

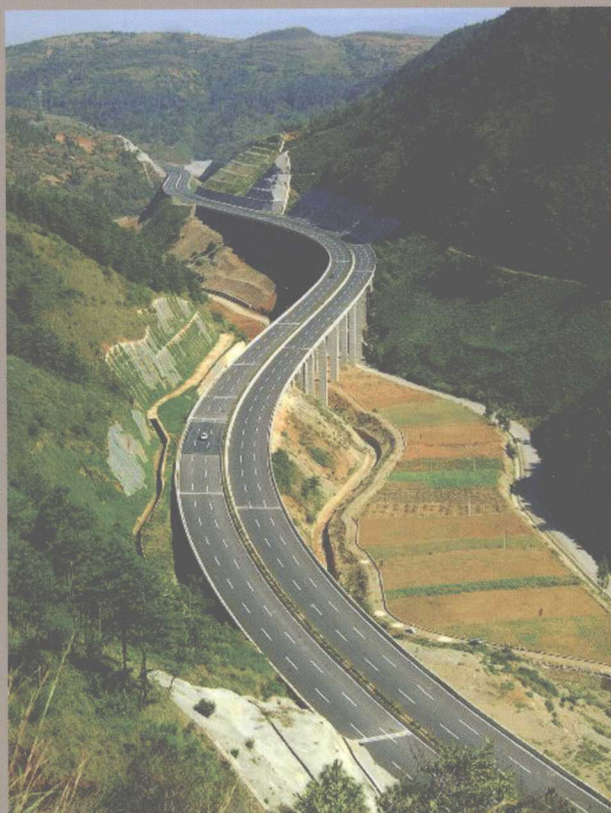
高速公路下伏采空区治理工程

—— 勘察设计、施工、监理、招投标

河南高速公路发展有限责任公司

编著

河南省地球物理工程勘察院

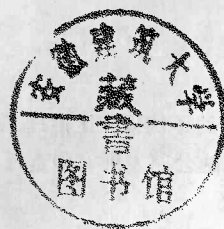


人民交通出版社
China Communications Press

Gaosu Gonglu Xiafu Caikongqu Zhili Gongcheng
高速公路下伏采空区治理工程

——勘察设计、施工、监理、招投标

河南高速公路发展有限责任公司
河南省地球物理工程勘察院 编著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书结合河南省禹州—登封高速公路下伏煤矿、铝土矿采空区治理工程的实践经验和科研成果,从勘察设计、施工、监理、招投标等方面,系统地介绍了采空区治理工程的经验和成果。本书内容全面、资料翔实,可供国内同类工程参考借鉴。

本书可作为高速公路建设者、勘察设计单位、施工单位、监理单位、质量检测与评价单位、变形监测工作者等从业人员的重要参考工具书,也可作为相关专业院校的教研参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路下伏采空区治理工程:勘察设计、施工、监理、招投标 / 河南高速公路发展有限责任公司, 河南省地球物理工程勘察院编著. —北京: 人民交通出版社, 2008. 6

ISBN 978-7-114-07153-9

I. 高… II. ①河…②河… III. 高速公路—采空区—治理 IV. U412.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 064072 号

书 名: 高速公路下伏采空区治理工程——勘察设计、施工、监理、招投标

著 者: 河南高速公路发展有限责任公司 河南省地球物理工程勘察院

责任编辑: 李 农

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 22

字 数: 527 千

版 次: 2008 年 7 月第 1 版

印 次: 2008 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07153-9

印 数: 0001—2000 册

定 价: 58.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

本书编委会

主 编：康省桢(河南高速公路发展有限责任公司)

崔颖超(河南高速公路发展有限责任公司)

副 主 编：周洪文(河南高速公路发展有限责任公司)

张玉中(河南高速公路发展有限责任公司)

张晓春(河南省地球物理工程勘察院)

葛琳延(河南高速公路发展有限责任公司)

周 斌(河南高速公路发展有限责任公司)

编 委：郭汉超 李大鸣 王 燕 吕建桥 张津嘉

周建民 朱春阳 陈根发 王国田 朱秀锦

序

在我国中西部地区,煤炭资源和埋藏较浅的铝土矿资源等极为丰富,随着中部崛起和西部大开发战略及基础建设的加速实施,这些矿产资源在以不同方式被开采后,留下了大规模、大范围的采空塌陷区,造成老采空区上方建筑地基承载力的下降,导致地面下沉、积水、房屋与道路开裂,从而严重影响到人民群众的正常生产与生活,使当地经济遭受重大损失。

随着各地高速公路建设的快速发展,一些无法避让采空区的高速公路工程,首要解决的问题是沿线下伏采空区的治理。这项工作涉及采空区的勘察、设计、施工治理、施工监理、治理后的效果和质量检测及建设方的招投标等一系列工作。近年来,伴随着采空塌陷区上方高速公路的建设,有关方面虽在上述诸领域取得了一些实践经验和成果,但由于采空区治理是一项隐蔽工程,采空区的沉降塌陷程度及其未来可能对上覆高速公路造成的破坏程度等都非常复杂,要将安全隐患极大的采空区赋存状态勘察清楚,非常不易。因此,造成了采空区内的高速公路工程建设风险评估和地表稳定性评价难度的增加,从而导致采空区治理工程的设计和投資过于保守。

