化卸荷及重力作用下向临空面弯曲或折断发生蠕动变形^[1],整个边坡浅表部均呈不同程

度的倾倒而导致其表部岩体拉裂解体,形成了大量的危岩,尤其是坝址区上游侧和下游侧危岩大面积分布且块体方量较大。倾倒岩体挤压紧密的陡倾岩层在一定条件下,受力的作用促使岩体沿着某一较明显的界面向着变形空间一侧发生弯折的现象;挤压紧密岩体的构造应力在一定条件下释放而使岩体首先发生松弛,当外力(重力、冰川力等)进一步作用于岩体时其倾斜更加显著,致使倾角显著变缓,甚至达到水平或反倾。倾倒后,岩体仍保持着原岩的结构和构造,无明显的错开和位移现象。业界对这种由倾倒岩层所组成而又明显区别于下伏岩层的地质体统称为倾倒体^[2]。加之卡拉水电站工程区左岸山顶高程在 3 000 m 以上,相对高差千余米,整体坡度均在 50°以上,坡面大多基岩裸露,岩体风化破碎。为了边坡的稳定,设计采用锚杆、锚索等锚固措施对边坡的危岩体进行处理,但面对复杂的危岩条件,常规的成孔方式难以满足施工需求。因此,笔者根据倾倒岩

收稿日期:2024-01-20

体治理施工的需要总结出以下几种成孔方法并对比了其优缺点。

2 成孔工艺

早在 20 世纪 20 年代,岩土锚固技术即开始广泛应用于采矿和水利工程施工中。而预应力锚固技术应用于我国则是在 20 世纪 80 年代。工程中常用的不利岩体条件下的成孔方法包括固壁灌浆成孔及跟管成孔两种方式。固壁灌浆成孔的主要原理是在钻进前及钻进中进行反复的注浆使破碎的岩层板结^[3];而跟管成孔则是一边钻进一边利用钻机压入套管,然后钻具跟着钻进,该方法可以有效地防止钻进过程中孔壁坍塌,其已广泛应用于钻探等工程领域。

固壁灌浆成孔的方式包括投放水泥球固壁、在孔口用浆液冲砂与豆石、浆液浓度调整、浆液加速凝剂、浆液加水玻璃等;跟管成孔方式则分为跟管成孔及“跟管+套管”成孔两种方式。

2.1 设备选型

目前市场上常规的凿岩设备有手风钻、潜孔钻、哈迈锚索钻机等。考虑到手风钻满足不了该工程危岩体锚杆、锚筋桩的施工要求,项目部最终挑选了潜孔钻机及锚索钻机进行钻孔。市场上常用的潜孔钻机、锚索钻机参数如下:

(1)潜孔钻机:常用的型号为 QZJ-100B,其钻孔直径为 65~130 mm,钻孔深度为 20~30 m,钻孔角度为-90°~90°。

(2)哈迈锚索钻机:常用的型号为 YXZ-30A/40A/50A/70A,钻孔直径为 90~230 mm,钻孔深度为 20~100 m,钻孔角度为-90°~90°。

(3)跟管钻具:根据以往取得的施工经验,采用同心钻具的废孔率高于偏心钻具,故该工程的跟管钻具最终采用偏心钻具。

2.2 钻孔工艺

钻孔选用低转速、大扭矩液压回转工程地质钻机,锚杆采用 QZJ-100B 潜孔钻机钻孔;锚筋桩采用 QZJ-100B 潜孔钻机及 YXZ-40A/70A 哈迈锚索钻机钻孔;采用 Φ75/Φ150 冲击器进行风动冲击回转造孔钻进。在钻进过程中使用低转速、无压推进的方法,依靠高扭矩、低转速的旋转钻头破除岩面,从而可以避免高压冲击产生的塌孔及卡钻现象。施工人员可以从冲击器工作的声音判断是否进行钻进或回转操作,当遇到不返风、

钻杆振动异常等情况时立即提钻,判断所出现的问题并进行解决后再次钻进,进而保证造孔施工的正常进行。

2.3 水泥球固壁成孔

水泥球的主要用途是孔内堵漏。水泥球的原材料为普通硅酸盐水泥,固壁施工前先按照(0.2~0.25):1 的水灰比调配水泥浆液,然后将水泥由人工捏成 10~13 cm 直径的球体。将水泥球放入待固壁的孔内、利用钻具将水泥球挤入孔壁,待 6~8 h 后其即可凝固而形成稳定的裂缝封堵块体,从而达到固壁效果^[4]。

