

文章编号: 1001-1986(2007)02-0055-05

煤矿采空塌陷的危险性预测评估与防治措施

——以华亭矿区大柳矿井为例

马国哲 (甘肃煤炭地质勘查院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 煤矿开采后引发地面塌陷的危险性预测评估是煤矿地质灾害危险性评估的核心内容。以华亭矿区大柳矿井地质灾害危险性评估为例, 介绍了煤矿采空引发地面塌陷危险性预测评估的基本内容及评估深度, 并提出了较全面的矿区采空塌陷的防治措施, 可以为矿井开采后防治地面塌陷提供指导。

关键词: 煤矿开采; 地面塌陷; 危险性预测; 防治措施

中图分类号: X45 **文献标识码:** A

**Predictive evaluation and prevention on the ground-caved in with coal-mining:
A case study from Daliu coal-mine, Huating mining area**

MA Guo-zhe (Coal Geologic Prospecting Institute of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Predictive evaluation on the ground-caved in with coal-mining is the core for the dangerous evaluation of geologic hazard in coal-mining. In this paper based on the case study from Daliu coal-mine in Huating mining area, introduced the basic content and degree to the predictive evaluation, then the comprehensive prevention measures suggested, which can be guidful to prevent the ground-caved in with coal mine exploiting in the future.

Keywords: coal-mining; ground-caved in; dangerous evaluation; prevention measures

为贯彻《地质灾害防治条例》, 国土资源部先后两次下文(国土资源部国土资发[1999]392 号, 关于实行建设用地地质灾害危险性评估工作的通知; 国土资源部国土资发[2004]69 号, 国土资源部关于加强地质灾害危险性评估工作的通知), 强制要求在地质灾害易发区进行工程建设时, 应当在可行性研究

阶段进行地质灾害危险性评估, 从 2000 年开始开展地质灾害危险性评估工作, 至今已有 6 a 时间, 但目前还没有关于地质灾害危险性评估的正式规范及技术规程, 仅有国土资源部随文下达的技术要求(国土资源部国土资发[2004]69 号附件一, 地质灾害危险性评估技术要求(试行)), 对地质灾害危险性评估的

收稿日期: 2006-10-08

作者简介: 马国哲(1963—), 男, 甘肃灵台人, 高级工程师, 从事水文地质、工程地质、灾害地质工作。

联系密切, 地层渗透性强。在深基坑开挖时, 将遇到施工降水问题, 这可能使施工难度增大, 增加工程费用。

f. 根据波速测试, 场地土等效剪切波速一般为 $v_{se} > 140$ m/s。经综合分析确定, 沈阳城区场地土的类别为中硬场地土, 场地类别为 II 类; 设计基本地震加速度值为 $0.10 g$, 设计特征周期为 $0.35 s$ 。

g. 沈阳城区场地稳定, 未发现不良地质作用, 地质灾害不发育。

h. 勘察场地土的季节性冻结深度为 $1.20 m$, 极值为 $1.48 m$ 。

i. 根据大量勘察资料分析, 沈阳城区地层无

砂土液化趋势。

j. 建议有关部门建立地下水观测网, 进行长期观测, 这对于城区工程建设具有重要作用。

参考文献

[1] 杨惠昌. 沈阳市城区工程地质图编制报告[R]. 沈阳: 沈阳市勘察测绘研究院, 1988.
[2] 喻虹桥. 沈阳市浑南新区地震小区划报告[R]. 沈阳: 辽宁省地震局, 2001.
[3] 林立岩, 张海东. DB21/907—2005《建筑地基基础技术规范》[S]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2005.
[4] GB50021—2001, 岩土工程勘察规范国家标准[S]. 北京: 中国建筑出版社, 2002.

