前　　言

《采空区公路设计与施工技术细则》（以下简称《细则》，原名为“采空区公路设计指南”）在交通运输部公路局（原交通部公路司）的安排、指导下，在山西省交通运输厅领导的关注和支持下，经编写组的共同努力，《细则》的总校稿业已编写完成。

《细则》的编写是依据交通运输部《关于2008年度公路工程标准制修订遴标项目承担单位的通知》（交公便字[2008]90）、《公路工程行业标准管理导则》（交公路发[2001]620）、《关于加强公路工程标准规范工作的若干意见》（交公路发[2008]6）、《交通标准制定、修订程序和要求》及交通运输部组织的“《采空区公路设计指南》编制大纲评审会议纪要”等文件精神开展工作。

我国公路采空区的处治和研究工作经历了十余年的历程，涉及的工作内容主要为两个方面。一是公路采空区勘察、处治设计、施工和检测，二是公路采空区处治方面的课题研究。《指南》的编写将补充和完善我国公路采空区设计、施工及检测方面的技术标准和要求，并填补这方面的技术空白。

《采空区公路设计指南编写大纲》及《工作大纲》于2008年4月29日通过交通运输部（原交通部）组织的专家评审后，编写组按照大纲要求及评审意见做了大量基础性工作，包括国内部分省区公路采空区的调研、资料收集、调研报告的编写、专题研究及《指南》初稿的编写。在编写过程中，主编单位召集各参编单位及编写人员进行了四次集中讨论和修改，并于2009年6月邀请国内有关专家对《指南》初稿进行了咨询，8月主编单位根据专家咨询意见进行了修改和统稿，形成了征求意见稿。2009年10月至11月上旬，主编单位按照《交通标准制定、修订程序和要求》，将《指南》的征求意见稿向全国28家省级以上公路勘察设计单位（各省院和中交一院）及中交第一～第四公路工程局有限公司（施工单位）发出了征求意见函，并将收到的反馈意见做了分类和梳理，于2009年11月26日—28日在太原召开了第四次编写工作会议，会议针对反馈意见进行逐条讨论，并对《指南》内容的完整性、篇章结构、逻辑关系再次进行了梳理，对其中表述不够准确、不尽一致的技术观点进行了讨论，达成统一意见。

2010年6月8日—9日，由交通运输部组织有关专家在太原召开了《指南》

送审稿的审查会议，依据审查会专家意见和会议精神，编写组于6月10日召开了修改工作会议，明确了《指南》各个章节的修改要点，并形成《修改意见》。会后由各参编单位和编写人按照《修改意见》进行了修改，8月由主编单位进行了统稿，形成《细则》总校稿。

2010年7月交通运输部《关于印发“采空区公路设计指南”送审稿审查会会议纪要》（交公便字【2010】199 号）正式下发至主编单位（山西省交通规划勘察设计院），根据《会议纪要》“建议名称改为《采空区公路设计与施工技术细则》”，将《指南》正式更名为《细则》。

主编单位：山西省交通规划勘察设计院

参编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

中　国　地　质　大　学（北京）

中交通力建设股份有限公司

主编起草人：郜玉兰 聂承凯 马健中 田志忠 李贵顺 李英杰 何万龙

张永波 孙雅洁 王亚伟 赵虎生 窦随兵 崔　兰 陈　林

慎乃齐 张　斌 杨俊生 骆凤涛

中华人民共和国行业标准　　JTJ　　×××—2010

采空区公路设计与施工技术细则

Guidelines for Design and Construction of Highway in the Mined-out Area

（总 校 稿）

主编单位：山西省交通规划勘察设计院

参编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

中国地质大学（北京）

中交通力建设股份有限公司

2010年8月

目　次

1　总则……1
2　术语、符号……2
2.1　术语……7
2.2　符号……2
3　采空区勘察……10
3.1　一般规定……10
3.2　勘察方法……11
3.3　勘察阶段……15
3.4　采空区勘察报告编写……21
4　采空区稳定性分析与评价……24
4.1　一般规定……24
4.2　采空区稳定性评价标准……24
4.3　采空区稳定性评价方法……27
4.4　各勘察阶段采空区稳定性评价要求……29
5　采空区公路设计……32
5.1　一般规定……32
5.2　路线设计……33
5.3　路基、路面设计……34
5.4　桥梁设计……36
5.5　隧道设计……37
5.6　公路保护矿柱留设……39
6　采空区处治设计……40
6.1　一般规定……40
6.2　注浆法……41
6.3　其它处治方法……50
7　采空区处治施工……58
7.1　一般规定……58

7.2　注浆法处治施工……58
7.3　其它处治方法施工……67
7.4　环境保护措施……72
8　采空区处治监测与监测……74
8.1　一般规定……74
8．2　采空区处治监测……74
8．3　采空区处治检测……76
8.3　采空区处治质量验收标准……78
附录 A　采空区调查及观测……80
附录 B　常用物探技术综合评价一览表……90
附录 C　采空区“冒 落带、裂隙带”计算方法……92
附录 D　采空区地表移动变形计算……94
附录 E　采空区注浆处治施工……101
附录 F　公路保护矿柱留设……110
附录 G　地表移动变形计算表……110
附件　《采空区公路设计指南》条文说明……113
1　总则……114
2　术语、符号……116
3　采空区勘察……117
3.2　勘察方法……117
3.3　勘察阶段……119
4　采空区稳定性分析与评价……121
4.1　一般规定……121
4.2　采空区稳定性评价标准……121
4.3　采空区稳定性评价方法……126
4.4　各勘察阶段采空区稳定性评价要求……130
5　采空区公路设计……132
5.1　一般规定……132
5.2　路线设计……133

5.3　路基、路面设计……134
5.4　桥梁设计……135
5.5　隧道设计……136
6　采空区处治设计……138
6.1　一般规定……138
6.2　注浆法……138
6.3　其它处治方法……141
7　采空区处治施工……58
7.1　一般规定……143
7.2　注浆法处治施工……143
8　采空区处治监测与监测……155
8.1　一般规定……155
8.2　采空区处治监测……155
8.3　采空区处治检测……157
8.4　采空区处治质量验收标准……159
附录 H　公路采空区处治设计工程实例……160

1 总则

1.0.1 为规范采空区公路工程建设，统一采空区公路工程勘察、设计、处治施工、监测与检测标准，确保采空区公路工程建设质量及运营安全，制定本细则。

1.0.2 本细则适用于各级新建公路和改、扩建公路，对于受采空区影响发生病害，需要整治、改造和维修的公路可参照执行。

1.0.3 采空区作为一种勘察难度大、处治费用高的地质病害，公路建设应尽量避让，如难以避让宜采用路基方式通过。

1.0.4 应在确保采空区处治质量的前提下，本着节省和保护土地资源、矿产资源的原则，合理利用矿渣等采矿废弃物作筑路材料及处治填充料。

1.0.5 采空区公路勘察设计、处治施工、监测与检测，应结合其特点，积极采用合理有效的先进技术及新材料、新工艺和新方法.

1.0.6 采空区公路勘察设计、处治施工、监测与检测，除应符合本指南外，还应符合国家和行业颁发的相关标准、规范和规程的有关规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 基本术语

1. 采空区 mined-out area

采空区系指地下固体矿床开采后的空间及其围岩失稳而产生位移、开裂、破碎垮落，直到上覆岩层整体下沉、弯曲所引起的地表变形和破坏的地区或范围，本细则统称采空区。狭义采空区指开采空间。

2. 回采率 mining rate

采区回采率（β）＝采区采出量（t）/ 采区动用储量（t）×100％ ，其中采区采出量是指采区内所有工作面采出量与掘进量之和;采区动用储量指采区采出量与损失量之和。

3. 采深采厚比 ratio of mining depth and working thickness

矿层开采深度(H)与法向开采厚度(M)的比值，简称深厚比。

4. 坚硬覆岩 hard overburden

岩体完整，强度很高，具有很强的抗扰动能力,我国煤炭系统规定上覆岩体的单轴抗压强度大于 60MPa 为坚硬覆岩。

5. 中硬覆岩 medium overburden

介于坚硬覆岩与软弱覆岩之间。我国煤炭系统规定上覆岩体的单向抗压强度 30~60MPa 为中坚硬覆岩。

6. 软弱覆岩 soft overburden

岩体松软，强度很低，抗干扰的能力很弱，我国煤炭系统规定上覆岩体单向抗压强度为小于 30MPa 为软弱覆岩。

7. 煤层顶板 coal seam roof

位于煤层上面的岩层称为煤层顶板，由下而上可分为伪顶、直接顶和老顶。

8. 井巷工程 roadway engineering

为了开采有用矿物或其他目的，在地层内开凿井巷和峒室，开凿这些空间的工程称为井巷工程。

9. 煤柱 coal pillar

煤柱是煤矿开采过程中为保障安全生产的重要组成部分。在矿井内特定部位按设计要求保留部分煤层不予开采，以确保井巷和建筑物的安全以及生产安全。煤柱亦称保安煤柱或保护煤柱，主要有井巷保护煤柱、建（构）筑物保护煤柱、矿井边界煤柱以及防水（沙）安全隔离煤柱等几大类。

10. 自然垮落 spontaneous collapse ，（break down）

让采空区顶板自然塌落的一种顶板管理方法。

11. 覆岩破坏“三带”‘Three Zone’ of Deformation of Strata Above an extracted Area

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”。

1）冒落带 Zone of shattered

直接位于采空区上方的顶板岩层，在自重和上覆岩层重力作用下，所受应力超过本身强度时，煤层上方的部分岩层断裂、破碎而塌落，堆积于采空区内，已塌落部分称垮落带。垮落带的下部为不规则垮落带，垮落带的上部为规则垮落带。

2）裂隙带 Zone of Fissiled

垮落带上部的岩层在重力作用下，所受应力超过本身的强度时，产生裂隙、离层及断裂，但仍保持原有的岩层层次的那部分岩层，称为断裂带。 .

3） 弯曲带 Zone of curved（Crooked）

断裂带上部的岩层在重力作用下，所受应力尚未超过岩层本身的强度，产生微小变形，但整体性未遭破坏，也未产生断裂，仅出现连续平缓的弯曲变形，称为弯曲带。

12. 地表松散层沉陷变形带Zone of Subsidence Defermation of Surface overburadn

地下煤层大面积采空后，煤层上部的岩层失去支撑，平衡条件被破坏，使岩层塌落、弯曲，引起地表松散层下沉变形或裂缝，称为地表松散层沉陷变形带。

2.1.2 采空区类型与开采方式

1. 按开采方式与顶板管理方法

1）长壁式开采 long-wall mining

工作面较长的壁式开采方式，工作面长度一般为100—300m，分走向长壁和倾向长壁。

2）短壁式开采 short-wall mining

是房柱式和长壁式的结合。采用房柱式开采出一个个的煤柱，每一个煤柱的回采是靠沿其一侧的长壁式开采方法进行。

3）巷柱式开采 roadway and pillar mining

在区段范围内,每隔10～30m沿煤层切割成10～30m的方形或矩形煤柱,然后按区段后退式开采顺序陆续回采。

4）房柱式开采 room and pillar mining

从区段平巷每隔一定距离掘出煤房进行采煤至区段上部边界,后退扩采煤房两侧煤柱的采煤方法。

5）条带式开采 partial mining

复杂地质条件下将采区分成条带的方式进行开采。分充填条带和非充填条带二大类。

6）充填式开采 filled mining

边开采边在采空区进行充填的开采工艺。

7）特殊开采 special mining

特殊开采方式包括条带式开采以及充填式开采。常用于建（构）筑物和水体下方煤柱内的保护性安全开采。

8）非充分采动 not full mining & insufficiency mining

凡是采空区的尺寸没有达到充分采动的临界值,地表下沉也未达到该地质采矿条件下应有的最大下沉值时，这种采动称为非充分采动。

9） 充分采动 full mining

充分采动是指地下煤层采出后,地表下沉值达到该地质采矿条件下应有的最大值。一般情况下，当采空区的长度和宽度均达到或超过采深的1.2-1.4倍时，地表可达到充分采动。

10） 超充分采动 super full mining & ultra full mining

凡是采空区的尺寸超过充分采动的临界值,地表下沉也达到该地质采矿条件下应有的最大下沉值并且形成平底下沉盆地时，这种采动称为超充分采动。

2. 按开采深度和厚度

1） 浅层采空区 shallow layer goaf

一般指深厚比（h/m）小于 40 的采空区。

2）中深层采空区 middle-deep layer goaf

是指深厚比大于 40，但小于 120 的采空区。

3）深层采空区 deep layer goaf

一般指深厚比大于或等于 120 的采空区。

3. 按开采时间

1） 准采区 present mining area

已经规划设计，尚未开采的采区。

2） 新采空区 new goaf

正在开采或停采时间少于一年的采空区。

3） 老采空区 old goaf

已停止开采且停采时间超过一年的采空区。

4. 按矿床赋存区的空间形态

1） 水平缓倾斜采空区 level goaf

矿层水平或倾角小于 15°的采空区。

2） 倾斜采空区 inclined goaf

矿层倾角等于 15°~75°的采空区。

3） 急倾采空区 acute inclined goaf

矿层倾角大于 75°的采空区。

2.1.3 地表移动与变形

1. 地表移动：Ground movement

地下矿层开采引起的上覆岩层自下而上直至地表产生移动、变形和破裂，地表产生的移动称为地表移动。

2. 地表移动盆地：Ground subsidence basin

地下矿层开采引起地表下沉，从而在采空区上方地面形成比采空区范围大的洼地称为地表移动盆地。

3. 移动盆地主剖面 main profile of movement basin

通过地表移动盆地的最大范围和最大下沉点所做的沿矿层走向方向或倾斜方向的垂直剖面称为地表下沉盆地主剖面。

4. 地表下沉　　surface subsidence

地表移动盆地内地表点移动矢量的垂直分量称为地表下沉。

5. 地表水平移动 surface horizontal movement

地表移动盆地内地表点移动矢量的水平分量称为地表水平移动。

6. 地表倾斜变形 surface inclined movement

地表相邻两点的不均匀下沉在地表产生两点间的相对垂直位移称为倾斜变形。

7. 地表水平变形 surface horizontal deformation

地表相邻两点的不均匀水平移动在地表产生两点间的相对水平位移称为地表水平变形。

8. 地表曲率变形 surface curvature deformation

地表相邻点间的倾斜变形不均匀产生的地表弯曲称为地表曲率变形。

9. 下沉系数 subsidence coefficient

在充分采动条件下，开采近水平煤层时地表最大下沉值与开采厚度之比。

10. 边界角　boundary angle

在充分采动或接近充分采动情况下，地表移动盆地主剖面上盆地边界点（下沉值为 10mm）至采空区边界的连线与水平线在煤柱一侧的夹角。考虑松散层时，还要根据松散层移动角确定。

11. 移动角　 displacement angle

是指在充分采动情况下，移动盆地主剖面上临界变形值的点和采空区边界连线在煤柱一侧与水平线之间所夹的锐角。

2.2 符号

2.2.1 与岩土工程有关的

BQ-岩体基本质量指标；

[BQ]- 岩体基本质量指标修正值；

Rc-岩石单轴极限抗压强度（MPa）；

Ra-混凝土或砌体的抗压强度（MPa）；

R1-混凝土的抗拉强度极限（MPa）；

Is(50)-实测的岩石点荷载强度指数；

K1-地下水影响修正指数；

K2-主要软弱结构面产状影响修正系数；

K3-初始应力状态影响修正系数；

Kv-岩体完整性系数；

Jv-岩体体积节理数；

Sn-第 n 组节理每米长测线上的条数；

Sk-每立方米岩体非成组节理条数；

Vpm-岩体弹性纵波波速；

Vpm-岩体弹性纵波波速；

Vpr-岩石弹性纵波波速；

σ_{max}-垂直动轴线方向的最大初始应力；

γ-围岩重度；

k-弹性抗力系数；

E-变形模量；

μ-泊松比；

φ-计算摩擦角；

2.2.2 与公路工程有关的

B-隧道开挖断面宽度；

W-行车道宽度；

L_L-左侧向宽度；

L_R-右侧向宽度；

C-余宽；

J-检修道宽度；

h-检修道或人行道高度；

R-人行道宽度；

H-隧道建筑限界高度；

K-围岩弹性抗力系数；

δ-衬砌位移值。

2.2.3 与采空区地表移动、变形、有关的

W-下沉（mm)；

T-倾斜(mm/m)；

K-曲率（mm / m^2)；

U-水平移动(mm/m)；

ε-水平变形(mm/m)；

q-下沉系数，与矿层倾角、开采方法和顶板管理方法有关，取 0.01~0.95

M-矿层采出厚度（m)；

r-主要影响半径（m)；

b-为水平移动系数；

δ、γ、β、φ ——分别为走向、上山、下山和松散层移动角(。)；

δ_0、γ_0、β_0 ——分别为走向、上山、下山移动边界角(。)；

H_1、 H_2、H_3、H_4、H、H_0——分别为采空区上山边界采深、下山边界采深、左边界采深、右边界采深、采空区上覆基岩的平均厚度和平均采深（m)；

W_{max}、i_{max}、k_{max}、 ε_{max}、u_{max}—分别为采空区地表最大下沉值(mm)、最大倾斜值(mm/m)、最大曲率值(mm / m^2)、最大水平变形值(mm/m)和最大水平移动值(mm)；

S_1、S_2、S_3、S_4——分别为倾斜主断面上采空区下边界、上边界、走向主剖面上采空区左边界、右边界的拐点偏距(m)：

L、ι—采空区走向、倾向计算长度（m)；

θ—开采影响传播角(o)；

T——移动延续期；

Tc——移动初始期；

Th——移动活跃期；

Hs——移动衰退期；

△T——残余移动期；

Hm——冒落带高度(m)；

H_1——裂缝带高度(m)；

Hi——建筑物基础深度(m)；

Hr——建筑物加载对地基的扰动深度(m)；

△W——剩余下沉值（mm)；

△u——剩余水平移动值（mm)；

△i——剩余倾斜变形值（mm/m)；

△k——剩余曲率变形值(mm／m^2)；

△ε——剩余水平变形值（mm/m)。

2.2.4 注浆技术参数

A——注浆浆液损耗系数；

C——注浆浆液结石率；

η——注浆浆液充填系数；

△V——采空区剩余空隙率；

V_1——浆液结石体体积。

3　采空区勘察

3.1　一般规定

3.1.1　采空区勘察阶段及其相应的工作内容和深度应与公路工程各勘察设计阶段相一致。若在施工建设过程中发生新采或复采，应及时进行补充勘察。

3.1.2　采空区勘察方法有资料收集、调查与测绘、地表变形观测、工程物探和工程钻探，并根据实际情况适当选择或综合利用上述方法，以满足采空区稳定性分析与评价的要求。

3.1.3　采空区分为准采区、新采空区和老采空区，应根据采空区的类型、规模及开采方式采取适当的勘察方法。

3.1.4　采空区勘察作为专项勘察应编制勘察大纲。

3.1.5　采空区勘察应针对收集到的矿产及其采掘资料的完整性、可靠性进行分析和验证，并充分收集和利用压覆资源、地灾评估报告等资料。

3.1.6　采空区勘察报告一般由文字说明和图表资料两部分组成，并附有必要的影像资料。文字说明应按任务要求、勘察阶段和工程项目的特点进行编写，内容应符合勘察报告的要求，结论应有充分的资料支撑。

3.1.7　对采空区内含有有害气体的专项检测与评价，应委托有相应专业资质的单位进行。

3.1.8　对大型、复杂、多层开采且破坏严重的采空区，应进行专题研究。

3.2　勘察方法

3.2.1　资料收集

1．收集区域地质勘察报告、区域水文地质报告、项目压覆资源和地灾评估报告及其相应的图纸资料。

2．收集矿区地质报告，了解矿藏的种类、分布、厚度、储量、深度和埋藏特征。

3．收集矿藏采掘工程平面图、井上井下对照图 、采区平面布置图、开采规划图以及相关的文字资料。

4．收集采空区的覆岩破坏和地表移动、变形观测资料。

5．收集采空区已有公路的勘察、设计、处治及施工资料。

3.2.2　调查与测绘

1．采空区专项调查

1） 调查矿业的经营性质、开采矿种、开采规模、开采层位、开采方式、回采率（%）、顶板管理方式及开采的起始、终止时间。

2） 调查采空区的埋深、采高、开采范围、空间形态、顶板支护方式、顶板垮落情况（冒、裂带高度和垮落物充填情况）。

3）调查采空区地下水赋存、水质和补给状况。

4）调查矿渣堆放的位置、规模及其与公路工程的位置和利害关系。

5） 调查矿区突水、冒顶和有害气体等灾害性事故情况。

6） 调查采空区地表变形程度、影响范围和地表移动盆地特征。

7） 调查采空区地表建（构）筑物的类型、基础型式、变形破坏情况及其原因。

2．区域工程地质调绘

1）调绘区内的地形地貌、地质构造、地层的时代、成因、岩性、产状及厚度分布。

2）调绘区内地下水的埋深及动态变化，采取地表水及地下水水样，进行水质分析，判定水的化学类型和腐蚀性等指标。

3）调绘区内不良地质的类型、分布范围、基本特征及其与采空区的相互关系。

3．采空区测绘

1）地表测绘：主要用于对已沉降采空区地表变形情况的勘测。通过现场测绘和描述等手段，对矿井口、巷道口及地表塌陷裂缝的形状、走向、宽度、深度等变形要素进行标定和编录，以确定采空区的地表变形范围及程度。

2）井下测绘：在有条件的矿区，应深入井下，对井口、巷道和采空区内部进行测绘，并标注巷道的断面及其支护衬砌情况和采空区顶板的垮落状况。

3.2.3　地表移动变形观测

地表移动变形观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陷落法采空区，在勘察、设计阶段宜布设变形观测网进行观测。在工期允许的前提下，至少应进行半年以上的观测。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隐蔽性和突发性，观测时间需加长，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。

移动变形观测的基本要求如下：

1．观测线宜平行和垂直路线布设，长度应超过采空区的地表变形范围。

2．观测点原则上应等间距布置，其间距可参照表 3.2.1 确定。

表 3.2.1 观测点间距参考值

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

3．观测周期可根据开采深度按表 3.2.2 确定。

表 3.2.2 观测周期取值表

采深(h)/采厚（m）	＜50	50～100	100～150	150～200	＞200
观测周期(d)	10～20	20~30	30~60	60~90	90

注：对于长壁陷落法采空区，观测周期可按表 3.2.2 确定。其它非长壁陷落法采空区，其观测周期可根据开采方式和回采率适当延长。

4．观测控制点应设在不受采空区影响的稳定区域。冻土地区控制点基底应

在冰冻线 0.5m以下。

5．变形观测点的埋设、观测等方法和精度应参照现行《工程测量规范》变形测量部分的相关要求执行。

3.2.4　工程物探

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采空区，应根据其地形条件、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）部位或多层采空区勘察时，宜采用多种物探方法进行组合勘探。

常用的工程物探方法主要有：电法、电磁法、地震勘探、测井法、重力法、放射性等。各物探方法的适用条件详见附录 B。

物探组合方法的选择，应根据地形条件、地质条件、采空区埋深及分布情况综合考虑确定，具体参照表 3.2. 3 选用最佳组合方法，其中综合测井方法可依据实际情况选择使用。

表 3.2.3 物探方法组合表

地形情况	地形平坦,较平坦				地形起伏较大	
采空区埋深(m)	≤10	10-30	30-100	≥100	≤30	>30
第一种方法	地质雷达	高密度电法	瞬变电磁	地震反射	瞬变电磁	瞬变电磁
第二种方法	高密度电法	瞬变电磁	地震反射	瞬变电磁	地震反射	地震反射
第三种方法	瞬态面波	瞬态面波	可控源音频大地电磁测深			

在有钻孔的工作区，可采用井中物探的方法进行勘探，常规的方法主要有测井、孔内电视、超声波成像测井、vsp测井及跨孔物探。

3.2.5　工程钻探

1.钻探目的与任务

1）对资料收集、调查、测绘及工程物探成果进行验证。

2）查明采空区覆岩岩性、结构特征以及采空区的分布范围、空间形态和顶底板标高。

3）查明采空区引起的垮落带（冒落带）、断裂带（裂隙带）和弯曲带的分布、埋深和发育状况。

4）查明采空区中是否赋存有害、有毒气体，如瓦斯等。

5）采取岩土样品，进行岩土物理力学性质测试，特别是采空区顶板及其上覆岩层的岩性及其物理力学性质。

6）查明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侵蚀性。

7）利用钻孔进行综合测井和跨孔物探，如常规测井、孔内电视、超声波成像测井、跨孔电磁波等探测项目。

2. 钻孔布置依据

1）资料收集的有效性分析及调查与测绘成果；

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）采空区上覆工程类型的重要程度。

3. 钻探技术要求

钻孔位置确定后，钻探施工及地质描述至关重要，地质描述除满足一般工程地质地层描述的要求外，还应重点注意采空区及其三带的描述。钻探施工要点与技术要求及三带判定依据见表 3.2.4 和 3.2.5。

表 3.2.4 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选用适合的工程地质钻机，必要时可下地锚加固钻架的稳定性。	a、一般完整地层用普通单管钻具钻进 b、软硬互层、破碎松散地层宜采用压卡式单动双管钻具钻进	a、致密稳定地层中采用清水钻进 b、为了统计地层耗水量、冲洗液消耗量，一般采用清水钻进，为处治采空区注浆量提供直接的参考	a、地下水位，标志地层界面及采空区顶、底板测量误差应在±0.05m 以内 b、取芯钻进回次进尺限制在 2.0m 以内 c、除原位测试及有特殊要求的钻孔外，钻孔均应全孔取芯，	a 现场记录应及时、准确、按回次进行，不得事后追记 b、绘制钻孔柱状图 c、描述内容应规范、完整、清晰 d、钻探野外编录或

	c、在坚硬岩层中宜采用“喷反”钻具钻进	依据 c、为保证取土质量，黄土地层可采用无冲洗液钻进	岩土的取芯率不应低于 75%，软质岩石不应低于 65% d、注意观测地下水位并进行简易水文地质观测 e、孔斜每百米应小于 1°	记录，应由专业技术人员承担，并有记录员及机长签字

表 3.2.5 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	裂隙带判定依据	弯曲带判定依据
a、突然掉钻 b、埋钻、卡钻 c、孔口水位突然消失 d、孔口吸风 e、进尺特别快 f、岩芯破碎混杂，有岩粉、淤泥、坑木等 g、打钻时有响声 h、有害气体上涌，如瓦斯	a、突然严重漏水或漏水量显著增加 b、钻孔水位明显下降 c、岩芯有纵向裂纹或陡倾角裂缝 d、钻孔有轻微吸风现象 e、有害气体上涌，如瓦斯气 f、岩芯采取率小于 75%	a、全孔返水 b、无耗水量或耗水量小 c、取芯率大于 75% d、进尺平稳 e、开采矿层岩芯完整 ，无漏水现象

3.3　勘察阶段

3.3.1　预可阶段

预可阶段勘察应符合以下要求

1.通过资料收集和采空区专项调查，初步了解公路建设范围内地质条件、矿产分布、采掘及压覆资源情况，从工程地质条件论证路线方案的可行性与合理性，研究项目区内各路线方案采空区的分布范围及工程地质特征，分析评价采空区对路线方案及工程方案的影响程度。为编制预可行性研究报告提供必要的工程地质依据。

2.本阶段以收集资料和采空区专项调查为主要工作方法，工作范围应满足预

可研究要求，勘察成果应汇总在预可研究报告中。

3.3.2　工可阶段

1．勘察目的：通过项目区内地质、矿产和采矿资料的收集以及采空区专项调查和区域工程地质调绘，初步查明公路建设范围内地质条件、矿产分布、采掘及压覆资源情况，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和影响程度，为路线走廊带及方案的比选提供依据。

2．勘察方法：以收集资料、调查与测绘为主，有条件时辅以大比例尺航卫片解译，必要时进行少量勘探工作。

3．勘察范围：沿路线方向为下伏采空区及其变形影响长度，宽度为中线两侧各 500~1000 米，同时应考虑开采规模。

4．勘察程序：首先应收集区域地质、矿产地质及其采掘资料；然后进行采空区实地调查与测绘，或进行少量勘探工作；通过对各种资料的分析研究，对采空区的种类、分布范围、埋深及其要素特征形成初步认识，定性评价采空区稳定性，为路线走廊带及方案的比选提供依据。

5．本阶段勘察成果应作为工可阶段工程地质调绘报告的主要内容，包括文字说明、采空区工程地质平面图、纵断面图及必要的图片资料。文字部分编入不良地质章节中。图件并入全线工程地质图件中。勘察精度为 1：5000~1：10000。

3.3.3　初步勘察

1．勘察目的：在可行性研究阶段勘察基础上，进一步收集地质、采矿资料，初步查明采空区水文地质及工程地质条件、采空区分布及其要素特征，并取样测试采空区破碎岩体及其上覆岩层物理力学参数，分析计算采空区地表已完成的沉陷量及剩余沉陷量，为路线方案比选、定性或半定量地评价采空区稳定性、确定采空区处治方案及处治设计提供依据。初步确定路线压覆资源范围。

2．勘察程序：首先应在路线方案走廊带内补充收集有关区域地质及采空区资料，对采空区路段进行专项调查及测绘，必要时布置观测网，对采空区进行地表变形跟踪观测。在资料收集及采空区专项调查的基础上，有针对性地布设勘探工作量，最后通过资料的综合分析，评价采空区的稳定性及其对公路工程的影响，

编制采空区勘察报告。

3．勘察范围：沿路线方向应为压伏采空区长度及其变形影响范围，横向上一般控制在路线中心两侧各 200~500 米，勘探的宽度应考虑路基的挖深、填高及采空区的埋深及其移动角的影响，同时应考虑开采规模。勘探深度应大于采空区埋深。

4．勘察方法

本阶段勘察，对于大型、正规开采的新采空区或现采空区应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，可不进行勘探工作；而老采空区和非正规开采的采空区，不具备资料收集的条件时，应侧重于采空区专项调查、物探和钻探。

1）资料收集

资料收集的主要渠道是国土资源部门、矿山管理部门、地质队和开采企业，资料收集的主要内容详见 3.2.1 节。收集到的资料应进行有效性分析：

① 收集到的区域地质及矿山资料应通过坐标转绘到路线平面图中（1：2000~1：10000），包括地质界限、矿井及采空区位置、井口位置等；

② 路线两侧 500 米以内采空区应进入专项调查阶段。

2）采空区专项调查及区域工程地质调绘

采空区专项调查及区域工程地质调绘是在资料收集的基础上展开工作。主要工作内容详见 3.3.2 第 1 条。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：

