

基于FLAC^{3D}数值模拟的老采空区剩余沉降量分析计算

——以山东枣庄安博化工项目为例

臧浩,种衍飞,冯堂武,于树宾,张昌龙

(山东省煤田地质局第一勘探队,山东 滕州 277500)

摘要:采空区的剩余沉降值计算是采空区地质灾害危险程度一种定量分析的方法,利用FLAC^{3D}直接模拟早期采煤形成的老采空区塌陷状态,计算出老采空区的剩余沉降量。以山东枣庄安博化工项目为例,首先采用物探、钻探手段探测老采空区深度、顶板塌落与破碎状况以及地质地层信息,其次结合岩心试验地质材料参数结果进行FLAC^{3D}模拟,计算自重作用下采空区剩余沉降量,以及加载建筑后老采空区剩余沉降值,对比了传统概率积分法计算沉降值,结果基本一致,说明计算方法是可靠的。最后分析加载应力与破碎带剩余沉降值的数量关系。为老采空区土地稳定性评估以及剩余沉降量的计算方法提供科学依据与借鉴。

关键词:老采空区;剩余沉降量;FLAC^{3D}模拟;山东枣庄

中图分类号:TU433

文献标识码:B

引文格式:臧浩,种衍飞,冯堂武,等.基于FLAC^{3D}数值模拟的老采空区剩余沉降量分析计算——以山东枣庄安博化工项目为例[J].山东国土资源,2015,31(7):55-58.ZANG Hao, CHONG Yanfei, FENG Tangwu, etc. Calculation and Analysis on Residual Subsidence Amount in Old - Goaf Based on FLAC^{3D} Numerical Simulation[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(7): 55 - 58.

煤炭资源经过几十年高强度的开采,造成大量的地下采空区,早期形成的老采空区大部分的上层覆岩已塌陷形成冒落带、裂隙带和弯曲带,在经过一段时间的自然沉压后采空区逐渐趋于稳定^[1-2],而使得老采空区土地资源较新形成采空区更有可能被有效利用,然而早期煤炭采掘资料留存较少或不准确,采空区的范围、深度、开采煤层厚度等都难以确定,给采空区土地利用带来困难。此外,又因煤炭开采技术方法、覆岩性质以及破坏程度的不同,使得采空区塌陷是一个复杂的、隐蔽的、长期的过程^[3]。采空区剩余沉降量是采空区顶板覆岩塌陷形成破碎带后继续下沉压实所引起的地表沉降值,其中也包括破碎带因外界因素“活化”引起的沉降^[4-5]。准确预测剩余沉降量大小对老采空区的危害程度评价具有重要意义。而现今建设项目采空区地质灾害危险性评价中,应用的预测较多为经验法,极限沉降法、少数

有概率积分法,其主要不足是在定性分析的基础上,依据相关经验或者类似工程选取参数,预测结果存在误差。近年来,FLAC数值模拟在岩土地下工程设计研究中应用越来越广泛,其基于代数表达式代替空间离散点处不确定的场变量,利用有限的差分法求解代数方程求解。FLAC^{3D}适合非线性材料在外力下的屈服流动等大变形模拟,而越来越多的应用研究到下伏采空区稳定性模拟^[6-8],采空区注浆加固模拟等^[9-10]。下面以山东枣庄市安博化工厂区建设项目为例,对老采空区剩余沉降模拟分析计算。

1 工程区概况

1.1 区域采矿条件

项目厂区位于山东枣庄市,厂区300 m×300 m范围内全部为老采空塌陷区,区域范围内为山西组含煤地层,共有可采煤5层,即3煤、14煤、15煤、16

收稿日期:2014-12-18;修订日期:2015-02-09;编辑:曹丽丽

作者简介:臧浩(1989—),男,山东临沂人,主要从事地质环境影响与地质灾害分析工作;E-mail:zanghao77@126.com

煤和 17 煤。3 煤(厚煤层)煤层厚度 6~8 m,平均埋深 180 m,受岩浆侵入大部分变为天然焦,开采困难,局部开采,由于煤矿早已关闭,且采煤时间跨度大,20 世纪 50—80 年代均有开采,且采煤厚度不均一,无保存完整的采煤规划和记录。区域 14 煤厚约 1.2 m,15 煤厚约 0.8 m,16 煤厚约 0.7 m,17 煤厚约 0.65 m,均未开采。项目区域岩层较为平缓,下方无断层等特殊构造。

