

高速公路采空区治理的综合检测优化评价

史殿胜¹ 贾学民² 王可佳²

(1. 河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质大队,河北秦皇岛 066000;2. 石家庄经济学院勘查技术系,河北石家庄 050031)

【摘要】 目前国内外有许多采空区治理效果检测方法,但尚没有成熟可靠的技术方法,在公路采空区治理监测检测中无现行规范、规程和标准可遵循。根据国内典型公路下伏采空区治理设计与监测检测试验研究,系统确立采空区治理效果检测体系与质量指标,明确采空区治理检测的原则、方法与综合检测优化程序;并研究讨论采空区治理效果检测数值模拟定量计算,为进一步研究采空区治理效果监测检测技术明确了方向。

【关键词】 监测检测,检测技术;采空区治理;优化

【中图分类号】 TU 478

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2010.02.008

The Composite Detection Optimization Assessment of the Treatment Project Using Grouting in the Mined Out Area Beneath the Highway

Shi Dian sheng¹ Jia Xuemin² Wang Kejia²

(1. Qing Huang Dao Geological Brigade of Mineral Resources and HydroEngineering, Hebei Geological Exploration Bureau, Qinghuangdao 066000, Hebei, China)

(2. Department of Prospecting Techniques, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China)

【Abstract】 A number of methods have been used to evaluate results derived from the treatment project in mined out area though most of them is not certain with accurate and confirmed results at present. And there were no reliable code or regulation as well any criteria to follow in highway construction. In the paper, based on surveillances and instruments to evaluate the results of the treatment project using grouting in the typical mined out area beneath the highway in China, a system to evaluate results of the treatment is discussed and some criteria are proposed. Principle, methods and synthetic procedure for trying to test results of the treatment project in a mined out area were confirmed. Also, a results derived from the numerical analogy are discussed as a methods to evaluate results of the treatment project in the mined out area. It shows a picture for the further researches to evaluate results of the treatment project in the mined out area in future.

【Key words】 survey and test ; instrument technology ; treatment in mined out area ; optimize

0 引言

关于高速公路采空区治理的质量检验内容与与方法,可采用钻探、岩土测试、压水试验、物探、孔内电视、人工开挖及变形观测等。每种方法都有其适应性及局限性,检验的精度效果也不相同,而且任何单一方法都很难对采空区治理效果进行准确评价^[1-2]。由于采空区治理工程的隐蔽性、复杂性和不确定性,给采空区治理效果的检验带来很多困难。因此对于采空区治理效果的检验必须突破以往的理论与方法。鉴于采空区治理检测工作应用状况,确定采空区治理质量的检测时应该遵循以下的原则和程

序:首先了解公路工程对采空区处理的要求,技术质量指标,处理的范围和深度;根据采用的处理方法、特性和施工资料确定采空区治理施工的质量;然后采用几种技术上可行、操作方便、经济合理的检验方法进行处理效果检验;最后评价采空区的治理设计的合理性与适用性,确定采空区的治理质量与效果。

1 质量检测的原则与方法

采空区治理的质量包括两个方面的内容:采空区治理施工的质量评价和采空区处理效果检验。对于前者是在采空区治理工程施工过程中的检测手段,只

能通过对施工过程的监督、控制来保证工程质量^[3-6]。监控的内容有:

1) 施工前期监控: 检查施工设备、施工点、放样、加固选用的材料及有关试验是否符合设计要求。

2) 施工过程监控: 监督整个施工过程, 保证每一施工工序严格按规范执行, 如对于灌浆处理的工艺, 灌浆材料的品种规格、浆液的性能、钻孔角度、灌浆压力等都要符合规范的要求。对施工过程中出现的异常现象要及时分析原因予以排除。必要时采用补救措施或改变施工工艺, 以保证工程质量。

采空区治理效果的检测是指采空区地基物理性性质提高的程度, 是否满足公路工程对采空区处理的要求。在灌浆治理工程中灌浆的施工质量高不等于灌浆效果好。因此在设计和施工中, 除应明确规定某些质量指标外, 还应采用一些有效的方法检验灌浆的效果。从目前研究的结果分析, 对于灌浆治理工程效果检验方法有以下几种:

1) 统计计算灌浆量, 利用灌浆过程中的流量和压力自动曲线进行分析, 绘制灌浆量平面等值线图, 分析判断灌浆效果。

2) 采用压水试验方法, 测定采空区受灌地层的渗透系数, 确定采空区剩余空间的大小, 判断采空区的空洞填充率;

