

考虑煤矿采空区影响的建筑物稳定性分析

原俊红, 邱角辉

内蒙古大学交通学院, 内蒙古 呼和浩特
Email: yjhjh20@163.com

收稿日期: 2020年9月25日; 录用日期: 2020年10月14日; 发布日期: 2020年10月21日

摘 要

采空区上兴建土木工程, 采空区的稳定程度关系到上部兴建构造物的安全。文章为评价采空区建筑场地的适宜性, 详细分析了采空区地质条件, 根据采矿现状及变形情况分析采空区的现状稳定性。通过定量计算确定了采空区影响的区域, 并详细分析了当建筑场地施工后, 由于荷载施加引起的采空区活化, 从而发生地表移动变形的可能性。

关键词

采空区, 稳定性, 煤层, 地质条件

Stability Evaluation of Construction Considering the Influence of Coal Mine Goaf

Junhong Yuan, Jiaohui Qiu

Transportation Institute, Inner Mongolia University, Hohhot Inner Mongolia
Email: yjhjh20@163.com

Received: Sep. 25th, 2020; accepted: Oct. 14th, 2020; published: Oct. 21st, 2020

Abstract

When civil engineering is built on the goaf, the stability of the goaf is related to the safety of the upper structures. In order to evaluate the suitability of construction site in goaf, the geological conditions of goaf are analyzed in detail. According to the mining status and deformation, the stability of goaf is analyzed. The influence area of goaf is determined by quantitative calculation, and the possibility of ground movement and deformation due to the activation of goaf caused by load after construction of construction site is analyzed in detail.

Keywords

Goaf, Stability, Coal Seam, Geological Conditions

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

采空区是人类在开采资源和能源过程中, 或者由于地质作用在地表或者地下形成的空洞。该空洞的存在使得地下空间体存在很大的安全隐患。随着我国经济的发展, 很多资源型城市的地下都形成了大范围的采空区, 这已经成为制约当地铁路建设、公路建设和建筑工程等基础工程建设及城市化快速发展的因素[1]。由于大规模的基础设施建设, 有时无法完全避开采空区, 因此, 采空区的稳定评估也是需要首要解决的科学问题之一。

有关这方面的研究, 大量文献从不同角度进行了研究, 在采空区探测技术方面, 国内外目前形成了以高密度电法、地震映像法、地质雷达法相结合的综合探测, 同时, 在声发射和采空区检测方法也进行了大量的研究[2] [3] [4]。在理论方面, 吴盛才等[5]采用概率积分法研究了采空区高速公路建设后的地表沉降规律, 并对采空区进行了稳定性进行评价; 赵奎等运用块体稳定的模糊可靠性分析方法来分析采空区稳定, 并且建立了相应的稳定性计算公式[6]; 宫凤强等研究了矿山采空区的危险性分区等级和分区排序, 该模型主要依据较多的不确定性因素, 根据各自工程概况分别分析[7]; 陈书平采用层次分析法, 建立了采空区模糊评价模型[8]; 赵延林等基于突变理论, 建立了采空区顶板稳定性强度折减法, 并提出了多点调控的整体理论[9]; 丁陈建建立了 BP-NN 模型的模糊判别法, 并将采空区沉降、采厚比、构造复杂程度、岩层强度和“活化因子”因素等作为影响因子, 利用模糊综合评判结果对网络模型进行检验[10]。除此以外, 边界元法、模糊物元法、灰色聚类分析等大量理论方法都应用于采空区稳定性评价[11] [12] [13]。

2. 工程地质概况

近年来, 国家提出了“五位一体”总体布局和“四个全面”战略布局, 发展绿色矿山、共享经济的理念, 生态文明建设愈发重要。而位于内蒙古西部的鄂尔多斯地区, 由于近年来工业采煤的快速发展, 在城市周围形成了大面积的采空区, 采空区的恢复和经济发展逐步提到工作日程。

研究场地位于鄂尔多斯高原东南部、毛乌素沙地东北边缘, 是国家重要的能源输出基地和现代煤化工产业基地, 为地方和国家经济发展做出了贡献。由于多年来煤炭资源开发造成的采空塌陷等问题逐步显现, 严重制约地区经济社会可持续发展。

场地地形地貌基本呈西高东低, 由西向东倾斜, 海拔在 1070~1556 m 之间。东部属晋陕黄土高原的北缘水蚀沟壑地貌, 中部为坡梁起伏的鄂尔多斯高原, 西部是风沙地貌。区域内水蚀沟壑发育。整体以丘陵及砂地地貌为主, 场址附近地形平坦开阔, 植被稀少, 场地内地势高差较小。大地构造上位于华北地台鄂尔多斯台向斜东胜隆起区。该构造轮廓表现为极其平缓、开阔。该台向斜北起阴山山脉, 南至秦岭, 东自吕梁山, 西止贺兰山、六盘山。此向斜并不对称, 轴部偏于西侧, 而中部地层倾角平缓。