1.2 采空区的勘测

确定采空区深度范围,首先采取物探勘查,位置示意图见图 1,视电阻率剖面图结果如图 2。根据视电阻率变化情况,推断项目区采空区深度为 155~200 m 之间,深度变化较小,说明塌陷较整齐,开采 3 煤层厚度较为均一。项目区地表相对平坦,最大高差小于 1 m,第四系覆盖表层土以下主要为泥岩砂岩互层、泥岩粉砂岩,3 煤下伏细砂岩,深度约 250 m。

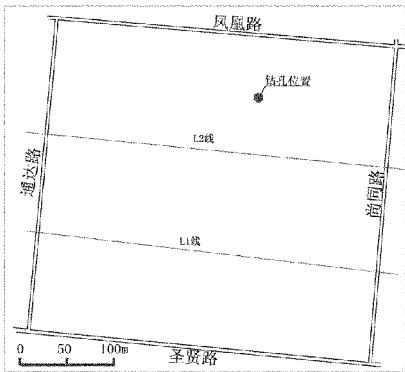


图 1 工程区域示意图

为确定采空区破碎带情况和验证采空区塌陷深度,设计并施工验证钻孔 1 处(图 1),根据钻孔揭露 160~200 m 岩体较破碎,177.1 m 时开始出现严重漏水现象,钻孔水位明显下降,岩心采取率小于 75%。进一步验证采空区的垂直影响范围,该钻孔揭露破碎带范围在 160~200 m 之间。岩心取样试验,统计部分参数结果见表 1。

2 FLAC 数值模拟模型的建立

2.1 模型的建立

根据以上工程参数及地层情况,数值模拟区域选择以项目建设区为核心,X,Y 轴正负方向各外扩 100 m,Z 轴方向以底板下细砂岩埋深约 250 m,即 500 m×500 m×250 m,三维模拟自上而下分表层

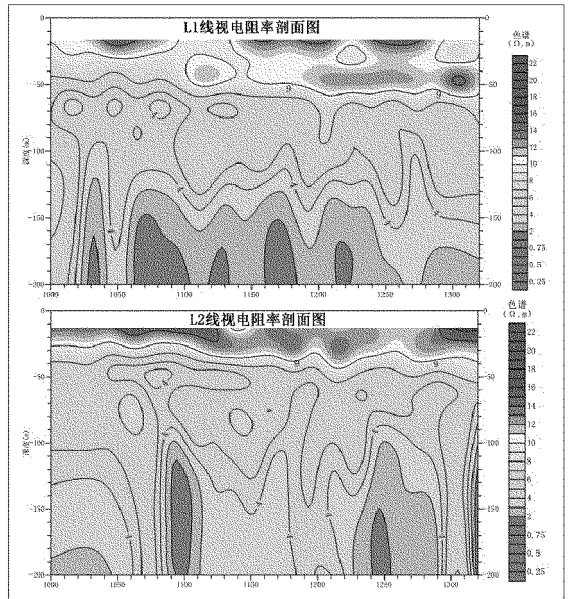


图 2 L1,L2 线视电阻率断面图

土、泥岩砂岩互层、泥岩粉砂岩互层、破碎裂隙带、底板,共分为 5 层,模拟分别以老采空区初始状态剩余沉降量模拟、基建加载状态的二次活化沉降模拟和剩余沉降量分析模拟。模拟边界条件:模型侧面限制水平方向移动,地面限制垂直方向移动,顶面为自由地表(图 3)。

