DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260533

露天矿坑及采空区公路建设方案浅析

吴春生
(华设设计集团股份有限公司,江苏 南京 210014)

摘 要: 我国露天矿坑及采空区分布广泛,越来越多的公路工程项目穿越采矿区,这种复杂的地质条件给公路建设与运营带来了很大挑战,故公路建设方案研究尤为重要,依托湖北省某一级公路项目,根据地质勘察成果,对经过露天矿坑及采空区地区的公路建设方案进行对比分析,结合当地条件提出了采空区治理方案,并从技术可行性、经济、施工难度等方面对比分析了路基填筑与桥梁跨越方案,得出先对采空区采用注浆处理,后对露天矿坑采用填筑处理的综合性建设方案。对该建设方案采用 Flac^{3D} 三维数值模拟计算,模拟结果显示:填筑完成后最大沉降量为 71 mm,整体为基本稳定状态,验证了方案的合理性,可为类似地质条件下的公路工程建设提供一定的参考。

关键词: 露天矿坑;采空区;公路建设;数值模拟
中图分类号: U421.6 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2026)11-0157-03

Brief Analysis on Highway Construction Schemes for Open-pit Mines and Goaf Areas

WU Chunsheng
(China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: Open-pit mines and goaf areas are widely distributed in China. More and more highway projects pass through mining areas. This complex geological condition poses great challenges to highway construction and operation. Therefore, the research on highway construction schemes is particularly important. Relying on a first-class highway project in Hubei Province, and based on the geological survey results, a comparative analysis is conducted on the highway construction schemes passing through areas with open-pit mines and goaf areas. Combined with local conditions, a treatment scheme for goaf areas is proposed. And the schemes of roadbed filling and bridge crossing are compared and analyzed from aspects such as technical feasibility, economy and construction difficulty. A comprehensive construction scheme of first treating the goaf area with grouting and then filling the open-pit mine is obtained. This construction scheme is calculated using Flac3D three-dimensional numerical simulation. The simulation results show that the maximum settlement after filling is 71mm, and the overall state is basically stable, verifying the rationality of the scheme, which can provide certain references for highway engineering construction under similar geological conditions.

Keywords: open-pit mine; goaf area; highway construction; numerical simulation

0 引 言

随着我国交通强国战略[1-2]的稳步推进,公路路网越来越密集,同时考虑到耕地保护,这就要求公路建设不能一味绕避采矿区,所以公路穿越采矿区的情形也逐年增多,不管是露天矿坑还是地下采空区,都对公路的稳定性提出了考验,对公路的建设与运营带来了很大影响,未经处理的采空区带来的沉降与塌陷会导致路基不均匀沉降、路面开裂,桥头跳车等病害发生[3-5],严重影响道路使用功能与行车安全,增加了公路养护和管理费用,因此,针对露天矿坑及采空区上方公路建设方案的研究具有重要意义。

1 工程概况

某一级公路工程位于湖北省,项目路线出隧道后穿越一处露天采矿区,呈不规则椭圆形,面积为 0.365 km^2,于 1984 年闭坑,转入地下开采,形成地下采空区,见图 1。露天开采范围为地表高程 65 m 至

收稿日期:2026-05-12
作者简介:吴春生(1993—),男,硕士,工程师,从事道路设计工作。

坑底整平高程约-10 m,总高差75 m。地下开采范围为高程-50 m至-256 m。露天采矿区于闭坑后部分区域已被废石弃渣回填至地表处。

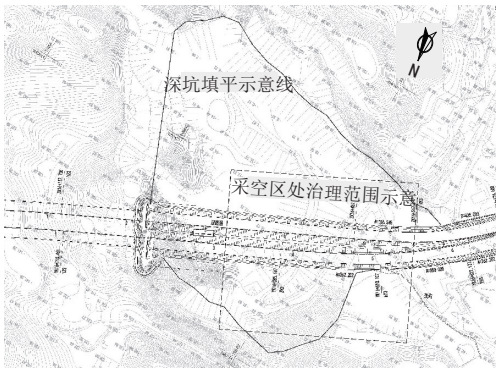


图1　工程平面图

2　工程地质条件

2.1　地形地貌

该路段主要为构造剥蚀低山地貌区,表现为南北底,中部高,地形起伏较大,基岩裸露,坡表多为素填土覆盖。

2.2　地层岩性

根据地质调查与钻探,该路段该路段地层主要为三叠系下统大冶群,第四系残坡积及堆积物零星分布在低洼地段。

2.3　水文地质条件

该露天矿坑周围设有截水沟,大气降水汇入截水沟排走,地表流量较少,地下水主要有基岩裂隙水、岩溶水。

2.4　采空区

地下采空区开采方法为无底柱分段崩落法[6],井下无有害气体。地下开采层有-50、-62、-74、-86、-98、-110、-170、-230 m高程处的平面开采区及巷道。基于开采条件判别法得出该采空区处于基本稳定-欠稳定状态。

