

DOI: 10.11779/CJGE201911024

大型地下洞室岩梁开挖主要工程地质问题及 处理措施讨论

王 鹏, 楚文杰, 陈 磊, 张嘉瑶

(浙江华东建设工程有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘 要: 为研究地下洞室岩梁主要工程地质问题及其应对处理措施, 通过分析白鹤滩水电站岩梁地质条件、破坏特征、影响因素、不利后果等, 对岩梁主要地质问题进行归类, 分析产生原因, 总结处理措施, 研究认为岩梁主要地质问题有围岩变形、卸荷回弹、破裂破坏、松弛破坏、块体破坏、缓倾角软弱结构面影响、陡倾角裂隙影响等, 为最大限度的避免不利地质条件影响, 应在洞室选址、方案布置时便充分考虑, 开挖前详细制定岩梁开挖方案, 必要时采取预处理措施, 对开挖后发生的围岩破坏, 可针对性的采用机械挖除、预应力加固、增加插筋、混凝土修补、设置扶壁墙、固结灌浆、锚索加固等措施。

关键词: 岩台梁; 岩壁梁; 围岩; 变形; 破坏; 处理措施

中图分类号: TU458; P642

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2019)11-2165-08

作者简介: 王 鹏(1985—)男, 河南辉县人, 学士, 主要从事工程地质、岩土工程勘察等方面的研究。E-mail: wang_p5@ecidi.com。

Main engineering geological problems and treatment measures of large underground cavern rock beams during excavation

WANG Peng, CHU Wen-jie, CHEN Lei, ZHANG Jia-yao

(Zhejiang Huadong Construction Engineering Co., Ltd., Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to study the main engineering geological problems and treatment measures of underground cavern rock beams, by analysing the geological conditions, failure characteristics, influencing factors and adverse consequences of the rock beams of Baihetan Hydropower Station, the main geological problems of rock beams are classified, the causes are discussed, and the treatment measures are summarized. The study indicates the main geological problems of rock beams in the clued deformation of surrounding rock, unloading rebound, breakage, relaxation failure, block failure, influence of the slightly inclined weak layer, and influence of high dip angle fissure. In order to greatly avoid the influences of unfavorable geological conditions, full consideration should be given to the site selection and layout of caverns. Before excavation, the excavation plans of rock beams should be worked out in detail, and the pretreatment measures should be taken if necessary. For the failure of surrounding rock after excavation, the relevant measures such as mechanical excavation, pre-stressed reinforcement, additional reinforcement, concrete repair, supporting wall, consolidation grouting and reinforcement prestressed anchor cables should be adopted.

Key words: rock platform beam; rock wall beam; surrounding rock; deformation; failure; treatment measure

0 引 言

现代地下工程中地下厂房等洞室规模巨大, 在进行机组安装、闸门启闭时不可避免的要使用大型吊车, 而岩梁作为地下洞室内吊车的受力基础, 直接关系到吊车的正常运行及安全。白鹤滩水电站地下洞室共设置岩梁 20 多个, 结构方式分两种: 一种是岩壁梁(或称岩锚梁、岩壁吊车梁等), 以地厂厂房、尾水管检修闸门室为代表; 另一种是岩台梁, 以尾水洞检修闸门

室、压力管道竖井段为代表, 其中右岸地下洞室内岩梁工程地质问题更加突出。

对岩梁问题的研究前期已经取得了一定成果, 殷荣岗等^[1]分析了地应力对地下厂房岩锚吊车梁变形及应力造成的影响, 刘娟等^[2]基于有限元软件对岩锚梁的施工过程进行了三维非线性有限元数值模拟, 对开

挖过程中岩锚梁的应力、位移及锚杆应力进行了分析; 牟文杰等^[3]分析了顺层岩体对地下厂房岩锚梁稳定性影响; 徐富刚等^[4]分析了施工过程岩锚梁裂缝成因及对策, 董家兴等^[5]对岩锚梁岩台破坏模式及稳定性分析进行了总结, 刘磊等^[6]对岩锚梁地质缺陷及超挖处理进行了一定研究, 陈为博^[7]提出了复杂条件下岩台梁支护设计的一些方案, 董学元等^[8]从岩锚梁开挖施工方面提出一定建议, 本文在前人研究的基础上, 对岩锚梁设计、开挖、支护、缺陷处理全过程进行了一定思考, 侧重于对岩锚梁产生的主要地质问题进行系统分析、归类, 对其产生原因、力学机理、处理措施进行探讨。

1 工程地质条件

枢纽区为单斜岩层, 岩层总体产状为 $N48^\circ - 50^\circ E$, $SE \angle 15^\circ - 20^\circ$, 地下洞室主要出露二叠系上统峨眉山组玄武岩, 岩性主要为 $P_2\beta_1$ 层— $P_2\beta_{11}$ 层隐晶质玄武岩、柱状节理玄武岩、斜斑玄武岩、杏仁状玄武岩、角砾熔岩, 顶部夹有厚度不等的凝灰岩层, 一般厚 $0.3 \sim 1.3$ m, 岩石软弱, 易风化, 遇水软化。