根据卡拉水电站左岸 Z2-14 危岩体成孔情况,当施工 Φ28,L=6 m/Φ32,L=9 m 锚杆时,平均投放水泥球约 110 kg;当施工 3Φ32,L=12 m 锚筋桩时,平均投放 170 kg 水泥球即可完成较大裂隙的封堵。对于微小的裂隙,水泥球固壁起到的作用较小,需要配合水泥浆液对微小裂隙进行封堵,且水泥球固壁的浆液待凝时间平均需要达到 8 h 以上,不利于现场施工。

2.4 孔口冲沙、豆石固壁成孔

在孔口冲沙、豆石固壁是利用较大粒径的沙及豆石配合水泥浆液对较大的裂隙进行封堵。已有的研究证明:当孔壁间距大于所投放的沙及豆石直径的 2~3 倍,几乎不存在缓慢投放沙或豆石导致卡钻出现的问题。故在钻孔过程中若遭遇塌孔、裂缝等不利条件时,采用粒径为 0.25~0.5 mm 的沙配合浆液冲入到锚杆孔及锚筋桩孔固结、再通过扫孔形成固壁;在遇到较大裂隙时,采用孔口浆液冲沙固壁的效果较差,故可以在保持注浆的同时将沙替换成粒径为 0.5~1.2 cm 的豆石。冲沙时采用多次孔口冲沙的方式进行补沙,该方法对钻具的影响较小,能够提高钻具的运行效率,也避免了冲沙过快导致钻具卡钻问题的出现,但施工时应注意将冲沙和豆石粒径控制的与设计文件要求的一致,且冲沙速度不宜过快;同时,冲沙时应保证浆液流动(浆液采用纯水泥浆,其水灰比为(0.38~0.45):1),该方式在卡拉水电站面对较大裂隙时使用取得了较好的效果,单孔平均固壁灌浆量降低了约 400 L,但浆液待凝时间几乎未发生变化。

2.5 浆液加水玻璃固壁成孔

水玻璃是一种透明的玻璃状熔合物,可以与

水泥配合使用,能够使水泥浆迅速失去流动性而转化成为固体、共同填充孔中的裂隙。而普通水泥其水灰比稍大即不会凝结,正常情况下,其凝结的时间需要 48 h 以上。而加入水玻璃后可任意控制其凝结时间,且其水灰比亦可大到 300% 也会凝结。因为水泥的矿物组分如硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸四钙与水作用进行水化反应时,除产生水化硅酸钙等胶化组分外,还会产生活性很强的氢氧化钙。

根据上述原理,项目部选择了氯化钠水玻璃配合水泥浆进行固壁灌浆(氯化钠水玻璃参数为粘度(Pa·s 20℃>0.01;可注入的裂隙下限为 0.1 mm;胶凝时间为 3~5 min;抗压强度为 0.5~2.0 MPa)。施工前,可按照 1:(0.4~0.6)的比例进行水泥与水玻璃浆液的配比,施工时将调配好的浆液直接、缓慢、间隔的往孔口倒入,采用这种方法固壁灌浆时,单孔平均凝结时间为 2 h,单孔固壁灌浆量平均为 872 L。由此可以看出:该方法能有效降低浆液的待凝时间,降低固壁灌浆量,从而提高施工效率。根据现场实际情况可知:采用浆液加水玻璃成孔时,对于岩质破碎孔段,可大幅度提高其成孔效率;但对于断层及空腔段,这种固壁灌浆方式仍难以取得较好的施工效果。

2.6 调整浆液浓度固壁成孔

根据施工需要,固壁灌浆材料需要具有以下特点:(1)利于泵送灌注的流动性;(2)能够提高施工效率的短期凝结时间;(3)早期强度好且持续增长。对此,项目部开展了对普通硅酸盐水泥(P·O42.5)净浆主要灌浆性能的试验研究,获得了在不同水灰比条件下普通硅酸盐水泥净浆的灌浆特性。普通硅酸盐水泥灌浆成果见表 1。

表 1 普通硅酸盐水泥灌浆成果表

序号	水灰比	凝结时间 /min		强度 /MPa	
		初凝	终凝	3 d	7 d
1	5 : 1	819	1 108	4.76	5.34
2	3 : 1	643	993	5.42	7.13
3	2 : 1	627	956	5.85	8.27
4	1 : 1	457	803	6.77	8.89
5	0.45 : 1	296	433	8.87	11.03