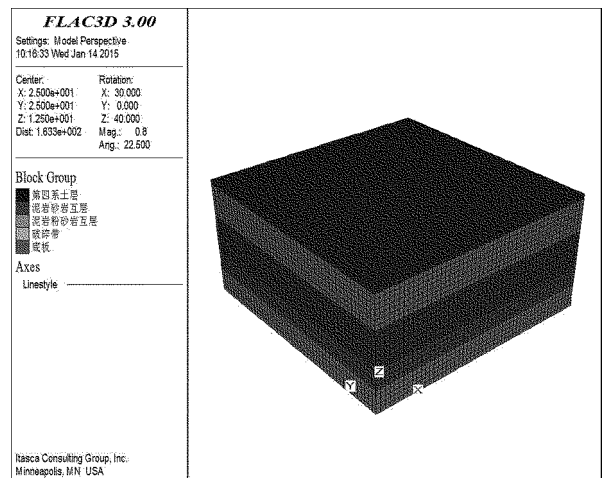


图 3 三维地层网格模型示意图

2.2 力学参数及模型准则的确定

根据采空区验证钻孔柱状图及岩心试验结果,数值模拟对岩层、采煤层及参数进行了相应的调整和简化。第四系覆盖表层土为粉质粘土均值的弹塑性地质材料;泥岩砂岩互层及泥岩粉砂岩互层,底部有少量细微垂向裂隙但水平层状节理发育较弱,仍适合采用摩尔-库伦屈服准则;采空区破碎带为堆积

散体介质,对上覆岩层顶板的支撑可看做弹塑性支撑作用。数值模拟采空区岩层参数如表 1。

2.3 数值模拟方案

根据项目区域地层厚度,地质材料参数,直接建立老采空区模型,计算模型在自重作用下平衡稳定时,地表移动变形状态。模拟模型加载建筑物时,地表移动变形及建筑物附加应力在岩层中影响范围和大小。模型附加应力以化工厂房及设备最大应力取值为 3 MPa。模拟不同的附加应力下,破碎带残余下沉值变化,分析残余下沉值与加载应力关系,由此判断老采空区的沉降稳定性。

表 1 岩土体力学参数

岩土名称	岩层厚度/m	密度/kg/m ³	体积模量/MPa	剪切模量/MPa	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	粘结力/MPa	内摩擦角/°
第四系表层土	10	1850	12	3	0.01	0.02	0.02	18
泥岩砂岩互层	70	2480	8700	1780	35	1.80	1.6	38.1
泥岩粉砂岩互层	80	2550	8320	3720	30.2	1.47	1.4	40
破碎带	40	1600	160	70	8.3	0.02	0.3	25
底板	50	2600	8500	2700	25	1.7	1.2	35

3 模拟结果与分析

3.1 垂向位移与应力变化对比分析

根据以上地质材料参数及模拟方案,Z 向位移模拟结果见图 4,岩体自重作用下老采空区最大剩余沉降量为 91 mm,加载该项目建筑设备后累积最大沉降量为 265 mm,其中去除重力作用后模拟最大沉降为 185 mm,沉降量最大处位于建筑物中心位置。加载应力分布模拟结果如图 5,场区下方加载应力随深度增加而减小,地表加载应力 3 MPa 时,在破碎带地层应力约为 1.7 MPa,其中岩体自重产生应力约为 0.5 MPa,造成破碎带沉降量约 170 mm。为确定结果可靠性,通过概率积分法中最大沉降值计算公式计算结果为 85 mm,与 FLAC^{3D} 模拟结果 91 mm 接近,说明该次模拟老采空区的剩余沉降方法是合理的。

3.2 加载应力变化与破碎带沉降值的关系

为进一步了解加载应力对破碎带的影响,模拟加载不同的应力,采集破碎带沉降值变化,统计结果如图 6 所示,随着加载应力的增加,破碎带沉降量随加载应力增加而增大,而沉降量增加变缓,说明破碎

