

徐州矿区采空塌陷区公路工程地质灾害与防治对策分析

童立元 刘松玉 方 磊

(东南大学交通学院 南京 210096)

摘 要 煤矿采空塌陷是影响徐州地区区域规划与交通建设的重要环境岩土工程问题。本文对徐州东部、西部及北部矿区的工程地质特征进行了研究,并分析了采空塌陷区公路灾害类型与特点,提出了相应的灾害防治对策。

关键词 徐州矿区 采空塌陷 公路 工程地质 防治对策

中图分类号:TD262 **文献标识码**:A

ENGINEERING GEOLOGICAL HAZARDS OF ROAD CONSTRUCTION IN XUZHOU MINING SUBSIDENCE AREA AND THEIR CONTROLLING MEASURES

TONG Liyuan LIU Songyu FANG Lei

(Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract Mining subsidence is an important environmental geotechnical engineering problem in regional planning and transportation construction in Xuzhou. Engineering geological characteristics in east, west and north of Xuzhou are studied. The types of road hazards and their characteristics are also analyzed. Accordingly, the controlling measures are recommended.

Key words Xuzhou mine area, Mining subsidence, Highway, Engineering geology, Controlling measures

1 引 言

徐州矿区是一个具有 100 多年开采历史的老矿区,其煤田形成于两亿年前,包括徐州东部矿区、西部矿区和北部矿区^[1],总面积约 1400km²。长期的地下开采,导致徐州地区环境出现一定程度的退化,次生地质灾害频发^[2],其中大面积的采空塌陷尤为典型。

据徐州路网规划,以京福、京沪、连徐、宁宿徐、新规划的烟台-徐州-武汉高速公路、高速环城公

路、环城铁路以及京沪高速铁路为主,这些在建或拟建的重大道路工程,在通过矿区时,不可避免地遇到采空塌陷区这一特殊环境岩土工程问题,如路基下沉、路面凹凸不平及路面裂缝、桥梁下沉、地下管线断裂、排水设施失效等,矿区不少路段虽经多次修复,仍然不能从根本上解决问题。

因此,针对徐州矿区的采空塌陷区工程地质特征进行全面的调查研究,对地质灾害实施动态监测、灾情评价、趋势预测,进行防灾减灾决策与评价,对矿区重大道路工程建设尤为重要和迫切。

* 收稿日期:2004-06-28;收到修改稿日期:2004-09-16。

第一作者简介:童立元(1975-),男,讲师,博士,主要从事岩土工程的教学与科研工作。Email:liyton2008@163.com

2 公路沿线采空区分布与工程地质特征

京福高速公路徐州段穿越了徐州矿区东部、西部及北部大面积采空塌陷区,对拟建有非常大的威胁^[3]。采空塌陷区赋存地质背景的调查研究是一项基础性工作,对于工程勘察、稳定性评价、处治技术的选择等都具有很重要的意义,直接影响公路工程路线决策、工程治理方案、工程造价预算等各个环节。

2.1 东部矿区

东部矿区,煤层埋藏浅,开采矿山多,采空塌陷主要分布在大黄山矿、权台矿、青山泉矿、韩桥矿、董庄矿,同时也有较多小煤窑分布,特别是小煤窑数量远比北部、西部矿区多。其中,大黄山矿主要开采1[#]、3[#]、9[#]煤,最深开拓水平为-650m,现矿井报废。泉台矿主采7[#]、9[#]煤,开采水平-500~-700m。其他小矿、小煤窑基本上沿1[#]、33[#]煤露头带分布,开采浅部煤层和大矿的边角煤,目前这些小矿和小煤窑绝大部分被关闭。

小窑采空区作为采空区中一典型类型,主要具有以下特点:

(1) 开采规模小—中型,矿层开采系统不规则,无完整地质、开采和采空区处理方法的资料。

(2) 矿层埋深较小(一般在200m之内,大多数在100m之内),开采时支护系统比较简单,开采后以残留煤柱来支撑上覆岩体,但其尺寸小、强度低,难于保持长期的稳定。开采后采空区一般任其自行垮落,形态一般极不规则。

