

文章编号 1001-8166(2004)增-0351-04

西南某水利枢纽废旧煤洞的工程效应研究

汪家林¹, 王运生¹, 黄润秋¹, 邓良胜²

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川 成都 610059;

2. 紫坪铺开发有限公司, 四川 都江堰 611830)

摘要 通过对西南某水利枢纽工程坝区煤系地层的系统研究, 揭示了在坝区左右岸煤洞的展布特征, 结合工程, 分析了煤洞的存在及其变形的工程效应。最后, 对煤洞的变形提出了针对性的处理建议。

关键词 废旧煤洞; 分布; 变形; 水电工程; 西南; 工程效应

中图分类号 P642 **文献标识码** :

在建的西南某水利枢纽区为三叠系上统须家河组煤系地层, 由砂、泥岩夹煤层组成。调查表明, 左右岸分布有星罗棋布的煤洞。据考证这里有近300年的采煤历史, 煤洞的存在不但破坏了坝区岩体的完整性, 而且导致采空区周围出现不同程度的变形松弛。这些不利因素对地下洞室的稳定性与施工安全、边坡的稳定性、大坝基础的沉降与渗漏都会带来明显不利的影响, 是危及工程安全的隐患。目前, 已用物探方法初步探明了部分废旧煤洞的分布, 导流洞开挖和边坡开挖又暴露了一些新的煤洞。据统计, 坝区已知的废旧煤洞近80处。对于这样特殊的工程地质环境的大型水利工程, 国内外还没有可供类比的经验, 因此, 查明废旧煤洞的分布规律, 研究其存在和变形对工程稳定性的影响, 提出处理对策是目前工程建设中十分必要和迫切的任务。

1 坝区基本地质条件

坝区为须家河组第二段, 呈北东—南西向展布, 为灰—深灰色中厚层—细粒岩屑石英砂岩、云岩屑钙岩屑砂岩与瓦灰色、灰黑色薄—中层粉砂岩、粉砂岩质泥岩、炭质页岩夹煤层组成15个韵律层, 其中与枢纽区关系密切的有9个韵律层。每个韵律层底部为含砾中砂岩, 向上递变为细砂岩、粉砂岩, 顶部为炭质页岩与煤层。该套地层形成于辫状河、平

原沼泽, 局部有河口沙坝环境, 属三角洲平原亚相。

沙金坝向斜横穿枢纽轴区, 褶皱轴向为 $50^{\circ}N \sim 60^{\circ}E$, 向NE倾伏, 倾伏角 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 北西翼较陡, 岩层产状 $N25^{\circ}E/SE 60^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 南东翼稍缓, 岩层产状 $45^{\circ}N \sim 60^{\circ}E/NW 45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。根据右岸条形山脊的 $11^{\#}$ 、 $12^{\#}$ 勘探平洞以及引水发电洞所揭露的地质情况, 向斜核部转折端部位地层完好, 界限清晰, 仅层间挤压错动明显。河流左岸因受飞来峰前部的强烈推挤致使向斜北西翼地层倒转, 南东翼也变得陡立, 倾角 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 形成紧闭向斜, 与右岸形成鲜明的对比。左岸向斜核部发育有1条 $F2-1$ 逆冲断层(图1)。

2 废旧煤洞的展布特征

调查表明, 坝区煤洞分布有如下几点规律: 左岸分布有26个煤洞, 右岸分布有54个煤洞。其中右岸又以向斜枢纽为界, 北西翼分布有30个煤洞, 南东翼分布有24个煤洞; 坝区采煤主要 $L10$, $L11$, $L12$, $L13$ 中, 分别占总煤洞的5%, 18.8%, 31%, 10%; 其它层位相对仅占35%; 无论是左岸还是右岸, 煤洞的分布高程集中在744~870m之间, 这可能与原始的开采手段、交通运输条件及水文地质条件有关, 因为左右岸750~760m高程均有道路通过, 在此段高程采煤, 运输便利, 成本低, 高于870m左岸开采难度大, 人工运输距离远, 成本高,

收稿日期 2004-04-26

* 基金项目: 国家自然科学基金重大项目“中国西部特殊地质环境条件形成机理及工程环境效应研究”(编号: 90102002/D0214)资助。

而右岸 L11, L12, L13 分布在 900 m 以下, 低于 744 m 受河水倒灌威胁, 开采难度大或根本无法开采; 左岸煤层倾角大, 洞顶易塌, 上下煤洞间必须保持一定的间距才能保证煤洞的稳定性, 因此, 左岸沿 L11, L12, L13 和 L14 开采的煤洞总数并不多; 左岸煤洞的开采基本在向斜的南东翼, 各煤洞近于平行开采, 煤洞间相通的甚少, 且由于洞顶跨塌, 洞深