河南禹州至登封高速公路主线地质情况非常复杂,路线全长50余公里内,集中分布了6个需要治理的采空区。如此复杂的采空区地质状况,在河南省尚属首例,在全国也不多见。在该采空区的勘察、设计、施工、监理和质量检测等项工作实施期间,本书作者积累了一批有价值的经验和方法技术。

为了进一步优化、充实和提高采空区勘察、设计、施工、监理和采空区治理后的效果与质量评价,以及建设方的综合管理等部门的实际工作水平,尽可能使各行业参与采空区治理工程的单位遵循统一、系统、规范的方法与技术,本书作者结合河南禹州至登封高速公路主线跨越的两大类型(铝土矿和煤矿采空区)6个采空区治理工程的实践经验和科研成果,在充分体现科学性、先进性和实用性的基础上,通过有效方法技术组合的实施,最大限度地使采空区勘察解释结果更符合当地的地质构造情况,从而提高了采空区内高速公路建设风险评估和地表稳定性评价的可靠性和准确性,使采空区治理工程的设计和投資概算更趋实际、更趋合理。

本书作者通过复杂地质情况的研究,详细论述了高速公路下伏采空区的路基沉降机理及地表稳定性的评价方法,对采空区治理工程勘察、设计、施工、监理、质

量检测与评价、沉降变形监测、建设方招标投标等专题方法与技术,进行了深入的研究和论述。总之,本书理论与实践相结合,深入浅出,图文并茂。

在本书中,作者还首次编制了系统、全面的《采空区治理工程施工监理常用表格》及监理在质量、投资和进度方面的有效控制措施。本书的另一大特点是:首次系统、全面地论述了沉降位移监测方法在勘察阶段确定采空区位置,在采空区治理前、后确定地表大桥等重要附属物是否安全稳定等工程中的突出作用。

综上所述,本书是在长期实践的基础上,对一系列采空区治理工程进行的科学总结。书中的实例分析大多是本书作者亲历工程的科研成果。因此,本书适合国内同类工程的从业者借鉴,可作为高速公路建设者、勘察设计单位、施工单位、监理单位、质量检测与评价单位、变形监测工作者等从业人员的重要参考工具书,也可作为相关专业院校的教研参考书。

希望通过本专著的出版,扩大其服务领域。望本专著问世后,能对公路、铁路、水利、土地利用等相关工程中遇到的采空区治理工程起到统一、系统、规范的指导作用,为经济建设和社会发展服务。

河南省人民政府副省长

张

2008.6.26

目 录

1	概述	1
1.1	高速公路下伏采空区研究及治理现状	1
1.2	禹登高速公路下伏采空区治理工程概述	10
2	采空区沉陷机理及对构筑物的危害程度分析	15
2.1	采空区破坏类型与特征	15
2.2	采空区覆岩冒落机理	19
2.3	采空区地表沉陷规律	20
2.4	影响采空区地表移动和变形的因素	22
2.5	采空区地表稳定性的评价与监测	28
2.6	采空区沉陷对路基及其附属物的危害程度分析	35
2.7	高速公路下伏采空区治理工作的必要性	36
3	采空区勘察方法及成果	37
3.1	工程地质测绘	37
3.2	工程物探	41
3.3	工程钻探	44
3.4	沉降变形监测	48
3.5	采空区勘察工作的重要性	53
4	采空区治理方法的选择与施工技术	54
4.1	采空区治理方法及优化选择	54
4.2	禹登高速公路采空区治理工程施工图设计	63
4.3	禹登高速公路采空区治理主要施工方法与技术	70
4.4	禹登高速公路采空区注浆治理工程的实施与控制	78
5	采空区治理工程的质量控制措施	83
5.1	承包商对工程质量的控制措施	83
5.2	监理方对工程质量的控制措施	86
6	采空区治理工程的计量与支付	94
6.1	工程计量的职责与权限	94
6.2	计量程序及管理	95
6.3	计量原则与方法	98

