

高等级公路 下伏采空区治理优化和 治理效果评价研究

耿玉岭 贾学民 李大鸣 许广明 著
张立柱 乔建中 赵东力 范运岭

地震出版社

高等级公路下伏采空区治理优化 和治理效果评价研究

耿玉岭 贾学民 李大鸣 许广明 著
张立柱 乔建中 赵东力 范运岭

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高等级公路下伏采空区治理优化和治理效果评价研究/

耿玉岭等著. —北京:地震出版社, 2007.9

ISBN 978-7-5028-3208-7

I. 高… II. ①耿… III. ①高速公路—采空区—治理—最

佳化②高速公路—采空区—治理—效果—综合评价

IV. U412.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 140505 号

地震版 XT200700271

高等级公路下伏采空区治理优化和治理效果评价研究

耿玉岭 贾学民 李大鸣 许广明 著

张立柱 乔建中 赵东力 范运岭

责任编辑: 薛广盈

责任校对: 庞娅萍

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京市顺义富各庄福利印刷厂

版(印)次: 2007 年 9 月第一版 2007 年 9 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 230 千字

印张: 9

印数: 0001~1000

书号: ISBN 978-7-5028-3208-7/TU·250 (3898)

定价: 35.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

随着社会经济的不断发展,城市建设、修建铁路、高等级公路涉及对以往矿山采空区治理的工程项目越来越多,虽然国内外以往在有关矿山采空区治理方面已有许多成功的经验和范例,但由于采空区的沉陷机理、剩余沉降量大小及其对上覆构筑物的危害程度与采空区形成的时间长短、所处的地质条件、矿层的埋深、分布及开采方式等有很大关系,所以,对不同时间、不同地质条件、不同开采方式下形成的矿山采空区,治理方法往往有较大的差异。

采空区治理是一项隐蔽工程,治理后的效果如何,能否达到预定的设计目的,均需要通过一定的检测手段进行评价。由于目前国内外对矿山采空区及其对公路的影响与治理研究的程度仍然较低,故对矿山采空区治理质量评价技术和质量评定指标研究程度也较浅。所以,结合工程实例,总结完善矿山采空区治理后的质量检测技术与评价指标仍是一个亟待解决的问题。

高等级公路下伏采空区的危害评价与治理归属于矿山开采沉陷对环境的影响及其整治范畴。目前国内外对采空区沉陷的理论与治理,已经采用多学科相互结合、相互渗透的研究方法,不仅包括工程数学、工程力学、结构力学、岩土力学、岩体力学、工程地质学、水文地质学和施工工艺学,而且还采用了数值计算和仿真技术、岩土工程测试技术等手段。

在采空区对上覆高等级公路的危害评价及治理技术优化等方面目前仍存在许多需要解决的问题。国际上,Jonce和他的同事1977年研究了采矿塌陷对公路的危害^[1],20世纪80年代后,Jonce, Sargand, M. C. Wang等人研究了采矿以及下伏空洞对公路的危害^[2~4],这些研究大都建立在经验和调查的基础之上。Dumm等人在调查的基础上,将与空洞接触的岩土简化为理想的线性弹性介质,研究了在弹性极限条件下岩石的沉陷破坏机理^[5]。在国内,对采空区的地面稳定性评价中,采用综合考虑采空塌陷时间、空间特征(采空塌陷区的年龄,最大沉降量、规模、强度、地面破裂)、开采条件(开采厚度、深度、规模、方式)和地层条件(第四系厚度)等因素,确定各地段采空塌陷区地面的稳定性。老采空区对公路的影响,特别是在路基稳定性、承载力及采空区的治理方面,孙忠弟等在给定地下空洞危害程度的评价与治理原则的基础上,采用采空区地面预计法、弹塑性介质有限元法和结构力学等方法进行了公路路基下伏采空区对路基危害程度的研究,取得了一定的成果^[6],但从研究思路仍未摆脱开采沉陷的束缚,尽管在预计法模型中采用了以加大下沉系数的方法来解决剩余沉降问题,但仍对研究危害公路路基的采空区剩余沉降存在一定的局限性。

事实上,明确采空区剩余沉降的沉降规律和影响因素及其对高速公路路基的危害程度,才是区别于以往开采沉陷学理论与实践的根本,是确定采空区优化治理方面的关键。在此方面,国内外研究成果较少,郭广礼等采用相似材料模拟试验,研究了老采空区上方兴建建筑物后地基的沉降规律,得出了一些有益的结论,对进行老采空区治理和采空区上方地表建筑物设计具有一定的参考价值^[7]。本书就是以此问题为切入点,通过开采沉陷机制与沉陷规律和剩余沉降规律与影响因素的研究,结合以往采空区治理经验和焦晋高速公路采空区的地质背景,确定采空区对高速公路的危害性,进而确定采空区治理的最优设计,明确采空区治理效果的检测治理与检测手段。

高等级公路下伏采空区治理优化和治理效果评价是一项综合性的工程技术应用课题。本书将结合河南省重点生产项目“焦晋高速公路采空区基础处理”工程,收集国内外其他高速公路采空区治理及质量检测方面的有关资料,通过对焦晋高速公路采空区地质背景的分析研究、采空区的沉陷机理与变形规律研究,研究了复式采空区的沉陷破坏机制、剩余沉降的沉降规律以及对高速公路路基的危害程度,提出了现采采空区的治理与评价方法和评价指标,编制分析软件,建立数值模型,优化治理方案,系统总结了焦晋高速公路采空区的优化治理先进经验和创新技术,为今后同类采空区治理提供有益的建议。

