

DBJT45

广西壮族自治区交通运输行业指南

DBJT45/T 069—2025

岩溶地区公路路基技术指南

Technical guidelines for highway subgrade in karst areas

2025 - 04 - 22 发布

2025 - 06 - 01 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 勘察	4
5.1 一般规定	4
5.2 路基基底勘察	4
5.3 路堑勘察	5
5.4 取、弃土场勘察	6
6 路基基底处治设计	7
6.1 一般规定	7
6.2 基底红黏土处治设计	7
6.3 基底岩溶处治设计	8
7 红黏土路堤设计	10
7.1 一般规定	10
7.2 红黏土改良设计	10
7.3 红黏土路基填筑结构设计	10
7.4 路堤排水设计	12
7.5 红黏土路堤监测	13
8 填石路堤设计	14
8.1 一般规定	14
8.2 路堤设计	14
9 路堑边坡防护设计	15
9.1 一般规定	15
9.2 稳定性分析	15
9.3 防护支挡方案设计	15
9.4 边坡排水设计	16
10 路堤施工	17
10.1 一般规定	17
10.2 基底处治施工	17
10.3 红黏土路堤施工	19
10.4 填石路堤施工	20
10.5 路堤排水施工	20
11 路堑边坡施工	21

11.1	一般规定	21
11.2	路堑边坡开挖	21
11.3	边坡防护支挡工程施工	22
11.4	边坡防、排水施工	22
附录 A (资料性)	溶洞的安全距离和顶板的安全厚度	24
A.1	路基坡脚距溶洞的安全距离	24
A.2	溶洞顶板的安全厚度	25
A.2.1	溶洞顶板安全厚度估算方法	25
A.2.2	自行坍塌填塞法	25
A.2.3	厚跨比法	25
A.2.4	梁板抗弯力学分析法	25
A.2.5	顶板整体受剪验算法	26
参考文献		27

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广西壮族自治区交通运输厅提出并宣贯。

本文件由广西交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：广西交通设计集团有限公司、广西路桥工程集团有限公司。

本文件主要起草人：叶琼瑶、米德才、邵羽、农承尚、韩玉、刘彬、李源亮、邓胜强、陈云生、唐正辉、赵子鹏、韦国耀、卢显、李耀华、谭耿、卢继指、朱东东、覃达、王洪刚、吴龙科、王超、王昊、钟华、吴文斌、陆艺。

本文件主要审查人：马少坤、刘春华、姚青云、韦宇辉、黄黎明、骆俊晖、李夔。

岩溶地区公路路基技术指南

1 范围

本文件界定了岩溶地区公路路基设计与施工涉及的术语和定义，规定了岩溶路基的勘察、路基基底处治设计、红黏土路堤设计、填石路堤设计、路堑边坡防护设计、路堤施工和路堑边坡施工的技术要求。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内岩溶地区二级及以上等级公路的路基勘察、设计和施工，其它等级公路路基工程参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 6722 爆破安全规程
- GB/T 50290 土工合成材料应用技术规范
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG 3450 公路路基路面现场测试规程
- JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG/T D32 公路土工合成材料应用技术规范
- JTG/T D33 公路排水设计规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- DB45/T 1972 公路软土地基处治工程技术规范
- DB45/T 2148 公路工程物探规范
- DB45/T 2149 公路边坡工程技术规范
- DB45/T 2364 公路路基监测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

岩溶 karst

水对可溶岩进行的以化学溶蚀为主，物理侵蚀、搬运和再沉积、生物作用和岩体重力崩塌作用为辅的地质作用，以及由此所产生的现象。

3.2

土洞 soil cave

在可溶岩上覆土层中由冲蚀、潜蚀、真空吸蚀等原因形成的封闭空洞。

3.3

红黏土路堤 laterite embankment

采用红黏土填筑的路堤。

3.4

填石路堤 rock-fill embankment

用强度高于30 MPa、粒径大于40 mm且含量超过总质量70%的碳酸盐岩石料填筑的路堤。

3.5

刚度补偿法 stiffness compensation method

采用红黏土、膨胀土等特殊土填筑的路堤，路基整体刚度和强度偏低时，采用JTG D30规定的路基结构设计的理论方法对特殊性岩土层之上的路床和上路堤进行刚度补强，使路床顶面的动态回弹模量满足设计要求的一种方法。

3.6

柔性防护网系统 flexible protection system

以柔性金属网为主要特征构件，采用加固、拦截和引导三种基本形式，防治公路边坡崩塌落石、风化剥落、浅层溜坍等危害的柔性防护结构及构件组合体。

4 基本规定

4.1 场地的岩溶应根据其埋藏条件、发育程度、发育形态及充填状况等进行分类，公路路基应按岩溶类别开展勘察、设计和施工工作。

4.2 根据埋藏条件，按 JTG C20 确定的主要特征，可将岩溶分为裸露型、浅覆盖型、深覆盖型和埋藏型。

4.3 按岩溶发育形态可将岩溶分为裂隙型、溶洞型、管道型、暗河型及组合型，溶洞发育规模应按其发育空间大小分为小型溶洞、中型溶洞、大型溶洞和巨型溶洞，其划分标准应符合表 1 的规定。

表1 溶洞发育规模划分标准

发育规模	溶洞洞径 D (m)
小型溶洞	$D \leq 6$
中型溶洞	$6 < D \leq 12$
大型溶洞	$12 < D \leq 18$
巨型溶洞	$D > 18$

注：洞径D为垂直溶洞发育方向的横切面平均直径，发育方向不明确时，以实测高度或宽度代替。

4.4 按溶洞内充填物的充填情况可分为无充填溶洞、半充填溶洞、全充填溶洞，其划分标准应符合表 2 的规定。

表2 溶洞充填状况分类标准

充填类型	溶洞内充填物的充填情况
无充填溶洞	溶洞中充填物平均厚度占溶洞平均高度的比例 $\leq 10\%$
半充填溶洞	溶洞中充填物平均厚度占溶洞平均高度的比例在 $10\% \sim 80\%$ 之间
全充填溶洞	溶洞中充填物平均厚度占溶洞平均高度的比例 $\geq 80\%$

4.5 根据岩溶发育特征可将场地的岩溶发育程度按表3划分为弱发育、中等发育、强发育和极强发育4个级别。

表3 岩溶发育程度分级

岩溶发育程度分级	岩溶发育特征	岩溶点密度 个/ km^2	钻孔遇洞率 %	钻孔线岩溶率 %
极强发育	地表常见密集的岩溶洼地、漏斗、落水洞、塌陷、槽谷、石林等多种岩溶形态，溶蚀基岩面起伏剧烈；地下岩溶形态常见巨型溶洞、暗河及大型溶洞群；近期发生过岩溶地面塌陷	>30	>40	>10
强发育	地表常见密集的岩溶洼地、漏斗、落水洞、塌陷等多种岩溶形态，石芽（石林）、溶沟（槽）强烈发育（或覆盖），溶蚀基岩面起伏大；地下岩溶形态常见大型溶洞、暗河分布；有岩溶地面塌陷历史，但近期无岩溶地面塌陷发生	$15 \sim 30$	$25 \sim 40$	$5 \sim 10$
中等发育	地表常见岩溶洼地、漏斗、落水洞等多种岩溶形态，石芽（石林）、溶沟（槽）发育（或覆盖），溶蚀基岩面起伏较大；地下岩溶形态以中型、小型溶洞为主，出露岩溶泉	$3 \sim 15$	$5 \sim 25$	$2 \sim 5$
弱发育	地表偶见漏斗、落水洞、石芽、溶沟等岩溶形态，溶蚀基岩面起伏较小；地下岩溶以溶隙为主，偶见小型溶洞，裂隙透水性差	<3	<5	<2

注1：岩溶发育程度分级根据各指标的代表性综合确定，一般情况下，工可勘察分级指标以场地岩溶发育特征为主，初步勘察阶段分级指标以场地岩溶发育特征、岩溶点密度为主，施工图勘察阶段分级指标以钻孔遇洞率及钻孔线岩溶率为主；当采用各指标的评价结果出现矛盾时按不利原则确定岩溶发育程度等级。

注2：表中岩溶点密度是指每平方公里场地范围内的岩溶洼地、漏斗、落水洞、竖井，以及水平溶洞、暗河、岩溶泉露头等各种地表岩溶形态的个数。

注3：表中钻孔遇洞率是指遇到溶蚀洞穴或裂隙的钻孔个数与可溶岩钻孔总数的百分比率。

注4：表中钻孔线岩溶率是指场地内各钻孔所揭示的溶蚀洞穴或裂隙的总高度与钻孔穿过可溶岩岩层总进尺的百分比率。

4.6 地质选线原则上应绕避巨型、大型溶洞及岩溶极强发育、强发育地区，不能绕避时，应查明路段内的排水通道，采取措施保证排水通道畅通。

4.7 穿越岩溶洼地、谷地的路基，其设计高程应高于内涝洪水位叠加路基壅水导致水位上升的高度。

4.8 岩溶地区公路路基设计与施工宜积极采用成熟可靠的新技术、新结构、新材料和新工艺。

5 勘察

5.1 一般规定

5.1.1 岩溶强发育或极强发育、水文地质条件复杂的路基路段以及红黏土分布深厚的路堑路段，应进行岩溶专门工点勘察，其勘察工作应符合本文件和 JTG C20 的规定。

5.1.2 岩溶地区的公路路基勘察应遵循由面到点、由疏到密，分阶段、动态勘察的原则，勘察阶段与设计阶段相适应，各阶段的勘察要求如下：

- a) 工可勘察应重点关注线路沿线岩溶发育状况、水文地质情况，掌握区域性岩溶发育规律及其对路线的影响，对场地稳定性和工程建设的适应性作出初步评价，为优选线路方案提供地质依据；
- b) 初步勘察应查明岩溶及其伴生土洞、塌陷的分布、发育程度、发育规律，并按场地的稳定性和适宜性进行分区评价，提出路、桥设置方案建议；
- c) 详细勘察应查明路基范围及有影响地段的各种岩溶和土洞特征、岩溶堆填物性状和地下水特征，对路基设计和岩溶的治理提出建议；
- d) 施工开挖后揭示岩溶发育的挖方路基路段，宜根据岩溶发育和方案变更情况进行专门补充勘察。

5.1.3 应根据路基的设计方案，结合构筑物的布置与特点、岩溶发育情况等综合布置岩溶路基勘察工作，勘察中发现岩溶发育程度变化较大时，宜相应调整勘察工作布置方案。

5.1.4 岩溶地区的公路路基勘察宜采取工程地质调绘、物探、原位测试、钻探、室内试验等相结合的综合勘察手段，必要时宜采用无人机、手持三维激光扫描、遥感技术等进行勘察。初勘阶段应在工程地质调绘的基础上，以物探方法为主，辅助以少量钻探。详勘应在工程地质调绘和初勘基础上开展综合物探，确定异常范围，结合钻孔进行综合勘探。

