

UDC

中华人民共和国行业标准



CJJ 194 - 2013

备案号 J 1590 - 2013

P

城市道路路基设计规范

Code for design of urban road subgrades

2013 - 05 - 13 发布

2013 - 12 - 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国住房和城乡建设部 公告

第 29 号

住房城乡建设部关于发布行业标准 《城市道路路基设计规范》的公告

现批准《城市道路路基设计规范》为行业标准，编号为 CJJ 194-2013，自 2013 年 12 月 1 日起实施。其中，第 3.0.7 条为强制性条文，必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2013 年 5 月 13 日

中华人民共和国行业标准
城市道路路基设计规范

Code for design of urban road subgrades

CJJ 194-2013

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

化学工业出版社印刷厂印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：4 1/2 字数：117 千字

2013 年 11 月第一版 2013 年 11 月第一次印刷

定价：23.00 元

统一书号：15112·23740

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

前 言

根据原建设部《关于印发〈2007年工程建设标准规范制订、修订计划（第一批）〉的通知》（建标〔2007〕125号）的要求，本规范由同济大学会同有关单位共同编制而成。

本规范在编制过程中进行了深入调查研究，认真总结国内外科研成果和大量实践经验，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本规范的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 一般路基；5. 路基排水；6. 路基防护与支挡；7. 特殊路基；8. 路基改建与扩建。

本规范以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由同济大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中，有关意见和建议请寄送同济大学（地址：上海市嘉定区曹安公路4800号；邮政编码：201804）。

本规范主编单位：同济大学

本规范参编单位：上海市城市建设设计研究总院
上海市市政工程设计研究总院（集团）有限公司
北京市市政工程设计研究总院
天津市市政工程设计研究院
重庆市设计院

本规范主要起草人员：凌建明 刘伟杰 钱劲松 李进
聂大华 王晓华 黄琴龙 陈希昌
徐一峰 袁胜强 段铁铮 严西华

朱自力 崔新书 徐宏跃 李伟
本标准主要审查人员：温学钧 徐波 吴万平 康平
冯守中 曹亚东 韩萍 张孟喜
吴立坚

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	7
4 一般路基	8
4.1 一般规定	8
4.2 路基干湿类型	8
4.3 填方路基	9
4.4 挖方路基	11
4.5 路床	13
4.6 路基压实	14
4.7 特殊部位的路基填筑与压实	15
5 路基排水	18
5.1 一般规定	18
5.2 地表水	18
5.3 地下水	20
6 路基防护与支挡	23
6.1 一般规定	23
6.2 路基稳定与变形计算	23
6.3 路基防护	26
6.4 支挡加固	27
6.5 路基监测	33
7 特殊路基	35
7.1 一般规定	35

7.2 软土地区路基	35
7.3 红黏土与高液限土地区路基	42
7.4 膨胀土地区路基	44
7.5 黄土地区路基	47
7.6 盐渍土地区路基	52
7.7 季节性冰冻地区路基	55
7.8 岩溶地区路基	56
7.9 浸水路基	58
7.10 滨海路基	59
8 路基改建与扩建	61
8.1 一般规定	61
8.2 既有路基性状调查与评价	62
8.3 既有路基利用与处治	63
8.4 路基拓宽	65
附录 A 路基临界高度	65
附录 B 路基回弹模量确定方法	75
本规范用词说明	84
引用标准名录	85
附：条文说明	87

35	General Requirements
36	Subgrade Protection
37	Retaining and Strengthening
38	Subgrade Monitoring
39	Special Subgrade
40	General Requirements
41	General Requirements for Construction
42	Stability Analysis and Deformation Calculation
43	General Requirements
44	Subgrade Protection for Non-strengthened
45	Subgrade Protection for Strengthened
46	Subgrade Protection for Retaining
47	Subgrade Protection for Strengthening
48	Subgrade Protection for Monitoring
49	Subgrade Protection for Special
50	Subgrade Protection for General
51	Subgrade Protection for Retaining
52	Subgrade Protection for Strengthening
53	Subgrade Protection for Monitoring
54	Subgrade Protection for Special
55	Subgrade Protection for General
56	Subgrade Protection for Retaining
57	Subgrade Protection for Strengthening
58	Subgrade Protection for Monitoring
59	Subgrade Protection for Special
60	Subgrade Protection for General
61	Subgrade Protection for Retaining
62	Subgrade Protection for Strengthening
63	Subgrade Protection for Monitoring
64	Subgrade Protection for Special
65	Subgrade Protection for General
66	Subgrade Protection for Retaining
67	Subgrade Protection for Strengthening
68	Subgrade Protection for Monitoring
69	Subgrade Protection for Special
70	Subgrade Protection for General
71	Subgrade Protection for Retaining
72	Subgrade Protection for Strengthening
73	Subgrade Protection for Monitoring
74	Subgrade Protection for Special
75	Subgrade Protection for General
76	Subgrade Protection for Retaining
77	Subgrade Protection for Strengthening
78	Subgrade Protection for Monitoring
79	Subgrade Protection for Special
80	Subgrade Protection for General
81	Subgrade Protection for Retaining
82	Subgrade Protection for Strengthening
83	Subgrade Protection for Monitoring
84	Subgrade Protection for Special
85	Subgrade Protection for General
86	Subgrade Protection for Retaining
87	Subgrade Protection for Strengthening
88	Subgrade Protection for Monitoring
89	Subgrade Protection for Special
90	Subgrade Protection for General
91	Subgrade Protection for Retaining
92	Subgrade Protection for Strengthening
93	Subgrade Protection for Monitoring
94	Subgrade Protection for Special
95	Subgrade Protection for General
96	Subgrade Protection for Retaining
97	Subgrade Protection for Strengthening
98	Subgrade Protection for Monitoring
99	Subgrade Protection for Special
100	Subgrade Protection for General

1 总 则

- 1.0.1 为适应城市道路发展的需要，使城市道路路基工程设计符合安全适用、技术经济合理的要求，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于新建、改建和扩建的各级城市道路的路基设计。
- 1.0.3 城市道路路基设计应根据城市中长期发展规划，综合考虑社会效益、环境效益与经济效益的协调统一，合理采用技术标准。
- 1.0.4 城市道路路基设计除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 路基 subgrade

按照道路路线位置和横断面要求修筑的带状结构物，是路面结构的基础，承受由路面传来的行车荷载。

2.1.2 路床 roadbed

路面结构底面以下 0.80m 范围内的路基部分，分为上路床 (0~0.30m) 和下路床 (0.30m~0.80m)。

2.1.3 一般路基 ordinary subgrade

在工程地质和水文地质均良好的路段修筑的填方高度和挖方深度不大的路基。

2.1.4 特殊路基 special subgrade

位于特殊岩土地段、不良地质地段的路基，或者高填、深挖的路基，或者其性能受自然因素影响强烈的路基。

2.1.5 路基回弹模量 subgrade modulus

路基重复加-卸载试验中，某一应力级位条件下，卸载阶段的竖向应力与对应回弹应变的比值。

2.1.6 CBR (加州承载比) California bearing ratio

表征路基填料抵抗局部荷载压入变形能力的一种强度指标，即标准击实试件在水中浸泡 4 昼夜后，在规定贯入量时所施加的单位压力与标准碎石在相同贯入量时所施加的单位压力之比值，以百分数表示。

2.1.7 压实度 degree of compaction

路基压实后的实测干密度与标准击实试验所得的最大干密度之比，以百分率表示。

2.1.8 路基湿度 subgrade moisture

路基中水的含量状态，可用含水率、稠度、饱和度等表示。

2.1.9 路基稠度 subgrade consistency

表征路基湿度状态的一种指标，即路基土的含水率与液限之差和塑限与液限之差的比值。

2.1.10 路基临界高度 critical height of subgrade

在最不利季节，路基分别处于干燥、中湿或潮湿状态时，路床顶面距地下水水位或地表长期积水位的最小高度。

2.1.11 路基相对高度 relative height of subgrade

路基边缘高出地下水水位或地表长期积水位的高度。

2.1.12 填石路基 rock-filled subgrade

用粒径大于 40mm、含量超过 70% 的石料填筑的路基。

2.2 符号

2.2.1 路基湿度

H ——路基相对高度；

H_1 ——路基干燥与中湿分界状态对应的临界高度；

H_2 ——路基中湿与潮湿分界状态对应的临界高度；

H_3 ——路基潮湿与过湿分界状态对应的临界高度；

w_L ——土的液限；

w_P ——土的塑限；

w_c ——路床顶面以下 80cm 深度内的平均稠度；

w_{c1} ——干燥和中湿状态路基的分界稠度；

w_{c2} ——中湿和潮湿状态路基的分界稠度；

w_{c3} ——潮湿和过湿状态路基的分界稠度。

2.2.2 路基回弹模量及其测定方法

E ——室内试验法回弹模量实测值；

E_{0D} ——路基回弹模量设计值；

E_{0S} ——室内试验法考虑试筒尺寸约束修正后的回弹模量测试结果；

λ ——室内试验法试筒尺寸约束修正系数；

K ——考虑不利季节和路基干湿类型的回弹模量综合影响系数;

Z ——考虑保证率的回弹模量折减系数;

E_{ob} ——现场承载板法测试计算值;

D ——承载板直径;

P ——现场承载板法的荷载;

l ——现场承载板法检测的回弹变形;

μ ——泊松比;

l_{0D} ——路基设计弯沉值;

p ——测定车轮胎接地压强;

δ ——测定车轮胎当量圆半径;

μ_0 ——均匀体弯沉系数;

K_1 ——不利季节影响系数;

Z_s ——保证率系数。

2.2.3 支挡结构

S ——作用(或荷载)效应的组合设计值;

$R(\cdot)$ ——支挡结构结构抗力函数;

R_k ——抗力材料的强度标准值;

γ_1 ——结构材料、岩土性能的分项系数;

γ_{Q1} ——恒载或车辆荷载、人群荷载的主动土压力分项系数;

γ_{Q2} ——被动土压力分项系数;

γ_{Q3} ——水浮力分项系数;

γ_{Q4} ——静水压力分项系数;

γ_{Q5} ——动水压力分项系数;

α_d ——结构或结构构件几何参数的设计值;

γ_0 ——结构重要性系数;

h_0 ——换算土层厚度;

q ——车辆荷载附加荷载强度;

γ ——墙背填土的重度;

e_0 ——偏心距;

B ——支挡结构基础宽度;

$[f_a]$ ——基底容许承载力;

K_c ——抗滑动稳定安全系数;

K_0 ——抗倾覆稳定安全系数。

2.2.4 软土地区路基

S ——总沉降;

S_d ——瞬时沉降;

S_c ——主固结沉降;

S_s ——次固结沉降;

S_z ——桩长深度内地基的沉降;

m_s ——沉降系数;

U_t ——地基平均固结度;

σ ——滑动面处桩体的竖向应力;

φ_c ——粒料桩内摩擦角;

m ——桩对土的置换率;

τ_p ——桩的抗剪强度;

τ_s ——地基土的抗剪强度;

τ_{ps} ——复合地基的抗剪强度;

E_p ——桩体压缩模量;

E_s ——土体压缩模量;

E_{ps} ——复合地基的压缩模量;

α ——滑动面倾角;

D_p ——桩的直径;

B_p ——桩间距;

μ_s ——桩间土应力折减系数;

n ——桩土应力比;

$E_{s,j,i}$ ——桩端平面下第 j 层土第 i 个分层在自重应力至自重应力加附加应力作用段的压缩模量;

$\Delta h_{j,i}$ ——桩端平面下第 j 层第 i 分层的厚度;

$\sigma_{j,i}$ ——桩端平面下第 j 层第 i 分层的竖向附加应力;

ψ_p ——桩基沉降计算经验系数。

2.2.5 季节性冰冻地区路基

Z_j ——路基冻胀值；

h_i ——路基冻深内不同土层厚度；

η_i ——路基不同土层土的冻胀率；

h_r ——冻胀土路基临界高度；

Z_{max} ——道路多年最大冻深；

h_e ——冻结水上升高度。

2.2.6 岩溶地区路基

L ——溶洞坍塌时的影响范围；

H_k ——溶洞顶板厚度；

β ——坍塌扩散角；

K_s ——安全系数；

φ ——岩石内摩擦角。

3 基本规定

3.0.1 路基设计应与城市规划和沿线自然景观相协调，有效利用原有地形，避免高填深挖，防止诱发地质灾害，并应充分评估对沿线重要建筑、市政设施和历史古迹的影响。

3.0.2 路基设计应保证路基足够的强度、整体稳定性、抗变形能力和耐久性。

3.0.3 路基设计前应进行调查和勘察，获取路基设计所需的水文、地质、气象资料和岩土物理力学参数。

3.0.4 路基土的分类应采用统一分类法，并应符合现行行业标准《公路土工试验规程》JTG E40 的规定。

3.0.5 岩质边坡的岩体分类应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定。

3.0.6 路基排水设计应按所在排水系统的规划要求，并应符合现行国家标准《室外排水设计规范》GB 50014 的规定。

3.0.7 快速路的机动车道内严禁设置管道检查井。

3.0.8 路基防护应根据当地水文、气象、地形、地质条件及筑路材料分布情况，合理采取植物防护或（和）工程防护措施，防治路基病害。条件许可时，宜优先采用有利于生态环境保护的防护措施。

4 一般路基

4.1 一般规定

4.1.1 路基土石方的取、弃应结合当地城市规划, 兼顾土石方用量、土石质类型、用地情况及运输条件等因素, 合理选择取、弃地点。

4.1.2 路基设计应因地制宜, 合理利用当地材料、工业废渣与建筑渣土。生活垃圾不得用于路基填筑。

4.2 路基干湿类型

4.2.1 路基干湿类型可采用分界稠度划分, 并应符合表 4.2.1-1 的规定; 当缺少资料时, 也可根据路基相对高度, 按表 4.2.1-2 确定。路基临界高度可按本规范附录 A 进行划分。

表 4.2.1-1 路基干湿状态的分界稠度值

土质类别	干湿状态			
	干燥	中湿	潮湿	过湿
	$w_c \geq w_{c1}$	$w_{c1} > w_c \geq w_{c2}$	$w_{c2} > w_c \geq w_{c3}$	$w_c < w_{c3}$
土质砂	$w_c \geq 1.20$	$1.20 > w_c \geq 1.00$	$1.00 > w_c \geq 0.85$	$w_c < 0.85$
黏质土	$w_c \geq 1.10$	$1.10 > w_c \geq 0.95$	$0.95 > w_c \geq 0.80$	$w_c < 0.80$
粉质土	$w_c \geq 1.05$	$1.05 > w_c \geq 0.90$	$0.90 > w_c \geq 0.75$	$w_c < 0.75$

注: w_{c1} 、 w_{c2} 、 w_{c3} 分别为干燥和中湿、中湿和潮湿、潮湿和过湿状态路基的分界稠度, w_c 为路床顶面以下 80cm 深度内的平均稠度。

表 4.2.1-2 路基干湿状态的路基相对高度判定标准

路基干湿类型	路基相对高度 H	一般特征
干燥	$H \geq H_1$	路基干燥、稳定, 路面强度和稳定性不受地下水和地表积水的影响

续表 4.2.1-2

路基干湿类型	路基相对高度 H	一般特征
中湿	$H_2 \leq H < H_1$	路基上部土层处于地下水或地表积水影响的过渡带区内
潮湿	$H_3 \leq H < H_2$	路基上部土层处于地下水或地表积水毛细影响区内
过湿	$H < H_3$	路基上部土层处于地下水或地表积水毛细影响区内

注: H_1 、 H_2 、 H_3 为路基干燥与中湿、中湿与潮湿、潮湿与过湿分界状态对应的临界高度。

4.2.2 对快速路和主干路, 路基应处于干燥或中湿状态; 对次干路和支路, 路基宜处于干燥或中湿状态。否则, 应采取翻晒、换填、改良或设置隔水层、降低地下水位等措施。

4.3 填方路基

4.3.1 填方路基应优先选用级配较好的砾类土、砂类土等粗粒土作为填料, 填料最大粒径应小于 150mm。

4.3.2 强膨胀土、泥炭、淤泥、有机质土、冻土 (及含冰的土)、易溶盐超过允许含量的土以及液限大于 50%、塑性指数大于 26 的细粒土等, 不得直接用于填筑路基。

4.3.3 浸水路基应选用渗水性良好的材料填筑, 不宜采用粉质土填筑。当采用细砂、粉砂作填料时, 应避免振动液化。

4.3.4 当采用细粒土填筑路基时, 填料最小强度应符合表 4.3.4 的规定。当不能满足要求时, 可采用石灰、水泥或其他稳定材料进行处治。

表 4.3.4 填方路基填料最小强度

路床顶面以下深度 (m)	填料最小强度 (CBR) (%)		
	快速路、主干路	次干路	支路
0.8~1.5	4	3	3
>1.5	3	2	2

4.3.5 当采用石料填筑路基时,最大粒径应小于摊铺层厚的 2/3,过渡层碎石料粒径应小于 150mm。易溶性岩石、膨胀性岩石、崩解性岩石、盐化岩石等均不得用于路堤填筑。

4.3.6 当采用粉煤灰填筑路基时,应预先调查料源并进行必要的室内试验。用于快速路和主干路的粉煤灰烧失量宜小于 20%、含硫量宜小于 3%,超过标准的粉煤灰应做对比试验,经分析论证后方可采用。

4.3.7 当填方路基的地质条件良好,边坡高度不大于 20m 时,边坡设计应符合下列规定:

1 填土路基的边坡坡率不宜大于表 4.3.7-1 的规定值。

表 4.3.7-1 填土路基边坡坡率

填料类别	边坡坡率	
	上部高度 ($H \leq 8m$)	下部高度 ($H \leq 12m$)
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

2 填石路基的边坡坡率不宜大于表 4.3.7-2 的规定值。中硬和硬质石料的填石路基应进行边坡码砌,码砌石块应采用强度大于 30MPa、尺寸不小于 300mm 的规则石块。填高小于 5m 时,码砌厚度不应小于 1m;填高为 5m~12m 时,码砌厚度不应小于 1.5m;填高大于 12m 时,码砌厚度不应小于 2m。

表 4.3.7-2 填石路基边坡坡率

填石料类型	边坡坡率	
	上部高度 ($H \leq 8m$)	下部高度 ($H \leq 12m$)
硬质岩石	1:1.1	1:1.3
中硬岩石	1:1.3	1:1.5
软质岩石	1:1.5	1:1.75

3 吹(填)砂和粉煤灰路基的边坡应采取土质坡(包边土)保护措施,土质坡厚度不宜小于 1m。

4.3.8 填方路基地基表层处理应符合下列规定:

1 当地基顶面存在滞水时,应根据积水深度及水下淤泥层的范围和厚度,采取排水疏干、挖除淤泥、抛石挤淤或砂砾石等处理措施。

2 当地面横坡缓于 1:5 时,在清除地表草皮、腐殖土后,可直接在天然地面上填筑路基。

3 当地面横坡为 1:5~1:2.5 时,原地面应开挖台阶,台阶宽度不宜小于 2m,并应设置 2% 的反向坡;当基岩面上的覆盖层较薄时,宜先清除覆盖层再开挖台阶;当覆盖层较厚且稳定时,可予保留。

4 当地下水影响路堤稳定时,应采取拦截、引排地下水或在路堤底部设置渗水性好的隔断层等措施。

5 地基表层应碾压密实。在一般土质地段,快速路和主干路路基底的压实度(重型)不应小于 90%;次干路和支路不应小于 85%。路基填土高度小于路面和路床总厚度时,应将地基表层土进行超挖并分层回填压实,压实度不得小于本规范表 4.6.2 中“零填及挖方路基”的规定值。

4.3.9 对边坡高度超过 20m 或地面坡率陡于 1:2.5 的斜坡上的填方路基,以及不良地质、特殊地段的填方路基,应按本规范第 6.2 节的规定,进行稳定、变形计算和个别设计。

4.4 挖方路基

4.4.1 土质挖方路基的边坡形式及坡率应根据实际工程地质与水文地质条件、边坡高度、排水措施和施工方法,并根据当地同类稳定自然山坡和人工边坡的调查及力学分析结果综合确定。对边坡高度不大于 20m 的土质挖方边坡,坡率不宜大于表 4.4.1 的规定值。

表 4.4.1 土质挖方路基边坡坡率

土的种类		边坡坡率
细粒土		1:1.0
中密以上的中砂、粗砂、砾砂		1:1.5
卵石土、碎石土、 圆砾土、角砾土	胶结和密实	1:0.75
	中密	1:1.0

