

乌东德水电站地下厂房主要工程地质问题研究

肖云华,黄孝泉,刘冲平,翁金望,郝喜明

(长江三峡勘测研究院有限公司(武汉),湖北 武汉 430074)

摘要:乌东德水电站两岸地下厂房位于坚硬的中厚层陡倾角灰岩及白云岩内,具有“大跨度、高边墙、中厚层、陡倾角、低地应力、小夹角”的工程特点,归纳总结开挖揭露出的工程地质问题有8类:即层面走向与厂房轴线夹角小所引起的高边墙变形稳定问题;块体问题;B类角砾岩因抗压强度与变形模量相对较低存在的围岩变形稳定问题;层面附破质薄膜区因岩体完整性差而存在的变形稳定问题;顶拱零星分布的较长大缓倾角裂隙所引起的块体问题;零星分布的短小缓倾角裂隙较发育区顶拱局部变形或掉块问题;走向与厂房轴线夹角小且性状较差的断层或长大裂隙所引起的局部边墙变形稳定问题;溶洞问题。对各类工程地质问题的特点进行归纳总结,可为设计采取针对性的处理措施奠定坚实的地质基础。

关键词:地下厂房;中厚层陡倾角灰岩及白云岩;低地应力;小夹角;乌东德水电站

中图法分类号:P642

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.14.001

对于大跨度高边墙地下洞室,仅仅依据围岩类别进行设计远不能满足该类洞室施工期及运行期的安全要求^[1],必须针对不同部位不同工程地质情况进行专项处理。该类洞室的工程地质问题往往复杂且多样,因此,必须高度重视施工期的地质工作,即从安全问题的源头出发——发现工程地质问题,并对所发现的问题进行归纳总结分类概括,方便设计、施工以及工程管理,才能确保工程建设的安全与高效。本文以金沙江乌东德水电站地下厂房为例,对实际开挖揭露出的工程地质问题进行归纳总结,分析每类工程地质问题的特点,为设计采取针对性的处理措施提供地质依据。

1 基本地质条件

乌东德水电站是金沙江下游河段4个水电梯级中的最上游梯级,为I等大(一)型工程。大坝为混凝土双曲拱坝,坝高270 m,设计正常蓄水位975 m,总库容58.63亿m³,装机容量1200 MW(12×85 MW),左右岸各6台机组,地下电站三大洞室包括主厂房、主变洞和尾水调压室。三大洞室布置原则是尽可能充分利用有利于大型洞室群稳定的落雪组第三段(Pt₂₁³)中厚及厚层灰岩、白云岩及大理岩(Ⅱ级岩体),并尽可能增

大岩层走向与洞轴线夹角。因乌东德河谷为横向谷,且右岸Pt₂₁³分布范围有限,地下电站布置选择的余地不大^[2-4]。因此,两岸地下厂房主要布置于陡倾角中厚层硬岩内,且岩层走向与厂房轴线夹角较小。

三大洞室平行布置(见图1)。左右岸轴线方向分别为60°,65°。主厂房长333 m,为圆拱直墙型,高度89.8 m,岩锚梁以上跨度32.5 m,岩锚梁以下30.5 m。左岸主厂房地层岩性为落雪组第三段(Pt₂₁³)中厚层灰岩、大理岩及白云岩,局部发育B类角砾岩,少部分落雪组第二段(Pt₂₁²)互层大理岩化白云岩;岩层走向一般270°~280°,倾向S,倾角75°~85°,岩层走向与厂房轴线夹角以30°~40°为主,局部夹角小于30°;断层不发育;层间剪切带J2004斜穿主厂房,与厂房轴线夹角约40°,为宽约2~5 cm的岩屑夹岩粉;裂隙总体不发育,多较短小;岩体微新;岩溶总体不发育;地应力水平为低~中等,最大水平主应力一般6.0~12.0 MPa,最大为13.7 MPa,最大水平主应力方向与厂房轴线夹角主要为5°~33°。围岩类别为Ⅱ类和Ⅲ类,Ⅱ类占52%,Ⅲ类占48%。