6.4	采空区注浆计量案例	104
6.5	支付的职责与权限	104
6.6	支付的原则	105
6.7	支付的分工与管理	106
6.8	支付的种类	108
6.9	支付的程序	109
6.10	保留金	110
6.11	禹登高速公路采空区治理工程计量控制措施案例	111
6.12	禹登高速公路采空区治理工程工程量及费用控制案例	112
7	采空区治理工程质量检测和交工验收	118
7.1	采空区治理工程质量检测的目的	118
7.2	采空区治理工程质量检测的依据	118
7.3	采空区治理工程质量检测案例	118
7.4	采空区注浆工程质量和效果检测的重要性	127
7.5	采空区治理工程交工验收	128
8	禹登高速公路下伏采空区治理后地表构筑物现状	129
8.1	监测地表构筑物稳定状况的方法	129
8.2	采空区治理后地表构筑物现状	132
8.3	采空区沉降位移适时监测的重要性	133
附录 A	正文附图	135
附录 B	高速公路采空区治理工程施工、监理常用表格及填写说明	151
B.1	高速公路采空区治理工程施工、监理常用表格填写说明	151
B.2	高速公路采空区治理工程施工、监理常用表格	170
附录 C	高速公路采空区治理工程施工资格预审文件范本	264
C.1	资格预审通告	264
C.2	资格预审申请人须知	265
C.3	资格预审申请书格式	268
C.4	资格预审评审办法	287
附件一	工程说明	289
附件二	工程路线位置图	289
附录 D	高速公路采空区治理工程施工招标文件范本	290
D.1	投标邀请书	290
D.2	投标人须知	291
D.3	合同通用条件	307
D.4	合同专用条件	307
D.5	技术规范	316

目 录

D.6 技术规范(补充)	316
D.7 投标书与投标担保格式	322
D.8 工程量清单	324
D.9 投标书附表格式	328
D.10 合同格式	333
D.11 履约担保格式	335
D.12 施工图纸及地勘资料	336
D.13 施工组织设计建议书	336
参考文献.....	340
跋.....	341

1 概 述

1.1 高速公路下伏采空区研究及治理现状

我国中西部地区,煤炭资源和埋藏较浅的铝土矿资源极为丰富,随着中部崛起和西部大开发战略及基础建设的加速实施,在它们以不同方式被开采后,留下了大规模、大范围的采空塌陷区,造成老采空区上方建筑地基的承载力下降,往往给工程建设带来隐患。在许多城市,如河南的焦作、郑州、平顶山、永城,山西的太原、长治等大部分地区和安徽的淮南、淮北等地区,由于相关地区地下采空塌陷引起地面下沉、积水、房屋与道路的开裂,严重影响到人民的正常生产与生活,造成重大经济损失。

随着科学技术的发展,各国如前苏联、波兰、德国、澳大利亚和美国等国家的科技人员,为了开发和利用废弃老采空区土地,提高矿区土地利用率,缓解矿区土地资源紧缺的矛盾,开展了采空沉陷区土地资源的开发和利用工作。我国在“三下”(建筑物、水体和铁路下)开采矿床、开采沉陷理论及其控制研究方面已经取得了丰硕成果,矿山开采沉陷^[1]的理论与应用已达到国际先进水平。在采空区上方兴建工业厂房和民用建筑群的成功实例日益增多,例如在废弃采空区上修建村落、大型选煤厂、热电厂、储煤仓和架空索道等。工程实践证明,只要熟悉了采空区的空间特征,掌握了岩层的移动、变形与破坏规律,严格按照采空区勘察程序,在正确勘察和采空区危害性评价的基础上,对不同类型的采空区地基进行有针对性的处理,或对不同类型构筑物采取适当的措施,在采空区上方兴建高速公路、大跨度隧道和桥涵等多种构筑物,包括大型构筑物是完全可能的。当然,最好避开在采空区上方兴建构筑物,尤其是大型构筑物。

近年来,我国高速公路建设发展迅速,公路网越来越密集,在矿区不可避免地遇到了如何治理采空塌陷区的技术难题。高速公路是整体延伸长度大、服务年限长、行车速度高的特殊线形构筑物。在采空区上方修建高速公路时,路基的承载能力与稳定性受开采沉陷变形的影响较大,如采空区地表过度沉陷会导致地面低洼长期积水破坏;沉陷造成的倾斜会导致行驶车辆重心偏移,特别是在弯道位置对高速行驶的车辆危害更大;水平变形和移动使路面受拉伸开裂、受压缩隆起,路面产生波浪状起伏,路面或路基中产生局部离层破坏;路面的波浪起伏可能导致高速行车腾空,造成翻车事故等等。

目前,关于铁路下采煤对路基及道床影响的研究很多。公路与铁路有其共同点,如两者同为大型线形构筑物,承受行车荷载的作用,暴露于大气之中,因而高速公路下伏采空区相互作用的研究可借鉴铁路方面的成果。但高速公路无论是结构组成、技术标准,还是行车荷载的复杂性等都与铁路不同。如铁路采动路基一般采取在采动过程中逐步帮填路基的方法处理,而高速公路要求一次性形成整体结构,不允许采取铁路路基式的边采边填的处理方式;铁路道床