① 将调查与收集到的资料进行对比核实，完善采空区要素，并将成果绘制到路线平面图中（1：2000~1：10000），初步形成采空区工程地质平面图；

② 根据汇总的资料绘制采空区工程地质纵断面图（1:2000~1:10000）；

③ 对采空区要素进行详细描述，应根据资料的完整程度和有效性分析，明确是否继续进行勘探，并确定相应的勘探方法及工作量。

3）采空区测绘

本阶段采空区测绘以地表测绘为主，主要是在区域地质条件调绘基础上，对采空区引起的地表变形特征、范围、规模及地裂缝、塌陷、房屋裂缝等进行测绘，

并对较大裂缝及塌陷进行编号和描述，描述内容详见 3.2.2 第 2 条第 1 款；测绘成果应补充在工程地质平面图和工程地质纵断面图中。必要时应进行井下测量。

4）地表变形观测

本阶段采空区地表变形观测可根据以下情况进行：

① 当采空区为新采，其上覆工程类型为桥梁或隧道时，应建立观测网进行观测；

② 当采空区为新采，其上覆为路基工程时，宜建立观测网进行观测；

③ 当为老采空区时，其上覆工程类型为桥梁或隧道时，可建立观测网进行观测；

观测网的布设原则：应根据采空区分布范围及地表变性特征，结合工程类型确定地表变形观测断面与范围。观测网的建立除应符合指南 3.2.3 的相关要求外，尚应根据工程性质的不同满足下列要求：

a 桥梁观测网：根据桥梁孔跨，隔墩或逐墩在墩台位置上布置横向测线，一般每条测线 5 个点，其中墩台中心 1 个点，两侧 15 米各 1 个点，再向两侧延伸 30 米 1 个点，测线总长 90 米，特殊情况可适当加密。

b 隧道观测网：分离式隧道观测线沿隧道走向方向布置 5 条，左、右洞顶各 1 条，两洞之间 1 条，两洞外侧 30 米各 1 条，每条测线的第 1 个点及最后一个点应放在两端洞口附近，其余测点均匀布设，点距应根据隧道长度控制在 30—50m 之内。

c 路基观测网：可参照隧道观测网布设。

采空区变形观测资料应进行分析及整理，填写水平及垂直位移变形观测成果表，经统计分析后形成水平及垂直位移变形速率统计表，为采空区稳定性评价提供依据。观测记录表格型式参见附录A.0.2~A.0.5。

5）工程物探

① 根据任务书要求编制工程物探勘察设计书，设计书的编制应在全面收集项目区地质、地球物理、采空区专项调查及测绘等资料的基础上进行。

② 当采用物探组合方法时，应根据采空区要素特征并结合项目区地形、地质条件，选择适宜、有效的方法进行组合，可参照表 3.2.3 及附录B。

③ 测线一般平行路线布设，但应考虑工作区的区域构造走向，每个工作区

域内应不少于 3 条测线，路线中线须有 1 条测线，如果遇到区域构造走向和线路平行，应增加垂直构造的测线。物探测线有效长度应覆盖采空区长度，宽度应根据采空区埋深确定，解译深度应大于采空区以下 30~50 米。

④ 物探点、线距的选择应根据回采率确定，点距一般不宜大于 15 米，线距不大于 20 米，点、线距离可参考表 3.3.1 确定，测点精度应满足 1：1000~1：2000 平面图要求。

表 3.3.1 物探点、线距参考表

回采率（%）	点距（m）	线距（m）	备注
〈 40	2~5	5~10	
40~60（含 40）	5~10	10~15	
〉60（含 60）	10~15	15~20	

⑤ 综合测井（含孔内电视、声波探测、vsp 测井、弹性波 ct、电磁波 ct、超声成像测井）

⑥ 跨孔物探（含跨孔电磁波、地震波、声波）

根据钻孔内实际情况，采用适宜的测井方法对采空区范围内的钻孔进行探测。测井方法的选择及适用条件可参考附录B。

6）工程钻探

钻探工作在资料收集、采空区专项调查及物探成果综合分析的基础上进行，其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、取芯可直观的判定“三带”的分布，通过钻探过程发现的掉钻、塌孔、卡钻、漏浆等现象，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，同时采取气体及地下水的样本，在有条件的情况下钻孔应进行孔内测试。

（1）本阶段钻孔布置及钻探工艺应遵循以下原则：

① 应布置在地面变形较大的区域；

② 应布置在物探异常的区域；

③ 孔位应结合构造物的设置布设，尽量布置在桥梁墩台处，做到一孔多用；

④ 深度应控制在采空区（矿层）底板以下 2~3m，同时要满足构造物孔深要

求；

⑤ 在物探异常区至少布 3 孔，在调查的采空区范围内钻孔布设不宜少于 2 个，在桥梁范围内可隔墩布孔，隧道范围内视采空区规模布 3~5 孔。一般情况下，初勘阶段路基范围内钻孔间距可参考表 3.3.1 确定；

表 3.3.2　初勘阶段钻孔间距表

收集的资料完整性及有效性	较好	一般	较差
钻孔间距（m）	200~300	100~200	50~100

⑥ 孔位平面误差应小于 2 米；标高误差应小于 0.05 米。钻孔直径应满足岩芯试验、孔内测试的要求，一般不得小于 90mm。当孔深大于 50m 时，应进行孔斜测量，测斜应小于 1°/100m；

⑦ 钻孔均应全孔取样，钻探每个回次进尺不得大于 2m，岩芯采取率在“三带”深度范围内应不小于 30%，其余深度范围与现行《公路工程地质勘察规范》一致。钻探施工要点与技术要求见表 3.2.4；

⑧ 钻探地质描述除应满足一般工程地质的要求外，应重点记录采空区及其“三带”的位置和特征。具体要求见表 3.2.5；

（2）取样与试验应满足下列要求：

① 取样间距：对单层厚度在 0.5~2.0 米的地层取样 1 件；厚度大于 2.0 米时，每隔 2.0 米取样 1 件；

② 对“三带”中的样品以鉴定为主并进行详细编录，其描述内容同表 3.2.5；

③ 对其他部位的样品试验项目除常规物理性质外，土样加做剪切试验，岩石加做饱和单轴抗压强度及抗剪强度试验；

④ 对钻孔或矿井中采取的地下水应做简分析，并评价其对注浆材料的腐蚀性；

⑤ 对采空区中的有毒、有害气体应做专项测试和评价；

（3）钻孔资料整理应包括以下内容：

① 说明钻孔位置及布孔目的，当一孔多用时应说明兼作构造物的类型及规模；

② 对钻孔进行详细描述，包括孔深、岩性、岩体破碎程度、塌孔、漏浆及掉钻现象；

③ 对钻孔效果进行分析，判定矿层时代、编号、层数，并确认开采情况；

④ 绘制钻孔柱状图，将岩芯描述、物理力学指标均标注在图中；

⑤ 核实并修正已编制的工程地质纵断面图中采空区埋深。

5．采空区“三带”确定

采空区“三带”一般有两种方法确定，一是通过钻探及其岩心描述进行判断，见表 3.2.5，同时测井资料也可作为辅助手段；二是根据采厚、覆岩性质及岩层倾角进行计算。计算公式及使用条件见附录C。

3.3.4 详细勘察

1．勘察目的：详细查明采空区的规模、分布及其采空要素特征，定量评价采空区稳定性及其对公路的危害程度，为采空区处治设计及施工工艺提供准确依据，包括以下内容：

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 岩（土）体物理力学指标及构造物地基基础设计参数；

④ 有毒、有害气体的类型、强度等级及分布特征；

⑤ 采空区充水情况及地下水类型、腐蚀性等；

⑥ 提供采空区处治前地层的物理力学参数。

2．勘察程序：本阶段采空区勘察以钻探为主，辅之以必要的补充物探及调绘工作，有条件时应进行井下测量。工作程序与初步勘察基本一致，即采空区专项调查—地表变形观测—井下测量—补充物探—钻探验证—采空区稳定性分析与评价—编制采空区勘察报告的工作程序。

3．勘察范围：沿公路路线方向与初勘一致，横向上应根据初步设计阶段分析的采空区影响宽度控制。勘探深度应大于采空区底板以下 2~3m。

4．勘察方法

1）采空区专项调查

主要是对初勘采空区范围进行核实，并对两阶段相隔时间内采空区变化情况进行调查核实，调查内容与初勘一致。

2）地表变形观测

本阶段地表变形观测分两种情况：

① 线位与初勘基本一致，沿用初勘观测网，按周期持续观测。

② 线位与初勘相差较大，按初勘要求重新布置观测网进行观测。

3）采空区测绘

在本阶段采空区测绘以井下测绘为主，凡能进入的采空区（含巷道）均应进行井下测绘，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。

4）工程物探

本阶段物探工作以孔内物探（综合测井、跨孔物探）为主，包括孔内电视、声波测试等。地面物探随着钻探资料的丰富应做好二次解译工作，同时对于初步勘察以后形成的新采空区和初步勘察遗漏的采空区，必要时进行物探的补充工作，物探要求与初勘一致。

5）工程钻探

钻探是本阶段采空区勘察的主要手段，目的是加强对矿井资料及物探成果的验证，提高采空区勘察的准确性，在有条件的情况下尽可能进行孔内电视及孔内声波测试。

① 采空区钻孔应在初勘钻孔基础上结合工程类型及规模布置，初、详勘两阶段钻孔在桥梁范围内，埋深较小的采空区（小于等于 60 米），应做到每墩有孔，对于埋深较大的采空区，钻孔的数量以控制其分布为原则；隧道视采空区长度应有 3~5 孔，路基应根据采空区影响长度有 3~7 孔；

② 钻孔深度应控制在采空区（矿层）底板以下 2~3 米，同时应满足构造物孔深要求；

③ 钻孔技术要求、钻探工艺及取样、试验要求同初步设计阶段勘察；

5．采空区“三带”确定

采空区“三带”的确定与初勘一致。

3.4　采空区勘察报告编写

采空区勘察报告编写前，应对收集的资料、工程地质调绘资料、物探、钻探、地面观测、井下测量及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编写。勘察报告分说明及图表两大部分：

1 勘察说明部分包括下列内容：

1）勘察工作概况，包括勘察依据、目的、任务、时间、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）表述采空区综合勘察成果，包括资料收集、区域地质调绘、采空区测绘、物探、钻探、试验成果，确定采空区影响拟建公路的长度以及采矿层数、埋深、采厚、顶板岩性、开采时间、开采方法、回采率、顶板管理方法、塌陷情况等采空区基本要素特征；

5）提出公路预留保护带的位置、宽度及坐标，详见 5.2.1；

6）对采空区路段（含桥梁、隧道）做出适宜性评价；

7）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进行采空区稳定性分析、评价，计算剩余下沉量，评价采空区对公路工程的危害程度和危害形式（见第四章）；

8）勘察结论与建议；勘察结论应包括：采空区对拟建公路或构造物的适宜性评价，采空区影响路线的长度，其中包括路基、桥梁及隧道的影响长度，采空区剩余空洞体积，路线压覆资源的种类及范围等；建议包括提出采空区处治设计方案的建议，在可行性研究及初步设计阶段应提出路线方案比选避让建议。

9）报告附表包括：采空区调查表、采空区物探成果表、采空区钻探成果表、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及采空区剩余空洞体积一览表（A.0.1、A.0.6~A.0.10）。

2 采空区勘察报告图件部分

1）采空区工程地质平面图。除一般应有的地质内容外，重点标出路线、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，比例尺为：可行性研究阶段 1∶10000，初勘和详勘阶段 1∶1000~1∶2000。

2）采空区工程地质纵、横断面图。除一般应有的地质内容外，重点标出矿界、采空区（含巷道）位置、冒落带、裂隙带、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，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。比例尺为：可行性研究阶段 1：5000~1：10000，初勘和详勘阶段水平比例为 1：500~1：2000，垂直比例为 1:200~1:1000。

3）钻孔柱状图。要标注矿层或采空区编号，地层岩性及其物理力学性质、含水情况，划分冒落带、裂隙带及弯曲带，并对钻进速度、掉钻、漏水情况做出描述。

3 原始资料归档

1）收集的矿井资料包括文字资料及井上井下对照图、采掘平面图、矿区规划图等；

2）工程物探成果报告及原始资料；

3）岩土试验成果报告；

4）水质分析成果报告；

5）钻探记录；

6）调查记录本；

7）采空区变形观测分析报告及原始记录；

8）井下测量记录、图件及报告。

4 采空区稳定性分析与评价

4.1 一般规定

4.1.1 公路采空区稳定性分析与评价，应根据采空区勘察成果，采用定性与定量评价相结合的方法，对路线下伏采空区的稳定性及其对公路工程的影响程度进行分析评价。

4.1.2 公路采空区稳定性分析与评价应综合考虑矿层开采方式、顶板管理方式、开采时限以及采空区的类型、规模、埋深、开采深厚比和覆岩特征等因素，针对性地选用评价标准和评判方法。

4.1.3 公路采空区稳定性分析与评价分为场地稳定性评价和公路工程地基稳定性评价两部分。场地稳定性评价是以采空区地表剩余下沉量作为评价依据，公路工程地基稳定性评价是以各类工程地基容许值作为评价依据。

4.1.4 评价采空区对公路的危害程度，应结合公路等级和工程类型，根据公路的设计、施工及养护等规范要求，在确保不影响公路正常运营和使用寿命的前提下，以路基、桥梁、隧道及其它附属工程能够容许的地基变形值为标准进行评价。

4.1.5 对于公路下伏多层采空区，以及桥梁基础、隧道等重要工程穿越或压覆采空区时，应进行专题研究。

4.2 采空区稳定性评价标准

4.2.1 采空区公路场地稳定性评价标准，应根据采空区地表剩余移动变形量、采空区停采时间及其对公路工程可能造成的危害程度，划分为稳定、基本稳定、欠稳定和不稳定四个等级，分别按表 4.2.1-1～表 4.2.1-5 确定。

1. 对长壁式陷落法开采的采空区，在工可阶段，可依据场地下方工作面的停采时间，按表 4.2.1-1 初步划分场地稳定性等级；在勘察设计阶段，可依据地

表剩余移动变形值计算，按表 4.2.1-2 确定场地稳定性等级；如工期允许，应对采空区场地进行半年以上的高精度地表沉降观测，按表 4.2.1-3 确定场地稳定性等级。

2. 对于不规则开采的巷柱式和房柱式等采空区，可根据其开采深厚比按表 4.2.1-4 评价场地稳定性。

表 4.2.1-1　长壁式采空区场地稳定性等级初步评价标准

稳定等级	场地影响范围内工作面停采时间（年）		
	软弱覆岩	中硬覆岩	坚硬覆岩
稳定	＞2.0	＞3.0	＞4.0
基本稳定	1.5~2.0	2.5~3.0	3.5~4.0
欠稳定	1.0~1.5	2.0~2.5	3.0~3.5
不稳定	＜1.0	＜2.0	＜3.0

注：覆岩坚硬程度划分见附表 C.0.1-1

表 4.2.1-2 长壁式采空区公路工程场地稳定性等级评价标准

稳定等级	地表移动变形值			
	下沉量 W（mm）	倾斜 i（mm/m）	水平变形 ε（mm/m）	曲率 K(mm/m^2)
稳定	＜100	＜3.0	＜2.0	＜0.2
基本稳定	100～200	3.0～6.0	2.0～4.0	0.2～0.4
欠稳定	200～400	6.0～10.0	4.0～6.0	0.4～0.6
不稳定	＞400	＞10.0	＞6.0	＞0.6

注：地表移动变形值为建（构）筑物场地平整后的地表剩余变形移动值；

表 4.2.1-3 按地表沉降观测确定长壁式采空区公路工程场地稳定性等级评价标准

稳定等级	地表下沉量（mm）			
	1 个月	3 个月	6 个月	12 个月
稳定	＜ 5	＜ 15	＜30	＜60
基本稳定	5~10	15~30	30~90	90~180
欠稳定	10~30	30~90	90~180	180~360

不稳定	＞30	＞90	＞180	＞360

表 4.2.1-4　巷柱式和房柱式采空区场地稳定性等级评价标准

稳定等级		稳 定	基本稳定	欠稳定	不稳定
开采深厚比（H/M）	坚硬覆岩	＞180	180-160	160-100	＜100
	中硬覆岩	＞200	200-180	180-120	＜120
	软弱覆岩	＞220	220-200	200-140	＜140

3. 对巷道式小窑采空区，可采用极限平衡分析方法，计算巷道覆岩临界深度及稳定系数 F,根据巷道顶板稳定系数计算，按表 4.2.1-5 评价场地稳定性。

表 4.2.1-5　巷道式小窑采空区公路工程场地稳定性等级评价标准

稳定系数（F_S）	$F_S \geq 2.0$	$1.5 \leq F_S < 2.0$	$1.0 \leq F_S < 1.5$	$F_S < 1.0$
稳定等级	稳 定	基本稳定	欠稳定	不稳定

4.2.2　不同等级公路及工程类型对采空区地基变形容许值可参照表 4.2.2-确定。

表 4.2.2　公路工程采空区地基容许变形值

地表变形指标 / 公路工程类型			倾斜 i（mm/m）	水平变形 ε（mm/m）	曲率 K（mm/m^2）
路基	高速公路 一级公路	高级路面	4.0	3.0	0.3
	二级及二级以下公路	高级及次高级路面	4.0~6.0	3.0~4.0	0.3~0.4
		简易路面	10.0	6.0	0.6
桥梁	简支结构		3.0	2.0	0.20
	非简支结构		2.0	1.0	0.15
隧道			3.0	2.0	0.20
圬工结构物			3.0	2.0	0.20

注：对变形有严格要求的复杂结构桥梁和隧道不宜通过采空区，故上表中桥隧工程不包括连续刚构桥

及连拱隧道。

4.2.3 根据采空区场地稳定性评价结果，结合公路等级和工程类型，处治原则可按表 4.2.3 确定

表 4.2.3 采空区处治原则

工程类别		稳定等级			
		稳定	基本稳定	欠稳定	不稳定
路基	高速公路、一级公路	－	＋	＋＋	＋＋
	二级及二级以下公路	－	－	＋	＋＋
桥梁、隧道		－	＋	＋＋	＋＋
圬工结构物		－	＋	＋＋	＋＋

注：－——不处治；＋——经论证后确定是否处治；＋＋——处治

4.3 采空区稳定性评价方法

公路采空区场地稳定性评价方法主要有开采条件判别法、地表移动变形预计法、地表变形观测法、极限平衡分析法及数值模拟法等。其中前四种为常用评价方法，数值模拟法可作为评价参考。应根据采空区的类型、规模、开采方式、采深、采厚及覆岩的岩性特征等要素合理选择。

4.3.1 开采条件判别法

1．开采条件判别法适用于巷柱式采空区、不规则房柱式采空区及其它难以进行地表移动变形估算的采空区场地稳定性评价；也可用于长壁式、短壁式、房柱式等其它开采方式采空区的定性稳定性评价。

2．开采条件判别法应通过资料收集、采空区专项调查，参照地区经验，充分掌握影响采空区稳定性的相关资料，综合考虑开采深厚比、回采率、停采时间、开采方式及上覆岩层性质等因素进行判别，稳定性评价判据可参照条文说明表 4.3.2。

4.3.2 地表移动变形预计法

1．地表移动变形预计法适用于长壁式开采或经过正规设计的条带或房柱式开采的采空区场地稳定性评价。采空区地表移动变形预计宜采用概率积分法。

2．准采区应计算地表最大移动变形值，老采区和新采区应计算地表剩余移动变形值。地表剩余移动变形值可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，也可在地表移动变形预计中按下沉过程曲线扣减下沉系数，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．地表移动变形预计应根据地质采矿条件，合理地选择计算模型和计算参数。各种模型、计算参数及其计算公式可参见国家煤炭工业局制定的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》及附录。

4．地表最大移动变形值计算见附录D.0.1 及D.0.2，地表剩余移动变形值计算见附录D.0.3，地表最大下沉速度估算见附录D.0.4。

4.3.3 地表移动变形观测法

1．地表移动变形观测法适用于长壁式开采或经正规设计开采的条带或房柱式采空区场地稳定性评价。在工期允许的条件下，至少应进行半年以上的高精度地表变形观测。巷道式小窑及不规则房柱式采空区场地若采用该法进行稳定性评价时，应增长观测周期，以便获得更可靠数据。

2．采空区的观测应以沉降观测为主，水平位移观测为辅。观测点的布置、观测周期、观测等级和精度等要求，按照 3.2.3 条执行。

3．地表变形观测成果应及时整理分析，主要内容包括：计算各测点的下沉、位移及相邻点间的倾斜、曲率和水平变形值；绘制地表下沉、倾斜、曲率和水平变形曲线和最大下沉过程曲线；计算地表下沉速率，分析地表变形发展趋势，估算地表剩余移动变形量，参照表 4.2.1-3 相关标准对采空区场地稳定性作出评价。

4.3.4 极限平衡分析法

1.极限平衡分析法适用于开采范围较小，上覆岩层可形成冒落拱的近水平巷道式小窑采空区。

2．当巷道式小窑采空区位于公路路基下方时，应根据路基的填土高度计算

路堤自重荷载及行车荷载作用下，巷道顶板稳定的临界埋藏深度（H_{cr}）。

3．计算的相关参数应依据勘察成果，包括巷道的空间形态、断面、埋藏深度、上覆岩层性质及物理力学参数合理确定。

4. 计算公式见条文说明 4.3.5

4.3.5 数值模拟法

1. 数值模拟法适用于公路下伏多层采空区，以及桥梁基础、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评价，宜作为一种比较和参考性方法来应用。

2．采空区场地稳定性数值模拟分析可采用有限单元法，也可采用有限差分法、离散单元法、边界单元法，或两种以上数值模拟方法耦合使用。

3．计算单元宜采用四边形、六面体等参单元或三角形、四面体常应变单元，覆岩破坏准则可采用摩尔-库伦、德鲁克-普拉格准则，应根据公路工程及采空区空间展布形态合理确定计算范围及边界条件。

4、正确选用强度指标，宜根据测试成果、反分析和当地经验综合确定。采动岩体参数取值可参考条文说明表 4.3.5

4.4 各勘察阶段采空区稳定性评价要求

采空区稳定性评价应根据采空区类型、规模、覆岩性质及开采条件，结合公路等级及工程类型，选择适宜的方法和标准进行。采空区稳定性评价应与不同的勘察阶段相适应，并为路线走廊带、路线方案比选、采空区处治方案选择及处治设计提供依据。

4.4.1 可研勘察阶段采空区稳定性评价

可研阶段勘察工作以资料收集、工程地质调绘及采空区专项调查为主，在初步查明矿层开采方式、开采时限以及采空区的类型、规模、埋深、开采深厚比和覆岩特征等因素的前提下，宜采用开采条件判别法，参照 4.2 对采空区场地的稳定性做出初步评价，为线路走廊带及方案的比选提供依据。

4.4.2 初步勘察阶段采空区稳定性评价

初步勘察阶段已基本查明采空区类型、分布范围、覆岩性质及开采条件等稳定性评价要素和相关参数，故本阶段应在开采条件判别法做出的初步定性评价基础上，结合公路等级、公路工程类型及采空区自身特点，采用开采条件判别法与地表变形预计法、地表变形观测法等相结合的方法，计算采空区地表剩余变形量，根据 4.2 相关标准和分级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。

1．准采空区和新采空区应按下列原则进行稳定性评价：

1）长壁式垮落法采空区地表移动变形的预计，宜采用概率积分法（附录 D），也可采用地表变形观测法进行估算。需要计算的变形值包括下沉（W）、水平移动（u）、倾斜（i）、曲率（K）和水平变形（ε），以及地表变形速率，可按 4.2.1 条及 4.2.3 条所列标准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）规则的房柱式垮落法采空区、全充填法采空区、条带式充填采空区及房柱式充填采空区场地稳定性评价按本条上述规定进行验算和评价。下沉系数q的取值可按附表D.0.1-1、D.0.1-3、D.0.1-4确定。

3）不规则房柱式、巷柱式或巷道式开采的采空区，其稳定性取决于巷道顶板和老顶板及其上覆岩层厚度、岩石强度、巷道宽度及巷道之间的净距大小，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，按表 4.2.1-4 及表 4.2.1-5 评价场地的稳定性。

4）对于地表坡度大于 30° 的采空区场地，应进行采动坡体稳定性评价。评价内容不仅包括地表的移动变形，还应结合路基的填挖情况评价采动影响的边坡稳定性。

2．老采空区应按下列原则进行稳定性评价：

1）长壁式垮落法管理顶板的老采空区，当地表移动变形过程已经终止时，则属于稳定场地，可作为公路路基、桥涵、隧道及公路附属构筑物的建设场地。场地的稳定性标准可按 4.2.2 确定；当已停采的充分或者接近充分开采的采空区，若地表移动变形过程尚未终止，在无外力扰动的条件下，宜采用概率积分法或数值模拟法进行地表剩余变形值预计，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 4.2.2 评价场地的稳定性。

2）充填式开采的单一矿层老采空区，包括全充填式开采及条带式、房柱式充填开采的老空区，一般属稳定场地。

3）房柱式、巷道式开采的老采空区，经初步勘察确认巷道尚未冒落，并有较坚硬、完整的顶板或老顶时，可按表 4.1.2-4 评价其稳定性。

4.4.3 详细勘察阶段采空区稳定性评价是在公路路线方案已基本确定，并已准确查明采空区的分布、规模、覆岩特性及采空区其它要素特征，其场地稳定性评价应以定量评价为主，定性为辅。通常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，预计地表剩余变形量及变形速率，评价采空区场地稳定性以及公路工程建设的适宜性，为采空区处治方案的确定及处治设计提供可靠依据。

桥隧工程下伏采空区应进行稳定性专题研究和评价。

公路下伏存在多层采空区时，其覆岩破坏模式及地层移动变形规律非常复杂，宜采用现场地表变形观测，地表变形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，并作出评价。

5　采空区公路设计

5.1　一般规定

5.1.1　根据路网规划和路线的基本走向，综合考虑路线范围内矿区的开采现状及开采规划，协调好与矿区道路、管线及相关设施的布局；同时，根据路线的起、终点及主要控制点，处理好与矿区其它已建、在建和拟建工程之间的相互协调与衔接关系。

5.1.2　采空区公路应通过空区综合勘察、专项调查等，确定采空区的分布范围、类型和规模。在稳定性评价、处治设计的基础上，合理确定工程方案，避免因方案选择不当而诱发工程病害或其它隐患。

5.1.3　如避让方案存在明显不利因素，且工程造价与线型指标无明显优势时，应在采空区综合勘察、稳定性评价、处治设计和概算分析基础上，对公路通过和绕避采空区方案作同等深度的比较，经过综合比较后，再决定路线通过方案。

5.1.4　桥梁或隧道应尽可能避让采空区，如确实难以避让时，应尽可能考虑以高填涵路基或以深路堑方式通过；如必须采用桥梁或隧道通过时，应适当提高采空区的勘察精度和处治标准，以满足桥梁和隧道的稳定性和安全性要求。

5.1.5　以桥梁、隧道方式通过采空区时，在采空区得到有效处治的前提下，桥梁的结构和隧道的支护衬砌设计除应考虑正常的结构变形外，还应适当考虑采空区沉陷可能产生的附加变形。

5.1.6　采空区上覆路基、桥梁和隧道主体工程施工之前，应对采空区先进行处治，处治效果经检测合格后方可进行主体工程的施工。

5.1.7　高速公路、一级公路互通立体交叉和服务区不宜设置在采空区范围，

当必须设置时，应尽量避开规模大、开采深度大、变形大、地质复杂的采空区路段。

5.1.8　采空区公路建设场地的稳定性等级划分和采空区公路工程的容许变形值可按 4.2 确定。如采空区场地稳定、地表的剩余变形小于公路工程的允许变形值，则采空区可不进行处治。

5.2　路线设计

5.2.1　一般规定

1．路线方案应根据地形、地貌特征，结合对矿区工程地质和水文地质条件、山地自然灾害、筑路材料、生态环境、采空区分布、保护矿柱以及自然与人文景观等因素的综合研究，确定合理的路线线位和通过采空区的方式。

2．采空区路线设计必须贯彻执行环境保护、合理利用土地和地下矿产资源的基本国策，尽可能使路线靠近已有的或规划的保护矿柱。

3．当公路建设不可避免的要压覆矿产资源时，应根据矿种的分布、埋深、围岩的性质和公路的等级预留保护矿柱。

4．对于采用分期修建或预留改扩建的采空区高速公路，应预留足够的余地进行工程的改扩建。

5．采空区公路工程建设应重视煤矸石和尾矿等废弃物的综合利用，以改善矿区的生态环境和公路景观。

6．在保证公路工程稳定性、安全性的前提下，对路线通过采空区的方式进行路、桥、隧方案的比选和优化，在尽量满足公路工程各项技术指标的同时，采用相对节省造价的工程方案。

5.2.2　选线

1.采空区公路选线应综合考虑公路功能、等级及路线通过地区的地理、气候、自然与社会环境，采用适宜的技术标准与指标。

2．采空区公路选线应充分利用航空摄影测量，空间遥感技术及GPS、RTK技

术，大范围调查采空区的空间分布，合理确定路线走向与主要控制点。并应在资料收集和采空区专项调查的基础上，对路线方案进行深入研究和多方案的比选论证。

3. 路线应避开由于地下采空加剧和引发斜坡失稳、山体开裂的地带及其可能发生崩塌、滑坡的危害范围。

4. 路线宜避开坑洞密集、年代久远、难以查明的老采空区，以及急倾斜矿层露头与开采地带。

5. 路线不宜设在矿产开采过程中可能出现非连续变形地段，以及地表处于移动活跃阶段或移动盆地的边缘地带。

6. 路线宜绕避古墓穴、大型地窖、大型窑洞、地下工程等非矿产采空区。

7. 路线宜设在充分采动或接近充分采动的采空区地表移动盆地中部平底部位。

8. 不宜将平曲线、回头曲线及竖曲线的顶、底部设在地表变形复杂、变形剧烈或变形量较大的地方。

9. 采空区越岭路线应慎采用深路堑方案，宜与隧道方案进行比较。

10. 河谷地段的线位，若两岸分别存在不易处治的采空区和其他不良地质发育区时，应通过综合比较论证，选择合适的换岸地点，或选在危害性相对较小、处治工程费相对较低的一岸通过。

5.3　路基、路面设计

5.3.1　采空区路基、路面设计应根据采空区的分布和变形特点，结合当地资源、环境、工程地质条件及筑路材料分布，进行路基、路面的多方案设计与比选。

5.3.2　为避免桥头路基变形与采空区变形的叠加，不宜将路、桥结合点设在采空区变形和地表下沉较大的部位。

5.3.3　采空区上方的挖方路基设计，应考虑挖方后行车荷载和采空区的变形范围与特点，确保挖方路基的地基能满足各项技术指标的要求。否则，应对路基下方的采空区进行加固处治，或者采取减小挖方高度等技术措施，确保路基的安

