

井下开采引发地面塌陷的定量评估方法 ——以新疆伊犁州煤矿为例

魏青军¹, 于泽森²

(1. 新疆地质工程勘察院, 新疆 乌鲁木齐 830091; 2. 杭州交通规划设计研究院, 浙江 杭州 310005)

关键词: 矿层井下开采; 顶板稳定性; 地面塌陷地质灾害

文章编号: 1003-8035(2006)02-168-03

中图分类号: P642.5; TD82

文献标识码: A

0 引言

矿层井下采矿工程引发的采空区地面塌陷是矿层开采普遍存在的环境工程地质问题,它对城市、交通、管线、水体运动会产生严重影响,对农村农耕地的破坏也不容忽视。据专家们统计,我国已经建有国有矿山 8000 多座,非国有矿山 10 万多座,年采掘矿石量达 40 亿 t,由于矿产资源的开采,采矿塌陷严重,全国因采矿塌陷破坏的土地基数达 400 多万 hm^2 ^[1]。矿层开采引发的采空区地面塌陷地质灾害危险性评估一直处于经验判断的阶段,其评估结论已经不能满足评估工作的要求,亟需结合矿山工程技术与环境地质知识来进行预测地面塌陷地质灾害的可能发生范围,使评估工作能够得出量化的结论。本文基于矿山工程技术与地基基础和环境地质的知识对矿层井下开采引发地面塌陷地质灾害进行量化的评估。

1 采空区顶板岩土体变形的垂直分带

矿层开采后,顶板岩土体的移动变形因岩土体性质和开采条件不同,变形的表现形式、分布状态和程度亦不相同,一般可将其垂直方向的变形分为 3 个带^[2]:

①冒落带:直接位于采空区上方的顶板岩层,在自重及上覆岩层重力作用下,移动变形很大,所受应力大大超过本身强度,使岩层断裂破碎塌落,堆积于采空区,已塌落部分称冒落带。

②裂隙带:冒落带上部的岩层在重力作用下,移动变形较大,所受应力超过本身强度,岩层产生裂隙或断裂,但尚未塌落,形成裂隙带。

③弯曲带:裂隙带上部的岩层在重力作用下,变形较小,所受应力尚未超过其本身强度,未产生裂隙,仅出现连续平缓的变曲变形,称弯曲带。此带岩层的整体性未遭破坏。上述 3 带的形成主要取决于矿层的赋存条件、开采顶板管理方法以及岩层性质等。

采空区由于其大小、几何形状、采掘厚度和矿层埋深的不同。上述 3 个带不一定同时存在。当采空区埋深较浅时,冒落带可以直达地表,形成地面塌陷。采空区埋深较深时裂隙带可能达到地表,使地表出现裂隙(地裂缝)。采空区埋深很

大时,其裂隙带已不能达到地表,此时进地表区多表现为弯曲下沉^[3]。

2 采空区塌陷的影响因素

采空区是否产生地面塌陷与其顶板的稳定性有着直接和必然的关联。矿层采空区顶板的稳定性是其岩层的完整性、变形特性、岩土体强度及受力状态等诸多因素的综合反映,它具有结构的不连续性,力学性质的离散性以及所受荷载的不确定性。其稳定性受两个因素的影响:①内在因素。包括矿层顶板的岩土体类型、质量、物理力学性质、岩层产状、节理、裂隙状况等;②外在因素。包括顶板的完整程度、顶板形态(平顶、拱顶)、矿层厚跨比(或者暴露面积)^[4]。

3 采空区顶板稳定性的评价方法

3.1 矿层井下开采顶板安全厚度评价的方法

矿层顶板稳定性的评价方法归纳起来有以下几种^[5]:

3.1.1 荷载传递交线法。假定荷载由顶板中心按与竖直线成 $30^\circ \sim 35^\circ$ 的扩散角向下传递,当传递线位于顶板与洞壁的交点以外时,即认为洞壁直接支撑顶板上的荷载与自重,顶板是稳定的。

3.1.2 厚跨比法。当采空区顶板为完整顶板时,其顶板厚度 h 与其跨越采空区的长度 l 之比(跨厚比)大于 0.5 时,顶板的厚度是安全的。

3.1.3 按梁板受力情况估算。假设顶柱是一个两端固定的平板梁结构,上部岩层作为荷载,按照梁板受弯考虑,以岩层的抗弯拉强度作为控制指标,根据材料力学的公式,推导出安全的顶柱厚度。

