

# JTG

中华人民共和国推荐性行业标准

JTG/T 3331-03—2024

## 采空区公路设计与施工技术规范

Technical Specifications for Design and Construction of Highway  
Engineering in Mined-out Area

交通运输部  
信息公告  
浏览专用

2024-03-05 发布

2024-06-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

## 前 言

根据《交通运输部关于下达 2017 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（交公路函〔2017〕387 号）的要求，由山西省交通规划勘察设计院有限公司承担《采空区公路设计与施工技术细则》（JTG/T D31-03—2011）的修订工作。

修订过程中，规范修订组开展了多项课题研究和大量的调研工作，汲取了国内相关行业和有关科研院所、高校，设计、施工、检测等单位的研究成果和工程实践经验，参考借鉴了国内相关标准规范，以发函、实地调研和征求意见等多种方式，广泛征求了有关单位和专家的意见，经反复讨论、修改，最终完成修订工作。

修订后的规范共分 8 章和 8 个附录，主要内容包括：1 总则，2 术语和符号，3 采空区勘察，4 采空区稳定性评价，5 采空区公路设计，6 采空区处治设计，7 采空区处治施工，8 采空区处治监测与检测，附录 A 采空区勘察方法相关表格，附录 B 采空区地表移动盆地分区，附录 C 采空区“垮落带、断裂带”高度的计算方法，附录 D 覆岩破坏类型，附录 E 采空区勘察成果相关表格，附录 F 开采引起的地表移动变形计算，附录 G 公路保护煤柱留设，附录 H 采空区注浆处治施工。

本次修订的内容包括：

1. 修订了采空区避让原则和避让条件；
2. 新增了采动边坡勘察内容、勘察方法及步骤；
3. 新增了采空区公路工程建设适宜性评价；
4. 修订了采空区场地稳定性评级标准和采空区公路工程地基容许变形值；
5. 补充了路线通过采空区地段的选线技术要求，明确了路基工程通过采空区时，不进行采空区注浆处治的适用条件；
6. 新增了小窑采空区宜采用“探灌结合、动态控制”的原则进行处治设计与施工的要求；
7. 修订了穿越法的适用条件、结构设计技术要求，并删减了实用性受局限的跨越法；
8. 修订了注浆处治施工技术要求、施工工艺及工序控制、质量控制手段和方法；
9. 新增了开挖回填法中基坑开挖施工安全技术要求，补充了强夯施工顺序；
10. 修订了采空区处治监测、检测项目和验收标准。

本规范由田志忠负责起草第 1 章，石春宇、何万龙负责起草第 2 章，田志忠、王海、王亚伟负责起草第 3 章、附录 A ~ 附录 E，张彬、何万龙、田志忠、徐能雄、石春宇负责起草第 4 章和附录 F，陈林、张明欣、梅拥军、黄仰收、董建兴负责起草第 5 章和附录 G，王海、田志忠、张永波、赵虎生、王亚伟负责起草第 6 章，杨俊生、

毛玉坤、赵虎生负责起草第 7 章和附录 H，田志忠、窦随兵、张军负责起草第 8 章。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：王海（地址：山西省示范区武洛街 27 号，山西省交通规划勘察设计院有限公司；邮编：030032；电话：0351-5669916；电子邮箱：wh\_rocks@163.com），以便下次修订时参考。

**主 编 单 位：**山西省交通规划勘察设计院有限公司

**参 编 单 位：**中交第二公路勘察设计院有限公司

中国地质大学（北京）

中交通力建设股份有限公司

煤炭工业太原设计研究院集团有限公司

**主 编：**田志忠

**主要参编人员：**范晓江 王 海 何万龙 张永波 梅拥军 黄仰收  
董建兴 赵虎生 徐能雄 张 彬 石春宇 窦随兵  
张 军 张明欣 王亚伟 陈 林 杨俊生 毛玉坤

**主 审：**张敏静

**参加审查人员：**范士凯 聂承凯 郜玉兰 杨文奇 李春风 刘怡林  
余 波 何文勇 胡炳南 郭广礼 吴圣林 赵祖栋  
鲁志强 胡建刚 张尧禹

# 目 次

<b>1</b>	<b>总则</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>术语和符号</b>	<b>2</b>
2.1	术语	2
2.2	符号	6
<b>3</b>	<b>采空区勘察</b>	<b>8</b>
3.1	一般规定	8
3.2	勘察方法	9
3.3	勘察阶段	15
3.4	采空区勘察报告	19
3.5	原始资料归档	21
<b>4</b>	<b>采空区稳定性评价</b>	<b>22</b>
4.1	一般规定	22
4.2	采空区场地稳定性评价	23
4.3	采空区场地公路工程建设适宜性评价	28
4.4	采空区公路工程地基稳定性评价	29
4.5	采动边坡稳定性评价	30
4.6	各勘察阶段采空区稳定性评价要求	32
<b>5</b>	<b>采空区公路设计</b>	<b>34</b>
5.1	一般规定	34
5.2	路线设计	35
5.3	路基、路面设计	36
5.4	桥梁设计	37
5.5	隧道设计	38
<b>6</b>	<b>采空区处治设计</b>	<b>41</b>
6.1	一般规定	41
6.2	全充填压力注浆法	42
6.3	干（浆）砌支撑法	51
6.4	开挖回填法	54
6.5	巷道加固法	56
6.6	强夯法	56

6.7 穿越法	58
<b>7 采空区处治施工</b>	<b>60</b>
7.1 一般规定	60
7.2 全充填压力注浆法	60
7.3 干(浆)砌支撑法	68
7.4 开挖回填法	69
7.5 巷道加固法	69
7.6 强夯法	70
7.7 穿越法	71
<b>8 采空区处治监测与检测</b>	<b>72</b>
8.1 一般规定	72
8.2 采空区处治监测	72
8.3 采空区处治检测	73
<b>附录 A 采空区勘察方法相关表格</b>	<b>77</b>
<b>附录 B 采空区地表移动盆地分区</b>	<b>86</b>
<b>附录 C 采空区“垮落带、断裂带”高度的计算方法</b>	<b>89</b>
<b>附录 D 覆岩破坏类型</b>	<b>92</b>
<b>附录 E 采空区勘察成果相关表格</b>	<b>93</b>
<b>附录 F 开采引起的地表移动变形计算</b>	<b>96</b>
<b>附录 G 公路保护煤柱留设</b>	<b>101</b>
<b>附录 H 采空区注浆处治施工</b>	<b>102</b>
<b>本规范用词用语说明</b>	<b>110</b>

# 1 总则

**1.0.1** 为适应采空区公路工程建设，明确采空区公路勘察、设计、施工、监测与检测要求，提高采空区公路工程建设质量及维护运营安全，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于煤矿采空区新建和改扩建公路。

**1.0.3** 采空区公路在设计与施工前，应结合采空区特点进行采空区专项勘察。

**1.0.4** 采空区公路勘察、设计、施工、监测与检测，应贯彻国家技术经济政策，积极采用成熟可靠的新技术、新材料和新工艺。

**1.0.5** 采空区公路勘察、设计、施工、监测与检测，必须符合国家在安全生产、环境保护方面的有关规定，采取完备的安全生产措施，保障人员和设施安全。

**1.0.6** 采空区公路勘察、设计、施工、监测与检测除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 采空区 mined-out area

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或范围。

#### 2.1.2 小窑采空区 small mine gob area

采用巷道、房柱式等采煤方法的小窑和古窑采空区。

#### 2.1.3 新采空区 new mined-out area

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。

#### 2.1.4 老采空区 old mined-out area

已停止开采且地表移动变形衰退期已结束的采空区。

#### 2.1.5 水平、缓倾斜采空区 level or gently inclined mined-out area

煤层水平或倾角小于  $15^\circ$  的采空区。

#### 2.1.6 倾斜采空区 inclined mined-out area

煤层倾角介于  $15^\circ \sim 54^\circ$  的采空区。

#### 2.1.7 急倾采空区 acute inclined mined-out area

煤层倾角大于  $54^\circ$  的采空区。

#### 2.1.8 浅层采空区 shallow mined-out area

采深  $H < 50\text{m}$ ，或  $50\text{m} \leq \text{采深 } H < 200\text{m}$  且深厚比  $H/M < 30$  的采空区。

#### 2.1.9 中深层采空区 middle-deep mined-out area

$50\text{m} \leq \text{采深 } H < 200\text{m}$  且深厚比  $H/M \geq 30$ ，或  $200\text{m} \leq \text{采深 } H < 300\text{m}$  且深厚比  $H/M < 60$  的采空区。

**2.1.10 深层采空区 deep mined-out area**

采深  $H \geq 300\text{m}$ ，或  $200\text{m} \leq \text{采深 } H < 300\text{m}$  且深厚比  $H/M \geq 60$  的采空区。

**2.1.11 长壁采煤法 longwall mining; longwall method; longwall face method**

采用采煤工作面长度一般在 50m 及以上，按前进或后退方式采出整个煤层，不留矿柱或支护的采煤方法。分走向长壁采煤法和倾向长壁采煤法。

**2.1.12 短壁采煤法 shortwall mining**

相对长壁采煤法而言，采用工作面采煤长度一般为 50m 以下的采煤方法。

**2.1.13 房柱式采煤法 room-and-pillar mining; board-and-wall method**

沿巷道每隔一定距离先采煤房直至边界，再后退采出煤房之间部分煤柱的采煤方法。

**2.1.14 房式采煤法 chamber mining; room mining**

沿巷道每隔一定距离开采煤房，在煤房之间保留煤柱以支撑顶板的采煤方法。

**2.1.15 条带采煤法 partial mining**

将采区分成条带形状，采一条、留一条的采煤方法，分充填条带采煤法和非充填条带采煤法。

**2.1.16 巷道式采煤法 roadway mining**

在开采范围内采用巷道掘进方式采出煤炭的一种采煤方法。

**2.1.17 充分采动 full mining**

地下煤层采出后，地表最大下沉值不随采空区尺寸增大而增加的临界开采状态。此时开采面积为临界开采面积。

**2.1.18 非充分采动 insufficiency mining**

采空区面积小于临界采空区面积，地表最大下沉值随采区尺寸增大而增加的开采状态。

**2.1.19 超充分采动 ultra full mining**

地下煤层采出后，地表最大下沉值不随采空区尺寸增大而增加，且超出临界开采状态。

**2.1.20 煤层顶板 coalseam roof**

赋存在煤层之上的邻近岩层。煤层顶板由下而上可分为伪顶、直接顶和老顶。



**2.1.21 煤柱 coal pillar**

在煤矿开采中为保障受护体和矿井生产安全而保留不采或暂时不采的煤体。

**2.1.22 自然垮落 spontaneous collapse**

煤层采出后,采空区顶板自然塌落的顶板控制方法。

**2.1.23 顶板控制 roof control; top control**

采煤工作面中工作空间支护和采空区处理的总称。

**2.1.24 覆岩“三带” three zone of deformation**

煤层采出后,其覆岩在垂直方向上的破坏可分为垮落带、断裂带、弯曲带,简称“三带”。

**2.1.25 垮落带 caving zone**

由采煤引起的上覆岩层破裂并向采空区垮落的岩层范围。

**2.1.26 断裂带 fractured zone**

垮落带上方的岩层产生断裂或裂缝,但仍保持其原有层状的岩层范围,也称为裂缝带。

**2.1.27 弯曲带 sagging zone**

断裂带上方直至地表产生弯曲的岩层范围。

**2.1.28 采动边坡 mined slope**

地下开采引起的地表移动变形影响范围内的斜坡。

**2.1.29 回采率 ratio of recovery; extraction rate**

煤炭采出量占工业储量的百分比。

**2.1.30 采深采厚比 ratio of mining depth and working thickness**

煤层开采深度与法向开采厚度的比值,简称深厚比。

**2.1.31 地表移动 ground subsidence**

因采煤引起的岩层移动波及地表而使地表产生移动、变形和破坏的现象或过程。

**2.1.32 地表移动盆地 ground subsidence basin**

由采煤引起的采空区上方地表移动的范围,一般按边界角或下沉 10mm 点划定其范

围，也称地表塌陷盆地。

**2.1.33 移动盆地主剖面** main profile of subsidence basin

通过地表移动盆地的最大范围和最大下沉点所做的沿煤层走向方向或倾向方向的垂直剖面。

**2.1.34 下沉值** surface subsidence

地表移动盆地内地表点移动矢量的垂直分量。

**2.1.35 水平移动值** surface horizontal movement

地表移动盆地内地表点移动矢量的水平分量。

**2.1.36 倾斜值** surface inclined movement

由于地表相邻两点的非均匀下沉而产生的相对垂直位移，是相邻两点在垂直方向的下沉差与两点间水平距离的比值。

**2.1.37 水平变形值** surface horizontal deformation

由于地表相邻两点的非均匀水平移动而产生的相对水平位移，是相邻两点的水平移动差与两点间水平距离的比值。

**2.1.38 曲率值** surface curvature deformation

由于地表相邻点间的倾斜变形不均匀而产生的地表弯曲，是两相邻线段的倾斜差与两线段中点间的水平距离的比值。

**2.1.39 下沉系数** subsidence coefficient

在充分采动条件或接近充分采动条件下，开采近水平煤层时地表最大下沉值与开采厚度之比。

**2.1.40 边界角** boundary angle

在充分采动或接近充分采动条件下，地表移动盆地主断面上的边界点（下沉为10mm）与采空区边界的连线和水平线在煤柱一侧的夹角。

**2.1.41 移动角** displacement angle

在充分采动或接近充分采动条件下，移动盆地主断面上，地表最外的临界变形点（倾斜值  $i = \pm 3\text{mm/m}$ ，曲率值  $K = +0.2 \times 10^{-3}/\text{m}$ ，水平变形值  $\varepsilon = +2\text{mm/m}$ ）和采空区边界点连线与水平线在煤壁一侧的夹角。

**2.1.42 下沉速度** subsidence velocity

地表点两次观测的下沉差与其观测时间间隔的比值。

**2.1.43 地表移动延续时间** lasting time of surface subsidence

从地表移动期开始到结束的整个时间（以下沉 10mm 时为地表移动期开始，以连续 6 个月下沉值不超过 30mm 为地表移动期结束）。一般分初始期、活跃期和衰退期。

**2.1.44 浆液结石率** slurry solidification ratio

采空区灌注充填法地基处理时，注入浆液固结后体积与注入浆液体积之比，通常通过室内试验确定。

**2.1.45 充填率** grouting ratio

采空区灌注充填法地基处理时，灌注浆液的体积与治理范围内采空区剩余空隙体积的比值。

**2.1.46 灌注损耗系数** grouting lost coefficient

采空区灌注充填法地基处理施工中，用于衡量因“跑、冒、滴、漏”等造成注浆浆液损失的参数。

**2.1.47 采空区剩余空隙率** residual void ratio in mined-out area

采空区实际剩余空隙的体积与煤炭资源开采体积之比。

**2.2 符号**

- $A$ ——灌注损耗系数；
- $a$ ——终采时间；
- $b$ ——水平移动系数；
- $c$ ——注浆浆液结石率；
- $H$ ——煤层开采深度；
- $H/M$ ——采深采厚比，简称深厚比；
- $H_i$ ——跨落断裂带高度；
- $H_m$ ——跨落带高度；
- $i$ ——倾斜值；
- $K$ ——曲率值；
- $L$ 、 $l$ ——采空区走向、倾向计算长度；
- $M$ ——煤层采出法向厚度；
- $N$ ——回采率；

$q$ ——下沉系数；  
 $r$ ——主要影响半径；  
 $S$ ——地基沉降值；  
 $U$ ——水平移动值；  
 $v_w$ ——下沉速度；  
 $W$ ——下沉值；  
 $\Delta V$ ——采空区剩余空隙率；  
 $\eta$ ——注浆浆液充填率；  
 $\varepsilon$ ——水平变形值；  
 $\theta$ ——开采影响传播角。

#### 条文说明

术语修订主要参照的部门规章和现行标准包括：①《煤矿安全规程》（2016版）；②2017年5月颁布的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》（安监总煤装〔2017〕66号），以及与之配套的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南》；③《煤矿科技术语 第3部分：地下开采》（GB/T 15663.3）；④《煤矿回采率计算方法及要求》（GB/T 31089）。

## 3 采空区勘察

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 各勘察阶段应结合勘察深度查明采空区要素特征、场地工程地质和水文地质条件，为采空区场地的稳定性和适宜性评价提供依据，提出工程处治措施建议。

**3.1.2** 采空区勘察应满足采空区稳定性分析与评价的要求，应根据现场地形地貌、地质环境条件、采空区类型、工程结构特点、勘察手段的适用条件等因素，选择适宜的勘察方法。

**3.1.3** 勘察方法应以资料收集和采空区专项调查为主，根据采空区复杂程度、煤矿资料完整性及可信度等情况，采用适当的物探、钻探方法，验证采空区要素。

#### 条文说明

正规煤矿开采形成的采空区，一般情况下多为大型煤矿，长壁采煤法为主，具有回采率高、采深大、地表变形充分等特点，且煤矿采掘资料及相关矿山地质资料丰富，可信度较高。在进行这类采空区勘察时，特别是采深超过300m充分采动下的采空区，以资料收集和采空区专项调查为主，充分利用收集到的煤矿采掘资料。当收集的采空区资料可以满足勘察精度要求时，一般不进行钻探验证工作；当收集的采空区资料较少，且工程地质条件较复杂时，需适当布置物探，并进行钻孔验证。

**3.1.4** 对破坏严重的大型、复杂、多层开采的采空区，以及煤火、急倾斜等特殊采空区应进行专题研究。对存在有害、有毒气体的采空区，应进行专项检测和评价。

#### 条文说明

破坏严重的大型、复杂、多层开采的采空区，是指平面连续分布大于或等于500m、两层及两层以上的采空区，且采空区范围内有桥隧工程或房建工程。

煤火采空区受到煤层自燃影响，覆岩内部温度高，强度衰减较快，存在有害气体溢出等情况，在勘探过程中具有潜在的安全风险，勘察难度较大，需进行专题研究。在勘探之前需制定切实可行的勘察方案及安全预案，保证勘探安全。

急倾斜采空区开采方式有别于近水平状或缓倾斜采空区，覆岩破坏模式主要表现为塌陷坑、裂缝等非连续变形，且对工程的影响严重，需进行专题研究。

**3.1.5** 公路建设过程中发生新采或复采时，应进行必要的勘察工作和安全风险评估。

## 3.2 勘察方法

**3.2.1** 采空区勘察应根据现场地形地质条件、采空区类型及变形特征等，结合勘察阶段及构造物类型，采用资料收集、工程地质调绘、采空区专项调查、采空区测绘、地表移动变形监测、物探、钻探等相结合的综合勘察方法，对采空区进行勘察。

**3.2.2** 采空区勘察应充分收集资料，并对资料的完整性、可靠性进行分析和验证，收集的资料应包括下列内容：

- 1 区域地质资料和水文地质资料、区域矿产分布资料、项目压覆资源和地灾评估报告及其相应的图纸资料；
- 2 矿区地质报告及图表，包括矿产的种类、分布、厚度、储量、埋藏等特征，地下水情况，煤矿瓦斯等有害气体；
- 3 采掘工程平面图、井上下对照图、开采规划图，以及相关的文字资料；
- 4 矿区的覆岩破坏和地表移动观测资料；
- 5 采空区公路或建筑物已有的勘察、设计、施工、监测与检测资料。

### 条文说明

资料收集是采空区勘察的首要方法，当收集的区域地质资料、矿区开采资料齐全、真实可靠时，通常可以缩短勘察周期、减少勘探工作量、提高勘探效率。

资料收集主要是从地方自然资源、煤管、矿企等部门或单位收集有关的文件及图纸，资料的有效性需甄别、分析和验证。

**3.2.3** 工程地质调绘应符合下列规定：

- 1 工程地质调绘应包括下列内容：
  - 1) 地形地貌、地质构造、地层的时代、成因、岩性、产状及厚度分布；
  - 2) 地下水类型、分布范围、埋深及动态变化特征等；
  - 3) 特殊性岩土和不良地质的类型、分布范围、基本特征及其与采空区的相互关系。

2 工程地质调绘比例尺不应小于工程地质图成图比例尺，可行性研究阶段宜为1:5 000~1:10 000，初、详勘阶段宜为1:1 000~1:2 000，采空区分布复杂地段比例尺可适当放大。工程地质调绘精度应符合现行《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)的有关规定。

## 条文说明

工程地质调绘是运用传统的地质调查方法,结合采空区的分布、规模等特点,对区内的工程地质条件及其相关内容,如地面塌陷、地裂缝等进行调查和描述,并按照一定的精度要求,将某些地质要素特征反映在一定比例尺的地形图上。

### 3.2.4 采空区专项调查应符合下列规定:

1 采空区专项调查应根据已收集的矿井资料,通过实地调查、走访调查对公路沿线煤矿的开采情况、矿井坑口分布位置、采空区基本要素等进行调查或核实。可按本规范附录 A 中表 A.0.1 填写采空区调查表。

2 采空区专项调查应包括下列内容:

1) 矿山的性质、开采矿种、开采规模、开采层位、开采方式、回采率、顶板控制方法及开采的起始、终止时间及地表变形特征;

2) 采空区的埋深、采高、开采范围、空间形态、顶板垮落情况(垮落带、断裂带高度和垮落物充填情况);

3) 采空区地下水赋存条件;

4) 矿区突水、冒顶和有害气体等灾害性事故情况;

5) 采空区影响范围、地表变形程度、发展轨迹等,确定地表移动盆地的中间区、内边缘区及外边缘区,地表移动盆地分区可按本规范附录 B 确定;

6) 采空区地表既有建(构)筑物的类型、基础形式、变形破坏情况及其原因。

## 条文说明

采空区专项调查是采空区勘察主要方法之一,与资料收集同时进行、相互补充,包括实地调查和走访调查。针对所收集的资料进行现场核查,对一些资料不全或可信度较差,甚至没有资料的矿区,通过走访(访问当事人和知情人)、地面和井下调查(在条件允许的情况下,需深入井下进行现场调查),对公路沿线煤矿的开采情况、矿井坑口的分布位置、采空区基本要素进行专项调查。

采空区基本要素包括:矿山的性质(国营、集体、民营、混合所有),开采规模,开采层位(单层或多层),开采的起始、终止时间,开采方式,顶板控制方式,回采率、埋深、采厚,煤层顶、底板岩性,地表变形特征及地下水赋存情况等。

### 3.2.5 采空区测绘应符合下列规定:

1 应通过现场测绘和描述等手段,对矿井口、巷道口、地面塌陷和地裂缝的形状、走向、宽度、深度等变形要素进行标注,确定采空区的地表变形范围及程度。

2 采动边坡或滑坡应重点测绘边坡岩层层位、节理、裂隙等结构面产状,记录结构面及软弱夹层的形态特征、岩性、厚度、产状、胶结和充填物等,确定采动边坡破坏类型、分布特征及其规模。

3 有条件的矿区，应深入井下，对巷道和采空区内部进行测绘，并描述巷道的断面及其支护衬砌情况和采空区顶板的垮落状况。

#### 条文说明

采空区测绘：一是对采空区地表移动变形特征现状（如裂缝的宽度、深度、长度与延伸方向等），以及塌陷规模进行测绘和描述；二是对井下巷道、坑口及采区进行测绘和描述。

#### 3.2.6 地表移动变形监测应符合下列规定：

1 当拟建场地下伏新采空区时，应进行地表移动变形监测；当拟建场地下伏老采空区时，宜进行地表移动变形监测。

2 勘察阶段采空区变形监测宜从初勘阶段开始，并应与后期的施工阶段监测、运营阶段监测相衔接。变形监测延续时间应根据采空区移动变形发展趋势和各监测阶段技术要求确定。

3 采空区变形监测内容应包括场地地表水平移动、下沉、裂缝监测等。

4 监测线宜结合拟建公路线位平行和垂直于移动盆地主断面布置，监测范围应大于采空区的地表移动变形范围。

5 监测点间距，对长壁垮落法采空区宜根据采空区场地及其地表移动变形特征、采空区埋深、采厚比等布置，其间距可按表 3.2.6-1 确定。在地质条件变化处、地表变形异常及地质单元分界处、建（构）筑物等重点部位，宜根据具体情况加密布设。

表 3.2.6-1 监测点间距

开采深度 $H$ (m)	<100	100~200	200~300	300~400	>400
监测点间距 $L$ (m)	10~20	20~30	30~40	40~50	50

注：移动盆地边缘区宜取小值，中间区宜取大值。

6 对长壁垮落法采空区，监测周期可按表 3.2.6-2 确定。其他开采方式形成的采空区、停采时间达到稳定的采空区，监测周期可根据开采方式、回采率和停采时间等适当延长。

表 3.2.6-2 监测周期

开采深度 $H$ (m)	<100	100~200	200~300	>300
监测周期 (d)	10~20	20~30	30~60	60~90

注：地表变形初始期和活跃期内，监测周期宜取小值；地表变形衰退期及以后，可取大值。

7 监测基准点应设在不受采空区影响的稳定区域，基准点距采空区的距离应大于 0.7 倍的开采深度。变形监测点的埋设、精度要求和基准点设置应符合现行《工程测量标准》（GB 50026）的有关规定。地表移动变形监测点等级及监测精度要求，应符合表 3.2.6-3 的规定。



表 3.2.6-3 地表移动变形监测点等级及监测精度要求

监测点监测内容	等级	中误差 (mm)	
水平移动	三等	点位中误差: $\pm 6$	
下沉	三等	高程中误差: $\pm 1.0$	相邻点高差中误差: $\pm 0.5$

8 应分析及整理变形观测资料,填写水平移动及下沉监测成果表,经计算分析后形成水平移动及下沉速度统计表,为采空区稳定性评价提供依据。有关移动变形监测表格可按本规范附录 A 中表 A.0.4-1 ~ 表 A.0.4-5 执行。

#### 条文说明

地表移动变形监测法主要适用于地表移动变形尚未发生或正在发生过程中的长壁式垮落法采空区。目前多采用采空区走访调查、资料收集及合成孔径雷达干涉 (InSAR) 监测技术等,了解采空区场地历史变形情况和规律;采用全站仪、水准仪、全球卫星导航系统 (GNSS) 等设备监测采空区场地现阶段变形情况,在工期允许的前提下,一般进行半年以上监测。对于巷道式和不规则的房柱式采空区,因覆岩和地表移动变形具有潜伏性和突发性,监测时间需加长,以便跟踪和预测采空区的地表变形特征、变化规律和发展趋势,为采空区稳定性评价提供依据。

地表变形监测是采空区稳定性评价的重要依据。监测点一般根据开采规模、开采深度、监测目的等间距布设,在移动盆地边缘、拐点和最大下沉点附近、地质条件变化、变形异常及地貌单元分界处、建筑物等重点部位,根据具体情况加密布设。

#### 3.2.7 物探应符合下列规定:

1 对拟建公路采空区场地,当资料缺乏或可靠性较差时,应进行物探工作,宜按适用条件最少选择两种方法进行组合探测。

2 物探方法的选择应综合考虑现场地形、地质条件、采空区埋深及分布情况、干扰因素、勘探要求等。各物探方法的适用条件可按本规范附录 A 中表 A.0.3 确定,充水采空区宜首选高密度电法或瞬变电磁法。

3 在有钻孔的工作区,宜采用综合测井、孔内电视及跨孔物探等方法进行井中物探。

4 物探成果解译时,应区分有用信息和干扰信息,进行综合解译,并应在异常区布置一定数量的钻孔进行验证。

5 物探野外作业工作参数及精度,物探成果解译及报告编写等要求,应符合现行《公路工程物探规程》(JTG/T 3222) 的有关规定。

#### 条文说明

工程物探是在资料收集、采空区专项调查、区域工程地质调绘的基础上,针对资料缺少的小型矿区、老矿区,尤其是开采不规范的小窑采空区,根据其地形条件、地质条

件、采空区埋深及分布情况，选择适宜的物探方法，对初步认定的采空区和疑似采空区路段进行物探。对重要工程（桥梁、隧道）部位或多层采空区进行勘察时，通常采用多种物探方法进行组合勘探。

常用的几种物探方法是根据山西省二十余年来高速公路采空区勘察经验，结合其他省、区、市公路采空区勘察调研成果综合而成。物探方法选择时，一般要考虑采空区的地形、地质条件、信号干扰及埋深等情况。

通常情况下，物探采用两种方法组合进行，相互印证，尽量排除其他原因引起的数据异常和多解性，并根据钻孔验证情况及时对解译成果进行修正或进行二次解译。

物探工作一般工作程序如下：

(1) 选择试验路段，对拟采用的物探方法进行现场试验，选择效果较好的方法进行大面积探测工作。

(2) 物探资料解译前，需全面了解和析测区的地形、地质、地球物理特征，以及已有的技术成果，作为资料解译的指导和参考。

(3) 在分析各项物性参数的基础上，按从已知到未知、从定性到定量的原则进行。

(4) 各物探方法的解译需相互补充、相互印证，解译结果不一致时，需分析原因，并对推断的前提条件予以说明。

(5) 物探最终成果，需根据钻探验证情况进行二次或多次修正，并对修正情况予以说明。

### 3.2.8 工程钻探应符合下列规定：

1 工程钻探应对收集、调查的资料、测绘及工程物探成果进行验证，并查明下列内容：

- 1) 采空区的分布范围、空间形态和顶底板高程；
- 2) 采空区引起的垮落带、断裂带和弯曲带的分布、埋深和发育状况；
- 3) 采空区中是否赋存瓦斯等有害、有毒气体及是否存在煤层自燃情况；
- 4) 采空区顶板、上覆岩层的岩性、结构特征及其物理力学性质；
- 5) 采空区的水文地质条件，包括地下水位、水化学类型及其对混凝土的腐蚀性。