全性和稳定性。

5.3.4　采空区上方的填方路基设计，应综合考虑行车荷载和填方路基的高度、宽度以及采空区和路基的沉降叠加因素。不满足要求时，应对采空区进行处治。

5.3.5　对于变形与位移没有达到稳定标准的采空区，应先对采空区进行有效的处治，处治后变形与位移允许值参见表 4.2.2。允许变形值达到要求后方可进行路基、路面的施工。

5.3.6　采空区路基设计应根据采空区周围的筑路材料分布和地面变形、沉降情况，路基填料的选择尽可能就近、就地取材，尽量利用符合要求的粉煤灰，煤矸石、矿渣等轻型筑路材料。

5.3.7　对于大回采率的采空区，经确认其主变形已经完成，或对于小回采率（<35%）的采空区，当采深采厚比大于 80，且上覆岩层有较坚硬岩层分布时，路基设计时可不进行采空区的专项注浆处治，可以考虑加铺土工布、土工格栅等材料，提高路基的整体稳定性，路面基层设计可采用柔性材料，以满足采空区残余沉降要求。

5.3.8　对于二级及以下等级公路，如采空区路段存在较大残余沉降，原则上可采用柔性过渡路面或简易路面，待路基沉降稳定后再考虑加铺永久性路面。

5.3.9　当挖方边坡存在巷道等小型采空区；或路基下伏采空区埋深小于 6m 时，宜采用开挖回填法进行处治。

5.3.10　当路基下伏采空区埋深在 6-20m，周围无任何建筑物时，可采用爆破回填法进行采空区处治；或采用井下复采、水诱导沉降法使采空区顶板覆岩塌落，再对塌陷区进行回填加固。

5.3.11 当路基下伏采空区埋藏浅、顶板尚未完全塌落，开采空间较大、施工安全和便利时，宜采用井下干（浆）砌支撑法对采空区进行处治。

5.3.12 当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时，可采用巷道加固法或干（浆）砌支撑法进行处治。

5.3.13 当路基下伏采空区埋深小于 10m，覆岩为破碎软岩时，可采用强夯法进行处治；对回填后的采空区或主变形已完成的处治地段，宜用强夯法加固地基。

5.3.14 位于采空塌陷区的路基，下伏矿层开采后常发生较严重的垮落，采空区充填程度较高、下部空间比较狭小，宜采用注浆法进行处治；对富水、多层小煤矿采空塌陷区，也可采用注浆法进行处治。

5.4 桥梁设计

5.4.1 采空区桥梁设计应根据采空区的类型、规模、埋深及其稳定性评价，选择适宜的方法，对桥梁下伏采空区做必要地、有效地处治。

5.4.2 必须采用桥梁通过采空区时，应选择适宜的桥型和桥跨，采空区桥梁设计宜采用简支结构。桥梁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、地基稳定性较好或基底容易得到有效处治的地方。

5.4.3 对于极不稳定采空区，应充分论证采空区的处治难度、效果和风险，进行桥型方案和路基方案同深度的经济和技术比较，尽可能选择处治难度小、处治效果好、处治费用少的通过方式与处治方案。

5.4.4 对于范围较小又不易处理的采空区，可以考虑桥梁直接跨越通过；对于范围较大且埋藏较深的采空区，可进行小跨径浅基础和大跨径深基础桥型比较。

5.4.5　当公路下伏为埋深小于 30m 的小窑采空区；或巷道和带状采空区宽度不超过 40m，周边有足够支撑条件时，宜采用桥梁或梁、板跨越采空区。

5.4.6　采空区桥梁设计宜采用轻型和耐变形的建筑材料，以减轻桥梁的自重和提高抗变形能力。

5.4.7　当采用桩基穿过埋深较浅的采空区时,应对采空区进行注浆或浆砌工程处治，以确保成桩质量，如桩底有较好持力层，宜采用崁岩桩或端承桩；对埋深较深或多层采空区，宜按摩檫桩设计。

5.4.8　当采空区无瓦斯等有害气体、顶板岩层较完整，地下水位低于采空区底板，巷道或空洞内不充水或泥时，可采用人工挖孔桩或浆砌片石砌筑后成桩。

当采空区存在瓦斯等有害气体时，上覆地层破碎、地下水丰富，应将有害气体排放完后，再进行基础施工；并应按钻孔桩基础设计，禁止使用人工挖孔桩。

5.4.9　当采空区顶板比较完整、矿洞空间大时，宜采用钢护筒成桩；当采空区上覆岩层破碎且充水，降水或注浆方法无法止水时，可采用局部封堵冲击法成桩。

5.4.10　采空区埋深大于 100m、回采率低于 35%、覆岩强度高、场地整体稳定性较好的桥位，可采用端承桩或明挖、扩大基础。

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、规模及其与隧道的空间关系，通过采空区的稳定性评价及对隧道工程的影响方式和程度，选择适宜的方法，有针对性地对采空区进行处治。

5.5.2　隧道宜选择在采空区下方，拱部距采空区底板 3 倍洞径以外，或从埋深较大的采空区上方通过；隧道洞身及顶、底板宜避开含有毒、有害气体的矿层，

难以绕避时，宜以短距离通过。

5.5.3　采空区隧道设计应将采空区处治与隧道支护设计结合起来，进行综合处治设计。当隧道洞身及顶、底板穿越采空区时，可采用回填法、浆砌支撑法对采空区进行处治；当隧道处于采空区上方时，宜采用注浆法进行处治。

5.5.4　采空区隧道宜采用分离式隧道方案，不宜采用小间距和连拱隧道方案。

5.5.5　施工期间应加强监控量测和地质超前预测预报工作，采用动态设计和信息化施工。

5.5.6　隧道顶板以上出现采空区时：

1．宜将隧道布设在采空区下方 3 倍隧道洞径以下的范围，以减小采空塌落、变形对隧道围岩稳定性的影响。经详细勘察与稳定性分析论证后，如采空区变形对隧道围岩稳定性无影响时，可按正常隧道设计。

2．当隧道位于采空区下方 2~3 倍隧道洞径范围以内时，应对隧道顶板稳定性进行分析评价。对于不稳定地段，应进行相应的加固和治理设计，以减轻采空区变形对隧道的影响。

3．隧道位于采空区下方小于 1 倍隧道洞径范围以内时，在查清隧道顶板工程地质、水文地质条件和采空区变形破坏情况的前提下，对隧道顶板岩层整体稳定性进行分析，必要时应对采空区进行处治设计，并加强隧道的支护设计。

4．隧道顶板上方 2～5m分布有采空区，且采空区赋存有毒、有害气体或积水时，应对有毒、有害气体和积水进行抽排处理，隧道原则上按Ⅴ级围岩进行支护。对地下水丰富的区域，宜采用全封闭防水措施。

5.5.7　隧道底板以下出现采空区时：

1．隧道位于采空区弯曲带时，隧道围岩因产生弯曲变形，一般不能满足隧道施工与行车安全，应对隧道底板以下的采空区进行处治。原则上对处治后的围岩按正常围岩级别支护设计。

2．隧道位于采空区裂隙带内时，应对采空区进行处治，围岩应按Ⅴ级支护设计，最低要求仰拱和二次衬砌须加配钢筋。

3．隧道位于采空区的冒落带范围时，必须对采空区及隧道围岩进行加固处治设计，隧道围岩宜按最低强度支护设计。同时，根据采空区的处治效果和监控量测数据，仰拱和二次衬砌除配钢筋或钢支撑外，必要时在垮落带的中心部位隧道底板地基考虑片石混凝土或桩基础进行处理，在侧墙和拱部可修筑厚度不小于1~2 米的浆砌片石护拱或不小于 1 米的混凝土护拱。（可放在条文中）

5.5.8　当隧道的埋深小于 40 米，并且采空区的处治费用较高时，应进行隧道明洞方案与路堑方案比选。

5.5.9　隧道顶、底板的采空区处治与隧道的施工全过程应做好监控量测。监控量测的项目和要求应严格按《公路隧道施工规范》执行。

5.5.10　经检测采空区处治效果未完全达到预期目标时，应进行补强处治或隧道结构上增强配筋等抗变形措施。

5.5.11　当隧道与采空区相交并且底板标高相近时，如采空区空间较大，在满足隧道稳定、安全的前提下，可根据隧道的建筑界限按设计明洞。

5.5.12　对于膨胀岩、盐岩等特殊岩土采空区的隧道设计，应充分考虑特殊岩土的物理性质、水理性质和工程性质。采空区处治设计和隧道围岩支护设计应充分结合围岩现场监控量测指标及工程长期变形预估等结果进行动态设计。

5.5.13　隧道顶、底板上下出现多层采空区或采空区内存在有害、有毒气体和大量的地下水时，采空区的勘察、稳定性评价与处治极其复杂，必要时应设立专题研究，以搞清采空区的空间分布与隧道工程的关系，评加采空区的变形特点与破坏模式，预测采空区垮塌破坏及其发展趋势，提出可靠的采空区处治设计方案并进行隧道结构的特殊设计。必要时增加技术设计阶段。

5.6　公路保护矿柱留设

为了确保在建和已建公路的施工及运营安全，当公路下伏或近矿产资源将被开采时，应按《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》留设公路保护矿柱，公路保护矿柱留设的计算详见附录F。

6 采空区处治设计

6.1 一般规定

6.1.1 在采空区处治设计之前，必须具备翔实的采空区勘察资料和合理的采空区稳定性评价结论。采空区的处治设计阶段应与项目的设计阶段相一致。

6.1.2 采空区的处治设计内容，除公路主体工程（如桥梁、隧道、路基）压覆的采空区外，还应包括公路附属工程（如收费站、服务区、运输管理站等）所压覆的采空区，与采空区相伴生的巷道、废弃的矿井、地裂缝及塌陷坑也应包括在采空区处治设计范围之内。

6.1.3 对公路采空区进行稳定性评价后，依据采空区规模、公路等级及构造物特点，对不满足公路建设要求的采空区应进行处治。处治效果经检测符合要求后，方可进行主体工程施工。

6.1.4 采空区处治设计，应根据采空区场地稳定性评价结果，结合公路等级及工程类型，按表 6.2.1 确定是否需要处治。

表 6.2.1 采空区处治原则一览表

工程类别		稳定性等级			
		稳定	基本稳定	欠稳定	不稳定
路基	高速、一级公路	－	－	＋＋	＋＋
	二级及以下公路	－	－	＋	＋＋
桥梁、隧道		－	＋＋	＋＋	＋＋
砖混结构建筑物		－	－	＋＋	＋＋

注：－——不处治；＋——经论证后确定是否处治；＋＋——处治

6.1.5采空区经处治后，场地稳定性及地基变形满足公路工程建设的要求，且保证在公路设计使用年限内，不发生超过公路工程规定的地基允许变形界限值的变形和破

坏。

6.2 注浆法

6.2.1 适用条件

1. 注浆法适用于矿层开采后覆岩发生了较严重的垮塌、滑落或经稳定性评价处于欠稳定或不稳定的地段，主要用于处治公路路基部位的采空塌陷区。对于桥梁、隧道等构造物，应尽可能避开采空区；如无法完全避让，则应提高采空区注浆设计标准。

2. 对于地质采矿条件复杂地区，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。

3. 如果所处治的采空区临近生产的矿井巷道，则应和矿方进行协调，在井下修建止浆墙，以避免浆液直接进入井下巷道，影响矿山的安全生产；如果所处治的采空区临近废弃的矿井巷道，则也应在巷道中修建止浆墙，以避免大量浆液的流失，影响处治效果，节省工程投资。

6.2.2 处治范围的确定

1. 公路采空区注浆处治的范围包括治理的长度（沿公路中线方向）、宽度（垂直公路中线方向）和深度。注浆范围的确定与采空区的分布、埋藏深度以及上覆岩性等因素有关。

2. 采空区处治宽度的确定

采空区处治的宽度由路基或桥隧宽度、围护带宽度、采空区覆岩移动的影响宽度三部分组成。采空区覆岩移动的影响宽度参照以下方法确定。

（1）计算公式

① 对于水平矿层，其计算公式如下(参见图 6.2.2-1)：

$$B = D + 2d + 2(h\cot\varphi + H\cot\delta) \qquad (6.2.2\text{-}1)$$

式中：B——采空区处治宽度（m）；

D——路基范围或桥隧的宽度（m）；

d——公路围护带的宽度（m）；

h——地表松散层厚度（m）；

H——采空区上覆岩层厚度（m）；

φ——地表松散层移动角；

δ——走向方向采空区上覆岩层移动影响角。

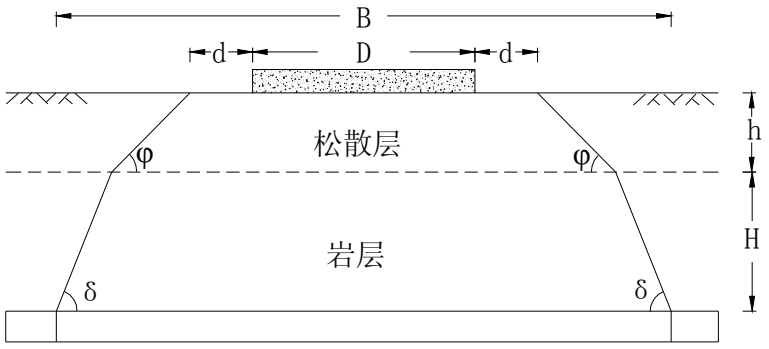


图 6.2.2-1　水平矿层处治宽度计算简图

②　对于倾斜矿层，且路线与矿层走向垂直时，路线上每点的宽度按水平矿层的公式计算。

③　对于倾斜矿层，且路线与岩层走向平行时，其计算公式如下（参见图 6.2.2-2）：

$$B = D + 2d + 2h\cot\varphi + H_1\cot\beta + H_2\cot\gamma \qquad (6.2.2\text{-}2)$$

式中：H_1、H_2——分别为采空区上山和下山边界上覆岩层厚度（m）；

β——采空区下山方向上覆岩层移动影响角；

γ——采空区上山方向上覆岩层移动影响角；

其它符号意义同前。

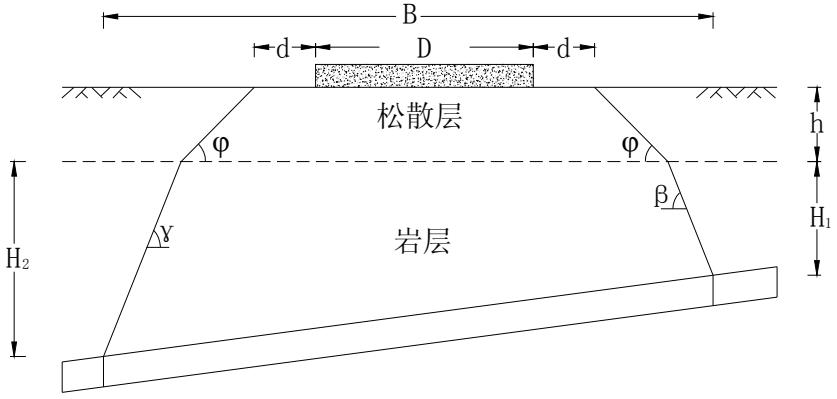


图 6.2.2-2　倾斜矿层且路线与矿层走向平行处治宽度计算示意图

④ 对于倾斜矿层，且路线与矿层走向斜交时，其计算公式如下：

$$B = D + 2d + 2h\cot\varphi + H_1\cot\beta' + H_2\cot\gamma' \qquad (6.2.2\text{-}3)$$

其中：

$$\cot\beta' = \sqrt{\cot^2\beta\cos^2\theta + \cot^2\delta\sin^2\theta}$$

$$\cot\gamma' = \sqrt{\cot^2\gamma\cos^2\theta + \cot^2\delta\sin^2\theta}$$

式中：β'——采空区下山方向上覆岩层斜交移动影响角；

γ'——采空区上山方向上覆岩层斜交移动影响角；

θ为维护带边界与矿层倾向线之间所夹的锐角；

其他符号意义同前。

（2） 路基或桥隧的宽度确定：路堤部分以公路两侧路堤坡脚为界；路堑部分以两侧堑顶边界为界；桥梁以桥宽为界；隧道以其设计净宽为界。

（3） 围护带宽度的确定参照表 6.2.2-3。

表 6.2.2-3 公路围护带宽度参照值

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	高速公路路基	10
III	一级及以下公路路基	5~10

（4） 采空区覆岩移动的影响范围与矿山开采方式、回采率、开采深厚比、覆岩的软硬程度以及矿山开采时间等因素有关。根据以往公路采空区处治经验，基岩移动影响角取值参照表 6.2.2-4，松散层移动角取值参照表 6.2.2-5。

表 6.2.2-4 公路采空区影响宽度基岩移动影响角（γ、δ）参照值

采空区类型	基岩移动影响角					
	新（准）采空区			老采空区		
采区回采率	<40%	40%~60%	>60%	<40%	40%~60%	>60%
坚硬覆岩 Rc＞60MPa	78~83°	76~82°	75~80°	85~88°	82~86°	80~85°
中硬覆岩 Rc=30MPa~60MPa	73~78°	72~76°	70~75°	80~85°	77~82°	75~80°
软弱覆岩 Rc＜30MPa	64~73°	62~72°	60~70°	75~80°	72~77°	70~75°

注：（1）Rc 为岩石单轴抗压强度。表中数据为水平矿层走向移动影响角 δ 和倾斜矿层上山移动影响角 γ 的取值。倾斜矿层倾向下山移动影响角 β = δ -k α，式中 α 为矿层倾角（°）；k 为常数：坚硬覆岩 k=0.7~0.8，中硬覆岩 k=0.6~0.7，软弱覆岩 k=0.3~0.5。

（2）本表适用于地形较为平坦，地表倾角小于 15° 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，此时移动影响角 δ（γ）应减小 10~15°，坡角愈大，减值愈大。

（3）取值时应考虑开采深厚比对移动角的影响。当开采深厚比大时，移动影响角取大值；开采深厚比小时，移动影响角取小值。

表 6.2.2-5 公路采空区影响宽度松散层移动角（φ）参照值

松散层厚度 h（m）	松散层移动角		
	干燥、不含水	含水较强	含流砂层
＜40	50°	45°	30°
40~60	55°	50°	35°
＞60	60°	55°	40°

3. 采空区处治长度的确定

采空区处治的长度为公路下伏采空区的实际长度及覆岩移动影响范围之和，其计算公式如下（参见图 6.2.2-3）：

$$L = L_0 + 2h\cot\varphi + H_1\cot\beta + H_2 cot\gamma \qquad (6.2.2\text{-}4)$$

式中：L——采空区治理长度(m)；

H_1、H_2——采空区上山和下山上覆岩层厚度(m)；

γ、β——矿层上山和下山方向岩层移动影响角；

φ——松散层移动角；

L_0——沿公路中线方向采空区长度(m)。

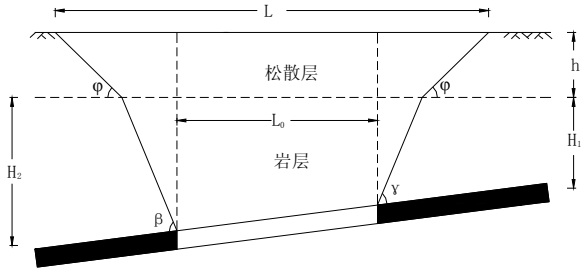


图 6.2.2-3　采空区处治长度计算简图

4. 采空区处治深度的确定

（1）当处治范围位于采空区边界以内时，其处治深度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岩层移动影响范围以内时，其处治深度按以下公式计算（参照图 6.2.2-4）：

$$h = H - L\tan\delta \qquad (6.2.2\text{-}5)$$

式中：

h——采空区处治深度（m）；

H——采空区埋深(m)；

L——注浆孔距采空区边界的距离(m)；

δ——矿层移动影响角。

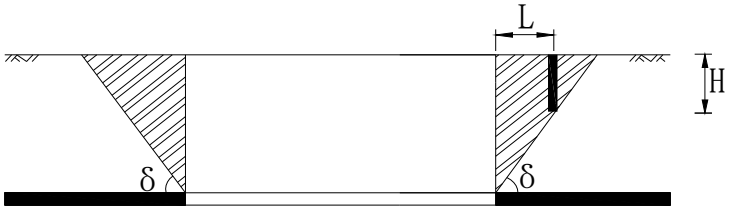


图 6.2.2-4 采空区外侧处治深度计算简图

6.2.3　注浆孔布设

1. 帷幕孔布设

采空区处治范围的边缘部位应布设帷幕孔，以防止浆液的大量流失，其孔间距一般取 10±5m。

2. 注浆孔布设

注浆孔宜采用梅花型布设方式，其排距、孔间距一般经现场试验确定。当无法进行现场试验时，宜根据采矿方法、覆岩地层结构及岩性、回采率、顶板管理方法、冒落带和裂隙带的空隙、裂隙之间的连通性，并参照表 6.2.3-1 的经验值设计。

表 6.2.3-1 注浆孔排距和孔距经验值一览表

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，回采率大于等于 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，回采率大于等于 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

6.2.4　钻孔结构设计

1. 孔深

当注浆孔、帷幕孔位于采空区边界范围以内时，原则上应钻至采空区底板以下 1m 处；当注浆孔、帷幕孔位于采空区边界外侧至岩层移动影响范围以内时，孔深可根据公式 6.2.2-5 计算确定。

2. 孔径

钻孔开孔孔径宜控制在 130～150mm 之间，经一次或两次变径后，终孔孔径不应小于 91mm。

3. 变径位置

注浆孔和帷幕孔均应进入完整基岩 4~6m 处变径。

4. 取芯孔

取芯孔的数量应为注浆孔、帷幕孔总数的 3～5%。采空区部位岩芯采取率不应小于 30%；其它部位岩芯采取率不应小于 60%。

5. 钻孔测斜

钻孔每 50m 测斜一次，每百米孔斜不应超过 1°。

6. 注浆管材料与管径

一般应选用直径不小于Φ50mm 的钢管，需投入骨料时，管径不应小于Φ89mm。当采空区处治深度小于 50m 时，也可采用Φ50mm 的 PVC 管或 PE 管。

6.2.5 注浆材料与配比

1. 注浆材料的选择

（1）采空区注浆一般采用水泥、粉煤灰、粘土等材料进行充填。当受注采空区空洞和裂隙发育，尤其地下水流速较大（大于 200m/h）时，为节省注浆材料，通常先灌注砂、砾石、石屑、矿渣等骨料，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。

（2）在注浆过程中，可根据需要加入一定量的添加剂（如水玻璃、三乙醇胺）来改变浆液性能，缩短凝结时间。

（3）对注浆原材料的规格要求见表 6.2.5-1。

表 6.2.5-1 注浆材料的规格要求

序号	原　料	规　格　要　求
1	水	应符合拌制混凝土用水要求，其 PH 值大于 4
2	水泥	强度等级不低于 32.5 级，选用普通硅酸盐水泥。
3	粉煤灰	应符合国家二、三级质量标准
4	粘性土	塑性指数不宜小于 14，粘粒含量不宜低于 25%，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. 注浆材料配比

（1）注浆材料的配比一般应通过现场试验确定。浆液的浓度使用，应由稀到浓，其水固比（重量比）一般取 1∶1.0～ 1∶1. 3。

（2）当处治公路路基下伏采空区时，水泥宜占固相的 15%，粉煤灰或粘性土占固相的 85 %；当处治桥梁、隧道下伏采空区时，水泥宜占固相的 30%，粉煤灰或粘性土占固相的 70%。

3. 注浆材料用量计算

水泥粉煤灰浆和水泥粘土浆中各物料用量计算公式为：

$$W_C = \alpha \frac{V_g}{\frac{\alpha}{d_c} + \frac{\beta}{d_e} + \frac{\gamma}{d_w}}$$

（6.2.5-1）

$$W_e = \beta \frac{V_g}{\frac{\alpha}{d_c} + \frac{\beta}{d_e} + \frac{\gamma}{d_w}}$$

（6.2.5-2）

$$W_w = \gamma \frac{V_g}{\frac{\alpha}{d_c} + \frac{\beta}{d_e} + \frac{\gamma}{d_w}}$$

（6.2.5-3）

式中：W_C——浆液中水泥的重量（kg）；

W_e——浆液中粘性土（或粉煤灰）的重量（kg）；

W_w——浆液中水的重量（kg）；

V_g——水泥浆体积（L）；

α——浆液中水泥所占重量比例；

β——浆液中粘性土（或粉煤灰）所占重量比例；

γ——浆液中水所占重量比例；

d_c——水泥相对密度（kg/L），通常取 3；

d_e——粘性土（或粉煤灰）相对密度（kg/L）；

d_w——水的相对密度（kg/L）。

6.2.6　注浆参数

1.注浆压力

注浆压力是控制注浆质量、提高注浆效果的重要因素，一般应通过现场注浆试验确定。根据以往公路采空区处治经验，公路路基下伏采空区处治孔口结束压力宜控制在 1.0~1.5MPa，桥隧下伏采空区处治孔口结束压力宜控制在 2~3MPa。

2.结束吸浆量

一般来说，在注浆压力达到设计值（结束压力）时，结束吸浆量越小工程质量越好。根据公路系统采空区注浆处治的实践经验，结束吸浆量小于 70 L/min 为宜。

3.浆液结石体强度

公路路基下伏采空区处治浆液结石体的单轴抗压强度应介于 0.6-1.0Mpa，桥梁、隧道等构筑物下伏采空区处治浆液结石体的单轴抗压强度应介于 2.0-3.0 MPa。

4.充填率

公路路基下伏采空区处治充填率应达到 80~85%，桥梁、隧道等构筑物下伏采空区处治充填率应达到 90~95%。

6.2.7　注浆量计算

1. 注浆总量计算

注浆总量计算公式如下：

$$Q_{总}=\frac{A\cdot S\cdot M\cdot K\cdot \Delta V\cdot \eta}{c\cdot \cos\alpha} \quad (6.2.7\text{-}1)$$

式中：$Q_{总}$——采空区注浆总量（m^3）；

S——采空区处治面积（m^2）；

M——矿层平均采出厚度（m）；

ΔV——采空区剩余空隙率（%）；

K——回采率（%），一般通过实际调查确定；

A——浆液损耗系数，取值在 1.0-1.2 之间；

η——充填率（%），取值在 80-95%之间。

c——浆液结石率（%），一般经试验确定，取值在 70-95%之间；

α——岩层倾角。

2. 单孔注浆量计算

单孔注浆量计算公式如下：

$$Q_{单}=\frac{A\cdot\pi\cdot R^2\cdot M\cdot\Delta V\cdot\eta}{c\cdot\cos\alpha} \qquad (6.2.7\text{-}2)$$

式中：$Q_{单}$——单孔注浆量（m^3）；

R——浆液有效扩散半径（m），按孔距的一半计算；

其他符号意义同前。

3. 采空区剩余空隙率的确定

该值可通过以下三种方式确定：

（1）利用矿山已有的沉降及采空区观测资料：即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，然后用两者的差值与地面的最大沉降量之比来估算。

（2）利用采空区勘察孔内空洞和裂隙的统计资料：即通过孔内空洞和裂隙发育的平均高度与矿层开采厚度之比来估算。

（3）利用地区已有的工程资料：一般情况下闭矿时间在 5 年之内，取值在 0.3～1.0 之间；闭矿时间在 5 年以上，取值在 0.2～0.5 之间。当采空区的顶板和覆岩为较坚硬的岩石时，取值宜稍大。

6.2.8　注浆施工工艺设计

1. 施工顺序

注浆施工时，应先施工边缘帷幕孔，以形成有效的止浆帷幕，阻挡浆液的外

流，后施工中间注浆孔。钻孔应分序次间隔进行，一般分二~三个序次成孔，一序次孔对采空区可以起到补勘的作用，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，以弥补均匀布孔设计的不足。注浆工作也应间隔式分序次进行，一序次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，从而提高充填率。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．施工工艺

（1）当采空区为单层采空区时，宜采用一次成孔、自下到上，一次全灌注施工。

（2）当采空区为多层采空区时，如矿层间隔较小，各矿层冒落裂隙带互相贯通，宜采用上行法注浆施工工艺，一次成孔、自下到上，一次全灌注施工。

（3）当采空区为多层采空区时，如矿层间隔较大，各矿层冒落裂隙带没有互相贯通，宜采用下行法注浆施工工艺，自上到下，分段成孔、分段注浆。

6.3 其它处治设计方法

6.3.1　干（浆）砌支撑法

1 适用条件

1）适用于采空区未完全塌落、空间较大、埋深浅、通风良好，并具备人工作业和材料运输条件的采空区治理。

2）适用于隧道穿越采空区时，使用浆砌片石加固隧道顶、底部和侧墙。

3）适用于正在使用的巷道进行帷幕止浆。

2 处治范围

经过稳定性评价后，对需要采用干（浆）砌支撑法处治的采空区可根据适用条件来确定处治范围。

1）对适用条件 1）的处治范围按第 6.2.2 条执行；

2）对适用条件 2）的处治长度为隧道轴向采空区实际分布长度，处治宽度为B_1；

$$B_1=B+2\times B_2 \qquad (6.3.1\text{-}1)$$

式中：B_1 —采空区处治宽度（m）；

B—隧道的开挖断面宽度(m)；

B_2=2～3m。

3 材料要求

一般砌筑材料以片石为主。路基可采用干砌片石和砂土，构造物地段采用浆砌片石处治，干（浆）砌材料要求见表 6.3.1-1。

表 6.3.1-1 干（浆）砌材料要求

材料种类 工程类型	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
桥隧底板 3m 以下或隧道顶板 3-6m 以上	≥M10	≥M10	≥C15
路基基底 3-6m 以下	≥M7.5	≥M7.5	≥C10
帷幕止浆	≥M7.5		≥C10