的相对稳定依靠起道、拨道、调整轨缝等一系列方法,而高速公路路面结构抗变形措施则采取调整变形缝与配筋设置、基层部位设置滑动层等,方法与铁路完全不同。

关于矿山采空区地表建筑的研究历史也很悠久,国内外都对矿区建筑物破坏进行了长期观测,并对其破坏程度标准进行了研究。如我国原煤炭部 1985 年颁布了《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》^[2];前苏联在 1964 年制定出第一部全苏标准文件,并在 1971 年颁布建筑法规《采动区建筑物与构筑物及设计规范》;另外,各国按不同的指标划分了矿区构筑物保护等级,规定了构筑物允许变形值(压缩变形、拉伸变形、倾斜、曲率半径),制订了一系列保护构筑物的采矿措施、构筑物抗变形措施及地基基础处理措施等。这些对采空区地表高速公路建设同样有重要的参考价值。

采空区是一种特殊的岩土工程对象。采矿地表大型线形构筑物——高速公路建设新技术,实际上是矿山开采沉陷学的延伸、拓广与发展,是开采沉陷学与岩土力学、土木工程、矿山地质、采矿工程、地下工程控制相结合的产物。采空区地表高速公路特殊路基建设主要涉及高速公路与下伏采空区的相互作用理论。一方面,路基下煤层的采动导致路基产生各种移动和变形,影响路基的稳定性,路面相应产生附加内力、弯矩,产生一定程度的变形与损害,进而影响到运行车辆的平稳性和安全性;另一方面,路基路面等构筑物的静力荷载及工程施工动力荷载、移动车辆、地震等动力冲击荷载对公路下伏采空区的稳定性也将产生一定影响,加速新采空区的不稳定性发展或造成相对稳定老采区的二次活化。因此,对高速公路下伏采空区相互作用系统进行综合研究,对公路的采动响应性能和采空区在公路作用下的变形与稳定性进行分析和评估,确定它们在各种状态下的可靠性,是合理进行公路路基路面等构筑物设计、施工的实际需要,对于矿区采空区地表高速公路的建设和发展具有十分重要的理论和实际意义。

高速公路下伏采空区相互作用是矿区高速公路建设的关键技术问题,其主要包括如下几个方面的内容:

- (1)路基路面结构在采动影响下的响应;
- (2)桥涵、隧道及服务区等构筑物在采动影响下的响应;
- (3)在公路各种静荷载作用下,似稳定的老采空区的活化或现采区的沉陷分析;
- (4)地震、施工机械振动等动力冲击荷载作用下,稳定老采空区活化或现采空区、未稳定老采空区的加速沉陷分析;
- (5)公路采动损害性能评估及治理加固问题等。

目前,国内外关于高速公路采动损害的研究报道较少,且往往以研究现采空区与公路的关系为主,关于老采空区地表剩余移动与变形对高速公路影响的研究更少,对高速公路与采空区的相互作用理论研究不够,未能把两者的特点结合起来全面考虑。关于公路下伏采空区治理技术的研究则多以工程经验、施工实例介绍为主,理论研究及理论指导论述有限,致使受采空区影响的高速公路工程风险评估难度增加。同时,导致公路下伏采空区治理投资过于保守。

1.1.1 国内外研究现状

采空区是指地下矿产被采出后留下的空洞区,按矿产被开采的时间,可分为老采空区、现采空区和未来采空区。矿体被采出后,自顶板岩层向上形成三带,即冒落带、裂隙带和沉降带;地表沉陷产生连续或非连续变形,由此带来一系列环境岩土工程问题,如地表积水、道路裂缝、

房屋倒塌、耕地减少、农田减产等,给矿区工程建设留下很大隐患。

关于采空区问题的研究,国内外主要是在煤炭、冶金、军事和交通等部门进行。如波兰、前苏联、英国和中国等主要产煤国家,从 20 世纪 50 年代开始就对“三下”采煤技术进行了详细研究,同时对采空区地表构筑物保护和防治技术也进行了大量试验研究,积累了宝贵的经验;但到目前为止,针对高速公路与下伏采空区相互作用理论的研究国内外报道较少,国内目前虽然在石太高速、晋焦高速、乌奎高速及京福高速徐州东绕城段、河北保阜公路等进行了采空区问题的研究,但主要是工程经验介绍,理论研究甚少,尚未形成成熟的理论及工程设计体系,无规范规程可循。

1.1.2 采空区地表构筑物建设技术概况

关于老采空区地表建筑问题,国内外有很多文献和报道,主要介绍和讨论了老采空区地表沉陷问题、地基处理和建筑物保护问题。目前,与采空区地表建筑有关的规程有:原煤炭部颁布的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》、前苏联颁布的《采动区建筑物与构筑物及设计规范》、波兰 1978 年颁布的建筑规程《受开采影响地面建筑的建筑技术规程》;而建设部 2002 年颁布的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)中,仅有关于岩溶与空洞的设计内容,对于采空区地表建筑地基基础设计的内容,没有具体的阐述。

