

公路高填深挖路基技术规范

Technical specifications for high embankments and deep cuttings of highway

(初稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2027 - XX - XX 发布

2027 - XX - XX 实施

目 次

前言	IV
引言	V
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
4.1 一般规定	2
4.2 地质勘察	3
4.3 路堤设计	3
4.4 路堑设计	4
4.5 其他	4
5 地质勘察	4
5.1 一般规定	4
5.2 勘察内容	4
5.3 工程地质调绘	5
5.4 地质勘探点布置	5
5.5 取样与土工试验	6
5.6 勘察报告	7
6 边坡稳定性计算	7
6.1 一般规定	7
6.2 稳定要求	8
6.3 路堤边坡稳定分析	8
6.4 路堑边坡稳定分析	20
7 路堤设计	22
7.1 一般规定	22
7.2 路堤结构、断面与坡形	22
7.3 边坡坡率	24
7.4 基底处治	24
7.5 地基处理	24
7.6 路基填料	26
7.7 路基衔接	27
7.8 路堤压实	33
7.9 边坡防护	34
7.10 地表防排水	35
7.11 基底防排水	36
7.12 地基排水	38

7.13 巡检通道	39
8 路堑边坡设计	40
8.1 一般规定	40
8.2 土质与类土质边坡	40
8.3 岩质边坡	42
8.4 二元结构边坡	45
8.5 改扩建路堑边坡	45
8.6 路堑边坡防护	46
8.7 路堑边坡地表防排水	47
8.8 路堑边坡地下排水	47
8.9 巡检通道	48
9 锚固与支挡工程设计	49
9.1 一般规定	49
9.2 锚固工程	49
9.3 挡土墙	53
9.4 抗滑桩	55
9.5 微型桩	56
10 施工	57
10.1 一般规定	57
10.2 路堤	58
10.3 路堑边坡	61
10.4 锚固与支挡工程	62
10.5 改扩建工程	64
11 检测	64
11.1 一般规定	64
11.2 土石方工程	65
11.3 排水工程	66
11.4 防护、锚固与支挡工程	66
12 监测	70
12.1 一般规定	70
12.2 施工监测	70
12.3 运营期监测	72
附录 A （规范性） 抗滑桩位移与作用效应计算	75
A.1 桩的分类	75
A.2 弹性桩位移和作用效应	75
A.3 刚性桩位移和作用效应	78
附录 B （规范性） 挡土墙计算分析	80
B.1 挡土墙土压力计算	80
B.2 挡土墙稳定性计算	82
附录 C （规范性） 微型桩作用计算方法	84
C.1 土质边坡中抗滑作用	84
C.2 岩边坡中抗滑作用	84

C.3 插入挡土墙的微型桩作用	84
C.4 用于挡土墙复合地基的微型桩作用	85
附录 D （规范性） 填方边坡坡面压实度灌砂法检测方法	87
D.1 倾斜法	87
D.2 竖直法	89
附录 E （规范性） 沟心渗沟、斜向渗沟连通性检测方法	90
附录 F （规范性） 支挡工程反滤层检测方法	91
F.1 检测方法选择	91
F.2 灌水法	91
F.3 探槽法	91

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这些专利的责任。

本文件由广东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由广东省交通运输标准化技术委员会公路工程分技术委员会（GD/TC133/SC1）归口。

本文件起草单位：广东省交通集团有限公司、广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、广东省路桥建设发展有限公司、广韶高速公路改扩建管理处、广东省交通运输规划研究中心、广东华路交通科技有限公司、保利长大工程有限公司

本文件主要起草人：

引言

广东省地处华南地区，山区丘陵比例较大，花岗岩、石灰岩、黏土岩等分布范围广，软基性质差，降雨时间长、强度大、总量多。到目前为止，广东省已经建设了约23万公里公路，其中约1.2万公里高速公路。广东省大部分公路的路基建设质量、运营状况良好，但由于广东特殊的地貌、地质、气象等条件，也出现一些质量通病，导致一些公路出现路基差异沉降和开裂、水沟或填平区积水、边坡冲刷和溜塌等轻微病害，甚至出现滑坡、塌陷、泥石流等较大病害。虽然病害数量极少，也会造成经济损失和不良的社会影响，甚至导致人员伤亡。为响应省委省政府的批示精神，在广东省交通运输厅指导下，广东省交通集团有限公司组织编制了《公路高填深挖路基技术规范》。

编制组收集了广东省路基边坡排查、公路设计回溯、质量回溯、路基通用图等方面的资料，对不同行业的填方工程规范、边坡规范进行了广泛调研，开展了必要的专题研究，充分吸收了省内外高路堤和深路堑建设运营方面的经验教训，起草了该文件，严格按照标准编制办法完成征求意见、文件审查和报批等工作。

相对现行行业标准，该文件在路基勘察设计、施工、检查、监测等方面均提出了更严格、更具体的要求：在路基勘察设计方面，适当扩宽了高路堤、陡坡路堤的范围，按公路等级区分了勘察要求，提高了稳定安全系数和降雨重现期，细化了稳定分析工况和滑动面确定、路基衔接、地下排水、锚索基本试验等方面的要求，完善了锚索防锈和减少预应力损失的措施、挡土墙荷载方法，增加了工点设计、改进沙尔玛稳定分析方法、渗透破坏预防措施、微型桩计算、巡检通道等要求。在路基施工方面，增加了工程复核、填平区施工等方面的要求，细化了临时排水、超宽填筑与修坡、补强压实等方面的要求。在路基质量检测方面，增加了渗沟连通性、边坡坡面填土压实度、填土补强压实效果、挡土墙反滤层等方面的检测要求。在路基监测方面增加了地下水监测、边坡预警等方面的要求等。

公路高填深挖路基技术规范

1 范围

本文件规定了公路高填深挖路基的勘察设计、施工、检测与监测等相关内容。
本文件适用于广东省各级公路的新建、改扩建。

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。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 50021 岩土工程勘察规范
GB 50218 工程岩体分级标准
GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
GB50330 建筑边坡工程技术规范
JGJ/T 182 锚杆锚固质量无损检测技术规程
JTG B02 公路工程抗震规范
JTG C20 公路工程地质勘察规范
JTG D30 公路路基设计规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
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
DB44/T 2418 公路路堤软基处理技术标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高路堤 high embankment
路基填土边坡高度大于 20m 的路堤。

[来源：JTG D30，2.1.7]

3.2

斜坡路堤 slope embankment
路基基底存在陡于1:5斜坡的路堤。

3.3

陡坡路堤 steep slope embankment
路基基底存在陡于1:2.5斜坡的路堤。

[来源：JTG D30，2.1.8，有修改]

3.4

二元结构边坡 dual structure slope

挖方边坡高度范围内同时存在土层和岩层的边坡。

3.5

类土质边坡 soil-like slope

由岩体经风化、破碎或堆积形成，保留或部分继承原岩结构面（节理、层理、裂隙）的破碎岩土体组成的边坡，主要由全风化、土状强风化岩体组成。

3.6

深路堑 deep cutting

土质挖方边坡、类土质边坡或二元结构挖方边坡高度大于等于20m或岩质边坡高度大于等于30m的路堑。

[来源：JTG D30，2.1.9，有修改]

3.7

滑坡 landslide

斜坡上的岩体或土体在自然或人为因素的影响下沿软弱带或面滑动的地质现象。

[来源：JTG D30，2.1.21，有修改]

3.8

基底处治 substrate treatment

对路堤范围内坡缓于 1:5 的地面的清表、排水、清淤、回填碾压等。

3.9

路基衔接 subgrade splicing

路基之间、路基与斜坡的衔接，包括清表、开挖台阶、铺设格栅等。

3.10

潜水 phreatic water

埋藏在地表下第一个隔水层之上具有自由水面的地下水。

3.11

承压水 artesian water

充满两个隔水层之间的含水层中的地下水。

3.12

管涌 piping

在渗流作用下，土体中的细颗粒被地下水从粗颗粒的空隙中带走，从而导致土体形成贯通的渗流通道的现象，可能在形成土洞，导致塌陷或坍塌。

3.13

流土 soil flow

在渗流作用下，某一范围内土体的表面隆起、浮动或某一颗粒群的同时起动而流失的现象。

3.14

接触冲刷 contact erosion

渗流沿着两种土层的接触面或土与其他介质的接触面流动时，沿接触面带走细颗粒的现象，可能形成土洞，导致塌陷或坍塌。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 应充分考虑地形、工程地质、气象条件、自然灾害、生态环境等因素，开展路线多方案比选，

宜绕避地质灾害高风险区。需穿越高风险区时，应选择合适的位置穿越，并采取切实可行的综合工程措施。

4.1.2 路基设计宜避免高填深挖，地质条件不利路基稳定、路基中心填方高度超过 20m 或中心挖方深度超过 30m 时，宜结合路线方案与桥梁、隧道等构造物或分幅（分离）高低式路基进行方案比选，必要时公路调整平纵面。

4.1.3 路线设计时，应进行平面、纵断面、横断面的综合设计，减少薄填“贴山皮”路堤、“剥山皮”路堑和陡坡路堤。

4.1.4 边坡高度介于 12 m~20 m 且软弱地层可能导致路堤失稳的填土路堤应作为高路堤进行勘察、设计。

4.1.5 以下斜坡路堤应作为陡坡路堤进行勘察、计算分析。

- a) 基岩为黏土岩、灰岩等相对隔水岩石。
- b) 基岩为顺层岩石。
- c) 地基浅层存在煤系地层或高液限土。
- d) 地基存在厚层崩坡积层。

4.1.6 以下挖方边坡应作为深路堑边坡进行勘察、计算分析：

- a) 边坡高度介于 10 m~20 m 且软弱地层可能导致边坡失稳的边坡；
- b) 边坡高度大于 8 m 的富水长大缓坡上的挖方边坡或崩坡积体上的挖方边坡；
- c) 堑顶陡峻且有牵引滑动可能的挖方边坡；
- d) 坡顶有重要构筑物的挖方边坡。

4.2 地质勘察

4.2.1 地质勘察应根据勘察阶段、工程地质条件复杂程度、路基类型，采用工程地质调绘、遥感、物探、钻探、简易勘探、原位测试、取样及试验等手段和方法，分阶段查明高路堤、深路堑的工程地质条件和水文地质条件。

4.2.2 对于水文地质条件复杂的工点，应开展针对性的水文地质勘察，调查区域的年平均降水量、极端降雨强度、地下水类型及其水位（水头）变化、补给、径流、排泄情况等，评价极端天气条件对路基工程的不利影响。

4.3 路堤设计

4.3.1 初步设计阶段，处治难度大或方案复杂、对工程造价影响大的高路堤、陡坡路堤、不良地质或特殊性岩土路基应按工点开展勘察设计。

4.3.2 施工图设计阶段，以下路基应进行工点设计：

- a) 高路堤；
- b) 边坡高度大于 12m 的陡坡路堤；
- c) 需要设置支挡工程的斜坡路堤；
- d) 地表或地下排水系统复杂的路堤；
- e) 处治难度大或方案复杂、对造价影响较大的不良地质或特殊性岩土路基、弃土场、填平区路堤等。

4.3.3 工点设计应符合下列规定：

- a) 工点设计应包括设计说明、平面图、横断面图等，设置支挡工程的路堤尚应包括立面图。
- b) 设计说明应包括地质情况、稳定分析结果等。
- c) 地表或地下排水系统复杂的路堤、弃土场应绘制工点综合排水设计图与地下排水系统设计图。

4.3.4 结合地质复核、泉水或地下水出露情况、施工监测、现场病害等加强边坡动态设计。

4.4 路堑设计

4.4.1 存在顺层的边坡、存在顺坡向优势节理裂隙或顺坡向软弱结构面的边坡、存在厚层堆积或崩坡积体的长大缓坡边坡应初步判别为潜在滑坡工点，并按滑坡工程相关要求进行勘察设计。

4.4.2 初步设计阶段，加固难度大或方案复杂、对工程造价影响大的深路堑、不良地质或特殊性岩土路堑边坡应按独立工点开展勘察设计，做到“一坡一图一说明”。

4.4.3 施工图设计阶段，以下路基应进行工点设计：

- a) 高度大于 20 m 的土质边坡或类土质边坡；
- b) 高度大于 30 m 的岩质边坡；
- c) 高度介于 10 m~20 m 且软弱地层导致边坡稳定性不足的边坡；
- d) 高度大于或等于 8 m 的富水长大缓坡上的挖方边坡或厚层崩坡积体上的挖方边坡；
- e) 其他潜在滑坡工点；
- f) 坡顶有重要构筑物等需特殊设计的工点；
- g) 处治难度大或方案复杂、对造价影响较大的不良地质或特殊性岩土路堑边坡、取土场等。

4.4.4 工点设计应符合下列规定：

- a) 工点设计应包括设计说明、平面图、立面图、横断面图等。
- b) 设计说明应包括地质情况、稳定分析结果等。

4.4.5 施工图设计阶段，临时稳定性较差的深路堑、不良地质路堑边坡等宜开展工序设计与临时支护设计。

4.4.6 结合地质复核、泉水或地下水出露情况、施工监测、现场病害等边坡加强施工过程中的动态设计。

4.5 其他

4.5.1 应加强设计交底、专项施工交底工作，明确现场控制及动态设计要点，重点强调关键部位材料与技术要求等。

4.5.2 宜利用无人机定期巡查摄影或录像、卫星摄影等先进技术协助施工质量管控等。

4.5.3 路基防护与地下排水工程应积极稳妥地采取新材料、新技术、新设备、新工艺，提高路基工程防灾、抗灾能力。

5 地质勘察

5.1 一般规定

5.1.1 地质勘察应按 JTG C20 的相关规定执行，滑坡和软基路段宜参照 JTG/T 3334 和 JTG/T D31-2、DB44/T 2418 等规范相关要求执行。

5.1.2 工程地质勘察手段、方法和工作量布置应根据现场地形地质条件和勘察目的确定，勘探深度应满足稳定性和变形计算的要求。

5.1.3 工程地质勘察应采用地质遥感、调绘、物探、钻探、试验等相结合的方法进行。

5.1.4 一级公路及以下公路勘察横断面、勘察孔间距不应低于 JTG C20 的要求。

5.1.5 前期受制于各种因素影响而未完成勘察任务的，应在具备条件后及时开展补勘工作，确保施工开挖前勘察工作量应不少于原拟定的工程量。

5.2 勘察内容

5.2.1 路堤勘察应查明下列内容：

- a) 地貌类型、地形起伏变化情况及坡度；
 - b) 覆盖层的厚度、土质类型、地层结构、密实程度和胶结状况；
 - c) 基岩岩性及其组合情况、岩体结构类型、不同风化层面横向坡度和起伏形态；
 - d) 地质构造、层理、节理、软弱夹层等结构面的产状及岩体风化界面情况；
 - e) 地基地层结构、厚度、状态、密实度及软弱地层发育情况；
 - f) 岩土的物理力学性质和地基承载力；
 - g) 斜坡路堤黏土岩、灰岩等隔水岩石顶面软土层的抗剪强度指标；
 - h) 控制路基稳定的结构面的抗剪强度；
 - i) 路基范围及其附近的滑坡、泥石流、岩溶等不良地质分布情况；
 - j) 地表水和地下水的类型、水质、分布、分布径流、动态特征等，泉水、渗水点情况，附近河流河床下切、水位涨落、河流冲刷等路堤稳定性的影响；
 - k) 沟谷低洼处、地下水密集出露处、褶皱轴部、断裂构造破碎带、岩脉发育带、裂隙密集带及不同含水岩组接触带等水文地质地段，路堤形成较高承压水头的可能性及其对路堤的影响，路堤发生渗透破坏的可能性。
 - l) 路堤范围及其附近管线、地下工程、电塔等的分布情况。
- 5.2.2 深路堑应查明以下内容：
- a) 地貌类型、地形起伏变化情况及横向坡度、斜坡的自然稳定状况；
 - b) 覆盖层厚度、土质类型、地层结构、含水状态、胶结程度和密实度；
 - c) 坡体岩性及其组合情况、岩体结构类型、不同风化层面横向坡度和起伏形态；
 - d) 层理、节理、断层、软弱夹层等结构面的产状、规模及其倾向路基的情况；
 - e) 岩土的物理力学性质，控制边坡稳定的结构面的抗剪强度；
 - f) 地表水和地下水的类型、分布、径流、动态特征等，泉水、渗水点情况；
 - a) 路基范围及其附近的滑坡、泥石流、崩塌等不良地质分布情况；
 - g) 管线、地下工程、电塔等的分布情况。

5.3 工程地质调绘

5.3.1 工程地质调绘应沿拟定的线位及其两侧的带状范围进行 1:2000 工程地质调绘，调绘范围应符合表 1 的规定。有岩石露头时，应进行节理统计，调查边坡岩体类型和结构类型。详勘应对初勘调绘资料进行复核，当路线偏离初步设计线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘。

表 1 调绘范围

分析内容	调绘范围
高路堤	填方边坡坡脚外不少 100 m，软土等特殊土或地表水体发育时适当扩大范围
斜陡坡路堤	填方边坡坡脚外不少 100 m，路基范围及其附近有滑坡等不良地质发育时适当扩大范围。
路堑	不宜小于边坡高度的 3 倍，且不应小于 200 m。对地质构造复杂、岩体破碎、风化严重、有外倾结构面或堆积层发育、上方汇水区域较大以及地下水发育的边坡，扩大范围。

5.3.2 路堑工程地质调绘应符合表 1 的规定，详勘应对初勘调绘资料进行复核，复核点数不少于初勘调绘点的 10%，若发现初勘调绘与实际不符时，应重新进行工程地质调绘。当路线偏离初步设计线位较远或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘。应重点加强对顺层边坡的调绘，如露头不良地段，可通过挖探等手段查明。

5.4 地质勘探点布置

5.4.1 高速公路工程地质初勘勘探点布置应符合表 2 的规定，沟谷路段应沿沟谷设置勘探横断面。

表2 初勘勘探点布置

分析内容	高路堤、斜坡路堤	陡坡路堤	路堑
勘探横断面数量	间距宜 100 m~300m, 每段路堤不少于 1 个		间距宜为 50 m~100 m, 且每段路堑不少于 1 条;
横断面勘探点数量	不少于 2 个, 其中钻孔不少于 1 个		
勘探深度	进入岩面以下不少于 3m	进入中~微风化岩顶面以下不小于 3 m 且不大于 15 m, 遇软弱结构面时穿过软弱结构面 3 m	进入路面标高以下 3 m~5 m, 路面标高以上为中~微风化岩时, 钻入中风化岩顶面以下 5 m~7 m 或微风化 3 m~5 m, 遇软弱结构面时穿过软弱结构面 5 m~7 m
挡土墙	高挡墙处应进行代表性勘探		
桩板墙	钻孔深度不宜小于 20 m, 且达桩底以下小于 6 m, 遇基岩时进入中风化 3 m。		

5.4.2 高速公路工程地质详勘勘探点布置应符合表 3 的规定, 尚应符合下列规定:

表3 详勘工程量

分析内容	高路堤、斜坡路堤	陡坡路堤	路堑边坡
勘探横断面数量	地质条件简单时间距不大于 100 m, 较复杂时不大于 80 m, 复杂时不大于 50 m	地质条件简单时间距不大于 80 m, 较复杂时不大于 50 m, 复杂时不大于 30 m	地质条件简单时间距不大于 80 m, 较复杂时不大于 50 m, 复杂时不大于 30 m
横断面勘探点数量	不少 2 个, 地质条件简单时钻孔不少 1 个, 较复杂时不少 2 个, 复杂时不大于 3 个	不少 3 个。地质条件简单、较复杂时钻孔不少 2 个, 复杂时不大于 3 个	不少 3 个。地质条件简单时钻孔不少 2 个, 较复杂时不少 3 个, 堑顶 5 m~10 m 不宜少于 1 个; 复杂时不大于 4 个, 堑顶不宜少于 1 个, 堑顶 5 m~10 m 宜 1~2 个;
勘探深度	进入岩面以下不少于 3m	进入中~微风化岩顶面以下不小于 3 m 且不大于 15 m, 遇软弱结构面时穿过软弱结构面 3 m。	进入路面标高以下 3 m~5 m, 路面标高以上为中~微风化岩石时, 钻入中风化岩顶面以下 5 m~7 m 或微风化 3 m~5 m, 遇软弱结构面时穿过软弱结构面 5 m~7 m。穿过滑面 3 m~5 m
挡土墙	勘探点间距不应大于 50m, 且不少于 1 个钻孔。钻孔进入墙底以下不少 3 m 或进入中风化岩层。		
桩板墙	钻孔间距不应大于 50m, 且不少于 1 个。钻孔深度不宜小于 20 m, 且达桩底以下小于 6 m, 遇基岩时进入中风化岩顶面以下不少于 3 m。		
注: 地质条件简单、较复杂、复杂分别对应 GB50021 中的地基复杂、地基中等复杂、地基简单			

- a) 最大填高处应布置勘探横断面;
- b) 软土发育时, 应与静力触探等原位测试结合进行综合勘探;
- c) 存在软土或横向地质变化较大时, 路堤外侧应布设钻孔。

5.4.3 工程地质初勘勘探点应符合表 2 的规定, 并应符合下列规定:

- a) 富水松散覆盖层或强风化破碎层较厚且开挖后可能对工程安全有影响的深路堑、高边坡, 宜布置横向物探测线, 测线长度应覆盖预计的边坡开挖边界;
- b) 露头不良地段, 可采用声波测井确定岩体的完整性, 重要工点宜通过挖探等方法调绘边坡主要结构面情况。

5.4.4 工程地质详勘勘探点应符合表 3 的规定, 并应符合下列规定:

- a) 勘探范围及深度应在充分分析、利用地面调查后推测的需要查明的地质界线、可能发生潜在变形基础上确定;
- b) 勘探断面宜布设主控制断面和辅助断面, 断面宜以垂直边坡等高线或平行潜在主滑方向布置为主, 并应有拟设工程位置的勘探断面。

5.5 取样与土工试验

5.5.1 对滑坡崩塌堆积、残坡积、软弱夹层或其它风化强烈较破碎的岩石且不易取芯时应采用单动双管钻进或无水钻进等钻探方法，减小对岩土芯的扰动，保证岩土芯采取率。

5.5.2 工程地质取样与试验应满足以下要求：

- a) 粉土、黏性土应取原状样，10m 深度以上取样间距宜为 1.0 m，10 m 深度以下取样间距宜为 1.5 m，变层应立即取样。砂土、碎石土可取扰动样，取样间距宜为 2.0 m，变层应立即取样。层厚大于 5 m 的同一土层，可在上、中、下取样。砂性土取样后应立即做动力触探试验；
- b) 地下水发育时，应探明地下水的初见水位和稳定水位，采集水样做水质分析。
- c) 室内试验项目应符合表 4 的规定。

表 4 室内试验项目

分析内容	路堤	路堑
粉土、黏性土	天然密度、孔隙比、含水率、界限含水量、压缩模量、抗剪强度等	天然密度、含水率、界限含水量、抗剪强度等
高液限土	在黏性土基础上增加膨胀指标	在黏性土基础上增加膨胀指标
软土	在黏性土基础上增加固结快剪强度指标、有机质含量、腐蚀性	——
砂土及碎石土	颗粒分析	颗粒分析
路堤细粒填土	93%、96%压实度下天然和饱水抗剪强度指标	——
岩石	天然抗压强度试验、岩块抗剪试验，饱和抗压强度，碎块状岩石样应做点荷载试验	天然抗压强度试验、岩块抗剪试验，饱和抗压强度，碎块状岩石样应做点荷载试验
水样和土样	存在软土时测试腐蚀性	存在煤系地层时应测试腐蚀性

5.6 勘察报告

5.6.1 以下路段需要提供工点勘察报告

- a) 高路堤；
- b) 深路堑；
- c) 符合 4.1.4、4.1.5、4.1.6 的路基。

5.6.2 勘察报告应对按工点设计的路基断面进行地质填图。

5.6.3 工点勘察报告应包括工程地质勘察说明书、附图、附表等，并应符合下列规定：

- a) 工程地质勘察说明书应包括前言、工程地质条件、路基稳定性分析与评价、结论与建议等内容。
 - 1) 前沿应包括工程概况、勘察方法及完成工作量。
 - 2) 工程地质条件应包括地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质条件、地震及区域稳定性、不良地质及特殊岩土。
 - 3) 路基稳定性分析与评价应包括场地稳定性与适宜性评价、路基主要参数设计建议值、工程措施等。
- b) 工程地质附图应包括工程地质平面图、典型工程地质横断面图、钻孔柱状图等。
- c) 附表应包括土工试验报告、地下水检测报告、岩石抗压强度报告等。

6 边坡稳定性计算

6.1 一般规定

6.1.1 高路堤、横坡陡于 1:2.5 的陡坡路堤，横坡陡于 1: 5 且地基中存在软弱土、软弱夹层的斜坡路

堤均应进行稳定性计算。

6.1.2 路基稳定分析应分析所有可能的破坏模式、滑动面位置和形状，并根据破坏模式、滑动面形状等合理选择稳定性计算方法。

6.1.3 破坏机制复杂的路基边坡宜同时采用数值计算分析方法进行稳定性计算。

6.1.4 路基稳定安全系数应与滑动面形状、稳定分析方法、抗剪强度指标匹配。

6.1.5 边坡稳定性应根据定性分析、稳定性计算、工程类比等综合判断。

6.2 稳定要求

6.2.1 高路堤与陡坡路堤稳定安全系数应符合表 5 的规定。软基路段的高路堤与陡坡路堤稳定安全系数尚应符合 DB44/T 2418 的规定。

表 5 高路堤与陡坡路堤稳定安全系数

分析内容	地基抗剪强度指标	分析工况	稳定安全系数	
			二级及二级以上公路	三、四级公路
路堤堤身稳定性、路堤和地基的整体稳定性	直剪的固结快剪或三轴固结不排水剪指标	正常工况	1.45	1.35
		非正常工况I	1.40	1.25
	直接快剪指标	正常工况	1.35	1.30
		非正常工况I	1.30	1.15
路堤沿斜坡地基或软弱层滑动的稳定性	——	正常工况	1.30	1.25
	——	非正常工况I	1.25	1.15

6.2.2 公路路堑边坡稳定系数不宜小于表 6 所列稳定安全系数值。

表 6 路堑边坡稳定安全系数

公路等级	分析工况	
	正常工况	非正常工况 I
高速公路	1.25~1.3	1.2
一级公路	1.2~1.3	1.1~1.2
二级及以下公路	1.15~1.25	1.05~1.15

注 1: 路堑边坡地质条件复杂或破坏后危害严重时，稳定安全系数取大值；地质条件简单或破坏后危害较轻时，稳定安全系数可取小值。
注 2: 路堑边坡破坏后的影响区域内有重要建筑物(桥梁、隧道、高压输电塔、油气管道等)、村庄和学校时，稳定安全系数取大值。
注 3: 施工边坡的临时稳定安全系数不应小于 1.05。

6.2.3 设计基本地震动加速度大于或等于 0.2g 地区的高速公路、一级公路、二级公路采用静力法对路基进行抗震稳定性计算时，边坡高度大于 20m 的路基抗震稳定系数不应小于 1.15，边坡高度小于等于 20m 的不应小于 1.1。

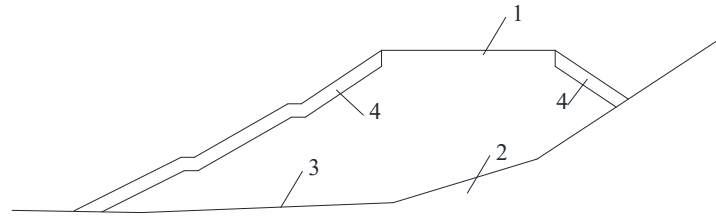
条文说明：

根据《中国地震动峰值加速度区划图》GB18306-2015，广东省汕头的龙湖、金平、濠江、潮阳、澄海、南澳，潮州的湘桥、潮安、饶平，湛江的徐闻南部等地区基本地震动加速度大于或等于 0.2g。

6.3 路堤边坡稳定分析

6.3.1 路基稳定分析工况应符合下列规定：

- a) 正常工况应分析路基处于天然状态下的稳定性，汽车荷载可视为作用于行车道和硬路肩的均布荷载，可取 20kPa。
- b) 非正常工况I应分析路基处于暴雨或连续降雨状态下的稳定性，并应符合下列规定：
- 4) 路堤边坡饱和土深度宜根据土质、压实度、渗透性和雨强等利用软件分析确定或试验确定，无试验资料时可取 3m，如图 1 所示。

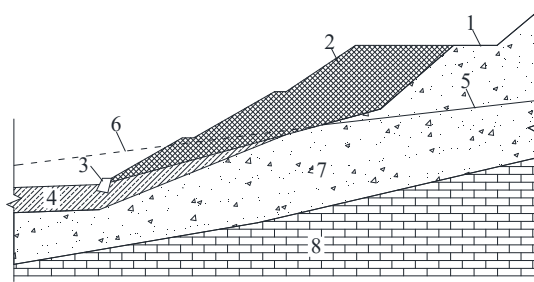


标引序号说明：

1—路基；2—地基；3—基底；4—饱和区

图 1 边坡饱和区

- 5) 应根据路堤范围及其附近的地形地貌、汇水面积、导水构造、地基地层、路堤填料、填平区情况、地下排水措施等综合等分析暴雨或连续降雨对地下水的影响。潜水水位或承压水头较高时（如图 2 所示），稳定分析应考虑其影响。



标引序号说明：

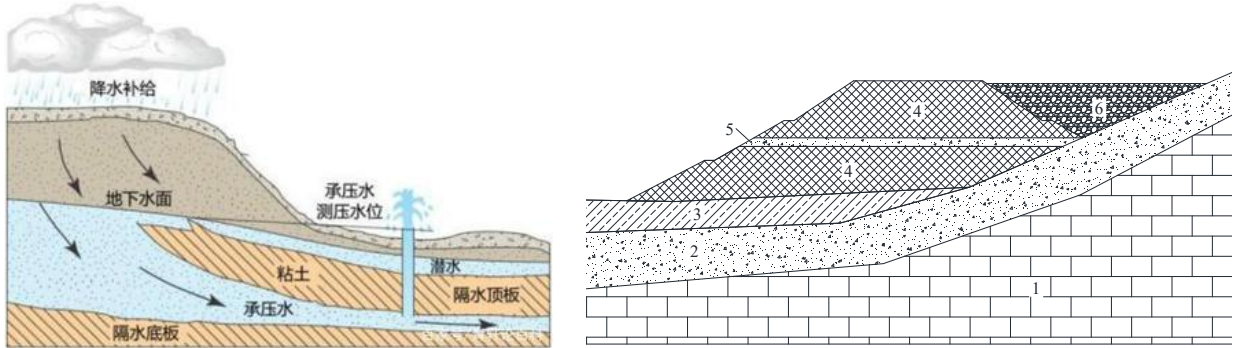
1—挖方路基；2—填方路基；3—护脚墙；4—上部隔水层；5—潜水位线；6—承压水头线；7—含水层；8—下部隔水层

图 2 承压水水头线

- c) 非正常工况II应分析路基处于地震等荷载作用状态下的稳定性，并应符合下列规定：
- 1) 汕头的龙湖、金平、濠江、潮阳、澄海、南澳，潮州的湘桥、潮安、饶平，湛江的徐闻等设计基本地震动加速度大于或等于 0.2g 地区的高速公路、一级公路、二级公路稳定分析需要考虑地震荷载。
 - 2) 对 1) 中的公路，横坡陡于 1:3 的路堤、由岩石或细粒土（粉性土、有机质土除外）填筑且边坡高度大于 20m 的非浸水路基、由粗粒土（极细砂、细砂除外）填筑且边坡高度大于 12m 的非浸水路基、由渗水性土填筑且浸水常水位高度大于 3m 的路堤需要进行抗震稳定性验算；
 - 3) 边坡高度大于 20m 的路堤应考虑水平和竖向地震作用，其余情况只考虑水平地震作用。
 - 4) 设计基本地震动加速度大于或等于 0.2g 地区的高速公路、一级公路，填方边坡超过 15m 且位于滑坡地段的路基，宜对抗震稳定性进行专门研究。

条文说明：

潜水常与承压水连通，潜水隔水层以下成为承压水，如说明图 1 所示。路基工程中的潜水也常与承压水连通，山体、填平区的潜水流至路堤地基的中~强透水层、路堤基底、路堤中~强透水夹层中均可能在路堤基底、路堤中形成承压水。说明图 1 中 5 中、3 和 4 的底面均为承压水，6 中为潜水。



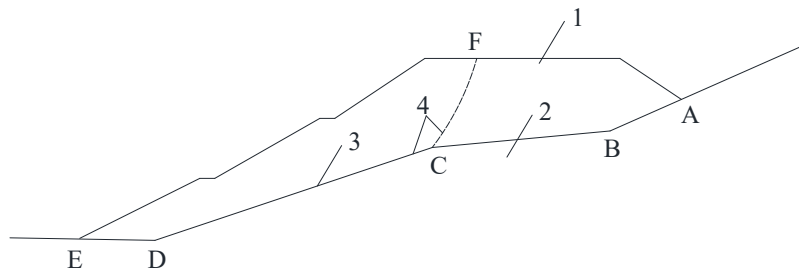
标引序号说明：

1—石灰岩；2—地基强透水层；3—地基弱透水层；4—弱透水填土；5—强透水性填土；6—填平区

说明图 1 潜水与承压水关系

6.3.2 路堤稳定分析滑动面应符合下列规定：

- a) 路堤应分析堤身稳定性、路堤和地基的整体稳定性，滑动面应采用圆弧滑动面。
- b) 对基底斜坡的横向坡度陡于 1:2.5 的陡坡路堤，尚应验算路堤沿基底滑动的稳定性、路堤沿基底部分斜陡坡的复合滑动面或折线滑动面滑动的稳定性，滑动面分别如图 3 中 ABCDE 和 FCDE 所示。

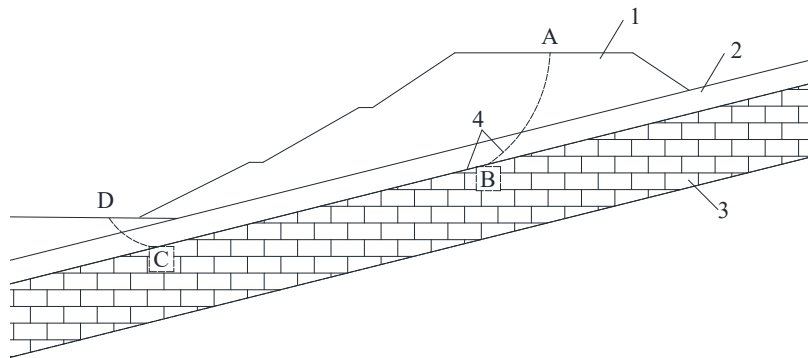


标引序号说明：

1—路堤；2—地基；3—基底；4—滑动面

图 3 路堤沿基底的滑动面

- c) 对基岩为黏土岩、灰岩等隔水岩石且基底斜坡的横向坡度陡于 1:5 的斜坡路堤，尚应验算路堤沿黏土岩、灰岩等易形成隔水层的基岩顶面软弱层滑动的稳定性，滑动面可采用图 4 中 ABCD 滑所示的复合滑动面或折线滑动面。对黏土岩、灰岩等隔水岩石倾斜且埋深小的其他路堤，也应验算路堤沿黏土岩、灰岩等易形成隔水层的基岩顶面软弱层滑动的稳定性。

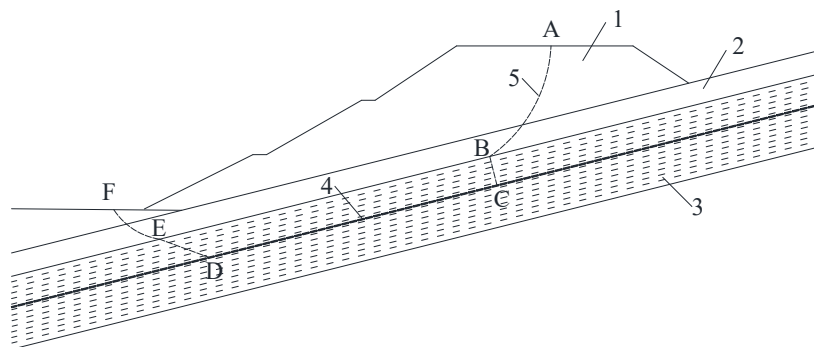


标引序号说明：

1—路堤；2—地基；3—石灰岩；4—滑动面

图4 路堤沿岩面的滑动面

- d) 对基岩顺层的基底斜坡的横向坡度陡于 1:5 的斜坡路堤，尚应验算路堤沿岩层或软弱夹层滑动的稳定性，滑动面宜采用图 5 中 ABCDEF 所示的复合滑动面或折线滑动面。对顺层基岩倾斜且埋深小的其他路堤，也应验算路基沿岩层或软弱夹层滑动的稳定性。