在本书编写过程中,耿玉岭同志负责了全书的统稿和编纂工作,河南省地球物理工程勘察院和石家庄经济学院有关领导和同仁对本书的出版给予了大力的支持,在此一并表示深切的谢意!书中还需要进一步探讨或错误之处,期待读者对本书不吝赐教指正。

作 者

2007.07.18

目 录

第 1 章 焦晋高速公路下伏采空区地质背景	(1)
1.1 采空区塌陷的形成条件与分布特征	(1)
1.1.1 采空区塌陷的形成条件	(1)
1.1.2 采空区塌陷的分布规律	(1)
1.2 采空塌陷的发育特征	(1)
1.2.1 采空塌陷的地表变形特征	(1)
1.2.2 采空塌陷地表变形的影响因素	(3)
1.3 焦作矿区水文地质特征	(4)
1.3.1 含水层组及其富水性特征	(4)
1.3.2 地下水补、迳、排及其转化特征	(4)
1.4 焦晋高速公路下伏采空区特征	(5)
1.4.1 不同采矿时间形成的采空区特征	(7)
1.4.2 不同埋深采空区特征	(8)
1.4.3 不同水文地质条件的采空区特征	(9)
1.4.4 复式采矿形成的采空区特征	(9)
第 2 章 采空区的沉陷机理与变形规律	(10)
2.1 长壁陷落法的沉陷机理	(11)
2.2 长壁开采覆岩的变形	(11)
2.2.1 长壁工作面周围岩体变形	(11)
2.2.2 断裂带和连续变形的岩体变形	(12)
2.3 条带法开采沉陷的机理	(14)
2.4 覆岩移动变形机制与计算	(14)
2.4.1 岩体强度的确定	(14)
2.4.2 煤柱压入底板机制与压入量计算	(16)
2.4.3 煤柱压缩机制与压缩量计算	(17)
2.4.4 岩柱压缩机制与压缩量计算	(18)
2.4.5 承重岩层压缩机制与压缩量计算	(19)
2.5 焦作矿区开采沉陷特征	(19)
2.5.1 开采沉陷的形成条件与分布特征	(19)
2.5.2 开采沉陷的地表变形特征	(20)
2.5.3 采空沉陷区地面稳定性评价	(21)

第 3 章 剩余沉降变形机理及其影响因素	(23)
3.1 剩余沉降地下空间的表现形式与特性	(24)
3.1.1 剩余沉降地下空间的表现形式	(24)
3.1.2 覆岩破坏的三带特性	(25)
3.1.3 焦晋高速公路采空区覆岩破坏的三带特征及剩余沉降 规律研究	(30)
3.2 覆岩的破坏类型与程度	(32)
3.3 采空区上部荷载	(36)
3.3.1 静荷载	(37)
3.3.2 动荷载	(39)
3.4 采空区深度与稳定性	(40)
3.4.1 顶板稳定性与深度的关系	(40)
3.4.2 路基稳定性与深度的关系	(41)
3.5 煤柱或岩柱的变形与稳定性	(42)
3.5.1 煤柱强度特征与要求	(42)
3.5.2 煤层残块中的应力大小	(43)
3.5.3 煤柱强度的确定	(45)
3.5.4 煤柱的稳定性评价	(46)
3.6 水文地质作用	(47)
3.6.1 水对岩石力学性质的影响	(47)
3.6.2 地下水流动与赋存条件对开采沉陷的影响	(51)
第 4 章 剩余沉降对公路路基的危害程度	(52)
4.1 采空区冒落带剩余沉降的定量计算	(52)
4.1.1 Budryk—Knothe 理论及引入 Fourier 二维积分变换法	(52)
4.1.2 概率积分法	(55)
4.1.3 焦晋高速公路下伏采空区冒落带剩余沉降计算	(57)
4.2 离层发展的时空过程及数值模拟	(59)
4.2.1 离层发展的时空过程	(59)
4.2.2 模型的选择及分析	(62)
4.3 焦晋高速公路采空区上覆岩层离层模拟计算	(72)
4.3.1 B 区离层模拟	(73)
4.3.2 C 区离层模拟	(78)
4.3.3 数值模拟效果分析	(83)
第 5 章 焦晋高速公路下伏采空区治理方案的优化	(85)
5.1 采空区治理方案的选择	(85)
5.2 充填注浆法注浆过程的数值模拟	(86)

5.2.1	浆液的流变性	(87)
5.2.2	注浆过程的数值模拟	(88)
5.3	注浆治理技术优化	(101)
5.3.1	钻探施工	(101)
5.3.2	注浆施工	(102)
5.3.3	注浆材料	(110)
5.3.4	注浆技术的优化	(112)
5.3.5	帷幕技术	(113)
第 6 章	采空区治理质量检测与治理效果评价研究	(115)
6.1	质量检测的原则与方法	(115)
6.2	质量检测评价的指标	(116)
6.3	治理效果的数值模拟	(117)
6.4	采空区治理质量检测方法及原理	(120)
6.4.1	物探检测	(120)
6.4.2	钻探与岩土测试方法	(124)
6.4.3	变形监测	(124)
6.5	各种检测方法的有效性评价	(130)
6.6	综合检测技术优化	(131)
结束语		(132)
参考文献		(134)