由表 1 可知:在不同水灰比条件下其凝结时间存在差异:水灰比越高,其凝结时间越长。在高水灰比条件下,强度较低,增长缓慢。而水灰比小

于 1 时其强度增长快;水灰比为 0.45 时其 14 d 强度可达 21.03 MPa;而当水灰比调整至 0.3 : 1 时,浆液流动性急剧下降,已难以满足施工要求。为保证砂浆具有较高的早期强度,根据试验结果,施工时选择的固定水灰比为 0.45。现场采用 0.45 : 1 的水灰比进行施工时,由于施工部位的坡面岩体破碎程度较为严重,在钻进前先对孔口 0.5 m 范围进行固壁处理,以防后期钻进过程坡面滑塌,再将注浆导管插入坡内进行固壁。每次的固壁深度按照 0.5~0.8 m 控制,注浆完成后等待 24 h 以上方可进行钻孔。根据注浆深度,每次钻至注浆处即停止钻进,重复注浆及钻进直至终孔。在此过程中,由于坡面裂隙较大且松散导致该方法注浆量不易控制,浆液待凝时间较长,不适用于数量较多的情况,且不能完全确保施工过程中因钻杆碰触孔壁导致塌孔的情况不出现。

2.7 浆液加速凝剂固壁成孔

在基岩破碎、裂隙发育、节理连通性好及耗浆量很大的固壁施工中,通常采用常规的由稀变浓的固壁灌浆方法,但其待凝时间较长,成孔效率低,施工进度慢^[5]。因此,为满足快速固壁成孔,减少待凝时间,计划向普通硅酸盐水泥中加入一定量的高效速凝剂。根据工程实际并结合既有施工技术经验,初步确定了速凝剂的 3 种不同加量。浆液加速凝剂成孔记录情况见表 2。

表 2 浆液加速凝剂成孔记录表

序号	水 : 水泥 : 速凝剂	速凝剂掺量 /%	初凝时间 /min	终凝时间 /min
1	0.45 : 1 : 0.008	0.8	23.5	96.4
2	0.45 : 1 : 0.006	0.6	39.7	120.6
3	0.45 : 1 : 0.004	0.4	47.7	145.3

根据试验结果得知:随着速凝剂掺量的提高,其浆液凝结时间并不呈现简单的线性关系。根据施工的可行性,为减少固壁待凝时间,施工时现场速凝剂的掺量按 0.8% 选用。在采用该方法进行施工时,现场平均待凝时间为 4~5 h,相对于纯水泥浆固壁,其固壁成孔时间、固壁灌浆量都有了较大程度的降低,在工程中具有一定的适用性。

2.8 跟管成孔

根据现场实际情况,部分孔位在采用固壁灌浆成孔时,经过长时间固壁及多次扫孔均无法正常成孔,故考虑采用跟管的方式成孔。跟管施工

前,先将常规的钻具替换为偏心钻具,然后顺时针方向旋转启动钻具时,将扩孔器从中心偏离出来与钻头同步旋转,其所钻出的孔径大于套管外径,因此,套管随着钻头的前进并在钻机压力下随之下降,实现跟管钻进。当钻进完成、基岩内不需要再采用套管护壁时需要退出偏心钻具,此时,将钻具逆时针方向旋转一下,扩孔器在钻头中心轴偏心的作用下向中心收拢,因钻头直径小于套管内径,此时可以顺利地取出钻具。跟管前,单台潜孔钻单天完成锚杆钻孔 1~1.5 孔,单台锚固钻机约 2 d 完成 12 m 长的锚筋桩钻孔 1 个,个别则需 4~7 d 方能成孔;在不考虑拔管的情况下,单台潜孔钻单天完成锚杆钻孔 2~3 孔(白夜班);考虑拔管时,单天平均可完成锚杆钻孔 1.5 孔、锚筋桩钻孔 1 孔,效率提高约 1 倍。