右岸主厂房地层岩性为落雪组第三段(Pt₂₁³)中厚层灰岩、大理岩及白云岩;岩层走向大部分为265°~

275°,倾向 S,倾角 70°~85°;岩层走向大部分与洞轴线夹角 20°~30°,少部分夹角小于 20°,受白沟断层(F₁₄)及揉皱影响,岩层走向存在揉曲,局部(山内侧)岩层走向与洞轴线夹角大于 30°;断层不发育,断层 f₄₂斜穿主厂房,与厂房轴线夹角约 45°~65°,断层宽 0.2~1.5 m,主要为胶结较紧密的角砾岩、碎裂岩等,碎裂岩宽度约 0.2~0.3 m,局部沿主断面有厚 1~5 cm 的泥及碎石充填;裂隙总体不发育,多较短小;岩体微新;岩溶总体不发育,局部顺层溶蚀明显;地应力水平为低等,最大水平主应力一般 4.1~7.6 MPa,最大为 9.4 MPa,最大水平主应力方向与厂房轴线夹角主要为 9°~23°。围岩类别为Ⅱ类和Ⅲ类,Ⅱ类占 34%,Ⅲ类占 66%。

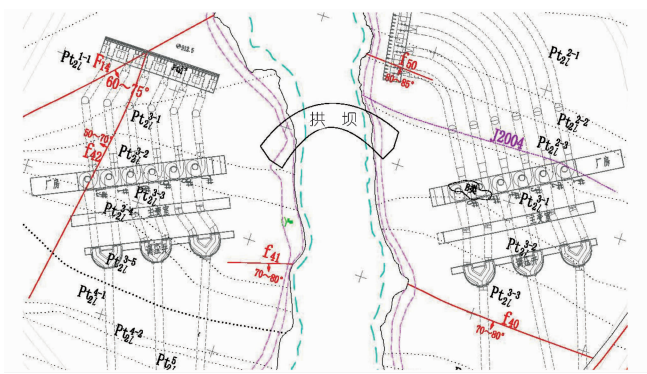


图 1 地下厂房 850 m 高程工程地质平切图

2 工程地质问题研究

分析地下厂房开挖揭露的工程地质问题,发现在低-中等地应力水平条件下,厂房洞室的变形稳定主要受结构面控制。将乌东德地下厂房所揭露的主要工程地质问题概括分为 8 类,具体如下:① 小夹角层面,即层面走向与厂房轴线夹角小所引起的高边墙变形稳定问题;② 块体问题;③ B 类角砾岩区因抗压强度与变形模量相对较低而存在围岩变形稳定问题;④ 层面附碳质薄膜区因白云岩完整性差而存在边墙变形稳定问题;⑤ 顶拱零星分布的较长大缓倾角裂隙所引起的块体稳定问题;⑥ 零星分布的短小缓倾角裂隙较发育区顶拱局部变形或掉块问题;⑦ 走向与厂房轴线夹角小且性状较差的断层或长大裂隙所引起的局部边墙变形稳定问题;⑧ 溶洞问题。

(1) 小夹角层面,即层面走向与厂房轴线夹角小所引起的高边墙变形稳定问题(见图 2)。特别是右岸主厂房大部分岩层走向与洞轴线夹角为 20°~30°,少部分夹角小于 20°;左右岸岩层以中厚层为主,局部夹互层,甚至薄层,且层面陡倾下游;层面平直粗糙,多闭合无充填,少量微张附泥钙膜;上游边墙为顺向结构,

下游边墙为反向结构。爆破开挖后,边墙表层岩体层面张开,岩体变形;随应力调整,层面张开向里发展,表层层面继续张开,层面性状逐渐变差,岩体变形增大;在以自重应力为主的应力环境下,上游高边墙易产生沿层面的剪切变形,下游高边墙易产生倾倒变形,特别是拱座部位;最大的变形部位在地下厂房上游高边墙中心部位,支护不及时岩体易弯折变形,甚至破坏,且该部位变形随夹角减小而逐渐增大。

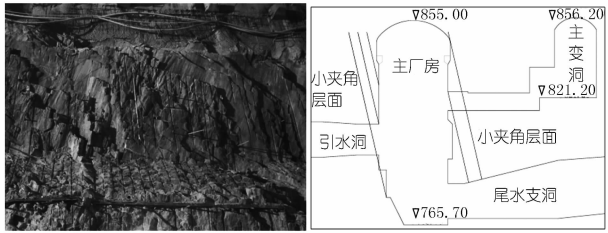


图 2 右岸主厂房边墙小夹角层面照片及模式(单位:m)