5.1.5 物探宜在工程地质调绘基础上开展，并根据物探成果针对性布置钻探和原位测试工作。

5.1.6 勘察范围内的溶洞若人能进入，宜对溶洞进行测绘，测量其位置、发育尺寸、规模和走向。

5.1.7 岩溶地区公路路基勘察应对工程项目建设可能诱发的地质灾害和环境工程地质问题进行分析、评价。

5.2 路基基底勘察

5.2.1 下列路段应进行路基基底勘察：

- a) 路基基底岩溶发育程度除弱发育以外的路段；
- b) 水文地质条件复杂的路段；
- c) 红黏土分布深厚的路段。

5.2.2 岩溶地区路基基底宜采用资料收集、遥感、地质调绘、钻探、挖探、钎探、物探、现场测试、室内试验等综合勘察手段。

5.2.3 路基基底勘察应查明下列内容：

- 地形地貌、地形起伏变化、横向坡度及地表植被情况；
- 覆盖层的类型、厚度、密实度、含水状态和物理力学性质；
- 基岩的埋深和起伏变化情况；
- 软土、红黏土等特殊岩土分布范围、性质及分层情况；
- 岩溶、土洞等不良地质的分布范围、形态及规模；
- 地下水和地表水发育情况、水力联系及补、径、排分区情况；
- 历史洪涝灾害情况。

- 5.2.4 地质调绘范围宜包括与路基有关联的汇水、消水区域，且公路两侧边线外延不宜少于 200 m。
- 5.2.5 路基基底勘察的物探宜采用高密度电法、浅震、地质雷达、微动或 CT 等方法，其工作布置应符合 DB45/T 2148 的规定；宜平行路线方向布置纵向物探测线，岩溶发育走向明显时，宜垂直岩溶发育走向布线，线间距宜为 10 m~20 m，点间距宜为 5 m~10 m。
- 5.2.6 钻探工作的技术要求如下：
- 钻探应在地质调绘、物探工作的基础上进行；
 - 对地质调绘、物探发现的可能影响路基稳定的岩溶异常区，应选择代表性异常区布置验证钻孔，钻探发现岩溶发育情况较复杂时，应适当加密钻孔；
 - 一般路段宜选择代表性位置布置横向断面，断面间距不宜大于 200 m；
 - 岩溶强、极强发育路段的初勘钻孔平均间距不宜大于 50 m，详勘阶段应根据现场情况适当加密；
 - 钻孔深度应钻至基底以下稳定非软弱土层不小于 10 m，或岩层不小于 6 m，若遇溶洞，应在洞底板稳定基岩内再钻进 3 m~5 m；
 - 涵洞、通道、挡墙等构筑物基础范围内的钻孔深度应钻至基底以下稳定岩层不小于 8 m 或非软弱土以下不小于 12 m，并满足沉降、稳定计算要求。
- 5.2.7 路基基底勘察的原位测试、取样应符合 JTG C20 规定。
- 5.2.8 应量测地下水的初见水位和稳定水位，采集水样做水质分析。
- 5.2.9 应对基底勘察深度范围的软土或红黏土采取试样，其室内测试项目宜按表 4 选用。

表4 室内测试项目

试验项目	路堤		路堑	弃土场	取土场
	红黏土	软土	红黏土	红黏土	红黏土
颗粒分析	+	-	+	(+)	+
天然含水率 (%)	+	+	+	+	+
密度 (g/cm ³)	+	+	+	+	+
液限 (%)	+	+	+	+	+
塑限 (%)	+	+	+	+	+
自由膨胀率 (%)	+	(+)	+	+	+
50kPa压力下的相对膨胀率	+	+	+	+	+
收缩试验	(+)	-	(+)	(+)	-
剪切试验	+	(+)	+	+	-
压缩试验	+	(+)	+	+	-
固结试验	+	(+)	(+)	(+)	(+)
加州承载比 (CBR) 试验	(+)	-	+	-	+

注：“+”——必做项目；“(+)”——选做项目；“-”——不做项目

5.3 路堑勘察

- 5.3.1 崩塌、危岩、岩堆发育或边坡上岩溶为强发育以上的的路堑路段以及高度大于 16 m 的红黏土挖方边坡应进行路堑勘察。
- 5.3.2 路堑勘察宜采用资料收集、遥感、地质调绘、钻探、原位测试及室内试验等综合勘察手段。
- 5.3.3 路堑勘察应查明下列内容：
- 地形地貌、地形起伏变化情况及横向坡度、斜坡的自然稳定状况；

- 岩土层的分布、厚度、密实度、含水状态和物理力学性质；
- 软弱土、红黏土等特殊岩土分布范围、性质及其变化分层情况；
- 覆盖层与基岩接触的形态特征及起伏变化情况；
- 地质构造、层理、地埋、软弱夹层等结构面的产状；
- 岩溶、土洞等不良地质的分布范围、形态及规模；
- 地下水和地表水发育情况；
- 崩塌、危岩、岩堆等不良地质发育情况；
- 挖方土石料土石分级及比例。

5.3.4 路堑勘察范围应包括路堑及崩塌、危岩影响范围，地质调绘边线为公路用地界线外侧不宜小于100 m。

5.3.5 宜采用无人机航拍或三维倾斜摄影对危岩的节理、裂隙进行观察、测绘，查明危岩的分布位置、范围和规模，评价其稳定性及对公路的影响。

5.3.6 宜采用地质调绘、钻探等手段对岩堆进行勘察，查明岩堆的分布范围、规模和岩土体组成，评价其稳定性及对公路的影响。

5.3.7 路堑的勘探工作技术要求如下：

- a) 岩质边坡宜以地质调绘为主要勘察手段；
- b) 土质边坡宜在代表性位置布置不少于1条的横向断面，剖面间距不宜大于100 m，每个断面勘探点间距不宜大于40 m；
- c) 岩土混合边坡宜在代表性位置布置不少于1条的横向断面，剖面间距不宜大于200 m，每个断面勘探点间距不宜大于50 m；
- d) 路基范围内钻孔深度宜钻至路基设计高程以下5 m，若遇溶洞，宜在溶洞底板稳定基岩内再钻进3 m~5 m；
- e) 边坡范围内钻孔应钻至潜在滑面以下不小于3 m，且应满足边坡稳定性验算的要求。

5.3.8 路堑勘察宜选取代表性孔段采取岩、土样，岩样宜做含水率、密度和单轴饱和抗压强度试验，土样室内测试项目宜按表4选用。

5.3.9 钻孔内遇有地下水时，应量测地下水的初见水位和稳定水位。

5.3.10 红黏土的抗剪强度宜根据其试验值，结合现场裂隙发育、排水等情况，综合确定。

5.3.11 红黏土边坡宜采用简化 Bishop 法按圆弧滑动面计算其整体稳定性。

5.3.12 岩质边坡宜采用工程地质类比法、赤平投影法等方法定性分析其稳定性，顺层岩质边坡宜按平面形或折线形滑动面定量计算边坡稳定性。

5.4 取、弃土场勘察

5.4.1 红黏土取土场、设置于岩溶中等发育以上区域的弃土场以及大型取、弃土场，应进行专项勘察。

5.4.2 取土场的勘察宜采用资料收集、地质调绘、钻探及室内试验等手段查明可取层的分布范围、数量及性质，其工作量布置应符合 JTG C20 规定。

5.4.3 取、弃土场的地质调绘应包含民房、村庄、道路、电塔等重要建(构)筑物，以及水库、水源使用与保护情况等内容。

5.4.4 取土场勘察应查明下列内容：

- 地形地貌、地表植被和建(构)筑物情况；
- 红黏土的分布范围、性质及其变化分层情况；
- 可取土层的分布范围、性质及蕴藏量；
- 土料运输里程、运输方式和现有交通状况。

5.4.5 取土场的土料为可溶岩地区的红黏土时，宜按表4进行室内试验，并按下列规则评价土料质量：

- a) 土料为液限低于 50% 的红黏土时，宜按一般黏性土评价；
 - b) 土料为 $\text{CBR} \geq 4\%$ 的高液限红黏土，且大于 5 mm 的粗颗粒含量 $> 25\%$ 时，可作为路基填料直接填筑在路堤；
 - c) 土料为 $\text{CBR} \geq 4\%$ 的高液限红黏土，且大于 5 mm 的粗颗粒含量介于 $5\% \sim 25\%$ 时，可作路基填料直接填筑在下路堤；
 - d) 土料为 $\text{CBR} \geq 4\%$ 的高液限红黏土，且大于 5 mm 的粗颗粒含量 $< 5\%$ 时，不宜直接作为路基填料，可经改良处理或采用包芯法填筑在下路堤；
 - e) 土料为 $\text{CBR} < 4\%$ 的红黏土，不宜作为路基填料。
- 5.4.6 岩溶路基影响范围内不宜设置弃土场，必须设置时应分析弃土堵塞地表水、地下水排泄通道的可能性，并评价其影响。
- 5.4.7 临近岩溶路基的弃土场，宜进行专项勘察，弃土场勘察应查明下列内容：
- 地形地貌、地表植被和建（构）筑物情况；
 - 基底岩土层的性质及分层情况；
 - 地表水、地下水等水文情况；
 - 软弱土、红黏土等特殊岩土分布、性质；
 - 岩溶、滑坡等不良地质的分布位置、范围和规模；
 - 弃土运输方式和现有交通状况。
- 5.4.8 弃土场勘察分析、评价下列内容：
- 宜根据地形地貌、岩溶发育情况、水文地质条件等分析路基及弃土场范围内的岩溶影响范围；
 - 设置在岩溶谷地、洼地内的弃土场，宜根据路基与弃土场相对位置、距离及高差等，再结合地下水、地表水的径流、排泄关系，评估岩溶路基淹没的风险；
 - 应根据自然地形条件及弃土方量、面积、堆高等，分析弃土场的稳定性；
 - 应评价弃土对周边水环境的影响。

6 路基基底处治设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 路基基底处治设计应遵循“路基稳定、变形协调、保护环境、施工便利”的原则。
- 6.1.2 路基基底处治设计方案应在查明基底红黏土、软土及岩溶等不良地质条件后综合确定。
- 6.1.3 宜采用填石路基跨越高差大于 5 m 的基岩陡坎。

6.2 基底红黏土处治设计

- 6.2.1 路基基底存在软土或基底路床范围内存在高液限红黏土时，应进行处治。
- 6.2.2 位于溶蚀谷地、洼地及溶蚀平原内的红黏土，当承载力小于 120 kPa 时，应判别为软弱土，岩溶地区的软土可根据其性质及分布特点，分为浅层软土、上硬下软型软弱土、石芽型软弱土、季节性软弱土，其分类及处治方案应符合 DB45/T 1972 的规定。
- 6.2.3 基底红黏土可采用开挖台阶、排水、晾晒、换填、加筋以及复合地基等方法处治，并符合下列规定：
 - a) 地面横坡缓于 1:5 时，清除地表草皮、腐殖土，碾压后可直接填筑路堤；
 - b) 地面横坡不缓于 1:5 时，原地面应挖台阶，台阶宽度不应小于 2 m。当基岩面上的覆盖层小于 1.5 m 时，宜全部清除覆盖层；

