

煤矿开采地表拟破坏土地面积预测方法及应用

张俊芳 (北京中地华源土地规划设计中心, 北京 100080)

摘要 为了确定煤矿复垦方案中涉及的矿区土地破坏范围, 及在此基础上进一步确定煤矿开采过程中破坏程度分级、土地复垦适宜性评价等, 基于地表沉降理论提出了一种煤矿开采过程中拟破坏土地面积的预测方法, 并以某煤矿为案例具体说明了该方法在实际中的应用。经计算确定煤矿的最大水平变形值、最大曲率值、最大倾斜值、最大下沉值、最大水平移动值 U_{cm} 及地表最大下沉速度值; 地表移动盆地的最外边界、危险移动边界及最大下沉值边界; 根据地表移动边界绘制下沉等值线, 并将下沉等值线图与矿区的土地利用现状图进行叠加, 便得到矿区预测破坏土地的范围, 由此计算出破坏土地面积。该方法与矿区实际情况相结合, 使矿区土地复垦设计方案具有较强的可操作性。

关键词 土地复垦; 煤矿开采; 拟破坏土地面积预测; 方法

中图分类号 S28 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)29-10361-03

为保护和合理利用土地资源, 改善生态环境, 防治矿产资源开采等生产项目因挖损、压占、沉陷等造成土地破坏, 根据《中华人民共和国土地管理法》、《土地复垦规定》等有关法律法规的要求, 按照“谁破坏、谁复垦”的原则, 该方案的编制与实施, 将达到煤炭资源的开发利用和矿区工农业生产以及社会经济的综合发展相协调的目的, 对发展农业、煤炭生产、水土保持和改善矿区及周边生态环境具有重要意义和作用^[1-4]。对矿区破坏的土地实施复垦, 可以对矿区环境进行综合治理; 对煤矸石压占的土地进行复垦, 可以减少污染, 改善环境, 增加土地复垦率, 减少洪水流量, 改善土壤的生态环境; 植树造林, 地表林草植被增加, 促进野生动物的繁殖, 减少风沙, 调节气候, 净化空气, 美化环境。

在土地复垦方案编制过程中, 矿区土地破坏范围划定、破坏程度分级、土地复垦适宜性评价均与矿区实际情况相结合, 只有这样才能保证矿区土地复垦设计方案具有较强的可操作性。土地复垦方案中拟破坏土地面积的确定是复垦方案的预防控制与复垦措施、土地复垦工程设计及土地复垦投资估算的前提。拟破坏土地面积的数量和数量确定的准确性直接影响土地复垦工程设计工程量及土地复垦投资估算的准确性^[5-9]。因此, 计算和确定煤矿开采中拟破坏土地面积对于土地复垦方案的编制至关重要。

1 研究区概况

1.1 气候条件 研究对象煤矿位于陕、甘、宁 3 省交界, 地处六盘山东麓、洮水河畔, 行政区划隶属甘肃省平凉市管辖。井田南北走向长 6.15 km, 东西倾斜宽 1.182 km, 矿区面积 7.27 km²。矿区属温带半湿润大陆性季风气候, 冬春干燥寒冷, 夏秋阴湿多雨。年平均气温 7.9℃, 年平均降水量 607 mm, 降水时空分布不均, 多集中在 6~10 月, 占年降水量的 72.2%。年蒸发量 1 435.2 mm, 年平均相对湿度 69%~73%。年日照时数为 2 255 h, 全年无霜期 166 d, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 2 694.7℃。煤矿地处地形总体北部高、南部低, 地形起伏较大。矿区最高点在北部高庄, 海拔 1 643 m, 最低点在北汭河