注：黄土、红黏土、高液限土、膨胀土等特殊路基挖方边坡形式及坡率应按本规范第7章的有关规定确定。

4.4.2 岩质挖方路基边坡的形式及坡率应根据现场工程地质与水文地质条件、地形地貌、边坡高度、岩性、岩体结构、结构面产状、风化程度和施工方法，并参考当地稳定岩质自然边坡和人工边坡的调查结果综合确定。必要时可采用稳定性分析方法予以检算。对高度不大于30m且无外倾软弱结构面的岩质挖方边坡，其坡率可按表4.4.2确定。

表 4.4.2 岩质挖方路基边坡坡率

边坡岩体类型	风化程度	边坡坡率	
		$H < 15m$	$15m \leq H < 30m$
I	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	未风化、微风化	1:0.1~1:0.3	1:0.3~1:0.5
	弱风化	1:0.3~1:0.5	1:0.5~1:0.75
III	未风化、微风化	1:0.3~1:0.5	—
	弱风化	1:0.5~1:0.75	—
IV	弱风化	1:0.5~1:1	—
	强风化	1:0.75~1:1	—

注：1 有可靠的资料和经验时，可不受本表限制；

2 IV类强风化包括各类风化程度的极软岩。

4.4.3 高度超过20m的土质挖方边坡，有外倾软弱结构面或坡顶边缘附近有较大荷载或边坡高度超过本规范表4.4.2适用范围

的岩质挖方边坡，应根据本规范第6.2节的规定，进行稳定性分析和个别设计。

4.4.4 当挖方边坡较高时，可根据不同的土质、岩质和稳定要求开挖成折线形或台阶形边坡。边沟外侧应设置碎落台，其宽度不宜小于1.0m；台阶形边坡中部应设置边坡平台，其宽度不宜小于2.0m。

4.4.5 边坡坡顶、坡面、坡脚和边坡中部平台应设置地表排水系统。当边坡有积水湿地、地下水渗出或地下水露头时，应根据实际情况设置地下渗沟、边坡渗沟或仰斜式排水孔，或在上游沿垂直地下水流向设置拦截地下水的排水隧洞等设施。

4.5 路 床

4.5.1 路床顶面横坡应与路拱横坡一致。

4.5.2 路床填料最大粒径应小于100mm，最小强度应符合表4.5.2的规定。

表 4.5.2 路床填料最小强度

路床顶面以下深度 (m)	填料最小强度 (CBR) (%)		
	快速路、主干路	次干路	支路
0~0.3	8	6	5
0.3~0.8	5	4	3

4.5.3 路床顶面设计回弹模量值，对快速路和主干路不应小于30MPa；对次干路和支路不应小于20MPa。当不满足上述要求时，应进行处治。回弹模量测定方法宜符合本规范附录B的规定。

4.5.4 路床处治应根据路床土质、含水率、降水条件、地下水类型及埋藏深度、加固材料来源等，经比选，采用就地碾压、外来材料改善、土质改良、加强地下排水、土工合成材料加筋等措施。

4.6 路基压实

4.6.1 路基应分层压实、均匀密实。

4.6.2 土质路基压实度不应低于表 4.6.2 的规定。对以下情形，可通过试验路检验或综合论证，在保证路基强度和稳定性的前提下，适当降低路基压实度标准：

1 特殊干旱或特殊潮湿地区，路基压实度可比表 4.6.2 的规定降低 1%~2%；

2 专用非机动车道、人行道，可按支路标准执行。

表 4.6.2 路基压实度要求

项目分类	路床顶面以下深度 (m)	压实度 (%)			
		快速路	主干路	次干路	支路
填方路基	0~0.8	96	95	94	92
	0.8~1.5	94	93	92	91
	>1.5	93	92	91	90
零填及挖方路基	0~0.3	96	95	94	92
	0.3~0.8	94	93	—	—

注：表中数值均为重型击实标准。

4.6.3 当采用细粒土作填料时，土的压实含水率应控制在最佳含水率±2%范围内。

4.6.4 填石路基应通过铺筑试验路段合理确定分层填筑的厚度、压实工艺及压实控制标准。宜采用孔隙率与施工参数同时作为压实质量控制指标，并按表 4.6.4 的规定执行。

表 4.6.4 填石路基压实质量控制标准

石料类型	路基顶面以下深度 (m)	摊铺厚度 (mm)	孔隙率 (%)
硬质石料	0.8~1.5	≤400	≤23
	1.5 以下	≤600	≤25

续表 4.6.4

石料类型	路基顶面以下深度 (m)	摊铺厚度 (mm)	孔隙率 (%)
中硬石料	0.8~1.5	≤400	≤22
	1.5 以下	≤500	≤24
软质石料	0.8~1.5	≤300	≤20
	1.5 以下	≤400	≤22

4.7 特殊部位的路基填筑与压实

4.7.1 与相邻路基存在显著刚度差异或不均匀连续的特殊部位，路基应充分压实，使其在一定范围内与周边路基的强度和刚度基本一致。

4.7.2 沟槽回填与压实应符合下列规定：

1 管道沟槽回填土的压实度应符合本规范第 4.6.2 条的规定。当沟槽回填压实确有困难时，上路床以下的回填土可按相关管道设计或施工规范的规定执行。

2 沟槽底至管顶以上 0.5m 范围内宜采用渗水性好、容易密实的砂、砾等填料，填料最大粒径应小于 50mm。

3 当回填细粒土含水率较高且不具备降低含水率条件、难以达到压实要求时，应采用石灰、水泥、粉煤灰等无机结合料进行处治。

4.7.3 管道检查井部位的处理应符合下列规定：

1 市政公用管线检查井位置宜避开机动车轮迹带。

2 管道检查井周边回填土的压实度应符合本规范第 4.6.2 条的规定。

3 管道检查井周边路基回填应采用渗水性好、容易密实的砂、砾等填料。

4 软土地区主干路和次干路的机动车道范围内的管道检查井，宜设置具有卸荷作用的防沉降井盖。

4.7.4 掘路工程中的路基回填修复应符合下列规定：

1 路基回填修复应遵循整体性原则,在保证交通安全和施工安全的条件下进行,并宜缩短修复周期,减少掘路修复对交通的影响。对于城市爆管、过街掘路,以及特别重要或交通特别繁忙的路段,应实施快速修复。

2 回填路基的回弹模量应达到与新建道路相同的标准。

3 路基回填宜选用强度高、级配良好、水稳定性好、便于获取和压实的材料,亦可采用经过处治的钢渣、矿渣等工业废渣。对于应急掘路的快速修复,应采用沉陷量小,易于压实或结硬,或者自密实的材料回填。

4 回填路基的压实度应符合表 4.7.4 的规定。

5 路基回填时,应采取设置台阶、铺设加筋材料等措施,保证开挖与非开挖区域路基接触面的良好结合。

表 4.7.4 回填路基压实度标准

路床顶以下深度 (cm)			压实度 (%)			
			快速路	主干路	次干路	支路
填方	上路床	0~30	95/	95/98	93/95	90/93
	下路床	30~80	95/98	95/98		
	上路堤	80~150	93/95	93/95	90/93	87/90
	下路堤	>150	90/93	90/93		
零填及挖方		0~30	95/	95/98	93/95	90/93

注:表中数字,/线左侧为重型击实标准,/线右侧为轻型击实标准。

4.7.5 城市高架桥梁承台周边的路基填筑与压实应符合下列规定:

1 承台在平面布置时不宜伸入地面道路的机动车道范围。当受条件限制时,承台应深埋,埋深不宜小于 1.5m。

2 在机动车道范围内的承台基坑回填应采用渗水性好、易密实的填料,并应符合路基压实度要求。

4.7.6 桥涵台背的路基填筑与压实应符合下列规定:

1 路堤与桥台、横向构筑物(箱涵、地道)的连接处应设

置过渡段,并应依据填料强度、地基处理、台背防排水系统等进行综合设计。过渡段长度宜按 2 倍~3 倍路基填土高度确定,路基压实度不应小于 96%。

2 桥涵台背、挡土墙背应选用渗水性好、易密实的填料。当采用细粒土填筑时,宜采用石灰、水泥、粉煤灰等无机结合料进行处治。

4.7.7 路基填挖交界的处理应符合下列规定:

1 填方区应符合本规范第 4.3 节的规定,挖方区应符合本规范第 4.4 节的规定。

2 对于半填半挖路基,当挖方区为土质时,填方区应优先采用渗水性好的材料填筑,并应对挖方区进行超挖回填碾压;当挖方区为坚硬岩石时,填方区宜采用填石路基。

3 纵向填挖交界处应设置过渡段,土质地段过渡段可采用级配较好的砾类土、砂类土或无机结合料处治土填筑,岩质地段过渡段可采用填石路基。

4 有地下水出露时,宜在填挖之间设置横向或纵向渗沟。

4.7.8 地铁等浅埋结构物上方路基的回填应符合下列规定:

1 地铁等浅埋结构上方的路基设计,应符合结构物的承载力和变形控制要求。

2 路基附加荷载大于浅埋结构物要求时,应采用轻质材料置换。

3 地铁浅埋结构上方路基回填部分压实度应符合本规范第 4.6.2 条的规定,否则应采取处理措施。

4 路床顶面以下 60cm 范围内不宜有基坑维护等坚硬的构筑物,否则应采取处理措施。

5 路基排水

5.1 一般规定

5.1.1 路基排水设计应采取排、疏、防相结合的原则，应与路面排水系统、边坡防护、地基处理等其他措施相互协调，保证路基稳定，避免道路水损害。

5.1.2 路基排水设施应与道路工程同步设计、同步实施。

5.1.3 路基施工临时性排水设施，应与永久性排水设施相结合。各类排水设施的设计应满足使用功能要求，且应结构安全可靠，便于施工、检查和养护维修。

5.2 地表水

5.2.1 城市建成区内道路宜采用管道、偏沟、雨水口和连接管等排水设施；郊区道路可采用边沟、排水沟、截水沟、急流槽和涵洞等排水设施。

5.2.2 地表排水设施的布设应充分利用城市排水系统、天然水系和地形，选择和处理进出口位置，并使水流顺畅，不宜出现堵塞、淤积、冲刷、溢流、渗漏、冻结等。

5.2.3 排水沟管排放的水流不得直接排入饮用水水源。

5.2.4 当道路雨水以自流的形式排放时，排水管出水口应设护坡等防冲刷措施，并根据需要设置标志。当出水口跌水较大时，应设计消能措施。

5.2.5 地表水的雨水径流量应按设计暴雨强度进行计算。暴雨强度的重现期应根据排水方式、道路类别和重要程度等因素确定。当采用管道排水方式时，重现期取值应满足表 5.2.5-1 的要求；当采用边沟排水方式时，重现期取值应满足表 5.2.5-2 的要求。当地表排水设施服务于周边地块时，重现期取值还应符合地

块规划要求。

表 5.2.5-1 管道排水暴雨强度设计重现期 (年)

城市级别	道路等级			
	快速路	主干路	次干路	支路
大城市	3~6	2~4	1~2	0.5~1
中小城市		1~3	0.5~1	0.5

表 5.2.5-2 边沟排水暴雨强度设计重现期 (年)

道路等级	快速路	主干路	次干路	支路
设计重现期	15	15	10	10

5.2.6 排水设施的泄水能力应满足地表排水的要求；各种沟管和泄水口的泄水能力，其断面形状和尺寸应满足排泄设计流量的要求；沟管内水流的最大和最小流速应在允许流速范围内。

5.2.7 当采用边沟排水方式时，应符合下列规定：

1 在路线纵坡平缓、汇水量不大、路基较低，且边坡不会受到冲刷的情况下，填方路基边坡可采取横向漫流方式排水；其他情况应在外侧设置拦水带，汇集路面表面水，然后通过泄水口和急流槽排除。

2 边沟沟底纵坡不宜小于 0.3%。困难情况下不宜小于 0.1%。出水口间距多雨地区不宜大于 300m，一般地区不宜大于 500m。

5.2.8 分隔带、人行道的绿化带排水设计应符合下列规定：

1 分隔带表面水的防排水设计应根据所在地区降雨量、道路等级及分隔带宽度等因素综合考虑，防止雨水进入路基内部。

2 分隔带部分被连续高架桥遮挡的路段可不设置分隔带排水设施。

3 绿化带宜设置横坡，坡率不宜小于 2%。

5.3 地下水

5.3.1 当路基范围内地下水位较高、路基干湿状态不满足要求，且路基标高受限时，应采用地下排水设施，以降低地下水位或将地下水引至路基范围外。

5.3.2 路基地下排水可采用暗沟（管）、渗沟、排水隔离层等设施。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，并应与地表排水设施相协调。

5.3.3 当地下水排入雨水管道时，其流量应单独计算。接入部分构筑物的设计应符合现行国家标准《室外排水设计规范》GB 50014 的规定。

5.3.4 地下排水设施的沟（管）底纵坡，应保证水流通畅，不得淤积，也不得引起冲刷。

5.3.5 当路基范围内有泉水或承压水时，应将水流引至路基范围外。当不能设置明沟时，应设置暗沟或暗管。暗沟或暗管的设计应符合下列规定：

1 暗沟的沟底纵坡不应小于 1%，当采用暗管排水时，管底纵坡不宜小于 0.5%。

2 暗沟或暗管顶应敷设反滤层，出口处水位应高于排入水体最高水位 20cm 以上，防止倒灌。

3 泉水流量可根据丰水季节流量观测或历史流量记录确定。

4 暗沟或暗管的结构强度应保证路基的稳定，暗沟或暗管顶面的埋深不应小于 50cm。冰冻地区暗沟应埋置于当地冰冻线以下的土层中或采取保温措施。

5.3.6 当道路所经地段有潜水、层间水，挖方路底部出现地下水，或地下水位较高，影响路基或路堑稳定时，可修建渗沟将水排除。渗沟的设计应符合下列规定：

1 渗沟的构造可根据水量选用填石渗沟、管式渗沟或洞式渗沟。

2 用于截断地下水的渗沟的轴线宜与渗流方向垂直布置。

3 渗沟的流量可根据含水层厚度、渗沟内的水流深度、含水层材料的渗透系数、地下水位降落曲线等因素计算确定。

4 填石渗沟可用于流量不大、流程不长的路段，其纵坡不应小于 1%，一般可采用 5%。沟内可采用石质坚硬的较大粒料填充，填充高度不应小于 0.3m，并应高出原地下水位。

5 管式渗沟可用于地下引水较长的地段，但渗沟过长时应加设横向渗沟。管径由水力计算确定，内径不宜小于 20cm。纵坡宜为 1%~3%，且不应小于 0.5%。管道可采用陶土、混凝土、石棉或聚氯乙烯带孔塑料管等材料。冬季管内水流结冰的地段，可采用较大直径的水管，并应加设保温层。

6 洞式渗沟可在地下水流量较大的路段或缺乏管材时使用。洞身大小应依据水流量确定。洞身应设在不透水层内，纵坡宜为 1%~3%，且不应小于 0.5%，有条件时可采用较大纵坡。

7 渗沟的基底应埋入不透水层，沟壁迎水一侧应设反滤层汇集水流。当含水层较厚，沟底不能埋入不透水层时，沟壁两侧均应设反滤层。

8 渗沟排水层（或管、洞）与沟壁之间应设置反滤层。

9 渗沟的埋置深度应根据路基冻结深度、毛细水上升高度、路基范围内地下水的降落曲线等因素确定。

10 每隔 30m~50m 或在平面转折和坡度由陡变缓处宜设置检查井。

5.3.7 当挖方路基部分地下水进入路基时，可采用将两侧混凝土支挡结构与防水地板相结合的混凝土 U 形槽。U 形槽沿道路的纵向设置范围宜满足地下水位的最高历史记录和远景年的估计最高水位的要求。混凝土 U 形槽的结构设计及防水设计应符合混凝土结构相关规范的要求。

5.3.8 在承压地下水或地下水丰富的地区修筑路基时，可在原地面与路基交界处设排水隔离层，也可在路基内部设排水隔离层，将地下水引出路基外或将由路面渗透而来的水隔离。用于排水的隔离层应符合下列规定：

1 隔离层的土工织物最小抗拉强度不应小于 50kN/m ，土工织物搭接长度宜为 100cm 。

2 隔离材料可选用矿渣、碎石或砾石，其最大粒径宜为 30cm ，通过 20mm 筛孔的材料不得大于 10% ，通过 0.074mm 筛孔的材料其塑性指数不得大于 6% 。

3 排水隔离层顶面应高出设计地下水位 30cm 或 30cm 以上。

6 路基防护与支挡

6.1 一般规定

6.1.1 路基坡面防护工程应在稳定的边坡上设置。对路基稳定性不足和存在不良地质因素的路段，应进行路基边坡防护与支挡加固的综合设计。

6.1.2 在地下水较为发育的路段，应进行边坡防护与地下排水措施的综合设计。在多雨地区，用砂类土、细粒土等填筑的路基，应采取坡面防护和排水的综合措施。

6.1.3 路基支挡结构设计应满足各种设计荷载组合下支挡结构的稳定、坚固和耐久；支挡结构的类型选择及位置确定应符合安全可靠、经济合理、便于施工养护等要求。

6.1.4 路基支挡结构和防护工程宜与相邻建筑物相协调。

6.1.5 路基施工过程中的边坡临时防护工程宜与永久防护工程相结合。

6.1.6 高填方路基、深挖方路基及不良地质和特殊地段的路基，应进行重点路段的路基稳定和变形的监测设计。

6.2 路基稳定与变形计算

6.2.1 高度超过 20m 或地面斜坡坡率大于 $1:2.5$ 的填方路基及不良地质、特殊地段的填方路基，稳定性验算应符合下列规定：

1 填方路基稳定性、填方路基和地基的整体稳定性宜采用简化毕肖普法进行分析计算。软土地基上的路基稳定性验算应符合本规范第 7.2.3 条的规定。

2 填方路基沿斜坡地基或软弱层滑动的稳定性可采用不平衡推力法进行分析计算。

6.2.2 填方路基稳定性分析的强度参数取值应符合现行行业标准《公路路基设计规范》JTG D30 的规定。

6.2.3 填方路基稳定安全系数不得小于表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 填方路基稳定安全系数

分析内容	地基情况	采用的地基平均固结度及强度指标	稳定安全系数
填方路基稳定性	—	—	1.35
填方路基和地基的整体稳定性	地基土渗透性差、排水条件不好	取 $U=0$, 采用直剪固结快剪或三轴固结不排水剪指标	1.20
		按实际固结度, 采用直剪固结快剪或三轴固结不排水剪指标	1.40
	地基土渗透性好、排水条件良好	取 $U=1$, 采用直剪固结快剪或三轴固结不排水剪指标	1.45
		取 $U=1$, 采用快剪指标	1.35
填方路基沿斜坡地基或软弱层滑动的稳定性	—	采用直剪快剪或三轴不排水剪指标	1.30

6.2.4 对边坡高度大于 20m 的土质挖方路基、边坡高度超过本规范表 4.4.2 适用范围或有外倾软弱结构面的岩质挖方边坡、坡顶边缘附近有较大荷载的边坡, 宜综合采用工程地质类比法、图解分析法、极限平衡法和数值分析法进行稳定性评价。定量计算方法应根据边坡可能的破坏形式, 按下列方法确定:

- 1 对规模较大的碎裂结构岩质边坡和土质边坡宜采用简化毕肖普法计算。
- 2 对可能产生直线形破坏的边坡宜采用平面滑动面解析法进行计算。
- 3 对可能产生折线形破坏的边坡宜采用不平衡推力法计算。

4 对结构复杂的岩质边坡, 可配合采用赤平投影法和实体比例投影法分析及楔形滑动面法进行计算。

5 当边坡破坏机制复杂时, 宜结合数值分析法进行分析。

6.2.5 挖方路基边坡稳定性计算的强度参数取值应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定。

6.2.6 挖方路基边坡稳定安全系数不得小于表 6.2.6 的规定, 并按下列工况划分:

- 1 正常工况: 边坡处于天然状态下的工况。
- 2 非正常工况 I: 边坡处于暴雨或连续降雨状态下的工况。
- 3 非正常工况 II: 边坡处于地震等荷载作用状态下的工况。

表 6.2.6 挖方路基边坡稳定安全系数

道路等级	工况	稳定安全系数
快速路、主干路	正常工况	1.20~1.30
	非正常工况 I	1.10~1.20
	非正常工况 II	1.05~1.10
次干路、支路	正常工况	1.15~1.25
	非正常工况 I	1.05~1.15
	非正常工况 II	1.02~1.05

注: 表中稳定安全系数取值应与计算方法对应。

6.2.7 对高度超过 20m 或不良地质、特殊地段的填方路基, 应进行路基变形计算, 并应符合下列规定:

1 不良地质和特殊地段的地基沉降计算应符合本规范第 7 章的规定。

2 高填方路基工后压缩变形可根据当地实际经验确定。

6.2.8 路基容许工后变形应符合表 6.2.8 的规定。

表 6.2.8 路基容许工后变形

工程位置 道路等级	桥台与路堤相邻处	涵洞、通道处	一般路段
快速路、主干路	≤0.10m	≤0.20m	≤0.30m
次干路、支路	≤0.20m	≤0.30m	≤0.50m

注: 1 当路基中有其他管线及构造物时, 应按管线等构造物的沉降要求进行设计, 并应与相邻路基良好过渡;
2 对主辅路并行且主辅路间设侧分带的路基, 可按主辅路相应的等级分别进行工后变形控制。

6.3 路基防护

6.3.1 坡面防护设计应符合下列规定:

1 对受自然因素作用易产生破坏的边坡坡面, 应根据边坡的土质、岩性、水文地质条件、坡率、高度, 以及环境保护与水土保持要求等, 选用适宜的防护措施。

2 软硬岩层相间的挖方边坡应根据岩层情况采用全部防护或局部防护措施。

3 采用植物或喷护、挂网喷护等防护措施的, 以及年平均降水量大于 400mm 地区较高的土质挖方边坡路段, 宜在坡脚处设高 1m~2m 浆砌片石护坡或护墙。

4 当浆砌片石护墙高度大于 12 m、浆砌片石护坡和骨架护坡高度大于 15m 时, 宜在适当高度处设平台, 平台宽度不宜小于 2m。

5 浆砌片石护墙、护坡的基础应埋置在路肩线以下不小于 1m, 并不应高于侧沟砌体底面; 当地基为冻胀土时, 应埋置在冻结深度以下不小于 0.25m。

6 封闭式的坡面应在防护砌体上设泄水孔和伸缩缝。当坡面有地下水出露时, 应采取措施将水引排。

7 土质和易风化岩石的挖方高边坡, 宜在坡脚处设置挡土

墙。当挡土墙墙顶上方坡面设有浆砌片石护墙、护坡时, 墙顶应设置边坡平台, 平台宽度不宜小于 2m。

6.3.2 沿河路基防护设计应符合下列规定:

1 沿河路基应根据河流特性、水流性质、沿河地貌、地质等因素, 结合路基位置, 选用适宜的坡面防护、导流或改河工程。

2 防护工程基底应埋设在冲刷深度以下不小于 1 m 或嵌入基岩内。冲刷深度应根据公式计算、河床地层冲淤分析和类似工程的实践资料综合分析确定。当冲刷深度较深、水下施工困难时, 可采用桩基、沉井基础或适宜的平面防护或与设桥方案进行比较。

3 冲刷防护工程应与上下游岸坡平顺连接、端部嵌入岸壁足够深度。

4 当改移河道时, 应根据河流特性及其演变规律, 因势利导, 慎重对待, 并应与设桥方案进行经济比较。改河的起点和终点应与原河床顺接。在改河入口处加大纵坡并设置拦河坝或顺坝。新河槽断面应按设计洪水频率的流量计算确定。

6.4 支挡加固

6.4.1 当受地形、地物或占地等限制而需收缩坡脚, 采用较陡的边坡, 或为保证路基边坡稳定性而需采取措施以增加抗滑力时, 应设置边坡支挡结构。

6.4.2 城市道路路基边坡的支挡工程设计, 应查明路基边坡和支挡结构地基的工程地质、水文地质条件及环境条件等, 并取得设计必要的岩土物理学参数。

6.4.3 支挡工程的安全等级的确定, 应符合下列规定:

1 当保护对象主要为路基, 边坡滑塌影响范围无重要建(构)筑物、管线或人群密集的使用场地时, 应根据支挡工程损坏后可能造成的破坏后果的严重性和边坡高度等因素, 按表 6.4.3 确定安全等级。

表 6.4.3 城市路基边坡支挡工程安全等级

破坏后果	边坡高度 H	安全等级
很严重	H ≥ 15m (岩质边坡), H ≥ 8m (土质边坡)	一级
	H < 15m (岩质边坡), H < 8m (土质边坡)	二级
严重	H ≥ 25m (岩质边坡), H ≥ 15m (土质边坡)	一级
	15m ≤ H < 25m (岩质边坡), 8m ≤ H < 15m (土质边坡)	二级
	H < 15m (岩质边坡), H < 8m (土质边坡)	三级
不严重	H ≥ 25m (岩质边坡), H ≥ 15m (土质边坡)	二级
	H < 25m (岩质边坡), H < 15m (土质边坡)	三级

注: 1 一个城市路基边坡支挡工程的各段, 可根据实际情况采用不同的安全等级;

2 对危害性极严重、环境和地质条件复杂的特殊边坡支挡工程, 其安全等级应根据工程情况适当提高。

2 当保护对象主要为邻近的建(构)筑物, 或保护范围内有管线或人群密集时, 安全等级的确定应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定。

6.4.4 应根据工程地质、水文地质、冲刷深度、荷载情况、边坡高度、支挡结构受力特点、环境条件、施工条件及工程造价等因素, 合理选择路基边坡支挡与加固措施。

6.4.5 支挡结构应采用以极限状态设计的分项系数法为主的设计方法, 构件承载能力极限状态设计宜满足下式要求:

$$\gamma_0 S \leq R \left(\frac{R_k}{\gamma_f}, \alpha_d \right) \quad (6.4.5)$$

式中: S——作用效应的组合设计值 (kN);

R(·)——支挡结构结构抗力函数 (kN);

R_k——抗力材料的强度标准值 (kPa);

γ_f——结构材料、岩土体性能的分项系数;

α_d——结构或结构构件几何参数的设计值, 当无可靠数据时, 可采用几何参数标准值;

γ₀——结构重要性系数, 按表 6.4.5 的规定采用。

表 6.4.5 结构重要性系数 γ₀

支挡工程安全等级	结构重要性系数 γ ₀
一级	≥ 1.1
二级	≥ 1.0
三级	≥ 1.0

6.4.6 作用于支挡结构上的荷载计算应符合下列规定:

1 应根据作用于支挡结构上的荷载确定作用效应的组合设计值, 支挡结构上的作用应符合表 6.4.6-1 的规定。

表 6.4.6-1 支挡结构上的作用

作用分类	作用名称	
永久作用	支挡结构重力	
	填土 (包括基础襟边以上土) 重力	
	填土侧压力	
	墙顶上的有效永久荷载	
	墙顶与第二破裂面之间的有效荷载	
	计算水位的浮力及静水压力	
	预加力	
	混凝土收缩及徐变	
	基础变位影响力	
	邻近建(构)筑物传来的永久荷载	
可变作用	基本可变作用	车辆荷载引起的侧压力
		人群荷载、人群荷载引起的侧压力
		邻近建(构)筑物传来的可变荷载 (使用活荷载和风荷载等)
	其他可变作用	水位退落时的动水压力
		流水压力
		波浪压力
		冻胀压力和冰压力
施工荷载	温度影响力	
	与各类型挡土墙施工有关的临时荷载	
偶然作用	地震作用力	
	滑坡、泥石流的冲击作用力	
	作用于墙顶护栏上的车辆碰撞力	

2 对一般地区,可只采用永久作用和基本可变作用的组合;浸水地区、地震动峰值加速度值不小于 0.2g 的地区及产生冻胀力的地区,作用组合还应计取其他可变作用和偶然作用,作用组合可按表 6.4.6-2 确定。

表 6.4.6-2 作用组合

组合	荷载
I	挡土墙结构重力、墙顶上的有效永久荷载、填土重力、填土侧压力及其他永久荷载组合
II	组合 I 与基本可变荷载相组合
III	组合 II 与其他可变荷载、偶然荷载相组合

注:组合时,不同时考虑洪水与地震力的组合,冻胀力、冰压力与流水压力或波浪压力的组合,以及车辆荷载与地震力的组合。

3 当支挡结构上受地震力作用时,应符合现行行业标准《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01 的规定。

4 作用于支挡结构上的土压力的计算应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定。一般情况下,支挡结构前的被动土压力可不计算,当基础埋置较深且地层稳定、不受水流冲刷和扰动破坏时,可计入被动土压力。

5 车辆荷载作用在挡土墙墙背填土上所引起的附加土体侧压力,可按下式换算成等代均布土层厚度:

$$h_0 = \frac{q}{\gamma} \quad (6.4.6)$$

式中: h_0 ——换算土层厚度 (m);

q ——车辆荷载附加荷载强度 (kN/m^2),当墙高小于 2m 时,取 $20\text{kN}/\text{m}^2$;墙高大于 10m 时,取 $10\text{kN}/\text{m}^2$;墙高为 2m~10m 之间时,采用线性内插法计算;

γ ——墙背填土的重度 (kN/m^3)。

6 作用于墙顶或墙后填土上的人群荷载强度应根据实际情

况确定,可取 $3\text{kN}/\text{m}^2$;作用于挡墙栏杆顶的水平推力可采用 $0.75\text{kN}/\text{m}$;作用于栏杆扶手上的竖向力可采用 $1\text{kN}/\text{m}$ 。

7 当浸水挡土墙墙背为岩块和粗粒土(除粉砂外)时,可不计墙身两侧静水压力和墙背动水压力。

8 墙身所受浮力,应根据地基地层的浸水情况按下列原则确定:

1) 砂类土、碎石类土和节理很发育的岩石地基,按计算水位的 100% 计算。

2) 岩石地基按计算水位的 50% 计算。

9 当按承载能力极限状态设计时,除另有规定外,常用作用分项系数可按表 6.4.6-3 的规定采用。

表 6.4.6-3 承载能力极限状态作用分项系数

情况	荷载增大对挡土墙结构起有利作用时		荷载增大对挡土墙结构起不利作用时		
	I, II	III	I, II	III	
组合					
分项系数	垂直恒载 γ_G	0.90	1.20		
	恒载或车辆荷载、人群荷载的主动土压力 γ_{Q1}	1.00	0.95	1.40	1.30
	被动土压力 γ_{Q2}	0.30		0.50	
	水浮力 γ_{Q3}	0.95		1.10	
	静水压力 γ_{Q4}	0.95		1.05	
	动水压力 γ_{Q5}	0.95		1.20	

6.4.7 支挡结构基础稳定性计算与设计应符合下列规定:

1 支挡结构宜采用明挖基础。当基底位于坡度大于 5% 的纵向斜坡上时,基底应设计为台阶式。当基础位于横向斜坡地面上时,墙趾埋入地面的深度和距地表的水平距离应满足表 6.4.7-1 的要求。

表 6.4.7-1 斜坡地面基础埋置条件

土层类别	最小埋入深度 h (m)	距地表水平距离 L (m)
较完整的硬质岩石	0.25	0.25~0.50
一般硬质岩石	0.60	0.60~1.50
软质岩石	1.00	1.00~2.00
土质	≥ 1.00	1.50~2.50

2 支挡结构基础应有一定埋置深度,可根据地基岩土特性、承载能力、冻结深度、水流冲刷情况和岩石风化程度等因素确定,并应符合下列规定:

- 1) 一般地区,基础最小埋置深度,对土质地基不应小于 1m,对软质岩石地基不应小于 0.8m。在风化层不厚的硬质岩石地基上,基底应置于基岩表面风化层以下。
- 2) 季节性冰冻地区,当冻结深度小于或等于 1m 时,基底应在冻结线以下不小于 0.25m,且基础埋置深度不应小于 1m。当冻结深度超过 1m 时,基底最小埋置深度不得小于 1.25m,还应将基底至冻结线以下 0.25m 深度范围的地基土换填为冻胀或弱冻胀材料。
- 3) 当受水流冲刷时,应按路基设计洪水频率计算冲刷深度,基底应置于局部冲刷线以下,且基础埋置深度不应小于 1m。
- 4) 路堑式挡土墙基础顶面应低于挖方路基边沟底面不小于 0.5m。

3 支挡结构地基稳定性计算中,各类作用组合下作用效应组合设计值中的作用分项系数,除被动土压力分项系数 γ_{QE} 可取 0.3 外,其余作用的分项系数应取 1。

4 基底合力的偏心距 e_0 ,对土质地基不应大于基底宽度 B 的 1/6 倍;对岩石地基不应大于基底宽度 B 的 1/4 倍。

5 基底压应力不应大于基底的容许承载力 $[f_n]$; $[f_n]$ 的取值应符合现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG

D63 的规定。

6 支挡结构的抗滑动和抗倾覆稳定安全系数不宜小于表 6.4.7-2 的规定值。对设置于不良土地基、表土下为倾斜岩质地基或斜坡上的支挡结构,尚应对支挡结构地基及填土的整体稳定性进行验算,其稳定安全系数不应小于 1.25。

表 6.4.7-2 支挡结构抗滑动和抗倾覆的稳定安全系数

荷载情况	验算项目	稳定安全系数	
荷载组合 I、II	抗滑动	K_c	1.3
	抗倾覆	K_0	1.5
荷载组合 III	抗滑动	K_c	1.3
	抗倾覆	K_0	1.3
施工阶段验算	抗滑动	K_c	1.2
	抗倾覆	K_0	1.2

6.4.8 支挡结构和加固结构的设计计算及构造要求应符合现行行业标准《公路路基设计规范》JTG D30 的规定。

6.5 路基监测

6.5.1 对高填方路基和特殊地基上的填方路基,应实行填筑过程中和填筑以后的变形监测。设计应明确监测路段、监测项目(内容)、监测点的数量及其布设,并应确定路基稳定和变形的监测控制标准。

6.5.2 对路基挖方高边坡及不良地质、特殊岩土地段的挖方边坡,应提出施工方案的特殊要求和监测要求,且应根据边坡变形与稳定监测的反馈信息,及时对原设计进行校核、修改和调整,并应符合下列规定:

1 监测的内容可包括:边坡变形及不稳定的范围,位移的方向、大小和历时特征,地下水位及其变化,爆破震动,支挡结构和加固设施的受力与变形等。

2 监测周期应根据道路等级、边坡及其支挡结构的特点、

变形及其发展情况确定。对快速路重点高边坡，监测周期应从边坡开挖开始，至道路建成营运后不少于一年。

6.5.3 在既有城市道路下进行暗挖施工时，道路顶面位移不应大于道路构筑物的允许沉降，且应保证行车安全。应根据工程地质及水文地质条件、暗挖施工结构及其埋深、道路等级及管线情况以及监测工作的经济性，进行路表变形监测。监测工作应符合下列规定：

- 1 监测范围应根据道路情况、土层特性和结构埋深等确定，宜为暗挖结构物外沿两侧各 30m 范围内。
- 2 测点可根据工程性质确定，每个道路监测横断面上的测点不宜少于 7 个。
- 3 监测频率不宜低于表 6.5.3 的规定。

表 6.5.3 路基顶面位移监测频率

阶 段	频 率
掘进面距监测断面小于或等于 20m	(1 次~2 次)/天
掘进面距监测断面大于 20m, 小于或等于 50m	1 次/2 天
掘进面距监测断面大于 50m	1 次/7 天
根据数据分析确定沉降稳定后 3 个月内	1 次/30 天

7 特殊路基

7.1 一般规定

7.1.1 特殊路基设计应进行综合地质勘察，查明具体的特殊条件及特殊岩土或地质体的性质、参数、成因、规模、稳定状况及趋势。特殊路基设计所需的物理力学参数，宜采用原位测试数据，并结合室内试验资料综合分析确定。

7.1.2 特殊路基设计应明确地质和环境等因素对路基的影响，遵循以防为主、防治结合的原则，采取合理的整治方案和工程措施。

7.2 软土地区路基

7.2.1 软土的鉴别应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 软土鉴别指标

土 类	天然含水率 (%)	天然孔隙比	直剪内摩擦角 (°)	十字板剪切强度 (kPa)	压缩系数 $a_{0.1-0.2}$ (MPa^{-1})
黏质土、有机质土	≥ 35	≥ 1.00	$< 5^\circ$	< 35	> 0.5
粉质土	≥ 30	≥ 0.90	$< 8^\circ$		> 0.3

7.2.2 软土地区路基设计宜包含路基稳定验算、路基沉降计算、地基处理措施及路基监测设计等内容。

7.2.3 软土地区路基的稳定验算应符合下列规定：

- 1 宜采用瑞典圆弧滑动法中的固结有效应力法或改进总强度法，有条件时也可采用简化毕肖普法、简布普遍条分法。
- 2 验算时应按施工期和营运期的荷载分别计算稳定安全系

数。施工期的荷载应包括路堤自重及施工机械荷载，运营期的荷载应包括路堤自重、路面结构荷载及行车荷载。运营期的行车荷载宜换算为静止的当量土柱作用。

3 稳定验算中的水平向地震力应符合现行行业标准《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01 的规定。

4 稳定安全系数不应小于表 7.2.3 的规定，否则应针对稳定性进行地基处理。

表 7.2.3 稳定安全系数

安全系数	验算方法	固结有效应力法		改进总强度法		简化毕肖普法、简布法
		不考虑固结	考虑固结	不考虑固结	考虑固结	
指标选取						
直接快剪		1.1	1.2	—	—	—
静力触探、十字板剪		—	—	1.2	1.3	—
三轴有效剪切指标		—	—	—	—	1.4

注：当需考虑地震力时，表中稳定安全系数可减少 0.1。

7.2.4 软土地基沉降计算应符合下列规定：

1 主固结沉降 S_c 应采用分层总和法计算。

2 总沉降宜按下式计算确定：

$$S = m_s S_c \quad (7.2.4-1)$$

式中： S ——总沉降 (m)；

m_s ——沉降系数，与地基条件、荷载强度、加荷速率等因素有关，取值范围 1.1~1.7，应根据现场沉降观测资料和当地经验确定；

S_c ——主固结沉降 (m)。

3 总沉降也可由瞬时沉降 S_d 、主固结沉降 S_c 及次固结沉降 S_s ，按下式计算确定：

$$S = S_d + S_c + S_s \quad (7.2.4-2)$$

4 任意时刻地基的沉降量可按下式计算确定：

$$S_t = (m_s - 1 + U_t) S_c \quad (7.2.4-3)$$

或

$$S_t = S_d + S_c U_t + S_s \quad (7.2.4-4)$$

式中： U_t —— t 时间的地基平均固结度，天然地基采用太沙基一维固结理论解计算；对砂井、塑料排水板等竖向排水体处理的地基，固结度宜按巴隆给出的太沙基-伦杜立克固结理论轴对称条件固结方程在等应变条件下的解来计算。

5 软土地基沉降计算的土层深度应以其底面附加应力与自重应力之比值不大于 15% 确定。

6 软土地基上的低填路基，当重载车型较多时，还应计入行车荷载产生的路基永久变形。

7 软土地基路基工后变形应符合本规范第 6.2.8 条的规定，否则应按变形控制对地基进行处理。

7.2.5 软土地基路基填筑应符合下列规定：

1 当填方路基为中湿、潮湿状态时，底部宜设置透水垫层，厚度宜为 0.50m，并宜设 2%~3% 的横坡。

2 特别软弱地基上的路基或软土地基上的高路基，可采用粉煤灰、泡沫聚苯乙烯 (EPS) 块等轻质材料填筑，并应符合下列规定：

1) 采用粉煤灰填筑时，应采取黏土包边等措施防止粉煤灰流失。粉煤灰材料应符合本规范第 4.3.6 条的规定。

2) 采用泡沫聚苯乙烯 (EPS) 填筑时，应验算堤身的压缩变形和抗浮稳定性，且顶层 EPS 的密度不宜小于 0.3kN/m³。

3 路基加筋应采用抗拉强度大于 50kN/m、延伸率小于 10%、耐老化的土工合成材料。

4 不宜采用反压护道。采用反压护道时，其高度不宜超过路基高度的 1/2，宽度应通过稳定验算确定。

7.2.6 对软土层厚度小于 3m、埋深较浅的软土地基，宜采用无机结合料浅层拌合、挖除换填、抛石挤淤等浅层地基处理措施，并应符合下列规定：

1 当采用水泥、石灰等无机结合料拌合处理措施时,应根据试验确定无机结合料的掺入量。

2 浅层地基换填宜采用透水性较好的碎石或中粗砂等粒料,换填料应高出地下水位以上不小于0.50m、宽出路基两侧不小于0.50m。

3 抛石挤淤的抛石高度应高出软土、淤泥层顶及地表水位不小于0.50m,宽出路基两侧0.50m~1.00m;抛石顶面应采用粒径小于10cm的块石或级配碎石填平、碾压密实。抛石挤淤不宜用于快速路和主干路的路基工程。

7.2.7 软土层较厚、路基填土高度超过地基极限填土高度时,应采用排水固结法、粒料桩、加固土桩、刚性桩等深层地基处理措施。

7.2.8 排水固结法设计应符合下列规定:

1 可用于淤泥、淤泥质黏土及充填土等饱和软土。

2 应根据软土性质、填土高度、沉降计算与稳定验算结果、施工工期等,确定采用砂垫层、塑料排水板、砂井、堆载预压、真空预压和真空联合堆载预压等措施。

3 预压期应根据允许工后沉降量或要求的地基固结度确定,不宜小于6个月。

4 采用真空联合堆载预压法时,应在地基中设置塑料排水板或砂井等竖向排水体,真空预压密封膜下的真空度不宜小于75kPa。

5 排水固结法设计不应影响周围重要建筑物、管线等造成影响。

6 桥头引道采用排水固结法处理时,应先预压,再开挖施工桥梁桩基和承台。

7.2.9 粒料桩法应符合下列规定:

1 振冲粒料桩可用于十字板抗剪强度大于15kPa的地基;沉管粒料桩可用于十字板抗剪强度大于10kPa的地基。

2 粒料桩的直径、深度和间距应经稳定、沉降验算后确定。

对较薄的软土层,应贯穿;相邻桩净距不应大于4倍桩径。

3 计算设有粒料桩复合地基的路基整体滑动稳定安全系数时,复合地基内滑动面上的抗剪强度应采用复合地基抗剪强度,并按下列公式计算:

$$\tau_{ps} = m\tau_p + (1-m)\tau_s \quad (7.2.9-1)$$

$$\tau_p = \sigma \cos \alpha \tan \varphi_c \quad (7.2.9-2)$$

$$m = 0.907 \left(\frac{D}{B}\right)^2 \quad (7.2.9-3)$$

$$m = 0.785 \left(\frac{D}{B}\right)^2 \quad (7.2.9-4)$$

式中: τ_{ps} ——复合地基抗剪强度 (kPa);

τ_p ——粒料桩抗剪强度 (kPa);

τ_s ——桩间土抗剪强度 (kPa);

σ ——滑动面处桩体的竖向应力 (kPa);

φ_c ——粒料桩的内摩擦角,桩料为碎石时可取 38° ,桩料为砂砾时可取 35° ;

m ——桩对土的置换率,桩在平面上按等边三角形布置时,按式(7.2.9-3)计算确定;桩在平面上按正方形布置时,按式(7.2.9-4)计算确定;

α ——滑动面倾角($^\circ$);

D_p ——桩的直径(m);

B_p ——桩间距(m)。

4 粒料桩桩长深度内地基的沉降应按下列公式计算:

$$S_z = \mu_s S \quad (7.2.9-5)$$

$$\mu_s = \frac{1}{1+m(n-1)} \quad (7.2.9-6)$$

式中: S_z ——桩长深度内复合地基的沉降 (m);

S ——粒料桩桩长深度内未加固地基(天然地基)的沉降 (m);

μ_s ——桩间土应力折减系数;

n ——桩土应力比;宜经工程试验确定。当无资料时, n

可取 2~5, 当桩底土质好、桩间土质差时取高值, 否则取低值。

7.2.10 加固土桩法应符合下列规定:

1 深层搅拌法可用于加固十字板抗剪强度不小于 10kPa 的软土地基。用于处理有机质土、泥炭土、塑性指数大于 25 的黏土, 以及地下水具有腐蚀性的地基时, 应通过现场试验确定其适用性。

2 当采用粉喷桩法加固软土地基时, 深度不应超过 14m, 并应评估对周围环境污染的影响。当地基天然含水率小于 30%、大于 70% 或地下水的 pH 值小于 4 时不宜采用粉喷桩法。

3 加固土桩的直径、深度和间距应经稳定性验算确定, 并应满足工后沉降的要求, 对较薄的软土层, 应贯穿。相邻桩的净距不应大于 4 倍桩径。

4 计算设有加固土桩复合地基的路基整体滑动稳定安全系数时, 复合地基内滑动面上的抗剪强度应采用复合地基抗剪强度, 并按下列公式计算:

$$\tau_{ps} = m\tau_p + (1-m)\tau_s \quad (7.2.10-1)$$

式中: τ_{ps} ——复合地基抗剪强度 (kPa);

τ_p ——加固土桩抗剪强度 (kPa);

τ_s ——桩间土抗剪强度 (kPa)。

5 加固土桩的抗剪强度宜以 90d 龄期的强度为标准强度, 可按钻取试验路段的原状试件所测无侧限抗压强度的 1/2 计取; 也可按设计配合比由室内制备的加固土试件测得的无侧限抗压强度的 0.3 倍计取。

6 加固土桩复合地基的沉降量应按复合地基加固区的沉降量和加固区下卧层的沉降量两部分来计算。加固区的沉降量应采用复合地基压缩模量法计算; 下卧层的沉降量宜采用压缩模量法计算。复合地基压缩模量应按下列公式计算:

$$E_{ps} = mE_p + (1-m)E_s \quad (7.2.10-2)$$

式中: E_{ps} ——复合地基压缩模量 (MPa);

E_p ——桩体压缩模量 (MPa), 可根据无侧向抗压强度按经验公式取值;

E_s ——土体压缩模量 (MPa)。

7.2.11 刚性桩法应符合下列规定:

1 刚性桩适用于深厚软土地基上荷载较大、变形要求较严格的高填方路堤段、桥头引道或通道与路堤的衔接部位、新老路堤拼接的拓宽区域。

2 刚性桩桩顶应设置托板、加筋垫层。

3 刚性桩的设置深度和间距应经稳定性、工后沉降验算后确定。

4 当计算刚性桩复合地基的路堤整体抗剪稳定安全系数时, 复合地基滑动面上的抗剪强度应采用复合地基抗剪强度, 计算方法同加固土桩法。

5 刚性桩处理地基的最终沉降量计算, 可不考虑桩间土压缩变形对沉降的影响, 并按下式计算:

$$S = \psi_p \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \frac{\sigma_{j,i} \Delta h_{j,i}}{E_{s_{j,i}}} \quad (7.2.11)$$

式中: S ——最终沉降量 (mm);

m ——桩端平面以下压缩量范围内土层总数;

$E_{s_{j,i}}$ ——桩端平面下第 j 层土第 i 个分层在自重应力至自重应力加附加应力作用段的压缩模量 (MPa);

n_j ——桩端平面下第 j 层土的计算分层数;

$\Delta h_{j,i}$ ——桩端平面下第 j 层第 i 分层的厚度 (m);

$\sigma_{j,i}$ ——桩端平面下第 j 层第 i 分层的竖向附加应力 (kPa), 采用明德林应力公式计算, 按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定执行;

ψ_p ——桩基沉降计算经验系数, 应根据当地的工程实测资料统计对比确定。

6 当采用锤击法沉桩时, 不应因振动造成对周围建筑物的影响。

7.2.12 软土地基路基横断面设计应符合下列规定:

1 预压期结束时,路基高度不宜小于其设计高度,即实际路基填筑高度应等于路基设计高度与预压期间的沉降量之和。

2 预压填方路基底面宜加宽,每侧的加宽量应按下列公式计算:

$$\Delta d = mS_f \quad (7.2.12-1)$$

式中: Δd ——一侧的加宽量 (m);

m ——软基路堤的设计边坡值 (坡率的倒数);

S_f ——路堤坡脚处预压期末的沉降量 (m)。

3 预压填方路基的边坡值应按下列公式计算:

$$n = \left(1 - \frac{S_j}{H + S_f}\right)m \quad (7.2.12-2)$$

式中: n ——预压填方路基的边坡值;

S_j ——路肩处预压期末的沉降量 (m);

H ——路基中心高度 (m)。

7.2.13 高填方路基或桥头引道应按本规范第 6.5.1 条的规定,进行路基稳定与变形监测设计,路基填土速率应符合下列规定:

1 填筑时间不应小于地基抗剪强度增长所需要的固结时间。

2 路基中心沉降量每昼夜不得大于 10mm~15mm,边桩位移量每昼夜不得大于 5mm。

7.2.14 路面铺筑应在沉降稳定后进行,采用双标准控制,即要求推算的工后沉降量符合本规范第 6.2.8 条的规定;同时要求连续 2 个月观测的沉降量每月不超过 5mm。

7.3 红黏土与高液限土地区路基

7.3.1 红黏土与高液限土地区的路基设计,应查明沿线红黏土或高液限土的分布范围、成因类型、土体结构、湿度状态及其垂直分带、土体中裂隙分布特征、地下水分布情况、物理力学性质及胀缩性等。

1 红黏土的结构可按表 7.3.1-1 的规定进行分类,复浸水

特性可按表 7.3.1-2 的规定进行分类。

2 当红黏土与高液限土具有明显膨胀性时,应按膨胀土路基进行设计。

表 7.3.1-1 红黏土的结构分类

土体结构	裂隙发育特征	S_r
致密状结构	偶见裂隙 (<1 条/m)	>1.2
巨块状结构	较多裂隙 (1~2 条/m)	0.8~1.2
碎块状结构	富裂隙 (>5 条/m)	<0.8

注: S_r 为红黏土的天然状态与保湿扰动状态土样的无侧限抗压强度之比。

表 7.3.1-2 红黏土的复浸水特性分类

类别	I_r 与 I'_r 关系	复浸水特性
I	$I_r \geq I'_r$	收缩后复浸水膨胀,能恢复到原位
II	$I_r < I'_r$	收缩后复浸水膨胀,不能恢复到原位

注: $I_r = w_L/w_p$, $I'_r = 1.4 + 0.0066 w_L$; w_L —液限; w_p —塑限。

7.3.2 红黏土与高液限土地区填方路基应符合下列规定:

1 当红黏土用作路基填料时,其最小强度应满足本规范表 4.3.4 的规定,否则应进行处治。压缩系数大于 0.5MPa^{-1} 的红黏土路基不得用于填筑路基。

2 满足最小强度要求但未经处理的红黏土填筑路基高度不宜大于 10m。

3 高液限土不宜直接作为路基填料。当利用挖方路段的挖方高液限土填筑路基时,应进行处治。

4 高度小于 10m 的填方路基边坡坡率宜为 1:1.5~1:1.75,当边坡高度大于 6m 时,宜设置边坡平台,其宽度不宜小于 2m。当边坡高度超过 10m 时,应按高边坡设计,并应通过路基稳定性分析计算确定路堤横断面形式、边坡坡度及路堤加固与防护措施等。

5 在确定路基土的最佳含水率和最大干密度时,宜采用湿土法重型击实试验。

6 路基基底应设置排水隔离垫层,厚度宜为 0.50m,应采用渗水性良好的砂砾或碎石填筑,其顶面应设置反滤层。

7 经改性处理的红黏土或高液限土路基,或者用黏土外包封闭的路基可按一般路基进行防护设计。

7.3.3 红黏土与高液限土地区挖方路基应符合下列规定:

1 应分析复浸水 I 类红黏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。边坡稳定性计算宜采用饱水剪切试验和重复慢剪试验等强度指标,对裂隙发育的土应采用三轴剪切试验或无侧限抗压强度试验指标,必要时可进行收缩试验和复浸水试验。

2 挖方边坡高度不宜超过 20m,边坡坡率及平台宽度可按表 7.3.3 确定,当边坡高度超过 6m 时,挖方路基宜采用台阶式断面。若地形允许,宜放缓边坡。

表 7.3.3 红黏土与高液限土挖方边坡坡率

边坡高度 (m)	边坡坡率	边坡平台宽度 (m)
<6	1:1.25~1:1.5	—
6~10	1:1.25~1:1.5	2.0
10~20	1:1.5~1:1.75	≥2.0

3 应根据红黏土或高液限土的工程性质、道路等级,对路床顶面下 0.80m 范围内的红黏土或高液限土进行超挖,并应换填渗水性良好的砂砾、碎石土或采用石灰、水泥等无机结合料进行处治。

4 应进行路基防排水系统的综合设计。

5 挖方边坡的坡面防护与支挡加固应综合设计。

7.4 膨胀土地区路基

7.4.1 膨胀土地区的路基设计应查明沿线膨胀土的分布范围、成因类型、土体结构、地下水分布与赋存条件,以及膨胀土的矿物成分、物理力学性质和胀缩特性等。

7.4.2 膨胀土地区的路基设计应以防止水分侵蚀、防止风化、保持路基湿度稳定为主,结合坡面防护,降低边坡高度,分段连续施工,及时封闭路床和坡面。道路与建筑、广场之间的绿化带和坡面,应采取半封闭的相对保湿、防渗透措施。道路先于建筑实施时,应对城市道路沿线两侧一定范围内未开发土地采取临时保湿、防渗、排水措施。

7.4.3 膨胀土地区路基的边坡及其防护加固应符合下列规定:

1 当可能发生浅层破坏时,宜采取半封闭的保湿防渗措施。

2 当可能发生深层破坏时,应采取边坡稳定加固措施,并进行边坡防护。

3 膨胀土强度指标应采用低于峰值强度值,可采用反算和经验指标。

4 支挡结构基础埋深应大于气候影响层深度,反滤层应适当加厚。

5 防护工程宜采用柔性结构。

7.4.4 膨胀土地区的填方路基设计应符合下列规定:

1 当路基填土高度小于路面与路床的总厚度,基底为膨胀土时,宜挖除地表 0.30m~0.60m 的膨胀土,并应将路床换填成非膨胀土或作掺灰处理。若为强膨胀土,挖除深度应达到大气影响深度。大气影响深度的确定应符合现行国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》GB 50112 的规定。

2 强膨胀土不得作为路基填料。中等膨胀土应经改良处理后方可用于路基填筑。当采用弱膨胀土作为路堤填料,胀缩总率不超过 0.7% 时,可直接填筑,但应采取防水、保温、封闭、坡面防护等措施;否则,应按道路等级、气候、水文特点、填土层位等具体情况,结合实践经验对弱膨胀土进行处治。

3 膨胀土填筑的路基,应及时碾压密实,路基压实度应符合本规范第 4.6.2 条的规定。在确定路堤填筑的最佳含水率和最大干密度时,宜采用湿土法重型击实试验。

4 路基边坡坡率应根据路堤边坡的高度、填料重塑后的性

质、区域气候特点和既有的路基工程经验综合确定。路基高度不宜大于6m。对边坡高度不大于10m的路基边坡，其坡率和边坡平台的设置可按表7.4.4-1确定。

表 7.4.4-1 膨胀土填方路基边坡坡率和边坡平台宽度

膨胀性 边坡高度 (m)	边坡坡率		边坡平台宽度 (m)	
	弱膨胀	中等膨胀	弱膨胀	中等膨胀
<6	1:1.5	1:1.5~1:1.75	可不设	
6~10	1:1.75	1:1.75~1:2.0	2.0	≥2.0

5 路堤边坡的防护应根据工程地质条件及填土高度，按表7.4.4-2确定。

表 7.4.4-2 膨胀土填方路基边坡防护措施

边坡高度 (m)	弱膨胀土	中膨胀土
≤6	植物	骨架植物
>6	植被防护，骨架植物	支撑渗沟加拱形骨架植物

7.4.5 膨胀土地区的挖方路基设计应符合下列规定：

1 边坡坡率应根据边坡土体的性质、软弱层和裂隙的组合关系、气候特点、水文地质条件，以及当地自然山坡、人工边坡的稳定坡率等综合确定。

2 边坡设计应放缓坡率、设置平台。边坡坡率及平台宽度可按表7.4.5-1确定。边坡高度大于10m时应进行个别设计。

表 7.4.5-1 膨胀土边坡坡率和平台宽度

膨胀土类别	边坡高度 (m)	边坡坡率	边坡平台宽度 (m)	碎落台宽度 (m)
弱膨胀土	<6	1:1.5	—	1.0
	6~10	1:1.5~1:2.0	1.5~2.0	1.5~2.0
中等膨胀土	<6	1:1.5~1:1.75	—	1.0~2.0
	6~10	1:1.75~1:2.0	2.0	2.0

续表 7.4.5-1

膨胀土类别	边坡高度 (m)	边坡坡率	边坡平台宽度 (m)	碎落台宽度 (m)
强膨胀土	<6	1:1.75~1:2.0	—	2.0
	6~10	1:2.0~1:2.5	≥2.0	≥2.0

3 应对路床0.80m范围内的膨胀土进行超挖换填，或采取土质改良等措施。对强膨胀土、地下水发育、运营中处理困难的挖方路基，换填深度应加深至1.0m~1.5m，并应采取地下排水措施。

4 边坡应设置完善的排水系统，及时引排地面水和地下水。

5 挖方边坡的防护和加固类型依据工程地质条件、环境因素和边坡高度可按表7.4.5-2及表7.4.5-3确定，边坡开挖后应及时防护封闭。边坡植物防护时，不应采用阔叶树种。圪工防护时，墙背应设置缓冲层。

表 7.4.5-2 膨胀土挖方路基边坡防护措施

边坡高度 (m)	弱膨胀土	中等膨胀土
≤6	植物	骨架植物
>6	骨架植物、植物防护、浆砌片石护坡	拱形骨架植物、支撑渗沟加拱形骨架植物

表 7.4.5-3 膨胀土挖方路基边坡加固措施

边坡高度 (m)	弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
≤6	不设	坡脚墙	护墙、挡土墙
>6	护墙、挡土墙	挡土墙、抗滑桩	桩基承台挡土墙、抗滑桩、边坡锚固

7.5 黄土地区路基

7.5.1 黄土地区路基设计应查明沿线黄土的分布范围、厚度及

其变化、成因类型和地层特征,各种不同地层黄土的物理、力学性质、湿陷性类型和湿陷等级,以及路线所处的地貌单元及地表水、地下水等情况,并应符合下列规定:

1 黄土塬梁地区,当路基遇到有滑坡、崩塌、陷穴群、冲沟发育、地下水出露的塬梁边缘和斜坡地段,应有充分依据和切实可行的工程措施,对该区域进行综合治理,消除路基危害。

2 位于冲沟沟头和陷穴附近的路基,应分析评价其发展趋势及对路基的危害程度和对路基稳定性的影响。

3 湿陷性黄土地区的路基宜设在湿陷性轻微、湿陷土层较薄、排水条件较好的地段。

4 饱和黄土地基,应按软土地区路基的有关要求进行路基设计和地基处理。

7.5.2 黄土地区路基设计应加强排水,并应采取拦截、分散的措施,宜设置防冲刷、防渗漏和有利于水土保持的综合排水设施及防护工程。

7.5.3 黄土地区填方路基设计应符合下列规定:

1 当地基情况良好或经过处理、边坡高度不大于20m时,断面形式及边坡坡率可按表7.5.3选用。

2 当边坡高度大于20m时,应按照本规范第6.2节的规定进行个别设计,并宜与桥梁方案相比较。

3 对高度大于20m的路基,应按工后沉降量预留路基顶面加宽值;工后沉降量可按路堤高度的0.7%~1.5%进行估算。

表 7.5.3 黄土填方路基断面形式及边坡坡率

断面形式	路基以下边坡分段坡率		
	$0 < H \leq 8\text{m}$	$8 < H \leq 15\text{m}$	$15 < H \leq 20\text{m}$
折线形	1:1.5	1:1.75	1:2.0
台阶形	1:1.5	1:1.75	1:1.75

注:台阶形断面适用于年降水量大于500mm的地区;在边坡高15m处设置宽为2.0m~2.5m的平台。边坡平台宜设截水沟,并作防渗加固处理。

7.5.4 黄土地区挖方路基设计应符合下列规定:

1 边坡形式应根据黄土类别、均匀性及边坡高度按表7.5.4-1确定。边坡小平台应根据年平均降水量设置。年平均降水量小于300mm的地区应每高12m设一级,300mm~500mm的地区应每高10m设一级,500mm~700mm的地区应每高8m设一级。边坡大平台宜设在边坡的中部。非均质土层平台或变坡点的位置应结合不同土层分界面和钙质结核层的位置综合确定。边坡平台宽应根据稳定性计算确定,小平台宽度宜为2.0m~2.5m,大平台宽度宜为4.0m~6.0m。年平均降水量大于250mm的地区,边坡平台应设截水沟,其底宽及深度均不应小于0.4m,并应采取防护措施。

表 7.5.4-1 黄土挖方路基边坡形式及适用条件

边坡形式		适用条件
直线形		1) 均质土层, Q_4 、 Q_3 黄土边坡高度 $H \leq 15\text{m}$; Q_2 、 Q_1 黄土边坡高度 $H \leq 20\text{m}$; 2) 非均质土层, 边坡高度 $H \leq 10\text{m}$
折线形 (上缓下陡)		非均质土层, 边坡高度 $H \leq 15\text{m}$
台阶形	小平台	1) 均质土层, Q_4 、 Q_3 黄土边坡高度 $15\text{m} < H \leq 30\text{m}$; Q_2 、 Q_1 黄土边坡高度 $20\text{m} < H \leq 30\text{m}$; 2) 非均质土层, 边坡高度 $15\text{m} < H \leq 30\text{m}$
	大平台	边坡高度 $H > 30\text{m}$

