

# 某坝区溢洪道中段外侧边坡采空区上覆岩体变形特征研究

郑海君, 王运生, 董孝璧

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

**摘要:** 深入调查与研究了西南某水电站坝区溢洪道中段外侧边坡煤层采空区的分布特征, 根据最终变形特征预测了地表移动变形的大小及其对该段外侧边坡整体稳定性的影响, 其研究结果对边坡稳定性的评价具有直接的指导意义, 为类似的研究提供参考和借鉴。

**关键词:** 溢洪道外侧边坡; 采空区; 变形破坏模式; 整体稳定性

中图分类号: TU 413. 62

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)04-0200-03

## Study of Roof Deformed Features on Top of the Mined Area Within Slope Outside Intermediate Section of Spillway in Some Dam

ZHENG Hai-jun WANG Yun-sheng DONG Xiao-bi

(College of Environment and Civil Engineering of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059 China)

**Abstract** Based on deeply investigating and studying on distribution of the mined area and the deformed failure pattern of the roof within the coal layer of the slope outside the spillway in the hydroelectric power station in the southwest, the final deformed features of the each point are analyzed within the range of influence. The analytical results may predict the size of the deformation and the influence of the whole stability of the slope. The study has direct instructional significance to the estimate of the slope stability, this provides reference or use for the similar study.

**Key words** the slope outside the spillway; mined area; deformed failure pattern; whole stability

西南某水利枢纽工程大坝为面板堆石坝, 坝区为三叠系须家河组含煤地层。废旧煤矸在坝区两岸左右随机分布, 煤矸的存在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。特别是在向斜核部处, 开采频繁, 多处煤矸开采几近贯通, 采空区分布密集。本文主要针对溢洪道外侧边坡向斜 SE 翼 L12 煤层现存采空区的分布进行实地调查研究, 并分析其对边坡的影响。

边坡失稳都有一个从渐变到突变的发展过程, 在破坏前显示出各种征兆, 由于煤矸位于地表以下, 这些征兆很难凭人的直觉和观察发现, 通过计算预测最终变形破坏特征, 则可能在出现变形破坏的征兆时捕捉到坡体稳定性的异常信息, 并对这些信息进行分析研究, 在坡体最终破坏前对其进行处理, 或及时预报险情, 避免人员和设备的损失。

### 1 采空区特征

#### 1.1 地质概况及地层岩性

坝区右岸为三面临空的条形山脊, 出露地层为三叠系上统须家河组第二段, 主要为河道与平原沼泽交替环境, 形成本区最好的可采工业煤层。坝区构造比较复杂, 褶皱、断层、

层间挤压破碎带与裂隙均发育。根据实地调查得出, 向斜南东翼 L12 出露宽度约 13 m, 煤层夹炭泥岩厚约 3 m, 层间绕曲, 产状为 N60~73°W NE<35~42°, 煤以亮煤为主, 多呈透镜状。顶板泥质粉砂岩及粉砂质泥岩因煤矸开采而发生重力变形, 顶板砂岩则发生弯折变形。

#### 1.2 采空区情况简介

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, 多属于小煤窑式开采。根据物探解释成果与实地调查可知整个条形山脊开采方向, 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, 多处采空区几乎贯通。随着溢洪道的不断开挖, 多处采空区已经暴露, 多是顺 L12 煤层向核部水平方向开采, 本文研究部分采空区走向长度约 10 m, 埋深深度 25 m, 倾角 35~42°, 产状复杂多变, 倾角缓急交叉变化, 顶板起伏不平, 不断的开采严重影响了溢洪道外侧边坡的整体稳定性。

该处存在 32# 废旧煤矸, 高程 835.0 m, 开采方向 N67°E, 考虑到破碎岩体的压实物性, 塌陷后的老采空区在受到上部附加荷载作用和时仍将产生再压密现象和沉降变形。由于