2 钻孔应综合考虑下列情况进行布置：

- 1) 收集的资料及调绘成果的完整性、有效性；
- 2) 工程物探异常区域；
- 3) 地表变形观测资料；
- 4) 综合测井和跨孔物探的需要；
- 5) 拟建工程平面位置、类型、荷载要求及其重要程度。

3 孔位平面误差不应大于0.1m，高程误差不应大于0.01m。当孔深大于50m时，应进行孔斜测量，斜度每100m不应大于1°。

4 钻孔应采用双层岩芯管连续全孔取芯，取芯钻进回次进尺不得大于2m，岩芯采取率在垮落带和断裂带分别不应小于30%和50%，其余深度范围应符合现行《公路工

程地质勘察规范》(JTG C20)的有关规定。当需确定岩石质量指标(RQD)时,应采用75mm直径的金刚石钻头和双层岩芯管。

5 钻孔地质描述除应满足一般工程地质地层描述的要求外,尚应重点描述冲洗液耗损、钻进速度、掉钻及卡钻情况、地下水水位及岩芯取芯率等反映采空区覆岩破坏特征的相关要素。采空区工程地质钻探记录,应符合本规范附录A中表A.0.2的规定。

6 钻探施工要点与技术和钻探现场描述要点应分别符合表3.2.8-1和表3.2.8-2的规定。采空区“三带”的确定,宜通过钻探及其岩芯描述并辅以孔内电视等测井资料按表3.2.8-2的规定进行判断;也可根据采厚、覆岩性质及岩层倾角进行计算,计算公式及使用条件应按本规范附录C的有关规定执行。

表 3.2.8-1 钻探施工要点与技术要求

钻机	钻具	冲洗液	现场技术要求	钻孔编录
根据采空区所处的地形和埋深合理选用工程地质钻机,必要时可采用地锚加固钻架	<ol style="list-style-type: none"> <li>一般完整地层用普通单管钻具钻进;</li> <li>软硬互层、破碎松散地层宜采用压卡式单动双管钻具钻进</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>致密稳定地层中宜采用清水钻进;</li> <li>黄土地层可采用无冲洗液钻进</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>地下水水位,标志地层界面及采空区顶、底板测量误差应控制在<math>\pm 0.05\text{m}</math>以内;</li> <li>取芯钻进回次进尺限制在2.0m以内,并应采用双层岩芯管连续取芯;</li> <li>除原位测试及有特殊要求的钻孔外,钻孔均应全孔取芯;成孔孔径应满足岩芯试验和孔内测试的要求,不宜小于90mm。坚硬完整岩层取芯率不宜低于90%,强风化、破碎的岩石不宜低于50%;</li> <li>注意观测地下水水位并进行简易水文地质观测;</li> <li>孔斜每百米应小于<math>1^\circ</math></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>现场记录应及时、准确、按回次进行,不得事后追记;</li> <li>描述内容应规范、完整、清晰;</li> <li>钻探记录和岩芯编录,应由专业技术人员承担,并有记录员及机长签字;</li> <li>绘制钻孔柱状图;</li> <li>岩芯拍照</li> </ol>

表 3.2.8-2 采空区钻探现场描述要点与“三带”判定依据

垮落带判定依据	断裂带判定依据	弯曲带判定依据
<ol style="list-style-type: none"> <li>掉钻;</li> <li>埋钻、卡钻;</li> <li>孔口水位突然消失;</li> <li>孔口吸风;</li> <li>进尺快;</li> <li>岩芯破碎混杂,有岩粉、淤泥、坑木等;</li> <li>瓦斯等有害气体上涌</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>突然严重漏水或漏水量显著增加;</li> <li>钻孔水位明显下降;</li> <li>岩芯有纵向裂纹或陡倾角裂缝;</li> <li>钻孔有轻微吸风现象;</li> <li>瓦斯等有害气体上涌;</li> <li>岩芯采取率小于75%</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>全孔返水;</li> <li>无耗水量或耗水量小;</li> <li>取芯率大于75%;</li> <li>进尺平稳;</li> <li>岩芯完整</li> </ol>

7 钻孔资料整理应符合下列规定:

- 1) 应说明钻孔位置及布孔目的。
- 2) 应对孔深、岩性、岩体破碎程度、塌孔、漏浆及掉钻现象等进行描述。
- 3) 应对钻孔资料进行分析,判定煤层年代、编号、层数,并确认开采情况。

- 4) 应绘制钻孔柱状图, 将岩芯描述、物理力学指标标注在图中。
- 5) 必要时, 应附加孔内电视影像资料。

#### 条文说明

工程钻探是采空区勘察最直接、最可靠的方法, 其最大优点是通过岩芯的观察和描述, 直观反映岩土的基本特性, 并通过钻进速度、掉钻、孔内电视及漏水等情况, 反映出采空区的“三带”特征。

### 3.3 勘察阶段

#### 3.3.1 可行性研究阶段勘察应符合下列规定:

- 1 应初步查明各走廊带范围内工程地质条件、矿产分布、矿井分布、采掘及压覆资源情况, 确定采空区的范围及不良地质发育情况, 定性评价采空区稳定性, 论证拟建公路采空区及矿产资源的分布特征及其对公路工程的影响, 为路线走廊带及方案比选提供依据及建议。

- 2 本阶段应以收集资料、采空区专项调查为主, 必要时可辅以大比例尺航卫片解译, 当资料收集和调查不能初步查明采空区工程地质条件时, 应进行必要的勘探工作。

- 3 调查范围沿路线方向长度应为下伏采空区及其变形影响范围, 宽度不宜小于中线两侧各 1 000m。

- 4 本阶段勘察成果应包括文字说明、采空区工程地质平面图、纵断面图及相关的勘探、测试及影像资料。

#### 条文说明

可行性研究阶段(简称可研勘察)包括预可阶段和工可阶段。预可行性研究阶段采空区勘察范围较广, 工作内容主要为路线走廊带内煤炭资源的采掘情况、采空区的分布范围及其要素特征的调查与描述, 定性评价采空区对路线方案的影响程度, 估算路线压覆资源量和长度; 工可勘察阶段除满足预可阶段要求外, 针对路线方案及工程造价影响较大的特长隧道、特大桥下伏采空区可以适量布设地质勘探工作, 勘探方法在资料收集和采空区专项调查的基础上确定。

#### 3.3.2 初步勘察应符合下列规定:

- 1 在可行性研究阶段勘察基础上, 应进一步收集地质、采矿资料, 基本查明采空区水文地质及工程地质条件、采空区空间分布及其要素特征、采空区覆岩破坏类型(本规范附录 D), 并取样测试采空区覆岩的物理力学参数, 分析计算采空区地表已完成的变形量及剩余变形量, 评价采空区稳定性、确定路线压覆资源范围, 为路线方案比选、采空区处治方案及处治设计提供依据。

2 本阶段应以工程地质调绘、采空区专项调查、采空区测绘、地表移动变形监测及工程物探为主要勘察方法,辅以适当的钻探验证,有条件时应进行井下测绘。

3 勘察范围应为沿线可能存在采空区的影响范围,宽度不宜小于路线中心两侧各500m。勘探宽度应考虑路基的挖深、填高及采空区移动角的影响。勘探深度应大于采空区埋深。

4 采动边坡勘察除应符合现行《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)的有关规定外,尚应基本查明采动边坡破坏类型、分布特征及其规模、采空区引起的地表裂缝、岩体结构面产状及其组合特征,分析评价采空区移动变形对公路边坡的影响。

5 采空区专项调查应符合下列规定:

1) 采空区专项调查内容应符合本规范第3.2.4条的规定。

2) 应对专项调查取得的资料和已收集的资料进行综合分析,将资料成果转绘到路线平、纵断面图中,包括地质界线、矿界、采空区分布范围及井口位置等,初步形成采空区工程地质平面图、纵断面图。

3) 应根据收集和专项调查资料的完整程度和有效性分析结果,确定本阶段的勘探方法、范围及工作量。

6 采空区测绘应符合下列规定:

1) 对采空区引起的地表变形特征、范围、规模及地裂缝、塌陷、房屋裂缝等应进行测绘,并对较大裂缝及塌陷进行编号和描述,描述内容应符合本规范第3.2.5条的规定。

2) 测绘成果应标注在工程地质平面图和工程地质纵断面图中。

7 监测断面数量不宜少于2条,监测延续时间不应小于6个月,并满足采空区稳定性评价需要。监测范围、监测点平面布置及监测周期应符合本规范第3.2.6条的规定。

8 物探测线布置应符合下列规定:

1) 测线宜平行路线布设,必要时可布置横向测线,每个测区内不应少于3条测线,路线中线应有1条测线。测线有效长度不应小于采空区长度,宽度应根据初步调查的采空区埋深及分布范围确定,解译深度宜达到采空区底板以下15~25m。

2) 物探点、线距的选择宜根据地形特征、地物条件、采空区的开采方式及埋深等综合确定,点距不宜大于15m,线距不宜大于20m,测点精度应满足1:1000~1:2000平面图要求。

9 钻探勘探点的布置除应满足本规范第3.2.8条的要求外,尚应符合下列规定:

1) 孔位应结合构造物的设置布置,桥梁采空区钻孔应布置在墩台处,隧道采空区钻孔应兼顾隧道工程地质勘察布孔要求。

2) 钻孔深度应达到采空区或煤层底板以下不小于3m,并应满足构造物孔深要求。

3) 对于矿井资料较丰富、较完整、可信度较高的采空区路段,宜对采空区要素进行验证,钻孔数量可按表3.3.2确定;对于矿井资料缺乏、无资料或小窑开采的采空区路段,应根据采空区专项调查和工程地质调绘成果,结合物探异常区,有针对性布置钻孔揭示采空区要素,在物探异常区的钻孔不得少于1个,采空区桥梁范围内应隔墩台

布孔，采空区隧道和路基范围内钻孔均不得少于2个。

表 3.3.2 桥梁、隧道和路基钻孔布置数量

工程类型	采空区连续分布长度 (m)		
	<500	500 ~ 1 000	>1 000
桥梁	1~2 个	≥2 个	≥3 个
隧道	1~2 个	≥2 个	
路基	1~2 个		≥2 个

注：1. 初勘可取低值，详勘取高值。

2. 采空区连续分布长度是指各工程类型在一个采空工作面内的连续分布长度。

3. 一个采空工作面内分布有多种工程类型时，钻探以验证采空区要素为目的，根据采空区分布长度、复杂程度及构造物设置情况适当调整。

#### 10 取样与试验应符合下列规定：

1) 取样间距、深度及试验等要求，应根据构造物的不同类型确定，并符合现行《公路工程地质勘察规范》(JTG C20) 的有关规定。

2) 垮落带、断裂带中的岩芯应以描述为主，并进行详细编录，内容可按表 3.2.8-2 的规定采用，必要时采取扰动岩、土样进行室内试验，室内试验项目宜根据工程需要确定。

3) 钻孔或矿井中采取的地下水应做简分析，并评价其对建筑材料及注浆材料的腐蚀性。

4) 当有害气体对工程的安全及稳定性有影响时，应进行有害气体采集和测试。

#### 条文说明

1、2 初勘阶段勘探工作量根据资料收集情况、地质调绘成果，结合工程类型，通过有效性分析后有针对性地布设，包括物探方法的选择及点、线间距的确定，钻孔的位置、数量和深度等，并根据情况随时进行调整。

3 勘察范围根据采用勘察方法的不同有所差别，如地质调绘的范围要大一些，一般在路线两侧各 200~500m，目的是为线位优化提供空间；物探和钻探则依据采空区的埋深，按计算的采空区处治宽度控制，计算方法详见本规范第 6 章。

4 采动边坡破坏类型主要有崩塌、滑坡和前缘鼓胀等，根据边坡岩土组合特征，分为土质采动边坡、岩质采动边坡和土岩复合型采动边坡。采动边坡的破坏类型与原生边坡类型息息相关，但其移动变形方式一方面可能迁就和服从边坡岩土体原生结构面，使边坡遭受崩塌或滑坡；另一方面则主要受开采沉陷影响，导致边坡失稳垮落。

采动边坡的勘察，主要以地质调绘方法为主，重点查明由采空区引起的地表裂缝(延伸方向、宽度、深度等)、结构面产状及其特征、塌陷及错台特征等。在条件允许的情况下，采用监测手段，对采动边坡地表位移情况进行全覆盖监测。

边坡(或山体斜坡)下采矿引起的山体变形破坏与山体滑坡引起的变形破坏有本质区别，它属于以采空区上岩体塌陷变形为主的“采空区上边坡稳定”问题。这类边

坡稳定性分析和评价,不能简单地按照一般滑坡(或崩塌)的理论和方法进行,需把地下采矿形成的采空区及煤柱的空间分布作为重要的边界条件和变形控制条件,结合山体构造和岩体结构进行综合分析和评价。

边坡下采矿也不同于远离边坡或平缓地表下采矿引起的“地表塌陷移动盆地”,而是在斜坡上下形成四个变形区,即采空区内侧坡肩处的拉张变形区,产生拉伸变形;采空区中部上方的挤压下沉区,地表下沉值最大,伴随小量的挤压变形;采空区两侧的剪切下沉区,产生压缩、剪切变形;采空区外侧坡脚处的鼓胀隆起变形区,产生水平剪切及鼓胀变形。

5、6 对于大型、正规开采的新采空区或现采空区,以资料收集和专项调查为主要勘察方法,辅以采空区测绘,当资料收集充分,有效性较好,能充分说明采空区分布、范围、规模、变形的基本特征,以及变形的发展趋势和稳定条件时,本阶段一般不进行勘探验证工作;而老采空区和非正规开采的采空区,当不具备资料收集的条件时,需要侧重于采空区专项调查、物探并辅以钻探。

采空区专项调查和采空区测绘是在资料收集的基础上展开工作。根据资料收集及本阶段调查成果的综合分析,对采空区的分布、规模及其对公路工程的影响程度进行初步评价。

7 地表变形监测需要的时间较长,监测成果需要一定的时间积累,因此,变形监测要尽早启动,以便于施工图勘察阶段的采空区稳定性评价和处治方案的确定。

8 物探的采用及其方法的选择在资料收集、地质调绘的基础上,通过有效性分析进行确定。物探采空区异常通常分为三种类型:

第一种,异常明显区,该类异常两种物探方法均有明显异常出现;

第二种,异常较明显区,该类异常一种物探方法有明显异常出现,另一种物探方法异常不十分明显;

第三种,异常不明显区,该类异常两种物探方法均不十分明显,采空区异常可能为其他地质构造(小断层、小陷落柱)引起。

通常在第二和第三种异常区重点布设钻孔进行验证。

物探测线一般平行于路线布置,需避免测线与巷道走向平行布置,对于复杂的小窑采空区,采用网格状布置测线。

9 钻探作为本阶段辅助勘察手段,目的是验证所收集资料的可靠性及物探解译的准确性,通过钻探过程中掉钻、塌孔、卡钻、漏浆等现象及岩芯描述,直观地判定“三带”的分布,初步判定采空区塌落情况,为确定剩余空隙(洞)率提供依据,并通过取样、试验提供岩(土)体物理力学性质指标及稳定性评价所需的参数,完善工程地质纵断面图,同时采取地下水及气体样本,有条件的情况下可以在钻孔内进行孔内波速测试及孔内电视。

本阶段桥位及桥型在施工图设计阶段通常会发生变化,因此,初勘阶段钻孔隔墩布置,控制采空区范围即可,详勘阶段再进行逐墩钻探。

采空区范围内钻探难度较大,因此,利用打成的钻孔做孔内物探,起到一孔多用的

效果。钻孔内有水时，在孔内做声波测试；孔内无塌孔发生时，进行孔内电视，直接观测出水点及采空位置。

### 3.3.3 详细勘察应符合下列规定：

- 1 在初勘基础上，详勘应查明下列内容：
  - 1) 地层岩性及地层结构，采空区上覆岩、土体厚度；
  - 2) 采空区分布、规模、要素特征及其“三带”分布特征；
  - 3) 采空区稳定性及其对公路的危害程度；
  - 4) 岩（土）体物理力学指标及构造物地基基础设计参数；
  - 5) 有毒、有害气体的类型、浓度等级及分布特征；
  - 6) 采空区充水情况及地下水类型、腐蚀性等。
- 2 采空区勘察应以钻探为主，辅以必要的物探及井下测试。
- 3 勘察范围应为下伏采空区的影响范围，并考虑新采和复采的影响。
- 4 详勘工作之前，应对初勘成果进行核实；当施工图线位偏离初设线位时，应进行补充调查及测绘，调查及测绘内容与初勘一致。
- 5 地表变形监测，当线位与初勘基本一致时，应沿用初勘监测网，按周期持续观测；当线位与初勘相差较大时，应按初勘要求重新布置监测网进行观测。
- 6 井下测绘应对采空区及巷道的实际规模、空间形态、支护条件、塌落情况进行测量和现场描述并拍照。
- 7 孔内物探宜采用综合测井、跨孔物探、孔内电视等方法；地面物探应进行二次解译。对初勘后新采和复采的采空区，应进行物探，物探要求与初勘一致。
- 8 钻探除应符合初勘有关规定外，尚应符合下列规定：
  - 1) 钻孔应在初勘钻孔基础上结合工程类型及规模布置。对于矿井资料较丰富、较完整、可信度较高的采空区路段布置的验证孔，钻孔数量应按表 3.3.2 确定。对于矿井资料缺乏、无资料或小窑开采的采空区路段布置的钻孔，采空区桥梁范围内应逐墩台布孔，采空区隧道范围内钻孔不得少于 2 个，路基范围内的钻孔不得少于 2 个。
  - 2) 钻孔深度应达到采空区底板以下不小于 3m 的深度，且应满足构造物勘探深度要求。

#### 条文说明

本阶段钻探工作量的布置通常是有针对性的，目的是对各种资料作最后的验证或确认，并进行孔内电视或孔内声波测试。

## 3.4 采空区勘察报告

### 3.4.1 勘察报告文字说明应包括下列内容：

- 1 勘察工作概况，包括拟建工程概况、任务要求、勘察目的、勘察技术标准、时



间、范围、方法、过程及工作量；

- 2 场地自然地理概况，包括地理位置、地形地貌、水文、气象、交通；
- 3 区域地质概况，包括地层岩性、地质构造、水文地质、工程地质、地震烈度；
- 4 采空区勘察成果，包括资料收集与分析成果，区域地质调绘、采空区测绘、物探、钻探、试验等成果，采空区的影响长度，采煤层数、埋深、采厚、顶板岩性、开采时限、开采方式、回采率、顶板控制方法、有害气体、采空区充水、地表变形及塌陷情况、采空区剩余孔隙率等采空区基本要素特征；
- 5 采空区稳定性分析与评价；
- 6 采空区路段建设场地的适宜性评价；
- 7 公路预留保护煤柱范围及压覆资源情况估算，并符合本规范第 5.1.7 条的规定；
- 8 采空区处治相关设计参数及方案建议；
- 9 结论与建议；

1) 结论应包括采空区基本要素特征，采空区对各工程类型的影响长度，采空区场地对拟建公路或构造物的适宜性评价，公路压覆资源量、种类、宽度及长度等。

2) 采空区勘察在初勘阶段应提出路线方案比选和初步处治方案建议，详勘阶段应提出采空区处治方案建议。

10 附表，包括采空区调查表、采空区变形参数表、采空区对公路工程危害程度综合评价表，按本规范附录 A 中表 A.0.1 和附录 E 中表 E.0.1~表 E.0.3 填写。

#### 条文说明

采空区勘察报告编写前，需对收集的资料、工程地质调绘资料，以及物探、钻探、地面观测、井下测量、孔内电视、试验成果等基础资料进行归纳、整理、分析、确认，然后进行综合分析计算和勘察报告的编写。

公路压覆资源情况及预留保护煤柱范围，主要包括压覆资源量、种类、层位、埋深、长度、宽度及主要拐点坐标；可研勘察及初勘阶段根据本规范附录 G 相关要求，估算压覆资源量及范围，详勘阶段一般依据压覆矿产资源评估报告，提供压覆资源量及范围。

采空区稳定性评价的主要内容包括：依据采空区地面变形特征资料或地表变形观测资料，结合采空区要素特征，对采空区进行稳定性分析与评价，计算剩余变形值，评价采空区对公路工程的危害程度和危害形式。

#### 3.4.2 勘察报告图件资料应符合下列规定：

1 采空区工程地质平面图。除常规地质内容外，尚应标出路线、矿界、井口、采空区（含巷道）位置，地表塌陷及裂缝分布、范围等采空区要素。成图比例尺在可行性研究阶段宜为 1:5 000~1:10 000，初勘和详勘阶段宜为 1:1 000~1:2 000。

2 采空区工程地质纵、横断面图。除常规地质内容外，尚应标出矿界、采空区（含巷道）位置、垮落带、断裂带、弯曲带及地表塌陷、裂缝位置及深度，标注公路工

程类型、规模等。在工程地质概况中应对采空区的要素特征及对路线影响范围、程度进行描述、评价。成图比例尺在可行性研究阶段水平比例尺宜为1:10 000，垂直比例尺宜为1:1 000~1:2 000；初勘和详勘阶段水平比例尺宜为1:1 000~1:2 000，垂直比例尺宜为1:500~1:2 000，采空区边界附近、钻孔及地形、地质条件变化处应绘制工程地质横断面图。

3 钻孔柱状图。应标注煤层或采空区编号，地层岩性及其物理力学性质、含水情况，划分垮落带、断裂带及弯曲带，并应描述钻进速度、掉钻、漏水等情况。

4 影像资料。应标注逐孔编号、采空区路段及采空区类型等情况。

### 3.5 原始资料归档

**3.5.1** 采空区勘察过程中及结束后，应将收集、调查、物探、钻探、影像等有效原始资料及测量、观测、试验数据进行归档。归档资料应翔实、完整，签署完备。

**3.5.2** 原始资料归档应包括下列内容：

- 1 收集的矿井资料，包括文字资料及图表；
- 2 工程物探成果报告及原始资料；
- 3 钻探记录；
- 4 调查记录；
- 5 采空区变形观测分析报告及原始记录；
- 6 井下测量记录、图件及报告；
- 7 岩土试验及水质分析报告；
- 8 必要的调查、钻探等影像资料。

## 4 采空区稳定性评价

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 公路采空区稳定性评价应根据采空区勘察成果,并结合公路等级、工程类型和地基容许变形、采空区类型及其要素特征等,采用定性与定量评价方法,分析采空区与拟建公路工程的相互影响程度,对采空区场地稳定性、适宜性与地基稳定性进行综合评价。

#### 条文说明

由于采空区类型各异、特点不同,不同勘察阶段所掌握的采空区资料程度也不尽相同,因此,采空区稳定性评价需根据其特点和所掌握资料的程度,采用定性与定量相结合的方法。场地稳定性是确保工程能顺利实施的先决条件,在评价采空区场地稳定性的基础上,分析采空区剩余变形对拟建公路工程的影响程度,进而评价场地工程建设适宜性和公路地基稳定性。

不同等级的公路及不同类型的公路工程,适应地基变形的能力各不相同。一般而言,公路等级越高对控制场地地基变形的要求也越高;但就工程类型而言,桥梁、隧道工程对控制变形的要求更高,路基及其他附属工程的要求则相对较低。因此,将路基、桥梁、隧道及其他附属工程能够容许的地基变形值作为地基稳定性评价的主要依据。

**4.1.2** 公路采空区稳定性评价应包括建设场地稳定性评价、公路工程建设适宜性评价和公路工程地基稳定性评价三个部分。

**4.1.3** 采空区稳定性评价应综合考虑煤层开采方式、顶板控制方法、终采时间、地表变形特征,以及采空区的类型、规模、采深、采厚和覆岩特征等因素,选用适宜的评价标准和评价方法。

#### 条文说明

采空区稳定性与煤层的开采方式、顶板控制方法、终采时间、地表变形特征,以及煤层采深、采厚等因素有关,因此,在稳定性评价之前,通过各种勘察手段尽可能查清这些影响因素,然后有针对性地按采空区类型及公路工程具体要求选择评价标准和

评价方法。

## 4.2 采空区场地稳定性评价

**4.2.1** 采空区场地稳定性评价，应综合采空区类型、开采方式与顶板控制方法、终采时间、采深、采厚、顶板岩性、下沉速度等要素，采用定性与定量相结合的方法，以采空区变形特征、地表剩余变形量为评价依据，将场地划分为稳定、基本稳定和不稳定三个等级。

**4.2.2** 采空区场地稳定性评价，可采用开采条件判别法、地表移动变形预计法、地表移动变形观测法、极限平衡分析法和数值模拟法等方法进行。

**4.2.3** 开采条件判别法应符合下列规定：

1 适用于各种类型采空区场地稳定性定性评价，对于不规则、非充分采动等顶板垮落不充分、难以定量评价的采空区，可采用开采条件判别法进行定性评价。

2 应通过地质采矿资料收集、采空区专项调查，掌握影响采空区场地稳定性的相关资料，综合考虑终采时间、开采方式、回采率、深厚比、上覆岩层性质及地表变形特征等要素进行采空区场地稳定性评价。

3 开采条件判别法判别标准应以工程类比和本地区经验为主，并应综合考虑各类采空区要素进行判别。无地区类似经验时，长壁式充分采动采空区场地宜以采空区终采时间为评价指标，按表 4.2.3-1 进行判别。不规则柱式采空区场地宜按深厚比为评价指标，按表 4.2.3-2 进行判别。

**表 4.2.3-1 按终采时间确定采空区场地稳定性等级（长壁式采空区）**

覆岩类型	场地影响范围内采空区终采时间 (a)		
	稳定	基本稳定	不稳定
软弱岩	>2.0	1.0~2.0	<1.0
中硬岩	>3.0	2.0~3.0	<2.0
坚硬岩	>5.0	3.0~5.0	<3.0

注：1. 覆岩坚硬程度划分见本规范附录 F 中表 F.0.1-1。

2. 本表适用于采深小于 400m 的采空区场地。

**表 4.2.3-2 按深厚比确定采空区场地稳定性等级（不规则柱式采空区）**

覆岩类型	深厚比 (H/M)		
	稳定	基本稳定	不稳定
软弱岩	>120	120~100	<100
中硬岩	>100	100~80	<80
坚硬岩	>80	80~60	<60

注：覆岩坚硬程度划分见本规范附录 F 中表 F.0.1-1。

## 条文说明

长壁式或经正规设计的条带式采空区的地表移动变形与矿区终采时间有很强的相关性,一般停采时间越长地表移动变形越趋于稳定,因此,采空区的终采时间可作为评价采空区场地稳定性的一个重要指标。采空区终采时间判断标准是基于大量的实测数据,根据覆岩性质及地表移动延续时间( $T$ )综合确定。国内外大量地表变形观测资料分析表明,长壁式垮落法开采条件下,地表移动延续时间主要取决于覆岩性质和开采深厚比。地表移动延续时间可分为初始期、活跃期和衰退期三个阶段(图 F.0.2),以下沉 10mm 时为地表移动期开始,以连续 6 个月下沉值不超过 30mm 为地表移动期结束。在移动过程的延续时间内,地表下沉速度大于 50mm/月(1.7mm/d)(煤层倾角小于 45°),或大于 30mm/月(煤层倾角大于 45°)的时间为活跃期;从地表移动期开始到活跃期开始的阶段称为初始期;从活跃期结束到移动期结束的阶段称为衰退期。一般初始期时间很短,约占总延续期的 1%~2%;活跃期也称危险变形期,是地表沉陷破坏集中期,约占总延续期的 30%~40%;衰退期时间较长,约占总延续期的 60%~70%。

不规则柱式采空区包括不规则开采的巷柱式及房柱式采空区等类型,这类采空区一般难以进行地表沉陷变形计算,由于其稳定性与采空区煤层的开采条件、开采深厚比、覆岩性质及终采时间等因素密切相关,采空区地表变形常表现为突发性、潜伏性及非连续性,实际工程中这类采空区特别是小窑采空区的开采条件、开采时限、空间分布等是很难查清楚的,故常采用深厚比单一指标作为这类采空区稳定性评价的标准。多年来的工程实践表明,对于路基工程穿越该类采空区,根据深厚比来初步评判这类采空区稳定性是行之有效的。

### 4.2.4 地表移动变形预计法应符合下列规定:

1 适用于顶板垮落充分、规则开采的采空区场地稳定性定量评价。对于顶板垮落不充分且不规则开采的采空区场地稳定性,也可采用等效法等计算结果进行判别评价。

2 规划采空区应计算地表最大移动变形值,新采空区和老采空区应计算地表剩余移动变形值。地表剩余移动变形值宜通过预计的地表最大移动变形值扣除已发生的地表移动变形值确定;也可按该地区的地质采煤条件的下沉过程曲线扣减下沉系数确定;或引入时间因子,计算开采时段对应的下沉率及相应的剩余地表移动变形值。

3 地表移动变形值计算应根据煤层开采条件,合理选择计算模型和计算参数。计算模型和参数可按现行《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》(安监总煤装〔2017〕66号)的有关规定及本规范附录 F 执行。

