

公路下伏急倾斜煤层采空区全充填压力 注浆加固技术研究

李杰

(新疆交通建设管理局,新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要:采空区严重制约了乌鲁木齐城市的整体规划、生态环境和经济发展。该文针对乌鲁木齐地区煤层具有开采厚度大、埋深浅以及急倾斜等特点,采用全充填压力注浆加固措施对乌鲁木齐市东二环道路工程下伏急倾斜煤层采空区进行治理。研究表明:研究区下伏采空区具有急倾斜、多层采空区共同发育以及越界开采等特征;研究区路段下伏采空区最大剩余沉降量约为 877 mm,尚处于不稳定状态;主要采用全充填压力注浆的治理方案对采空区进行充填和对保安煤柱区进行加固,治理长度 300 m,治理宽度 234 m,注浆量约 45 174 m³;最后经过钻孔检测、孔内波速测井以及地面沉降观测等方法进行了安全检测,浆液在一定程度上起到了加固效果,注浆质量符合要求。

关键词:急倾斜采空区;发育特征;注浆加固;公路;乌鲁木齐

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

乌鲁木齐煤田是中国西北部重要的侏罗纪煤田,辖区内煤炭储量达 100 亿 t 以上。但是经过半个多世纪的开采,在市区地表形成了约 440 万 m² 的地面塌陷,严重影响了市区的生态环境和城市基础建设,同时也制约了城市的整体规划、生态环境和经济发展。

拟建乌鲁木齐市东二环道路工程位于乌鲁木齐市东侧,是国家高速公路网的重要组成部分,同时也是新疆维吾尔自治区 2011—2020 年公路网规划中提出的“三横两纵两环八通道”网络中“两环”的重要组成部分。拟建道路经过某煤矿采空区(K11+260~K11+560),该区域煤层开采具有厚度大(30~40 m)、埋深浅以及急倾斜等特点,致使其开采形成的采空区特征与其他地质条件下的采空区相比具有一定的特殊性。因此,开展公路下伏急倾斜煤层采空区的全充填压力注浆加固措施研究具有重要的意义。

近年来,许多专家和学者从不同角度对道路工程采空区的治理措施进行了研究和实践,并取得了较好的治理效果^[1-6]。此外,由于近年来乌鲁木齐市经济的快速发展和基础设施的修建,同样也面临着很多采空区治理的工程问题,李云龙、张为、张志沛、郭良春等学者提出了该地区采空区治理的可行性方案^[7-10],也为此次研究提供了借鉴。该文从研究区下伏采空区孕育地质条件的角度出发,采用全充填压力注浆加固措

施对乌鲁木齐市东二环道路工程下伏急倾斜煤层采空区进行治理。通过治理措施的研究,可为该地区同类工程的治理提供一种技术方案。

1 研究区地质条件概况

研究区属于中温带半干旱大陆性气候。研究区线路工程分布有八道湾河和水磨河,均为研究区内常年性河流。此外,研究区位于八道湾河的河谷区,地势总体呈现南高北低、东高西低的特征,海拔高度 700~800 m。研究区分布的地层主要为第四系和侏罗系。其中第四系主要由第四系全新统冲洪积层、上更新统冲洪积和风积层组成。而侏罗系主要包括下侏罗统三工河组、中侏罗统西山窑组和头屯河组。研究区范围内地质构造包括八道湾向斜、七道湾背斜以及碗窑沟断层等^[10]。

由于研究区水文地质结构和工程地质结构在开采扰动条件下进行了重构,致使区内下伏采空区地下水的水文地质条件变差。此外,由于西部矿区上覆基岩均为侏罗系和白垩系弱胶结岩石,与东部矿区石炭系覆岩物理力学性质具有较大的差异,使得煤层高强度开采后,采空区的工程地质条件变得更差。

2 研究区下伏采空区的发育特征分析

通过野外实地勘察发现,研究区下伏急倾斜采空区的发育特征主要表现在以下几个方面:

- (1) 煤层采空区呈急倾斜,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。区内构造简单,总体为一向斜褶皱,断裂不发育,煤矿采空区亦呈急倾斜状分布。由于是急倾斜煤层,采空区埋深变化大,为 $30\sim 190\text{ m}$ 。
- (2) 多层采空区。煤矿为急倾斜近距离多煤层开采,采用仓储式开采方式,开采煤层为 B1~B35,煤矿开采总厚度为 $30\sim 64\text{ m}$ 。采空区冒落、裂隙,离层、抽冒等现象明显。
- (3) 越界开采。由于当时管理不到位,沿线煤矿