隧道顶部采用浆砌片(块)石和片(块)石混凝土填充后，需用锚杆进行锚固连接，防止掉落。

4 设计

根据采空区处治范围和不同的砌筑方法进行计算，一般分为全部砌筑和部分砌筑支撑。

1）全部回填支撑

$Q_{总}=S\times M\times \xi$　　（6.3.1-2）

2）部分回填（墙柱式）支撑

墙柱式之间的距离需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（见稳定性评价）或类比法确定。

墙柱体高度（包括为帷幕止浆墙厚），一般不小于 2m。

$Q_{总}= S_1\times M \times S / \Delta S$　　（6.3.1-3）

或$Q_{总}=L_0\times M\times B_2\times 2$　　（6.3.1-4）

$Q_{总}=L_0\times M\times B_2$　　（6.3.1-5）

其中 式 6.3.1-3 适用于适用条件 1），式 6.3.1-4 适用于适用条件 2），式 6.3.1-5 适用于适用条件 3）

式中：

$Q_{总}$—回填浆砌片石的量(m^3)；

S—根据处治范围，在井下测量的实际空洞的面积(m^2)；

M—采空区平均高度(m)；

ξ—塌落影响系数：一般取 0.9-1.0。

B_1—采空区处治宽度（m)；

B_2=2～3m。

L_0—隧道穿越采空区的长度或止浆墙的长度(m)。

ΔS—单墙或单柱处治的有效面积。

墙式：$\Delta S= B_1 \times L_1$

柱式：$S_1= 1.13^2 \times L_1 \times L_1$

S_1—单墙或单柱的平均面积(m^2)：

墙式：$S_1= B_2 \times B_1$

柱式：$S_1= B_2 \times B_2$

L_1—墙顶中线之间距离或柱顶中心之间距离(m)。

6.3.2　开挖回填方法

1　适用条件

1）适用于挖方边坡内规模较小的采空区或巷道。

2）开挖法一般适用于埋深小于 6m 的采空区，上覆顶板完整性差，岩体强度低，易开挖。

3）爆破法一般适用于埋深 6-20m 的采空区，周围无任何建筑物，可采用爆破采空区顶板，然后采用强夯或重锤夯实，待地基稳定后再开始公路施工。

2 处治范围

经过稳定性评价后，对公路工程下伏采空区采用开挖回填的处治范围按第 6.2.2 条执行；路基挖方边坡的处治范围为边坡外 2-3m。

3 材料要求

1）回填材料应均匀、密实，并符合表 6.3.2-1 的规定

表 6.3.2-1 回填材料强度要求

公路等级	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
填料最小强度（CBR）（%）	3	2	2

2）回填材料应优先选用级配较好的砾类土、砂类土等粗粒土作为填料，填料最大粒径应小于 150mm。

3）泥炭、淤泥、冻土、强膨胀土、有机质土及易溶盐超过允许含量的土等，不得直接用于填筑路基。确需使用时，必须采取技术措施进行处治，试验满足设计要求后方可使用。

4 设计

1）采空区开挖坡度应按照《公路路基设计规范》（JTG D30-2004）第 3.4 节和第 3.7 节相关规定执行。

2）回填材料

① 回填材料应分层铺筑，均匀压实，压实度不小于表 6.3.2-2 的规定，并根据填土高度须满足《公路路基设计规范》（JTG D30-2004）第 3.2 节、第 3.3 节、第 3.5 节和第 3.6 节相关规定执行。

表 6.3.2-2 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

② 回填石料，应分别采用不同的填筑层厚和压实控制标准，回填石料的压实质量标准宜用孔隙率作为控制指标，并符合表 6.3.2-3 的要求。

表 6.3.2-3 回填石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^3)	孔隙率(%)

硬质岩	≤600	小于层厚 2/3	由试验确定	≥25
中硬岩	≤500	小于层厚 2/3	由试验确定	≥24
软质岩	≤400	小于层厚	由试验确定	≥22

③ 填石料的压实质量宜采用施工参数（压实功率、碾压速度、压实遍数、铺筑层厚等）与压实质量检测联合控制。

④ 填石料压实质量可以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。

3）工程量计算

$Q_{总}=S\times(M\times\rho+h)/\psi$　　（6.3.2-1）

式中：

$Q_{总}$—开挖后需的回填量(m^3)；

S—采空区处治面积(m^2)；

处治路基下伏采空区为 $S=L_0\times B_1$

L_0—采空区处治长度（m）；

B_1—采空区处治宽度（m）；

处治路基挖方边坡采空区：$S=L_0\times B_2$

B_2=2-3m

M—采空区的平均高度(m)；

ρ—矿层回采率；

h—松散层平均高度(m)；

ψ—夯实系数：根据上覆密实度进行取值，一般为 ψ=0.85-0.95。

6.3.3　巷道加固法

1　适用条件

适用于正在使用的生产、通风和运输巷道；或废弃巷道的结构不能保证上覆公路工程安全而需要进行加固处治。

2　处治范围

经过稳定性评价后，对公路工程下伏采空区采用巷道加固的范围按 6.2.2

执行。

3　设计

1）　正在使用的巷道

为保证正在使用的巷道和上覆公路工程的稳定与安全，在不影响巷道使用功能的情况下，按照现现行《公路隧道设计规范》（JTG D70-2004）第 3.6 节、第 8.2 节和第 8.3 节的相关规定对巷道进行加固设计。

2）　废弃的巷道

废弃的巷道可根据巷道的现状和条件，采用注浆或干（浆）砌支撑、开挖回填方法进行处治，处治应按照所采用的方法进行设计。

3）　工程量计算

（1）　正在使用的巷道

按照巷道加固工程计算工程量。

（2）　废弃的巷道

按照所采用的处治方法计算工程量。

6.3.4　强夯法

1　适用条件

1）一般适用于采空区埋深小于 10m，上覆顶板完整性差，岩体强度低的地段。

2）适用于爆破、开挖回填后或者变形基本完成的采空区地段，采用强夯对地基进行加固。

3）适用于采空区外地表裂缝区的地表处治。

2　处治范围

经过稳定性评价后，对公路工程下伏采空区采用强夯方法处治，处治范围可根据适用条件确定。

1）对适用条件 1）的处治范围按第 6.2.2 条执行；

2）对适用条件 2）、3）的处治长度为公路中线采空区实际分布长度，处治宽度为B_1

$$B_1=B_0+2\times L_2 \qquad (6.3.4\text{-}1)$$

式中：B_1 —采空区处治宽度（m）；

B_0—路基的底宽(m)；

L_2—超出路基底宽强夯的范围，一般取L_2=3-5m。

3　设计

1）强夯法的处治深度应根据现场试夯或当地经验确定。在缺少试验资料或经验时可参考表 6.3.4-1 预估。

表 6.3.4-1 强夯法的影响深度

单击夯击能 （kN·m）	处治深度 （m）
1000	5.0～6.0
2000	6.0～7.0
3000	7.0～8.0
4000	8.0～9.0
5000	9.0～9.5
6000	9.5～10.0
8000	10.0～10.5

2 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，并应同时满足下列条件：

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 4000 kN·m 时为 50mm；当单击夯击能小于 5000 kN·m 时为 100mm；当单击夯击能小于 6000 kN·m 时为 200mm。

2）　夯坑周围地面不应过大的隆起。

3）当夯坑过深时，应回填后再进行强夯，不要因过深发生提锤困难。

3 采空区采厚相对较厚时，可先进行堆载一定高度后，再进行强夯，以防止夯机滑落到夯坑。

4 工程量计算

$Q_{总}=S\times(M\times\rho+h)\times(1-\psi)$　　（6.3.4-1）

$Q_{总}=S\times h\times(1-\psi)$　　（6.3.4-2）

式中：$Q_{总}$—强夯需增加的回填量(m^3)；

M—处治范围内空洞的平均高度(m)；

ρ—矿层回采率；

h—采空区上覆松散层的高度(m)；

ψ—夯实系数：根据上覆密实度进行取值，一般为ψ=0.85-0.95。

式 6.7.4-1 适用适用条件 1)，式 6.7.4-2 适用适用条件 2）3)。

S—采空区处治面积(m^2)；

$S=L_0 \times B_1$；（6.3.4-3）

L_0—采空区处治长度（m)；

B1 —采空区处治宽度（m)；

6.3.5　跨越法（直接跨越、多孔径跨越、盖板）

1 适用条件

1）采用桩基工程穿过浅埋小煤窑采空区（埋深不超过 30m)。

2）采用桥梁跨越巷道和带状采空区（宽度不超过 40m)，或采用梁、板跨越巷道和带状采空区（宽度不超过 5m)。

2 设计

1）采用桥梁跨越可参考桥梁设计的相应规范进行设计，并应优先采用简支梁结构或小跨径的梁桥。

2）采用桩基桥梁跨越采空区时，应计算桩基和承台的稳定性，桩基底必须放在稳定地层，并且桩基顶放在移动角范围外，距移动角两倍桩径。

3）采用桩基穿过采空区时，应对桩基 2m 范围内采空区进行注浆或浆砌工程处治。

4）梁、板需放在稳定岩土地层上，可根据路基的受力情况分别安放在路基上或路基下，也可综合使用。

7　采空区处治施工

7.1　一般规定

7.1.1 采空区处治工程施工前，应充分熟悉勘察设计文件，认真编制施工组织设计。

7.1.2　在对已有地质、水文、采矿资料分析研究的基础上，通过现场调查，核实勘察报告中的相关内容，若存在新采和复采情况，应及时通知业主和设计单位，做好动态设计与优化设计工作。

7.1.3　采用注浆法处治采空区时，应根据采空区覆岩厚度及其完整性，冒落带和裂隙带的发育程度，采空区空洞的连通性等特征，选择适当的成孔和注浆施工工艺，在缺乏经验的地区，应选择有代表性的区域进行现场试验。

7.1.4　采用注浆法以外的其它方法处治采空区时，除应遵循国家及部颁的相关施工技术规范，尚应针对采空区的具体特征，采取针对性的工艺技术措施。

7.1.5　各类施工机械和设备应按施工组织设计的要求配置，并按现场试验的结果进行调整。

7.1.6　提高环保意识，加强环保教育，制定完善的环保措施并认真实施，切实执行国家有关环保法规。

7.2　注浆法施工

7.2.1　施工准备

1．施工机械设备

采空区注浆处治施工所用的机械设备主要有钻机、搅拌机、注浆泵、输浆管、注浆管、止浆塞和压力表等，各类施工设备应相互配套。其基本要求如下：

1）　应根据采空区的埋深、覆岩岩性、注浆孔或帷幕孔的结构等要求，选择合适的成孔设备。

2）　搅拌机的转速应与所搅拌浆液类型相适应，拌和能力应与注浆泵排量相

适应。

3） 注浆泵应与浆液类型、浓度相适应，且每个浆站应不少于 2 台，其最大排浆量应满足采空区注浆和施工进度的需要；最大泵压不宜小于 4MPa。

4） 输浆管宜采用无缝钢管或高压胶管，注浆管应采用无缝钢管，管路各部分必须能承受最大设计注浆压力的 1.5～2 倍，尽量不变径或少变径，不得在弯曲处变径，防止增加流阻和造成堵塞；接头易拆卸并密封，接头和注浆管的外径应相同。

5） 注浆泵及孔口处必须安装压力表，使用压力宜在压力表最大标值的 1/4～3/4 之间。压力表应经常进行检定，压力表与管路之间应设有隔浆装置。

6） 止浆塞应与注浆方式、注浆压力、地质条件相适应，具有良好的膨胀和耐压性能，易于安装和拆卸。

7） 其它如测斜仪等测量设备，其技术性能应符合有关规定，并达到操作简单、计量准确。

2. 试验室及设备

1） 项目部应设立工地试验室，施工单位应具备满足该项目试验检测所需的仪器、设备及人员，有关要求按现行《公路水运工程试验检测管理办法》执行。

2）试验室应设在注浆站附近，应有试块养生池、试验工作台及各种所需基本浆液测定仪器。

3. 注浆站

1）采空区注浆工程应采用集中浆站制浆，浆站应设在工程区的中部。对于规模较大的采空区，可分段建立注浆站，每个注浆站与最远的注浆孔距离宜小于 300m。浆站的制浆能力应满足注浆高峰期各注浆孔的用浆需要。

2）注浆工程所用水、电等应设置专用管路和线路，保证满足施工的正常需求。

3）浆站应设置排水沟排除废水，废水排放应符合环保要求。

4）水泥粉煤灰浆液必须两级搅拌，两个(一、二级)搅拌机之间要有高差，便于放浆、过滤杂物，放浆门应启闭方便，不易堵塞，不宜采用闸阀开关。

5）注浆泵的易损件，尤其是钢球，阀座，缸套，活塞、拉杆等应有足够的备用件。

6）注浆站输浆管路应少设置弯头，设备及管路排列应紧凑，便于操作和管理。

4. 注浆材料

1）注浆用水泥必须符合质量标准，不得使用受潮结块的水泥。

2）粉煤灰质量等级应符合设计要求，料场应加以围护，并做好防尘措施。

3）注浆用水应符合拌制混凝土用水的要求。

5. 控制点设置

测量控制点应设置在采空区影响范围之外，并做好防护，以便准确测放施工孔和进行沉降观测。

7.2.2 注浆孔施工及浇铸孔口管

1．钻孔施工

1）注浆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。钻机安装必须水平稳固，钻进时可使用钻铤或其它导向措施，防止孔斜偏大。当采用冲击式钻进时，应加强钻孔裂隙的冲洗。检查孔施工必须采用回转式取芯率高的钻机。

2）钻孔与设计孔位的偏差应小于 0.5m，特殊孔位偏差应小于 0.1 m，当钻机难于在设计孔位安装施工时，应报设计和监理同意后方可移动孔位。

3）钻孔钻进过程中，必须进行孔斜测量，孔斜超过设计要求时，应及时纠正或采取补救措施。

4）注浆孔（或帷幕孔）钻至裂隙带、冒落带时，宜《必须》用清水钻进。（已去掉该条）

5）钻孔遇有洞穴、塌孔或掉块难以钻进时，可采用跟管钻进或先行灌浆处理后再钻进。钻进过程中如遇漏水、掉钻、埋钻等现象，应作好记录，分析原因，查明情况，经处理后再行钻进。

6）钻探原始记录和岩芯编录，必须详细、准确、字迹工整。

7）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。

8）当钻孔施工作业暂时中止及钻孔终孔未注浆前，孔口应加盖防护措施，防止杂物掉入孔内，影响后续施工。

2．空隙、裂隙压水冲洗

1）采用自上而下（简称下行式）分段注浆法时，每段注浆前应采用压力水进行空隙、裂隙冲洗；采用全孔一次注浆法和自下而上（简称上行式）注浆法时，可在注浆前全孔进行一次空隙、裂隙冲洗。

2）冲洗压力一般为注浆压力 80%，且不大于 1MPa，冲洗时间 5～10 分钟。漏水量大于 100L/min 时，可停止冲洗。

3）对遇水性能易恶化的岩层，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．浇铸孔口管

浇筑孔口管的操作流程为：准备工作－下注浆管及托盘－ 搅拌水泥－浇筑注浆管及托盘－保护管口。

7.2.3 注浆浆液

1．注浆浆液配制

1）制浆材料必须称量，称量误差应小于 2%，水泥应采用重量称量法，粉煤灰应采用标定的容器计量。

2）现场的加料顺序为：先在搅拌池内放入规定量的水，再加入水泥、粉煤灰，应搅拌均匀。

3）制浆分两级搅拌。一级搅拌池的搅拌时间不少于 3min。随后放入二级搅拌池。浆液进入二级搅拌池时必须用筛网过滤，在二级搅拌池按要求比例加入外加剂进行搅拌。

4）二级搅拌池，既是搅拌池和储浆池，也是注浆泵的吸浆池。浆液在二级搅拌池的停留时间不应超过 4h。

5）浆液加入外加剂的种类及加入量，应按照设计要求并通过现场试验确定。

2．浆液性能测定

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、粘度、结石率、初凝和终凝时间、结石体的无侧限抗压强度等各项参数。

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） 浆液必须搅拌均匀后方可进行测定工作。

4） 测试技术要求可按现行《公路工程水泥混凝土试验规程》及《公路桥涵

施工技术规范》中的相关规定执行。

3．浆液试块养护

注浆浆液试块宜选用 7.07 cm×7.07 cm×7.07cm 模具成型，按照标准条件及温度进行养护。

1）采空区内无水

浆液的结石体试件应在采空区的温度和无水条件下养护。对脱模的试块，每隔 1～2 天洒一次水，使其保持潮湿。

2）采空区内充水

浆液的结石体试件应在采空区温度和有水条件下养护。浆液倒入模具后，应迅速置于养护池中，使其在水中成型，脱模后仍原条件下养护。

7.2.4 注浆施工

1．注浆方法与要求

1）应按设计要求进行试验段的注浆试验，试验段的位置不宜选在可能导致不良注浆后果的帷幕线上，试验报告经监理和业主批准后，方可全面施工。

2）单层采空区注浆施工宜采用全孔一次注浆法(不分段)。注浆钻孔止浆可一次完成，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，当采用自上而下（简称下行式）的分段注浆法时，宜选用套管止浆；当采用自下而上（简称上行式）的分段注浆法时，宜采用止浆塞止浆。

4）浆液的水固比可采用 1:1、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，施工中一般采用由稀到浓进行。

5）注浆前应量测注浆孔的孔深、水位，如实测孔深与终孔孔深相差较大时，应扫孔至设计标高。

6）同一地段的采空区注浆，应按先帷幕孔后注浆孔，先产状低后产状高的顺序进行。

7）帷幕注浆应按分序间隔的原则进行。

8）在钻进过程易塌孔的钻孔或注浆需要投放骨料时，宜采用套管止浆。

9）注浆过程中，应对邻孔水位进行观测，及时发现后期可能影响注浆效果

的串浆等现象。

2．特殊情况的处理

1）采空区空洞较大（高度大于 2m）或注浆量大时，可扩大注浆孔孔径，往孔内投入粒径小于 5mm 的粗骨料，而后低档位灌浆并采取添加速凝剂、限流、限量、间歇注浆等措施，速凝剂掺量一般为水泥重量的 3%～5%。

2）当采空区充水时，宜采用浓浆并添加速凝剂。

3）注浆压力的选用，主要取决于采空区的空隙、裂隙的大小以及连通性，同时，针对上部构造物的不同也应做出调整，通常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，或当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已达设计量的 20%以上或灌注时间已达 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，可视具体情况越级变浓。

7）注浆过程中发生冒浆时，应采用低压、浓浆、小泵量、间歇注浆等方法进行处理。

8）注浆时如与相邻孔串浆，被串浆孔具备注浆条件时，应用两台泵对两孔同时注浆。否则应封堵串浆孔，待注浆孔注浆结束后，对串浆孔进行扫孔、冲洗，而后进行注浆。

9） 间歇压水，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。

10）采用自下而上注浆法需间歇注浆，当无埋管危险时，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，进行封孔工序。

10）采用自下而上注浆法施工，当需间歇注浆时，若无埋管危险，可不提止浆塞；有埋管危险则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，进行封孔工序。

3．结束注浆

注浆中在设计规定的结束压力下，单位注浆量小于 70L/min（或 50 L/min；应为小于 50!），并稳定 15min 以上时，注浆终止。

4．结束压水

结束压水是在注浆孔已达结束标准，准备起拔套管前，防止堵管和提管后的喷浆而进行的工序。一般以压入注浆管路容积 1～2 倍的水量为宜。若出现压水困难的情况，必须先关闭孔口阀门，仅冲洗输浆管路待孔内压力消失后方可打开。

5．封孔

全孔注浆结束起拔止浆设施，用浓水泥浆从孔口灌入孔内，浆液达孔口后封孔结束。

6．观测与记录

在注浆前、后及注浆过程中，对注浆泵压、孔口压力、吸浆量、浆液浓度及邻孔水位等，都应进行定时观测记录。

7.2.5 竣工资料整编

注浆工程完工后，施工单位应及时整编竣工资料。

竣工资料主要包括：钻孔施工记录、注浆工程记录、原材料及浆液的检验测试资料等。

7.2.6 质量控制与安全管理

应建立健全项目质量和安全管理体系。

质量管理体系通常需项目经理、项目总工和质量检验工程师参加，按照项目质量管理责任制，认真执行自检、互检、工序交接验收的三检制度。质量控制的重点包括注浆材料管理、浆液检测试验及配制管理、注浆施工管理等方面的内容。安全管理体系应由项目经理牵头负责，设置专职的安全工程师和安全员。（本部分去掉了）

1．注浆材料管理

1） 袋装水泥在运输和储存时应防止受潮，堆垛高度不宜超过 10 袋。不同

强度等级、品种和出厂日期的水泥应分别堆放，场地要具备防潮防雨条件。

2） 散装水泥应采用水泥罐或散装水泥仓库储存。

3） 水泥库如受潮或存放时间超过 3 个月，应重新取样检验，并按复检结果决定是否使用。

4） 粉煤灰在运输与存储中，应防止污染，不应与水泥等其它粉状材料混堆。

2．注浆浆液检测试验及配制管理

1）注浆所用的水泥，每个批号产品应检测化验一次。相同批号的产品超过 300t 时，每 300t 检测化验一次。

2）粉煤灰每 500～800t 检测化验一次。

3）注浆量每达 300～500m³时，应抽检一组浆液试样，检测浆液的密度、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）当一个注浆孔采用几种配比时，每种配比均应测定上述参数值。

5） 在配制过程中应用磅秤抽查水泥、粉煤灰等材料的数量，称量误差应小于 2%。

3．注浆施工管理

1） 钻机施工前，应对动力系统、升降系统、钻塔各部位进行认真检查，保证其性能满足施工需要。

2） 搅拌系统、注浆设备及机具等应定期检测和维修，以保证注浆施工连续进行。

3） 压力表应经常进行检查和标定，不合格的压力表严禁使用。

4） 在注浆施工过程中，应设专人对注浆施工区域随时巡查，以便及时发现并处理输浆管路跑浆、地面冒浆及高压注浆导致的地面隆起等问题。

4．安全管理

1）钻探施工应严格执行安全操作规程，尤其要重视雨季和冬季的安全管理工作。

2）注浆设备的机械的（KA）转动与传动部分必须安装保护网或防护罩。

3）注浆材料主要是水泥、粉煤灰和添加剂等，这些材料都在不同程度上存在污染、腐蚀等问题。在进行存储、试验、检测和使用时，应做好劳动保护和安全保护措施。

7.3 其它处治方法施工

7.3.1 干（浆）砌支撑法

1 一般规定

1）施工前应做好调查核实和准备工作。测量、放样的精度应满足设计施工要求和《公路路基施工技术规范》（JTJ F10-2006）第 3.2 节规定。对支撑位置及范围应进行标识。

2）对采空区顶、底板和进场材料应进行强度检测试验，进场材料应满足《公路路基施工技术规范》（JTJ F10-2006）第 3.3 节规定。

3）地基承载力应满足设计要求，否则应进行地基处理。

2 材料要求

1）石料要求

① 石料应符合设计规定的类别和强度，石质应均匀、不易风化、无裂纹。石料强度、试件规格及换算应符合设计要求，石料强度的测定应按现行《公路工程石料试验规程》(JTJ 054)执行。

② 片石：一般指用爆破或楔劈法开采的石块，厚度不应小于 150mm(卵形和薄片者不得采用)。用做镶面的片石，应选择表面较平整、尺寸较大者，并应稍加修改。

③ 块石：形状应大致方正，上下面大致平整，厚度 200～300mm，宽度约为厚度的 1.0 ～1.5 倍，长度约为厚度的 1.5～3.0 倍。

④ 粗料石：是由岩层或大块石料开劈并经粗略修凿而成，外形应方正，成六面体，厚度 200～300mm，宽度为厚度的 1～1.5 倍，长度为厚度的 2.5～4 倍，表面凹陷深度不大于 20mm。

⑤ 采用卵石代替片石时，其石质及规格须符合片石的规定。

2）砂浆的要求

① 砌筑用砂浆的类别和强度等级应符合设计规定；

② 砂浆中所用水泥、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。砂浆中所用砂，宜采用中砂或粗砂，当缺乏中砂及粗砂时，在适当

增加水泥用量的基础上，也可采用细砂。砂的最大粒径，当用于砌筑片石时，不宜超过 5mm；当用于砌筑块石、粗料石时，不宜超过 2.5mm。如砂的含泥量达不到混凝土用砂的标准，当砂浆强度等级大于或等于 M5 时，可不超过 5%，小于 M5 时可不超过 7%；

③ 石灰水泥砂浆所用生石灰，应成分纯正，锻烧均匀、透彻。一般宜熟化成消石灰粉或石灰膏使用，也可磨细成生石灰粉使用。消石灰粉和石灰膏应通过网筛过滤，并且石灰膏应在沉淀池内储存 14d 以上；

④ 砂浆的配合比可通过试验确定，可采用质量比或体积比，并应满足设计的要求。当变更砂浆的组成材料时，其配合比应重新试验确定；

⑤ 砂浆必须具有良好的和易性，其稠度以标准圆锥体沉入度表示，用于石砌体时宜为 50～70mm，气温较高时可适当增大；

⑥ 为改善水泥砂浆的和易性，可掺入无机塑化剂或以皂化松香为主要成分的微沫剂等有机塑化剂，其掺量可参照生产厂家的规定并通过试验确定，一般为水泥用量的 0.5/10000～1.0/10000(微沫剂按 100%纯度计)；

⑦ 砂浆配制应采用质量比，砂浆应随拌随用，保持适宜的稠度，一般宜在 3～4h 内使用完毕；气温超过 30℃时，宜在 2～3h 内使用完毕。在运输过程或在贮存器中发生离析、泌水的砂浆，砌筑前应重新拌和；已凝结的砂浆，不得使用。

3 施工技术要求

1）干砌石支撑法的技术要求

① 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；

② 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。砌缝宽度一般不应大于 40mm；

③ 干砌石应从里到外施工，一般以 2～3m 作为一个施工段；

④ 施工时应注意通风安全。

2）浆砌石支撑法的技术要求

① 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；

② 砌筑基础的第一层砌块时，如基底为岩层或混凝土基础，应先将基底表面清洗、湿润，再坐浆砌筑；如基底为土质，可直接坐浆砌筑；

③ 砌体应分层砌筑，砌体较长时可分段分层砌筑，但两相邻工作段的砌筑差一般不宜超过 1.2m；分段位置宜尽量设在沉降缝或伸缩缝处，各段水平砌缝应一致；

④ 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。砌体外露面镶面种类应符合设计规定。砌体里层应砌筑整齐，分层应与外圈一致，应先铺一层适当厚度的砂浆再安放砌块和填塞砌缝。砌体外露面应进行勾缝，并应在砌筑时靠外露面预留深约 20mm 的空缝备作勾缝之用。砌体隐蔽面砌缝可随砌随刮平，不另勾缝；

⑤ 各砌层的砌块应安放稳固，砌块间应砂浆饱满，粘结牢固，不得直接贴靠或脱空。砌筑时，底浆应铺满，竖缝砂浆应先在已砌石块侧面铺放一部分，然后于石块放好后填满捣实。用小石子混凝土塞竖缝时，应以扁铁捣实；

⑥ 砌筑上层块时，应避免振动下层砌块。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。

4 质量检验

1）材料检验

材料进场前，应严格检查石料材质，测其抗压强度，检查是否与设计相符；对砂、水泥、砂土等材料进行检验，并有合格签证记录方可投入使用。对工艺流程、操作方法进行检查。

2）质量控制指标

干（浆）砌片石质量标准必须符合表 7.3.1-1、7.3.1-2 的要求

表 7.3.1-1 砌体材料要求

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	砂浆强度（MPa）		不小于设计强度	每 1 工作台班 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	尺量：每 20m 检查 4 个断面
4	表面平整度	混凝土块	10	直尺：每检查处，每处检查竖直和墙长
5	（mm）	块石	20	两个方向

6		片石	30	

表 7.3.1-2 干砌材料要求

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	平面位置（mm）	50	每 20m 检查外边线 5 点
2	断面尺寸（mm）	不小于设计	尺量：每 20m 检查 4 个断面
3	表面平整度（mm）	20	2m 直尺：每 20m 检查 5 处，每 5 处检查竖直和墙长两个方向

7.3.2 开挖回填方法

1 一般规定

1）施工前应做好核实调查和准备工作。测量、放样的精度应满足设计施工要求和《公路路基施工技术规范》（JTJ F10-2006）第 3.2 节规定。对开挖回填边界应标识清楚。

2)对进场材料应进行试验，并满足《公路路基施工技术规范》(JTJ F10-2006)第 3.3 节规定。

2 开挖采空区时，基坑周围应按照边坡稳定性计算放坡开挖，并按照台阶开挖，保证回填时回填土与原地层充分接触。

3 开挖回填施工应根据不同的回填材料选择适当的施工机械。施工方法和质量检验可参考《公路路基施工技术规范》（JTJ F10-2006）第 4.2.1 条～第 4.25 条执行。

7.3.3 巷道加固法

1 一般规定

1）进入现场后，应对巷道进行施工前的调查核实，确认施工方案是否可行。

2）巷道加固法施工前应施工准备，测量、放样的精度应满足设计施工要求和《公路路基施工技术规范》（JTJ F10-2006）第 3.2 节规定。对加固范围边界标识清楚。

3）应进行顶、底板和进场的材料强度试验，进场材料应满足《公路路基施工技术规范》（JTJ F10-2006）第 3.3 节规定。

4）应检验加固范围的地基承载力，满足设计要求。

5）应对需封闭的巷道进行放样标示。

2 正在使用的巷道

正在使用的巷道加固施工，应按照现现行《公路隧道施工规范》相关规定和要求执行。

3 废弃的巷道

废弃巷道的加固应根据所采用的方法进行施工。

7.3.4 强夯法

1 一般规定

1）强夯锤质量可取 10×103Kg～40×103Kg，也可加重，根据吊机进行调整。强夯法施工和质量检验《建筑地基处理技术规范》（JGJ79_2002）6.3.1 条～6.4.4 条执行。

2）施工前，应在施工现场有代表性的场地上选取一个或几个试验区，进行试夯或试验性施工。

选择有代表性的试验区进行试夯，以获取强夯参数，达到处治效果。应按场地地质情况及设计要求，确定夯击能大小、点夯次数及夯点间距。

2 质量控制

1）检查施工过程中的各项测试数据和施工纪录，不符合设计要求时应补夯或采取其它有效措施。

2）强夯处治后的地基竣工验收承载力检验，应在施工结束后间隔一定时间方能进行。

7.3.5 跨越法（直接跨越、多孔径跨越、盖板）

1 一般规定

1）施工前应熟悉勘察设计资料，并对采空区进行调查核实，确认跨越方案是否合理。

2）按照《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041-2000)第 3.1 节、第 3.2 节进行施工准备和施工测量。

3）桩基穿越采空区时，如先对采空区桩基范围内进行注浆处治，应等浆液

凝固后再进行桩基的施工。

4）采用跨越法施工时，除桩基施工需要特殊考虑外，其余的施工按照《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041-2000)规定执行。

2 桩基开挖

采用桩基穿越时，可根据适用条件分别采用不同的方法。

1）人工挖孔桩，先浆砌片石砌筑后成桩方案

① 适用于地下水位低，采空区巷道或空洞内不充水或泥。

② 采空区顶板岩层较完整，孔壁无渗、漏水。

③ 采空区巷道或空洞内无有毒有害气体。

3）钻孔桩，钢护筒跟进成孔

①适用于顶板基本稳定小窑采空区。

②有制作钢护筒的经济条件。

③钢护筒能准确定位。

④地下水位超过小煤窑采空区顶板 1-2m 以内。

⑤瓦斯浓度基本不超限，孔壁基本稳定。

7.4 环境保护措施

7.4.1 施工中的弃碴、弃土应统筹规划、合理堆放，不得超范围压覆土地，随意破坏植被。

7.4.2 施工中的机械油污、生活污水、垃圾等应事先合理规划排放处理地点，不得污染当地水源与环境。做好循环水池的防渗工作，施工结束后场地恢复平整。

7.4.3 应做好粉煤灰、水泥运输、堆放及使用过程中的粉尘污染预防工作，车辆运输时应加盖蓬布、便道洒水，料场周围应有防护围栏等防粉尘污染措施。

7.4.4 机械设备应尽量减少噪音、废气等污染；使建筑场地噪音符合规定。

7.4.5 应加强山区护林防火宣传工作。

7.4.6不应在施工区及周边随意排放废水、废物、废料，确保生态环境不受影响。

8　采空区处治监测与检测

8.1　一般规定

8.1.1　采空区公路监测是指采空区公路在勘察、处治设计、施工及运营全过程中的监控，也可以是其中某一个阶段的监控。检测是采空区处治后的质量检查，检测的内容和数据是采空区处治效果评价的重要依据。