- c) 存在地表汇水或地下潜水的沟谷型填筑体、地下水位埋深较浅或地表水较丰富时，应根据具体情况设置截水沟、排水沟、截水盲沟或排水渗沟等截水、排水措施；
- d) 基底路床范围内存在高液限红黏土时，应进行处理：当红黏土厚度小于 1.5 m 时，可整层清除换填；丰水路段宜采用开山石渣、片石或块石等换填，若红黏土为可塑、软塑时，可采用块石、片石强夯置换处理；贫水路段可采用其它路床填料换填；
- e) 采用开山石渣、片石或块石等透水性较强的填料换填高液限红黏土时，应设置暗沟或出水口排除换填层的地下水；

6.2.4 位于红黏土地基上的斜坡路堤应采用不平衡推力法分别验算路堤沿基底及岩土交界面滑动的稳定系数，其稳定系数应满足 JTG D30 的要求，否则应采取进一步改善基底条件、设置支挡结构物、加筋等加固措施。

6.2.5 涵洞通道等构筑物的红黏土地基承载力或变形不能满足设计要求时，可采用换填、疏桩基础等方法处治，处治厚度应满足下卧层承载力和变形的要求；平面处理范围应大于构筑物基础底面外缘，处理后的地基与路基应满足整体稳定与工后沉降控制要求。

6.3 基底岩溶处治设计

6.3.1 路基基底及其影响范围内发育有不利于路基稳定的岩溶时，应对其进行处治，岩溶处治前应查明岩溶发育的位置、规模、充填情况及岩溶水发育情况等。

6.3.2 路基基底岩溶处治方案应根据岩溶发育的位置、规模及岩溶水等情况综合确定，可采用填充法、强夯法、注浆法、支撑法、加筋法、盖板跨越法、桥涵跨越法等方法处治。

6.3.3 下列裸露型溶洞可不处治：

- a) 溶洞顶板为完整基岩，且厚度大于 5 m 的小型溶洞；
- b) 顶板完整基岩厚度大于 10 m 的中型溶洞；
- c) 顶板完整基岩厚度大于 20 m 的大型溶洞；
- d) 路基坡脚距溶洞的距离、路基基底溶洞顶板厚度大于安全距离、安全厚度的溶洞、岩溶漏斗。

6.3.4 溶洞的安全距离、安全厚度的计算方法见附录 A。

6.3.5 填充法处治岩溶的技术要求如下：

- a) 适用于已基本探明发育位置、规模且无排水功能的溶洞、土洞或塌陷坑；
- b) 溶洞底存在软弱土时，应先对其进行换填、抛石挤淤、强夯、强夯置换等加固处理；
- c) 隐伏的小型溶洞可注入纯水泥浆液或水泥砂浆填充，中等～大型无充填溶洞宜先用片石、碎石充填，再注浆，或直接灌注混凝土充填；
- d) 隐伏于路基下、顶板厚度不足的浅层干溶洞可采用爆破的方式，将溶洞顶板揭开后再按路堤要求填筑；
- e) 揭开顶板工程量较大时，可预先钻孔，必要时扩孔，采用钻孔灌注法填充；
- f) 若溶洞内存在季节性水压，宜在顶部设置混凝土盖板隔水或对填充层注浆固结。

6.3.6 强夯法处治岩溶的技术要求如下：

- 适用于具体分布位置未明确且埋深小于 8 m 的土洞或埋深小于 4 m 的溶洞；
- 强夯影响范围内存在重要建（构）筑物时，应预先布置隔振措施；
- 强夯法的夯击能、夯点间距、夯点的夯击次数、夯击遍数等应根据强夯试验确定；
- 缺少试验资料时，强夯法对岩溶区覆盖层的有效加固深度可参考表 5 确定；

表5 强夯法对岩溶区覆盖层的有效加固深度

单击夯击能 (kN·m)	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000
有效加固深度 (m)	4.0~5.0	5.0~6.0	6.0~7.0	7.0~7.5	7.5~8.0	8.0~8.5	8.5~9.0	9.0~10.0

——强夯导致地面塌陷时，宜回填黏性土后继续强夯；

——点夯后应采用 800 kN·m~1000 kN·m 的夯击能满夯一遍，满夯搭接宽度不应小于夯锤半径。

6.3.7 注浆法处治岩溶的技术要求如下：

——适用于有充填的隐伏溶洞或分布位置未明确且埋深较大、无充填的隐伏溶洞或土洞；

——注浆孔可呈矩形或品字形布置，间距宜为 1.5 m~3.0 m；

——注浆量明显增大时，应查明原因，排除地下河及大型溶洞后方可继续实施；

——注浆量不收敛时，可采用双液注浆或添加速凝剂；

——注浆孔钻孔时，应记录揭示的地质条件，特别是岩溶发育的位置；

——实施注浆孔过程中，若溶洞位置及规模已明确，可按填充法处治。

6.3.8 支撑法处治岩溶的技术要求如下：

——适用于已探明可进入施工、顶板完整的溶洞；

——根据溶洞的高度、宽度，可选择支撑柱或支撑墙对顶板加固；

——支撑柱（墙）宜为素混凝土或钢筋混凝土，强度等级不宜低于 C30；

——支撑柱（墙）尺寸及间距应通过计算确定；

——支撑柱（墙）下部应支撑在溶洞底部的完整基岩上。

6.3.9 加筋法处治岩溶的技术要求如下：

——适用于有充填的溶洞或地下水垂直运动频繁、后期可能会引发岩溶塌陷的区域；

——可在路基基底布设单层或多层土工材料；

——岩溶塌陷区采用充填法施工时，可分层增设土工材料；

——土工材料的选择应具有一定的保土性、透水性与防堵性；

——宜采用高强土工材料，加筋材料两个方向的抗拉强度宜相等；采用单向加筋材料时，宜相互垂直地连续铺设 2 层；

——加筋法设计验算应符合 GB/T 50290 的相关规定。

6.3.10 盖板跨越法处治岩溶的技术要求如下：

——适用于溶洞口规模不大、埋深较浅，具有排水功能或溶洞深度很大、填充困难的中、小型溶洞；

——小型溶洞可直接用盖板封盖；

——中型溶洞可沿窄边设置梁跨越溶洞，然后在梁上设置盖板；

——梁、板的嵌固端应稳定，具有足够的强度；

——溶洞口与地表水有较强水力联系时，宜设置成涵洞，保留其水力联系功能；

——梁、板的尺寸及钢筋布置，应符合 JTG 3362 的相关规定。

6.3.11 桥梁跨越法处治岩溶的技术要求如下：

——适用于大型溶洞或地下河的处治；

——桥梁桩基距离溶洞口或落水洞边缘不宜小于 4 m，且不宜布置在地下河管道上方；

——桩基础设计应符合 JTG 3363 的相关规定。

6.3.12 石芽的处治的技术要求如下：

- a) 对于路堤路段裸露、半裸型的石芽，应将其爆破或凿平至平均基岩面高程，挖除溶沟、溶槽中的软土、有机土，换填片石、块石或碎石，其上设置厚度为 0.30 m 的级配碎石调平层；
 - b) 对于挖方或低填路段的石芽，应爆破或凿平至路面结构层底面以下不小于 30 cm，挖除溶沟、溶槽中的软土、有机土，换填片石、块石或碎石，其上设置厚度为 0.30 m 的级配碎石调平层；
 - c) 调平层上方为填石路基时，应取消调平层；
 - d) 调平层下方为片石、块石填筑层时，在调平层中部设置一层土工布。
- 6.3.13 岩溶水的处治的技术要求如下：
- a) 对于路基通过的封闭洼地，应查明其底部消水通道，并应采取措施维持其原有排泄通道通畅；
 - b) 对于可能被岩溶水淹没的路基段，基底至最高洪水位以上 0.5 m 高度范围宜设计为填石路堤；
 - c) 对路基上游的岩溶水可采用截水沟、排水沟配合涵洞、桥梁进行引排疏导；
 - d) 对于路基范围内的地下河出水天窗、岩溶泉等应采用桥梁、涵洞进行跨越。

7 红黏土路堤设计

7.1 一般规定

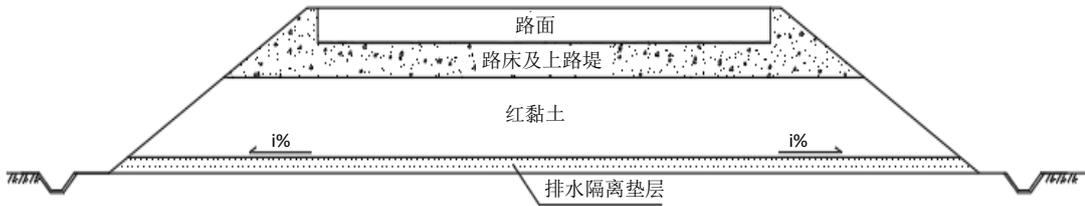
- 7.1.1 应根据红黏土的工程特性和当地的地材供应情况、路堤分布路段的地形和设计纵、横断面情况，确定红黏土路堤设计范围，选择适宜的红黏土填料利用方案及其相对应的路基结构形式、防护措施。
- 7.1.2 宜避免红黏土高路堤，如不能避免，应与桥梁方案进行综合比选确定。
- 7.1.3 液限低于 50%且 CBR 满足路堤填筑要求的红黏土可直接填筑路堤；液限为 50%~70%且 CBR 满足路堤填筑要求的红黏土可在改良后或采取包芯法等措施后填筑路堤；液限高于 70%或 CBR 不满足路堤填筑要求的红黏土不宜作为填料使用。
- 7.1.4 红黏土宜填筑在路堤，不宜填筑在路床。
- 7.1.5 路基浸水部分、陡坡路堤、桥台台背、涵洞台背、挡土墙墙背等部位不应采用红黏土填筑。
- 7.1.6 红黏土路堤边坡高度不宜大于 16m，边坡坡比不宜陡于 1: 1.5，宜采用台阶型边坡形式，分级高度宜为 6m~8m；当边坡高度大于 16m 时，应在路基稳定性计算分析的基础上，确定路堤的断面型式、边坡坡率及防护形式。