4 按地表剩余移动变形值确定场地稳定性等级的评价标准,宜以地表剩余下沉值为主要指标,并结合其他指标按表 4.2.4 综合评价。

表 4.2.4 按地表剩余移动变形值确定场地稳定性等级

稳定性等级	评价指标				备注
	剩余倾斜值 $\Delta i$ (mm/m)	剩余水平变形值 $\Delta \varepsilon$ (mm/m)	剩余曲率值 $\Delta K$ ( $\times 10^{-3}/m$ )	剩余下沉值 $\Delta W$ (mm)	
稳定	<3.0	<2.0	<0.2	<100	同时满足
基本稳定	3.0~6.0	2.0~4.0	0.2~0.4	100~300	满足其一
不稳定	>6.0	>4.0	>0.4	>300	

注：地表剩余移动变形值为公路场地平整后的地表剩余变形移动值，该值不包括地土附加变形。

### 条文说明

地表移动变形预计法是根据地质采矿条件，选用适宜的预计方法，计算出采空区上方地表可能产生的移动变形值，通过比较公路工程容许的地表变形值，进而评价采空区场地稳定性和地基稳定性的一种定量评价方法。地表移动变形预计法有典型曲线法、剖面函数法、负指数函数法及概率积分法等，其中概率积分法应用较为广泛。

概率积分法预计采空区地表变形的准确性和精度，很大程度上取决于计算参数的合理选取。概率积分法之所以在我国得以普遍推广应用，除其方法的理论依据清晰、适应性强外，最主要还是因为各大煤矿矿区通过现场观测和分析积累了相应参数。因此，在采用概率积分法预计采空区地表变形时，计算参数的选取需借鉴地区经验，经实测资料充分验证。本规范附录表 F.0.1-1~表 F.0.1-4 中给出了按我国煤矿区覆岩分类的概率积分法计算参数，这些参数大多是针对长壁垮落法开采条件下求取的，可以直接用于准采区的地表移动变形预计。已发生的地表移动变形值可以通过地表移动观测确定，也可以通过现场地形与原始地形的差值确定。新采空区地表移动变形预计，可以通过本规范第 F.0.2 条估算剩余变形值，老采空区地表移动变形预计，一般通过引入时间因子选取残余（剩余）下沉系数计算。

根据煤层赋存地质条件及开采状况的不同，概率积分法计算地表移动与变形有 7 种模式：①全盆地的移动与变形计算模式；②半无限开采缓倾斜煤层 ( $\alpha < 15^\circ$ ) 地表下沉盆地主断面的移动与变形计算模式；③缓倾斜煤层 ( $\alpha < 15^\circ$ ) 非充分开采时矩形工作面下沉盆地的移动与变形计算模式；④开采倾斜煤层 ( $15^\circ \leq \alpha < 54^\circ$ ) 和急倾斜煤层 ( $\alpha > 55^\circ$ ) 地表下沉盆地的移动与变形计算模式；⑤开采急倾斜煤层 ( $\alpha > 55^\circ$ ) 地表下沉盆地的移动与变形计算模式；⑥用查表法计算半无限开采的地表移动和变形值；⑦山区地表移动与变形计算模式。本规范附录 F 列出了实际应用最为常见的计算模式，实际应用中也可以根据具体情况，参照现行《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》（安监总煤装〔2017〕66号）选用正确的计算模式。

### 4.2.5 地表移动变形观测法应符合下列规定：

1 适用于顶板塌落充分、规则开采的采空区场地稳定性定量评价，有条件时宜进行半年以上的高精度地表移动变形观测。对于巷道式及房柱式等采空区场地，采用该法

进行稳定性评价时，应适当延长观测周期。

2 采空区的观测应以地表下沉观测为主，水平移动观测为辅。观测点的布置、观测周期、观测等级和精度等要求，应符合本规范第 3.2.6 条的有关规定。

3 地表变形观测成果应及时整理分析，计算各测点的下沉、位移及相邻点间的倾斜值、曲率值和水平变形值；绘制地表下沉值、倾斜值、曲率值、水平变形曲线和最大下沉过程曲线；计算地表下沉速度，分析地表变形发展趋势及地表剩余移动变形量，按表 4.2.5 进行评判。

表 4.2.5 按地表下沉观测值确定采空区场地稳定性等级

稳定性等级		稳定	基本稳定	不稳定
下沉速度与下沉值	下沉速度 $v_s$ (mm/d)	< 1.0		$\geq 1.0$
	连续 6 个月累计下沉值 (mm)	< 30	$\geq 30$	
备注		同时满足		

#### 条文说明

采空区地表沉陷研究表明，采动引起的地表移动变形主要发生在初始期~活跃期，占变形总量的 75~80%，而衰退期地表移动变形量较小，约占总变形量的 20%~25%。我国矿区大量地表变形观测资料表明，当地表的年下沉量小于 60mm 时，地表沉降已趋于稳定，地表剩余沉降量很小，一般能满足公路工程建设要求。因此，可通过采空区地表沉降观测，以地表下沉速度来评价场地的稳定性。

地表移动变形观测法是通过观测得到的地表下沉速度，评价采空区场地稳定性的方法。通常与概率积分法配合使用，通过概率积分法预计采空区场地可能的最大移动变形值，然后依据地表变形观测成果推算场地的剩余变形值，并掌握地表变形规律，以此对采空区场地稳定性作出评判。

地表移动变形观测法因工作周期较长，实际应用中存在一定的困难，但对于地表沉陷相对规律的长壁垮落法新采和现采的采空区而言，该方法是一种有效的评价方法。当条件允许时，可以在公路采空区勘察、设计、施工及后期运营的全过程进行地表变形监测，直到沉降稳定为止。

#### 4.2.6 极限平衡分析法应符合下列规定：

- 1 适用于开采范围较小，上覆岩层可形成垮落拱的近水平单一巷道采空区。
- 2 当单一巷道采空区位于公路工程下方时，应计算路堤自重荷载及行车荷载作用下，维持巷道顶板稳定的临界深度  $H_{cr}$ 。临界深度  $H_{cr}$  及采空区顶板稳定性系数  $F_s$  应按本规范第 F.0.3 条确定，并按表 4.2.6 进行评判。
- 3 巷道的空间形态、断面、埋藏深度、上覆岩层性质及物理力学指标等计算参数应依据勘察成果合理确定。

表 4.2.6 按顶板稳定系数确定采空区场地稳定性等级

稳定系数 ( $F_s$ )	$F_s \geq F_{st}$	$1.5 \leq F_s < F_{st}$	$F_s < 1.5$
稳定性等级	稳定	基本稳定	不稳定

注：采空区场地稳定安全系数  $F_{st}$ ，一般可取 2.0，对地质条件复杂且破坏后果严重的场地，安全系数宜适当提高。

4 采用极限平衡分析法评价房柱式采空区稳定性，应按现行《煤矿采空区岩土工程勘察规范》(GB 51044) 的相关规定进行。

#### 条文说明

极限平衡分析法是一种根据刚体极限平衡理论评价采空区场地稳定性的方法。对于开采面积小，且近水平的单一巷道式小窑采空区，当顶板岩层节理发育或被裂隙贯通时，上覆岩层可形成冒落拱，采用极限平衡分析法可计算出维持巷道顶板稳定的临界深度 ( $H_{cr}$ )。

以小窑为代表的单一巷道式采空区在我国南方地区（如云南、贵州、广西等地）比较普遍，北方地区也有分布，这类采空区的开采深度及巷道空间尺寸一般不大，其场地稳定性评价主要是评价巷道顶板的稳定性问题。对于近水平的单一巷道式采空区，当顶板岩层节理发育或被裂隙贯通时，可采用极限平衡分析法计算出巷道顶板临界深度  $H_{cr}$  和顶板稳定系数  $F_s$ 。考虑到小窑采空区地质条件复杂性及变形失稳的特点，结合多年实践经验，并参考《工程地质手册》(第五版) 相关规定，确定单一巷道式采空区稳定性评价标准。

#### 4.2.7 数值模拟法应符合下列规定：

- 1 适用于多层采空区，以及桥梁、隧道等重要工程穿越或压覆采空区等复杂工况下的采空区场地稳定性专题研究评价。
- 2 应结合地质情况、开采方式及公路工程特点，合理构建计算模型和确定边界条件，宜根据测试成果、反演分析和当地经验值综合确定岩土参数。

#### 4.2.8 下列地段宜划分为不稳定场地：

- 1 采空区垮落时，地表出现塌陷坑、台阶状裂缝等非连续变形的地段；
- 2 倾角大于  $55^\circ$  的厚煤层（层厚大于 3.5m）浅埋及露头采空区地段，以及过火煤层地段；
- 3 由于地表移动和变形引起的边坡失稳、山崖崩塌和坡脚隆起地段；
- 4 非充分采动顶板塌落不充分、采深小于 150m，且存在大量抽取地下水诱发地面塌陷的地段。



### 4.3 采空区场地公路工程建设适宜性评价

4.3.1 采空区场地公路工程建设适宜性评价应依据场地稳定性等级，结合公路工程类型和影响程度，进行分级评价。

4.3.2 采空区对公路工程的影响程度，宜根据采空区场地稳定性、公路等级和工程类型，按表 4.3.2 进行定性评价；拟建公路工程对采空区稳定性的影响程度，可根据建筑物荷载及影响深度等，按现行《煤矿采空区岩土工程勘察规范》(GB 51044) 的相关规定进行评价。

表 4.3.2 采空区对拟建公路工程的影响程度

场地稳定性等级	路基工程		桥、隧工程
	高速公路、一级公路	二级及二级以下公路	
稳定	小	小	小~中等
基本稳定	中等	小~中等	中等~大
不稳定	大	中等~大	大

4.3.3 采空区场地公路工程建设适宜性分为适宜、基本适宜和适宜性差三个等级，可依据采空区场地稳定性、采空区与拟建公路工程的相互影响程度、工程处治的难易程度、工程造价等因素，按表 4.3.3 进行等级划分。

表 4.3.3 采空区场地公路工程建设适宜性分级依据

适宜性等级	分级说明
适宜	采空区移动变形充分，或采空区垮落断裂带密实，对拟建公路工程影响小；公路工程建设对采空区稳定性影响小；采取一般工程防护措施（限于规划、建筑、结构措施）后可以建设
基本适宜	采空区移动变形较为充分，或采空区垮落断裂带基本密实，对拟建公路工程影响中等；公路工程建设对采空区稳定性影响中等；采取规划、建筑、结构、地基处理等措施后可以控制采空区剩余变形对拟建工程的影响，或虽需进行采空区处治，但处治难度小，且造价低
适宜性差	采空区垮落不充分，存在地面发生非连续变形的可能，工程建设对采空区稳定性影响大或采空区剩余变形对拟建公路工程的影响大，需综合考虑规划、建筑、结构、采空区治理和地基处理等措施进行综合设计，处治难度大且造价高

4.3.4 采空区场地公路工程建设适宜性评价应根据场地稳定性等级、公路等级及工程类型，按表 4.3.4 规定的评价标准判定适宜性等级。

表 4.3.4 采空区场地公路工程建设适宜性等级

场地稳定性等级	路基工程		隧道工程	桥梁工程
	高速公路、一级公路	二级及二级以下公路		
稳定	适宜		基本适宜	基本适宜
基本稳定	基本适宜	适宜	基本适宜~适宜性差	适宜性差
不稳定	适宜性差		适宜性差	适宜性差

4.3.5 对于基本适宜和适宜性差的采空区场地，经过处理后作为桥梁、隧道工程场地，宜划分为对抗震不利地段。

#### 条文说明

目前针对地震作用对采空区稳定性的影响研究尚不充分，采空区岩体在地震作用下的稳定性具有不确定性。因此，在此类采空区场地上建设公路工程，对抗震烈度7度及以上地区，按抗震不利地段场地设计时要适当加强结构的抗变形能力。

### 4.4 采空区公路工程地基稳定性评价

4.4.1 采空区公路工程地基稳定性评价，应根据公路工程地基容许变形值及采空区沉降值、下沉速度，按表4.4.1的规定确定。

表 4.4.1 采空区公路工程地基容许变形值

公路工程类型		倾斜值 $i$ (mm/m)	水平变形值 $\varepsilon$ (mm/m)	曲率值 $K$ ( $\times 10^{-3}/m$ )	沉降值 $W$ (mm)
路基工程	高速公路、一级公路	$\leq 3.0$	$\leq 2.0$	$\leq 0.2$	$\leq 300$
	二级及二级以下公路	$\leq 6.0$	$\leq 4.0$	$\leq 0.3$	
桥梁工程	简支结构	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\leq 0.2$	—
	非简支结构	$\leq 1.5$	$\leq 1.0$	$\leq 0.15$	—
隧道工程		$\leq 3.0$	$\leq 2.0$	$\leq 0.2$	—

注：本表不包括对变形有严格要求的复杂结构桥梁和隧道工程，此类工程应进行专题研究论证。

#### 条文说明

不同等级的公路与不同类型的公路工程对地基的稳定性要求是不同的，其容许变形值的标准也不同。当采空区公路工程地基的最终变形值小于或等于公路工程的容许变形值时，对公路工程不构成影响，地基处于稳定状态。

关于采空区公路工程地表倾斜、地表水平移动，以及地表曲率容许值的确定，根据国内外有关资料，对于高速公路和桥梁工程，一般地表变形限制在 I ~ II 级变形破坏以

内, 即  $3.0\text{mm/m} \leq \text{倾斜值 } i \leq 6.0\text{mm/m}$ ,  $2.0\text{mm/m} \leq \text{水平变形值 } \varepsilon \leq 4.0\text{mm/m}$ ,  $0.2\text{mm/m}^2 \leq \text{曲率值 } K \leq 0.4\text{mm/m}^2$ ; 对于一般公路, 则限制在Ⅲ级变形破坏以内, 即容许的倾斜值  $i \leq 10.0\text{mm/m}$ , 水平变形值  $\varepsilon \leq 6.0\text{mm/m}$ , 曲率值  $K \leq 0.6 \times 10^{-3}/\text{m}$ 。地表变形值在上述容许范围内时, 公路路基可以不作处理, 超出此范围需加固路基或采取抗变形结构来保护公路。

我国《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001) (2009年版) 规定采空区场地建筑适宜性的标准为: 地表倾斜  $i \leq 10.0\text{mm/m}$ 、地表水平变形  $\varepsilon \leq 6.0\text{mm/m}$ 、地表曲率  $K \leq 0.6 \times 10^{-3}/\text{m}$ ; 《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》(安监总煤装〔2017〕66号) 规定建筑物轻微及极轻微损坏的地表容许变形值为: 地表倾斜  $i \leq 3.0\text{mm/m}$ 、地表水平变形  $\varepsilon \leq 2.0\text{mm/m}$ 、地表曲率  $K \leq 0.2 \times 10^{-3}/\text{m}$ 。本条在确定采空区公路工程地基容许变形值时参照了上述规范和规程, 取其小值。

对变形有严格要求的复杂桥梁如连续刚构桥, 复杂隧道结构如连拱隧道等特殊结构, 不能通过采空区。必要时, 需开展专题研究论证工作。

## 4.5 采动边坡稳定性评价

**4.5.1** 采空区公路涉及边坡工程时, 应按现行《煤矿采空区岩土工程勘察规范》(GB 51044) 相关要求对采动边坡稳定性评价, 并按表 4.5.1 所列边坡安全系数标准进行评判。对于受到地震荷载作用的采动边坡安全系数, 应符合现行《公路工程抗震规范》(JTG B02) 的有关规定。

表 4.5.1 采动边坡安全系数取值标准

计算工况	路堑边坡安全系数	
	高速公路、一级公路	二级及二级以下公路
正常工况	1.20 ~ 1.30	1.15 ~ 1.25
暴雨或连续降雨状态工况	1.10 ~ 1.20	1.05 ~ 1.15

注: 1. 地质条件复杂或破坏后危害严重时, 安全系数取大值; 地质条件简单或破坏后危害较轻时, 安全系数取小值。

2. 路堑边坡破坏后的影响区内有重要建筑物 (桥梁、隧道、高压输电塔、油气管道等)、村庄和学校时, 安全系数取大值。

3. 施工过程中的临时性边坡安全系数不应小于 1.05。

### 4.5.2 采动边坡稳定性分析及滑坡推力计算应符合下列规定:

- 1 土质边坡和较大规模呈碎裂结构的岩质边坡宜采用圆弧滑动法进行计算。
- 2 对可能产生直线形破坏的采动边坡, 宜采用平面滑动法进行计算。
- 3 对可能产生折线形破坏的采动边坡, 宜采用折线滑动法进行计算。
- 4 对结构复杂的岩质边坡, 可配合采用赤平投影法、实体比例投影法、楔形滑动面法进行计算。

- 5 当采动边坡破坏机制复杂时，宜结合数值分析法进行分析。
- 6 对于受到地震荷载作用的采动边坡，稳定性分析方法应符合现行《公路工程抗震规范》(JTG B02) 的规定。

### 条文说明

采动边坡稳定性分析及评价，总体上可按 5 个步骤进行，即基础工作（工程地质调查、测绘，开采情况分析或预测，覆岩工程地质力学分析）→采空区上应力场的数值分析（不同性质应力区的分布）→采空塌陷变形对各工程地质区段的影响（结构面产状及闭合状态、岩体强度、地下水）→边坡稳定性分析判断（工程地质比拟判断、极限平衡验算、数值模拟分析）→结论（边坡仍保持稳定，或边坡将产生滑移、倾倒、崩塌，或在地表移动区外侧鼓胀、隆起）。采空区边坡稳定性评价通常根据边坡类型和可能的破坏模式，按图 4-1 所示的流程进行。

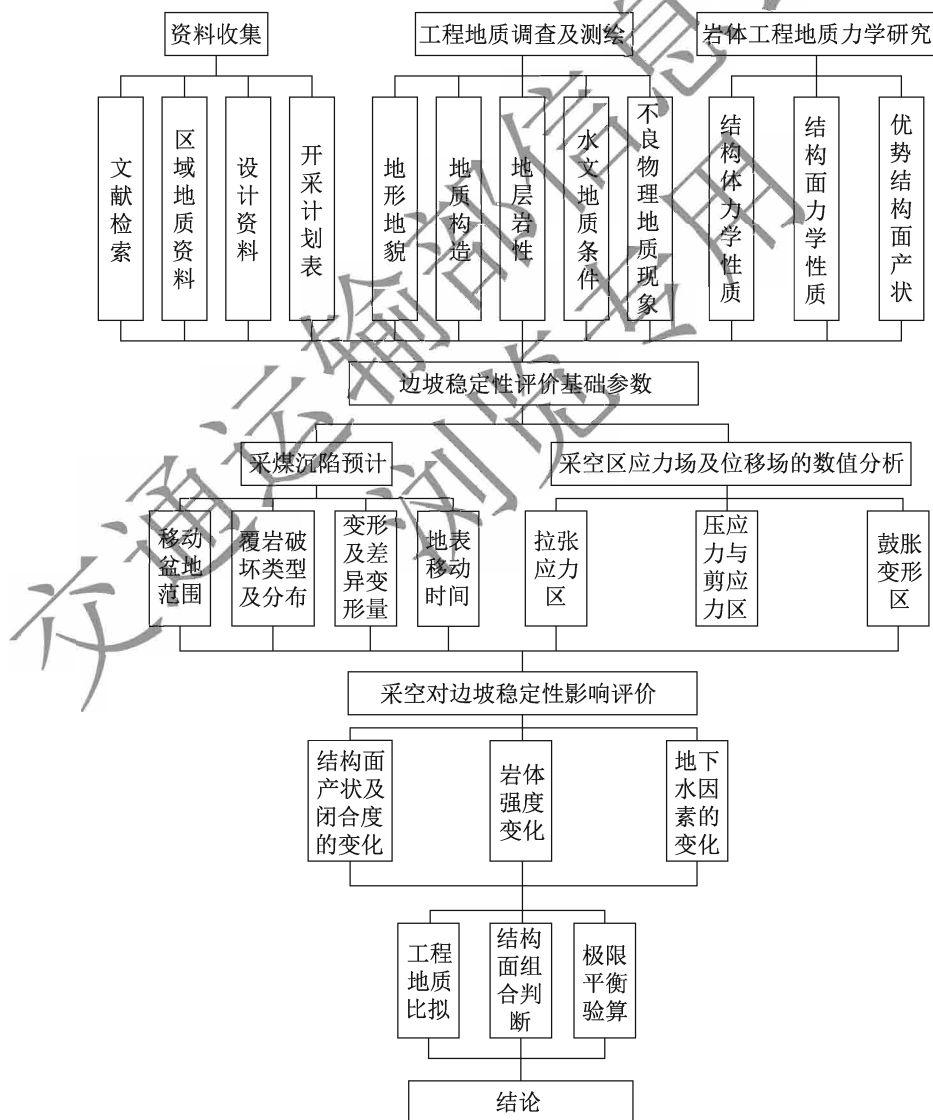


图 4-1 采动边坡稳定评价工作程序及步骤

## 4.6 各勘察阶段采空区稳定性评价要求

**4.6.1** 可研勘察阶段采空区稳定性评价应依据所掌握的资料,综合分析采空区类型、开采条件、开采时间等因素,采用开采条件判别法,按本规范第4.2节有关规定对采空区场地的稳定性做出初步评价,为路线走廊带及方案的比选提供依据。

### 条文说明

可研勘察阶段主要以收集资料和采空区专项调查为主,掌握的资料有限,因此,采用开采条件判别法对采空区稳定性进行评价。有工程经验的地区,通过类比法初步评判场地的稳定性。

**4.6.2** 初步勘察阶段采空区稳定性评价应在可研勘察阶段评价的基础上,结合公路等级、公路工程类型及采空区特点,采用地表变形预计法、地表变形观测法等相结合的方法,并按本规范第4.2节的有关规定对不同类型采空区的稳定性进行定性和定量评价,为路线方案比选、采空区处治方案选择及处治设计提供依据。

### 4.6.3 规划采空区和新采空区稳定性评价应符合下列规定:

1 长壁式跨落法采空区地表移动变形的预计,宜采用概率积分法,也可采用地表变形观测法进行计算。需要计算的移动变形值包括下沉值( $W$ )、倾斜值( $i$ )、曲率值( $K$ )、水平移动值( $U$ )、水平变形值( $\epsilon$ ),以及地表下沉速度( $v_w$ ),并按本规范第4.2节和第4.3节的有关规定对采空区场地稳定性和公路工程建设的适宜性进行评价。

2 规则的房柱式跨落法采空区、全充填式采空区、条带式充填采空区及房柱式充填采空区场地稳定性评价,可按本条上述规定进行验算和评价。下沉系数 $q$ 可按本规范附录F中表F.0.1-1和表F.0.1-4的有关规定取值。

3 不规则柱式或巷道式开采的采空区,其稳定性取决于顶板和老顶及其上覆岩层和松散层性质、开采空间、深厚比和回采率,可先按开采条件判别法或经验类比法进行初判,再采用极限平衡分析法进行验算,应按本规范表4.2.3-2和表4.2.6的有关规定评价场地的稳定性。

### 4.6.4 老采空区稳定性评价应符合下列规定:

1 长壁式跨落法管理顶板的老采空区,场地的稳定性标准可按本规范第4.2.1条的规定确定。当地表移动变形尚未终止,在无外力扰动的条件下,宜采用概率积分法或数值模拟法计算地表剩余变形值,也可通过在拟建设场地进行半年以上变形观测来预测地表剩余变形值,按本规范表4.2.4和表4.2.5的规定评价场地的稳定性。

2 全充填式开采及条带式、房柱式充填开采的单一煤层老采空区,可判定为稳定场地。

3 房柱式、巷道式开采的老采空区，可按本规范表 4.2.3-2 和表 4.2.6 的有关规定评价其稳定性。

#### 条文说明

初步勘察阶段由于采空区的类型不同，其勘察内容和评价方法是不同的。在已查明采空区的分布范围、埋深、采厚、开采方式等要素的基础上，对于新、老采空区计算地表剩余变形值，对未来采空区按一般预计方法预测地表移动的规律、计算地表移动变形值，然后按评价标准评判其作为公路建设场地的适宜性和对公路工程的危害程度。

长壁式垮落法开采形成的采空区在停采一定时间后，其地表移动变形过程即可逐渐趋于终止。而房柱式、巷柱式（含小窑）采空区变形过程则非常复杂，地表移动变形通常持续相当长时间且难以预测。

房柱式、巷柱式（含小窑）采空区变形破坏形式主要表现为地表裂缝、塌陷等，通常存在地表裂缝或已发生塌陷的区域属不稳定地段，公路需避开这类区域，并保持一定的安全距离。安全距离是指公路工程不受裂隙、塌陷影响的最小距离。

**4.6.5** 详细勘察阶段采空区稳定性评价应以定量评价为主，定性为辅，应针对采空区的特殊性和复杂性，结合具体的公路工程类型，采用地表移动变形预计法、地表变形观测法及数值模拟法等多种方法进行综合分析对比，评价采空区场地稳定性，以及公路工程建设的适宜性，并应符合下列规定：

- 1 对变形有严格要求的桥梁和隧道工程，应对采空区进行稳定性专题研究和评价。
- 2 公路下伏多层采空区时，应采用现场地表移动观测、地表移动预计和数值模拟等多种方法，对采空区场地稳定性进行专题研究和评价。
- 3 地表坡度大于  $15^\circ$  的采空区场地，应进行采动坡体稳定性评价。评价内容除应包括地表的移动变形外，尚应结合路基的挖填情况评价受采动影响的边坡稳定性。

#### 条文说明

详细勘察阶段已查明采空区的分布、规模、覆岩特性，以及采空区的其他基本要素特征，且本阶段已基本确定公路路线方案及公路工程的结构类型，因此，采用定量为主的方法评价场地稳定性。

## 5 采空区公路设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 公路选线宜避让采空区。难以避让时,应根据采空区勘察报告成果资料,选择在适宜或基本适宜的采空区场地通过。

**5.1.2** 避让采空区方案存在明显不利因素时,应对通过和绕避采空区的路线方案作同等深度的比选,择优确定路线方案。

#### 条文说明

避让采空区存在的明显不利因素主要指下列情况:

- (1) 避让方案存在压覆资源过多的问题;
- (2) 避让方案较通过方案可能增加过长的路线里程;
- (3) 避让方案线形指标难以满足技术要求;
- (4) 避让方案尚存在其他类型的地质灾害隐患;
- (5) 避让方案较通过方案压占耕地过多或拆迁量过大等;
- (6) 避让方案较通过方案对水保、环境等敏感点有较大影响。

**5.1.3** 采空区公路设计应以采空区场地稳定性评价、公路工程地基稳定性评价、公路工程建设适宜性评价结论为依据,确定安全可靠、经济合理的工程设计方案。

#### 条文说明

合理确定通过采空区的公路工程设计方案主要包括两点:一是要考虑工程自身的稳定性;二是要考虑工程建设改变原有的地形、地质环境后,可能引发或加剧的地质灾害对工程及环境的破坏和影响,将工程建设与防灾减灾结合起来进行设计。

**5.1.4** 公路通过采空区时,宜以路基方式通过。需要设置桥梁、隧道时,应与路基方案进行比较,择优确定工程方案。

### 条文说明

在采空区场地设置桥梁、隧道，不仅增加建设难度和工程费用，更重要的是一旦出现缺陷，难以修复，相对于路基工程而言风险较大。但深挖路堑可能存在引发采动滑坡的潜在风险，因此，有必要对桥隧方案与路基方案进行比选。

#### 5.1.5 互通式立体交叉和服务区应避开适宜性差的采空区场地。

### 条文说明

互通式立体交叉和服务区占地面积较大，各类建（构）筑物布局较复杂，弯道较多，设在适宜性差的采空区时处治工程量很大。

5.1.6 通过采空区的大桥、特大桥，长、特长隧道，以及对公路有重要影响的支挡结构物等工程，应进行专项安全风险评估和长期变形监测。

### 条文说明

采空区属于工程建设条件致险环境。大桥、特大桥等变形敏感的特殊结构桥梁，长、特长隧道等结构安全标准高的构造物通过采空区时，安全风险隐患较大。因此，按照交通运输部《关于在初步设计阶段实行公路桥梁和隧道工程安全风险评估制度的通知》（交公路发〔2010〕175号）的规定，通过采空区的特殊结构，需进行安全风险评估。

由于地下采空的隐蔽性、复杂性，采空区场地在外界条件影响下可能仍有一定的残余变形，给桥隧工程运营带来安全风险。因此，本条规定对通过采空区的特殊桥隧构造物进行施工期、运营期的长期变形监测。需引起注意的是，通过未进行采空区处治的桥隧工程，设计时对桥隧构造物重点部位要求进行长期变形监测及预警值预报。长期变形监测内容一般为桥梁墩（台）的下沉值和倾斜值，隧道拱顶及仰拱的下沉值、周边收敛、围岩位移等监测值。

5.1.7 当公路下伏或临近煤炭资源将被开采时，应根据公路等级及保护要求按现行《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》（安监总煤装〔2017〕66号）及本规范附录G的相关要求，留设公路保护煤柱。

## 5.2 路线设计

5.2.1 路线方案应根据地形、地貌特征，综合考虑矿区工程地质和水文地质条件、地质灾害、生态环境、采空区分布和移动盆地分区变形特征、保护煤柱，以及自然与人文景观等因素，确定合理的路线线位和通过采空区的方式。



## 条文说明

采空区不同于其他不良地质,有其自身的特殊性和复杂性,包括:公路建在采矿地区或矿产资源比较丰富的地区,涉及国家关于矿产资源与环境保护的政策和相关各方的利益;采空区的开采历史、开采现状、开采规划、开采条件和开采方式对公路工程的安全、稳定、建设难度、投资规模等具有重要影响,起着控制作用;采空区地形、地质条件一般比较复杂,地上和地下变形破坏具有不均匀性和复杂性,工程活动处理不当容易加剧或引发地质灾害。