不同程度存在越界开采情况,致使采矿资料不详。部分保安煤柱被开采,导致采空区变形情况更为复杂。

乌鲁木齐市东二环公路主线经过军区煤矿采空区。军区煤矿 20 世纪 50 年代开始建井投产,2010 年停产。主采煤层为第三组 B7~B20 煤层,煤层总厚度为 64.0 m ,煤层产状为 $310^{\circ}\angle 70^{\circ}$ 。军区煤矿采空区位于线路里程 K11+300~K11+560。通过现场实地勘察发现,军区煤矿向拟建道路方向有越界开采现象,八道湾公路旁墙体有拉裂和房屋开裂的现象,矿区内发现大量的采空区塌陷坑和裂缝。军区煤矿采空区特征如表 1 所示。

此外,根据《矿山开采沉陷学》中的相关经验公式^[11],对研究区下伏采空区的下沉变形量的特征值进行了预计计算,结果如表 2 所示。

表 1 军区煤矿采空区发育特征

里程桩号	开采方向与路线的角度关系	影响路线范围		采煤厚度/m	回采率/%	剩余变形/%	剩余空洞体积/ m^3
		长/m	宽/m				
K11+300~K11+560	近 90°	260	216	64	30	10	35 430

表 2 军区煤矿采空区下沉变形量计算结果

煤层	采厚/m	最大剩余下沉量/mm	最大倾斜值/ $(\text{mm}\cdot\text{m}^{-1})$	最大曲率值/ $(\text{mm}\cdot\text{m}^{-2})$	最大剩余水平移动/mm	最大剩余水平变形值/ $(\text{mm}\cdot\text{m}^{-1})$
第三组	64	877	17.07	0.51	210	2.21

由表 2 可以看出:军区煤矿采空区估算最大剩余沉降量约为 877 mm ,尚处于不稳定状态;同时,下伏采空区的剩余变形量也不能满足公路路基规范对变形的要求。

3 研究区下伏采空区的工程治理措施

由于研究区下伏急倾斜采空区还处于不稳定状态。因此,为确保乌鲁木齐市东二环道路工程的安全运营,需要对研究区下伏急倾斜煤层采空区的治理措施进行研究。

3.1 治理方案

目前国内外对采空区的治理措施主要分为注浆法和非注浆法。注浆法的主要适用范围包括提高地基承载力的注浆、帷幕注浆以及防止地表下沉的注浆等。而非注浆法包括放顶处理、换填夯实或强夯处理、深坑开挖以及桥跨方法等^[2,12]。针对乌鲁木齐市东二环道路工程性质和急倾斜煤层采空区的特点,主要采用全

充填压力注浆的治理方案对采空区进行充填和对保安煤柱区进行加固。研究区下伏采空区治理工程纵断面图如图 1 所示。

3.2 治理范围

(1) 治理长度

该采空区治理段路线走向与煤层走向近似垂直,道路纵向采空区治理长度为采空区在路线上的投影长度与采空区上山影响带及下山影响带在线路上的投影长度之和。采空区治理长度计算示意如图 2 所示。

采空区治理长度可按式(1)计算:

$$L=S+(2h\cot\phi+1/2H_{\text{F}}\cot\beta+H_{\text{上}}\cot\gamma)$$
 (1)

式中: L 为垂直公路中线的水平方向宽度(m); S 为采空区在路线上的投影长度(m); h 为松散层厚度(m),根据勘察结果取 20 m ; ϕ 为松散层移动角($^{\circ}$),取 40° ; H_{F} 为下山方向采空区覆岩厚度(m); $H_{\text{上}}$ 为上山方向采空区覆岩厚度(m); β 为下山方向采空区覆岩移动角($^{\circ}$),取 35° ; γ 为上山方向采空区覆岩移动角($^{\circ}$),取 75° 。

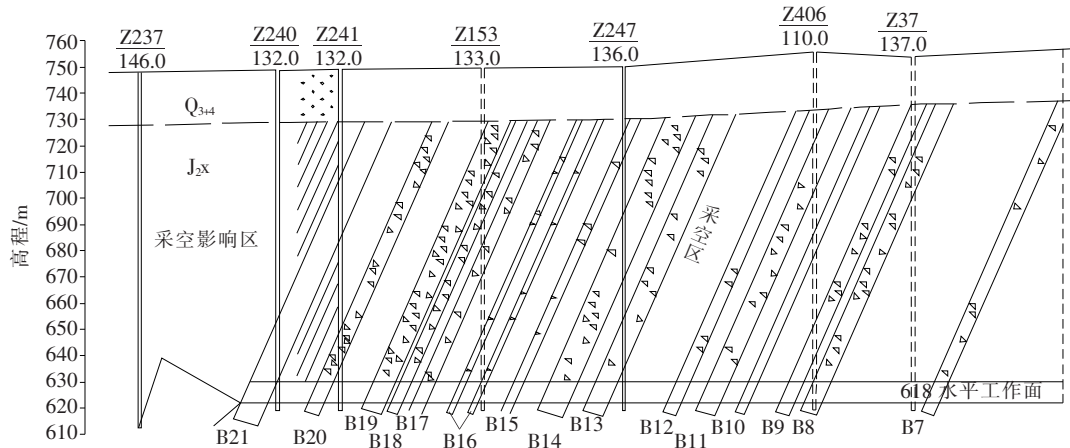


图 1 采空区治理工程纵断面图(单位:m)

