

# 西南某水电站厂房平洞围岩变形破坏特征分析

李晓龙, 王家兴, 臧立超, 谢 琨

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

**摘 要:**西南某水电站厂房平洞 CPD1 岩性组合较为复杂,且片理面发育。根据现场调查结果显示,洞室围岩变形破坏特征主要包括三种类型:结构型破坏、构造—应力型破坏、应力型破坏。主洞围岩总体稳定性良好,部分洞段出现掉块及劈裂倾倒破坏;支洞开挖方向与片理面方向小角度相交,围岩总体自稳性较差,在高地应力情况下出现严重的弯折内鼓现象,需采取一定的支护措施。

**关键词:**变形破坏特征;地应力;片理面;岩体结构

**中图分类号:**U456.3<sup>+1</sup>

**文献标志码:**A

## 引 言

地下洞室的开挖过程实际上是围岩卸荷,初始应力得到释放的一个过程,同时在洞室周围一定范围内,会发生应力重分布,加上岩体自身强度、岩体构造以及地下水等各个因素的影响,洞室围岩会发生不同类型、不同程度的变形破坏。围岩破坏不仅对人身安全造成了一定的威胁,还会造成不可估量的经济损失。因此分析研究地下工程围岩岩体的变形破坏特征,对采取经济合理又安全的支护措施具有一定的指导意义。目前已经做出了类似这方面的研究<sup>[1-5]</sup>,但是关于软岩洞段的围岩变形破坏特征,还需进一步探究。

西南某水电站位于四川省甘孜藏族自治州丹巴县境内的大渡河干流上,为大渡河干流 22 级梯级开发中的第 8 级梯级电站。工程采用混合方式开发,总装机容量约为 1196.6 MW。电站属二等大(2)型工程。本文主要针对该水电站厂房平洞及支洞围岩变形破坏情况进行现场调查,并分析各因素对围岩变形破坏的影响,从而更好地为工程建设服务。

## 1 厂区工程地质条件

### 1.1 地层岩性

根据 CPD1 平洞各段岩性、物理力学性质的不同,并

结合现场地质调查,平洞均为志留系茂县群 Smx4 地层,所处地质环境复杂。

根据岩性分布特征将已开挖洞段分为三段,如图 1 所示。其中 K0 ~ K0 + 900 与 K1 + 710 ~ K1 + 770 洞段为软岩段,主要由石英云母片岩组成,夹云母石英片岩和变粒岩,以及石英脉,局部偶见角闪岩脉;K0 + 900 ~ K1 + 710 m 洞段为硬岩段,其岩性为志留系茂县群 Smx<sup>4-1</sup>,主要由变粒岩、云母石英片岩组成,一般呈互层状,局部相互掺杂,局部段见石英脉,偶见侵入的角闪岩脉。

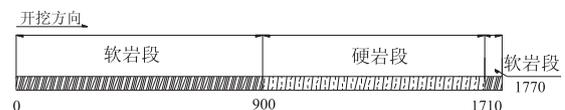


图 1 岩性段分布示意图

### 1.2 岩体结构特征

平洞内主要发育顺层挤压破碎带、原生结构面及构造裂隙。顺层挤压破碎带 18 条,走向主要为 N55 ~ 85° W,与片理面产状基本一致。裂隙型结构面的优势走向大致为 NE 向,其次为北北西(NNW)和北西西(NWW)方向,如图 2 所示。平洞轴线方向为 N8 ~ 10° W,NE 向结构面与洞轴线大角度相交,对围岩稳定影响较小;NNW 向结构面与洞轴线近于平行,对洞室围岩的稳定

收稿日期:2013-11-06

基金项目:地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自由探索项目(SKLG2011Z009)

作者简介:李晓龙(1988-),男,河南濮阳人,硕士生,主要从事地下工程,地质灾害预测与评估方面的研究,(E-mail)lixiaolongzhe@163.com