7.2 红黏土改良设计

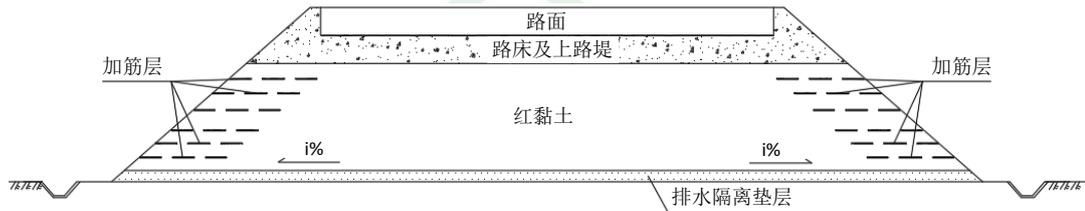
- 7.2.1 红黏土改良适用于气候条件适宜、有成熟地区经验的区域采用。
- 7.2.2 应根据红黏土的工程特性、需要填筑的路堤段落水文环境条件及当地的气候特点，因地制宜地选择红黏土的改良方案。
- 7.2.3 可采用掺砂砾、掺石灰、掺水泥、掺固化剂等化合物或几种综合掺入的方法对红黏土进行改良。
- 7.2.4 应根据红黏土的性质，进行配合比试验，确定掺入材料及掺入量。
- 7.2.5 红黏土改良后的液限、塑性指数、稠度、CBR 等指标应符合 JTG D30 关于路堤填料的规定。

7.3 红黏土路基填筑结构设计

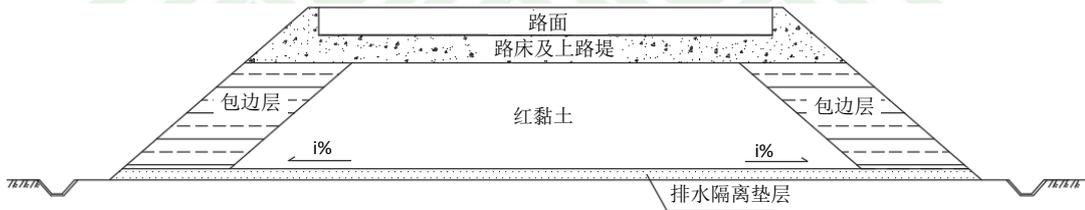
- 7.3.1 根据红黏土的填料利用方案，按图 1 选择适宜的路基结构形式，其技术要求如下：
- 排水隔离垫层可采用碎石、砂砾或土工合成材料等，垫层厚度不宜小于 0.5 m，垫层顶面宜设置反滤层。当地表存在积水时，排水隔离垫层顶面应高于积水位不小于 0.5 m；
 - 非红黏土包边土宜采用符合路基填料要求的黏性土、改良土等填料，其宽度不宜小于 3.5 m；
 - 加筋土结构应符合 JTG/T D32 的有关规定。



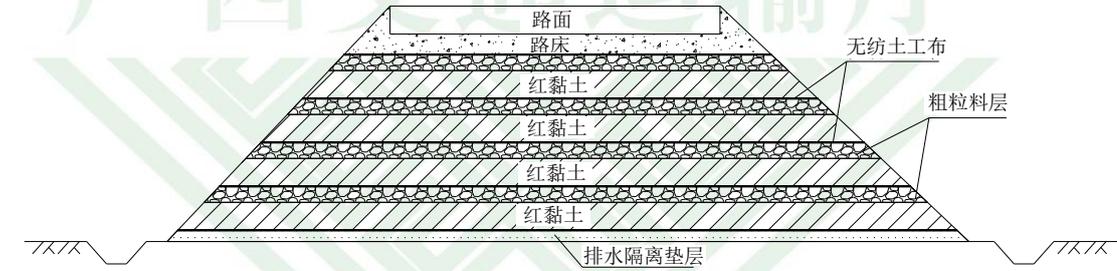
a) 刚度补偿法填筑路基结构



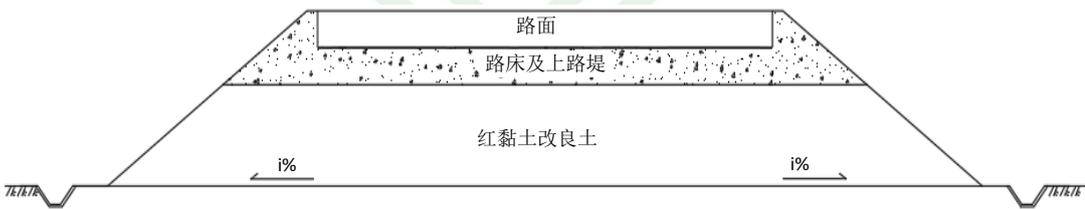
b) 红黏土加筋包边“包芯法”路基结构



c) 非红黏土包边“包芯法”路基结构



d) “三明治法”路基结构



e) 红黏土改良路基结构

图1 红黏土填方路基典型结构形式

7.3.2 红黏土的液限为 50%~70%且 CBR 满足路堤填筑要求时,可采用包芯法填筑路基;当地缺乏常规黏性土填料时,可采用红黏土加筋包边路基,否则,可采用非红黏土包边路基;包芯法填筑红黏土的路基结构可参照 DB45/T 1829 进行设计。

7.3.3 “三明治法”适用于当地粗粒料填料丰富、红黏土的液限为 50%~70%且 CBR 满足路堤填筑要求的地区,其设计技术要求如下:

- 最下一层应为粗粒料层或排水隔离层,最上一层应为粗粒料层;
- 红黏土分层厚度宜为 0.4 m~0.8 m,层顶路拱横坡不宜小于 5% ;
- 粗粒料应选用粒径大于 2 mm 的颗粒质量超过总质量的 75%的碎石土,每层厚度宜 \geq 0.3 m;
- 每层粗粒料层顶面应铺设一层无纺土工布。

7.3.4 红黏土填筑的路堤采用刚度补偿法时,可参考 T/CHTS 10059-2022 提供的方法进行设计,压实度应满足表 6 的要求。

7.3.5 红黏土路堤填料的压实质量应符合以下规则:

- 填筑于下路堤时,其压实度满足表 6 的要求;
- 当三、四级公路铺筑水泥混凝土路面或沥青混凝土路面时,采用二级公路的规定值;
- 改良高液限土、包边层的压实标准符合 JTG D30 的规定;
- 当天然含水率大于干法重型击实的最佳含水率时,采用湿法重型击实试验方法确定最大干密度;当天然含水率小于干法重型击实的最佳含水率时,采用干法重型击实试验方法确定最大干密度。

表6 红黏土填筑下路堤的压实标准

公路等级	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
正常路基压实度 (%)	≥ 93	≥ 92	≥ 90
刚度补偿法压实度 (%)	≥ 90	≥ 89	≥ 87

7.4 路堤排水设计

7.4.1 岩溶地区路堤防、排水设计应坚持因地制宜、因势利导、以疏为主的原则,应根据地形及路基设计情况采用绕避、跨越、疏导、截流、防护等措施进行综合设计,形成完善的防、排水系统,不应截断、堵塞既有排水通道。

7.4.2 路堤防、排水系统分为地表防、排水系统和地下防、排水系统,防水系统包括原地表截水、路肩硬化、拦水带、坡面防水、平台防水、坡面防冲刷、坡脚防冲刷、基底渗沟等。

7.4.3 路堤地表排水设施包括涵洞、边沟、截水沟、排水沟、跌水、急流槽、坡面及坡脚护坡等,应结合地形和既有水系进行布设,并做好进出口的位置选择和处理,防止产生堵塞、溢流、渗漏、淤积和冲刷等现象。

7.4.4 路堤地下排水设施包括暗沟(管)、渗沟、渗井等。地下排水设施的类型、位置及尺寸应根据地形和场地水文地质条件确定,并与地表排水设施相协调。

7.4.5 岩溶水发育的泉点、洼地、谷地、溶蚀丘陵等地区,应加强水文地质分析,并根据分析成果确定防、排水设施的布置、尺寸等,宜保留原地表与地下水系的联系途径。

7.4.6 石漠化地区的排水设计可结合公路绿化灌溉和当地农业灌溉等情况综合设计,综合利用水资源。

7.4.7 水环境敏感路段的排水设计应符合 JTG/T D33 中的规定。

7.4.8 红黏土路堤填筑前,宜在基底设置渗沟,渗沟断面尺寸不宜小于 0.50 m \times 0.60 m。

7.4.9 红黏土路堤坡面应加强防冲刷措施,并宜适当加密急流槽。

7.4.10 红黏土路堤坡脚宜设置防冲刷措施或固化;可采用水泥稳定土、水泥混凝土等。

7.4.11 排水沟断面形式应结合地形、地质条件确定，沟底纵坡不宜小于 0.3%，沟底应作硬化封闭处理，宜采用现浇式混凝土排水沟。

7.4.12 渗沟（井）主要用于降低地下水位或拦截地下水，按下列要求进行设计：

- 渗沟（井）埋置深度应根据地下水位、含水层介质的渗透系数及出水口的位置、高程等因素综合确定；
- 渗沟（井）内填充材料应采用洁净的砂砾、粗砂、碎石、片石等，其中小于 2 mm 细粒料含量不应大于 5%；
- 渗沟（井）侧壁应设置透水土工布，渗水管可选用带孔的 PVC 管、PE 管、软式透水管等。

7.4.13 暗沟（管）主要用于排除泉水或渗沟汇集的水流，宜采用水泥混凝土预制块砌筑或混凝土现浇，暗沟沟顶应设置混凝土盖板，盖板顶面上的填土厚度不应小于 0.50 m。

7.5 红黏土路堤监测

7.5.1 高速公路、一级公路高度超过 16m 的红黏土路堤应进行监测，监测项目宜包括路基沉降、支护结构变形和边坡水平位移。

7.5.2 在路线纵向每隔 200 m~400 m 设一监测断面，宜将监测断面布置于预测变形较大的位置，地形和路基高度变化大的地方宜适当加密，不足 200 m 的路段应单独设监测断面。

7.5.3 每一监测断面宜设置不少于 3 个监测点，沉降观测可采用沉降板，沉降板在断面上可分别埋设于路堤中央和两侧路肩位置，在竖向可分别埋置于原地面和路堤顶面。

7.5.4 对于可能存在较大侧向位移的路基段应进行水平位移监测，仪器采用测斜仪和位移桩，监测点埋设于变形关键特征点及最不利位置，一般位于路基坡脚，该位移观测点可兼作沉降观测点。

7.5.5 路基沉降与位移监测点布置可参见图 2：

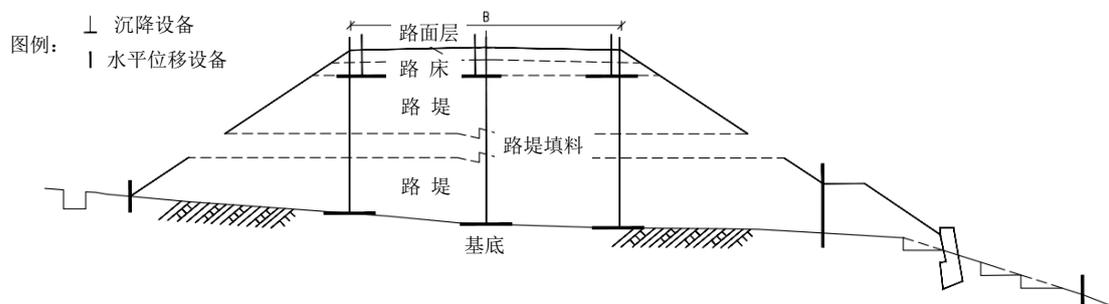


图2 路基沉降及位移监测点布置示意图

7.5.6 支护结构的监测点布设、监测指标与技术要求应符合 DB45/T 2364 的规定。

7.5.7 沉降与位移监测频率应符合表 7 的规定，雨季或监测数据异常时取大值。监测精度应符合 DB45/T 2364 的规定。

表7 路基沉降与位移监测频率

监测阶段	路基填筑期	路基填筑间歇期	路基填筑完成至路面铺筑前	铺筑完路面结构层 3 个月内	铺筑完路面结构层 3 个月后	运营期
监测频率	每层测 1 次 或 1 次/d	1 次/ (3~5) d	1 次/ (7~15) d	1 次/15 d	1 次/月	1 次/季