2.5　地震

根据地勘资料,工程场区地震抗震设防烈度为Ⅵ度,基本地震动峰加速度值为0.05g,场地反应谱特征周期为0.35 s。

3　建设方案分析

3.1　露天矿坑处建设方案分析

本项目路线K16+240—16+480段为露天矿坑范围,长度240 m,露天矿坑见图2,初步拟定桥梁跨越方案、路基填筑方案,并对其进行对比分析,具体见表1。



图2　露天矿坑图

表1　方案对比表

方案	技术可行性	施工难度	造价
路基填筑	周边土石资源丰富,填筑方便	容易	低
悬索桥	索塔位于临空侧,且位置选址与隧道出口冲突,难度较大	困难	高
钢架桥	桩基位于采空区,且采空区处于基本稳定-欠稳定状态,不满足一级公路桥梁建设要求	较难	较高

经对比得出采用路基填筑方案技术可行,施工难度小,造价低,且回填后可获得土地资源约6.67 hm^2,故建议采用填筑路基方案,填筑示意见图3。

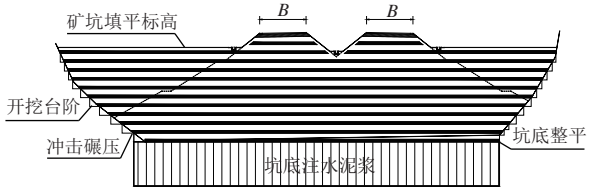


图3　矿坑填筑示意图

具体方案建议如下:

(1)矿坑回填前,先对坑底范围注水泥浆,注浆深度15 m,以加固坑底表层。

(2)回填材料优先采用石质填料,施工时应分层填筑、分层碾压[7];路堤每填高2 m,采用冲击碾压,进行一次补强压实;为避免不均匀沉降,在矿坑填筑范围内每3 m设置一层复合土工格栅[8-9]。

(3)矿坑顶面最上层路基范围外回填细粒土,防止水下渗,细粒土厚度1 m。

(4)矿坑填筑施工中,应严格控制填土速率,并对路堤沉降及稳定进行动态监测。

3.2　采空区治理方案分析

根据地勘资料得出,该采空区需治理。采空区位于地下深处,建议采用局部充填或全充填压力注浆处治。依据采空区公路设计与施工技术规范[10]可计算得出采空区处治的长度、宽度及处治深度,对本项目而言,-50、-62、-74、-86、-98 m采空区均有部

分采空区在经计算的处治宽度和处治长度范围内，-110 m采空区的平面范围则完全脱离了经计算的处治宽度和处治长度范围内，故采空区的处治深度应计算至-98 m以下1 m处，即-99 m处。

本项目帷幕孔间距建议取10 m，注浆孔间距取15 m，常见的注浆材料有水、水泥、粉煤灰、黏土、啥、石屑等材料[11-12]，根据市场调研，粉煤灰的采购成本较黏土更大，且黏土的获取渠道较粉煤灰更为广阔，建议本项目采用水泥黏土浆液，水固比取1∶1~1∶1.3范围内。为了确保浆液不迅速流失，同时增强采空区和巷道对上部荷载的支撑性。在注浆前，先在每个孔内灌入圆砾。

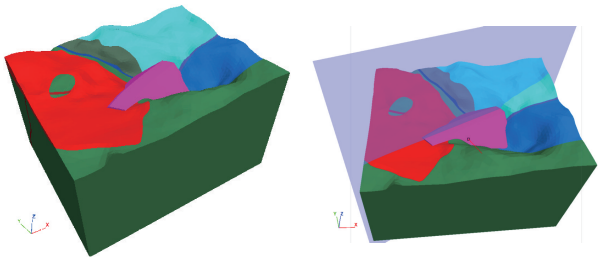
采空区各项检测指标均满足采空区公路设计与施工技术规范[10]要求后，方可进行矿坑填筑。