(3) 采空区上覆岩层破坏规律性差,开采空洞常常欠充填或垮落岩块压密程度差,残留煤柱破坏和残留空洞坍塌,通常会造成地表的突然塌陷,而塌陷发生时间和持续时间很难预计,因此此种危害对公路工程危害最大。

(4) 地表变形常常以裂缝和台阶状塌陷盆地为主。

由于小窑采空区具有以上特点,因此,工程建设时,老窑采空区的开采范围和影响范围很难确认,难以认识其真实面目,对公路工程的潜在威胁很大。

2.2 西部矿区

西部矿区主要包括张集、新河、义安、张小楼、大刘、九里山、王门矿等。张集矿主采7[#]、9[#]煤,开拓水

平最深为-600~-800m。新河矿位于市区的西南方向,大刘矿的南侧,主采7[#]、9[#]、20[#]、21[#]煤,开拓水平最深-300m。义安矿在新河矿的西北方向,主采7[#]、9[#]煤,开拓水平最深-500m。大刘矿在新河井的正北方,开采2[#]、7[#]煤,开拓水平最深估计在-500m,九里山矿开采20[#]、21[#]煤,目前正常生产。

2.3 北部矿区

北部矿区主要包括庞庄、夹河、王庄、柳新、拾屯矿。庞庄、夹河主采2[#]、7[#]、9[#]煤,开拓水平最深为-550~-650m,目前正常生产。王庄矿开采2[#]、7[#]煤,柳新矿开采2[#]、7[#]、8[#]煤,开拓水平最深为-650m。拾屯矿位于庞庄矿南侧,目前正在生产。城北地区小煤窑分布情况不详。

徐州市区北部和西部主要为国营大中型矿井,资料齐全,开采正规,开采后的采空区形态较规则,开采技术条件清楚,开采范围和影响范围明确,有利于评价采空塌陷区对公路建设的影响。

西部和北部采空塌陷区主要具有如下典型特征:

(1) 工作面开采工程中或结束时,一般采用全部垮落法处理采空区,在特殊情况下(特厚矿层及三下采煤)采用充填法;

(2) 部分开采老采空区(房柱式或巷柱式)破坏和活化的主要控制机制为煤柱压入底板和底鼓、煤柱破坏及顶板坍塌。壁式老采空区,以地面工程荷载和其他外力作用下采空区上覆破碎岩体的次生砌体梁式结构或关键层失稳为地面产生严重沉陷变形的的主要原因。

(3) 采空区埋深变化大(-50~-800m),且地面塌陷范围广,积水严重;

(4) 区域水文地质条件简单—复杂,有多个含水层,地下水丰富;

(5) 多层重复开采,塌陷规律复杂、覆岩破坏严重。

2.4 煤矿采空塌陷区发展趋势预测

煤矿采矿塌陷区的分布与扩展规律可以综合利用卫星遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术进行研究^[4]。图1和表1分别展示了徐州北部和西部矿区不同时期采空塌陷区面积对比及扩展情况,对于分析采空塌陷区对高速公路建设的影响,以便于进行工程可行性研究并对线路进行优化设计很有意义。

表1 不同时期塌陷区面积对比及扩展

Table 1 Comparison of collapsed areas and its expansion in different time

时间	塌陷区面积/m ²	1987~1994 扩展面积/m ²	1994~2000 扩展面积/m ²
1987年9月	12032652.72	14422218.23	12583353.00
1994年9月	26454870.95		
2000年9月	39038223.95		

从表1和图1可知采空塌陷区每年以近200万m²的速度增长,扩展速度基本均匀,其扩展方向主要为西北方向。在徐州市西北部,塌陷区增长迅速,这与徐州煤田的煤层赋存状况及开采推进方向是相吻合的。

