

ICS 93.020
CCS P 66

DB 14

山 西 省 地 方 标 准

DB 14/T 3238—2025

公路采空区治理工程数字化检测技术规程

2025 - 01 - 23 发布

2025 - 04 - 22 实施

山西省市场监督管理局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	2
5 钻探取芯法	4
6 室内试验法	5
7 波速测井法	6
8 钻孔全景数字成像法	8
9 变形监测法	9
10 压浆检测法	10
11 采空区检测综合分析评价	11
附录 A（资料性）公路采空区治理工程钻探取芯法检测记录表	13
附录 B（资料性）公路采空区治理工程波速测井法检测记录表见	15
附录 C（资料性）公路采空区治理工程钻孔全景数字成像法检测记录表	16
附录 D（资料性）变形监测法监测结果计算过程及公式	17
附录 E（资料性）公路采空区治理工程二次注浆记录表	19
参考文献	20

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西省交通规划勘察设计院有限公司、山西省交通建设工程质量检测中心（有限公司）、陕西地矿第二工程勘察院有限公司、清泽智能（太原）科技有限公司。

本文件主要起草人：刘新文、王海、武军、赵文溥、李彦斌、张东光、董立山、杨朝晖、张利民、董博、牛宝琪、侯伟、赵昀昀。

公路采空区治理工程数字化检测技术规程

1 范围

本文件规定了公路采空区治理工程数字化检测的一般要求，以及钻探取芯、室内试验、孔内波速、钻孔全景数字成像、变形监测和压浆检测方法。

本文件适用于全充填压力注浆法处治的公路采空区治理工程数字化检测，其他采空区参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 51180 煤矿采空区建（构）筑物地基处理技术规范

DZ/T 0017 工程地质钻探规程

JGJ 8 建筑变形测量规范

JTG C20 公路工程地质勘察规范

JTG/T 3222 公路工程物探规程

JTG/T 3331-03 采空区公路设计与施工技术规范

JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程

JTG 3431 公路工程岩石试验规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

采空区

狭义指煤层开采后的采出空间；广义指该采出空间及其覆岩失稳导致的地表移动和变形破坏的区域与范围。

3.2

数字化检测

利用现代计算机技术和数学方法，进行检测和分析，从而获取目标的形状、尺寸、位置等相关数据，并进行分析评价。

3.3

钻探取芯法

指利用钻探过程信息及采取的芯样综合判定采空区注浆充填效果的检测方法。

3.4

结石体

注浆浆液在采空区中凝结形成的固体部分。

3.5

波速测井法

利用放置到钻孔中的传感器接收到震源传来的纵波（P波）或横波（S波）信号到达时间（初至），来确定钻孔所处地层波速的一种方法。本文件根据震源的不同，分为两种测试方法，分别为：地面敲击法和孔中自激自收法。

3.6

钻孔全景数字成像法

指采用数字化孔内电视仪采集采空区受注层范围内注浆充填效果的孔壁影像信息，再运用数字化技术转换为三维图像的检测方法。

3.7

压浆检测法

通过钻探取芯孔对采空区受注段进行二次注浆，根据注浆速度、注浆压力、注浆量等指标来评价采空区处治效果的检测方法。

3.8

位移变形监测法

采用监测采空区场地地表水平移动值、下沉值等变形指标，开展采空区效果处治的检测方法。

3.9

室内试验法

用于钻探取芯法取得结石体芯样进行室内无侧限抗压强度 R_c （MPa）检测的方法。

3.10

受注层

采空区注浆充填的层位。

4 一般规定

4.1 公路采空区治理工程均应进行采空区处治效果质量检测。

4.2 公路主体工程施工前，采空区处治质量应合格。

4.3 公路采空区治理工程数字化检测内容可采用：钻探取芯法、室内试验法、波速测井法、钻孔全景数字成像法、压浆检测法和变形监测法等综合手段，检测方法应根据检测目的及内容按表 1 确定。

表1 公路采空区治理工程数字化检测方法

检测方法	检测目的	检测项目
钻探取芯法	判断注浆充填效果、观察裂隙充填情况、钻取注浆结石体	受注层岩芯采取率（%）、掉钻量（mm）
室内试验法	确定结石体无侧限抗压强度	结石体无侧限抗压强度 R_c （Mpa）
波速测井法	判断注浆充填效果	波速 V_s （m/s）
钻孔全景数字成像法	利用数字成像技术判断注浆充填效果	充填率 η （%）
压浆检测法	二次注浆量	二次注浆量（ m^3 ）、充填率 η （%）
位移变形监测法	监测采空区地表变形	水平移动量（mm）、下沉量（mm）

