

采空区建筑地基稳定性分析及治理设计

文 / 缪嘉莉 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

摘要:近年来,国内城市化进展迅速,为了满足人们日益增长的建筑用地需求,之前被弃用的土地重新进入人们的视野。采空区是由于开采矿产资源形成的地下空洞,在其上部施工时将会对采空区岩层产生扰动,可能引起围岩变形失稳与崩塌,对施工安全与工程质量造成影响。本文针对该问题,以拟建的某地块观音堂采空区为研究对象,运用有限元软件对其进行数值模拟计算,根据上部荷载分布情况拟定治理方案,结合数值计算结果验证治理设计方案的可行性,为施工安全与后期运行安全提供保障。

关键词:采空区;有限元;稳定性分析;治理设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.022

引言

随着矿产资源的开采,我国形成了大规模、大面积的采空区,由于矿山技术落后等原因,大部分采空区形状复杂、不规则,且采空区的隐蔽性较强,空间分布常常难以探明。施工前未对采空区进行合理的治理时,在工程活动的影响下,采空区围岩的原始应力平衡将被打破,导致围岩应力重分布^[1],造成已趋于稳定的老采空区的活化,使地下空洞上的覆岩层产生二次移动和变形,容易造成上覆岩体的冒落、断裂,严重的则会造成地表塌陷,为工程建设带来了极大的安全隐患,对地面建筑物及人民生命财产构成严重威胁。采空区稳定性分析是空区处理的核心问题^[2]。针对采空区地表塌陷与变形的研究问题,国内外学者采用了包括概率积分法、岩石力学理论和数值模拟分析等技术和方法进行了一系列的研究。在评价采空区稳定性的众多方法中,数值模拟方法能够从整体上明确采空区周围岩体的应力分布规律和变形趋势^[3],得到了广泛应用。

本文以某地块观音堂采空区为研究对象,根据可研阶段的物探报告、地质勘察和工作布置为基础,采用有限元计算软件对项目采空区稳定性进行模拟分析,对项目建设有一定指导意义。

一、工程概况

观音堂采空区治理项目建设场地位于湖南省长沙市岳麓区坪塘镇新屋里附近,坪塘大道西侧1km处,巴溪大道北侧。

该石灰岩矿山已陆续开采100多年,开采地层为泥盆系灰岩及泥灰岩,现已停采,采空区面积约16000m²。观音堂采空区范围内存在两区域采空区,第一区域采空区为观音堂石材厂地下采矿所形成,平面面积约7838m²,宽度为4~50m,进深为180~230m,高度为5~17m;第二区域采空区为南方水泥有限公司石灰岩矿山地下采空区,平面面积约9331m²,宽度为20~60m,进深为350~363m,高度为12~23m。除第一区域采空

区③区顶板厚度约为20m,其余区域采空区顶板厚度均为40m左右,最厚处可达60m。

矿层厚度较稳定,产状较平稳,岩石抗压、抗剪强度较高,岩体较完整,未采取支护措施,偶有危矸活石掉落现象,矿体直接顶板为矿体本身灰岩,胶结良好,但有少量裂隙,溶洞破坏了岩石的完整性;底板围岩亦为灰岩,其物理力学性质与矿体基本相同。

