

金沙水电站狮子石危岩体治理浅析

李昕¹, 展巍巍², 赵颖¹

(1. 四川省能投攀枝花水电开发有限公司, 四川 攀枝花 617068; 2. 长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010)

摘要:金沙水电站是一座规模较大的低水头河床式电站, 坝址区河谷较宽, 坝址两岸河谷深切、谷坡陡峻、坡体基岩裸露、岩体卸荷裂隙发育且分布广泛, 多发育在工程边坡以上。为确保工程施工及电站营运安全, 设计单位针对自然边坡因裂隙形成的狮子石危岩体提出了治理防护设计方案。介绍了高陡自然边坡条件下危岩治理防护采用的设计和施工方法。

关键词:自然边坡; 危岩体治理; 金沙水电站

中图分类号: TV7; TV52; TV22

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2018)02-0017-04

1 工程概述

金沙水电站位于金沙江干流中游末端的攀枝花河段上, 主要开发任务为发电, 兼有供水、改善城市水域景观和取水条件以及对观音岩水电站的反调节作用等。金沙水电站正常蓄水位高程为 1 022 m, 死水位高程为 1 020 m, 校核洪水位高程为 1 025.3 m, 相应静库容为 1.08 亿 m³, 电站装机容量为 560 MW, 多年平均发电量为 25.07 亿 kW·h。

坝址区属中山峡谷地貌, 山高 400 ~ 700 m, 呈不对称“V”型谷, 两岸上部坡角为 30° ~ 50°, 下

部坡角为 20° ~ 25°。左岸高程 1 170 ~ 1 330 m 分布有狮子石强卸荷危岩体, 总体积约 25 万 m³。危岩体分布情况见图 1。狮子石危岩体 I、II、III 区位于坝址左坝肩下游光明路以上、高程 1 170 ~ 1 330 m 坡段上, 该坡段平均坡度为 40° ~ 50°, 局部形成陡崖。危岩水平向深度一般为 5 ~ 15 m, 深处达 20 ~ 30 m, 体积约 25 万 m³。底部未形成连续的底滑面, 产生滑动失稳的可能性较小, 破坏模式主要为崩塌。但其表部岩体多呈架空状, 松散堆积, 所形成的松动危岩体近 5.5 万 m³。