2 当挖方边坡高度不大于30m时,边坡坡率应根据黄土的地貌单元、时代成因、构造节理、地下水分布、降雨量、边坡高度、施工方法,并结合当地自然或人工稳定边坡坡率按表7.5.4-2确定。

3 当挖方边坡高度超过30m时,应按本规范第6.2节的规定进行个别设计,并宜与隧道方案作比较。

4 对设有大平台的深挖方路基,必须对高边坡作整体稳定验算,并应对大平台毗邻的上下分段边坡作局部稳定验算。

5 在有地下水活动的挖方路段,应采取截排地下水及防止地面水渗漏等措施,并应设置必要的防护工程。

表 7.5.4-2 黄土挖方边坡坡率

分区	分类		边坡高度 (m)			
			≤6	6~12	12~20	20~30
I 东南区	新黄土 Q ₃	坡积	1:0.5	1:0.5~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0	—
		Q ₄	1:0.2~ 1:0.3	1:0.3~ 1:0.5	1:0.5~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0
	新黄土 Q ₃		1:0.3~ 1:0.5	1:0.4~ 1:0.6	1:0.6~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0
	老黄土 Q ₂		1:0.1~ 1:0.3	1:0.2~ 1:0.4	1:0.3~ 1:0.5	1:0.5~ 1:0.75
	新黄土 Q ₃		1:0.5	1:0.5~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0	—
II 中部区	新黄土 Q ₃	Q ₄	1:0.2~ 1:0.3	1:0.3~ 1:0.5	1:0.5~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0
		新黄土 Q ₃		1:0.3~ 1:0.4	1:0.4~ 1:0.5	1:0.5~ 1:0.75
	老黄土 Q ₂		1:0.1~ 1:0.3	1:0.2~ 1:0.4	1:0.3~ 1:0.5	1:0.5~ 1:0.75
	红色黄土 Q ₁		1:0.1~ 1:0.2	1:0.2~ 1:0.3	1:0.3~ 1:0.4	1:0.4~ 1:0.6
III 西部区	新黄土 Q ₃	坡积	1:0.5~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0	1:1.0~ 1:1.25	—
		Q ₄	1:0.2~ 1:0.4	1:0.4~ 1:0.6	1:0.6~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0
	新黄土 Q ₃		1:0.4~ 1:0.5	1:0.5~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0	1:1.0~ 1:1.25
	老黄土 Q ₂		1:0.1~ 1:0.3	1:0.2~ 1:0.4	1:0.3~ 1:0.5	1:0.5~ 1:0.75
	新黄土 Q ₃		1:0.5	1:0.5~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0	—

续表 7.5.4-2

分区	分类		边坡高度 (m)			
			≤6	6~12	12~20	20~30
IV 北部区	新黄土 Q ₃	坡积	1:0.5~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0	1:1.0~ 1:1.25	—
		Q ₄	1:0.2~ 1:0.4	1:0.3~ 1:0.6	1:0.6~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0
	新黄土 Q ₃		1:0.3~ 1:0.5	1:0.5~ 1:0.6	1:0.6~ 1:0.75	1:0.75~ 1:1.0
	老黄土 Q ₂		1:0.1~ 1:0.3	1:0.2~ 1:0.4	1:0.3~ 1:0.5	1:0.5~ 1:0.75
	红色黄土 Q ₁		1:0.1~ 1:0.2	1:0.2~ 1:0.3	1:0.3~ 1:0.4	1:0.4~ 1:0.6
	新黄土 Q ₃		1:0.5	1:0.5~ 1:0.6	1:0.6~ 1:0.75	—

注:表内边坡值为设平台后的平均值。

6 边坡防护类型应根据城市规划的景观要求,结合土质、降雨量、气候条件、边坡高度及坡度、防护材料来源等经方案比选,选择合理、经济、美观的边坡防护类型。

7.5.5 湿陷性黄土地基处理应符合下列规定:

1 黄土地基湿陷类型和湿陷等级的判定,以及地基沉降计算和稳定性验算,应符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025 的规定。

2 当地基沉降计算值不符合本规范第 6.2.8 条的规定时,应采取减少或消除湿陷性的处理措施。

3 湿陷性黄土地基的处理深度应通过验算确定。填方路段的处理宽度应至坡脚排水沟外侧不小于 1m;挖方路段应为路基的整个开挖面;非自重湿陷性黄土地基的挡土墙路段应处理至挡土墙基础底面外侧不小于 1m,自重湿陷性黄土地基的挡土墙路段应处理至挡土墙基础底面外侧不小于 2m。

4 黄土地基的湿陷性处理,应按现行国家标准《湿陷性

黄土地区建筑规范》GB 50025 的规定,根据地基特征、处理深度、施工设备、材料来源和对周围环境的影响等因素,处理措施选择,必要时可通过试验确定其可行性、设计参数和施工工艺。当采用强夯法时,应评估其对周边沉降和环境的影响。

5 对危害路基稳定的陷穴应进行处理。对外露的陷穴,在路堤坡脚或路堑坡顶线外上方侧 50m 以内,下方侧 10m~20m 内,应全部处理,处理深度自地面至陷穴底。对横穿路基隐蔽的暗穴,自路堤坡脚或路堑坡脚向外侧按 $(45^\circ + \varphi/2)$ 向下扩展至需处理的暗穴底。对流向陷穴的地面水,应采取拦截引排措施;对路堑坡顶附近的裂缝和积水洼地,应填平夯实。

7.6 盐渍土地区路基

7.6.1 盐渍土地区路基设计应查明沿线盐渍土的分布范围、含盐特征及地下水与地表水等情况,分析可能产生的路基病害。盐渍土根据含盐性质可按表 7.6.1-1 的规定分类,盐渍化程度可按 7.6.1-2 的规定分类。

表 7.6.1-1 盐渍土按含盐性质分类

盐渍土名称	离子含量比值	
	Cl^-/SO_4^-	$(CO_3^{2-} + HCO_3^-)/(Cl^- + SO_4^-)$
氯化盐渍土	>2	—
亚氯化盐渍土	1~2	—
亚硫酸盐渍土	0.3~<1.0	—
硫酸盐渍土	<0.3	—
碳酸盐渍土	—	>0.3

注:离子含量以 1 kg 土中离子的毫摩尔数计 (mmol/kg)。

表 7.6.1-2 盐渍土按盐渍化程度分类

盐渍土名称	细粒土 土层的平均含盐量 (%)		粗粒土 通过 10mm 筛孔土的平均含盐量 (%)	
	氯化盐渍土及 亚氯化盐渍土	硫酸盐渍土及 亚硫酸盐渍土	氯化盐渍土及 亚氯化盐渍土	硫酸盐渍土及 亚硫酸盐渍土
弱盐渍土	0.3~<1.0	0.3~<0.5	2.0~<5.0	0.5~<1.5
中盐渍土	1.0~<5.0	0.5~<2.0	5.0~<8.0	1.5~<3.0
强盐渍土	5.0~8.0	2.0~5.0	8.0~10.0	3.0~6.0
过盐渍土	>8.0	>5.0	>10.0	>6.0

注:离子含量以 100g 干土内的含盐总质量计。

7.6.2 盐渍土地区路基宜为填方路基。当受高程条件限制采用挖方时,应根据当地水文条件适当超挖,并应回填渗水性填料或设置隔断层。

7.6.3 盐渍土地区路基必须进行路基排水设计,并进行现场调查和核对,排水应畅通。

7.6.4 盐渍土地区填方路基应符合下列规定:

1 路基高度应在满足城市规划高程基础上,使路床处于干燥或中湿状态。路基相对高度不应低于表 7.6.4-1 的规定,否则应采取换填、设置隔断层等措施。

表 7.6.4-1 盐渍土地区最小路基相对高度

土质类别	高出地面 (m)		高出地下水位或地表长期积水位 (m)	
	弱、中盐渍土	强、过盐渍土	弱、中盐渍土	强、过盐渍土
砾类土	0.4	0.6	1.0	1.1
砂类土	0.6	1.0	1.3	1.4
黏质土	1.0	1.3	1.8	2.0
粉质土	1.3	1.5	2.1	2.3

注:快速路、I级主干路按表中值(1.5~2)倍计;II级主干路、I级次干道按(1.2~1.5)倍计。

2 盐渍土用作路堤填料的可用性,应根据不同道路等级和路堤填筑部位以及当地气候特征、水文地质条件,按表 7.6.4-2 确定,否则应外掺石灰等材料处治合格后方可利用。当采用碳酸盐渍土作路基填料时,碳酸盐含量不应超过 0.50%。

表 7.6.4-2 盐渍土作路基填料的可用性

道路等级 填土层位		快速路、主干路			次干路			支路	
		0~0.80m	0.80m~1.50m	1.50m以下	0~0.80m	0.80m~1.50m	1.50m以下	0~0.80m	0.80m~1.50m
粗粒土	弱盐渍土	×	○	○	△ ¹	○	○	○	○
	中盐渍土	×	△ ¹	○	△ ¹	○	○	△ ³	○
	强盐渍土	×	×	△ ¹	×	△ ²	△ ³	×	△ ¹
	过盐渍土	×	×	×	×	×	△ ²	×	△ ²
细粒土	弱盐渍土	×	△ ¹	○	△ ¹	○	○	△ ¹	○
	中盐渍土	×	×	△ ¹	×	△ ¹	○	×	△ ⁴
	强盐渍土	×	×	×	×	×	△ ²	×	△ ²
	过盐渍土	×	×	×	×	×	△ ²	×	×

注:○:可用;△:部分可用;×:不可用;△¹:氯盐渍土及亚氯盐渍土可用;△²:强烈干旱地区的氯盐渍土及亚氯盐渍土经过论证可用;△³:粉土质(砂)、黏土质(砂)不可用;△⁴:水文地质条件差时的硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土不可用。

3 当基底为过湿地段时,应排除积水,挖除表层湿土后换填,换填厚度不应小于 0.50m;受地面水或地下毛细水影响的路基,应设置隔断层;软弱地基应作特殊处理设计。

4 隔断层设置层位应高出地面和地表长期积水位且不应小于 0.20m,可采用砾(碎)石、风积砂、河砂、复合隔水土工膜等材料。

5 盐渍土地区路堤边坡坡率,应根据填筑材料的土质和盐渍化程度,按表 7.6.4-3 确定。

表 7.6.4-3 盐渍土地区路堤边坡坡率

土质类别	填料盐渍化程度	
	弱、中盐渍土	强盐渍土
砾类土	1:1.5	1:1.5
砂类土	1:1.5	1:1.5~1:1.75
粉质土	1:1.5~1:1.75	1:1.75~1:2.00
黏质土	1:1.5~1:1.75	1:1.75~1:2.00

7.7 季节性冰冻地区路基

7.7.1 季节性冰冻地区路基设计应调查道路沿线的水文和水文地质状况,调查宜于冰冻前进行,调查宜包括下列主要内容:

- 1 对路基产生影响的地表常年积水距路面的距离及水深。
- 2 地下水位及其随季节变化情况。

3 道路施工期及建成后可能对路基路面造成冻害的各种水源。

7.7.2 季节性冻土地区各级道路的路基设计除满足路基强度要求外,最不利时期路基容许总冻胀值不应超过表 7.7.2 所列的数值。

表 7.7.2 满足道路平整度要求的路基容许总冻胀值 Z_j (mm)

道路等级	路面类型	
	现浇水泥混凝土	沥青混凝土
快速路、主干路	20	50
其他道路	30	60

7.7.3 路基总冻胀值可根据路基冻深(道路冻深减去路面厚度)和土的冻胀率,按下列公式计算:

$$Z_j = \sum_{i=1}^n h_i \eta_i \quad (7.7.3)$$

式中: Z_j ——路基冻胀值 (mm);

h_i ——路基冻深内不同土层的厚度 (mm);

η_i ——路基不同土层土的冻胀率;

n ——不同土层数。

7.7.4 路基土冻深范围内各层土质填料应根据路基高度、干湿类型、冻土区划、容许总冻胀值及路面结构类型等因素选取,宜采用干燥的砂砾、碎石、砂性土或矿渣、炉渣、粉煤灰等抗冻性良好的材料。

7.7.5 强冻胀土路基距地下水或地表常年积水的高度不应小于冻土路基临界高度。路基临界高度可按式(7.7.5)计算确定。否则应采用降排水、换填、设置保温层或隔断层等措施。

$$h_c = Z_{\max} + h_e \quad (7.7.5)$$

式中: h_c ——冻胀土路基临界高度 (m);

Z_{\max} ——道路多年最大冻深 (m);

h_e ——冻结水上升高度 (m),如无实际观测值,可按表 7.7.5 确定。

表 7.7.5 各种土质的冻结水上升高度 (m)

土质类别	含细粒土砾石、 含细粒土砂	细粒土质砂、 黏土质砂	粉土质砂	粉质土	黏质土
冻结水 上升高度	0.6~0.8	0.7~0.9	0.8~1.0	1.2~1.5	2.0~2.5

7.7.6 冻胀土路段应及时排出浸入水及春融期路基中的融化水,季冻地区道路凹形竖曲线的底部、低洼路段、平曲线超高段宜作特殊排水设计。

7.7.7 冻胀土路基可设置防冻隔温层。防冻隔温层应根据路面结构强度、路基土质和干湿类型确定,并应满足结构强度和耐久性要求。

7.8 岩溶地区路基

7.8.1 岩溶地区的路基设计应采用遥感、物探、钻探及其他有

效方法进行综合勘察,取得岩溶地貌、岩溶发育程度、发展规律、溶洞围岩分级以及地面水、地下水活动规律等方面的资料。

7.8.2 隐伏岩溶对路基工程的危害程度,应按下列规定进行判别:

1 当顶板岩层未被节理裂隙切割,或虽被切割但胶结良好时,溶洞顶板的安全厚度可按厚跨比法确定。当厚度与路基跨越溶洞长度之比值大于 0.8 时,溶洞的顶板岩层可不做处理。

2 当岩溶地貌位于路基两侧时,可根据坍塌扩散角,按式(7.8.2)计算确定其岩溶影响范围;地下溶洞顶板岩层上有覆盖土层,可自土层底部采用表 7.8.2 中所列角度或者统一采用 45° 角向上绘斜线,求出其与地面的交点以确定影响范围。路基坡脚处于溶洞坍塌扩散的影响范围之外时,该溶洞可不作处理。

$$L = H_k \cot \beta \quad (7.8.2-1)$$

$$\beta = \frac{45^\circ + \frac{\varphi}{2}}{K_s} \quad (7.8.2-2)$$

式中: L ——溶洞坍塌时的影响范围 (m);

H_k ——溶洞顶板厚度 (m);

β ——坍塌扩散角 ($^\circ$);

K_s ——安全系数,取 1.10~1.25 (快速路、主干路应取大值);

φ ——岩石内摩擦角 ($^\circ$)。

表 7.8.2 覆盖土层稳定 (休止) 角

覆盖土层土组	细粒土质砂	黏质土	碎石土
覆盖土层稳定 (休止) 角	$35^\circ \sim 45^\circ$	$35^\circ \sim 55^\circ$	$40^\circ \sim 55^\circ$

7.8.3 岩溶处治设计应符合下列规定:

1 路基上方的岩溶泉和冒水洞,宜采用排水沟将水截流至路基外。对路基基底的岩溶泉和冒水洞,宜设置集水明沟或渗沟,将水排出路基。

2 对位于路基基底的开口干溶洞,当其体积不大,深度较浅时,宜回填夯实;当其体积较大或深度较深时,宜采用构造物跨越。对有顶板但顶板强度不足的干溶洞,可炸除顶板后进行回填,或设置构造物跨越。

3 通过溶洞围岩分级或计算判断隐伏溶洞有坍塌可能时,宜采用下列方法进行加固:

- 1) 对洞径大、洞内施工条件好的无充填溶洞,宜采用干砌片石、浆砌片石或钢筋混凝土支撑垛、支撑墙、支撑柱进行加固。
- 2) 对溶洞较深而直径较小,不便于洞内加固时,宜采用石盖板或钢筋混凝土盖板跨越可能的破坏区。
- 3) 对顶板较薄的溶洞,当采取地表构造物跨越有困难或不经济时,可炸除顶板,按明洞的方式进行处理。
- 4) 对有填充物的溶洞,宜采用注浆法、旋喷法等进行加固;当不能满足设计要求时宜采用构造物跨越。
- 5) 当需保持洞内流水通畅时,应设置排水通道。

4 对路基范围内的土洞应先判明土洞的发展状况。对已停止发展的土洞可按一般地基进行评价,需加固时宜采用注浆、复合地基等方法进行处理;对还在发展中的土洞,宜采用构造物跨越。

7.9 浸水路基

7.9.1 沿河路基设计标高的确定应符合下列规定:

1 路基边缘标高,不应低于路基设计洪水频率的水位加壅水高、波浪侵袭高度和 0.5m 的安全高度。

2 路基设计洪水频率应符合现行国家标准《防洪标准》GB 50201 的规定。

7.9.2 路基浸水部分或受水位涨落影响部分,填筑材料宜选用渗水性、水稳性好的粗粒料。重黏土、浸水后容易崩解的岩石、风化的石块、盐渍土均不应用于浸水部分路基的填筑。

7.9.3 路基边坡应适当放缓。在设计水位以下宜为 1:1.75~1:2.0;在常水位以下宜为 1:2.0~1:3.0;当采用渗水性较好的土填筑路基或采用砌石防护时,边坡可稍陡。当路基较高,应在设计水位以上 0.5m 处设置护坡道。

7.9.4 路基边坡防护应符合本规范第 6.3.2 条的规定。对可能出现管涌或流砂(土)的边坡,可采取放缓下游一侧边坡,或在下游设置滤水趾并设反滤层;若路基填土渗透性小,则可在下游路堤坡脚线以外基底土层上铺设滤水护坦,或在上游铺设黏土隔渗层,或在坡脚或基底下设置防渗墙或止水幕等。

7.9.5 浸水路基稳定性验算时应计入水的浮力、渗透动水压力的不利影响。土的强度参数应按水位高度以上和以下分别采用夯后快剪和夯后饱和快剪试验值,物理参数应分别取值。

7.10 滨海路基

7.10.1 滨海路基设计应根据路基所处的地形、地貌、地质等条件以及水文、气象等因素,结合施工条件及材料供应情况,合理确定路基设计高程,选择适宜的路基断面和防护形式。路基应具有整体稳定性、耐久性、耐腐蚀性。

7.10.2 当滨海路基两侧有较大的水头差时,宜设置过水构造物。当堤身或地基可能发生管涌、潜蚀时,应在低水位一侧边坡下部设置排水设施、放缓边坡或设置护坡道,或在路堤中心设置防渗墙等防渗加固措施。

7.10.3 路基填料应选择渗水性好的材料,可采用下层抛石,上层填石的形式。若当地缺乏石料,亦可采用粗砂、砾石、碎石作为填筑材料,但建成后的路堤填石料不可被海水冲移。当有困难时,设计高水位以上路堤部分可采用细粒土,并应采用适当的防护和加固措施。

7.10.4 滨海路基设计标高的确定应符合下列规定:

1 路基边缘标高不应低于路基设计潮水频率的水位加壅水高、波浪侵袭高度和 0.5m 的安全高度。

2 路基设计潮水频率应符合现行国家标准《防洪标准》GB 50201 的规定。

7.10.5 滨海斜坡式路基的构造应符合下列规定：

1 边坡坡率应根据填料性质、路堤高度、浸水深度、防护形式及海洋水文条件等综合确定，堤身设计应符合现行行业标准《海堤工程设计规范》SL 435 的要求。

2 坡面防护应根据水深、波浪特点、施工条件及材料情况等采用条石、块石、混凝土异型块体、土工合成材料等护坡。可在堤前采用防浪凌台、顺坝及潜坝等措施。各种防护工程应能抗海水及生物侵蚀，在寒冷地区应具有耐冻和承受冰凌撞击的能力。

3 外海侧护坡底部应设抛石棱体，外海侧坡脚应根据冲刷深度、地形、基础形式等采取合适的护底措施。

7.10.6 滨海直墙式路堤的构造应符合下列规定：

1 直墙应有足够的刚度和良好的整体性，应与基床连接牢固。

2 直墙应根据地基地质的变异及墙身高度、墙身断面的变化情况，设置沉降缝。

7.10.7 滨海路堤稳定性验算应符合下列规定：

1 斜坡式路堤应根据其整体稳定性，采用圆弧滑动面或复合滑动面进行验算。路基浸水部分的边坡，进行稳定性验算时应计入水的浮力、渗透动水压力的不利影响。同时应设计确定护坡块体稳定质量、护坡厚度、人工块体个数和用量、护坡垫层块石和护底块石质量等参数。