第 1 章 焦晋高速公路下伏采空区地质背景

焦作地区矿产丰富,其中煤炭资源量 89.2 亿吨,硫铁矿 2000 万吨,铁矿 1 亿吨,粘土矿 8000 万吨,石灰石 54 亿吨,焦作煤矿区拥有 14 座大型煤矿,年产煤 500 万吨以上。

随着各种矿产的开发,必然导致对地质环境的破坏,其中在本区危害最突出的是采煤引起的地面塌陷。采空区塌陷造成了地表严重下沉或开裂,破坏农田、损害建筑物的安全及水利设施的运营,扭曲、错断交通线,改变地下水的天然流场,形成污染地下水的有利地形和通道。

有关焦晋高速公路下伏采空区地质背景的研究,前人通过地质与构造、煤田勘探、采矿工程与地下水运移等方面的研究已经具有一定的基础。此次通过采空区工程地质勘察以及采空区治理工程,对采空区的地质背景又有了进一步的认识,尤其是对采空区塌陷冒落规律在认识上取得一定的突破。

1.1 采空区塌陷的形成条件与分布特征

1.1.1 采空区塌陷的形成条件

焦作煤矿区分布在太行山前的倾斜平面上,东西长 40 km,南北宽 6 km,面积约 240 km²。

采煤在地下形成巨大的空间,使上部盖层悬空,平衡条件被破坏,在各种动静荷载的作用下,或外部条件的改变,使其顶板塌落、弯曲,以至引起地表下沉变形,形成采空区塌陷。

1.1.2 采空区塌陷的分布规律

采空区塌陷与采矿活动密切相关,并受其限制。在焦西矿区,采空塌陷形成六个大的移动盆地,分别分布在东王封—西冯封、李封—塔掌—上百作、北朱村、许家坟、嘉禾屯和焦西沙锅窑,塌陷面积 20.89 km²,近东西向展布。焦东矿区采空区塌陷沿北东向展布,塌陷面积达 30.8 km²。沿周庄、百间房、上马村、小马村、田门、冯营、方庄一线分布五个采空塌陷区,具体位于前勒作、韩王、演马庄、百庄、吴村等地。

小窑采煤形成的塌陷,沿山前冲积扇及坡洪积裙顶部的煤层埋深较浅(一般埋深小于 100 m)、涌水量很小的地带零星分布。

1.2 采空塌陷的发育特征

1.2.1 采空塌陷的地表变形特征

矿区采空塌陷的地表变形开始形成凹地,随着采空区的不断扩大,凹地持续发展,形成移动盆地。移动盆地的范围一般比采空区面积大,其位置和形状与矿层倾角大小有关。焦作

矿区为一向东南倾斜的单斜构造，煤层倾角 $8^{\circ}\sim 12^{\circ}$ ，移动盆地沿走向对称于采空区，而盆地中心向煤层上倾方向偏移。盆地形状各异，常见有蝶型和槽型。

采空塌陷按地表的运动方向分垂直移动和水平移动；按地表的变形方式分倾斜、弯曲（曲率）和水平变形（伸张或压缩）。根据地表变形值的大小和变形特征，自移动盆地中心向边缘分为三个区。

（1）均匀下沉区（中间区）：当开采逐步达到充分采动时，该区才开始形成，这时水平和垂直变形都发展较快，且不均匀。当开采达到充分采动后，移动盆地形成平底，该区初具规模，区内地表运动以下沉为主，且下沉较均匀，地面平坦，一般无明显裂隙。如焦西矿采空塌陷区的南部平地（已停采），经数年，已基本稳定，现已盖楼，运行正常。

（2）移动区（危险变形区）：区内地表下沉不均匀，垂直移动和水平移动强烈，倾斜、弯曲和水平伸张变形较大。因此，该区常出现地表裂隙、裂缝，形状与采空区边缘有关，常见的有条形、弧形。如焦作九里山采空塌陷区，长约 60 m 的裂缝达 10 余条，沿塌陷区形成半环形，裂缝宽 0.1~0.5 m，裂缝交叉形成 Y 型节理。

（3）轻微变形区：地表变形值很小，一般对地表建筑物不起损害作用，该区与移动区的边界，是以建筑物的允许变形值来划分的，其外围边界实际上难以确定，通常是以地表的下沉值 10 mm 为标准来圈定的，在野外地质调查中，用肉眼很难判定。

焦作矿区采空塌陷盆地中心的沉降量一般为 5~7 m，最大约 10 m；平均塌陷强度为 10~100 个/ km^2 ，主要受工作面多少控制；各矿目前塌陷面积均小于 10 km^2 ；矿区总塌陷面积 51.69 km^2 。最早的塌陷始于 1920 年，距今近 90 年，现已基本稳定，最新形成的塌陷区为九里山塌陷区，距今仅几年，年塌陷平均速率为 10000~40000 m^2/a ，各塌陷区的特征见表 1-1。