地质构造主要表现为原生构造和断裂构造, 原生构造主要表现为柱状节理及柱体内的微裂隙; 按断裂构造与岩流层产状的关系, 断裂构造分为断层、层间错动带、层内错动带、裂隙。

F_{16} 规模较大, 属于 II 级结构面, 其余规模相对较小, 以 IV 级和 III 级结构面为主。断层大部分走向以 $N40^\circ - 65^\circ W$ 为主, 倾角多大于 75° 。规模较大的断层有 F_{20} , 宽度 $30 \sim 40$ cm, 岩块岩屑 A 型; 小断层宽度 $5 \sim 20$ cm, 构造角砾岩为主。

层间错动带发育于凝灰岩中, 产状同岩层产状, 发育有 C_2 、 C_3 (分上、下段)、 C_{3-1} 、 $C_4 \sim C_{11}$ 。其中 C_3 上段未见错动痕迹, 性状较好; C_3 下段宽 $5 \sim 10$ cm, 带内主要为劈理化构造岩、角砾化构造岩, 结构面类型以泥夹岩屑为主; C_{3-1} 错动不明显, 概化为一条胶结差的胶结型结构面; C_4 宽 $10 \sim 20$ cm, C_5 宽 $5 \sim 15$ cm, 带内主要为劈理化构造岩, 局部为角砾化构造岩, 以泥夹岩屑为主。

层内错动带主要发育在 $P_2\beta_3^2$ 、 $P_2\beta_3^3$ 层、 $P_2\beta_6^1$ 层中, 其它层位层内错动带总体不发育, 长度一般为 $50 \sim 150$ m, 间距大于 30 m, 局部密集段间距 $5 \sim 20$ m, 宽度一般 $2 \sim 10$ cm, 以岩块岩屑型为主, 个别为硬性结构面。

裂隙以陡倾角为主, 优势裂隙主要有 3 组: ① NW 向陡倾角裂隙: $N40^\circ - 60^\circ W$, $NE(SW) \angle 75^\circ - 85^\circ$; ② NNE 向陡倾角裂隙: $N20^\circ - 30^\circ E$, $NW \angle 70^\circ - 80^\circ$; ③ 缓倾角裂隙: $N45^\circ - 55^\circ E$, $SE \angle$

$18^\circ - 25^\circ$ 。裂隙长度一般 $2 \sim 5$ m, 间距一般大于 $50 \sim 200$ cm, 局部 $20 \sim 50$ cm, 裂隙面以闭合平直粗糙为主。

(1) 右岸主厂房

右岸厂房长 453 m, 高 88.7 m, 岩锚梁以上宽 34.0 m, 以下宽 31.0 m, 拱顶高程 624 m, 厂房轴线 $N10^\circ W$; 岩锚梁高程 602 m, 梁宽 2.85 m, 梁高 3.0 m, 斜壁高 2.1 m, 岩壁角为 35° , 最大轮压 $1200K$ ^[9]。岩锚梁结构见图 1。

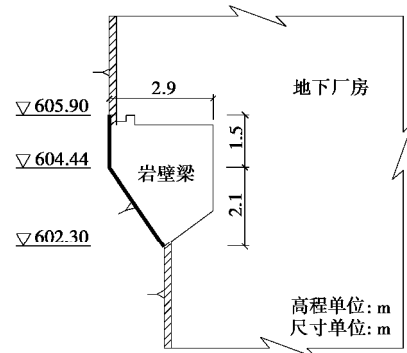


图 1 右岸厂房岩壁梁结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of rock wall beam in underground powerhouse at right bank

洞室水平埋深 $420 \sim 480$ m, 垂直埋深 $420 \sim 540$ m。岩层走向与厂房轴线大角度相交, 交角 $60^\circ \sim 70^\circ$ 。出露岩性主要为 $P_2\beta_3^4$ 层— $P_2\beta_4^2$ 层角砾熔岩、杏仁状玄武岩、隐晶质玄武岩, 局部发育第三类柱状节理玄武岩, 岩流层顶部夹薄层凝灰岩。地质构造较发育, 凝灰岩内发育层间错动带 C_3 上段、 C_{3-1} , 揭露断层 F_{20} , 优势裂隙为 NW、NNE 向陡倾角裂隙, NE 缓倾角裂隙。厂区第一主应力方向为 NNE 向, 一般在 $N0^\circ - 20^\circ E$ 之间, 与厂房洞室轴线方向夹角约 $10^\circ \sim 30^\circ$ 。倾角 $2^\circ \sim 11^\circ$, 量值约在 $22 \sim 26$ MPa; 第二主应力量值在 $14 \sim 18$ MPa; 第三主应力近垂直, 量值相当于上覆岩体自重应力, 一般为 $13 \sim 16$ MPa。岩石强度应力比为 $2.85 \sim 5.09$, 局部存在应力集中现象, 实测最大应力可达 30 MPa 以上, 属高地应力区。

