

龙滩水电站右岸坝肩边坡不良地质体特征及成因分析

熊启明 夏宏良 陈卫红

(中国水电工程顾问集团公司中南勘测设计研究院 湖南 长沙 410014)

摘要 龙滩水电站右岸边坡开挖中发现了体积较大的不良地质体,威胁到坝肩边坡和缆机基础的稳定与安全。根据开挖揭露的地质情况,概括了该区的工程地质特征,着重探讨了在顺层边坡或冲沟中坚硬~中等坚硬岩体形成倾倒变形岩体及风化堆积深槽的机制,并对治理后的监测成果进行分析及边坡稳定性评价。监测结果表明,由于及时查明了不良地质体的规模、性状、成因及危害性,为右岸坝肩边坡的治理提供了准确、可靠的地质依据,坡面综合处理后边坡稳定性好。

关键词 边坡稳定;冲沟;反倾变形岩体;风化堆积深槽;地质特征;龙滩水电站

中图分类号 :TV698.2+37 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2008)03-0054-04

Engineering characteristics of defective geological bodies at right-bank dam abutment of Longtan Hydropower Station and analysis of their causes/XIONG Qi-ming, XIA Hong-liang, CHEN Wei-hong (Mid-South Design & Research Institute, CHECC, Changsha 410014, China)

Abstract : During the excavation of the right-bank dam abutment of the Longtan Hydropower Project, large defective geological bodies that threaten the safety and stability of the dam abutment slope and cable crane foundation were discovered. According to the geological conditions revealed by the excavation, the engineering characteristics of these defective geological bodies are summarized, with emphasis on the mechanism of the formation of the cumulatively weathered deep channel in the bedding rock slope or gully. The monitoring results show that the range, properties, harmful effects and causes of the defective geological bodies have been identified and comprehensive measures for dam abutment slope treatment have been employed early enough to ensure the safety of the project.

Key words : slope stability; gully; anti-overturning deformation rock; cumulatively weathered deep channel; geological characteristics; Longtan Hydropower Station

龙滩水电站位于红水河上游,下距广西天峨县城 15 km。正常蓄水位 400 m 时,装机容量为 6 300 MW。大坝为碾压混凝土重力坝,最大坝高为 216.5 m。大坝前期设计阶段,为了减少右岸坝肩的开挖工程量,将右岸通航坝段右侧坝轴线向上游折转 30°角,使坝基和高程 382 m 以上坝肩边坡开挖基本上避开了⑥号冲沟(图 1)。但高程 382 m 以下坝后坡、高程 450 m 以上缆机平台边坡及基础开挖,部分触及了⑥号冲沟的下部和上部。开挖揭露⑥号冲沟区缆机平台及其边坡段主要为岩层已经反倾变形的全~强风化岩(土)体,高程 382~352 m 坝后陡坡段为黄褐色黏土,与前期推测的地质条件差别较大(前期认为该冲沟一带主要为强风化正常岩体),且边坡稳定性较差。

由于该区边坡施工初期变形过大,在坡面增加了一系列锚索和长锚杆后保证了边坡施工安全;为了确保边坡和大坝等建筑物的安全,施工过程中,对边坡、排水洞开挖揭露的地质现象和前期钻孔、平洞