表 1-1 焦作煤田采空塌陷特征一览表

项目 矿名	最大沉降量/ mm	塌陷规模/ km^2	塌陷强度/ (个/ km^2)	塌陷时间/ a	平均塌陷速率/ (m^2/a)
王封	5000~7000	7.29	10~100	1923~1988	112154
李封	3000~7000	4.05	10~100	1920~1988	59559
朱村	3000~5000	6.05	10~100	1958~1988	201667
焦西	3000~6000	3.5	10~100	1954~1988	102941
焦东	5000	1.155	10~100	1962~1988	44423
小马	5000~7000	9.81	10~100	1956~1988	306563
中马	5000~7000	3.03	10~100	1958~1988	101000
冯营	5000~10000	3.345	10~100	1962~1988	128654
方庄	5000~6000	3.5	10~100		
演马	5000~8000	4.71	10~100	1961~1988	174444
韩王	6000~7000	2.73	10~100	1958~1988	910000
九里山	6000~7000	1.425	10~100	1984~1988	356250
白庄	3000~5000	0.525	10~100		
吴村	5000~7000	0.57	10~100		

焦作小煤窑采煤多采用手工开挖，单个采空范围一般小于 1 km^2 ，开采深度一般较浅 ($<100 \text{ m}$)，平面延伸 $200\sim 300 \text{ m}$ ，以巷道采掘为主，主巷道多沿大煤（二叠系下统山西组，二₁煤组，以下同）煤层开挖，支巷伸向两侧，多无规律，有时呈网格状，巷道高、宽一般 $2\sim 3 \text{ m}$ ，多不支撑或临时支撑，顶板任其垮落。因此，其地表变形特征为：

(1) 由于采空范围小，地表一般不产生移动盆地。因开采深度小且顶板任其垮落，故地表变形剧烈，多形成裂缝和陷坑。如阎河水源地下水井被小窑采空塌陷破坏，使整个设备和水井报废，楼房发生裂缝。另外，小窑密集的地带，如百间房，地表陷坑呈鸡窝状分布，地面严重破坏，起伏不平。

(2) 地表裂缝的分布常与开采工作面的前进方向平行，随开采工作面的推进，裂缝不断向前发展，形成相互平行的裂缝带。除极浅的采空区外，裂缝宽多小于 0.5 m ，一般呈上宽下窄的“V”字型，两边无明显高差出现。

1.2.2 采空塌陷地表变形的影响因素

焦作煤矿区开采水平不一，平均开采深度 300 m ，变形扩展到地表所需时间较长，变形较均匀，地表移动盆地范围增大，平均开采厚度 6 m ，见表 1-2，采空空间较大，变形剧烈，最大沉降量一般大于 300 cm ，煤层倾角 $8^\circ\sim 12^\circ$ ，较平缓，但地表仍出现裂缝，移动盆地向煤层上倾方向偏移。

表 1-2 焦作主要矿井开采深度和厚度统计表

项 目	矿 名										
	王封	李封	朱村	焦西	焦东	马村	中马	演马	冯营	九里山	韩王
开采深度/m	249	295	80~220	160~270	210	180~260	210~400	90~300	90~430	140~320	70~210
已采厚度/m	大煤 7.0 二煤 1.3	7.0	5.0	2.8	4.8	3.75	5.0	6.2	6.0	2.6	6.5

焦作矿区大煤顶板砂岩平均抗拉强度为 $1.82\sim 4.6 \text{ MPa}$ ，平均抗压强度为 $26.02\sim 101.7 \text{ MPa}$ ，属于硬质岩石；开采深度与开采厚度之比大于 20；第四系平均厚度 $20\sim 80 \text{ m}$ ；开采水平多分两级，因此采空塌陷多为非连续变形，重复变形，且变形较大。

早期的构造运动常造成大煤顶板砂岩层的不稳定性，如小马矿大煤顶板局部缺失或变薄；焦西矿区多形成地垒、地堑式断块；焦东矿区形成阶梯状断块，断块内次级小构造发育。如九里山矿区，开拓面积 2.54 km^2 ，遇断层 107 条，其中断距小于 2 m 的占 95.4%，平均断层密度 42.1 条/km^2 。节理裂隙发育，会加快变形，扩大地表裂缝区。

降雨在移动盆地中富集，沿地表裂缝和孔隙垂直入渗，加速土颗粒的移动，加大土体自重，加快变形速度，扩大变形范围，增大地表变形值。

焦作矿区采用地下开采，临时支护，部分回采，遇重要建筑物（如桥梁、铁路）留保安煤柱，遇水断层留防水煤柱，炮采，非充填。在开采过程中，为减小顶板来压常采用局部冒落。采空后，除永久性巷道外，实行全部陷落，工作面为条带状。这种开采方式使地表变形量增大。最大下沉量接近于开采厚度。

1.3 焦作矿区水文地质特征

1.3.1 含水层组及其富水性特征

根据地层时代、含水层介质特征,焦作矿区主要含水层组可划分为:①第四系砂砾石孔隙含水层组;②二叠系砂岩裂隙含水层组;③石炭系灰岩裂隙—溶洞含水层组;④中奥陶统灰岩网格裂隙—溶洞含水层组;⑤中寒武统灰岩稀疏裂隙—溶洞含水层组。各含水层组的特征简述如下:

(1) 第四系砂砾石孔隙含水层组。

分布于山前洪积平原和冲积平原区,含水层主要有冲洪积砂砾石所组成,厚40~100 m,顶板埋深20~40 m,分布面积约900 km²。

(2) 二叠系砂岩裂隙含水层组。

主要分布在矿区,面积478.12 km²。该含水层组位于大煤顶板以上,由砂岩、页岩互层组成,厚70~120 m。顶板埋深30~150 m,标高60~150 m。其顶部由10~20 m厚的古风化壳所覆盖,弱含风化裂隙水。渗透系数0.01~0.5 m/d,富水性弱,可视为相对隔水层。