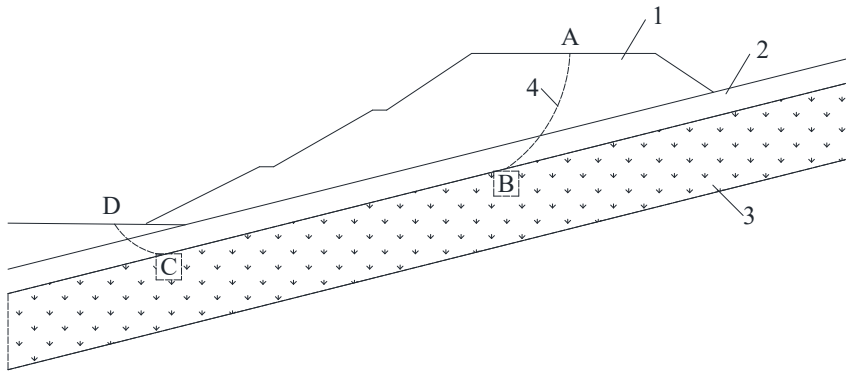


标引序号说明：

1—路堤；2—地基；3—顺层基岩；4—软弱面；5—滑动面

图5 路堤沿顺层岩层的滑动面

- e) 对地基中存在煤系地层、软弱高液限土、膨胀土且基底斜坡的横向坡度陡于 1:5 的斜坡路堤，尚应验算路堤沿煤系地层、高液限土、膨胀土内或顶底面的软弱夹层滑动的稳定性，滑动面宜采用图 6 中 ABCD 所示的复合滑动面或折线滑动面。对煤系地层、软弱高液限土、膨胀土倾斜且埋深小的其他路基，也应验算路基沿煤系地层、软弱高液限土、膨胀土内或顶底面的软弱夹层滑动的稳定性。

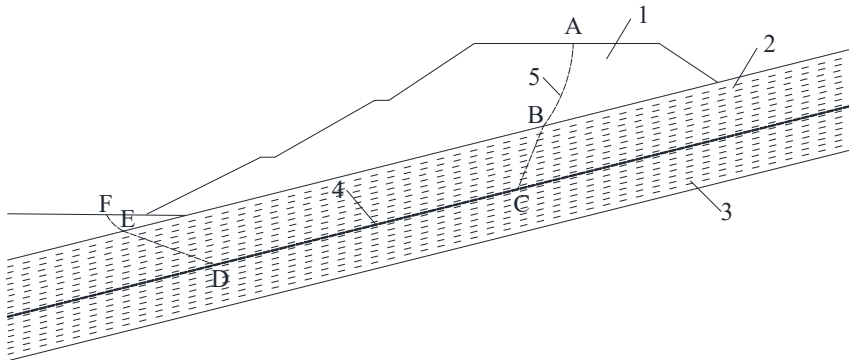


标引序号说明:

1—路堤; 2—地基; 3—煤系地层或软弱高液限土; 4—滑动面

图 6 路堤沿煤系地层或软弱高液限土的滑动面

- f) 对地基存在厚层崩坡积层或填土层且基底斜坡的横向坡度陡于 1:5 的斜坡路堤, 尚应验算路堤沿崩坡积层或填土层的底面或内部的软弱夹层滑动的稳定性, 滑动面宜采用图 7 中 ABCDEF 所示的复合滑动面或折线滑动面。崩坡积层或填土层的底面或内部存在连续分布的植物时, 尚应考虑植物腐烂的影响。

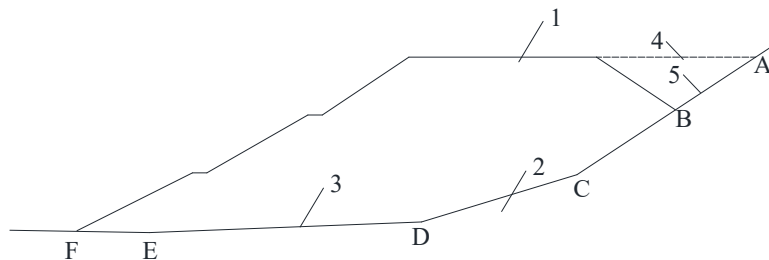


标引序号说明:

1—路堤; 2—地基; 3—崩坡积土; 4—软弱面; 5—滑动面

图 7 路堤沿崩坡积层或填土层的滑动面

- g) 填平区路堤稳定分析应计算滑动面通过填平区的稳定性, 滑动面如图 8 中 ABCDEF 所示。

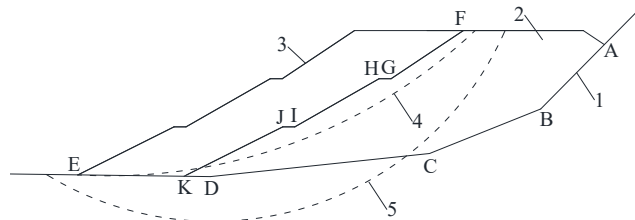


标引序号说明:

1—路堤; 2—地基; 3—基底; 4—填平区; 5—滑动面

图 8 填平区路堤的滑动面

- h) 拼宽路基应验算包括既有路基的堤身稳定性、包括既有路基的整体稳定性、沿既有路基与拼宽路基基底滑动的稳定性、沿拼接面和基底滑动的稳定性，分别如图 9 中 4、5、ABCDE、FGHIJKE 所示的滑动面。

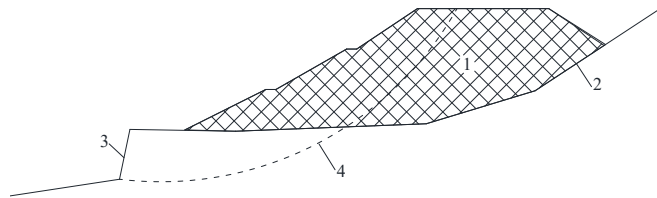


标引序号说明：

1—地表线；2—既有路堤；3—拼宽路基；4—堤身滑动面；5—整体滑动面

图 9 拼宽路基滑动面

- i) 临水临崖路基，应加强线外陡坡、积水对路基稳定性的影响，如图 10 所示。

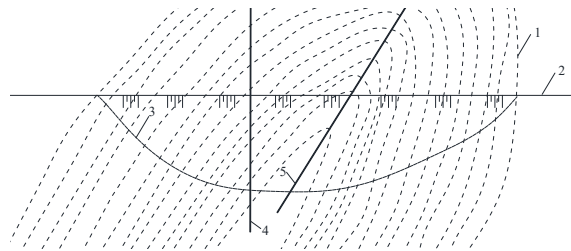


标引序号说明：

1—路堤；2—地表线；3—陡崖；4—滑动面

图 10 临崖路基

- j) 稳定分析断面应选择最不利位置和方向，如图 11 所示，顺沟心的横断面应进行稳定性计算。



标引序号说明：

1—等高线；2—坡顶线；3—坡脚线；4—稳定分析断面；5—顺沟心的横断面

图 11 稳定分析断面位置

- k) 除沿路堤基底的滑动面外，对圆弧滑动面、复合滑动面和其他折线滑动面，应自动搜索所有可能的滑动面。

6.3.3 稳定分析方法应符合下列规定：

- a) 沿圆弧滑动面滑动的稳定分析宜采用简化 Bishop 法或改进沙尔玛法；沿折线滑动面或复合滑动面滑动的稳定分析宜采用改进沙尔玛法；沿接近直线形且无凸起点的折线滑动面滑动的稳定分析可采用传递系数法；软基路堤稳定应符合 DB44/T 2418 的规定；复杂工点的路堤稳定性分析宜采用有限元、有限差分等数值分析方法。
- b) 采用简化 Bishop 方法时，路堤稳定系数宜按式 (1)、式 (2) 计算。

$$F_s = \frac{\sum \frac{1}{m_{\theta_i}} [c_i l_i \cos \theta_i + (W_i + V_i + R_i \sin \alpha_i - u_i l_i \cos \theta_i) \tan \varphi_i] R}{\sum [(W_i + V_i) R \sin \theta_i + H_i z_i - R_i d_i]} \quad (1)$$

$$m_{\theta_i} = \cos \theta_i + \frac{\tan \varphi_i}{F_s} \sin \theta_i \quad (2)$$

式中：

F_s ——稳定系数；

c_i ——第*i*个条块底面的黏聚力（kPa）；

l_i ——第*i*个条块底面的长度（m）；

W_i ——第*i*个条块的重量（kN/m）；

V_i ——作用于第*i*个条块上的竖向附加荷载（kN/m），向下为正，向上为负；

R_i ——作用于第*i*个条块上的锚固力或支挡力（kN/m）；

u_i ——第*i*个条块底面的平均孔压（kPa）；

φ_i ——第*i*个条块底面的摩擦角（°）；

R ——滑动面半径（m）；

θ_i ——第*i*个条块底面中点切线与水平面的夹角（°），圆心以内为正；

H_i ——作用于第*i*个条块上的水平附加荷载（kN/m），向外为正，向内为负；

z_i ——第*i*个条块上的水平附加荷载与滑动面圆心的距离（m）；

d_i ——第*i*个条块上的锚固力与滑动面圆心的距离（m）。

竖向地震作用可按式（3）计算，水平地震作用可按式（4）计算。

$$V_i = 0.025 C_i W_i \quad (3)$$

$$H_i = 0.05 C_i \psi_i W_i \quad (4)$$

$$\psi_i = \begin{cases} 1.0 & H \leq 20 \\ 1.0 + 0.6 \frac{h_i - 20}{H - 20} & H > 20 \end{cases} \quad (5)$$

式中：

C_i ——抗震重要性修正系数。对高速公路、一级公路，破坏后抢修困难的路基取1.7，其他路基取1.3；对二级公路，破坏后抢修困难的路基取1.3，其他路基取1.0；

W_i ——第*i*个土条的重量（kN/m）；

ψ_i ——第*i*个土条地震加速度分布系数；

H ——边坡高度（m）；

h_i ——第*i*个土条的高度（m）。

c) 采用改进沙尔玛法时，应符合下列规定：

1) 按式（6）计算各条块的外侧推力，稳定系数应使最后一个条块的外侧推力为零。

$$E_i = \frac{E_{i-1} C_i + D_i}{B_i} \quad (6)$$

$$B_i = A_i \sin(\theta_i + \delta_i - \varphi_{mi}) + \cos(\theta_i + \delta_i - \varphi_{mi}) \quad (7)$$

$$C_i = A_{i-1} \sin(\theta_i + \delta_{i-1} - \varphi_{mi}) + \cos(\theta_i + \delta_{i-1} - \varphi_{mi}) \quad (8)$$

$$D_i = (W_i + V_i) \sin(\theta_i - \varphi_{mi}) + H_i \cos(\theta_i - \varphi_{mi}) - R_i \cos(\theta_i - \varphi_{mi} + \alpha_i) - c_{mi} l_i \cos \varphi_{mi} + u_i l_i \sin \varphi_{mi} + (X_{i-1} - X_i) \sin(\theta_i - \varphi_{mi}) \quad (9)$$

$$A_i = \tan \varphi_{vi} \sin \lambda_i / F_s \quad (10)$$

$$X_i = (c_{vi} h_i - P_{wi} \tan \varphi_{vi}) \sin \lambda_i / F_s \quad (11)$$

$$\varphi_{mi} = \arctan \left(\frac{\tan \varphi_i}{F_s} \right) \quad (12)$$

$$c_{mi} = c_i / F_s \quad (13)$$

式中：

E_i ——第*i*条块与第*i+1*条块之间的水平推力（kN/m）。当 $E_i < P_{wi}$ 时，取 $E_i = P_{wi}$ ；

θ_i ——第*i*个条块底面的倾角（°）。倾向坡外为正，倾向坡内为负；

δ_i ——第*i*条块与第*i+1*条块之间界面与竖直线的夹角（°）。界面倾向坡外为正，倾向坡内为负；除岩质边坡、墙背外，宜取0°。

W_i ——第*i*个条块的重量（kN/m）；

V_i ——第*i*个条块上竖向附加荷载（kN/m）。向下为正，向上为负；

H_i ——第*i*个条块上水平附加荷载（kN/m）。向外为正，向内为负；

R_i ——第*i*个条块的锚固力或支挡力（kN/m）；

α_i ——第*i*个条块的锚固力的倾角（°），向下为正，向上为负；

l_i ——第*i*个条块底面的长度（m）；

u_i ——第*i*个条块底面上的平均孔压（kPa）；

φ_{vi} ——第*i*条块与第*i+1*条块之间的内摩擦角（°）。除岩质边坡、支挡结构界面外，宜采用土体内摩擦角。

λ_i ——第*i*条块与第*i+1*条块之间的界面处滑面转角（°）。圆弧滑面 $\lambda_i = 0$ ；折线滑面 $\lambda_i = \theta_i - \theta_{i+1}$ ，最后一个条块可取 $\lambda_i = \theta_i$ ；

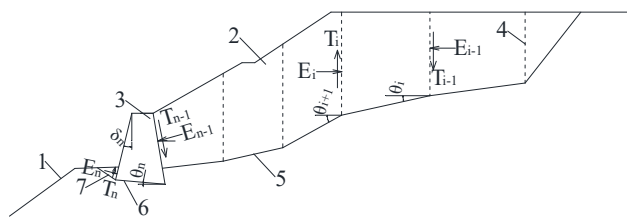
F_s ——稳定系数；

c_{vi} ——第*i*条块与第*i+1*条块之间的黏聚力（kPa）；除岩质边坡、支挡结构界面外，宜采用土体黏聚力；

h_i ——第*i*条块与第*i+1*条块之间的界面长度（m）；

P_{wi} ——第*i*条块与第*i+1*条块之间的水压力（kN/m）。

- 2) 对挡土墙路堤，应计算挡土墙底面为滑面的复合滑动面、折线滑动面的最小稳定系数。将挡土墙墙背及其延长线作为条块之间的界面时，如图 12、图 13 所示。对俯斜式挡土墙、仰斜式挡土墙，宜将墙背作为相邻条块之间的界面，如图 14a) 和图 14b)；对衡重式挡土墙，应将俯斜墙背及其延长线作为相邻条块之间的界面，如图 14c)，界面上抗剪强度指标可按长度进行加权平均；对悬臂式挡土墙、扶壁式挡土墙宜将通过墙踵的竖直线作为相邻条块之间的界面，如图 14d) 和图 14e)。设置凸出的墙趾时，宜将通过墙趾外缘的竖直线作为相邻条块之间的界面，否则宜将墙胸作为相邻条块之间的界面，如图 14f) 和图 14g)。



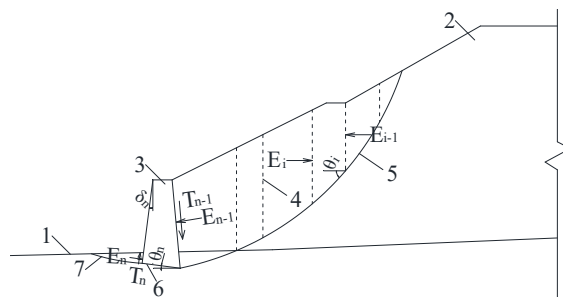
标引序号说明：

1—地面线；2—填方路基；3—挡土墙；4—条块侧界面；5—墙后折线滑动面；6—墙底滑面；7—墙前折线滑动面

E_i —第*i*条块与第*i+1*条块间界面上的法向力； T_i —第*i*条块与第*i+1*条块间界面上的切向力； θ_i —第*i*条块底面的倾角；

δ_n —第*n*条块与第*n+1*条块间界面与竖线的夹角

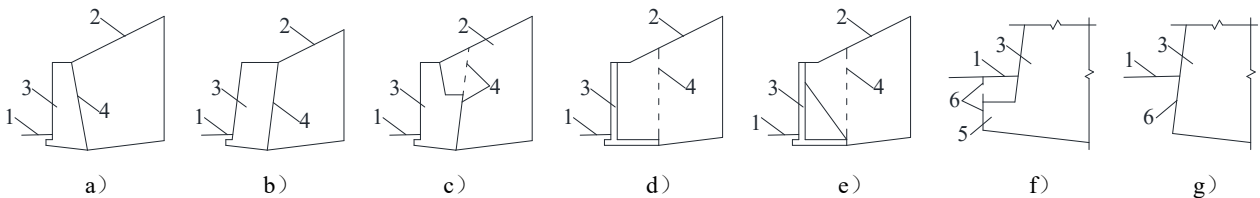
图 12 挡土墙底面为滑面的折线滑动面沙尔玛法稳定分析



标引序号说明：

1—地面线；2—填方路基；3—挡土墙；4—条块侧界面；5—墙后圆弧滑动面；6—墙底滑面；7—墙前圆弧滑动面
 E_i —第 i 条块与第 $i+1$ 条块间界面上的法向力； θ_i —第 i 条块底面的倾角； δ_n —第 n 条块与第 $n+1$ 条块间界面与竖线的夹角

图 13 挡土墙底面为滑面的复合滑动面沙尔玛法稳定分析



标引序号说明：

1—地面线；2—填方路基；3—挡土墙；4—墙后侧界面；5—墙趾；6—墙前侧界面

图 14 挡土墙底面为滑面时挡土墙所在条块前后界面

3) 对通过抗滑桩的某个滑动面，将桩身滑面以上的桩段作为一个条块。假设一个稳定系数，验算桩后条块对抗滑桩的水平推力和竖向力。试算得到抗滑桩对桩前条块的水平推力及相应竖向力。当滑面以下桩段较长时，可将滑面以下桩段看作弹性桩，采用附录 A 计算其位移和作用效应，当滑面以下桩段较短时，可将滑面以下桩段看作刚性桩采用附录 A 计算其位移和作用效应。如果桩身受力或位移不满足要求，则调整稳定系数，重复上述计算过程。

d) 采用传递系数法时，应符合下列规定：

1) 按式 (14) 计算各条块的外侧推力，稳定系数应使最后一个条块的外侧推力为零。

$$E_i = (W_i + V_i) \sin \theta_i + H_i \cos \theta_i - \{ [(W_i + V_i) \cos \theta_i - H_i \sin \theta_i - u_i l_i] \tan \varphi_i + c_i l_i \} / F_s + E_{i-1} [\cos(\theta_{i-1} - \theta_i) - \sin(\theta_{i-1} - \theta_i) \tan \varphi_i / F_s] - R_i [\cos(\theta_i + \alpha_i) + \sin(\theta_i + \alpha_i) \tan \varphi_i / F_s] \quad (14)$$

式中：

E_i ——第 i 个条块的外侧推力 (kN/m)，与第 i 个条块地面平行。除最后一个条块外，当 E_i 为负值时取零；

W_i ——第 i 个条块的重量 (kN/m)；

V_i ——第 i 个条块上竖向附加荷载 (kN/m)。向下为正，向上为负；

θ_i ——第 i 个条块底面与水平面的夹角 (°)。倾向坡外为正，倾向坡内为负；

H_i ——第 i 个条块上水平附加荷载 (kN/m)。向外为正，向内为负；

u_i ——第 i 个条块底面上的平均孔压 (kPa)；

l_i ——第 i 个条块底面的长度 (m)；

φ_i ——第 i 个条块底面的摩擦角 (°)；

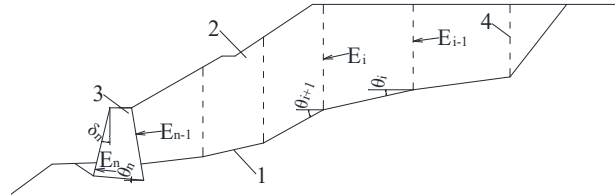
c_i ——第 i 个条块底面的黏聚力 (kPa)；

F_s ——稳定系数;

R_i ——第*i*个条块的锚固力或支挡力 (kN/m);

α_i ——第*i*个条块的支挡力的倾角 (°), 向下为正, 向上为负。

- 2) 对挡土墙路堤, 挡土墙作为一个条块, 如图 15 所示。挡土墙对应条块的地面倾角取挡土墙底面的倾角, 墙土墙前后侧界面宜按图 15 确定。



标引序号说明:

1—滑动面; 2—填方路基; 3—挡土墙; 4—条块侧面

E_i —第*i*条块的外推力; θ_i —第*i*条块底面的倾角

图 15 挡土墙底面为滑面的传递系数法稳定分析

- 3) 对通过抗滑桩的某个滑动面, 将桩身滑面以上桩段看作一个条块。假设一个稳定系数, 验算桩后条块对抗滑桩的推力。抗滑桩对桩前条块的推力倾角与桩身滑面倾角相同, 试算得到抗滑桩对桩前条块的推力。当滑面以下桩段较长时, 可将滑面以下桩段看作弹性桩, 采用附录 A 计算其位移和作用效应, 当滑面以下桩段较短时, 可将滑面以下桩段看作刚性桩采用附录 A 计算其位移和作用效应, 如果桩身受力或位移不满足要求, 则调整稳定系数, 重复上述计算过程。

条文说明:

条分法的条间力应符合下列 3 个条件:

- (1) 每个条块侧界面上的抗剪稳定系数应大于滑动面的抗滑稳定系数, 否则沿条块侧界面滑动;
- (2) 相邻条块界面上的有效法向应力应大于零, 否则滑动面后缘在条块侧界面处;
- (3) 内侧条块对外侧条块的切向力方向应与外侧条块相对内侧条块的竖向位移方向 (内外条块水平位移相等) 相反, 否则内外条块没有相对位移, 无法滑动。按此条件, 对严格下凹的折线形滑动面, 内侧条块对外侧条块的切向力均向下, 切向力均具有抗滑作用。

b) 改进沙尔玛法条块间抗剪强度乘以系数 $\sin\lambda_i/F_s$, 同时保证了条件 (1) 和条件 (3)。该法规定条块间水平推力大于条块间水压力, 保证了条件 (2)。对圆弧滑动面, $\lambda_i=0$, 条块间切向力等于 0, 改进沙尔玛法与 Bishop 方法等效。针对路堤, 为简化稳定分析计算, 条块间界面均取竖直面, 界面抗剪强度指标可取土体内摩擦角和黏聚力。

对圆弧滑动面, 由式 (6) 可得到

$$F_s = \frac{\sum (W_i \cos\theta_i \tan\phi_i + c_i l_i) / m_{\theta i}}{\sum W_i \sin\theta_i / m_{\theta i}} \quad (\text{说明 1})$$

滑动段倾角大, $m_{\theta i}$ 小, 且滑动力矩大于抗滑力矩, 导致改进法尔玛法计算的稳定系数小于瑞典法。

c) 对传递系数法, 条块间的推力平行于内侧条块底面, 条块满足条块底面切向和法向的平衡条件。当条块底面倾角 (等于条块间推力倾角) 大于条块间综合内摩擦角时, 条块侧界面上的剪应力大于抗剪强度; 当条块底面倾角 (等于条块间推力倾角) 大于条块间综合内摩擦角且滑动稳定系数大于 1.0 时, 不满足条件 (1)。当条块间推力的水平分量不大于水压力时, 不满足条件 (2)。多于 1 个条块的底面倾向坡内时, 部分内侧条块对外侧条块的切向力向上, 不满足条件 (3)。传递系数法用于圆弧滑动面时, 稳定系数随条块宽度和数量的变化而显著变化。因此, 传递系数法仅适用于无水压力、滑动面非圆弧形且接近直线形、除最末条块外各条块底面均倾向外侧的情况。

传递系数法条块间切向力大于改进沙尔玛法的切向力,传递系数法计算的稳定系数通常大于沙尔玛法计算的稳定系数,见说明表 1、说明表 2。

说明表 1 断面主要参数

条块号	底面长度	侧面高度	底面黏聚力	底面内摩擦角	侧面黏聚力	侧面内摩擦角
	l(m)	h(m)	c(kPa)	$\varphi(^{\circ})$	$c_v(\text{kPa})$	$\varphi_v(^{\circ})$
1	10	6	20	20	20	20
2	5	8	8	14	20	20
3	10	8	8	14	20	20
4	10	10	8	14	20	20
5	10	16	8	14	20	20
6	10	12	8	14	20	20
7	10	18	8	14	20	20
8	10	8	8	14	20	20
9	10	0	8	14	20	20

说明表 2 沙尔玛法与传递系数法计算结果对比

条块号	条块底面倾角 $\theta(^{\circ})$					
	断面 1	断面 2	断面 3	断面 4	断面 5	
1	60	60	60	60	20	
2	45	45	45	20	20	
3	35	35	35	20	20	
4	30	30	30	20	20	
5	20	45	20	20	20	
6	15	-20	10	20	20	
7	10	45	0	20	20	
8	5	-20	-10	20	20	
9	2	-10	-20	-10	20	
稳定系数	沙尔玛法	0.8577	1.7471	1.1704	0.9707	0.8343
	传递系数法	0.8973	无穷大	1.2533	0.9748	0.8343

高路堤的挡土墙墙身高度较大,墙后压实填土的黏聚力较大,墙后坡面不规格,采用综合内摩擦角计算土压力的误差较大,可以采用稳定分析的方法计算主动土压力。根据工程经验,墙后土压力分布多为中间大、两端小的曲线,土压力作用点与墙踵的竖向距离可取墙高的 0.4~0.5 倍。

6.3.4 稳定分析参数确定应符合下列规定:

- a) 路堤填土参数应根据试验资料确定,无试验资料时可结合经验按表 7 选用。

表 7 路堤填料物理力学指标

填料种类	直接快剪黏聚力 c(kPa)	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	重度 $\gamma(\text{kN/m}^3)$
细粒土	20~30	20~25	20~21

砂类土	0~5	25~35	19~20
碎石类、砾石类土	5~10	35~40	21~22
不易风化的块石类土	5~10	40	21~22
基层、底基层	40	40	23
面层	40	40	24

注 1: 填料的重度可根据填料性质和压实度等情况适当修正。
注 2: 全风化岩石、特殊土的抗剪强度指标宜根据试验资料确定。
注 3: 细粒土中黏粒含量高时黏聚力宜高值时, 内摩擦角宜取低值。
注 4: 路堤高度大于 30m 时, 内摩擦角应取高值, 黏聚力取低值。
注 5: 含水量增大时, 应根据饱和度等对抗剪强度指标进行折减。

- b) 地基各地层抗剪强度指标应根据标准贯入试验、土工试验等勘察成果, 考虑路堤填筑后地基土压密、地下水变化等情况, 结合工程经验确定, 有条件时应结合反分析确定。
- a) 基底或地基中可能形成承压水时, 稳定分析时应考虑其影响。
- b) 当邻近类似边坡发生过同性质结构面滑动的情况时, 相应结构面抗剪强度指标取值以邻近滑坡治理工程经验值为主要依据。缺少经验值或试验值且无法反算确定时, 可参考表 8、表 9 取值。

表 8 结构面抗剪强度指标

结构面类型	结构面结合程度	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	黏聚力 $c(\text{kPa})$
硬性结构面	结合良好	$\varphi > 35$	$c > 130$
	结合一般	$35 \geq \varphi > 27$	$130 \geq c > 90$
	结合差	$27 \geq \varphi > 18$	$90 \geq c > 50$
软弱结构面	结合很差	$18 \geq \varphi > 12$	$50 \geq c > 20$
	结合极差 (泥化层)	$\varphi \leq 12$	$c \leq 20$

注 1: 表中数据未考虑施工期和运营期爆破等不利因素的影响。
注 2: 结构面在同一岩性岩体中贯通性差时, 抗剪强度指标取同档中的较高值或上一档的较低值。
注 3: 在强度较高岩层与强度较低岩层互层地区, 当裂隙在强度较高岩层中贯穿性较好且裂隙抗剪强度指标以较高岩层中裂隙结合程度为基础取值时, 强度较低岩层段裂隙抗剪强度指标取同档中的较高值, 整个裂隙抗剪强度指标取强度较高岩层段和强度较低岩层段的厚度加权平均值。
注 4: 结构面抗剪强度指标取值不应高于所在岩体抗剪强度指标。

表 9 结构面结合程度

结合程度	结合状况	起伏粗糙程度	张开度(mm)	充填状况	岩体状态
结合良好	铁硅钙质胶结	起伏、粗糙	≤ 3	胶结	坚硬岩、较硬岩或较软岩
结合一般	铁硅钙质胶结	起伏、粗糙	3~5	胶结	坚硬岩、较硬岩或较软岩
	铁硅钙质胶结	起伏、粗糙	≤ 3	胶结	软岩
	分离	起伏、粗糙	≤ 3 (无充填时)	无充填或岩块、岩屑充填	坚硬岩、较硬岩或较软岩
结合差	分离	起伏、粗糙	≤ 3	干净无充填	软岩
	分离	平直、光滑	≤ 3 (无充填时)	无充填或岩块、岩屑充填	各种岩层
	分离	平直、光滑	—	岩块、岩屑夹泥或附泥膜	各种岩层

结合很差	分离	平直或略有起伏、光滑	——	泥质或泥夹岩屑充填	各种岩层
	分离	平直、很光滑	≤3	无充填	各种岩层
结合极差	结合极差	——	——	泥化夹层	各种岩层
<p>注 1: 起伏度为 100 cm~300 cm 长度的连续结构面内起伏幅度与测量长度的比值, 不大于 1%时为平直, 1%~2%为略有起伏, 大于 2%时为起伏。</p> <p>注 2: 结构面感觉非常细腻, 呈镜面时为很光滑; 感觉比较细腻, 无颗粒感觉蛋不呈镜面状时为光滑; 由颗粒感觉是为粗糙。</p>					

c) 土与岩石界面抗剪强度指标按下列方法取值:

- 1) 填土与岩石界面的摩擦角和黏聚力宜根据土岩界面物质情况、含水量及其后期变化以及粗糙度, 按填土内摩擦角和黏聚力进行折减。
- 2) 除残积土外的原状土与岩石界面的摩擦角和黏聚力宜根据岩面粗糙程度、按原状土内摩擦角和黏聚力进行折减。
- 3) 界面处有泥化夹层时, 界面抗剪强度指标按结合极差结构面取值。
- 4) 岩面上存在软土层且其抗剪强度指标缺少试验值或无法反算确定时, 可按表 10 取值。

表 10 软弱层抗剪强度

含水量 W(%)	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
抗剪强度 C_u (kPa)	30	26	23	20	18	16	14	12	10	9	8	7

条文说明:

b) 根据标准贯入试验查表得到的残积黏性土、全风化黏性土的地基承载力较高, 地基土在路堤填土荷载下进一步压密, 其地基承载力进一步提高, 根据地基承载力反算的抗剪强度指标较高。土工试验中的土样经过钻孔取土、运输、制样等过程中的扰动, 其结构遭到破坏, 实测抗剪强度指标、压缩模量往往低于原位抗剪强度指标和压缩模量, 利用其验算既有路堤可能得到稳定系数小于 1、沉降非常大的不合理情况。利用标准贯入试验结果, 按照规范或地质工程手册中的表格或公式得到的抗剪强度指标往往更接近实际情况。

运营期山体地下水向路堤渗流, 路堤土压实度较高, 渗透系数小, 为相对隔水层, 山体地下水导致基底土饱和。斜陡坡设置渗沟可以减少基底水头过高, 难以避免基底土饱和。因此, 勘察设计、施工期处于非饱和状态的地基土, 运营期很可能变为饱和土, 导致标贯击数、抗剪强度指标、压缩模量等降低。部分黏性土由非饱和土变为饱和土时, 标贯击数降低约 50%。

6.4 路堑边坡稳定分析

6.4.1 路堑边坡稳定分析工况应符合下列规定:

- a) 正常工况应分析路基处于天然状态下的稳定性。
- b) 非正常工况I应分析路基处于暴雨或连续降雨状态下的稳定性, 应根据地形地貌、汇水面积、地质构造、坡体地层、地下排水措施等分析坡体渗流情况、各地层的饱和状态等。
- c) 非正常工况II应分析路基处于地震等荷载作用状态下的稳定性, 应符合下列规定:
 - 1) 设计基本地震动加速度大于或等于 0.2g 地区的高速公路、一级公路、二级公路稳定分析需要考虑地震荷载。
 - 2) 对 1) 中的公路, 高度大于 20m 的黏土、碎石土路堑边坡应进行抗震稳定性验算;
 - 3) 路堑边坡只考虑水平地震作用。
 - 4) 设计基本地震动加速度大于或等于 0.2g 地区的高速公路、一级公路, 路堑边坡超过 20m 且位于滑坡地段的路基, 宜对抗震稳定性进行专门研究。

6.4.2 路堑边坡稳定分析时, 应根据边坡工程地质条件或已经出现的变形破坏迹象, 判断可能的滑动

面形状，并应符合下列规定：

- a) 以下边坡易发生圆弧滑动：
 - 1) 土质边坡；
 - 2) 类土质边坡；
 - 3) 碎裂结构岩质边坡。
- b) 以下边坡易发生直线滑动：
 - 1) 岩层走向与边坡走向近一致、岩层倾向边坡外侧，且泥岩、页岩、砂页岩夹层、片理面、板理面等软弱层面倾角小于边坡坡角的顺层边坡；
 - 2) 发育一组平直、贯通、倾向临空的构造节理、卸荷裂隙、断层破碎带的含贯通节理的裂隙边坡；
 - 3) 硬质岩夹软质岩，软弱夹层为天然滑移控制面的软硬互层岩质边坡；
 - 4) 片理/片麻理发育、片理面定向性强、平直连续且倾向边坡外侧的片岩、千枚岩、板岩等变质岩变质岩边坡；
 - 5) 风化强烈的单一结构面边坡。
- c) 以下边坡易发生折线滑动，应根据坡体结构分析可能的多层滑动面。
 - 1) 顺层边坡，特别是软质岩顺层边坡、存在软弱夹层的硬质岩顺层边坡；
 - 2) 片麻岩、多期喷发的岩浆岩等似层状结构边坡；
 - 3) 构造影响带、强卸荷带、强风化带、蚀变带等区域的碎裂结构岩质边坡；
 - 4) 完整性较好的岩浆岩、厚层或巨厚层沉积岩、变质岩等构成的块状或块体状结构边坡；
 - 5) 仍保留原岩顺层软弱结构面的类土质边坡。
- d) 以下边坡易发生用圆弧与折线组成的复合滑动面：
 - 1) 上部土质地层下部岩层的二元边坡；
 - 2) 上部类土质地层下部岩层的二元边坡。
- e) 判断边坡的可能破坏方式时，应同时考虑受到岩土体强度控制的破坏和受结构面控制的破坏。

6.4.3 二元结构边坡应分析沿岩土二元界面滑动的整体稳定性及土、岩各自部分的局部稳定性。

6.4.4 稳定分析方法选择应符合下列规定：

- a) 可能产生圆弧滑动的边坡宜采用 6.3.3 中的简化 Bishop 法计算。
- b) 可能产生直线滑动的边坡宜采用平面滑动面解析法进行计算。
- c) 可能产生折线滑动的边坡宜采用 6.3.3 中的传递系数法、改进沙尔玛法等方法计算。
- d) 复合滑动面宜采用 6.3.3 中的改进沙尔玛法等方法计算，也可简化为折线滑动面进行稳定分析。
- e) 可能产生楔形滑动的岩质边坡可配合采用 GB 50330 中的赤平投影法和下式实体比例投影法分析及进行计算。

6.4.5 稳定分析参数确定应符合下列规定：

- a) 土体力学参数宜采用原位剪切试验、原状土样室内剪切试验及反算分析、工程类比等方法综合确定。
- b) 土质边坡按水土合算原则计算时，地下水位以下的土宜采用三轴试验土的自重固结不排水抗剪强度指标；按水土分算原则计算时，地下水位以下的土宜采用土的有效抗剪强度指标。
- c) 岩体和结构面抗剪强度指标宜根据现场原位试验确定。试验应符合 GB/T 50266 的规定。当无条件进行试验时，可采用 GB 50218、表 8、表 9 和反分析等方法综合确定。
- d) 边坡岩体性能指标标准值可按地区经验确定，重要边坡应通过试验确定。
- e) 无试验资料时，完整、较完整、较破碎的边坡岩体抗剪强度指标折减系数可参考表 11 确定，破碎、极破碎的边坡岩体抗剪强度指标可参照相应土类抗剪强度指标并结合地质条件相似的邻近工程经验确定，但取值不应小于结合差的层面抗剪强度指标的下限。

表 11 边坡岩体抗剪强度指标折减系数

边坡岩体完整程度	内摩擦角的折减系数	黏聚力的折减系数
完整	0.90~0.95	0.33~0.40
较完整	0.85~0.90	0.27~0.33
较破碎	0.80~0.85	0.20~0.27

注：岩体完整程度按 GB 50021 分类。

6.4.6 路堑边坡稳定性评价应遵循“以定性分析为基础、定量计算为手段”的原则。

7 路堤设计

7.1 一般规定

7.1.1 高路堤、斜坡路堤、陡坡路堤应进行综合设计，合理设计路堤断面、坡形坡率、填料和压实标准、地基处理、基底处治、支挡与防护、地下排水等，保证路基稳定性。

7.1.2 路堤断面应根据地形地貌、地质条件、填料种类、周边环境、工程经验、稳定分析等确定，必要时设置支挡结构。

7.1.3 沟谷中的斜陡路堤应评估填土被浸泡软化、地基中承压水等情况及其对稳定的影响，并设置必要的地下排水措施。地下排水应与支挡与防护、地表排水合理衔接。

7.1.4 新建公路或改扩建公路应慎设填平区，富水沟谷不应设置填平区。填平区基底处治、与斜坡的拼接、填料、压实、基底排水应与路基相同，基底排水应设施与相邻路基连通，并应进行专项设计。改扩建公路应对既有填平区的进行评估。