内容及深度、方法仅作了概略的指导性要求,在实际工作中的随意性大。对同一评估项目,各评估单位凭自己的理解,评估的内容、方法及深度千差万别,有些评估结果定量性不足或抓不住重点,评估报告的指导作用不明显。地面塌陷是矿区最严重的地质灾害之一,也是煤矿地质灾害危险性评估的核心内容。笔者曾先后完成了甘肃省张掖市花草滩矿井与华亭矿区大柳矿井的地质灾害危险性评估工作,取得了较好的效果。以华亭矿区大柳矿井为例,现就煤矿开采后引发地面塌陷的危险性预测评估的一些基本内容与评估深度介绍如下,与大家探讨。

1 大柳矿井概况

1.1 工程规划

大柳矿井位于华亭煤田的西南部,属甘肃省崇信县与华亭县管辖的交汇地带,距华亭县安口镇约 18 km。井田范围东、南、北界均属人为边界,西以煤 5 隐伏露头为界。走向长 7 km,倾向宽 4 km,面积约 20.88 km²。井田工业储量 4.4 亿 t,设计可采储量为 3.0 亿 t。煤层埋深北部为 400~500 m,南部最深处可达 1 100 m。矿井设计生产能力为 2.40~3.00 Mt/a,属大型矿井,服务年限为 72~90 a。立井开拓,设计采用单一水平开拓,开拓水平标高为 +690 m。以井田内断层为边界,全井田共划分为 4 个采区。采区接替时间段规划 23 a—30.2 a—66.9 a—72 a。设计采用综采放顶煤走向长壁采煤方法。项目建设总投资 8.41 亿元。地面各场地用地面积合计 22.55 hm²,其中矿井工业场地占地面积 17.1 hm²,为山地、荒地。

地层区划属鄂尔多斯分区南部的焦坪—华亭小区。地层自下而上有:上三叠统延长群、中侏罗统华亭群、下白垩统六盘山群,新近系(厚度小于 50 m)和第四系(厚度小于 20 m),中侏罗统属含煤地层。区域构造区划属鄂尔多斯西缘褶皱冲断带南段的华亭—陇县段,井田内发育几条小规模断层。地貌以低山丘陵和河谷相间为特点,地势在黑河两侧总体南高北低,地形标高在 1 240~1 680 m 之间,一般高差 100~200 m,最大 280 m。

井田内有 6 层可采煤层,厚度累计 4~22.65 m。煤层顶、底板岩性总体属中等坚固岩石。水文地质类型属于“一类一型”。

当地平均降水量为 513 mm/a,最大降雨量极值超过 100 mm/d,降雨量极值接近或超过 50 mm/h,区内有发生特大暴雨的可能。

1.2 评估范围与评估级别

评估区范围以井田范围为基础,在井田东部、西部及北部边界处向外扩展 500 m,在井田南边界处各向外扩展 1 000 m 划定评估区范围,面积 46.2 km²。

拟建大柳矿井规模属大型,项目类型属重要建设项目,区内地质环境条件复杂程度属中等类型,综合确定本项评估属一级评估。

2 矿井开采引发地面塌陷的危险性预测评估

该矿井主采煤层有煤 4 和煤 5 两层,次可采煤层有煤 2—2、煤 3—2 等。其中煤 4 在井田内普遍分布,煤层厚度 1.09~7.69 m,平均 5.47 m。煤 5 井田内全部分布,为主要可采煤层之一,煤层厚度 0.25~16.64 m,平均 4.56 m。可采煤层厚度 4~22.65 m,各煤层顶板岩性以砂质泥岩及粉、细砂岩为主,岩石力学强度较低,属中等坚固岩石,井田范围较大,采煤方法主要采用走向长壁采煤方法,全部陷落法管理顶板,在充分开采后(即采煤区的长、宽都达到或超过开采深度的 1.4 倍时),出现因采空引起的地表塌陷(称为充分采空塌陷^[1])的危险性大。

2.1 塌陷范围预测

因矿井采空区还未形成,缺乏对塌陷范围进行精确预测的条件,目前只能粗略预测矿井未来塌陷范围。根据国内许多矿井塌陷资料总结的经验方法,从煤层开采边界往外扩展 0.5 倍采深计算^[1]。