(3) 石炭系灰岩裂隙—溶洞含水层组。

焦作矿区石炭系灰岩共有九层,其中二灰和八灰在区域上分布稳定,是主要含水层,均位于大煤以下。主要补给水源来自奥陶系灰岩,在浅部与第四系砂砾石含水层直接接触部位,成为第四系孔隙水越流进入矿坑的通道。

(4) 该含水层组是九里山泉岩溶水系统的主要含水层组。

由厚层灰岩、白云质灰岩、泥质灰岩组成。厚350~400 m。根据岩性组合特征,可分为二组六段,根据钻孔资料和微观鉴定, O₂² 和 O₂³ 灰岩裂隙率及易溶物含量均较高, CaO 和 MgO 比值大,岩溶发育,富水性强,成为中奥陶统主要含水层段。

由于受断裂构造的影响,在区域上,中奥陶统灰岩岩溶发育不均匀,且溶孔、溶蚀裂隙、溶洞的连接程度不同,从而表现出富水性的差异。

(5) 中寒武统灰岩稀疏裂隙—溶洞含水层组。

该含水层组主要由张夏组 (Є₂²) 亮晶鲕粒灰岩组成,厚度108~244 m,裸露区,多形成直立的陡壁。在切割强烈的地方,因受构造影响,下寒武统区域隔水基底抬起,地下水运动受阻,沿溶蚀裂隙形成岩溶大泉,泉水流量达3000~5000 L/s, (如三姑泉),形成局部地段中寒武张夏组含水层组极强富水区。在九里山泉域,赵庄断层以北地区,中寒武统Є₂² 处于饱水带,裂隙和溶洞发育,如 K₁₀ 孔见到17.35 m的大岩洞,溶蚀裂隙延伸性好,由于本区中寒武统张夏含水层组与沁河东岸司马懿藏兵洞至黑水泉 (流量为500 L/s) 段,水文地质条件类同,因此把本区中寒武统张夏含水层组划为强富水区。

1.3.2 地下水补、迳、排及其转化特征

1.3.2.1 岩溶水的补给、迳流与排泄

灰岩裸露区,为岩溶水的主要补给区。因灰岩出露面积大,构造岩溶发育,为降水入渗及河流渗漏提供了有利条件。但因各区地形、地貌、构造岩溶发育程度的不同,入渗强度高

弱不均，因而表现出大气降雨、地表水流及岩溶地下水的转化程度各有差异。

1.3.2.2 孔隙水补给、迳流与排泄

天然条件下孔隙水主要接受大气降水和季节性洪水渗漏补给。目前在矿坑排水的情况下，大量的矿坑水通过渠道渗漏和农灌回渗补给孔隙水，成为特定的主要补给水源。

孔隙水的迳流取决于含水介质的结构特征。从冲洪积扇的中上部到前缘，岩性结构由粗到细，迳流条件由好到差，迳流方向在冲洪积扇的中上部，向东南流动，冲积平原由西向东流动。水力坡度，洪积扇的中上部为 1/400，扇的前缘和冲积平原为 1/1200 左右。

孔隙水的排泄。在天然状态下，主要以泉、潜水蒸发和侧向迳流排泄为主。

潜水蒸发主要是在冲积扇的前缘地带，地下水水位埋深小于 4 m，包气带岩性颗粒细，主要为亚砂土、亚粘土，蒸发比较强烈。

泉水排泄。地下水沿着西石河、山门河、纸坊沟河冲洪积扇向前运移，在低洼地带溢出成泉，主要有灵泉、碑泉、王母泉、马坊泉等。此外，小张庄、小泊自流井也是孔隙水排泄的一种形式。侧向迳流排泄：主要在东南部流出境外。

开采条件下，随着工农业的发展，对地下水的开采强度逐渐增大，在集中开采地段，地下水上升受到抑制，局部形成下降漏斗。

特别是由于矿坑排水等人为因素的影响，改变了孔隙水的补、迳、排条件，形成了九里山泉域特有的第四系孔隙水的疏干区、漏斗区及水位稳定区。

(1) 疏干区。

分布于近山前的西王封—岗庄—方庄一带，面积 98.75 km²。在矿坑排水条件下，该区主要接受大气补给及山前侧向潜流补给，经八灰“天窗”及大煤露头自由向下越流进入矿坑，补给矿坑水，造成本区地下水大幅度下降。目前水位埋深已达 30 m 以下。

(2) 漏斗区。

分布于北朱村—许家坟及演马—九里山一带，漏斗面积分别为 10.17 km² 和 83.70 km²，前者漏斗中心位于北朱村附近，后者漏斗中心位于隰城寨至大官庄一带，由于九里山奥灰“天窗”及八灰“天窗”的存在，造成地下水复杂的转化关系。九里山奥灰“天窗”区，岩溶水与孔隙水发生直接水力联系，目前岩溶地下水位仍然高于孔隙水位，因此，孔隙水仍然接受岩溶水的顶托补给。由于受九里山断层的作用，石炭系地层一端抬升，石炭系第八层灰岩与上覆第四纪砂砾石含水层直接接触，形成八灰“天窗”，从而造成孔隙水通过八灰“天窗”越流补给矿坑水，形成九里山残丘南侧沿演马—九里山一线的第四纪孔隙水水位下降漏斗。矿坑水在漏斗区大量漏失补给孔隙水，而后进入矿坑，形成矿坑排水重复转化。