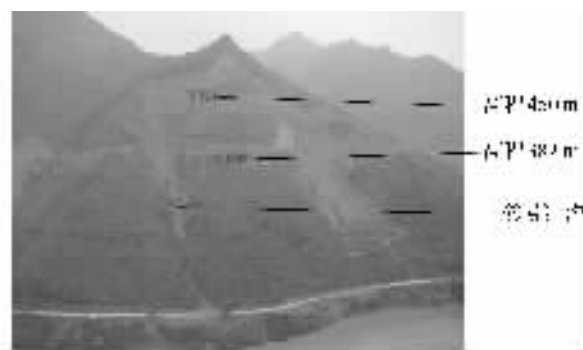


图 1 右岸⑥号冲沟区全貌

资料又重新做了大量的分析与研究工作,基本认清了不良地质体的边界条件与成因,为右岸坝肩边坡的治理提供了准确、详实的地质资料。

1 工程地质特征

1.1 ⑥号冲沟地质特征

⑥号冲沟发育于高程 250~500 m,天然纵向坡

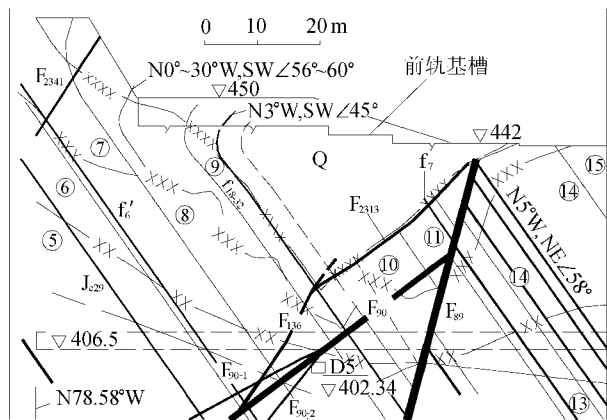


图4 缆机前轨地质剖面示意图

化岩土体区,在边坡和锚固洞开挖时发现基本上为一楔状风化堆积深槽,且碎石黏土与弱风化岩石呈突变接触,其主要地质特点如下:①全风化堆积深槽区(黄色、黄红色碎石黏土)分布在 F_{136} 、 F_{2313} 、 f_{18-32} 、 F_{89} 断层所构成的楔体区,主要发育在 T_{2b}^{9-12} 泥板岩较多的岩层中,揭露的最大水平深度为45 m,垂直深度为37 m,其发育的规模与深度较前期推测的略有增大。开挖后残留在高程440~352 m之间,残留体体积约 $8.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。②黄色碎石黏土与强风化底部或弱风化岩体呈突变接触,且强风化岩体下限深度仅0~3 m。下游由 F_{136} 和 F_{2313} (缆机后轨附近)断层面控制;上游由 f_{18-32} 或 T_{2b}^9 下部泥板岩层面控制,高程370~435 m范围内接触面等高线坡度 $51^\circ \sim 59^\circ$,与岩层倾角接近;后缘由 F_{89} 断层破碎带及其影响带控制。③全风化岩(土)体物质结构为黄色、黄红色碎石黏土夹褐色、褐黄色碎块石,碎块石块径2~6 cm,分布无规律,约占全风化岩土体的20%~30%,胶结能力较差。

2 不良地质体成因分析

2.1 反倾变形岩体

a. ⑥号冲沟中下部的 F_{136} 、 F_{2313} 等NE向断层与层间错动组合(其组合交线倾伏向 $15^\circ \sim 30^\circ$,倾角 $25^\circ \sim 35^\circ$),后缘被 F_{89} 断层切割,组合形成稳定性较差的楔体,曾经多次发生小型楔体滑动,被剥蚀后逐渐形成楔状空间。

b. 上游侧为顺向坡的泥板岩、砂岩岩体,岩性软硬相间,发育大断层 F_{89} ,其北盘坡下小断层较多,其中高程440 m以上为弱风化带上部岩体。风化作用使弱风化带上部的岩体裂隙增多、扩大^[1],卸荷较深,透水性增强,抗剪强度降低。大气降雨沿地表裂缝渗入岩层,使层面与缓倾角节理面软化,降低了结构面间的抗剪强度,雨季到来时,后缘张开裂隙充满水,由动、静水压力形成一定的推力作用^[2],推动边坡岩体

沿高程440 m以上风化卸荷带内的中缓倾角节理密集带和层面向楔状空间产生长期而缓慢的变形。

不良地质体区南侧以 F_{89} 断层为界的原因是大气降雨由水力梯度较高的 F_{89} 断层流向北盘坡下的小断层,水流逐渐侵蚀形成。

c. 风化卸荷裂隙呈上宽下窄的楔体,在水压力的长期作用下,楔体逐渐扩大,变形累积到一定程度导致岩性较软的泥板岩发生反倾变形^[3],岩质较脆的砂岩发生拉裂、折断。