4　稳定性分析

该复杂路段路基下部存在矿坑回填区与采空区，回填高度75 m，采空区处治深度较深，故坑底地表沉降是影响路基稳定性的主要因素。

本文采用FLAC3D三维有限差分程序[13-14]，它可以模拟岩土的三维力学行为，具有强大的计算能力，且得到广泛应用。按上述建设方案：采空区注浆治理和矿坑填筑实施后，对建成后路基进行三维数值模拟。

根据地勘成果建立如图4所示的数值计算模型。考虑回填材料的弹性模量0.65 GPa，泊松比为0.35，密度2 000 kg/m^3，内摩擦角为29°，黏聚力为0.2 MPa。考虑路基荷载为100 kPa/m，影响宽度为50 m。

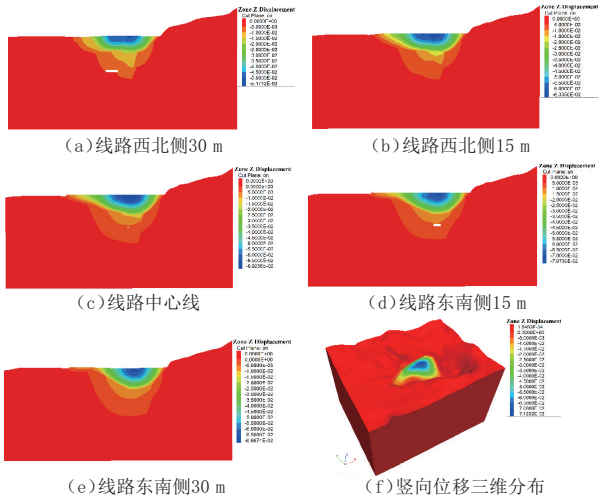


(a)分组及单元划分　　(b)线路剖面位置

图4　数值计算模型

经数值计算后给出5个剖面(线路西北侧30 m、线路西北侧15 m、线路中心线、线路东南侧15 m、线路东南侧30 m)处竖向位移云图以及三维竖向位移云图。整体位移分布见图5，计算得出地表产生的最大沉降变形为71 mm。

根据三维模型分析结果可知：采空区注浆治理完成后，对整体稳定性有利，在填坑和施加路基荷载后，最大沉降量为71 mm，满足一级公路工后沉降要求，因此，该建设方案整体稳定性较好。



(a)线路西北侧30 m　(b)线路西北侧15 m　(c)线路中心线　(d)线路东南侧15 m　(e)线路东南侧30 m　(f)竖向位移三维分布

图5　填坑和施加路基荷载后的整体位移分布

5　结　语

本文对复杂露天矿坑及采空区地质条件下公路建设方案进行了方案分析与稳定性分析，探讨了该类型地区的公路建设可行性，从技术可行性、经济性、施工难易等方面分析了建设方案，运用成熟的Flac3D有限差分程序对方案稳定性进行计算与分析，得出以下结论。

(1)根据地勘资料，对采空区治理范围、措施及验收标准进行了探讨，针对露天矿坑采用路基填筑与桥梁跨越方案，从技术可行性、施工难易及经济性等角度对比分析，认为采用路基填筑方案最优，且填筑后可获得土地资源。

(2)基于Flac3D三维数值模拟计算，采空区注浆治理完成后，回填露天矿坑及路基，回填后最大沉降量为71 mm，故整体为基本稳定状态。

参考文献：

[1]　夏杰长，魏丽．习近平新时代交通强国战略思想探析[J]．河北经贸大学学报(综合版)，2018，18(2)：5-12.

[2]　徐飞．中国建设交通强国的综合基础与战略意义[J]．人民论坛·学术前沿，2018(11)：70-79.

[3]　张敏静．公路路基病害类型及处治对策[J]．灾害学，2001(1)：89-92.

[4]　文勇．高速公路下伏煤矿采空区病害分析及其防治措施[J]．土工基础，2007(1)：35-37.

[5]　杨钦富，王章云．某采空区上部高速公路路基病害综合勘察分析[J]．科学技术创新，2022(17)：127-130.

[6]　樊继平，王斐．梅山铁矿泥矿成因及危害防治[J]．金属矿山，2003(1)：13-15.

[7]　JTG D30—2015 公路路基设计规范 [S].

[8]　刘广发．公路工程中高填方路基施工技术探讨[J]．科技创新导

(下转第197页)