岩锚梁岩质坚硬, 岩体微新、无卸荷状, 岩体结构以次块状结构为主, 局部块状结构, 围岩类别主要为 III1 类, 约占 73%, 局部为 III2 类围岩。

(2) 右岸尾水管检修间门室

洞室顶拱高程 667.5 m, 轴线方向同右岸厂房, 岩锚梁以上宽 15 (12.1) m, 以下宽 12 (9.1) m。岩锚梁高程 656 m, 梁宽 2.5 m, 梁高 3.81 m, 斜壁高 2.31 m, 岩壁角 33° , 最大轮压 380 kN。

闸门室位于厂房以里约 143 m, 水平埋深 $560 \sim 620$ m, 垂直埋深 $436 \sim 525$ m。地层条件同右岸厂房, 另

揭露 $P_2\beta_6^1$ 层第二类柱状节理玄武岩。发育层间错动带 C_5 、 C_4 ，揭露断层 F_{20} ，优势裂隙同右岸厂房。地应力同右岸厂房。围岩类别主要为 III₁ 类，占比 52%，部分 II 类围岩，占比 48%，层间错动带 C_5 、 C_4 发育部位为 IV 类围岩。

(3) 右岸尾水洞检修闸门室

右岸尾水洞检修闸门室布置于距尾水出口约 200 m 处的山体内部，长 250 m，高 38.53 m，拱顶高程 656.53 m，岩台梁以上宽 15 m，岩台梁以下宽 9.1 m，岩台梁高程 645.50 m，左侧岩台梁宽 2.20 m，右侧岩台梁宽 3.70 m^[10]，见图 2。

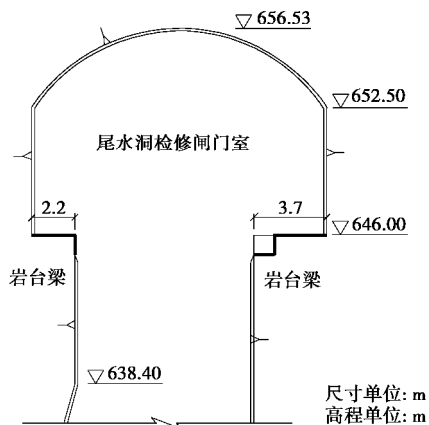


图 2 右岸尾水洞检修闸门室岩台梁结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of rock platform beams in check gate of tunnel at right bank

洞室轴线 $N54^\circ E$ ，与岸坡交角约 60° ，水平埋深 75~180 m，上覆岩体厚 100~580 m。岩性主要为 $P_2\beta_3^1$ 层角砾熔岩、杏仁状玄武岩、斜斑玄武岩、隐晶质玄武岩。发育层内错动带 RS_{321} ，优势裂隙主要有 2 组：① $N50^\circ - 60^\circ W$ ， $SW (NE) 85^\circ - 90^\circ$ ；② $N20^\circ - 30^\circ E$ ， $NW \angle 36^\circ - 60^\circ$ 。岩体微新、无卸荷状，顶拱 SW 端有少量弱风化下段及少量弱卸荷岩体。围岩类别为 III₁ 类为主，约占 61%，II 类次之，约占 38%。

2 岩梁工程地质问题分类

白鹤滩地下洞室岩梁主要工程地质问题分为围岩变形和围岩破坏两大类。围岩变形分为弹性变形和塑性变形；围岩破坏可分为应力控制性及结构面控制性（以主要影响因素分类），应力控制型主要包括卸荷回弹、破裂破坏、松弛破坏；结构面控制性主要分为块体破坏、缓倾角软弱结构面影响、陡倾角裂隙影响，见图 3。

(1) 围岩变形

洞室开挖后围岩应力状态即会发生变化，这种改变由表层向深层逐渐递减，直至无变化，围岩应力变

化必然产生应变，外观上就是围岩变形，这种变形可分为弹性变形和塑性变形。

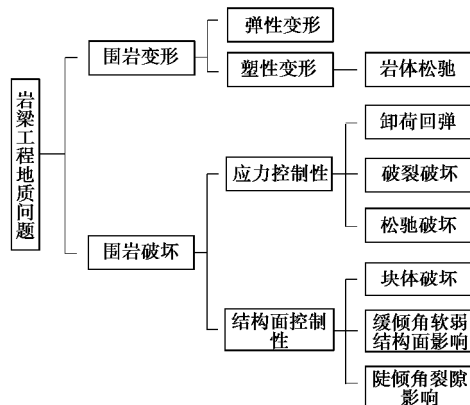


图 3 岩梁主要工程地质问题类型

Fig. 3 Classification of main engineering geological problems of rock beams

弹性变形是可逆的，当围岩应力状态恢复后，变形即可消失并能完全恢复原来形状，不会导致岩石结构破坏，要发生在围岩深部，与围岩深部应力变化小有关。

塑性变形发生后是不可逆的，是由于应力变化超过岩石承载强度，岩石破裂出现细微裂隙，或原有裂隙延伸、张开而形成，主要发生在围岩浅表部，与围岩浅表部应力变化大有关。通常意义上讲围岩松弛深度即是塑性变形区的深度，可由声波测试检测。