4.4 检测时机：自采空区治理注浆结束 6 个月后进行。

4.5 检测孔布置原则：公路采空区治理工程数字化检测钻孔宜均匀布置于采空区治理工程场地范围内，并重点布置在以下位置。

- a) 施工过程中存在质量隐患的位置，采空区空洞较大的边缘带附近等重要部位。
- b) 桥梁工程应布置于墩台范围内。
- c) 隧道工程应布置于隧道洞壁外侧不小于 5m 处。
- 4.6 公路采空区治理工程数字化检测竖向范围宜为采空区受注层范围以下 6m，并满足采空区施工图设计文件中相关要求。
- 4.7 检测频次及数量应按表 2 确定。必要时应增加检测频次。

表2 检测频次及数量

序号	检测方法	检测频次、数量
1	钻探取芯法	检测孔数不应少于注浆总孔数的2%，且不应少于3个； 对于一般路基宜100-150m布设1孔，隧道宜每50m-100m布设1孔，桥梁宜每墩（台）布设1孔
2	室内试验法	每孔每个受注层不少于1组
3	孔内波速法	全部的桥隧工程检测孔；路基检测孔总数的50%
4	钻孔全景数字成像法	全部的桥隧工程检测孔；路基检测孔总数的50%
5	压浆检测法	全部的桥隧工程检测孔
6	变形监测法	下伏采空区桥隧工程，应进行采空区处治变形监测，每个采空区场地监测断面数量不应小于 2 条，施工期间每 7d 监测一次，处治施工结束后 3 个月内应每半个月监测一次，其后应每 1 个月监测一次。根据监测成果，如遇地表变形显著时宜增加监测频次； 桥梁工程应沿墩台横向布置 1 条监测断面； 隧道工程应沿纵向布置不少于1条监测断面

- 4.8 检测仪器与设备要求如下。
- a) 检测仪器设备的计量器具应定期进行检定或校准。
- b) 检测仪器设备在使用前应进行检查、调试，确认状态正常。
- 4.9 检测工作程序与要求如下。
- a) 收集与检测工作相关的工程前期勘察资料、监测资料、设计文件及施工记录等。
- b) 根据现场实施的可行性，编制合理的检测工作方案。
- c) 检测单位应根据检测数据综合评判，出具检测报告。
- d) 检测工作流程按图 1 执行。

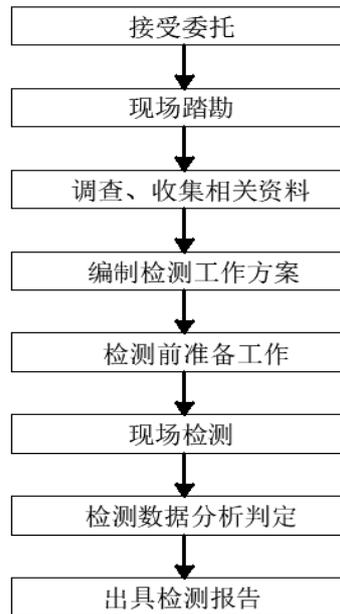


图 1 检测工作流程图

4.10 检测报告要求如下。

- a) 检测报告应结论明确，用词规范。
- b) 检测报告应包括工程概况、检测日期、检测目的、检测依据、检测方法、检测仪器设备、检测方式、检测数量、检测数据分析与判定、检测结论与建议。
- c) 检测报告附件应包括：检测孔平面布置图、钻孔柱状图、波速柱状图、时距曲线图、深度-速度图、检测现场照片、结石体强度试验报告等。

5 钻探取芯法

5.1 检测仪器与设备

5.1.1 检测系统应包括钻机、岩芯管、泥浆泵、摄影系统等。

5.1.2 钻机、摄影系统应符合以下规定：

- a) 应采用液压操纵的回转钻机；
- b) 应具备双管单动钻具等特殊取芯设备。

5.2 钻孔及检测要求

5.2.1 检测前准备工作：

- a) 检测场地应平整，孔位上方无高压线、下方无管线。
- b) 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。
- c) 钻孔时应确保人员、设备安全，钻机操作人员应持证上岗。