7.2 路堤结构、断面与坡形

7.2.1 路堤结构应符合下列规定：

- a) 路堤应包括上路床、下路床、上路堤、下路堤，其厚度应符合表 12 的规定。

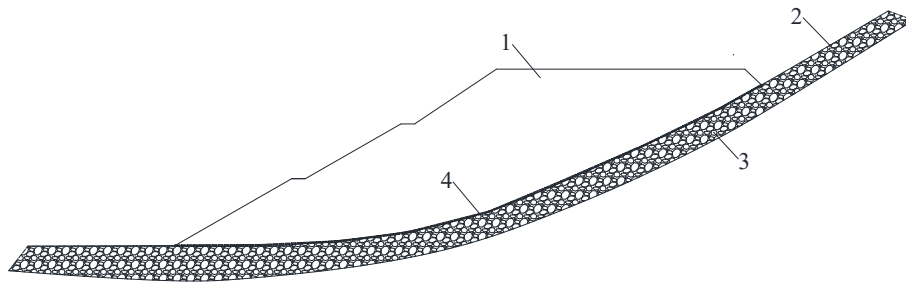
表 12 路堤结构及其位置和厚度

路基部位		路面底面以下深度 (m)	厚度 (m)
上路床		0~0.3	0.3
下路床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	0.5
	特重、极重交通	0.3~1.2	0.9
上路堤	轻、中等及重交通	0.8~1.5	0.7
	特重、极重交通	1.2~1.9	0.7
下路堤	轻、中等及重交通	1.5 以下	—
	特重、极重交通	1.9 以下	—

b) 填石路堤宜设置过渡层，填石路堤边坡可采用码砌，码砌厚度宜 1 m~2 m，码砌石块最小尺寸不宜小于 300 mm。

c) 填石层与上部细粒土之间应设置过渡层或隔离层。排水层与上部细粒土之间应设置隔离层。

d) 路堤地基浅层强透水层中的地下水可能导致路堤接触冲刷等渗透破坏时，宜在路堤基底铺设隔离土工布，如图 16 所示。



标引序号说明:

1—填方路基；2—斜陡坡；3—强透水层；4—隔离土工布

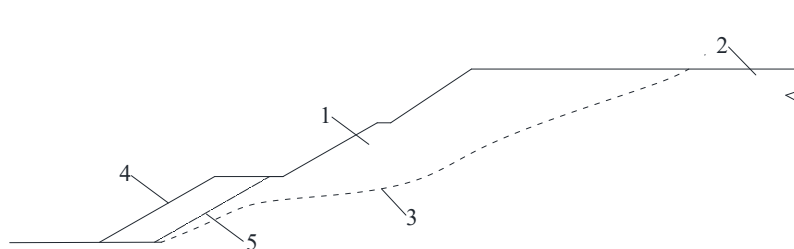
图 16 强透水层路堤的隔离层

7.2.2 路堤宜采用梯形断面或宏观为梯形的断面，路堤护坡道宽度不宜小于 2 m。

7.2.3 边坡高度大于 10 m 时应分级设置，最下面一级边坡高度不宜大于 10 m，其余各级边坡高度不宜大于 8 m。

7.2.4 路堤边坡高度小于 12 m 时可采用折线边坡；路堤高度大于 12 m 时应采用阶梯型边坡，各级边坡之间应设置宽度不小于 2 m 的平台；以下情况宜设置宽平台：

- a) 路堤稳定性不足的路段。平台宽度应根据路堤稳定性、用地情况等综合确定。
- b) 弃方量大的路段。平台宽度应根据弃方数量、用地情况、路堤稳定性等综合确定。
- c) 薄填路段。平台宽度应根据填筑施工需求、用地情况、路堤稳定性需求等综合确定，且不宜小于 5m。用地受限路段，如图 17 所示。



标引序号说明:

1—填方路基；2—挖方路基；3—斜陡坡；4—设宽平台边坡；5—薄填部分

图 17 设宽平台的路堤

7.2.5 以下情况可设置支挡结构：

- a) 用地受限的路段。
- b) 路基稳定性不足的路段。
- c) 河流冲刷的路段。
- d) 既有路基拼宽的路段。
- e) 设置支挡结构更经济或更易实施的路段。

7.2.6 以下情况可设置直立式轻质土路堤：

- a) 用地受限的路段。
- b) 路基稳定性不足的路段。
- c) 采用轻质土路堤更经济或更易实施的路段。
- d) 既有路基拼宽的路段。

7.2.7 以下情况可设置护脚墙：

- a) 用地受限的路段。
- b) 坡脚受地表水影响的路段。
- c) 坡脚薄填等需要收坡的路段。
- d) 富水路堤且路堤底部填筑细粒土的路段。

7.2.8 既有路堤应对平行拼宽、挡土墙拼宽、轻质土拼宽进行方案比选。

7.2.9 既有路基拼宽路堤根据稳定分析结果确定路基宽平台宽度时，应将拼宽路基、既有路基作为整体进行分析。

7.3 边坡坡率

7.3.1 路堤边坡坡率应根据填料类别、边坡高度、地基条件等，采用稳定分析计算、工程类比等方法确定。

7.3.2 路堤边坡坡率不宜陡于 1:1.5，边坡分级设置时宜上陡下缓。浸水路堤在设计水位以下的边坡坡率不宜陡于 1:1.75。

7.3.3 当地基条件良好且边坡高度不大于 18 m 时，其边坡坡率不宜陡于表 13 的规定。

表 13 路堤边坡坡率

填料类别	边坡坡率	
	上部高度(H≤8 m)	下部高度(H≤10 m)
细粒土	1:1.5	1:1.75
粗粒土	1:1.5	1:1.75
巨粒土	1:1.3	1:1.5
软质岩石	1:1.5	1:1.75
中硬岩石	1:1.3	1:1.5
硬质岩石	1:1.1	1:1.3

7.4 基底处治

7.4.1 对地面坡度不陡 1:5 的基底，除采用换填方案的区域外，应进行基底处治设计。

7.4.2 基底处治应包括清表、清淤、回填压实等。

7.4.3 清表应清除地表植被、腐殖质，农田段清表厚度不宜小于 0.5 m，非农田段清表厚度不宜小于按 0.3 m。清表土宜用于中分带、服务区、互通区的绿化填土或弃土场复耕。

7.4.4 对路基范围内的水田、水塘等，应视具体情况采取排水、清除流泥、晾晒等处治措施。

7.4.5 清表、清淤后应回填并压实。地基表层为非饱和土时，应压实后再回填，地基表层为饱和土时，应对回填土压实。高速公路、一级公路和二级公路对基底的压实度不应小于 90%，三、四级公路对基底的压实度不应小于 85%。

7.5 地基处理

7.5.1 地基中松散填土导致路堤沉降较大或路堤稳定性不足时，可根据填土成分、密实程度、地下水等采取换填、强夯、强夯置换墩、挤密碎石桩、挤密灰土桩、搅拌桩、旋喷桩、注浆、刚性桩等处治方案，必要时可设置支挡结构。

7.5.2 地基中存在可液化地层时，宜根据其埋深等采取强夯、碎石桩、换填等消除液化的措施。

7.5.3 对高路堤，淤泥、淤泥质黏性土、软塑黏性土均应作为处理地层。软可塑黏性土是否处理应根

据稳定分析、沉降计算确定。

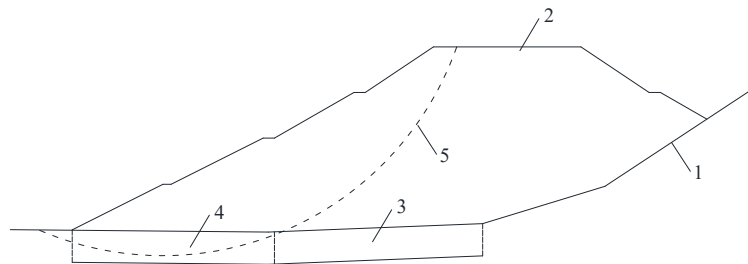
7.5.4 高路堤可根据软弱土深度、路堤高度等，采用换填、就地固化、强夯置换墩、刚性桩、排水固结等方法。用地条件容许时，宜结合断面设计确定地基处理方案，利用设置宽平台、设置反压护道等减少地基处理难度和费用。

7.5.5 换填设计应符合下列规定：

- a) 换填深度和换填范围应根据稳定分析、沉降计算确定，并明确下卧层地基承载力。
- b) 稳定分析宜采用简化 Bishop 法。路堤外换地层宜采用原位强度，路堤下饱和黏性土考虑强度增长时，宜结合路堤填筑速度确定固结度，必要时对填筑速度提出要求。
- c) 设计文件应明确换填范围为暂定，具体换填范围应根据开挖后地质核查结果确定。

7.5.6 就地固化设计应符合下列规定：

- a) 就地固化设计应以充分查清软弱土空间分布为基础，施工阶段应根据挖探、动探等施工勘察查清的软弱土空间范围调整固化范围。
- b) 宜根据稳定分析确定固化土设计强度，可根据路堤填土高度分区确定固化土设计强度。
- c) 固化土抗压强度设计值小于路堤荷载集度的区域宜作为压碎区，如图 18 所示。稳定分析时黏聚力宜取 0，内摩擦角宜取 $22^{\circ}\sim 28^{\circ}$ ；固化土未压碎区黏聚力宜取抗压强度的 0.4 倍，内摩擦角取 0。



标引序号说明：

1—斜陡坡；2—路堤；3—固化土压碎区；4—固化土未压碎区；5—滑动面

图 18 加地固化压碎区示意图

条文说明：

山区软弱层深度通常小于 10m，当弃方多且弃土场较难解决时，就地固化具有明显优势。由于就地固化整体加固，固化土的局部抗压强度约为无侧限抗压强度的 2~3 倍。在高路堤中部填土荷载较大，可能导致固化土受压碎裂。对受压碎裂的区域应采用碎裂后的强度指标。高路堤的滑动面往往不经过路堤中部的固化区域，固化土碎裂往往也不控制路堤稳定性，因此高路堤的固化土强度不需要按照避免受压碎裂进行设计。

7.5.7 刚性桩设计应符合下列规定：

- a) 基岩面较陡且岩面上硬土层较薄或地基中存在较多孤石、块石、漂石时，不宜采用刚性桩路堤，采用时应采用钻孔灌注桩。
- b) 刚性桩宜采用预制管桩，采用 CFG 桩、素混凝土桩时桩帽之间应设置连梁。
- c) 软土层厚度较大时，刚性桩承载力特征值不宜小于其负责范围内路堤荷载的 0.75 倍。
- d) 路堤绕流滑动稳定分析、桩帽承载力验算等尚应符合 DB44/T 2418 的规定。

7.5.8 排水固结应符合下列规定：

- a) 对高填斜陡路堤，硬壳层较厚、软土层较薄或可设置反压护道的路段可采用排水固结。
- b) 竖向排水体可采用排水板、袋装砂井、碎石桩等，应根据硬壳层厚度和强度、施工设备穿透能力等选择。

条文说明：

山区软弱层深度通常小于 10m，当弃方多且弃土场较难解决时，就地固化具有明显优势。由于就地固化整体加固，固化土的局部抗压强度约为无侧限抗压强度的 2~3 倍。在高路堤中部填土荷载较大，可能导致固化土受压碎裂。对受压碎裂的区域应采用碎裂后的强度指标。高路堤的滑动面往往不经过路堤中部的固化区域，固化土碎裂往往也不控制路堤稳定性，因此高路堤的固化土强度不需要按照避免受压碎裂进行设计。

7.5.9 强夯置换墩法应符合下列规定：

- a) 强夯置换墩长度应根据软弱土深度、容许工后沉降计算、路堤稳定分析等确定，墩长不宜超过 10 m。路堤稳定分析时，地基加固区宜采用复合抗剪强度指标，置换墩的内摩擦角可取 35°~38°，填料粒径大时取大值。
- b) 强夯置换墩的单击夯击能、置换深度、单点击数应通过现场试验确定，其收锤标准应符合表 14 的规定。

表 14 强夯置换收锤标准

单击击能(kJ)	最后两击平均夯沉量不大于(mm)	最小水平安全距离(m)
3000	50	50
4000	50	60
50000	100	65
6000	100	70

- c) 强夯置换墩法的适用性应根据需要的单击能量、周围建（构）筑物情况等确定。强夯置换墩与建（构）筑物的最小水平安全距离可参考表 8 确定。不满足安全距离要求时，可开挖宽度不小于 1 m、深度不小于 3 m 的隔振沟。
- d) 夯锤应采用铸钢柱锤，夯锤直径宜为 1.0 m~1.6 m，夯锤的高径比应大于 1.0。
- e) 强夯置换墩的设计直径可取夯锤直径的 1.2~1.3 倍，强夯置换墩的间距宜为夯锤直径的 2~3 倍。
- f) 强夯置换墩宜采用粒径不大于 500 mm 的块石，且粒径大于 300 mm 的颗粒含量不宜超过 30%，黏粒含量不宜大于 5%。
- g) 强夯置换墩墩顶应设置褥垫层，褥垫层厚度应根据路堤填土高度、墩间距等综合确定，且不应小于 1 m。褥垫层宜采用与强夯置换墩相同的材料。

7.5.10 地基处理尚应符合 DB44/T 2418 的规定。**7.6 路基填料****7.6.1 填土路基填料应符合下列规定：**

- a) 路基宜采用级配良好的砾类土、砂类土等粗粒土，路床最大粒径不应大于 100 mm，路堤填料最大粒径不应大于 150 mm，路基填料最小承载比（CBR）应符合表 15 的规定。

表 15 路基填料最小承载比要求

路基部位	填料最小承载比 CBR (%)		
	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路床	8	6	5
下路床	5	4	3
上路堤	4	3	3

下路堤	3	2	2
注：CBR 是路基部位相应的压实度对应的承载比。			

- b) 斜坡路堤、陡坡路堤底部宜设置强透水层。
- c) 泥炭、淤泥、强膨胀土、有机质土、易溶盐超过允许含量的土等，不得直接用作填筑。浸水部分的路堤不应直接采用粉质土填筑。
- d) 液限大于 50%、塑性指数大于 26 的细粒土，不应直接作为陡坡路堤和边坡高度大于 12m 的非陡坡路堤的填料。
- e) 浸水路堤、桥涵台背和挡土墙背宜采用渗水性良好的填料。
- f) 设填平区的路堤、富水路堤不应采用易发生管涌的填料。
- 7.6.2 填石路基填料应符合下列规定：
- a) 最后一层填石层的铺筑厚度不应大于 0.4 m，路堤最大粒径不应大于 150 mm，路床最大粒径不应大于 100 mm，其中小于 5 mm 的细料含量不应小于 30%，且铺筑层表面应无明显孔隙、空洞。
- b) 软质岩石可作为路堤填料，不应用作为路床填料，其 CBR 应符合表 15 的规定。采用易崩解岩石填筑路堤时，路床宜采用硬质岩的碎石或其他符合要求的材料填筑。
- c) 膨胀性岩石、易溶性岩石、盐化岩石等不应作为填料。
- d) 填石路堤与上部细粒土之间应设置过渡层，过渡层可采用碎石，其中可设置隔离土工布。
- e) 不同强度的石料应分别采用不同的填筑层厚、最大粒径应符合表 16~表 18 的要求。

表 16 硬质石料层厚、粒径与孔隙率

路基部位	摊铺厚度(mm)	最大粒径(mm)	孔隙率(%)
上路床	≤400	100	≤21
下路床	≤400	100	≤21
上路堤	≤400	小于层厚的 2/3	≤23
下路堤	≤600	小于层厚的 2/3	≤25

表 17 中硬石料层厚、粒径与孔隙率

路基部位	摊铺厚度(mm)	最大粒径(mm)	孔隙率(%)
上路床	≤400	100	≤20
下路床	≤400	100	≤20
上路堤	≤400	小于层厚的 2/3	≤22
下路堤	≤500	小于层厚的 2/3	≤24

表 18 软质石料层厚、粒径与孔隙率

路基部位	摊铺厚度(mm)	最大粒径(mm)	孔隙率(%)
上路堤	≤300	小于层厚	≤20
下路堤	≤400	小于层厚	≤22

- 7.6.3 拼宽路基填料宜优于既有路基。既有路基为填石路基时，拼宽路堤宜填石或采用轻质土路堤。

7.7 路基衔接

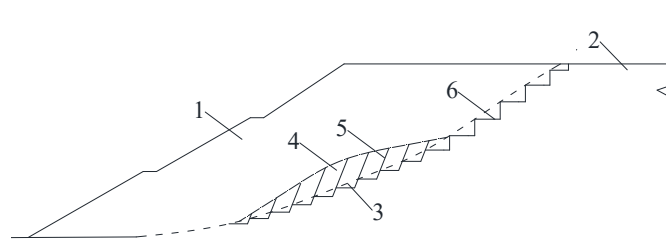
7.7.1 填方路基与斜坡之间、填方路基与挖方路基之间、拼宽路基与既有路基之间、路基与桥梁之间、路基与涵洞之间均应进行衔接设计。

7.7.2 路基与斜坡之间、拼接路基与既有路基之间、填方路基与挖方路基之间的衔接设计应包括清表、松散土处治、台阶开挖、加筋等内容。

7.7.3 路基与涵洞之间、路基与桥梁之间的衔接设计应包括台阶开挖、回填等。

7.7.4 填方路基与斜坡、既有路基之间的交界面应清除植被、腐质土，清表厚度不应小于 30cm。

7.7.5 对路堤范围内横向陡坡上标贯击数小于 15 且液性指数小于 0.5 的黏性土，宜采用饱和状态固结快剪强度指标根据稳定分析确定是否将其挖除或采取其他处治方法，如图 19 所示。



标引序号说明：

1—填方路基；2—挖方路基；3—硬土层表面；4—松散土；5—临时边坡；6—台阶

图 19 挖除斜坡松散土

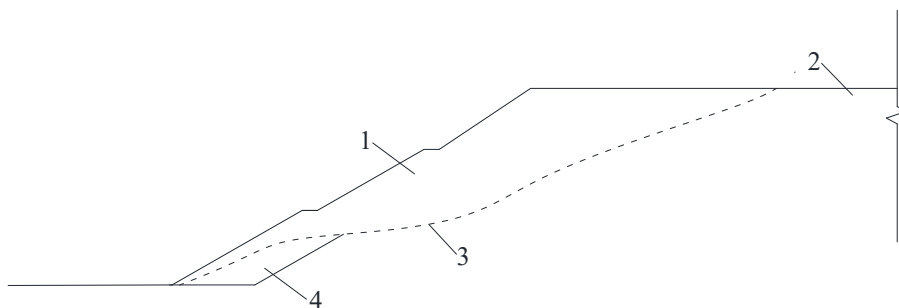
条文说明：

按照广东省《建筑地基基础设计规范》（DBJ 15-31-2016）规定，黏性土标贯击数 $N \leq 3$ 为流塑， $3 < N \leq 5$ 为软塑， $5 < N \leq 10$ 为软可塑， $10 < N \leq 15$ 为硬可塑， $15 < N \leq 20$ 为硬塑， $N > 20$ 为坚硬。

试验表明，非饱和黏性土浸水饱和后其标贯击数降低 30%~50%。路堤填土的标贯击数通常大于 15 击，斜陡坡上标贯击数小于 15 且液性指数小于 0.5 的黏性土浸水饱和后抗剪强度降低显著，其固结快剪黏聚力通常小于 18kPa，内摩擦角通常小于 20° ，往往控制路堤的稳定性，需要根据稳定分析确定是否对其采取挖除等处治措施。

7.7.6 斜坡台阶开挖应符合下列规定：

- a) 坡度陡于 1: 5 的稳定斜坡应设置台阶，台阶应在清表的基础上设置，台阶宽度不应小于 2 m，台阶宜采用平坡或外倾 2%。台阶宜沿直线开挖。基岩覆盖层较薄时，宜先清除覆盖层再挖台阶。
- b) 对填筑宽度小于 4m 的薄填部分，可通过超挖设置宽平台，保证路基填筑宽度不小于 6 m。超挖边坡坡率不应陡于 1:0.3，如图 20 所示。



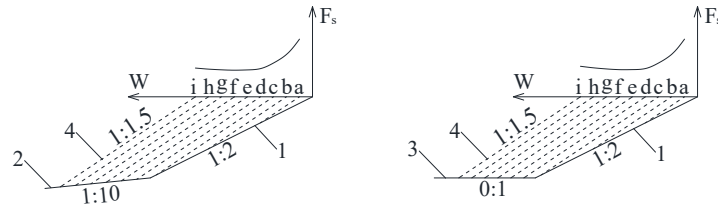
标引序号说明：

1—填方路基；2—挖方路基；3—斜陡坡；4—超挖部分

图 20 超挖填筑

条文说明：

在上陡（1:2）下缓（1:10 或 0:1）的沟谷中填筑边坡坡率为 1:1.5 的路堤，填土黏聚力取 30kPa，内摩擦角取 20°，斜坡和基底土的黏聚力取 20kPa，内摩擦角取 18°时，采用改进沙尔玛方法计算的路堤沿填土底面滑动的稳定系数与路堤填筑宽度的关系见说明图 1 和说明表 1。



标引序号说明：

1—1:2 斜坡；2—1:10 平坦段；3—0:1 平坦段；4—1:1.5 路堤边坡；W—路堤顶面填筑宽度； F_s —沿填土底面的滑动稳定系数

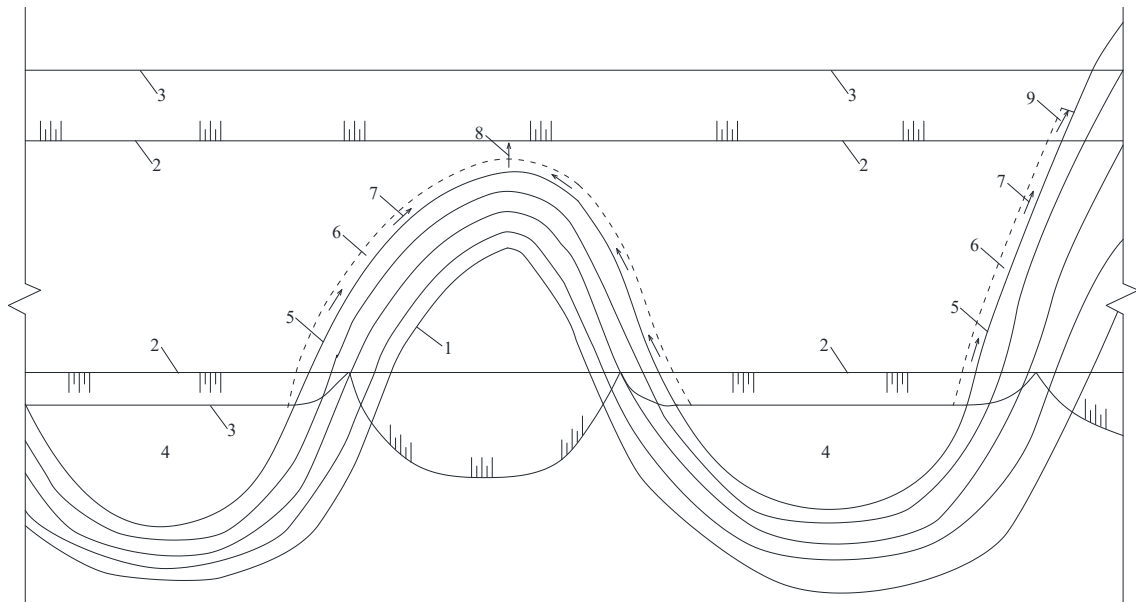
说明图 1 沿填土底面的稳定系数与填筑宽度的关系

说明表 1 沿填土底面的稳定系数与填筑宽度的关系

平坦段斜率	路肩位置	a	b	c	d	e	f	g	h	i
	路基顶面填筑宽度(m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1:10	平坦段宽度(m)	0	0	0	5.22	11.13	17.04	22.95	28.87	34.78
	稳定系数	2.216	1.627	1.115	1.082	1.033	1.022	1.036	1.063	1.104
0:1	平台段宽度(m)	0	0	0	4.41	9.41	14.41	19.41	24.41	29.41
	稳定系数	2.216	1.627	1.297	1.086	1.044	1.043	1.070	1.113	1.172

计算表明，随填筑宽度增大，稳定系数逐渐减小，平坦段 1:10 的路堤顶面填筑宽度达到 30m、平坦段填筑宽度达到 17.04m 之后，稳定系数才随填筑宽度增大缓慢增大；平坦段 0:1 的路堤顶面填筑宽度达到 30m、平坦段填筑宽度达到 14.41m 之后，稳定系数才随填筑宽度增大缓慢增大。填土达到平坦段后，平坦段 0:1 的路堤稳定系数稍大于平坦段 1:10 的路堤稳定系数。

因此，薄填路堤稳定性通常高于厚填路堤。部分薄填路基出现病害的主要原因有：（1）薄填部位的填筑宽度窄，不利于填筑施工，且未超宽填筑，导致填土压实质量差、强度偏低、渗透系数偏大；（2）由于填土较薄，斜坡到坡面的渗流路径较小，地下水容易渗流到填土坡面，导致薄填区域填土整体饱和和软化、土体重度增大、抗剪强度大幅降低。（3）对设填平区且基底排水不畅的路堤，填平区易积水，积水易沿填土松散、渗透系数大的台阶附近的虚土区渗流至薄填处流出坡面。薄填处的渗流不但导致该处填土饱和，而且可能导致薄填处发生流泥或管涌，逐渐形成土洞，土洞不断扩大导致路基塌陷，见说明图 2 和说明图 3。针对薄填路基病害的原因，本规范对薄填路基采取超挖填筑，加大填土厚度；对台阶附近填土采用高速液压夯实，消除虚土区；填平区加强地表截排水；路堤和填平区加强基底排水。



标引序号说明:

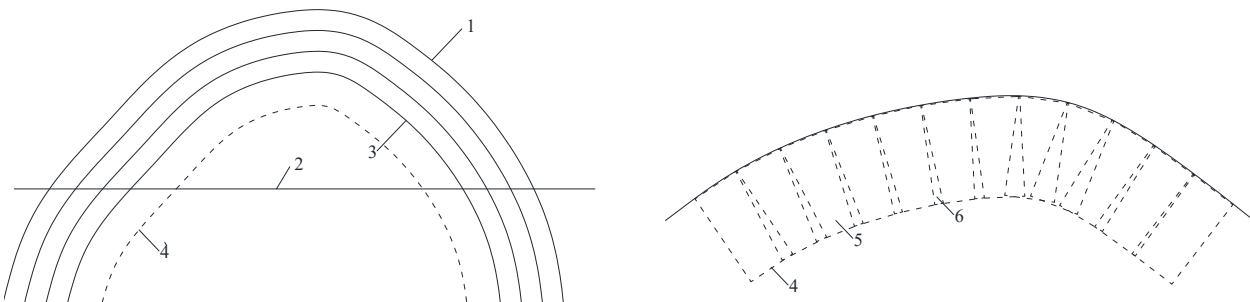
1—等高线；2—路肩；3—坡脚；4—填平区积水；5—台阶壁；6—虚土区；7—与填平区连通的地下水流向；8—薄填区渗流；9—纵向填挖交界处渗流

说明图 2 薄填与填挖交界处路堤渗流示意



说明图 3 薄填处渗透破坏导致路基塌陷

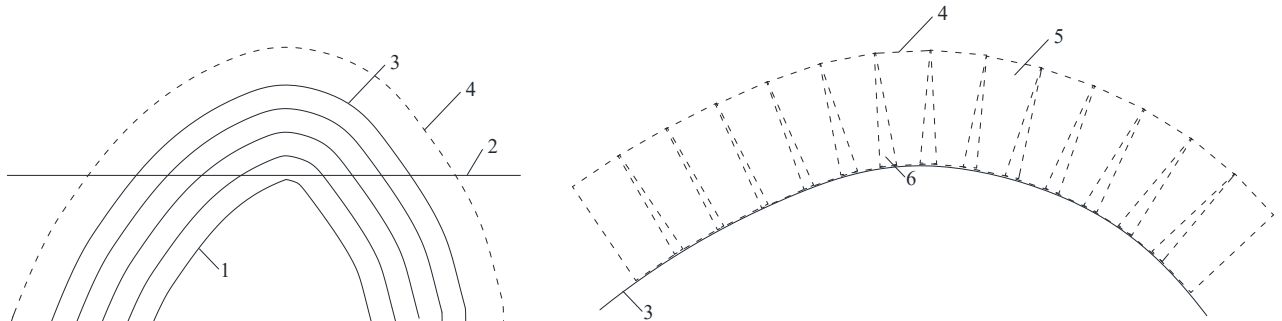
7.7.7 斜坡台阶处设置土工合成材料时，宜采用伸长率 2% 对应拉力不低于 30 kN/m 的单向土工格栅，格栅长度宜 4 m~8 m。土工格栅宜设置在斜陡坡中下部的台阶处，土工格栅应垂直台阶走向铺设，相邻两幅格栅的最小搭接宽度不应小于 20 cm，如图 21、图 22 所示。土工格栅拉直铺设并固定，格栅两端应分别设置 1 排 U 形钉，U 形钉间距不宜大于 1.5 m。



标引序号说明:

1—等高线; 2—路基轴线; 3—台阶壁; 4—土工格栅铺设范围; 5—单幅格栅; 6—相邻格栅搭接

图 21 沟谷中斜坡台阶处格栅铺设示意图



标引序号说明:

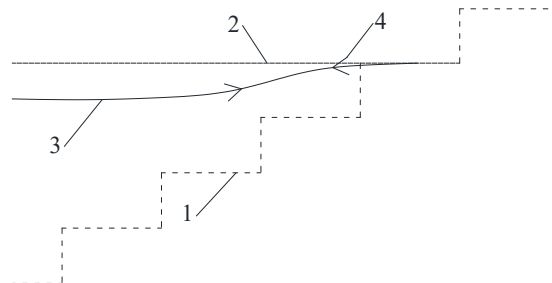
1—等高线; 2—路基轴线; 3—台阶壁; 4—土工格栅铺设范围; 5—单幅格栅; 6—相邻格栅搭接

图 22 山嘴上斜坡台阶处格栅铺设示意图

条文说明:

路堤填土压实度高、抗剪强度高。控制陡坡路堤稳定性的往往是沿基底原状土的滑动面，因此在台阶处设置土工格栅对路堤稳定性几乎没有作用。斜坡台阶处设置土工格栅的主要目的是减少差异沉降，其作用大小取决于土工合成材料发挥出的拉力，如说明图 4 所示。

工程实践表明，斜陡坡上的土工合成材料实际伸长率低于 2%。斜陡坡上填土荷载较大，用于减少差异沉降的土工合成材料对应 2% 伸长率的拉力不应太小。



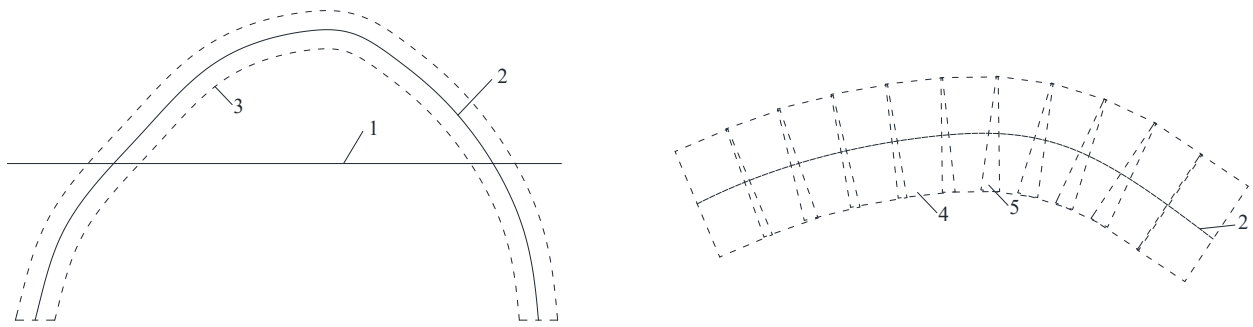
标引序号说明:

1—斜陡坡台阶; 2—土工合成材料铺设时位置; 3—路基变形后土工合成材料位置; 4—土工合成材料拉力

说明图 4 台阶处格栅作用机理示意

垂直台阶走向的坡率最大，土工格栅发挥的延伸率最大，其减沉效果最好，因此土工格栅应垂直台阶走向铺设。由图 19、图 20 可知，为保证最小搭接宽度，另一端的搭接宽度可能达到 1 m。土工格室由于其立体结构，不适合搭接，因此斜坡台阶上不适宜铺设土工格室，更适宜铺土工格栅。

7.7.8 在填挖交界处的路床中设置土工合成材料时，宜采用伸长率 2% 对应拉力不低于 30 kN/m 的单向土工格栅，格栅长度宜 4 m~8 m。土工格栅应垂直台阶走向铺设，台阶壁两侧的格栅长度宜相等，相邻两幅格栅最小搭接宽度不应小于 20 cm，如图 23 所示。台阶壁每侧格栅长度不宜土工格栅拉直铺设并固定，格栅两端应分别设置 2 排 U 形钉，2 排 U 形钉梅花形布置，U 形钉沿台阶走向的间距不宜大于 0.5 m。



标引序号说明:

1—路基轴线; 2—台阶壁; 3—土工格栅铺设范围; 4—单幅格栅; 5—相邻格栅搭接

图 23 填挖交界路床格栅铺设示意图

条文说明:

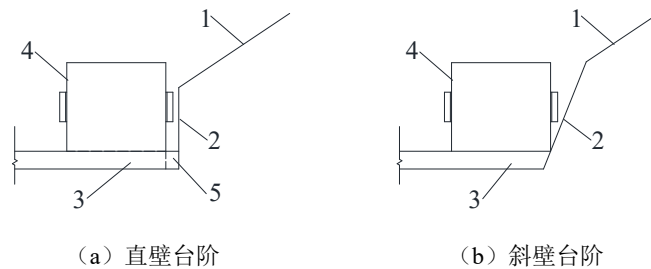
有的项目在路床中铺设土工格栅, 有的铺设土工格室。不同位置、不同填料中铺设的土工合成材料的目的和作用不同。

砂石料没有黏聚力, 在竖向荷载下水平变形大、压缩变形大。在路床的砂石层中铺设的土工格室主要对砂石料提供水平约束力, 从而减少压缩变形、提高路床承载力。土工格室铺设范围不局限于填挖交界处, 且土工格室一个方向的条带应垂直路基走向铺设。

在填挖交界处的路床中铺设土工格栅的主要目的是延缓差异沉降导致的裂缝。差异沉降导致的裂缝多与台阶走向平行, 因此土工格栅应垂直台阶走向铺设。路床中格栅上覆荷载较小, 与土体的摩擦力较小, 因此台阶壁两侧格栅长度相等, 且每端设置 2 排 U 形钉, 并梅花形布置。沟谷、山嘴处的填挖交界铺设示意图相同。

7.7.9 拼宽路堤与既有路基拼宽应符合下列规定:

- a) 既有边坡清表厚度不应小于 0.3m。
- b) 既有路基为填土路基时, 应在既有填方边坡上设置台阶。台阶宜采用斜壁台阶, 台阶壁斜率不宜陡于 1:0.4, 避免形成虚土区, 如图 24 所示。当台阶壁陡于 1:0.3 时, 宜采用不低于 32 t 的压路机、冲击碾压、液压夯实等夯实台阶附近的虚土。当拼宽施工采用钢板桩等临时支护结构且其悬臂高度大于 2 m 时, 钢板桩拔出后宜对悬臂部分附近的填土进行注浆。



(a) 直壁台阶

(b) 斜壁台阶

标引序号说明:

1—既有边坡; 2—台阶壁; 3—新填土; 4—压路机; 5—虚土区

图 24 台阶形式与压实效果

- c) 既有路基为填石路基时, 填石拼宽时, 应设置台阶或对坡面不少 0.5 m 厚的填石进行翻挖。
- d) 路堤拼宽设置加筋材料时, 宜采用伸长率 2% 对应拉力不低于 30 kN/m 的双向土工格栅, 格栅长度宜 4 m~6 m。土工格栅宜设置在斜陡坡中下部的台阶处, 土工格栅应台阶走向铺设, 相邻

两幅格栅的最小搭接宽度不应小于 20 cm。土工格栅拉直铺设并固定，格栅两端应分别设置 1 排 U 形钉，U 形钉间距不宜大于 1.5 m。

条文说明：

b) 22 吨压路机轮架底面高 50cm，轮架外边缘与钢轮的水平距离约 12cm，见说明图 5。因此，当台阶壁竖直且高于 50cm 时，钢轮无法靠近台阶壁，会在台阶竖壁附近形成宽度超过 12cm 的虚土区。采用缓于 1:0.3 的斜台阶壁时，钢轮可以靠近台阶壁，可以避免形成虚土区。既有路基拼接台阶与路基走向平行，可以通过开挖斜壁台阶采用常规压路机压实台阶壁附近填土，不需要施工效率较低的高速液压夯实。



说明图 5 台阶处格栅作用机理示意

当钢板桩悬臂高度大于 2m 时，压路机、冲击碾压、液压夯实等难以压实底部虚土，建议采用注浆对其胶结。

d) 既有路基拼接台阶与路基走向平行，采用双向土工格栅利于沿路基方向铺设。

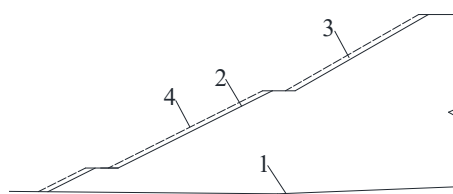
7.8 路堤压实

7.8.1 填土路基压实度应符合表 19 的要求。

表 19 路基填料压实度要求

路基部位	压实度(%)		
	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路床	≥96	≥95	≥94
下路床	≥96	≥95	≥94
上路堤	≥94	≥94	≥93
下路堤	≥93	≥92	≥90