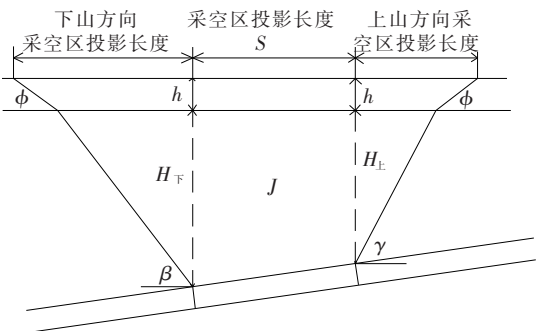


图 2 采空区治理长度计算示意图

军区煤矿位于丰源煤矿、八道湾煤矿之间,采空区相距很近,采空区塌陷后冒落、裂隙相互叠加影响,整体连通成一个塌陷区域。因此,在采空区治理长度计算时,将 3 个煤矿采空区纳入一个整体考虑。军区煤矿采空区治理长度与丰源煤矿及军区煤矿相接,治理长度为 300 m。

(2) 治理宽度

道路横向治理宽度计算示意图 3。

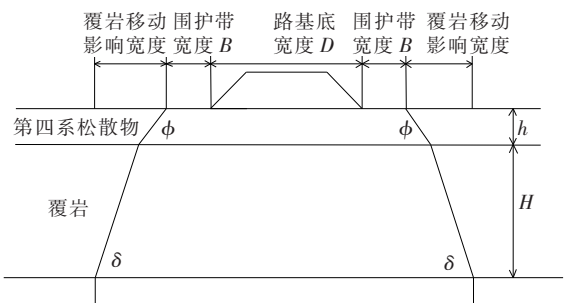


图 3 采空区治理宽度计算示意图

采空区治理宽度可按式(2)计算:

$$M = D + 2B + 2(h \cot \phi + H \cot \delta) \quad (2)$$

式中:M 为垂直公路中线的水平方向宽度(m);D 为

公路路基底面宽度(取道路红线宽度 70 m);B 为路基围护带一侧的宽度(取 10 m);h 为松散层厚度(m),根据勘察结果取 20 m;H 为采空区覆岩厚度(m);phi 为松散层移动角(°),取 40°;delta 为采空区覆岩走向移动角(°),取 75°。

将以上参数代入式(2)可计算采空区治理宽度为 216 m,为了考虑两侧采空区影响,治理宽度可在计算宽度的基础上增加 18 m,即治理宽度为 234 m。

(3) 治理深度

采空区边界以内治理深度为地面至采空区底板以下 1 m 处,采空区边界外侧至岩层移动影响范围以内根据矿层移动影响角确定。

(4) 注浆量

注浆量按式(3)进行估算:

$$Q = A \times \Delta V \times \eta \div C \quad (3)$$

式中:Q 为注浆总量(m³);A 为浆液损失系数,取 1.2;Delta V 为采空区剩余空洞体积(m³),据勘察结果约为 35 430 m³;eta 为浆液充填率,取 85%;C 为浆液结石率,取 80%。

通过式(3)估算出军区煤矿采空区注浆量约为 45 174 m³。

3.3 浆液材料

根据中国对采空区治理所使用的浆液类型,并结合乌鲁木齐地区材料供给情况,主要采用水泥粉煤灰浆液。浆液材料主要由水、水泥以及粉煤灰等组成。速凝剂宜用水玻璃,骨料可为当地产中粗砂或石屑。

3.4 工艺流程

全充填压力注浆法是在地表钻孔,通过注浆泵、注浆管,将具有充填、胶结性能的浆液注入采空区冒落带及导水裂隙带中,浆液经过硬化,使得采空区上覆破碎

基岩的强度增加,起到支撑作用,进而达到满足公路路基规范对变形的要求。具体施工工艺流程见图4。

3.5 注浆效果

通过钻孔检测、孔内波速测井以及地面沉降观测对乌鲁木齐市东二环道路工程下伏急倾斜煤层采空区的加固效果进行综合评价。

(1) 钻孔检测。注浆施工结束6个月后,按注浆孔和帷幕孔总数的2%设置检查孔数量。通过钻孔施工过程情况和浆液结石体岩芯抗压强度试验结果可以看出:在钻探过程中未见异常情况,全孔返水,并在检测孔内局部可见呈碎块、碎石状浆液结石体;此外,钻孔内浆液结石体岩芯无侧限抗压强度平均值为4.7 MPa,满足规范要求(>0.6 MPa),说明注浆效果良好。