3) 采用钻孔及岩土测试方法;

4) 采用物探方法;

5) 采用变形观测方法。

2 质量检测评价的指标

对公路工程有危害的采空区经过处理之后, 是否在公路服务期间内达到稳定, 符合质量要求, 检验时首先要建立检验评定标准, 对采空区治理效果的检验有些参数在设计时已有明确的指标, 如采空区充填体强度(三个月)大于 0.3 MPa, 变形观测要求从处理结束第一至三个月起, 公路运营一年止, 一般要求处理后一年内的地基沉降不超过 1~3 cm。为了保证满足高速公路下伏采空区地基长期稳定的目标, 除满足以上指标外, 还需满足其它相应参数的指标, 如采空区填充率必须满足设计要求。对于采空区治理效果检测评价指标, 不仅要考虑目前的稳定, 而且还要考虑满足高速公路运营期间的安全。因此采空区治理后应满足多个参数和指标的要求。与以

往的其它注浆方法不同。常用的防渗灌浆和固结灌浆, 采空区注浆是充填灌浆。相对前两者而言, 由于治理工程相对还不多见, 有关治理效果的检测指标仍需要进行深入细致地研究。通过对焦作高速公路各项检测参数的研究, 结合以往采空区检测指标, 对各项检测指标提出如下建议^①。

2.1 填充率

就采空区治理的填充率而言, 尽管可以采用钻探取芯的方法进行统计, 但是由于破碎岩体的采芯率较低, 和钻探施工中的扰动影响, 对采用此方法确定填充率的准确性便提出了疑问。对于采空区充填注浆的填充率的评判, 最直接的指标就是采空区治理之后的检验孔的注浆量, 当治理注浆量大于或者等于设计注浆量时, 可将检测孔注浆量与原注浆量之比定为注浆填充率的评价值, 当治理注浆量小于设计注浆量时, 检测孔注浆量与设计注浆量的比值为注浆量偏小处的注浆填充率值。在选择注浆检测孔时, 首先应该根据注浆过程中的注浆压力, 吸浆量与时间的关系曲线, 并根据注浆量等值图, 结合其它资料, 选择注浆量较大的部位布置检测孔位^{②[7-10]}。

2.2 强度指标

除了采空区充填体强度需满足 0.3 MPa 之外, 采空区冒落带或者裂隙带与充填体的胶结的岩体也应该满足一个强度指标。在以往的采空区治理经验中, 由于考虑强度指标的出发点和条件有所不同, 给出的指标差异较大。由于采空区冒落带和裂隙带的深度原因, 对采空区冒落物与充填体胶结物进行现场和室内压力试验都很困难。因此一般都是用现场横波波速或者面波波速测定确定。在孙忠弟(2000)有关采空区检测问题的研究中, 建议采用弹性波速测井法检测治理工程质量, 要求钻孔中灌浆处理层的平均剪切波速(横波) $v_{sm} \geq 160 \text{ m/s}^{[1]}$ 。但是在《唐津高速公路(二期)采空区处理物探检测及沉降位移监测工作报告》里记述唐山高速公路下采空区质量检测中采空区治理前在冒落带中面波波速的最小值是 205 m/s, 注浆治理之后最小值为 245 m/s^②。由于横波与面波有很好的相关性, 且两者值近似相等, 说明国内过去对采空区冒落物与充填体胶结后强度的评价指标有一定的分歧。考虑到采空区长期稳定性, 对孙忠弟建议的指标应该适当地提高。结

① 焦作高速公路管理局, 焦晋高速公路采空区优化治理与质量检测研究[R], 2003

② 河北矿业岩土工程公司, 唐津高速公路(二期)采空区处理物探检测及沉降位移监测工作报告[R], 1998.