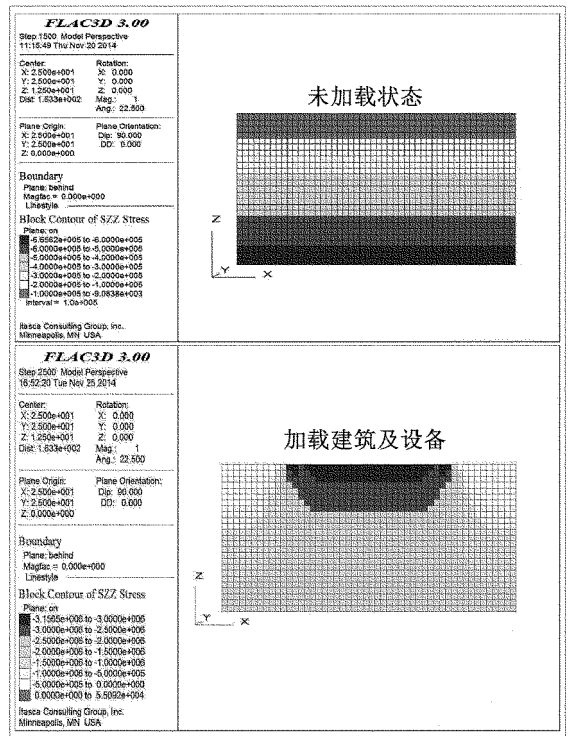


图 4 Z 向位移模拟剖面对比图

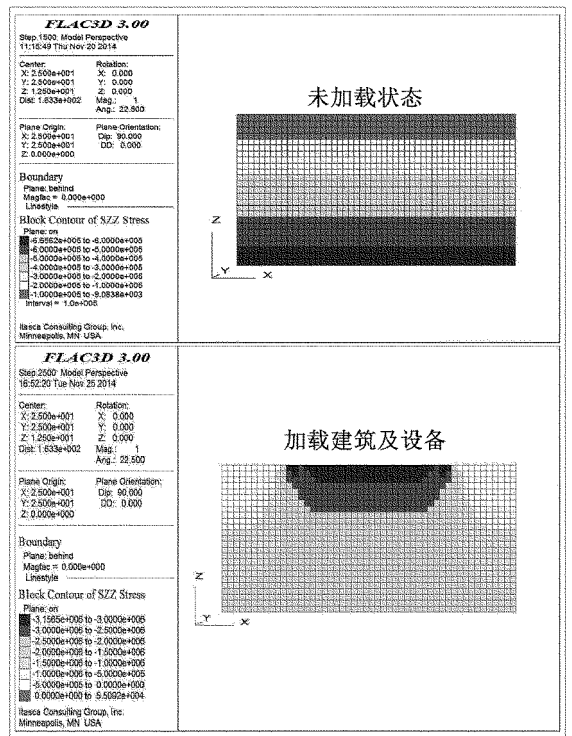


图 5 Z 向应力分布模拟剖面对比图

带逐渐被压实,再次“活化”的几率变小,其密度、体积模量、抗压强度等增加,进一步说明采空区逐渐趋于稳定。因此采空区剩余沉降量与其承载的压力比值越小,采空区越趋于稳定。