8..1.2　采空区公路监测应根据采空区特征和工程的需要来布设。当采空区上覆为路基工程，且为新采区时，宜进行采空区变形的跟踪监测；当采空区上覆为桥梁和隧道工程，且采空区为新采区时，应对采空区变形进行全过程多方位长期监控。

8.1.3　采空区检测的方法有钻探、物探、室内试验、孔内电视和钻孔注浆等。检测的项目有岩土测试、孔内波速测试、浆液结石体的抗压强度测试和变形监测等。

8.1.4　监测和检测的记录、数据和图件，应及时分析、整理，提交成果报告，并附有相关的图纸，当监测数据出现异常波动时，须加密监测，发出预警。

8.1.5　采空区监测与检测除满足本《细则》要求外，还应符合现行的《公路工程地质勘察规范》、《公路工程质量检验评定标准》和《岩土工程检验和质量评定标准》等相关规范和标准。

8.2　采空区处治监测

8.2.1　监测的项目有水平位移监测、垂直位移监测、构造物倾斜监测和裂缝监测，见表 8.2。

表 8.2　监测项目及方法

项目	监测方法
水平位移监测	三角网、极坐标法、交会法、GPS 测量、激光准直法等
垂直位移监测	水准测量、三角高程测量等
构造物倾斜监测	经纬仪投点法、差异沉降法、激光准直法
裂缝监测	精密测距、伸缩仪、测缝计、位移计等

8.2.2　建立监测网，根据矿体开采深度、开采方式等特征，依照现行的《工程测量规范》精度要求，确定监测点，进行定位监测。监测点距可参照表 3.2-1 确定。

8.2.3　当采空区面积较大、回采率较高，地表可形成平底移动盆地，监测点宜布设在采空区的边缘区；当采空区面积较小、回采率较低，采空区地表变形间或有突发性、潜伏性和长期性，宜布设长期监控点。

8.2.4　基准点的设置应参照现行的《工程测量规范》，选择在非采空区且不受采空区影响的稳定区域内，基点距采空区的距离应大于 0.7H（H 为开采深度）。监测点精度应满足 D 级。监测点的布设既要考虑均匀布设，又要兼顾采空区边缘区和构造物特殊部位。

8.2.5　监测点标识应采用钢筋混凝土预制标桩或现场混凝土浇铸标桩，桩顶中央有十字标志，标桩规格应参照工程测量规范四等水准点要求制作，标石埋设深度应大于当地冻土深度 0.1m。

监测结果应考虑修正软弱土、湿陷性黄土或其它特殊性岩土对数据的影响。

8.2.6　桥梁监测点纵向逐墩或隔墩布设，横向以墩台为中心向两侧布设点，距中心点依次为 0、15m、30m。桥梁施工中应充分利用勘察过程中的监测成果，同时在每个墩台外侧增设两个监测点，连续观测。

8.2.7　隧道监测纵向沿轴向每 50m 在地表布设 1 个横断面，监测点以中轴线分左右依次为 0、30m、50m 在路线两侧布设。隧道施工期间按现行的《公路隧道施工技术规范》进行隧道监控量测，监测项目有地质和支护裂缝观察描述、周边位移监控、拱顶下沉和地表下沉等。

8.2.8　监测周期

1. 采空区监测宜从勘察阶段开始至公路运营 1~2 年后停止或根据观测曲线的稳定趋势，确定监测周期，监测周期与开采方式和开采深度有关。开采深度越小，采动越充分，监测周期越短。开采深度越大，采动越不充分，监测周期越长。

公路采空区监测周期可参照表 3.2-2 确定。

2. 采空区处治施工期间监测，半年内应每周监测一次，半年后至通车期间内应每月监测一次。通车两年内，每两个月应监测一次，但在变形显著时，应及时增加监测频次。经变形监测资料分析和评价，确认采空区已完全稳定，对公路工程无影响后，方可停止变形监测。

观测周期可根据监测数据变化作适当调整。

8.2.9　监测资料整理

1. 监测数据应进行平差和计算，包括各监测点及相邻两次监测的沉降量、累计沉降量、沉降速率、累计沉降速率、水平位移量、累计水平位移量计算等；相邻点间的垂直变形（倾斜、曲率）和水平变形，计算结果取至毫米。

2. 应编制垂直下沉曲线图、下沉等值线图、水平位移曲线图、累计水平位移曲线图和垂直、水平变形等值线图以及相应统计分析表格等。

3. 应结合公路工程地基允许变形值进行变形分区，并对处治效果及地基稳定性做出评价；应编制监测报告，内容包括观测方法、过程、检测成果分析、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 采空区处治检测方法有钻探、物探、孔内波速测井、孔内电视、注浆检测及变形观测等，其目的是通过采用不同的检测方法，取得各种检测数据，综合评价采空区的处治效果，详见表 8.3。

表 8.3 采空区处治检测项目及适用条件

序号	检测项目	检测方法	检测频次
1	结石体无侧限抗压强度 Rc（MPa）	钻探	隧道采空区每 50~100m，桥梁采空区墩台下，路基采空区注浆孔总数的 2%
2	横波波速 Vs （m/s）	孔内波速测井	每米一个检测点
3	充填率 η（%）	岩芯描述、孔内电视、开挖	视情况而定
4	注浆量（L/min）	注浆	隧道和桥梁采空区检测孔内
5	年下沉量（mm/a）	变形观测	注浆处治结束 6 个月后
	倾斜值 i （mm/m）		
	水平变形 ε （mm/m）		
备注：1 和 3 项为路基工程检测项目，1~5 项为桥隧工程检测项目。			

8.3.2 钻探及岩土测试

1. 采空区处治施工结束 6 个月后应进行钻探检查。在处治采空区范围内，应按设计要求，钻孔取全芯，钻孔孔径不小于 91mm，每回次岩心回采率应大于 85%。

2. 应通过对钻孔岩芯的观察和描述，判断浆液对采空区充填胶结程度，对浆液结石体应做抗压强度试验，其强度标准：路基不小于 0.6MPa ，桥隧不小于2.0MPa。

3. 路基每 200~300m 应布设 1 个检测孔，桥梁每墩台应有 1 个检测孔，隧道每 50~100 米应有 1 个检测孔，检测孔数量不少于注浆孔总数的 2%。

8.3.3 孔内波速检测及跨孔弹性波CT检测

1. 检测孔取芯完成后，应在孔内进行波速测井。一是将采空区受注层平均剪切波速大于 160m/s 作为评价采空区处治工程质量的指标；二是利用采空区勘察过程中取得的采空区波速资料作为背景值，再将注浆施工后检测钻孔中取得的波速测井资料进行对比，根据注浆前后波速变化的提高率，定性判断采空区处治效果。

跨孔弹性波 CT 检测包括地震波和大功率跨孔声波，通过处治前后纵、横波波速的差异，可评价岩体的完整性提高级别和岩体弹性模量的提高情况。

8.3.4 孔内电视检测

孔内电视可以直观地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，综合评价采空区的处治效果。

8.3.5 开挖检测

开挖检测方法是在空洞地基处治上方开挖探井、探坑至处治段底部，观测处治段浆液充填和结石情况，观测有无空洞，测试结石体强度，计算充填率。

开挖检测方法施工简单、直观，且比较经济，适用于采空区埋深小于 20~30m 浅埋空洞处治效果的检测。

8.3.6 注浆检测

注浆检测是针对桥梁和隧道等重要构造物设置的检测项目。注浆检测是在检测孔内注入水泥浆，注浆结束条件为单位时间注入孔内浆量小于 50L/min，注浆持续时间 15~20 分钟，终孔压力 2~3MPa，当浆液的注入量超过处治单孔平均注

浆量的 5%时，须查明原因，做出综合分析，必要时进行补充注浆，以确保工程质量。

8.3.7　变形监测

应依据 8.2 变形监测资料分析，综合评价采空区处治效果。

8.3.8　监测资料的整理和检测报告的编写

监测资料包括采空区公路在勘察、处治设计、施工及运营全过程中的监控资料,检测评价报告内容有工程概况、检测项目、检测方法、试验报告、工程质量和处治效果评价，整理原始记录、图件、表格及影像资料，装订存档。

8.4 采空区处治质量验收标准

8.4.1　依据采空区处治检测结果，采空区处治质量分为合格与不合格。

8.4.2　采空区各项检测指标均达到设计要求时,采空区处治工程质量为合格，可进行路基、桥梁或隧道主体工程的施工。

8.4.3　采空区检测指标中有一项或多项达不到设计要求时，采空区处治工程质量为不合格，应做出原因分析，加强监测工作，并拿出整治和补救方案，方案实施后，应重新检测和验收。

8.4.4　对于路基工程，检测指标为结石体抗压强度和横波波速，充填率为描述性检测项目，应参照评价。

8.4.5　对于桥梁和隧道工程，检测指标为结石体抗压强度、横波、注浆量及变形检测。

附录 A　采空区调查与观测

附表 A.0.1　　采　空　区　调　查　表

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（停）采年限	实际产生能力（万吨/年）	开拓方式	矿层编号	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	沉降量计算	备注
▲ ●	▲ ●	▲ ●	▲	▲ ●	▲	▲	▲	▲ ●	▲ ●	▲	▲	▲	▲ ●	▲	▲ ●	●	▲ ●	●	

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）；收集开采沉陷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。

▲：预、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

附表 A.0.2　　采空区水平位移观测成果表

观测点号	第**次			第**次			第**次		
	年　月　日			年　月　日			年　月　日		
	横坐标 X（m）	本次位移量（mm）	累积位移量（mm）	横坐标 X（m）	本次位移量（mm）	累积位移量（mm）	横坐标 X（m）	本次位移量（mm）	累积位移量（mm）
	纵坐标 Y（m）			纵坐标 Y（m）			纵坐标 Y（m）		

记录：　　复核：

附表 A.0.3　　采空区垂直位移观测成果表

观测点号	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）

记录：　　复核：

附表 A.0.4　　采空区水平位移速率统计表

	*月*日~*月*日		*月*日~*月*日		*月*日~*月*日	
	X 位移量（mm）	速率 mm/d	X 位移量（mm）	速率 mm/d	X 位移量（mm）	速率 mm/d
	Y 位移量（mm）	速率 mm/d	Y 位移量（mm）	速率 mm/d	Y 位移量（mm）	速率 mm/d

记录：　　复核：

附表 A.0.5　　采空区垂直位移速率统计表

观测点号	*月*日~*月*日		*月*日~*月*日		*月*日~*月*日	
	位移量（mm）	速率 mm/d	位移量（mm）	速率 mm/d	位移量（mm）	速率 mm/d

记录：　　复核：

附表 A.0.6　　采空区物探成果表

序号	物探段落	矿企名称	物探长度（m）	测点数量	解译描述	布孔验证情况

编制：　　复核：

附表 A.0.7　　采空区钻探成果表

序号	桩　　号	钻 探 情 况	孔 深 (m)	布设依据	工程类型 （桥梁、隧道、路基）

编制：　　复核：

附表 A.0.8　　采空区变形参数表

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(mm/m)	最大曲率(mm/m^2)	最大水平变形(mm/m)	地表变形	钻探情况	剩余空隙率（%）	剩余下沉量(mm)	剩余倾斜(mm/m)	剩余曲率(mm/m^2)	剩余水平变形(mm/m)

编制：　　复核：

附表 A.0.9　　采空区对公路工程危害程度综合评价表

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	设计标高下采深（m）	开采方式	采厚（m）	**开采煤层**	回采率（%）	采深采厚比/采深采宽比	地表变形特征	充水情况	地震裂度	剩余下沉（mm）	剩余倾斜（mm/m）	剩余曲率（mm/m²）	剩余水平变形（mm/m）	工程类型	稳定性评价	危害程度

编制：　　复核：

附表 A.0.10　　采空区剩余空洞体积一览表

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^2）	采厚（m）	开采煤层	回采率（%）	剩余空隙率（%）	剩余空洞体积（m^3）

编制：　　**复核：**

附录 B　常用物探技术综合评价一览表

B.0.1 常用物探方法一览表

方法种类		成果形式	适用条件	有效深度（m）	干扰及缺陷
电流法	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	1000	
	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 可控源音频大地电磁法	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	
	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	高导、厚覆盖受限
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	
	弹性波 CT	剖面	井况良好，井径合理，激发与接收配合良好	等效钻孔深	游散电流、电磁干扰
测井	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		

方法种类		成果形式	适用条件	有效深度（m）	干扰及缺陷
	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：工程物探的质量控制，应满足《公路工程物探规程》JTG/T C22-2009 的要求。

附录 C　采空区“冒 落带、裂隙带”计算方法

C.0.1　缓倾斜（0°~35°）、中倾斜（36°~54°）

（1）　冒落带高度

①　如果矿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采用公式 1 计算:

$$H_m = \frac{M}{(K-1)\cos\alpha} \qquad (1)$$

式中　M —矿层采厚

K —冒落岩石碎胀系数

α —矿层倾角

②　当矿层顶板覆岩内为坚硬、中硬、软弱、极软岩层或其互层时，开采单一矿层的垮落带最大高度可采用公式 2 计算：

$$H_m = \frac{M-W}{(K-1)\cos\alpha} \qquad (2)$$

式中　W —冒落过程中顶板的下沉值

③　当矿层顶板覆岩内为坚硬、中硬、软弱、极软岩层或其互层时，多层开采矿层的垮落带最大高度可采用附表 1 中的公式计算。

厚煤层分层开采的垮落带高度计算公式　附表 1

覆岩岩性（单向抗压强度及主要岩石名称）	计算公式
Rc=40~80：石英砂岩、石灰岩、砂质页岩、砾岩	$H_m = \frac{100\Sigma M}{2.1\Sigma M + 16} \pm 2.5$
Rc=20~40：砂岩、泥质灰岩、砂质页岩、页岩	$H_m = \frac{100\Sigma M}{4.7\Sigma M + 19} \pm 2.2$
Rc=10~20：泥岩，泥质砂岩	$H_m = \frac{100\Sigma M}{6.2\Sigma M + 32} \pm 1.5$
Rc<10：铝土岩、风化泥岩、粘土、砂质粘土	$H_m = \frac{100\Sigma M}{7.0\Sigma M + 63} \pm 1.2$

注：$\sum M$ ——累计采厚；公式应用范围：单层采厚 1~3m，累计采厚不超过 15m；

计算公式中 $\pm$ 号项为中误差。附表 1、附表 2 同。

（2） 裂隙带高度

矿层覆岩内为坚硬、中硬、软弱、极软岩层或其互层时，多层开采矿层的裂隙带最大高度可采用附表 2 中的公式计算。

多层开采的裂缝带高度计算公式　　附表 2

覆岩岩性（单向抗压强度及主要岩石名称）	计算公式（m）
Rc=40~80：石英砂岩、石灰岩、砂质页岩、砾岩	$H_{li}=\frac{100\Sigma M}{1.2\Sigma M+2.0}\pm 8.9$
Rc=20~40：砂岩、泥质灰岩、砂质页岩、页岩	$H_{li}=\frac{100\Sigma M}{1.6\Sigma M+3.6}\pm 5.6$
Rc=10~20：泥岩，泥质砂岩	$H_{li}=\frac{100\Sigma M}{3.1\Sigma M+5.0}\pm 4.0$
Rc<10：铝土岩、风化泥岩、粘土、砂质粘土	$H_{li}=\frac{100\Sigma M}{5.0\Sigma M+8.0}\pm 3.0$

C.0.2　　急倾斜矿层（55°~90°）

矿层顶、底板为坚硬、中硬、软弱岩层，用垮落法开采时的垮落带和裂隙带高度，可用附表 3 中的公式计算。

急倾斜煤层垮落带、裂隙带高度计算公式　附表 3

覆岩岩性	裂隙带高度（m）	垮落带高度（m）
坚硬	$H_{li}=\frac{100Mh}{4.1h+133}\pm 8.4$	H_m=（0.4-0.5）H_{li}
中硬、软弱	$H_{li}=\frac{100Mh}{7.5h+293}\pm 7.3$	H_m=（0.4-0.5）H_{li}

附录 D　采空区地表移动变形计算

D.0.1　水平及缓倾斜矿层（ $\alpha<15^{\circ}$ ）概率积分法半无限地表移动变形计算 1 中硬覆岩的长壁陷落法半无限采空区地表移动、变形最大值及其位置的计算

1）地表下沉最大值 $W_{\max}$ 及其位置 x 按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} W_{\max} &= mq\cos\alpha \\ x &= \infty \end{aligned}\right\} \qquad \text{(D.0.1-1)}$$

式中，m——矿层厚度（m）；

q——下沉系数；

α——矿层倾角（°）。

x——计算点的坐标值（m）。

坐标原点位于采空区边界，但要考虑盆地拐点偏距 S，参见图 D.0.2（a）。

2）地表倾斜最大值 $i_{\max}$ 及其位置 x 按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} i_{\max} &= \frac{W_{\max}}{r} \\ x_i &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(D.0.1-2)}$$

3）地表曲率最大值 $K_{\max}$ 及其位置 x 按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} \pm K_{\max} &= \pm 1.52\frac{W_{\max}}{r^2} \\ x_k &= \pm 0.4r \end{aligned}\right\} \qquad \text{(D.0.1-3)}$$

4）地表水平变形最大值 $\varepsilon_{\max}$ 及其位置 x 按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} \pm\varepsilon_{\max} &= \pm 1.52b\frac{W_{\max}}{r} \\ x_\varepsilon &= \pm 0.4r \end{aligned}\right\} \qquad \text{(D.0.1-4)}$$

式中，r——采空区边界地表主要影响范围半径（m）：$r=\dfrac{H}{tg\beta}$；

H——采空区的底板深度（m）；

β——采空区边界主要移动范围角（°），准确值由矿区实际测量资料确定，近似值可参考表 D.0.1-1 中条件相近的实际资料确定。

b——水平移动系数，准确值按矿区测量资料确定，近似值可按附录中条件相近的实际资料确定。

概率积分法半无限采空区地表移动变形计算参数见表 D.0.1-1~表 D.0.1-4。

2　查表计算半无限采空区地表任意点 x 处的移动变形值用无因次量

$W(x)/W_{max}$、$i(x)/i_{max}$、$K(x)/K_{max}$、x/γ表示的半无限采空区地表移动变形计算系数，按表D.0.1-5选取。

表D.0.1-2 松散层移动角φ值表

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

表D.0.1-3 按覆岩性质区分的重复采动下沉活化系数表

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D.0.1-4 按顶板管理方法区分的下沉系数

顶板管理方法	下沉系数 q	顶板管理方法	下沉系数 q
带状填充法（外来材料）	0.55～0.70	水砂充填法	0.06～0.20
干式全部充填法（外来材料）	0.40～0.50	冒落条采（回采率为50%-60%）	0.15～0.30
风力充填法	0.30～0.40	条带水砂充填（回采率为50%-60%）	0.02

表 D.0.1-1　各种岩性地表移动一般参数综合表（α（岩层倾角）＜50°）

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 tgβ	拐点偏移距 S/H_0	开采影响传播角 θ（°）
	主要岩性	单轴抗压强度(MPa)			δ（°）	γ（°）	β（°）	δ_0（°）	γ_0（°）	β_0（°）			
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	>60	0.27～0.54	0.2～0.3	75～80	75～80	$\delta-(0.7\sim0.8)\alpha$	60～65	60～65	$\delta_0-(0.7\sim0.8)\alpha$	1.2～1.91	0.31～0.43	$90-(0.7\sim0.8)\alpha$
较硬岩	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、铁矿石	60～30	0.5～0.84	0.2～0.3	70～75	70～75	$\delta-(0.6\sim0.7)\alpha$	55～60	55～60	$\delta_0-(0.6\sim0.7)\alpha$	1.92～2.40	0.08～0.30	$90-(0.6\sim0.7)\alpha$
较软岩～极软岩	大部分为新生代地层砂质页岩、页岩、泥灰岩及粘土、砂质粘土等松散层	<30	0.5～1.0	0.2～0.3	60～70	60～70	$\delta-(0.3\sim0.5)\alpha$	50～55	50～55	$\delta_0-(0.3\sim0.5)\alpha$	2.41～3.54	0.0～0.07	$90-(0.5\sim0.6)\alpha$

公式来源《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》

表D.0.1-5　半无限采空区地表移动与变形计算系数表

X / r	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
W / W_{max}	0.5000	0.4013	0.3085	0.2266	0.1587	0.1080	0.0665	0.0400
i / i_{max}或u / u_{max}	1.0000	0.9704	0.8830	0.7550	0.6040	0.4560	0.3230	0.2144
K / K_{max}或 $\varepsilon / \varepsilon_{max}$	0	0.410	0.730	0.933	1.000	0.940	0.800	0.620

表D.0.1-5　半无限采空区地表移动与变形计算系数表（续）

X / r	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
W / W_{max}	0.0225	0.0126	0.0062	0.0029	0.0014	0.0007	0.0002	0.0001
i / i_{max} 或u / u_{max}	0.1340	0.0785	0.0432	0.0220	0.0111	0.0049	0.0022	0.0009
K / K_{max}或 $\varepsilon / \varepsilon_{max}$	0.442	0.292	0.178	0.100	0.055	0.026	0.013	0.005

D.0.2　倾斜矿层（ 15°≤α≤75°）概率积分法地表移动变形最大值及其位置的计算

将水平矿层采空区地表移动变形最大值计算方法作适当的修正，便可用于倾斜矿层采空区的地表移动变形计算。

在采深、采厚相等，同是充分采动条件下，水平矿层采空区的最大沉降量与倾斜矿层采空区的最大沉降量并不相等，应加以修正。

因水平矿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，故只计算一个边界上方地面的移动、变形。倾斜矿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。应分别计算其极值及相应的位置。

1．充分采动条件下，倾斜矿层采空区地表最大沉降量按下式计算：

$$W_{max} = \frac{m}{\cos\alpha} q \qquad \text{(D.0.2-1)}$$

式中，m——倾斜矿层的法线方向厚度(m)；

q——下沉系数；

α ——矿层倾角（ ° ）。

$m/\cos\alpha$的含义是矿层在铅垂方向的厚度。同样厚度的矿层在倾斜情况下，地表下沉量较大。在以下各项倾斜矿层计算中的W_{max}值均指按式(D.0.2-1)的计算值。

2．倾斜矿层采空区边界地表最大倾斜及其位置的计算

1）采空区下山边界地表最大倾斜按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} i_{1,\max} &= \frac{W_{\max}}{r_1} \\ x_{i1} &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(D.0.2-2)}$$

2）采空区上山边界地表最大倾斜按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} i_{2,\max} &= \frac{W_{\max}}{r_2} \\ x_{i2} &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(D.0.2-3)}$$

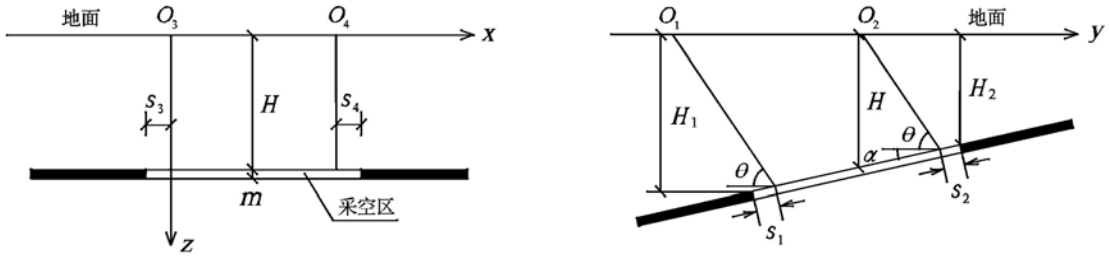
式中，r_1 、r_2——下山边界、上山边界地表的主要影响范围半径，

则 $r_1 = \dfrac{H_1}{tg\beta}$　　$r_2 = \dfrac{H_2}{tg\beta}$

H_1——下山边界的采深（m）；

H_2——上山边界的采深（m）。

坐标系统见图D.0.2（b）。



（a）走向　　（b）倾向

图D.0.2　概率积分法坐标系

注：S_1、S_2为倾向主断面上采空区下山边界、上山边界的拐点偏距；S_3、S_4为走向主断面上采空区左边界、右边界的拐点偏距；θ为开采影响传播角。

3．倾斜采空区地表最大曲率及其位置的计算

1）采空区下山边界地表最大曲率及其位置按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} K_{1,\max} &= \pm 1.52\frac{W_{\max}}{r_1^2} \\ x_{k1} &= \pm 0.4 r_1 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(D.0.2-4)}$$

2）采空区上山边界地表最大曲率及其位置按下式计算：

$$\left.\begin{aligned} K_{2,\max} &= \pm 1.52\frac{W_{\max}}{r_2^2} \\ x_{k2} &= \pm 0.4 r_2 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(D.0.2-5)}$$

4．倾斜采空区地表最大水平变形及其位置的计算

1）采空区下山边界地表最大水平变形及其位置按下式计算：

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_{1,\max}&=\frac{W_{\max}}{r_1}\left[ctg\theta(1-b)\pm\sqrt{ctg^2\theta+8\pi}\right]\\ &\exp\left[-\frac{ctg\theta}{8}\left(ctg\theta\mp\sqrt{ctg^2\theta+8\pi}\right)-\frac{\pi}{2}\right]\\ x_{\varepsilon 1}&=\frac{-ctg\theta\pm\sqrt{ctg^2\theta+8\pi}}{4\pi}r_1\end{aligned}\right\}\qquad\text{(D.0.2-6)}$$

式中，θ——开采影响传播角（最大下沉角），准确值由矿山测量资料确定，近似值可参考表 D.0.1-1～表 D.0.1-4 中条件相近的实际资料确定。

2）采空区上山边界地表最大水平变形及其位置按下式计算：

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_{2,\max}&=-\frac{W_{\max}}{r_2}\left[ctg\theta(1-b)\pm\sqrt{ctg^2\theta+8\pi}\right]\\ &\exp\left[-\frac{ctg\theta}{8}\left(ctg\theta\mp\sqrt{ctg^2\theta+8\pi}\right)-\frac{\pi}{2}\right]\\ x_{\varepsilon 2}&=\frac{-ctg\theta\pm\sqrt{ctg^2\theta+8\pi}}{4\pi}r_2\end{aligned}\right\}\qquad\text{(D.0.2-7)}$$

D.0.3　剩余沉降量估算

1．总沉降量W_{max}按式(D.0.1-1)或式(D.0.2-1) 计算。

2．受地下矿床开采影响地表最大下沉点的移动延续时间（亦称地表移动总延续期）T，按下式计算：

$$T=K_T\,H_0(d)\qquad\text{(D.0.3-1)}$$

式中，H_0——采空区平均采深 (m) ；

K_T——系数，取值 1.0～2.5。K_T系数值主要取决于矿层覆岩性质，开采深厚比和工作面推进速度，在其它条件相同时覆岩强度愈大，K_T取值愈大。国内部分矿区地表移动延续时间的回归关系式见附表D.0.3-1。计算取值时，应注意剔除某些经验公式中的工作面开采延续时间。

3．时间系数按下列规定引入：

将沉降延续时间 T分为 5 个相等时段，即$t_1=\frac{1}{5}T$，$t_2=\frac{2}{5}T$，$t_3=\frac{3}{5}T$，$t_4=\frac{4}{5}T$，$t_5=T$，对应各个时段引入的时间系数 k 查表 D.0.3-2 确定。

4．时间 t_i（i =1～5）时的剩余沉降量按下式计算：

$$W(t_i)=W_{\max}\left(1-\sum_{i=1}^{i}k_i\right)\qquad\text{(D.0.3-2)}$$

5．剩余倾斜、剩余曲率及剩余水平变形可根据矿层倾角大小，按 D.0.1 或 D.0.2 条的相关公式计算。

表D.0.3-1　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(m²) D_1——工作面斜长(m) $\delta_{开采}$——开采厚度(m) $v_{工作面}$——工作面推进速度(m/d)
抚顺矿区	$T=2112-10.6A/H_0$	
双鸭山矿区	$T=0.95H_0+262$	
鹤岗矿区	$T=D_1(0.562-0.00353H_0/\delta_{开采})$	
淮北矿区	$T=81.5+1.11H_0\pm74.9$	
徐州矿区	$T=2.87H_0+8$	
东煤矿区	$T=2.28H_0+43$	
兖州矿区	$T=0.628H_0/v_{工作面}+269$	
煤炭行业规程推荐	$T=2.5H_0$	
山西石炭二叠系煤矿区	$T=(0.98\sim1.20)\ H_0$	

表D.0.3-2　各时段沉陷过程的时间系数表

延续时段 t_i	时间段 t_i/T	下沉率 W_{ti}/W_{max}	时间系数 k_i	备　注
t_1	0.2	0.35	0.35	初始期～活跃期
t_2	0.4	0.76	0.41	活跃期（出现最大下沉速度）
t_3	0.6	0.98	0.22	活跃期结束，衰退期开始
t_4	0.8	0.995	0.015	衰退期
t_5	1.0	1.00	0.005	衰退期结束

附录E　采空区注浆处治施工

附表E.0.1　　工程项目

钻孔开孔质量检验报告单

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：　　日期：

附表E.0.2

工程项目

钻 孔 班 报 表

施工单位：　　钻孔孔号＿＿＿＿　　钻机类型＿＿＿＿

监理单位：　　地面标高　　米　　机高　　米　　合同段：　　第　　页　　共　　页

时间						工作简述	0					岩芯描述			钻头		水文观测		孔斜测量		孔内情况简述
月	日	起		止			钻探回次	钻杆长度	机上余尺	本次进尺	累计进尺	长度 m	采取率 (%)	岩土名称	规格	类型	耗水量 (m³)	水位 (m)	测量孔深 (m)	孔斜度 (°)	
		时	分	时	分																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

技术负责人：　　机　长：　　记　录：　　监理：　　日期：

附表E.0.3　　工程项目

钻 孔 地 质 柱 状 图

施工单位：

监理单位：　　合同段：　　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	层底标高 / 层底埋深 / 分层层厚 (m)	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

技术负责人：　　编制：　　复核：　　监理：　　日期：

附表E.0.4　　工程项目

钻 孔 柱 状 图

施工单位：　　施工时间：　　年 月 日 时——　　年 月 日 时

监理单位：　　合 同 段：　　孔号：＿＿＿　　终孔深度：　　m

地层名称	孔深		层厚	钻孔柱状图	钻孔结构	孔斜	岩芯采取率	岩芯描述	备注
	自	至							
	（m）			1：			（%）		

技术负责人：　　机长：　　记录：　　监理：　　日期：

附表E.0.5　　工程项目

钻孔成孔质量检验报告单

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		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		
2	完成工程量	设计进尺：_____ m 实际进尺：_____ m	
结　论：			