7.5.8 将红黏土路基的沉降监测结果绘制成沉降量~时间曲线，分析路基的稳定性、沉降变形规律与

发展趋势，为路面铺筑提供依据。

7.5.9 路面铺筑前路基最后三个月的沉降量应小于 10 mm，且坡脚水平位移不应大于 5 mm。

7.5.10 红黏土路基沉降与变形监测应从施工期开始，且运营期内监测时间不宜少于 2 个水文年。不同阶段监测实施主体变更时，应做好监测数据和设备的交接。

8 填石路堤设计

8.1 一般规定

8.1.1 填石路堤适用于土料匮乏且碳酸盐岩石料来源丰富的路段。

8.1.2 岩溶地区填石路堤宜选用微~中等风化碳酸盐岩作为填石路堤的填料，石料块径大于 0.10 m 的质量占比宜大于 50%，用于下路堤时块径不宜大于 0.40 m，用于上路堤时块径不宜大于 0.30 m。

8.2 路堤设计

8.2.1 填石路堤坡率宜根据路堤高度、石料的强度、基底地层性质及横坡坡度确定，可选用 1: 0.75~1: 1.5。

8.2.2 路床采用粗粒料填筑时，填料应采用由粗碎石与填隙料组成的混合料，其中粗碎石的压碎值应不大于 40%，颗粒组成满足表 8 的要求；填隙料采用石屑，最大粒径应不超过 9.5 mm，小于 0.6 mm 的粒料含量应不小于 40%。

表8 粗碎石颗粒组成

筛孔孔径 (mm)	100	53	31.5	19
通过质量百分率 (%)	100	25~60	0~15	0~5

8.2.3 强度差异较大的石料，宜分层、分段填筑，并采用不同的压实质量控制标准和摊铺层厚。填石路堤压实质量标准应以孔隙率作为控制指标，可结合压实沉降差或施工参数综合控制。路堤填石填料应满足表 9 相关要求，路堤填土应符合 JTG D30 相关规定。

表9 填石路堤的压实要求

路基层位	路床顶以下深度 (m)	岩石类别	摊铺厚度 (mm)	最大粒径 (mm)	孔隙率 (%)
路床	0~0.8 (0~1.2)	中硬、硬质岩石	300	100	≤22
上路堤	0~1.5 (1.2~1.9)	硬质岩石	400	≤层厚的2/3	≤22
		中硬岩石	400	≤层厚的2/3	≤21
下路堤	>1.5 (>1.9)	硬质岩石	600	≤层厚的2/3	≤24
		中硬岩石	500	≤层厚的2/3	≤23

注：括号中数值为特重、极重交通的路床与上、下路堤深度。

8.2.4 填石路堤上部采用细粒料填筑时，应在填石顶部设置厚度为 0.30 m~0.50 m 的过渡层，过渡层填料块径应小于 150 mm，其中小于 5 mm 的细料含量不应小于 30%，也可在过渡层中部设置一层土工布。

8.2.5 浸水填石路堤应在水位变动区上方设置宽度不小于 3.0 m 的护坡平台。

8.2.6 填石路堤的边坡可采用浆砌片石或码砌护面，砌筑层厚度不宜小于 0.60 m，也可采用土工材料+培土植草灌的方式绿化防护。

8.2.7 填石路堤顶部应预埋护栏基础及各类指示牌基础。

8.2.8 填石路堤顶部设置有声屏障时，宜采用混凝土独立基础或条形基础等基础形式作为声屏障安装基座，避免使用桩基、微型桩等采用竖向钻孔方式、对填石路堤破坏较大的基础形式。

9 路堑边坡防护设计

9.1 一般规定

9.1.1 岩溶地区路堑边坡防护设计应遵循“安全耐久、预防为主、因地制宜、经济适用、易于管护、兼顾景观”的原则。

9.1.2 路堑边坡宜优先采用自稳的坡率设计方案，碳酸盐岩石质边坡可结合填料的利用情况选择适宜的断面型式。

9.1.3 当挖方边坡较高时，应根据岩土性质、稳定性要求将边坡设计成台阶式，红黏土边坡每级坡高不宜大于 8.0 m，碳酸盐岩石质边坡每级坡高不宜大于 15.0 m，级间设置平台，红黏土边坡级间平台宽度不宜小于 2.0 m，碳酸盐岩石质边坡级间平台不宜小于 1.5 m。

9.1.4 红黏土边坡平台应采用 C20 砼、喷射砼或土工材料等方式封闭。

9.1.5 路堑边坡范围内的岩溶，应根据其揭露情况，评价岩溶自身的稳定性及其对边坡稳定性的影响，进行动态处治设计。

9.1.6 应对路基有较大影响的危岩进行稳定性评价，必要时进行处治设计。

9.1.7 路堑边坡排水设施的设计应满足使用功能要求，结构安全可靠，便于施工、检查和养护维修。

9.2 稳定性分析

9.2.1 碳酸盐岩路堑边坡的破坏模式主要受控于不利结构面，其整体破坏模式有崩塌、顺层滑动、楔形体滑动等，符合以下特征：

- 陡倾的边坡容易发生崩塌破坏；
- 存在外倾结构面的边坡容易发生顺层滑动破坏；
- 有外倾结构面组成楔形体时容易发生楔形体滑动破坏。

9.2.2 碳酸盐岩边坡的稳定性分析以定性分析为主，定量计算为辅。

9.2.3 碳酸盐岩边坡定性分析方法宜以地质类比法和图解分析法为主，图解分析法宜以赤平投影法为主要方法。

9.2.4 对可能产生顺层滑动破坏的碳酸盐岩边坡宜采用不平衡推力法计算稳定性；有外倾的结构面组成楔形体破坏时宜采用刚体极限平衡法计算楔形体的稳定性。

9.2.5 红黏土路堑边坡的破坏模式主要有圆弧滑动破坏、直线型滑动破坏和坡脚软化溃屈型破坏。

9.2.6 红黏土边坡稳定性分析方法宜以定量计算为主，定性分析为辅；定性分析宜以工程地质类比法为主要方法，定量计算可采用平面滑动面解析法、简化 Bishop 法或不平衡推力法等方法。

9.2.7 应以边坡稳定性分析结果确定边坡的横断面及防护方案，无外倾软弱结构面碳酸盐岩边坡的坡率可为 1: 0.1~1: 0.75，存在外倾软弱结构面的碳酸盐岩边坡的坡率应根据外倾结构面的性质及其与坡面的夹角综合确定，一般顺层边坡宜与岩层倾角相同；红黏土边坡的坡率一般为 1: 1.25~1: 1.75。

9.3 防护支挡方案设计

9.3.1 岩溶地区路堑边坡的防护和加固设计技术要求如下：

- 应根据边坡的地形、地质条件、边坡高度、环境条件、工期、施工技术水平及难易程度等因素综合确定防护方案；

- 若需要采用多种措施进行边坡防护和加固，应根据各措施的技术特点和用途，形成有机的防护和加固体系；
- 应贯彻使用者优先的设计理念，按安全、稳定、绿化、美化、经济的原则选择防护设计方案；
- 宜按生态防护、放缓边坡卸载、锚杆（索）锚固防护、圪工防护、其它防护方式等的顺序选择防护方案；
- 应根据施工期揭露的地质条件变化和监测反馈的有关信息，完善和修正设计。

- 9.3.2 当碳酸盐岩边坡存在外倾结构面、可能产生顺层滑动或楔形体滑动破坏时，应根据边坡的开挖条件、施工组织及经济性选择支挡防护方案。
- 9.3.3 当施工开挖期间的临时边坡稳定性不能满足要求时，开挖前应在坡顶设置锚索、锚筋桩、抗滑桩等对边坡进行预加固。
- 9.3.4 坡体整体稳定、坡面存在掉块或危岩时，可采用柔性防护网系统、棚洞或明洞等进行防护。
- 9.3.5 碳酸盐岩路堑边坡可采用植藤、碳汇卷、骨架+植生袋、喷射植被混凝土等措施进行绿化。
- 9.3.6 红黏土边坡坡脚一般宜设置坡脚矮墙固脚，地下水丰富或稳定性不满足要求时可采用柔性支护结构、格宾挡墙、抗滑桩等进行支挡防护。
- 9.3.7 红黏土边坡坡面可采用骨架植草、挂网喷播等方式绿化，当地表汇水面积较大时，可采用窗口式护面墙封闭，窗内植草灌绿化。
- 9.3.8 对于上土下岩且土层具上硬下软特征的边坡宜采用微型桩、抗滑桩等进行预加固后再开挖，应采取对土岩界面进行加固。
- 9.3.9 边坡揭露出无充填干溶洞时，可采用干砌片石、浆砌片石或片石混凝土填塞。
- 9.3.10 边坡揭露出充填型岩溶时，宜分析充填物的稳定性，若充填物稳定，可采用护面墙封闭处理；若充填物不稳定，宜部分或全部清除充填物后采用干砌片石、浆砌片石或片石混凝土填塞。
- 9.3.11 当边坡坡率陡于 1:1 时，检查步梯宜设置扶手。
- 9.3.12 防护支挡工程的设计宜符合 DB45/T 2149 的规定。

9.4 边坡排水设计

- 9.4.1 坡面排水、地下排水与减少坡面雨水下渗措施宜统一考虑，形成相辅相成的排水、防渗体系。
- 9.4.2 坡面排水应根据汇水面积、降雨强度、历时和径流方向等进行整体规划和布置，边坡影响区内、外的坡面和地表排水系统宜分开布置，自成体系。
- 9.4.3 边坡工程的临时排水设施应满足季节性暴雨、地下水和施工用水等的排放要求，宜结合边坡工程的永久性排水措施进行。
- 9.4.4 防排水设计应使用耐久性能好的排水结构，可采用耐久性好的新材料，提高防排水效益。
- 9.4.5 边坡排水应满足使用功能要求、排水结构安全可靠、便于施工、检查和养护维修。
- 9.4.6 边坡的地表排水设计技术要求如下：
- 红黏土边坡的坡顶、坡面、坡脚和边坡中部平台应设置地表排水系统，坡顶截水沟宜结合地形进行布设，且距挖方边坡或潜在滑塌区后缘不应小于 5m；碳酸盐岩类硬质岩边坡的坡顶截水系统可根据实际条件适当简化或者取消；
 - 碳酸盐岩类硬质岩边坡的平台排水沟宜在平台表面砌筑而成，当条件受限时，可不设平台排水沟；
 - 排入自然沟渠的顶截（排）水沟，其末端应设置消能、沉淀设施。当截（排）水沟出水口处的坡面坡度大于 10%、水头高差大于 1.0m 时，可设置跌水和急流槽将水流引出坡体或引入排水系统；
 - 截（排）水沟可采用梯形断面或矩形断面，其沟底纵坡不宜小于 0.3%。当截（排）水沟截面变化时，应采用渐变段衔接，渐变段长度应大于宽度之差的 5 倍；