5.2.2 钻孔布设应符合下列规定：

- a) 路基工程每 100m-150m 应布设 1 个钻孔。
- b) 桥梁工程每墩（台）应布设 1 个钻孔，钻孔应布设于基础轮廓线内。
- c) 隧道工程每 50m-100m 应布设 1 个钻孔，钻孔应布置于隧道洞壁外侧不小于 5m 处。

5.2.3 检测现场作业:

- a) 钻探作业应符合 DZ/T 0017 的要求。
- b) 钻探工艺应符合 JTG/T 3331 的规定。

5.2.4 检测工作应符合下列规定:

- a) 钻机应准确就位, 孔位允许偏差 10cm。
- b) 应确保钻机在钻芯过程中不发生倾斜和移位, 钻孔孔斜每 100m 不应大于 1° 。
- c) 检测钻孔应全孔取芯, 开孔孔径不小于 130mm, 终孔孔径不小于 91mm。
- d) 检测孔钻探施工宜采用清水钻进, 全孔取芯, 及时准确地观察、记录循环液的消耗量及其对应深度、层位。
- e) 单一回次岩芯采取率不应小于 90%。按回次顺序记录钻进情况。
- f) 芯样描述重点描述浆液对空隙和裂隙的充填胶结程度、浆液结石体的坚硬程度、完整性等。
- g) 对于采空区“三带”应采用双层岩芯管等特殊设备取芯。
- h) 每层采空区受注层取样不少于 3 组, 芯样应完整, 且经密封处理。
- i) 芯样应装箱保存、拍照。
- j) 检测结束后, 应从孔底自下而上采用泥浆泵用水泥浆回灌封闭。
- k) 现场记录表见附录 A 中表 A. 1、表 A. 2。

5.3 检测数据分析、评价

5.3.1 检测结果分析

钻探取芯过程中取得以下 2 个方面数据, 对采空区的裂隙充填、离层注浆、空洞注浆效果进行综合评价。

- a) 受注层岩芯采取率 (%)。
- b) 钻进过程是否有掉钻现象。

5.3.2 检测结果评价

钻探取芯法检测孔有出现下列任一项不合格时该孔为不合格。

- a) 受注层岩芯采取率 (%) 大于等于 80% 为合格; 小于 80% 为不合格。
- b) 桥隧采空区检测孔出现掉钻现象为不合格; 路基采空区检测孔掉钻量大于开采厚度 10% 或掉钻量大于 100mm 为不合格, 其他为合格。

6 室内试验法

6.1 检测仪器与设备

检测系统包括压力试验机或万能试验机、切石机、磨石机、垫板、记录系统等。

6.2 检测方法

6.2.1 检测前准备工作应符合下列规定:

- a) 结石体芯样满足试验试件要求。
- b) 结石体芯样呈可塑~坚硬状态, 可塑状态结石体可适当养护。

6.2.2 芯样室内无侧限抗压强度测试, 按 JTG 3420 的规定进行。

6.3 检测数据分析

6.3.1 对结石体进行无侧限抗压强度测试，记录结果，并单孔统计测试结果及平均值，如试样多则取去掉最大与最小值的平均值。

6.3.2 根据设计文件要求的结石体强度进行分析与评判，试验结石体强度值大于等于设计值为合格。

7 波速测井法

7.1 适用条件

适用条件包括：

- a) 地面敲击横波测井法用于埋深小于等于的 30m 采空区检测；
- b) 自激自收测井法适用于各种埋深的采空区检测；
- c) 钻孔孔径不小于 91mm。

7.2 地面敲击横波测井法

7.2.1 检测仪器与设备

7.2.1.1 检测仪器设备包括数据采集系统、井下检波器、触发器、振源等。

7.2.1.2 检测仪器应符合下列条件：

- a) 接收道不少于 3 道，接收道具有良好的道一致性；
- b) 模/数(A/D)转换精度不低于 16bit；
- c) 最小采样间隔应不大于 50 μs；
- d) 增益动态范围不小于 96db；
- e) 可调通频带范围：2Hz~2000Hz；
- f) 检波器应有良好的防水性能；
- g) 横波激发板宜采用条状板，板长约 2.5 m，宽 0.3—0.5m，厚约 0.1 m，上面堆压重物应超过 500kg；
- h) 井中三分量检波器应贴壁牢固；
- i) 激振大锤不低于 8 磅。