按《中国地震动峰值加速度区划图》, 场地所在地区的 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度位于 0.05 g 档的加速度分区范围内, 其相对应的地震基本烈度为 VI 度。构造物地基土构成简单, 地层主要由第四系粉细砂、第四系冲洪积成因砾砂或圆砾、第四系粉土及白恶系的泥岩及砂岩构成。

3. 采空区现状

3.1. 采空区开采概况

拟建工程区影响最大矿井面积约 200 km², 主要开采 2-2、4-2 上和 5-2 煤层, 开采深度 200~700 m, 开采厚度约 10 m, 采深采厚比中值约 45, 年产量 2000 万吨。

其中一期工程现开采 2-2 煤层和 4-2 煤层。2-2 煤层设计 8 个工作面平均采高 3.0 m, 平均埋深 300 m, 均已回采完毕, 结束的时间为 2017 年 8 月。4-2 煤层设计 8 个工作面, 平均煤厚 6.0 m, 平均埋深 380 m, 目前正在回采最后一个工作面, 计划 2021 年回采完毕。其余煤层 20 年内无开采计划。

3.2. 采空区稳定性

目前, 该建筑场地内存在数十条塌陷裂缝, 裂缝最大长度 50 m, 宽度 15 cm, 裂缝深度 10~60 cm。另外场地内存在塌陷坑深约 0.5~1 m, 地表水平截面成纺锤状。塌陷坑往往是煤层开采后, 地表有非连续性破坏时, 由于不同部位的沉陷程度不同, 在地表形成的, 塌陷坑的形状取决于松散层的性质和厚度, 在有厚松散层覆盖的情况下, 多呈圆形或井形, 裂缝的发展一般平行于采空区边界, 地表裂缝的形状为楔形, 地面开口大, 随深度的增大而减小, 到一定深度尖灭。裂缝的深度和宽度与有无第四纪松散层及其厚度、性质和变形值大小密切相关。在沉陷区边缘, 由于沉陷裂缝内外两侧的地表下沉程度不同, 形成了台阶, 改变了原地形, 见图 1。



Figure 1. Surface of goaf
图 1. 采空区现状

根据调绘、钻探、物探、调查访问及开采资料分析, 拟建场区开采煤层为: 2-2 和 4-2, 停采时间为 2021 年 7 月。本区煤层顶板岩性为较硬覆岩, 终采时间小于 1.5 年, 确定为不稳定。

4. 采空区稳定性定量评价

地下开采结束以后, 当地表已趋于稳定状态, 不进行工程建设时, 地表会一直保持这种稳定状态。而如果重新建设新工程, 则应当进行采空区稳定性评价, 以满足工程建设的要求。又由于新建工程的荷载向地下有一定影响深度, 当深度与地下采空区的垮落带交叠时, 就会破坏垮落断裂带的平衡状态, 引起采空区活化, 从而使覆岩重新发生移动变形, 因此, 必须对拟建建筑物区域稳定性进行评估。

4.1. 采空区顶板稳定性

地下开采引起的上覆岩层移动和破坏, 改变了上覆岩土层的工程地质性质。煤层开采后, 会在上覆岩层形成垮落带, 在垮落带, 岩层被断裂成块状, 岩土较为破碎, 岩块间存在较大孔隙和裂缝。因此,

垮落带岩层虽经多年的压实, 仍有进一步破坏的可能性。其抗拉、抗剪强度明显低于原岩的强度。在附加应力作用下会进一步引起沉降和变形。

垮落带的发育高度, 导水裂缝带主要与开采煤层的厚度、倾角、开采尺寸、覆岩岩性、顶板有关。

本区煤矿单层采厚不超过 3 m, 累计采厚不超过 15 m, 因此, 计算公式可采用经验公式计算, 见公式 1、公式 2。

$$H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2 \quad (1)$$

$$H_l = 20 \sqrt{\sum M + 10} \quad (2)$$

式中: H_m ——垮落带高度(m);

H_l ——导水裂缝带(m);

$\sum M$ ——煤层累计开采厚度(m);

通过计算可得该矿区最大计算大垮落带高度为 53 m。

4.2. 采空区稳定程度对拟建构造物影响

地下开采引起的地表移动和变形对建筑物的影响一般是由地表通过建筑物的基础传到上部结构的。

地表大面积、平缓、均匀的下沉和水平移动, 对建筑物影响很小, 不致会引起建筑物破坏, 如果建筑物位于盆地的平底部分, 最终出现整体移动, 各部件不产生附加应力。但是如果变形较大, 当水位变化时, 也会带来严重的后果。地表移动盆地内非均匀下沉引起的地表倾斜, 会使位于其范围内的建筑物歪斜。曲率变形表示地表倾斜的变化程度, 建筑物位于正曲率(地表上凸)和负曲率(地表下凹)的不同部位, 其受力状态和破坏特征也不相同。前者是建筑物中间受力大, 两端受力小, 产生破坏时, 其裂缝形状为倒八字, 后者破坏特征为正八字形裂缝。