3.1.4 按剪切概念估算。根据岩土体的极限平衡条件,顶板岩土体抗剪力承受采空区范围内的顶板自重和附加荷载。

3.1.5 采空区顶板坍塌堵塞估算法。采空区顶板坍塌时,岩土体肯定会破碎,体积松胀,当其坍塌到一定高度,采空区被

收稿日期: 2005-07-07; 修回日期: 2005-08-30

作者简介: 魏青军(1980—),男,大学,主要从事水资源环境问题与地质灾害方面的工作。

完全堵塞 ,顶板不再坍塌。根据一定高度岩土体坍塌后的体积与坍塌前的沿途体体积和矿层采空空间的体积相等来进行估算。

3.1.6 按照平衡拱的理论计算。平衡拱理论也称普氏理论 ,主要是用于顶板比较破碎的风化岩土体。采空区未坍塌时 ,采空区处于自然平衡状态。如果发生坍塌 ,按照破裂拱进行计算 ,破裂拱以上的岩土体重量由拱来承担 ,因承担上部荷载需一定的厚度 ,故采用采空区顶板的安全厚度为破裂拱的高加上不荷载所需的厚度 ,再考虑适当的安全系数。

3.1.7 K.B.鲁别捏依塔等人的公式。K.B.鲁别捏依塔等人主要考虑采空区跨度及顶柱的岩体特性(强度及构造破坏特性)对安全顶柱厚度的影响 ,同时也考虑了露天台阶上作业的设备的影 响 ,提出了安全厚度的计算公式。

3.1.8 B.И.波哥留波夫公式。这个公式主要考虑了采空区的跨度、顶柱岩土体特性以及台阶爆破动荷载的影响 ,提出了计算安全顶柱厚度的公式。

3.1.9 经验类比法。在确定矿层井下开采顶板稳定性时 ,经验类比法是一个非常重要的方法。

3.2 采空区地面塌陷地质灾害的危险性评估要求

顶板的稳定与否与其坍塌高度是否影响到地表示判定采空区是否引发地面塌陷的标准 ,一般以 10mm 为界限 ,地面变形超过 10mm 则定为地面塌陷^[2] ,反之亦然。据《地质灾害防治条例》,地面塌陷被列为其六大地质灾害之一 ,并要求在地质灾害易发区内进行建设时必须进行地质灾害危险性评估工作。地质灾害危险性综合评估是依据地质灾害危险性现状和预测评估的结果 ,充分考虑评估区的地质环境条件的差异和潜在的地质灾害隐患点的分布、危险程度 ,确定判别区段危险性的量化指标 ,对地质灾害的危险性进行客观评估。

3.3 采空区引发地面塌陷地质灾害的评估方法

笔者认为 ,在地质灾害危险性评估工作中 ,由于所收集资料的局限性和工作布置的技术要求 ,并且评估一般在工程建设的科研阶段 ,所进行的评估依据不是十分的充分 ,故进行大量的数值模拟是不现实的。结合以往对煤矿开采是否引发地面塌陷地质灾害危险性评估的经验 ,使用以下公式推导、计算可以比较合理的进行评估工作。

一般地 ,假设矿区地面的建筑物基地压力和运输车辆等的动荷载为 P_0 ,则作用于采空区段顶板上的压力 Q 为 :

$$Q = G + BP_0 - 2f = \gamma H [B - H \tan \phi \tan^2 (45^\circ - \phi) / 2] + BP_0$$

式中 : G ——巷道单位长度顶板上岩层所受的总重力(kN/m) ;

B ——巷道宽度(m) ;

f ——巷道单位长度侧壁的摩阻力(kN/m) ;

H ——巷道顶板的埋藏深度(m) ;

P_0 ——矿区地表均布荷载(MPa) ;

γ ——顶板岩土体的重度(kN/m³) ;

ϕ ——顶板岩土体的内摩擦角(°)。

当 H 达到某一深度 ,肯定使顶板岩层恰好保持自然平衡 ($Q = 0$)。此时 H 称为顶板稳定的临界深度 H_0 ,则

$$H_0 = \frac{B\gamma + \sqrt{B^2\gamma^2 + 4B\gamma P_0 \tan \phi \tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2})}}{2\gamma \tan \phi \tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2})} \tag{1}$$

当 $H < H_0$ 时 ,矿层采空区顶板不稳定 ,产生采空区地面塌陷的可能性大 ;当 $H_0 < H < 1.5 H_0$ 时 ,矿层采空区顶板基本稳定 ,产生采空区地面塌陷的可能性小 ;当 $H > 1.5 H_0$ 时 ,矿层采空区顶板稳定 ,不会产生采空区地面塌陷。

4 工程实例

伊犁州脑艾依图煤矿是一小型矿山。矿区含煤层为侏罗系八道湾组地层。其顶底板岩性均为侏罗系砂岩及粉砂岩。地表为第四系松散砂砾石和黄土 ,固结性较差。矿区煤层顶底板岩石物理力学性质指标见表 1。按照煤矿的设计 ,B2 煤层为矿区主采煤层。B2 煤层顶板岩石在天然状态下单向抗压强度为 22.4MPa ,为稍软的半坚硬岩 ;饱和状态下为 4.7MPa ,稳定性差 ;干燥状态下为 46.2MPa ,中等稳定性。底板岩石(泥岩)遇水易软化 ,有膨胀性 ,岩石力学性质测试结果稳定性差。