2.2 风化堆积深槽

a. 楔体在雨季动、静水压力的作用下发生滑动,而一旦产生滑动位移,水压力作用大幅度减小,楔体停止滑动,残留在槽内形成全风化岩土体。

b. 在冲沟底部风化剥蚀的同时,由于冲沟存在3个中陡坡度的临空面,有利于边坡崩塌和岩体变形破坏,为冲沟填埋提供了丰富的物质来源。冲沟东侧和后缘临空面主要以发生崩塌为主;冲沟西侧临空面为顺向边坡,泥板岩、砂岩发生反倾变形,使深槽向西侧有一定的扩展。

c. 冲沟填埋和地表剥蚀达到相对平衡,冲沟填埋物质经过压密作用,自然坡达到基本稳定状态。

3 不良地质体区处理

根据主要地质特征和稳定分析结果,在完成坡面系统锚索(高程450 m、406.5 m、382 m)后,采用锚固洞进一步加固边坡的处理方案,并对右岸缆机原⑥号冲沟一带的16根桩基础加强了配筋和加长了桩长。锚固洞的布置以控制 F_{136} 、 F_{2313} 、 f_{18-32} 断层为主,其次为不良地质体分布区的 T_{2b}^{7-12} 中的层间错动。

锚固洞从2003年12月开始开挖施工,到2004年11月基本完成混凝土浇筑。根据开挖揭露的地质条件和前期分析成果,增加了针对反倾变形岩体M2-加1和M2-加2以及针对风化堆积深槽的ZD406-13等锚固洞。

4 监测资料分析及稳定性评价

4.1 反倾变形岩体

反倾变形岩体主要位于高程450 m以上缆机平台上游侧坡和正面坡。其中缆机平台上游侧坡是右岸开挖边坡变形最大的部位。地表监测成果显示,至2006年4月累计水平位移为50~88.8 mm,累计垂直位移达28~38.9 mm,并且90%以上的变形发生在锚固洞施工前和回填完成后较短的一段时间内(图5)。近一两年内,绝大多数点的平均位移速率小于 0.01 mm/d 或为负值,曲线平缓或下降,边坡

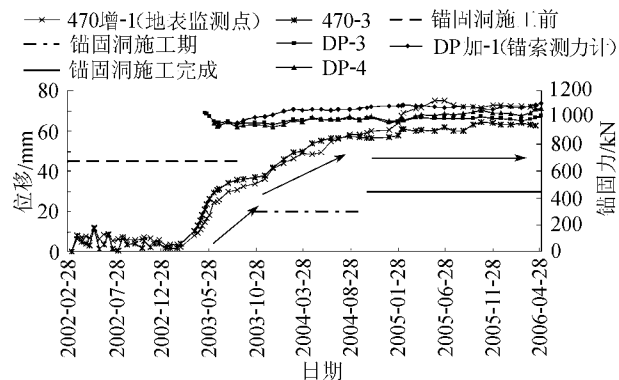


图5 缆机平台上游侧坡综合分析

变形趋于收敛,测力计测出锚索受力曲线在近一两年内较平缓,锚索受力变化速率较小(小于 0.06 kN/d),边坡监测成果表明该边坡变形基本收敛。

因此,缆机平台上游侧坡虽由全、强风化土体构成,且开挖坡度陡(达 55° ,与岩层倾角接近),边坡开挖支护处理期稳定性差,但经坡面系统长锚杆和锚索处理,坡体又增设了2层锚固,该处地表变形虽未完全收敛,但变形量不大,稳定计算安全系数大,边坡稳定性好。