区内煤层属缓倾斜煤层,采空塌陷盆地与采空区范围不对称,盆地中心向煤层倾斜方向偏移,塌陷范围距煤层采空区上山、下山方向边界的距离不相同(图 1)。

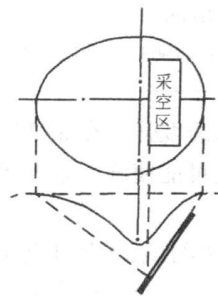


图 1 倾斜煤层采空区与地表塌陷盆地特征

Fig. 1 The goaf of sloping coal-seam and specialty of the basin of ground-caved in

井田北部采深 400(西段)~800(东段) m,塌陷边界自煤层开采边界向外扩展 200(西段)~400(东段)m;井田南部边界最大采深 1 100 m,最大塌陷边

界自开采边界向外扩展 550 m。西部边界采深 500 m,最大塌陷边界自开采边界向外扩展 250 m,东部边界采深 800 m,最大塌陷边界自开采边界向外扩展 400 m。预测整个塌陷区范围约 25 km²。

在开采完成后较精确的预测井下采空区边界至塌陷盆地边界之间的水平距离可采用以下公式^[1]:

向采空区上山方向:

$$q = \frac{(H-h)\cot\gamma'}{1-\cot\gamma'\tan\alpha\cos\theta} + h\cot\Psi,$$

向采空区下山方向:

$$L = \frac{(H-h)\cot\beta'}{1-\cot\beta'\tan\alpha\cos\theta} + h\cot\Psi,$$

式中 H 为采空区边界深度,从井田地质剖面图上量取; h 为第四系及新近系地层的厚度,从井田地质剖面图上量取; Ψ 为表土移动角(又称为充分采动角或下沉角),是指均匀下沉区的外围边界与下部采空区边界的连线与水平线在矿层一侧的夹角,分为走向下沉角 Ψ_3 、下山方向下沉角 Ψ_1 、上山方向下沉角 Ψ_2 ,根据顶板覆岩属软弱岩类,取 60~70°; α 为煤层倾角; γ' 、 β' 为斜向移动角,按下式确定:

$$\cot\beta' = \sqrt{\cot^2\beta\cos^2\theta + \cot^2\delta\sin^2\theta},$$

$$\cot\gamma' = \sqrt{\cot^2\gamma\cos^2\theta + \cot^2\delta\sin^2\theta},$$

式中 δ 、 β 、 γ 分别为走向、下山和上山方向的基岩移动角,是指移动区的外围边界与下部采空区边界的连线与水平线在矿层一侧的夹角。有关参数的确定参考文献[1]。

2.2 塌陷盆地最大塌陷深度的预测

采用下式计算^[1]:

$$W_0 = qm,$$

式中 q 为地表下沉系数,一般为 0.8~1.0,本矿井煤层多,取 0.8; m 为煤层累计平均开采厚度。

本井田煤层最厚处在黑河河谷地段李家沟、陈家咀及肖家塬一线,以 5~7 勘探线控制,累计 3 层主采煤层,厚度 13.6~18.2 m,预计在黑河河谷地段的最大塌陷量 $W_{\max\text{河}} = 14.5$ m。

在黑河谷右岸斜坡地段的 613 号孔,是区内可采煤层累计最厚地段,厚度 22.65 m,预计此处的塌陷量为 16.2 m。

矿井采空塌陷的深度与可采煤层厚度成正比,塌陷等深线图与可采煤层等厚线图一致。

2.3 未来塌陷盆地的面积

塌陷面积为开采面积的 1.2 倍,如果全井田全部被采空,则全部塌陷面积约为 $20.88 \times 1.2 = 25.06$ km²。因矿区拟划分 4 个采区,因而预测将出现 4 个塌陷盆地。