表 1 伊犁州脑艾依图煤矿各可采煤层顶底板岩石物理力学性质指标

煤层 编号	顶底板 岩 性	抗压强度/MPa			天然状态 下抗拉强度	天然状态 下抗压强度	软化 系数	
		天然 状态	饱和 状态	干燥 状态	MPa	MPa		
B2	顶板	细砂岩	22.4	4.7	46.2	2.3	4.8	0.10
A4-5	顶板	粉砂岩		20.07	56.42	1.42	4.64	0.46
	底板	粉砂岩		17.20	36.68	0.70	1.88	0.47
A1-2	顶板	粉砂岩		0.06	25.42	0.21	1.42	0.002
	底板	泥岩		4.60	34.60	1.30	2.50	0.13

注 :该表数据引自[6 《生产地质报告》44 页。

据此 ,选用上述公式对 B2 煤层采空区是否引发地面塌陷进行计算评价。计算过程如下 :

选取参数 : B 取 23m , f 取经验值 0.07 , γ 取砂岩和泥岩的平均值 22.73 , ϕ 取 35° ;假定矿区地面荷载为 P_0 ,其值根据实际情况取 15 ,用于考虑其它参数选取 ;按照式(1)计算 , H_0 的结果约为 130m。

矿区煤层顶板稳定性评估。当 $H > 195\text{m}$ (1.5×130)时 ,矿层顶板稳定性好 ,不会引发地面塌陷 ;当 $130\text{m} < H < 195\text{m}$ 时 ,矿层采空区顶板基本稳定 ,产生采空区地面塌陷的可能性小 ;当 $H < 130\text{m}$ 时 ,矿层采空区顶板不稳定 ,产生采空区地面塌陷的可能性大。

* 参数的选取按照该矿的《资源开发利用方案》以及笔者本人对矿区地质环境条件的概化。

5 结论

根据实际情况和经验评估计算的值 195m 与本矿《生产地质报告》中按照《矿区水文地质工程地质勘探规范》(GB12719—91)中的经验公式计算出导水裂隙带(含冒落带高度)高度为 200.34m 的结果基本一致。对于地面塌陷地质灾害危险性评估工作应该说可以满足其精度要求。

矿层地下开采形成的采空区以及开采过程中顶板稳定性受自然和不确定人为因素的综合作用,其评价是一个复杂的系统工程,并且其随着地质环境条件的变化而不依人的意志而变化。顶板稳定与否,与引发地面塌陷的评价是一个复杂的系统工程。其评价过程及手段亟待改进。

本评估方法只是把地基基础与矿山工程技术中的相关理论应用于矿层井下采空是否引发地面塌陷地质灾害危险性的评估当中,有一定的局限性。敬请各位同行批评指正。

(上接第 174 页)

建设部门的重视。即便是一般建设工程,占地面积较小,但技术标准高,工程和人口密集,致灾后可能具有毁灭性破坏。那么,它的危害程度就高,危险性也大,评估级别应相应提高。

4 地质灾害现状评估与预测评估问题

有些地质灾害评估常把现状与预测混为一谈。在评估中既不阐述它们之间的区别又不阐述相互间的联系。这是地质灾害危险性评估中普遍存在的问题。

地质灾害现状评估是在现状调查的基础上,确定评估区内现有地质灾害的类型。这些地质灾害不因拟建工程的存在而存在。是原始地质环境条件、自然条件和人为因素多种作用的结果,是客观存在的地质现象。有的会在建设工程建成后消失,有的仍然存在。

参考文献:

- [1] 纪万斌. 矿山塌陷环境与治理[A]. 矿山环境管理实用指南[C]. 姜建军,等. 北京:地震出版社,2004:453.
- [2] 郭颖,等. 注册岩土工程师执业资格基础[光盘版 I S]. 北京:光明日报出版社,2002:665-666.
- [3] 李智毅,杨裕云,等. 工程地质学概论[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2002:261.
- [4] 高峰,周科平. 基于可拓学理论的采场顶板稳定性评价[J]. 中国科技论文在线,2004.
- [5] 周科平,等. 复杂充填体下矿体开采安全顶板厚度非线性预测模型[J]. 中国科技论文在线,2004.
- [6] 新疆煤田地质局一六一煤田地质勘探队. 新疆伊宁县脑艾依图煤矿西井生产地质报告[R]. 2004:44.

预测评估是在工程建设中,由于地质环境、生态环境等条件的改变,引发了新的地质灾害以及工程建设直接或间接地诱发了地质灾害。如在山区建设线型工程,常遇到崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害。这些地质灾害因工程施工而改变存在环境,致使工程建设后发生灾害。有些灾害通过彻底治理而不复存在。冻融引发的地质灾害不论工程建设前、后均存在。应是现状和预测均有的灾种。有的拟建工程因施工出现的不稳定边坡及采空区加载而产生的地质灾害,均系工程建设后可能产生的灾种。随着时间和条件的改变,上述两种灾害均可能对建设工程造成破坏。所以,现状评估与预测评估既有区别又有联系。

以上是在地质灾害危险性评估中遇到的几个问题以及对于问题的解决方法,仅供同行参考。