- 截（排）水沟需进行防渗处理，砌筑砂浆强度等级不应低于 M7.5，块石、片石强度等级不应低于 MU30，现浇混凝土或预制混凝土强度等级不应低于 C20；二级及以下等级公路中，当有可靠措施控制施工质量时，可采用 M7.5 浆砌片石或块石砌筑；
- 截（排）水沟的沟底及边墙，应设变形缝，宜每 10 m~15 m 一道，变形缝处的沟底应设齿前墙，缝内应设止水或反滤盲沟或同时采用；
- 坡体上方存在自然冲沟或低洼处时，应在坡面汇水处设置一道急流槽；其余路段宜每 40 m~50 m 设置一道急流槽；
- 急流槽应根据公路等级及地区工程实践经验，采用由混凝土或浆砌片石砌筑的矩形断面。急流槽的主体部分宜每隔 2 m~5 m 设置一个防滑平台，嵌入坡体内；
- 边坡上方不宜设置水利沟渠等常流水设施，必须设置时，应全段采用混凝土结构并采取防渗漏措施。

9.4.7 边坡的地下排水设计技术要求如下：

- 地下排水设施的设计，应根据边坡的潜在滑动面或软弱夹层的状况、山体汇水范围内的含水层与隔水层水文地质结构及地下水动态特征，选用泄水孔、深层泄水孔、盲沟、支撑渗沟、排水隧洞等方案；
- 坡体富水区域或坡面有地下水渗出的位置，宜设置深层泄水孔，水量较大的土质边坡宜设置支撑渗沟；
- 边坡揭露出有地下水径流通道的溶洞时，可采用上游截流、洞口引排、边坡增设急流槽等措施处理；
- 深层泄水孔仰角宜取 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ，孔径宜为 50 mm~130 mm，长度应伸至地下水富集部位或潜在滑动面，并宜根据边坡渗水情况成群分布；
- 深层泄水孔的孔径不宜小于 100 mm、外倾坡度不宜小于 5%、间距宜为 2 m~3 m，并宜按梅花形布置；在地下水较多或有大股水流处，应加密设置；
- 深层泄水孔和泄水孔排出的水宜引入排水沟予以排除，其最下一排的出水口应高于地面或排水沟设计水位顶面，且不应小于 200 mm；
- 在构筑物内的泄水孔进水侧应设置反滤层或反滤包；反滤层厚度不应小于 500 mm，反滤包尺寸不应小于 0.50 m×0.50 m×0.50 m，反滤层和反滤包的顶部和底部应设厚度不小于 300 mm 的黏土隔水层。

10 路堤施工

10.1 一般规定

- 10.1.1 路堤施工前需先熟悉勘察设计文件，领会设计意图；开展现场核对及施工调查，编制施工组织设计。
- 10.1.2 路堤填筑前，应对周边既有的排水通道进行调查和保护，并预先做好排水和截水措施。
- 10.1.3 对拟采用新技术、新工艺、新材料、新设备的路堤施工，应提前做好试验研究和论证工作。

10.2 基底处治施工

- 10.2.1 路堤路段在施工路堤前，应先对基底软土、高液限红黏土或岩溶进行处治。
- 10.2.2 路堑路段在开挖至路面底高程后，应对基底的软土、高液限红黏土或岩溶进行处治。
- 10.2.3 基底软土的施工应符合 DB45/T 1972 的规定。
- 10.2.4 采用换填法处治高液限红黏土前，应先确认换填的平面范围、深度，再准备好换填材料，再开

挖施工。开挖到底部后应再次确认深度，再封底，然后施工暗沟或出水口，最后填筑换填层。

10.2.5 采用片石、块石强夯法处治高液限红黏土时，应先松铺 0.3m 厚片石或块石，再施工强夯，单击夯击能不低于 3 000 kN·m，从外至内，强夯一遍后，在夯坑内回填片石或块石，再满夯一遍。

10.2.6 填充法处治岩溶应按下列施工工序施工：

- 先查明岩溶的水文地质条件，确认溶洞无排水功能后方可填充；
- 溶洞内有积水时，先排干积水；
- 需揭开溶洞顶板的，布置好炮眼，准备爆破顶板；
- 采用钻孔灌注法填充的，布置并实施钻孔；
- 往溶洞内回填片石、块石或灌注混凝土。

10.2.7 注浆法施工的技术要求如下：

- 施工前宜选取代表性场地进行注浆试验，并根据试验结果调整确定设计、施工参数；
- 注浆应由外至内的顺序进行；
- 注浆应实行“探灌结合”的信息化施工原则，注浆孔不宜少于 3 批实施。第 1 批孔应兼做勘探孔，数量不少于总注浆孔的 10%，宜全长取芯并编制柱状图，根据揭示的地下岩溶形态调整注浆工艺；第 2 批孔数量约为总注浆孔的 20%，宜全长记录其揭示的地质条件，并与第 1 批孔对比，分析地质条件变化较大的原因，并据此调整注浆工艺；第 3 批孔宜记录地质条件变化较大的位置及地质条件；
- 水灰比宜采用 0.6~1.5，水泥浆或水泥砂浆的强度等级应满足设计要求；
- 注浆量过大时宜采取双液注浆、间歇式注浆等措施避免浆液严重流失。采用双液注浆时，水玻璃模数宜为 2.4~3.4，浓度宜 35 Be~45 Be，水泥和水玻璃比宜 1:0.02~1:0.1。多次注浆的间隔时间不应小于浆液终凝时间；
- 采用袖阀管注浆工艺时，袖阀管应下放到孔底。溶洞部分袖阀管下放困难时，可在溶洞中设置套管，袖阀管下放后将溶洞内套管拔出；
- 应在注浆浆液或混凝土达到初凝强度后，才可施工上部路堤或路面层。

10.2.8 加筋法处治岩溶施工的技术要求如下：

- 铺设加筋材料的基底应平整、无向上突出的尖锐物；
- 加筋材料应张拉平直、绷紧并按设计固定，不应褶皱或松鼓，外观应无破损、无污染。加筋材料搭接缝应交替错开，加筋材料连接强度不应低于其极限抗拉强度；
- 加筋材料铺设后暴晒时间不应超过 24 h；
- 与加筋材料直接接触的填料最大粒径不应超过 150 mm，粒径大于 60 mm 的含量不应超过 30%；
- 每层加筋材料上面的第一层土应先填路基两侧、后填路基中部，填料运输时应采用后卸式卡车在已填筑填料上卸料，施工机械不应直接碾压加筋材料。

10.2.9 跨越法处治岩溶施工的技术要求如下：

- 应凿除梁板基础处覆盖层、强风化岩层或裂隙发育的岩层，基础搁置长度应满足设计要求；
- 应测量并核对岩溶洞口尺寸，与设计尺寸出入较大时，应向相关方反馈、调整设计方案；
- 应根据洞口宽度、盖板形式等确定盖板施工方式。宜根据洞口宽度，因地制宜地选择底模形式。宽度很小时，可利用大块石卡住洞口、干砌片石至低于盖板底部设计标高约 20cm、用级配碎石找平、铺设油毛毡作为底模。当洞口宽度较小时，可利用木枋横跨洞口、安装木板形成底模。当平洞口宽度较大时，可在预制盖板后再安装；
- 现浇盖板时应加强养护，强度符合规定后方可进行路基填筑。采用填石路基时，应按设计在盖板上设置缓冲层。不设缓冲层时，盖板上第一层填料厚度不应小于 0.50 m。盖板以上 3 m 范围内不宜采用冲击碾压补强；
- 采用桥涵跨越时，其施工应符合 JTG/T 3650 的规定。

10.2.10 采用其它方法处治岩溶的施工应符合 JTG/T 3610 的规定。

10.3 红黏土路堤施工

10.3.1 用于路基填筑的红黏土，其压缩系数不应大于 0.5 MPa^{-1} 、天然稠度应大于 0.8。

10.3.2 红黏土路堤填筑宜选择在旱季连续施工，不能连续施工时应在路基顶面作封盖处理。

10.3.3 应对拟填筑的红黏土进行取样试验，根据其性质按 7.1.3 的要求填筑路堤。红黏土路堤施工前，应先铺筑试验段。试验段满足下列要求：

- 试验段所用的红黏土填料应具有代表性，试验段长度不应小于 200 m；
- 应测试试验段红黏土填料的液塑限、重型击实曲线、CBR 与含水率的关系曲线和吸附结合水含量；
- 根据 CBR 与含水率的关系曲线确定红黏土的压实含水率范围；
- 进行红黏土现场碾压试验，确定施工工艺和压实度随压实遍数的变化曲线，确定施工所能达到的路基最大压实度能否满足表 6 的要求。若不满足，应对红黏土填料进行翻晒，直至最大压实度满足表 6 的要求。
- 上路堤采用掺碎石、水泥改良的红黏土填筑路基时，应通过室内试验确定掺入量、最大干密度和闷料时间等；
- 应根据试验段的试验结果，确定掺拌工艺、掺灰间隔时间及闷料时间、土块粉碎及翻拌的设备与工艺要求、土块粒径控制及碾压遍数等施工参数。

10.3.4 红黏土改良的施工的技术要求如下：

- 红黏土改良土填筑时应连续分层填筑，对于碾压完成的作业面，如长时间不进行下一层施工，路基顶面应采取防裂措施；
- 不宜在同层采用来源不同的红黏土进行改良填筑；
- 应避免雨期进行红黏土路基改良填筑；
- 红黏土改良土松铺厚度不应大于 0.25 m，土块直径不应大于 0.10 m；
- 掺水泥改良的红黏土混合料，在水泥凝结前完成碾压，若连续施工时，每层填筑质量合格后应立即填筑下一层改良土；若施工不连续时，碾压完成后应做好降雨防护并预留 7 d 养生时间；
- 碾压过程中，如有“弹簧”、松散、起皮等现象，应及时翻开重新拌和使其达到碾压要求；
- 若局部掺量不足，应人工补量，若不满足均匀性要求应重新进行拌合、碾压施工，并对拌合次数进行调整；
- 宜先采用轻型光轮振动压路机静压和弱振碾压，再采用轻型凸块式振动压路机强振碾压，最后采用光轮压路机静压。