围岩变形会导致岩梁浇筑混凝土产生变形，变形过大会出现混凝土开裂、混凝土与岩壁脱开、桥机轨道偏移等问题，从而影响桥机正常运行或出现稳定性问题。

(2) 卸荷回弹

无论是岩壁梁还是岩台梁，结构线均为弯折的折线，其特殊结构会造成岩梁表层岩体外凸，受力条件较直线（洞壁）或弧线（顶拱）差，在高应力地区，岩梁面突然失去围压，易出现卸荷回弹破坏，形成大的卸荷回弹裂缝，多顺岩梁沿水平方向延伸，导致岩梁破坏，个别部位应力调整突然而剧烈，并伴有剧烈响声。

(3) 破裂破坏

破裂破坏是指高地应力导致的岩石结构性破坏现象，主要发生在完整、较完整岩体中，其力学机理是开挖导致应力 (s_1) 增大或集中，围岩强度不够而出现裂纹，或围岩中的微裂纹在高地应力作用下逐渐扩展连通，最终出现岩体开裂，甚至塌落破坏。主要表现为围岩表层破裂形成裂隙密集带，裂隙产状接近岩梁斜面，间距一般 5~20 cm 不等。

(4) 松弛破坏

松弛破坏是洞室开挖后围压(s_3)减小导致的一种围岩破坏现象,以岩体松弛为主,柱状节理玄武岩在边墙部位出露容易产生松弛,岩体松弛会随时间不断发展,最终会出现掉块、垮塌现象。

(5) 块体破坏

块体破坏是指围岩受两组或两组以上结构面切割,与岩梁特殊的结构线组合,将岩体切割为与母岩大部分或完全脱离的岩块、块体,已不满足自稳条件,随爆破开挖或轻微扰动后便会脱离母岩,导致局部岩梁缺失。

(6) 缓倾角软弱结构面影响

工程区岩性主要为火山喷出岩,大的喷发旋回顶部会有一定厚度的凝灰岩发育,厚度一般0.3~0.6 m,个别层为0.8~1.5 m,凝灰岩内部发育层间错动带,宽度一般5~20 cm不等,与地层产状一致,为缓倾角,错动带及凝灰岩强度及刚度低,其在岩梁位置发育,会影响岩梁承载及抗变形能力。

(7) 陡倾角裂隙影响

陡倾角裂隙密与岩梁小角度(小于 30°)相交时,会形成薄层楔形状岩体,外侧尖角部分易塌落,导致岩梁缺失,剩余薄层岩体稳定性差。

3 岩梁主要工程地质问题特征及分布

3.1 围岩变形

根据建筑物重要性,对厂房岩梁布置了大量的监测测试工作,其他部位岩梁监测测试工作较少,以右岸厂房测试成果为例。

(1) 围岩变形

右岸厂房上游岩梁变形较大部位主要位于厂房中部桩号右厂0+076—右厂0+185间,以深度1.5, 3.5 m浅表层变形为主,其测值在60~80 mm。右厂0+185—右厂0+265间,受层间错动带 C_3 及缓倾角裂隙密集带 RS_{411} 影响,深度6.5 m处测值相对较大,在35.0~47.0 mm间。其他各测点测值均不大,一般均小于20 mm。

下游岩梁桩号右厂0-056深度1.5, 3.5 m处浅表层变形大,测值分别为173.64, 148.79 mm。右厂0+185—右厂0+265间,受层间错动带 C_3 及缓倾角裂隙密集带 RS_{411} 影响,深度1.5~6.5 m处测值相对较大,在35.0~85.0 mm间。其他各测点测值均不大,一般小于30 mm。

(2) 塑性变形深度(松弛深度)

图4是右岸地下厂房开挖后的松弛区预测图,通过计算上游岩梁松弛深度为3.4 m,下游侧为3.6 m^[11]。根据检测成果,上游侧岩梁实际松弛深度1.8~4.2 m,

平均3.16 m;下游侧岩梁松弛深度3.2~4.2 m,平均3.84 m,下游侧岩梁比上游侧松弛深度略大,与计算成果基本一致,松弛深度前期较小,随厂房开挖高度增加不断增大。