工程施工及后期厂房运行存在较大的安全

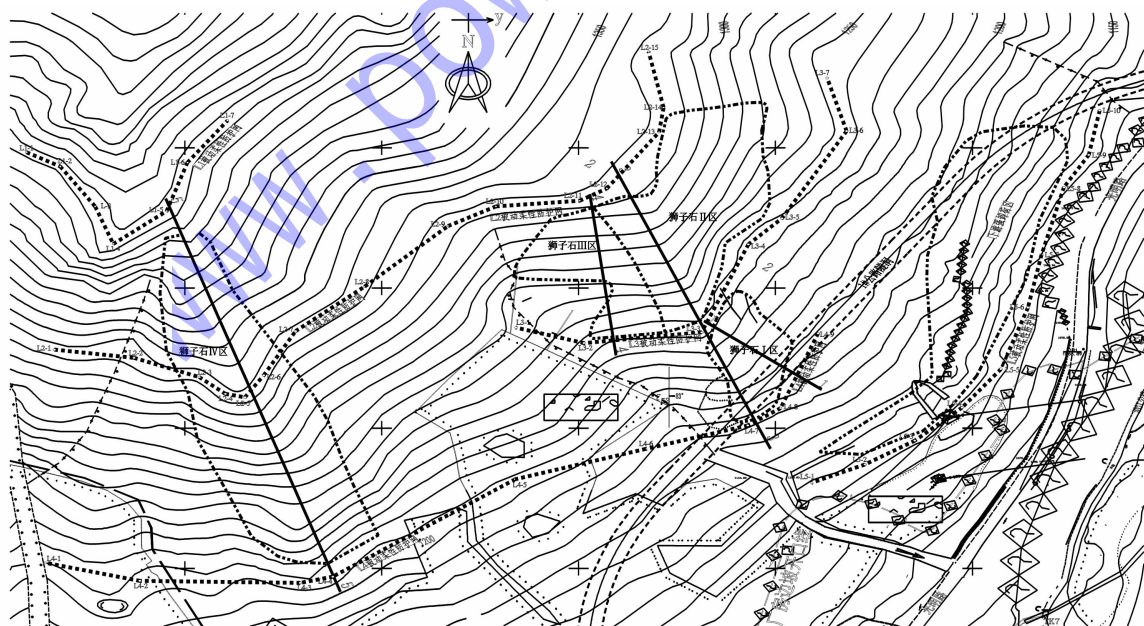


图1 狮子石危岩体区域分布图

隐患。

2 危岩体地质情况

危岩体 I 区为呈垂直山坡的长条状,分布高程 1 170 ~ 1 230 m,顺江长约 45 m,平面面积为 2 500 m²,强卸荷带垂直坡面深度为 6 ~ 9 m,估算体积约 2.6 万 m³。

该区岩体中卸荷裂隙较发育,普遍沿原有裂隙张开,张开宽度为 5 ~ 10 cm,深度为 3 ~ 6 m,裂隙间距 2 ~ 3 m,岩块块径一般为 2 ~ 5 m。由于近东西向顺倾坡外的中倾角裂隙形成的底滑面延伸较短且其分布不连续,产生滑动失稳的可能性较小,岩体基本松弛,表部岩块有倾倒、错位现象,稳定性较差。

危岩体 II 区的分布高程为 1 235 ~ 1 330 m,沿高程分布,高 70 ~ 90 m,顺江长 65 ~ 75 m,平面面积为 6 500 m²,强卸荷危岩体垂直坡面方向的厚度估计为 5 ~ 12 m,呈上深下浅状,II 区顶部堆积体底界面后缘较陡,中前部较平缓,厚度为 5 ~ 10 m,稳定性较好,估算体积约 6.5 万 m³。

根据卸荷裂隙的特征、卸荷深度的不同,大致可分为上、下两个亚区,即 II - 1 区、II - 2 区(表 1)。

表 1 危岩体 II 区分类统计表

| 分区 | 分布高程 /m | 平面分布面积 /m ² | 强卸荷岩体垂直坡面深度 /m | 强卸荷岩体方量 /万 m ³ |
|--------|---------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| II - 1 | 1 265 ~ 1 330 | 3 700 | 9 ~ 12 | 2 |
| II - 2 | 1 235 ~ 1 310 | 2 800 | 5 ~ 7 | 4.5 |
| 合计 | | 6 500 | 5 ~ 12 | 6.5 |

III 区位于 II 区上游侧且与之相连,呈垂直山坡的长条状,分布高程为 1 235 ~ 1 315 m,顺江长约 50 ~ 60 m,高 80 m,平面面积约 5 800 m²,估算体积约 6 万 m³。

表 2 狮子石强卸荷危岩体物理力学参数建议值表

| 岩石名称 | 性状描述 | 天然重度 ρ /g · cm ⁻³ | 饱和重度 ρ | 饱和单轴抗压强度 /MPa | 变形模量 /GPa | 泊松比 μ | 抗剪断强度 | |
|------|------|--------------------------------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-------|-----------|
| | | | | | | | f' | c' /MPa |
| 正长岩 | 强卸荷 | 2.6 | 2.63 | 30 ~ 55 | 5 ~ 8 | 0.26 | 0.8 | 0.5 |
| | 弱风化 | 2.65 | 2.67 | 90 ~ 100 | 10 ~ 12 | 0.24 | 1.3 | 1.2 |

表 3 主要结构面抗剪强度参数建议值表

| 结构面类型 | 抗剪断强度 | | 代表性结构面 |
|-------|------------|-------------|------------|
| | f' | c' /MPa | |
| 张开面 | 0.37 | 0 | 卸荷裂隙面 |
| 平直稍粗 | 0.53 | 0 | |
| 起伏粗糙 | 0.62 | 0 | |
| 碎屑型 | 0.55 ~ 0.6 | 0.08 ~ 0.15 | 风化夹层及大部分断层 |
| 硬性 | 0.65 ~ 0.7 | 0.15 ~ 0.2 | 一般性裂隙 |