(3) 水位稳定区。

分布于上屯—恩村—西板桥一带，面积 191.74 km²。该区在开采条件下，主要接受矿坑排水渗漏补给，水位埋深小于 4 m，流向东南，水力坡度平缓，以蒸发、迳流及泉排泄。由于矿坑排水连续大量补给，水位动态变化比较稳定，年变幅不大于 0.5 m。

1.4 焦晋高速公路下伏采空区特征

焦晋高速公路采空区位于河南省焦作市中站区的寺后至朱村一带，公路里程桩号为 K8+700~K15+340。按自然采矿边界分为四个采空区段，各段的具体特征分述如下：

A1 区段：硫铁矿采空区，位于 K8+700~K9+000 处，共分布有 6 处开采矿窑，开采层位为奥陶系风化壳上的硫铁矿，矿体呈透镜状、鸡窝状，最大厚度 4~5 m，一般厚度为 1~3 m，顶板岩性为灰岩，覆岩为灰岩、泥岩，埋深约 75~80 m。开采方式是先打一竖井到矿层底部，沿矿层向一侧或向四周挖掘运矿巷道，向运矿巷道两侧呈巷道式开采，一般不做支护，开采后任其自然垮落。

A2 区段：煤矿采空区，位于 K11+360~K11+670 处，为村办煤矿开采区，1987 年开矿，1992 年闭矿，采深 110 m，回采率约 40%~50%，年产量约 1.5 万吨，总产量约 10 万吨，巷道式开采，回采范围约 100 m 左右，巷道用坑木临时支护，采后收回坑木，采空区任其自然塌落。

B 区段：煤矿采空区，位于 K11+924~K13+735 处，为国营王封煤矿王封井田采区，该矿于 1911 年建井，1921 年投产，设计能力为年产 60 万吨，20 世纪 80 年代以后扩建为年产 90 万吨，实际生产能力为 120~150 万吨/年，1994 年以后年产 60~100 万吨，1996 年底结束采煤并关闭。含煤地层为二叠系山西组和石炭系太原组，其中山西组为砂、泥岩，夹 1[#]（即大煤或二₁）煤层，厚为 70~120 m，1[#]煤层厚 3.5~9.0 m，平均煤层厚度为 6 m。太原组为灰岩、砂岩和泥岩，夹 2[#]（一₅）煤层，厚为 50~70 m，2[#]煤层厚 0.23~4.36 m，平均厚 1.3 m。该矿 1[#]（二₁）煤层采用走向长壁式采矿方式，分层开采，一般 2~2.2 m 为一分层，工作面一般走向长 200~300 m，宽 70~100 m，保安煤柱宽 20 m 左右，一般采用临时液压支护系统，顶板为砂岩、粉砂岩，采后自然塌陷，采区回采率达 80%~90%，整个矿区回采率为 70%，路线下方开采时期为 1954~1978 年。采深自北向南由 90 m 逐渐加深至 180 m。该矿 2[#]（一₅）煤层采用走向长壁式开采方式，工作面一般走向长 600 m，宽 200~300 m，一般采用临时液压支护系统，顶板为灰岩，局部为粉砂岩，采后自然塌陷，采区回采率达 80%~90%，整个矿区回采率为 70%，采深自北向南由 140 m 逐渐加深到 250 m。路线下方开采时期为 1979~1984 年。在该段内王封矿停采之后又有多处被村办小煤窑对残留煤层及煤柱进行重复开采，开采时间为 1975~1995 年，开采方式为巷道式开采，开采层位主要是 1[#]煤层，采深 90~180 m。

C 区段：煤矿采空区，位于 K14+700~K15+310 之间，为国营朱村煤矿采区，该矿于 1954 年建井，1958 年 1 月投产，实际生产能力为 60 万吨/年，最大生产能力 89 万吨/年。开采的煤层与王封矿开采的煤层相同。1[#]（二₁）煤层采用走向长壁式采矿方式，煤层厚 6 m，分层开采，一般 2~2.2 m 为一分层，工作面一般走向长 300~400 m，宽 100~200 m，一般采用临时液压支护系统，顶板为砂岩、粉砂岩，采后自然塌陷，采区回采率 80%~90%，整个矿区回采率为 70%，采深约 75~90 m。路线下方开采时期为 1973~1984 年。2[#]（一₅）煤层采用走向长壁式采矿方式，煤层厚 1.3 m，工作面一般走向长 500~600 m，宽 200~300 m，一般采用临时性液压支护，顶板为灰岩，采后自然塌陷，采区回采率为 80%~90%，整个矿区回采率为 70%左右，采深在 130~140 m 之间，路线下方开采时间为 1988~1989 年。该段线路附近在国营大矿停采后，又被村办小煤矿重复开采，其中北部（K14+700 附近）在路线下方的区域内，1990~1994 年开采朱村国营大矿残留的 1[#]（二₁）煤层，残留煤层厚度一般 2 m 左右，采深 75~90 m，巷道式开采，坑木临时支护，采后收回坑木，采空区自然塌落，回采率为 50%~60%，1994~1996 年开采朱村国营大矿残留的 2[#]（一₅）煤层，残留煤层厚度为 1.3 m，采深 135~150 m，巷道式开采，坑木临时支护，采后收回坑木，采空区自然塌落，回采率为 50%~