### 5.2.2 采空区公路选线应符合下列规定:

1 路线通过不稳定采空区场地时,应避免由于地下采空引发和加剧斜坡失稳、山体开裂的地带及其可能发生崩塌、滑坡的危害范围。

2 路线宜避开多层采空区、富水采空区、煤火采空区、急倾斜煤层的露头与开采地带,以及坑洞密集、年代久远、难以查明的老采空区。

3 路线不宜设在可能出现非连续变形的采空区地段,以及地表处于移动变形活跃地段或移动盆地的边缘地带。

## 条文说明

山区里的煤矿采空区常在一定程度上对山体稳定性造成破坏,由采空塌陷形成的不稳定斜坡甚至崩塌、滑坡规模往往很大,影响范围也很大,选线时需加强采空区山体稳定性调查研究,可以采用空间遥感、无人机航摄、GNSS、InSAR等技术手段,大范围调查采空区的空间分布,避开致灾隐患大的地带。采空区移动盆地边缘和采空区边缘地带等具有地表非连续变形、位移量大、变形时间长、处治困难等特点,不适宜作为公路工程建设场地。

## 5.3 路基、路面设计

5.3.1 应根据采空区的分布范围和变形特点,结合地质环境条件及筑路材料分布,进行路基方案设计。

## 条文说明

采空区地表变形条件复杂,地基承载力低,边坡稳定性差,易引发崩塌、滑坡等,通常需要进行处治加固。设计时要选择安全和稳定性相对较好、处治工程量相对较小的路基方案,如设计为一般路基、分离式路基等。采动充分和接近充分的地表移动盆地中部平底部位,采空区处治难度及处治工程量相对较小,可以考虑高路堤方案;采空区边缘及其过渡地带,不适宜设计高路堤、深路堑。

**5.3.2** 采空区路基设计应根据路基宽度、行车荷载、挖方深度或填方高度、采空区变形范围与特点，验算地基及采动边坡稳定性。稳定性验算不满足要求时，应进行采空区处治设计，处治后变形与位移容许值应符合表 4.4.1 的有关规定，填方路基沉降稳定性计算应叠加采空区地表剩余下沉量。

**5.3.3** 采空区公路工程建设场地适宜性评价为适宜时，路基工程可按一般场地条件进行设计；采空区场地适宜性评价为基本适宜时，二级及二级以下公路路基工程可按一般场地条件进行设计，适当加铺土工布、土工格栅等材料，提高路基的整体稳定性；采空区场地适宜性评价为适宜性差时，应对路基工程进行采空区处治设计。

**5.3.4** 通过采空区的路面结构应采用沥青路面面层和半刚性基层。

**5.3.5** 不宜将路、桥结合处设在采空区移动变形较大的部位。

#### 条文说明

路、桥结合处设在采空区下沉量较大的部位易产生过大的不均匀沉降，产生路基病害，出现桥头跳车，影响行车安全性和舒适性，不符合公路工程整体变形协调要求。

**5.3.6** 采空区公路地基处理方法宜按表 5.3.6 选择。

表 5.3.6 采空区公路地基处理方法

序号	地基处理方法	适用条件
1	开挖回填法	路基下伏采空区埋深小于 6m 时
2	充填法	挖方边坡存在巷道等小型采空区
3	爆破法或强夯法	路基下伏采空区埋深在 6~20m，且应根据环境条件论证两种方法的可行性
4	井下干（浆）砌支撑法	路基下伏采空区埋藏浅、顶板尚未完全塌落，开采空间较大
5	巷道加固法或干（浆）砌支撑法	路基下伏采空区为正在使用的巷道，或需要对废弃巷道进行加固
6	注浆法	采空塌陷区的路基，以及富水、多层采空塌陷

#### 条文说明

表 5.3.6 适用条件中的量化标准是依据本规范第 6 章和现行《煤矿采空区建（构）筑物地基处理技术规范》（GB 51180）的相关规定。

## 5.4 桥梁设计

**5.4.1** 通过采空区的桥梁，应根据采空区稳定性评价结论进行设计。需要处治时，应结合桥梁结构形式，选择适宜的方法对下伏采空区进行处治。

**5.4.2** 采空区桥梁宜采用简支结构，墩台不宜设在基底下沉量大、持力层不稳定及移动盆地边缘，宜设在覆岩强度较高、地基沉降均匀的位置。

**5.4.3** 适宜性差的采空区场地，应对桥梁方案和路基方案进行同深度的技术经济比较，选择处治难度小、处治效果好、处治费用低的通过方式与处治方案。

**5.4.4** 采用桩基穿过采空区时，宜逐墩采用注浆、设钢护筒等方法对采空区进行预处理。

#### 条文说明

对桩基础的采空区段进行充填处治，一是减少采空区引起的负摩阻力，二是防止地面塌陷、桩基混凝土漏失，保障施工安全和施工质量。

**5.4.5** 当采空区存在瓦斯等有害气体、地下水发育时，严禁采用人工挖孔桩。

### 5.5 隧道设计

**5.5.1** 采空区隧道设计应根据采空区的类型、规模、场地适宜性评价及其与隧道的空间关系，选择适宜的采空区处治方法。

#### 条文说明

本条仅针对隧址采空区处治设计提出基本要求，不涉及隧道选址。采空区隧道设计除需掌握隧址区一般的地质资料外，还需掌握采空区分布、规模、覆岩“三带”特征、地表移动变形特征、地下水富水性、有害气体等处治设计必需的资料。在明确区域地质、矿产地质、水文地质、煤矿开采范围、开采方式、顶板控制方法、有害气体赋存等基础上，才能合理确定采空区处治方案。

**5.5.2** 采空区隧道宜采用分离式隧道方案，不宜采用小净距和连拱隧道方案。

#### 条文说明

采空区隧道围岩因采动影响已经历过很大的变形松动，岩体原有质量和结构已发生了不同程度的改变。开挖隧道将使围岩产生再次松弛变形，进一步加剧围岩的破坏。由于小间距隧道、连拱隧道的共用围岩部位应力集中，围岩厚度薄，自稳能力差，中隔墙、中导洞处围岩变形剧烈，施工十分困难，处治加固的工程量很大，时间也较长。因此，采空区隧道采用分离式隧道方案比较合适。

**5.5.3** 采空区隧道工程应遵循动态设计和信息化的施工原则，强化监控量测和地质超前预测预报工作。

**5.5.4** 当隧道洞身穿越采空区时，可采用砌筑、回填、注浆等相结合的综合处治方法进行采空区处治设计，并加强隧道的支护衬砌设计。

**5.5.5** 隧道位于采空区下方时，隧道设计应符合下列规定：

1 拱顶距采空区底板大于3倍隧道洞径，经详细勘察后确认采空区底板破坏深度对隧道围岩稳定性无影响时，可不对围岩进行注浆加固设计。

2 拱顶距采空区底板为1~3倍隧道洞径时，应对隧道围岩进行注浆加固设计。

3 拱顶距采空区底板小于1倍隧道洞径时，除应对隧道围岩注浆加固外，尚应对采空区进行处治。

4 当采空区赋存有害气体或积水时，应进行抽排处理，并采取全封闭防护措施。

#### 条文说明

采空区对隧道围岩的变形影响随着其相对距离和位置的不同而不同。隧道拱部距离采空区底板大于3倍隧道洞径时，采空区对隧道围岩的变形影响一般较小；当隧道拱部距采空区底板不大于3倍隧道洞径时，围岩松弛变形较严重，容易产生冒顶破坏；隧道拱部距采空区底板小于1倍隧道洞径时，极易产生冒顶破坏。

**5.5.6** 隧道位于采空区上方时，隧道设计应符合下列规定：

1 隧道位于采空区弯曲带时，可按一般情况围岩级别进行支护衬砌设计。

2 隧道位于采空区断裂带时，可按Ⅴ级围岩进行支护设计，仰拱和二次衬砌应加配钢筋。

3 隧道位于采空区垮落带时，应对围岩采取注浆或其他有效措施进行加固；初期支护设计参数宜采用最高值，仰拱和二次衬砌应加配钢筋。

4 隧道下方采空区赋存有害气体或积水时，应结合超前探测情况，采取合理处治措施，防止有害气体爆炸、燃烧、突水等灾难性事故发生。

#### 条文说明

隧道位于采空区上方时，采空区对隧道工程的整体稳定性影响很大，容易导致隧道整体断裂和坍塌。采空区覆岩“三带”中，弯曲带影响最小，垮落带影响最大，断裂带介于两者之间，因此，各带岩土体处治后可能达到的围岩级别和支护设计参数要求差别较大。

**5.5.7** 当隧道为浅埋隧道时，宜与路基方案进行比较，择优选择工程方案。

### 条文说明

相比一般情况，采空区浅埋隧道稳定性更差，施工更加困难。有些情况下，采用路基或明挖暗埋方案更具合理性。

**5.5.8** 隧道施工和采空区处治全过程应按现行《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660) 的要求进行监控量测。

**5.5.9** 经检测采空区处治效果未达到设计要求时，应进行补强处治，并对隧道结构采取增强配筋等措施，提高结构抗变形能力。

**5.5.10** 当采空区空间较大且与隧道相交、底板高程相近时，宜根据隧道的建筑界限按明洞设计。

**5.5.11** 下列情况应进行采空区处治设计和施工专项安全评估：

- 1 隧道上方或下方附近出现多层采空区；
- 2 隧道穿越的采空区内含有有害气体或充水；
- 3 隧道与煤火、急倾斜、巨厚煤层等特殊采空区相交叉。

### 条文说明

隧道顶、底板上下出现多层采空区或采空区内存在有害气体时，处治条件极为复杂，有必要进行专题研究探索有效的采空区处治和围岩加固措施，确定合理的设计、施工方案。

## 6 采空区处治设计

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 应根据采空区场地稳定性及工程建设适宜性评价结论，结合公路等级及工程类型，采用有效的方法和方案进行采空区处治设计。采空区处治设计原则应按表 6.1.1 确定。

表 6.1.1 采空区处治设计原则

公路等级及工程类型		场地工程建设适宜性分级		
		适宜	基本适宜	适宜性差
路基	高速公路、一级公路	-	+	++
	二级及二级以下公路	-	-	+
桥梁、隧道		+	+	++

注：“-”表示不处治；“+”表示经专题论证后确定是否处治，“++”表示处治。

#### 条文说明

采空区公路是否需要处治主要取决于采空区场地的工程建设适宜性，以及压覆采空区的公路等级和工程类型。场地适宜，采空区移动变形充分，或采空区垮落断裂带密实，采空区场地稳定，对拟建公路工程总体上影响小，对于路基工程，采取一定的结构措施可满足工程要求；对于桥梁、隧道工程，采空区对其影响的后果一般较为严重，本规范将其适宜性降低为基本适宜，采空区处治与否经专题研究论证后确定。场地基本适宜，采空区移动变形较为充分，采空区场地基本稳定，对拟建公路工程影响中等~小，桥梁和隧道工程、高速公路及一级公路路基，采空区处治与否经专题研究论证后确定，二级及二级以下公路路基不进行处治。

**6.1.2** 采空区处治设计范围除应包括公路主体工程压覆的采空区外，尚应包括公路附属工程所压覆的采空区，以及与采空区相伴生的巷道、废弃的矿井、地裂缝及塌陷坑。附属工程采空区处治设计可按现行《煤矿采空区建（构）筑物地基处理技术规范》（GB 51180）的相关规定进行。

**6.1.3** 对充分采动、具有典型“三带”特征的采空区，可按表 6.1.3 确定处治方法。

表 6.1.3 充分采动采空区处治方法

采空区类别	地表移动盆地	
	中间区	内边缘与外边缘区
浅层采空区	全充填压力注浆法、开挖回填法、强夯法、穿越法	
中深层采空区	局部或全充填压力注浆	全充填压力注浆
深层采空区	局部充填压力注浆	局部或全充填压力注浆

### 条文说明

局部充填是指公路工程两侧处治宽度或深度的限定；全充填是指本规范所规定的处治范围。

**6.1.4** 对于开采条件复杂、开采历史久远的小窑采空区和煤火采空区，宜遵循探灌结合、动态控制的原则进行处治设计。

### 条文说明

采空区具有复杂性和不确定性，特别是小窑采空区和煤火采空区，采用探灌结合、动态控制的原则，在采空区处治施工过程中对采空区要素特征作进一步修正完善。

## 6.2 全充填压力注浆法

**6.2.1** 全充填压力注浆法可用于各类型煤矿采空区的地基处治。对于桥梁、隧道等构造物应提高采空区注浆设计标准，并应符合下列规定：

1 对于采煤条件复杂地区，注浆施工前应选择具有代表性路段作为试验段，按设计注浆孔总数的 3% ~ 5% 的孔进行现场注浆试验，其内容包括浆液的配比、成孔工艺、注浆设备、注浆施工工艺等。

2 当所处治的采空区临近生产的矿井巷道时，应在井下修建止浆墙，避免浆液直接进入井下巷道；当所处治的采空区临近废弃的矿井巷道时，应在巷道中修建止浆墙，避免浆液流失。

### 条文说明

全充填压力注浆法是指用人工的方法向采空区的垮落带和断裂带注入具有充填、胶结性能的浆液材料，以便充填其裂隙和空洞、增加其强度的注浆施工方法。

对于地质条件复杂、有多层采空区分布、采空区勘察精度较低、注浆施工经验较少的地区，在注浆施工前需选择一段路段进行现场注浆试验；对于地质条件简单、采空区勘察精度较高、区域注浆施工经验较多、注浆工艺较成熟的地区，通常不需要进行现场

注浆试验，直接进行注浆的设计和施工。

**6.2.2 公路采空区注浆处治的范围应根据采空区的分布、埋藏深度及上覆岩性等因素确定，取值应符合下列规定：**

1 采空区处治的宽度  $B$  由路基或桥隧等构造物宽度、围护带宽度、采空区覆岩移动的影响宽度三部分组成，计算应符合下列规定：

1) 采空区处治的宽度可按式 (6.2.2-1) 计算：

$$B = D + 2d + D' \quad (6.2.2-1)$$

式中： $D$ ——路基或桥隧宽度 (m)，路堤部分以公路两侧路堤坡脚（有排水沟时以排水沟外边缘）为界；路堑部分以堑顶边界（有截水沟时以截水沟外边缘）为界；桥梁以桥墩（台）基础两侧边缘顶为界，隧道以 3 倍洞径高度处两侧外边墙横向投影宽度为界；

$d$ ——围护带宽度 (m)，宜按表 6.2.2-1 的规定取值；

$D'$ ——采空区覆岩移动影响宽度 (m)。

表 6.2.2-1 围护带宽度

保护等级	公路等级及构筑物	围护带宽度 (m)
I	桥梁和隧道	20
II	高速公路及一级公路路基	10
III	其他等级公路路基	5

2) 采空区覆岩移动影响宽度，对于水平煤层采空区 (图 6.2.2-1)，可按式 (6.2.2-2) 计算；对于倾斜煤层采空区，当路线与煤层走向垂直时，路线上每点的宽度可按水平煤层采空区的公式计算；当路线与岩层走向平行时 (图 6.2.2-2)，可按式 (6.2.2-3) 计算；当路线与煤层走向斜交时，可按式 (6.2.2-4) 计算：

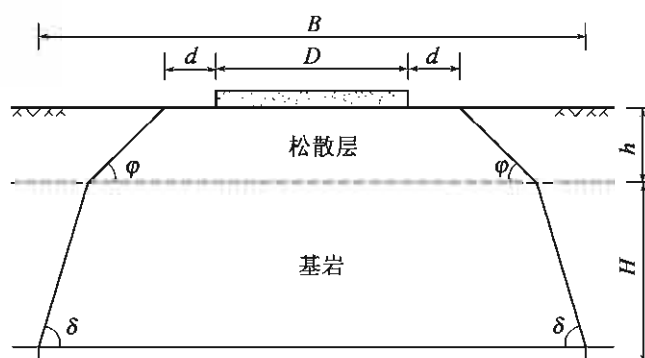


图 6.2.2-1 水平煤层采空区处治宽度计算简图

$$D' = 2(h \cot \varphi + H \cot \delta) \quad (6.2.2-2)$$

式中： $h$ ——地表松散层厚度 (m)；



$H$ ——采空区上覆基岩厚度 (m);  
 $\varphi$ ——松散层移动角 ( $^{\circ}$ ), 可按本规范附录 F 中表 F.0.1-2 取值;  
 $\delta$ ——走向方向采空区上覆基岩移动角 ( $^{\circ}$ ).

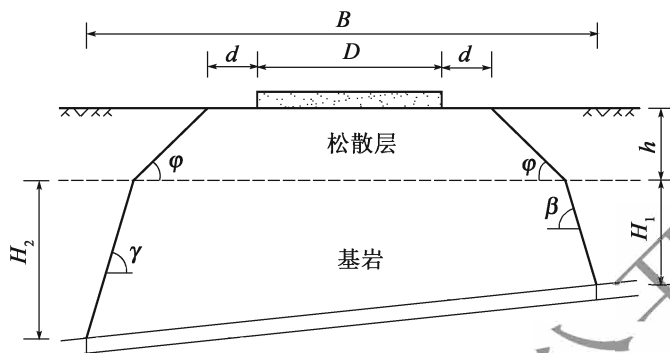


图 6.2.2-2 倾斜煤层采空区且路线与煤层走向平行时处治宽度计算简图

$$D' = 2h \cot \varphi + H_1 \cot \beta + H_2 \cot \gamma \quad (6.2.2-3)$$

式中:  $H_1$ 、 $H_2$ ——分别为采空区上山和下山边界上覆基岩厚度 (m);  
 $\beta$ ——采空区下山方向上覆基岩移动角 ( $^{\circ}$ );  
 $\gamma$ ——采空区上山方向上覆基岩移动角 ( $^{\circ}$ ).

$$D' = 2h \cot \varphi + H_1 \cot \beta' + H_2 \cot \gamma' \quad (6.2.2-4)$$

式中:  $\beta'$ ——采空区下山方向上覆基岩斜交移动角 ( $^{\circ}$ ),  $\cot \beta' = \sqrt{\cot^2 \beta \cos^2 \theta + \cot^2 \delta \sin^2 \theta}$ ;  
 $\gamma'$ ——采空区上山方向上覆基岩斜交移动角 ( $^{\circ}$ ),  $\cot \gamma' = \sqrt{\cot^2 \gamma \cos^2 \theta + \cot^2 \delta \sin^2 \theta}$ ;  
 $\theta$ ——围护带边界与煤层走向线之间所夹的锐角 ( $^{\circ}$ ).

3) 基岩移动角可取矿区实测值, 无实测值时可按表 6.2.2-2 的规定取值。

表 6.2.2-2 采空区影响宽度基岩移动角 ( $\gamma$ 、 $\delta$ ) 取值

采空区类型	基岩移动角					
	新(规划)采空区(基岩移动角)			老采空区(基岩残余移动角)		
采区回采率	$\leq 40\%$	40% ~ 60%	$\geq 60\%$	$\leq 40\%$	40% ~ 60%	$\geq 60\%$
坚硬覆岩 $R_c > 60\text{MPa}$	78° ~ 83°	76° ~ 82°	75° ~ 80°	85° ~ 88°	82° ~ 86°	80° ~ 85°
中硬覆岩 $30\text{MPa} < R_c \leq 60\text{MPa}$	73° ~ 78°	72° ~ 76°	70° ~ 75°	80° ~ 85°	77° ~ 82°	75° ~ 80°
软弱覆岩 $R_c \leq 30\text{MPa}$	64° ~ 73°	62° ~ 72°	60° ~ 70°	75° ~ 80°	72° ~ 77°	70° ~ 75°

注: 1.  $R_c$  为岩石饱和单轴抗压强度。表中数据为水平煤层移动角  $\delta$  和倾斜煤层上山移动角  $\gamma$  的取值。倾斜煤层倾向下山移动角  $\beta = \delta - k\alpha$ , 式中  $\alpha$  为煤层倾角 ( $^{\circ}$ );  $k$  为常数: 坚硬覆岩  $k = 0.7 \sim 0.8$ , 中硬覆岩  $k = 0.6 \sim 0.7$ , 软弱覆岩  $k = 0.5 \sim 0.6$ 。

2. 本表适用于地形较为平坦, 地表倾角小于  $15^{\circ}$  的地区。当公路建(构)筑物位于山地坡脚等低洼部位, 邻近一侧山体上坡方向下方有新采区或准采区时, 应考虑公路建(构)筑物可能受到采动滑移影响, 此时移动角  $\delta$  ( $\gamma$ ) 应减小  $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ , 坡角越大, 移动角  $\delta$  ( $\gamma$ ) 越小。
3. 当开采深厚比大时, 移动角取大值; 开采深厚比小时, 移动角取小值。

2 采空区处治的长度（沿路线中线方向） $L$  应为公路下伏需处治的采空区实际长度及覆岩移动影响范围之和（图 6.2.2-3），可按式（6.2.2-5）计算：

$$L = L_0 + 2h \cot \varphi + H_1 \cot \beta + H_2 \cot \gamma \quad (6.2.2-5)$$

式中： $H_1$ 、 $H_2$ ——采空区下山和上山上覆岩层厚度（m）；

$\beta$ 、 $\gamma$ ——煤层下山和上山方向基岩移动角（°）；

$\varphi$ ——松散层移动角（°），可按本规范附录 F 中表 F.0.1-2 取值；

$L_0$ ——沿公路中线方向采空区长度（m）。

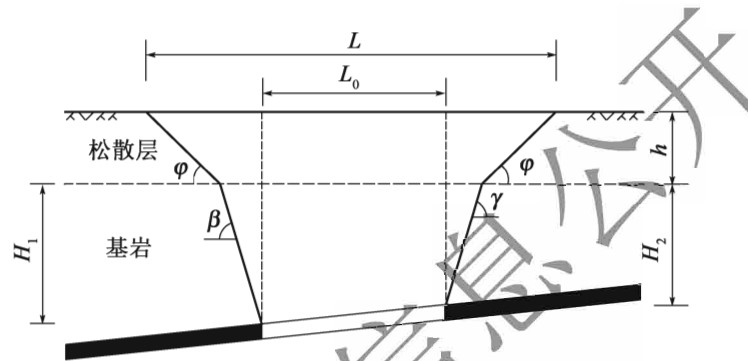


图 6.2.2-3 采空区处治长度及深度计算简图

3 采空区处治深度  $h$  应分下列情况确定：

1) 当处治范围位于采空区边界以内时，其处治深度应为地面至采空区底板以下 1m 处。

2) 当处治范围位于采空区边界外侧至移动影响范围以内时（图 6.2.2-4），可按式（6.2.2-6）计算：

$$h = H - l \tan \delta + h' \quad (6.2.2-6)$$

式中： $l$ ——注浆孔距采空区边界的距离（m）；

$h'$ ——采空区外边缘带以下的处治深度，宜取 5 ~ 10m；

$H$ ——采空区埋深（m）。

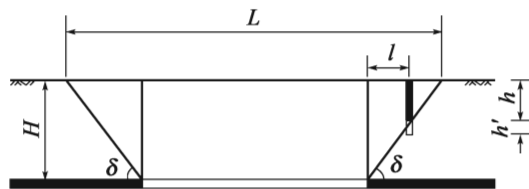


图 6.2.2-4 采空区外侧处治深度计算简图

### 条文说明

采空区覆岩移动的影响宽度参照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压

煤开采规范》(安监总煤装〔2017〕66号)计算。因老采空区与新采区、规划采区的覆岩移动变形规律不同,计算时采用不同的覆岩移动角。对于新采区和规划采区,其覆岩移动主要是由开采过程引起的,采空区覆岩移动的影响宽度按覆岩移动角计算;对于老采空区,其覆岩移动主要是由于荷载增加、地下水位变化、煤柱软化、地震等因素引起残余空洞、裂隙再垮落和压密,其在地表的影响范围远较开采过程小,采空区覆岩移动的影响宽度可按覆岩残余移动角计算。

基岩移动角随开采深度的增加而增大,随开采厚度的增加而减小,与开采深厚比呈正相关关系。因此,在使用表 6.2.2-2 的规定取值时,需考虑开采深厚比的影响,深厚比越大,移动角取值相应也越大。

由于山区地表采动点的移动有向下坡方向滑移的分量,导致山区移动范围增大。因此,当公路建(构)筑物位于山地坡脚等低洼部位,邻近山体上坡方向下方有新采区或准采区时,需考虑公路建(构)筑物可能受到采动滑移影响。根据资料分析,移动角 $\delta$ ( $\gamma$ )一般减小 $10^\circ \sim 15^\circ$ ,并且减小值与坡角有关,坡角越大,减值越大。

采空区边界以内自下而上主要发育岩层破断、垮落形成的裂隙和空洞,其采空区处治深度需达采空区底板以下;采空区边界外侧至岩层移动影响范围以内主要发育自上而下的岩层剪应变和水平拉张裂隙,其采空区处治深度按式(6.2.2-6)计算。

### 6.2.3 注浆孔布设应符合下列规定:

1 采空区处治范围的边缘部位存在浆液流失可能时应布设帷幕孔,防止浆液流失,帷幕孔间距宜为 10m,容许变动范围为 $\pm 5\text{m}$ 。

2 注浆孔宜采用梅花型方式布设,其排距、孔间距应经现场试验确定。当无法进行现场试验时,宜根据采煤方法、覆岩地层结构及岩性、回采率、顶板控制方法,以及垮落带和断裂带的空隙、裂隙之间的连通性,按表 6.2.3 确定。

表 6.2.3 注浆孔排距和孔间距经验值

序号	判别条件	排距 (m)	孔间距 (m)	
			路基范围内	路基范围外
1	有坚硬顶板,回采率不小于 60%,采空区冒裂带的岩石空隙、裂隙之间连通性较好	25 ± 10	20 ± 5	25 ± 5
2	无坚硬顶板,回采率不小于 60%,采空区冒裂带的岩石空隙、裂隙之间连通性较差	20 ± 10	15 ± 5	20 ± 5
3	有坚硬顶板,回采率小于 60%,采空区冒裂带的岩石空隙、裂隙之间连通性较好	20 ± 10	15 ± 5	20 ± 5
4	无坚硬顶板,回采率小于 60%,采空区冒裂带的岩石空隙、裂隙之间连通性较差	15 ± 10	10 ± 5	15 ± 5

注:路基工程宜取大值,桥隧工程宜取小值;充分采动采空区中间区宜取大值,采空区内、外边缘区宜取小值。

## 条文说明

邻近采空区边界浆液损失很少时可以不设帷幕孔；邻近采空区位于上山方向时可以不布设帷幕孔；对于充水采空区，特别是地下水处于滞留状态时，需考虑留设适当的排水通道。

采空区处治范围的边缘部位要布设帷幕孔，其孔间距一般取  $10\text{m} \pm 5\text{m}$ 。当采空区处治范围的边缘部位存在大的空洞时，其孔间距一般取小值。

### 6.2.4 钻孔孔深、孔径、变径位置、孔斜、注浆管材料与管径设计应符合下列规定：

1 当注浆孔、帷幕孔位于采空区边界范围以内时，应钻至采空区底板以下  $1\text{m}$  处；当位于采空区边界外侧至岩层移动影响范围以内时，孔深可按式（6.2.2-6）计算确定。

2 开孔孔径宜控制在  $130 \sim 150\text{mm}$ ，终孔孔径不应小于  $91\text{mm}$ 。

3 注浆孔和帷幕孔均应进入完整基岩  $4 \sim 6\text{m}$  处变径（软岩取大值，硬岩取小值）。

4 取芯孔的数量应为注浆孔、帷幕孔总数的  $3\% \sim 5\%$ 。在采空区垮落带和断裂带部位岩芯采取率分别不应小于  $30\%$  和  $50\%$ ，其他部位岩芯采取率应符合现行《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）的有关规定。

5 钻孔每  $100\text{m}$  测斜一次，每百米孔斜不应超过  $1^\circ$ 。

6 注浆管直径宜不小于  $\phi 50\text{mm}$ ，需投入集料时，管径不应小于  $\phi 89\text{mm}$ 。当采空区处治深度小于  $50\text{m}$  时，可采用  $\phi 50\text{mm}$  的聚氯乙烯（PVC）管或聚乙烯（PE）管。

7 充水采空区，注浆管出浆口应置于采空区底板以上  $1 \sim 2\text{m}$  处。

8 未充水采空区，注浆管出浆口可置于钻孔变径位置以下  $2 \sim 3\text{m}$  处；当采用套管止浆法时，套管应置于完整基岩以下  $4 \sim 6\text{m}$  处。

## 条文说明

注浆管材料一般选用钢管；当采空区处治深度小于  $50\text{m}$  时，也可采用 PVC 管或 PE 管，以便节省材料，降低工程投资。采用 PVC 管或 PE 管时，要求壁厚大于  $2\text{mm}$ ，强度大于  $3\text{MPa}$ 。

取芯孔的布置，一般结合已经完成的勘察钻孔位置，在处治范围内均匀布置，以验证处治范围内的工程地质条件和采空区分布情况；当地质条件复杂时，需布置在地质条件变化处、桥梁墩台等位置。