采空区上部分布有5个拟建单体建筑。采空区上部荷载分部见下图

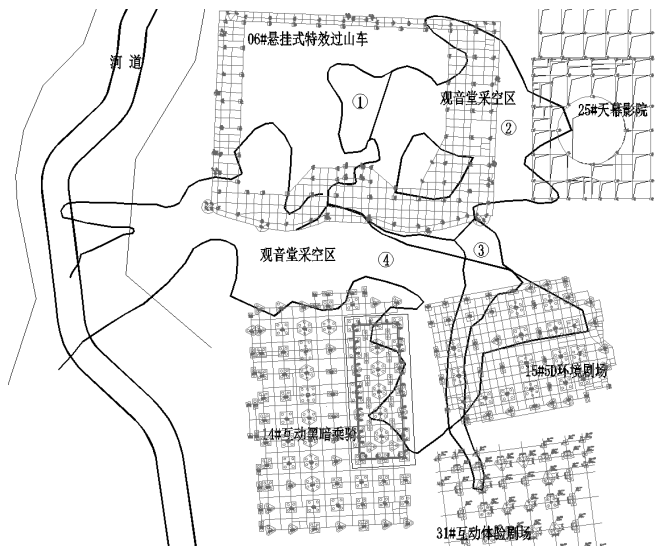


图1 采空区上部荷载分部平面图

二、数值模拟计算分析

(一) 计算参数选用

根据现有资料,采空区上覆岩体多为微风化灰岩,为坚硬岩体,本次计算采用线弹性本构模型。根据《某地块观音堂采空区治理可行性咨询补充勘察报告》中主要物理力学性能指标,微风化灰岩的弹性模量为4.54~7.63×10⁴MPa,因对模型地层有所简化,所以选取微风化灰岩弹性模量的下限值作为计算参数。选用的计算参数如下表:

表 1 采空区有限元计算参数

类别	密度 (Kg/m ³)	弹性模量 (GPa)	泊松比
微风化灰岩	2755	45	0.2
C30 混凝土	2500	30	0.2
气泡混合轻质土	500	1.3	0.2

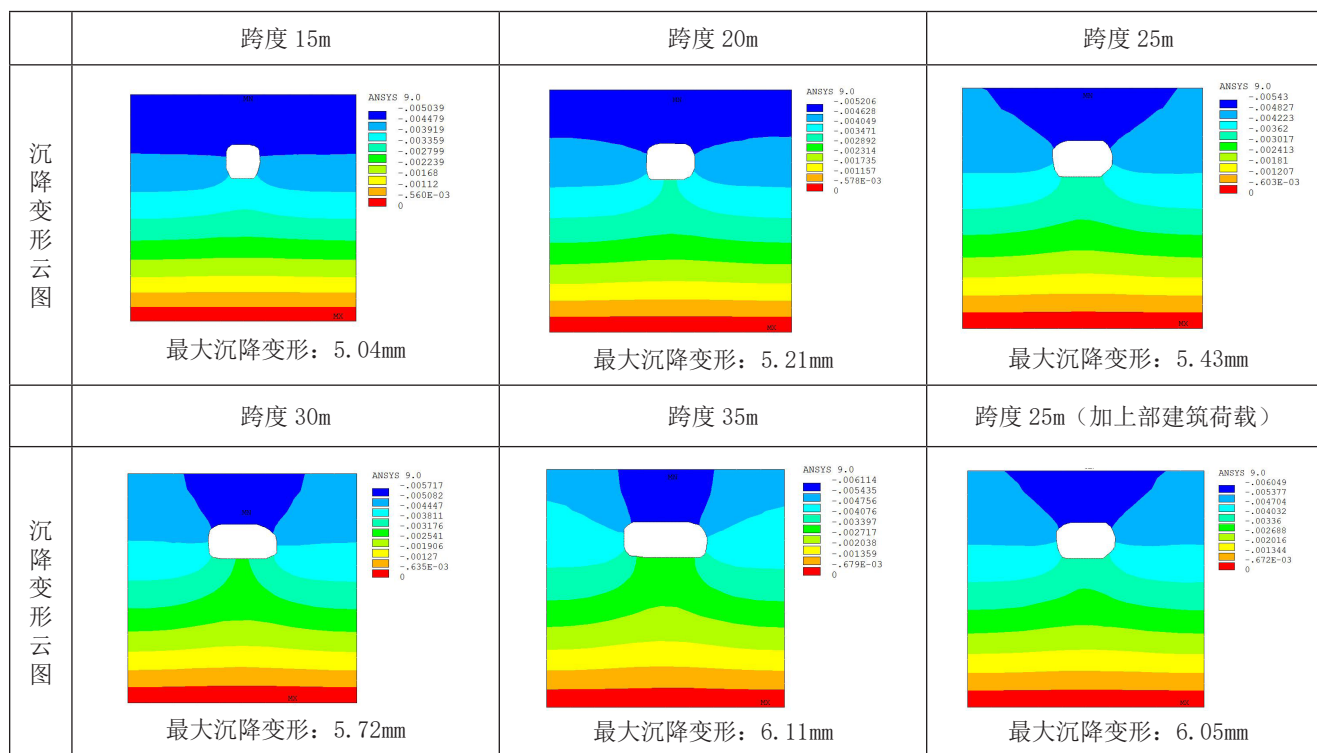
(二) 基本假设

由于采空区地表的实际沉降问题较为复杂，采空区形状不规则，建立三维模型难度高，故本文研究将其简化为平面应变问题，因覆盖层较浅，模拟过程中将地层按微风化灰岩处理，存在于岩体中的节理、裂隙、渗流等影响因素均在物理力学参数选取中统一考虑；建模不考虑构造应力，将自重应力视为地应力。