2 直墙式路堤应根据其沿基底和基床顶面验算抗倾覆稳定性、抗滑稳定性、地基表面和基床顶面应力，以及直墙式路堤的整体稳定性。同时应设计确定路堤墙混凝土方块最小质量、明基床的基肩和坡面块体稳定质量、堤前护底块石稳定质量、堤前最大波浪底流速等参数。

8 路基改建与扩建

8.1 一般规定

8.1.1 城市道路路基改建与扩建设计，应根据既有道路路基路面的性状，结合沿线的地形、地貌、工程地质与水文地质条件、街区和邻近建筑物情况等，采取合理的技术方案和工程措施。

8.1.2 城市道路路基的改建与扩建，路基路面应协调设计；拓宽路基与既有路基之间应衔接良好，并应采取减小拓宽路基与既有路基之间的差异沉降和变形。

8.1.3 当规划建设快速路和主干路近期交通量不大、初期建设资金不足时，可按一次设计、分期修建的原则进行设计，但整体式路基不宜采用分幅分期修建方案。

8.2 既有路基性状调查与评价

8.2.1 既有路基调查应采取资料收集、现场调查和勘探试验相结合的综合方法。

8.2.2 路基改建与扩建设计前，应收集既有道路的地基及路基勘察、设计、施工、竣工、运营和维护等方面的资料。

8.2.3 既有路基现场调查与勘探试验应符合下列规定：

1 应根据既有道路的路况进行分段，对各段选择代表性断面，对道路各结构层及地基进行勘探试验。

2 应选择有代表性的路段，进行路基几何尺寸、弯沉、承载板测试，确定其回弹模量。

3 应对既有填方路基和挖方路基的路床土进行基本物理、力学试验，包括含水率、密度、土粒相对密度、粒径组成、液限、塑限、重型击实、加州承载比、直接快剪等，为设计提供可靠的物理力学性质指标。

4 应调查既有路基支挡结构的基础形式、地基地质条件和使用状况,必要时应对支挡结构地基进行勘探试验。

8.2.4 既有路基的分析评价应符合下列规定:

1 应确定既有路基的填料强度和压实度,并与本规范第4.3.4条、第4.6.2条中路基填料最小强度和路基压实度既有要求作对比分析。

2 应确定既有路基的干湿状态,并与本规范第4.2.2条的要求作对比分析。

3 应分析评价路基边坡的稳定状态、各种防护排水设施的有效性及其改进措施。

4 应分析评价既有路基病害的类型、分布范围、规模、成因,以及既有路基病害整治工程设施的效果,并提出路基病害整治措施。

8.2.5 软土地区既有路基的分析评价除应符合本规范第8.2.4条的规定外,还应符合下列规定:

1 应确定既有路基下各种地基处理路段的软土地基固结度、固结系数、压缩变形发展规律,分析各路段软土地基的固结度和剩余沉降量。

2 应分析评价既有软土地基处理方法的效果及其改进措施。

3 应分析评价拓宽改建路基与既有路基之间的稳定性和差异沉降、对既有路基沉降和稳定的影响程度,确定扩建或改建路基的地基处理措施。

8.3 既有路基利用与处治

8.3.1 路基改扩建工程,应根据既有路基病害的类型、特征、成因及危害程度,结合当地水文、水文地质、工程地质等条件,选择合理、有效、经济的病害处治方案。

8.3.2 既有路基的利用应与既有路面的利用和加铺设计相结合,应根据路基病害的成因及对拓宽结构的影响程度,采取针对性的处治措施,并应符合下列规定:

1 当既有路基回弹模量不满足新建路基的要求,但既有路面未出现破损且拓宽后通过加铺设计可满足路面设计要求时,宜充分利用既有路基。

2 当既有路基回弹模量不满足新建路基的要求,且路面出现严重破损时,可根据含水率、压实度和填料类型的分析评价,分别采取改善排水措施、补充碾压、换填处治等措施。

3 当条件受限不能翻挖既有路基时,可采取注浆等路基补强措施。

8.3.3 当路基填筑高度受限,干湿状态不能满足本规范第4.2.2条的要求时,应增设排水垫层或布设地下排水设施等。

8.4 路基拓宽

8.4.1 城市道路路基的拓宽改建应根据道路等级和技术指标,结合沿线地形、地质、水文、街区和邻近建筑物情况选择适宜的路基横断面形式。

8.4.2 拓宽路基的地基处理、路基基底处理、路基填料的最小强度和压实度等应满足改建后相应等级道路的技术要求。

8.4.3 填方路基拓宽应符合下列规定:

1 路基填料宜选用与既有路基相同、且符合要求的填料,或较既有路基渗水性更强的填料。当采用细粒土填筑时,应进行新老路基之间的排水设计,必要时,可设置横向排水盲沟。

2 应对既有路基边坡开挖台阶,台阶宽度不宜小于1.0m,当加宽拼接宽度小于0.75m时,可采取超宽填筑或翻挖既有路基等工程措施。

3 拓宽路堤边坡形式和坡率应按本规范第4.3节的规定选用。

8.4.4 挖方路基拓宽应符合下列规定:

1 挖方路基拓宽时,挖方边坡形式与坡率可按本规范第4.4节规定或按原有挖方路基稳定边坡确定。

2 对原有挖方边坡经多年整治病害已经稳定的路段,改建

续表 A.0.1

土组 路床面至各水位 临界水深 (m)	黏 质 土									
	地下水			地面长期积水			地面临时积水			
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	
自然区划										
II ₁	2.9	2.2								
II ₂	2.7	2.0								
II ₃	2.5	1.8								
II ₄	2.4~2.6	1.9~2.1	1.2~1.4							
II ₅	2.1~2.5	1.6~2.0								
III ₁										
III ₂	2.2~2.75	1.7~2.2	1.3~1.7	1.75~2.2	1.3~1.75	0.9~1.3	1.3~1.75	0.9~1.3	0.45~0.9	
III ₃	2.1~2.5	1.6~2.1	1.2~1.6	1.6~2.1	1.2~1.6	0.9~1.2	1.2~1.6	0.9~1.2	0.55~0.9	
III ₄										
III _{1a}										
III _{2a}										

续表 A.0.1

土组 路床面至各水位 临界水深 (m)	黏 质 土									
	地下水			地面长期积水			地面临时积水			
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	
自然区划										
IV ₁ 、IV _{1a}	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9							
IV ₂	1.6~1.7	1.1~1.2	0.8~0.9							
IV ₃	1.5~1.7	1.1~1.2	0.8~0.9	0.8~0.9	0.5~0.6	0.3~0.4				
IV ₄	1.7~1.8	1.0~1.2	0.8~1.0							
IV ₅	1.7~1.9	1.3~1.4	0.9~1.0	1.0~1.1	0.6~0.7	0.3~0.4				
IV ₆	1.8~2.0	1.3~1.5	1.0~1.2	0.9~1.0	0.5~0.6	0.3~0.4				
IV _{6a}	1.6~1.7	1.1~1.2	0.7~0.8							
IV ₇	1.7~1.8	1.4~1.5	1.1~1.2	1.0~1.1	0.7~0.8	0.4~0.5				
V ₁	2.0~2.4	1.6~2.0	1.2~1.6	1.6~2.0	1.2~1.6	0.8~1.2	1.2~1.6	0.8~1.2	0.45~0.8	
V ₂ 、V _{2a} (紫色土)	2.0~2.2	0.9~1.1	0.4~0.6							
V ₃	1.7~1.9	0.8~1.0	0.4~0.6							

续表 A.0.1

土组 路床面至各水位 临界水深 (m)	粉质土									
	地下水			地表长期积水			地表临时积水			
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	
IV ₁ 、IV _{1a}	1.9~2.1	1.3~1.4	0.9~1.0							
IV ₂	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9							
IV ₃	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9	0.9~1.0	0.6~0.7	0.3~0.4				
IV ₄										
IV ₅	1.79~2.1	1.3~1.5	0.9~1.1							
IV ₆	2.0~2.2	1.5~1.6	1.0~1.1							
IV _{6a}	1.8~2.0	1.3~1.4	0.9~1.1							
IV ₇										
V ₁	2.2~2.65	1.7~2.2	1.3~1.7	1.7~2.2	1.3~1.7	0.9~1.3	1.3~1.7	0.9~1.3	0.55~0.9	
V ₂ 、V _{2a} (紫色土)	2.3~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7							
V ₃	1.9~2.1	1.3~1.5	0.5~0.7							

续表 A.0.1

土组 路床面至各水位 临界水深 (m)	粉质土									
	地下水			地表长期积水			地表临时积水			
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	
自然区划 V ₂ 、V _{2a} (黄壤土、现代冲积土)	2.3~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7							
V ₄ 、V ₅ 、V _{5a}	2.2~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7							
VI ₁	(2.5)	(2.0)	(1.6)	(2.3)	(1.8)	(1.3)	(1.2)	0.7	0.4	
VI _{1a}	(2.5)	(2.0)	(1.5)	(2.2)	(1.7)	(1.2)	0.6			
VI ₂	2.3~2.15	1.85~2.3	1.4~1.85	1.85~2.3	1.4~1.85	0.9~1.4	1.4~1.85	0.9~1.4	0.5~0.9	
VI ₃	(2.6)	(2.1)	(1.6)	(2.4)	(1.8)	(1.4)	(1.3)	(0.7)		
VI ₄	(2.6)	(2.2)	1.7	2.4	1.9	1.4	1.3	0.8		
VI _{4a}	(2.4)	(1.9)	1.4	2.1	1.6	1.1	1.0	0.5		

续表 A.0.1

土组	粉质土									
	地下水			地表长期积水			地表临时积水			
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁	H ₂	H ₃	
路床面至各水位 临界水深 (m)										
自然区划										
VI _{4b}	(2.5)	1.9	1.4	(2.2)	(1.7)	(1.2)	1.0	0.5		
VI ₁	(2.5)	(2.0)	(1.5)	(2.4)	1.8	1.3	1.1	0.6		
VI ₂	(2.5)	(2.1)	(1.6)	(2.2)	(1.6)	(1.1)	0.9	0.4		
VI ₃	2.4~3.1	2.0~2.4	1.6~2.0	(2.0~2.4)	(1.6~2.0)	(1.0~1.6)	(1.6~2.0)	1.0~1.6	0.55~1.0	
VI ₄	(2.3)	(1.8)	(1.3)	(2.1)	(1.6)	(1.1)				
VI ₅	(3.8)	(2.2)	(1.6)	(2.9)	(2.2)	(1.5)		(1.3)	(0.5)	
VI _{6a}	(2.9)	(2.5)	1.8	(2.7)	2.1	1.5	1.6	1.1		

注: 1 VI、VII区有横线者, 表示实测资料较少; 有括号者, 表示没有实测资料, 根据规律推算的;
2 缺少资料的二级区, 可在论证基础上参考相邻二级区数值, 并调研积累本地区的资料。

附录 B 路基回弹模量确定方法

B.0.1 路基回弹模量宜根据室内试验法、现场实测法、换算法、查表法等, 经综合分析、论证后确定。

B.0.2 当采用室内试验法确定路基回弹模量时, 确定方法及步骤应符合下列规定:

1 应选择实际使用的路基土料场取土, 按重型击实标准确定的最佳含水率、最大干密度准备试件, 并按现行行业标准《公路土工试验规程》JTG E40 规定的承载板法或强度仪法测定路基土的回弹模量。回弹模量测试结果应采用下式修正:

$$E_{os} = \lambda E \quad (\text{B.0.2-1})$$

式中: E_{os} ——路基土回弹模量修正值 (MPa);

E ——路基土回弹模量室内试验值 (MPa);

λ ——试筒尺寸约束修正系数, 50mm 直径承载板取 0.78, 100mm 直径承载板取 0.59。

2 路基回弹模量设计值, 应根据道路等级、不利季节和路基干湿类型的影响, 采用下式计算:

$$E_{od} = \frac{Z}{K} E_{os} \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中: E_{od} ——路基回弹模量设计值 (MPa);

E_{os} ——路基土回弹模量修正值 (MPa);

Z ——考虑保证率的折减系数, 快速路、主干路为 0.66, 次干路为 0.59, 支路为 0.52;

K ——考虑不利季节和路基干湿类型的综合影响系数, 宜按表 B.0.2 选取, 或者根据室内试验测定的路基土回弹模量与稠度的关系分析确定, 或者根据当地经验确定。

表 B.0.2 综合影响系数 K

土基稠度值 w_c	$w_c \geq w_{c1}$	$w_{c1} > w_c \geq w_{c2}$	$w_c < w_{c2}$
综合影响系数	1.3	1.6	1.9

B.0.3 当采用现场实测法确定路基回弹模量时，确定方法应符合下列规定：

- 1 现场实测法适用于已建成的路基，宜采用承载板法。
- 2 承载板测点处的路基回弹模量值应按下列公式计算：

$$E_{ob} = \frac{\sum P_i}{D \sum l_i} (1 - \mu_0^2) \times 10^5 \quad (\text{B.0.3-1})$$

式中： E_{ob} ——现场承载板法测定的测点路基回弹模量计算值 (MPa)；

D ——承载板直径 (mm)；

P_i 、 l_i ——第 i 级荷载 (kN) 及其相应的实测回弹变形 (0.01mm)；

μ_0 ——路基土的泊松比，可取 0.35。

- 3 某路段路基回弹模量设计值应按下列公式计算：

$$E_{0D} = (\bar{E}_0 - Z_a S) / K_1 \quad (\text{B.0.3-2})$$

式中： E_{0D} ——某路段路基回弹模量设计值 (MPa)；

\bar{E}_0 、 S ——路段上各测点实测路基回弹模量的平均值 (MPa) 和均方差 (MPa)；

Z_a ——保证率系数，快速路、主干路为 2，次干路为 1.648，支路为 1.5；

K_1 ——不利季节影响系数，可根据当地经验确定。

B.0.4 当采用换算法确定路基回弹模量时，应通过现场测定的路基回弹模量值与压实度、路基稠度，室内试验测定的路基土回弹模量值与室内路基土加州承载比值等指标的相关性，建立换算关系，利用换算关系计算现场路基回弹模量。

B.0.5 当采用查表法确定路基回弹模量时，应根据道路所属二级区划、拟定路基土的土组类别和路基的平均稠度，可按表 B.0.5 估计路基回弹模量设计值。

表 B.0.5 二级自然区划各土组路基回弹模量参考值 (MPa)

区划	土组	稠度	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
			II ₁	黏质土 粉质土	19.0 18.5	22.0 22.5	25.0 27.0	26.5 29.0	28.0 31.5	29.5 33.5	31.0 —	— —	— —
II ₂	黏质土 粉质土	19.5 20.0	22.5 24.5	26.0 29.0	28.0 31.5	29.5 34.0	31.5 36.5	— —	— —	— —	— —	— —	— —
II _{2a}	粉质土	19.0	22.5	26.0	27.5	29.5	31.0	—	—	—	—	—	—
II ₃	土质砂	21.0	23.5	26.0	27.5	29.0	30.0	31.5	31.5	34.5	37.0	45.5	—
	黏质土	23.5	27.5	32.0	34.5	36.5	39.0	41.5	—	—	—	—	—
	粉质土	22.5	27.0	32.0	34.5	37.0	40.0	—	—	—	—	—	—
II ₄	黏质土	23.5	30.0	35.5	39.0	42.0	45.5	50.5	57.0	65.0	—	—	—
	粉质土	24.5	31.5	39.0	43.0	47.0	51.5	56.0	66.0	—	—	—	—
II ₅	土质砂	29.0	32.5	36.0	37.5	39.0	41.0	42.5	46.0	49.5	59.0	69.0	—
	黏质土	26.5	32.0	38.5	41.5	45.0	48.5	52.0	—	—	—	—	—
	粉质土	27.0	34.5	42.5	46.5	51.0	56.0	—	—	—	—	—	—
II _{5a}	粉质土	33.5	37.5	42.5	44.5	46.5	49.0	—	—	—	—	—	—
III ₁	粉质土	27.0	36.5	48.0	54.0	61.0	68.5	76.5	—	—	—	—	—

续表 B.0.5

区划	稠度		土组	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
	土质	粉质		0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
IV ₇	土质砂		35.0	39.0	43.0	45.0	47.0	49.0	51.0	55.0	59.0	70.5	82.0	
	黏质土		24.5	29.5	34.5	37.0	40.0	42.5	44.5	—	—	—	—	—
	粉质土		27.5	33.5	40.0	43.5	47.5	51.0	—	—	—	—	—	—
V ₇	土质砂		27.5	31.5	35.5	37.5	39.5	41.5	43.5	48.0	52.0	65.0	78.5	
	黏质土		27.0	32.0	37.0	39.0	42.5	45.5	48.0	54.0	60.0	—	—	—
	粉质土		28.5	34.0	40.0	43.0	46.0	49.5	52.5	59.5	—	—	—	—
V ₁	紫色黏质土		22.5	26.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0	—	—	—	—	—
	紫色粉质土		22.5	27.5	33.5	36.5	40.0	43.0	—	—	—	—	—	—
	黄壤黏质土		25.0	29.0	33.0	35.5	37.5	40.0	42.0	—	—	—	—	—
V _{2a}	黄壤粉质土		24.5	30.5	37.5	41.0	45.0	49.0	—	—	—	—	—	—
	黏质土		25.0	29.0	33.0	35.5	37.5	39.5	42.0	—	—	—	—	—
V ₃	粉质土		24.5	30.5	37.5	41.0	45.0	48.5	—	—	—	—	—	—
	红壤黏质土		27.0	32.0	38.0	41.0	44.0	47.0	50.5	—	—	—	—	—
V ₄ (四川)	红壤粉质土		22.0	27.0	32.5	35.5	38.5	41.5	—	—	—	—	—	—

续表 B.0.5

区划	稠度		土组	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
	土质	粉质		0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
VI	土质砂		51.0	54.0	57.0	58.5	60.0	61.0	62.0	64.5	67.0	73.5	80.0	
	黏质土		33.5	37.0	41.0	42.5	44.0	45.5	47.2	50.5	—	—	—	—
	粉质土		34.0	38.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0	—	—	—	—	—
VI _{1a}	土质砂		52.5	55.0	58.0	59.0	60.5	61.5	62.5	65.0	67.0	73.0	79.0	
	黏质土		27.0	31.0	34.5	36.0	38.0	40.0	42.0	45.5	—	—	—	—
	粉质土		31.5	36.5	41.5	44.0	46.5	49.0	51.5	—	—	—	—	—
VI ₂	土质砂		42.0	45.5	49.0	50.5	52.0	53.5	55.5	58.5	61.5	69.0	78.0	
	黏质土		27.0	30.5	33.5	35.0	37.0	38.0	40.0	43.0	46.5	—	—	—
	粉质土		25.5	30.5	35.5	38.0	41.0	43.5	46.0	52.0	—	—	—	—
VI ₃	土质砂		46.0	50.0	53.5	55.0	56.5	58.5	60.0	63.0	66.0	75.0	83.0	
	黏质土		29.5	33.5	37.5	39.5	44.0	44.0	46.8	50.0	—	—	—	—
	粉质土		29.5	35.0	41.0	43.5	49.5	49.5	52.5	—	—	—	—	—

续表 B.0.5

区划	稠度		土组												
	土组	稠度	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00		
VI ₄	土质砂	51.0	53.5	56.5	57.5	59.0	60.0	61.0	63.5	65.5	72.0	77.5			
	黏质土	28.5	32.0	36.0	37.5	39.5	41.5	43.5	47.5	—	—	—	—		
	粉黏土	30.5	34.5	39.0	41.0	43.5	45.5	48.0	—	—	—	—	—		
VI _{4a}	土质砂	45.5	49.0	52.5	54.0	56.0	57.5	59.0	62.0	65.0	73.5	81.5			
	黏质土	31.0	34.5	38.0	40.0	42.0	44.0	45.5	49.5	—	—	—	—		
	粉质土	33.0	38.5	44.0	47.0	50.0	52.0	56.0	—	—	—	—	—		
VI _{4b}	土质砂	49.5	52.5	55.5	57.0	58.5	59.5	61.0	63.5	65.5	72.5	78.5			
	黏质土	30.0	33.0	36.5	38.0	39.5	41.0	42.5	45.5	—	—	—	—		
	粉质土	31.0	35.5	40.5	43.0	45.5	48.5	51.0	—	—	—	—	—		
VI ₁	土质砂	52.0	55.0	58.0	59.5	61.0	62.0	63.5	66.0	69.0	76.0	82.5			
	黏质土	26.5	31.5	36.5	39.5	42.0	45.0	48.0	54.0	—	—	—	—		
	粉质土	30.5	37.0	44.0	47.5	51.5	55.0	59.0	—	—	—	—	—		