性影响较大;NWW 向结构面与洞轴线小角度相交,不利于围岩稳定。

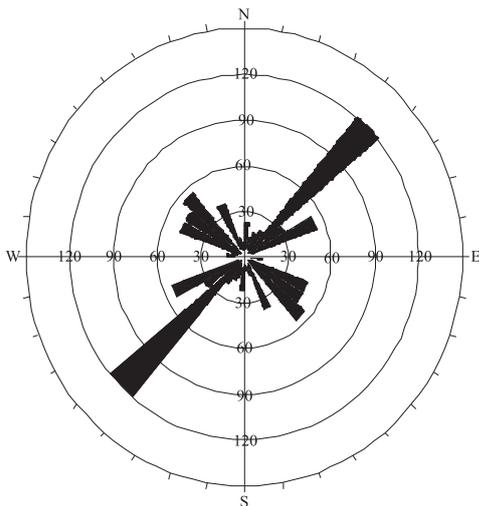


图2 平洞裂隙型结构面走向玫瑰花图

### 1.3 地下水

该洞室位于侵蚀构造中高山区,地形较陡,切割较深,降水入渗条件差,地下水径流条件较好,孔隙水不发育,地下水储存条件较差,主要以基岩裂隙水的形式存在。基岩裂隙水主要出露于云母石英片岩、石英云母片岩及石英岩地层中,层状结构,岩体完整性总体较好,透水性较差。所以含水量较少。地下水在石英岩中主要以构造裂隙水的形式存在,但由于石英岩分布不甚广泛,故构造裂隙水量也较少。根据地表测绘及各探洞揭示,各探洞仅局部洞段有少量渗流(滴)水或潮湿。

### 1.4 地应力

现场采用水压致裂法测试地应力状态。测试成果表明,当隧洞埋深小于 150 m 时,其最大主应力为 2 MPa ~ 10 MPa,最大主应力方向为 N15 ~ 28°W,属于低地应力区;埋深 150 m ~ 600 m 时,最大主应力为 10 MPa ~ 17 MPa 之间,最大主应力方向约为 N22 ~ 36°W,倾角 - 23 ~ - 34°,属于中等地应力区;隧洞埋深在 600 m ~ 1200 m 之间,其最大主应力为 27.01 MPa ~ 31.22 MPa,属于高地应力区,1200 m 至平洞掌子面亦属于高地应力区,主要受构造应力影响。已测洞段地应力分段示意图如图 3 所示。

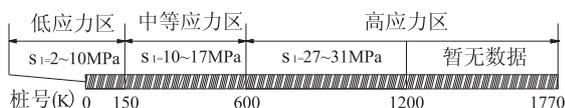


图3 地应力分布示意图

## 2 岩体破坏特征分析

在地下结构工程中,随着地下洞室开挖的同时,围

岩的应力状态发生变化,加上地下岩体结构复杂,岩体强度各异,在应力集中程度较高、岩体结构强度相对较低的部位,围岩强度应力比较低,往往由于无法满足开挖状态下的二次应力状态而导致变形与破坏。随着起始部位破坏程度的加深,引发邻近次薄弱部位围岩的破坏,如此逐次引发连锁反应,最终可能导致大范围围岩的失稳破坏。结合以往工程实践经验分析得知,地下洞室围岩破坏特征受地应力状态、岩体强度、地下水、岩体结构以及支护方式等因素的共同影响。因此,不同地下结构条件下,围岩变形破坏特点具有明显的差异性。

根据丹巴水电站厂房平洞 CPD1 现场调查资料得知,洞室整体围岩稳定性良好,局部存在一定程度的变形破坏;随着洞深的增加,各个影响因素均发生不同程度的变化,因此在不同洞段围岩具有不同的变形破坏特征。对于引起围岩破坏的主控因素,初步将其围岩破坏特点划分为三种主要破坏类型,即结构面控制型、结构面—应力复合控制型、应力控制型。

### 2.1 结构面控制型

结构面控制型破坏主要发生在结构面较为发育且埋深较浅的洞段,破坏部位主要集中在拱顶、拱肩、边墙位置处。控制型结构面组合情况主要包括三种情况:一是 NE 向中倾洞外结构面、NNW 向缓倾结构面和 NWW 向层间错动结构面之间相互组合,或与由于卸荷作用产生的次生结构面组合形成体积较小的不稳定块体,岩体应力释放完全,块体在重力作用下产生松动掉落;二是 NE 向中倾洞外结构面密集发育,在洞室开挖卸荷作用下,局部张开,岩体完整性较差,产生局部掉块;三是层间挤压破碎带及其影响带,岩体较为破碎,在重力作用下易发生掉块,局部发生构造型坍塌。结构型控制破坏及现场典型破坏情况如图 4、图 5 所示。