(三) 各类跨度洞室计算及结论

为了确定洞室跨度变化对沉降变形的影响，利用有限元计算软件建立模型进行计算分析。上覆层厚度取 22 米，计算不同跨度的典型洞室断面沉降变形。对于采空洞上部规划有建筑物的断面，取洞跨为 25m 并施加相应荷载进行计算。计算结果如下：

表 2 不同跨度洞室断面沉降变形



根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)^[4]，采空区地表变形大于 6mm 的地段不宜作为建筑场地。由计算云图可以看出，当洞室上部无建筑荷载时，当洞跨大于 30m，地表沉降将大于 6mm；当洞室上部存在建筑荷载时，洞跨大于 25m 时地表沉降将大于 6mm。考虑到洞室围岩稳定在数值模拟计算中的围岩参数是各向同性且没有考虑岩体内部的裂隙、结构面、断层、溶蚀情况以及参数随时间降低等各种不利复杂因素。同时考虑到采空区洞室开挖断面严重不规则、受力条件较差，初步拟定在采空区洞室跨度以 15m 为界限，超过 15m 时设混凝土墙进行支撑，在 15m 则以内不再设支撑。

(四) 代表性断面复核及结论

综合考虑现采空区的洞室规模及分布情况、围岩条

件、上部岩体覆盖厚度、上部规划的建筑物布置及荷载分布情况、采空区下部泥浆厚度情况及支撑结构方案等，对采空区采取气泡混合轻质土回填及设置钢筋混凝土墙的治理措施，第一采空区因为埋深较第二采空区浅，且上部重荷载较多，岔洞多，采空洞断面较小且不规则，考虑对上部荷载较大的部分及空间较小、不易施工的岔洞部分进行气泡混合轻质土充填，其余的部分根据上部荷载作用的位置，布置 1.5m 厚纵横隔墙，尽量使重荷载作用在隔墙上；第二区域采空区跨度更大，但是埋深较深，除了西南角部分上部有园区水系埋深较浅，因此此部分考虑气泡混合轻质土充填，其余部分采用 1.5m 厚纵墙，间距 15m，1.5m 厚横墙，间距 30m 布置。如下图所示：

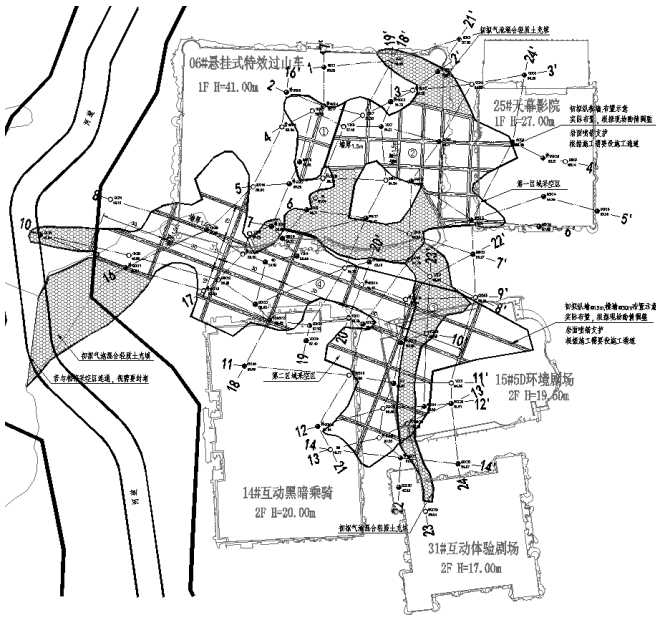


图2 采空区治理平面图

采空区塌陷变形过程一般分为2个阶段，即集中移动期和残余变形期。集中移动期以地表累计下沉值达到10mm时为开始，以连续6个月地表累计下沉值不超过30mm时为结束。采空区的绝大部分变形量发生在这个时期，变形后处于初始稳定状态^[5]。