7.2.2 检测方法

7.2.2.1 检测前准备工作应符合下列规定：

- a) 测试前先用钻具扫孔后下入三分量检波器；
- b) 确认叩板与地面牢固接触；
- c) 确认整个检测系统处于正常工作状态。
- d) 现场记录表见附录 B 中表 B.1。

7.2.2.2 现场测试步骤及要求按 JTG/T 3222 的规定进行。

7.2.3 检测数据分析与判定

7.2.3.1 应根据波形记录确定初至时间。

7.2.3.2 各点横波波速应按公式（1）计算：

$$v = \frac{(H_n - H_{n-1})}{(t_n - t_{n-1})} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

H_n ——第n测点的深度，单位为米（m）；

H_{n-1} ——第 $n-1$ 测点的深度，单位为米（m）；

t_n ——孔口地面至第 n 测点间波的传播时间，单位为秒（s）；

t_{n-1} ——孔口地面至第 $n-1$ 测点间波的传播时间，单位为秒（s）。

7.2.3.3 以深度 H 为纵坐标，时间 t 或速度 v 为横坐标，绘制时距曲线图和深度—速度图。

7.2.3.4 根据测试计算得到的横波波速，确定受注层的平均横波波速。

7.3 自激自收测井法

7.3.1 检测仪器与设备

7.3.1.1 自激自收测井法仪器设备包括工程地震仪、自激振式探头、专用线缆及附件。

7.3.1.2 检测仪器应符合下列条件：

- a) 通道数不少于 4 道；
- b) 采样率：0.05 μ s-100ms 可选；
- c) 频带：0.1Hz-4000 Hz；
- d) A/D 转换器的位数不宜低于 16bit；
- e) 动态范围： ≥ 105 dB；
- f) 相位一致性： $\leq \pm 1 \mu$ s；
- g) 工作温度： -20°C - 50°C ；
- h) 发射电压 100V-1000V 可选；
- i) 检波器应有良好的防水性能。

7.3.2 检测方法

7.3.2.1 自激自收测井法应符合下列条件：

- a) 钻孔的孔斜不大于 1° /100m；
- b) 钻孔施工完成后，应进行孔深校正；
- c) 波速测试范围内钻孔应充满井液；
- d) 数据正式采集前，确认检波器与孔壁耦合良好；
- e) 现场记录表见附录 B 中表 B. 1。

7.3.2.2 现场检测测试步骤及要求按 JTG/T 3222 的规定进行。

7.3.3 检测数据分析

7.3.3.1 选取初至清晰的波形数据，采用地震波处理软件计算地震波在岩体中的传播波速 v_p ，根据弹性波纵与横波波速的关系计算横波波速，计算公式见公式（2）。

$$v_s = \frac{l}{\Delta t} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

l ——两个探头之间的距离，单位为米（m）；

v_s ——计算横波波速，单位为米/秒（m/s）；

$\Delta t = t_2 - t_1$ ， t_1 、 t_2 为两个通道的初至时间， Δt 由处理软件自动计算，单位为秒（s）。

7.3.3.2 根据各点横波波速，确定受注层的平均横波波速。

7.3.3.3 检测结果资料，以深度 H 为纵坐标，时间 t 或速度为横坐标，绘制时距曲线图和深度—速度图。

8 钻孔全景数字成像法

8.1 适用条件

适用条件如下：

- a) 本方法适用于孔壁较稳定、未垮塌的检测孔；
- b) 孔径不小于 91mm 的钻孔；
- c) 应在干孔或清水孔中进行。

8.2 检测仪器与设备

8.2.1 检测仪器设备应包括孔内摄像钻孔全景数字成像法头、信号采集仪、深度测量装置、连接电缆、图像分析软件并配置扶正器。

8.2.2 检测仪器性能指标应符合下列规定：

- a) 摄像头视角应覆盖 360° ，照度应满足检测需求，应具有方位角识别记录功能，1MPa 水压下能正常工作，成像分辨率不宜低于 1920×1080 像素；
- b) 信号采集仪应能实时采集、传输图像及视频信息，图像及视频信息应有深度标识和方位角数据，应具有显示和播放功能，图像和视频标识深度与实际深度的偏差值不应大于累计测试深度的 0.5%；
- c) 图像分析软件应具备图像分析、描述、编辑、转换输出及打印等功能，应具备几何尺寸和角度的量测功能，分辨率不宜小于 1mm，角度分辨率不宜小于 1° ，应具有深度修正及方位角修正功能；在图像分析处理过程中，应保证原文件数据的完整性。