拟建工程场地项目停采时间为 2017 年和 2021 年, 第一阶段的停采时间已经 3 年, 场地逐步已趋稳定, 采空区基本密实, 发生不连续变形的可能性小, 活化的可能性小, 对工程的影响小。停采时间 2021 年的采空区存在空洞, 局部存在发生不连续变形的可能, 对该范围工程影响程度中等。

4.3. 建筑物荷载对采空区的影响计算

通常当地基中建筑荷载产生的附加应力等于相应位置处地基土层的自重应力的 20% 时, 即可以认为附加应力对该深度处地基产生的影响可忽略不计, 但考虑到采空区的影响, 则应计算附加应力直至地基自重应力的 10% 位置处, 可以认为附加应力对该深度处的地基不产生多大影响。

由于拟建建筑物高度约 10 m, 因此以长 20 m、宽 15 m 的条形建筑物为例进行计算其影响范围: 砖混结构, 标准层高 3 m, 基础为毛石或钢筋混凝土条式基础, 底埋深 2 m, 建筑物的荷载考虑为 20 kN/m² (建筑物层数考虑为 1、2、3、4 层 4 种情况)。

假定整个建筑荷载作用在建筑平面大小的矩形基础上, 按均布矩形荷载计算地基附加应力。计算地基附加应力相当于地基自重应力 10% 处深度, 即为建筑荷载影响深度, 计算结果见表 1。

本区煤层一般在 200~700 m, 采厚约 3 m, 在长壁开采时的垮落断裂带高度约 50 m, 以上计算的一般浅基础建筑物荷载影响深度约为 20 m。

因此计算结果可知, 新建建筑物不会到达采空区断裂带, 不会诱发新的地表移动, 从而不会影响采空区稳定性。

Table 1. Calculation of influence depth of buildings
表 1. 建筑物影响深度计算

楼层	1	2	3	4	自重应力 10% (kN/m ²)
基底荷载(kN/m ²)	60	80	100	120	
附加应力(kN/m ²)	20	40	60	80	
	5	18			16
	6	17			19
	7				21
	8				24
基底以下地基附加应力(kN/m ²)	9	27			26
	10	25			29
	11		34		31
	12		31		34
	13			38	36
	14			35	39
	影响深度(m)	8	12	14	16

5. 结论和建议

5.1. 结论

1) 该采空区虽然空间分布广泛, 且长时间的开采形成了复杂的采空区, 但由于采空区位置相对较深, 停采时间相对较长的采空区不会对新建建筑物产生影响; 而对于停采时间较晚的区域, 新建建筑物应当注意采空区的影响。

2) 通过经验公式定量计算了采空区的垮落带高度约为 50 m, 而计算得到建筑物附加应力影响深度不超过 20 m, 则新建建筑物不会诱发采空区的移动。

5.2. 建议

- 1) 对于停采时间较短的采空区, 当进行土木工程施工时, 应当加强位移的监控。
- 2) 建筑物修建完成后, 应当进行长期的应力应变监控。

参考文献

- [1] 陈金宏, 席冬冬, 王彤标. 山区煤矿采空区场地工程建设适宜性分析[J]. 矿山测量, 2016(1): 102-105.
- [2] 章林. 地下矿山采空区探测及综合治理研究与应用[J]. 金属矿山, 2013(11): 1-4.
- [3] 程力, 刘焕新, 朱明德, 等. 金属矿山地下采空区问题研究现状与展望[J]. 黄金科学技术, 2020, 28(1): 78-81.
- [4] 赵忠海. 地球物理探测技术在北京门头沟小窑采空区勘查中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(1): 60-64.
- [5] 吴盛才, 贺跃光, 徐鹏, 等. 概率积分法预计高速公路采空区地表变形[J]. 安全与环境工程, 2010(5): 119-122.
- [6] 赵奎, 蔡美峰, 饶运章, 饶俊, 朱建新. 采空区块体稳定性的模糊随机可靠性研究[J]. 岩土力学, 2003(6): 987-990.
- [7] 官凤强, 李夕兵, 张伟. 基于 Bayes 判别分析方法的地下工程岩爆发生及烈度分级预测[J]. 岩土力学, 2010, 31(S1): 370-387.
- [8] 陈书平. 高层建筑群下多层采空区场地工程适宜性评价及治理[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.

-
- [9] 赵延林, 吴启红, 王卫军, 等. 基于突变理论的采空区重叠顶板稳定性强度折减法及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2010(7): 1424-1434.
 - [10] 丁陈建, 汪吉林. 神经网络法的采空区地基稳定性评价[J]. 采矿与安全工程学报, 2009(2): 208-211.
 - [11] 蒋卫东, 李夕兵, 胡柳青, 等. 基于灰色定权聚类的采空区上部地表稳定性分析[J]. 矿冶工程, 2002, 22(4): 15-17.
 - [12] 唐硕, 罗周全, 徐海. 基于模糊物元的采空区稳定性评价研究[J]. 中国安全科学学报, 2012(7): 24.
 - [13] 姚建, 王新民, 田冬梅, 等. 采空区稳定性的非线性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2006(8): 908-911.