强卸荷带深度总体呈上下浅、中间深,高程为 1 250 ~ 1 290 m 垂直坡面深度为 10 ~ 18 m,上深下浅;高程 1 250 m 以下、1 290 m 以上垂直坡面深度分别为 4 ~ 6 m、6 ~ 9 m。

该区地形陡峭、凸出,像一“城墙”,卸荷裂隙总体较发育,以与山坡走向近正交的近南北向陡倾角长大裂隙(NW10°SW ∠80°)为主,间距 2 ~ 5 m;近东西向裂隙(NE70°NW ∠45°)较发育,与山坡走向近平行,多为陡倾角,倾坡外的中缓倾角(NE70°SE ∠40° ~ 45°)不甚发育且短小。卸荷裂隙多沿原有裂隙面张开,张开宽度一般为 5 ~ 15 cm,缝深 2 ~ 5 m。

该区岩体已整体松弛,多呈堆叠状。由于近东西向顺倾坡外的中倾角裂隙不甚发育且长度多较小,底部未形成较连续的底滑面,故其产生整体滑动失稳的可能性较小,但在降雨、边坡开挖爆破震动等因素影响下,其表部岩体易产生滚落、崩塌,对下方安装场及厂房尾水边坡的稳定和施工安全潜在威胁较大,需采取措施予以防护。

3 针对危岩体采取的治理措施

危岩体根据其破坏方式的不同可分为滑塌式、坠落式和倾倒式三种类型。自然边坡危险源的勘察评价除采用常规的边坡地质勘察方法外,更强调对单个危险源的勘察,甚至需对单个危石进行稳定性评价。狮子石危岩体岩性、结构等特点与坝址区相同,力学参数以地质宏观判断为前提、危岩体地质特征为基础,笔者结合金沙水电站坝址岩(石)体的物理力学试验成果,类比相似工程经验,参照规程、规范综合确定,将建议值列于表 2、3。

设计人员根据地质人员提供的勘探资料,对危岩体破坏形式进行了模拟,采用 ansys 进行稳定情况计算,裂隙连通率采用 40%,岩体物理参数采用表 2、3 所列的数值。

危岩体治理措施根据危岩所处的地质环境及对其进行的稳定性评价确定,可采取爆破清除、灌浆封闭、锚杆(索)锚固、挡墙、主(被)动网防护等

措施。一般而言,对小区域内大块状危石可采用清除、锚固、拦挡等方法;对大区域小块状危石可采用表面喷混凝土封闭并考虑排水、拦挡、主动网防护等措施;对大区域内类型较复杂的危石可根据情况采用上述措施的一种或多种治理措施予以治理。

4 危岩体治理采用的施工方法

4.1 危石清除

危石清除主要采用手风钻机钻孔、浅孔小炮爆破清除,坡面治理自上而下,必要时采用人工清撬的方式予以清理。

4.2 锚杆及锚筋桩施工

锚杆及锚筋桩施工针对具有张开裂隙或存在潜在滑移面的潜在不稳定块体进行锚固。

锚杆及锚筋桩施工首先对坡面脱离母岩的危石进行清除,然后在高空搭设排架形成作业平台,采用风压潜孔钻钻孔,最后进行插杆、注浆。必要时对锚杆支护面进行喷混凝土封闭。

4.3 主动防护网施工

主动防护网采用 GPS2 定型产品,包括柔性锚杆、钢丝绳网及格栅网。

(1)主动防护网施工前,首先清除坡面防护区域内的浮土及浮石。

(2)放线测量并确定柔性锚杆孔位,柔性锚杆为主动防护网配套定型产品,长度为 2 m,柔性锚杆需固定在稳定的基岩面上。根据地质人员提供的数据,对于局部区域岩石卸荷深度较大、柔性锚杆无法穿过卸荷层的部位采用现场制作长锚杆代替原柔性锚杆对防护网进行加固,锚杆需外露 10 cm,外露部位加焊由 $\phi 20$ 钢筋弯折成的弯钩、可靠的钩在已施工完毕的主动网钢丝绳上。焊接采用双面焊接,焊缝需作防锈处理。