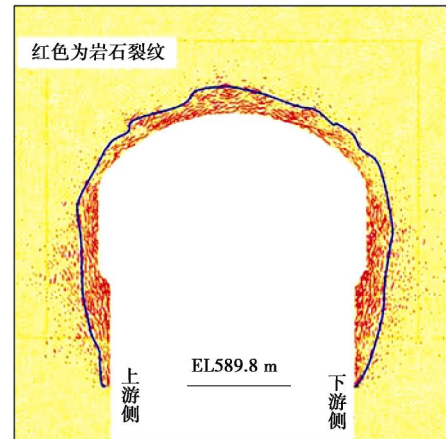


图4 右岸地下厂房开挖后的松弛区预测图

Fig. 4 Prediction of relaxation area after excavation of underground powerhouse at right bank

(3) 岩梁混凝土变形

右岸尾水管检修闸门室下游侧岩梁混凝土受围岩变形影响,桩号0+0—0+080 m范围内岩梁混凝土与围岩开裂,最大裂缝宽度4 cm左右(图5),在桩号0+68.5附近,导致局部轨道偏移量较大,桥机无法运行。



图5 右岸尾水管检修闸门室岩壁梁与边墙间裂缝

Fig. 5 Cracks between rock beam and wall in check gate of tunnel at right bank

3.2 围岩破坏

(1) 卸荷回弹

卸荷回弹主要发生在右岸主厂房上游岩壁梁右厂0+40—右厂0+60 m,在岩梁拐角下方1~2 m处形成了多条不规则近水平卸荷裂缝。个别部位应力调整突然而剧烈,如右岸尾水管检修闸门室下游岩壁梁桩号K0+170—K0+210 m卸荷时,伴随着巨大的岩石爆裂声,形成了多条近水平卸荷裂缝,见图6。这些卸荷裂缝一般延伸较长,并有一定程度的张开,对岩梁

稳定性不利。

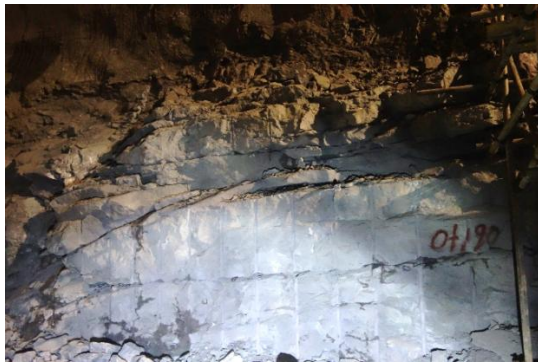


图 6 右岸尾水管检修闸门室下游岩壁梁卸荷回弹裂缝

Fig. 6 Unloading rebound cracks on downstream rock beam in check gate of tunnel at right bank

(2) 破裂破坏

右岸厂第一主应力与地下厂房、尾水管检修闸门室等小角度相交, 对其影响相对较小, 而第二主应力与洞室大角度相交, 缓倾洞室上游, 开挖后会在洞室上游侧拱肩、下游侧底脚及开挖不平顺部位产生局部应力集中, 当应力集中超过岩体启裂强度时, 便会导导致岩体破裂破坏。

岩梁上部岩体开挖后, 拐角部位会产生应力集中, 特别是在下游侧底脚, 直接导致岩梁部位岩体产生一组近平行微破裂面, 当岩梁开挖出露后, 围岩应力再次调整, 破裂面会逐步扩展显现, 右岸地下厂房岩梁部位分层开挖应力变化过程及状态^[11]见图 7。

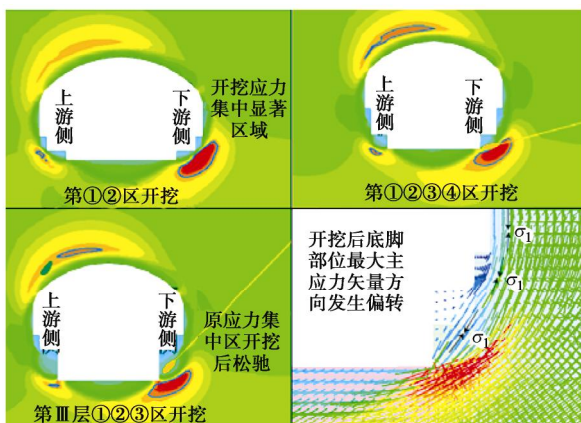


图 7 地下厂房岩梁部位分层开挖应力变化过程

Fig. 7 Change process of stress on rock beam in underground powerhouse under stratified excavation

尾水管检修闸门室破裂面走向一般 $N0^\circ - 10^\circ E$, 倾角 $40^\circ \sim 50^\circ$, 沿破裂面一般张开 $2 \sim 5 \text{ mm}$, 影响深度一般 $0.5 \sim 1 \text{ m}$, 见图 8, 部分段岩梁开挖后直接塌落, 部分段进行了清除处理, 导致岩梁成型极差, 下游侧岩壁梁竖向超挖高度一般 $1.5 \sim 2.5 \text{ m}$, 水平向超