由于矿区土地资源紧张,在老采空区上兴建建筑物的事例日趋增多,有一般性工业厂房和民用建筑群,也有大型的钢铁、汽车、电力、冶炼、建材等厂房,甚至在采矿地表修建大跨度隧道、桥涵、高速公路等。但是,由于没有或缺少对老采空区“活化”的深入研究和采取一些必要的技术措施,也出现了一系列严重的问题,如新建建筑物出现开裂、沉陷、变形,设备基础变形而无法正常使用等,或因地基处理费用高昂或技术措施复杂而使建设项目难于实施。

在采空区地表成功进行工程建设的事例也有一些。在高速公路方面,河南省就有焦作—晋城高速公路、郑州—少林寺高速公路和禹州—登封高速公路。在工民建方面,如淮北岱河矿充填煤矸石基础上的房建工程,淮南新庄孜煤矿老采空区建设的大型洗煤厂;特别是 20 世纪 80 年代初,我国矿区城市在采空区地表兴建了许多大型工业建筑,如本溪水泥厂大型架空索道、本钢特钢厂大型电炉炼钢厂房、本溪热电厂等。这些实例说明,对地基或建筑物采取适当的处理措施后,采空区完全可以作为一般的建筑场地,甚至可以作为大型建筑物用地。

国外尤其是美国,各主要采煤的州都成立了处理采空区沉陷问题的专门机构,并有专门处理采空区地基的岩土公司,在调查研究房柱式采空区、地基处理等方面有比较丰富的经验。其研究方法主要是调查统计方法,仍缺乏较深入的理论研究。采取的处理措施主要包括全部充填采空区支承覆岩、采用灌注桩法或深桩基局部支承受覆岩、水诱导沉陷法等。处理后的地面主要用于开发建设居民区等。对采用长壁开采法形成的老采空区的地基稳定性问题和地基处理问题,基本没有进行系统研究,但有一些工程实例,如美国宾夕法尼亚州西部城市园林学院用大容量注浆和注浆柱支撑法处理了几座建筑物下的采空区,控制了其沉降;西弗吉尼亚州、怀俄明州为控制采空区大面积地表沉降,也采用了注浆处理的措施。前苏联地质注浆专业公司用注浆法处理了瓦赫鲁舍夫矿一锅炉房下浅井和别利科夫矿井口大楼下伏采空区。

对于在采空区上方进行建筑活动,仅仅考虑地面附加建筑物荷载对采空区稳定性的影响是远远不够的,采空区自身的稳定性及其“活化”也是影响地面建筑物安全的主要因素。国内

采空区地表建筑,一般采取建筑物结构措施或地基处理措施,以保证建筑物的安全稳定。地基处理措施主要有采空区局部或全部充填法、堆载预压法、强夯法等。建筑物抗变形设计一般采取“整体柔性、局部刚性,兼顾工艺流程,综合处理”的原则。具体措施包括:简化建筑物形式、设置变形缝、设置变形缓冲沟、采用抗变形整体基础、提高结构的刚度和强度等。

1.1.3 采空区对高速公路的影响理论研究现状

针对现采空区(或未来采空区)对公路的影响,栾元重、王有良等曾在山东省新汶矿区某一级公路进行了“公路下采煤路基路面损害”的研究,设计了公路下采煤方案,并指导路、矿进行了有效的治理。汤伏全^[3]等在石太高速线内的阳泉矿区,对其采动损害及防护技术进行了研究,研究对象包括桥梁、隧道、路基路面、古滑坡、路堑边坡等,解决了因大量压煤而使线路方案不能通过的难题。栾元重^[4]还研究了采动公路桥梁的变形稳定问题,提出了桥梁下安全开采的技术措施,并指导了山东新汶矿区汉河公路大桥下煤柱开采试验,实现了桥梁下的安全采煤;同时对采动公路损害状况评价及治理措施进行了研究,提出了采动公路路面板间接缝宽度的计算公式,为矿区公路设计及养护提供了科学依据。栾元重、杜春明^[5]等研究了采动间接损害问题,即采动对地表岩移理论圈定的开采范围以外的地表、各类构筑物的损害问题。童立元^[6]等对高速公路下伏采空区危害性评价与治理技术进行了阐述。

关于老采空区地表高速公路建设的问题,因时空不同,则会有很大区别。实际上现采空区和老采空区是两种不同的情况,即“先有结构(公路路基)后有(开采)空洞”与“先有(开采)空洞后有结构(公路路基)”。这两种情况的研究和问题的处理方法是本质区别的。

对于老采空区,国内目前的研究成果主要是针对地表剩余移动与变形对公路的损害,重点放在了工程治理技术和工程实例的介绍,理论研究还没有上升到一定的高度。李满囤^[7]对太原—古交二级公路小窑采空区与路桥的稳定性,按类似于《岩土工程手册》^[8]介绍的方法进行了分析,并提出了注浆和土工格室的治理方案;孙忠弟^[9]等以石太高速公路太旧段采空区治理工程为例,研究了采空区的勘察、危害程度评价及治理技术等问题;张志沛^[10]对公路下伏采空区的工程地质背景进行了初步研究;余学义^[11]等研究了采空区地表剩余变形对高等级公路危害程度的预计分析方法,包括影响函数法和概率积分法等,并指出改变公路路基、路面结构、材料特性,提高公路抗变形能力是矿区公路防护的重要措施,也是矿区公路建设中尚需深入研究的课题。总的来说,这些研究成果都具有一定的深度,但对老采空区与公路安全运营之间的相互关系,对老采空区的“活化”问题,对高速公路与采空区相互作用的机理等专项课题的研究和认识尚需进一步深入探讨。