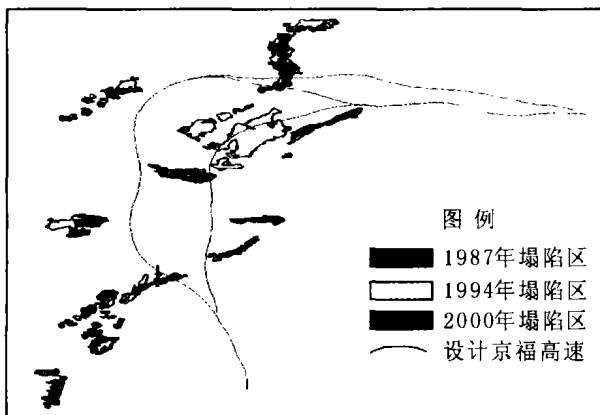


图1 徐州北部和西部采空塌陷区扩展情况

Fig. 1 Development of mining subsidence areas in north and west of Xuzhou

3 采空塌陷区公路灾害类型与特点

由于开采沉陷,采空塌陷区地表将产生两种移动和三种变形:垂直下沉、水平移动、倾斜变形、曲率变形与水平变形。道路工程在通过采空塌陷区时可能会发生如下几种主要病害:

3.1 路基病害

对于路堤的过量下沉,可能在竖直方向产生拉伸变形,将引起路堤本身的松弛,而且有可能在不同压实度的土层中产生脱层,从而影响路基的承载力,加大地表的倾斜及拉伸变形,对路基的稳定性产生影响。对于路堑来说,如果其上方边坡中有采空区,则因开挖形成临空面,此时要考虑地面倾斜和水平拉伸变形对边坡稳定性的影响,有可能导致滑坡。对于路基来说,最为严重的情况,是突然塌陷的发

生。

路基在下沉的同时,将伴随着水平方向上的移动,垂直于路线方向的横向移动将改变路基的原有方向。沿路基纵向的地表水平变形,使路基受到拉伸和压缩。由于这两种移动的不均匀性,会使公路发生坡度、竖曲线现状改变和沿路线方向的变化等,在荷载行车作用下,极易发生事故。

地下开采引起的地表倾斜和水平变形,对路基的稳定性有一定的影响,严重时会产生高路堤滑坡。因此,采空塌陷区路基,特别是对于原来稳定性较差的高路堤、陡坡路堤和深路堑都要进行稳定性验算。可根据公路路基设计规范(JTJ013-95)采用圆弧滑动法进行验算,高速公路路堤验算稳定系数不能小于1.25。

在地下水位较浅的地段,当路基两侧下沉到地下水位标高以下时,部分路堤沉入水位以下,路基两侧积水,路基坡脚被水冲刷可能造成坍塌,进而危害路基、路面强度和稳定性。

3.2 路面病害

路基随地表的下沉而下沉,因地表变形的不连续性与无规律性沉降的不均匀性,使得路面的原有坡度出现无规律的变化。当地表倾斜方向与路线坡向一致,路线坡度将增加,反之,路线坡度将减小甚至形成反坡。线路坡度的增减,将使移动盆地内各段路线的车辆运行阻力有所增减,路面将产生沉降。

地表不均匀下沉,路线坡度改变时,必然导致路线在竖直方向上弯曲,改变原有涉及的曲率半径。这对公路运行的车辆及路基都会造成危害,严重时造成行车事故。

3.3 桥梁病害

采空塌陷区建桥主要涉及到桩基工程的可行性问题、桥梁钢筋混凝土板的变形控制问题以及桥梁建成后的维护问题^[5],产生的病害主要有桩基、桥墩与桥台大变形,拱结构桥的断裂、下沉和横向位移过大等。桥梁属于特殊构筑物,承受变形的能力较小,产生变形后不易消除。到目前为止,采空塌陷区桥梁建设并没有成熟的技术经验。

3.4 隧道病害

当隧道位于采空塌陷区上方时,由于采空区上方岩体形成三带,覆岩产生塌陷与冒落,围岩岩体节理和裂隙发育。当修建隧道时,其脆弱的平衡状态,

极可能再度活化,产生大的变形,从而对隧道及围岩稳定构成严重威胁,足以使隧道衬砌结构产生裂缝,隧道也出现下沉,同时也会造成水平方向岩体移动。特别是开采倾斜或急倾斜矿层,而隧道位于上坡方向时,水平移动更大,造成隧道中线偏移^[6]。