7.8.2 填土边坡应超宽填筑，达到设计压实度后再修坡至设计轮廓，如图 25 所示。超宽填筑宽度不宜小于 0.5 m。



标引序号说明：

1—地面线；2—设计边坡线；3—超宽填筑土方；4—超宽填筑边坡线

图 25 超宽填筑示意图

条文说明：

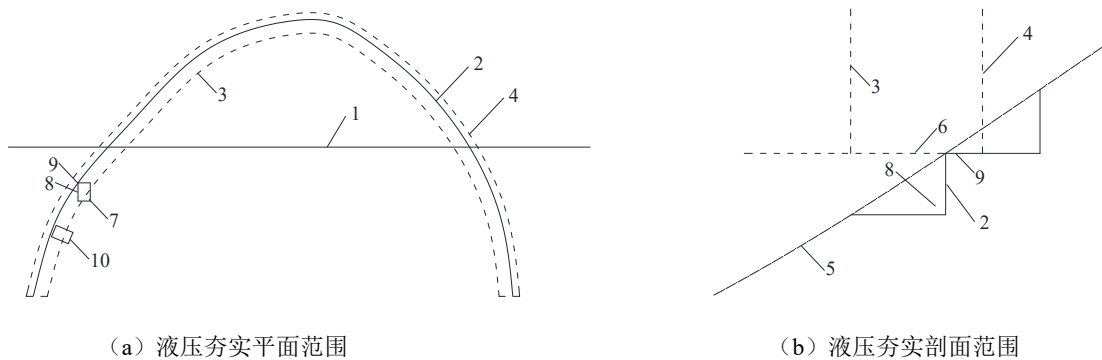
设计回溯表明，填方边坡溜塌、防护结构破损的重要原因是填方边坡未超宽填筑和修坡，边坡填土易于吸水，导致边坡浅层填土含水量增大、强度降低，产生边坡溜塌。防护结构位于松散填土内，松散填土饱水后强度大幅降低，防护结构沿坡面向下滑动或蠕动。降雨较大时，坡面松散填土易于冲刷，导致防护结构散落。

7.8.3 填石路基孔隙率应符合表 16~表 18 的要求，验收指标可采用沉降差。验收沉降差宜根据孔隙率通过试验确定。对 25 吨以上的压路机，相邻两遍的沉降差不应大于 5 mm，且标准差不应大于 3 mm。

7.8.4 路基填土边坡高度超过 12 m 时，宜采取补强压实或提高压实度的措施。补强压实手段可采取超重压实、强夯、液压夯实、冲击碾压等，提高压实度时宜在表 19 基础上提高 1%。

7.8.5 高液限土路基压实度不应小于 86%，膨胀土路基压实度不应低于 90%，具体数值应根据试验段确定。

7.8.6 斜坡上的台阶竖壁内侧 2 m~3 m 范围的填土、外侧 0.5 m~1 m 的原状土应采用高速液压夯实机进行压实，如图 26 所示。



(a) 液压夯实平面范围

(b) 液压夯实剖面范围

标引序号说明：

1—路基走向；2—台阶壁；3—液压夯实内边线；4—液压夯实外边线；5—斜陡坡；6—液压夯实工作面；7—压路机钢轮；8—填土松散区；9—原状土松动区；10—沿台阶走向行走的压路机钢轮

图 26 台阶附近液压夯实范围

条文说明：

台阶走向往往与路基方向斜交。压路机沿路基走向行走时，台阶附近部分填土无法压实，部分台阶平台原状土被钢轮碰撞而松动。因此，对不沿台阶走向进行压实时，某级台阶对应的填土填筑完毕后，要求在该级台阶壁两侧采用液压夯实机对松散填土、松动原状土进行夯实。

7.9 边坡防护

7.9.1 路基填方边坡防护范围应包括土路肩、坡面、边坡平台、护坡道等。

7.9.2 路堤边坡宜采用工程防护与植物防护相结合的防护形式。工程防护可采用人字形骨架、人字形骨架+空心六棱块、护面墙、护脚墙等。

7.9.3 花岗岩风化砂类土填筑的路堤，宜采用人字形骨架内客土植草、人字形骨架内垒砌植生袋或生态袋、人字形骨架内垒砌空心砖客土植草、土工格室内客土植草护坡等措施，必要时可设置护面墙。

7.9.4 护脚墙应符合下列规定：

- 临河护脚埋深应大于局部冲刷深度，水塘区护脚墙埋深不宜小于 1.2m。
- 富水路堤护脚墙宜采用排水棱体或石笼，采圻工时应完善排水措施避免墙后积水。
- 急流槽的水不宜直接流至护脚墙外，否则应对墙外水流冲击处的地面硬化或设置效能池。

7.9.5 骨架防护应符合下列规定：

- a) 边坡高度大于 6 m 时宜采用骨架防护+植草防护, 花岗岩风化土边坡高度大于 4 m 宜采用骨架防护+植草防护。
- b) 骨架宜采用现浇混凝土, 强度等级不宜低于 C25。当采用预制混凝土时, 强度等级不宜低于 C30, 骨架竖肋、斜肋的肋眉应与肋一起预制。
- c) 骨架竖肋净距应根据地区降雨强度、坡顶平台宽度、土质等确定。骨架竖肋顶部宜延伸至坡顶平台, 并与坡顶平台硬化顺接。检查踏步两侧宜各设置一道骨架竖肋。
- d) 骨架斜肋沿坡面的竖向间距应根据降雨强度、土质等确定, 且不宜大于 4.0m, 花岗岩风化土坡面的竖向间距不宜大于 3.5 m。骨架斜肋倾角宜为 45°~60°。
- e) 骨架竖肋、斜肋流水槽底宽不宜小于 30 cm, 骨架竖肋、斜肋不含肋眉的厚度不应小于 30 cm, 肋眉高度不宜小于 10 cm、底宽不宜小于 10cm。花岗岩残积土路基骨架竖肋、斜肋宽度不宜小于 50 cm, 不含肋眉的厚度不宜小于 40 cm。骨架竖肋每 2 m 高度应设置防滑坎, 防滑坎宽度应与竖肋宽度相等。
- f) 骨架应嵌入压实填土内, 肋眉底部应与坡面齐平。
- g) 骨架应设置通长护脚, 护脚厚度不应小于骨架竖肋厚度, 护脚应嵌入边坡平台或护坡道顶面以下不少于 0.3m。
- h) 与路堤两侧斜向急流槽相交的骨架斜肋或竖肋, 应与急流槽内侧壁顺接, 将坡面水导入急流槽中。
- i) 骨架内宜种植易成活、覆盖率高、高度小的乡土草类, 例如狗牙根、结缕草、肾蕨、佛甲草、大叶油草、细叶结缕草等。骨架内不宜草灌混植, 花岗岩风化土坡面不应草灌混植。

7.9.6 护面墙应符合下列规定:

- a) 护面墙可采用干砌片石、浆砌片石、混凝土、喷射混凝土等。干砌片石时、浆砌片石的厚度不宜小于 30cm, 砂浆强度等级不应低于 M10, 片石应采用不易风化的中硬、硬质石料。混凝土、喷射混凝土的厚度不宜小于 15cm, 强度等级不宜低于 C25。
- b) 护面墙沿纵向每隔 10 m 应设置一道 2 cm 宽的变形缝。
- c) 浆砌片石或混凝土实体护面墙应设置排水反滤层, 泄水孔间距不宜大于 2 m, 泄水孔直径不宜小于 10 cm。
- d) 窗孔式护面墙宜采用浆砌片石或混凝土。窗孔宜采用半圆拱型, 窗孔宽度宜 2 m~3 m, 高度宜为 2.5 m~3.5 m。相邻窗孔间净距不宜小于 1 m。窗孔内宜采用干砌片石、六棱块等填充。

7.9.7 土路肩、边坡平台和护坡道硬化应符合下列规定:

- a) 高速公路的土路肩、边坡平台、护坡道应硬化, 其他公路宜硬化。
- b) 硬化层可采用浆砌片石、现浇混凝土等。浆砌片石厚度不宜小于 30 cm, 强度等级不应低于 M10, 片石应采用不易风化的中硬、硬质石料。混凝土厚度不应小于 10 cm, 强度等级不应低于 C25。平台硬化每隔 6 m~8 m 应设置变形缝, 变形缝可设沥青麻絮。
- c) 硬化层应设置 4% 的外倾横坡。当边坡平台宽度大于 5 m 时, 宜增设拦水带或截水沟, 结合急流槽或骨架竖肋进行集中排水。

7.10 地表防排水

7.10.1 高速公路、一级公路路基边坡排水降雨重现期应采用 25 年, 其他公路应采用 10 年。

7.10.2 路堤地表防排水应符合下列规定:

- a) 路堤应设置边沟、急流槽、平台截水沟、排水沟, 并利用骨架导水肋排水, 必要时设置路肩排水沟。
- b) 路堤上坡侧应设置截水沟。

- c) 横向排水管处应设置急流槽，两者应衔接顺畅。路面层间水宜通过纵向渗沟和排水管排至急流槽处。急流槽两侧宜采用土袋、混凝土填充。

7.10.3 填平区地表防排水应符合下列规定：

- a) 填平区周围应设置截水沟，中部设置纵横向排水沟，顶部宜设置防水膜、顶面硬化层等防水措施。
- b) 填平区路基设置排水涵洞时，填平区顶面高程应高于涵洞底板顶面高程。

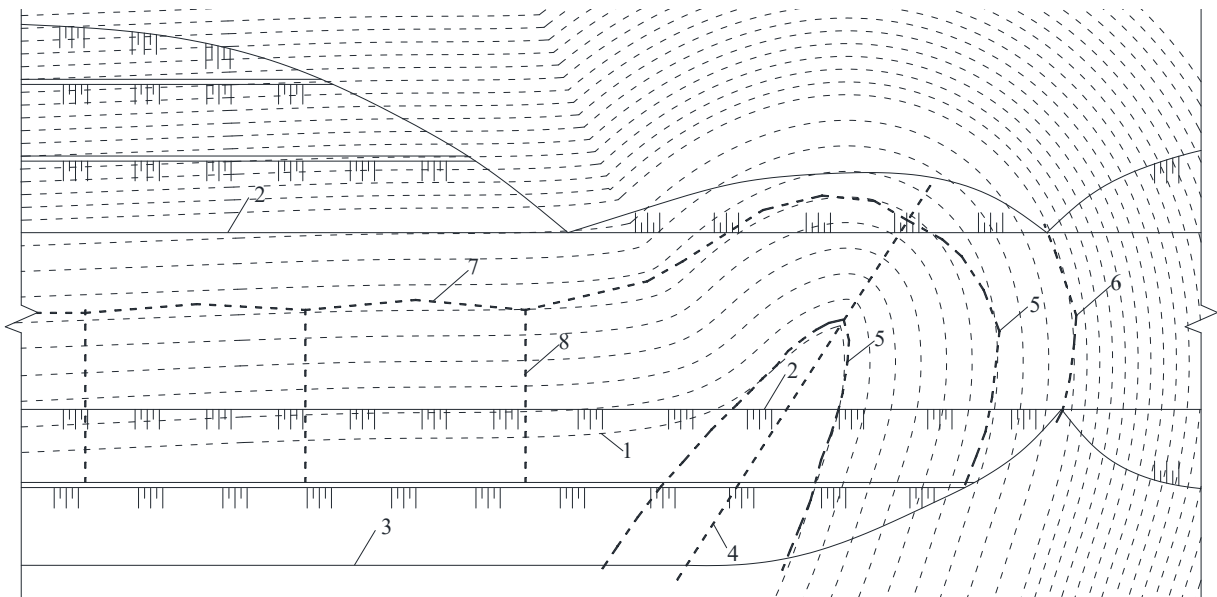
7.10.4 路堤采用易崩解岩石、高液限土、膨胀土等水敏材料填筑时，顶面应设置防渗层。

7.10.5 宜避免斜坡路基上游积水，或采取减少上游积水对斜坡路堤的影响措施。

7.11 基底防排水

7.11.1 根据路基地形地貌、地下水等情况，路基基底应设置排水设施，其设置应符合下列规定：

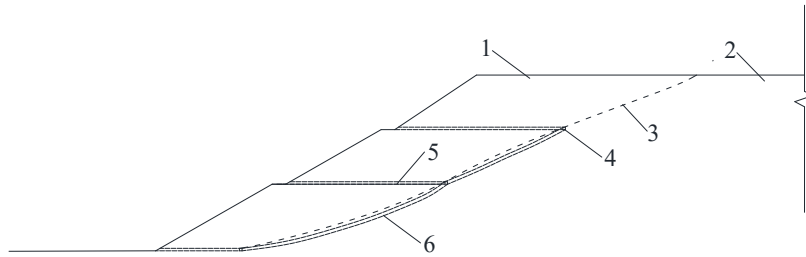
- a) 每条沟谷应设置 1 条沟心渗沟，如图 27 所示。沟底缓于 1:5 的平坦段可设置沟心渗沟，也可设置排水垫层。沟谷中的填石坡路堤底部不铺设反滤土工布时，应设置沟心渗沟。
- b) 沟底缓于 1:5 的平坦段设置沟心渗沟且沟底平坦段宽度大于 20m 时，沿沟底平坦段两侧应设置 1 条环向渗沟，如图 27 所示。
- c) 每级边坡平台标高应设置 1 条环形渗沟，如图 27 所示。斜坡富水时，沿斜坡高度方向应加密环形渗沟。
- d) 纵向填挖交界处应设置横向渗沟。
- e) 沟谷外的斜坡上应设置与沟谷纵向渗沟、斜向渗沟或连通渗沟，如图 27、图 28 所示。纵向渗沟宜与沟谷斜坡路堤的环向渗沟连通。
- f) 沟心渗沟、环向渗沟、斜向渗沟之外存在渗水点、泉水等时，应根据其位置、流量等采用渗沟将其引至附近的沟心渗沟、环向渗沟、斜向渗沟或直接将其引出路堤外。
- g) 设置填平区时，填平区基底应设置沟心渗沟、环向渗沟、斜向渗沟，并与路堤的沟心渗沟、环向渗沟衔接。



标引序号说明：

- 1—等高线；2—路肩；3—坡脚线；4—沟心渗沟；5—环向渗沟；6—横向渗沟；7—纵向渗沟；8—斜向渗沟或连通渗沟

图 27 路堤渗沟平面布置示意图



标引序号说明:

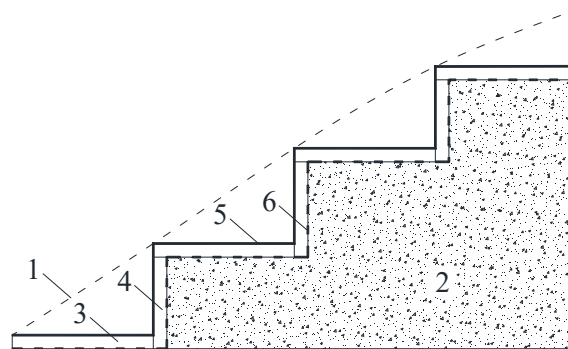
1—填方路基；2—挖方路基；3—斜坡；4—纵向渗沟；5—连通渗沟；6—斜向渗沟

图 28 沟谷外斜坡路堤渗沟剖面图

条文说明:

填石路基设置沟心渗沟的主要目的是避免基底接触冲刷，导致路基不均匀沉降。

7.11.2 沟谷或斜坡大范围面状渗水时，宜加密渗沟或沿台阶设置面状排水层。面状排水层宜采用预制或现浇无砂混凝土板，排水板厚度不宜小于 20cm，排水板内侧应设置反滤土工布，外侧应设置防渗膜，见图 29。



标引序号说明:

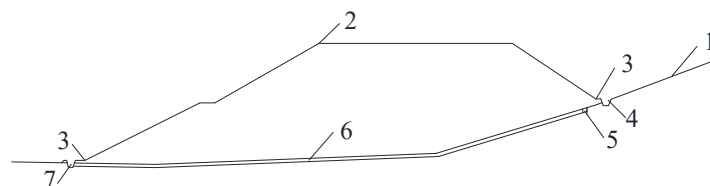
1—斜坡清表底面线；2—富水斜坡；3—水平无砂混凝土板；4—竖向无砂混凝土板；5—防渗膜；6—反滤土工布

图 29 基底面状排水示意图

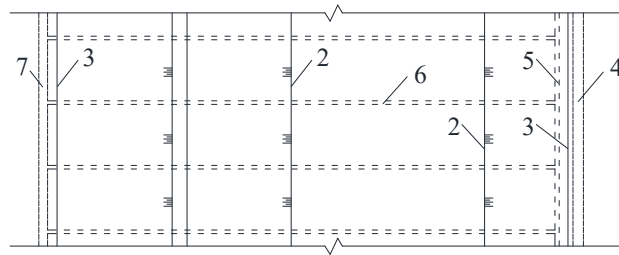
条文说明:

香港对斜坡上路堤，普遍利用无砂混凝土设置面状排水层，并在无砂混凝土上面设置普通混凝土防水层。

7.11.3 斜坡路堤采用易崩解岩石、高液限土、膨胀土等水敏材料填筑时，底部应设置排水层或渗沟。排水层应与下坡侧边沟连通。设置渗沟时，应在上坡侧坡脚内设置纵向渗沟，横向渗沟应与纵向渗沟连通，并与下坡侧边沟连通，如图 30 所示。



(a) 剖面图



(b) 平面图

标引序号说明：

1—斜陡坡；2—坡顶线；3—坡脚线；4—截水沟；5—纵向渗沟；6—横向渗沟；7—路堤边沟

图 30 水敏性填料路基基底渗沟

7.11.4 渗沟结构设计应符合下列规定：

- a) 渗沟的宽度不宜小于 0.8 m，深度不宜小于 1 m，渗沟坡度不宜缓于 1%。
- b) 沟心渗沟、斜向渗沟应设在原地面以下，渗沟内宜设置单粒径碎石和排水管，周边应设置反滤土工膜，基底平坦段的沟心渗沟顶面宜设置中粗砂反滤层。
- c) 环形渗沟、横向渗沟、纵向渗沟宜设置在原地面以下，渗沟宜设置单粒径碎石和排水管，顶面和斜坡侧应设置反滤土工膜，顶面宜设置中粗砂反滤层，底面和填土侧应设置复合土工膜或防水膜。
- d) 连通渗沟应反开挖设置在路基填土内。渗沟内设置单粒径碎石和排水管，顶面应设置反滤土工布，底面和侧面应设置复合土工膜或防水膜。
- e) 连接渗水点、泉水的渗沟应设置在原地面以下。渗沟宜采用单粒径碎石和排水管，周边应设置反滤土工膜。

7.11.5 排水垫层结构应符合下列规定：

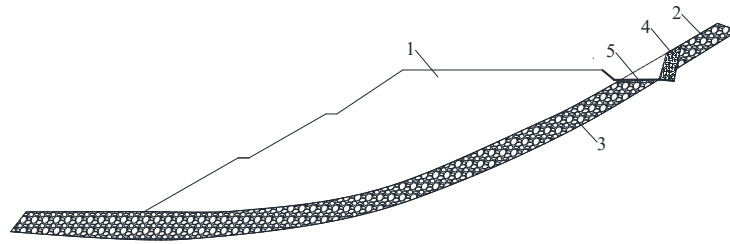
- a) 排水垫层厚度不宜小于 0.5 m。
- b) 排水垫层宜采用片石或单粒径碎石，顶面和底面宜分别设置反滤土工布。

7.11.6 既有路基拼宽路堤基底排水尚应符合下列规定：

- a) 既有路堤渗水时，宜在渗水处设置仰斜式排水孔，并利用 PVC 管等引至拼宽路基外。渗水点密集或渗水面积大时，宜沿坡面以此设置反滤层、排水层和隔水层，并利用渗沟将排水层中的水引至拼宽路基外。
- b) 仰斜式排水孔长度不宜小于 15 m，仰角不宜小于 6°，孔深应穿过渗水层进入相对隔水层不小于 1m。排水管宜采用软式透水管、曲纹网状透水管等，排水管周围坡面应硬化，管下应设置小型急流槽。
- c) 既有路基存在渗沟等排水措施时，应将其引出拼宽路堤。

7.12 地基排水

7.12.1 地基中的强透水层深度较小时，可在路堤上游设置截水沟，将强透水中的地下水通过截水沟引排至路堤外，如图 31 所示。



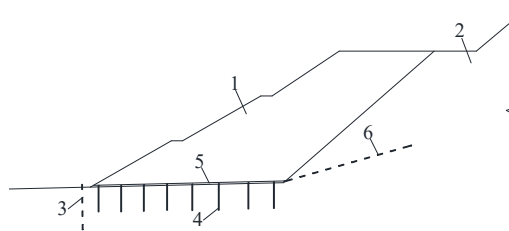
标引序号说明:

1—填方路基；2—斜陡坡；3—强透水层；4—挡土墙；5—截水沟

图 31 强透水层截水沟

7.12.2 沟谷路堤地基中存在断层破碎带、侵入接触面、强透水层等导水构造时，应评估路堤修建后地基中形成较高承压水头的可能性，必要时应进行承压水排水减压设计。

7.12.3 需要减小承压水水头时，宜在基底或路堤外设置减压孔或减压井，基底减压孔、减压井可通过渗沟、排水垫层等连通至路堤外，必要时可在斜坡内设置仰斜式排水孔等，如图 32 所示。



标引序号说明:

1—填方路基；2—挖方路基；3—坡脚减压孔（井）；4—基底减压孔（井）；5—渗沟或排水层；6—仰斜式排水孔

图 32 承压水水头控制措施

7.12.4 减压井、减压孔应符合下列规定：

- a) 减压井直径不宜小于 0.5 m，减压孔直径不宜小于 18 cm。
- b) 减压井、减压孔间距应根据含水渗透性、连通性、富水性等综合确定，减压井不宜大于 5 m，减压孔间距不宜大于 3 m。
- c) 减压井、减压孔宜设置在路堤下游侧坡脚附近。采用碎石桩作为减压井时，可设置在路堤内，并应与排水层连通。

7.12.5 既有路基存在地下排水设置时，应将其引出拼宽路堤。

7.13 巡检通道

7.13.1 路堤边坡巡检通道应包括巡检踏步和坡脚通道。

7.13.2 巡检踏步应符合下列规定：

- a) 路堤边坡两侧宜设置斜向巡检踏步。边坡顶面长度大于 300 m 时，宜在坡面增设竖向巡检踏步，巡检踏步的间距不宜大于 150 m。
- b) 斜向巡检踏步应与边坡平台、护坡道衔接。斜向踏步设置在斜向急流槽内侧时，踏步应设置坡面水流入急流槽的通道。台阶高度不宜大于 20 cm。
- c) 巡检踏步不宜兼作为坡面排水设施。
- d) 巡检踏步两侧宜设置扶手，扶手宜采用镀锌钢管或不锈钢管。
- e) 踏步两侧宜硬化，硬化宽度不宜小于 0.5 m。

7.13.3 坡脚通道应符合下列规定：

- a) 坡脚通道应与边坡两侧斜向踏步衔接。
- b) 坡脚通道可利用硬化的护坡道。
- c) 挡土墙与边沟分离时，宜在挡土墙与边沟之间设置巡检通道；与挡土墙、护脚墙紧靠边沟时，坡脚通道应设在边沟外侧。
- d) 挡土墙等陡峭处应设置爬梯。

8 路堑边坡设计

8.1 一般规定

- 8.1.1 路堑边坡设计应收集气候、水文、地形地貌、地质、地震等资料，考虑水对路堑边坡稳定性的影响，加强稳定性计算与分析，设置完善的防排水系统和防护工程。
- 8.1.2 宜加强对附近人工边坡和自然山坡进行工程类比调查。
- 8.1.3 M形边坡应重视沟谷附近的加固和排水设计。
- 8.1.4 路堑边坡应加强动态设计。动态设计应以完整的施工设计图为基础，以地质复核、监测数据等为手段。
- 8.1.5 特殊性岩土、易滑岩土边坡开挖后应及时防护，暴露时间较长时宜采取临时喷锚等封闭坡面的措施。
- 8.1.6 改扩建工程，对计划利用的边坡，应对其锚固与支挡结构、防护工程进行必要的检测与评估。
- 8.1.7 深路堑边坡设计宜遵循固脚、强腰、排水、卸载的处治原则。

8.2 土质与类土质边坡

- 8.2.1 土质路堑边坡坡形坡率设计应符合下列规定：
 - a) 边坡形式及坡率应根据工程地质、水文地质条件、边坡高度、排水措施、施工方法、对附近自然山坡和人工边坡的调查，按照工程类比、工程经验，结合稳定分析进行确定。
 - b) 路堑边坡宜采用台阶形断面。土质边坡分级高度不宜大于 8 m，最上面一级边坡高度不宜超过 10 m；类土质边坡分级高度不宜大于 10 m，最上面一级边坡高度不宜超过 12 m。平台宽度不宜小于 2 m。
 - c) 堑顶地形平缓或反坡时，宜按照缓边坡或设置中部宽平台的原则确定坡形坡率。土质与类土质边坡高度超过 50 m 时宜设置宽平台。
 - d) 对土质与类土质边坡，边坡高度不大于 20 m 时，单级边坡坡率宜参照表 20 确定。边坡高度大于 20 m 时，其边坡形式及坡度可按表 20 中的大值初拟，并结合稳定性计算综合分析确定。

表 20 土质与类土质路堑边坡坡率

土的类别		边坡坡率
中密以上的中砂、粗砂、砾砂		1:1.5~2.00
黏土、粉质黏土、塑性指数大于 3 的粉土		1:1.25~1.50
卵石土、碎石土、圆砾土、角砾土	中密	1:1.25~1.50
	胶结和密实	1:1.0~1.5
类土质	全风化岩	1:1.0~1.35
	强风化（砂土状、半岩半土状）	1:0.75~1.25
注： 黏土、粉质黏土、塑性指数大于 3 的粉土的成因以残积为主、坡积为辅。		

- e) 类土质边坡存在明显原生结构面时，坡形坡率设计还应考虑原生结构面对边坡稳定的影响。

条文说明:

按照广东省《建筑地基基础设计规范》(DBJ 15-31-2016), $\varphi=\sqrt{20N}+15$, 花岗岩全风化 $\varphi=43.3^\circ\sim 52.4^\circ$, 考虑 1.25 的稳定安全系数, 对应坡率分别为 1:0.96~1:1.33。中密砂的标准贯入击数为 15~30, 对应 $\varphi=32.3^\circ\sim 39.5^\circ$, 考虑 1.25 的稳定安全系数, 对应坡率分别为 1:1.52~1:1.98。

8.2.2 土质路堑边坡加固设计应符合下列规定:

- 边坡稳定性不足时应进行加固。地下水造成边坡稳定性不足时, 尚宜采取排水或降水措施。
- 稳定性不足的边坡可能的失稳模式及加固措施可参考表 21。其中碎石土边坡应分析碎石土的成因, 如为厚层堆积、崩坡积等成因, 宜按潜在滑坡工点进行勘察设计。

表 21 土质与类土质边坡可能的失稳模式及加固措施

边坡类型	主要特征	失稳模式	滑动面形状	加固措施
黏性土边坡	以粉质黏土为主, 多见于岩浆岩、变质岩以及灰岩等的残积、全风化层, 主要由岩土体强度控制边坡稳定	坍塌、滑坡	圆弧	挡土墙、土钉墙、锚杆、锚索、抗滑桩、防排水等
砂性土边坡	以砂砾为主, 包括厚层全风化花岗岩残积层, 主要由岩土体强度控制边坡稳定		直线	
碎石土边坡	由坚硬岩石碎块和砂土颗粒或砾质土组成的边坡, 主要由岩土体强度或风化界面控制边坡稳定		直线、圆弧	
类土质边坡	有全风化岩或强风化岩(土状、半岩半土状)岩土体构成, 主要由岩土体强度或风化界面控制边坡稳定		直线、圆弧	

- 边坡加固宜遵循强腰、固脚、排水的原则, 粉质黏土、全风化岩边坡宜设置护脚墙。边坡加固措施设计应符合第 9 章的规定。

条文说明:

根据具体情况, 固脚措施可为脚墙、挡土墙、土钉墙、锚杆格梁; 一般采用长锚杆格梁或预应力锚索强腰, 当下滑力较大时, 可设置抗滑桩。

8.2.3 高液限土和红粘土路堑边坡设计尚应符合下列规定:

- 路堑边坡高度不宜超过 20m, 路堑边坡设计应遵循“缓坡率、宽平台、固坡脚”的原则。当边坡高度超过 6 m 时, 路堑路基宜采用台阶式断面, 若条件允许宜放缓边坡。边坡坡率及平台宽度应符合的 JTG/T 3331-09 规定。
- 坡脚宜设置矮挡墙。坡面防护宜采用骨架植物防护, 当边坡稳定性不足时应增设支挡工程。
- 应注意路基排水系统的综合设计, 及时引排地面水和地下水。宜在堑坡上设置支撑渗沟、在边沟下设置渗沟, 并结合地下水的出露设置仰斜式排水孔。对于全封闭的圬工防护, 应在墙背设置厚度为 0.15 m~0.30 m 的排水垫层。
- 路堑路基设计应注意复浸水 I 类红粘土的开挖面土体干缩导致裂隙发展及复浸水使土质产生变化的不利影响, 边坡稳定性分析计算宜采用饱水剪切试验和重复慢剪试验等强度指标。
- 应根据红粘土或高液限土的工程性质、公路等级, 对路堑路床的红粘土或高液限土进行超挖换填, 并换填渗水性良好的砂砾、碎石等材料。
- 红粘土和高液限土具有膨胀性时, 应按膨胀土路基进行设计, 其设计应符合 JTG/T 3331-07 的规定。

8.2.4 花岗岩残积土路堑边坡尚应符合下列规定:

- 花岗岩残积土为高液限土时, 路堑设计应符合按 7.3.2 的规定。
- 花岗岩残积土为砂性土时, 应加强防护与排水设计, 减少坡面冲刷。宜设置骨架防护, 必要时设置护面墙。骨架竖向间距不应大于 3 m, 骨架内应植草, 不应种植灌木和乔木。

- c) 边坡上方山坡冲刷严重或存在孤石及危岩体时，应对是否会产生泥石流灾害或崩塌落石灾害进行评价，并根据评价结果进行处治。

8.2.5 煤系地层路堑设计应符合下列规定：

- 有放坡条件时宜采用缓坡设计。坡形宜设置矮坡高、缓坡率，必要时应设置宽平台。
- 厚层煤系地层连续分布的高边坡，宜设置抗滑桩。
- 薄层煤系地层连续分布且岩层倾角小于坡面倾角的顺层边坡，宜设置抗滑桩、抗滑挡墙、钢管微型桩、锚索框架等。
- 薄层煤系地层连续分布且岩层倾角大于坡面倾角的顺层边坡，宜设置锚杆格梁或锚索框架。
- 支挡结构钢筋保护层厚度不小于 70 mm，锚索时应采取环氧钢绞线等措施预防地下水对结构的腐蚀。
- 应注意路基排水系统的综合设计，及时引排地面水和地下水。根据地下水发育情况，因地制宜在堑坡上设置仰斜式排水孔、支撑渗沟或边坡渗沟，在边沟下设置纵向渗沟。斜孔排水不应采用防腐蚀性差的软式透水管。
- 煤系地层边坡坡脚宜设置矮脚墙。应加强路堑边坡坡面防护与支挡加固的综合设计，坡面防护宜采用全封闭的护面墙或窗式护面墙防护，并间隔布设排水孔。采用骨架植物防护时，应加密骨架间距。
- 应根据煤系地层的工程性质、公路等级，对路堑路床范围的煤系地层进行超挖，并换填渗水性良好的砂砾、碎石土等材料处治。

条文说明：

煤系地层包括煤层、炭质泥岩、炭质灰岩等。

薄层煤系地层边坡指煤层在坡体内连续分布的最大厚度不超过 1 m~2 m 的边坡。此类边坡薄层煤系地层产状如为顺倾，易诱发顺层滑坡。若边坡为反倾层状边坡岩体结构，则煤系地层对边坡整体稳定性的影响不明显，但仍可能发生小范围崩塌。

厚层煤系地层边坡：指煤层在坡体内连续分布的最大厚度 > 2 m 的边坡，由于煤系地层遇水易软化，丧失强度，因此易发生边坡坍塌、崩塌及滑坡病害。主要由于煤系地层在浸水条件下岩土体强度不足所致。崩塌或滑坡则与边坡坡体结构密切相关。

8.3 岩质边坡

8.3.1 岩质路堑边坡坡形坡率设计应符合下列规定：

- 边坡形式及坡率应根据工程地质、水文地质条件、边坡高度、排水措施、施工方法、对附近自然山坡和人工边坡的调查，按照工程类比、工程经验，结合稳定分析进行确定。
- 路堑边坡宜采用台阶形断面，台阶宽度不宜小于 2 m。岩质边坡分级高度不宜大于 12 m。
- 对岩质边坡，边坡高度不大于 30 m 时，边坡坡率可按表 22、表 23 确定。对于有外倾软弱结构面的岩质边坡、坡顶边缘附近有较大荷载的边坡或边坡高度超过表 22 范围的边坡等，边坡坡率按表 22 中的大值初拟，并结合稳定性计算综合分析确定。

表 22 岩质路堑边坡坡率

边坡岩体类型	风化程度	边坡坡率	
		H < 15 m	15 m ≤ H < 30 m
I类	未风化、微风化	1:0.1~1:0.3	1:0.1~1:0.3
	弱风化	1:0.1~1:0.3	1:0.3~1:0.5
II类	未风化、微风化	1:0.3~1:0.5	1:0.3~1:0.5

边坡岩体类型	风化程度	边坡坡率	
		H<15 m	15 m≤H<30 m
	弱风化	1:0.5~1:0.75	1:0.5~1:0.75
III类	未风化、微风化	1:0.5~1:0.75	——
	弱风化	1:0.5~1:0.75	——
IV类	弱风化	1:0.5~1:1	——
	强风化	1:0.75~1:1	——

注 1: 本表不适用于由特殊岩石组成的边坡。
注 2: 临时边坡取大值附近的值。

表 23 边坡岩体分类

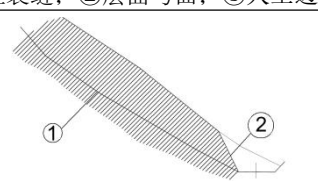
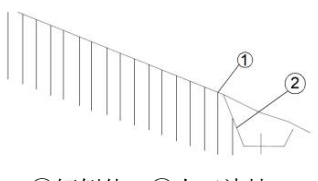
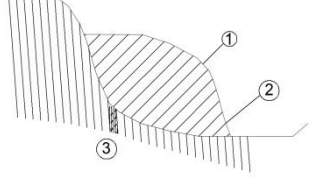
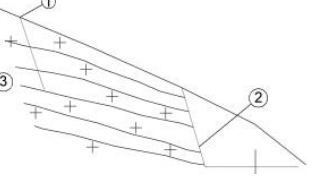
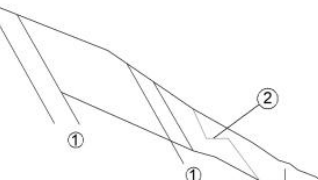
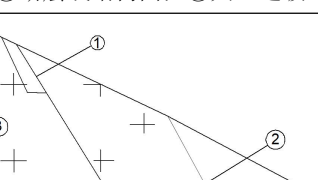
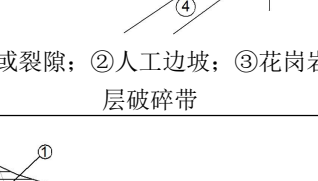
边坡岩体类型	分类因素		
	岩石坚硬程度	岩体完整程度	结构面产状
I类	坚硬、较硬	完整、较完整	无平行边坡走向的陡倾结构面
II类	坚硬、较硬	完整、较完整	有平行边坡走向的陡倾结构面
	坚硬、较硬	较破碎	无平行边坡走向的陡倾结构面
III类	较软、软	完整、较完整	无平行边坡走向的陡倾结构面
	坚硬、较硬	较破碎	有平行边坡走向的陡倾结构面
	较软、软	完整、较完整	有平行边坡走向的陡倾结构面
IV类	较软、软	较破碎	无平行边坡走向的陡倾结构面
	坚硬~极软	破碎、极破碎	——
	较软、软	较破碎	有平行边坡走向的陡倾结构面
	极软	完整至较破碎	——

注 1: 平行边坡走向的陡倾结构面系指其走向与边坡走向夹角不大于 30°、外倾时倾角不小于 60°、内倾时倾角不小于 70°的结构面。
注 2: 强风化、全风化岩体为IV类。
注 3: 对由坚硬程度或完整程度不同的岩层组成的边坡，先划分各层的边坡岩体类型，再根据各层相对厚度和位置综合确定。

8.3.2 稳定性不足的岩质边坡可能的失稳模式及加固措施可参考表 24。

表 24 岩质边坡坡体结构、失稳模式及加固措施建议

坡体结构类型	基本特征	坡体结构示意图	破坏模式	加固措施
层状 或似 层状 结构	主要由软硬相间的沉积岩，以及沉积岩变质而成的副变质岩组成，岩层倾向临空面，坡面走向与层面走向夹角小于 20°		滑移-拉裂	锚杆、锚索、挡墙、抗滑桩
	主要由软硬相间的沉积岩，以及沉积岩变质而成的副变质岩组成，等坡顺层，坡面与层面走向夹角小于 40°		弯曲-滑移	