1.1.4 国内外采空区的探测技术现状

目前国内外对采空区的探测,主要是以采矿情况调查、工程钻探、地球物理勘探为主,辅以变形观测、水文试验等。其中美国等西方发达国家以物探方法为主,国内对采空区的探测以往主要借助于钻探,但近年来也逐渐认识到应用工程物探方法探测采空区的重要性和优越性。

在美国^[12],采空区等地下空洞探测技术全面,电法、电磁法、微重力法、地震法等都有很高的水平。其中高密度电阻率法、高分辨率地震勘探技术尤为突出,且近年来在地震CT技术方面也发展迅速。如应用地震波折射法、电阻率映像法、地震面波剖面法有效地探明了俄亥俄州

70 号高速公路下废弃的煤矿采空区。

日本工程物探技术在国外同行业中处于领先地位,应用最广泛地是地震波法。此外,电法、磁法及地球物理测井等方法也应用得比较多。特别是日本 Vic 公司 20 世纪 80 年代开发研制的“GR—810”型佐藤式全自动地下勘察机,在采空区、岩溶等空洞探测中得到了应用,且后续推出的一系列产品都处于国际领先水平。

欧洲国家工程物探技术也较全面,在采空区的探测上,俄罗斯多采用电法、瞬变电磁法、地震反射波法、井间电磁波透射、射气测量技术等。英、法等国家以地质雷达方法应用较好,微重力法、浅层地震法也有使用。

近年来,国内在利用工程物探技术查明地下采空区方面做了大量的工作,发展了多种方法,如地质雷达、弹性波 CT、超声成像测井、卫星遥感(RS)等,也广泛地应用高密度电阻率法、高分辨率地震勘探等综合勘察技术。随着我国物探测量精度和信息处理速度的提高,工程物探越来越成为探明地下采空区的一项重要勘探手段。

另外,河南省地球物理工程勘察院近年来先后在焦作—晋城、郑州—少林寺和禹州—登封高速公路下伏的新老采空区分布地带,在对高速公路有影响的区域,布置了一定网度的沉降位移监测点;通过 6~10d 一次的适时高精度沉降位移监测,很好地圈定了地表沉降分布范围,进而推测到地下深处的隐伏采空区位置,并被钻探验证其推断的隐伏采空区位置是正确的。

目前,国内关于采空区的勘察,有两部规范对其一般性原则进行了规定,即《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)^[13]和《公路工程地质勘察规范》(JTJ 064—1998)^[14]。前者按开采状态的不同,分别介绍了老采空区、现采空区和未来采空区的岩土工程勘察原则,并指出采空区的勘察应以搜集资料、调查访问为主,必要时进行物探和钻探;该规范还对采空区场地的建筑适宜性进行了规定,划分成不宜建筑的场地和相对稳定的场地,最后重点介绍了小窑采空区的勘察问题。后者将公路采空区勘察分成初勘和详勘两个阶段,分别规定了各阶段的勘察重点、调查与测绘的内容、勘探(物探和钻探)方法及要求、定位观测的原则,并提出了各阶段的资料要求等。

1.1.5 国内外采空区稳定性评价现状

针对地基开采沉陷及采煤技术,国内外均进行了大量的研究,形成了矿山开采沉陷学等专门学科。但关于采空区对已建高速公路路基及其附属物的危害程度研究甚少,在矿区高速公路建设及其后期的管理工作中这是一个亟待解决的崭新课题。

采空区地表可能产生连续性或非连续性位移变形,对高速公路的危害主要有如下几种方式:

- (1) 采空区的失稳冒落,使地表剧烈变形,产生塌陷坑、台阶等。
- (2) 路基沉陷,造成路基、路面局部开裂,使承载力下降,使用条件降低,或造成路面低洼积水破坏。
- (3) 采空区沉降导致路面倾斜,并使路面坡度发生变化,致使行驶车辆重心偏移,在弯道处极易发生事故。
- (4) 水平变形和曲率改变使路面受拉伸开裂、受压缩隆起,使路面发生波浪起伏及路面与路基间的局部离层。