当隧道位于采空塌陷区下方时,由于地下水富存,采空区积水或地表渗水经采空形成的地下网状岩体裂隙系统渗入隧道与周围岩体,进一步的侵蚀围岩,降低其力学强度,破坏岩体完整性并加速了隧道围岩的变形。

另外,隧道开挖后,造成应力的重新分布,而由于采空区冒落充填带与裂隙破碎带存在,大大降低了围岩的力学性能与完整性,应力分布趋于稳定的时间,可能比通常的围岩条件下要长得得多,故松弛带流变时间延长,也是造成隧道变形破坏的原因之一。

4 公路采空区灾害防治对策

4.1 路线方案比选

(1)路线穿越采空塌陷区地段稳定性初步评价;

(2)路线穿越采空塌陷区的可行性评价;

(3)采空塌陷区处治技术的可行性、合理性分析评价;

(4)采空塌陷区处治工程经济指标的估算;

(5)综合考虑煤矿采空区处治技术、施工工期、处治费用等相关因素,结合公路工程的具体特征,充分考虑路线方案对煤炭资源的影响,对预可行性研究报告中提出的若干穿越采空塌陷区的路线方案进行必要的比选和论证工作,合理、经济地推荐穿越采空塌陷区的线路走廊带。

4.2 灾害勘察与稳定性评价

采空塌陷区探测方法主要包括工程地质测绘、工程物探、工程钻探等,它们互有优缺点,需互相配合和补充,总的原则是:以采矿调查为主,有条件时进行井下测量,辅以物探和必要的钻探。

工程地质测绘主要从地质角度出发,定性研究采空区的地层、岩性、构造、地形地貌、水文地质条件及各种物理地质现象。通过调查来半定性地了解采空塌陷区的三维空间地质结构、采矿方式、采出量、巷道分布等基本情况。工程物探主要包括电法、电磁法、地震、微重力、放射性等勘测技术,可以提供

采空区全断面连续综合信息。工程钻探可以直接获得采空区深部地质资料,验证工程地质测绘、工程物探成果。

根据徐州矿区长期的地表移动实测成果资料,结合各矿的实测资料和地质采矿条件,分析采空塌陷区地表移动与变形的规律,进而选用概率积分法、有限单元法或结构力学方法对采空塌陷区稳定性进行评价。

综合考虑老采空区残余沉降量的大小及对公路的影响;特殊地质采矿条件,如急倾斜煤层开采等;特殊构筑物的要求,如桥梁等,可将采空塌陷区划分为不同的稳定分区,划分不同的线路敏感带。

4.3 治理措施

4.3.1 绕避方案

在符合区域规划、路网规划要求,经济技术可行的基础上,绕避方案应优先选择,可以彻底解决采空塌陷区问题。

4.3.2 修筑过渡路段或维修处理方案

先修筑过渡路段或高速公路投入运营,在运营期出现病害时进行维修。该方案一般适用于采空塌陷区治理工程投资占公路工程投资比例较大或低等级公路的情况,其优点是技术上可行、经济上合理,但缺点是维修工作困难,公路运营效益较差。

4.3.3 地基处理措施

方法之一是注浆充填方案,通过注浆孔将水泥粉煤灰浆等注入采空塌陷区,充填采空区及上覆裂隙岩体,阻止覆岩的进一步塌陷冒落。该方法施工相对简单、安全性高、工艺成熟、易于管理、适应性广,但工程量较大。

方法之二是注浆柱支撑方案,在采空塌陷区形成类似桩基的注浆柱或墩台,支撑采空区不再继续沉降塌陷,但该方案要求采空区必须具有一个极为坚硬的顶板。

4.3.4 路基路面处理措施

对路堤,可在路基底部和填土层加铺土工织物,以提高路基整体的抗变形能力,防止不均匀沉降;对于路堑,对于不稳定采空区边坡,可采取挡土墙、片石护坡、抗滑桩板墙、预应力锚索、局部支撑等加固措施或减小边坡的办法;对于路面,可设计为柔性路面,并在基底处铺设土工织物,防止不均匀沉降。