合以往的经验,通过对焦晋高速公路面波与孔中波速测井资料的研究以及使用 FLAC3D 数值模拟对剩余沉降的模拟计算^①[8],结合以往的经验资料,建议横波波速最小值 $v_{sm} \geq 200$ m/s。

2.3 变形指标

变形指标按岩土工程勘察规范(GB 50021—94)给定的指标^[9]:

地表倾斜值

$$L_{\text{倾}} \leq 3-10 \text{ mm/m}$$

地表曲率

$$L_{\text{曲}} \leq (0.2 \times 10^{-3} \sim 0.6 \times 10^{-3})/\text{m}$$

水平变形

$$L_{\text{水平}} \leq 2 \sim 6 \text{ mm/m}$$

式中低限对应构造物路段,高限为一般路段。

3 综合检测技术优化

在以上讨论分析采空区注浆治理效果检测的方法时,其比较显著的特点是,有些方法比较精确直观,但费用高且检测的范围小,而有些方法施工方便,费用低且检测的面积大,但受地质条件的限制,直观性差,精度低。因此采空区质量检测时必须注重各种检测方法的综合检测,采用多种参数,从点到面进行全面准确地检测评价。在实施检测技术方案时,应该对检测技术进行优化。在对大范围的采空区注浆进行面积检测时,首先应该分析研究灌浆过程中的流量和压力自动曲线,绘制注浆量平面等值线图。根据注浆量较大部位的灌浆量和压力自动曲线,确定布置钻孔检验,并通过钻孔进行岩土测试、压水试验、弹性波速测试和注浆检验。除此之外,还需根据工程的重要性,选择物探检测方法进行面积检测。目前使用的方法有电法及瑞雷波法和高分辨率地震法。它是根据采空区处理前后同一点相同深度的物性变化来判断处理效果。如电法(高密度电法和 TEM 法)在采空区处理前,其电阻率为低阻(充水)或高阻(不充水),处理后,采空区中介质发生变化,充水介质电阻率升高,不充水介质电阻率降低。根据处理前后同一点相同深度电性变化值大小,对治理效果进行评价。

综合检测技术优化是强调采空区治理前后检测参数的对比,强调面积检测与重点部位检验相结合,

利用面积检测费用低,速度快,方法简单的特点,提供整个治理区域内的薄弱部位,再采用精度高的检测方法在重点部位和薄弱部位进行定量分析,之后综合两者的检测资料对采空区的治理效果进行综合评价,其方法与程序见综合检测技术优化流程图(见图 1)。

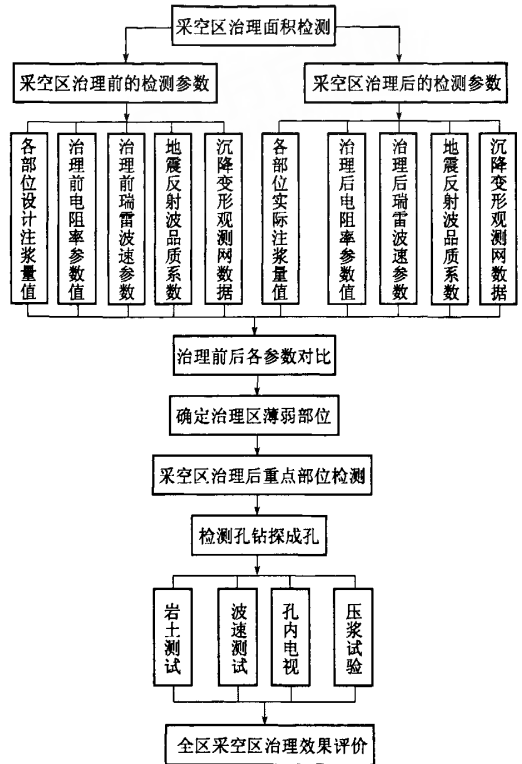


图 1 综合检测技术优化图

利用纵波速度和瑞雷波速度都可以确定出密度,但应用中一般用瑞雷波速度比较好,因为纵波速度受含水量影响很大,而瑞雷波波速受含水量影响较小。此外,纵波速度要比瑞雷波速度获得比较困难。

关于应用高密度地震反射法评价采空区治理的效果,对高密度地震法采集的数据,经一系列数据处理,得到每条剖面的叠加时间剖面图,地震资料对比解释在叠加时间剖面图上进行^①。以往构造地震勘探主要依据反射波同相轴产状的变化,研究地层的起伏形态、断裂构造及不同地层的接触关系,而本次地震方法是评价采空区的治理效果,依据有关反射波的品质变化—即反射波的连续性,稳定性,振幅的

① 焦作高速公路管理局. 焦晋高速公路乘空区优化治理与质量检测研究[R]. 2003.