河谷, 海拔 1 460 m, 相对高差 183 m。土壤以黑垆土、棕壤为主, 其次为黄绵土、红粘土。

1.2 开采工艺 煤系地层总平均厚度 294.10 m, 煤层总平均厚度 22.10 m, 含煤系数为 7.51%。矿井主采煤层一层(煤₆₋₂层), 煤层倾角 0~75°, 平均倾角取 30°。矿井采用中央并列抽出式通风方式, 采煤方法为走向长壁倾斜分层综采放顶煤采煤方法(一个工作面)。回采工作面长度为 100 m, 年推进度 700 m。顶板管理方法为全部陷落法。生产开采方式: 主副斜井开拓, 走向长壁综采放顶煤一次采全高。生产规模与能力: 设计年生产能力 150 万 t/年。生产服务年限: 34.1 年。

1.3 煤矿地质条件 煤田属中下侏罗纪煤田, 煤系沉积基底为上三叠统延长群砂岩, 上覆地层有中侏罗统的紫红色砂质泥岩、下白垩统砂岩、砂质泥岩、紫红色砾岩、上第三纪甘肃群砂质泥岩、砂岩及第四系黄土、近代冲积层, 呈不整合或假整合接触。

(1) 上三叠统延长群(T_{3yn})。井田内钻孔所见仅为其上部地层, 以灰白~灰绿色粉、细、中粒长石砂岩为主, 含少量石英及云母, 其顶部为薄层深灰色砂质泥岩。钻孔揭露最大厚度 23.97 m, 最小 1.82 m, 平均 11.12 m, 全层厚度不详。

(2) 中侏罗统延安组(J_{2y})。为该矿区的含煤地层, 全层厚 17.28~195.25 m, 平均 146.17 m。

(3) 上第三系甘肃群(N_{gm})。为一套半胶结的陆相碎屑岩系。底部为厚层砂砾岩, 胶结较好, 坚硬; 顶部被剥蚀。厚度不全, 钻孔所见全层厚度 180.74~267.81 m, 平均 224.76 m。

(4) 第四系上更新统马兰组(Q_{3m})及全新统(Q_4)。广布于井田内山顶、梁峁及沟谷两侧, 下部为黄色亚粘土及亚砂土, 上部为黄褐色耕植土。全层厚 0~20.75 m, 平均 11.11 m。

1.4 项目区内土地利用现状 根据 1:10 000 地形图结合实地调查和遥感卫星影像, 将矿区范围内的土地利用情况划分二级地类, 详见表 1。

表1 矿区土地利用现状

一级地类	二级地类	面积/hm ²	所占比例/%
耕地	旱地	317.59	43.66
园地	果园	3.92	0.54
林地	有林地	38.11	5.24
	灌木林地	5.62	0.77
	小计	43.73	6.01
草地	其他草地	313.30	43.07
住宅用地	农村宅基地	23.42	3.22
交通运输用地	公路用地	5.75	0.79
	农村道路	5.82	0.80
	小计	11.57	1.59
水域及水利设施用地	河流水面	5.49	0.75
其他土地	裸地	8.35	1.15
合计		727.37	100.00

2 拟破坏土地预测方法

2.1 地表沉陷预测理论基础

2.1.1 地表移动盆地。在地表移动盆地的形成过程中,逐渐改变了地表的原有形态,引起地表标高、水平位置发生变化。从地表移动的力学过程及工程技术问题的需要出发,地表移动的状态可用垂直移动和水平移动进行描述。常用的定量指标有:下沉、水平移动、倾斜、曲率、水平变形。

2.1.2 判断采空区是充分采动还是非充分采动。当地下煤层采出后地表下沉值达到该地质采矿条件下应有的最大值,此时的采动状态称为充分采动。此后,开采工作面的尺寸继续扩大,地表影响范围也相应扩大,但地表最大下沉值却不再增加,地表移动盆地将出现平底,呈碗形。如地表有多个点的下沉值达到最大下沉的采动情况,称为超充分采动,此时的地表移动盆地呈盆形。我国煤矿多年现场实测表明,当采空区的长度和宽度均达到或超过 $1.2H_0 \sim 1.4H_0$ (H_0 平均开采深度)时,地表达到采分采动。非充分采动,是指当采空区尺寸(长度和宽度)小于该地质采矿条件下的临界开采尺寸时,地表最大下沉值未达到该地质采矿条件下应有的最大下沉值。