(2) 块体问题。块体主要为裂隙与层面组合形成的随机块体;边墙一般形成单滑面或双滑面滑移型块体,顶拱一般形成冒落型或抽滑型块体(见图 3、图 4);因裂隙多短小,块体数量虽较多但方量多较小,以 100 m³ 以下为主,少部分 100~500 m³,少量 500~1 000 m³;块体埋深多较浅,受开挖爆破及松弛影响,稳定性多较差。

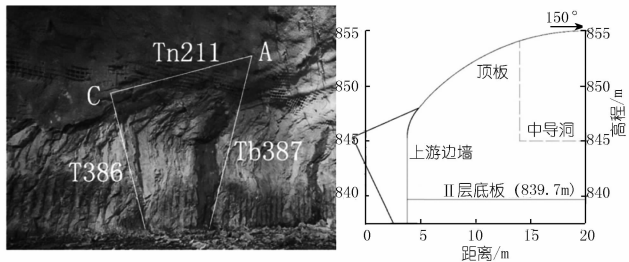


图 3 边墙滑移型块体模式

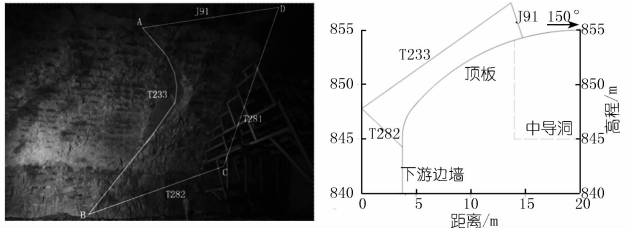


图 4 顶拱冒落型块体模式

(3) B 类角砾岩因抗压强度与变形模量相对较低而存在围岩变形稳定问题。左岸主厂房 B 类角砾岩,分布于 5、6 号机组顶拱及岩锚梁部位,呈团块状发育,沿轴线条长 30~50 m,垂直轴线条宽 15~26 m,高程 818~892 m,中导洞顶拱埋深一般 35~38 m,两侧靠近中导洞埋深 25~35 m,顶拱靠近边墙埋深 10~25 m,上游边墙水平埋深约 1.5 m,下游边墙水平埋深 8~10 m。B 类角砾岩呈弱-微风化状,多为方解石、局部为钙质

胶结,胶结多紧密,与周边正常岩体一般没有明显的接触面,接触关系似“熔融接触”。岩石饱和抗压强度建议值 30~50 MPa;岩体抗剪断强度建议值 f' 为 0.8~1.0 MPa, c' 为 0.7~1.0 MPa;岩体变形模量建议值 6~10 GPa;岩体声波值一般为 3 800~4 800 m/s,平均值为 4 350 m/s;岩体基本质量级别为 III_2 级。

因其抗压强度与变形模量相对周围灰岩和白云岩较低,该部位岩体变形相对周围岩体变形更突出,特别是下游边墙岩锚梁部位,如果不加强支护,运行期荷载大,岩锚梁易变形过大开裂,影响桥基正常运行,甚至可能破坏。

(4) 层面附碳质薄膜区因受 f_{42} 断层影响,岩体完整性差而存在边墙变形稳定问题。右岸主厂房层面附碳质薄膜区主要分布于 12 号机组上游边墙附近,分布长约 42 m、水平深约 48 m。主要为薄层、互层夹薄层白云岩,岩层走向与洞轴线夹角 $50^\circ \sim 70^\circ$,局部宽约 5.5 m 的岩体受构造影响,岩体破碎多呈微新状。岩体声波一般多为 4 500~5 200 m/s、平均值多为 4 670~5 050 m/s,以 III_2 级岩体为主。5.5 m 破碎岩体声波平均值仅为 4 300 m/s,岩体质量为 IV_1 级。

岩锚梁开挖过程中,5.5 m 破碎岩体及其周围岩体可用挖机直接挖除,岩锚梁岩台成型差,如果不采取措施,运行期荷载大,岩锚梁易变形过大开裂,影响桥基正常运行,甚至可能破坏。