监理		日期		质检负责人		日期	

附表 E.0.6

工程项目

浇 铸 孔 口 管 记 录 表

施工单位：　　施工时间：

监理单位：　　钻孔孔号：　　合同段：

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）		
浇铸长度 （m）		碎石 （kg）		
注浆管直径 （mm）		砂 （kg）		
注浆管长度 （m）		止浆设备名称		

工地负责人：　　记录：　　监理：　　日期：

附表E.0.7

工程项目

灌 注 浆 液 配 制 记 录 表

施工单位：　　区　　号：

监理单位：　　钻孔孔号：　　合同段：　　第　页　共　页

时间						浆液配比	单盘(池)浆液用量（kg）				单盘（池）容量（m^3）	本配合比制浆盘数		浆液技术指标检测						试样编号
月	日	起		止		水:水泥:粉煤灰	水	水泥	粉煤灰	速凝剂		用“正”累计记数	合计盘数	检测时间			结石率(%)	密度（g/cm^3）	粘度(S)	
		时	分	时	分									日	时	分				

记录：　　班长：　　技术负责人：　　监理：　　日期：

附表E.0.8　　工程项目

钻 孔 注 浆 记 录 表

施工单位：

监理单位：　　合同段：　　第　页　共　页

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

技术负责人：　　记录：　　复核：　　监理：　　日期：

附表E.0.9

工程项目

钻 孔 注 浆 成 果 表

施工单位：
监理单位：　　钻孔孔号：　　合同段：

<table>
<tr><td colspan="2">孔口标高(m)</td><td></td><td colspan="2">受 注 层 位</td><td></td><td rowspan="2">注浆过程中发生的
各种现象及其分析</td></tr>
<tr><td colspan="2">孔　　深(m)</td><td></td><td colspan="2">受注段长度(m)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">终孔孔径(mm)</td><td></td><td colspan="2">注 浆 方 法</td><td></td><td rowspan="10"></td></tr>
<tr><td colspan="2">钻 孔 日 期</td><td></td><td colspan="2">注 浆 次 数</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">注浆压力
(MPa)</td><td>初　始</td><td></td><td rowspan="3">单位注浆量
(L/min)</td><td>初　　始</td><td></td></tr>
<tr><td>结　束</td><td></td><td>结　　束</td><td></td></tr>
<tr><td>设　计</td><td></td><td>设　　计</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">注浆时间
(h)</td><td>开　始</td><td></td><td rowspan="2">浆液配合比
水：水泥：粉煤灰</td><td>开　　始</td><td></td></tr>
<tr><td>终　止</td><td></td><td>结　　束</td><td></td></tr>
<tr><td>纯　注</td><td></td><td colspan="2">全孔注浆量(m^3)</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">注浆材料总量
(t)</td><td>水</td><td></td><td colspan="3">质　　量　　评　　价</td></tr>
<tr><td>水泥</td><td></td><td colspan="3" rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>粉煤灰</td><td></td></tr>
<tr><td>速凝剂</td><td></td></tr>
</table>

技术负责人：　　资料整理：　　复核：　　监理：　　日期：

附录F　公路保护矿柱留设

F.0.1　路下保护矿柱的留设

1 ） 横向宽度设计

倾斜岩层时路线与岩层走向平行或斜交：

$$L=D+2B+(2h\cot\Phi+H_{下}\cot\beta'+H_{上}\cot\gamma') \quad (F.0.1\text{-}1)$$

水平岩层或倾斜岩层且路线与岩层走向垂直时：

$$L=D+2B+2(h\cot\Phi+H\cot\delta) \quad (F.0.1\text{-}2)$$

式中：L——保护带宽度（以路线中线为中心）（m）；

D——公路宽度：路堤应以两侧路堤坡脚外 1 米为界，路堑应以两侧堑顶边缘为界，桥梁应以承台外边缘为界，分离式隧道应以左右洞外边墙为界（含左右洞之间距离），连拱隧道应以隧道外边墙为界（m）；

B——围护带一侧的宽度，根据公路等级及构造物类型确定，见表6.3.2-3；

h——松散层厚度（m）；

H——矿层上覆基岩厚度（m）；

Φ——松散层移动角（°），取值参照表 6.3.2-5；

δ——走向方向矿层上覆基岩移动角（°），取值参照表 6.3.2-4；

β′——斜交剖面下山方向矿层上覆基岩移动角（°）；

γ′——斜交剖面上山方向矿层上覆基岩移动角（°）；

β′、γ′可按式（F.0.1-1）和式（F.0.1-2）计算。

2）纵向长度设计

长度计算公式与宽度计算公式相同，只是将公路宽度替换成公路长度，围护带按 15m 考虑。

F.0.2　公路收费站、管理站等建筑物下保护矿柱的留设

矿柱范围由三部分组成：

1）建筑物受护面积，可选择下列方法确定：

① 在平面图上通过受护对象角点作矩形，使矩形各边分别平行于矿层倾斜方向和走向方向；在矩形四周作围护带，该围护带外边界即为受护边界。

② 在平面图上作各边平行于受护对象总轮廓的多边形（或四边形），在多边形（或四边形）各边外侧作围护带，该围护带外边界即为受护边界。

2）围护带组成的面积，围护带宽度为 15m，面积为建筑物受护面外侧 15m 的环状面积。

3） 保护矿柱边界，根据移动角计算的宽度面积，可采用垂直剖面法、垂线法、数字标高投影法等。

① 用垂直剖面法计算与矿层走向斜交的受护对象时，应符合下列原则：在松散层内采用Φ角划直线；在基岩内则分别以斜交剖面移动角β′、γ′代替β、γ角划直线。直线与矿层底板的交点即为保护矿柱在矿层该斜交剖面上的上、

下边界。

β' 、γ'角按下式计算：

$$ctg\beta'=\sqrt{\cot^2\beta\cos^2\theta+ctg^2\delta\sin^2\theta} \quad (F.0.2-1)$$

$$ctg\gamma'=\sqrt{\cot^2\gamma\cos^2\theta+ctg^2\delta\sin^2\theta} \quad (F.0.2-2)$$

β、γ和δ——分别为下山、上山和走向方向的岩层移动角；

θ——围护带边界与矿层倾向线之间所夹的锐角；

② 用垂线法计算与矿层走向斜交的受护对象保护矿柱时，矿柱在矿层上山方向垂线长度q和下山方向垂线长度l按下式计算：

$$q=\frac{(H-h)ctg\beta'}{1+ctg\gamma'\cos\theta tg\alpha} \quad (F.0.2-3)$$

$$l=\frac{(H-h)ctg\gamma'}{1-ctg\gamma'\cos\theta tg\alpha} \quad (F.0.2-4)$$

h——松散层厚度m；

H——矿层到上覆基岩顶部垂深；

α——矿层倾角；

附录 G　地表移动变形计算表

工程名称：　　观测日期：

观测点号	(1)初始高程 Ho(m)	(2)本次观察高程 Hi（m）	(3)下沉值 W(mm)	(4)下沉差 △w(mm)	(5)初始平距 Do(m)	(6)本次平距 Di(m)	(7)拉伸（压缩）△D(mm)	(8)水平移动 U（mm）	(9)倾斜 i(mm/m)	(10)倾斜差 △i（mm/m)	(11)曲率 k(mm/m^2)	(12)水平变形 ε（mm/m)

附件

《采空区公路设计指南》

条 文 说 明

1 总则

1.0.1 我国幅员辽阔，采空区分布较广，除山西省外，还有新疆、青海、陕西、河北、辽宁、黑龙江、内蒙、贵州、云南、江苏、山东及河南等省均有分布。采空区的变形、沉降、跨塌等灾害给公路工程的建设和营运安全带来了许多隐患和工程造价的增加。公路采空区的处治和研究工作经历十余年的历程，涉及的工作内容主要为两个方面：一是公路采空区的勘察、处治设计、施工和检测；二是公路采空区处治方面课题研究。在公路采空区的处治经历可分为两个阶段。第一阶段从1994年～2000年，这一阶段公路采空区的处治主要是公路路基下伏采空区的治理，治理的方法比较单一，以注浆为主。第二阶段从2001年以来，公路采空区处治已涉及到桥梁、隧道等构造物。

我国采空区公路建设已经历了十余年的历程，在采空区公路的勘察、设计、处治施工等等方面积累了一定的经验，同时随着我国高速公路的建设由平原区向山区的大力发展，采空区的问题也越来越突出，各地区对采空区的勘察、稳定性评价、处治设计、施工等认识因采空区的类型、规模及开采条件等差异也千差万别，各不相同。为了规范我国采空区公路工程建设，统一采空区公路勘察、设计、处治、施工、监测及检测等技术标准，很好的贯彻国家有关减灾防灾的法规，帮助公路工程技术人员更好地使用公路工程建设中的灾害治理方面的技术规范，指导和服务于采空区公路建设的全过程，确保采空区公路工程的建设质量和运营安全，在新建和改、扩建公路建设中对采空区问题的处理必须有章可行，有法可依，为此特制定本《细则》。

1.0.2 各级新建和改扩建公路应按本《细则》进行系统的勘察、设计、处治施工。而老路的维修和改造则情况有所不同，一种情况只是对采空区进行处治，另一种情况或需重新改线。所以，采空区老路在维修改造时，应根据具体情况参照执行。

1.0.4 据统计，截止2007年底，全国累计原煤总产量约348亿吨，全国煤矿每亿吨原煤采空区约为16.665km^2，煤矿采空区累计面积约为5800km^2，采煤沉陷

面积约为 6960km^2，重点分布在山西、内蒙古、陕西、新疆、河北、河南等 15 个省、自治区。由于矿产资源的大量开采，新的采空区在不断增加，对地质环境、生态环境、水环境等造成了极大的危害，环境压力越来越大。因此，采空区公路建设应认真履行公路行业的环保职责，在公路工程建设范围内，将工程建设与采空区的处治有机地结合起来，达到公路建设最大限度地节省土地、保护矿产资源的目的。

采空区是地质与生态环境较恶劣和脆弱的地区，在采空区修建公路，应因地制宜，综合利用矿渣、尾矿等废弃材料作为筑路材料和采空区处治的填充材料。同时也应注意矿渣、尾矿等废弃材料中所含有的有害物质，因路基填筑而造成二次污染的问题。

1.0.5 采矿形成的采空区属于人为造成的不良地质现象，具有隐蔽性、复杂性、突发性和长期性等特点。由于矿产开采时间长、开采范围广，形成的采空区一般埋藏较深，往往还具有多层分布的特点。采空区地表变形具有范围大、沉降持续时间长的特点，对地面建筑物和道路的危害性很大，处治难度往往很大，处治工程费用很高。近年来，国内大专院校、研究机构、设计和施工单位依托工程建设项目，积极探索和总结采空区公路勘察、设计、处治施工中的新方法、新技术、新工艺、新材料等，取得了大量的科研成果，收获了许多宝贵的经验，很多成果在国际上也处于领先水平。因此，在采空区公路建设中，应积极采用合理有效的先进技术及新材料、新工艺和新方法，不断提高采空区公路勘察设计和处治施工精度和质量。

1.0.6 采空区公路的勘察、设计和施工不但技术复杂，而且涉及到的相关法律法规和行业规范较多。因此，采空区公路的勘察、设计、施工、监测与检测等不仅应符合本《细则》、还应符合公路行业及相关行业的规范和标准。

2 术语、符号

本《细则》列出了正文中的主要术语与符号，一般符合现行的国际和国家规定。为了便于查找和使用，术语作了简单的分类。

3 采空区勘察

3.2 勘察方法

3.2.1 资料收集

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

资料收集主要是从地方国土局、煤管局、矿企等单位收集有关的文件及图纸，但资料的有效性应加以验证。

3.2.2 调查与测绘

调查与测绘是公路采空区勘察的基本方法和基础工作，包括采空区专项调查、区域工程地质调绘和采空区测绘三部分。

调查测绘的精度应根据勘察阶段、工程特点和场地的地形、地质条件选定。

1．采空区专项调查是采空区勘察主要方法之一，与资料收集可同时进行、相互补充，包括实地调查和走访调查。首先应针对所收集资的料进行现场核，其次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，应深入井下进行现场调查）的手段，对公路沿线采空区的矿藏开采情况、矿井坑口的分布位置、采空区基本要素进行专项调查。常用调查表见附录A。

采空区基本要素包括： 矿山的性质（国营、集体、私营）、开采矿种、 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、回采率、埋深、采厚、矿层顶、底板岩性、顶板管理方式、地表变形情况及地下水赋存情况等。

2．区域工程地质调绘：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，对区内的地质体、地质现象进行详细观察描述，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．采空区测绘：一是对采空区地表移动变形特征的现状进行测绘和描述；二是对井下巷道、坑口及采区进行测绘和描述。

3.2.3 地表变形观测

地表变形观测是对采空区地表移动变形发生、发展过程的跟踪观测。是采空区稳定性评价最可靠的依据。

表 3.2.1 及表 3.1.2 所列指标，是在《公路工程地质勘察规范》JTJ064-98 表 7.8.1-2 和表 7.8.1-3 的基础上修改而成。实际应用中，可根据沉降变形情况适当调整，沉降速率快、沉降量大应取小值，反之取大值。

3.2.4 工程物探

常用的几种物探方法是根据山西省十余年来高速公路采空区勘察经验，结合其它省份公路采空区勘察调研成果综合而成。使用时应考虑采空区的地形、地质条件及埋深情况。

通常情况下，物探宜采用两种方法组合进行，相互印证，尽量排除其它原因引起的数据异常和多解性，应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。

物探工作应符合下列规定：

1. 物探资料解译前，应全面了解和分析测区的地形、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。

2. 应选择试验路段，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。

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。当采用两种以上物探方法时，先用典型断面作正演计算。条件具备时物性参数应通过测井确定。

4. 结论应明确，符合测区的客观地质规律。各物探方法的解译应相互补充、相互印证。解译结果不一致时，应分析原因，并对推断的前提条件予以说明。

5. 物探最终成果，应根据钻探验证情况进行二次甚至多次修正，并对修正情况予以说明。

3.2.5 工程钻探

工程钻探是采空区勘察最直接、最可靠的方法，最大优点是能够通过采取岩芯进行观察和描述，直观反映岩土的基本特性，并可通过钻进速度、掉钻及漏水

情况，反映出采空区的存在及其冒落、变形情况。

3.3 勘察阶段

3.3.1 工可勘察阶段

本阶段的勘探工作可针对对路线方案及工程造价影响较大的特长隧道、特大桥下伏采空区进行必要地、适量地布设，勘探方法可采用物探或钻探。

可行性研究阶段采空区勘察范围较广，其内容主要描述路线走廊带内矿产资源采掘情况及其基本要素、采空区与路线的相对位置，定性评价采空区对路线方案的影响程度，估算路线压覆资源的种类和长度。

3.3.2 初步勘察

勘探工作量应根据资料收集情况、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，并根据情况随时进行调整。

3. 勘察范围

勘察范围根据采用勘察方法的不同有所差别，如地质调绘的范围应大一些，一般在路线两侧各 200~500 米，目的是为线位优化提供空间；而物探和钻探则应依据采空区的埋深，按计算的采空区处治宽度控制，计算方法详见第五章。

4. 勘察方法

4）地表变形观测

地表变形观测需要的时间较长，观测成果需要一定的时间积累，因此，变形观测应尽早启动，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。

5）工程物探

物探的采用及其方法的选择应在资料收集、地质调绘的基础上，通过有效性分析进行确定；物探方法及其线距、点距应根据地形地貌、地物条件、采空区的开采方式及埋深确定。物探采空区异常可分三种类型：

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它地质构造（小断层，小陷落柱）引起。

第二和第三种异常区应重点布设钻孔进行验证。

6）钻探

采空区范围内钻探难度较大，因此，要尽量利用打成的钻孔做孔内测试：当钻孔内有水时，可在孔内做声波测试；当孔内无塌孔发生时，可做孔内摄影进行观测。

5. 采空区“三带”确定

采空区“三带”计算公式及使用条件来源于《建筑物、水体、铁路及及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》，一般利用钻孔岩芯破碎程度及钻探过程掉钻等情况确定。

4 公路采空区稳定性分析与评价

4.1 一般规定

4.1.1 采空区稳定性评价是建立在采空区勘察基础上的。由于不同类型采空区的特点不同，不同勘察阶段掌握采空区资料的深度不同，因此采空区的稳定性评价应根据其特点和掌握资料的深度采用定性和定量相结合的方式进行。

4.1.2 采空区稳定性与矿层的开采方式、顶板管理方式、开采时限以及采深、采厚等多种地质采矿条件有关，因而在稳定性评价之前，必须通过勘察手段尽可能查清这些影响因素，然后针对性地按公路工程要求选择评价标准和评价方法。

4.2 采空区稳定性评价标准

4.2.1 公路采空区建设场地稳定性评价是根据采空区地表剩余移动变形量及其对公路工程可能造成的危害程度综合分析的基础上确定的。为了较好地反映采空区稳定程度，便于工程应用，将场地稳定性划分为四个等级。稳定场地，地下空洞率极少，采空区地表剩余变形值均小于公路路基工程允许的变形值；基本稳定场，一般地下空洞率较少，采空区绝大部分区域地表剩余变形值小于公路路基工程允许变形值，只有小部分地段略超过公路路基允许的变形值，超限面积小于采空区全面积的 20%；欠稳定场地，地下空洞率较大，采空区多处地段地表剩余变形值超过公路路基允许的变形值，超限面积达到采空区全面积的 20%～50%；不稳定场地，地下空洞率大，覆岩采动破坏严重，采空区地表剩余变形值多数超过公路路基允许的变形值，超限面积达到采空区全面积的 50%以上。

1. 长壁式陷落法开采或经正规设计的条带式采空区的地表移动变形与矿区停采时间有重要联系，不同类型采空区地表移动变形的延续时间是不同的，一般停采时间越长地表移动变形越趋于稳定，因此采空区的停采时间可作为评价采空区场地稳定性的一个重要指标。综合考虑不同等级公路及相关建（构）筑物对采空区地表变形的允许值，结合采空区停采时间确定稳定性评价标准。

采空区停采时间是基于大量的实测数据，根据不同的覆岩性质及地表移动的延续时间（T）确定。矿层开采地表移动的延续时间（T）可根据最大下沉点的下沉与时间关系曲线和下沉速度曲线求得，见图 4.2.1。

1）．下沉 10mm 时为移动期开始的时间；

2）．连续 6 个月下沉值不超过 30mm 时，可认为地表移动期结束；

3）．从地表移动期开始到结束的整个时间称为地表移动的延续时间；

4）．在移动过程的延续时间内，地表下沉速度大于 50mm/月（1.7mm/d）（矿层倾角小于 45º），或大于 30mm/月（矿层倾角大于 45º）的时间称为活跃期。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。地表移动的上述三个期的确定方法见图 4.2.1。

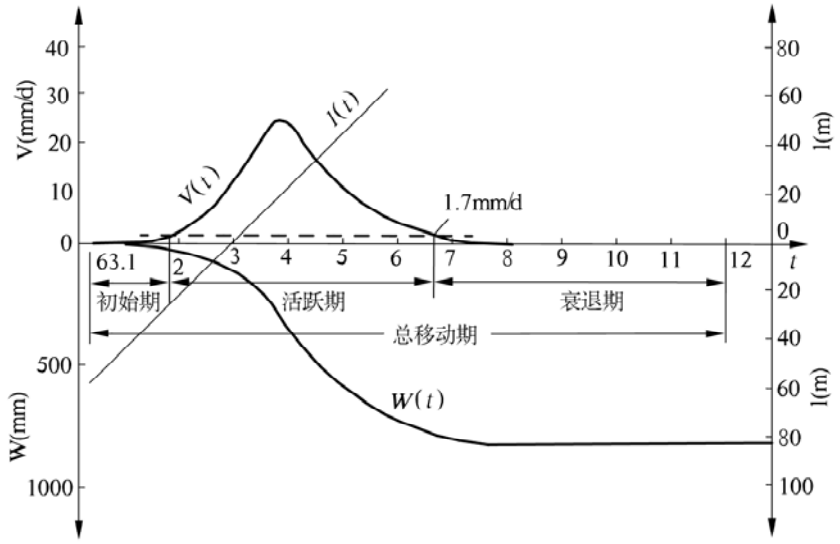


图 4.2.1 地表移动延续时间的确定方法

大量地表变形观测资料分析表明：长壁陷落法开采条件下，地表移动延续时间主要取决于覆岩性质和开采深厚比。地表移动延续期可分为初始期、活跃期和衰退期三个阶段。一般初始期时间很短，只有 3～10 天，约占总延续期的 1%～3%；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 50%～70%。

无实测资料时，地表移动的延续时间可按下式计算：

$$T=K_T H_0 \qquad (4.2.1)$$

式中：T——采空区地表移动延续时间（d）

H_0——工作面平均采深（m）；

K_T——系数，取值 1.0～2.5，覆岩强度愈高取值愈大。

多年来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 95~98%，而衰退期地表移动变形量很小，约占总变形量的 2~5%。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设计的要求。因此，可通过采空区地表沉降观测，以地表下沉速率来评价场地的稳定性。

2. 不规则房柱式采空、小窑采空区等一般难以进行地表沉陷变形计算，而其稳定性与采空区矿层的开采条件、开采深厚比、覆岩性质及停采时间等因素密切相关，采空区地表变形常表现为突发性及非连续性，通常很难搞清其开采条件、停采时间、空间分布规律等情况，故采用开采深厚比作为这类采空区的稳定评价标准。多年来的实践经验表明，根据开采深厚比来初步评判采空区稳定性是行之有效的。

3. 巷道式小窑采空区埋深一般不大，其场地稳定性评价实际上是评价洞穴顶板的稳定性问题。对于近水平的巷道式小窑采空区，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方法计算出巷道顶板临界深度和顶板稳定系数 F_s。本条主要参照《铁路工程地质手册》（99 版）等相关评价标准，并考虑小窑采空区地质条件的复杂性以及变形失稳的特点，结合多年实践经验，将稳定性分级标准作了适当的调整，以提高评价结论的可靠度。

近十多年铁道部门在山西省、陕西省修筑了不少穿越小煤窑采空区的铁路，如梅七线、阳涉线、孝柳线、侯月线、神朔线、包西线等，在小窑采空区勘察和评价方面积累了丰富的经验，提出了小窑采空区稳定性分区评价标准（表 4.2.5），可为巷道式采空区工程场地稳定性评价所借鉴，具体方法参见《铁路工程不良地质勘察规程》（TB10027-2001）P167 页条文说明。

表 4.2.5 小窑采空区稳定性评价标准

稳定性分区	顶板基岩厚度(m)	处 理 原 则
Ⅰ一可能塌陷区	<30	所有工程均应处理
Ⅱ一可能变形区	30~60	重点工程应予处理
Ⅲ一基本稳定区	>60	一般工程均不处理，重大工程应结合工程重要性单独研究确定

注:当小窑采空区顶板为第四系覆盖层时，则按 1/3 换算为基岩厚度。

4.2.2 不同等级的公路与不同类型的工程对地基的稳定性要求是不同的。当

公路采空区地表剩余变形量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。

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，据国外资料，一般地表变形对于高速公路和桥梁工程限制在Ⅰ～Ⅱ级变形破坏以内，即允许的倾斜i≤3.0~6.0mm/m，水平变形ε≤2.0~4.0mm/m，曲率K≤0.2~0.4mm/m^2；对于一般公路则限制在Ⅲ级变形破坏以内，即允许的倾斜i≤10.0mm/m，水平变形ε≤±6.0mm/m，曲率K≤0.6mm/m^2。地表变形值在上述允许范围内时，公路路基可以不作处理，超出此范围，应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）规定采空区场地建筑适宜性的标准为：地表倾斜i≤10.0mm/m、地表水平变形ε≤6.0mm/m、地表曲率K≤0.6mm/m^2；《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》规定建筑物轻微及极轻微损坏的地表允许变形值为：地表倾斜i≤3.0mm/m、地表水平变形ε≤2.0mm/m、地表曲率K≤0.2mm/m^2。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。

关于采空区公路工程地基容许沉降量可参照下列规范确定：

《公路路基设计规范》（JGJ D30-2004）规定，公路路基工后沉降控制标准见表 4.2.2-1。

表 4.2.2-1 公路路基容许工后沉降值

工程位置 / 道路等级	桥台与路堤相邻处	涵洞、通道处	一般路段
高速公路、一级公路	≤0.10m	≤0.20m	≤0.30m
二级公路	≤0.20m	≤0.30m	≤0.50m

《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTJ024-85）规定，静定体系的桥梁（简支桥梁）的墩台沉降和位移不宜超过如下值：

墩台均匀总沉降值：$2.0\sqrt{L}$（cm）；

相邻墩台均匀总沉降差值：$1.0\sqrt{L}$（cm）；

墩台顶面水平位移值$0.5\sqrt{L}$（cm）。

注：L为相邻桥跨中较短跨的跨度（m），当L＜ 25m时，按25m计算。

对于外超静定体系的桥梁墩台间允许的不均匀沉降或位移，需由上部结构计算确定。

此外，为便于参考，将一些国家规定的采空区建筑物地表允许变形值列于表4.2.2-2。

表4.2.2-2　一些国家规定的建（构）筑物地基允许变形值

国家或地区		水平变形		垂直变形	
		拉伸（$+\varepsilon$）(mm/m)	压缩（$-\varepsilon$）(mm/m)	倾斜（i）(mm/m)	曲率（K）(mm/m^2)
波兰		1.5	1.5	2.5	0.05
原苏联顿巴斯		2.0	2.0	4.0	0.05
原苏联卡拉甘达		4.0	4.0	6.0	0.33
美国		0.4	0.8	3.3	-
德国		0.6	0.6	1.0～2.0	-
法国（管线）		0.5	1.0～2.0	-	-
日本		建筑物水平长度变化小于30mm～60mm			
英国		0.5	0.5	-	-
原苏联		8.0～10.0（地上管线） 1.0～4.0（地下管线）		-	0.05
中国	本溪矿区	2.0		4.0	0.5
	合山矿区	1.0		2.0	0.15

4.2.3　采空区公路是否需要处治主要取决于采空区场地的稳定性以及公路等级和工程类型。稳定场地，由于其地表剩余变形量均小于公路规定的允许地基变形值，满足公路工程的设计要求，故采空区不必进行处治；基本稳定场地，局部地段地表变形量接近或略大于公路工程允许地基变形值，考虑到采动区工程地质条件复杂和一些无法确定的因素，其后期地表变形有可能大于预计的地表变形量，因此桥梁和隧道工程应审慎对待，处治与否应进行充分论证，但路基可不处治。

4.3　采空区稳定性评价方法

4.3.1　本条 5 种评价方法适用于针对不同的勘察阶段和开采条件，在实际应用时，应根据采空区勘察的实际情况，选择适宜的评价方法，才能获得切合实际的评价结果。

4.3.2　采空区的稳定性与地形地质条件、矿床赋存条件、覆岩性质、开采时限、采矿方法及顶板管理方式等因素有关，并共同构成开采条件。开采条件判别法是综合考虑上述因素，进行采空区稳定性评价的一种定性评价方法。

通过现场勘察，在充分掌握采空区开采条件相关资料的基础上，可按表 4.3.2 对采空区稳定性做出初步评判。在有工程经验的地区，也可按工程类比法进行场地稳定性评价，具体方法可参见《铁路工程地质手册》（修订版）等相关内容。

表 4.3.2　采空区稳定性初步评价主要判据

评价因子	影响程度		
	轻度	中度	重度
地形地貌	平地， 地面坡度小于 5°	丘陵， 地面坡度 5-15º	山区， 地面坡度大于 15º
地质构造	无断层、褶皱， 节理、裂隙不发育	有断层、褶皱， 节理、裂隙发育	断层、褶皱发育， 节理、裂隙极发育
地表松散层	质地密实，不含水或含水性极小，厚度＞30m	质地一般，含水性中等，厚度 10～30m	质地松软，含水丰富，厚度＜30m
覆岩特征	厚度大，完整性好， 强度高	厚度中等，完整性较好， 强度较高	厚度小，完整性差， 强度低
矿层倾角	水平或缓倾斜 （＜35º）	倾斜 （35º～54º）	急倾斜 （＞54º）
采区回采率	＜30%	30%～60%	＞60%
采空区埋深	深（＞300 m）	较深（100～300 m）	浅（＜100 m）
开采厚度	小（＜2 m）	中（2～3 m）	大（＞3 m）
开采深厚比	大（＞100）	中（40～100）	小（＜40）

开采层数	单层	多层	多层
顶板管理方法	充填式	柱式	垮落式
停采时间	＞3 年	1～3 年	＜1 年
采动效应	地表无明显变形迹象、无积水	有地表裂缝及塌陷坑等、季节性积水	地表裂缝、塌陷坑等强烈发育、常年积水
场地稳定性	稳定或趋于稳定	基本稳定～欠稳定	不稳定

4.3.3 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，通过比较公路工程允许的地表变形值，进而评价采空区场地稳定性的一种定量评价方法。地表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预计参数的合理选取。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矿区（特别是煤矿）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，计算参数的选取应充分借鉴地区经验，并须经实测资料的充分验证。表 D.0.1-1~表 D.0.1-4 给出了按我国煤矿区覆岩分类的概率积分法预计参数，这些参数大多是针对于长壁陷落法开采条件下求取的，可直接用于准采区的地表移动变形预计。新采区和老采区的地表移动变形预计，则应通过下沉系数的折减，求取剩余移动变形值。

根据矿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半无限开采缓倾斜矿层（α＜15º）地表下沉盆地主断面的移动与变形计算模式；③缓倾斜矿层（α ＜ 15º）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开采倾斜矿层（15º ≤ α ＜ 45º）和急倾斜矿层（45º ≤ α ＜ 75º）地表下沉盆地的移动与变形计算模式；⑤开采急倾斜矿层（α ＞ 75º）地表下沉盆地的移动与变形计算模式；⑥地表下沉盆地任意点和任意方向移动与变形计算模式；⑦山区地表移动与变形计算模式。其中实际应用最多的是①、③、⑤三种模式，山区则应采用模式⑦。

4.3.4 地表位移变形观测法是通过观测得到的地表下沉数率，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进行评判。

地表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陷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，有条件的工程场地应尽量采用。该法的采用宜贯穿于公路采空区勘察、施工及后期运营全过程，以便更好地发挥该方法应有的作用。

4.3.5 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。对于近水平的巷道式小窑采空区，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，采用极限平衡分析方法可计算出维持巷道顶板稳定的临界深度（Hcr），按以下两式计算：