### 6.2.5 注浆材料的选择、配比和用量计算应符合下列规定：

1 采空区注浆宜采用水泥、粉煤灰、黏土、无污染固废等材料，在满足设计要求的前提下，可选用其他替代材料。当采空区空洞和裂隙发育或存在采空区积水，地下水流速大于  $200\text{m/h}$  时，宜先灌注砂、砾石、石屑、矿渣等集料后注浆。注浆过程中，可根据需要加入一定量的水玻璃、三乙醇胺等添加剂改变浆液性能，缩短凝结时间。注浆

材料规格要求应符合表 6.2.5 的规定。

表 6.2.5 注浆材料规格

序号	原料	规格要求
1	水	应符合拌制混凝土用水要求, pH 值不小于 5
2	水泥	强度等级不低于 32.5 级
3	粉煤灰	不低于国家三级质量标准
4	黏性土	塑性指数不宜小于 10, 含砂量不宜大于 3%
5	砂	天然砂或人工砂, 粒径不宜大于 2.5mm, 有机物含量不宜大于 3%
6	石屑或矿渣	最大粒径不宜大于 10mm, 有机物含量不宜大于 3%
7	水玻璃	模数 2.4 ~ 3.4; 浓度 50°Be' 以上

2 注浆材料的配比应通过现场试验确定。浆液的浓度使用, 应由稀到浓, 其水固质量比宜取 1:1.0 ~ 1:1.3。

3 水泥粉煤灰浆和水泥黏土浆中各材料用量可按式 (6.2.5-1) ~ 式 (6.2.5-3) 计算:

$$W_c = \alpha \frac{V_g}{\frac{\alpha}{d_c} + \frac{\beta}{d_e} + \frac{\gamma}{d_w}} \quad (6.2.5-1)$$

$$W_e = \beta \frac{V_g}{\frac{\alpha}{d_c} + \frac{\beta}{d_e} + \frac{\gamma}{d_w}} \quad (6.2.5-2)$$

$$W_w = \gamma \frac{V_g}{\frac{\alpha}{d_c} + \frac{\beta}{d_e} + \frac{\gamma}{d_w}} \quad (6.2.5-3)$$

式中:  $W_c$ ——水泥质量 (kg);

$W_e$ ——黏性土 (或粉煤灰) 的质量 (kg);

$W_w$ ——水的质量 (kg);

$V_g$ ——水泥浆体积 (L);

$\alpha$ ——浆液中水泥所占质量比例;

$\beta$ ——浆液中黏性土 (或粉煤灰) 所占质量比例;

$\gamma$ ——浆液中水所占质量比例;

$d_c$ ——水泥相对密度 (kg/L), 可取  $d_c = 3$ ;

$d_e$ ——黏性土 (或粉煤灰) 相对密度 (kg/L);

$d_w$ ——水的密度 (kg/L)。

#### 条文说明

采空区注浆以充填采空区及其覆岩中的空洞和裂隙为主, 对浆材的细度、强度要求相对较低, 为充填式注浆。水泥粉煤灰、水泥黏土类浆液结石体具有一定的强度, 且造

价低廉、材料来源丰富、浆液配制方便、操作简单，在工程中得到了广泛运用。

根据材料配比试验研究，水固比（重量比）取1:1.0~1:1.3时，浆液的可注性良好，可在注浆施工中采用。浆液的浓度使用，一般由稀到浓，根据工程目的、施工现场的具体情况，选用适当的浓度比级。采空区充水时，采用较大的浓度比级，反之采用较小的浓度比级，也可灌注石粉、砂砾石等粗集料。当处治公路路基下伏采空区时，水泥一般占固相的20%，粉煤灰或黏土占固相的80%；当处治桥梁、隧道下伏采空区时，水泥一般占固相的30%，粉煤灰或黏土占固相的70%。

采空区注浆对浆液的凝结时间指标、结石体强度有一定要求，在确定固相比时需根据工程对浆液的初、终凝时间，单轴抗压强度要求，确定水泥、粉煤灰或水泥、黏土的比例。为了提高采空区处治效果，在处治桥梁、隧道等重要构造物下伏采空区时，需适当增加水泥的用量。

当采空区空洞和裂隙发育，地下水流速大于200m/h时，为节省注浆材料，通常先灌注砂、砾石、石屑、矿渣等集料，以此充填大的空洞和裂隙，减小过水断面，增加水流阻力，为有效注浆创造条件。

对于隧道顶板局部存在较大空洞的情况，除注浆加固外，还可采用泡沫混凝土、聚乙烯等轻型材料充填。

#### 6.2.6 注浆参数取值应符合下列规定：

1 注浆压力宜通过现场注浆试验确定，以不出现地表隆起为控制标准，注浆压力不宜超过有效止浆段上覆岩体自重的1.0倍。公路路基下伏采空区注浆压力宜控制在1.0~1.5MPa，桥隧下伏采空区注浆压力宜控制在2.0~3.0MPa。

2 在注浆压力达到设计结束压力时，结束吸浆量应小于70L/min。

3 公路下伏采空区处治浆液结石体的单轴抗压强度不应小于0.6MPa，桥梁、隧道等构造物下伏采空区处治浆液结石体的单轴抗压强度不应小于2.0MPa。

4 注浆充填率宜根据公路工程的性质确定，公路路基下伏采空区处治充填率应达到80%~85%，桥梁、隧道等构造物下伏采空区处治充填率应达到90%~95%。

#### 条文说明

注浆压力的大小决定了浆液的有效扩散半径和充填、压密的效果。注浆压力大，浆液扩散距离长，空隙中浆液充填程度也高；但压力超过受注层的强度时，可能导致地层结构的破坏，对沉降稳定不利。对充水采空区，注浆压力选择需超过其水头压力，注浆结束压力与采空区冒、裂带的空隙、裂隙发育程度，水文地质条件等有关，在注浆设计中，注浆压力的选择需以不使地层结构破坏为原则，通过注浆试验确定适宜的注浆压力。通常当注浆压力达到设计值时，结束吸浆量越小注浆质量越好。

本条涉及的注浆参数，均是根据多年浅层采空区注浆处治后检测数据统计而来，对于中深层、深层采空区，上述注浆参数指标经过专题论证或参照相关经验，需适当调整。

### 6.2.7 注浆量计算应符合下列规定:

#### 1 注浆总量可按式 (6.2.7) 计算:

$$Q_{\text{总}} = \frac{A \cdot S \cdot M \cdot N \cdot \Delta V \cdot \eta}{c \cdot \cos\alpha} \quad (6.2.7)$$

式中:  $S$ ——采空区注浆计算面积 ( $\text{m}^2$ );

$M$ ——煤层采出法向厚度 ( $\text{m}$ );

$\Delta V$ ——采空区剩余空隙率 (%);

$N$ ——回采率 (%), 通过实际调查确定;

$A$ ——灌注损耗系数, 可取  $A = 1.0 \sim 1.2$ ;

$\eta$ ——充填率 (%), 可取  $\eta = 80\% \sim 95\%$ ;

$c$ ——注浆浆液结石率 (%), 经试验确定, 无试验数据时可取  $c = 80\% \sim 95\%$ ;

$\alpha$ ——岩层倾角 ( $^\circ$ ).

#### 2 采空区剩余空隙率可按下列方法确定:

1) 利用煤矿已有的沉降及采空区观测资料: 可先计算采空区上方地面的最大沉降量, 通过已有的观测资料确定已完成的沉降量, 空隙率为两者的差值与地面的最大沉降量之比。

2) 利用采空区勘察孔内空洞和裂隙的统计资料: 空隙率为通过孔内空洞和裂隙发育的平均高度与煤层开采厚度之比。

3) 对采用充分垮落顶板控制的长壁式采空区, 终采时间不大于 4 年, 且移动变形进入衰退期, 取值在 15% ~ 20%, 终采时间大于 4 年, 取值在 12% ~ 15%, 对软弱覆岩宜取小值, 对中、坚硬覆岩宜取大值。

#### 条文说明

采空区注浆计算面积是指采空区处治范围内采空区边界所围成的面积; 煤层采出法向厚度在本公式中是指煤层平均采出法向厚度; 受地质条件、采空塌陷不均匀、浆液流动性及注浆工艺等因素影响, 采空区注浆充填率通常达不到 100%, 在实际应用中, 一般根据工程重要程度、采空区塌陷密实程度及连通性等对充填率进行取值, 工程类型越重要、采空区联通性越差时, 充填率取高值, 反之取小值。

### 6.2.8 注浆施工顺序和工艺应符合下列规定:

#### 1 施工应按下列顺序进行:

1) 应先施工边缘帷幕孔, 后施工中间注浆孔, 形成有效的止浆帷幕, 阻挡浆液外流; 对充水采空区的止浆帷幕, 应留设适当的排水通道。

2) 钻孔应分序次间隔进行, 宜分二至三个序次成孔, 一序次孔对采空区可起到补勘的作用, 根据实际地层及采空区情况对后序孔的孔位、孔距、孔数进行适当调整, 弥补均匀布孔设计的不足。

3) 注浆应间隔式分序次进行, 一序次注浆孔浆液可能扩散范围较大, 二、三序次

孔注浆将使前序次未充填的空洞得到再次充填。

4) 倾斜煤层采空区应先施工沿倾向深部采空区边缘孔, 采取从深至浅的施工序次。

2 注浆施工工艺宜按下列情况进行选择:

1) 对单层采空区, 宜采用一次成孔、全孔一次灌注施工。

2) 对多层采空区, 如各煤层垮落、断裂带互相贯通, 宜采用一次成孔、一次全灌注施工。

3) 对多层采空区, 如各煤层垮落、断裂带互相贯通较差, 宜采用上行式注浆施工工艺, 一次成孔, 自下而上, 分段止浆, 分段注浆; 也可采用下行式注浆施工工艺, 多次成孔, 自上而下, 分段注浆。

### 条文说明

壁式、充分采动、连通性较好的采空区域, 浆液流动性较好, 一次灌注不容易完全充填, 通常分一至二序次灌注; 房柱式、巷道式非充分采动连通性较差的采空区域, 通常分二至三序次灌注。

处治单层采空区, 通常全孔一次注浆法施工, 采用法兰盘简易止浆法止浆, 首先采用直径不小于 $\phi 50\text{mm}$ 的钢管作为注浆管, 将一端焊接一个大小与开孔孔径相接近的法兰盘, 下入注浆孔变径处, 用少量碎石黏土将法兰盘与孔壁之间的孔隙封堵, 然后采用水固比为1:2的水泥浆或42.5号快凝水泥稠浆将注浆管与孔壁胶结在一起, 水泥浆灌注高度不小于8m。当开孔地层松散或破碎, 成孔难度大时, 一般采用套管止浆, 套管既能护壁, 又能注浆(或投放集料)、止浆。

处治多层采空区通常采用上行式或下行式注浆施工工艺。上行式注浆指注浆管置于受注段岩土体层底位置, 自下而上的灌注方法; 下行式注浆指注浆管置于受注段岩土体层顶位置, 自上而下的灌注方法。

处治多层采空区, 当各层采空区贯通性较好, 采空区之间距离较近时, 一般采用一次成孔, 一次灌注的注浆施工工艺; 当各层采空区贯通性较差时, 通常采用上行式或下行式注浆, 上行式注浆施工工艺需自下而上, 分段止浆、分段注浆, 其对止浆工艺要求较高, 且采空区上部需有裂隙不发育的完整基岩; 下行式注浆施工工艺需自上而下, 分段成孔(扫孔), 分段注浆, 施工工序繁杂, 工期较长, 但可以降低在破碎岩层中一次性钻探施工到底产生卡钻、埋钻等事故的风险。

## 6.3 干(浆)砌支撑法

### 6.3.1 干(浆)砌支撑法可用于下列条件:

1 非充分采动、采空区顶板未完全塌落、空间较大、通风良好, 并具备人工作业和材料运输条件的采空区。

2 隧道穿越采空区时, 使用浆砌片石加固隧道底部和侧墙。



### 3 正在使用的巷道止浆墙。

#### 条文说明

该方法是采用人工对采空区进行干（浆）砌筑墙体或墩柱支承顶板，以防止采空区产生塌落，引起上覆公路工程变形破坏。

对于煤矿开采后顶板尚未塌陷的采空区，采用非注浆充填方案（包括干砌片石、浆砌片石、井下回填、钻孔干湿料回填等方法）。由于采空区的工程地质条件复杂，针对采空区的具体情况，采用适宜的处治方法，达到最佳治理效果。干砌片石、浆砌片石、井下回填等方法的技术规定参照相应的规范执行。

#### 6.3.2 采空区处治范围确定应符合下列规定：

1 满足本规范第 6.3.1 条第 1 款的采空区处治范围应按本规范第 6.2.2 条的规定采用。

2 满足本规范第 6.3.1 条第 2 款的采空区处治长度为隧道轴向采空区实际分布长度，处治宽度（ $B$ ）可按式（6.3.2）计算。

$$B = B_1 + 2B_2 \quad (6.3.2)$$

式中： $B_1$ ——隧道的开挖断面宽度（m）；

$B_2$ ——取 2~4m。

#### 6.3.3 干（浆）砌支撑（图 6.3.3）的砌筑体上覆荷载（ $P_z$ ）可按式（6.3.3）计算：

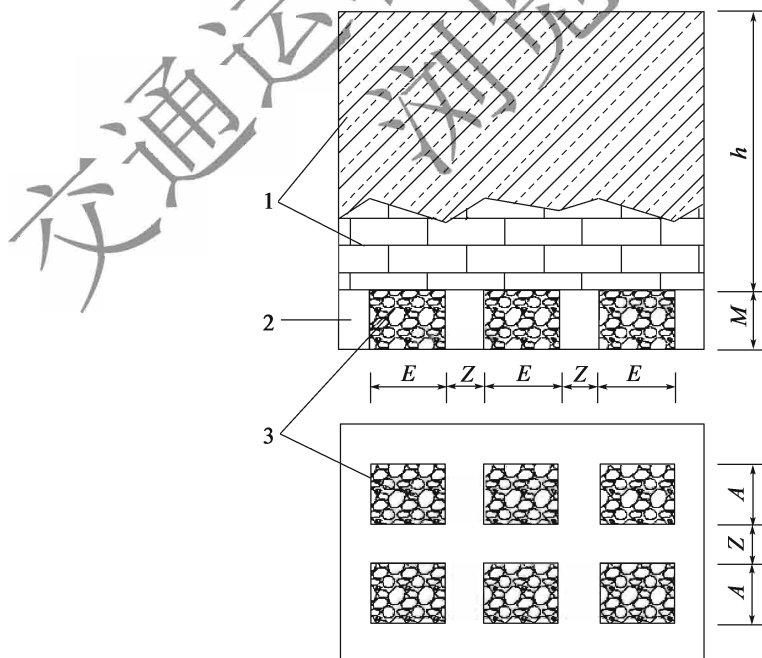


图 6.3.3 干（浆）砌支撑示意图

1-覆岩；2-采空区；3-砌筑体； $M$ -煤层采出厚度

$$P_z = \gamma_d \cdot h \cdot (A + Z)(E + Z) \quad (6.3.3)$$

式中： $\gamma_d$ ——砌筑采空空洞影响高度内岩土体加权平均重度 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )；  
 $h$ ——砌筑采空空洞上覆岩土体影响高度 (m)，对于正规开采取 8~10 倍采厚，对于小窑开采可取 6~8 倍采厚；  
 $A$ ——砌筑体宽度 (m)；  
 $Z$ ——砌筑体间距 (m)；  
 $E$ ——砌筑体长度 (m)。

#### 条文说明

本条规定砌体所受荷载与砌体位置处采空影响高度有关，根据工程经验，对于正规开采的具有一定规模采煤工作面，其计算影响高度为采厚的 8~10 倍，对于采煤工作面小，非正规开采的，计算影响高度为采厚的 6~8 倍。

**6.3.4** 砌筑材料应以片石为主。路基可采用干砌片石砌筑；构造物宜采用浆砌片石处治。干（浆）砌材料要求应按表 6.3.4 的规定确定。隧道顶部采用浆砌片石或片石混凝土填充后，可采用锚杆进行锚固连接。

表 6.3.4 干（浆）砌材料要求

工程类型	材料种类		
	浆砌片（块）石	干砌片（块）石	片（块）石混凝土
隧道顶部 0~3m	≥ M15	—	≥ C15
隧道底部 0~3m	≥ M15	≥ M15	≥ C15
隧道侧壁	≥ M15	≥ M15	≥ C15
桥梁基础、隧道底板 3m 以下或隧道顶板 3m 以上	≥ M10	≥ M10	≥ C15
路基基底 3m 以下	≥ M7.5	≥ M7.5	≥ C10
帷幕止浆	≥ M7.5	—	≥ C10

**6.3.5** 砌筑体的强度可按式 (6.3.5) 计算：

$$f_{cu} \geq 4 \cdot P_z / S_c \quad (6.3.5)$$

式中： $f_{cu}$ ——砌筑体强度 (MPa)；  
 $P_z$ ——砌筑体上覆荷载 (kN)；  
 $S_c$ ——砌筑体受力面面积 ( $\text{m}^2$ )。

**6.3.6** 干（浆）砌支撑可分为全部砌筑和部分砌筑（墙柱式）支撑，其工程量应根据处治范围和采空区上覆工程类型分别进行计算，工程量计算应符合下列规定：

1 全部砌筑支撑，可按式 (6.3.6-1) 计算：

$$Q_{\text{总}} = S \cdot M \cdot \xi \quad (6.3.6-1)$$

式中： $Q_{\text{总}}$ ——回填浆砌片石的量 ( $\text{m}^3$ )；

$S$ ——根据处治范围，在井下测量的实际空洞面积 ( $\text{m}^2$ )；

$M$ ——煤层采出厚度 (m)；

$\xi$ ——塌落影响系数，可取 0.9 ~ 1.0。

2 部分砌筑支撑，可按式 (6.3.6-2) ~ 式 (6.3.6-4) 计算，其中，式 (6.3.6-2) 适用于第 6.3.1 条第 1 款，式 (6.3.6-3) 适用于第 6.3.1 条第 2 款，式 (6.3.6-4) 适用于第 6.3.1 条第 3 款。墙柱之间的距离可根据采空区顶板地层岩性及其破碎程度等地质条件进行稳定性计算或类比法确定，墙柱体宽度（包括为帷幕止浆墙厚度）不宜小于 2m。

$$Q_{\text{总}} = S_1 \cdot M \cdot S / \Delta S \quad (6.3.6-2)$$

$$Q_{\text{总}} = L \cdot M \cdot 2B_2 \quad (6.3.6-3)$$

$$Q_{\text{总}} = L \cdot M \cdot B_2 \quad (6.3.6-4)$$

式中： $L$ ——隧道穿越采空区的长度或止浆墙的宽度 (m)；

$\Delta S$ ——单墙或单柱处治的有效面积 ( $\text{m}^2$ )，墙式： $\Delta S = B_2 \cdot L$ ，柱式： $\Delta S = E \cdot A$ ，

$B_2 = 2 \sim 4\text{m}$ ；

$S_1$ ——单墙或单柱的平均面积 ( $\text{m}^2$ )。

## 6.4 开挖回填法

### 6.4.1 开挖回填法可用于下列条件：

- 1 挖方边坡存在规模较小的采空区或巷道；
- 2 埋深小于 6m 的采空区，上覆顶板完整性差，岩体强度低，易开挖；
- 3 埋深 6 ~ 20m 的采空区，周围环境允许条件下，可采用先爆破采空区顶板，回填后采用强夯或重锤夯实，地基稳定后方可施工路基。

### 条文说明

该方法是采用爆破、人工或机械开挖，然后再回填压实以达到处治采空区的目的。回填材料要求、质量控制按现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的相关规定执行。

对于场地内埋深超过 20m 的采空区，相比较于其他采空区地基处理方法，开挖回填法施工难度大且不经济，过厚的回填地基施工质量无法保证，同时考虑因取土量过大造成新的地质环境破坏。

6.4.2 开挖回填范围应按本规范第 6.2.2 条的规定采用；路基挖方边坡的处治范围宜为边坡坡面外 2 ~ 3m。

**6.4.3** 基坑开挖应根据采空区处治范围、开挖深度、地下水赋存状态、开挖边坡稳定性，以及煤层的自燃情况进行设计，并应符合下列规定：

- 1 处治范围内赋存煤柱有自燃可能或自燃时，应先进行防、灭火设计。
- 2 处治范围内赋存地下水时应进行基坑帷幕设计和抽、排水设计。

**6.4.4** 回填料应符合下列规定：

- 1 应选用级配较好的砾类土、砂类土等粗粒土作为回填料，填料最大粒径应满足要求。
- 2 泥炭、淤泥、冻土、强膨胀土、有机质土及易溶盐超过容许含量的土，不得作为回填材料。
- 3 当采用细粒土填筑时，回填料最小强度应符合表 6.4.4-1 的规定。

**表 6.4.4-1 回填料最小强度要求**

公路等级	高速公路、一级公路	二级及二级以下公路
回填料最小强度 (CBR) (%)	3	2

注：CBR（加州承载比）是评定土基及路面材料承载能力的指标。

4 回填料应分层铺筑，均匀压实，压实度应符合表 6.4.4-2 的规定。回填料应分别采用不同的填筑层厚和压实控制标准，石质回填料的压实质量标准宜用孔隙率作为控制指标，并结合压实功率、碾压速度、压实遍数、铺筑层厚等施工参数，压实质量应符合表 6.4.4-3 的规定。

**表 6.4.4-2 回填料压实度要求**

公路等级	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
压实度 (%)	≥93	≥92	≥90

**表 6.4.4-3 石质回填料压实质量控制标准**

石料分类	摊铺层厚 (mm)	最大粒径 (mm)	压实干重度 (kN/m <sup>3</sup> )	孔隙率 (%)
硬质岩	≤600	小于层厚的 2/3	由试验确定	≤25
中硬岩	≤500	小于层厚的 2/3	由试验确定	≤24
软质岩	≤400	小于层厚	由试验确定	≤22

注：石质回填料压实质量可采用压实沉降差或孔隙率进行检测，孔隙率的检测应采用水袋法进行。

**6.4.5** 开挖回填工程量应按式 (6.4.5) 计算：

$$Q_{\text{总}} = S \cdot (M \cdot N + h) / \psi \quad (6.4.5)$$

式中： $Q_{\text{总}}$ ——开挖后所需的回填量 (m<sup>3</sup>)；

- $S$ ——采空区处治面积 ( $\text{m}^2$ )，处治路基下伏采空区时  $S = L \cdot B$ ，处治路基挖方边坡采空区时  $S = L \cdot B_2$ ， $B_2 = 2 \sim 3\text{m}$ ；
- $L$ ——采空区处治长度 (m)；
- $B$ ——采空区处治宽度 (m)；
- $M$ ——煤层平均采出厚度 (m)；
- $N$ ——煤层回采率 (%)；
- $h$ ——采空区上覆岩土体平均厚度 (m)；
- $\psi$ ——压实系数，根据上覆岩土体密实度可取  $\psi = 0.85 \sim 0.95$ 。

## 6.5 巷道加固法

**6.5.1** 巷道加固法可用于正在使用的生产、通风和运输巷道；废弃巷道的结构不能保证上覆公路工程安全时，应进行巷道加固处治。

### 条文说明

该方法是采用人工对现有的巷道进行加固，保证巷道的稳定，以防止巷道产生塌落导致上覆公路工程的破坏。

对正在使用的巷道加固设计按现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)的有关规定执行；对废弃的巷道，如具备井下作业条件，采用干（浆）砌支撑法进行处治，如不具备井下作业条件，采用注浆法进行充填处治。

**6.5.2** 经过稳定性评价后，需要加固巷道的范围应按本规范第 6.2.2 条的规定采用。

**6.5.3** 在不影响巷道使用功能的情况下，应按现行《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》(JTG 3370.1)有关规定对巷道进行加固设计。

**6.5.4** 废弃的巷道可根据巷道的现状条件，采用注浆或干（浆）砌支撑、开挖回填方法进行处治设计。

**6.5.5** 对于正在使用的巷道，应按巷道加固计算工程量；废弃的巷道宜按对应的处治方法进行工程量计算。

## 6.6 强夯法

**6.6.1** 强夯法可用于下列条件：

- 1 采空区埋深小于 10m，上覆顶板完整性差、岩体强度低的地段；
- 2 爆破开挖回填后，或主变形已完成的采空区地段；

### 3 采空区边缘地带裂缝区的地表处治。

#### 条文说明

强夯法是反复将夯锤（质量一般为 10~40t）提到一定高度使其自由落下（落距一般为 10~40m），给地基以冲击或震动能量，从而破坏上覆岩土体，通过先夯塌后夯实来达到处治采空区的目的。

强夯法处治是根据现行《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79）的有关内容编写。

强夯法根据采空区顶板覆岩的强度和完整性及采空区的埋深选用合适的夯击能，夯击能的大小和夯击遍数通过现场试验确定。

#### 6.6.2 处治范围确定应符合下列规定：

1 满足本规范第 6.6.1 条第 1 款的采空区处治范围可按本规范第 6.2.2 条的规定采用。

2 满足本规范第 6.6.1 条第 1、2 款的采空区处治长度为公路中线采空区实际分布长度，处治宽度  $B$  应按式（6.6.2）计算：

$$B = B_0 + 2L_2 \quad (6.6.2)$$

式中： $B_0$ ——路堤底宽（m）；

$L_2$ ——超出路基地宽强夯的范围（m），可取  $L_2 = 3 \sim 5\text{m}$ 。

6.6.3 夯塌采空区夯击点布置应避免保护煤柱，夯实地面夯击点应全面布置，宜采用正三角形布置，其净间距宜取值 1.0~1.5m。

6.6.4 强夯的夯击能量应根据现场试夯或当地经验确定，缺少试验资料或当地经验时可参考表 6.6.4 取值。当试夯二至三次采空区顶板未夯塌时，可停止试夯，宜改用先爆破再强夯，按现行《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79）的相关规定进行夯实处治，并应符合下列规定：

1 夯点的夯击次数，应按现场试夯得到的夯击数和夯沉量关系曲线确定，同时应满足下列要求：

1) 最后两击的平均夯沉量不宜大于下列数值：当单击夯击能小于 4 000kN·m 时为 50mm；当单击夯击能小于 5 000kN·m 时为 100mm；当单击夯击能小于 6 000kN·m 时为 200mm。

2) 夯坑周围地面不应有过大隆起。

3) 当夯坑过深时，应回填后再进行强夯，避免发生提锤困难。

2 采空区采厚相对较大时，可先进行一定高度的堆载后，再进行强夯，防止夯机滑落到夯坑内。

3 夯塌次数根据试验确定，夯实遍数宜为 2~3 遍。

表 6.6.4 单击夯塌能预估值

顶板岩石厚度 (m)	夯塌能级 (kN·m)	锤底静接地压力 (kN/m <sup>2</sup> )	跨径比
1.0	2 000	60 ~ 120	≥3
2.0	4 000		
3.0	6 000		
4.0	8 000		
5.0	10 000		
6.0	12 000		

注：1. 跨径比为煤矿采空区跨度与夯锤直径比。  
2. 夯塌设计起夯面应为采空区覆岩顶面。  
3. 夯塌锤型宜选用倒圆台柱锤。

6.6.5 强夯回填料量  $Q_{\text{总}}$  应按式 (6.6.5-1)、式 (6.6.5-2) 计算，其中，满足本规范第 6.6.1 条第 1 款按式 (6.6.5-1) 计算，满足本规范第 6.6.1 条第 2、3 款按式 (6.6.5-2) 计算：

$$Q_{\text{总}} = S \cdot (M \cdot N \cdot \Delta V) / \psi + S \cdot h \cdot (1 - \psi) \quad (6.6.5-1)$$

$$Q_{\text{总}} = S \cdot h \cdot (1 - \psi) \quad (6.6.5-2)$$

式中： $S$ ——采空区处治面积 (m<sup>2</sup>)， $S = L \cdot B$ ；

$L$ ——采空区处治长度 (m)；

$B$ ——采空区处治宽度 (m)；

$M$ ——煤层平均采出厚度 (m)；

$N$ ——煤层回采率 (%)；

$\Delta V$ ——采空区剩余孔隙率 (%)；

$\psi$ ——夯实系数，根据上覆岩土体密实度可取  $\psi = 0.85 \sim 0.95$ ；

$h$ ——采空区上覆岩土体厚度 (m)。

## 6.7 穿越法

6.7.1 穿越法可用于下列条件：

- 1 采空区埋深不超过 40m；
- 2 计算桩基底距离采空区顶板不足 20m。

6.7.2 采用穿越法进行煤层采空区处治，应综合采空区要素、地质条件、公路等级、构造物类型、桩基稳定性、施工技术条件与环境等因素设计，并确保施工安全。

6.7.3 采用桩基穿越法处治采空区构造物上部结构宜采用简支结构，桩基计算除应满足现行《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363) 的要求外，尚应考虑桩基和承

台的稳定性，桩基底应置于稳定地层内。

**6.7.4** 采用桩基穿越法时，采空区地基预注浆处治范围应符合本规范第 6.6.2 条的有关规定，浆液材料应按全充填压力注浆法对材料的要求执行。

**6.7.5** 桩基穿越采空区，设计桩长时应穿越采空区底板不小于 2.5 倍的桩径，并应满足现行《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363）要求的嵌岩深度。

**6.7.6** 穿越采空区时，桩基应按现行《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363）的规定进行设计。位于采动边坡及岸边地段的桩基，应将桩基置于采空区坚硬或较坚硬岩底板上，并应进行整体稳定性验算。

**6.7.7** 桩基穿越采空区时，宜采用预注浆再穿越的采空区综合处理方法，桩基可按摩擦端承型桩设计，并应按现行《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363）的有关规定进行桩基沉降计算。