一致性来解释。引入了地震波品质系数 Q 的概念,它通过对特定地震反射波进行数据计算处理获得,它可将反射波的品质量化,以 Q 值的大小变化细致客观地显示反射波品质的变化。 Q 值的计算方法是:在反射波的指定时间段,首先计算以本道为中心数个叠加道的综合道,再分别计算本道的自相关值 r_z 以及本道与综合道的互相关值 r_H ,最后以式 $Q=r_H/r_z$ 计算 Q 值,并将各叠加道的 Q 值绘成曲线。

在完成采空区面积检测之后,根据面积检测确定的薄弱部位,采用钻探与压浆试验进行验证。钻探与压浆试验是常用的质量检验方法。钻探检验是在处理的空洞范围内,按照检验技术要求钻孔取芯,对岩芯进行测试。根据钻进过程中异常现象,如埋钻、吸风、掉钻、卡钻及泥浆消耗量以及处理后岩芯的采取率及其破碎程度,结合充填岩土测试结果,对采空区治理质量与效果进行评价。检查孔的设计深度一般要等同于施工孔深度,孔径一般采用 $\phi 108$ mm。检查孔数量一般为施工孔的 2%~3%,最少不低于 2 个检查孔,检查孔的布置由物探检测或其它方法检测出的处理薄弱部位或者处理施工出现问题的部位,在平面上应尽量布置在构造物及公路中心轴线附近。

4 治理效果的数值模拟

为了检验注浆的治理效果,在采空区治理效果检测中采用注浆模型对一些检验孔进行了治理效果的数值模拟。根据焦晋高速公路下伏采空区治理工程的实际注浆资料,利用所研究的注浆的渗流模型对 C 区的三个注浆检验孔注浆过程进行了模拟^[10],结果见表 1、图 2~图 7 中。从注浆前的压水实验资料求得的渗透系数看,注浆前冒落带的平均渗透系数 1.14 m/d、裂隙带的平均渗透系数 0.065 m/d;注浆后,冒落带的平均渗透系数 0.12 m/d、裂隙带的平均渗透系数 0.018 m/d。冒落带、裂隙带的渗透系数分别下降了 9.5 和 3.6 倍。数值模拟的结果表明:原注浆孔冒落带注浆半径平均 70 m 左右、裂隙带注浆半径平均 5.7 m;而检验孔冒落带注浆半径平均 4.4 m 左右、裂隙带注浆半径平均 0.98 m。冒落带、裂隙带的注浆半径分别下降了 15.9 和 6.4 倍。岩层渗透性变小、注浆半径减小是由于注浆浆液充填岩层空隙(孔隙、裂隙和空洞),使空隙变小,连通性变差所致。虽然岩层渗透性、注浆半径不是直接表示浆液充填岩层空隙的指标,但它们能间接的表示其充填情况的好坏。从上述这些数据来看,应该说注浆效果是令人满意的。因而由渗流模型检验注浆效果也是一种较为理想的方法。

表 1 部分检验孔注浆模拟结果表

孔性	冒落带高度/m	裂隙带高度/m	渗透系数/($m \cdot d^{-1}$)		模拟注浆量/ m^3	实际注浆量/ m^3	冒落带影响半径/m	裂隙带影响半径/m
			冒落带	裂隙带				
检验孔 C1	3.20	54.10	0.1270	0.0189	14.35	14.31	4.5200	1.002
检验孔 C2	5.10	46.80	0.1280	0.0191	14.20	13.73	3.8140	1.0546
检验孔 C3	5.70	52.37	0.0985	0.0146	10.97	10.57	4.8780	0.8810