当覆岩为松散岩体时 ：

$$H_{cr}=\frac{B\gamma+\sqrt{B^2\gamma^2+4Bp_0\gamma\tan\varphi\tan^2\left(45°-\frac{\varphi}{2}\right)}}{2\gamma\tan\varphi\tan^2\left(45°-\frac{\varphi}{2}\right)} \qquad (4.3.5.-1)$$

当覆岩为非松散岩体时:

$$H_{cr}=\frac{B\gamma+\sqrt{B^2\gamma^2+4Bp_0\gamma(\frac{\mu}{1-\mu})\tan\varphi}}{2\gamma(\frac{\mu}{1-\mu})\tan\varphi} \qquad (4.3.5\text{-}2)$$

式中：B——采空区巷道宽度（m）

p_0——公路路基基底压力，（kPa）

γ——上覆岩层加权平均重度（kN/m^3）

φ——上覆岩层加权平均内摩擦角（°）

μ——上覆岩层加权平均泊松比

对比采空区的实际埋藏深度及临界深度，按式（4.3.5-3）可求得采空区顶

板的稳定系数F_S，参照正文表4.2.1.5评价小窑采空区场地的稳定性。

$$F_S = \frac{H}{H_{cr}} \qquad (4.3.5\text{-}3)$$

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）

此外，对上述巷道式小窑采空区，在工可阶段也可根据洞穴顶板塌陷法估算巷道顶板临界安全厚度，粗略地评价场地稳定性。当巷道式小窑采空区的顶板为相对坚硬、完整、风化程度轻微的厚层砂岩或石灰岩时，可将其视为横跨巷道两端的固端梁，验算其两固定端的拉应力强度条件及其两端的剪应力强度条件，并据此评判此类采空区的稳定性。上述计算方法可参见《岩土工程勘察设计手册》等相关内容。

4.3.6 数值模拟方法应用于采空区稳定性评价的计算精度及可靠性取决于地质力学模型的合理性、计算参数的准确性等诸多因素，包括计算模型范围的合理确定、边界条件及初始条件的合理设置、计算工况的合理设计以及采动岩体物理力学参数的正确取值等。由于目前工程应用经验不足，因此在采空区覆岩破坏、地表沉陷预计及稳定性评价时，数值模拟法通常作为一种比较和参考方法来使用。

运用有限单元法进行采空区场地稳定评价，可采用ABAQUS、MIDAS软件；运用有限差分法时，可采用FLAC^{2D}、FLAC^{3D}软件。

通常情况下采空区采动破损覆岩的力学参数难以确定，可将实验室测得的岩石力学指标按表4.3.6进行折减取值。

表 4.3.6　有限元分析采空区稳定性采动岩体参数取值建议

参　数	位　　置			
	未采动和采动弯曲带	冒落带	裂隙带	风化带
弹性模量 E	1/3～1/5	1/20～1/30	1/20～1/10	1/6
粘聚力 c	1/3～1/5	1/20～1/30	1/20～1/10	1/6
屈服函数参数 k	1/3～1/5	1/20～1/30	1/20～1/10	1/6
抗拉强度 R_t	1/3～1/5	0	1/20～1/10	1/6
泊松比 μ	同岩样参数	1～2	1～2	同岩样参数

进行采空区场地稳定性数值模拟时，应根据勘察资料合理地建立地质模型和设计计算工况，数值模拟通常可分 3 个步骤进行：第一步计算矿层开采前的原始应力及位移，第二步计算矿层开采后的应力及位移，第三步计算外荷载作用下的应力及位移。最后以地下空洞围岩中是否出现明显塑性变形区为评判标准，或根据地表移动变形计算值，参照正文表 4.2.1-2 对场地稳定性进行评判。

4.4　各勘察阶段采空区稳定性评价要求

4.4.1　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，因此宜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，可采用类比法初步评判场地的稳定性。

4.4.2　由于采空区的类型不同，其勘察内容和评价方法是不同的。对新、老采空区应在已查明采空区的分布范围、埋深、充填密实程度等基础上，估算地表剩余变形值，评价上覆岩层稳定性；对准采空区应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。

长壁式陷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可渐趋终止。房柱式、巷柱式（含小窑）采空区变形过程非常复杂，地表移动变形通常持续相当长时间且难以预测。

大量观测资料分析表明：在中硬覆岩全部陷落法开采条件下，采深小于 100m 的采空区，地表最大下沉点总移动期约为 0.3~0.5a；采深 100~200m 时，总下沉

期限约为0.5~1.0a;采深200~300m时,总下沉期限约为1.0~1.2a;采深300~400m时，总下沉期限约为1.2~1.5a；采深400~500m时，总下沉期限约为1.5~2.0a。

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,预测的地表裂缝或塌陷区属不稳定地段，公路建设应避开，并有一定的安全距离。安全距离系指公路工程不受裂隙、塌陷影响的最小距离。《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)建议大于5~15m,《公路工程地质勘测规范》(JTJ064-98)建议大于15m，本《细则》推荐最小安全距离为15m。

5　采空区公路设计

5.1　一般规定

5.1.1　对于大型矿企一般拥有大量的矿区道路、管线、房屋建筑等设施，公路工程的建设难免与上述工程设施有干扰或影响，公路设计应在不背离路网总体规划与走向前提下，将矿区的现状、规划与发展作为路线设计的重要因素考虑，协调好相互之间的关系。

5.1.2　本条主要是强调采空区勘察、稳定性评价在采空区公路设计和处治施工中的重要性。一切合理的方案都必须建立在采空区的勘察与评价基础之上，否则，选择相对合理的方案就是一句空话。

5.1.3　避让采空区方案存在明显不利因素主要是指，因避让采空区压覆资源过多或增加里程过长、或线形难满足技术要求、可能会诱发新的地质病害或拆迁量较大和造价较高等。鉴于此种情况，有必要对避让采空区方案和通过采空区方案进行同等深度的比较，经综合比较选择技术与经济相对可行合理的方案，为采空区公路选线提供技术支撑和依据。

5.1.4　当桥梁下伏有采空区存在时，应优先考虑以高填涵路基通过采空区。必须采用桥梁方案时，要求适当提高采空区的勘察精度和处治标准，以便于处治方案更加有效合理，满足桥梁的安全性和稳定性要求；另外也考虑到桥梁一旦因采空区出现问题，社会影响较大、处治技术比较复杂、交通不易恢复等因素。

同理，隧道也是如此。

5.1.5　适当考虑采空区沉陷可能产生的附加变形主要是考虑残余变形具有长期性特点。

5.1.6　采空区的处治施工与公路主体工程的施工如同时进行，或采空区的处治施工质量未经检测评价就开始主体工程的施工，是不能保证主体工程的安全的，特别是桥隧工程，应禁止违规操作。采空区的注浆施工本身需要一定时间的，此外浆液在地下较为封闭的环境中凝固成结石体也需要较长的时间（6 个月），因此，只有当注浆效果经检测满足质量标准后，才能进行主体工程的施工。

5.1.8　按采空区场地稳定性级别决定采空区是否进行处治或怎样处治，是公

路采空区处治设计的基本依据。当采空区场地稳定时，一般不进行处治；当场地为基本稳定或欠稳定时，应结合工程类型，有针对性地对采空区进行处治；当场地不稳定时，应进行全面处治。

5.2　路线设计

5.2.1　一般规定

1．对影响路线方案的地形、地质、环境、土地及矿产资源等因素的综合研究，主要有两方面的意义：一是公路建设自身的需要，公路线位的设置要求避开地表变形强烈和复杂地段，避开因工程建设引发、加剧或遭受崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害易发地段；另一方面，可以促使采空区公路建设在勘察设计阶段，对矿区道路、保护煤柱、土地和矿产资源进行周密考虑，既要达到绕避采空区，又要少压覆矿产资源，少占有土地资源之目的。

5.2.2　选线

1～6　采空区公路选线应贯彻“安全选线、环保选线、地质选线、地形选线”的理念，灵活运用指标，处理好政治与经济、整体与局部、远期与近期、避让采空区与压覆资源的关系。同时，结合地形、地质、地物、水文、筑路材料等自然条件和人文环境，通过综合研究分析，认真进行方案论证与比选，在造价增加不多的情况下，应尽量选用较高的技术指标，以提高公路工程的质量。设计中应贯彻因地制宜、就地取材原则，结合我国实际情况充分吸收国内外采空区修建高等级公路的经验，使采空区公路建设在经济和社会等方面取得较好的效益。

7～9　地表移动盆地中部的平底部位，是采空区塌陷较为强烈，地表移动变形较为充分、残余变形量相对较小、变形趋于稳定的地带，采空区的处治相对容易和简单。

公路弯道、曲线的拐点，以及纵坡较大的地方，线形指标较低，是行车安全性差、容易发生车祸的地方，对路基稳定性要求比较高。若将弯道或竖曲线的拐点设在采空区地表下沉量大、变形复杂的部位，显然不利于路基路面的稳定，而且其残余变形长期得不到稳定，工程质量难以保证，极易成为病害路段，威胁行车安全。

越岭路线遇到采空区时，由于采空区地层松弛变形严重，开挖边坡极易引发崩塌、滑坡，形成人为地质灾害，防护治理难度和工程量很大，所以强调对于深路堑方案，应持谨慎的态度，应与隧道方案进行，或者进行专题研究，根据研究结果确定。

5.3　路基、路面设计

5.3.1　采空区的路基、路面设计应根据采空区的分布和变形特点，结合当地资源与环境等条件进行多方案设计方案比较，主要是贯彻因地制宜和就近取材的原则，达到公路工程建设与环境保护并重、节省资源与降低造价尽量兼顾的目的。

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

5.3.3～5.3.4　采空区上方的挖方路基和填方路基，应根据稳定性验算结果决定是否对采空区进行处治或采用其它方式通过采空区。挖方路基除了路基稳定性验算外，还应进行边坡稳定性验算。路基的稳定性主要取决于采空区顶板及其覆岩稳定性验算结果，挖方路基还应视挖方高度进行边坡稳定性验算，如果能通过减少挖方高度保持采空区顶板稳定，当然很好。需要说明的是这类采空区主要是指巷柱式采空区。

5.3.6～5.3.7　利用废弃矿渣作路基填料，符合公路建设因地制宜、就地取材的一贯原则，也可在一定程度上缓解采矿弃渣造成的环境压力，有利于保护当地环境。粉煤灰和煤矸石是应用比较广泛的注浆处治材料和筑路材料。当利用其它类型的矿渣作路基填料时，应对这种材料做路用试验，如经试验不能直接作为路基填料时，可参配其它材料进行改良，以满足路基用料要求。

回采率是表示矿产开采充分程度的一项重要指标，可间接反映地下采空区的稳定性状况。回采率高，表明矿层得到了比较充分的采动，反之采动则不充分。回采率高的采空区，地表移动变形充分，且变形数率较快，在地表变形趋于稳定的情况下，可不对路基作常规的注浆处治，可根据采空区残余变形量对路基进行间接加固，如铺设土工布等；对于回采率低的采空区，情况则较为复杂，在符号

条文规定的情况下，也可按照此种办法来处理。

5.4　桥梁设计

5.4.1～5.4.3　对稳定的采空区场地，可采用强夯法对墩台地基作进一步的夯实处理，以降低或消除可能产生过大残余变形隐患；对基本稳定或欠稳定的采空区场地，可根据采空区埋深、地基持力层岩土性质以及地下水条件等，对墩台地基选择回填法、强夯法或注浆法进行处治；对处于山区的欠稳定采空区场地和不稳定的采空区场地，不仅对地基进行处治，还应对由于采动影响的不稳定斜坡进行整治与加固。

采空区桥梁宜按简支结构设计，是基于两方面的考虑，一是因为采空区地表残余变形具有长期性和复杂性，即便对采空区做了处治，也需要一定的安全储备；二是简支结构抗变形能力较好。

对于极不稳定的采空区，采用桥梁通过风险较大，应进行填方路基方案与桥梁方案的同深度比较，选择更安全、更合理的通过方式。

5.4.4～5.5.5　对于规模小、埋深浅的采空区，宜采用桥梁跨越。这些情况主要有：

1.埋深≥30m，坑洞复杂的小窑采空区；

2.注浆处治难以达到预期效果的多层、富水采空区；

3.年代久远，处治条件困难的老采空区；

4.地形地物条件限制，不能采用路基通过的采空区；

5.古墓穴、大型地窖、大型窑洞、地下工程等非矿产采空区，不能避让时；

6.特殊开采的采空区（如水下采空区）。

有条件时，采用梁、板跨越隧道和路基下伏的巷道，方便省事，可节省工程费用。

5.4.7～5.4.10　桩基施工对采空区进行注浆处治或浆砌处治，一是为防止桩基混凝土漏失，二是可以提高持力层地基承载力。

埋藏较深或多层采空区，“覆岩三带”往往发育厚度大，不适合采用嵌岩桩，宜采用摩擦桩设计。人工挖孔桩或浆砌片石砌筑成桩不需要动用大型设备，

而且便于查明空洞的规模和形状，采区有效处治措施。但必须强调是，如地下赋存时禁止采用挖孔桩。

采空区桩基施工与岩溶区桩基施工比较相似，施工方法也是借鉴了岩溶区桩基施工的经验的，一般采用钢护筒辅助成桩。对位于断层带或伴随岩溶裂隙，地下水比较丰富的采空区，桩基施工容易出现井底漏浆情况，故建议采用注浆封堵漏浆空隙，待封堵体固结后，采用旋转冲挖成桩。

采空区埋深大于 100m，回采率低于 35%，覆岩强度高，且不存在新采或复采采时，属于采空区稳定场地，宜采用端承桩、明挖基础或扩大基础是可行的，但桥梁宜按小跨径、简支梁、轻型结构设计。

5.5　隧道设计

5.5.1～5.5.4　采空区隧道设计应重点考虑隧址及隧道影响范围内的采空区分布、规模、采空区三带特征、地表变形与移动特征、采矿位置及范围、地下水富水性；在明确区域地质、矿产地质、水文地质、开采范围、开采方式、顶板管理办法、有毒有害气体的赋存和含量的基础上，才能合理确定隧址方案、隧道设计方案和采空区处治方案。

在路线的纵面设计上，隧道宜选择从采空区下方通过的方案，因为采空区底板岩体受扰动破坏一般比较小，若选择在采空区上方通过，采空区顶板及覆岩的“三带”对隧道围岩稳定性影响很大，导致隧道的施工处于不安全状态，且处治的难度和费用也很高。

“3 倍洞径”是隧道埋深较大，围岩坚硬完整、均匀的条件下，围岩松弛变形区的理论界线。实际上，大多数隧道围岩松弛变形区界线都大于这一范围，因此隧道顶板距采空区底板宜大于 3 倍洞径，这是隧道围岩稳定性的最低要求。

采空区隧道，既要进行围岩支护衬砌设计，又要对采空区进行处治设计，支护衬砌设计与采空区处治设计是同一问题的两个方面，所以强调采空区隧道应按系统设计理念，将采空区处治设计与隧道支护衬砌设计结合起来，即所谓综合设计。

采空区隧道，围岩因采空影响已经历过变形松动，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，无疑是在加剧围岩

的破坏。两相邻隧道之间，随着隧道间距的缩短，围岩松弛变形发生叠加，即使采空区已经处治，采用小间距或连拱隧道方案的风险依然大于分离式隧道方案；此外，分离式隧道抗变形能力要优于小间距或连拱隧道。因此，不宜采用小间距和连拱隧道。

5.5.6～5.5.8　隧道从采空区下方通过要比从其上方通过，情况要好得多时。显然，在这种工况下，隧道顶板距对采空区底板的距离越大越有利于隧道的稳定和安全，但工程实践表明，什么情况均会出现，因此条文对不同的情况作了相应的规定。

当隧道顶板位于采空区下方，且距离采空区大于 3 倍隧道洞径时，隧道的设计和施工主要是支护衬砌问题；当隧道顶板距采空区底板小于 3 倍隧道洞径时，应根据隧道至采空区间的围岩情况，把隧道的支护衬砌设计和隧道顶板加固设计结合起来考虑。

当隧道底板以下出现采空区时，应把采空区的处治设计作为重点，根据采空区的开采历史、空间大小、采空区三带的分布与隧道的空间关系、地下水情况、围岩质量等因素，确定采空区处治方案和隧道围岩支护措施。当隧道位于采空区垮落带时，应根据采空区的处治效果和监控量测数据，除对仰拱和二次衬砌加配钢筋，初期支护加设钢支撑外，必要时还可考虑采用其它加固措施。

当隧道的埋深小于 40 米，并且采空区的处治费用较高时，应进行隧道明洞方案与路堑方案比选。主要是考虑隧道工程的风险、技术难度和处治费用均大于路基工程。

5.5.11～5.5.13　有些类似岩溶大厅的采空区，空间很大，而且采空区的围岩完整性、稳定性较好，若隧道与之相遇，可按明洞设计和施工，但应注意采空区顶板的稳定性分析和确认，对欠稳定的采空区顶板，应进行锚固。

膨胀岩和岩盐作为特殊岩土，同时又作为采空区隧道，情况比较复杂，故强调对这样的采空区应注重动态设计和信息法施工，注重积累工程实践经验。

采空区存在有害、有毒气体和大量地下水时，往往情况极其复杂，没有合理的勘察测试和分析论证周期是难以查明的，应进行专题研究或增加技术设计阶段，以正确指导隧道处治设计，确定施工处理方案。

6 采空区处治设计

6.1 一般规定

公路采空区处治设计是在对采空区勘察和评价的基础上进行的，应与公路工程设计阶段相一致。公路工程设计一般分为预、工可、初设和施设四个阶段，因此，处治设计在不同阶段有不同的要求。预、工可阶段主要任务是根据调绘与测绘资料，从公路采空区治理的角度提出路线通过的适宜地带，为合理确定路线走廊带及方案提供依据，并对各线路采空区治理的可行性进行论证；初设阶段应结合路线方案设计，根据采空区稳定性定性评价结论，对需处治的采空区提出处治方案；施设阶段应结合路线设计工作，根据采空区稳定性定量评价结果，对需要处治的采空区提出具体的处治方法和工艺、计算工程量以及预算费用。

6.2 注浆法

6.2.1

1. 注浆法系指用人工的方法向采空区的冒落带和裂隙带注入具有充填、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。

2. 对于矿层埋深较大、且矿层开采后发生了较严重的垮落、采空区充填程度较高、下部空间相对狭小的地段，难于采用开挖回填、强夯、干砌支撑和浆砌支撑等方法处治采空区时，一般宜采用注浆法。该法主要用于治理公路路基部位的采空塌陷区；对于大、中型桥梁、立交桥、隧道等公路构筑物，如无法完全避让，则应提高采空区注浆设计的标准。

3. 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、区域注浆施工经验较少、使用注浆新工艺的地区，在注浆施工前应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，可不进行现场注浆试验，直接进行注浆设计和施工。

6.2.2

1. 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

留设与压煤开采规程》（中华人民共和国煤炭工业局制定，2000 年）计算。因老采空区与新采区、准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影响角。对于新采区和准采区，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残余空洞、裂隙的再冒落和压密过程引起的，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按覆岩活化移动影响角计算。

2. 基岩移动角值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。因此在参照表 6.2.2-4 取值时，应考虑开采深厚比的影响，深厚比愈大，移动角取值相应也愈大。

3. 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。根据资料分析，移动角 δ（γ）一般应减小 10~15°，并且减小值与坡角有关，坡角愈大，减值愈大。

4. 采空区边界以内自下而上主要发育岩层破断、冒落形成的裂隙和空洞，其采空区处治深度应达采空区底板以下；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，其采空区处治深度可按公式 6.2.2-5 计算。

6.2.3

1. 采空区处治范围的边缘部位应布设帷幕孔，其孔间距一般取 10±5m。当采空区处治范围的边缘部位存在大的空洞时，其孔间距宜取小值。

2. 注浆孔宜采用梅花型布设方式，其排距、孔间距可参照表 6.3.3-1 的经验值设计。当煤层回采率大、顶板坚硬、冒落带和裂隙带的空隙、裂隙之间的连通性好，可取大值；反之应取小值。当采空区位于一般路段时，可取大值；当采空区位于高挖、填方地段或桥梁、隧道等构筑物地段时，则应取小值。

6.2.4 钻孔结构设计

注浆管材料一般选用钢管；当采空区处治深度小于 50m 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 2mm，强度大于 3MPa。

6.2.5

1. 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、水泥粘土类浆液结石体强度较高、造价低廉、材料来源丰富、浆液配制方便、操作简单，目前在工程中得到了广泛运用。

2. 根据材料配比实验研究，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，应由稀到浓，一般根据工程目的、施工现场的具体情况，选用适当的浓度比级。当采空区充水时，宜采用较大的浓度比级；反之，则采用较小的浓度比级。

3. 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，在确定固相比时应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、粘土的比例。为了提高采空区处治的强度，在处治桥梁、隧道等重要构筑物下伏采空区时，应适当增加水泥的用量。

6.2.6

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，浆液扩散距离大，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。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，注浆压力的选择应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。

6.2.7

1. 注浆量计算的关键是确定采空区剩余空隙率。该值的确定应以实测为主，无条件实测时，可采用经验数据。

2. 注浆充填率宜根据公路工程的性质确定，对于路基范围内的采空区取值在 80～85%之间；对于桥梁、隧道等构筑物范围的采空区取值在 90～95%之间。

6.2.8

1. 处治单层采空区，采用全孔一次注浆法施工，用似法兰盘简易止浆法止

浆。采用直径不小于φ50mm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，用少量碎石粘土将似法兰盘与孔壁之间的孔隙封堵，然后采用 1：2 水泥浆或 42.5 号快硬水泥稠浆将注浆管与孔壁胶结在一起，水泥浆灌注高度不应小于 8m。

2. 处治多层采空区，当各矿层间冒落裂隙带互相贯通时，宜采用上行式注浆法；当各矿层间冒落裂隙带没有互相贯通时，宜采用下行式分段注浆，用套管止浆。其方法是：开孔孔径进入完整基岩 4～6m，灌注 0.5：1 或更浓的的加水玻璃的水泥浆。其水泥浆柱高度不小于 8m，接着下入止浆管，待水泥浆终凝或24h后再变径钻至第一个煤层采空区的设计深度。在孔口管上安装注浆用的三通管即可注浆。该层段注浆结束，待水泥浆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。如此注浆、扫孔的多次重复直至最下层采空区注浆结束止。

6.3 其它处治设计方法

6.3.1 干（浆）砌支撑法

该方法是采用人工对采空区进行干（浆）砌筑墙体或墩柱来支撑顶板，以防止采空区顶板产生塌落引起上覆公路工程变形破坏。

对于矿层开采后顶板尚未塌陷的采空区，可采用非注浆充填方法（包括干砌片石、浆砌片石、井下回填、钻孔干湿料回填等方法）；采空区为单一的巷道，且能在巷道内安全施工时，可采用巷道内干砌片石、浆砌片石、井下回填等方法；当采空区为壁式或房柱式开采工作面时，可先采用钻孔干湿料回填，然后再充填的方法。由于采空区的工程地质条件复杂，应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可参照相应的规范执行。

塌落影响系数是根据采空区上覆岩层塌落和沉降情况确定，该系数的选取可采用类比法。

6.3.2 开挖回填方法

该方法是采用爆破、人工或机械开挖，然后再回填以达到处治采空区之目的。

回填材料要求、质量控制按照《公路路基设计规范》JTG D30-2004 第 3.3 节、第 3.8 节要求执行。

6.3.3 巷道加固法

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引起上覆公路工程的破坏。

对正在使用的巷道加固设计应按照《公路隧道设计规范》 JTG D70-2004 的相关规定和要求办理；对废弃的巷道，如具备井下作业条件，可采用干（浆）砌支撑法进行处治，如不具备井下作业条件，可采用注浆法进行充填处治。

6.3.4 强夯法

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，通过先破坏后夯实的途径达到处治采空区目的。

强夯法处治是根据《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79-2002 第 6 节内容编写。

强夯法应根据采空区的覆岩强度、完整性及且埋深选用合适的夯击能，夯击能和夯击遍数宜根据现场试验确定。

6.3.5 跨越法

该方法是采用梁、板和拱桥技术跨越采空区。

跨越法包括桥梁跨越采空区和桩基穿越采空区两种方式。采用桥梁构造物跨越采空区时，设计应根据《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2004 、《公路桥涵地基与基础设计规范》 JTG D63-2007、 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 JTG D62-2004 及其它相关现行规范执行。

桩基穿越采空区时，宜先对采空区进行注浆处治，处治效果经检测符号要求后，再进行桩基的施工。这样做有两方面的好处，一是避免了因采空区塌陷对桩基产生负摩阻；二是可以确保桩基的成桩和成桩质量。

7 采空区处治施工

7 采空区处治施工

7.1 一般规定

针对不同的采空区工程地质条件及其要素特征，结合公路等级和工程类型，采空区注浆处治施工应采用不同的施工方法、施工工艺。在采空区处治工程中，各个地段的采空区覆岩岩性、埋藏深度、开采方式、冒落及变形程度都有所不同，因此，采空区的处治方法、施工工艺差异也是非常大的。在施工前应熟悉、核实勘察设计文件及有关资料，做好动态设计与优化设计，编制施工组织设计，确保施工的有序进行。

采用注浆法处治采空区时，为了保证注浆工程质量，针对现场的地质和施工条件，选择适当的施工工艺及施工设备，是处治成功与否的关键。施工前选择具有代表性的路段作为试验段，按设计注浆孔总数 5～10%的孔数进行现场注浆试验，试验内容包括成孔工艺、注浆施工工艺、注浆设备、浆液的配比等。在分析与总结试验成果的基础上确认和优化设计方案。

7.2 注浆法处治施工

注浆处治施工主要工序包括施工准备、注浆孔施工、孔口管浇筑、采空区注浆及封孔、整编竣工资料等。各工序的进度应相互匹配。

7.2.1 施工准备

施工准备的顺序为：机构组建－施工图纸阅读－人员、设备进场－临建－施工现场三通一平－建立注浆站－材料准备－设备调试。

1．施工机械设备

注浆浆液的搅拌必须分两级进行， 二级搅拌池的容积，应是一级搅拌池一次制浆量的 1.5～2 倍。主要搅拌设备以立式水泥浆搅拌机为主，如地形条件允许，可自制二级搅拌池。

注浆泵的选型宜根据设计的注浆终压及注浆泵量选型，应尽量选用压力、流量可调节的专用注浆泵，如注浆材料有腐蚀性，宜选用耐腐蚀的注浆泵。

止浆设备或装置的选型应尽量简单、操作方便、止浆可靠。在以往采空区施工中，常用的主要设备以自制的似法兰盘止浆器为主，法兰盘直径大小应与注浆孔径相匹配。

阀门应便于拆卸，并严密不漏。压力表应与注浆压力相适应，压力表结构简单，操作维修方便，计量可靠。采空区注浆过程中当注浆压力大于 2MPa 时，应采用高压注浆阀门、大量程压力表；当注浆压力小于 2MPa 时，应采用低压注浆阀门、小量程压力表。

2. 注浆工程试验室的面积一般不小于 20㎡，所需基本仪器见表 7.2.1.1。

表 7.2.1.1 试 验 室 常 用 仪 器 一 览 表

名 称	规 格 型 号	单位	数量	名 称	规格型号	单 位	数量
托盘天平	0-1kg 感量 1g	台	1	吸 球		个	3
水泥稠凝测定仪		台	1	滴定管	50ml	个	2
圆形试模	Φ65 变Φ75mm，高 40mm	个	10	漏 斗		个	2
方形试模	7.07×7.07×7.07cm³ 或 5×5×5cm³	个	10	毛 刷	Φ15、Φ30mm	个	各 3
				水 桶	20L	个	4
秒表	0.1s	块	2	闹 钟		个	2
波美计	0-70° Be′	支	10	塑料口杯		个	10
温度计	0-50℃	支	10	电 炉	1000-1500W	个	1
搪瓷缸	1500、1000、500mL	个	各 6	托盘秤	10kg	台	1
烧杯	800、500mL	个	各 20	牛角勺		个	4
量筒	1000mL 500mL 200、100、50mL	个 个 个	2 4 各 6	养护池	面积 3-4 ㎡	个	1
广口瓶	1000mL	个	4	玻璃棒	Φ5-10mm	m	2
小广口瓶	1000mL	个	8	压力机	5-20t	个	1

3. 注浆站

注浆站的平面和立面布置可参见图 7.2.1.1 和图 7.2.1.2。

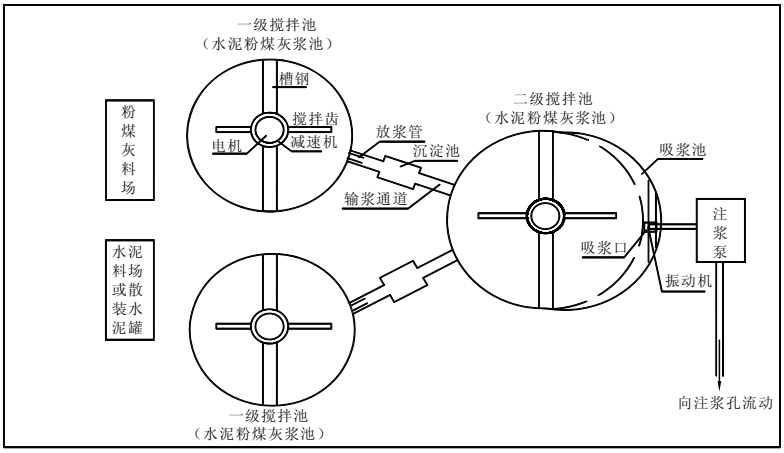


图 7.2.1.1　　注浆站水泥粉煤灰（粘土）制浆池平面示意图

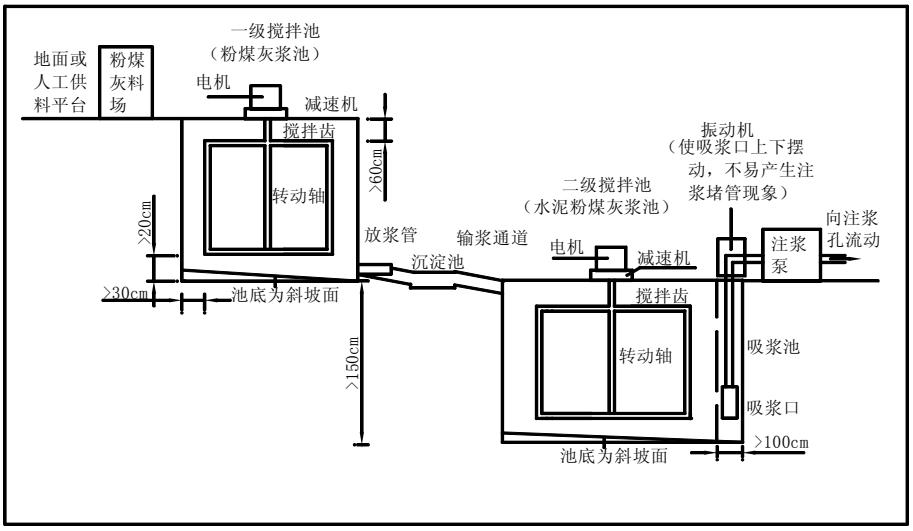


图 7.2.1.2　　水泥粉煤灰（粘土）浆注浆站（池）结构示意图

4. 注浆材料

结合工程进度，合理调配材料进场数量，严把材料质量关。施工前认真考查和选择原材料产地，并进行抽检，抽检合格并经监理认可后方能进场。

7.2.2　注浆孔施工及浇铸孔口管

注浆孔（帷幕孔）施工的顺序为：先施工低点帷幕孔，后施工高点帷幕孔及中间注浆孔，并由采空区底板标高相对较低位置的注浆孔开始，逐渐止于采空区底板标高相对较高的位置结束。对每一个钻孔操作流程为：测量定点－钻机就位－校正－钻孔—终孔报验－钻孔测斜－提交钻探成果资料。