60%；南部在路线下方区域（K15+000~K15+300），1993年投产到今，目前正在开采之中。该矿窑在路线下方的区域内自1997年至现在一直开采朱村国营大矿残留的1#（二₁）煤层，煤层厚度2~6m，采深75~90m，年产量为3万吨，巷道式开采，坑木临时支护，采后收回坑木，采空区自然塌落，回采率为60%~70%。

各区段的主要特征见表1-3。

表 1-3 焦晋高速公路采空区概况一览表

施工区段 编号	采空区 编号	里程桩号/ m	采掘 年代	采矿 方式	回采率/ %	闭矿 年代	地质特征	水文地 质状况
A 合同区段	I	(K8+700) ~ (K9+000)	1949 以 前~1988	巷道式	35	50 年代 90 年代	铁矿一般厚度 1~3 m， 顶板岩性灰岩，开采 后自然垮落	未见 地下水
	II	(K11+360) ~ (K11+670)	1921~1996	长壁式 巷道式	70	1996	1# 煤厚度 3.5~9.0 m， 平均厚度 6.0 m 顶板岩 性、砂岩、粉砂岩；2# 煤层厚度 0.23~2.46 m，平均厚度 1.3 m。顶 板岩性灰岩，采后自然 垮落	局部有 水位
B 合同 区段	III	(K11+924) ~ (K13+735)	1921~1996 (大矿)	长壁式 巷道式	70	1988 ~ 1996	1# 煤厚度 3.5~9.0 m， 平均厚度 6.0 m 顶板岩 性、砂岩、粉砂岩；2# 煤层厚度 0.23~2.46 m， 平均厚度 1.3 m。顶板岩 性灰岩，采后自然垮落	局部有 水位
C 合同区段	IV	(K14+700) ~ (K15+340)	1958 ~ 1991 (大矿)，小 矿开采至今	长壁式 巷道式	70	大矿 1991 年，小矿 开采至今	1# 煤厚度 3.5~9.0 m， 平均厚度 6.0 m 顶板岩 性、砂岩、粉砂岩；2# 煤层厚度 0.23~2.46 m， 平均厚度 1.3 m。顶板岩 性灰岩，采后自然垮落	局部有 水位

1.4.1 不同采矿时间形成的采空区特征

地下矿层被采空后，覆岩的冒落破坏一般滞后于回采放顶，而冒落岩块间的压实又滞后于冒落过程。覆岩破坏的发展过程可分为两个阶段：在发展到最大高度之前，破坏高度随时间的推移而增大。对于产状平缓（0°~35°）的极软弱型到中硬型覆岩，一般在采矿工作面回采放顶后的1~2个月内导水裂隙带高度发展到最大值；对于坚硬型覆岩，这段时间就更长一些。冒落破坏发展到最大高度之后，覆岩导水裂隙带厚度将随冒落带的压实而逐渐降低，降低的幅度与覆岩的强度成反比。随时间的推移，裂隙带内的裂缝可能部分弥合而减

小, 渗透性可恢复其原有的隔水性能。在软弱覆岩条件下, 这种弥合或恢复尤为明显。但在预留煤柱的两侧, 采空空洞及裂缝的冒落压实尚需更长时间, 随煤柱的不断风化, 冒落物的进一步压实, 还有可能发生不均匀的地表变形。而这种无规律变形隐患, 对建设工程的破坏程度不可低估。焦晋高速公路采空区的开采时间见表 1-3。不同采矿时间形成的采空区特征以 B、C 合同段表现最为明显。

B 合同区段 K11+924~K12+680 间, 由于采矿时间较早, 对于无后期小煤窑重复开采的区域, 冒落破坏已基本停止, 冒落物的压实程度较高。钻探中极少发现空洞而产生掉钻现象, 大部分钻孔内漏水量较小, 个别钻孔即使在采空区钻进漏水量亦很小。单孔注浆量普遍较小, 注浆量偏大的钻孔恰好位于预留煤柱附近, 表明煤柱两侧附近的冒落虽已基本停止, 但冒落带的压实弥合程度较差, 裂隙连通性较好, 钻探中漏水明显, 注浆过程中时有串浆现象发生, 注浆量中等偏大, 地表局部尚存有裂缝。

B 合同区段 K12+680~K13+735 间, 为国营煤矿 20 世纪 50~80 年代所开采, 部分区域为 80~90 年代初期经小煤窑重复开采。总体上冒落破坏已基本停止, 但冒落带、裂隙带的压实弥合较差, 且存在部分连通性较好的孔洞或裂隙。钻探中漏水量较大, 部分钻孔有明显的掉钻现象, 注浆过程中该区域内常发生串浆现象, 注浆量普遍较大, 个别单孔注浆量 $>500\text{ m}^3$ 。地表见有裂缝和沉陷洼地。

C 合同区段 1958~1991 年为国营煤矿开采, 1985 年至今又为村办小煤窑重复开采, 属采空区冒落破坏的活化期。据实地资料, 回采放顶后即可形成冒落, 未放顶巷道与现采掘巷道相互联通, 基本未发生冒落破坏。钻探中普遍漏水, 时有掉钻、卡钻、埋钻现象发生, 冒落带内较难成孔。注浆过程常出现连续的串浆现象, 注浆量普遍较大, 单孔注浆量大于 500 m^3 的钻孔均出现在现存巷道之上或其附近。