10.3.5 包芯法填筑红黏土的施工的技术要求如下：

- 包边土应与填芯红黏土同时填筑并分层压实，压实施工应满足所在路基高度范围的规定压实度要求；
- 应避免雨期进行红黏土路基包芯填筑；
- 碾压施工应遵循先低后高、先慢后快、先轻后重、轮迹重叠的原则，纵向进退式进行；
- 上路堤区采用非红黏土进行填筑并具备较好封闭效果时，可取消其底部复合土工膜封闭，否则应增设复合土工膜。
- 粗粒料垫层材料可根据地材供应便利的原则，选择砂砾、石屑、碎石或碎石土等水稳性好的材料，并确保石料风化不严重，无崩解性、可溶性等不良特性。层底近复合土工膜的 0.20 m 厚度范围宜尽量选用次棱角或亚圆形粗粒料以避免碾压时损伤复合土工膜。

10.3.6 “三明治法”填筑红黏土的施工的技术要求如下：

- 应合理安排红黏土路堤的填筑工期，在铺筑路面前应预留 6 个月以上的沉降稳定期；

- 路基底部应采用填石路堤或设置排水隔离垫层，厚度不应小于 0.50 m。
- 应采取翻晒等措施控制红黏土的含水率在碾压前处于可碾压含水率范围；
- 对于碾压完成的作业面，若长时间不能进行下一层施工，应将表层 0.20 m 厚的红黏土掺配 30%~40%的粗粒料拌合后封盖在表层。若临时不能进行下一层施工，可采取铺设塑料布等防开裂措施。

10.3.7 采用刚度补偿法施工红黏土路堤时，可参考 T/CHTS 10059-2022 进行施工。

10.3.8 红黏土路堤施工过程中应及时检查填筑质量，核查表观质量、平整度、填筑厚度等内容，满足以下要求：

- 表观质量检查：每层碾压施工完成后，路堤表面应平整，无明显轮迹，并具有规范要求的路拱；
- 平整度检测：可采用 3 m 直尺检测，沿路堤纵向每 200 m 检查 4 处，每处检查 3 尺。平整度应按最大间隙的平均值小于 30 mm，各尺最大间隙数值的离散性小于 5%控制。若达不到要求，应及时调整摊铺和整平工艺。
- 压实度检测：用灌砂法、灌水法或核子密度仪对路基压实度进行检测，每一压实层均应检验压实度，检测频率为每 1 000 m²不少于 2 点，不足 1 000 m²时检验 2 点，必要时可根据需要增加检测点；
- 填筑厚度检测：按实测压实厚度与试验路段结果值相差±10%以内控制，检测频率应与压实度检测同步进行。若达不到要求，应及时调整松铺厚度。

10.3.9 红黏土路基的质量检测除应满足本规范的要求外，还应符合 JTG/T 3610、JTG F80/1、JTG 3450 和 JTG 3430 的有关规定。

10.4 填石路堤施工

10.4.1 填筑前应对石料进行检测、筛选，使其强度、粒径符合设计规定。

10.4.2 应在施工前进行试验段铺筑，通过试验段确定适宜的填筑厚度、压实工艺及质量控制标准。

10.4.3 应采用吨位不低于 25 T 的振动压路机对填石路堤进行分层碾压，每层松铺厚度不超过 0.50 m。

10.4.4 碾压时应遵循先两边后中间、先低后高、曲线段由内向外的原则，压实线路应平行，轮距重叠 0.40 m~0.50 m。

10.4.5 岩溶地区的填石路基宜采用压实沉降差控制压实质量，要求振动碾压两遍的沉降差不超过 2 mm。

10.4.6 边坡码砌宜与路基填筑同步实施，码砌石料宜规则，码砌应密实、无明显孔洞、松动。

10.4.7 填筑到各类指示牌基础、护栏基础、声屏障基础等构筑物基础底面高程时，应在基础处搭设模板浇筑混凝土基础，待混凝土初凝后，再拆除模板填筑基础周边路基。

10.5 路堤排水施工

10.5.1 路堤排水设施施工前，应根据地形、设置位置、排水量及边坡情况现场核查各类排水设施的断面尺寸、坡度、与自然水系、涵洞的高程衔接、出入口位置选择等，全线的排水设施、桥涵等应相互联系，形成完整的排水系统，如有问题应及时反馈处理。

10.5.2 路堤排水工程应与路基填、挖方工程紧密衔接，施工期间应采取临时排水措施，各作业面应设置排水横坡，及时排出地表水、地下水；临时排水设施宜与永久排水设施相结合，临时排水设施应有日常维护管理措施。

10.5.3 边沟、截水沟、排水沟等地表排水设施迎水侧地表应平顺，应使路基范围内汇水、线外向路基方向的汇水能顺畅汇入公路排水系统，局部有凹坑处应填平压实，填平区应设不小于 4%的横坡。

10.5.4 边沟沟底纵坡应衔接平顺，沟深超过 1.5 m 且两侧边坡稳定性较差时应采取分段交错开挖，及时回填边沟外侧，回填土宜采用小型夯机夯实。

10.5.5 排水沟线形应平顺,转弯处宜采用弧形过渡,冲刷较大的区域应加厚、加高排水沟侧壁,伸缩缝处应采用防水材料填缝,并做好出口的位置选择和处理。

10.5.6 坡顶截水沟应先行施工,平台截水沟和坡顶截水沟应与其他排水设施顺接,红黏土路段宜每200 m设置一处泄水口。

10.5.7 急流槽应嵌入稳固的地层内,底面应砌筑抗滑平台与凸榫。对超挖、局部坑洞,应采用相同材料与急流槽同时施工;急流槽应分节施工,分节长度宜为5 m~10 m,接头处应采用防水材料填缝。

10.5.8 红黏土路段边沟、排水沟、截水沟、急流槽等的沟底、沟壁应做好防渗处理。

10.5.9 渗沟宜从下游向上游分段开挖,开挖作业面应根据土质选用合理的支撑形式,并应边挖边支撑,渗水材料应及时回填;渗沟出口应引至排水沟或路堤范围外,否则应进行防冲刷处理。

10.5.10 岩溶发育区的排水施工前应核查岩溶分布、地表水、地下水的活动规律,评估岩溶通道的排水能力,路基填筑不应切断岩溶水的径流通道;如岩溶通道不能满足区域排水功能,应结合路堤对岩溶洼地库容的影响,考虑内涝涌水面的抬高,采取相应的防护排水措施。

11 路堑边坡施工

11.1 一般规定

11.1.1 边坡开挖前,应收集边坡的工程地质、水文地质、周围环境等勘察资料和设计图纸,进行边坡安全风险评估,特殊性岩土及高边坡应做好施工组织设计,完善各类应急预案。

11.1.2 边坡开挖前,应检查影响边坡施工区域安全的危岩体、落石、岩溶等不良地质发育及分布情况,并采取清除或加固措施,确保安全后再进行开挖施工。

11.1.3 边坡开挖前,应预先做好排水和截水措施,按岩土类型、边坡分级及分类,分层逐级开挖,逐级防护。

11.1.4 边坡应采用动态和信息法施工,根据边坡开挖揭露的地质条件,重新进行稳定性分析,复核防护设计与施工方案。

11.1.5 岩溶路堑边坡应按照实施性施工组织设计方案施工,应自上而下分层开挖,不同类型的岩溶应采用不同开挖方法。

11.1.6 红黏土及松散坡积层开挖宜采用挖掘机开挖、自卸汽车运输的方案,分层开挖深度以不同类型岩土为界,并且不应超过分级边坡高度,边坡上的松散坡积层宜彻底清除,不能完全清除时应采取措施进行加固。

11.1.7 弃土场的施工应满足环境保护与水土保持的相关要求。

11.1.8 边坡施工应建立影像资料库,收集整理施工过程中的照片、录像等并归档。

11.1.9 边坡施工过程中应按设计要求及JTG/T 3610、DB45/T 2149的规定,对边坡工程及周边环境进行监测和巡查。

11.1.10 边坡开挖后应及时按照环保和设计要求对边坡进行绿化施工,绿化工程应遵循“因地制宜、适地适树、经济适用、环保高效”的原则。

11.2 路堑边坡开挖

11.2.1 应根据岩土类别、风化程度、岩层产状、岩体断裂构造、施工条件等因素确定开挖方案。边坡采用“由上至下逐级开挖”的顺序作业法,不准许掏底开挖及一挖到底。

11.2.2 靠近边坡部位的碳酸盐岩宜采用光面爆破或预裂爆破等毫秒微差爆破技术,严禁采用硐室爆破,爆破作业应符合GB 6722的有关规定。

11.2.3 爆破施工前,应查明可能受爆破影响的房屋、电塔、管线等建(构)筑物情况,若不能满足安

全距离，宜采用静态爆破、机械开挖等控制开挖措施，或先期迁改。

11.2.4 每次爆破后，应进行盲炮、危岩、松动岩土体的稳定性等安全检查，排除风险或制定可靠措施后方可进场进行清理、挖除作业。

11.2.5 开挖的土石方需作为路基填料时，应控制填料的粒径不大于 0.40 m，并符合 JTG/T 3610 的规定。

11.3 边坡防护支挡工程施工

11.3.1 岩溶地区边坡防护施工的工序要求如下：

- 破碎的硬质岩边坡、红黏土边坡应自上而下逐级开挖逐级防护；
- 应按照先施工防、排水工程再开挖、再施工防护工程、最后施工绿化工程、场地清理等的顺序施工；
- 除采用柔性支护结构防护红黏土边坡，应自下而上逐级施工外，其余防护方案应先施工上部防护工程再施工下部防护工程。

11.3.2 岩溶边坡防、排水设施施工的技术要求如下：

- 防护施工前应先完成坡顶截、排水设施施工；
- 宜先完成坡面深层排水设施施工再施工坡面防护；
- 坡面及平台防、排水工程应与防护施工同步逐级完成。

11.3.3 红黏土边坡的挡土墙、坡脚矮墙的施工的技术要求如下：

- 基坑开挖宜分段跳槽进行，下一段的开挖宜在前一段挡墙混凝土达到设计强度的 70%以上且回填墙背土之后进行；
- 挡墙与边沟之间的间隙不大于 0.60 m 时，宜将挡墙和边沟统一施工形成整体；间隙不大于 1.20 m 时，宜在间隙内回填碎石；
- 墙背回填及墙身泄水孔的施工应符合 JTG/T 3610 的规定；
- 在急流槽、步梯处，挡墙宜断开。

11.3.4 锚杆（索）、喷射植被混凝土、柔性防护网系统等防护工程的施工应符合 JTG/T 3610 及 DB45/T 2149 的规定。

11.4 边坡防、排水施工

11.4.1 路堑边坡坡顶防排水施工的技术要求如下：

- 坡顶截水沟应先行施工，与其他排水设施衔接时应该平顺，纵坡不应小于 0.3%，不良地质路段、土质松软路段、透水性大或岩石裂隙多的地段截水沟沟底、沟壁、出水口应进行防渗及加固处理。
- 混凝土排水设施宜采用钢塑或钢模板。
- 坡顶截水沟应防止水流下渗和冲刷。地质不良地段和土质松软、透水性较大或裂隙较多的岩石路段及土质截水沟、截水沟的出水口，均应按设计要求采取加固措施。
- 坡顶截（排）水沟靠山侧沟壁不应高出地面，沟顶与地面应顺接，沟底纵坡不应小于设计坡度，不应出现反坡。截水沟不宜向路堑侧沟排水，受地形限制需排入侧沟时，应与急流槽衔接。路基与桥台衔接处的排水沟应与天然沟渠衔接，不应冲刷桥台锥坡。排水沟与涵洞衔接处的沟底高程不应低于涵洞流水面高程。