续表 B.0.5

区划	稠度		土组												
	土组	稠度	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00		
VI ₂	土质砂	48.0	51.0	54.0	55.0	56.5	58.0	59.0	61.5	64.0	71.0	77.0			
	黏质土	25.5	29.5	33.0	35.0	37.0	39.0	41.5	45.5	—	—	—	—		
	粉质土	28.0	33.5	39.0	42.0	45.0	48.5	51.5	—	—	—	—	—		
VI ₃	土质砂	42.5	45.5	49.0	50.5	52.5	53.5	55.0	58.0	60.5	68.5	76.5			
	黏质土	20.5	24.5	28.5	30.5	32.5	35.0	37.0	41.5	—	—	—	—		
	粉质土	23.5	28.0	33.0	36.0	38.5	41.0	44.0	—	—	—	—	—		
VI ₄	土质砂	47.0	50.0	53.0	54.5	56.0	57.0	58.5	61.0	63.5	70.5	77.0			
VI _{5a}	黏质土	22.0	25.5	29.0	30.5	32.5	34.5	36.0	40.0	—	—	—	—		
	粉质土	27.5	32.5	37.5	40.5	43.0	46.0	49.0	—	—	—	—	—		
	土质砂	45.5	49.0	52.0	53.0	54.5	56.0	57.5	60.0	62.5	70.0	76.5			
VI ₅	黏质土	30.0	33.0	37.5	39.5	41.5	43.5	45.0	49.0	—	—	—	—		
	粉质土	32.5	38.0	43.5	46.0	49.0	51.5	54.5	—	—	—	—	—		
	土质砂	45.5	49.0	52.0	53.0	54.5	56.0	57.5	60.0	62.5	70.0	76.5			

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对于要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他标准、规范执行的写法为“按……执行”或“应符合……的规定”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《室外排水设计规范》GB 50014
- 3 《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025
- 4 《膨胀土地区建筑技术规范》GB 50112
- 5 《防洪标准》GB 50201
- 6 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
- 7 《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01
- 8 《公路路基设计规范》JTG D30
- 9 《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63
- 10 《公路土工试验规程》JTG E40
- 11 《海堤工程设计规范》SL 435

术语解释

1. 为便于在GB 50017-2003《钢结构设计规范》中引用，本标准对下列术语进行了定义：
 - 1) 表示一般要求：在正常情况下的设计。
 - 2) 表示严格：在正常情况下的设计。
 - 3) 表示允许有较严重的质量缺陷：在正常情况下的设计。
 - 4) 表示在GB 50017-2003《钢结构设计规范》中未作规定。
2. 条文中指明应按其他标准执行时为“应符合……的规定”。

中华人民共和国行业标准

城市道路路基设计规范

CJJ 194-2013

条文说明

5.2 地表水	101
5.3 地下水	101
6 路基防护与支挡	104
6.2 路基稳定与变形计算	104
6.3 路基防护	106
6.4 支挡加固	111
6.5 路基改善	115
7 特殊路基	118
7.1 一般规定	118
7.2 软土地区路基	118
7.3 红黏土与高液限土地区路基	121
7.4 膨胀土地区路基	122
7.5 盐渍土地区路基	123
7.6 冻土地区路基	123
7.7 季节性冰冻地区路基	123

制 订 说 明

《城市道路路基设计规范》CJJ 194-2013, 经住房和城乡建设部 2013 年 5 月 13 日以第 29 号公告批准、发布。

本规范制订过程中, 编制组进行了城市道路路基设计方法的调查研究, 总结了我国道路工程建设的实践经验, 同时参考了《公路路基设计规范》JTG D30。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定, 编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握标准规定参考。

目 次

1 总则	91
3 基本规定	92
4 一般路基	94
4.1 一般规定	94
4.2 路基干湿类型	94
4.3 填方路基	96
4.6 路基压实	98
4.7 特殊部位的路基填筑与压实	98
5 路基排水	100
5.1 一般规定	100
5.2 地表水	101
5.3 地下水	104
6 路基防护与支挡	104
6.2 路基稳定与变形计算	108
6.3 路基防护	111
6.4 支挡加固	115
6.5 路基监测	118
7 特殊路基	118
7.1 一般规定	118
7.2 软土地区路基	122
7.3 红黏土与高液限土地区路基	122
7.4 膨胀土地区路基	123
7.5 黄土地区路基	123
7.6 盐渍土地区路基	123
7.7 季节性冰冻地区路基	123

3 基本规定

3.0.2 城市道路路基由路基本体与路基附属设施组成。路基本体是指路面结构下路基工作区深度的岩土结构物；路基附属设施是指为确保路基本体的稳定性和抗变形能力而采用的必要的附属工程设施，包括边坡、排水设施、防护、支挡与加固设施。路基是路面的基础，需要足够的强度和模量为路面提供良好的支撑条件；必须确保路基长期稳定，防止产生病害影响路面使用性能。因此，必须避免将路基工程当成一般土石方工程的简单化概念，真正将路基工程视为与路面、桥隧工程同等重要的结构工程。

3.0.3 详细的调查是路基设计的重要基础。调查是为了查明公路沿线及临近地段的地貌特征和地质现象，并配合勘察工作收集其他地质资料，对道路路线和其他重要人工构造物的稳定性和适宜性作出评价。详细调查包括：

1 查明沿线的岩土类别，并确定其分布范围。取代表性土样测定其颗粒组成、天然含水率及液限、塑限；判断岩石的成因、风化程度、破碎程度及节理发育程度和裂隙走向。

2 调查该地区不良地质现象（滑坡、泥石流、地震），查明不良地质体范围、性质和分布特征。

3 查明沿线被掩埋的古湖盆、古河道、古池塘、古冲沟、古坟场、生活垃圾与建筑垃圾填埋场的分布情况及其对路基均匀性的影响。

4 调查沿线地表水来源、有无地表积水和积水时期长短，以及沿河道路的河道水位、河床坡度和河流冲淤情况。

5 调查沿线浅层地下水类型、地下水位及其变化规律，判断地下水对路基的影响程度。

6 调查本地区气温、降水、蒸发量、湿度、冰冻深度、冻

结与融化时间，确定路基强度的不利季节。

7 调查临近地区原有道路路基的实际情况，作为新建道路路基设计的借鉴。

8 调查沿线地下工程和有关管线的位置、埋深。

3.0.4 《土的工程分类标准》GB/T 50145 适用于土的基本分类。《公路土工试验规程》JTG E40 在前者的基础上，针对公路岩土工程制订了专门分类标准，尤其包含了特殊土的鉴别和分类方法。因此，条文中规定按照《公路土工试验规程》JTG E40 的方法执行。

3.0.7 管道检查井部位的病害是困扰城市道路建设的顽疾。其病害主要表现为检查井及周围路面开裂或沉陷、井盖松动或破损、井室结构脆弱，以及井体下沉等。受施工操作面的限制，检查井周边的路基压实质量一般难以得到保证；经车辆荷载反复作用，该部位易发生局部沉陷，影响行车舒适性；同时，车辆高速行驶时，不平整所产生的瞬间冲击也将加速路面破损。因此，路基设计中应按照本规范的要求，对检查井周边的路基提出明确的压实要求，或者采用渗水性好、容易密实的填料。对于设计车速较高的快速路，井盖松动更是行车安全的潜在威胁，故条文中明确禁止在行车道范围内设置检查井。

4 一般路基

4.1 一般规定

4.1.2 城市建设和旧城区改造都会产生大量建筑渣土,如何科学有效地利用建筑渣土已成为城市建设中的一项难题。利用建筑渣土作为城市道路路基填筑填料,不仅可以减少废弃污染,而且可以保护土地资源、降低工程造价。上海市已明确规定建筑渣土经适当筛选或处治后可用于各种等级道路路基。但是各地的建筑渣土在材料组成、压实性能等方面差异明显,应在试验或修筑试验路的基础上,借鉴已有工程经验,论证使用,并不断总结成功经验。同时,建筑渣土和工业废渣的利用,不得对周边环境产生污染。

生活垃圾压缩性大、强度低,且可能污染环境,故不得用于路基填筑。当路基必须经过垃圾填埋场时,可视之为软弱地基,进行换填或采取其他措施进行处理。

4.2 路基干湿类型

4.2.1 路基土湿度状况并非路基压实时的含水率,而是路基使用期间受自然环境影响而趋于平衡时的含水率,应在最不利季节测定计算。最不利季节为一个地区一年中路基湿度最大的时期,此时路基稠度最小,偏于安全。如当地有非不利季节与最不利季节的路基湿度换算关系,则可在非不利季节测定路基稠度,再换算为最不利季节的稠度值。原《城市道路设计规范》CJJ 37-90中,路基干湿类型分界稠度值与土质类型无关。考虑到近十几年来我国城市道路快速发展,客观上对路基变形与稳定性提出了更高的要求,条文规定依据《公路沥青路面设计规范》JTG D50 制订。

4.3 填方路基

4.3.4 原《城市道路设计规范》CJJ 37-90并未对路基填料作

出强度要求,目前也存在 CBR 测试饱水状态与路基实际干湿状态不符的争议。考虑到 CBR 作为路基填料选择的重要依据,对保证路基填筑质量起到重要作用,本规范参考国外以及我国公路行业标准,对路基填料最小强度(CBR)提出了规定要求。CBR 实质上表征的是土或粒料抵抗局部压入变形的能力,因而间接反映了填料在一定应力级位上的抗变形能力和局部抗剪强度。国内外大量研究也表明,CBR 与动态回弹模量具有良好的相关性。在相同试验条件下,CBR 值作为填料选型的判定指标是合理的。CBR<3 的土,一般属于特殊土。

4.3.5 一些填石路堤工程病害调查表明,易溶性岩石、膨胀性岩石、崩解性岩石、盐化岩石等填筑的路基,后期稳定性较差,工程性质也很容易因外界环境改变和时间推移而发生不利变化,所以,本规范规定上述岩石不得应用于路堤填筑。

4.3.6 粉煤灰是火力发电厂煤粉燃烧后回收的一种粉末,在道路工程中的应用广泛。公路行业对粉煤灰作出了烧失量不宜超过 20% 的规定。有工程实践和文献表明,近年来部分电厂的生产流程中增加了环保脱硫工艺,且将脱硫后的灰渣重新拌入粉煤灰中,导致含硫量显著高于未实行环保工艺的普通粉煤灰,遇水后可发生显著膨胀。因此,进行粉煤灰选材时还需考虑含硫量对路基体积稳定和强度的影响。

4.3.7 条文中,填石料的类型系根据公路行业的标准进行分类,如表 1 所示。

表 1 岩石分类表

类型	单轴饱和抗压强度 (MPa)	代表性岩石
硬质岩石	≥ 60	1 花岗岩、闪长岩、玄武岩等岩浆岩类;
中硬岩石	30~60	2 硅质、铁质胶结的砾岩及砂岩、石灰岩、白云岩等沉积岩类;
		3 片麻岩、石英岩、大理岩、板岩、片岩等变质岩类

续表 1

类型	单轴饱和抗压强度 (MPa)	代表性岩石
软质岩石	5~30	1 凝灰岩等喷出岩类; 2 泥砾岩、泥质砂岩、泥质页岩、泥岩等沉积岩类; 3 云母片岩或千枚岩等变质岩类

4.3.8 地基顶面的滞水和淤泥,不利于施工压实与质量控制,并将影响路基的整体稳定和长期性能,需要进行处理。快速路、主干路路基范围内的淤泥应全部处理;次干路、支路等级的道路应根据地质条件、路基填土高度、交通荷载及经济性综合分析是否处理。采用开挖回填处理的淤泥路段,应将淤泥清除干净,回填压实度不应低于本规范表 4.6.2 的要求。

路基填土高度小于路面和路床总厚度时,应将地基表层土进行超挖并分层回填压实。一般而言,超挖回填深度为重型汽车荷载作用的工作区深度。城市道路标高受城市规划限制,路基多采用零填或低填路基,以工作区深度作为超挖回填深度将显著增大工程量,并且在潮湿地区开挖后常面临基底土体含水率更高甚至饱和的情况,增加了处理难度;同时,城市道路的交通荷载水平相对较小,故条文中结合本规范第 4.6.2 条,规定快速路和主干路必须对路床范围内进行超挖回填,而其他道路可仅处理上路床部分。

4.6 路基压实

4.6.2 路基压实度是选好路基填料后控制路基性能的重要指标。在路基工作区范围内,压实度越高,回弹模量越高,行车荷载作用下的永久变形越小;对填方路基而言,压实度越高,路堤自身的压密变形越小。调研表明,目前各城市交通荷载特征较 20 世纪 80 年代有了较大的改变,且行驶车速的增加对道路平整度和

抗变形能力的要求显著提高。因此,条文在原《城市道路设计规范》CJJ 37-90 的基础上,取消了轻型击实方法,并提高了压实标准。

另外,为增强条文的适用性和经济性,考虑了以下三方面因素:(1)路基处于特殊气候地区,以及存在管线保护要求等而使压实受限时,标准实施确有困难。条文规定在不影响路基基本性能的前提下,本着操作可行、经济可靠的原则,适当放宽重型击实的标准。(2)专用非机动车道和人行道的荷载水平相对较低,故压实度标准可按支路的规定执行,但必须避免不同部位压实度差异可能造成的稳定性隐患或者不均匀变形。(3)对于零填方、挖方以及填方高度小于 80cm 路段,在整个路床(0~80cm)范围内按照一个压实度标准来控制压实,操作难度大或者不经济,考虑车辆荷载沿路基深度的分布特征,建议采用“过渡性压实”的方法来控制不同深度的路基压实标准,下路床部分的压实标准比上路床部分略有降低。

4.6.4 条文关于填石路基的压实质量控制标准参考《公路路基设计规范》JTG D30 制订。实际工程中,还常采用沉降差、沉降率、石料最大粒径、分层填筑厚度等指标控制填石路基压实质量。压实沉降差为采用施工碾压时的重型振动压路机(14t 以上)按规定碾压参数(强振,4km/h 以下速度)碾压两遍后各测点的高程差。大量工程实践表明,压实沉降差与碾压遍数以及填石料的压实干密度有较好的相关关系,而且测点能够在压实层表面随机布置,较好反映了压实层整体密实情况。《公路路基设计规范》JTG D30 建议的压实沉降差标准为平均值不大于 5mm,标准差不大于 3mm。但必须注意的是,压实沉降差应与施工参数同时进行控制,才能有效地控制填石路堤的压实质量。沉降率指标是以路基压实层沉降量与层厚的比值来评价填石路基压实效果,但在保证良好压实效果的前提下,沉降率的合理控制范围如何制定,目前尚无定论。

4.7 特殊部位的路基填筑与压实

4.7.2 城市道路路基范围内的管线一般有电力排管、给水管、照明电缆、雨水管、污水管、电信管道、燃气管道等。这些管线分属不同的建设单位。设计单位和施工单位也不同，且管线沟槽回填的压实要求也不尽一致，给道路路基施工及施工质量的保证带来了困难。《通信管道与通道工程设计规范》GB 50373、《通信管道工程施工及验收规范》GB 50374 和《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 等规范对管道沟槽的回填压实要求均低于本规范表 4.6.2 的要求。因此，为保证城市道路的路基性能，对于路基范围内的各种管线，应向各管线设计提出沟槽回填压实度要求，尤其要求确保上路床的压实质量。由于管道受压能力有限，柔性管道管顶以上碾压困难而不能满足压实度要求时，可采用水泥混凝土外包，提高管道受压能力。外包厚度可由计算确定。

4.7.4 路基修复区域与临近区域的横向联系比较薄弱，受行车荷载作用更易出现损坏，故要求路基回弹模量按新建路基标准，以恢复路基的整体性能。受压实条件的限制，修复材料应易于密实。利用工矿企业产生的工业废渣修筑路基，既可解决筑路材料的来源问题，又可解决工矿企业废物排放问题，但不应采用膨胀性强、易对环境造成污染的材料。工业废渣种类很多，各地应根据其化学成分确定相应的处治方法。经过处治的工业废渣用于路基回填修复时，应具有较高的强度、刚度，且整体性和水稳性较好。

回填路基压实标准系综合《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 和《城市道路掘路修复技术标准》SZ-C-D03-2007 的相关规定编写的。《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 规定：管道两侧和管顶以上 50cm 范围内，应采用轻夯压实。因此本规范在规范重型击实标准的同时，亦制定了轻型击实标准。

管线两侧的回填路基，一直是机械压实的难点，易留下较大空隙，路基修复中可沿着接触界面向两侧贯入水泥净浆，形成水泥处治土，提高界面摩阻力。对于大深度开挖采用钢板支撑的情况，在回填钢板桩留下的空隙时，可灌入水泥浆或水泥砂浆，以利黏结周边的回填料，增强开挖界面摩阻力，提高路基强度。

4.7.5 一些工程实践表明，伸入地面机动车道路基的高架承台部位，在运行一段时间后出现凸起，影响车辆行车安全和舒适性，也影响城市道路形象。其主要成因是高架承台桩基深，沉降很小，而承台周边基坑的回填压实困难，工后沉降较大；同时，承台埋深较浅，承台部位的路基强度、刚度远大于承台外路段。加大承台埋深，可减少承台范围内外路基强度和刚度的差异，并通过一定厚度压实良好的填土发挥土拱效应，减少路基顶面差异变形。另外，在保证承台埋深的条件下，桥梁承台顶面也可以采用斜面设计，斜面顺着机动车行车方向，可进一步改善路面凸起的曲率，减缓车辆行驶过程中的冲击效应。

Table with 2 columns and 3 rows, containing technical specifications and standards.