(3)测量定位完成后,按设计深度采用手风钻或潜孔钻钻孔,孔深、孔径不小于设计要求。

(4)扫孔后插入锚杆并注浆,浆液标号不低于 M25。

(5)安装纵横向支撑绳,张拉紧后两端采用绳卡与锚杆外露环套固定连接。

(6)铺挂格栅网。现场安装由施工人员身佩安全带、腰系安全绳、沿坡面自上而下进行作业,格栅网要求紧贴坡面。格栅网间的重叠宽度不小于 5 cm,两张格栅网间的缝合(以及格栅网与支

撑绳间)用 $\phi 1.5$ 铁丝按 1 m 间距扎结。

(7)由上向下铺设钢丝绳网并缝合,缝合绳为 $\phi 8$ 钢丝绳,每张钢丝绳网均用缝合绳与四周支撑绳进行缝合并预张拉,缝合绳两端各用两个绳卡与网绳进行固定联结。

(8)若钢丝绳网不能紧贴坡面、存在架空现象,可采用增加锚杆的方式进行固定。

4.4 被动防护网施工

被动防护网采用 RXI—075 定型产品,高 4 m。包括基座及连接件、钢柱、钢丝绳网和钢绳网、减压环、上拉锚绳等。

(1)按照设计文件提供的坐标对钢柱基础进行放样定位,钢柱基础应座落在稳定的基岩上,应避免架空、与母岩脱离和整体松弛的岩体;防护网布设时若遇上述岩体须适当调整线路。当基座位置覆盖层较厚时,可采用在覆盖层人工开挖基坑并浇筑混凝土基础,混凝土基础尺寸不小于 $0.6\text{ m} \times 0.8\text{ m} \times 1\text{ m}$ (横向长 \times 纵向长 \times 深度)。

(2)基座安装时,将基座套入地脚螺栓并用螺帽拧紧。

(3)钢柱及上拉锚绳的安装。

①将钢柱顺坡向向上放置并使钢柱底部位于基座处;

②将上拉锚绳的挂环挂于钢柱顶端挂座上,然后将拉锚绳的另一端与对应的上拉锚杆环套连接并用绳卡暂时固定(设置中间加固和下拉锚绳时,同上拉锚绳一起安装或待上拉锚绳安装好后再安装均可);

③将钢柱缓慢抬起对准基座,然后将钢柱底部插入基座中,最后插入连接螺杆并拧紧;

④通过上拉锚绳并按设计方位调整好钢柱的方位,拉紧上拉锚绳并用绳卡固定。

(4)侧拉锚绳的安装方法同上拉锚绳,只是在上拉锚绳安装好后进行。

(5)上支撑绳的安装。

①将第一根上支撑绳的挂环端暂时固定于端柱(分段安装时为每一段的起始钢柱)的底部,然后沿平行于系统走向的方向上调直支撑绳并将其放置于基座的下侧,将减压环调节就位(紧邻钢柱的减压环边距钢柱约 50 cm);

②将该支撑绳的挂环挂于端柱的顶部挂座上;

③在第二根钢柱处,用绳卡将支撑绳固定悬

挂于挂座的外侧;在第三根钢柱处,将支撑绳置于挂座内侧;如此相间安装支撑绳在基座挂座的外侧和内侧,直到本段最后一根钢柱并向下绕至该钢柱基座的挂座上,再用绳卡暂时固定;

④再次调整减压环位置,当确信减压环全部正确就位后拉紧支撑绳并用绳卡固定;

⑤第二根上支撑绳和第一根的安装方法相同,不同的是从第一根支撑绳的最后一根钢柱向第一根钢柱的方向反向安装,且减压环位于同一跨的另一侧;

⑥在距减压环约40 cm处用一个绳卡将两根上部支撑绳相互并结(仅用30%标准紧固力或手动拧紧即可)。

(6) 下支撑绳的安装。

①将第一根下支撑绳的挂环挂于端柱基座的挂座上,然后沿平行于系统走向的方向上调直支撑绳并放置于基座的外侧,将减压环调节就位(紧邻钢柱的减压环边距钢柱约50 cm);

②在第二个基座处,用绳卡将支撑绳固定悬挂于挂座的外侧;在第三个基座处,将支撑绳放在挂座内下侧;如此相间安装支撑绳在基座挂座的外侧和内下侧,直到本段最后一个基座并将支撑绳缠绕在该基座的挂座上,再用绳卡暂时固定;