坡体结构类型	基本特征	坡体结构示意图	破坏模式	加固措施
反倾层状坡体结构		①拉裂缝；②层面弯曲；③人工边坡		
	主要由软硬相间的沉积岩，以及沉积岩变质而成的副变质岩组成，岩层倾向坡内，倾角相对较缓	 ①贯通折断面；②人工边坡	弯曲-拉裂； 蠕滑-拉裂	锚杆、锚索、挡墙、抗滑桩
	主要由软硬相间的沉积岩和副变质岩组成，岩层倾向坡内或坡外，倾角多陡于临空面坡率	 ①倾倒体；②人工边坡	弯曲-拉裂- 倾倒	锚杆、锚索
	基岩产状较陡，坡体下部断层等软弱地层发育	 ①错落体；②人工边坡；③断层	塑流-拉裂、 错落	微型桩、锚杆、锚索、挡墙、抗滑桩
似层状坡体结构	主要由岩浆岩定向变质形成的片麻岩等或多期喷发的岩浆岩组成，片麻理或喷发界面为似层面	 ①裂缝；②人工边坡；③片麻岩	滑移-拉裂	锚杆、锚索、挡墙、抗滑桩
碎裂岩质坡体结构	坡体多位于构造影响带、强卸荷、强风化带、蚀变带等区域，岩体破碎、松弛，构造裂隙切割严重，结构组数多且密度大	 ①断层或结构面；②人工边坡	蠕滑-拉裂	锚杆、锚索、挡墙、抗滑桩
块状或块体状坡体结构	完整性较好的岩浆岩、厚层或巨厚层沉积岩、变质岩构成，主要结构面为节理、岩脉、接触面或层面	 ①结构面或裂隙；②人工边坡；③花岗岩；④断层破碎带	蠕滑-滑移- 拉裂、错落	锚杆、锚索、微型桩、抗滑桩
基座式坡体结构	产状呈近于水平状。在坡体下部存在软弱岩土体，在水压力或卸荷作用下，上部为相对坚硬的层状岩体向临空面滑移、崩塌		塑流-拉裂、 错落	微型桩、锚杆、锚索、挡墙

坡体结构类型	基本特征	坡体结构示意图	破坏模式	加固措施
		①结构面或裂隙；②人工边坡；③软弱基座		
楔形坡体结构	坡体中发育两组或两组以上外倾结构面，与临空面组合形成楔形欠稳定块体	<p>①人工边坡；F1 第一结构面；F2 第二结构面</p>	滑移-拉裂	锚杆、锚索
二元坡体结构	坡体下部为基岩，上部为各种成因的土质或类土质堆积体	<p>①滑体；②人工边坡；③堆积体；④基岩</p>	蠕滑-拉裂 塑流-拉裂	锚杆、锚索、微型桩、抗滑桩

8.3.3 顺层边坡设计应符合下列规定：

- 坡形设计需考虑顺层结构面的产状，必要时可沿结构面设置坡形。
- 岩层倾角小于坡面倾角的软岩顺层边坡、存在软弱夹层的顺层边坡宜采用微型桩等预加固的方法，必要时可设置抗滑桩。
- 岩层倾角大于坡面倾角的软岩顺层边坡宜设置锚杆格梁、锚索框架等。

8.3.4 硬质岩石边坡开挖，根据具体情况宜在设计坡形 3 m 范围内采用静态爆破、光面爆破、绳锯切割等工艺开挖，确保开挖坡面平顺。

8.3.5 路堑内外斜坡存在危岩体、孤石时，应对发生崩塌落石灾害的可能性进行评估，根据具体情况采取清除、锚固、支撑、主动网、被动网、拦石墙等措施。

8.4 二元结构边坡

8.4.1 对二元结构边坡，土体部分的坡率宜根据边坡中土体部分高度、土质、土体状态等按表 21 确定；岩质部分的坡率宜根据边坡中边坡总高度、边坡岩体类型按表 24 确定。

8.4.2 土质与岩质交界处宜设置平台，必要时设置护脚或矮挡墙。

8.4.3 土质与岩质交界处应设置深层排水孔。

8.4.4 当二元结构边坡沿岩土界面滑动的稳定性分析不满足要求时，应设置加固措施，加固措施应根据地质条件、界面位置、计算剩余下滑力的大小等选择加固措施和其布置，具体可选择挡土墙、锚固工程、抗滑桩，或上述措施的组合。挡土墙和抗滑桩、锚索应嵌入下部基岩。

8.5 改扩建路堑边坡

8.5.1 改扩建路堑边坡勘察应符合第 5 章的规定外，尚应符合下列规定：

- 改扩建工程应对既有路堑边坡状况进行调查，调查内容包括但不限于：既有边坡勘察设计资料、竣工图、历年定检及养护专项资料、坡面加固防护排水设施病害清单、既有边坡建设期动态设计相关资料、监测资料等，形成“一坡一档”。
- 必要时进行专项检测，对预应力锚索、浆砌片石护面墙等支挡防护措施进行系统性检测与评估。
- 应结合既有边坡勘察设计资料，开展地质勘察工作；利用既有钻孔作为勘察成果前，应进行校核验证。

8.5.2 改扩建路堑边坡设计应符合 8.2~8.4 的规定外，尚应符合下列规定：

- 对计划利用的边坡，应结合资料收集、地质勘察、检测评估等资料，分析既有边坡稳定性，必要时开展加固补强或现有设施翻新。

- b) 对扩挖或收陡的边坡，应采用工程类比的方法，参考既有边坡坡形坡率及其稳定情况，分析既有加固防护措施的有效性，结合周边情况等确定扩建坡形坡率和加固防护措施。
- c) 改扩建路堑边坡收陡既有边坡时，应分析既有边坡开挖后的临时稳定性，稳定性不足时应对应上部边坡或山坡采用微性桩、锚索、锚杆、抗滑桩等进行预加固。收陡边坡应综合考虑便道与开挖机械施工条件，挖除既有边坡坡脚收陡边坡的高度不宜大于 20 m。
- 8.5.3 改扩建路堑边坡设计宜开展施工方案设计，并应符合下列规定：
- a) 收陡边坡工点宜开展详细的工序设计，宜采用“分层分阶段开挖、预留核心土”的方法，开挖过程中每间隔一定距离“预留核心土”。
- b) 收陡坡率等于或陡于 1:0.5 时，最大分级开挖高度不大于 5 m，边坡上部加固后方可进行边坡下部开挖。
- c) 中风化岩石宜采用静态爆破、机械凿岩等工艺开挖。
- d) 边坡施工期间，既有路肩附近、既有边坡平台应设置防护网等防落石措施。石方机械开挖设施应安装防飞石装置。
- 8.5.4 改扩建路堑设计尚应符合 8.2~8.4 的规定。

8.6 路堑边坡防护

8.6.1 对坡形坡率符合 8.2.1 的边坡，应根据气候条件、岩土性质、边坡高度、边坡坡率、水文地质条件、施工条件、水土保持要求等因素，参考表 25 选择适宜的坡面防护措施。

表 25 边坡防护类型及适用条件

序号	防护类型	适用条件
1	喷播植草	高度不大于 4 m、不陡于 1:1.25 的一般土质、全风化岩质边坡
2	三维网植草	高度不大于 4 m、不陡于 1:1 的易冲刷土质、全风化岩质边坡
3	客土喷播植草	强~未风化的岩质边坡
4	空心砖植草	坡面上具有框架、骨架时，可应用于坡率为 1:0.5~1:1.25 边坡
5	植生袋	不陡于 1:1.25 的边坡，有格梁、框架、骨架时坡率可 1:0.5~1:1
6	藤类植物	坚硬岩石边坡或挡墙、护面墙等，或其他不适宜绿化的边坡
7	骨架	不陡于 1:1 的土质、全风化、强风化软岩边坡
8	护面墙	不陡于 1:0.5 的中、强风化岩质边坡及煤系地层、高液限土等不良地质边坡
9	挂网喷射砼	易风化或产生危岩落石的岩质边坡
10	主动防护网	整体稳定，节理裂隙发育、危岩体发育厚度较小的边坡或自然坡。
11	被动防护网	存在崩塌、落石等风险且难以清理的边坡

8.6.2 植物防护应符合下列规定：

- a) 边坡绿化宜种植易成活、覆盖率高、高度小的乡土草类，例如狗牙根、结缕草、香根草等，不宜使用山毛豆、美国刺等灌木和乔木。
- b) 三维网植草宜采用高强塑料三维网。
- c) 客土喷播植草应挂网，宜采用机编重镀锌网，强、中风化岩边坡喷播厚度不宜小于 10 cm，微风化喷播厚度不宜小于 12 cm。
- d) 喷播植草、三维网植草、空心砖植草可与骨架、格梁、框架等联合使用。

8.6.3 骨架防护应符合下列规定：

- a) 宜采用现浇混凝土人字形骨架。条件困难时可采用预制块，预制块铺筑时应设砂浆找平，预制块间应设锚筋或榫卯加强连接，强度等级不宜低于 C25。

- b) 骨架竖肋间距不应大于 4 m，骨架斜肋倾角宜在 45~60°范围。竖肋、斜肋宽度不应小于 0.4 m，肋眉高度不应小于 10 cm。骨架嵌入坡面深度岩质边坡不应小于 0.2 m，土质、类土质边坡不应小于 0.3 m，骨架竖肋宜每 2 m 高度设置防滑坎。骨架竖肋延伸至坡顶平台。检查踏步两侧应各设置一道骨架竖肋。
 - c) 人字形骨架坡脚应设置护脚，可将平台截水沟的沟壁作为护脚。
- 8.6.4 护面墙防护应符合下列规定：
- a) 不陡于 1:0.5 且岩体较破碎的边坡宜采用封闭式护面墙，不陡于 1:0.75 的岩体较完好的强风化岩质边坡可采用窗孔式护面墙。
 - b) 护面墙宜采用不低于 C25 的混凝土。护面墙顶宽不小于 0.4 m，底宽不小于 $0.4+H/10$ （H 为墙高）。护面墙墙底应向内倾斜，倾斜度宜为(0.1~0.2):1。护面墙每 2 m~3 m 高应设置一道通长的防滑坎，防滑坎宽度不小于 1 m。
- 8.6.5 挂网喷砼应符合下列规定：
- a) 喷射混凝土厚度不应小于 0.10 m，且不应大于 0.25 m。厚度大于 15 cm 时应设两层钢筋网，钢筋保护层厚度不应小于 20 mm。
 - b) 锚喷应设置泄水孔，泄水孔间距不宜大于 2m。
- 8.6.6 边坡平台、碎落台宜硬化，坡面宜设置镶边、护脚，并应符合下列规定：
- a) 平台硬化、镶边、护脚宜采用混凝土。
 - b) 每隔 6 m~8 m 设置沥青麻絮伸缩缝。
 - c) 平台应设置 2% 的外倾排水坡度。平台宽度大于 5 m 时应在平台中部增设排水沟，排水沟应低于平台高程，平台坡度应倾向排水沟。

8.7 路堑边坡地表防排水

- 8.7.1 高速公路、一级公路路基边坡排水降雨重现期应采用 25 年，其他公路应采用 10 年。
- 8.7.2 对堑顶来水应采取措施予以拦截，不应侵入路界。
- 8.7.3 路堑边坡地表排水设计应符合下列规定：
- a) 地表排水设施包括堑顶截水沟、平台截水沟、坡脚边沟、急流槽。应各排水设施之间应衔接和顺畅，不应溢流和积水。
 - b) 应采取措施避免“沟外沟”、“水不进沟”等情况，对沟壁基槽应回填密实，宜采用土袋、砂浆或混凝土填充。
 - c) 路堑边坡过水管、槽等应采取措施避免溢流、渗漏等危害边坡的情况。

8.8 路堑边坡地下排水

- 8.8.1 地下排水设施的类型、位置及尺寸应根据工程地质和水文地质条件确定，并与坡面排水设施相协调。当地下水埋藏浅或无固定含水层时，可采用边坡渗沟等。当地下水埋藏较深或存在固定含水层时，可采用仰斜式排水孔、支撑渗沟、渗井、集水井、排水隧洞等。
- 8.8.2 渗沟设计应符合下列规定：
- a) 需要疏干浅层地下水、防止坡面溜塌时可设置边坡渗沟。边坡渗沟深度宜 1.5 m~2 m，宽度宜 1.2 m~1.5 m，可按条带形、分岔形或拱形布设，间距宜为 6 m~10 m。渗沟宜采用砂砾、粗砂、碎石等强透水材料。
 - b) 需要排除滑带水、兼具抗滑作用时宜采用支撑渗沟。支撑渗沟深度宜 2 m~8m，宽度宜 2 m~4 m，宜在坡体前缘呈条形布设，渗沟基底宜设置在含水层以下较坚实的土层上。支撑渗沟宜采用块石、片石码砌。

- c) 需要截水时宜设置截水渗沟。截水渗沟应修筑在滑坡体 5 m 以外的稳定土体中，基底埋入隔水层内不宜小于 0.5 m。截水渗沟迎水面应设置土工织物或砂砾反滤层等透水层，背水面及底面应设置混凝土、防渗土工布等隔水层。沟底应设置渗水管，渗沟出口可用管引排。
- d) 渗沟材料采用的砂砾、粗砂、碎石、片石应洁净，其中小于 2.36 mm 细粒料含量不得大于 5%。渗水管中渗水管可采用带孔的 HPPE 管、PVC 管、PE 管、软式透水管、无砂混凝土管等。
- e) 渗沟出口如遇挡墙等堵水构筑物，应采取挡墙开口、增设排水管等形式预留渗沟出口，严禁堵塞。

8.8.3 仰斜式排水孔设计应符合下列规定：

- a) 仰斜式排水孔的仰角不宜小于 6°，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。
- b) 仰斜式排水孔进水口及渗水管段应包裹土工滤网。
- c) 仰斜式排水孔的直径宜 75 mm-150 mm，仰角不宜小于 6°，长度应伸至地下水富集或潜在滑动面。孔内透水管直径宜 50 mm-100 mm。

8.8.4 渗井设计应符合下列要求：

- a) 用于拦截和引排地下水的渗井，宜成井群布设，并与排水隧洞等排水设施配合使用。渗井排列方向宜垂直于渗流方向，其深度宜穿过含水层，断面尺寸与间距应通过渗流计算确定。渗井内部宜采用洁净的砂砾、碎石等填充，井壁与填充料之间应设反滤层。
- b) 用于排除下挖式通道地表水的渗井，距离路堤坡脚不宜小于 10 m，渗井尺寸根据下挖式通道的排水量通过水力计算确定。渗井宜采用钢筋混凝土管或波纹管，上部为集水井，下部为渗透井；渗透井应选用洁净的砂砾、片碎石等充填，其中小于 2.36 mm 颗粒含量不得大于 5%，井壁四周应设置反滤层。

8.8.5 集水井设计应符合下列规定：

- a) 对于富水滑坡等工点，可设置集水井。
- b) 集水井宜设置在滑坡区外围。当条件限制需在滑体上布设集水井时，集水井应布设于富水区域。
- c) 集水井直径不应小于 3.5 m，埋深应低于滑面以下 2 m，应与 3~5 层放射状仰斜排水孔配套使用。
- d) 集水井间距宜为 30 m~40 m，井间设置导流管，并引出坡面。

8.8.6 排水隧洞应符合下列规定：

- a) 排水隧洞应埋入欲截引的主要含水层附近的稳定地层中。滑坡区的隧洞，其顶部需设置在滑动面或带以下稳定地层中不小于 0.5 m。
- b) 排水隧洞应与渗井、渗管、仰斜式排水孔等联合使用。
- c) 排水隧洞的纵坡应根据地下水埋藏深度及水力坡度、地层情况、出水口位置的高程等综合考虑决定，排水隧洞纵坡不宜小于 0.5%。
- d) 排水隧洞的横断面宽度应根据排水流量要求、施工需要等确定，排水隧洞宽度不宜小于 1.5m，高度不宜小于 2m。

8.9 巡检通道

8.9.1 路堑边坡巡检通道包括巡检踏步、边坡平台和爬梯等。

8.9.2 巡检踏步应符合下列规定：

- a) 深路堑边坡宜沿堑顶线内侧设置环形踏步。
- b) 边坡顶面长度大于 300 m 时，宜在坡面增设竖向巡检踏步，巡检踏步的间距不宜大于 150 m。
- c) 踏步应与边坡平台衔接。

- d) 巡检踏步不宜兼作为坡面排水设施。
- e) 巡检踏步宜设置扶手，扶手宜采用镀锌钢管或不锈钢管。
- f) 踏步两侧宜硬化，硬化宽度不宜小于 0.5 m。

8.9.3 长度较大的路堑挡土墙、桩板墙宜设置踏步或环形爬梯。

9 锚固与支挡工程设计

9.1 一般规定

9.1.1 锚固与支挡工程选用应根据地形及地质情况、路基稳定分析结果、工程经济性和具体技术的适用性等综合分析确定，并应符合 GB50330、JTG D30 和 JTG/T 3334 等相关规范的要求。

9.1.2 复杂工点支挡工程，应进行多方案比选。

9.1.3 支挡工程设计应根据施工过程的现场实际，遵循动态设计原则，及时进行动态设计。

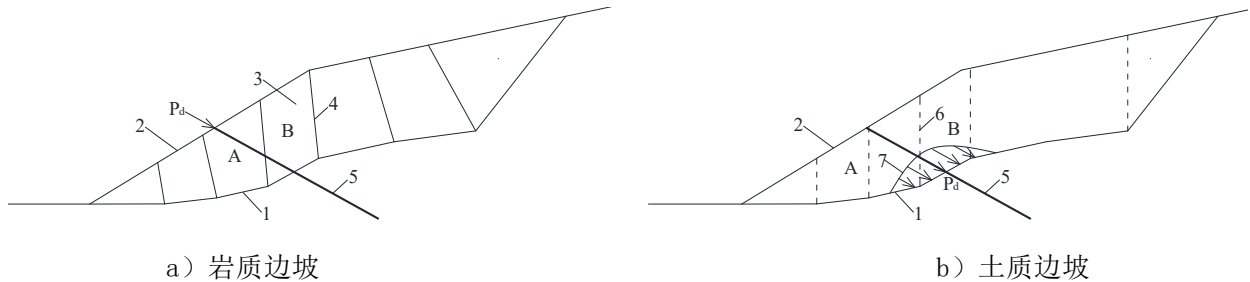
9.1.4 采用锚索、抗滑桩、微型桩加固的边坡，应核查地质资料，必要时补勘探明锚固段、抗滑段地层。

9.1.5 永久性锚杆（索）抗震验算时，锚固体设计安全系数可按 0.8 折减。

9.2 锚固工程

9.2.1 锚固工程计算应符合下列要求：

- a) 锚固工程宜先根据经验确定锚杆、锚索设计锚固力和间距，并取足够的长度，然后按 6.3 节方法验算边坡稳定性，不满足要求时调整锚杆、锚索间距，最后根据最危险滑动面和锚固力确定锚索长度。
- b) 对锚固边坡进行稳定性计算时，对岩质边坡，锚固力作用点宜取锚固力与坡面的交点；对土质边坡，锚固力作用点宜取锚固力与滑动面的交点，见图 33 所示。



标引序号说明：

1—滑裂面；2—坡面；3—岩块；4—岩块界面；5—锚杆；6—土体条块界面；7—滑动面处附加应力； P_d —锚固力

图 33 锚杆与条块关系示意图

- c) 锚杆筋材横截面积宜按式 (15) 计算。

$$A = \frac{K_1 P_d}{F_{ptk}} \quad (15)$$

式中：

- A ——锚杆筋材横截面面积 (mm^2)；
- K_1 ——锚筋界面面积安全系数，见表 26；
- P_d ——锚杆设计锚固力 (kN)；
- F_{ptk} ——锚筋抗拉强度标准值 (MPa)。

d) 锚固段长度应取式 (16)、式 (17) 计算值中的大值。

$$L_r = \frac{K_2 P_d}{\pi d f_{rb}} \tag{16}$$

$$L_g = \frac{K_2 P_d}{n \pi d_g f_b} \tag{17}$$

式中:

L_r ——锚固段地层与浆体间的黏结长度 (m) ;

K_2 ——锚固长度安全系数, 见表26;

d ——钻孔直径 (m) ;

f_{rb} ——锚固段地层与浆体间黏结强度标准值 (kPa), 无试验资料时可参考表27、表28;

L_g ——锚筋与锚固段浆体间黏结长度 (m) ;

n ——锚筋根数;

d_g ——单根锚筋直径 (m) ;

f_b ——锚筋与锚固段浆体间黏结强度标准值 (kPa), 无试验资料时可参考表29。

表 26 锚杆、锚索安全系数

安全系数	公路等级	安全系数	
		锚杆服务年限≤2年	锚杆服务年限>2年
K ₁	高速公路、一级公路	1.8	2.5
	二级及二级以下公路	1.6	2.2
K ₂	高速公路、一级公路	1.8~2.0	2.0~2.2
	二级及二级以下公路	1.5~1.8	2.0

注1: 当二级及二级以下公路在锚固工程附近有重点保护对象时, 可按高速公路安全系数取值。
注2: 土体或全风化岩中锚固体, K₂应取表中较高值。

条文说明:

相对《公路路基设计规范》JTG D30-2015, 永久锚杆 K₁、K₂ 均有所提高, 主要考虑以下因素: 与《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086-2015) 接近; 利于锚杆验收, 使抗拉安全系数大于抗拔安全系数, 并考虑各根钢绞线受力不均匀的因素。

表 27 岩体与注浆体界面黏结强度标准值

岩体类型	饱和单轴抗压强度 R _c (MPa)	黏结强度 f_{rb} (kPa)
极软岩	$R_c < 5$	150~250
软岩	$5 \leq R_c < 15$	250~550
较软岩	$15 \leq R_c < 30$	550~800
较硬岩	$30 \leq R_c < 60$	800~1200
坚硬岩	$R_c \geq 60$	1200~2400

注1: 表中数据适用于注浆强度等级 M30。
注2: 表中数据仅适用于初步设计, 施工时应通过试验验证。
注3: 岩体结构面发育时, 取表中下限值。

表 28 土体与锚固体黏结强度标准值

土质或类土质的名称	土的状态或密实度	f_{rb} (kPa)
-----------	----------	----------------

		一次常压注浆	二次压力注浆
填土	—	16~30	30~45
黏性土	$I_L > 1$	18~30	25~45
黏性土	$0.75 < I_L \leq 1$	30~40	45~60
黏性土	$0.50 < I_L \leq 0.75$	40~53	60~70
黏性土	$0.25 < I_L \leq 0.50$	53~65	70~85
黏性土	$0 < I_L \leq 0.25$	65~73	85~100
黏性土	$I_L \leq 0$	73~90	100~130
粉土	$e > 0.90$	22~44	40~60
粉土	$0.75 \leq e \leq 0.90$	41~64	60~90
粉土	$e < 0.75$	64~100	80~130
粉细砂	中密	42~63	75~110
粉细砂	密实	63~85	90~130
中砂	中密	74~90	100~130
中砂	密实	90~120	130~170
粗砂	中密	130~170	170~220
粗砂	密实	170~220	220~250
砾砂	中密、密实	190~260	240~290
风化岩	全风化	80~100	120~150
风化岩	强风化	150~200	200~260

注 1: 表中数据适用于注浆强度等级 M30。
注 2: 表中数据仅适用于初步设计，施工时应通过试验验证。
注 3: 软质岩风化岩，取表中下限值。

表 29 注浆体与锚杆体间黏结强度标准值 f_b (MPa)

锚类型	水泥浆或水泥砂浆强度等级	
	M30	M35
水泥砂浆与螺纹钢筋间	2.4	2.7
水泥砂浆与钢绞线、高强钢丝间	2.95	3.4

条文说明:

《公路路基设计规范》JTG D30-2015 采用下式计算锚杆、锚索锚固力设计:

$$P_d = \frac{E}{\sin(\alpha+\beta)\tan\varphi + \cos(\alpha+\beta)} \quad (\text{说明式1})$$

式中:

P_d —设计锚固力 (kN);

E —边坡下滑力 (kN);

β —锚杆、锚索与滑动面相交处滑动面倾角 ($^\circ$);

α —锚杆、锚索与水平面的夹角 ($^\circ$);

φ —滑动面内摩擦角 ($^\circ$)。

该式存在以下问题: (1) 不清楚 E 是下滑力还是剩余下滑力, 也不清除是所有锚杆承受的剩余下滑力还是单根锚杆承担的剩余下滑力。如果是下滑力, 则未考虑抗滑力的作用, 是不合适的; 如果是所

有锚杆承受的剩余下滑力，对折线滑面、圆弧滑面、复合滑面，不同锚杆的 β 不同，上式不适用；若是单根锚杆承受的剩余下滑力，可能导致不同位置的锚杆设计锚固力或间距差别很大。（2）不清楚 E 是否包含稳定安全系数；（3）式中 $\tan\phi$ 未除稳定安全系数。

工程实践中，通常根据锚固地层和工程经验确定单根锚杆的设计锚固力，先拟定锚杆间距，然后计算边坡稳定系数，根基计算结果调整锚杆间距，最后进行锚杆参数设计。

对图 33 中的岩质边坡，锚杆可避免岩块 A 的下滑，其产生的摩擦力采用 A 岩块底面的摩擦系数比取岩块 B 底面的摩擦系数更合适。因此，对岩质边坡，稳定分析时锚固力作用点取锚杆与坡面的交点更合适。

对图 33 中的土质边坡，作用于坡面的压力会通过摩擦力传递到滑面，滑面处的附加应力以锚杆与滑动面的交点为中心，向两侧逐渐减小。因此，对土质边坡，稳定分析时锚固力作用点可近似取锚杆与滑洞面的交点。

9.2.2 单级坡面的锚固工程宜满坡面布设，不留“三角区”，两侧应设置斜梁或竖梁收边；边坡顶部和底部应布设镶边、护脚，或设置顶梁和底梁。

9.2.3 坡面承载构件设计应符合下列规定：

- a) 锚杆宜采用格梁作为坡面承载构件，锚索宜采用框架、地梁等作为坡面承载构件。
- b) 格梁、框架宜设置顶梁和地梁，两端宜设置封边梁。地梁可作为平台截水沟的内壁，压顶梁应与平台硬化衔接。格梁和框架的竖梁两侧、横梁下侧宜设置排水肋眉进行导水。格梁、框架设置肋眉时，肋眉高度不宜小于 10 cm。
- c) 格梁、框架的纵梁间距宜 3 m~3.5 m，横梁沿竖直线的间距宜 3 m~3.5 m。地梁的间距宜 3 m~4 m，地梁上的锚索沿竖直线的间距宜 3 m~3.5 m。
- d) 格梁、框架的混凝土强度等级不应低于 C35，格梁、框架结构尺寸应经结构验算确定。格梁的宽度和厚度不宜小于 30 cm，框架的宽度和厚度不宜小于 40 cm，地梁的宽度和厚度不宜小于 50 cm。
- e) 格梁、框架受力宜按弹性地基梁计算分析。锚杆对格梁的拉力宜采用最危险滑动面外侧锚杆与内侧锚杆的锚固力设计值之差、锚筋抗拉力设计值中的小值。锚索对框架的拉力宜采用锚固力设计值。
- f) 格梁的钢筋保护层厚度不应小于 5 cm，框架的钢筋保护层厚度不应小于 7 cm。
- g) 除中风化、微风化岩石坡面外，格梁、框架露出坡面原状土不宜超过 10 cm。
- h) 格梁、框架、地梁拆模后应采用土包、砂浆或混凝土回填两侧凹槽，梁间宜喷坡植草或设置空心六棱砖植草、生态袋等。对坡面为极易冲刷的砂性土时，可采用干砌片石、浆砌片石、混凝土等封闭。

9.2.4 锚杆设计应符合下列规定：

- a) 锚杆宜用于边坡坍塌、小型楔体破坏等浅层变形防治，其中自钻式中空锚杆宜用于易塌孔松散岩土体和抢险工程。
- b) 对中支架间距不宜大于 2 m，筋材保护层厚度不应小于 4 cm。
- c) 注浆管长度应与筋材相同，并应绑在筋材上与筋材一同插入孔底。
- d) 注浆体强度标号不宜低于 M30。

9.2.5 钢锚管设计应符合下列规定：

- a) 钢锚管可用于破碎岩层和极软弱岩层以及地下水丰富的边坡。
- b) 钢锚管应采用热轧无缝钢管制作，末端宜焊接 U 型托架。钢锚管内壁应用钢丝球洗刷开孔毛刺。
- c) 钢锚管封孔注浆可由钢花管外 PVC 管自孔底注浆至孔后溢出净浆。

- d) 钢锚管封孔注浆后应分段劈裂注浆。劈裂注浆应采用注浆枪注浆自下而上分段进行，分段长度 0.5 m~1 m，注浆压力 1.5 MPa~2 MPa。
- e) 钢锚管应开展注浆试验，验证注浆设计参数和施工工艺的适用性。
- f) 钢锚管注浆完成后宜补打仰斜排水孔。
- 9.2.6 锚索设计应符合下列规定：
- a) 预应力锚索宜用于边坡深层加固，锚固地层宜为强风化碎块状以上岩层。
- b) 腐蚀性环境中的预应力锚索宜采用环氧钢绞线、抗硫酸盐水泥注浆体等增强耐久性的措施。
- c) 土层锚索锚固段长度不应小于 8 m，并不宜大于 12 m；岩石锚索锚固段长度不应小于 5 m，且不宜大于 10 m。
- d) 锚索自由段伸入滑动面或潜在滑动面的长度不宜小于 1.0 m，且自由段长度不应小于 5.0 m。
- e) 当锚固能力不足时，可采用劈裂注浆、扩大孔径、设置支盘等提高锚固性能的方法。
- f) 预应力锚索锚固端应除锈，自由端应涂防锈漆后涂防腐润滑脂，并套高强塑料软管或 PVC 管。锚固段内架线环间距宜为 0.75 m，自由段内架线环间距宜为 1 m。
- g) 框架梁中锚索套管应设置补浆钢管。
- h) 锚索锚具宜采用带螺纹可调式低回缩锚具，锚具应具有补偿张拉的功能。锚索张拉段长度不宜小于 1.5 m。对坡面较软弱等可能预应力损失的工程，应补偿张拉后再剪锚。锚索张拉锁定后钢绞线切割的外留段长度不应短于 10 cm。
- i) 锚索张拉宜在锚固体强度大于 20 MPa 并达到设计强度的 80%后进行。锚索设计应设置合理的超张拉系数，张拉锁定后预应力保留值应满足设计要求；对滑坡等可能会产生一定变形的工程，预应力锚杆的锁定值宜为锚杆设计预应力值的 0.65~0.85 倍。
- j) 封锚混凝土强度标号不宜低于 C35，封锚混凝土与锚垫板之间宜设连接钢筋。

9.3 挡土墙

9.3.1 挡土墙可用于路基收坡、滑坡处治，及防止冲刷或边坡固脚。

9.3.2 挡土墙设计应根据路基横断面、地形、地质条件和地基承载能力，合理确定挡土墙类型和规模，可参考表 30 选择适宜的挡土墙类型。

表 30 一般条件下挡土墙类型、适用条件和材料要求

挡土墙类型	适用条件	材料要求
重力式挡土墙	一般地区、浸水地区和高烈度区的路堤和路堑。墙高不宜超过 10 m	≥C20
石笼式挡土墙	地下水较多的土质、风化破碎岩石挖方路堑，或受水流冲刷影响的路堤	——
悬臂式挡土墙	石料缺乏、地基承载力较低的填方路段	≥C30
扶壁式挡土墙	石料缺乏、地基承载力较低的填方路段	≥C30
桩板式挡土墙	表土及风化层较薄的均质岩质地基，或地震区的路堤或路堑滑坡治理	≥C30
加筋土挡土墙	有面板加筋挡土墙可用于一般地区的路堤式挡土墙、路堑式挡土墙，而无面板土工格栅加筋挡土墙可用于一般地区的路堤式挡土墙，但均不宜修建于滑坡、水流冲刷、崩塌等不良地质地段。墙高不宜大于 12 m；当采用多级时，每级墙高不宜大于 10 m，上、下级墙体之间应设置宽度不小于 2 m 的平台	——

注：当需要采用加筋土挡墙时，宜进行专项论证，以确保结构的稳定和耐久性，且筋材设计强度宜采用 2%应变下的抗拉设计强度。

9.3.3 挡土墙应验算抗滑移稳定性、抗倾覆稳定性、墙体与地基的整体稳定性及地基承载力，并满足规范要求。挡土墙稳定性计算宜按附录 B 验算。

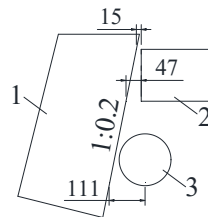
9.3.4 用于路堤收坡的挡土墙应符合下列规定：

- a) 应根据地形地貌、地质条件、挡土墙高度等合理选择挡土墙类型。

- b) 挡土墙地基承载力不满足要求时，宜采用换填、复合地基、微型桩或桩基础等措施。
- c) 挡土墙基础底面应低于沟底的底面。挡土墙与路堑相连时，挡土墙端部应嵌入路堑坡体内，其嵌入原地层的深度，土质地层不应小于 1.5 m，强风化或软质岩层不应小于 1.0 m，弱、微风化岩层不应小于 0.5 m。
- d) 墙后应设置反滤层，俯斜式挡土墙、衡重台以上挡土墙、悬臂挡土墙的反滤层厚度不应小于 30 cm。仰斜式挡土墙、衡重台以下挡土墙、扶壁挡土墙的反滤层厚度不应小于 50 cm。反滤层宜采用砂砾、碎石等。
- e) 墙身应设置泄水孔，孔径不宜小于 80 mm，间距宜为 2.0 m~3.0m，上下左右交错布置；泄水孔进水口处应包裹透水土工布；泄水孔向墙外倾斜，坡度宜为 3%~5%；最下排泄水孔的底部应高出地面 0.3 m，其底部与地面之间设置隔水层。在地下水较多的地段，泄水孔应加密，或适当增大泄水孔孔径，必要时可采用挡墙直接开孔形式排泄墙后积水。
- f) 挡土墙外侧应设置边沟，墙脚与边沟之间应采用浆砌片石或混凝土硬化。浆砌片石厚度不宜小于 30 cm，强度等级不应低于 M10，片石应采用不易风化的中硬、硬质石料。混凝土厚度不宜小于 15 cm，强度等级不应低于 C20。
- g) 路堤两侧急流槽与挡土墙相交处，应在挡土墙外侧设置消能池或硬化地面，地面硬化或消能池尺寸应根据水流情况确定。

条文说明：

e) 由 7.4.6 条文说明可知，反滤层不但具有形成面状排水层的作用，而且解决压路机难以靠近墙背的难点。结合说明图 5 可知，为压实墙后黏性土，俯斜式挡土墙、衡重台以上挡土墙、悬臂挡土墙反滤层厚度要求大于 30cm，仰斜式挡土墙、衡重台以下挡土墙、扶壁挡土墙的反滤层厚度不应小于 50cm。



标引序号说明：

1—俯斜式挡土墙；2—平行挡土墙走向的钢轮；3—垂直挡土墙走向的钢轮

说明图 5 压路机与俯斜式挡土墙的关系

9.3.5 用于路堑收坡的挡土墙应符合下列规定：

- a) 宜采用仰斜式挡土墙。墙后应设置反滤层，反滤层可采用砂砾、碎石、复合排水垫等。
- b) 路堑抗滑挡墙向两端延伸布置时，宜逐渐降低挡墙高度，与稳定段的路堑坡面平顺相接。
- c) 高大挡墙两端宜设置检查踏步，挡墙上部宜设置扶手。
- d) 挡土墙地基承载力不满足要求时，宜采用换填、微型桩或桩基础等措施。
- e) 挡墙宜采用片石混凝土或素混凝土，混凝土等级不应低于 C25。

9.3.6 用于滑坡处治时，挡土墙设计应符合下列规定：

- a) 抗滑挡土墙宜用于滑坡（或潜在滑坡）规模较小、厚度较薄、滑坡推力小于 300 kN/m 的边坡，且挡墙基坑开挖后不会引起滑坡复活或产生新的滑动。挡墙应分段跳槽开挖，分段不应大于 15 m。
- b) 抗滑挡土墙应布置在滑坡剪出口、潜在剪出口的附近或滑坡阻滑段的前部区域，并宜与反压措施相结合。
- c) 抗滑挡墙墙高不宜超过 10 m；当高度超过 10 m 时，宜与抗滑桩板墙或其他工程措施比选。
- d) 抗滑挡墙宜采用片石混凝土或素混凝土，混凝土等级不应低于 C25。

- e) 挡墙背后土层潮湿或具有膨胀性时，应在土体中设置支撑渗沟；渗水量较大时，可在墙背排水层底部增设纵向管式或洞式渗沟；有泉水出露时，应设置纵、横向排水暗沟。

9.4 抗滑桩

9.4.1 抗滑桩可用于滑坡处治、路基边坡加固。

9.4.2 抗滑桩设计应收集工点地质、环境等相关资料，进行坡形设计、边坡或滑坡稳定性分析并计算滑坡推力；结合稳定分析情况、边坡或滑坡形态进行抗滑桩具体布置，之后进行抗滑桩结构验算，根据验算结果进行相关配筋及构造设计。

9.4.3 抗滑桩应采取动态设计和信息化施工。抗滑桩设计应根据桩基开挖过程中揭示的地质情况和边坡变形监测信息，及时核实地质勘察结论，校核和完善抗滑桩设计。必要时，应补充地质勘察。