该矿区煤层埋深 410 ~ 590 m,平均开采深度为 500 m。矿区走向长约 6.51 km,倾斜宽度约 1.182 km,其开采后形成的采空区长度和宽度均超过 $1.4H_0$ ($1.4 \times 500 = 700$ m),因此矿区的采空区属于超充分采动。具体到每一个采煤工作面,依据某煤矿改扩建工程可行性研究报告,设计采煤工作面长度为 100 m,年推进 700 m。由此进行计算,采煤工作面年推进回采后的采空区的长度等于 $1.4H_0$ ($1.4 \times 500 = 700$ m),宽度 100 m 小于 $1.4H_0$ (700 m),地表在第 7 年将达到充分采动。

2.2 充分采动条件下地表变形值的计算 开采沉陷稳定后,地表移动盆地的最大下沉和最大水平移动值反映了地表移动变形的剧烈程度。

2.2.1 最大下沉值。计算公式为: $W_{cm} = M \cdot q \cdot \cos\alpha$ (1)

式中, M 为煤层开采厚度,矿区煤层开采厚度 22.1 m,分 3 层开采,每层开采平均厚度为 7.4 m; α 为煤层倾角,根据某煤

矿地质勘查报告,区煤层倾角 $\alpha = 10^\circ \sim 75^\circ$,预测计算煤层倾角 α 取 35° ; q 下沉系数,综合煤层顶底板岩性,考虑到某煤矿顶板管理方法(全部陷落法),该预测方案取下沉系数 $q = 0.7$; W_{cm} 为最大下沉值(mm)。

2.2.2 最大倾斜值。计算公式为:

$$i_{cm} = W_{cm}/r \quad (2)$$

$$r = H_0/\text{tg}\beta \quad (3)$$

式中, H_0 为平均开采煤层埋深,该研究取 $H_0 = 500$ m; r 为主要影响半径,经计算 $r = 227.3$ m; $\text{tg}\beta$ 为主要影响角的正切,其数值主要决定于覆岩的力学性质。经多年观测,周边煤矿主要影响角的正切值(在走向方向上)一般是 2.2 ~ 2.5,此次预测取 2.2; i_{cm} 为最大倾斜值(mm/m)。

2.2.3 最大曲率值。计算公式为:

$$K_{cm} = 1.52W_{cm}/r^2 \quad (4)$$

式中, K_{cm} 为最大曲率值(10^{-3} mm/m²)。

2.2.4 最大水平移动值。计算公式为:

$$U_{cm} = b \cdot W_{cm} \quad (5)$$

$$b = b_c(1 + 0.0086\alpha) \quad (6)$$

式中, b_c 为其值大约在 0.2 ~ 0.4 之间,本次预测取 0.3; U_{cm} 为最大水平位移值,mm; b 为水平移动系数,经计算 $b = 0.39$ 。

2.2.5 最大水平变形值。计算公式为:

$$\varepsilon_{cm} = 1.52 \cdot b \cdot W_{cm}/r \quad (7)$$

式中, ε_{cm} 为最大水平变形值(mm/m)。

2.3 地表移动边界 按照地表移动变形值的大小及其对地表的影响程度,可将地表移动盆地划分出 3 个边界,最外边界、危险移动边界和裂缝边界。一般取下沉 10 mm 的点为边界点,最外边界实际上是下沉 10 mm 的点圈定的边界。我国一般采用 3 个变形值 $i = 3$ mm/m, $\varepsilon = 2$ mm/m, $k = 0.2$ mm/m² 中最外一个值确定的临界边界为危险移动边界。

2.4 地表移动变形规律 当煤层自随 $x = 0$ 开采到 $x = \infty$ 时,地表稳定后的移动变形采用如下公式计算:

(1) 下沉曲线 $W(x)$:

$$W(x) = \frac{W_0}{2} \left[\text{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}x}{r}\right) + 1 \right] \quad (8)$$