4.3.5 桥跨或板跨方案

对于浅层、小范围采空塌陷区,可通过桩基穿透采空区,置于稳定地层之上,采用桥梁或板跨的方式

通过,该方案主要是桩基深度大、施工困难、工程费用大,在目前的经济技术条件下,一般不宜采用。

其他在合适条件下可采用的方法还包括高能级强夯法、井下砌墩柱法、水诱导沉降法及井下爆破加速沉降法等。

根据资料^[2,3],目前国内高速公路下伏采空区治理一般采用注浆全充填法,也是最为安全可靠的处理方法,可以彻底消除工程隐患,在公路工程中应优先采用此法。其他方法因受施工条件、技术条件或经济条件限制,应用范围很小,但条件适合时,可以考虑采用。

5 结论与建议

采空塌陷区是徐州矿区交通建设主要的技术难题之一,是制约工程质量、工期与投资的关键因素,因此,开展采空塌陷区公路工程地质灾害特征与防治对策的研究,将为徐州城市规划与交通规划提供技术支持。根据徐州矿区东部、西部与北部采空塌陷区分布发育发展规律、公路灾害类型与特点、公路灾害防治对策,提出如下建议:

(1) 鉴于徐州西北部采空塌陷区复杂性及处治技术难度大,宜按“人地调谐”和能避让则尽量避让采空塌陷区的原则,优化路线方案。

(2) 对于徐州东部矿区分布的小煤窑采空塌陷区,应加强其空间分布特征、地表塌陷演变规律及其稳定性评价研究,并探索合适小煤窑采空区探测组合体系。

(3) 由于各采空塌陷区稳定性不同,在设计中应结合各路段实际情况,采取不同的处治措施或各种措施配合使用。应优先采用注浆全部充填法,条件合适时,可以采用地下灌注支撑、岩体裂隙发育带进行渗透注浆以及在路堤设计中采用路堤抗变形措

施等,以确保高速公路的运行安全。

(4) 由于地质条件的复杂和影响因素的不确定性,应建立相应的监测系统,积累必要的观测资料,以确保采空塌陷区高速公路的顺利建设。

参 考 文 献

- [1] 徐州市人民政府地方志办公室编. 徐州煤炭志[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
Chorography Office of Xuzhou Local Government. Xuzhou Mine Record. Xuzhou: China University of Mining Publishing House, 1991.
- [2] 韩宝平. 徐州市城市生态系统与环境的相互作用[J]. 工程地质学报, 1995, 3(4): 86 ~ 92.
Hang Baoping. Interaction Between the Urban Ecosystem and Environment in Xuzhou City. Journal of Engineering Geology, 1995, 3(4): 86 ~ 92.
- [3] 刘松玉等. 高速公路下伏富水多层采空区危害性评价与处理技术研究[R]. 东南大学交通学院, 2002.
Liu Songyu, et al. Hazards Assessment and Treatment Techniques Study of Multiple Mined-out region full of Water under Highway. Transportation College of Southeast University, 2002.
- [4] 方磊等. 京福高速公路徐州绕城公路西段煤矿采空区路段专题研究报告[R]. 东南大学交通学院, 2002.
Fang Lei, et al. Special Report of Mined-out Region Section of Jingfu Highway West of Xuzhou. Transportation College of Southeast University, 2002.
- [5] 栾元重. 采动桥梁变形分析[J]. 矿山测量, 2001(4): 56 ~ 57.
Luan Yuanzhong. Deformation Analysis of Bridge in Mining Area. Journal of Mine Survey, 2001, 4: 56 ~ 57.
- [6] 杨绍波. 高速公路隧道穿越采空区的处治方法[J]. 山西建筑, 2004, 30(3): 99 ~ 100.
Yang Shaobo. On the Treatment Methods when Expressway Pass Through the Mined-out Region. Journal of Shanxi Architecture, 2004, 30(3): 99 ~ 100.