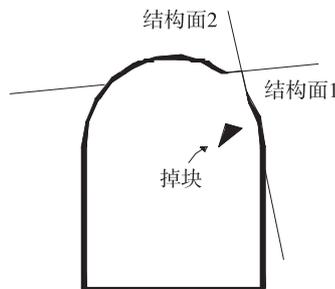


图4 结构型破坏示意图

### 2.2 构造应力型

构造应力控制型又称结构面—应力复合控制型,是指围岩破坏主要由岩体结构与地应力两因素共同控制,两者影响程度较为均衡。此破坏类型主要是由于高地应力区深埋洞段的岩体屈服破坏和能量释放,诱发结构面

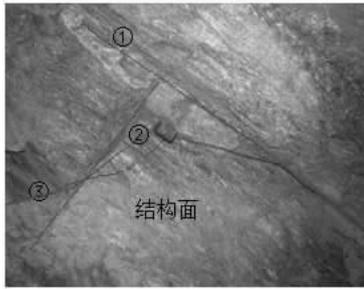


图 5 主洞 K0 +200 结构面组合掉块

应力型破坏的断裂,往往规模不大,基本上都是刚性接触现象。常见的断裂包括单条剪性断裂或多条节理组合成的剪切带。大规模断层、特别有软弱充填物的断层一般不诱发结构面应力型破坏。

从 CPD1 平洞揭露的情况看,破坏集中在拱顶、拱肩及拱脚一带,破坏边缘近似呈水平状,原因在于此类破坏类型所在洞段普遍存在与主洞洞轴线夹角相对较小的缓倾刚性结构面。根据现场资料揭示,此类洞段岩体强度较高,岩性以较软岩或中硬岩为主。结构面—应力复合控制型控制破坏及现场典型破坏情况如图 6、图 7 所示。

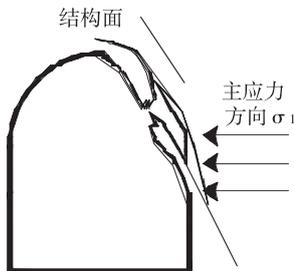


图 6 结构—应力型破坏示意图



图 7 主洞 K0 +928 结构—应力型破坏

### 2.3 应力控制型

应力控制型破坏,即围岩的破坏特征的诱发主控因素为地应力状态。此种破坏类型主要发生在高应力深埋洞段,且岩体结构较为完整,无明显软弱结构面。由于软岩本身具有片理面的存在,力学性质具有明显的各向异性<sup>[6]</sup>,应力控制型破坏又可以根据软岩片理面与洞室轴线夹角的不同划分为劈裂倾倒型破坏、弯折内鼓型破坏两种主要破坏类型。

#### (1) 劈裂倾倒型破坏

劈裂倾倒型破坏主要发生在主洞洞顶、拱肩、边墙部位,由图 8 知厂房平洞 CPD1 主洞洞轴线方向与岩体片理面方向呈大角度相交,岩体无法顺片理面发生破坏。在地应力作用下,岩体强度应力比较小,岩体自身强度无法满足二次应力状态,岩体沿临空面方向发生破坏,应力得以释放,宏观表现为主洞围岩劈裂倾倒破坏。劈裂倾倒型破坏及现场典型破坏特征如图 9、图 10 所示。