(2) 倾斜曲线 $i(x)$:

$$i(x) = \frac{dW(x)}{dx} = \frac{W_0}{r} e^{-\pi^{\frac{x^2}{r^2}}} \quad (9)$$

(3) 曲率曲线 $k(x)$:

$$K(x) = \frac{d^2W(x)}{dx^2} = 2\pi \frac{W_0}{r^2} \left(-\frac{x}{r}\right) e^{-\pi^{\frac{x^2}{r^2}}} \quad (10)$$

(4) 水平移动曲线 $U(x)$:

$$U(x) = bri(x) = bW_0 e^{-\pi^{\frac{x^2}{r^2}}} \quad (11)$$

(5) 水平变形曲线 $\varepsilon(x)$:

$$\varepsilon(x) = brK(x) = 2\pi b \frac{W_0}{r} \left(-\frac{x}{r}\right) e^{-\pi^{\frac{x^2}{r^2}}} W_0 e^{-\pi^{\frac{x^2}{r^2}}} \quad (12)$$

上式中:

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\lambda^2} d\lambda \quad (13)$$

$$b = \frac{r}{2\pi} \quad (14)$$

$$W_0 = mq \quad (15)$$

2.5 地表最大下沉速度预测 地表最大下沉速度 V_0 计算公式为:

$$V_0 = 0.81 + 0.174 \frac{W_{cm} C}{H} \quad (16)$$

式中, W_{cm} 为最大下沉值, 该研究取 $W_{cm} = 4\ 243\ \text{mm}$; C 为工作面推进速度, 该研究取 $C = 1.92\ \text{m/d}$; H 为平均开采深度, 该研究取 $H = 500\ \text{m}$ 。

3 地表沉陷的预测结果

3.1 充分采动条件下地表变形值 利用公式(1)~(7)和式(16)计算, 最大水平变形值 $\varepsilon_{cm} = 11.07\ \text{mm/m}$, 最大曲率值 $K_{cm} = 0.125\ \text{mm/m}^2$, 最大倾斜值 $i_{cm} = 18.67\ \text{mm/m}$, 最大下沉值 $W_{cm} = 4\ 243\ \text{mm}$, 最大水平移动值 $U_{cm} = 1\ 654.77\ \text{mm}$, 地表最大下沉速度值约 $3.65\ \text{mm/d}$ 。

3.2 地表移动边界

3.2.1 地表移动盆地的最外边界。地表移动盆地的最外边界取下沉 $10\ \text{mm}$ 的点圈定的边界。利用公式(8)、(13)、(15)计算, 当 $x = -261.4\ \text{m}$ 时, 下沉值为 $10\ \text{mm}$, 即地表移动盆地的最外边界位于开采边界外, 距开采边界 $261.4\ \text{m}$ 。

3.2.2 地表移动盆地的危险移动边界。我国采用的临界变形值为 $i = 3\ \text{mm/m}$, $\varepsilon = 2\ \text{mm/m}$, $k = 0.2\ \text{mm/m}^2$ 。当上述3个变形值中最外一个值确定的边界即为危险移动边界。利用式(9)~(15)计算, 当 $x = -170.5\ \text{m}$, $i = 3\ \text{mm/m}$, 此处为危险移动边界, 即地表移动盆地的危险移动边界位于开采边界外, 距开采边界 $170.5\ \text{m}$ 。

3.2.3 最大下沉值所对应的边界。利用式(8)、(13)、(15)计算, 当 $x = 318.22\ \text{m}$, 地表下沉达到最大值, 即此处为最大下沉值边界, 其位于开采边界内, 且距开采边界 $318.22\ \text{m}$ 。

表2 煤矿采煤破坏土地预测

一级地类	二级地类	地类面积// hm^2	所占比例//%
耕地	旱地	442.87	45.92
园地	果园	4.70	0.49
林地	有林地	44.54	4.62
	灌木林地	5.90	0.60
	小计	50.44	5.23
草地	其他草地	458.37	47.52
住宅用地	农村宅基地	2.30	0.24
交通运输用地	农村道路	5.82	0.60
合计		964.50	100.00