2.9 跟管+套管成孔

跟管成孔后,在跟管退出时易再次发生塌孔而影响到后续施工,故在跟管内插入 PVC 花管以确保后续施工能够正常进行。施工时,先进行套管跟进钻孔,再在套管内安放 PVC 花管后拔出套管、再下锚筋桩进行注浆,同时,在 PVC 花管外侧安装 Φ6 圆钢作为对中支架。锚筋桩采用 Φ178 套管,Φ135 PVC 花管,锚杆采用 Φ108 套管,Φ76 PVC 花管。PVC 花管共钻两排孔,孔洞的间距为 20 cm,孔洞直径为 16~20 mm,十字交叉布置。放入 PVC 花管后用千斤顶将套管拔出。从上述数据可知:采用套管后平均成孔灌浆量基本未发生变化,但后续正常施工却得以保证,直接节约了大量工期。

3 各种成孔方式优选分析

- (1)对成孔方式进行分析得知:复杂地质条件下的正常成孔方式耗费时间太长,从进度、经济、质量等方面考虑均不适合现场施工。
- (2)从成孔时间进行分析优选得知:固壁灌浆成孔所花费的时间比跟进套管花费的时间多一倍,且固壁灌浆扫孔次数多、工序繁杂。由此而知:跟进套管成孔施工更有利于危岩体施工进度计划的完成。
- (3)对水泥砂浆注浆量进行分析得知:固壁灌浆成孔与套管成孔灌浆相比无显著变化,施工时在局部无工期要求的部位可以根据孔内电视对该区域成孔效果进行分析,在掌握足够的地质资料

后合理挑选合适的成孔工艺^[6]。

4 结 语

笔者针对卡拉水电站左岸倾倒岩体下的不利成孔条件,对于现场在未采用有效措施辅助成孔前其平均成孔时间约为 3~5 d 且灌浆量巨大的实际情况,从履约、经济、质量等各方面考虑均难满足施工要求,故项目部在现场最终采用了投水泥球、“水泥砂浆+密目网碎屑(或草碎屑)”“水泥砂浆+水玻璃”“水泥砂浆+速凝剂”等工艺进行固壁,但所取得的固壁效果、成孔均较差,单孔钻孔 2~3 m 须注浆固壁一次,钻孔方式为反复 3~8 次成孔(最大扫孔次数为 8 次),速度慢,锚杆孔的平均单孔成型时间需 1.0~1.5 d,锚筋桩的单孔成型时间约为 1.5~2.0 d,且灌浆量无法得到有效控制。而在采用套管成孔时,在不考虑拔管的情况下,单台潜孔钻单天完成锚杆钻孔 2~3 孔(白夜班);考虑拔管时,单天平均可完成锚杆钻孔 1.5 孔、锚筋桩钻孔 1 孔,效率提高了约 1 倍;同时,其注浆量与固壁灌浆相比基本无变化。从拉拔试验和无损检测成果看:固壁灌浆及套管施工工艺均能够满足设计要求。但使用套管是成孔速度最快、效率最高的一种施工工艺,其对控制危岩体的施工节点目标及施工成本效果明显。

(1)建议对无法成孔的锚杆、锚筋桩使用套管钻进。钻孔完成、拔套管时若没有发生塌孔则直接注浆;如果拔管时发生塌孔则使用薄壁钢管后进行注浆。考虑到其耐久性,建议采用薄壁钢管代替 PVC 花管。

(2)采用套管施工时,锚筋桩采用 Φ178 套管,Φ135 PVC 花管、锚杆采用 Φ108 套管,Φ76 PVC 花管。首先采用套管跟进钻孔,待钻孔完成后在套管内安放 PVC 花管后拔出套管,再下锚筋桩进行注浆。PVC 花管放入钢套管后用千斤顶将套管拔出。放入套管前,在 PVC 花管外侧安装 Φ6 圆钢作为对中支架,每间隔 1 m 安装一个对中支架,PVC 花管共钻两排孔,孔洞间距为 20 cm,孔洞直径为 16~20 mm,十字交叉布置。PVC 花管伸出孔 20~30 cm,对于孔口端 1.5 m 范围内的 PVC 管不布置花管孔以便于观察 PVC 管与岩壁间的返浆情况,确保孔壁与 PVC 花管间的间隙注浆密实。必须根据钻孔反映的地质条件,在使用跟管钻进时,若岩层较好、拔管时没有

发生塌孔的情况则不使用 PVC 花管,直接进行水泥砂浆灌浆即可。

参考文献:

[1] 才永军,赵晓明.分析岩体工程地质动力学基本原理[J].知识经济,2014,16(15):180.

[2] 赵连三.倾倒岩体边坡稳定性及其防治[J].水文地质工程地质,1979,23(4):10-14.