**6.7.8** 桩基采用摩擦端承型桩穿越采空区设计时，桩侧摩阻力应根据裂隙带和采空区的充填效果进行相应折减。



## 7 采空区处治施工

### 7.1 一般规定

7.1.1 采空区处治施工前,应根据勘察设计文件并结合现场实际条件编制施工组织设计,确保施工有序进行。

7.1.2 施工前应核查治理场地内各种地下管线的确切位置,并制定保护措施。

7.1.3 各类施工机械和设备应按施工组织设计的要求配置,并根据现场试验进行调整,现场应设置试验室,仪器数量应满足工程需求。

7.1.4 施工过程中应积极推广智能管理技术,宜采用大数据分析验证勘察资料的准确性,精准量化采空区特征参数,为后期动态设计提供可靠依据。

7.1.5 施工过程中应加强工程质量控制及安全生产管理,严格执行国家及地方相关环境保护规定,确保文明施工。

### 7.2 全充填压力注浆法

7.2.1 施工准备应符合下列规定:

1 应根据采空区的埋深、覆岩岩性、注浆孔或帷幕孔的结构要求等,合理选择钻机。  
2 搅拌设备宜选用立式水泥砂浆搅拌机,其转速应与搅拌浆液类型相适应,拌和能力应与注浆泵排量相适应。

3 每个注浆站注浆泵数量不应少于2台,最大排浆量应满足采空区注浆施工需要,最大泵压不宜小于4MPa。

4 输浆管应采用无缝钢管或高压胶管,注浆管可采用无缝钢管或套管。注浆加固单层采空区时,注浆管应采用无缝钢管;注浆加固多层采空区时,可用钻孔过程中预先下埋的套管。管路各部分应能承受1.5~2.0倍最大设计注浆压力的注浆压力,在弯曲处不应变径;接头应密封良好并与注浆管的内径相同。

5 止浆设备应与注浆方法、注浆压力、注浆孔孔径及地质条件相适应,可采用法兰盘、套管或止浆塞。

6 注浆泵及孔口处压力表量程宜为最大注浆压力的 2.0~2.5 倍。压力表应进行标定，压力表与管路之间应设隔浆装置。

7 送料及注浆量宜采用自动计量装置。

8 测斜仪等其他检测设备，其技术性能应符合有关规定，操作简单、计量准确。

### 7.2.2 试验室及试验检测设备应符合下列规定：

1 现场试验室应设在注浆站附近，面积应大于 20m<sup>2</sup>。

2 试验室应有试块标准养生室、试验工作台及各种浆液、试块性能测定仪器。

3 试验检测设备进场时应提供产品出厂合格证明，使用前应进行现场标定。

### 7.2.3 注浆站应符合下列规定：

1 采空区注浆工程宜采用集中注浆站制浆。对于规模较大的采空区，可分段建立注浆站或中转搅拌输送站；对环保要求严格的作业区，应推广采用自动化采空区注浆站系统。

2 注浆工程所用水、电等应设置专用管路和线路，并应满足施工需求。

3 注浆站应设置排水沟排除废水，建立废水收集池并及时清运。废水排放与清运应满足环保要求。

4 浆液应分为两级搅拌，一、二级搅拌机之间应有高差，便于放浆。

5 钢球、阀座、缸套、活塞、拉杆等注浆泵易损件应有足够的备用件。

6 注浆站输浆管路宜少设置弯头，设备及管路排列应紧凑，便于操作和管理。

7 蓄水池、搅拌池、配电柜等重点部位应进行围挡，并悬挂安全标示、标牌。

### 条文说明

1 对于大型采空区注浆工程，注浆站优先采用配料+制浆+搅拌+输送+注浆的自动化采空区注浆站系统，实现无人值守，实时监控注浆参数、保存数据。

2 注浆站可以参考图 7-1 和图 7-2 布置。

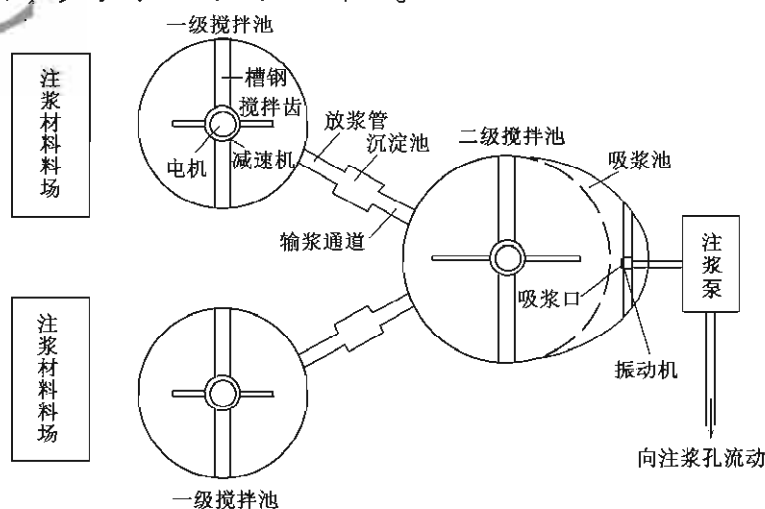


图 7-1 两级搅拌注浆站平面布置

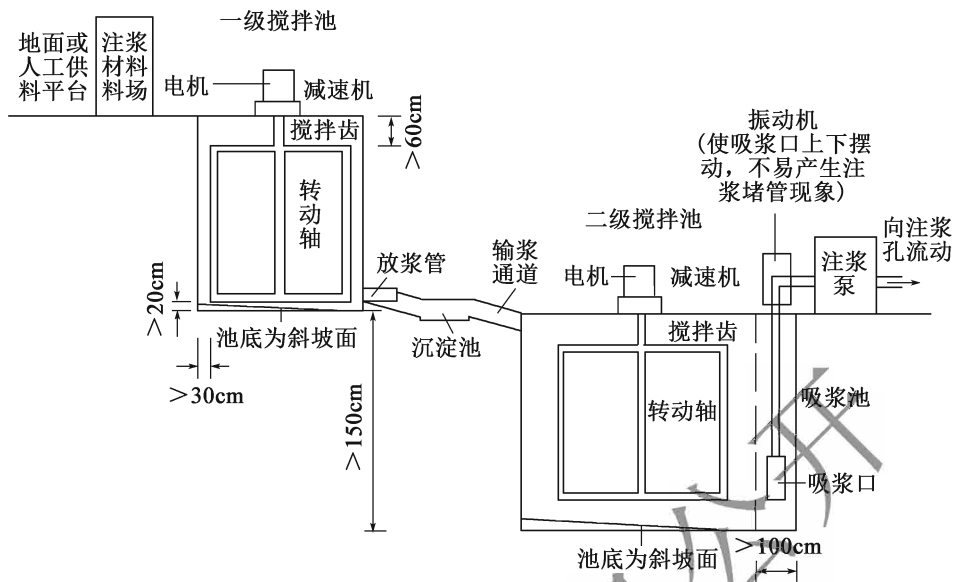


图 7-2 两级搅拌注浆站立面布置

#### 7.2.4 注浆材料应符合下列规定：

- 1 袋装水泥应存储于水泥料库并做好防潮处理，散装水泥应采用储存罐存储，水泥性能指标应符合现行《通用硅酸盐水泥》(GB 175)的有关规定。
- 2 其他注浆材料应采用存储罐或室内储料库存储，质量等级应满足设计要求。
- 3 注浆用水应满足拌制混凝土用水的要求。

#### 7.2.5 注浆孔施工及止浆施工应符合下列规定：

- 1 注浆孔施工应符合下列规定：
  - 1) 注浆孔和帷幕孔施工顺序宜为：先施工低点帷幕孔，后施工高点帷幕孔及中间注浆孔，并由采空区底板高程较低位置的注浆孔开始，逐渐止于采空区底板高程较高的位置结束。
  - 2) 钻孔宜采用回转式钻机，也可采用冲击式或回转冲击式钻机。当采用冲击式钻进时，应加强钻孔裂隙的冲洗。检查孔施工应采用回转式取芯率高的钻机。
  - 3) 钻机安装应水平稳固，钻孔与设计孔位的偏差不应大于0.5m，特殊孔位偏差不应大于0.2m。钻孔开孔质量检验可按本规范附录H中表H.0.1填写。
  - 4) 钻进时可使用钻铤或其他导向设施，防止孔斜偏大。应按设计要求的频次进行孔斜测量；当孔斜超过设计要求时，应及时纠正。
  - 5) 注浆孔、帷幕孔钻至断裂带、垮落带时，应用清水钻进。
  - 6) 钻孔遇到漏水、掉钻等现象，应做好记录。钻进过程中遇到塌孔、埋钻时，应分析原因，查明情况，采用跟管钻进或先行灌浆处理后再钻进。钻孔班报表可按本规范附录H中表H.0.2填写。
  - 7) 钻探原始记录和岩芯编录，应详细、准确、真实，签署完备。钻孔地质柱状图

可按本规范附录 H 中表 H.0.3 编制。

8) 钻进结束后, 应进行钻孔冲洗, 孔底沉渣不得堵塞有效注浆区域。

9) 当钻孔施工作业暂时中止及钻孔终孔未注浆前, 孔口应加盖防护。钻孔成孔质量检验应按本规范附录 H 中表 H.0.4 填写。

2 空隙、裂隙压水冲洗应符合下列规定:

1) 采用全孔一次注浆法注浆时, 可在注浆前全孔进行一次空隙、裂隙冲洗; 采用分段注浆法注浆时, 每段注浆前应采用压力水进行空隙、裂隙冲洗。

2) 冲洗压力宜为注浆压力的 80%, 且不大于 1MPa, 冲洗时间为 5~10min。漏水量大于 100L/min 时, 可停止冲洗。

3) 遇水易软化的岩层, 注浆前可不进行空隙、裂隙的压水冲洗。

4) 施工过程中, 孔内不返水和掉钻的钻孔, 可不进行压水冲洗。

3 止浆施工应按准备工作、下止浆装置、固定并保护管口的流程进行。

#### 条文说明

(1) 设计文件对于施工工序有特殊要求的工程, 施工顺序按设计要求执行。

(2) 特殊孔位指巷道注浆孔。

(3) 注浆孔钻进常用防斜与纠偏方法见表 7-1。

(4) 钻孔注浆前, 需对注浆孔进行压水冲洗, 并检查注浆管路是否通畅及漏水; 冲洗岩层裂隙, 检查裂隙的堵塞情况。

表 7-1 注浆孔钻进防斜与纠偏方法一览表

项目	措施	
钻进防斜	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用扭矩大的钻机, 钻进时, 机上余尺不宜过长, 可使用钻铤防斜;</li> <li>2. 在可钻性为 3~8 级的岩石中钻进, 钻进压力宜为 40~60MPa;</li> <li>3. 软硬岩层换层时, 宜采用慢转、轻压 (30~40MPa);</li> <li>4. 使用耐磨损的钻头钻进, 钻头焊接平整; 钻杆间加导向箍, 变径时应采用导向设施;</li> <li>5. 经常使用刚性大的钻具, 检查钻具是否弯曲, 禁止用弯曲的钻杆钻进;</li> <li>6. 岩芯管长度宜小于 4m, 控制回次进尺, 及时提钻, 提高岩芯采取率, 防止岩芯脱落;</li> <li>7. 使用大流量的泥浆泵</li> </ol>	
孔斜纠偏	堵	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 合理选用材料, 对偏斜钻孔进行封堵;</li> <li>2. 封堵施工可利用钻杆将封堵材料自下而上注满孔斜段</li> </ol>
	扫	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 封堵养护后, 利用翼片较多的扫孔钻头, 从偏斜处上方往下扫孔, 遇到台阶应防止滑掉;</li> <li>2. 扫孔应轻压、慢转, 钻出的新孔偏斜及方位角均满足要求时, 方可转入正常钻进</li> </ol>
	扩	换用比原来孔径大的钻具扩大孔径, 修正钻孔孔斜
	铲	从偏斜部位上部, 用加重管带铲孔钻头, 以垂直冲击的力量, 将偏斜的部分铲掉, 每次冲程 2m 左右, 边铲边转动钻具, 铲完一至二圈后, 再进行第二冲程, 铲出台阶后, 利用扩孔钻头, 扩大已铲过的一段, 铲扩交替, 直至铲不下去, 再扩孔到底
移	用其他方法处理偏斜无效时, 在设计允许前提下, 移位另钻孔	

### 7.2.6 注浆浆液应符合下列规定:

#### 1 注浆浆液配置应符合下列规定:

1) 袋装水泥应采用质量称量法, 散装水泥及其他注浆材料应采用电子计量法。  
2) 制浆分两级搅拌, 加料可先在一级搅拌池内放入规定量的水, 再加入水泥、粉煤灰, 待搅拌均匀后放入二级搅拌池, 在二级搅拌池内加入外加剂; 也可在一级搅拌池内分别搅拌水泥、粉煤灰浆后, 按照比例再放入二级搅拌池混合。

3) 浆液的搅拌时间不应少于 3min, 随后放入二级搅拌池, 停留时间不应超过 4h。

4) 浆液加入外加剂的种类及加入量, 应按设计要求并通过现场试验确定。

#### 2 浆液性能测定应符合下列规定:

1) 施工前, 应按设计的注浆浆液配合比进行试验, 确定浆液的密度、黏度、结石率、初凝和终凝时间、结石体的无侧限抗压强度等参数。

2) 施工过程中, 应按规定频率测定浆液和结石体的上述参数。

3) 浆液搅拌均匀后方可进行测定。

4) 测试技术要求应按现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420) 及《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650) 的有关规定执行。

5) 注浆浆液配制及浆液技术指标检测结果, 应按本规范附录 H 中表 H.0.6 相关内容进行记录。

3 注浆浆液试块成型宜选用 70.7mm × 70.7mm × 70.7mm 模具, 按采空区充水条件进行养护, 并应符合下列规定:

1) 采空区无水时, 浆液结石体试件应在无水条件下养护。对脱模的试块, 应每隔 1~2d 洒一次水, 使其保持潮湿。

2) 采空区充水时, 浆液结石体试件应在有水条件下养护。浆液倒入模具后, 应迅速置于养护池中, 使其在水中成型, 脱模后应在原条件下养护。

### 条文说明

施工过程中, 浆液主要性能指标的检测方法如下:

(1) 黏度测定: 将配置好的浆液倒入黏度计中, 打开流出口并计算浆液的全部流出时间。

(2) 结石率测定: 将配置好的浆液倒入容积为 100mL 的量筒中, 静置 3~5h 后, 通过量筒刻度读取固体体积量作为结石率。

(3) 结石体抗压强度测定: 将养护好的标准试块用压力试验机进行加压测试, 记录其破坏荷载, 通过破坏荷载计算抗压强度。

### 7.2.7 注浆施工应符合下列规定:

1 注浆法处治采空区时, 在缺乏经验的地区, 应选择有代表性的区域进行现场试验, 试验段的位置不应选在可能导致不良注浆后果的帷幕线上。

2 单层采空区注浆施工宜采用全孔一次注浆法, 止浆可一次完成, 可采用法兰盘

简易止浆法或止浆塞、套管等方法止浆。

3 处治多层采空区，采用全孔一次注浆法，宜选用法兰盘止浆；采用分段式注浆，止浆应多次完成，下行式注浆宜选用套管止浆，上行式注浆宜用止浆塞止浆。法兰盘止浆法或套管止浆法孔口设施施工完成后，应按本规范附录 H 中表 H.0.5 进行浇筑孔口管记录。

4 钻进过程易塌孔的钻孔，宜采用套管止浆。

5 浆液的水固比可采用 1:1.0、1:1.1、1:1.2、1:1.3 四个浓度比级。根据采空区特点、工程目的、施工现场的具体情况，可选用其中 2 个或 3 个浓度比级，施工中应采用由稀到浓进行。

6 注浆前应量测注浆孔的孔深、水位，当实测孔深与终孔孔深相差较大时，应扫孔至设计高程。

7 同一地段的采空区注浆，应按先帷幕孔、后注浆孔，先低处后高处的顺序进行。

8 帷幕注浆应按分序间隔的原则进行。

9 注浆过程中发现邻孔串浆时，串浆孔应与注浆孔同时注浆。

10 单孔注浆施工流程宜为：制浆—浆液性能指标检测—泵送注浆—泵量、孔口压力定时观察记录—满足单孔结束标准—终孔报验—提交注浆成果资料。

11 注浆在设计规定的结束压力下，当单位注浆量小于 70L/min，并稳定 15min 时，应注浆终止。

12 应在注浆孔已达结束标准、准备起拔套管前结束压水，防止堵管和提管后的喷浆。宜压入注浆管路容积 1~2 倍的水量。压水困难时应先关闭孔口阀门，冲洗输浆管路，待孔内压力消失后方可打开。

13 全孔注浆结束后起拔止浆设施，应用浓水泥浆从孔口灌入孔内，浆液达孔口后封孔结束。

14 在注浆前、后及注浆过程中，应对注浆泵压、孔口压力、吸浆量、浆液浓度等进行定时观测记录，或采用自动监测系统采集实时数据。主要注浆参数应按本规范附录 H 中表 H.0.7 进行记录。

15 注浆工程完工后，施工单位应及时整编竣工资料。竣工资料应包括钻孔施工记录、注浆工程记录、原材料及浆液的检验测试等资料。钻孔注浆成果应按本规范附录 H 中表 H.0.8 的内容进行填写。

#### 条文说明

法兰盘简易止浆法一般采用直径不小于  $\phi 50\text{mm}$  的钢管作为注浆管，将一端焊接可置于开孔孔径内的法兰盘，下入注浆孔变径处，用散体材料（碎石、黏土）将空隙封堵，采用 1:2 水泥浆或速凝水泥稠浆将注浆管与孔壁胶结在一起，水泥浆灌注高度大于 6m（图 7-3、图 7-4）。

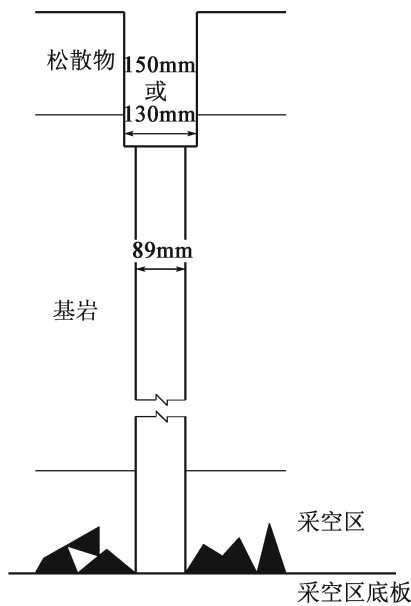


图 7-3 注浆孔结构示意图

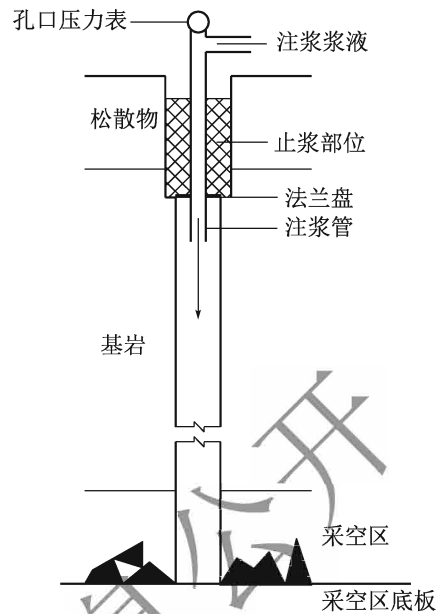


图 7-4 全孔一次注浆止浆示意图

多层采空区下行式注浆施工：以开孔孔径进入完整基岩4~6m，下入护壁管（孔口管或注浆管）并固定牢固，变径钻至第一个煤层采空区的设计深度。在护壁管上端安装注浆用的三通管注浆。该层段注浆结束，待浆液终凝后扫孔并钻至第二个采空区深度，仍用孔口三通管注浆直至结束。经多次重复注浆、扫孔直至最下层采空区注浆结束止。下行式注浆简单易行，优点是避免了多层采空区一次性钻探施工到底时，钻进过程中容易出现卡钻、埋钻等孔内事故的风险，缺点是工期较长。

上行式注浆施工：止浆塞需置于下层采空区上部裂隙不发育的完整基岩内，自下而上逐层分段封闭灌注浆液，直至最顶层采空区注浆结束止。

注浆压力、浆液稠度、浆液初凝的速度、注浆材料、注浆方法、地下水流速、采空区充填程度等因素影响注浆的有效扩散距离，因此，需通过现场试验确定各项指标。

采用止浆塞或套管止浆时，注浆前可以对塌孔进行扫孔、冲洗、注浆。

### 7.2.8 特殊情况的注浆施工应符合下列规定：

1 采空区空洞高度大于1m时，宜采用套管止浆并扩大注浆孔孔径，往孔内投入粒径小于5mm的集料，然后低压浓浆灌注并采取添加速凝剂、限流、限量、间歇注浆等措施，速凝剂掺量宜为水泥重量的3%~5%。

2 采空区充水时，宜按先帷幕孔、后注浆孔，先低处后高处的顺序进行，宜在采空区底板较高一侧的帷幕预留1~2孔作为排水通道，待其余区域注浆完成后再对上述孔进行注浆施工。宜采用浓度1:1.2~1:1.3浓浆进行灌注，并添加速凝剂。当注浆区域地下水排出不畅时，宜采用间歇注浆法。

3 应根据采空区的埋深、空隙、裂隙的大小及其连通性选用注浆压力，并针对上覆工程类型做出调整。对重要构造物应选用较高的注浆压力，并通过现场注浆试验

确定。

4 当注浆压力保持不变，单位吸浆量持续减少时，或单位吸浆量不变而压力持续升高时，不应改变水固比。

5 当某一浓度浆液的注入量达到设计单孔平均注浆量的 20% 或灌注时间达到 2h，而注浆压力和单位吸浆量均无明显改变时，应调浓一级或两级灌注。

6 当单位吸浆量大于 250L/min 时，可越级变浓。

7 当注浆过程中发生冒浆时，应采用低压、浓浆、小泵量、间歇注浆等方法灌注。

8 当需要采用间歇注浆法施工时，每次停注时应进行间歇压水，以防再次注浆时注浆管路堵塞。

9 采用上行式注浆法应间歇注浆，无埋管危险时，可不提止浆塞；有埋管危险时，应提起止浆塞并冲洗管路，间歇后复注，直至达到注浆结束标准，进入封孔工序。

#### 条文说明

注浆中通过变换浆液浓度、注浆压力、浆液初凝时间和注浆方法，控制浆液扩散距离，减少材料消耗。空洞较大，上述方法无效时，通常在注浆材料中添加砂、石粉等集料。

当注浆施工因故暂停时，孔外输浆管路需及时冲洗，以免浆液结块。冬季则放尽积水，或包扎防冻。

#### 7.2.9 质量控制应符合下列规定：

1 注浆材料应符合下列规定：

1) 水泥在运输和储存时应防止受潮；不同强度等级、品牌和出厂日期的水泥应分别存储。

2) 水泥存放时间超过 3 个月时，应重新取样检验。

3) 其他注浆材料在运输与存储中，应防止污染。

2 注浆浆液检测应符合下列规定：

1) 注浆用水泥，每个批号产品应检测一次。同批号水泥超过 500t 时，应每 500t 检测一次。

2) 其他注浆主材应每 1 000t 检测一次。

3) 浆液指标检测应每台班抽检 1 组，当单班注浆量超过 500m<sup>3</sup> 时，抽检应不少于 2 组，检测浆液的密度、黏度、结石率、初凝和终凝时间及结石体的无侧限抗压强度等参数。

4) 一个注浆孔采用多种配比时，每种配比均应取样检测。

3 注浆施工设备检查应符合下列规定：

1) 钻机施工前，应对动力系统、升降系统、钻塔各部位进行检查。

2) 搅拌系统、注浆设备及机具等应定期检测和维修。

3) 压力表应进行检查和标定。



4) 施工过程中应检查注浆管路是否漏浆及孔口压力变化。

### 7.3 干 (浆) 砌支撑法

#### 7.3.1 施工准备应符合下列规定:

- 1 应调查核实采空区位置、范围等基础资料, 准备施工机械设备, 确保安全进场。
- 2 应对支撑位置及范围进行测量、放样, 并对其进行标识。
- 3 进场材料应符合现行《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610) 的相关规定, 并应符合下列规定:

1) 石料应均匀、不易风化、无裂纹。石料规格、强度应满足设计要求, 石料强度的测定应按现行《公路工程岩石试验规程》(JTG 3431) 的有关规定执行。

2) 砌筑所用砂浆的类别和强度等级应满足设计要求。水泥、砂、水等材料的质量标准应符合混凝土工程相应材料的质量标准。

#### 7.3.2 砌筑法施工时应首先清除顶板的危岩及垮落堆积物, 并符合下列规定:

1 干砌石应分层砌筑, 以 2~3 层砌块组成一工作层, 每一工作层的水平缝应大致找平。各工作层竖缝应相互错开, 不得贯通; 外圈定位行列和转角石, 应选择形状较为方正及尺寸较大的砌石, 并长短相间地与里层砌块咬接。砌缝宽度不应大于 40mm; 干砌石应从里到外施工, 以 2~3m 作为一个施工段; 施工时应注意通风。

2 浆砌石砌块在使用前必须浇水湿润, 表面如有泥土、水锈, 应清洗干净; 砌筑第一层砌块时, 应先将基底表面清洗、湿润, 再坐浆砌筑。砌体应分层砌筑, 砌体较长时可分段分层砌筑, 两相邻工作段的砌筑差不宜超过 1.2m; 各段水平砌缝应一致; 各砌层应先砌外圈定位行列, 然后砌筑里层, 外圈砌块应与里层砌块交错连成一体; 砌体里层应砌筑整齐, 分层应与外圈一致。砌筑工作中断后恢复砌筑时, 已砌筑的砌层表面应加以清扫和湿润。

#### 7.3.3 施工过程控制应符合下列规定:

- 1 材料进场前, 应对石料、砂、水泥等材料进行检测, 检测合格方可投入使用。
- 2 砌体质量标准应符合表 7.3.3 的规定。

表 7.3.3 砌体质量标准

项次	检查项目		规定值或容许偏差	检查方法和频率
1	砂浆强度 (MPa)		不小于设计值	每 1 工作台面 2 组试件
2	平面位置 (mm)		50	每 20m 检查外边线 5 点
3	断面尺寸 (mm)		不小于设计值	尺量: 每 20m 检查 4 个断面
4	表面平整度 (mm)	片石	20	直尺: 每 20m 检查 5 处, 每 5 处检查 竖直和墙长两个方向
5		块石	30	

## 7.4 开挖回填法

**7.4.1** 开挖回填应按基坑设计要求自上而下分层分段进行，逐级向路线纵向扩展。开挖时，基坑周围应按边坡稳定性计算放坡开挖或对基坑进行支护，施工安全应符合下列规定：

1 调查核实采空区位置、范围等基础资料，准备施工机械设备，施工过程中应确保施工安全。

2 开挖回填范围应进行测量、放样，并应进行开挖回填边界标识。

3 当基坑采用支护工程措施时，在支护段内开挖应对支护结构进行保护，严禁超挖。基坑边坡坡率应满足稳定性要求。开挖过程中，当地质工程特性与设计不符，边坡不稳定时，应及时采取措施，防止边坡产生滑塌。

4 严禁在基坑开挖坡顶周边堆放开挖弃土，弃土场点距坡顶边缘的距离应大于1.5倍基坑深度。弃土宜按土、石方分类堆放，弃土堆放高度及填土边坡坡率应符合现行《露天煤矿岩土工程勘察规范》（GB 50778）的有关规定。弃土应堆放在路基两侧开挖影响边界外，在斜坡地带开挖时，开挖基坑上坡向一侧严禁堆放弃土。

5 开挖面临近采空区或揭露采空区时，施工机械设备应具备防爆功能，进行有害气体测定，在确保安全的前提下进行开挖作业，并应做好顶板垮塌设计，防止施工机械和人员掉入采空区。