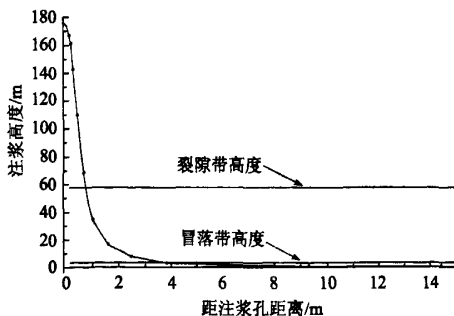


图 2 C 区检验孔(4-检 1)注浆高度图

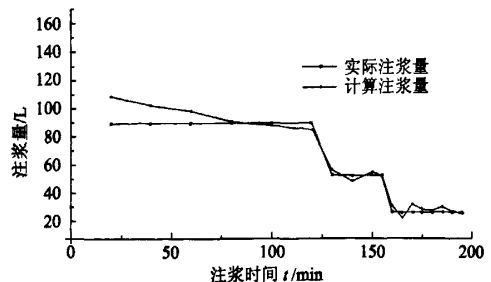


图 3 C 区检验孔(4-检 1)模拟注浆量与实际注浆量对比图

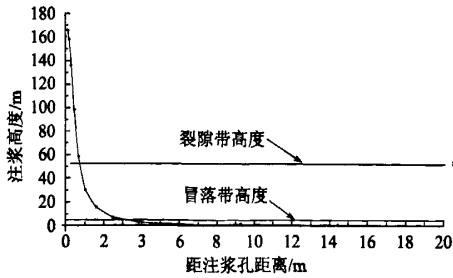


图4 C区检验孔(4-检2)注浆高度图

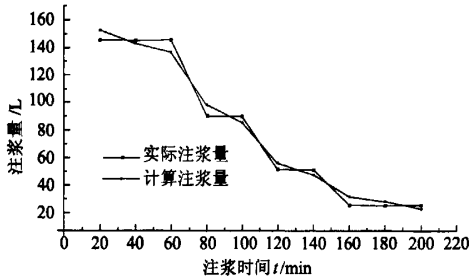


图5 C区检验孔(4-检2)模拟注浆量与实际注浆量对比图

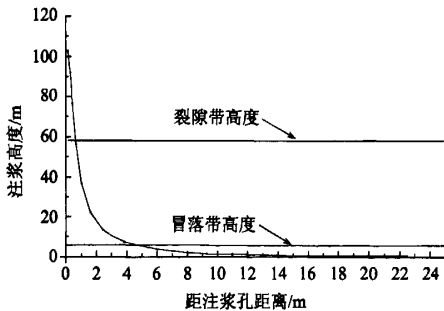


图6 C区检验孔(4-检3)注浆高度图

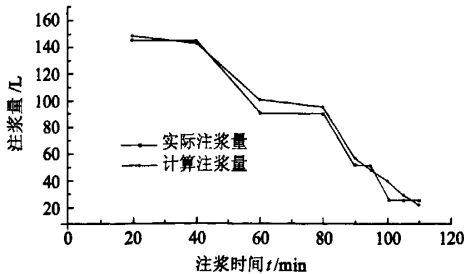


图7 C区检验孔(4-检3)模拟注浆量与实际注浆量对比图

5 结论

综合检测技术的优化是保证采空区治理质量与

效果的技术关键,有些检测方法检测精度高,但评价的范围具有局限性,而有些方法检验的精度较低,但检测费用低,检测的范围大。各种检测方法评价的角度与评价参数的区别,对确定采空区的治理效果都具有一定的作用,因此采用综合优化评价方法有助于对采空区的治理效果进行全面准确地评价,为确保高速公路的安全运营提供科学的依据。通过采用多种方法与技术对高速公路下伏采空区治理效果进行研究评价,且在面积检测选定的注浆薄弱部位进行钻孔以及压浆试验验证,其采用的综合优化的检测技术基本达到评价高速公路下伏采空区治理效果的目的,并对各种评价方法检测采空区治理效果的有效性 with 分辨率形成了初步的认识。

参考文献

[1] 孙忠弟. 高等级公路下伏空洞勘探、危害程度评价及治理研究报告集[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[2] 童立元, 刘松玉, 邱 珏, 等. 高速公路下伏采空区问题国内外研究现状及进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(7): 1198-1202.

[3] 童立元, 刘松玉, 方 磊. 高速公路下伏采空区治理质量监控技术试验研究[J]. 公路交通科技, 2002 (19): 52-56.

[4] 张志沛, 刘 旭, 徐汉民, 等. 煤矿采空区注浆工程质量检测的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(5): 604-607.

[5] Chen Youqing. A fluorescent approach to the identification of grout injected into fissures and pore spaces [J]. Engineering Geology, 2000, 56(3/4): 395-401.

[6] 赵树森, 侯 军. 晋一焦高速公路煤矿采空区处治施工工艺和质量监控[J]. 山西交通科技, 1999(1): 17-21.

[7] 贾学民, 王生俊, 刘庆华, 等. 高速公路下伏采空区剩余沉降评价研究[J]. 公路交通科技, 2005, 9(9): 146-148.

[8] 王生俊, 贾学民, 韩文峰, 等. 高速公路下伏采空区剩余沉降量 FLAC3D 计算方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(19): 3545-3550.

[9] GB 500021-94 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.

[10] 许广明, 贾学民. 采空区注浆治理过程中的数值模拟 [G]. // 矿产资源·地质环境·经济管理—石家庄经济学院五十周年校庆论文集. 北京: 地质出版社, 2003.