[3] 徐梓轩.套管跟进法在破碎岩层边坡锚杆钻孔施工中的应用[C]//贵州贵黄高速公路有限公司,《中国公路》杂志社,贵阳至黄平高速公路项目论文集.2022.

[4] 邹博,史亚运.脲醛树脂水泥球结合泡沫泥浆堵漏技术分

析与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十九届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集,2017:115-117.

[5] 刘智勇,朱良修.“782”速凝剂在基岩帷幕灌浆中的试验应用[J].江西水利科技,1993,19(2):170-173,176.

[6] 丁国强.钻孔窥视在锚杆支护中的应用[J].煤炭与化工,2017,40(7):89-91,95.

作者简介:

彭 明(1977-),男,四川南部人,副高级工程师,工程硕士,从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(编辑:李燕辉)

(上接第 22 页)

药器械,不应随意丢弃盛装药物的容器和包装物。

(8)进行灌浆施工时,应提前做好三级沉淀池,收集灌浆产生的污水并进行沉淀处理,同时将处理后的污水优先用于堤坝洒水降尘,不得随意将施工污水排至河道内。

5 结 语

鄱阳县堤防加固修复工程白蚁治理项目全线累计普查并挖除堤内蚁穴蚁巢 1 389 个,喷洒药液 496 万 m²,布置诱杀桩 2.7 万个。堤身白蚁经系统治理后,通过 8 个月时间的持续监测观察,治理区域未发现白蚁活动迹象,治理效果显著,有效阻止了白蚁对堤坝的挖掘侵害,提高了堤防的防御能力。

河堤治理工程是保障人民群众生命财产安全的重要基础设施工程,通过对堤防工程施工过程中的实践研究,开辟新的施工技术路径和方法,提升工程质量,节约工程成本,对同类工程提供技术参考,推进河堤白蚁治理工程技术发展具有重要意义。我国幅员辽阔,地形复杂,水系发达,特别是在华中、华南地区区域河流密布,水网发达,受白蚁灾害影响导致堤防决堤洪涝灾害经常发生,

给当地人民群众的生命财产安全造成了重大威胁,落后的白蚁治理技术已不能满足更高标准的堤防整治施工需求。笔者系统梳理了白蚁危害、白蚁普查、白蚁治理及防治后期的监测与维护过程,能够有效地促进同类型工程白蚁治理工作的开展,提高对白蚁的消杀效果,减轻白蚁对堤防工程的深度侵害,防止决堤等灾害事故的发生。

参考文献:

[1] 张树田,蔡勤学,屈章彬,等.小浪底水利枢纽蚁害成因分析[J].人民黄河,2022,44(增刊 1):264-266.

[2] 廖婷.南宁市水库堤坝白蚁的发生与管理问题及其对策研究[D].广西大学,2014.

[3] 马星霞,蒋明亮,王洁瑛.气候变暖对中国木材腐朽及白蚁危害区域边界的影响[J].林业科学,2015,51(11):83-90.

[4] 丘启胜.家白蚁在贵州省的地理分布与气候关系的探讨[J].白蚁科技,1988,5(4):23-25.

[5] 李彬.广东省水利工程白蚁防治历史与现状[J].广东水利水电,2021,40(12):31-34,41.

[6] 李栋,田伟金,黎明,等.论白蚁管涌(漏)与水利管涌的区别和处理[J].昆虫学报,2004,47(5):645-651.

[7] 余金煌,吴琼.综合物探法探测堤坝白蚁蚁巢技术[J].治淮,2017,36(9):25-26.

作者简介:

张 鹏(1986-),男,陕西洛南人,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(编辑:李燕辉)

(上接第 58 页)

[3] 杜家熙,宁李谱,宁欣.管道爬行机器人结构研究[J].起重运输机械,2010,50(5):58-60.

[4] 郝永臣.管道自动焊接机控制系统的研究[D].哈尔滨理工大学硕士学位论文,2007.

[5] 贾宝丽,王滨,张文明.基于 SOPC 技术的环形焊缝自动焊接机构的研究[J].焊管,2008,31(5):63-65,95.

作者简介:

王 雷(1987-),男,四川达州人,项目经理兼项目总工程师,副高级工程师,从事市政工程施工技术与管理工作;

李河伶(1988-),男,四川乐山人,助理工程师,从事市政工程施工技术工作;

祝东雪(1985-),女,吉林公主岭人,助理工程师,从事市政工程施工技术与经营管理工作.

(编辑:李燕辉)