8.3 现场检测

8.3.1 检测前准备工作：

- a) 检测时应确认孔壁稳定、孔内无有害气体，确保人员、设备安全。
- b) 孔中井液透明度不够时，应用清水循环冲洗或加沉淀剂澄清。
- c) 孔内摄影监测系统的图像几何尺寸应进行标定。
- d) 摄像头光源亮度应根据孔内环境合理确定，且在同一区域检测过程中宜保持不变；

8.3.2 检测工作应符合下列规定：

- a) 摄像头宜平稳，匀速移动，采集的图像及视频数据宜清晰，连续完整，对疑似缺陷位置和采空区“三带”范围放慢行进速度进行重点监测。
- b) 同一钻孔至少重复检测 2 次。
- c) 对存在异常的钻孔现场进行复测。
- d) 现场记录表见附录 C 中表 C.1。

8.4 检测数据分析

8.4.1 试验记录的整理分析应符合下列规定：

- a) 应将 360° 图像展开为二维平面图像；
- b) 将检测对象的区域划分为 10×10 等间距网格，等间距量测缺陷水平尺寸 10 个读数、竖向尺寸 10 个读数；
- c) 舍去水平与竖向各 4 个较小读数值，取剩余 6 个读数值算术平均值分别作为检测对象水平尺寸值与竖向尺寸值，精确至 1mm；
- d) 检测对象的方位角可用水平夹角表示，精确至 1° ；

e) 缺陷发育情况应根据图像和视频信息进行判断, 地层岩性应结合岩芯进行综合鉴别。

8.4.2 充填率计算见公式(3)。

$$\eta = \left(1 - \frac{\sum s_i}{s}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

η ——充填率(%) ;

$\sum s_i$ ——受注层孔内全景数字图像缺陷面积之和, 单位为平方厘米(cm^2) ;

s ——受注层孔内全景数字图像面积, 单位为平方厘米(cm^2) 。

9 变形监测法

9.1 适用条件

9.1.1 公路经过正在开采或停采但地表移动变形衰退期尚未结束的采空区时, 桥梁、隧道工程应采用自动化变形监测法建立观测网进行观测; 路基工程宜用自动化变形监测法建立观测网进行观测。

9.1.2 桥梁或隧道工程下伏已停止开采且地表移动变形衰退期已结束的采空区时, 宜采用自动化变形监测法建立观测网进行观测。

9.2 监测仪器与设备

9.2.1 监测仪器设备应采用 AI 激光测量+视频测量摄像机监测系统或 GNSS 系统。

9.2.2 监测仪器设备应符合下列规定:

- a) 采用无人值守的监测模式, 全天 24 小时不间断自动监测, 测量精度 $< \pm 2\text{mm}$, 并满足 JGJ 8 激光观测四等级的要求。
- b) GNSS 系统精度满足平面小于 $\pm 2.5\text{mm}$ 、垂直小于 $\pm 5.0\text{mm}$ 。

9.3 检测方法

9.3.1 监测点布设及监测网建立

9.3.1.1 监测点应兼顾采空区边缘区和构造物的特殊部位均匀布设, 并符合 JTG/T 3331-03 的要求。

9.3.1.2 监测网的建立除符合 JTG/T 3331-03 外, 尚应符合以下规定:

- a) 桥梁监测点纵向应逐墩布设; 横向应以墩台为中心向两侧布设, 距中心点依次为 0m、10m、20m、30m、50m;
- b) 隧道监测应沿隧道轴线每 50m-100m 在地表布设 1 个横断面, 监测点以隧道轴线为中心向两侧布设, 距中心点依次为 0m、10m、30m、50m、100m。

9.3.2 监测周期及频率

9.3.2.1 能实现自动数据采集的监测仪器设备, 安装完成后便可按工程要求进行长期监测。智能化监测起始时间应与桥梁墩台施工和路基施工同步展开, 监测周期宜自施工阶段开始至处治完工后不少于 6 个月, 采集频率为 1-2 次/h。