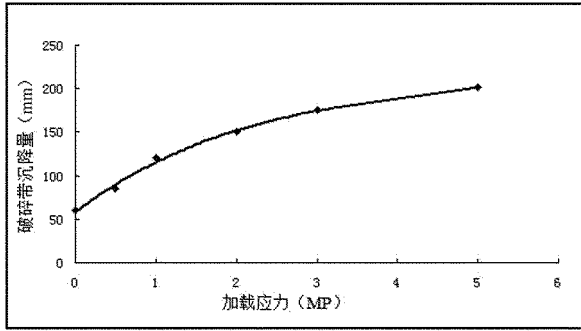


图 6 附加应力与破碎带沉降值曲线图

4 结论

在老采空区剩余沉降计算,因煤炭开采资料较少,分析采空区稳定较困难时,应用 FLAC^{3D} 模拟计算采空区剩余沉降量方法是准确可靠的。然而需要指出的是地质材料参数取值,因不同采空区的塌陷时间不同,破碎带压实程度不同,参数值差别较大,因此参数的选取应尽量试验测得。根据剖面图中 Z 向位移及受力模拟,可知,随深度的增加建筑物下方土体受力分散而变小,Z 向位移的影响范围变小,且同一水平面中建筑物中心 Z 向位移最大,因此在老采空区拟建重要建筑设备下方可依据模拟的 Z 向位移确定防治位置与深度,进行重点处理;同时掌握采空区破碎带沉降值与附加应力变化关系后,对工程项目设计、政府区域土地规划等方面也具有重大的指导意义。

Calculation and Analysis on Residual Subsidence Amount in Old - Goaf Based on FLAC^{3D} Numerical Simulation

ZANG Hao, CHONG Yanfei, FENG Tangwu, YU Shubin, ZHANG Changlong

(No.1 Exploration Team of Shandong Coal Geology Bureau, Shandong Zaozhuang 277500, China)

Abstract: Calculation of residual subsidence amount in mined - out area is a method for analyzing dangerous degrees in goaf quantitatively. The state of early coal forming goaf has been directly simulated by using FLAC^{3D}, and the residual settlement of the old mined - out area has been calculated. Taking chemical engineering project in Zaozhuang city of Shandong province as an example. Firstly, by using geophysical prospecting and drilling methods, depth, roof falling and broken condition of old goaf have been gained. Secondly, combining with parameters results of geological materials obtained from core test, FLAC^{3D} simulation has been carried out, residual subsidence amount under the action of gravity and residual subsidence amount after loading construction of old goaf have been calculated. Compared with traditional probability integral method, subsidence results are similar. It is showed that the calculation method is reliable. Finally the relationship between load stress and residual subsidence have been analyzed. It will provide scientific basis and references for stability evaluation and calculation of residual subsidence amount in old goaf.

Key words: Old - goaf; residual subsidence amount; FLAC^{3D} simulation; Zaozhuang in Shandong province

然而,采用 FLAC^{3D} 模拟方法计算老采空区剩余沉降量时,除建筑加载附加应力的影响因素外,采空区“活化”还受到地下水水位、破碎带岩层侵蚀以及施工建设对岩体扰动等影响,因此在工程实践中,还需考虑项目自身的建设特性。

参考文献:

- [1] 朱广轶,徐征慧,解陈,等.老采空区地表残余移动变形影响函数研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(10):1962-1970.
- [2] 刘建胜,李树荣,王爱民.采用综合物探和钻探方法查明章丘矿山采空区[J].山东国土资源,2007,23(3):17-20.
- [3] 王郑帅.老采空区残余沉降非线性预测理论及应用研究[D].中国矿业大学,2011.
- [4] 邓喀中,谭志祥,张宏贞,等.长壁老采空区残余沉降计算方法研究[J].煤炭学报,2012,37(10):1601-1605.
- [5] 陈琦,陈朝清,李森林.采空区剩余沉降量 FLAC^{3D} 数值模拟计算方法[J].中国新产品新技术,2009,(10):92-93.
- [6] 李培现,谭志祥,王磊,等.FLAC 在老采空区地基稳定性评价中的应用研究[J].煤矿安全,2009,(10):11-14.
- [7] 张海波,宋卫东.基于 FLAC^{3D} 数值模拟的采空区稳定性分析[J].黄金,2013,34(3):31-34.
- [8] 方磊,李春苗,裴宗平.煤矿采空区稳定性评价[J].地下空间与工程学报,2013,9(2):2034-2039.
- [9] 陈利生.基于 FLAC^{3D} 的采空区注浆加固数值模拟研究[J].煤炭技术,2014,33(5):251-254.
- [10] 张勇,曲华锋,佟照辉,等.章丘市复杂采空区场地的灾害治理方案研究[J].山东国土资源,2013,29(10-11):70-75.