挖深度一般 $0.5 \sim 1 \text{ m}$, 形成外倾斜面, 坡度一般 $70^\circ \sim 80^\circ$, 见图 9 (b)。经统计, 右岸尾水管检修闸门室上游侧岩壁梁桩号 $0+130 - 0+205 \text{ m}$ 未开挖成型, 长度约 75 m , 约占岩梁总长 21%; 下游侧岩壁梁桩号 $0+050 - 0+374.5 \text{ m}$ 未开挖成型, 长度约 300 m , 约占岩梁总长 86%。



图 8 右岸尾水管检修闸门室下游侧底脚破裂面

Fig. 8 Fractures foot at downstream side in check gate of tunnel at right bank



(a) 上游



(b) 下游

图 9 右岸尾水管检修闸门室上游、下游岩壁梁开挖形态对比

Fig. 9 Comparison of excavation shapes of upstream and downstream rock beams in check gate of tunnel at right bank

右岸地下厂房下游侧岩梁破裂破坏导致岩梁未成型段长度达 242 m , 占岩梁总长约 60%。岩梁局部开挖情况见图 10。



图 10 右岸地下厂房下游侧岩梁破裂破坏

Fig. 10 Fractures of rock beams at downstream side in underground powerhouse at right bank

(3) 松弛破坏

右岸尾水管检修闸门室岩梁段发育第一类柱状节理玄武岩, 柱体长度 2~3 m, 直径 13~25 cm, 柱体倾角为 $75^{\circ} \sim 85^{\circ}$ [11], 其中桩号 K0+043—K0+030 m 上游侧岩梁柱状节理玄武岩在高地应力影响下, 开挖后产生松弛, 普遍沿柱状节理面微张, 并沿岩梁上部边墙轮廓线向下形成一条竖向裂缝, 见图 11, 柱状节理玄武岩松弛后, 岩体物理力学强度明显下降, 竖向裂缝也会影响岩梁稳定, 出现后进行了清除处理, 导致该段岩梁未形成。

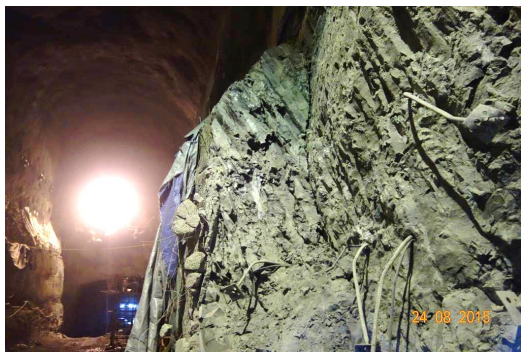


图 11 右岸尾水管检修闸门室岩梁柱状节理玄武岩松弛

Fig. 11 Columnar joints basalt relaxation of rock beam in check gate of tunnel at right bank

(4) 块体破坏

右岸尾水洞检修闸门室岩台梁附近节理较为发育, 走向 $N20^{\circ} \sim 30^{\circ}E$, $NW \angle 36^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 的节理与洞轴线小角度相交, 在上游侧岩台梁处外倾, 构成块体破坏, 受其切割影响, 上游侧岩台梁成型差。其中桩号 K0+18—K0+105 m, K0+140—K0+178 m, K0+206—K0+222 m 超挖严重, 未形成岩台梁, 局部超挖呈直立面, 部分段形成 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 斜坡, 见图 12。累计破坏长度约 141 m, 占洞室总长的 56.7%。而其在下游侧岩台梁发育时内倾, 对岩台梁成型几无影响。

右岸地下厂房部分岩梁段发育第三类柱状节理玄武岩, 其局部发育缓倾角裂隙, 柱面与缓倾角裂隙相互切割构成块体边界, 个别部位也产生块体破坏。



图 12 右岸尾水洞检修闸门室上游侧岩台梁块体破坏

Fig. 12 Block destruction of rock beam at upstream side in check gate of tunnel at right bank

(5) 缓倾角软弱结构面影响

右岸尾水管检修闸门室发育层间错动带 C_4 、 C_5 , 产状 $N49^{\circ}E$, $SE \angle 17^{\circ}$ 左右, 宽一般 5~10 cm, 成分主要为劈理化构造岩、角砾化构造岩, 在凝灰岩中发育, 凝灰岩厚度 20~50 cm, 错动带影响范围内围岩类别为 IV 类。

C_4 、 C_5 为与洞轴线大角度相交的软弱结构面, 其在岩梁及其下部一定范围内发育时, 岩梁受力条件复杂, 变形及承载力不满足要求, 影响岩梁后期正常运行, 需在一定范围内挖除处理, 挖除后面貌见图 13。