9.3.2.2 当监测值变化速率加快时, 应提高监测频率。降雨后应加密监测至 1 小时一次。

9.4 监测数据分析

9.4.1 每次监测后应及时整理绘制出各观测点的变化曲线。当利用回归方程发现有异常观测值, 或利用位移对数和时间关系曲线判断有异常时, 应加强观测。

9.4.2 监测数据应进行平差，并计算监测点及相邻两次监测的沉降量、累计沉降量、沉降速率、累计沉降速率、水平位移量、累计水平位移量，以及相邻点间的垂直变形和水平变形。采空区移动变形监测成果整理可采用 JTG/T 3331-03 附录 A 中表 A.0.4-1~表 A.0.4-5。监测结果计算过程及公式见附录 D。

10 压浆检测法

10.1 适用条件

- 10.1.1 压浆检测法适用于采用全充填灌注法进行治理的公路采空区场地。
- 10.1.2 多层采空区的压浆检测应分层检测。

10.2 检测仪器与设备

- 10.2.1 检测系统包括搅拌机、注浆泵、压浆管路、压力表、记录系统等。
- 10.2.2 检测系统应符合下列规定：
 - a) 压浆管路及接头应承受设计最大压力的 1.5 倍~2.0 倍，管路不应变径。
 - b) 系统应具有流量、流速、压力自动记录功能。

10.3 检测方法

- 10.3.1 压浆检测孔应采用采空区检测钻孔。钻孔开孔孔径不小于 130mm，终孔孔径不小于 91mm。
- 10.3.2 压浆检测参数：
 - a) 压浆检测材料及配比应与灌注充填材料一致；
 - b) 压浆检测采用水泥粉煤灰浆液时，材料配比浆液水固比宜取 1:1.0~1:1.3；
 - c) 压浆检测终孔压力宜与灌注施工一致，并符合以下规定：
 - 1) 压浆压力应不出现地表隆起。
 - 2) 压浆最大压力宜为注浆压力的 1.5~2.0 倍。
 - 3) 压浆检测结束标准以压浆压力达到最大压浆压力后，单位压浆量小于 50L/min，注浆持续时间 宜为 5min~10min。
 以上作为结束压浆控制标准。
- 10.3.3 现场检测要求：
 - a) 压浆前应采用清水对钻孔进行冲洗。
 - b) 浆液配比及性能满足设计要求与灌注施工相同。
 - c) 压浆过程应符合 GB 51180 的规定。
 - d) 现场记录表见附录 E 中表 E.1。

10.4 检测数据分析与判定

10.4.1 二次注浆量及评价单元单孔平均注浆量的确定

系统记录得出检测孔开始压浆至满足终止压浆条件过程中压入的浆液量 v_i (m^3) 作为该孔的压浆检测量，同时根据收集的施工资料，以同一采掘工作面的采空区作为一个评价单元，对于小煤窑以同一煤矿开采形成的采空区作为一个评价单元，确定本评价范围的单孔平均注浆量 v_0 (m^3)。

10.4.2 充填率

压浆检测采空区充填率，按公式 (4) 计算。

$$\eta = \left(1 - \frac{v_i}{v_0 + v_i}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- η ——充填率（%）；
 v_0 ——评价单元平均单孔注浆量，单位为立方米（ m^3 ）；
 v_i ——二次注浆量，单位为立方米（ m^3 ）。

11 采空区检测综合分析评价

11.1 采空区处治监测和检测指标均满足设计要求时，其工程质量应评价为合格。采空区处治质量评价为不合格时，应分析原因，制订整治和补救方案，方案实施后应重新检测和验收。

11.2 采空区处治检测评价指标、对应检测方法及其合格判定标准见表 3。

表3 检测评价指标获取方法及合格判定标准

序号	检测项目	获取方法	合格判定标准
1	充填率（%）	钻探取芯法、钻孔全景数字成像法、压浆检测法	桥隧 ≥ 90 ，路基 ≥ 80 或设计文件要求的充填率且桥隧检测孔无掉钻现象，路基检测孔掉钻量小于等于开采厚度的90%且不大于100mm
2	结石体无侧限抗压强度（MPa）	钻探取芯法、室内试验法	桥隧 ≥ 2.0 ；路基 ≥ 0.6
3	横波波速（m/s）	波速测井法	桥隧 ≥ 350 ；路基 ≥ 250
4	二次注浆量（ m^3 ）	压浆检测法	二次注浆量 \leq 评价单元施工平均注浆量的10%
5	受注层岩芯采取率（%）	钻探取芯法	受注层岩芯采取率（%）大于等于80%