缆机平台正面坡仅1个地表监测点,监测结果显示地表变形较小,其变形与下部高程 406.5 m 处锚固洞开挖引起的边坡塌方有关。锚固洞施工前变形较小(2002年3月至2004年2月累计水平位移 11.4 mm ,位移增量速率 0.015 mm/d),而锚固洞施工时及施工后近20个月的观测(2004年3月至2005年10月)表明累计水平位移为 20 mm ,位移增量速率略为增大,为 0.03 mm/d 。2005年10月后变形逐渐趋于平缓,2006年1~4月位移增量速率仅为 0.003 mm/d ,边坡变形收敛。故综合判断缆机平台正面坡整体稳定性好。

4.2 风化堆积深槽

该区边坡变形以水平位移为主,至2006年4月1日累计水平位移量 $17.8 \sim 43.2 \text{ mm}$,其量值和位移增量速率均较小,近2年的观测显示位移增量速率小于 0.01 mm/d 或为负值,并且变形主要发生在2003年6月前和锚固洞施工及完成后较短的一段时间内(图6)。锚固洞施工完成一段时间后(2005年4月以后)变形基本收敛,多点岩石变位计监测显示变形主要发生在深槽区的全、强风化土体中或 F_{89} 断层外侧,最大累计位移 11.32 mm 。各测点在2005年10月至今位移增量速率小于 0.005 mm/d ,变形收敛,锚索测力计测值均未达设计值,近1年内的锚固力曲线平缓,且略为下降;监测锚杆最大应力小于 60 MPa ,应力量级较小。综上所述,该区边坡变形基本收敛。

风化堆积深槽稳定性综合评价结果为:虽在其

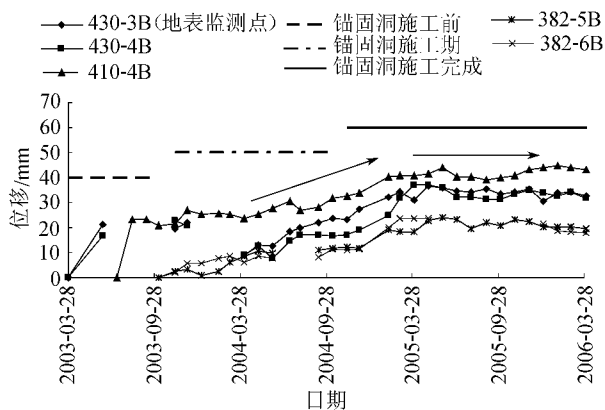


图6 深槽区地表水平位移与锚固洞开挖关系分析

下部边坡开挖过程中稳定性差,但经坡面系统锚索和缆机抗滑桩以及坡体锚固洞系统加固处理,稳定安全系数达到了安全稳定标准,边坡变形趋于收敛。由于深槽区主要为全风化黏土夹碎石,其稳定性受地下水的影响较明显。

5 结 语

a. 龙滩水电站⑥号冲沟区的反倾变形岩体与风化堆积深槽的形成过程为:地表小楔体塌滑→形成楔形变形空间→上游顺层岩体中断裂面及风化卸荷带张开→雨水入渗→水压力推动→岩体沿层面及缓倾角节理面发生长期缓慢变形→岩体反倾→堆积→堆积物风化剥蚀→冲沟填埋压密。

b. 在中等~坚硬岩石构成的顺向边坡中发生的反倾变形,同样受地质构造、地层岩性及外动力地质作用(包括地表水入渗等动、静水压力)等多种因素的影响。

c. 反倾变形岩体与风化堆积深槽这种不良的地质现象,经历了前期认识不清到开挖揭露清晰再到成因再认识的过程,为认识这种不良地质体提供了宝贵的经验和教训,为工程边坡治理、设计提供了准确、可靠的地质依据。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国地质矿产部书刊编辑室. 工程地质学研究[M]. 北京:地质出版社,1985:58-68.
- [2] 刘佑荣,唐辉明. 岩体力学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1999:108-118.
- [3] 曲永新. 软弱变层的工程地质预报、工程地质学研究[M]. 北京:地质出版社,1985:87-97.

(收稿日期:2007-03-30 编辑:骆超)