6 开挖施工区域内应做好临时排水系统规划，开挖作业应处于干燥状态。

7 在基坑周围等危险地段，应设置隔离栅和警示标志，夜间应有现场照明。

8 采用爆破方式开挖施工时，火工品及爆破工作的安全管理应符合危险品的管理规定。

**7.4.2** 对进场材料应进行试验，质量应符合现行《公路土工试验规程》（JTG 3430）及《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）的有关规定。

**7.4.3** 回填时，填土应按路基要求分层夯实，质量应符合现行《公路路基设计规范》（JTG D30）及《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）的有关规定。

**7.4.4** 回填施工时应进行基坑排水，不得在浸水条件下施工。

**7.4.5** 开挖回填施工应根据设计要求和现场条件，选择适当的施工机械。

## 7.5 巷道加固法

**7.5.1** 施工前应对加固巷道进行调查核实，并准备相应的施工机械设备。

**7.5.2** 应对巷道加固范围进行测量、放样，加固边界应进行标识。

**7.5.3** 应对进场材料进行强度试验，质量应符合现行《公路土工试验规程》(JTG 3430)及《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)的有关规定。

**7.5.4** 正在使用巷道的加固施工，应根据设计要求，按现行《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660)的有关规定执行。

**7.5.5** 加固巷道应根据设计要求对其加固构件进行检验。

## **7.6 强夯法**

**7.6.1** 强夯法施工顺序应遵循“先夯塌、后夯实”、分阶段实施的原则。

**7.6.2** 应对强夯范围的采空区进行施工前的调查核实，并准备相应的施工机械设备进行试验。

**7.6.3** 强夯范围应进行测量、放样，对强夯范围边界进行标识。

**7.6.4** 应在施工现场选取一个或几个有代表性的试验区进行试夯。试夯时应按场地地质条件及设计要求，确定夯击能大小、点夯次数及夯点间距。夯锤质量宜为20~40t，夯锤可采用倒圆台形，锤底接地压力宜取60~120kPa。

**7.6.5** 强夯法施工和质量检验应按现行《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79)的有关规定执行，夯塌施工总夯沉量不应小于采厚的85%。

**7.6.6** 检查施工过程中的各项测试数据和施工纪录，不满足设计要求时，应补夯或采取其他有效措施。

**7.6.7** 采空区夯塌施工前应将地表裂缝、沉陷坑回填；夯实施工前和过程中，应及时回填夯坑并整平场地。

**7.6.8** 夯塌施工顺序可根据当地经验或试夯结果确定。对缓倾斜采空区，宜由移动盆地中间区向两侧边缘区扩夯；对倾斜采空区，宜由采空区下山方向向上山方向扩夯。

**7.6.9** 强夯处治后的地基检测，应在施工结束后间隔一定时间进行。

## 7.7 穿越法

**7.7.1** 穿越法处治采空区施工前应调查核实下列资料：

- 1 采空区要素，以及充水情况、地下水埋藏情况、水位变幅及地下水的腐蚀性等；
- 2 采空区场地处治工程的设计和施工工艺参数；
- 3 主要施工机械设备的技术性能，施工工艺对采空区处治的适宜性。

**7.7.2** 应对加固范围的注浆孔进行测量、放样，注浆孔应标识。

**7.7.3** 采用桩基穿越采空区时，应根据设计要求对采空区进行预注浆处治。采空区处治后，经检测合格方可进行桩基施工。桩基施工应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的有关规定。

**7.7.4** 钻孔机具及施工工艺的选择应根据桩型、采空区要素、有毒有害气体赋存状况、护壁措施、泥浆排放及采空区处治等因素综合确定。

**7.7.5** 桩基穿越采空区时，严禁采用人工挖孔灌注桩。

**7.7.6** 采用钻、冲作业成孔时，应确保桩端进入底板持力层的设计深度；灌注桩成孔施工容许偏差应符合现行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的有关规定。

**7.7.7** 钻进过程中揭露采空区顶板时，钻进方法和钻具应根据采空区发育特点和注浆效果确定，钻进可按空洞大小及时埋设护壁套管。

**7.7.8** 对采空埋深较大的端承桩宜采用反循环工艺成孔或清孔，也可根据采空区覆岩稳定性和垮落、裂隙发育程度采用正循环钻进，反循环清孔；不易塌孔的地层可采用空气吸泥清孔。

## 8 采空区处治监测与检测

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 采空区处治监测适用于注浆法处治的采空区场地地表变形监测，监测方法可根据采空区分布范围及其要素特征进行选择。

**8.1.2** 采空区处治检测适用于注浆法处治的采空区，其他方法处治采空区的检测应符合现行《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79)、《煤矿采空区建(构)筑物地基处理技术规范》(GB 51180)等的有关规定。

**8.1.3** 监测和检测的记录、数据应及时分析、整理，提交成果报告，并附有相关的图表。监测数据出现异常波动时，应加密监测频次，必要时应发出预警。

**8.1.4** 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。处治合格的采空区场地方可进行公路主体工程的施工。采空区处治工程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。

#### 条文说明

(1) 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；采空区处治检测是采空区处治后的工程质量检查。监测和检测结果是采空区处治效果评价的重要依据。

(2) 采空区处治监测和检测是确保工程质量及运营安全的重要环节，它与采空区的勘察、设计及施工一起构成了采空区处治工程的一个完整系统。

### 8.2 采空区处治监测

**8.2.1** 下伏采空区桥、隧工程，应进行采空区处治监测，监测周期宜自施工阶段开始至处治完工后不少于6个月。

**8.2.2** 监测项目、方法与仪器设备应按表8.2.2执行。

表 8.2.2 监测项目、方法与仪器设备

监测项目	监测方法	仪器设备
水平移动	极坐标法、交会法、GNSS、导线法、激光测距、激光准直法等	经纬仪、水准仪、GNSS、全站仪、钢尺
下沉	水准测量	

8.2.3 监测范围、监测线（点）的布（埋）设、监测精度应满足本规范第 3.2.6 条的规定，每个采空区场地监测断面数量不应小于 2 条。

8.2.4 采空区处治施工期间应每 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。

8.2.5 监测数据应进行平差，并计算监测点及相邻两次监测的下沉值、累计下沉值、下沉速度、累计下沉速度、水平移动值、累计水平移动值，以及相邻点间的垂直变形和水平变形。地表变形监测及计算表格应按本规范第 A.0.4 条执行。

8.2.6 应编制下沉曲线图、水平移动曲线图、累计水平移动曲线图和下沉、水平变形等值线图，以及相应统计分析表格等。

8.2.7 应根据监测数据成果，结合公路工程地基容许变形值对处治效果及地基稳定性做出评价。

8.2.8 监测报告内容应包括监测网的布设、监测方法、过程、监测成果分析、残余变形量的确定及采空区处治效果评价。

### 8.3 采空区处治检测

8.3.1 采空区注浆处治检测应采用钻探、物探、室内试验、压浆检测及监测等综合方法，检测时间宜在施工结束 6 个月后进行。

8.3.2 注浆处治检测项目与方法应符合表 8.3.2 的规定。

表 8.3.2 注浆处治检测项目与方法

序号	检测项目	检测方法	检测频率	备注
1	充填率 $\eta$ (%)	钻探取芯、孔内电视、开挖	检测孔逐孔检测	必检项
2	结石体无侧限抗压强度 $R_c$ (MPa)	钻探取芯、室内试验	宜每个受注层取样测试	必检项

续表 8.3.2

序号	检测项目	检测方法	检测频率	备注
3	横波波速 $v_s$ (m/s)	孔内波速测试	受检孔数不少于检测孔数的 50%	必检项
4	压浆量	压浆检测	逐孔检测	桥隧工程必检项
5	变形监测	监测	按本规范第 8.2 节执行	桥隧工程必检项

### 条文说明

浆液的充填率（又称充填系数）是注入采空区内浆液的体积与空洞总体积的百分比。充填率也可通过钻孔描述、孔内电视定性判断，如采空区冒落段岩芯采取率大于或等于 80%，浆液结石体明显，钻进过程中循环液无漏失等可判定为合格。充填率  $\eta =$  孔内电视显示浆液固结体断面面积/采空区断面面积。

钻探是一种直观、有效的检测方法，是定量评价处治效果的必要手段。通过对钻探过程中的埋钻、掉钻、进尺快慢、循环液消耗、岩体完整程度等情况的分析对比，对采空区处治效果进行评价。

压浆检测是桥隧检查孔内进行的最后一个检测项目，浆液配合比、注浆工艺参数同采空区注浆处治设计，根据注入检测孔内浆量的多少，评价采空区处治效果，其实质反映的是采空区充填情况。一般认为，注入浆量如果小于处治施工时单孔平均注入量的 10%，认为采空区处治已达到设计要求；注入浆量如果大于处治施工时单孔平均注入量的 10%，认为采空区处治效果存在疑问，需查明原因，采取补救措施。

**8.3.3** 钻孔检测孔数不应少于注浆总孔数的 2%，且不应少于 3 个。

**8.3.4** 检测孔布置，对于一般路基宜 100 ~ 150m 布设 1 孔，桥梁宜逐墩布设 1 孔，隧道宜每 50 ~ 100m 布设 1 孔；检测孔深度应进入采空区（或煤层）底板以下 6m。

**8.3.5** 检测孔应全孔取芯，开孔孔径不应小于 130mm，终孔孔径不应小于 91mm，每回次岩芯采取率应大于 80%，对采空区垮落带应采用双层岩芯管等特殊设备取芯。检测孔钻探施工宜采用清水钻进，及时准确地观察、记录循环液的消耗量及其层位、深度，其他钻探施工工艺应符合本规范第 3.2.8 条的规定。

### 条文说明

8.3.3 ~ 8.3.5 检测孔的布置，以桥梁、隧道及路基采空区治理范围为重点检查部位，采空区治理范围外及保护带为次要检查部位，同时兼顾存在质量隐患的部位，如在注浆处治过程中单孔耗浆量过大，或出现中断等异常现象的部位，或地质结构复杂、冒落塌陷严重的部位，以及采空区的外边缘带与内边缘带的不稳定部位。

**8.3.6** 应通过孔内电视观察孔壁岩体的空洞、裂隙、浆液的充填情况，以及岩体的完整程度，根据图像的形态、颜色及光亮等信息，结合受注段综合岩芯采取率统计指标，确定充填率。

**8.3.7** 当采空区埋深小于 30m 时，可采用开挖检测，通过探井、探坑，直接观测处治段浆液充填和结石情况，确认有无空洞，计算充填率。

**8.3.8** 应通过钻孔或探井采取芯样，对浆液结石体进行单轴抗压强度试验。

#### 条文说明

对钻孔取芯得到的浆液结石体，呈可塑~坚硬状态，结石体适当养护，按现行《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG 3420）的有关规定进行室内无侧限抗压强度测试。

**8.3.9** 应选取代表性的检测孔进行孔内波速测试，以受注层平均剪切波速作为采空区处治工程质量的评价指标。

#### 条文说明

由于注浆法处治的采空区一般埋深大于 30m，目前市场常见的剪切波测试仪受震源限制，测试深度不足，一般使用跨孔弹性波 CT 法对采空区受注层进行检测，获得剪切波速。

**8.3.10** 采用压浆法检测时，可根据注浆量结合采空区要素特征及设计要求，对采空区处治效果进行定量评价。检测浆液宜采用同级配比浆液，结束条件应为单位时间注入孔内浆量小于 50L/min，注浆持续时间宜为 5~10min，终孔压力宜为 2~3MPa。

#### 条文说明

采用压浆法检测，一方面可对受检孔周围裂隙或残余空洞进行补注，另一方面起到对检测孔的封孔作用。注浆压力控制要适当，压力过大，地表隆起，产生新的裂缝，破坏岩体的原有结构，使岩体产生损伤。压力过小，残余空洞得不到有效充填，达不到处治效果。

**8.3.11** 根据采空区处治检测结果，应按表 8.3.11 的规定对注浆法处治质量进行验收。



表 8.3.11 注浆法处治检测验收指标

序号	检测项目	检测标准
1	充填率 $\eta$ (%)	路基 $\geq 80$ , 桥隧 $\geq 90$
2	结石体无侧限抗压强度 $R_c$ (MPa)	路基 $\geq 0.6$ ; 桥隧 $\geq 2.0$
3	横波波速 $v_s$ (m/s)	路基 $\geq 250$ ; 桥隧 $\geq 350$
4	压浆量	$\leq$ 单孔施工平均注浆量的 10%
5	变形监测	满足表 4.4.1 的要求

## 条文说明

根据多年采空区注浆处治检测数据统计分析,对浅层路基采空区处治质量验收指标为浆液结石体抗压强度不小于 0.6MPa,孔内横波波速不小于 250m/s;桥梁和隧道采空区处于主要受压层、持力层范围内或采用固结注浆时,验收指标为结石体抗压强度不小于 2.0MPa,横波波速不小于 350m/s;对中深层、深层采空区,上述验收指标中桥梁和隧道经过专题研究论证后,可以适当调整。

**8.3.12** 采空区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验评。

**8.3.13** 检测评价报告内容应包括工程概况、检测项目、检测方法、试验报告、工程质量和处治效果评价,并应整理原始记录、图件、表格及影像资料,一并装订存档。

## 附录 A 采空区勘察方法相关表格

A.0.1 采空区专项调查见表 A.0.1。

表 A.0.1 采空区专项调查

调查人：		资料来源：		被调查人年龄：		被调查人是否从事过采矿工作：		调查时间：											
矿山名称及里程桩号	长度 (m)	宽度 (m)	矿山性质	开采方式	实际生产能力 (万 t/年)	开采终采时间	煤层编号	采厚 (m)	埋深 (m)	顶板岩性	底板岩性	采空区充水情况	煤层产状	开采方式	回采率 (%)	采空区“三带”特征	地表变形特征	备注	
▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲	▲	▲	▲ ●	▲	▲ ●	▲ ●	▲	▲	▲ ▲	▲ ●	▲	▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲ ●	
<p>收集资料说明：收集矿井采掘工程平面图、井上下对照图、勘察区范围内以往地质资料（钻孔柱状图、地形地质图、矿井排水图、井下出水点水量观测记录表、工作面掘进巷道时探放水记录等）；收集开采沉降观测资料及采动损害资料，收集采空区附近抽水、排水对采空区移动变形的影响资料；收集工作面布置、工作面推进方向、工作面推进速度、开采顺序和准备工作面的布置。</p>																			

注：“▲”-工可阶段需初步查明；“●”-初步设计阶段、施工图设计阶段进一步查明。

**A.0.2 采空区工程地质钻探记录表 A.0.2-1、表 A.0.2-2。**

**表 A.0.2-1 采空区工程地质钻探记录表**

项目名称：\_\_\_\_\_ 工点名称：\_\_\_\_\_ 钻探日期：\_\_\_\_\_ 静止：\_\_\_\_\_  
 钻孔编号：\_\_\_\_\_ 孔位：\_\_\_\_\_ 孔口高程：\_\_\_\_\_ 地下埋深（初见）：\_\_\_\_\_ )

分层 序号	进尺 (m)		岩土 名称	颜色	风化 状态/风化	破碎 状态	矿物组成、结构构造及其他	地层描述
	自	至						

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破碎状态按岩芯节长 L 划分标准为：L ≥ 20cm，长柱状；10cm ≤ L < 20cm，短柱状；5cm ≤ L < 10cm，饼状；L < 5cm，块状。

记录员：\_\_\_\_\_ 监理员（机长）：\_\_\_\_\_

表 A.0.2-2 采空区工程地质钻探逐次进尺记录表

工点名称:	进尺 (m)		岩芯长度 (m)	岩芯采取率 (%)	孔位:	钻探日期:	取样	
	自	至					厚度	编号
回次序号					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)			

(此表附于正式记录表的后面)

**A.0.3 常用物探方法见表 A.0.3。**

**表 A.0.3 常用物探方法**

方法种类		成果形式	适用条件	有效深度 (m)	干扰及缺陷
电法	高密度电法	平、剖面	任何地层及产状, 具有良好的接地条件	≤100	高压电线、地下管线、游散电流、电磁干扰
	电测深法	剖面	地形平缓, 具有稳定电性标志层, 地电层次不多, 电性层与地质层基本一致	≤1 000	
	充电法	平面	充电体相对围岩应是良导体, 要有一定规模, 且埋深不大	≤200	
电磁法	瞬变电磁法	平、剖面	探测目标与周围介质呈相对高、低阻, 地面或空间没有大的金属结构体、厂矿及较大村镇	500~1 000	高导、厚覆盖受限
	可控源音频大地电磁法				
	地质雷达	剖面	探测目标与周围介质有一定电性差异, 且埋深不大, 或基岩裸露区	地面≤30 孔内等效钻孔深	
地震法	地震勘探	平、剖面	折射波法要求被探测物波速大于上覆地层, 无法探测速度逆转层; 反射波法要求地层具有一定波阻抗差异; 两者探测薄层能力差, 地形较平坦, 地层产状小于 30°	适用于深部采空区探测	黄土覆盖较厚、古河道砾石、浅水面埋深大等地区
	瞬态面波	平、剖面	覆盖层较薄, 采空区埋深浅, 地表平坦、无积水	≤40	
	地震映像	剖面	覆盖层较薄, 采空区埋深浅	≤150	
	微震勘探	点、剖面	布设台阵范围地形相对平坦, 地表无大量积水	≥30	深埋采空区, 数据采集时间较长
	弹性波 CT	剖面	井况良好, 井径合理, 激发与接收配合良好		
测井法	常规测井	剖面	电、声波、密度测井在无套管、有井液的孔段进行; 放射性测井则无此要求	等效钻孔深	游散电流、电磁干扰
	超声成像测井	剖面	无套管有井液的孔段进行		
	孔内摄像	剖面	只能在无套管的干孔和清水钻孔中进行		
重力法	微重力勘探	平面	地形平坦, 无植被, 透视条件好	≤100	地形、地物
放射性	放射性勘探	平、剖面	探测对象要具有放射性		

注: 1. 工程物探的质量控制, 应符合现行《公路工程物探规程》(JTG/T 3222) 的规定。  
2. 有效深度宜通过现场试验确定。

## A.0.4 采空区移动变形监测成果整理见表 A.0.4-1 ~ 表 A.0.4-5。

表 A.0.4-1 采空区水平移动监测成果

观测 点名	第 次			第 次			第 次		
	年 月 日			年 月 日			年 月 日		
	横坐标 X (m)	本次 移动量 (mm)	累积 移动量 (mm)	横坐标 X (m)	本次 移动量 (mm)	累积 移动量 (mm)	横坐标 X (m)	本次 移动量 (mm)	累积 移动量 (mm)
纵坐标 Y (m)			纵坐标 Y (m)			纵坐标 Y (m)			

记录:

复核:

表 A.0.4-2 采空区下沉监测成果

观测 点名	第 次			第 次			第 次		
	年 月 日			年 月 日			年 月 日		
	高程 (m)	本次 下沉量 (mm)	累计 下沉量 (mm)	高程 (m)	本次 下沉量 (mm)	累计 下沉量 (mm)	高程 (m)	本次 下沉量 (mm)	累计 下沉量 (mm)

交通运输部信息公开

记录：

复核：

表 A.0.4-3 采空区水平移动速度统计

观测 点名	月 日 ~ 月 日		月 日 ~ 月 日		月 日 ~ 月 日	
	X 移动量 (mm)	速度 (mm/d)	X 移动量 (mm)	速度 (mm/d)	X 移动量 (mm)	速度 (mm/d)
	Y 移动量 (mm)	速度 (mm/d)	Y 移动量 (mm)	速度 (mm/d)	Y 移动量 (mm)	速度 (mm/d)

记录：

复核：



表 A.0.4-4 采空区下沉速度统计

观测点号	月 日 ~ 月 日		月 日 ~ 月 日		月 日 ~ 月 日	
	下沉量 (mm)	速度 (mm/d)	下沉量 (mm)	速度 (mm/d)	下沉量 (mm)	速度 (mm/d)

记录:

复核:

表 A.0.4-5 地表移动变形计算表

项目名称：		观测日期：										
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
观测点号	初始高程 $H_0$ (m)	本次观察 高程 $H_i$ (m)	下沉值 $W$ (mm)	下沉差 $\Delta W$ (mm)	初始平距 $D_0$ (m)	本次平距 $D_i$ (m)	拉伸 (压缩) $\Delta D$ (mm)	水平移动值 $U$ (mm)	倾斜值 $i$ (mm/m)	倾斜差 $\Delta i$ (mm/m)	曲率值 $K$ (mm/m <sup>2</sup> )	水平变形值 $\varepsilon$ (mm/m)

## 附录 B 采空区地表移动盆地分区

**B.0.1** 当开采煤层倾角  $\alpha < 15^\circ$ ，地表平坦，且达到超充分采动，采动影响范围内无大型地质构造时，最终形成的静态地表移动盆地（图 B.0.1-1），可划分为移动盆地的中间区域、移动盆地的内边缘区、移动盆地的外边缘区，地表移动和变形如图 B.0.1-2 所示，并具有下列特征：

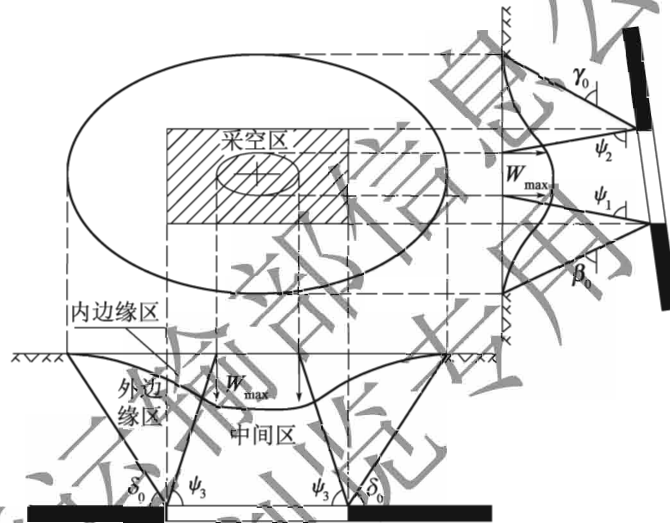


图 B.0.1-1 开采煤层倾角  $\alpha < 15^\circ$ ，充分采动时地表移动盆地分区示意图

$\delta_0$ -走向边界角； $\gamma_0$ -上山边界角； $\beta_0$ -下山边界角； $W_{max}$ -最大下沉值； $\psi_3$ -走向充分采动角； $\psi_1$ -上山充分采动角； $\psi_2$ -下山充分采动角

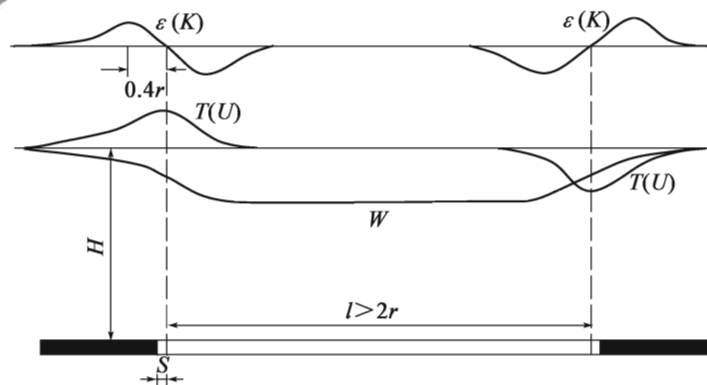


图 B.0.1-2 超充分采动的地表移动和变形

$H$ -开采深度； $r$ -主要影响半径； $l$ -采空区的区段长度； $S$ -拐点偏移距； $W$ -下沉曲线； $T(U)$ -倾斜（水平移动）曲线； $\epsilon(K)$ -水平移动（曲率）曲线

1 移动盆地的中间区域位于采空区的正上方，地表均匀下沉，地表下沉量达到该地质采矿条件下的最大值，其他移动和变形值应近似为零且无明显裂缝。

2 移动盆地的内边缘区位于采空区外侧上方，地表不均匀沉降，且地面向盆地中心倾斜呈凹形，并产生压缩变形，可不出现裂缝。

3 移动盆地的外边缘区位于采空区外侧矿层上方，地表不均匀沉降，且地面向盆地中心倾斜呈凸形，并产生拉伸变形，当拉伸变形超过一定数值后，地面可出现拉伸裂缝。

4 在地表刚达到充分采动或非充分采动条件下，地表移动盆地内不出现中间区域。

**B.0.2** 当开采煤层倾角为  $15^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$  时，地表移动盆地（图 B.0.2）具有下列特征：

1 在倾斜方向上，移动盆地的中心（最大下沉点）偏向采空区的下山方向，并与采空区中心不重合。最大下沉点同采空区几何中心的连线与水平线在下山一侧夹角（最大下沉角）应小于  $90^\circ$ 。

2 移动盆地与采空区的相对位置，在走向方向上对称于倾斜中心线，而在倾斜方向上不对称，且矿层倾角越大，不对称性越明显。

3 移动盆地的上山方向较陡，移动范围较小；下山方向较缓，移动范围较大。

4 采空区上山边界上方地表移动盆地拐点偏向采空区内侧，采空区下山边界上方地表移动盆地拐点偏向采空区外侧。拐点偏离的位置大小与矿层倾角和上覆岩层的性质有关。

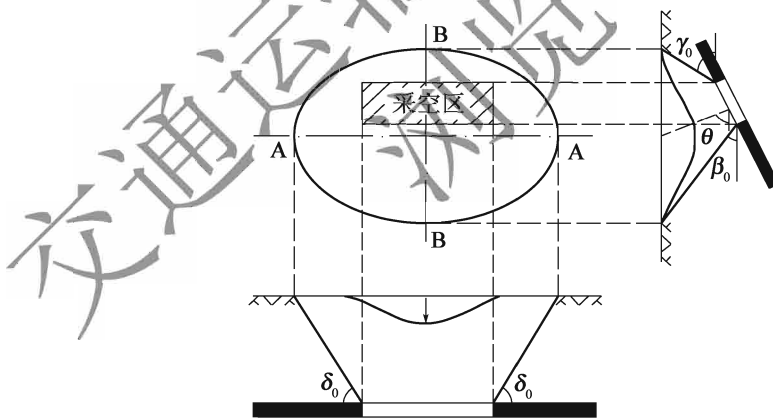


图 B.0.2 开采煤层倾角为  $15^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$  时地表移动盆地示意图  
 $\delta_0$ -走向方向边界角； $\gamma_0$ -上山边界角； $\beta_0$ -下山边界角； $\theta$ -最大下沉角

**B.0.3** 当开采煤层倾角  $\alpha > 55^\circ$  时，地表移动盆地（图 B.0.3）具有下列特征：

1 地表移动盆地形状的不对称性更加明显。工作面下边界上方地表的开采影响达到开采范围以外很远，上边界上方开采影响则达到矿层底板岩层。整个移动盆地明显偏向矿层下山方向。

2 最大下沉值不出现在采空区中心正上方，而向采空区下边界方向偏移。

- 3 底板的最大水平移动值大于最大下沉值，最大下沉角小于  $15^\circ$ 。
- 4 煤层开采时，可不出现充分采动的情况。

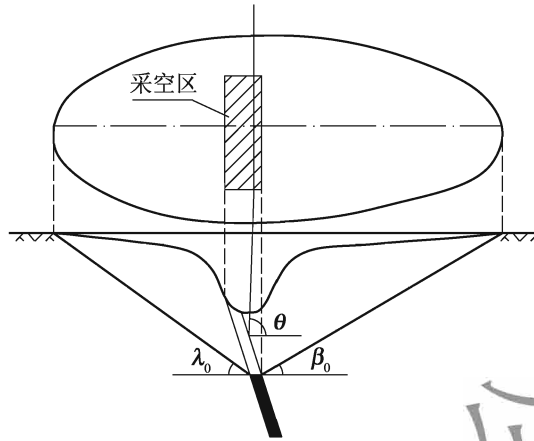


图 B.0.3 开采煤层倾角  $\alpha > 55^\circ$  时地表移动盆地示意图  
 $\lambda_0$ -急倾斜煤层底板边界角； $\beta_0$ -下山边界角； $\theta$ -最大下沉角

交通运输部信息公示  
浏览专用

## 附录 C 采空区“垮落带、断裂带”高度的计算方法

**C.0.1** 缓倾斜（0°~35°）、倾斜（36°~54°）煤层应符合下列规定：

1 垮落带高度计算应符合下列规定：

1) 当煤层顶板覆岩内有极坚硬岩层，采后能形成悬顶时，其下方的垮落带最大高度可按式（C.0.1-1）计算：

$$H_m = \frac{M}{(K-1)\cos\alpha} \quad (\text{C.0.1-1})$$

式中： $M$ ——煤层采厚（m）；

$K$ ——垮落岩石碎胀系数；

$\alpha$ ——煤层倾角（°）。

2) 当煤层顶板覆岩内为坚硬、中硬、软弱、极软岩层或其互层时，开采单一煤层的垮落带最大高度可按式（C.0.1-2）计算：

$$H_m = \frac{M-W}{(K-1)\cos\alpha} \quad (\text{C.0.1-2})$$

式中： $W$ ——垮落过程中顶板的下沉值（m）。

3) 当煤层顶板覆岩内为坚硬、中硬、软弱、极软岩层或其互层时，厚煤层分层开采的垮落带最大高度可按表 C.0.1-1 中的公式计算。

**表 C.0.1-1 厚煤层分层开采的垮落带高度计算公式**

覆岩岩性（天然单向抗压强度及主要岩石名称）	计算公式
坚硬（40~80MPa，石英砂岩、石灰岩、砂质页岩、砾岩）	$H_m = \frac{100 \sum M}{2.1 \sum M + 2.0} \pm 2.5$
中硬（20~40MPa，砂岩、泥质灰岩、砂质页岩、页岩）	$H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2$
软弱（10~20MPa，泥岩、泥质砂岩）	$H_m = \frac{100 \sum M}{6.2 \sum M + 32} \pm 1.5$
极软弱（小于10MPa，铝土岩、风化泥岩、黏土、砂质黏土）	$H_m = \frac{100 \sum M}{7.0 \sum M + 63} \pm 1.2$