3.3 预测破坏土地的范围 根据上述该矿区的地质特征及已确定的参数, 计算的该矿区地表沉陷影响边界一般在开采边界外 $261.4\ \text{m}$ 至开采边界内 $318.22\ \text{m}$ 。根据地表移动边界绘制下沉等值线, 并将下沉等值线图与矿区的土地利用现状图进行叠加, 便得到矿区预测破坏土地的范围, 由此计算出破坏土地面积, 结果见表2。

4 结论

该研究首先介绍了地表沉陷理论, 并基于此理论提出了一种煤矿开采过程中拟破坏土地面积的预测方法, 并以某煤矿为案例具体说明了该方法在实际中的应用, 得出如下结论:

(1) 煤矿的最大水平变形值 $\varepsilon_{cm} = 11.07\ \text{mm/m}$, 最大曲率值 $K_{cm} = 0.125\ \text{mm/m}^2$, 最大倾斜值 $i_{cm} = 18.67\ \text{mm/m}$, 最大下沉值 $W_{cm} = 4\ 243\ \text{mm}$, 最大水平移动值 $U_{cm} = 1\ 654.77\ \text{mm}$, 地表最大下沉速度值约 $3.65\ \text{mm/d}$ 。

(2) 地表移动盆地的最外边界位于开采边界外, 距开采边界 $261.4\ \text{m}$, 地表移动盆地的危险移动边界位于开采边界外, 距开采边界 $170.5\ \text{m}$, 最大下沉值边界, 其位于开采边界内, 且距开采边界 $318.22\ \text{m}$ 。

(3) 该煤矿开采过程中拟破坏土地总面积 $964.50\ \text{hm}^2$, 其中耕地破坏面积 $442.87\ \text{hm}^2$, 林地破坏面积 $50.44\ \text{hm}^2$, 草地破坏面积 $458.37\ \text{hm}^2$, 园地破坏面积 $4.70\ \text{hm}^2$, 农村宅基地破坏面积 $2.30\ \text{hm}^2$, 农村道路破坏面积 $5.82\ \text{hm}^2$ 。

参考文献

- [1] 中华人民共和国土地管理法[EB/OL]. (2005-05-26) http://www.gov.cn/banshi/2005-05/26/content_989.htm.
- [2] 国务院. 中华人民共和国土地管理法实施条例[EB/OL]. (1998-12-27) http://www.law-lib.com/law/law_view.asp?id=15255.
- [3] 中华人民共和国矿产资源法[EB/OL]. (2004-06-25) http://www.mlr.gov.cn/zwzk/flfg/kczyflfg/200406/t20040625_292.htm.
- [4] 土地复垦规定[EB/OL]. (1988-11-08) http://www.mlr.gov.cn/zwzk/flfg/tzglflfg/200411/t20041125_609648.htm.
- [5] 国土资源部, 发展改革委, 财政部, 等. 关于加强生产建设项目土地复垦管理工作的通知[EB/OL]. (2006-09-30) http://www.mlr.gov.cn/xwdt/zytz/200610/t20061011_76737.htm.
- [6] 中共中央国务院. 中共中央、国务院关于进一步加强土地管理切实保护耕地的通知[EB/OL]. (1997-04-15) <http://www.fzgtzj.gov.cn/ZWView.asp?ID=163&PID=3>.
- [7] 土地复垦技术标准[S/OL]. (2010-06-10) <http://www.gxdlr.gov.cn/News/NewsShow.aspx?NewsId=4106>.
- [8] 土地复垦条例[EB/OL]. (2011-03-05) http://www.gov.cn/zwzk/2011-03/11/content_1822591.htm.
- [9] 煤炭工业部. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[EB/OL]. (1985-08-01) <http://www.mkaq.org/html/2012/11/09/164178.shtml>.