确定难度大; 右岸地形较缓, 向斜两翼正常, 形态较为开阔, 近核部岩层倾角相对较缓, 在煤层开采时, 缓倾的顶板砂岩具有较强的支撑力, 因此, 开采活动频繁。开采方向通常是北西翼及南东翼都在向核部相向开采, 导致地下采空区密集, 当采空区面积达到煤层顶板无法承受上覆岩层的压力时, 将会造成洞内跨塌。据实地采访, 历史上曾出现过此类事件。

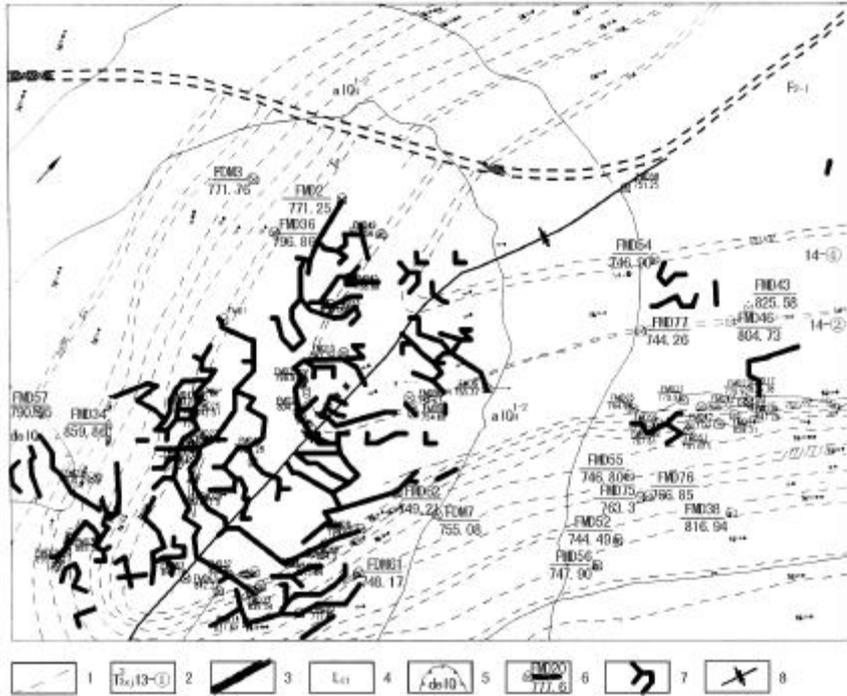


图 1 坝区综合地质及采空区分布图

Fig. 1 The comprehensive geological and coal cave distribution map of the dam

1. 地质界线 2. 地层代号 3. 断层 4. 层间错动破碎带 5. 滑坡 6. 煤洞及其编号 7. 采空区 8. 背斜轴线

从分析的结果来看, 左坝肩为向斜的南东翼, 地层走向与岸坡垂直或大角度相交, 煤层较薄, 煤洞走向与岸坡垂直或近于垂直, 煤洞深度小, 开挖后, 残留的采空区较少。右坝肩位于向斜核部, 地层与坡面小角度相交, 顺 L11, L12, L13 和 L14 采煤活动均为由上游侧和下游侧向沙金坝向斜核部开采, 如位于核部附近的 L12 和 L13 在被开采过程中因相向开采而在核部贯通, 而且贯通的煤洞主要分布在 755 m 高程以上, 在向斜核部形成规模较大的采空区。由于 L11, L12, L13 和 L14 出露高度从南向西向北东逐渐降低, 因此采空区的分布也呈现明显的规律性, 即

采空区 L11, L12, L13 和 L14 的采空区依次降低。

3 煤洞的变形特征

煤洞在开挖过程中, 随着地下采空区的不断扩大, 煤洞顶部及顶板岩体因失去支撑发生变形, 煤洞侧壁因临空而向煤洞中心方向变形。当洞径较小时, 煤洞围岩通过一段时间的变形调整而趋于相对稳定; 当洞径较大时, 洞顶及煤层顶板将要发生变形破坏, 发生崩塌, 变形将向外围发展, 其结果可能影响坝肩的变形。

调查表明, 紫平铺左右坝肩煤洞变形、破坏有以

下几种形式：

洞顶煤层塌落 左岸及右岸部分煤洞煤层倾角较陡 由于煤层强度低 加之在褶皱变形过程中沿煤洞顺层剪切错动 形成顺层剪切破碎带 因而 强度和完整性均低。煤洞开挖过程中 由于煤洞顶部煤层失去支撑而发生跨塌如 FMD47[#]煤洞的顶板在自重作用下塌落 许多煤洞的跨塌主要属于这种类型如 23[#]煤洞的跨塌。