注：1.  $\sum M$ —累计采厚（m）。

2. 公式应用范围：单层采厚1.0~3.0m，累计采厚不超过15.0m。

4) 当煤层顶板覆岩内为坚硬、中硬、软弱岩层或其互层时，厚煤层放顶煤开采的垮落带最大高度可按表 C.0.1-2 中的公式计算。

表 C.0.1-2 厚煤层放顶煤开采的垮落带高度计算公式

岩性	计算公式
坚硬	$H_m = 7M + 5$
中硬	$H_m = 6M + 5$
软弱	$H_m = 5M + 5$

注：1.  $\Sigma M$ -累计采厚 (m)。  
2. 公式应用范围：单层采厚 3.0 ~ 10.0m。

## 2 断裂带高度计算应符合下列规定：

1) 当煤层覆岩内为坚硬、中硬、软弱、极软弱岩层或其互层时，厚煤层分层开采的断裂带最大高度可按表 C.0.1-3 中的公式计算。

表 C.0.1-3 厚煤层分层开采的断裂带高度计算公式

岩性	计算公式一	计算公式二
坚硬	$H_{li} = \frac{100 \Sigma M}{1.2 \Sigma M + 2.0} \pm 8.9$	$H_{li} = 30 \sqrt{\Sigma M} + 10$
中硬	$H_{li} = \frac{100 \Sigma M}{1.6 \Sigma M + 3.6} \pm 5.6$	$H_{li} = 20 \sqrt{\Sigma M} + 10$
软弱	$H_{li} = \frac{100 \Sigma M}{3.1 \Sigma M + 5.0} \pm 4.0$	$H_{li} = 10 \sqrt{\Sigma M} + 5$
极软弱	$H_{li} = \frac{100 \Sigma M}{5.0 \Sigma M + 8.0} \pm 3.0$	

注：1.  $\Sigma M$ -累计采厚 (m)。  
2. 公式应用范围：单层采厚 1.0 ~ 3.0m，累计采厚不超过 15.0m。

2) 当煤层覆岩内为坚硬、中硬、软弱岩层或其互层时，厚煤层放顶煤开采的断裂带最大高度可按表 C.0.1-4 中的公式计算。

表 C.0.1-4 厚煤层放顶煤开采的断裂带高度计算公式

岩性	计算公式一	计算公式二
坚硬	$H_{li} = \frac{100M}{0.15M + 3.12} \pm 11.18$	$H_{li} = 30 \sqrt{\Sigma M} + 10$
中硬	$H_{li} = \frac{100M}{0.23M + 6.10} \pm 10.42$	$H_{li} = 20 \sqrt{\Sigma M} + 10$
软弱	$H_{li} = \frac{100M}{0.31M + 8.81} \pm 8.21$	$H_{li} = 10 \sqrt{\Sigma M} + 10$

注：1.  $\Sigma M$ -累计采厚 (m)。  
2. 公式应用范围：单层采厚 1.0 ~ 3.0m。

**C.0.2 急倾斜 (55° ~ 90°) 煤层中，煤层顶、底板为坚硬、中硬、软弱岩层，用垮落法开采时的垮落带和断裂带高度，可按表 C.0.2 中的公式计算。**

表 C.0.2 急倾斜煤层断裂带和垮落带高度计算公式

覆岩岩性	断裂带高度计算公式	垮落带高度计算公式
坚硬	$H_{li} = \frac{100Mh}{4.1h + 133} \pm 8.4$	$H_m = (0.4 \sim 0.5) H_{li}$
中硬、软弱	$H_{li} = \frac{100Mh}{7.5h + 293} \pm 7.3$	$H_m = (0.4 \sim 0.5) H_{li}$

注：h 为开采阶段垂高 (m)。

交通运输部信息公开  
浏览专用



## 附录 D 覆岩破坏类型

表 D 覆岩破坏类型

序号	垮落类型	覆岩类型	变形特征
1	“三带”型	覆岩全部为可垮落岩层，一般以软岩~较硬岩为主	覆岩破坏可分为垮落带、断裂带和弯曲带；当垮落带和断裂带未达到地表时，地表应为连续性变形；当垮落带和断裂带能达到地表时，地表应为非连续性变形
2	拱冒型	煤层以上某一高度存在一定厚度的坚硬岩层	长壁式开采或条带法开采时，随着采空区的扩大，坚硬岩层以下的岩层发生拱型垮落，垮落达到坚硬岩层时可形成悬顶；围岩可形成“自然拱”或无支撑“砌体拱”“板拱”，近煤层的顶板岩层受到破坏，远离顶板的岩层不受破坏，地表只产生微小下沉
3	弯曲型	全部为坚硬覆岩	刀柱法开采时，坚硬岩层可形成悬顶；煤柱面积宜占30%~35%，覆岩应不发生垮落破坏，地表变形最大值不宜超过煤层采高的5%~15%
4	切冒型	全部为坚硬覆岩	开采深度较小、煤柱面积小于30%且坚硬岩层未形成悬顶时，煤柱不应形成稳定支座；地表突然陷落，地表裂缝应直通采空区，地表会形成“断陷”式盆地
5	抽冒型	全部覆岩为极软弱的急倾斜岩层或土层	当开采深度较小或接近冲积层开采时，覆岩变形不应形成悬顶；采空区内无垮落矸石支撑时，覆岩会发生“抽冒型”破坏；地面形成漏斗状陷坑

附录 E 采空区勘察成果相关表格

E.0.1 采空区地表变形参数见表 E.0.1。

表 E.0.1 采空区地表变形参数

里程 桩号	采空区 名称	采厚 (m)	地表下 埋深 (m)	岩层倾角 (°)	最大 下沉量 (mm)	最大 倾斜值 (mm/m)	最大 曲率值 ( $10^{-5}/m$ )	最大水平 变形值 (mm/m)	地表变形 特征	剩余 空隙率 (%)	剩余 下沉量 (mm)	剩余 倾斜值 (mm/m)	剩余 曲率值 ( $mm/m^2$ )	剩余水平 变形值 (mm/m)

编制:

复核:

## E.0.2 采空区对公路工程危害程度综合评价见表 E.0.2。

表 E.0.2 采空区对公路工程危害程度综合评价

序号	矿企名称	采空区分布里程	长度 (m)	土石比例	顶板岩性	开采年限	设计高程下采深 (m)	开采方式	采厚 (m)	开采煤层	回采率 (%)	深厚比	地表变形特征	充水情况	剩余下沉值 (mm)	剩余倾斜值 (mm/m)	剩余曲率值 (mm/m <sup>2</sup> )	剩余水平变形值 (mm/m)	工程类型	稳定性评价	危害程度		

复核:

编制:

E.0.3 采空区剩余空洞体积统计见表 E.0.3。

表 E.0.3 采空区剩余空洞体积统计表

序号	采空区分布里程及名称	长度 (m)	影响宽度 (m)	埋深 (m)	采空区 面积 (m <sup>2</sup> )	采厚 (m)	开采煤层编号 或名称	回采率 (%)	剩余空隙率 (%)	剩余空洞体积 (m <sup>3</sup> )

编制:

复核:

## 附录 F 开采引起的地表移动变形计算

**F.0.1** 水平、缓倾斜煤层及陡倾采空区概率积分法充分采动地表移动变形最大值计算应符合下列规定：

1 地表最大下沉值  $W_{\max}$  按式 (F.0.1-1) 计算：

$$W_{\max} = mq \cos \alpha \quad (\text{F.0.1-1})$$

式中： $m$ ——煤层法向开采厚度 (m)；

$q$ ——下沉系数；由矿区实际测量资料确定，也可按表 F.0.1-1、表 F.0.1-4 中条件相近的实际资料确定；

$\alpha$ ——煤层倾角 (°)。

2 地表倾斜最大值  $i_{\max}$  按式 (F.0.1-2) 计算：

$$i_{\max} = \frac{W_{\max}}{r} \quad (\text{F.0.1-2})$$

3 地表曲率最大值  $K_{\max}$  按式 (F.0.1-3) 计算：

$$\pm K_{\max} = \pm 1.52 \frac{W_{\max}}{r^2} \quad (\text{F.0.1-3})$$

4 地表水平变形最大值  $\varepsilon_{\max}$  按式 (F.0.1-4) 计算：

$$\pm \varepsilon_{\max} = \pm 1.52b \frac{W_{\max}}{r} \quad (\text{F.0.1-4})$$

式中： $r$ ——地表主要影响范围半径 (m)， $r = \frac{H}{\tan \beta}$ ；

$H$ ——采空区的顶板深度 (m)；

$\beta$ ——采空区边界主要移动范围角 (°)，由矿区实际测量资料确定，也可参考表 F.0.1-1 中条件相近的实际资料确定；

$b$ ——水平移动系数，按矿区测量资料确定，可参考表 F.0.1-1 中条件相近的实际资料确定。

5 水平煤层采空区在长度方向 (或宽度方向) 两个边界上方地表的移动变形对称相等，可只计算一个边界上方地面的移动变形值；倾斜煤层采空区下山边界与上山边界上方地表的移动变形并不对称相等，应分别计算其移动变形值。

6 概率积分法充分采动地表移动变形计算参数应符合表 F.0.1-1 ~ 表 F.0.1-4 的规定。

表 F.0.1-1 各种岩性地表移动一般参数综合表 [ $\alpha$  (岩层倾角)  $< 50^\circ$ ]

覆岩类型	覆岩性质		下沉系数 $q$	水平移动系数 $b$	移动角				边界角			主要影响角正切 $\tan\beta$	拐点偏移距 $S/H_0$	开采影响传播角 $\theta$ ( $^\circ$ )
	主要岩性	饱和单轴抗压强度 $R_c$ (MPa)			$\delta$ ( $^\circ$ )	$\gamma$ ( $^\circ$ )	$\beta$ ( $^\circ$ )	$\delta_0$ ( $^\circ$ )	$\gamma_0$ ( $^\circ$ )	$\beta_0$ ( $^\circ$ )				
坚硬岩	大部分以中生代地层硬砂岩、硬灰岩为主, 其他为砂质页岩、页岩、辉绿岩	$R_c > 60$	0.27 ~ 0.54	0.2 ~ 0.3	75 ~ 80	75 ~ 80	$\delta - (0.7 \sim 0.8) \alpha$	60 ~ 65	60 ~ 65	$\delta_0 - (0.7 \sim 0.8) \alpha$	60 ~ 65	1.2 ~ 1.91	0.31 ~ 0.43	90 - (0.7 ~ 0.8) $\alpha$
中硬岩	大部分以中生代地层中硬砂岩、石灰岩、砂质页岩为主, 其他为砾岩、致密泥灰岩、铁砾石	$30 < R_c \leq 60$	0.55 ~ 0.84	0.2 ~ 0.3	70 ~ 75	70 ~ 75	$\delta - (0.6 \sim 0.7) \alpha$	55 ~ 60	55 ~ 60	$\delta_0 - (0.6 \sim 0.7) \alpha$	55 ~ 60	1.92 ~ 2.40	0.08 ~ 0.30	90 - (0.6 ~ 0.7) $\alpha$
软弱岩	大部分为新生代地层砂质页岩、页岩、泥灰岩及黏土、砂质黏土等松散层	$R_c \leq 30$	0.85 ~ 1.0	0.2 ~ 0.3	60 ~ 70	60 ~ 70	$\delta - (0.3 \sim 0.5) \alpha$	50 ~ 55	50 ~ 55	$\delta_0 - (0.3 \sim 0.5) \alpha$	50 ~ 55	2.41 ~ 3.54	0.0 ~ 0.07	90 - (0.5 ~ 0.6) $\alpha$

表 F.0.1-2 松散层移动角  $\varphi$  值

松散层厚度 $h$ (m)	干燥、不含水 ( $^{\circ}$ )	含水较强 ( $^{\circ}$ )	含流砂层 ( $^{\circ}$ )
<40	50	45	30
40~60	55	50	35
>60	60	55	40

注：干燥、不含水一般指平均含水率 < 20%；含水较强一般指平均含水率  $\geq$  20%。

表 F.0.1-3 按覆岩性质区分的重复采动下沉活化系数

岩性	一次重采	二次重采	三次重采	四次及四次以上重采
坚硬	0.15	0.20	0.10	0
中硬	0.20	0.10	0.05	0

表 F.0.1-4 按顶板控制方法区分的下沉系数

顶板控制方法	下沉系数 $q$	顶板控制方法	下沉系数 $q$
带状填充法 (外来材料)	0.55 ~ 0.70	水砂填充法	0.06 ~ 0.20
干式全部填充法 (外来材料)	0.40 ~ 0.50	冒落条采 (回采率为 50% ~ 60%)	0.15 ~ 0.30
风力填充法	0.30 ~ 0.40	条带水砂充填 (回采率为 50% ~ 60%)	0.02

**F.0.2** 采空区地表剩余下沉值取决于地质条件、开采方式、顶板管理方式、停采时间等因素，地表剩余下沉值估算应根据公路所在位置的地表下沉值、已完成的下沉值、下沉速度和地表移动延续时间、残余下沉量等进行综合确定。新采空区剩余下沉值估算应符合下列规定：

- 1 按式 (F.0.1-1) 计算地表最大下沉值  $W_{max}$
- 2 根据最大下沉点的下沉与时间关系曲线及下沉速度曲线 (图 F.0.2) 确定地表移动延续时间  $T$ ；无实测资料时，可按表 F.0.2-1 确定。

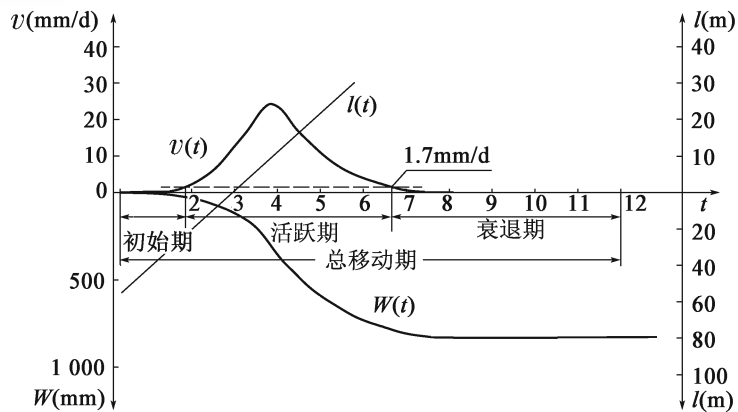


图 F.0.2 地表移动延续时间示意图

$v(t)$ -下沉速度曲线； $l(t)$ -最大下沉点至工作面的水平距离曲线； $W(t)$ -累计下沉量曲线

表 F. 0. 2-1 国内部分矿区移动延续时间的回归关系式

矿区	移动延续时间表达式	备注
本溪矿区	$T = 2.103H_0 + 417$	$T$ ——总移动延续时间 (d); $H_0$ ——平均开采深度 (m); $A$ ——回采工作面面积 ( $m^2$ ); $D_1$ ——工作面斜长 (m); $\delta_{\text{开采}}$ ——开采厚度 (m); $C$ ——工作面推进速度 (m/d)
抚顺矿区	$T = 2122 - 10.6A/H_0$	
双鸭山矿区	$T = 0.95H_0 + 262$	
鹤岗矿区	$T = D_1 (0.562 - 0.00353H_0/\delta_{\text{开采}})$	
淮北矿区	$T = 81.5 + 1.11H_0 \pm 74.9$	
徐州矿区	$T = 2.87H_0 + 8$	
东煤矿区	$T = 2.28H_0 + 43$	
兖州矿区	$T = 0.628H_0/C + 269$	
煤炭行业规程推荐	$T = 2.5H_0$	
山西石炭二叠系煤矿区	$H_0 \leq 300m, T = (2.0 \sim 2.3)H_0$ $300m < H_0 < 500m, T = (1.3 \sim 2.0)H_0$ $H_0 \geq 500m, T = (1.0 \sim 1.3)H_0$	

3 各时段下沉值的估算可根据地表移动延续不同时段  $t_i$  对应的时间长短及其下沉值  $W_{i_i}$  与最大下沉量  $W_{\text{max}}$  的比值关系 (表 F. 0. 2-2), 估算地表剩余下沉值。

表 F. 0. 2-2 地表移动各时段对应的特征量

延续时段 $t_i$	时间段 $t_i/T$	下沉率 $W_{i_i}/W_{\text{max}}$	下沉速度比 $v_{i_i}/v_{\text{max}}$	备注
$t_1$	0	(10mm)	0	移动开始 (初始期)
$t_2$	0.03 ~ 0.05	0.01 ~ 0.02	0.01 ~ 0.05	初始期结束, 活跃期开始
$t_3$	0.05 ~ 0.10	0.40 ~ 0.50	1.00	出现最大下沉速度
$t_4$	0.45 ~ 0.55	0.94 ~ 0.96	0.01 ~ 0.05	活跃期结束, 衰退期开始
$t_5$	1.00	1.00	0.001 ~ 0.005	移动结束 (衰退期)

注: 本表下沉量的估算仅适用于采空区地表移动延续期间内, 不包括采空区衰退期之后的残余变形量。

4 地表最大下沉速度按式 (F. 0. 2) 估算:

$$v_{\text{max}} = K \frac{CW_{\text{max}}}{H_0} \quad (\text{F. 0. 2})$$

式中:  $v_{\text{max}}$ ——地表最大下沉速度 (mm/d);

$K$ ——下沉速度系数, 经验值为 1.6 ~ 2.0;

$C$ ——工作面推进速度 (m/d);

$H_0$ ——平均开采深度 (m), 即煤层开采顶面的平均埋深。

**F. 0. 3** 采用极限平衡分析方法计算维持单一巷道顶板稳定的临界深度 ( $H_{\text{cr}}$ ), 应符合下列规定:

1 当覆岩为松散岩体时可按式 (F. 0. 3-1) 计算:



$$H_{cr} = \frac{B\gamma + \sqrt{B^2\gamma^2 + 4BP_0\gamma \tan\phi \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)}}{2\gamma \tan\phi \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)} \quad (\text{F.0.3-1})$$

式中： $B$ ——采空区巷道宽度 (m)；

$P_0$ ——公路路基基底压力，包括行车荷载及路基、路面荷载 (kPa)；

$\gamma$ ——上覆岩层加权平均重度 ( $\text{kN/m}^3$ )；

$\phi$ ——上覆岩层加权平均内摩擦角 ( $^\circ$ )。

2 当覆岩为非松散岩体时，可按式 (F.0.3-2) 计算：

$$H_{cr} = \frac{B\gamma + \sqrt{B^2\gamma^2 + 4BP_0\gamma \left(\frac{\mu}{1-\mu}\right) \tan\phi}}{2\gamma \left(\frac{\mu}{1-\mu}\right) \tan\phi} \quad (\text{F.0.3-2})$$

式中： $\mu$ ——上覆岩层加权平均泊松比。

3 对比采空区的实际埋藏深度及临界深度，可按式 (F.0.3-3) 求得采空区顶板的稳定系数  $F_s$ ，并按本规范表 4.2.6 评价小密采空区场地的稳定性。

$$F_s = \frac{H}{H_{cr}} \quad (\text{F.0.3-3})$$

式中： $H$ ——巷道顶板的实际深度 (m)；

$H_{cr}$ ——巷道顶板的临界深度 (m)。

## 附录 G 公路保护煤柱留设

**G.0.1** 公路下保护煤柱的留设横向宽度设计应符合下列规定：

1 水平或倾斜煤层且路线与煤层走向垂直时（图 6.2.2-1），可按式（G.0.1-2）计算：

$$B = D + 2d + (h \cot \varphi + H \cot \delta) \quad (\text{G.0.1-1})$$

2 倾斜煤层且路线与煤层走向平行或斜交时（图 6.2.2-2），可按式（G.0.1-2）计算：

$$B = D + 2d + (2h \cot \varphi + H_1 \cot \beta' + H_2 \cot \gamma') \quad (\text{G.0.1-2})$$

式中： $B$ ——保护带宽度（以路线中线为中心）（m）；

$D$ ——路堤部分以公路两侧路堤坡脚（有排水沟时以排水沟外边缘）为界；路堑部分以堑顶边界（有截水沟时以截水沟外边缘）为界；桥梁以桥墩（台）基础两侧边缘顶为界，隧道以 3 倍洞径高度处两侧外边墙横向投影宽度为界；

$d$ ——围护带一侧的宽度，按表 6.2.2-1 的规定确定；

$h$ ——松散层厚度（m）；

$H$ ——煤层上覆岩层厚度（m）；

$\varphi$ ——松散层移动角（°），可按表 F.0.1-2 取值；

$\delta$ ——走向方向煤层上覆基岩移动角（°），按矿区实测取值，也可按表 6.2.2-2 取值；

$\beta'$ ——下山方向煤层上覆基岩移动角（°），可按式（G.0.1-3）计算；

$\gamma'$ ——上山方向煤层上覆基岩移动角（°），可按式（G.0.1-4）计算。

$$\cot \beta' = \sqrt{\cot^2 \beta \cos^2 \theta + \cot^2 \delta \sin^2 \theta} \quad (\text{G.0.1-3})$$

$$\cot \gamma' = \sqrt{\cot^2 \gamma \cos^2 \theta + \cot^2 \delta \sin^2 \theta} \quad (\text{G.0.1-4})$$

**G.0.2** 公路下保护煤柱的留设纵向长度设计，长度计算公式与宽度计算公式相同，只是将路基或桥隧宽度替换成公路长度，其中桥梁应以桥梁基础纵向外边缘顶为界，隧道应以 3 倍洞径高度处纵向边界投影高度为界（m），围护带取值按表 6.2.2-1 的规定确定。

**G.0.3** 公路收费站、管理站等建筑物下保护煤柱的留设应按现行《煤矿采空区岩土工程勘察规范》（GB 51044）的有关规定执行。

## 附录 H 采空区注浆处治施工

**H.0.1** 钻孔开孔质量检验报告见表 H.0.1。

**表 H.0.1 钻孔开孔质量检验报告**

施工单位:

监理单位:

合同段:

工程名称		区号		钻孔编号	
里程桩号		时间	年 月 日	钻机型号	
项次	检查项目	测量方法	检验内容	检验方法和频率	
1	钻孔实测孔位		设计孔位: X = Y = H = 施工孔位: X = Y = H = 相对误差值:		
2	钻机就位		立轴垂直度:		
结论:					
质检负责人:		日期:	监理工程师:	日期:	

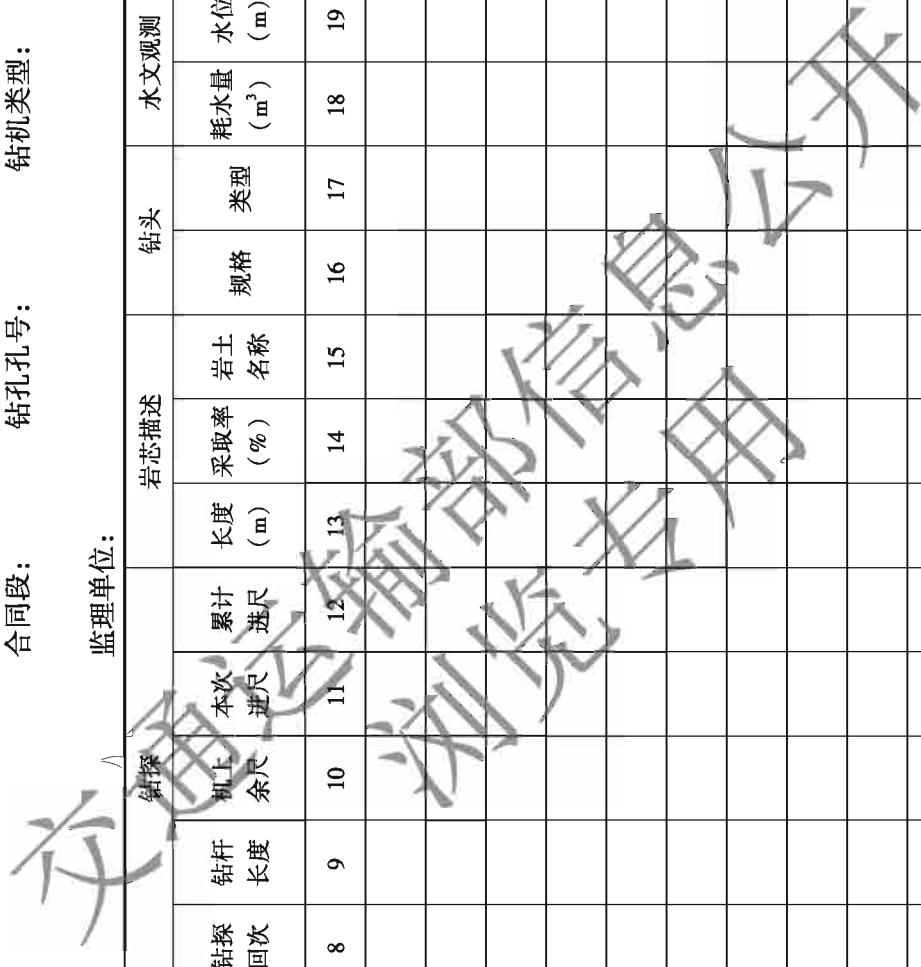
H.0.2 钻孔班报见表 H.0.2。

表 H.0.2 钻孔班报表

项目名称： \_\_\_\_\_ 机高： \_\_\_\_\_ m \_\_\_\_\_ 地面高程： \_\_\_\_\_ m

合同段： \_\_\_\_\_ 钻机类型： \_\_\_\_\_

施工单位： \_\_\_\_\_ 监理单位： \_\_\_\_\_ 第 \_\_\_\_\_ 页 共 \_\_\_\_\_ 页



月	日	时间		工作简述	钻探 回次	钻杆 长度	机上 余尺	本次 进尺	累计 进尺	岩芯描述			钻头		水文观测		孔斜测量		孔内情况 简述			
		起	止							长度 (m)	采取率 (%)	岩土 名称	规格	类型	耗水量 (m <sup>3</sup> )	水位 (m)	测量 孔深 (m)	孔斜 (°)				
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		

记录人： \_\_\_\_\_ 机长： \_\_\_\_\_ 技术负责人： \_\_\_\_\_ 监理员： \_\_\_\_\_ 日期： \_\_\_\_\_

**H.0.3 钻孔地质柱状图见表 H.0.3。**

**表 H.0.3 钻孔地质柱状图**

项目名称:

合同段:

施工单位:

监理单位:

第 页 共 页

钻孔孔号					孔口坐标		X =	Y =	H =	
终孔深度					开孔日期		年 月 日		终孔日期	年 月 日
地层时代	地层名称	层底高程	层底埋深	分层层厚	地质柱状图 1: ____	岩芯采取率 (%)	孔斜 (°)	钻孔结构	岩性及工程地质描述	备注
		(m)								

编制:

复核:

技术负责人:

监理员:

日期:

**H.0.4 钻孔成孔质量检验报告见表 H.0.4。****表 H.0.4 钻孔成孔质量检验报告**

项目名称：

合同段：

施工单位：

监理单位：

工程名称		区号		钻孔编号	
里程桩号		施工时间		成孔检验时间	
项次	检验项目	检验结果			检验方法和频率
1	钻孔成孔质量	钻孔孔位：_____ 孔 斜：_____ 孔 深：_____ 塌孔情况：_____			
2	完成工程量	设计进尺：_____ m 实际进尺：_____ m			
结论：					
质检负责人		日期		监理工程师	日期

**H.0.5 浇筑孔口管记录见表 H.0.5。**

**表 H.0.5 浇筑孔口管记录**

项目名称: \_\_\_\_\_ 合同段: \_\_\_\_\_ 钻孔号: \_\_\_\_\_ 施工时间: \_\_\_\_\_  
 施工单位: \_\_\_\_\_ 监理单位: \_\_\_\_\_

孔深 (m)	浇筑材料类型	质量评述
孔口管下入层位	配合比	
孔口管下入深度 (m)	水泥 (kg)	
浇筑长度 (m)	碎石 (kg)	
注浆管直径 (mm)	砂 (kg)	
注浆管长度 (m)	止浆设备名称	

记录人: \_\_\_\_\_ 技术负责人: \_\_\_\_\_ 监理单位: \_\_\_\_\_ 日期: \_\_\_\_\_

**H.0.6 注浆浆液配制记录见表 H.0.6。**

**表 H.0.6 注浆浆液配制记录**

项目名称： 合同段： 钻孔孔号： 第 页 共 页  
 施工单位： 监理单位：

月	日	时间			浆液配比 : : :	单盘(池)浆液用量(kg)		单盘 (池)容量 (m <sup>3</sup> )	本配合比制浆盘数		浆液技术指标检测				试样 编号			
		起	止	分		时	分		时	分	日	时	分	结石率 (%)		密度 (g/cm <sup>3</sup> )	黏度 (S)	

记录人： 班长： 技术负责人： 日期：  
 监督员：



**H.0.7 钻孔注浆记录见表 H.0.7。**

**表 H.0.7 钻孔注浆记录**

项目名称:

合同段:

施工单位:

监理单位:

第 页 共 页

钻孔孔号						开注日期			孔口坐标	X =		
终孔深度 (m)						完工日期				Y =		
时间						累计时间 ( h min)	浆液配合比 : : :	单位 注浆量 (L/min)	注浆量 (m <sup>3</sup> )	孔口压力 (MPa)	备注	
起			止									
日	时	分	日	时	分							

记录人:

复核:

技术负责人:

监理员:

日期:

**H.0.8 钻孔注浆成果见表 H.0.8。**

**表 H.0.8 钻孔注浆成果**

钻孔孔号：

合同段：

监理单位：

项目名称：

施工单位：

孔口高程 (m)	受注层位		注浆过程中发生的 各种现象及其分析
孔深 (m)	受注段长度 (m)		
终孔孔径 (mm)	注浆方法		
钻孔日期	注浆次数		
注浆压力 (MPa)	初始	初始	
	结束	结束	
注浆时间 (h)	设计	设计	
	开始	开始	
注浆材料总量 (t)	终止	结束	
	纯注	全孔注浆量 (m <sup>3</sup> )	
水	浆液配合比 ： —	质量评价	
水泥			
粉煤灰			
速凝剂			

日期：

技术负责人：

监理单位：

资料整理：

复核：

## 本规范用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业有关强制性标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标 准时，表述为“应符合《×××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”“应符合本规范第×.×节的有关规定”“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。