11.3 采空区处治监测是针对采空区注浆处治过程中及处治完成后一定时期的场地变形监测工作，因其与处治检测是相对独立的评价方法及指标且监测周期往往与处治检测周期不一致，变形监测进行单独评价。采空区治理工程变形监测结果判定评价指标及标准见表 4。当变形监测任务全部完成后，应提交监测成果报告，监测成果报告应结论明确，用词规范。监测成果报告应包括以下主要内容：

- a) 工程概况。
- b) 项目起止时间。
- c) 监测内容及基本技术要求。
- d) 作业过程及技术方法。
- e) 每期观测成果汇总。
- f) 变形监测图表及说明。
- g) 变形监测过程中需要说明的事项。
- h) 基准点稳定性分析资料。
- i) 变形分析方法、结论和建议。
- j) 其他需要说明的资料。
- k) 附图、附表。

表4 采空区治理工程变形监测质量判定表

公路工程类型		倾斜值 i (mm/m)	水平变形值 e (mm/m)	曲率值 k (mm/m ²)	沉降值 W (mm)	下沉速率 v_w (mm/d)
路基工程	高速公路、一级公路	≤ 3.0	≤ 2.0	≤ 0.2	≤ 300	≤ 0.17
	二级及以下公路	≤ 6.0	≤ 4.0	≤ 0.3	—	
桥梁工程	简支结构	≤ 2.0	≤ 2.0	≤ 0.2	—	
	非简支结构	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 0.15	—	
隧道工程		≤ 3.0	≤ 2.0	≤ 0.2	—	

11.4 采空区处治检测是采空区处治后的工程质量检查，处治检测指标中有一项未达到设计要求时，采空区处治工程质量应评定为不合格，并应分析原因，制订补救方案，实施后应重新检测和评价。

附录 A

(资料性)

公路采空区治理工程钻探取芯法检测记录表

A.1 公路采空区治理工程钻探取芯法检测钻孔分层记录表见表A.1。

表A.1 钻孔分层记录表

项目名称： 工点名称： 开孔日期： 年 月 日 终孔日期： 年 月 日
 检测孔编号： 里程桩号： 钻孔坐标： 孔口高程： m

层次		地层描述				
起 (m)	止 (m)	岩土名称	颜色	状态/风化	岩芯破碎状态	矿物组成、结构构造及其它
采取水样		地下水类型：		初见地下水位： m；		静止地下水位： m
注：①是否有掉钻现象 是□，深度_____；否□。②是否有埋钻、卡钻情况 是□，深度_____；否□。 ③是否有突然漏水 是□，深度_____；否□。④是否有吹风或吸风现象 是□，深度_____；否□。 ⑤岩芯破碎状态按照岩芯节长L划分标准为： $L \geq 20\text{cm}$ ，长柱状； $10\text{cm} \leq L < 20\text{cm}$ ，短柱状； $5\text{cm} \leq L < 10\text{cm}$ ，饼状； $5\text{cm} \leq L$ ，块状。						

注：后附钻探逐次进尺记录表

机长：

记录：

项目负责人：

A.2 公路采空区治理工程钻探取芯法检测钻孔逐次钻进记录表见表A.2。

表A.2 钻孔逐次钻进记录

工点名称:

检测孔编号:

里程桩号:

钻探日期:

钻进 次数	深度 (m)			实际岩 芯长度 (m)	采取率 (%)	岩芯及钻探情况描述 (名称、颜色、湿度、密度、结构和风化情况等, 钻探卡钻、埋 钻、漏水情况、吹风和吸风等)	采取样品			
	起	至	厚				编号	目测岩土 名称	深度 (m)	结构

注: 此表附于钻孔分层记录表之后。

钻探:

记录:

附录 B
(资料性)

公路采空区治理工程波速测井法检测记录表见

表B.1 公路采空区治理工程波速测井法检测记录表

试验记录编号:

第 页 共 页

工程名称			测试方法		
委托单位			施工单位		
设备名称(编号)			检测日期		
检测依据					
检测孔编号	深度	测点编号	孔内地层	保存文件名	备注
备注					