2.4 估计每采万 t 煤的塌陷率

利用公式^[4] $d = \frac{15n\cos\alpha}{kMr}$ 计算,

式中 d 为万 t 煤塌陷率,0.067 hm²/万 t; n 为影响系数,1.1~1.3; k 为采区或水平回采率,根据井田规划,本井田为 0.75~0.85,取 0.8; M 为煤层开采厚度,m; r 为煤的容重,1.4 t/m³; α 为煤层倾角,区内 9~25°;可采煤层在井田中部黑河河谷地段处分别按 12 m、15 m、20 m,煤层倾角在中部较缓,按 10°考虑,计算出的对应煤层厚度的万 t 塌陷率分别为 1.32×0.067 hm²/万 t、 1.05×0.067 hm²/万 t、 0.8×0.067 hm²/万 t,因此区内在黑河河谷煤层较厚地段的塌陷率约为 $(1 \sim 1.3) \times 0.067$ hm²/万 t。

在河谷两侧的丘陵地段,可采煤层厚度 4~12 m,煤层倾角较缓地段(倾角按 10°考虑),采煤塌陷率在 $(1.5 \sim 4) \times 0.067$ hm²/万 t 之间;煤层倾角较陡处(倾角按 25°考虑),采煤塌陷率在 $(1.5 \sim 3.6) \times 0.067$ hm²/万 t 之间。

2.5 未来塌陷的地表变形特征

矿区塌陷灾害主要是由于采空区上覆岩土体发生变形、破裂和冒落而造成的,其强度与煤层厚度、煤层倾角、采深、采厚、上覆岩层厚度和性质、松散层厚度、开采方式等密切相关^[2]。根据我国多数矿区塌陷规律的研究,可以深厚比来概略评估塌陷的程度,该比值越小,越容易产生地面塌陷;一般在深厚比小于 20 时,有可能产生极严重的塌陷破坏,地表出现规模大、范围广的裂缝或塌陷等地表变形;深厚比在 20~200 时,地表产生不同程度的变形;深厚比大于 200 时,地表变形一般很轻,有可能出现微小裂缝^[2]。当深厚比大于 30 时,地表变形在时空上是连续的、渐变的,具有一定的规律性^[1]。

通过井田范围的控煤钻孔统计煤 4+煤 5 的可采厚度,按煤 4 顶板埋深计算其深厚比介于 40~100 之间,普遍大于 30。因而预测区内可能出现中等程度的地表变形,而且地表变形在时空上是连续的、渐变的。因区内第四系和新近系松散层厚度较薄,在地表塌陷盆地移动的外边缘区将出现以细小的裂缝及台阶等地表变形现象为特征,地表裂缝的发展一般平行于采空区边界。

地表塌陷盆地移动持续时间是指地下开采后地表最大下沉点从移动开始到移动停止(即到 6 个月内下沉量累计不超过 30 mm)所持续的时间。根据国内煤矿资料 移动盆地的下沉时间与采掘深度有关,本矿井开采深度在 300~1 100 m,因此移动盆地持续时间在 2~3 a 左右^[3]。

表 1 大柳矿井采空塌陷的危害性评估

Tabele 1 Hazardness evaluation on the coal mining in Daliu coal mine

危害对象	房产价值估算(土木砖混结构,3 000 元/间)/万元	按 40% 房屋损坏造成的经济损失评价对象重要性	在矿井中所处位置	与采空塌陷区的相对位置	采空塌陷的危害方式及危害程度预测评估
李家沟村人口 123 人,房 185 间,农田 24.79 hm ²	55.5	一般			
柳家河村人口 267 人,房 400 间,农田 53.6 hm ²	120.0	一般	位于矿井内黑河河谷地段,可采煤层厚度大于 13.5 m 范围以内。	位于预测采空塌陷的中心地段,预测的地表最大沉陷量在 13.5~16.2 m 之间,地表变形明显。	采空塌陷引起明显的地裂缝、台阶导致房屋产生倾斜、墙体裂缝。农田地裂缝使农作物减产,危害性中等。
戚家川村人口 320 人,房 480 间,农田 67 hm ²	144.4	一般			
蒋槽渠村人口 30 人,房 40 间,农田 13.4 hm ²	12.0	一般			
麦子坪村人口 60 人,房 80 间,农田 13.4 hm ²	24.0	一般	位于矿井内低山丘陵地段,可采煤层厚度一般小于 4.0 m 范围以内。	位于预测采空塌陷的程度较低地段,预测的地表最大沉陷量小于 4 m,地表变形不明显。	采空塌陷引起的微弱的地裂缝,引起房屋产生倾斜、墙体裂缝的危险性小。农田出现地裂缝的危险性小。危害性较小。
寇家河村人口 96 人,房 120 间,农田 20.1 hm ²	36.0	一般			