(5) 顶拱零星分布的较长大缓倾角裂隙引起的块体问题或局部变形稳定问题。左右岸主厂房顶拱缓倾角裂隙总体不发育,绝大多数为硬性结构面,且绝大多数延伸不长,但仍可能存在零星分布于顶拱或隐藏于顶拱内的长大缓倾角裂隙。为保证顶拱施工期零安全风险,防止顶拱因长大缓倾角裂隙引起掉块或变形,施工期地质工程师进行了专项补充勘察。通过对开挖揭露的地质状况和钻孔彩电成果进行搜索,查明了左右岸主厂房顶拱较长大缓倾角裂隙(长度大于 10 m)的发育情况。左岸共 8 条,5 条出露,3 条隐性;右岸共 7 条,3 条出露,4 条隐性。15 条裂隙中,有 4 条构成了 3 个块体,其余 11 条未构成明显块体,但受开挖爆破影响,浅表层结构面易张开,随顶拱应力调整,在以自重应力为主的情况下,可能沿缓倾角裂隙存在局部变形稳定问题。

(6) 顶拱零星分布的短小缓倾角裂隙相对较发育区存在掉块或局部变形问题。主厂房顶拱短小缓倾角裂隙较发育区,岩体一般较破碎。左岸主厂房顶拱共发育 7 处,右岸主厂房顶拱共发育 12 处。爆破开挖后,浅表层结构面易张开,随顶拱应力调整,在以自重应力为主的情况下,支护不及时易掉块,若不加强支

护,该区岩体后期可能存在局部变形过大导致混凝土开裂掉块的现象。

(7) 走向与厂房轴线夹角小且性状较差的断层或长大裂隙所引起的高边墙局部变形稳定问题。该类结构面是应力调整的窗口,变形易沿该类结构面发生,且随开挖边墙高度的增加,这种变形会越来越明显。地下电站厂房区共发育 11 条夹角小、性状差的长大裂隙,其中左岸 6 条,右岸 5 条。

(8) 溶洞问题。乌东德地下厂房位于灰岩白云岩岩层内,开挖期间揭露出大小不等的溶洞。溶洞对地下厂房洞室围岩稳定产生影响;同时因溶洞周围溶蚀风化的岩体强度低、完整性差,均存在不同程度的局部变形稳定问题。目前,乌东德地下厂房开挖揭露出的溶洞一般都较小,尺寸最大不超过 7 m。

3 结 语

(1) 乌东德水电站地下厂房布置于坚硬的中厚层陡倾角灰岩及白云岩内,具有“大跨度、高边墙、中厚层、陡倾角、低等地应力、小夹角”的工程特点。

(2) 实际开挖揭露出的主要工程地质问题有 8 类,主要以结构面控制型为主,特别是小夹角问题,即层面走向与厂房轴线夹角小所引起的高边墙变形稳定问题。分析了每类工程地质问题的变形稳定模式与机理,为各类工程地质问题作针对性处理奠定了坚实的地质基础。

(3) 只有高度重视大跨度高边墙地下洞室的施工地质工作,才能确保工程建设与永久运行的安全。同时,对施工期揭露的各种工程地质问题进行归纳总结分类概括,可使复杂的工程地质问题简单化、模式化,方便设计、施工及工程管理,确保工程建设的安全与高效。

参考文献:

- [1] 周建民,金丰年,王斌,等.洞室跨度对围岩分类影响探讨[J].岩土力学,2005(S1).
- [2] 李会中,黄孝泉,肖云华,等.金沙江乌东德水电站可行性研究阶段引水发电建筑物工程地质专题报告[R].武汉:长江勘测规划设计研究有限责任公司,2011.
- [3] 李会中,黄孝泉,向家菠,等.金沙江乌东德水电站可行性研究报告第四篇工程地质[R].武汉:长江勘测规划设计研究有限责任公司,2011.
- [4] 满作武,陈又华,黄孝泉,等.金沙江乌东德水电站可行性研究报告第四篇工程地质[R].武汉:长江勘测规划设计研究有限责任公司,2015.