测试:

记录:

项目负责人:

附录 C

(资料性)

公路采空区治理工程钻孔全景数字成像法检测记录表

表C.1 公路采空区治理工程钻孔全景数字成像法检测记录表

检测单位：

记录编号：

第 页 共 页

工程名称				施工单位	
委托单位				检测日期	
设备名称(编号)				检测依据	
检测孔编号	成孔日期	结构物类型	孔 深 (m)	文件名	备 注
检测方位 示意图					
备注					

测试：

记录：

项目负责人

附 录 D
(资料性)
变形监测法监测结果计算过程及公式

D.1 地表变形分类

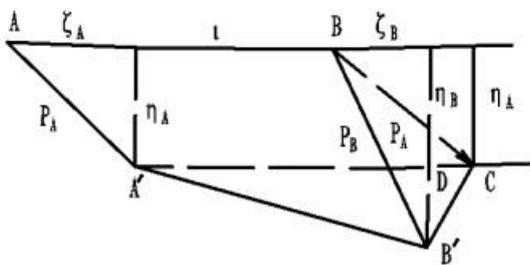
地表变形分为两种移动和三种变形。

- a) 两种移动是垂直移动（下沉）和水平移动。
- b) 三种变形是倾斜、曲率（弯曲）和水平变形（压缩变形和拉伸变形）。

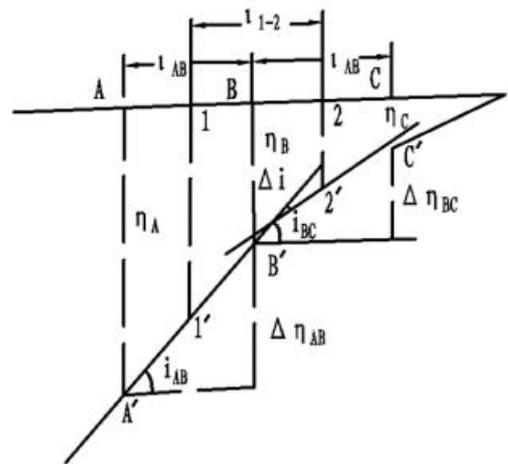
D.2 地表变形分析

D.2.1 移动盆地变形分析计算

如图D.1设A、B为主断面上移动前的两点，A'、B'为移动终止后的相应位置，为A、B点间的距离，由图D.1可知：



图D.1 移动盆地变形分析



图D.2 倾斜变形分析

- a) 垂直移动应按公式 D.1 计算。

$$\Delta \varphi = \varphi_B - \varphi_A \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

$\Delta \varphi$ ——垂直移动（mm）；

φ_A 、 φ_B ——A、B两点垂直移动的分量（mm）。

- b) 水平移动应按公式 D.2 计算。

$$\Delta \theta = \theta_A - \theta_B \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

$\Delta \theta$ ——垂直移动（mm）；

θ_A 、 θ_B ——A、B两点垂直移动的分量（mm）。

D.2.2 倾斜变形分析计算

如图D. 2设A、B、C为主断面上移动前的三点，A'、B'、C'为移动终止后的相应位置，由图D. 2可知：

a) AB段的倾斜应按公式D. 3计算。

$$i_{AB} = \frac{(\eta_A - \eta_B)}{l_{AB}} \dots \dots \dots (D. 3)$$

式中：

i_{AB} ——相当于A'、B'中点1'处的倾斜。

b) BC段的倾斜应按公式D. 4计算。

$$i_{BC} = \frac{(\eta_B - \eta_C)}{l_{BC}} \dots \dots \dots (D. 4)$$

式中：

i_{BC} ——相当于A'、B'中点2'处的倾斜。

参 考 文 献

- [1] 岩土工程勘察规范：GB 50021-2001[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2009.
- [2] 煤矿采空区岩土工程勘察规范：GB 51044-2014[S]. 北京：中国计划出版社，2014.
- [3] 山西省交通厅. 高速公路采空区（空洞）勘察设计与施工治理手册[M]，北京：人民交通出版社2005.
- [4] 张永波、孙雅洁、卢正伟等. 老采空区建筑地基稳定性评价理论与方法[M]，北京：中国建筑工业出版社.
- [5] 工程地质手册编委会. 工程地质手册（第五版）[M]，北京：中国建筑工业出版社2018.
-