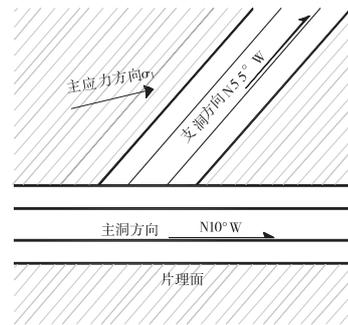


图 8 主洞、支洞、片理面、地应力关系示意图

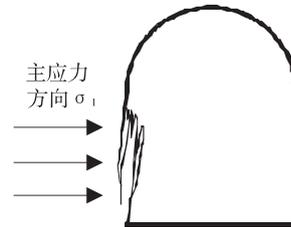


图 9 劈裂倾倒型破坏示意图

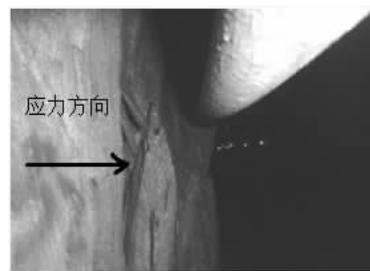


图 10 主洞 K0 +952 处劈裂倾倒破坏

#### (2) 弯折内鼓型破坏

弯折内鼓型破坏主要发生在支洞左右边墙部位。由图 8 知支洞开挖方向与岩体片理面方向基本平行,开挖的结果则是造成岩体片理面临空面的出现。主应力方向与岩体片理面方向呈大角度相交,顺片理面方向岩体内部出现裂纹,随着裂纹逐步扩张,边墙岩体内部顺片理面裂纹贯通,出现剪切拉张破坏,最终表现为宏观的弯折内鼓型破坏。弯折内鼓型破坏及现场典型破坏特征如图 11、图 12 所示。

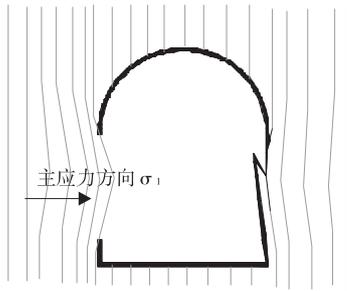


图 11 弯折内鼓型破坏示意图



图 12 K1+146 处支洞边墙弯折内鼓

支洞开挖后总体自稳能力较差,围岩变形破坏情况较为严重。为防止洞室变形程度的进一步恶化,在洞室开挖的同时对左右边墙及拱肩采用锚杆等支护方式方能满足经济、安全的需求。

### 3 结 论

(1) 根据丹巴水电站厂房平洞 CPD1 现场调查资料得知,洞室整体围岩稳定性良好,局部存在一定程度的变形破坏。随着洞深的增加,围岩具有不同变形破坏特征。

(2) 由围岩变性破坏诱发因素,初步将其围岩破坏特点划分为三种主要破坏类型:结构面控制型、结构面—应力复合控制型和应力控制型。

(3) 深埋高应力洞段,围岩的应力控制型破坏又可以根据软岩片理面与洞室轴线夹角的不同划分为劈裂倾倒型破坏、弯折内鼓型破坏两种主要破坏类型。

(4) 主洞围岩稳定性良好,局部出现掉块及边墙、拱肩劈裂剥落现象,自稳性良好,无需人工支护;支洞开挖方向与片理面方向小角度相交,围岩变性破坏情况较为严重,左右边墙弯折内鼓现象明显,在左右边墙及拱肩采用锚杆支护基本能够满足安全要求。

### 参 考 文 献:

- [1] 张 杰.软弱巷道围岩变形破坏综合分析[J].岩石力学与工程学报,2011,30(增2):3428-3433.
- [2] 金 刚.隧洞开挖围岩变形与破坏的分析[J].东北水利水电,2013(5):4-5.
- [3] 房 倩,张顶立,王毅远,等.圆形洞室围岩破坏模式模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(3):564-571.
- [4] 邓成进,王勇波,王孔伟,等.洞室围岩应力及破坏模式分析[J].水电能源科学,2010,28(12):101-103.
- [5] 夏彬伟,陈 果,康 勇,等.层状岩体围岩变形破坏特征及稳定性评价[J].水文地质工程地质,2010,37(4):48-52.
- [6] 张晓平,王思敬,韩庚友,等.岩石单轴压缩条件下裂纹扩展实验研究—以片状岩石为例[J].岩石力学与工程学报,2011,30(9):1772-1781.

## Analysis About the Surrounding Rock Damage Characteristics of the Adit in a Southwest Hydropower

LI Xiaolong, WANG Jiaying, ZANG lichao, XIE Kun

(State Key Laboratory of GeoHazard Prevention and GeoEnvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The adit CPD1 of a hydropower station in the southwest whose lithology is more complicated contains a lot of schistosity plane. Based on the site survey results, the main characteristics types of surrounding rock deformation and failure include structural damage, structural-stress damage and stress damage. Except some holes appear chip off-falling and the splitting dumping damage, the general stability of surrounding rock is good. However, when the direction of tunnel excavation and schistosity plane direction are small angle intersecting, the overall stability of surrounding rock is poorer. Especially severe bending inner drum phenomenon will be come out under the condition of high ground stress, it is necessary to take certain support measures.

**Key words:** deformation and failure characteristics; geostress; schistosity plane; rock structure