③检查确定减压环全部正确就位后拉紧支撑绳并用绳卡固定;

④按上述步骤安装第二根下支撑绳,但需反向安装且减压环位于同一跨的另一侧;

⑤在距减压环约40 cm处用一个绳卡将两根底部支撑绳相互并结(仅用30%标准紧固力),如此实施在同一挂座处形成内下侧和外侧两根交错的双支撑绳结构。

(7) 钢绳网的安装。

①钢绳网的起吊就位方法根据现场施工场地、机具(起吊滑轮组、钢丝绳、粗麻绳、葫芦、梯子等)、人力条件以及经验和习惯而定,一般宜采用以下方法:

a. 用一根起吊绳(钢丝绳或专门准备的粗麻绳)穿过钢绳网上缘第三排左右网孔,一端固定在临近钢柱的顶端,另一端穿过悬挂固定于上支撑绳上的起吊滑轮组并使尾端垂落至地面附近;

b. 拉动起吊绳尾端,直到钢绳网上缘上升到上支撑绳水平为止,再用绳卡将网与上支撑绳暂

时进行松动联结,同时亦可将网与下支撑绳暂时联结以确保缝合时更为安全,此后起吊绳可以松开并抽出;

c. 重复上述步骤,直到全部钢绳网暂时挂到上支撑绳上为止,并侧向移动钢绳网使其位于正确位置;

②将缝合绳按单张网周边长的1.3倍截短,并在其中点作标志;

③钢绳网的缝合:从系统的一端开始,先将缝合绳中点固定在每一张网的上缘中点处的支撑绳上。从中点开始,各用一半缝合绳向两侧逐步将网与两根支撑绳缠绕在一起,直到用绳卡将两根支撑绳并结在一起的地方之后,用缝合绳将网与不带减压环的一根支撑绳缠绕在一起,当到达柱顶挂座时,将缝合绳从挂座的前侧穿过(不能缠绕到挂座上),转而向下继续将网与相邻网边缘或支撑绳(上支撑绳与钢柱平行的单绳段)缝合缠绕在一起直至基座挂座;同样,从挂座的前侧穿过并转向该张网后继续缠绕不带减压环的一根下支撑绳直到并结两根支撑绳的绳卡之处,从此处开始用缝合绳将网与两根下支撑绳缠绕在一起,直到跨越钢绳网下缘中点1 m为止,最后用绳卡将缝合绳与钢绳网固定在一起,将绳卡放在离缝合绳末端约0.5 m的地方。缝合绳的另一半从网上缘中点开始向右缝合,直到与另一张网交界的地方转向下将两张网缝合在一起,当到达下支撑绳时转向该张网并与两根支撑绳缠绕在一起,最后使左右侧的缝合绳端头重叠1 m;

④当支撑绳分段设置而使一段拦石网的部分中部钢柱有与其平行的单支撑绳时,由于钢柱间距的非完全均匀布置,钢绳网边缘可能不能恰好位于该钢柱处,此时,在缝合完毕后宜用绳卡将钢绳网与该单支撑绳段呈松动结,联结点间距1 m左右。

(8) 格栅的安装。

①格栅铺挂在钢绳网的内侧并叠盖在钢绳网上缘且折到网的外侧15 cm,用扎丝固定到网上;

②格栅底部沿斜坡向上敷设0.5 m左右。为使下支撑绳与地面间不留缝隙,用一些石块将格栅底部压住;

③每张格栅间叠盖10 cm;

(下转第24页)

3.3 防护方案

根据动床试验成果,施工期对导流明渠出口冷轧厂堆积体采用合金网石兜^[5,6]及格宾石笼平台压脚、上接钢丝石笼护坡方案。堆积体上游段200 m范围采用合金网石兜压脚,压脚平台顶高程为1 004 m,平台宽25 m。网石兜单个体积约4.5~5 m³,重7.5~8.5 t,分别由2~3个串联在一起。堆积体下游段320 m范围内采用格宾石笼压脚,平台顶宽8 m。压脚平台以上边坡采用30 cm厚钢丝石笼护坡。防护结构典型断面见图7。