(编辑:赵凤超)

(下转第 35 页)

深部卸荷张拉裂缝的成因机制进行了进一步的探讨。深部裂缝受岩性构造控制,空间分布不均一,变形模式具有多样性和复杂性,是在特定的高陡边坡地形、地质构造、高水平应力环境和上软下硬的岩性组合条件下,伴随河谷的快速下切过程,边坡高应力发生强烈释放、分异、重分布,在原有构造结构面基础上卸荷张裂所形成的一套边坡深卸荷裂隙体系。

参考文献:

- [1] 祁生文,伍法权. 锦屏一级水电站普斯罗沟左岸深部裂缝变形模式[J]. 岩土力学,2002,23(6):817-820.
- [2] 国家电力公司成都勘察设计研究院. 雅砻江锦屏一级水电站坝址选择研究报告(4):工程地质条件(初稿)[R]. 成都:国家电力公司成都勘察设计研究院,2001.
- [3] 祁生文,伍法权,兰恒星,等. 锦屏一级水电站普斯罗沟左岸深部

裂缝成因的工程地质分析[J]. 岩土工程学报,2002,24(5):596-599.

- [4] 黄润秋,林峰,陈德基,等. 岩质高边坡卸荷带形成及其工程性状研究[J]. 工程地质学报,2001,9(3):227-232.
- [5] 祁生文,伍法权,丁振明,等. 从工程地质类比的角度看锦屏一级水电站左岸深部裂缝的形成[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(8):1380-1384.
- [6] 宗仁怀. 锦屏一级水电站普斯罗沟坝址深拉裂形成机理的数值模拟[J]. 水电站设计,1996,12(3):73-79.
- [7] 荣冠,朱焕春,王思敬,等. 锦屏一级水电站左岸边坡深部裂缝成因初探[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(增1):2855-2863.
- [8] 黄润秋. 岩石高边坡的时效变形分析及其工程地质意义[J]. 工程地质学报,2000,8(2):148-153.
- [9] 张倬元,王士天,王兰生,等. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1994.

(编辑:赵凤超)

Discussion on genetic mechanism of large - depth unloading tension fracture in high and steep slope

PENG Shaowen, HE Jinming, SUN Guanjin, LIU Peipei

(Sanxia Exploration and Survey Co., Wuhan 430074, China)

Abstract: In high geo - stress area, many deep tension fractures developed in the inside of some high and steep slope with horizontal depth of 200 to 300 m or even deeper, which is beyond the understanding of unloading laws in practical experience. So a reasonable explanation of this special engineering and geological phenomenon becomes a new subject. The genetic mechanism of tension fracture in deep unloading condition is further discussed on the basis of the analysis and summary of previous research results, in terms of around environment, rock structure and geological tectonics. The results in current stage showed that the tension fracture in deep unloading condition can partially affect the slope stability; the fracture would develop and expand under inner force or water filling condition, so as to control the stability of the slope.

Key words: high geo - stress; high and steep slope; unloading; deep tension fracture; genetic mechanism; stability of slope

(上接第 3 页)

Study on engineering geological problems of underground powerhouses of Wudongde Hydropower Station

XIAO Yunhua, HUANG Xiaoquan, LIU Chongping, WANG Jiliang, HAO Ximing

(Sanxia Exploration and Survey Co., Wuhan 430074, China)

Abstract: Since the powerhouses of Wudongde Hydropower Station are located in hard medium - bedded limestone and dolomite with a high dip, the following engineering geological characteristics can be found: long span, high side walls, medium bed with a deep angle, low geostatic stress and a low included angle. During the excavation, eight engineering geological problems are revealed and summarized, including: deformation and instability of the high side walls caused by the low included angle between the strike line of the rock bed and the axis of the powerhouses; instability of the surrounding rock caused by relatively low compressive strength and deformation modulus of the Class B breccia; deformation and instability of the carbonaceous membrane zone on the top of the bed caused by the low integrity of the rock; instability of the blocks over the vault of the powerhouses caused by the long and large low - angle fissures; deformation and chipping of some parts of the vault caused by the short and small low angle fissure zone; deformation and instability of some parts of the side walls caused by the low included angle as well as the long and large fissures; the karst cave problem. According to these problems, targeted countermeasures can be adopted in the design phase of the project.

Key words: underground powerhouses; medium - bedded limestone and dolomite with a high dip; low geostatic stress; low included angle; Wudongde Hydropower Station