根据《煤矿采空区岩土工程勘察规范》^[6]中的相关规定，初步判断观音堂采空区集中移动期变形已稳定。考虑到采空区已经过上百年的开采，判断观音堂采空区在不受外界荷载重新扰动的情况下已达到稳定状态。

以工程地质剖面图4-4'为计算断面，计算达到稳定状态后施加上部建筑荷载所引起的沉降变形，根据采空区上部建筑物荷载资料及其相应基底正向荷载及柱轴力，施加的荷载见下表：

表3 集中荷载值 单位 $1 \times 10^3 \text{KN}$

节点编号	35	37	39
荷载	5.77	34.97	10.19

表4 断面4-4' 加墙体支撑前后沉降变形最大值对比

治理方案	未加支撑	加墙体支撑
最大沉降 (mm)	7.05	5.87

根据计算结果，4-4'剖面采空区若不加以治理，施加建筑荷载后的地表沉降变形最大值为7.05mm，不能满足《岩土工程勘察规范》中对建筑地表的变形容许值要求不超过6mm的相关规定，且此区域上部建筑为06#悬挂式特效过山车，对变形影响十分敏感，必须对此采空区进行治理。采用墙体支撑后的地表沉降变形最大值减小至5.87mm，满足规范要求。墙体最大压应力为7MPa，拉应力为0.6MPa，C30混凝土强度能够满足要求。

根据应力计算结果，采空区治理后在顶底板均出现了不同程度的应力集中区，表现为拉应力，顶板拉应力区面积明显大于底板，最大拉应力位于顶板，其值为5.47MPa，大于围岩抗拉强度，可见顶板可能发生破裂、冒落现象。应力集中多发生在采空区形状轮廓发生突变的地方，其受力不均匀容易发生破坏。

采空区两侧围岩出现了压应力集中区，围岩最大压应力为27.5MPa，微风化灰岩抗压强度为60.8MPa，能够满足要求。压应力最大值也发生在形状轮廓不规则的部分。

结语

本文基于长沙观音堂采空区工程实例进行建筑地基稳定性分析及治理设计，主要结论如下：

- (1) 观音堂采空区在不受外界荷载重新扰动的情况下已达到稳定状态；
- (2) 数值模拟结果表明，采空区若不进行处理，施加上部建筑荷载后地基沉降变形量不能满足规范的要求，采用墙体支撑能够起到支撑上覆岩体、缩小整体跨度、提高整体抗变形能力，经计算，治理后的采空区断面沉降变形减小到规范要求范围内，治理设计方案可行；
- (3) 采空区内不规则区域容易产生应力集中现象，需采取一定的支护措施；
- (4) 严格控制采空区上部的荷载，避免出现集中荷载。

参考文献

[1] 马凤山, 丁阔, 赵海军, 郭捷, 卢蓉. 金属矿开采节理演化诱发覆岩变形失稳机制研究 [J]. 工程地质学报. 2018, 26 (1) : 145-156.

[2] 邓岁伟, 冯锐, 赵铭久. 基于ANSYS的采空区稳定性数值模拟分析 [J]. 采矿技术学报. 2018, 18 (1) : 34-37.

[3] 晁军, 雷醒民, 樊育豪. 三维有限元数值模拟在采空区稳定性评价中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2018 (23): 15-18.

[4] 中华人民共和国建设部. GB 50021-2001 岩土工程勘察规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.

[5] 秦爽, 李国和. 基于采空区移动过程的残余变形推论 [J]. 铁道标准设计, 2014, 58 (S1): 22-24.

[6] 中国煤炭建设协会. GB 51044-2014 煤矿采空区岩土工程勘察规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.

作者简介: 缪嘉莉 (1991.10-), 女, 汉族, 湖北省武汉市, 硕士, 工程师, 研究方向: 河道综合治理, 水利水电工程边坡支护。