9.4.4 抗滑桩计算应符合下列规定：

- a) 稳定系数应取稳定安全系数，滑动面以上的桩后推力宜取 6.3.3 计算的桩条块与桩之间的作用力，桩前抗力取宜取 6.3.3 计算的桩与桩前条块之间的作用力，宜按附录 A 计算抗滑桩的位移和作用效应。
- b) 多排抗滑桩纵向桩间距较大时，宜分段计算各排桩的滑坡推力；当两排桩之间纵向间距较小时，尚应考虑两排桩之间的相互作用。
- c) 抗滑桩截面尺寸及锚固段深度应满足桩侧最大压应力不大于地基横向容许承载力的要求。悬臂式抗滑桩需要控制地基变位时，最大变位应不超过容许值。
- d) 抗滑桩身、桩间板等结构应按现行《混凝土结构设计规范》（GB 50010）进行设计，其荷载分项系数的取值应符合现行《建筑结构荷载规范》（GB 50009）、《建筑地基基础设计规范》（GB50007）的有关规定。一般情况下，永久荷载分项系数可采用 1.35。
- e) 抗滑桩桩身按受弯构件设计，当无特殊要求时，可不进行变形、抗裂、挠度等验算。
- f) 桩顶位移应根据被保护对象的需求、桩侧地层水平承载力等综合确定。桩顶位移不宜于桩悬臂端长度的 1/100，且不大于 100 mm。锚索抗滑桩的桩顶位移不宜大于 50 mm，且不应超过锚索自由段允许的弹性变形。

条文说明：

《公路路基设计规范》JTG D30-2015 采用桩后推力剩余下滑力与库仑土压力的大者，存在以下问题：（1）不清楚库仑土压力是主动土压力还是被动土压力；（2）剩余下滑力平行于滑动面，库仑土压力与墙背法线的交角为界面内摩擦角，两者方向不相同，不应取大者。（3）计算剩余下滑力时滑动稳定安全系数大于 1，计算库仑土压力时滑动稳定安全系数等于 1，可能出现以下情况：桩后推力非常大时，桩后滑体与桩之间产生相向位移，桩后滑体内可能形成被动破裂面，桩与滑动面的交点处出现两个滑动面，桩后出现两个大小和方向均不相同的推力，难以选择；无论抗滑桩多强大，桩后土体都会被挤出，也无法阻止滑坡发生。导致该现象的主要原因是，两者计算推力计算方法采用的滑动稳定安全系数不同，导致滑坡体人为形成软弱面。

朗肯土压力理论、库仑土压力理论均是采用边坡稳定分析方法计算土压力方法的一个特例，只使用于滑动稳定安全系数等于 1 的情况。本规范采用边坡稳定分析的方法确定滑动面以上桩后推力、桩前抗力，以此设计的抗滑桩必然能满足边坡稳定要求。

9.4.5 根据边坡或滑坡工程特点，抗滑桩可采用埋入式抗滑桩、悬臂式抗滑桩、预应力锚索抗滑桩等。

9.4.6 用于滑坡处治时，桩的平面布置、桩间距、桩长和截面尺寸等应综合考虑确定，并符合以下规定：

- a) 抗滑桩布置应符合下列规定：
 - 1) 抗滑桩布置方向应垂直主滑方向。

- 2) 抗滑桩宜选择在潜在滑坡或滑坡厚度较薄、推力较小、锚固段地基强度较高及有利于抗滑的位置设置。
- 3) 抗滑桩布置应避免滑坡体越过桩顶或从桩底和桩间滑动，并与周围景观相协调。
- 4) 抗滑桩根据滑坡推力大小、分布等性状及稳定要求，可设置成单桩或为排架式。
- 5) 滑坡沿滑动方向的长度较大时，可视地表形态、滑动面(带)倾角、推力大小及分布、滑体厚度等因素可设置多排抗滑桩进行分段阻滑。每段宜以单排布置。
- 6) 抗滑桩宜采用矩形截面，截面的长边应沿主滑方向布置，桩间距宜为 5 m~8 m；当采用圆桩抗滑圆形桩时，桩中心距宜为 3 m~5 m，主筋布置方向应与主滑方向一致。具体的截面尺寸应根据滑坡推力大小、桩间距、锚固段地基强度等因素确定。
- 7) 抗滑桩的平面布置、桩间距、桩长和截面尺寸等应综合考虑确定，保证滑坡体不越过桩顶或从桩底和桩间滑动。

b) 抗滑桩结构设计应符合下列规定：

- 1) 矩形断面的抗滑桩宽宜 1.5 m~2.5 m，长度宜 2 m~4 m。圆形断面的抗滑桩直径宜 1.5 m~2.5 m。
- 2) 抗滑桩桩长宜小于 35 m。对于滑动面(带)埋深大于 25 m 的滑坡，宜论证抗滑桩阻滑的可行性。
- 3) 桩前悬臂段临空时，可在桩间设置挡土板；路堤抗滑桩的挡板宜设置在路堤内侧。
- 4) 当桩的悬臂长度大于 12 m 及桩侧滑坡推力或土压力较大时，可在桩上部加设预应力锚索或抗滑桩之间应用钢筋混凝土系梁连接。锚索锚固段应置于稳定地层内。
- 8) 当抗滑桩弯矩过大时，宜采用预应力锚索抗滑桩，锚索锚固段应置于滑动面以下稳定岩层内。

9.4.7 用于路堑边坡时，抗滑桩尚应符合下列规定：

- a) 埋置式抗滑桩埋置深度除应考虑滑动面埋深外，还应考虑桩前边坡是否稳定，保证足够的锚固段长度。必要时可采用预应力锚索桩或在桩前边坡上用预应力锚索或长锚杆加固边坡，以改善桩的受力。
- b) 当路堑边坡地质条件差时，可采取设置连梁的方式协调变形，连梁 15 m~20 m 应设置伸缩缝。
- c) 设置悬臂桩时，应采取措施保障桩间挡板与抗滑桩的有效连接。

9.4.8 用于路堤边坡时，抗滑桩尚应符合下列规定：

- a) 抗滑桩可与墙、柱联合应用。挡土板宜设置在填土层。
- b) 用于斜陡坡路堤时，应考虑桩前土体或边坡的稳定性，当桩前土体有可能滑移时，不应考虑该土体对稳定性的贡献。
- c) 新建路堤不宜设置锚索，设置锚索桩时应考虑填土施工、沉降对锚索预应力的影响，并采取消除影响。
- d) 路堤设置渗沟时，抗滑桩挡板上应设置与渗沟连通的泄水孔，泄水孔断面不宜小于 0.1 m²。

9.5 微型桩

9.5.1 微型桩可用于边坡预加固、浅层滑坡处治、挡土墙地基处理，或与挡土墙组合形成微型桩挡墙等。

9.5.2 微型桩直径宜采用 15 cm~30 cm，筋材可采用钢筋笼、钢筋束、钢管、型钢、钢轨等。当微型桩用于永久性工程时，需考虑筋材的防腐蚀和耐久性。

9.5.3 微型桩加固土质、类土质边坡或滑坡时，应符合下列规定：

- a) 微型桩宜设在滑体较薄、嵌固段地层强度较高的地段。
- b) 微型桩不宜少于 3 排，平面宜梅花形布置。桩顶宜设置连梁，可与预应力锚索联合应用。

- c) 桩间距不宜大于 1.0 m，桩直径宜采用 13 cm~18 cm。
- d) 微型桩长度不宜超过 30 m，岩土体条件好时取上限值，条件差时取下限值。桩底穿过潜在滑动面不宜少于 7 m 或进入岩层。
- e) 筋材宜采用钢筋束、钢管等，松散土体中应采用袖阀管等工艺进行分段劈裂注浆。
- f) 微型桩顶面宜设置连梁。
- g) 稳定系数应取稳定安全系数，滑动面以上的桩后推力宜取 6.3.3 计算的桩条块与桩之间的作用力，桩前抗力取宜取 6.3.3 计算的桩与桩前条块之间的作用力，宜按附录 A 计算抗滑桩的位移和作用效应。
- h) 微型桩的抗滑作用可按附录 C 计算。

9.5.4 微型桩加固全风化、强风化岩质边坡、滑坡时，应符合 9.5.3 的规定，加固中风化~未风化岩质边坡或滑坡时，应符合下列规定：

- a) 微型桩宜设在滑体较薄的地段。
- b) 微型桩不宜少于 3 排，宜梅花形布置。
- c) 微型桩桩间距不宜大于 2 m，桩直径宜采用 18 cm~30 cm。
- d) 桩底穿过潜在滑动面不宜少 5 m。
- e) 筋材宜采用钢筋笼、钢管、型钢、钢轨等。
- f) 稳定分析时，微型桩宜视为抗剪构件，微型桩的抗滑作用可按附录 C 计算。

9.5.5 微型桩加固挡土墙地基，或与挡土墙组合形成微型桩挡墙时，应符合下列规定：

- a) 微型桩不宜少于 2 排，桩直径宜采用 18 cm~30 cm。
- b) 当微型桩用于挡土墙的复合地基时，微型桩不宜插入墙身，桩身可不配筋。前排桩应设置在墙趾处。微型桩桩径、桩长、桩身强度等应根据单桩抗压承载力验算确定。
- c) 当微型桩用于提高挡土墙抗倾覆或抗滑移稳定性时，微型桩应插入挡土墙，桩身应配筋。前排桩宜靠近墙趾。微型桩桩径、桩长、筋材、桩身强度等应根据单桩抗拔、抗压、抗剪等承载力验算确定。
- d) 挡墙和微型桩可按附录 C 计算。

10 施工

10.1 一般规定

10.1.1 施工前应熟悉设计文件、领会设计意图，并根据地形地貌、设计意图、工期要求等，合理安排施工顺序，采取措施保证工程质量和工期。

10.1.2 宜利用无人机摄影等技术加强施工管理。

10.1.3 施工应遵循“动态设计、动态施工”原则。施工过程中发现地质条件、水文条件与勘察设计文件不符时，应暂停相关工序施工，由建设单位组织勘察、设计、施工、监理等单位进行现场核查，必要时开展补充勘察，按动态设计原则调整设计方案后，方可恢复施工。

10.1.4 高填深挖路基施工应建立关键工序施工记录档案，以下工序应留存照片或视频等施工过程记录：

- a) 基底清表、台阶开挖及松散土挖除；
- b) 渗沟沟槽开挖、排水管安装、反滤层施工及封顶前连通性检验；
- c) 锚索钻孔、下锚、注浆及张拉锁定；
- d) 填平区基底处理及分层填筑压实；
- e) 设计变更涉及的施工工序。

10.1.5 雨季施工应符合下列规定：

- a) 基底清表后暴露时间不宜超过 24 h，应及时进行填筑或覆盖；
- b) 渗沟沟槽应随挖随填，暴露时间不宜超过 12 h；
- c) 锚索注浆后 24 h 内应采取防雨措施，避免浆液被冲刷；
- d) 填平区基底处理后应及时进行底层填筑，避免积水浸泡。

10.2 路堤

10.2.1 施工安排

- e) 高填斜陡路堤应优先安排施工，宜预留一个雨季或 6 个月以上的沉降期。需缩短工期时，可根据产生工后沉降的主要因素采取相应措施。
- f) 结合临时排水需求、工期要求等，合理安排基底处治、渗沟、涵洞、挡墙的施工顺序。地形复杂的路段可采用反开挖方式半幅交替进行涵洞、通道桥等施工。
- g) 沟谷中的支挡结构、护脚墙及其后填土不能在雨季前施工完毕时，沟谷中的挡土墙、护脚墙宜在内侧填土高于墙顶后实施。

条文说明：

不同路段的高路堤、陡坡路堤产生工后沉降的主要原因可能不同，高路堤通常为软弱土层压缩，斜坡路堤、陡坡路堤通常为山体地下水入渗导致填土湿陷变形。针对产生工后沉降的主要原因采取对策，方可减少工后沉降。

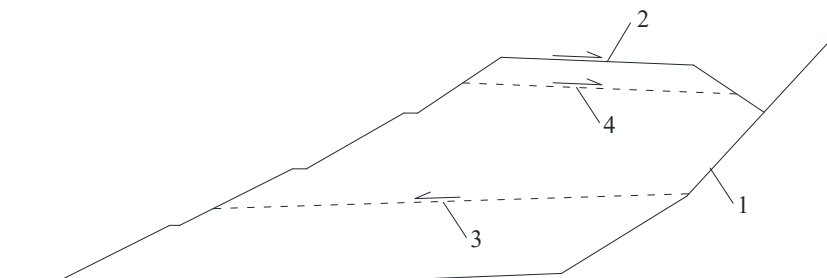
沟谷中挡土墙、护脚墙施工后会阻碍沟谷地表水排泄，通常墙后填土不高于墙顶后再施工挡土墙、护脚墙，并在填土顶面设置截水沟或挡水埂，将地表水引至挡墙两侧排至下游。

10.2.2 施工便道应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 合理选择便道位置，施工便道宜设置在路堤坡脚外。
- b) 对路基范围内的施工便道，应随路基填筑及时挖除。对填筑厚度较大、挖除难度较大的便道，应对施工便道的填土采取强夯、翻挖压实、注浆等处治措施。

10.2.3 临时截排水应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 施工便道与沟谷、冲沟等相交处应设置临时圆管涵，便道坡脚应设置临时边沟，路基上游应设置与圆管涵连通的临时截水沟。当永久排水完善后，应对临时圆管涵采用混凝土、水泥砂浆或水泥浆等进行填充或封堵。
- b) 坡顶应设置拦水埂，坡面应设置临时急流槽，路堤坡脚应设置临时边沟，路基外应设置临时排水沟，并接入当地排水系统。
- c) 填土顶面宜设置不缓于 4% 的横坡。对斜陡坡位于超高内侧的路段，填土低于超高内侧坡脚时，路基横坡宜倾向超高外侧或沿路基边缘设置临时纵向排水沟，如图 34 所示。

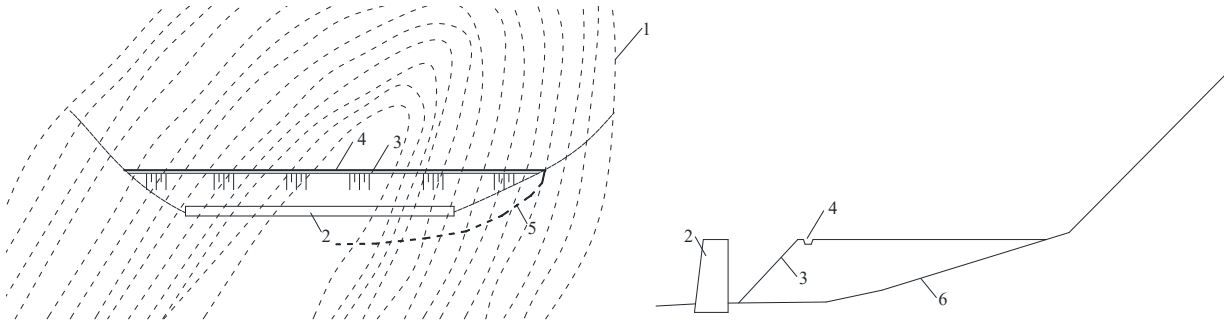


标引序号说明：

1—地面；2—路基；3—下部填土横坡；4—上部填土横坡

图 34 填土横坡设置

- d) 沟谷中的挡土墙、护脚墙及其后填土无法在雨季前施工完毕时，挡土墙、护脚墙上游填土顶面宜设置临时截水沟或拦水埂，并将地表水引至下游，如图 35 所示。



标引序号说明：

1—等高线；2—挡土墙；3—挡内侧填土边坡；4—填土顶面截水沟；5—斜坡上排水沟；6—地面

图 35 挡墙上游临时截排水措施

- e) 临时排水措施宜与永久性排水设施相结合。
- 10.2.4 清表施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：
- 斜陡坡上的清表可随路堤填土施工分层实施。
 - 清表厚度应满足设计要求，并将植被、腐质层等挖除，应避免遗漏施工便道弃土覆盖的植被和腐质层等。
- 10.2.5 松散土处治与台阶开挖施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：
- 台阶宜在清表后，随路堤填土施工分层开挖。
 - 台阶开挖可结合松散土层挖除进行。对斜陡坡上的厚层崩坡层，开挖台阶前应先进行动探测试，根据动探结果和设计要求确定台阶开挖范围。
 - 薄填路基的台阶开挖应结合超挖填筑要求进行。
 - 台阶尺寸、倾角等应符合设计要求。
- 10.2.6 工程复核应符合下列规定：
- 清表后应复核地形地貌、渗水点或泉水、路基断面、涵洞进出水口高程和平面位置与地方道路或水系的衔接情况、支挡结构高度和埋深、补强压实工艺与路段长度与周围环境的匹配性等；
 - 应结合清表、台阶开挖、超宽填筑、附近路堑和便道开挖等进行地质复核，地质复核宜与勘察代表共同完成。
 - 沟谷路堤、非沟谷路堤的较平坦区域均应采用挖探、动探等手段复核地基地层情况，复核点间距不宜大于 10 m。
 - 当地形地貌、地质条件、支挡结构高度或埋深与设计文件差别较大时，应及时反馈，尤其存在以下情况时：
 - 路堤范围存在泉水或斜陡坡存在渗水点但设计文件未设置相应排水措施。
 - 路堤范围内的斜陡坡上存在厚层崩坡积土且与勘察设计文件差别较大。
 - 路堤范围内的斜陡坡上存在泥岩、砂质泥岩、灰岩、煤系地层且勘察报告未揭示。
 - 软基分布范围或深度与设计差别较大。
- 10.2.7 地基处理施工除应符合 DB44/T 2418 的规定外，尚应符合下列规定：
- 换填施工时，应根据坑底土质判断确定换填范围和换填深度，对粉质黏土、黏土还需要根据轻型动力触探、标准贯入试验等测试的承载力确定换填范围和换填深度。
 - 就地固化时宜采用挖探、承载力测试等确定处治范围和处治深度。

- c) 采用预制桩时，采用锤击法施工时，每根桩均应根据收锤标准确定桩长，不应分区试桩后分区采用相同桩长。
- d) 采用 CFG 桩或素混凝土桩时，对每套施工设备应根据实桩确定终孔电流。
- e) 设置连梁时，应严格控制桩顶标高，避免桩顶进入桩帽的长度超过设计要求。
- f) 采用袋装砂井时，试打确定砂井长度的分区面积不宜大于 100 m²。

条文说明：

山区基岩面倾斜，导致软弱土厚度变化大，地基处理深度确定是个难题。换填法需要根据坑底土质和承载力确定换填范围和深度；就地固化前需采用挖探等方法查清软土空间分布；锤击法施工的预制桩需要每根桩均按收锤标准确定桩长，不允许分区试桩后分区采用相同桩长；对袋装砂井，需要缩小试打分区面积。

10.2.8 地下排水设施施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

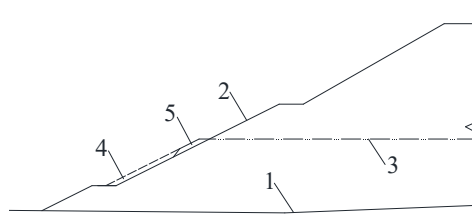
- a) 渗沟位置应满足设计要求，沟心渗沟、环向渗沟不应高于原地面。
- b) 斜陡坡上的沟心渗沟可随路基填土分段施工。分段上端应采用反滤土工布包裹，施工下一段渗沟时再将上端土工布去掉。
- c) 渗沟经过挡土墙、护脚墙时，应保证渗沟水顺畅排至墙外。
- d) 减压孔或减压孔施工深度应以进去承压水层为主，设计深度为辅。施工后应采取措施避免损坏和堵塞。

条文说明：

斜陡坡上的沟心渗沟较陡，路基填筑前一次性施工的难度较大，可以分段施工。为避免浑浊的地表水淤堵渗沟，渗沟分段的顶面需采用反滤土工布包裹。

10.2.9 路堤填筑施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 路堤应超宽填筑和修坡，超宽宽度不应小于 50cm，修坡后的路基宽度、坡率应满足设计要求。根据修坡机械臂长确定修坡工作面位置，修坡时应保留部分超宽填筑土方并宜利用挖机等采对其压实，保证后续超宽填筑边坡稳定，如图 36 所示。



标引序号说明：

- 1—地面线；2—设计边坡线；3—修坡工作面；4—修坡部分；5—暂留超宽

图 36 填方边坡超宽填筑与修坡示意

- b) 台背、涵背、墙背、与路基走向斜交或垂直的台阶附近的填土应采用液压夯实。
- c) 红砂岩等易崩解岩石填筑前洒水崩解时间不宜少于 14 d，否则应采用机械解小至粒径不大于 30 cm。路堤填筑时应采用强夯或冲击碾压进一步机械预崩解。
- d) 路基补强施工应满足设计要求。有效施工净面积不宜小于 2000 m²或最短直线作业长度小于 100 m 时，不宜采用冲击碾压方法，现场条件不满足时应反馈给相关方。采用液压夯实、超重压实、冲击碾压、强夯等进行补强时，补强工艺宜结合地形地貌及试验段效果综合确定，也可参考表 31 确定。

表 31 补强工艺

序号	补强方法	补强工艺
1	液压夯实	对路床及路堤每 1 m 厚采用不小于 36 kJ 的夯实能进行高速液压夯实，夯点间距 1.2 m~1.3 m，最后 3 锤的累积夯沉量不大于 20 mm，通常不少于 12 锤击，夯击频率不低于 30 击/min
2	超重压实	对路床及路堤每 1 m 厚采用 32 吨及以上压路机进行振动碾压，最后 1 遍新增沉降平均值不大于 5 mm，标准差不大于 3 mm，通常不少于 5 遍
3	冲击碾压	对下路床及路堤每 2 m 厚采用不小于 30 kJ 的冲击能进行冲击碾压，行驶速度(10~12) km/h，最后 5 遍的新增沉降量平均值不大于 10 mm~30 mm，通常不少于 20 遍
4	强夯	对路堤每 4 m~5 m 采用不小于 2000 kNm 的单击能进行点夯，间距 3.5 m~4 m，最后 2 锤的平均夯沉量不大于 5 mm，通常不少于 5 锤，并采用不小于 800 kNm 的单击能普夯，通常不少于 1 锤。

条文说明：

压路机通常平行路基行走，与路基走向斜交的台阶附近存在难以压实的填土，形成地下水通道。因此，要求与路基走向斜交的台阶附近采用液压夯实。

10.2.10 土工合成材料施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- 路床中土工格室一个方向的条带应垂直路基走向，土工格室中填料宜采用专用设备布料填充。
- 格栅铺设时，应先用 U 形钉固定一端，另一端拉紧后固定另一端，再设置中间的 U 形钉。格栅铺设方向、U 形钉间距均应满足设计要求。

10.2.11 地表排水设施施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- 急流槽应在路堤边坡削坡并进行坡面压实度检测后施工。边坡两侧的斜向急流槽沟壁不应高于坡面，两侧应回填密实。
- 横向排水管、路缘石开口应与急流槽衔接顺畅，必要时在横向排水管、路缘石开口处增设急流槽。
- 边沟、截水沟、排水沟地面纵坡应符合设计要求，沟侧回填应密实，三者之间应衔接顺畅。

10.2.12 防护与巡检通道施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- 防护结构、巡检通道施工工艺应符合设计要求。
- 防护结构、巡检通道应在路堤边坡削坡并进行坡面压实度检测后施工。
- 骨架导水槽表面应与坡面填土齐平。
- 骨架内坡面水应能顺畅地流至平台截水沟、边沟或急流槽。

条文说明：

b) 坡面压实度不足是质量通病，也是防护工程损毁的主要原因，因此要求防护结构在坡面压实度检测后施工。

10.2.13 填平区施工应符合下列规定：

- 填平区的地下排水、填土等应与路堤同步施工，填土压实度应满足设计要求。
- 填平区施工前应完成基底排水系统（包括基底渗沟、排水垫层等）施工，并经检验确认排水通畅后方可进行填土作业。
- 填平区顶面平整，纵横向坡度均应满足设计要求，不应出现凹形汇水地形、反坡、积水。
- 填平区截水沟、排水沟纵坡应保证排水顺畅，不应积水、漏水。
- 填平区设置防渗层时，防渗膜应黏结密实，并采取措施避免填土破坏密封膜。
- 路堤设置排水涵洞的填平区顶面标高应不低于设计标高。

10.3 路堑边坡

10.3.1 临时截排水施工应符合下列规定：

- 边坡开挖前宜先设置临时截水沟，平台设置临时截水沟。
- 边坡加固措施施工完毕后再完善永久排水系统。

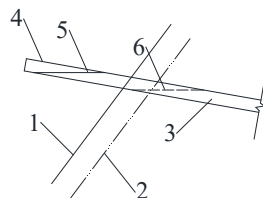
10.3.2 边坡开挖除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 边坡开口线应经监理工程师复核确认同意后，方可以开挖。路堑开挖过程中，应加强测量工作，确保边坡坡形坡率、平台宽度等符合设计要求。
 - b) 应根据地层岩性、周边环境等选择合适的开挖工艺。石质边坡爆破开挖时，坡面附近应采用光面爆破、预裂爆破等工艺，并应清除危石；土质路堑开挖时，边坡应留 20~30cm 余量用精修，防止施工时造成超挖。
 - c) 边坡应开挖一级，防护一级，不得一次开挖到底，坡体开挖应对边坡变形监测同步进行，对于局部变形较大的边坡宜增加深层监测。
 - d) 当边坡整体变形较大或开挖揭露的岩性、岩层产状与风化程度与勘察出入较大时，应及时通知监理单位、设计单位、建设单位代表到场确认。
 - e) 施工中应加强安全防护。
- 10.3.3 防护与排水施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：
- a) 边坡防护与排水宜在边坡变形稳定或边坡加固后实施。
 - b) 边坡排水系统应连通顺畅，不得积水。
 - c) 骨架嵌入坡面的深度应符合设计要求。

10.4 锚固与支挡工程

10.4.1 锚固工程施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 锚固工程应在大规模施工前选择代表性锚固地层开展基本试验，验证锚固设计参数和施工工艺的适用性，并应符合下列规定：
 - 1) 试验锚杆、锚索根数不应少于 3 根。
 - 2) 钻孔直径、钻孔工艺、锚固段地层应与设计相同。
 - 3) 注浆长度可取锚固段长度设计值或 3 m~5 m。筋材抗拉力应大于注浆体与孔壁、筋材控制的极限锚固力。
 - 4) 孔口 0.5m~1m 范围内不应注浆。
 - 5) 坡面承载体宜采用钢筋混凝土板，并与锚筋分离。
 - 6) 张拉时应张拉至锚筋位移不小于 5cm。
- b) 边坡应开挖一级加固一级。
- c) 锚固工程施工前宜利用坡面拉线等措施进行标识锚杆、锚索、格梁、框架梁的位置。
- d) 锚索、锚杆应采用风动潜孔锤钻孔，禁止采用水冲钻进，塌孔严重时可采取跟管、固结注浆等措施。
- e) 钻孔后应立即下放锚索、锚杆并注浆。
- f) 一次注浆应利用插至孔底的注浆管注浆至孔口溢出净浆。浆液流失严重时，可采取多次注浆、减小水灰比、添加速凝剂等措施。一次注浆后，浆面下降时应补浆至孔口溢浆。锚杆应在钻孔孔口设置外径与钻孔直径相同、长度不小于 1m 的注浆套管，如图 37 所示。



标引序号说明：

1—坡面；2—格梁底面；3—钻孔；4—塑料套管；5—设套管时浆面；6—不设套管时浆面

图 37 锚杆孔口套管作用示意

- g) 进行劈裂注浆的时间应按照孔口不冒浆、劈裂破壳压力不大于 10MPa 的原则根据试验确定。劈裂注浆宜每米注浆量和劈裂注浆压力进行双控，满足其中一个条件即可。劈裂注浆压力宜 2.0~3.0MPa，稳压时间不宜少于 5min。劈裂注浆宜采用袖阀管分段注浆。
- h) 格梁、框架梁宜采用开槽机开槽。人工开槽时，应沿格梁、框架梁设置踏坑和安全绳，并有上向下开挖槽。格梁、框架梁开槽深度应满足设计要求。
- i) 锚杆格梁绑扎钢筋前应检查梁下钻孔注浆是否饱满，不饱满时应清除干净孔中泥土后填满 C30 混凝土或 M30 砂浆。
- j) 锚索框架梁绑扎钢筋前应凿除锚索浆体至框架梁底面以下 10cm，并设置 PVC 套管。PVC 套管应伸入框架梁不少 5cm，PVC 套管与框架梁套管之间应塞填砂浆或编织袋等避免混凝土进入套管的物质。
- k) 框架梁钢筋绑扎时，应按设计倾角支撑钢绞线，按设计要求安装锚垫板、框架梁套管、补浆管等，锚垫板应与锚索轴线垂直。
- l) 格梁、框架梁两侧应按设计要求填筑砂浆或混凝土。格梁、框架梁应采取覆盖养生膜等混凝土养护措施。
- m) 锚索张拉锁定前应按设计要求比例进行检测和验收。锚索张拉前框架梁强度应满足设计要求。
- n) 锚索封锚前宜二次张拉，二次张拉后应利用补浆孔补浆至溢浆孔溢浆。
- o) 裁剪钢绞线时，露出锚具长度的不宜小 100 mm。
- p) 封锚尺寸和混凝土强度标号应符合设计要求，并应振捣或插捣密实。拆模后应采取覆盖养生膜等混凝土养生措施。

条文说明：

相对锚索，锚杆的倾角较小、格梁嵌入坡面的深度较小，易出现格梁下浆体不饱满、锚杆锈蚀的现象，因此建议孔口设置注浆套管。

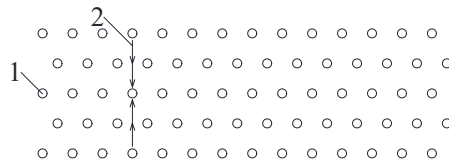
锚索框架梁与浆体间距 10cm 的主要目的是避免验收时浆体直接抵住框架梁。

10.4.2 挡土墙施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 施工前应复核挡土墙所在位置、地面高程、挡土墙高度与埋深、地基承载力、与其他构筑物的关系等，与勘察设计存在较大出入时应反馈。
- b) 挡土墙施工前应按 10.2.3d) 作好截排水措施，基槽内积水时应作好抽排水措施，基坑严禁泡水。
- c) 挡土墙基础施工应分段跳槽开挖，分段长度不宜大于 15m，做到随挖、随验、随封，不得长期暴露，按设计设置向内倾斜坡度。
- d) 挡土墙对应渗沟的位置应按设计要求设置排水管，排水管应与渗沟排水管衔接。
- e) 挡土墙安装模板时应按设计要求设置泄水孔，最下排泄水孔宜与墙后反滤层底面齐平。拆除模板后应检查、疏通泄水孔。
- f) 挡土墙分层施工时，应注意预埋石笋或钢筋，连接处混凝土面应凿毛。
- g) 挡土墙施工后应采取洒水、覆盖养生膜等养生措施。
- h) 挡墙混凝土或砂浆强度不小于设计强度的 75%后，方可进行墙背回填。
- i) 墙后填料应符合设计要求，既有填土边坡清除松散填土并开挖台阶，清表厚度不应少于 0.5m，台阶宽度不应小于 1m。
- j) 应设计要求分层施工反滤层，应先填筑反滤层，然后填筑相应土层。墙背 0.5m 范围内，不应使用重型压路机碾压。碾压墙后填土时压路机应沿挡土墙走向行走，对扶壁式挡土墙，扶壁之间的填土宜采用高速液压夯实机进行夯实，分层厚度不应大于 1m。

10.4.3 微型桩施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 微型桩应根据设计要求或设计意图合理选择施工顺序。超过 2 排时，宜先施工前后两排微型桩，然后逐排向中间施工，如图 38 所示。串孔现象明显时应跳孔施工。



标引序号说明：

1—微型桩；2—施工顺序

图 38 微型桩施工顺序

- b) 微型桩宜采用潜孔锤施工，软土地基等饱和地层中可采用地质钻机、水井钻机等设备施工。
- c) 应采取措施保证筋材的保护层厚度，使钢筋笼、钢管、型钢、钢轨等筋材应位于钻孔中间。
- d) 一次注浆应将注浆管插至孔底，利用注浆管自孔底开始注浆，直至孔口溢出净浆。浆液流失严重时，可采取多次注浆、减小水灰比、添加速凝剂等措施。一次注浆后，浆面下降时应补浆至孔口溢浆。
- e) 劈裂注浆应在一次注浆 12h 后进行。劈裂注浆宜采用袖阀管分段注浆，应加强一次注浆量较少的钻孔或孔段的劈裂注浆。

条文说明：

a) 微型桩多排设置时，其目的往往是形成重力式挡土墙或抗滑挡墙，合理安排施工顺序有利于将桩间土进行固结形成整体。

10.4.4 抗滑桩施工除应符合 JTG/T 3610 的规定外，尚应符合下列规定：

- a) 对用于收坡的抗滑桩，施工前应复核抗滑桩桩位、地面高程、抗滑桩悬臂长度与嵌固深度、地质情况、抗滑桩与其他构筑物的关系等，与勘察设计存在较大出入时应反馈并动态调整。
- b) 抗滑桩应根据设计要求或设计意图合理选择施工顺序，抗滑桩应跳桩施工。
- c) 应根据抗滑桩横截面形状、地层条件、地下水、施工空间等情况合理选择成孔工艺。土层或破碎岩石中挖孔施工时应采用钢筋混凝土护壁，并根据计算确定护壁结构；采用钻孔灌注桩施工工艺时，应执行 JTG/T-3650 标准。
- d) 对用于收坡的抗滑桩，墙后反滤层、填土施工应符合 10.4.2j) 的规定。
- e) 对路堑边坡悬臂式抗滑桩，桩间挡土板应随开挖、随安装、间隔施工，桩间土体不应长期临空裸露。

10.5 改扩建工程

10.5.1 改扩建路堑边坡采用平行扩挖时，采用“分层开挖+通道纵挖法”，并预留防跌落、防飞石的三角区，由上至下逐级推进。

10.5.2 收陡边坡施工应符合下列规定：

- a) 宜开展详细的工序设计。
- b) 应从坡顶自上而下分层开挖，沿边坡走向每间隔一定距离“预留核心土”。
- c) 收陡坡率等于或陡于 1: 0.5 时，最大分级开挖高度不大于 5m，待防护工程生效后方可进行边坡下部开挖。

10.5.3 石方机械开挖设施应安装防飞石装置。

11 检测

11.1 一般规定

11.1.1 路基质量检测点应现场随机选取。

11.1.2 检测过程宜录像或拍照。

11.2 土石方工程

11.2.1 土方路基和填石路基的基本要求、外观质量应符合 JTG F80/1 的规定。填石路基实测项目检测应符合 JTG F80/1 的规定，软土地基处理检测应符合 JTG F80/1 和 DB44/T 2418 的规定。土工合成材料检测应符合 JTG F80/1 的规定。

11.2.2 土方路基检测应符合表 32 的规定。灌砂法检测宜符合附录 D 的规定。

表 32 土方路基检测要求

序号	检测项目		要求或允许偏差	检测频率与方法
1	压实度 (%)	路床	不小于设计要求	密度法:每 200m 每压实层测 2 处
		路堤	不小于设计要求	
		填方边坡坡面	不小于设计要求	环刀法、核子密度仪法或灌砂法, 1 处/400 m ² , 且每级边坡不应少于 1 处
2	弯沉 (0.01mm)		不大于设计验收弯沉值	采用落锤式弯沉仪(FWD)、自动弯沉仪或贝克曼梁测量
3	纵断面高程 (mm)		+10, -15	水准仪: 中线位置每 200m 测 2 点
4	中线偏位 (mm)		50	全站仪:每 200m 测 2 点, 弯道加 HY、YH 两点
5	宽度 (mm)		满足设计要求	尺量: 每 200m 测 4 点
6	平整度 (mm)		≤15	3m 直尺: 每 200m 测 2 处×5 尺
7	横坡 (%)		±0.3	水准仪: 每 200m 测 2 个断面
8	边坡		满足设计要求	尺量: 每 200m 测 4 点

11.2.3 采用强夯、液压夯实、冲击碾压、超重压实进行压实补强时, 应按表 33 对压实补强效果进行检测。

表 33 压实补强检测方法

序号	补强方法	检测方法
1	液压夯实	每 1 m 厚按照 1 点/400 m ² 的比例随机选点, 采用相同设备和频率连续夯击 3 锤, 累积夯沉量不大于设计值
2	超重压实	每 1m 厚按照 20 m/1000 m ² 的比例随机选线, 采用相同压设备振动碾压 1 遍, 新增沉降平均值、标准差不大于设计值
3	冲击碾压	每 2 m 厚沿拼宽路基横断面随机选 1 条线, 采用相同设备和行驶速度冲击碾压 5 遍, 新增沉降量平均值不大于设计值
4	强夯	每 4 m~5 m 厚按照 1 点/1000 m ² 的比例随机选点, 采用相同压设备点夯 2 锤, 平均夯沉量遍不大于设计值

条文说明:

以往对压实补强的效果通常未进行检测, 导致补强施工质量参差不齐。本标准直接利用补强施工机械检验补强效果检验, 评定标准采用沉降差, 易于实施。

11.2.4 坡形坡率检测应满足表 34 的要求。

表 34 坡形坡率检测要求

序号	检测项目	允许偏差	检测频率与方法
----	------	------	---------

1	分级高度	±200 mm	每级检测 3 处，采用全站仪测量
2	平整度	≤30 mm	每级检测 3 处，采用三米尺测量
3	坡率	符合设计要求	每级检测 3 处，采用全站仪测量
4	平台宽度	±100 mm	每级检测 3 处，采用钢尺测量
注： 挖方边坡最上面一级、填方边坡最下面一级不测量分级高度			