(2)导流明渠边坡地质条件复杂,开挖边坡最大高度约130 m,支护边坡最高约210 m,边坡岩体节理裂隙发育,分布花石崖1#,2#挠曲、F22断层、牛筋树堆积体等较大不良地质体,部分边坡含炭质粉砂质泥岩,边坡软岩变形及稳定问题突出。通过采取有针对性地综合加固处理措施,边坡稳定满足要求。

(3)导流明渠出口流速大,最大垂直平均流速达12.18 m/s,下游河道冲刷严重,为保障下游冷轧厂堆积体稳定,通过动床模型试验,研究出采用合金网石兜、格宾石笼护脚加钢丝石笼护坡的防护方案,有效地解决了明渠出口下游防冲刷问题。

(4)目前金沙水电站导流明渠已投入运行,运行状况整体较好。金沙水电站在导流明渠设计、边坡支护、地质缺陷处理及出口冲刷防护方面取得的宝贵工程经验可为类似工程提供借鉴。

参考文献:

- [1] 水电工程施工组织设计规范,DL/T 5397-2007 [S].
- [2] 郑颖人,赵尚毅. 有限元强度折减法在土坡与岩坡中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(19):3 381-3 388.
- [3] 张超,杨春和. 有限差分强度折减法求解边坡稳定性[J]. 土木工程与管理学报,2011,28(2):17-21.
- [4] 宁晶,张津,宁廷俊,等. 三峡工程明渠截流龙口护底模型试验与原型对比[J]. 水力发电学报,2009,28(2):106-109.
- [5] 高志华. 合金网石兜在三峡导流明渠截流中的应用[J]. 人民长江,2003,34(9):22-23.

作者简介:

胡田清(1988-),男,湖北黄冈人,工程师,硕士,从事水利水电工程设计工作;

赵颖(1986-),女,四川成都人,工程师,学士,从事行政管理工

作;朱信波(1986-),男,河北邢台人,工程师,学士,一级建造师,从事地质勘察工作。 (责任编辑:李燕辉)

网内拦截的石渣,对主动网破损及松弛处及时予以恢复,使其能充分发挥安全防护作用。

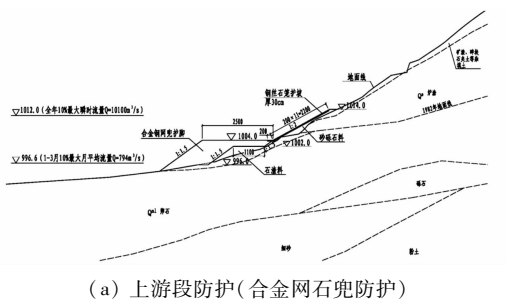
作者简介:

李昕(1989-),女,山东德州人,助理工程师,从事水电工程建设技术与管理工作;

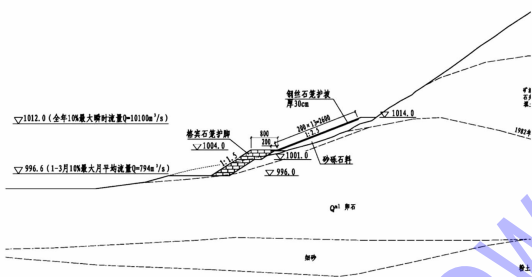
展巍巍(1988-),男,河南驻马店人,工程师,学士,从事水电工程建设技术与管理工作;

赵颖(1986-),女,四川成都人,工程师,学士,从事行政管理工

作。 (责任编辑:李燕辉)



(a) 上游段防护(合金网石兜防护)



(b) 下游段防护(格宾石笼防护)

图7 冷轧厂堆积体防护结构典型断面图

4 结语

(1)金沙水电站采用三期导流方案,在河床右岸布置导流明渠。经综合研究比较且为最大限度地控制导流明渠规模,节省工程投资,同时满足施工期上游水位不高于水库移民搬迁水位的要求,将导流明渠底宽选定为35 m。

(上接第20页)

④用扎丝将格栅固定到网上,每m²固定4处。

5 结语

金沙水电站左岸狮子石自然边坡危岩治理已完工,其下方厂房永久边坡开挖正在进行中,已完成的防护设施在左岸边坡开挖施工中发挥出了巨大的作用。后期需建立完善的安全监测机制,对自然边坡危岩防护设施进行排查,及时清理被动