图 13 右岸尾水管检修闸门室下游侧岩壁梁 C_5 挖除后照片

Fig. 13 Photo after excavation of C_5 rock beam at downstream side in check gate of tunnel at right bank

(6) 陡倾角裂隙影响

白鹤滩水电站优势裂隙以 NW 向陡倾角裂隙及 NNE 向中陡倾角裂隙为主, 局部成组密集发育, 当陡倾角裂隙与岩梁小角度 (小于 30°) 相交时, 会形成薄层楔形状岩体, 外侧尖角部分易塌落, 导致岩梁缺失, 剩余薄层岩体稳定性差。

4 处理措施简介

(1) 高地应力引起的卸荷回弹、破裂破坏、松弛垮塌问题, 具有时效性, 开挖初期及时增加围压可有效抑制破坏范围及影响深度, 现场系统采用了预应力锚杆支护, 并限制单次爆破长度, 开挖一段支护一段, 要求一般开挖完成后 1 d 内完成锚杆支护。

(2) 针对岩梁的破裂破坏问题, 施工前已有较准确的预报, 采取预留保护层开挖, 保护层外增加树脂锚杆(可随爆破拆除)、喷混凝土进行预支护措施, 保护层采用光面爆破、分块开挖等措施, 以尽量减少开挖产生的二次破坏。

(3) 卸荷回弹产生的水平裂缝, 岩体松弛形成的竖向裂缝, 对岩梁稳定影响大, 对裂缝外侧岩体需进行清除处理, 对严重破裂破坏岩体也要求清除处理, 为避免二次破坏, 以机械清除为主, 必要时采用小药量光面爆破处理。

(4) 岩体松弛、破裂破坏等部位会出现锚杆孔严重塌孔, 无法插杆的问题, 主要采用了孔内固结灌浆或部分锚杆替换为自进式锚杆处理。

(5) 对于块体, 由于其切割完全, 稳定性差, 一般要求机械挖除; 缓倾角软弱结构面延伸范围有限, 而其对岩梁受力、变形影响大, 采用挖除处理; 陡倾角裂隙形成的楔形薄片状岩体, 采用机械清除浅表部薄层岩体, 距楔形体断口 0.5 m 左右布置一排预应力锚杆加强支护。

(6) 对于上述问题导致的岩梁缺失部位, 运行时后受力情况发生较大变化, 主要采用了增加插筋数量, 插筋与岩梁结构锚杆有效搭接, 岩梁围岩内预设锚索, 混凝土浇筑后将锚墩头设在其外部再张拉, 对岩梁混凝土进行锚索加固; 对于岩梁下部也有大面积围岩缺失的情况, 为保证岩梁混凝土稳定, 在岩梁下部设置了 3~5 m 高的扶壁墙, 同样采用了锚索加固处理。

5 结 论

(1) 地下洞室岩梁主要工程地质问题有围岩变形和围岩破坏 2 大类。围岩变形分为弹性变形和塑性变形; 围岩破坏可分为应力控制性及结构面控制性(以主要影响因素分类), 应力控制型主要包括卸荷回弹、破裂破坏、松弛破坏; 结构面控制性主要分为块体破坏、缓倾角软弱结构面影响、陡倾角裂隙影响。

(2) 对于层间错动带、柱状节理玄武岩, 后期处理较为复杂, 地下洞室位置选择时要尽量避开, 特别是在岩梁、顶拱等关键部位, 以将其影响降至最低。

(3) 高地应力地区, 地下厂房、尾水管检修间门室等大型地下洞室轴线应尽量与主应力方向保持一致, 从根本上减少地应力的不利影响。

(4) 应力型问题具有时效性, 及时增加围压可以减少其破坏程度, 可使用预应力锚杆增加围压, 从单次开挖段长、单层开挖高度、支护时间上进行控制以达到及时性的目的。

(5) 对已破坏围岩应视其影响, 采用挖除或加强支护处理措施, 尽量避免爆破处理, 以减少二次破坏; 对于缺失岩梁可采用混凝土修补、增设扶壁墙、锚索支护等措施处理。

参考文献:

- [1] 殷荣岗, 张建海, 邓建辉, 等. 地应力对地下厂房岩锚吊车架梁变形及应力影响分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(增刊 2): 3681 - 3687. (YIN Rong-gang, ZHANG Jian-hai, DENG Jian-hui, et al. Analyses of deformation and stress caused by geostress on rock-anchored beam of underground power house[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(S2): 3681 - 3687. (in Chinese))
- [2] 刘 娟, 杨海霞. 地下洞室开挖应力释放对岩锚梁力学性能影响的探析[J]. 海河水利, 2014(4): 44 - 45, 49. (LIU Juan, YANG Hai-xia. Analysis of the effect of stress release from underground cavern excavation on mechanical properties of rock anchor beams[J]. Haihe Water Resources, 2014(4): 44 - 45, 49. (in Chinese))
- [3] 牟文杰, 骆 安, 刘 波. 浅析顺层岩体对地下厂房岩锚梁稳定性影响[J]. 陕西水利, 2014(5): 133 - 135. (MOU Wen-jie, LUO An, LIU Bo. Analysis of the influence of bedding rock mass on the stability of rock anchor beam of underground powerhouse[J]. Shaanxi Water Resources, 2014(5): 133 - 135. (in Chinese))
- [4] 徐富刚, 高剑飞, 王 峻, 等. 猴子岩地下厂房施工过程中岩锚梁裂缝成因及对策[J]. 水利学报, 2015, 46(增刊 1): 242 - 247. (XU Fu-gang, GAO Jian-fei, WANG Jun, et al. Causes of cracks in rock anchor beams during construction of monkey rock underground powerhouse and countermeasures[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(S1): 242 - 247. (in Chinese))
- [5] 董家兴, 徐光黎, 申艳军. 施工期岩锚梁岩台破坏模式及稳定性分析[J]. 地质科技情报, 2011, 30(6): 133 - 137. (DONG Jia-xing, XU Guang-li, SHEN Yan-jun. Analysis of failure modes and stability of rock bench for rock-bolt crane beam during construction stage[J]. Geological Science and Technology Information, 2011, 30(6): 133 - 137. (in Chinese))

- Chinese))
- [6] 刘 磊. 哈德布特水电站地下厂房岩锚吊车梁地质缺陷及超挖处理[J]. 科技创新与应用, 2013(34): 235 - 236. (LIU Lei. Geological defects and overexcavation treatment of rock anchor crane beam in underground powerhouse of hadbut hydropower station[J]. Technology Innovation and Application, 2013(34): 235 - 236. (in Chinese))
- [7] 陈为博. 复杂地质条件下大尺度地下洞室岩台梁支护设计[J]. 云南水力发电, 2016, 32(1): 38 - 41. (CHEN Wei-bo. Support design of rock bench and beam in large-scale underground cavern under complex geological conditions[J]. Yunnan Water Power, 2016, 32(1): 38 - 41. (in Chinese))
- [8] 董学元, 马丰云. 锦屏一级水电站岩锚梁施工技术[J]. 隧道建设, 2011, 31(2): 235 - 239, 245. (DONG Xue-yuan, MA Feng-yun. Case study on construction technology for rock anchored beam of Jinpin I hydropower station[J]. Tunnel Construction, 2011, 31(2): 235 - 239, 245. (in Chinese))
- [9] 王 鹏, 苑久超, 文红伟, 等. 金沙江白鹤滩水电站施工图设计阶段右岸地下厂房围岩稳定性工程地质专题报告[R]. 杭州: 中国电建华东勘测设计研究院有限公司, 2018. (WANG Peng, YUAN Jiu-chao, WEN Hong-wei, et al. Engineering geology special report on surrounding rock stability of right bank underground powerhouse in construction detailed drawing design stage of Baihetan Hydropower Station on Jinsha River[R]. Hangzhou: Powerchina Huadong Engineering Corporation Limited, 2018. (in Chinese))
- [10] 苏恒先, 王 鹏, 宋 刚, 等. 白鹤滩水电站导流洞专项安全鉴定地质自检报告[R]. 杭州: 中国电建华东勘测设计研究院有限公司, 2014. (SU Heng-xian, WANG Peng, SONG Gang, et al. Geological self-check report on safety identification of Baihetan hydropower station diversion tunnel[R]. Hangzhou: Powerchina Huadong Engineering Corporation Limited, 2014. (in Chinese))
- [11] 陈平志, 吴家耀, 褚卫江. 金沙江白鹤滩水电站岩石力学综合研究左右岸地下厂房洞室群第 III 期监测反馈分析专题研究[R]. 杭州: 浙江中科依泰斯卡岩石工程研发有限公司, 2015. (CHEN Ping-zhi, WU Jia-yao, CU Wei-jiang. Comprehensive Study on Rock Mechanics of Baihetan Hydropower Station on Jinsha River[R]. Hangzhou: HydroChina-ITASCA R&D Center, 2015. (in Chinese))
- [12] 王 鹏, 洪望兵, 宋 刚. 柱状节理玄武岩松弛圈尺寸效应及地应力影响[J]. 岩土工程学报, 2018, 40(1): 139 - 146. (WANG Peng, HONG Wang-bing, SONG Gang. Size effect and in-situ stress influence of columnar jointed basalt relaxation zone[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2018, 40(1): 139 - 146. (in Chinese))

本期广告索引

- 封 2 广州国光仪器有限公司
封 3 北京理正软件股份有限公司
封 4 南瑞集团水利水电技术分公司