鼓胀变形 当开采空间较大时 倾斜的顶板砂岩在上覆岩层荷载力的作用下向临空面发生鼓胀变形 FMD77[#]煤洞在疏空处理时 顶板砂岩变形导致支护边壁的槽钢发生弯曲 导致向里疏空工作不得不中断 提前灌浆处理。这种变形在顶板砂岩层厚较薄时尤其明显。

倾倒变形 右岸煤洞变形由于沙金坝向斜与条形山脊临空面间的复杂关系而变得多样化 向斜两翼地层走向与临空面大角度相交 岩层倾角中等 随着地下的采空 不但洞顶塌落 煤洞顶板也因承受上覆地层的压力而向洞中心方向拱曲 当在临空面附近顺倾向开采时 由于预留的风化煤层难以支撑上覆地层的巨大压力而发生塑性变形 从而导致煤洞顶板发生倾倒变形如 FMD8[#]煤洞洞口顶板出现的倾倒变形。倾倒变形还可以出现在向斜核部 如由于煤洞顺走向穿过向斜核部 当溢洪道开挖时在溢洪道外侧边坡(860 m 平台的南西侧)出现倾倒变形 导致平台出现宽逾 10 cm 的拉裂缝。

塌陷(陷落)变形 在右岸向斜核部或两翼砂岩顶板较缓 层厚较薄且结构面发育部位 当采空区较大时 被结构面切割的顶板砂岩在自重作用下变形 形成碎裂结构 洞顶—临空面间的岩体向洞内塌陷(陷落)(图 2) 如右岸 FMD69 地表就见有塌空现象。

在煤槽清理疏空过程中 无论是右岸还是左岸煤槽顶板都出现了不同程度的开裂 顶板砂岩裂缝通常平行煤槽发育 裂缝宽可达几厘米甚至十几厘米 横断面上呈“v”字形 上宽下窄。这些开裂主要是随着煤槽的清理 顶板大面积临空而出现的倾倒、弯折变形所致。

煤槽顶板砂岩岩体开裂受以下几种因素影响：

首先是清理煤槽的长度与深度 实地统计表明有如下规律 当煤槽长度大于 5 m 深度大于 2.5 m 的煤槽顶板都有不同程度的开裂变形 变形宽度一般小于或等于清理的煤槽深度。

其二受顶板砂岩层厚的影响 层厚小于 1 m 者 。

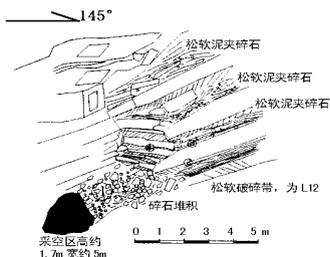


图 2 溢洪道外侧 L12 顶板陷落素描图

Fig. 2 Collapse of the L12 sandstone roof on the out slope of the spillway

开裂易于发生。

其三受顶板砂岩内部炭质页岩夹层影响 含有炭质页岩夹层的顶板砂岩比较容易开裂。

最后 受顶板整套砂岩层厚控制 砂岩顶板厚度大时 开裂不易发生 厚度小时不但发生开裂 还可能出现松动甚至失稳。

顶板开裂破坏了顶板砂岩体的完整性。即使煤槽回填补强也难以愈合开裂变形 这在很大程度上改变了浅表层砂岩顶板的渗透性和整体强度。

4 煤洞存在及其变形的工程地质效应

右岸 L11、L12、L13 是采煤最集中的两个带 其顶板完整性直接牵涉坝肩稳定 溢洪道外侧边坡稳定等。从现场调查的情况来看 溢洪道中上段外侧边坡主要由 L11/L12 顶板砂岩组成 由于采空区面积大 砂岩体均有不动程度的松动变形 形成松动碎裂岩体 完整性极差 建议采取有效的加固措施。此带以下 L11、L12 采空区密度变稀 煤洞顶板砂岩体整体稳定性变好。

实地调查表明 L13 上覆砂岩顶板完整性从下至上可以明显地分为三带 760 m 以下煤洞顶板第一层砂岩厚 整体完整性较好 岩体呈块裂结构 稳定性较高 760~780 m 煤洞顶板砂岩变薄 岩体以块裂—碎裂结构为主 完整性相对较差 稳定性较低 780 m 以上 煤洞密 采空区面积大 顶板第一层砂岩厚仅 2~3 m 风化严重 岩体以松动碎裂结构为主 岩体接近散体结构 完整性极差 在临时公路开挖时 公路内侧边坡顶部(800 m 平台)出现长数米的拉裂缝 似土坡一般。由于该层下伏采空区 尽管煤洞已跨塌 但跨塌体强度及变形性远小于原始煤层。水库蓄水后 一方面水可以顺采空区形成绕向斜核部的渗漏 另一方面 水的渗透将细粒煤屑带