(2) 地面沉降观测。在治理工程施工期间设立地面沉降观测点4个。监测时间自2018年6月1日至2019年5月31日,时长12个月,共进行了37期地面沉降观测工作。研究区JC1监测点沉降曲线见图5。

雪降临融化,工程施工期间,沉降反应剧烈;2019年1月至5月沉降变化非常小,在工程施工结束期间,此阶段沉降稳定。浆液在一定程度上起到了加固效果。

(3) 孔内波速测井。通过孔内横波波速试验检测结果可以看出:检测钻孔内剪切波速趋势正常,无异常情况,平均剪切波速为1 095.85 m/s,满足规范要求(>250 m/s),说明注浆质量符合要求。

4 结论

(1) 根据拟建道路工程性质及下伏急倾斜煤层采空区的状况,采用全充填压力注浆的治理方案对采空区进行充填和对保安煤柱区进行加固。

(2) 研究区采空区的治理长度300 m,宽度234 m,治理深度为地面至采空区底板以下1 m,注浆量约45 174 m³;浆液类型主要采用水泥粉煤灰浆液,速凝剂宜用水玻璃,骨料可为当地产中粗砂或石屑。

(3) 钻孔检测、孔内波速测井以及地面沉降观测等方法检测结果表明,浆液在一定程度上起到了加固效果,注浆质量符合要求。

参考文献:

[1] 李晓红,姜德义,刘春,等.公路隧道穿越采空区治理技术研究[J].岩土力学,2005,26(6):73-77.

[2] 王新锋.榆神高速公路路基采空区治理技术研究[D].西安:西安科技大学,2013.

[3] 王锐,田娇.上覆煤层采空区对公路隧道的影响分析及处治技术[J].中外公路,2019,39(5):194-197.

[4] 付小铜.营涝公路下伏采空区探测与注浆治理实践[J].中国矿业,2018,27(7):161-162.

[5] 高崇华,岳志勤,丁浩江,等.成贵铁路工程环境与线路选线设计[J].铁道工程学报,2019,36(6):9-13.

[6] 李云龙,郭春颖,徐敏,等.六道湾煤矿西翼塌陷区沉降变形规律研究[J].中国矿业,2010,19(5):94-96.

[7] 蔡文惠.新疆乌鲁木齐市六道湾煤矿塌陷区的勘察及环境治理[D].阜新:辽宁工程技术大学,2007.

[8] 张为,信晓东,李玲.六道湾煤矿开采对城市环境的影响[J].煤矿安全,2010,41(2):101-102.

[9] 张志沛,刘杨,任建军,等.急倾斜煤层采空区注浆工程施工工艺研究[J].施工技术,2018,47(1):134-137.

[10] 郭良春.乌鲁木齐市东二环急倾斜煤层采空区稳定性与治理方案分析[D].西安:西安科技大学,2012.

[11] 郭增长,柴华彬.煤矿开采沉陷学[M].北京:煤炭工业出版社,2013.

[12] 李文,李健.资源整合煤矿采空区灾害特点及防治对策[J].煤矿安全,2015,46(7):179-181.

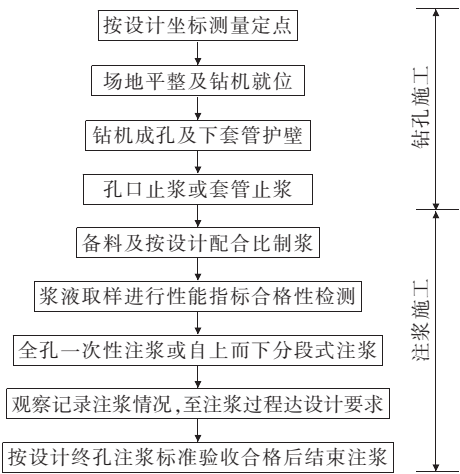


图4 全充填压力注浆工艺流程图

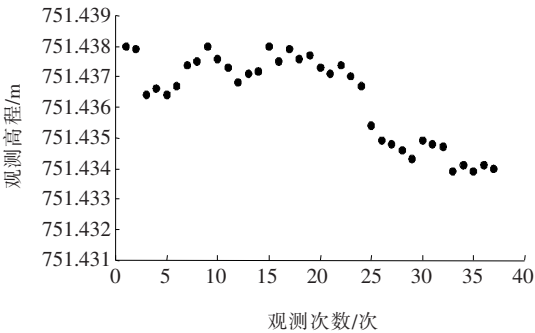


图5 JC1监测点沉降曲线图

分析沉降观测成果可知:在2018年6月至10月工程施工期间为沉降活动期,沉降量变化大,沉降没有规律性;2018年9月至11月沉降变化较大,主要为冰