1.4.2 不同埋深采空区特征

不同埋深的采空区所引起的地表移动变形形迹各异。开采深度 (即埋深) 对地表移动变形速度、时间起着重要的控制作用。一般情况下, 在其他条件相同时, 当采深小于 50 m 时, 地表移动时间仅 2~3 个月, 而当采深为 $500\sim600\text{ m}$ 时, 地表移动时间可持续 2~3 年之久。地表最大下沉速度及变形量与采深成反比。开采深度很小时, 地表移动速度大, 而移动持续的时间短。当采深较大时, 地表移动速度小, 移动变形比较缓慢且均匀, 而移动持续时间则较长。随开采深度的增加, 地表移动盆地变得平缓, 各项变形值减小。因此, 常用采深作为衡量开采条件对地表移动变形影响的粗略估算指标。

焦晋高速公路采空区由采深所引起的地表移动变形差异较大, C 合同区段埋深浅 ($70\sim120\text{ m}$), 故 C 合同区段比 B 合同区段 (埋深 $60\sim210\text{ m}$) 地表移动变形强烈。B 合同区段在 K11+924~K12+800 间的采空区埋深为 $60\sim120\text{ m}$, 目前, 地表虽有原沉降裂缝的痕迹存在, 但无明显的错位移动, 移动变形已基本趋于稳定, K12+800~K13+735 间采空区埋深 $120\sim210\text{ m}$, 钻探中绝大部分孔内均有不同的漏水, 表明岩层的破碎程度及裂隙的发育程度较高, 但地表无裂缝出现, 仅局部小范围见有沉陷洼地。C 合同区段由于采空区埋深较浅, 且存在两个村办小煤窑的重复开采, 目前地表移动变形最为明显。围绕两个小煤窑近年内的主要采掘区域, 地表出现两个明显的沉陷洼地, 沉陷洼地中心下沉量达 $1\sim2\text{ m}$ 。周边伴有环状裂缝, 宽度达 0.5 m , 落差达 0.3 m 。洼地内具有与采掘主巷道平行的直线型裂缝, 宽

0.01~0.1 m, 落差达 0.1 m。据调查,小煤窑在闭巷放顶后的月余时间,地表即出现移动变形痕迹。

1.4.3 不同水文地质条件的采空区特征

影响采空区的水文地质条件包括地下水及地表水。当采空区上覆岩层由较坚硬岩石组成时,水对其物理力学性质无明显影响。但当采空区上覆岩层为软弱岩层时,水对采空区的物理力学性质有着明显的影响。如泥质岩类遇水后塑性增大,在移动变形过程中不易产生裂隙或裂缝。松散层内含水量较多时,在移动变形过程中就会产生疏干现象,导致地表下沉量增加及移动变形范围扩大。

焦晋高速公路下伏煤矿采空区由于地下水位较低,加之双层煤(1#煤层、2#煤层)层已均被采空,故现治理采空区内仅局部充水。显然地下水对采空区的影响作用较小。相对而言,地表水对采空的影响作用较大,包括雨水的渗透作用和暴雨形成的洪水作用,往往在暴雨后,地表极易出现裂缝或引起原有裂缝的加大变形。

1.4.4 复式采矿形成的采空区特征

焦晋高速公路采空区根据采矿调查,本区煤矿分布有王封、朱村二个国营大矿,同时还有村办或个体小型煤矿,共有二层采空区:1#煤层采空区埋深 70~200 m 之间,煤层平均厚度为 6 m;2#煤层采空区埋深在 125~250 m 之间,煤层平均厚度为 1.3 m,整个矿区煤层回采率为 70%。

第一次两国营大矿开采路线下方 1#煤层的时间为 1954~1978 年和 1973~1984 年,采用走向长壁式分层开采,一般分层厚度为 2.0~2.2 m,工作面长度一般沿走向 200~300 m,宽 70~100 m,留设保安煤柱宽 20 m 左右,多采用临时性液压支护系统,顶板岩性为砂岩、粉砂岩,采后自然塌落。

第二次两国营大矿开采路线下 2#煤层的时间为 1979~1984 年和 1988~1989 年,采用走向长壁式采矿方式,工作面一般沿走向长 500~600 m,宽 200~300 m,多采用临时性液压支护系统,顶板岩性为灰岩,采后自然塌落。

在两国营大矿开采后期,1975~1999 年,小煤矿又对 1#、2#煤层残留煤进行开采,残煤厚度一般 2 m 左右,回采率约 40%~50%,巷道式开采,坑木临时支护,采后收回坑木,顶板任其自然塌落。

经过勘察表明,当采上部煤层时,使覆岩的力学性质发生变化,经过一段时间相对平衡后,第二次开采破坏了这种相对平衡状态。与单层开采相比,其上覆岩层的结构、构造复杂化,岩层软化,采空区影响范围增大,岩层及地表移动过程比初次采动时剧裂,地表下沉值增大,地表移动速度加快。具体表现在 C 合同区段,钻探过程中钻孔普遍漏水,采空区内有掉钻、卡钻、埋钻等现象发生,采空区上覆岩体中存在有大量裂隙,注浆量普遍偏大,注浆过程中经常出现连续串浆现象。地表变形强烈,裂缝及凹陷盆地明显,且发展速度较快。特别是朱村二矿南部边界 K15+304~K15+370 段移动变形最为明显。根据几个月的实地观察发现地表出现了十几条较大的拉伸裂缝,其特点上宽下窄呈“V”字型,宽度约 20~50 cm,落差可达 0.3 m,宽度随深度的增加而减小,裂缝的伸引方向大致同开采边界走向一致。