20 世纪 80 年代初,英国、波兰、德国等国家的一些学者相继研究了采空区等地下空洞对公路的危害性问题,但成果零乱,未有系统的报道。近年来,随着我国高速公路建设的蓬勃发展,相关单位在此方面的研究工作也取得了重要的成果,如石家庄—太原高速公路、晋城—焦作高速公路、南京—南通高速公路、祁县—临汾高速公路、太原—长治高速公路、广西钟山—马江高速公路、郑州—少林寺高速公路等均对采空区的稳定性问题进行了深入的研究。由于采空区的稳定性评价涉及学科较多,理论基础特别复杂,研究手段和研究程度均有待完善和提高,研究成果多以工程经验积累为主。如《岩土工程手册》^[8]和《工程地质手册》^[15]中介绍了小窑采空区顶板稳定性评价方法及临界深度的计算方法;周伟义^[16]等应用二级模糊综合评判及非线性有限元方法,半定量地研究了潭邵高速公路岩溶及采空区路基稳定性问题,主要探讨了岩溶及采空区岩层顶板安全厚度确定问题;李满囤^[7]研究了小煤窑采空区空洞顶板稳定性及临界深度问题,并将其应用到太古二级公路采空区治理中。研究报告同时指出存在的问题是,高等级公路穿越采动影响区的研究尚处于开始阶段,还存在大量的问题,诸如地表剩余沉陷引起公路路基承载力及变形等问题,还需进行大量的研究与实践等。

在高速公路通过采空区的稳定性分析评价方面,研究报告基本形成了共识,采用的方法主要包括预计法、解析法、半预计半解析法及数值模拟方法,并通过计算地基承载力、剩余地表变形量及残留空洞的稳定性、地表破坏范围等步骤进行。

1.1.6 采动地表沉陷对公路的危害程度评价

公路与普通的建筑物不同,它是大范围延伸的线形整体构筑物,不仅因采动而导致的沉陷位移变形对它有较大的影响,采空区剩余沉陷对它的影响也不容忽视。除此之外,由于路面材料的特殊性,它还受温度、湿度及路面局部隆起等因素的影响。地表沉陷对公路的危害程度可用以下方法进行评价:

(1)对地表非连续沉陷破坏地段(地表容易产生突发性塌陷的地段)的评价,主要是评判矿柱及覆岩的强度和稳定性。应用数值分析以及结构力学方法,计算采动覆岩破坏强度,覆岩中复合岩梁(板)的成拱宽度——大厚度坚硬岩层的成拱宽度及矿柱的支撑强度和长期稳定性,评价判定是否需要采空区及地基进行治理,确定治理方案。

(2)对地表连续位移变形破坏地段(矿层埋深较大,地表仅产生大面积沉降盆地的地段)的评价,可以用影响函数法和经验理论法,预计地表位移变形值,通过地表的下沉量、倾斜值、水平变形和垂直曲率等指标来评价。国外研究结果认为,高速公路和高架桥应列为 I~II 级保护物,即路面的水平变形 $\epsilon_0 \leq 2 \sim 4 \text{ mm/m}$,曲率 $K_0 \leq (0.2 \sim 0.4) \times 10^{-3} \text{ mm/m}^2$,倾斜值 $T_0 \leq 3.0 \sim 6.0 \text{ mm/m}$ 。普通公路应按 III 级保护物对待, $\epsilon_0 \leq 6 \text{ mm/m}$, $K_0 \leq 0.6 \times 10^{-3} \text{ mm/m}^2$, $T_0 \leq 10 \text{ mm/m}$ 。

(3)在采空影响区建设高速公路要考虑路基的承载能力和其对稳定性影响的要求,还要考虑剩余沉陷位移变形的影响。

(4)路面材料(沥青混凝土)的特性随温度变化大。温度的降低使路面材料的脆性加大,收缩系数增大,抗变形能力降低,在沉降盆地的作用下,路面易于开裂,路面承载能力降低。当路面积水、冰冻膨胀时,会加速路面破坏。

1.1.7 采空区对公路危害的预防

采空区对高等级公路危害的预防应遵循安全、经济、可行的原则。采用合适的开采方法或合适的采空区治理方法,能有效地减小采动地表位移变形破坏。改变路基、路面结构,应用新型路面材料提高路基路面抗变形能力,是在采动剩余沉陷影响区及采动影响较小区域建设公路的有效防护措施。采用以下方法能有效地减小地表沉陷破坏程度:

(1)限制一次开采高度,沿公路轴向大面积协调开采。这种方法已有在铁路下开采煤层的成功经验,一般可以将地表位移变形降低 50% 以下。

(2)采空区充填方法。采空区充填能有效地减小地表沉陷破坏程度。在有条件的情况下采用水砂充填,能保证公路安全无损;在采深不大时,可采用覆岩离层充填,加固采动覆岩破坏区,限制地表沉陷破坏。

(3)留矿柱条带式开采。采用这种开采方法,矿层回采率低,在浅部开采应用较多。

(4)合理安排开采时间,使地表剧烈变形破坏期避开冬季低温期,以使路面材料变形适应采动地表变形。

(5)对采空区的影响,应根据地表剩余沉陷情况,在主要影响区做详细工程勘测,并以适当的治理方法加以处置。对采深较浅的小窑开采的采空区,应做局部或全部的注浆充填处理;对深度较大的大范围采空区,要以岩层局部充填加固并改变路基、路面结构和材料性能,增加公路抗变形能力作为主要处理措施。