① 收稿日期: 2004-05-26

作者简介: 郑海君 (1979-), 女, 硕士, 岩土工程专业。

岩层移动的复杂性, 曾经发生过地面沉降的老采空区, 在多年后或在附加荷载作和下可能再次发生沉降。特别是在此段不正规的废旧小煤窑, 其不规则性更容易致使塌陷区范围的扩大。因此根据前其物探探测结果, 可知该煤窑已塌陷, 深 2.5 m, 宽 2 m 煤窑暴露, 明显的其塌陷范围在深度及宽度上都已扩大。通过实地测量塌陷区尺寸: 塌陷区最大高度 8 m, 采空区高度为 1.7 m, 宽 5 m, 顶板岩层已垮塌的厚度为 6.3 m, 它与未垮塌岩层之间的空隙 4.3 m, 垮塌深度约 2.5 m, 示意图如图 1 所示:

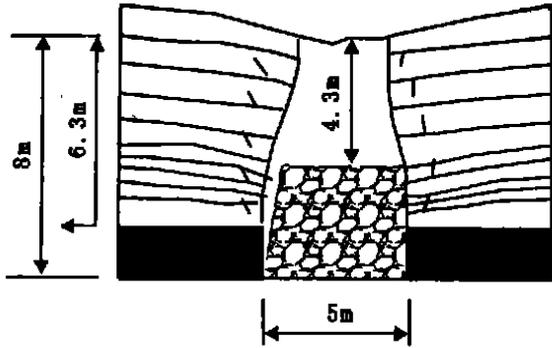


图 1 采空区上覆岩层破裂塌陷特征示意图  
图示为走向断面

## 2 顶板砂岩变形破坏模式

由于煤窑开采, 破坏了采空区上覆岩体的自然变力平衡状态, 被采动后的岩体必将进行应力重分布, 在达到最终的平衡过程中, 出现围岩向临空方向的变形, 位移甚至破坏。在地表上反映出来的现象就是地表下沉、水平移动、地面倾斜、地表变曲以及地面水平变形, 严重产生出裂缝和地表塌陷。该处接近向斜核部, 为缓倾岩层, 而此段采空区采深较大, 岩层的坍塌发展到一定的高度后将终止, 在上方的岩层可能只产生弯曲下沉, 最终在地表形成一个下沉盆地。

## 3 计算分析

### 3.1 计算体范围圈定

研究顶板岩体的变形特征, 首先要圈定变形体的范围大小, 然后再研究在此变形体内各点的移动特征。根据现场所测资料由下式可得出最大下沉量:

$$Z_0 = 1.1 q_0 m \cos T \frac{1}{t_1 t_2} \quad (1)$$

$$t_1 = 0.9 \frac{D_1}{H - T} \quad (2)$$

$$t_2 = 0.9 \frac{D_2}{H - T} \quad (3)$$

式中:  $q_0$ ——充分采动时的相对最在下沉(移动全向量与煤层开采厚度之比)变动在 0.5~0.9 的范围内(岩石愈硬,  $q_0$  则愈小)本文取 0.55;  $m$ ——煤层浅线厚度 1.7 m;  $T$ ——煤矿层倾角;  $t_1, t_2$ ——采区尺寸和采深对最大下沉值的影响系数, 其值不应大于 1 且小于 0.04;  $D_1, D_2$ ——相应于采区沿煤层倾斜和走向的长;  $T$ 与岩石性质有关的系数, 变化在 0.2~0.4 之间(岩石愈硬, 系数  $T$  愈大)本文取 0.2;  $H$ ——矿层

顶板的埋深, 本文  $H = 25$  m。

由 (1)、(2)、(3) 式计算可得最大下沉量为  $Z_0 = 13.869$  m。

### 3.2 计算过程及结果

本文运用 C. II. 柯尔本可夫提出的描述最终移动过程的变形范围内质点变形分布特征公式进行计算。

变形体的变形特征可以通过下沉 ( $Z_x$ )、倾斜 ( $i_x$ )、曲率 ( $k_x$ )、水平移动 ( $Y_x$ )、伸缩 ( $X_x$ ) 来表达, 计算式如下:

$$Z_x = Z_0 s(z) \quad (4)$$

$$i_x = \pm \frac{Z_0}{L} s'(z) \quad (5)$$

$$k_x = \pm \frac{Z_0}{L^2} s''(z) \quad (6)$$

$$Y_x = Z_0 F(z) \quad (7)$$

$$X_x = \frac{Z_0}{L} F(z) \quad (8)$$

$$s(z) = n^2 \left[ (1-z) + \frac{1}{2} \sin 2\pi z \right] + \frac{1-n^2}{4} (1 + \cos \pi z)^2 \quad (9)$$