1. 钻孔施工

钻进过程中应采取措施，达到钻孔的技术要求，防止钻孔偏斜。注浆孔钻进常用防斜与纠偏方法见表 7.2.2.1。

表 7.2.2.1 注浆孔钻进防斜与纠偏一览表

项 目		措 施
钻进防斜		1.钻进时，必须坚持使用钻铤。 2.在可钻性为 3～8 级的岩石中钻进，钻头压力为 40～60MPa。 3.软硬换层时，一定要用慢转，轻压(30～40MPa)。 4.使用耐磨损的钻头钻进，钻头焊接平整，孔壁较好时，钻杆间加导向箍，减弱钻杆甩度。变径时要采用导向措施。 5.钻进时，机上余尺不宜过长。一般使用 8m 长的岩芯管。 6.开孔时要使天轮中心、立轴中心、钻孔中心三点在同一垂线上。立轴导管与主动钻杆空隙过大时要及时更换。 7.经常检查钻具有否弯曲，禁止用弯曲的钻杆钻进。 8.每钻进 50～100m 测斜一次，发现问题及时纠偏。 9.控制回次进尺，及时提钻，提高岩芯采取率，并防止脱落岩芯。如岩芯脱落，应及时捞上来再钻进。 10.使用扭矩大的钻机，大流量的泥浆泵，刚性大的钻具。
孔斜纠偏	注浆封堵重新开孔扫斜	1.在注浆孔上部的直孔段设止浆塞。 2.封堵材料可用 42.5 号水泥，加三乙醇胺复合外加剂，水灰比为 0.75:1～0.6:1。 3.封堵孔斜与正常注浆方法相同，压力达终压后应维持 20min，以提高封堵质量，当不能达到终压时，要增长养护期。 4.一般经 48h 养护后，用轻压、慢转扫斜，钻出的新孔偏斜及方位角均符合要求时，方许转入正常钻进。 5.如果一次处理无效果，需按上述方法重新处理，直至符合要求方可恢复正常钻进。
	扫	利用翼片较多的扫孔钻头，慢慢从偏斜处上方往下扫孔，如有台阶不要滑掉。
	扩	换用比原来钻头大的钻头扩大孔径，修正钻孔。扩至原深度再换用原钻头，将钻具悬吊 1m 左右，慢慢下放钻出一个新孔，钻进 1～2m 测斜合格，再转入正常钻进。

	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，再利用扩孔钻头，扩大已铲过的一段，铲扩交替，直至铲不下去，再扩孔到底。铲孔时要注意找正三点一线，防止提升中心偏斜，影响铲孔。
	移孔	用其它方法处理偏斜无效时，在设计允许前提下，参考邻孔偏斜情况，可向偏斜方向移孔纠偏。
	利用扶正器纠偏	利用扶正器定向导斜纠偏。

2.钻孔注浆前，应对注浆孔进行压水冲洗。其目的：

1）检查注浆管路是否通畅及漏水。

2）冲洗钻孔岩层裂隙，检查裂隙的堵塞情况。

压水冲洗应视工程的具体情况确定，所采用的压力应尽量与注浆压力一致。

7.2.3 注浆浆液

1. 注浆浆液配制

浆液的配比及性能指标，严格执行设计文件规定，确保浆液质量满足设计要求。施工中严格检测频率检验浆液的各项性能技术指标。

2. 浆液性能测定

1）粘度

粘度是量度浆液粘滞性大小的物理量，它表示浆液在流动时由于相邻之间流动速度不同而发生的内摩擦力的一种指标。内摩擦力τ与沿接触面法线方向 n 的速度梯度如 dυ / dn 成正比，与流体本身的性质有关，而与接触面上的压力无关，即

$$\tau = \mu \cdot du / dn = \mu v \qquad (7.1)$$

式中：τ—单位面积上的内摩擦力(或称剪切力)(Pa)。

μ—粘度系数，简称粘度(Pa·s)。

v—剪切速率。

2）结石率

水泥类浆液凝结后的固体称为结石体，结石体积与浆液体积之比称为结石率，表达式为：

$$\beta = v_2 / v_1 \qquad (7.2)$$

式中 v_1—浆液的体积；

v_2—结石(凝胶体)体的体积。

3）固结体抗压强度

水泥粉煤灰浆液固结体试件的强度试验项目，包括单轴抗压强度、抗折或抗剪强度和抗拉强度等。

7.2.4 注浆施工

注浆工程施工顺序除严格紧随钻孔施工顺序外，对串浆孔的注浆优先考虑。每个孔注浆施工流程为：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－提交注浆成果资料的。

1. 不同的采空区，其覆岩性质和厚度，采空冒落带的空隙、裂隙的发育程度、连通性等都存在很大的差异，因此，注浆工艺及参数应有所区别。施工前，应进行现场试验，在对试验成果进行分析和总结的基础上，做好优化设计。

2. 处治单层采空区时采用全孔一次注浆法。通过已有的采空区处治工程实践，采用法兰盘简易止浆法止浆较为合理。但是，此法亦不完善。当法兰盘止浆完成后，注浆前发生塌孔或堵孔事故需进行扫孔时，法兰盘装置一般是起拔不上来的，因此扫孔十分困难。

法兰盘简易止浆法宜采用直径不小于Φ50mm 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，用少量碎石粘土将法兰盘与孔壁之间的空隙封堵，然后采用 1:2 水泥浆或 C42.5 快凝水泥稠浆将注浆管与孔壁胶结在一起，水泥浆灌注高度不应小于 6m(见图 7.2.4.1、图 7.2.4.2)。

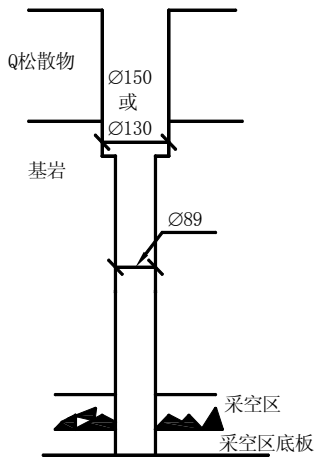


图 7.2.4.1 注浆孔结构示意图

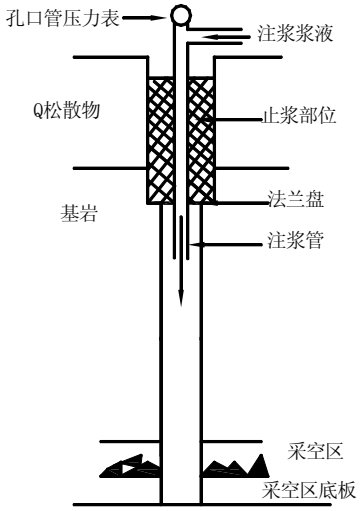


图 7.2.4.2 全孔一次注浆浇铸孔口管示意图

3. 处治两层以上采空区时，止浆需二次完成，下行法注浆宜选用套管止浆，上行式（法）注浆宜用止浆塞止浆。

下行法的要点是：以开孔孔径进入完整基岩 6m，灌注 0.5:1(1:2)或更浓的加水玻璃的水泥浆。水泥浆柱高度不小于 6m，然后立即下入止浆管（是护壁管又是孔口管和注浆管），待水泥浆初凝或 24h 后再变径钻至第一个煤层采空区的设计深度。在孔口管上端安装注浆用的三通管即可注浆。该段注浆结束后卸掉上端注浆装置，扫孔并钻至第二个注浆段深度，重新安装孔口三通管注浆。直至完成最下层采空区的注浆施工。

下行法注浆简单易行，且工程质量好，缺点是工期较长。

上行式分段注浆法宜用止浆塞止浆。此法要求止浆塞下置在裂隙不发育的完整基岩内。如遇多层采空区塌落，岩石破碎，空隙、裂隙发育，则不宜采用此法。

4.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了注浆的有效扩散距离，因此，通过现场试验确定各项指标。

5.注浆中可通过变换浆液浓度，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，可在注浆材料中添加骨料(砂、碎石、石粉等)。

6.注浆前后及注浆时都必须观测邻孔的孔深及水位变化，以便及时发现和处

理钻孔串浆现象。

7. 孔外输浆管路必须及时冲洗，以免浆液结块。冬季则放尽积水，或包扎防冻。

8. 及时观测注浆泵压、孔口压力及吸浆量的变化，根据系统观测记录，可判断正常进浆、跑浆或接近结束注浆标准。

7.2.6 质量控制与安全管理

1.质量管理工作通常由项目总工具体负责，质检工程师巡回检查、督促各班组质量管理措施的执行与落实。班组设立兼职质检员，具体负责施工中的质量工作。

加强工地试验室的检测管理，定期、定量对工程施工的材料、浆液配比及性能按设计要求进行规定频率的检测工作，杜绝不合格的材料进入工地，不合格浆液进入注浆孔。

定期召开工程质量管理例会，进行阶段性工程质量总结，发现问题及时解决，确保工程施工质量。

2. 安全管理

成立由项目经理负责，安全员、施工队长参加的安全组织机构，加强安全教育，制订详细的安全保证措施，保障员工的人身安全。要点如下：

1） 对易燃物品设专人管理，并配备足够的消防设备；

2） 对电源控制柜设专人管理，特殊工种人员必须持证上岗；

3） 高空作业人员必须配备安全带，施工人员必须配戴安全帽；

4） 危险设备及场地水池应设立围栏，并树明显警示标志；

5） 冬季取暖须注意防火安全。

8 采空区处治监测及检测

8.1 一般规定

采空区处治监测和检测是控制采空区注浆处治工程质量的两个方面，是采空区处治的重要组成部分，同时也是做好预警工作的前提。采空区公路监测和处治效果检测是确保公路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。

采空区变形监测是一个长期的过程，监测宜从勘察阶段开始，贯穿于设计、施工和运营阶段。在监测过程中，监测周期并非一成不变。当观测数据出现下列情况之一时，应增加监测频次，进行长时间观测，同时做出预警，通知业主及相关单位采取必要措施。

1）变形量达到预警值或接近允许值。

2）观测点突然发生大幅垂直（沉降）或水平变形。

3）构造物出现裂缝或地表裂缝快速加大。

桥梁变形监测精度，特大桥桥梁的监测精度，不宜低于二等，大、中桥不宜低于三等；隧道监测可采用三等；一般的路基及附属工程变形监测精度，可采用四等。

8.2 采空区处治监测

8.2.1采用三角网进行水平位移监测时，主要技术要求符合下表8.2-1和8.2-2的规定。

表8.2.1 水平位移监基准网的主要技术要求

等级	相邻基准点的点位中误差（mm）	平均边长L（mm）	测角中误差（″）	测边相对中误差	水平角观测测回数	
					1″级仪器	2″级仪器
二等	3.0	≤400	1.0	≤1/200000	9	/

三等	6.0	≤450	1.8	≤1/100000	6	9
四等	12.0	≤600	2.5	≤1/80000	4	6

表 8.2.2 测距的精度要求

等级	仪器精度等级	每边测回数		一测回读数较差(mm)	单程各测回较差(mm)	气象数据测定的最小读数		往返较差(mm)
		往	返			温度(℃)	气压(Pa)	
二等	2mm 级仪器	3	3	3	4	0.2	50	≤2(a+b×D)
三等	5mm 级仪器	2	2	5	7			
四等	10mm 级仪器	4	—	8	10			

注：计算测距往返较差的限差时，a、b 分别为相应等级所使用仪器标称的固定误差和比例误差系数，D 为测量斜距（km）。

采用水准测量进行垂直位移监测，主要技术要求符合表 8.2-3 和 8.2-4 的规定。

表 8.2-3 垂直位移监测网的精度要求

等级	变形观测点的高程中误差（mm）	每站高差中误差（mm）	往返较差、附合左环线闭合差（mm）	检测已测高差较差（mm）
二等	0.5	0.15	$0.30\sqrt{n}$	$0.4\sqrt{n}$
三等	1.0	0.30	$0.60\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$
四等	2.0	0.70	$1.40\sqrt{n}$	$2.0\sqrt{n}$

注：表中 n 为测站数

表 8.2-4 水准观测的精度要求

等级	水准仪型号	水准尺	视线长度（m）	前后视的距离较差（mm）	前后视的距离较差累计（mm）	视线离地面最低高度（mm）	基本分划、辅助分划读数较差（mm）	基本分划、辅助分划所测高差较差（mm）
二等	DS05	因瓦	30	0.5	1.5	0.5	0.3	0.4
三等	DSI	因瓦	50	2.0	3	0.3	0.5	0.7
四等	DSI	因瓦	75	5.0	8	0.2	1.0	1.5

主体倾斜观测，应符合下列规定：

1）可采用监测体顶部及其相应底部变形观测点的相对水平位移值计算主体倾斜。

2）可采用基础差异沉降推算主体倾斜值。

裂缝观测，应符合下列规定

1）裂缝观测点，应根据裂缝的走向和长度，分别布设在裂缝的最宽处和裂缝的未端，主要测定裂缝的走向、长度、宽度及变化程度。

2）裂缝观测中，裂缝宽度数据应量取至 0.1mm，每次观测应绘出裂缝的位置、形态和尺寸，注明日期，附必要的照片资料。

3）裂缝的观测周期，应根据裂缝变化速度确定。裂缝初期可半月观测一次，基本稳定后宜每月观测一次，当发现裂缝加大时应及时增加观测次数，必要时要持续观测。

变形监测的方法，应根据监测项目特点、精度要求、变形速率及构造物的安全性等指标，按表 8.2-5 选用。

表 8.2-5　变形监测方法的选择

类别	监测方法
水平位移监测	三角形网、极坐标法、交会法、GPS 测量、正倒垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、精密测（量）距、伸缩仪法、多点位移计、倾斜仪等
垂直位移监测	水准测量、液体静力水准测量、电磁波测距、三角高程测量等
倾斜监测	经纬议投点法、差异沉降法、激光准直法、垂线法、倾斜仪、电垂直梁等
裂缝监测	精密测（量）距、伸缩仪、测缝计、位移计、摄影测量等

布设监测网，是为了建立变形监测的基准体系，直接获取监测体的变形量。

由于自然条件的变化，人为破坏等原因，不可避免地有个别点位会发生变化，为了验证基点的稳定性，对其要进行定期复测。

8.2.2 布设监测网，是为了建立变形监测的基准体系，直接获取监测体的变形量。

由于自然条件的变化，人为破坏等原因，不可避免地有个别点位会发生变化，为了验证基点的稳定性，对监测网要进行定期复测。

8.2.3～8.2.9 在采煤工作面开始回采后，上覆岩层从采空区顶板开始，由下而上依次以冒落、断裂、离层、弯曲的形式移动。当工作面离开切眼的距离为平均采深的 1/5～1/3 时，这种移动开始波及到地表，不受采动影响的地表稳定点距切眼最小水平距离约为平均采深的 0.7 倍。开采深度越小，采动越充分，监测周期越短。开采深度越大，采动越不充分，监测周期越长。

8.3 采空区处治检测

8.3.1～8.3.2 钻探

钻探是最直观最有效的检测方法，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分析对比，对采空区处治效果进行评价。

钻探施工应采用清水钻进，准确观察、记录循环液的消耗量及其层位、深度，岩芯采取率应大于 80%，对采空区垮落带必要时采用双管等特殊取芯设备。检测孔的深度应进入采空区（或煤层）底板下 6m，以便于孔内物探工作的进行。对钻孔取芯所得到的浆液结石体，将其标准养护 72h 后送试验室按现行的《公路工程水泥混凝土试验规程》进行室内无侧限抗压强度测试。

浆液的充填率又称充填系数，是注入采空区内浆液结石后有效体积充填剩余空洞总体积的百分比，取值在 0.80~0.95 之间。

检查孔的布设，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。

检查孔应布置在质量隐患的部位，如在处治施工过程中单孔耗浆量大，注浆过程中出现中断等异常现象的部位；地质结构复杂，冒落塌陷严重的部位，如断层破碎带的位置；采空区的外边缘带与内边缘带的不稳定部位。

8.3.3 孔内波速

采空区处治后受注层平均剪切波速（横波）大于等于 160m/s，参照现行的《建筑抗震设计规范》关于剪切波速划分场地土类型标准，处治后的采空区相当于中软~中硬土。

纵波称之为初至波或 P 波，横波称之为续至波、次波或 S 波，纵波的符号为 Vp，横波的符号为 Vs，详见《工程地质原位测试》。介质的纵波波速与横波波速之比，与介质的密度和弹性模量无关，只与泊松比有关。纵波与横波的关系

$$\frac{V_p}{V_s}=\sqrt{\frac{2(1-\mu_d)}{1-2\mu_d}}$$

由上式可得，$V_P/Vs=\sqrt{3}=1.73$，在检测过程中当测读横波困难时，可以用纵波做参考。

孔内电视摄影、开挖、跨孔弹性波 CT、瑞雷波（面波）和高密度电法等为采空区处治效果的辅助检测方法参考使用。

8.3.4～8.3.6

注浆检测是在检查孔内注浆，浆液采用纯水泥浆，注浆工艺和注浆参数参照原采空区处治设计文件，停注压力为 2～3MPa，吸浆量小于 50L/min，持续时间均为 10～15 分钟，根据注入浆量的多少，评价采空区处治效果。

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 5%，认为采空区处治已达到设计要求，处治效果良好。注入浆量如果大于或等于处治施工时单孔平均注入量的 5%，认为采空区处治效果较差，必须查明原因，采取补救措施。

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。

8.4 采空区处治质量验收标准

根据多年采空区处治检测数据统计分析，结合公路采空区处治特点，路基采空区处治质量验收标准为浆液结石体抗压强度不小于 0.6MPa，孔内横波波速大于 160m/s。

桥梁和隧道采空区验收标准为结石体抗压强度不小于 2.0MPa，横波波速大

于 160m/s，同时注浆检测中纯水泥浆量应小于注浆孔平均单孔注浆量 5%。

附录 H　公路采空区处治设计工程实例

1　概况

1.1　勘察成果概述

同德煤矿采空区位于山西省某高速公路 K18+690~K20+480、LK18+715~LK20+550 段，勘察按两阶段进行，分别采用了资料收集、采空区专项调绘、物探、钻探、井下测量等方法，勘察方法及工作量见表 1-1。

采空区勘察方法及工作量一览表　　表 1-1

类　　别	单　位	数　量
煤矿资料收集	份/图表	3
1:2000 专项调绘	km^2	0.4
瞬变电磁法	点/条	216/12
井下瑞雷波探测	点	4
钻探	米/个	383.64/4
井下巷道测量	米/条	9300/3
巷道断面测量	个	20
井下闭墙测量	个	47
井下闭墙调查	个	33
GPS 进井点控制测量	个	3
GPS 钻孔测量	米/个	4
岩样	件	51
土样	件	20
水样	件	1

该煤矿为国营煤矿，开采时限为 1980 年--2006 年，斜井开拓，开采 4#、5#煤层，两层煤间距约 10.0m，采厚均为 2.3m，实际年生产能力 60 万吨。采空区勘察成果见表 1-2。

1.2　采空区稳定性分析

采空区路段岩层产状 237°∠4°，属缓倾斜矿层，根据概率积分法进行稳定性分析，按《细则》附录 D 中 D.0.1-1~D.0.1-4 公式计算采空区变形指标，结果见表

1-3。经计算,采空区剩余变形值超过容许值，采空区不稳定，需处治。

采空区要素及影响工程一览表　　表 1-2

采空区要素											
煤矿名称/ 采空区分布里程	长度（m） 右/左	煤矿 性质	开采年 限	埋深 (m)	顶板 岩性	开采 层号	采厚 （m）	煤层产状	开 采 方 式	回采率 (%)	地表 变形特征
同德煤矿/ K18+690~K20+480 LK18+715~LK20+550	1790/1835	国营	1980～ 2006	68～190	薄层 砂岩	4#	2.3	237° ∠4°	长壁式	60~80	塌陷坑 裂缝
						5#	2.3			80	

影响工程类型及规模								
桥梁名称/中心里程	孔跨	桥长（m）		隧道名称	里程	隧道长度 （m）		影响路基长度（m）
矾水沟大桥右线 / K18+845	9-30m	270		师婆沟隧道右线	K18+980~K19+420	440	右线	514
矾水沟大桥左线 / LK18+815	4-30m	120		师婆沟隧道左线	LK18+978~LK19+351	373		
师婆沟大桥右线 / K19+530	5-30m	150		闫家条隧道右线	K19+840~K20+256	416	左线	372
师婆沟大桥左线 / LK19+535	7-30m	210		闫家条隧道左线	LK19+693~LK20+453	760		

采空区主要变形指标表　　表 1-3

采空区 名称	里程桩号	采厚 (m)	设计标高以下 埋深(m)	主要变形指标				
同德 煤矿	K18+690～K20+480 LK18+715～K20+550	2.3	68～190	最大 下沉量(mm)	最大 倾斜(mm/m)	最大曲率 (mm/m^2)	最大水平移 动(mm)	最大水平变形(mm/m)
				897	33	1.8	224	12
				剩余 下沉量(mm)	剩余倾斜(mm/m) （容许）	剩余曲率(mm/m^2) （容许）	剩余水平移 动(mm)	剩余水平变形(mm/m) （容许）
				269	9 （3）	0.5 (0.2)	67	4 (2)

2 采空区处治设计

2.1 处治方法的选择

根据采空区要素特征及巷道支护情况，采空区处治采用两种方法：①地面采用全充填压力注浆法；②为阻止浆液流到治理范围之外，影响矿井正常生产，减小浆液损失，确保注浆处治效果，在未完全塌落巷道内设置止浆墙。

2.2 处治工程设计

2.2.1 注浆处治设计

（1）处治范围的确定

采空区处治范围包括采空区处治长度和采空区处治宽度。

采空区处治的长度为公路下伏采空区的实际长度及覆岩移动影响范围之和；治理宽度为路基范围（填方路基到路堤坡脚，挖方路基到路堑坡角）+围护带+采空移动角影响范围。

公式为 $L=D+2B+2（H1 \cdot ctg\Phi+H2 \cdot ctg\beta）$

式中：

L——治理宽度(m)；

D——路基范围或桥、隧的宽度（m)；

B——围护带(按桥、隧和路基分别取 20、10m)

H_1——松散层厚度（m)；

H_2——覆岩厚度(m)；

Φ——松散层移动角，取值 45°；

β——采空区覆岩移动角，取值 70°；

采空区位于设计标高下 68~190m（含 5#煤层），采空区处治长度 1790m，处治宽度为 100~260m。

（2）注浆量设计

采空区剩余空洞体积根据勘察资料为 241256m^3，设计须考虑注浆过程中浆液损耗，注浆量按公式

$$Q_{总}=A \cdot \Delta V \cdot \eta / c$$

式中：

A——浆液损耗系数，取值 1.1；

ΔV——采空区剩余空隙体积(m^3)；

η——浆液充填率，路基取 85%，桥隧道取 95%。

C——浆液结石率，取值 80~90%

根据以上公式，计算注浆量为 265346m^3。

（3）注浆孔设计

采空区注浆孔的设计深度为开孔至采空区底板以下 1m，注浆孔的受浆段长度为上部完整基岩下 6.0m 至注浆孔底板的深度，注浆管长度为地面之上 1.0m 至完整基岩下 6.0m 处的深度。

① 帷幕孔布设

帷幕孔为公路轴线两侧最边缘一排孔，根据本项目采空区回采率较大、空洞和裂隙连通性较好的特点，帷幕孔间距取 15-20m。

② 注浆孔布设

注浆孔按梅花型布设。桥、隧工程在本体之下注浆孔间距按 15m 布设，两侧外围按 20m 布设；路基工程在路基范围之内按 20m 布设，外围按 25m 布设。

（4）浆液配合比设计

注浆浆液设计为水泥、粉煤灰浆液，其水固比为 1:1.0～1:1.5。桥、隧工程：水泥、粉煤灰的配比为 3:7；路基工程：水泥、粉煤灰的配比为 1.5:8.5。帷幕孔需根据具体情况，采用较稠的浆液或在浆液中掺加水泥重量的 2%速凝剂，使注入采空区的浆液尽快凝固，以形成帷幕，防止浆液流失。

采空区配合比设计数据表 **表 2-1**

工程类型	水固比	材料重量配合比			结石率（%）	充填率（%）	注浆压力（MPa）	抗压强度（MPa）	
		水	水泥	粉煤灰				7 天	28 天
路基	1:1	10	1.5	8.5	78	85~90	1~2	0.26	1.0
	1:1.2	8.33	1.5	8.5	85			0.34	1.1
	1:1.5	6.67	1.5	8.5	90			0.42	1.2
桥隧	1:1	10	3	7	75	90~95	2~3	0.93	2.0
	1:1.2	8.33	3	7	80			1.23	2.5
	1:1.5	6.67	3	7	84			1.43	2.7

（4）注浆材料及其质量要求

本设计文件中所规定的注浆材料由水、水泥、粉煤灰、速凝剂、砂或石屑组成。

施工拌制用水符合《混凝土拌合用水标准》。

水泥为符合国家标准的 32.5#矿渣硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

粉煤灰需符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB1596)国家III级标准。

速凝剂可选用水玻璃等。石屑或砂参照有关规定。

2.2.2 井下工程（止浆墙）设计

在采空区处治外围内，有多条巷道与现采工作面相通，须对这些巷道作止浆墙设计。

（1）第一种情况，用于生产的巷道未做闭墙，共计 24 个，采用浆砌片石，砂浆选用 M7.5，墙体厚度度为 3m，并且根据实际情况切入巷壁 20cm，砂浆 7 天龄期后再进行地表注浆。

（2）第二种情况，井下工作面开采后，矿井为了形成回风和运输系统，对废弃的巷道和贯眼进行 24cm（二四墙）砖墙密闭，表面进行了简单的锚喷，部分闭墙已损坏，难以形成有效的止浆作用，从安全角度考虑，在现有闭墙外侧采用了波形钢板进行加固方案，该情况的巷道共计 23 个。

（3）第三种情况，33 个调查的闭墙，由于大部分为古巷道贯眼，其准确位置和目前塌落状态不详，如果要进行井下止浆墙施工，存在通风、探放水等一系列问题，按照业主和矿主的意见，在钻探和注浆过程中，先进行密切观察，根据井下实际情况选作一些或不进行止浆墙的砌筑。

2.2.3 变形监测

采空区地表移动变形监测按工程类型分三种情况布设观测点，建立观测网。基准点应设在不受采空区影响的稳定区域内。

1、路基：在地表设观测点，沿路线中线每隔 100m 布设一个横断，每个横断设 5 个观测点，分别位于中线和两侧各 50m、100m 处。

2、桥梁：纵向沿中线按墩台中心布设；横向以墩台为中心，向两侧间隔依次为 15m、30m、50m 布设，共设 7 个观测点；桥梁的基础工程施工完成后，应将墩台中心观测点移到墩台的两侧。

3、隧道：地表设观测点，纵向沿单洞轴线每 50m 布设 1 个观测点，每 100m 布设 1 个横断面，每个横断布 5 个观测点，测点距中轴线依次为 30m、50m；隧道完工

后，观测点应移至洞内，沿轴线间距 50m 布设，观测点的布设按隧道监控量测要求执行。

监测周期：采空区处治施工期间监测，半年内应每周监测一次，半年后至通车期间内应每月监测一次。通车两年内，每两个月应监测一次，但在变形显著时，应及时增加监测频次。经变形监测资料分析和评价，确认采空区已完全稳定，对公路工程无影响后，方可停止变形监测。

3 工程质量检测

工程质量检测主要是采空区注浆处治效果的检测。采空区注浆结束 6 个月后，依据工程类型及重要程度，按下表选择适宜的检测方法，进行采空区处治效果检验、评价，见表 3-1、3-2。

采空区工程类型与检测方法　　表 3-1

工程类型及重要程度	检测方法
桥梁、立交等重要工程	钻孔取芯、孔内波速测井、注浆检测、孔内电视摄像、地表变形观测等
路基及一般工程	钻孔取芯、孔内波速测井

采空区处治效果检测标准　　表 3-2

序号	检测方法	检测项目	检测频次	检测标准
1	钻孔取芯	结石体无侧限抗压强度 Rc（MPa）	隧道采空区每 50~100m，桥梁采空区墩台下，路基采空区注浆孔总数的 2%	桥隧≥2.0 路基≥0.6
2	孔内波速测井	横波波速 Vs （m/s）	每米一个检测点	＞160
3	注浆检测	注浆量（L/min）	原设计压力，持压时间 15 分钟后记录注浆量，然后将压力提高 0.5Mpa,进行二次注浆，重复前一过程。	注浆结束条件为单位时间注入孔内浆量小于 50L/min,注浆持续时间 15~20 分钟,终孔压力 2~3MPa，当浆液的注入量超过处治单孔平均注浆量的 5%时，须查明原因
4	岩芯描述、孔内电视、	观测、描述	视情况而定	采空区冒落段，岩芯采取率≥90%

（1）桥梁：检验孔设置在采空区之上的每个桥墩台的中心位置，终孔直径 89mm，检验孔深度为地表至采空区底板，全孔取芯。通过孔内取芯直接观察采空区浆液充填情况，对岩芯进行编录、拍照、保管和存档，并结合钻探过程中循环浆液的漏失情况及孔壁的稳定性等评价注浆质量。特别是钻探结束后进行声波测井，对曲线进行判释和解译，对采空区稳定性和处治效果进行评价。根据以上检测、检验的内容

和结果综合评价采空区处治效果，评价符合要求才能进入下一步的桥梁主体工程的施工，否则，应分析原因，必要时进行二次加固。

（2）隧道：隧道的检验孔数量按每 100m 布置一个，孔位按左右线跳隔设置，隧道的进出口以深 30m 须设置检验孔，其它要求同桥梁。

（3）路基：按路基灌浆孔数的 2%进行布设检查孔，孔内进行声波测井，结合钻探和物探，确定是否进行补浆等。确认采空区处治符合要求后再进行路基的施工。

4 实例说明

实例中的高速公路于 2007 年 12 月建成通车，至今运营情况良好。