11.2.5 土石方工程检测尚应符合 JTG F80/1 的规定。

11.3 排水工程

11.3.1 排水工程的基本要求、外观质量应符合 JTG F80/1 的规定。

11.3.2 渗沟检测应符合表 35 的要求。

表 35 渗沟检测要求

序号	检测项目	要求或允许偏差	检测频率与方法
1	深度 (mm)	±50	每条渗沟不少于 3 个断面
2	宽度 (mm)	±50	
3	碎石粒径 (mm)	符合设计要求	1 次/1000m，其不少于 1 次。
4	土工布厚度或重量 (mm 或 g/m ²)	不小于设计值	
5	沟心渗沟、斜向渗沟的连通性	满足设计要求	每条沟心渗沟、斜向渗沟均检测，检测方法见附录 E

11.3.3 水沟检测应符合表 36 的规定。

表 36 水沟检测要求

序号	检测项目	要求或允许偏差	检测频率与方法
1	砂浆或混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	砂浆：抗压强度试验；混凝土：回弹，不少于 3 处
2	轴线偏位 (mm)	50	全站仪或尺量：每 200m 测 5 点
3	沟底高程 (mm)	±15	水准仪：每 200m 测 5 点
4	沟面直顺度 (mm)	30	20 米拉线：每 200m 测 2 点
5	纵坡	满足设计要求	坡度尺：每 200m 测 2 点
6	断面尺寸 (mm)	±30	尺量：每 200m 测 2 个断面，且不少于 5 个断面
7	沟壁厚度 (mm)	不少于设计值	侧壁尺量后抽芯，底壁抽芯：每 100m 测 1 处，且不少于 3 处
8	沟壁两侧硬化宽度和厚度 (mm)	不少于设计值	宽度尺量，厚度开挖或抽芯，每 100m 检测 1 处，且不少于 3 处。

11.3.4 排水工程检测尚应符合 JTG F80/1 的规定。

11.4 防护、锚固与支挡工程

11.4.1 防护、支挡工程的基本要求、实测项目和外观质量参照 JTG F80/1 执行。

11.4.2 土路肩硬化、边坡平台硬化、护坡道硬化、碎落台硬化检测应满足表 37 的要求。

表 37 土路肩硬化、平台硬化、护坡道硬化检测要求

序号	检测项目	合格标准	检测频率与方法
----	------	------	---------

1	变形缝	间距偏差小于 1m，填缝满足设计要求	20%，目测
2	宽度	未硬化的宽度小于 2cm	每 25m 检测一处，尺量
3	厚度	-10mm	每 50 m 检测一处，抽芯
4	强度	不小于设计值	每 100 m 检测一处，抽芯或回弹

11.4.3 骨架检测应满足表 38 的要求。

表 38 骨架检测要求

序号	检测项目	要求或允许偏差	检测频率与方法
1	变形缝	间距偏差小于 1m，填缝满足设计要求	20%，目测
2	竖肋或斜裂的间距	±100mm	每 50m 检测一处，且每个边坡不少于 5 处。 尺量
3	竖肋或斜肋的宽度	不小于设计值	
4	竖肋或斜肋的厚度	不小于设计值	每 50m 检测一处，且每个边坡不少于 5 处。 开挖测量
5	肋眉底面外露高度	超出坡面不大于 20mm	每 50m 检测一处，且每个边坡不少于 5 处。 尺量
6	砂浆或混凝土强度	不小于设计值	每 100 m 检测一处，且每个边坡不少于 3 处。 砂浆试块；混凝土抽芯或回弹
7	竖肋、斜肋两侧回填	不低于坡面	每 50m 检测一处，且每个边坡不少于 5 处。

11.4.4 锚固工程检测应满足表 39 与表 40 的规定。

表 39 锚杆、锚索检测要求

序号	检测项目	要求或允许偏差	检测频率与方法
1	砂浆强度 (MPa)	在合格标准内	抗压强度试验
2	钻孔深度 (mm)	不小于设计值	尺量：抽 20%
3	钻孔孔径 (mm)	满足设计要求	尺量：抽 20%
4	钻孔轴线倾斜 (%)	2	倾角仪：抽 20%
5	钻孔位置 (mm)	框架梁	尺量：抽 20%
		其他	
6	锚杆有效黏结长度(cm)	±100	JGJ/T 182，抽 10%，且不少 20 根
7	锚杆、锚索抗拔力 (kN)	高速公路、一级公路不小于设计锚固力的 1.7 倍，其他公路不小于设计锚固力的 1.5 倍	锚杆锚索总数的 5%且不少于 3 根检查
8	张拉力 (kN)	满足设计要求	查油压表：逐根（束）检查
9	张拉延伸率 (%)	满足设计要求；设计未要求时±6%	尺量：逐根（束）检查
10	断丝、滑丝数	每束 1 根，且每断面不超过钢丝总数的 1%	目测：逐根（束）检查

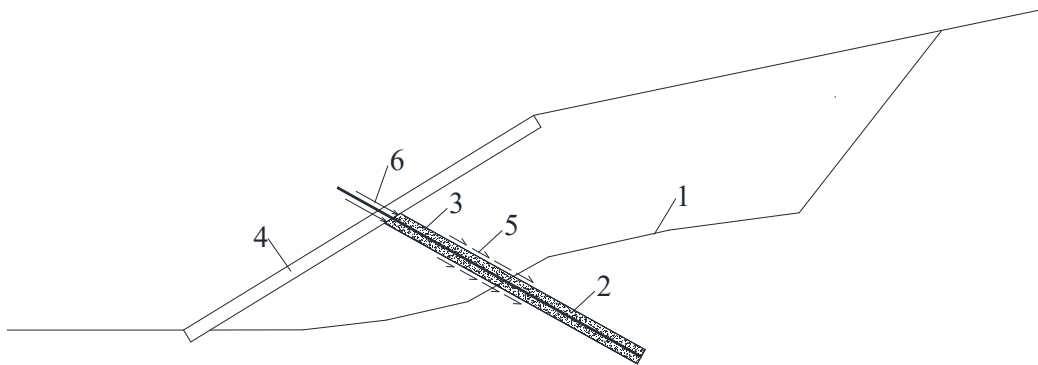
条文说明：

锚杆全长黏结，滑动面外侧的孔壁也提供抗拔力，锚杆锚固力检测时筋材抗拉力通常小于抗拔力，锚固力检测难以检测施工长度，电力行业、水利水电行业工程实践表明，声波反射法检测锚杆有效锚固长度的精度通常在 10%之内，而且可以同时检测浆体密实度（有效黏结长度与设计长度的比值）。

地基和桩基的载荷试验荷载通常取 2 倍承载力特征值，《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1-2017) 检测荷载等于设计锚固力，其主要原因有：公路边坡稳定分析时采用的是设计锚固力，而不是极限锚固力，只要锚索能达到设计锚固力，边坡就具有规定的稳定安全系数。

但是，锚索设计时，其抗拉安全系数、抗拔安全系数取值均约为 2.0，筋材横截面面积、钻孔直径、锚杆长度均按照满足 2 倍设计锚固力进行确定的，锚索验收试验的目的有：（1）检验施工是否按照设计要求施工，特别是施工长度和注浆质量；（2）检验锚固段的锚固力，确保边坡稳定安全系数。

验收荷载接近锚杆极限抗拔力才检验锚索施工长度和注浆质量，验收荷载采用设计锚固力实现不了第一个目的。验收荷载等于设计锚固力极易导致锚固段的抗拔力不满足设计锚固力要求，降低边坡稳定系数，也实现不了第二的目的，主要原因为：锚索筋材与浆材之间的抗拔安全系数通常为浆体与孔壁之间的抗拔安全系数的 5 倍以上；检测时自由段也充满浆体，锚索张拉至设计锚固力时，自有 6m 左右的浆体承受摩擦力，且大部分位于自由段，如说明图 6 所示。因此，验收荷载取设计锚固力无法检测到锚固段的锚固力真实情况，即使锚固段长度不足、注浆质量不佳也能通过验收。



标引序号说明：

1—滑动面；2—锚固段浆体；3—自由段浆体；4—框架梁；5—自由段浆体摩擦力；6—框架梁对自由段浆体的压力

说明图 6 锚索验收时受力情况

部分锚索自由段的浆体直接抵住锚索框架，如说明图 6 所示，滑动面以外的浆体提供了摩擦力，框架提供了反力，检测试验变成了筋材与浆体之间的抗拔力的检测，其验收更没有意义了。

因此，锚索锚固力验收检测前不应施工框架，应增大验收荷载以减少自由段砂浆摩擦力的影响。

《锚杆检测与监测技术规程》（JGJ/T 401-2017）规定：基础锚杆验收荷载应等于抗拔承载力特征值与锚杆抗拔安全系数的乘积。《建筑边坡工程技术规范》（GB50330-2013）规定：永久性锚杆在进行验收试验时，其最大试验荷载需达到锚杆轴向拉力设计值的 1.5 倍。《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）规定：支护结构安全等级为一级、二级、三级的锚杆抗板安全系数分别为 1.8、1.6、1.4，相应的抗拔力检测值不小于轴向拉力标准值的 1.4、1.3、1.2 倍，分别不小于极限抗拔力的 0.78、0.81、0.86 倍。考虑到锚索的钢绞线受力不均匀、钢绞线拉力不应大于其强度标准值的 0.7 倍，本标准规定高速公路、一级公路验收荷载不小于设计锚固力的 1.7 倍，其他公路不小于设计锚固力的 1.5 倍。

表 40 坡面结构检测要求

序号	检测项目	要求或允许偏差	检测频率与方法
1	砂浆或混凝土强度（MPa）	在合格标准内	砂浆：抗压强度试验；混凝土：回弹。梁不少于 6 条，锚墩和封锚不少于 6 个，其他不少于 3 处
2	喷层厚度（mm）	平均厚度≥设计厚度；80%测点的厚度≥设计厚度；最小厚度≥0.6 且大于或等于设计规定最小值	凿孔法或工程雷达法：每 50m ² 测 1 处，总数不少于 5 处
3	锚墩、封锚尺寸（mm）	+10, -5	尺量：抽 20%，每件测顶底面边长及高度
4	格梁、框格梁、地梁断面尺寸（mm）	不小于设计值	尺量：抽 20%，每个梁测 2 个断面

5	格梁、框格梁、地梁平面位置 (mm)	±150	尺量：抽 10%
6	格梁、框格梁、地梁外露高度 (mm)	不大于设计值	尺量：抽 5%，每个梁测 1 个断面

11.4.5 挡土墙检测应符合表 41 的规定。

表 41 挡土墙检测要求

序号	检测项目		要求或允许偏差	检测频率与方法
1	砂浆或混凝土强度 (MPa)		在合格标准内	砂浆：抗压强度试验；混凝土：回弹，不少于 3 处
2	平面位置 (mm)		不大于 50	全站仪：测墙顶外边线，长度不大于 30m 时测 5 点，每增加 10m 增加 1 点
3	墙面坡度 (%)		不大于 0.5	铅锤法：长度不大于 30m 时测 5 处，每增加 10m 增加 1 处
4	断面尺寸 (mm)		不小于设计值	尺量：长度不大于 50m 时测 10 个断面，每增加 10m 增加 1 个断面
5	顶面高程 (mm)		±20	水准仪：长度不大于 30m 时测 5 个点，每增加 10m 增加 1 个点
6	墙底高程 (mm)		±100	开挖测量，不少于 1 处
7	表面平整度 (mm)	块石	不大于 20	2m 直尺：每 20m 测 3 处，每处测竖直、墙长两个方向
		片石	不大于 30	
		混凝土预制块、料石	不大于 10	
		混凝土	不大于 10	
8	泄水孔间距和层数		符合设计要求	目测和尺量，长度不大于 50m 时测 2 处，每增加 20m 增加 1 处
9	路堤挡土墙反滤层		符合设计要求	探槽检测或灌水检查，见附录 F
10	路堑挡土墙反滤层		符合设计要求	灌水检查，见附录 F

11.4.6 微型桩检测应满足表 42 的要求。

表 42 微型桩检测要求

序号	检测项目	合格标准或允许偏差	检测频率与方法
1	桩间距	+50mm	10%，且不少于 5 处，尺量
2	桩长	±0.5m	10%，且不少于 5 根，低应变反射法或声波反射法
3	桩径	不小于设计值	10%，且不少于 5 根，尺量
4	筋材数量和尺寸	根数不少设计。钢筋直径-1mm；钢管直径-5mm，壁厚-0.2mm；型钢和钢轨：宽度 5mm，厚度 0.5mm	5%，且不少于 10 根筋材，尺量
5	桩身强度	不小于设计值	每个工点不少 3 组，留试块或回弹
6	复合地基承载力	不小于设计值	0.5%且不少于 3 根，载荷试验
<p>注 1：微型桩直径小于 20cm 时可采用声波反射法，并应符合 JGJ/T 182 要求。</p> <p>注 2：微型桩用于挡土墙复合地基时应检测地基承载力。</p>			

11.4.7 桩板墙或抗滑桩检测应满足表 43 的规定。

表 43 桩板墙或抗滑桩检测要求

序号	检测项目	合格标准或允许偏差	检测频率与方法
1	混凝土强度 (MPa)	在合格标准内	抗压强度试验

2	桩长 (m)		不小于设计值	测绳量：每桩测量；抽芯：1%，且不少于3根
3	孔径或断面尺寸 (mm)		不小于设计值	探孔器：每桩测量；尺量：10%，且不少于3根
4	桩位 (mm)		100	经纬仪：每桩测量
5	竖直度 (mm)	钻孔桩	1%桩长，且不大于500	测壁仪或吊垂线：每桩测量
		挖孔桩	0.5%桩长，且不大于200	吊垂线：每桩测量
6	钢筋骨架地面高程 (mm)		±50	水准仪：测每桩骨架顶面高程后反算
7	泄水孔间距和层数		符合设计要求	目测和尺量，长度不大于50m时测2处，每增加20m增加1处
8	路堤桩反滤层		符合设计要求	开挖检测或灌水检查，见附录E
9	路堑桩反滤层		符合设计要求	灌水检查，见附录E

11.4.8 防护、锚固与支挡工程检测尚应符合 JTG F80/1 的规定的规定。

12 监测

12.1 一般规定

12.1.1 应根据路堤、路堑具体情况，合理设计监测断面、监测项目、监测频率、预警标准等，必要时应根据监测结果、边坡变形等因素动态调整监测设计。

12.1.2 运营期监测宜充分利用施工期监测点和监测资料。

12.1.3 路基监测宜采用仪器监测、人工巡查相结合的方式，并动态调整监测断面、监测项目、监测频率等。

12.2 施工监测

12.2.1 以下路堤应进行施工监测：

- a) 高路堤。
- b) 横坡陡于 1:2.5 的陡坡路堤；
- c) 满足 4.1.4 条件的路堤；
- d) 满足 4.1.5 条件的斜坡路堤；
- e) 施工期出现开裂、滑塌等病害的路堤。

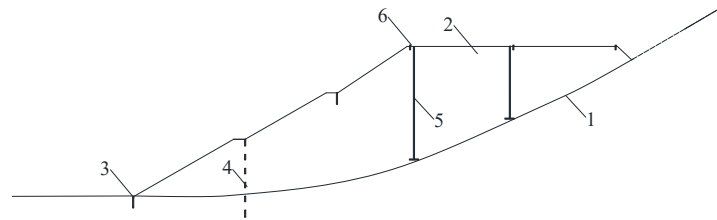
12.2.2 以下路堑边坡应进行施工监测：

- a) 深路堑边坡；
- b) 满足 4.1.6 条件的路堑边坡；
- c) 施工期出现开裂、滑塌等病害的边坡。

12.2.3 高路堤监测应符合下列规定

- d) 监测断面间距不宜大于 100 m，且每段路堤监测断面不应少于 1 个。
- e) 监测断面应设置在最不利位置。
- f) 高路堤应监测地表沉降、路床沉降和边坡表层位移，设置挡土墙、桩板墙等支挡构造物的路堤尚应监测其倾斜、位移和沉降等。存在不良地质、特殊性岩土、路基填料不良、临河等对路堤稳定性不利因素的路堤，或影响范围内有建筑物、电塔、油气管线等重要构筑物的路堤，尚应监测路堤的深层水平位移。

- g) 路堤地表沉降、路床沉降的测点宜设置在路肩、路中附近。边坡位移的测点宜设置在坡脚附近、每级边坡平台处和路肩附近，如图 39 所示。挡土墙、桩板墙的位移测点宜设置在墙顶。深层位移测点根据风险源情况设置在坡脚或平台位置。



标引序号说明：

1—地面线；2—填方路基；3—边坡位移测点；4—深层位移测点；5—地表沉降测点；6—路床沉降测点

图 39 变形测点布置示意图

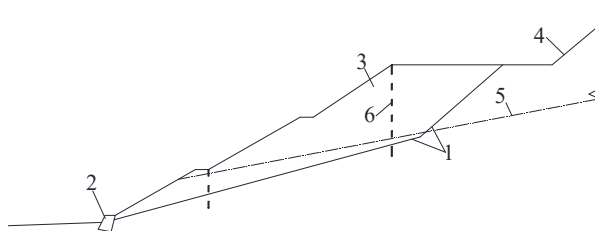
- h) 路堤地表沉降测点宜采用沉降板或沉降计，路床沉降测点宜采用沉降桩或沉降板，边坡位移测点宜采用位移桩或测斜管，深层水平位移采用测斜管。
- i) 路基填筑期间，监测频率不应低于 1 次/2 m 或 1 次/7 d，填筑间歇期监测频率不应低于 1 次/10 d，填筑完毕后监测频率不宜低于 1 次/15 d，暴雨季节或出现异常现象时应加密观测次数。
- j) 应综合监测结果、巡查结果等判断路堤稳定性，出现以下情况时应进行路基稳定预警：
- 1) 出现纵向裂缝、弧形裂缝且其宽度快速增大。
 - 2) 填土高度~水平位移、倾斜或沉降的曲线出现明显拐点。
 - 3) 深度~水平位移曲线出现明显拐点。
 - 4) 支挡结构中重要构件出现倾斜、错缝、推移、开裂等现象。
 - 5) 边坡累计位移或位移速率超过规范或设计文件中的预警标准。
 - 6) 根据工程经验判断认为已出现其他必须预警的情况。
- 12.2.4 斜坡路堤、陡路堤监测应符合下列规定：
- a) 监测断面间距不宜大于 50 m，且每段路堤监测断面不应少于 1 个。沟谷路段宜沿沟谷轴向布设监测断面。
 - b) 监测断面应设置在最不利位置和方向。
 - c) 斜陡坡路堤应监测路床沉降和边坡位移，路肩位于平坦基底的路堤尚应监测地表沉降，设置挡土墙、桩板墙等的路堤尚应监测支挡构造物的倾斜、位移和沉降等。存在不良地质、特殊性岩土、路基填料不良、临河等对路堤稳定性不利因素的路堤，或影响范围内有建筑物、电塔、油气管线等重要构筑物的路堤，尚应监测路堤的深层水平位移。
 - d) 地表沉降、路床沉降的测点宜设置在填方路肩附近；边坡位移的测点宜设置在坡脚附近、每级边坡平台处和路肩附近；深层位移监测点根据风险源情况设置在坡脚或平台位置。
 - e) 地表沉降测点宜采用沉降板或沉降计，路床沉降测点宜采用沉降桩或沉降板，地表位移测点宜采用位移桩，深层水平位移采用测斜管。
 - f) 路基填筑期间，监测频率不应低于 1 次/m 或 1 次/3 d，填筑间歇期监测频率不应低于 1 次/5 d，填筑完毕后监测频率不宜低于 1 次/15d。暴雨季节或沉降和位移速率大应加密观测次数。
 - g) 路基稳定预警应符合 12.2.1g) 的规定。
- 12.2.5 存在软基的高路堤、斜陡路堤监测尚应符合 DB44/T 2418 的规定。
- 12.2.6 路堑边坡监测应符合下列规定：
- a) 路堑边坡监测断面间距不宜大于 50 m，且每个边坡不应少于 1 个。
 - b) 监测断面应设置在稳定性差的位置。

- c) 路堑边坡应监测位移、沉降，宜监测锚索应力；设置挡土墙、桩板墙的路堤尚应监测其倾斜、位移等；施工期边坡稳定性较差或影响范围内有建筑物、电塔、油气管线等重要构筑物的边坡宜监测深层水平位移。
- d) 堑顶、每级平台应设置位移、沉降测点。挡土墙、桩板墙等支挡结构的倾斜、位移测点不应少于 1 个。每个边坡的锚索应力监测点不宜少于 2 个。
- e) 每开挖一级边坡应监测 2~3 次，间歇期监测频率不应低于 1 次/10 d，雨季或出现异常现象时应加密观测次数。
- f) 应综合监测结果、巡查结果等判断边坡稳定性，出现以下情况时应进行边坡稳定预警：
 - 1) 出现纵向裂缝、弧形裂缝且其宽度快速增大。
 - 2) 开挖高度~水平位移、沉降、倾斜或锚力计的曲线出现明显拐点。
 - 3) 深度~水平位移曲线出现明显拐点。
 - 4) 支挡结构中重要构件出现倾斜、错缝、推移、开裂等现象。
 - 5) 锚杆、锚索出现断裂、拔出、回缩等现象。
 - 6) 边坡累计位移或位移速率超过规范或设计文件中的预警标准。
 - 7) 根据工程经验判断认为已出现其他必须预警的情况。

12.3 运营期监测

12.3.1 路堤监测应符合下列规定：

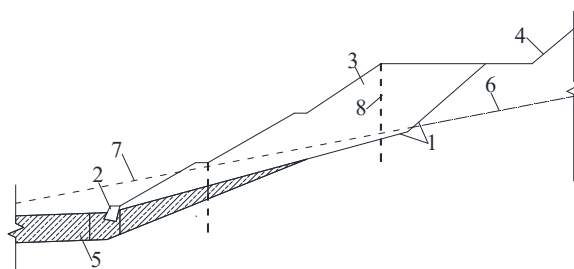
- a) 以下路基应进行运营期监测：
 - 1) 施工期出现滑坡、沉陷等病害需验证处治效果的路基，宜监测位移和沉降。
 - 2) 通车前水平位移、沉降收敛不明显的路基，宜监测位移和沉降。
 - 3) 出现纵向裂缝或弧形裂缝的路基，宜监测路基位移、沉降、裂缝宽度和长度等。
 - 4) 支挡结构出现倾斜、位移或开裂等病害的路基，宜监测支挡结构的倾斜和位移、路基的沉降和位移等。
 - 5) 附近进行开挖、堆载等作业的路基，宜监测路堤的沉降和位移。
 - 6) 附近河流冲刷严重的路基，宜监测路堤的沉降和位移。
 - 7) 沉降出现影响行车舒适性和安全性的路基，宜监测路基的沉降。
 - 8) 滑坡隐患或沉降处治期间或效果验证期，滑坡隐患处治路基应监测位移，设置锚索时应监测锚力计。沉陷处治路基应监测沉降和位移。
- b) 斜陡坡路堤应监测路床沉降和边坡位移，路肩位于平坦基底的路堤尚应监测地表沉降，设置挡土墙、桩板墙的路堤尚应监测其倾斜、位移和沉降等。
- c) 富水路堤且未设置减压措施的宜监测地下水位。
- d) 地表沉降、路床沉降的测点宜设置在填方路肩附近；边坡位移的测点宜设置在坡脚附近、每级边坡平台处和路肩附近。地下水测点宜设置在下游侧路肩附近和最下面一级平台处，如图 40、图 41 所示。



标引序号说明：

1—地面线；2—挡土墙；3—填方边坡；4—挖方边坡；5—潜水面；6—地下水测点

图 40 潜水位观测点布置示意图



标引序号说明:

1—地面线；2—挡土墙；3—填方边坡；4—挖方边坡；5—隔水层；6—地下水位；7—承压水水头线；8—地下水测点

图 41 承压水观测点布置示意图

- e) 地表沉降、路床沉降的测点宜设置在填方路肩附近；边坡位移的测点宜设置在坡脚附近、每级边坡平台处和路肩附近。地下水测点宜设置在下游侧路肩附近和最下面一级平台处，如图 36、图 37 所示。
- f) 地表沉降测点宜采用沉降板或沉降计，路床沉降测点宜采用沉降桩或沉降板，边坡位移测点宜采用位移桩或测斜管，地下水监测可采用地下水位观测孔或孔压计。
- g) 采用地下水位观测孔监测潜水时，花管段位于路堤填土的长度不宜小于 3 m，进入地基的长度不宜小于 3 m。采用地下水位观测孔监测承压水时，花管段宜进入隔水层以下的含水层 3 m~5 m。除花管段外，管与孔壁之间应利用黏性土或固化土等进行封闭。管口应设盖。花管段管壁每 10 cm 开设 5 mm~10 mm 直径的孔不应少于 4 个，管外包裹的反滤土工布质量不宜低于 400 g/m²，钻孔与花管之间宜设 5 mm~10 mm 的碎石或中粗砂。花管应设反滤层。
- h) 采用孔压计观测潜水时，孔压计宜设置在基底附近；采用孔压计观测潜水时，孔压计应位于进入隔水层以下的含水层中间。路堤填筑后钻孔埋设时，除孔压计附近的 1 m~2 m 外，其余钻孔应利用黏性土或固化土等进行封闭。
- i) 应综合监测结果、巡查结果等判断路堤稳定性，出现以下情况时宜进行路基稳定预警：
- 1) 纵向裂缝、弧形裂缝宽度快速增大。
 - 2) 水平位移或倾斜的速率持续增大。
 - 3) 时间~水平位移或倾斜的曲线出现明显拐点。
 - 4) 锚力持续或显著增大。
 - 5) 深度~水平位移曲线出现明显拐点。
 - 6) 支挡结构中重要构件出现倾斜、错缝、推移、开裂等现象。
 - 7) 锚杆、锚索出现断裂、拔出、回缩等现象。
 - 8) 边坡位移或位移速率超过规范或设计文件中的预警标准。
 - 9) 根据工程经验判断认为已出现其他必须预警的情况。
- h) 满足以下条件时可停止监测或减小监测频率：
- 1) 施工期出现滑坡、沉陷等病害需验证处治效果的路基，经监测验证达到预期效果。
 - 2) 通车前水平位移、沉降收敛不明显的路基，经监测确认水平位移、沉降明显收敛，同时确认后续变形不会引起病害。
 - 3) 出现纵向裂缝或弧形裂缝的路基，经监测、调查、勘察等确认路基不存在失稳风险或经处治且验证达到预期效果。

- 4) 支挡结构出现倾斜、位移或开裂等病害的路基，经监测、调查、勘察等确认路基、支挡结构不存在失稳风险或经处治且验证达到预期效果。
- 5) 附近进行开挖、堆载等作业的路基，经监测、调查、勘察等确认路基不存在失稳风险或经处治且验证达到预期效果。
- 6) 沉降出现影响行车舒适性和安全性的路基，经监测确认剩余沉陷在容许范围内或经处治且验证达到预期效果。

12.3.2 路堑边坡监测应符合下列规定：

- a) 以下情况应进行运营期监测：
 - 1) 施工期出现滑坡需验证处治效果的路基，宜监测水平位移和沉降。
 - 2) 通车前水平位移收敛不明显的路基，宜监测水平位移和沉降。
 - 3) 边坡出现纵向裂缝或弧形裂缝、路面隆起的路基，宜监测路基水平位移、沉降、裂缝宽度和长度等。
 - 4) 支挡结构、堑顶建（构）筑物出现倾斜、位移或开裂等病害的路基，宜监测支挡结构、堑顶建（构）筑物的倾斜、位移、边坡位移等。
 - 5) 堑顶附近进行堆载等作业的路基，宜监测边坡沉降和位移。
 - 6) 滑坡隐患处治期间或效果验证期。滑坡隐患处治应监测位移，设置锚索时应监测锚力计。
- b) 边坡稳定预警应符合 12.3.1i) 的规定。
- c) 满足以下条件时可停止监测或减小监测频率：
 - 1) 施工期出现滑坡需验证处治效果的路基，经监测验证达到预期效果。
 - 2) 通车前水平位移收敛不明显的路基，经监测确认水平位移、沉降明显收敛。
 - 3) 边坡出现纵向裂缝或弧形裂缝、路面隆起的路基，经监测、调查、勘察等确认边坡不存在失稳风险或经处治且验证达到预期效果。
 - 4) 支挡结构、堑顶建（构）筑物出现倾斜、位移或开裂等病害的路基，经监测、调查、勘察等确认路基、支挡结构不存在失稳风险或经处治且验证达到预期效果。
 - 5) 堑顶附近进行堆载等作业的路基，经监测、调查、勘察等确认边坡不存在失稳风险或经处治且验证达到预期效果。

附录 A
(规范性)
抗滑桩位移与作用效应计算

A.1 桩的分类

A.1.1 桩的变形系数按式 (A1) 计算:

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb}{EI}} = \sqrt[5]{\frac{mb}{0.8E_c I}} \quad (\text{A1})$$

式中:

- α ——桩的变形系数 (m^{-1});
- m ——非岩石地基抗力系数的比例系数 (kM/m^4)。当 h_m 内存在两层土时, $m = [m_1 h_1^2 + m_2 (2h_1 + h_2) h_2] / h_m^2$; 当 h_m 内存在三层土时, $m = [m_1 h_1^2 + m_2 (2h_1 + h_2) h_2 + m_3 (2h_1 + 2h_2 + h_3) h_3] / h_m^2$;
- b ——桩的计算宽度 (m)。桩径或宽度 d 不小于 1m 时, $b = k k_f (d + 1)$, 否则, $b = k k_f (1.5d + 0.5)$;
- k ——平行于水平力方向的桩间相互影响系数。对单排桩或多排桩的排间净间距 L_1 小于 $0.6h_c$ 时, 取 1.0, 否则取 $0.45 + 0.917L_1/h_c$, $h_c = 3(d + 1)$;
- k_f ——桩形状换算系数。矩形取 1.0, 圆形取 0.9;
- E ——桩身模量 (kPa);
- I ——桩伸惯性矩 (m^4);
- E_c ——桩身混凝土模量 (kPa)。

A.1.2 当桩的变形系数与滑动面以下嵌固深度之积大于 2.5 时为弹性桩, 否则为刚性桩。

A.2 弹性桩位移和作用效应

A.2.1 桩顶位移宜按式 (A2) 计算。

$$\Delta = x_0 - \varphi_0 h_1 + \frac{H}{3EI} h_1^3 + \frac{h_1^4}{120EI} (11q_1 + 4q_2) \quad (\text{A2})$$

式中:

- Δ ——桩顶位移 (m);
- x_0 ——滑动面处水平力 H_0 、弯矩 M_0 导致的滑动面处桩身位移 (m);
- φ_0 ——滑动面处水平力、弯矩导致的滑动面处桩身倾角 (弧度);
- h_1 ——滑动体内桩长 (m);
- H ——桩顶水平力 (kN);
- q_1 ——滑体顶部桩侧线形荷载 (kN/m);
- q_2 ——滑体底部桩侧线形荷载 (kN/m);
- 其他符号的含义与 A1.1 相同。

A.2.2 滑动面以上桩身弯矩和剪力宜采用式 (A3)、式 (A3) 计算, 滑面处的 M_z 为 M_0 , 滑面处的 Q_z 为 H_0 。

$$M_z = \frac{1}{2} q_1 z^2 + \frac{1}{6} (q_2 - q_1) z^3 \quad (\text{A3})$$

$$Q_z = q_1 z + \frac{1}{2} (q_2 - q_1) z^2 \quad (\text{A4})$$

式中:

- M_z —— z 处桩身弯矩 ($\text{kN} \cdot \text{m}$);
- z ——滑体顶面起算的深度 (m);

Q_z —— z 处桩身剪力 (kN)。

其他符号的含义与A.2.1相同。

A.2.3 滑动面以下桩身弯矩、剪力和横向压应力宜采用式 (A5)、式 (A6)、式 (A7) 计算。

$$M_z = \alpha^2 EI \left(x_0 A_3 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_3 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_3 + \frac{H_0}{\alpha^3 EI} D_3 \right) \quad (\text{A5})$$

$$Q_z = \alpha^3 EI \left(x_0 A_4 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_4 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_4 + \frac{H_0}{\alpha^3 EI} D_4 \right) \quad (\text{A6})$$

$$p_z = mz \left(x_0 A_1 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_1 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_1 + \frac{H_0}{\alpha^3 EI} D_1 \right) \quad (\text{A7})$$

$$\varphi_0 = -H_0 \delta_{MH} - M_0 \delta_{MM} \quad (\text{A8})$$

$$x_0 = -H_0 \delta_{HH} + M_0 \delta_{HM} \quad (\text{A9})$$

桩底嵌固在基岩中

$$\delta_{HH} = \frac{1}{\alpha^3 EI} \frac{(B_2 D_1 - B_1 D_2)}{(A_2 B_1 - A_1 B_2)} \quad (\text{A10})$$

$$\delta_{MH} = \delta_{HM} = \frac{1}{\alpha^2 EI} \frac{(A_2 D_1 - A_1 D_2)}{(A_2 B_1 - A_1 B_2)} \quad (\text{A11})$$

$$\delta_{MM} = \frac{1}{\alpha EI} \frac{(A_2 C_1 - A_1 C_2)}{(A_2 B_1 - A_1 B_2)} \quad (\text{A12})$$

桩底未嵌固在基岩中

$$\delta_{HH} = \frac{1}{\alpha^3 EI} \frac{(B_3 D_4 - B_4 D_3) + k_h (B_2 D_4 - B_4 D_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + k_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)} \quad (\text{A13})$$

$$\delta_{MH} = \delta_{HM} = \frac{1}{\alpha^2 EI} \frac{(A_3 D_4 - A_4 D_3) + k_h (A_2 D_4 - A_4 D_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + k_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)} \quad (\text{A14})$$

$$\delta_{MM} = \frac{1}{\alpha EI} \frac{(A_3 C_4 - A_4 C_3) + k_h (A_2 C_4 - A_4 C_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + k_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)} \quad (\text{A15})$$

$$A_1 = 1 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-4)}{(5i)!} [\alpha(z-h_1)]^{5i} \quad (\text{A16})$$

$$B_1 = \alpha z + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-3)}{(5i+1)!} [\alpha(z-h_1)]^{5i+1} \quad (\text{A17})$$

$$C_1 = \frac{1}{2!} (\alpha z)^2 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-2)}{(5i+2)!} [\alpha(z-h_1)]^{5i+2} \quad (\text{A18})$$

$$D_1 = \frac{1}{3!} (\alpha z)^3 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-1)}{(5i+3)!} [\alpha(z-h_1)]^{5i+3} \quad (\text{A19})$$

$$A_2 = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-4)}{(5i-1)!} [\alpha(z-h_1)]^{5i-1} \quad (\text{A20})$$

$$B_2 = 1 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-3)}{(5i)!} [\alpha(z-h_1)]^{5i} \quad (\text{A21})$$

$$C_2 = \alpha z + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-2)}{(5i+1)!} [\alpha(z-h_1)]^{5i+1} \quad (\text{A22})$$

$$D_2 = \frac{1}{2!} (\alpha z)^2 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-1)}{(5i+2)!} [\alpha(z-h_1)]^{5i+2} \quad (\text{A23})$$

$$A_3 = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-4)}{(5i-2)!} [\alpha(z-h_1)]^{5i-2} \quad (\text{A24})$$

$$B_3=1+\sum_{i=1}^{\infty}(-1)^i\frac{\prod_{j=1}^i(5j-3)}{(5i-1)!}[\alpha(z-h_1)]^{5i-1} \quad (\text{A25})$$

$$C_3=1+\sum_{i=1}^{\infty}(-1)^i\frac{\prod_{j=1}^i(5j-2)}{(5i)!}[\alpha(z-h_1)]^{5i} \quad (\text{A26})$$

$$D_3=\alpha z+\sum_{i=1}^{\infty}(-1)^i\frac{\prod_{j=1}^i(5j-1)}{(5i+1)!}[\alpha(z-h_1)]^{5i+1} \quad (\text{A27})$$

$$A_4=\sum_{i=1}^{\infty}(-1)^i\frac{\prod_{j=1}^i(5j-4)}{(5i-3)!}[\alpha(z-h_1)]^{5i-3} \quad (\text{A28})$$

$$B_4=\sum_{i=1}^{\infty}(-1)^i\frac{\prod_{j=1}^i(5j-3)}{(5i-2)!}[\alpha(z-h_1)]^{5i-2} \quad (\text{A29})$$

$$C_4=\sum_{i=1}^{\infty}(-1)^i\frac{\prod_{j=1}^i(5j-4)}{(5i-1)!}[\alpha(z-h_1)]^{5i-1} \quad (\text{A30})$$

$$D_4=1+\sum_{i=1}^{\infty}(-1)^i\frac{\prod_{j=1}^i(5j-1)}{(5i)!}[\alpha(z-h_1)]^{5i} \quad (\text{A31})$$