$$s'(z) = - \left[ 2n^2 \sin 2\pi z + \pi \frac{1-n^2}{2} (1 + \cos \pi z) \sin \pi z \right] \quad (10)$$

$$s''(z) = - \left[ 2n^2 \sin 2\pi z + \pi^2 \frac{1-n^2}{2} (\cos \pi z + \cos 2\pi z) \right] \quad (11)$$

$$F(z) = p s(z) \pm 0.15 s'(z) \quad (12)$$

$$F'(z) = p s'(z) \pm 0.15 s''(z) \quad (13)$$

式中:  $z = x/L$ ;  $L$ ——移动范围的一半长度, 本文根据实际测量取  $L = 19$  m;  $X$ ——最大下沉点到计算点的坐标(取最大下沉点为坐标原点);  $p$ ——与矿层倾角、冲积层厚度和其他因素有关的系数(由观测资料测得)本文取  $p = 0.01$ ;  $n$ ——采动系数, 式中取  $n = 1.41$ 。

将实测数据代入上面公式当中, 通过计算可以得到一系列变形特征曲线如下:

### 3.3 计算结果分析

以上五种变形特征曲线表明了沿煤层倾余一侧范围内地表各质点的变形特征。由图 2 图 3 可以看出:

$Y(x)$  与  $i(x)$  变化曲线形状类似, 同时计算结果显示出现两个特征点, 分别在  $x = 2$  m 和  $x = 11$  m 处; 其中水平移动最大值为 7.7862 m, 发生在  $x = 11$  m 处; 同样在沿矿层仰斜的一侧在距离最大下沉点同样距离的一点附近也产生最大倾斜, 但两者方向是相反的, 反映顷地表坡度都倾向采空中心, 在中心处的倾斜值为零。

$X(x)$  与  $k(x)$  变化曲线有类似的形状, 在横坐标轴上方的表示伸长, 在横坐标下方的表示缩短, 对应于特征点处伸缩与曲率值均为零。

$Z(x)$  为下沉曲线, 坐标零点最大沉量约 13.95 m, 与本文前面 4.1 部分根据实际测得的数据而算得最大下沉量值相差约 0.8 mm, 误差约 0.59%, 可见在计算过程中所取参数值在允许范围内。在 5 m 处产生最大下沉 14.969 m, 随着远离采空区的质点下沉值依次减小; 在 10 m 左右处, 根据曲线显示, 将出现地表隆起现象, 隆起最大高度几乎接近最大下沉值。

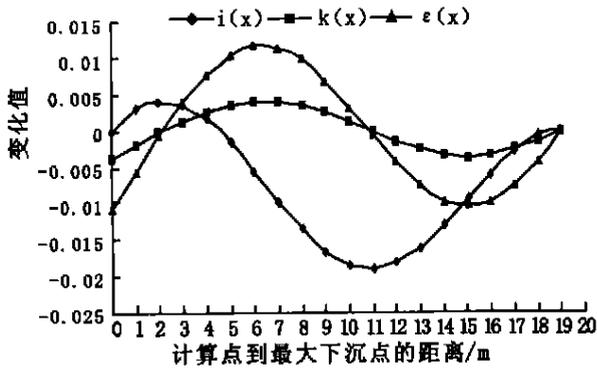


图 2 沿煤层倾斜半盆地地表各质点倾斜、曲率、伸缩变化曲线

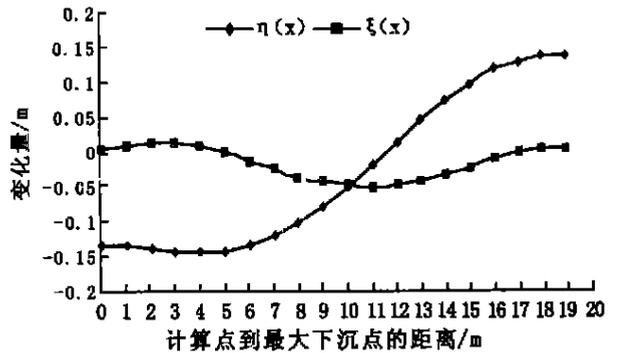


图 3 沿煤层倾斜半盆地地表各质点下沉、水平移动变化曲线

计算结果统计: 倾斜变化 < 0.02 曲率变形 < 0.005 水平变形 < 0.012 最大下沉量 < 15 cm; 《三下规程》规定: 结构建筑物允许地表变形值: 倾斜变形 < 3.0 mm/m, 曲率变形 < 0.2 mm/m, 水平变形 < 2.0 mm/m; 无溢水设施的土堤允许水平变形值为 4.0 mm/m。计算结果与规定值比较, 除曲率超出规定值很大, 约超出 25 倍, 而倾斜变形与水平变形量均为规定值得 6 倍, 说明采空区对该段边坡的影响尤为明显, 对于采空区的处理应给予重视。