11.4.2 岩溶地区挖方边坡的防排水施工的技术要求如下：

- 堑顶为土质或为有软弱夹层的岩层时，挖方边坡施工前应先做好堑顶截、排水；
- 影响边坡稳定的地表水和地下水应及时引排，排水不应损害路基及附近建筑物地基、道路和农田，并不应引起淤积或冲刷；

- 开挖的边坡面及路基面不应积水，宜设置临时排水设施，临时排水设施宜与永久性排水设施相结合，并与原有排水系统相适应；施工期间，临时排水设施应有日常维护，保持排水畅通；
- 开挖防排水设施土方基槽时，宜根据地层性质进行放坡，确保沟壁稳定；
- 路基排水设施应置于稳定的地基上，基底应密实、平整，且无草皮、树根等杂物，无积水；沟底基础位于人工填土上时，应按照设计要求夯实；对沟底的淤泥质土、淤泥、软黏土等软土，应尽量挖除，如地基承载力达不到设计要求时，应采取换填、夯实等措施处理地基；
- 排水设施的施工顺序应从下游到上游，沟底应平整、排水畅通、无冲刷和阻水现象；
- 边沟、截（排）水沟宜采用混凝土现场浇筑或预制件拼装；当采用浆砌片石时，宜用座浆法或灌浆法砌筑，应达到平（砌筑层面大体平整）、稳（块石大面向下，安放稳实）、紧（块石间应靠紧）、满（石缝要以砂浆填满捣实，不留空隙）的要求；
- 平台截水沟应相邻排水设施顺接，边坡骨架或框架梁护坡的排水槽应设置排水槽与路堤坡脚排水沟衔接，不应形成边坡集中水流冲刷路堤坡脚；
- 急流槽、平台截水沟应随路基防护污水同步砌筑，排水坡度、沟槽断面不应小于设计要求，流水面宜采用水泥砂浆抹面压光。

11.4.3 岩溶地区弃土场的防排水施工的技术要求如下：

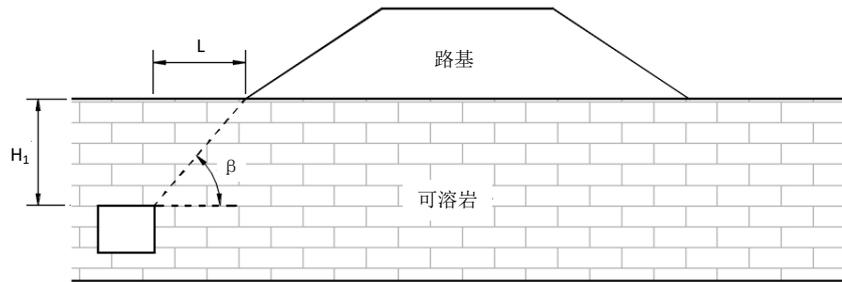
- 弃土前应做好临时排水设施，临时排水设施宜与永久性排水设施相结合，流水不应随意排放，不应引起淤积和冲刷边坡，污染自然水源；
- 弃土结束时，对弃土夯实后再在弃土堆中心位置修筑一条主排水沟；
- 宜在弃土坡面适当位置修筑急流槽，弃土场表面水经主排水沟汇集后通过急流槽排入下游自然排水系统中；
- 宜将弃土场内部排水沟两侧坡面修整成向排水沟内倾的断面（坡度3%）；
- 设于洼地中的弃土堆，不应堵塞原洼地内的岩溶漏斗、落水洞等天然消水单元，应先完善排水系统，弃土堆下游应做好支挡防护，防止水流直接横穿弃土堆或发生水土流失。

附录 A
(资料性)

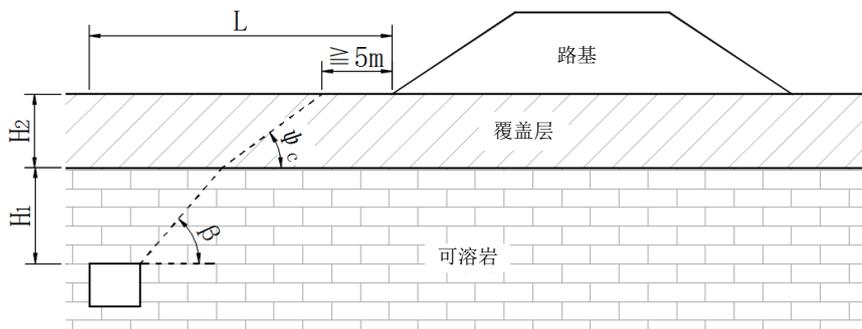
溶洞的安全距离和顶板的安全厚度

A.1 路基坡脚距溶洞的安全距离

位于路基两侧的溶洞，可按坍塌时的扩散角（图A.1）计算溶洞距路基的安全距离 L ，基底下不存在覆盖层时按式A.1计算，基底下存在覆盖层时按式A.2和式A.3计算。



a) 基底下不存在覆盖层的情况



b) 基底下存在覆盖层的情况

图A.1 溶洞距路基的安全距离（ L ）示意图

$$L = H_1 \cot \beta \dots\dots\dots (A.1)$$

$$L = H_1 \cot \beta + H_2 \cot \varphi_c + 5 \dots\dots\dots (A.2)$$

$$\beta = \frac{45^\circ + \frac{\varphi}{2}}{K} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

- L ——溶洞距路基的安全距离，单位为米（m）；
- H_1 ——溶洞顶板岩层厚度，单位为米（m）；
- β ——溶洞顶板岩层坍塌扩散角，单位为度（ $^\circ$ ）；
- H_2 ——覆盖土层厚度，单位为米（m）；
- φ_c ——覆盖土层的综合内摩擦角，单位为度（ $^\circ$ ）；
- φ ——岩石内摩擦角，单位为度（ $^\circ$ ）；

K ——安全系数，取1.10~1.25，高速公路、一级公路应取大值。

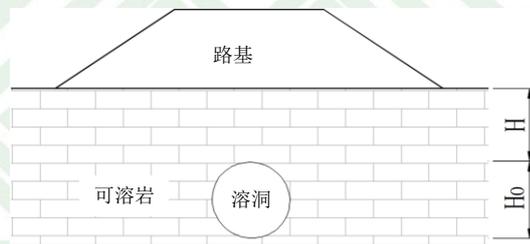
A.2 溶洞顶板的安全厚度

A.2.1 溶洞顶板安全厚度估算方法

溶洞顶板安全厚度估算方法主要包括自行坍塌堵塞法、顶板厚跨比法、梁板抗弯力学分析法、顶板整体受剪验算法等。

A.2.2 自行坍塌堵塞法

当溶洞顶板为中厚层、薄层、裂隙发育且易风化的岩层，顶板有坍塌的可能或仅知洞体高度时，可假设顶板坍塌后，塌落体积增大，当塌落至一定高度 H 时，溶洞空间自行填满，无须考虑对路基的影响，所需塌落安全高度 H 按式A.4计算。



图A.2 塌落堵塞示意图

$$H = \frac{H_0}{K-1} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

H_0 ——塌落前洞体最大高度，单位为米（m）；

K ——岩石松散（胀余系数），石灰岩 K 取1.2，黏土 K 取1.05。

A.2.3 厚跨比法

对未被节理裂隙切割或被切割但胶结良好的完整溶洞顶板岩层，可按厚跨比法确定溶洞顶板的安全厚度，当顶板的厚度与路基跨越溶洞的长度之比大于0.8时，溶洞顶板岩层可不作处理。

A.2.4 梁板抗弯力学分析法

当顶板具有一定厚度时，按梁板受力进行抗弯、抗剪验算，受力弯矩 M 按式A.5~式A.7计算，岩层最小厚度 H 按式A.7~式A.11计算。

(1) 当顶板跨中有裂缝，顶板两端支座处岩石坚固完整时，按悬臂梁计算：

$$M = \frac{1}{2}pl^2 \dots\dots\dots (A.5)$$

(2) 若裂缝位于支座处，而顶板较完整时，按简支梁计算：

$$M = \frac{1}{8}pl^2 \dots\dots\dots (A.6)$$

(3) 若支座和顶板岩层均较完整时，按两端固定梁计算：

$$M = \frac{1}{12}pl^2 \dots\dots\dots (A.7)$$

抗弯验算:

$$\frac{6M}{bH^2} \leq \sigma \dots\dots\dots (A. 8)$$

$$H \geq \sqrt{\frac{6M}{b\sigma}} \dots\dots\dots (A. 9)$$

抗剪验算:

$$\frac{4f_s}{H^2} \leq \tau \dots\dots\dots (A. 10)$$

$$H \geq \sqrt{\frac{4f_s}{\tau}} \dots\dots\dots (A. 11)$$

式中:

M ——弯矩, 单位为千牛米 (kN·m);

p ——顶板所受总荷载, 单位为千牛每米 (kN/m), 为顶板岩体自重、顶板上覆土体自重和附加荷载之和;

l ——溶洞跨度, 单位为米 (m);

H ——顶板岩层厚度, 单位为米 (m);

b ——梁板的宽度, 单位为米 (m);

σ ——岩体计算抗弯强度 (石灰岩一般为允许抗压强度的1/8), 单位为千帕 (kPa);

f_s ——支座处的剪力, 单位为千牛 (kN);

τ ——岩体计算抗剪强度 (石灰岩一般为允许抗压强度的1/12), 单位为千帕 (kPa)。

A. 2.5 顶板整体受剪验算法

顶板厚度较厚, 岩层完整, 溶洞跨度较小时, 验算顶板整体抵抗荷载剪切的能力, 按式A. 12计算岩层最小厚度 H 。

$$H = \frac{q}{\tau L} \dots\dots\dots (A. 12)$$

式中:

q ——顶板所受总荷载, 单位为千牛 (kN), 顶板厚岩体自重、顶板上覆土体自重和附加荷载之和;

τ ——岩体计算抗剪强度 (石灰岩一般为允许抗压强度的1/12), 单位为千帕 (kPa);

L ——溶洞的平面周长, 单位为米 (m)。

参 考 文 献

- [1] DB45/T 1829-2018 膨胀土地区公路勘察设计规程
[2] T/CHTS 10059-2022 公路高液限土路基设计与施工技术指南



中华人民共和国广西交通运输行业指南

岩溶地区公路路基技术指南

DBJT45/T 069-2025

广西壮族自治区交通运输厅统一印刷

版权专有 侵权必究