1.1.8 高速公路下伏采空区的勘察设计现状

由于高速公路涉及的范围大,服务的年限长,路基变形指标要求较高,所以地表的稳定性预测评价非常重要,特别是在经过老采空区时,要预测评价高速公路从建设期到服务期内地表的剩余移动与变形量对高速公路的影响程度,明确采空区处理的范围、方法和治理程度,说明路基路面应采取的处理措施等。

由于采空区起始开采的年限不同,各区域内的地质采矿条件不同,导致波及到地表的沉陷延续时间也不同。因而预测老采空区对路基的危害程度,实际上是一个发展的动态过程。在此情况下,老采空区的沉陷在某个阶段只是相对稳定并没有完全中止,其沉降幅度是不均匀的,它对小范围内建筑设施的危害程度不大,但对大面积建筑设施(如大规模的建筑群、高速公路、天然气管路、隧道等)可能会产生较大规模的危害。

(1)采空区治理的设计方法

高速公路工程属于重大的基础设施,位于路基下的采空区治理工程,作为路基处理的组成部分,其设计工作一般包括工程地质勘察和施工图设计两个阶段。高速公路下伏采空区作为影响公路建设的一种特殊地基问题,虽然各单位以前也做了大量研究工作,但目前还没有形成相应的采空区治理技术规范。从设计角度出发,可以将公路下伏采空区这样一项重大的地基处理问题纳入公路工程设计的全过程,实行由浅入深、由宏观到微观、由整体到局部、由定性到定量的全过程设计,进而规范采空区的治理方法。

①工程地质勘察

勘察工作内容:广泛收集有关采空区的资料,包括采矿情况、采空区工程地质条件、地下采

空区分布位置及形态、地表的变形情况等,对路线可能经过的采空区在大比例平面图上进行定位,在重要影响地段,安排地表沉降观测点,布置物探和钻探勘察。在对以上资料进行综合分析研究的基础上,查清采空区的大小、形状范围、埋深和三带划分,绘制出采空区三维地质结构图;查清地下采空区的地层单元和岩土层的类型、岩性;为采空区地段的稳定性评价提供可靠的地质依据。

稳定性评价工作内容:根据收集和勘察取得的成果资料,进行采空区的稳定性定量评价,计算其在公路使用年限内的残余沉降,分析路基和车辆荷载对采空区的影响,判断其是否构成采空区“活化”的因素。

所需要的资料包括:矿层倾角、开采深度、厚度、停采时间、顶板岩性、采矿方式和顶板管理方式等。

②施工图设计

施工图设计包括治理方法的选择和确定及治理工艺流程的设计。具体将根据稳定性的定量评价结果,对不稳定和次稳定的采空区,通过分析,确定有效的处理方法,然后详细地编制采空区治理工程的工艺流程及质量控制措施。根据勘察和稳定性评价确定的采空区治理范围,较准确地计算采空区治理的工程量,最终编制采空区治理工程的各项费用预算。

(2)采空区治理设计工作目标

勘察设计及施工图编制阶段的主要目标是:通过地表地质调查,布置变形监测及物探和钻探地质勘察工作,基本查清采空区赋存的三维地质特征。在此基础上,利用相关理论,对采空区稳定性作出定量评价,对需要处理的采空区提出具体的处理方法、工艺流程和质量控制措施,计算工程量并预算费用。

1.1.9 采空区治理技术现状

目前常见的构筑物下伏采空区治理方案主要有三类:

(1)采空区地基处理措施,预防和控制地表残余沉陷的发生。此类方法可细分为四种:

①全部充填采空区支撑覆岩,以彻底消除地基沉陷隐患,采用注浆充填、水砂充填等,其中以注浆法应用最广泛、效果最好;

②局部支撑覆岩或地面构筑物,减小采空区空间跨度,防止顶板的冒落,常用的方法有注浆柱、井下砌墩柱和大直径钻孔桩柱或直接采用桩基法等;

③注浆加固和强化采空区围岩结构,充填采动覆岩裂隙带和沉降带岩土体离层、裂缝,使之形成一个刚度大、整体性好的岩板结构,有效抵抗老采空区塌陷的向上发展,使地表只产生相对均衡的沉陷,以保证地表构筑物的安全;

④采取措施释放老采空区的沉降潜力法,在采空区地表未利用前,采取强制措施加速老采空区活化和覆岩沉陷过程,消除对地表安全有较大威胁的地下空洞,在沉陷基本稳定后再开发利用地表土地,常用方法有堆载预压法、高能级强夯法、爆破释放应力加速活化和水诱导沉降法等。

(2)路基路面及其他构筑物抗变形结构设计措施,采取柔性设计原则、刚性设计原则或综合措施,以吸收和抵抗变形。

对于浅部采空区,一般采取注浆充填和加固地基的方法。而对于深部采空区,因充填加固