3 采空塌陷的危害性评估

3.1 危害对象及危害方式

因井田区属农业生产区,无工业设施,因而未来采空塌陷的危害对象主要是区内民宅及农田。

采空塌陷是一个动态变化的过程,要经历起始阶段、活跃阶段和衰退阶段。而其危害主要发生在前两个阶段。塌陷区随采空区的扩大而扩大,塌陷盆地在出现后也有一个自小到大,即盆地水平扩展的过程,其危害性表现在盆地扩展过程中引起的地表倾斜和弯曲变形的过程中,会引起其上的建筑产生倾斜、不均匀沉降而发生损害,引起民房墙体开裂。

采空塌陷对农田的危害主要表现在两方面:一是因地裂缝引起水土流失,土壤砂化导致土壤肥力下降,使作物减产;二是因塌陷引起农田积水,因而丧失耕作条件。因区内地下水位较深,危害主要表现在因地裂缝引起土壤砂化肥力下降、导致农作物减产方面。

3.2 危害性预测评估

区内采空塌陷对民房的危害程度与其下可采煤层厚度及所处位置有关。在井田中部地段,可采煤层厚度大于 13.5 m,在该范围的黑河河谷地段,是预测采空塌陷危险性中等的地段,因采空塌陷的危

害具有缓变性,采空塌陷在区内的危害主要表现为造成经济损失而非人畜伤亡。按采空塌陷引起当地 40% 的房产损失评价其对民宅影响的重要性,属一般级,造成的灾情属轻级(表 1、2)。

表 2 地质灾害灾情与危害程度分级标准^[2]

Table 2 Situation of geologic hazard and the grading standards of the extent of harm

灾害程度 分级	死亡人数 /人	受威胁人数 /人	直接经济损失 /万元
一般级(轻)	<3	<10	<100
较大级(中)	3~10	10~100	100~500
重大级(重)	10~30	100~1 000	500~1 000
特大型(特重)	>30	>1 000	>1 000

4 采空塌陷的防治措施

大柳煤矿井田范围以丘陵地貌为主,沟谷纵横,且煤层埋藏较深,预测煤层开采后大部分地区的地表塌陷主要表现为地表出现方向明显的裂缝及小规模台阶状变形,将会对地面的村庄,道路以及通讯设施等造成不同程度的破坏。因而应紧密结合本矿区环境地质条件选择针对性防治措施,如以下几个方面^[4]。

4.1 采用合理的采煤方式和顶板管理方法

4.1.1 留设保护煤柱

在需要保护的對象,如村庄、井筒等的下部留出

足够尺寸的煤柱,使建筑物处于开采影响范围之外。这种方法被认为是一种比较安全可靠的方法。

4.1.2 消除开采边界的影响

地下开采影响地面最严重的地方是地面下沉盆地的边缘,它位于开采边界两侧的上方。所以在建筑物下布置回采工作面时,垂直走向的工作面应有足够的长度,使地表出现充分采动,从而使建筑物位于移动盆地的平底部分。此外,当回采工作面通过建筑物下部时,应尽量加快回采速度,不能停采,尤其不得留残柱。