走,上覆的碎裂砂岩体因架空可能进一步变形,因此,处理采空区,提高顶板砂岩的完整性将成为一项关键性工作。

调查表明,一方面,左岸煤洞的开采削弱了层状岩体间的连接性;另一方面,在左岸煤层之间的砂岩体中还发育缓倾坡外的小断层、错动带及次级长大结构面发育。其中错动带长几米至几十米,带宽几公分至十几公分,带内由碎裂岩、碎斑岩及碎粉岩组成,遇水易软化,两侧终止于煤层。剖面上可见有几公分至 80 cm 的视断距。这些小断层、错动带或长大结构面缓倾坡外,与陡倾结构面组合,不利于边坡岩体的稳定,尤其是在趾板附近,砂岩体沿这些结构面为底滑面,以两侧的剪切错动带(煤洞挖掘带)作为侧滑面,向临空面的蠕滑变形对趾板是个潜在的威胁。

5 结论与建议

从煤洞的调查结果可以得出以下几点结论:

(1) 坝区煤的开采历史悠久,均属个体开采,开采规模小;(2) 坝区煤的开采主要集中在 L10、L11、L12、L13 和 L14 中,且煤层厚度小,煤层中倾或陡倾,均为小煤窑式地下开采;(3) 在已发现的 80 个煤洞中,左岸 26 个,右岸 54 个,右岸多余左岸,但左右坝肩煤洞数相近;(4) 无论是左岸还是右岸,煤洞的分布高程集中在 744 ~ 870 m 之间;(5) 左岸煤层倾角大,洞顶易塌,上下煤洞间必须保持一定的间距才能保证煤洞的稳定性,因此,左岸沿 L11、L12、L13 和 L14 开采的煤洞仅 26 个;(6) 左岸煤洞的开采基本

在向斜的南东翼,各煤洞近于平行开采,煤洞间相通的甚少;(7) 右岸地形较缓,向斜两翼正常,形态较为开阔,近核部岩层倾角相对较缓,北西翼及南东翼都向核部开采,形成较密集的采空区;(8) 煤洞变形破坏有洞顶塌落、煤洞顶板砂岩内鼓、倾倒、陷落等多种形式;(9) 煤槽顶板变形主要以倾倒变形、弯折变形为主;(10) 溢洪道外侧边坡及 780 ~ 800 m 高程坝肩为松动碎裂岩体,完整性及稳定性差。

针对上述情况,建议采取以下一些处理措施:

(1) 左岸煤洞回填与封堵应达 20 m 以上,并添加碎石等骨料增加封堵段的强度;(2) 在右岸煤洞密集地带除洞口封堵外,坝肩内部采空区也应采取灌浆等措施以回填充实;(3) 右岸溢洪道外侧边坡及 780 ~ 800 m 高程坝肩松动碎裂岩体也可以采用灌浆加固处理措施以提高其内聚力和整体强度;(4) 右岸帷幕灌浆要特别注意对采空区的封堵,防止库水贯通的煤洞采空廊道产生渗漏;(5) 左岸趾板附近的缓倾坡外的结构面以上岩体建议采取必要的锚固措施,避免由于其变形对趾板的推挤作用。

参考文献 (References):

- [1] 解晓东,张显伟,李之利,煤层采空区对铁山隧道病害区的影响[J].中国煤田地质,2002,12(4):44-47.
- [2] 杨德善,黄县煤田煤层顶底板稳定分析[J].中国煤田地质,1991,3(2):46-49.
- [3] 王志荣,煤层构造岩顶板稳定性初探[J].煤田地质与勘探,1992,20(4):44-46.
- [4] 李保国,层间滑动构造特征及其变化规律[J].西部探矿工程,2001,72(5):53-54.

ENGINEERING EFFECT STUDY ON THE EXISTENCE OF THE DISCARDED COAL CAVES IN SOME HYDRAULIC KEY PROJECT, SOUTHWEST OF CHINA

WANG Jia-lin¹, WANG Yun-sheng¹, HUANG Run-qiu¹, DENG Liang-Sheng²

(1 College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Zipingpu Development Co. LTD., Dujiangyan 611830, China)

Abstract: Based on the systematic study on the coal-bearing strata in the dam region of some hydraulic key project, southwest of China, the paper discloses the distribution of the discarded caves, analyses the engineering effects of the existence and the deformation of the discarded coal caves during the construction of the hydraulic key project and running of it. At last, the authors present the recommendation to the treatment of the discarded coal caves and deformed rock mass related to them.

Key words: Discarded coal caves; Distribution deformation; Hydraulic engineering; Southwest of China; Engineering effects.