式中：

H_0 ——滑动面处桩身剪力（kN）；

M_0 ——滑动面处桩身弯矩（kN·m）；

p_z —— z 处横向压应力（kPa）；

k_h ——桩底抗力影响系数。 $k_h=\frac{C_0}{\alpha E}$ ， C_0 取 m_0h 与 $10h$ 中的大者， m_0 为桩端地基竖向抗力系数的比例系数。当桩嵌固于土中且滑面下桩长 $h \geq 2.5/\alpha$ ，或者当桩底支承于岩面且滑面下桩长 $h \geq 3.5/\alpha$ 时， k_h 取0；

其他符号的含义与 A.2.2 相同。

A.2.4 滑动面以下横向压应力应满足下列要求：

当最大横向压力发生在 $h/3$ 内时，应满足

$$p_{\max} \leq k \left[\gamma z \left(\frac{b}{d} K_p - K_a \right) + 2c \left(\frac{b}{d} \sqrt{K_p} + \sqrt{K_a} \right) \right] \quad (\text{A32})$$

当最大横向压力发生在 $h/3$ 以下时，应满足

$$p_{\frac{h}{3}} \leq k \left[\gamma \left(h_1 + \frac{h}{3} \right) \left(\frac{b}{d} K_p - K_a \right) + 2c \left(\frac{b}{d} \sqrt{K_p} + \sqrt{K_a} \right) \right] \quad (\text{A33})$$

式中：

p_{\max} ——滑动面以下最大横向压应力（kPa）；

k ——平行于水平力方向的桩间相互影响系数；

γ ——重度（kN/m³）；

z ——滑面以下深度（m）；

b ——桩的计算宽度（m）；

d ——桩的宽度或直径（m）；

K_p ——被动土压力系数；

K_a ——主动土压力系数；

c ——黏聚力（kPa）；

$p_{\frac{h}{3}}$ ——滑动面以下 $h/3$ 处横向压应力（kPa）；

h_1 ——滑坡体高度（m）。

A.3 刚性桩位移和作用效应

A.3.1 桩底支撑在非岩石上

$$\omega = \frac{6H}{Amh} \quad (\text{A34})$$

$$z_0 = \frac{\beta bh^2(4\lambda - h) + 6dW_0}{2\beta bh(3\lambda - h)} \quad (\text{A35})$$

$$M_z = H(\lambda - h + z) - \frac{Hbz^3}{2hA} (2z_0 - z) \quad (\text{A36})$$

$$p_z = \frac{6H}{Ah} z(z_0 - z) \quad (\text{A37})$$

$$p_{\min}^{\max} = \frac{N}{A_0} \pm \frac{3dH}{A\beta} \quad (\text{A38})$$

$$A = \frac{\beta bh^3 + 18dW_0}{2\beta(3\lambda - h)} \quad (\text{A39})$$

$$B = \frac{1}{18} \beta bh^3 + dW_0 \quad (\text{A40})$$

$$\beta = \frac{m}{m_0} \quad (\text{A41})$$

$$\lambda = \frac{\sum M}{H} \quad (\text{A42})$$

式中：

ω ——刚性桩转角（°）；

W_0 ——桩底面的边缘弹性抵抗矩（ m^3 ）；

A_0 ——桩底面的面积（ m^2 ）；

m_0 ——桩底面地基抗力系数的比例系数（ kM/m^4 ）；

其他符号的含义与A.2相同。

A.3.2 桩底支撑在岩石上

$$\omega = \frac{H}{mhD_0} \quad (\text{A43})$$

$$z_0 = h \quad (\text{A44})$$

$$M_z = H(\lambda - h + z) - \frac{Hbz^3}{12hD_0} (2h - z) \quad (\text{A45})$$

$$p_z = \frac{H}{D_0h} z(h - z) \quad (\text{A46})$$

$$p_{\min}^{\max} = \frac{N}{A_0} \pm \frac{dH}{2D_0\beta} \quad (\text{A47})$$

$$D_0 = \frac{\beta bh^3 + 6dW_0}{12\lambda\beta} \quad (\text{A48})$$

式中符号的含义与A.3.1相同。

A.3.3 滑动面以下 $\frac{h}{3}$ 和桩底端横压应力不应大于相应位置处地层的水平承载力，即

$$p_z \leq f_z \quad (\text{A49})$$

$$f_{\frac{h}{3}} = \frac{4}{\cos\varphi} \left[\left(\gamma_1 h_1 + \frac{\gamma}{3} h \right) \tan\varphi + c \right] \quad (\text{A50})$$

$$f_h = \frac{4}{\cos\varphi} \left[(\gamma_1 h_1 + \gamma h) \tan\varphi + c \right] \quad (\text{A51})$$

且

$$f_{\frac{h}{3}} \leq \left(\gamma_1 h_1 + \frac{\gamma}{3} h \right) \left(\frac{b}{d} K_p - K_a \right) + 2c \left(\frac{b}{d} \sqrt{K_p} + \sqrt{K_a} \right) \quad (\text{A52})$$

$$f_h \leq (\gamma_1 h_1 + \gamma h) \left(\frac{b}{d} K_p - K_a \right) + 2c \left(\frac{b}{d} \sqrt{K_p} + \sqrt{K_a} \right) \quad (\text{A53})$$

当地面横坡较大时，

$$f_{\frac{h}{3}} = 4 \left(\gamma_1 h_1 + \frac{\gamma}{3} h \right) \frac{\cos^2 i \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi_0}}{\cos^2 \varphi_0} \quad (\text{A54})$$

$$f_h = 4 (\gamma_1 h_1 + \gamma h) \frac{\cos^2 i \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi_0}}{\cos^2 \varphi_0} \quad (\text{A55})$$

式中：

p_z ——滑动面以下 z 处的横向压应力（kPa）；

f_z ——滑动面以下 z 处的水平承载力（kPa）；

φ ——内摩擦角（°）；

c ——黏聚力（kPa）；

i ——地面横向倾角（°）；

φ_0 ——综合内摩擦角（°）；

其他符号的含义与A.2.4相同。

附录 B
(规范性)
挡土墙计算分析

B.1 挡土墙土压力计算

B.1.1 非陡坡路堤的挡土墙土压力宜采用库仑土压力理论计算，也可采用稳定分析方法计算。填砂路堤、填石路堤的挡土墙土压力宜采用稳定分析方法计算。

条文说明：

实际的墙背不光滑，朗肯土压力理论不适用。计算表明，填砂路基、填石路基的挡土墙采用库仑土压力理论计算土压力并确定墙身尺寸，通过墙底面的滑动面稳定系数小于规范值。

B.1.2 陡坡路堤的挡土墙土压力除采用库仑土压力理论计算外，尚应采用稳定分析方法计算。

B.1.3 路堑边坡的挡土墙土压力宜采用稳定分析方法，可采用库仑土压力理论计算。

B.1.4 采用库仑土压力理论时，土压力计算应符合下列规定：

- a) 采用综合内摩擦角时，各地层的综合内摩擦角可按表 44 取值。根据挡土墙上边坡综合坡率，按式 (B1)、式 (B2) 判断破裂面是否交于路面，如不交于路面（如图 42 中的破裂面 4），取式 (B1)~式 (B3) 计算的土压力与式 (B4)~式 (B6) 计算的土压力中的大者，如交于路面（如图 42 中的破裂面 5），则取式 (B4)~式 (B6) 计算的土压力。

表 44 墙背填土指标建议值

填料种类		综合内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	重度 $\gamma(\text{kN}/\text{m}^3)$
黏性土	墙后等效填土高度 $H_e \leq 6\text{m}$	$35 \geq \varphi > 40$	—	19~21
	墙后等效填土高度 $H_e = 6 \sim 10$	$28 \geq \varphi > 35$	—	19~21
细砂、中砂、砂质土、碎石类土		—	$30 \geq \varphi > 35$	19~20
小卵石、砾石、粗砂、石屑		—	$35 \geq \varphi > 40$	19~20
大卵石、不易风化的岩石碎块		—	$40 \geq \varphi > 45$	19~21
碎石、不以风化的块石		—	$45 \geq \varphi > 50$	20~21.5

$$\theta = 90 - \varphi - \varepsilon \tag{B1}$$

$$\varepsilon = \text{atan} \left\{ \frac{\sqrt{\tan(\varphi - \beta) [\tan(\varphi - \beta) + \cot(\varphi - \alpha)] [1 + \tan(\alpha + \delta) \cot(\varphi - \alpha) - \tan(\varphi - \beta)]}}{1 + \tan(\alpha + \delta) [\tan(\varphi - \beta) + \cot(\varphi - \alpha)]} \right\} \tag{B2}$$

$$E_a = 0.5\gamma H^2 \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha) \left[1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\delta + \alpha) \cos(\beta - \alpha)} \right]^2} \tag{B3}$$

$$A = \frac{ab + 2h_0(b + d) - H(H + 2a + 2h_0)\tan\alpha}{(H + a)(H + a + 2h_0)} \tag{B4}$$

$$\theta = \text{atan} \left\{ -\tan(\varphi + \alpha + \delta) \pm \sqrt{[\cot\varphi + \tan(\varphi + \alpha + \delta)] [\tan(\varphi + \alpha + \delta) + A]} \right\} \tag{B5}$$

$$E_a = 0.5\gamma H^2 \frac{\cos(\theta + \varphi)(\tan\theta + \tan\alpha)}{\sin(\theta + \varphi + \alpha + \delta)} \left\{ 1 + \frac{2a}{H} \left[1 - \frac{b - a \tan\theta}{2H(\tan\theta + \tan\alpha)} \right] + \frac{2h_0}{H^2} \left(H - \frac{d + b - a \tan\theta}{\tan\theta + \tan\alpha} \right) \right\} \tag{B6}$$

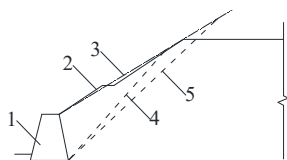
$$E_x = E_a \cos(\alpha + \delta) \tag{B7}$$

$$E_y = E_a \sin(\alpha + \delta) \tag{B8}$$

式中：

θ ——破裂面与竖直面的夹角（ $^{\circ}$ ）；

- φ ——内摩擦角或综合内摩擦角（°）；
 β ——墙后边坡与水平面的夹角（°）；
 α ——墙背与竖直面的夹角（°），俯倾为正，仰倾为负；
 δ ——墙后与填土的界面摩擦角（°）；
 E_a ——主动土压力（kN/m）；
 γ ——土重度（kN/m³）；
 H ——墙高（m）；
 a ——墙后边坡高度（m）；
 b ——墙后边坡宽度（m）；
 h_0 ——汽车荷载等效土厚度（m）；
 d ——土路肩宽度（m）；
 E_y ——主动土压力的竖向分力（kN/m）；
 E_x ——主动土压力的水平分力（kN/m）。



标引序号说明：

1—挡土墙；2—墙顶边坡线；3—墙顶综合边坡线；4—与墙顶综合边坡线相交的破裂面；5—与路面相交的破裂面

图 42 墙后破裂面与边坡的关系

- b) 考虑黏聚力时，根据挡土墙上方边坡综合坡率，按式（B15）判断破裂面是否交于路面，如不交于路面，取式（B9）~式（B16）计算的土压力与式（B17）~式（B22）计算的土压力中的大者，否则取式（B17）~式（B22）计算的土压力。

$$\psi = \varphi + \alpha + \delta \quad (\text{B9})$$

$$h_c = \frac{2c \tan(45 + 0.5\varphi)}{\gamma} \quad (\text{B10})$$

$$h_c'' = \frac{h_c}{1 + \tan\alpha \tan\beta} \quad (\text{B11})$$

$$A = 0.5\gamma(H - h_c'')^2 \left(1 + \frac{2h_c''}{H - h_c''}\right) \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\cos^2\alpha} \quad (\text{B12})$$

$$B = -\frac{h_c h_c'' \tan\alpha}{2\cos(\alpha - \beta)} \quad (\text{B13})$$

$$m = \frac{c[H \sec\alpha \cos(\alpha - \beta) - h_c \cos\beta / \gamma] \cos\varphi}{\sin(\varphi - \beta) \cos(\alpha - \beta)} \quad (\text{B14})$$

$$\theta = \text{atan} \left\{ -\tan(\psi - \beta) \pm \sqrt{\frac{[\tan(\psi - \beta) + \cot(\varphi - \beta)] \{A[\tan(\psi - \beta) - \tan(\alpha - \beta)] + B\} + m[1 + \tan^2(\psi - \beta)]}{A + m}} \right\} \quad (\text{B15})$$

$$E = A \frac{\cos(\theta + \varphi) \sin(\theta + \alpha)}{\sin(\theta + \psi) \cos(\theta + \beta)} - B \frac{\cos\theta + (\varphi) \cos(\alpha - \beta)}{\sin(\theta + \psi)} - m \frac{\sin(\varphi - \beta) \cos(\alpha - \beta)}{\sin(\theta + \psi) \cos(\theta + \beta)} \quad (\text{B16})$$

$$h_{c1}'' = \frac{h_c - h_0}{1 + \tan\alpha \tan\beta} \quad (\text{B17})$$

$$A = 0.5(H + a - h_{c1}'')(H + a + h_{c1}'' + 2h_0) \quad (\text{B18})$$

$$B = -0.5ab + (a + d)h_0 - 0.5H \tan\alpha (H + 2a + 2h_0) \quad (\text{B19})$$

$$D = \frac{A \sin(\varphi - \psi) - B \cos(\varphi - \psi)}{\cos \psi \left[A \sin \varphi + \frac{c}{\gamma} (H + a - h_{c1}) \cos \varphi \right]} \quad (\text{B20})$$

$$\theta = \text{atan} \left(-\tan \psi \pm \sqrt{\sec^2 \psi - D} \right) \quad (\text{B21})$$

$$E = \gamma (A \tan \theta - B) \frac{\cos(\theta + \varphi)}{\sin(\theta + \psi)} - \frac{c(H + a - h_{c1}) \cos \varphi}{\sin(\theta + \psi) \cos \theta} \quad (\text{B22})$$

式中：

c ——黏聚力（°）；

其他符号与式（B1）~式（B8）相同。

B.2 挡土墙稳定性计算

B.2.1 挡土墙抗滑移稳定系数宜按式（B23）计算，稳定系数不应小于1.3。

$$F_s = \frac{f(W \cos \omega + E_y \cos \omega + E_x \sin \omega)}{E_x \cos \omega - E_y \sin \omega - W \sin \omega} \quad (\text{B23})$$

式中：

F_s ——抗滑动稳定系数；

f ——挡土墙与地基土的摩擦系数，无试验资料时可参考表45取值；

ω ——挡土墙底面与水平面的夹角（°）；

W ——挡土墙重量（kN/m）。

表 45 挡土墙与地基土的摩擦系数经验值

序号	地基土类别	摩擦系数 f
1	软塑粉质黏土；可塑黏土	0.25
2	可塑粉质黏土；硬塑黏土	0.30
3	硬塑、坚硬的粉质黏土；坚硬的黏土；粉土；砂类土	0.30~0.40
4	碎石类土	0.40~0.50
5	软质岩	0.40~0.60
6	硬质岩	0.60~0.70

B.2.2 挡土墙抗倾覆稳定系数宜按式（B24）计算，稳定系数不应小于1.5。

$$F_{so} = \frac{W X_w}{E_x Y_E - E_y X_E} \quad (\text{B24})$$

式中：

F_{so} ——抗倾覆稳定系数；

X_w ——挡土墙重心与墙趾前缘的水平距离（m）；

Y_E ——主动土压力水平分量与墙趾底面的竖向距离（m）；

X_E ——主动土压力竖向分量与墙趾前缘的水平距离（m）。

条文说明：

挡土墙墙后通常设置 0.3m~0.5m 的反滤层，反滤层之后均为黏性土。如果不采用综合内摩擦角，可能出现土压力接近或小于 0 的情况，挡土墙厚度非常小，导致路堤沿墙底滑动的稳定系数小于规范要求。计算综合内摩擦角时，土体黏聚力取 40kPa，内摩擦角取 20°。

表 13 综合了《铁路路基支挡结构设计规范》TB10025-2019、《公路路基设计规范》JTG D30-2015 的规定，补充了可塑黏土的摩擦系数，细分了广东常见的粉质黏土的摩擦系数。

B.2.3 墙后坡面形状、坡体结构复杂时，挡土墙稳定分析应符合下列规定：

- 挡土墙的抗滑移稳定系数宜取改进沙尔玛法或传递系数法计算的挡土墙底面为滑面的复合滑动面、折线滑动面的最小稳定系数。
- 采用改进沙尔玛法时，可按式(B25)计算的抗倾覆稳定系数；采用传递系数法时，可按式(B26)计算的抗倾覆稳定系数。抗倾覆稳定系数不应小于表5、表6中的稳定安全系数。

$$F_{so} = \frac{W_n x_0}{E_{n-1}(\cos\delta_{n-1}z_1 + \sin\delta_{n-1}x_1) - E_{n-1}\tan\phi_{vn-1}\sin(\theta_{n-1} - \theta_n) / F_s(\cos\delta_{n-1}x_1 - \sin\delta_{n-1}z_1) - E_n z_2} \quad (\text{B25})$$

$$F_{so} = \frac{W_n x_0}{E_{n-1}\cos\theta_{n-1}z_1 + E_{n-1}\sin\theta_{n-1}x_1 - E_n\cos\theta_n z_2} \quad (\text{B26})$$

式中：

F_{so} ——抗倾覆稳定系数；

W_n ——包含挡土墙的条块的重量，见图7~图9；

x_0 ——包含挡土墙的条块重心与墙趾外缘底端的水平距离（m）；

E_{n-1} ——挡土墙与墙后条块之间的界面上法向力（kN/m），见图7~图9；

δ_{n-1} ——挡土墙与墙后条块之间的界面与竖直面的夹角（°），界面倾向坡外取正值，否则取负值；

z_1 ——挡土墙与墙后条块之间的界面中点与墙趾外缘底端的竖向距离（m）；

x_1 ——挡土墙与墙后条块之间的界面中点与墙趾外缘底端的水平距离（m）；

ϕ_{vn-1} ——挡土墙与墙后条块之间的界面的摩擦角（°）；

θ_{n-1} ——墙后条块底面的倾角（°），条块底面倾向坡外取正值，否则取负值；

θ_n ——墙底面的倾角（°），见图7~图9，墙底面倾向坡外取正值，否则取负值；

F_s ——抗滑移稳定系数；

E_n ——挡土墙与墙前条块之间的界面上法向力（kN/m），见图7~图9；

z_2 ——挡土墙与墙前条块之间的界面中点与墙趾外缘底端的竖向距离（m）。

条文说明：

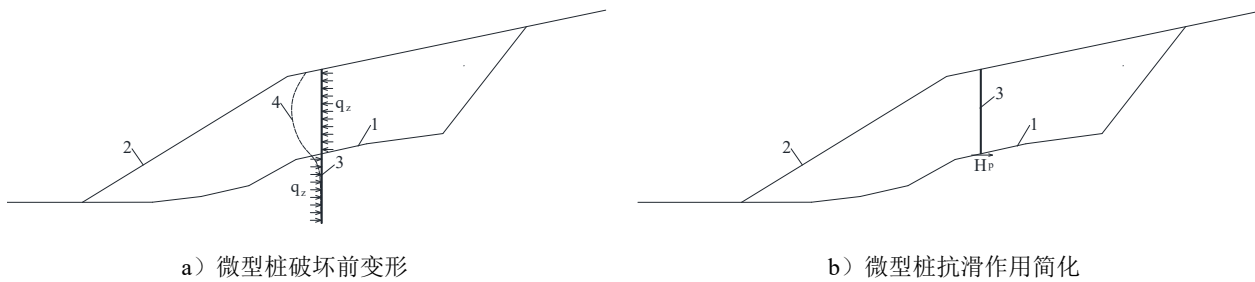
高路堤的挡土墙墙身高度较大，墙后压实填土的黏聚力较大，墙后坡面不规格，采用综合内摩擦角计算土压力的误差较大，可以采用稳定分析的方法计算主动土压力。根据工程经验，墙后土压力分布多为中间大、两端小的曲线，土压力作用点与墙踵的竖向距离可取墙高的0.4~0.5倍。

B.2.4 挡土墙抗滑移、抗倾覆的稳定系数不应小于其所支挡路基边坡的稳定安全系数。

附录 C
(规范性)
微型桩作用计算方法

C.1 土质边坡中抗滑作用

C.1.1 微型桩可近似假设滑动面处为反弯点，滑动面处仅作用剪力 H_p ，见图43。



标引序号说明：

1—滑动面；2—坡面；3—微型桩；4—破坏前微型桩； H_p —微型桩的抗滑力

图 43 微型桩抗滑作用示意

C.1.2 H_p 宜使滑动面以下桩段最大弯矩、桩侧土水平承载力最先达到承载力极限状态的 H_0 ，且不应大于式（C1）。

$$H_p = A_s f_s + A_c f_c \quad (C1)$$

式中：

- A_s ——筋材横截面面积（ mm^2 ）；
- f_s ——钢筋抗剪强度设计值（MPa）；
- A_c ——砂浆或混凝土横截面面积（ mm^2 ）；
- f_c ——混凝土抗剪强度设计值（MPa）。

C.1.3 H_0 作用下，微型桩中的弯矩、横向压应力可用式（C2）、式（C3）计算。

$$M_z = \alpha^2 EI H_0 \left(-\delta_{HH} A_3 - \frac{\delta_{MH}}{\alpha} B_3 + \frac{1}{\alpha^3 EI} D_3 \right) \quad (C2)$$

$$p_z = m z H_0 \left(-\delta_{HH} A_1 - \frac{\delta_{MH}}{\alpha} B_1 + \frac{1}{\alpha^3 EI} D_1 \right) \quad (C3)$$

式中：

- M_z —— z 处桩身弯矩（kN/m）；
- p_z —— z 处横向压应力（kPa）；
- 其他符号含义与附录A相同。

C.1.4 微型桩加固的土质边坡稳定性应按6.3节方法计算，将 H_p 作为水平力 H_t 。

C.2 岩边坡中抗滑作用

C.2.1 宜采用图43b)的简化抗滑， H_p 宜采用式（A1）计算。

C.2.2 微型桩加固的岩质边坡稳定性应按6.3节方法计算，将 H_p 作为水平力 H_t 。

C.3 插入挡土墙的微型桩作用

C.3.1 抗倾覆计算时，宜将前排桩作为转点，其他桩作为抗拔桩，抗倾覆稳定系数可采用式（C4）计算。

$$F_{so} = \frac{WX_w}{E_x Y_E - E_y X_E - \frac{1}{D_2} \sum R_i X_i} \quad (\text{C4})$$

式中：

F_{so} ——抗倾覆稳定系数；

W ——挡土墙重量（kN/m）。

X_w ——挡土墙重心与前排微型桩的水平距离（m）；

E_x ——主动土压力的水平分力（kN/m）。

Y_E ——主动土压力水平分量与前排微型桩桩顶的竖向距离（m）；

E_y ——主动土压力的竖向分力（kN/m）；

X_E ——主动土压力竖向分量与前排微型桩的水平距离（m）；

D_2 ——除前排桩之外的其他桩纵向间距（m）；

R_i ——第*i*排桩的抗拔承载力极限值（kN）；

X_i ——第*i*排桩与前排桩的水平距离（m）。

C.3.2 抗滑移稳定系数可采用式（C5）计算。微型桩的抗剪荷载宜取使桩身最大弯矩、桩侧土水平承载力最先达到承载力极限状态的 H_0 ，且不应大于式（C1）。

$$F_s = \frac{\cos\omega \sum H_i}{E_x \cos\omega - E_y \sin\omega - W \sin\omega} \quad (\text{C5})$$

式中：

F_s ——抗滑动稳定系数；

ω ——挡土墙底面与水平面的夹角（°）；

H_i ——第*i*桩的抗剪荷载（kN）；

其他符号含义与C.3.1相同。

C.3.3 宜按式（C6）验算前排桩抗压承载力。

$$P_1 = (W + E_y) D_1 + \frac{n P_2}{D_2} D_1 \quad (\text{C6})$$

$$P_2 = \frac{E_x Y_E - E_y X_E - W X_w}{\frac{\sum X_i}{D_2}} \quad (\text{C7})$$

式中：

P_1 ——前排桩承受的压力（kN）；

D_1 ——前排桩的纵向间距（m）；

n ——其他桩排数；

P_2 ——其他桩承受的拉力（kN）；

其他符号含义与C.3.1相同。

C.3.4 微型桩的抗滑作用计算方法宜采用C.1的方法。

C.4 用于挡土墙复合地基的微型桩作用

C.4.1 抗倾覆稳定性计算时，宜将前排桩作为转点，抗倾覆稳定系数可采用式（C8）计算。

$$F_{so} = \frac{WX_w}{E_x Y_E - E_y X_E} \quad (\text{C8})$$

式中：

F_{so} ——抗倾覆稳定系数；

W ——挡土墙重量（kN/m）。

X_w ——挡土墙重心与前排微型桩的水平距离（m）；

E_x ——主动土压力的水平分力 (kN/m)。

Y_E ——主动土压力水平分量与前排微型桩桩顶的竖向距离 (m)；

E_y ——主动土压力的竖向分力 (kN/m)；

X_E ——主动土压力竖向分量与前排微型桩的水平距离 (m)；

X_i ——第*i*排桩与前排桩的水平距离 (m)。

C. 4. 2 抗滑移稳定性应采用式 (23) 计算。

附录 D
(规范性)

填方边坡坡面压实度灌砂法检测方法

D.1 倾斜法

D.1.1 仪器改装应符合下列规定

- a) 沿基板中孔周边均匀地焊接 3 个直径 10 mm 的螺栓，灌砂筒底部圆盘上开设 3 个直径 12 mm 的圆孔，圆孔位置和直径与螺栓对应。
- b) 距离基板一侧 5 cm 处开设 2 个直径 27 mm 的锚孔。加工 2 长 60 cm 直径 25 mm 一段设置螺纹的钢筋。

D.1.2 灌砂筒下部锥体内砂的质量标定应符合下列规定：

- a) 在灌砂筒筒口高度上，向灌砂筒内装砂至筒顶 35±5 mm 的距离，称取装入筒内砂的质量 m_1 ，准确至 1 g，试验时也维持装砂高度与质量不变。
- b) 将开关打开，使灌砂筒洞底的流砂孔、圆锥形漏斗上端开口圆孔及开关铁板中心的圆孔对齐，让砂自由流出，并使流出砂的体积与标定罐的容积相当或与所挖试坑体积相当，然后关上开关。
- c) 不晃动储砂筒的砂，轻轻地将灌砂筒移至玻璃板上，将开挖打开，让砂流出，直至筒内砂不再下流时，将开关关上，并细心地取走灌砂筒。
- d) 收集并称量流在玻璃板上的砂或称量筒内的砂，准确至 1 g。玻璃板上的砂就是填满筒下部圆锥体的砂 m_2 。
- e) 重复上述测量三次，取其平均值。

D.1.3 按下列步骤标定砂的重度 γ_s (g/cm^3)：

- a) 用水确定标定罐的容积 V ，准确至 1 mL，标定时稳定与现场实测时温度应控制在 ±15 °C 以内。
- b) 在灌砂筒内装入质量为 m_1 的砂，并将灌砂筒放在标定罐上，将开关打开，让砂流出。在整个流砂过程中，不要碰动灌砂筒，直至灌砂筒内的砂不再下流时，将开关关闭。取下灌砂筒，称取筒内剩余砂的质量 m_3 ，准确至 1 g。
- c) 填满标定罐所需砂的质量采用下式计算：

$$m_a = m_1 - m_2 - m_3 \quad (\text{D1})$$

- a) 重复上述测量三次，取其平均值。
- b) 量砂的密度采用下式计算：

$$\gamma_s = \frac{m_a}{V} \quad (\text{D2})$$

式中：

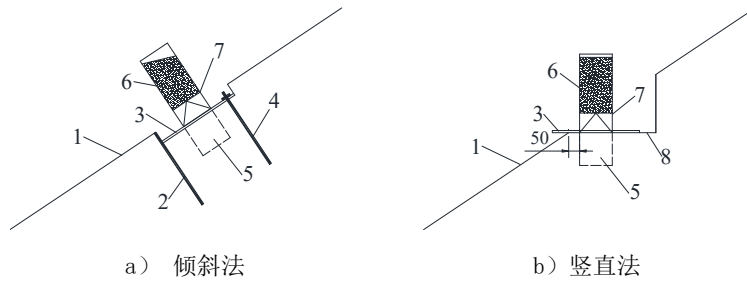
γ_s ——量砂的密度 (g/cm^3)；

V ——标定罐的容积 (cm^3)。

D.1.4 检测应符合下列规定：

- a) 在坡面拟检测点，向坡内平行开挖 1 cm~3 cm 深形成检测面，检测面应平行坡面，其尺寸不应小于基板，检测面平整度不应大于 5 mm。将检测面清扫干净。
- b) 在检测面下部打设 2 根直径 25 mm、长约 60 cm 的支撑钢筋。沿基板开设锚孔的对面底边线黏贴一个宽度约 1 cm、厚度约 5 mm 的海绵条，将基板放在支撑钢筋上并紧靠检测面。然后打设锚筋，安装螺母并对螺母上侧位置作好标记，如图 44 所示。将盛有量砂 m_1 的灌砂筒放在基板中间的圆孔上，并用螺母固定。将灌砂筒的开关打开，让灌砂流入基板的中孔内，直至灌砂筒内的砂不再下流时关闭开关。取下灌砂筒，并称量筒内砂的重量 m_5 ，准确至 1 g。

- c) 取走基板，并将留在检测地点未混入杂质的量砂收回，清扫干净。



标引序号说明：

1—坡面；2—支撑钢筋；3—基板；4—锚筋；5—检测坑；6—量砂；7—开关；8—台阶

图 44 坡面灌砂法示意

- d) 将基板放在支撑钢筋上并紧靠检测面，安装螺母使螺母上侧与螺旋上标记齐平。沿基板中孔凿洞，洞的直径与灌砂筒一致。在凿洞过程中，不应将凿除的填土丢失，并碎石将凿送的填土取出装入塑料袋中，不使水分蒸发。检测洞的深度宜 15 cm，最后将洞内的全部凿松材料取出。可分几次称取填土的重量，全部取出的总质量为 m_w ，准确至 1g。
- e) 从挖除的填土中取有代表性的样平测定其含水量。
- f) 灌砂筒放砂到要求质量 m_1 。将基板安放在试坑上，将灌砂筒安放在基板中间，使灌砂筒的下口对准基板的中孔及试洞，打开灌砂筒的开关，让砂流入检测坑内。在此期间，不应碰动灌砂筒。直到灌砂筒内的砂不再下流时，关闭开关。仔细取走灌砂筒，并称量筒内剩余砂的质量 m_4 ，准确至 1g。

D.1.5 计算分析应符合下列规定：

- a) 填满检测坑所用砂的重量采用下式计算：

$$m_b = m_1 - m_4 - (m_1 - m_5) \quad (D3)$$

式中：

m_b ——检测坑中砂的重量 (g)；

其中 $m_1 - m_5$ 为灌砂筒下部圆锥体内及基板和检测面间砂的合计重量。

- b) 按下式计算填土的湿密度：

$$\rho_w = \frac{m_w}{m_b} \gamma_s \quad (D4)$$

式中：

ρ_w ——湿密度 (g/cm^3)。

- c) 采用下式计算填土的干密度：

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + 0.01w} \quad (D5)$$

式中：

ρ_d ——干密度 (g/cm^3)；

w ——含水量 (%)。

- d) 采用下式计算填土的压实度：

$$K = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \times 100 \quad (D6)$$

式中：

K ——压实度 (%)；

ρ_{dmax} ——最大干密度 (g/cm^3)。

D.2 竖直法

在填方边坡坡面拟检测点开挖宽度不小于 50 cm 的台阶，台阶高程不应大于 10 mm，在距离坡面 5 cm 处开挖检测坑，检测坑深度为 15 cm，如图 44 所示，其他应符合 JTG 3450 的规定。

附录 E (规范性)

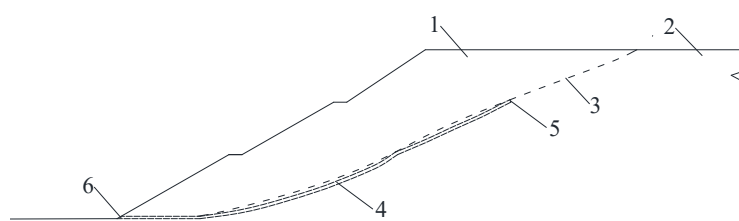
沟心渗沟、斜向渗沟连通性检测方法

E. 1. 1 应在渗沟封顶前再进行渗沟检验，检测合格后方可继续填土。如渗沟顶部已填土，则应开挖出渗沟顶面，并将渗沟顶面反滤土工布打开。

条文说明：

支挡结构反滤层施工质量控制难度大，检测困难，导致排水效果较差。借鉴铁路系统红线检查做法，随机开挖探槽检查反滤层施工质量，不但可以有效检测反滤层施工质量，而且具有较强的威慑作用。

E. 1. 2 在渗沟上端，5 min~10 min灌注4 m³~8 m³清水，如图45所示。灌水量根据渗沟长度、沟侧地层饱和程度、渗透性等确定，渗沟长度大、沟侧地层饱和度低、渗透性大时，取大值。



标引序号说明：

1—填方；2—挖方；3—斜坡；4—沟心渗沟；5—灌水处；6—渗沟出口

图 45 坡面灌砂法示意

E. 1. 3 自开始灌水开始，30 min内渗沟出口处流出水超过100 L时，渗沟连通性合格合格。

E. 1. 4 当连通性检测前渗沟已有水流出时，检测用水中应掺加示踪剂。自开始灌水开始，30 min内渗沟出口处出水量明显增加且能检测到示踪剂时，渗沟连通性合格。

E. 1. 5 示踪剂宜采用食用盐，可采用红色染料、荧光粉等。采用食用盐时，宜采用万用表检测示踪剂。食用盐掺量宜取(50~100) kg/m³，具体掺量可根据渗沟中流量调整。

E. 1. 6 渗沟检测合格后，应将渗沟顶面包裹反滤土工布并填土覆盖。

附录 F
(规范性)
支挡工程反滤层检测方法

F.1 检测方法选择

F.1.1 路堤支挡工程的反滤层检测应采用探槽法或灌水检测，路堑支挡工程的反滤层检测应采用灌水检测。

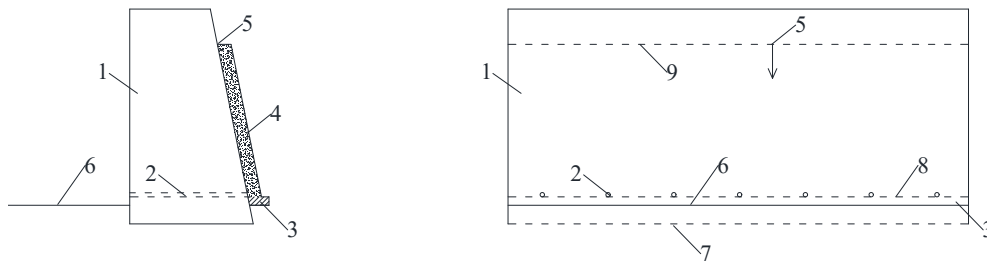
F.2 灌水法

F.2.1 宜在反滤层施工后检测，对衡重式挡土墙，衡重台以下墙段、衡重台以上墙段应分别检测其反滤层。对已经填土覆盖的挡墙，应开挖并打开反滤层顶面防渗层。

F.2.2 沿支挡工程走向每50 m应检测1处，且每个工点不应少1处。

F.2.3 每次检测时，各工点的第一个检测点位置应现场随机确定。宜避开正在流水的泄水孔。

F.2.4 在墙背最下面一排两个泄水孔中间，紧靠墙背灌注清水（如图46所示），在2 min~3 min内灌注5 L~10 L水。灌水量根据墙被类型、墙后填料渗透性等确定，仰斜式墙背、渗透性大时，取大值。自开始灌水起算，5 min内最下面一排两个泄水孔或一个泄水孔有水流出排水层为合格。



标引序号说明：

1—挡土墙；2—泄水孔；3—防渗层；4—反滤层；5—灌水处；6—地面线；7—墙底线；8—防渗层顶面；9—反滤层顶面

图 46 支挡结构反滤层灌水示意

条文说明：

灌水法不但可以检测反滤层的连通性，而且可以检测反滤层下面的防渗层施工质量、最下排泄水孔与反滤层下面的防渗层顶面的齐平性。

F.2.5 对正在流水的泄水孔，采用灌水法检测时，检测用水中应掺加示踪剂。自开始灌水开始，5 min内泄水孔出水量明显增加且能检测到示踪剂时，反滤层连通性合格。

F.2.6 示踪剂宜采用食用盐，可采用红色染料、荧光粉等。采用食用盐时，宜采用万用表检测示踪剂。食用盐掺量宜取（50~100）g/L，具体掺量可根据泄水中流水量调整。

F.3 探槽法

F.3.1 反滤层每施工4 m~5 m高宜检查1次。

F.3.2 每个工点检测不应少1处。

F.3.3 探槽开挖宽度不宜少于1 m，探槽底面应低于反滤层底面或上次检测面。

F.3.4 每开挖1 m应检测一次反滤层的结构、材料、厚度，应符合设计要求。

F.3.5 检测后应按设计恢复反滤层，反滤层后面的探槽应分层回填碎石并夯实。

条文说明：

支挡结构反滤层施工质量控制难度大，检测困难，导致排水效果较差。探槽法是借鉴铁路系统红线检查的做法，随机开挖探槽检查反滤层施工质量，不但可以有效检测反滤层施工质量，而且具有较强的威慑作用。