地表移动规律表明,地表永久性的不均匀下沉和变形都集中在地表下沉盆地的边缘区。井下每出现一个永久性开采边界,地表就出现一个变形值较大的区域。为了最大限度减少开采对受护建筑物的有害影响,要求必须实现全柱开采,就是在整个井田煤层范围内,有限制地进行大面积全面开采,以避免在煤层范围内形成永久性开采边界和各煤层变形值的累加,以最大限度地减少对受护建筑物的有害影响。因此必须实现长工作面开采和一层一层的分层开采。

4.1.3 协调开采

同时开采煤4、煤5及煤3—2层时,使其各工作面错开一定距离,以使引起的地面拉伸和压缩变形相互抵消或部分抵消,从而减少地面的变形量。

4.2 建筑物结构保护措施

4.2.1 变形缝

在井田范围内修建新的建筑物时将建筑物自屋顶至基础分成若干个彼此互不相连、长度较小、刚度较好、自成变形体系的独立单体,以减少地基反力分布的不均匀对建筑物的影响,提高建筑物适应地表变形的能力,减少作用于建筑物的附加应力。

4.2.2 钢筋混凝土圈梁

设置钢筋混凝土圈梁是提高建筑物抵抗地表变形能力的有效措施。圈梁的作用在于增强建筑整体性和刚度,提高砖石砌体的抗弯、抗剪和抗拉的强度,可在一定程度上防止或减少裂缝等破坏现象的出现。

4.3 避让措施

预测矿井在河谷地段开采后出现采空塌陷的危险性相对较大,危害性较大,而远离河谷地段的两侧丘陵地段是预测采空塌陷危险、危害性相对较小地

段,可考虑将部分居民从河谷地段迁移至丘陵地段,即采取避让措施较为经济合理。

本井田面积较大,划分为4个采区,因此可综合考虑,按采区接替顺序分期、分批搬迁的方法进行保护。将邻近采区的居民进行适当地迁移,避免采空塌陷对居民生活的影响。

值得指出的,采空塌陷的危害主要表现在塌陷的过程中,对已经达到塌陷稳定或经过治理的老塌陷区将来仍能恢复正常的生产和生活秩序,尤其是与采空区对应的塌陷区中部区域其危害程度较低。因此塌陷区不是永远的危地。如华亭广场就是在经过治理的塌陷区上修建的。可以考虑在开采后续采区时,将居民搬迁至已经过治理的老矿区,达到经济与技术的最大合理性。

5 结论

预测大柳矿井在投产后将出现中等程度的采空塌陷;地表变形在时空上是连续的、渐变的,以细小的裂缝及台阶等地表变形为特征。预测最大塌陷面积是开采面积的1.2倍;最大塌陷深度出现在黑河河谷地带,为14.5 m;塌陷率在河谷地段为 $(1\sim 1.3)\times 0.067\text{ hm}^2/\text{万t}$,在丘陵地带为 $(1.5\sim 4.0)\times 0.067\text{ hm}^2/\text{万t}$;地表塌陷在采空区形成后的2~3 a基本停止。地表塌陷的危害对象主要是井田范围内的农田和民房;对农田的危害主要表现在因地裂缝引起土壤砂化肥力下降、导致农作物减产方面;对民房的危害主要表现在塌陷引起建筑物倾斜、不均匀沉降而导致墙体开裂。采空塌陷在河谷地段的危害性中等(在丘陵地段的危害性较小),主要以造成财产损失为特点,预测评估灾情属轻级。对采空塌陷的防治应在经济技术分析的基础上综合考虑避让、采用合理的采煤方式及建筑物结构保护等综合防治措施。本结论可作为矿井建设单位防治矿井未来地面采空塌陷的参考。

参考文献

- [1] 尹国勋,邓寅生,李栋臣,等.煤矿环境地质灾害与防治[R].北京:煤炭工业出版社,1997.
- [2] 潘懋,李铁锋.灾害地质学[M].北京:北京大学出版社,2002.
- [3] 铁道部第一勘测设计院.铁路工程地质手册[S].北京:中国铁道出版社,1999:392.
- [4] 纪万斌.工程塌陷与治理[R].北京:地震出版社,1998.