此外采空区引起上覆岩体的变形, 在达到一定变形量后, 在很长一段时间内, 由于各种原因, 比如边坡开挖, 建筑物施工等因素, 会出现残余变形量, 而残余变形量往往只占总变形量的 2% ~ 3%, 有时不用高精度的仪器很难测出来, 而且在充分采动的情况下, 残余变形的持续时间一般不超过两年。因此, 残余变形量的大小暂且不必考虑在内。

#### 4 结 论

通过计算结果可以预测, 该段边坡受采空区影响, 下沉量在 13~ 15 cm, 影响范围以采空区为中心两侧分别达到近

20 m, 因此对坝区采空区的适当处理对边坡整体稳定性来说是至关重要的。此外由于采矿导致的地表移动变形具有一定的规律和特征, 其移动与变形受到许多因素影响, 其过程往往十分复杂。影响因素主要包括地质条件、采空区埋深和采掘技术等因素。

(1) 坚硬砂岩覆盖于厚层塑性岩(煤层页岩, 炭质泥岩)之上, 地表出现裂错动的可能性大, 地表塌陷区随之扩大; 本文研究采区部分接近向斜核部, 加之由于层面软弱的缘故, 岩层常产生顺层滑移, 从而加剧了地表的移动, 改变了正常情况下变形体的大小和形状。

(2) 采空区影响范围的大小受采掘深度的影响, 采掘深度愈浅, 地表移动范围愈大; 在采空后无任何支撑条件下, 采空区四周岩层由整体状态变成松散状态, 松动由采空区向上逐渐发展, 一直到破碎后增大的体积等于采区体积为止。

通过对指定地点现存采空区的存在对其上覆岩体的影响进行计算分析, 预测地表各质点最终变形量的大小, 确定最终影响变形范围, 其研究结果对边坡稳定性的评价具有直接的指导意义, 为类似的研究提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理 [M]. 北京: 地质出版社, 1994
- [2] 陈剑平. 环境地质与工程 [M]. 北京: 地质出版社, 2003
- [3] 郭广礼, 何国清, 崔曙光. 部分开采老采空区覆岩稳定性分析 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2002, 20(3): 70- 73
- [4] 崔冠英. 水利工程地质 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999
- [5] 张俊英, 王金庄. 采空区地表新建建筑地基稳定性评价技术研究 [J]. 矿山测量, 2003, (3): 28- 30
- [6] 余素玉, 何镜宇. 沉积岩石学 [M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1991
- [7] 仇文昌, 陈双喜, 范士凯. 南水北调渠线通过采空区稳定性浅论 [J]. 煤矿设计, 1998 (6): 9- 12
- [8] 朱湘平. 131 矿体采空区顶板稳定性研究 [J]. 金属矿山, 2003 (9): 13- 15

(上接第 184 页)

计算其抗拔力时, 应乘以小于 1 的“群筋效应系数”。

计时应取拉拔似摩擦系数。拉拔似摩擦系数随法向应力的增大而减小。

(3) 加筋支护结构中的加筋主要承受拉力, 因此, 建议设

参考文献:

- [1] 公路加筋土工程设计及施工规范汇编 [S]
- [2] Dennest Bergado, et al Prediction of pulbut resistance and pull out force - displacement relationship for inextensible G ril reinforcements [J]. Soils and Foundations, 1996, 36(2): 11- 22
- [3] JT J/T 060- 98 公路土工合成材料试验规程 [S]
- [4] 高江平, 胡长顺, 等. 平面网格加筋土机理与数值分析研究现状 [A]. 全国公路土工合成材料应用技术交流会文集 [C]. 2000
- [5] 洪榴康. 土质学与土力学 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1997