序号	名称
1	《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268
2	《城市道路掘路修复技术标准》SZ-C-D03-2007
3	《通信管道与通道工程设计规范》GB 50373

5 路基排水

5.1 一般规定

5.1.1 水是影响路基性能最为重要的环境因素，路基的失稳和各种变形绝大多数是由地表水和地下水的冲刷、渗入或浸湿引起的。为了保证路基的稳定性，提高路基的抗变形能力，必须采取相应的防排水措施。路基排水的根本目的就是消除或减轻地表水和地下水的危害，使路基湿度状况处于工程容许的范围内。路基排水设计包括路界范围内的绿化带排水、路基坡面防排水、可能进入路界的其他地表水的排除，以及由地表渗入路基地表水和地下水的排除。

5.2 地表水

5.2.5 城市建成区的路基边坡，在填方边坡底部一般会适当设置边沟等排水设施排除坡面地表水，挖方边坡顶部必要时也会设置截水沟拦截边坡外的地表水。考虑到雨水冲刷、入渗对路基边坡稳定的影响程度更高，故条文中对于采用边沟排水方式的暴雨强度重现期，参考了《公路排水设计规范》JTG/T D33，并规定了较高的取值。

5.2.8 分隔带的排水措施可根据表 2 和表 3 进行选取。

表 2 分隔带雨水防排措施

方式类型	设置措施
A	设置纵向排水渗沟或排水沟（明沟、暗沟），并隔 40m~80m 的间距通过横向排水管将沟内的水排出
B	采用现浇混凝土或预制混凝土块等方式封闭分隔带表面，采用向两侧外倾的横坡排水，避免雨水进入路基内部
C	在分隔带内铺设防渗土工布，防止雨水渗入路基
D	在分隔带表面植草或植树等，减少雨水渗入路基内部

表 3 分隔带雨水防排方式的选择

地区类型	道路等级	分隔带宽度 (m)	方式的选择	
			推荐方式	可选方式
多雨地区	快速路、主干路	≥2.0	A	B
	次干路、支路		—	A、B、C
	快速路、主干路	<2.0	B	A、C
	次干路、支路		D	B、C
一般地区	快速路、主干路	≥3.0	A	B
	次干路、支路		—	A、B、C
	快速路、主干路	<3.0	B	A、C
	次干路、支路		D	B、C

5.3 地下水

5.3.1 城市道路的水损害，除来自地表降雨外，地下水的侵害往往不容忽视，尤其是南方多雨地区。在北方，立交区域的下挖道路，常常也要考虑地下水的损害。设计前应进行充分的地质勘探，当土质路床位于毛细水上升高度范围内时，应考虑抬高道路纵断面或设计地下排水设施。

5.3.4 地表排水系统一般按降雨强度、流域面积、排除时间等计算，与地下水排水的流量计算完全是两个体系，所以不能因为地下水流量小而忽略地下排水设施的流量与水力计算。宜将地下水排水出水管与地表排水的出水管进行综合设计，以减少工程造价。

5.3.6 渗沟的流量计算分三种情形：

(1) 当渗沟的基底埋入不透水层，且不透水层顶面横向坡度较小时（图 1），可按下式计算每延米长渗沟由一侧壁流入渗沟的流量：

$$Q_s = \frac{k(H_c^2 - h_R^2)}{2r_s} \quad (1)$$

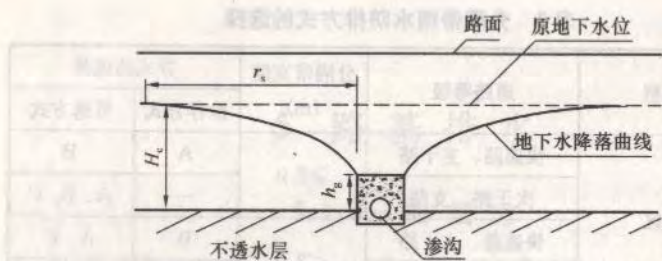


图1 不透水层顶面坡度平缓的渗沟

式中:

$$h_g = \frac{I_0}{2 - I_0} H_c \quad (2)$$

$$r_s = \frac{H_c - h_g}{I_0} \quad (3)$$

$$I_0 = \frac{1}{3000 \sqrt{k}} \quad (4)$$

式中: Q_s ——每延米长渗沟由一侧沟壁渗入的流量 [$\text{m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$];

H_c ——含水层厚度 (m);

h_g ——渗沟内的水流深度 (m);

k ——含水层材料的渗透系数 (m/s);

r_s ——地下水位受渗沟影响而降落的水平距离 (m);

I_0 ——地下水位降落曲线的平均坡度。

(2) 当不透水层较厚时 (图2), 单位长度渗沟的流量可按下式计算:

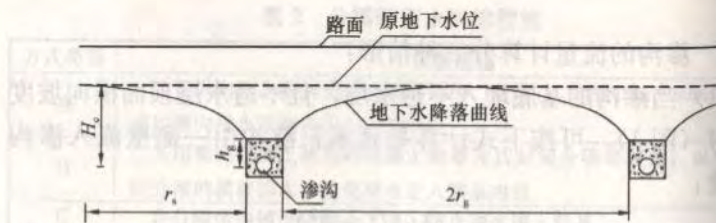


图2 不透水层较厚时的渗沟

$$Q_s = \frac{\pi k H_g}{2 \ln \left(\frac{2r_s}{r_g} \right)} \quad (5)$$

式中: r_g ——两相邻渗沟间距之半 (m);

H_g ——渗沟位置处地下水的下降幅度 (m)。

(3) 当不透水层顶面坡度较陡时 (图3), 可按下式计算每延米长渗沟由一侧沟壁流入渗沟的流量:

$$Q_s = k i_h H_g \quad (6)$$

式中: i_h ——不透水层顶面的横向坡度。

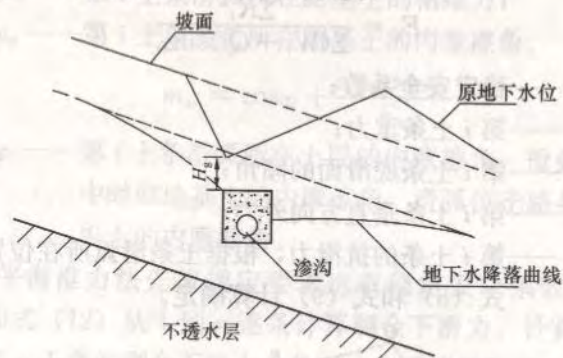


图3 不透水层顶面坡度较陡时的渗沟

5.3.7 U形槽的设置长度宜满足远景年的估计最高水位的要求, 是为了避免丰水年水位高过U形槽底板时, 水越过U形槽端部, 沿道路纵向侵入路面结构。实际上, 远景年最高水位的估计并不准确, 因此, U形槽的设置长度还需综合考虑经济性和可靠性等因素来确定。

6 路基防护与支挡

6.2 路基稳定与变形计算

6.2.1 简化毕肖普法稳定安全系数 F_s 按下式计算确定, 计算图示如图 4:

$$F_s = \frac{\sum K_i}{\sum (W_i + Q_i) \sin \alpha_i} \quad (7)$$

式中: F_s —— 稳定安全系数;

W_i —— 第 i 土条重力;

α_i —— 第 i 土条底滑面的倾角;

Q_i —— 第 i 土条垂直方向外力;

K_i —— 第 i 土条的抗滑力, 根据土条滑弧所在位置分别按式 (8) 和式 (9) 计算确定。

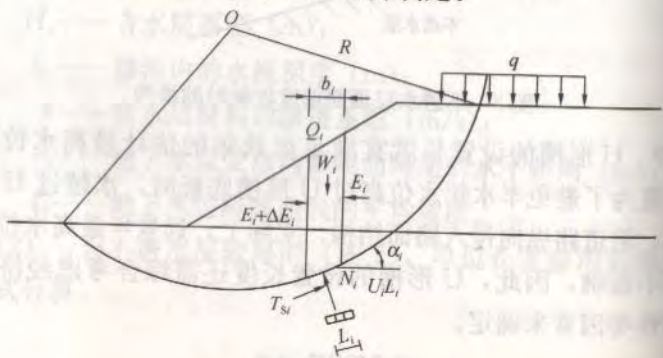


图 4 简化毕肖普法计算图示

当土条 i 滑弧位于地基中时

$$K_i = \frac{c_{di} b_i + W_{di} \tan \varphi_{di} + U(W_{ti} + Q_i) \tan \varphi_{di}}{m_{ai}} \quad (8)$$

式中: W_{di} —— 第 i 土条地基部分的重力;

W_{ti} —— 第 i 土条填方路基部分的重力;

b_i —— 第 i 土条宽度;

U —— 地基平均固结度;

c_{di} 、 φ_{di} —— 第 i 土条滑弧所在地基土层的粘结力和内摩擦角;

m_{ai} —— 系数, 按式 (10) 计算确定。

当土条 i 滑弧位于路基中时

$$K_i = \frac{c_{ti} b_i + (W_{ti} + Q_i) \tan \varphi_{ti}}{m_{ai}} \quad (9)$$

式中: c_{ti} —— 第 i 土条滑弧所在路基土的粘结力;

φ_{ti} —— 第 i 土条滑弧所在路基土的内摩擦角。

$$m_{ai} = \cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \tan \varphi_i}{F_s} \quad (10)$$

式中: φ_i —— 第 i 土条滑弧所在土层的内摩擦角, 滑弧位于地基中时取地基土的内摩擦角, 滑弧位于路基中时取路堤土的内摩擦角。

不平衡推力法先按规定要求选取稳定安全系数 F_s , 按式 (11) 和式 (12) 从 1 到 n 逐条计算剩余下滑力, 计算图示见图 5, 当第 n 土条的剩余下滑力为负时, 表明路基稳定性满足要求, 否则路基稳定性不满足要求。

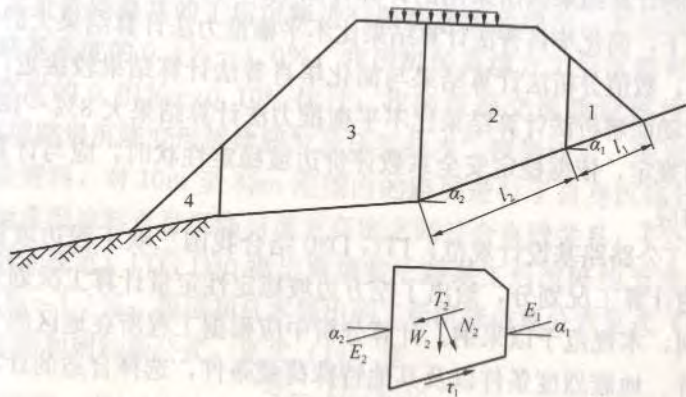


图 5 不平衡推力法计算图示

$$E_i = W_{Qi} \sin \alpha_i - \frac{c_i l_i + W_{Qi} \cos \alpha_i \tan \varphi_i}{F_s} + E_{i-1} \psi_{i-1} \quad (11)$$

$$\psi_{i-1} = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \frac{\tan \varphi_i}{F_s} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \quad (12)$$

式中： E_i ——第 i 土条传递给第 $i+1$ 土条的剩余下滑力；

E_{i-1} ——第 $i-1$ 土条传递给第 i 土条的剩余下滑力；

F_s ——稳定安全系数；

W_{Qi} ——第 i 土条的重力与外加竖向力之和；

α_{i-1} 、 α_i ——第 i 土条底滑面的倾角；

c_i 、 φ_i ——第 i 土条底的粘结力和内摩擦角；

l_i ——第 i 土条底滑面的长度。

6.2.3 以极限平衡理论为基础的各种条分法是路基稳定性分析最为经典的基本方法，不同的分析方法所得到的安全系数有所差异。但相对于分析方法，对分析结果影响更为显著的是抗剪强度。因此，以表 6.2.3 所列的稳定安全系数为标准进行边坡稳定性分析与评价时，应按要求选取相应的验算方法和强度指标确定方法。

6.2.6 与填方路基边坡稳定性分析相同，挖方路基边坡稳定安全系数的计算结果因所采用的计算方法不同而存在一定差异。一般情况下，简化毕肖普法计算结果比不平衡推力法计算结果大 5%~10%；数值分析法计算结果与简化毕肖普法计算结果较接近；平面滑动面解析法计算结果比不平衡推力法计算结果大 8%~16%。因而规定，依据稳定安全系数评价边坡稳定性时，应与计算方法对应。

《公路路基设计规范》JTG D30 结合我国三峡工程边坡稳定性的计算工况划分，给出了挖方边坡稳定性定量计算工况划分的原则，本规范予以采纳。计算分析中应根据工程所在地区的气候条件、地震烈度条件以及其他特殊荷载条件，选择合适的计算工况。边坡岩土体计算参数也应根据计算工况区别对待：按正常工况计算时，应采用天然状态下的参数；按非正常工况 I 计算时，

应采用饱水状态下的参数；按非正常工况 II 计算时，应采用饱水状态下的参数，同时应考虑地震等特殊荷载。

6.2.7、6.2.8 随着现代交通对行车舒适与安全要求的提高，路基的变形控制日益重要；同时，大量工程实践表明，诸多路面结构的损坏均与过量的路基变形或者不均匀变形有关。因此，条文中增加了对路基变形计算的要求，并参照《公路路基设计规范》JTG D30，对工后变形控制标准进行了明确规定。

路基变形主要包括地基沉降变形、路基自身压缩变形和行车荷载引起的累积塑性变形。对于地基沉降、特别是软土路基的地基沉降，国内外已开展了大量的理论研究和工程实证，成果集中体现在原《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》JTJ 017 中，后为《公路路基设计规范》JTG D30 所采纳。

对于高填方路基，在自重荷载作用下填土自身的压缩较为显著，且受路基高度、填料类型、排水条件、压实条件及预压时间等众多因素的影响。目前，关于高路堤自身压缩变形的理论分析尚不成熟，尤其是非饱和粗粒土和巨粒土的变形计算和预估。利用工程类比和统计分析方法建立的经验模型主要包括两类。第一类是以路基高度为变量进行预估分析，如西班牙在对 20 多处铁路路基的工后沉降进行跟踪观测后得出，工后沉降约为路基高度的 0.4%~1.0%；我国机场高填方工后沉降可按填方高度的 0.01%~0.10% 估计；我国西部交通建设科技项目“高填路堤沉降变形规律研究及压实技术”根据砂岩、泥岩填料试验资料，对 10m 至 35m 范围内的路堤进行了自身沉降计算，认为典型填料自身沉降与填方高度之间符合直线关系；《公路路基设计规范》JTG D30 提出高填黄土路基工后沉降约为填高的 0.7%~1.5%；德国和日本提出的工后沉降估算公式见式 (13)，及劳斯和列特斯公式，见式 (14) 等。

$$S = H^2/3000 \quad (13)$$

$$S = 0.001H^{3/2} \quad (14)$$

式中： S ——路基工后沉降量 (m)；

H ——路基高度 (m)。

第二类是以路基高度和变形模量为变量进行预估分析。如我国水利部门提出了根据已建坝原型监测成果来估算新坝坝顶的沉降值, 见式 (15); 谢春庆等对贵州和云南等高填方地基沉降观测资料的分析研究后, 提出了高填方地基工后沉降预估公式, 见式 (16)。

$$S_2 = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{E_1}{E_2}\right) \cdot S_1 \quad (15)$$

式中: S_1 ——待建坝的预计沉降值 (m);

S_2 ——已建坝原型观测的坝顶沉降值 (m);

E_1 ——已建坝的变形模量 (MPa);

E_2 ——待建坝的变形模量 (MPa), 可参考类比工程选用;

H_2 、 H_1 ——分别为待建和已建坝的坝高 (m)。

$$S = H^2 / \sqrt[3]{E^2} \quad (16)$$

比较上述两种方法可以看出, 仅以 H 为自变量的预估方法适用性较为有限, 需要具备相似的路基填料类型、相似的压实程度等条件, 如铁路路基和机场地基的预估系数相差极大, 就在于铁路路基的填料及压实控制远没有机场地基那样严格。而以 H 和 E 为变量的预估方法, 则既考虑了填方自身高度的影响, 又能反映不同压缩体刚度差异对变形的影响。另外, 从变形产生的机理分析, 变形与压缩体的应力和压缩层厚均成正比, 应力主要取决于自重, 它和层厚都是路基高度的函数, 可见高填方路基压缩变形量应接近于 H^2 的函数, 故采用后一种经验预估方法从理论上讲更为合理。但由于现有城市道路高填方路基工后变形观测数据积累的缺乏, 各地需要根据实际情况选用。

6.3 路基防护

6.3.1、6.3.2 坡面防护和沿河路基防护工程类型众多, 设计选型可参考表 4、表 5 进行。

表 4 坡面防护工程常用类型及适用条件

防护类型	结构形式	适用条件	注意事项
	种草或液压喷播植草	土质边坡。坡率缓于 1:1.25	当边坡较高时, 可用土工网、土工网垫与种草结合防护
	铺草皮	土质和强风化、全风化的岩石边坡。坡率不陡于 1:1	草皮可为天然草皮, 亦可为人工培植的土工网草皮
	种植灌木	土质、软质岩和全风化的硬质岩石边坡。坡率不陡于 1:1.5	树种应为根系发达、枝叶茂盛、适合当地迅速生长之低矮灌木
植物防护	喷混植生	漂石土、块石土、卵石土、碎石土、粗粒土和强风化、弱风化的岩石挖方边坡。坡率不陡于 1:0.75	种植基材应通过配合比试验或小范围工程试验确定, 边坡高度不宜大于 10m
	客土植生	漂石土、块石土、卵石土、碎石土、粗粒土和强风化的软质岩及强风化、全风化的硬质岩石挖方边坡, 或由其弃渣填筑的填方边坡, 坡率不陡于 1:1	边坡高度不宜大于 8m
喷护	喷混凝土, 厚度 $\geq 8\text{cm}$, 材料为砂、水泥、砾石	易风化但未遭强风化、全风化的岩石挖方边坡。坡率不陡于 1:0.5	选好材料配合比和水灰比, 一般应通过试喷

续表 4

防护类型	结构形式	适用条件	注意事项
挂网喷护	锚杆铁丝网 (或土工格栅) 喷混凝土或喷 浆。锚固深度为 (1.0~2.0) m, 网距为 (20~ 25) cm, 其他 同喷护	喷混凝土或喷浆防护 的岩石边坡。当坡面岩 体破碎时, 为加强防护 的稳定性而采用	锚孔深度应比锚固深度 深 20cm, 其他同喷护
干砌片 石护坡	一般厚度为 30cm, 其下设 ≥10cm 厚砂砾 石垫层	土质填方边坡; 有少 量地下水渗出的局部挖 方边坡; 局部土质挖方 边坡嵌补。坡率不陡于 1: 1.25	基础应选用较大的石块, 应自下而上地进行栽砌, 接缝要错开, 缝隙要填满 塞紧
浆砌片 石护坡	厚度为 (30~ 40) cm, 水泥 砂浆砌筑	易风化的岩石边坡和 土质边坡。坡率不陡于 1: 1	
浆砌片石 或混凝土 骨架护坡	骨架宜用带排 水槽的拱形骨 架, 也可采用人 字形、方格形。 骨架内铺草皮、 液压喷播植草或 干砌片石等	土质和全风化的岩石 边坡, 当坡面受雨水冲 刷严重或潮湿时。坡率 不陡于 1: 1	护坡四周需用浆砌片石 或混凝土镶边, 混凝土骨 架视情况在节点处加锚杆, 多雨地区采用带排水槽的 拱形骨架, 骨架埋深不小 于 0.4m
浆砌片 石护墙	等截面厚度为 50cm; 变截面 顶宽为 40cm, 底宽视墙高而定	土质和易风化剥落的 岩石边坡。坡率不陡于 1: 0.5	等截面护墙高不宜超过 6m, 当坡度较缓时, 不宜 超过 10m。变截面护墙, 单级不宜超过 12m, 超过 时宜设平台、分级砌筑

表 5 冲刷防护工程常用类型及适用条件

防护类型	结构形式	适用条件	
		容许流速 (m/s)	水流方向、河道地貌等
植物防护	铺草皮	1.2~1.8	水流方向与线路近乎平行; 不 受各种洪水主流冲刷的浅滩地段 路堤边坡防护
	种植防护林、挂柳		有浅滩地段的河岸冲刷防护
干砌片 石护坡	单层厚 (0.25~ 0.35) m; 双层厚: 上层 (0.25~0.35) m, 下层 0.25m	2~3	水流方向较平顺的河岸滩地边 缘; 不受主流冲刷的路堤边坡; 无漂浮物和滚石的河段
浆砌片 石护坡	厚 (0.3~0.6) m	4~8	主流冲刷及波浪作用强烈处的 路堤边坡
混凝土 护坡	厚 (0.08~0.2) m		
抛石	石块尺寸根据流 速、波浪大小计算, 不宜小于 0.3m	3	水流方向较平顺, 无严重局部 冲刷的河段; 已浸水的路堤边坡 与河岸
石笼	镀锌钢丝制成箱 形或圆形, 笼内装 石块	4~5	受洪水冲刷但无滚石河段和大 石料缺少地区
大型砌块	2m×2m×2m 3m×3m×2m	5~8	受主流冲刷严重的河段
浸水挡 土墙		5~8	峡谷急流和水流冲刷严重的 河段

6.4 支挡加固

6.4.4 综合考虑地质条件、边坡重要性及安全等级、施工可行

性和经济性, 选择合理的支挡设计方案是关键。表 6 为边坡支挡结构的常用类型及其适用条件。

表 6 边坡支挡结构常用类型及适用条件

支挡结构类型	适用条件
重力式挡墙	适用于一般地区、浸水地区和地震地区的路肩、路堤和路堑等支挡工程。墙高不宜超过 12m, 干砌挡土墙的高度不宜超过 6m。场地允许, 坡顶无重要建(构)筑物。土方开挖后边坡稳定较差时不应采用
半重力式挡墙	适用于不宜采用重力式挡土墙的地下水位较高或较软弱的地基上。墙高不宜超过 8m
悬臂、扶壁式挡墙	适用于石料缺乏、地基承载力较低的填方路段采用。挡墙高度对悬臂式挡墙不宜超过 6m, 对扶壁式挡墙不宜超过 12m。土层较差或对挡墙变形要求较高时也不宜采用。不良地质地段或地震动峰值加速度不小于 0.2g 的地区边坡不应采用
板肋式或格构式锚杆挡墙	适用于边坡高度较大的岩质边坡。可采用单级或多级支挡, 每级高度不宜大于 8m, 多级的上、下级支挡结构之间应设置宽度不小于 2m 的平台。坡高较大或稳定性较差时宜采用逆作法施工。对挡墙变形有较高要求的土质边坡, 宜采用预应力锚杆
桩板式挡墙	适用于坡顶建(构)筑物需要保护且场地狭窄、表土及强风化层较薄的岩质地基、施工开挖可能失稳的岩土边坡以及工程滑坡。桩的悬臂长度不宜超过 15m。当桩悬臂长、边坡推力较大且有锚固条件时或对挡墙变形有较高要求的土质边坡, 桩可与锚杆(索)联合使用
锚定板挡墙	适用于石料缺乏、地基承载力较低的路肩墙或路堤式挡土墙, 不应用于滑坡、坍塌、软土及膨胀土地区。可采用肋柱式或板壁式, 墙高不宜超过 10m。肋柱式锚定板挡土墙可采用单级墙或双级墙, 每级墙高不宜大于 6m, 上、下级挡墙之间应设置宽度不小于 2m 的平台。上、下两级墙的肋柱宜交错布置

续表 6

支挡结构类型	适用条件
加筋土挡墙	适用于一般地区的路肩式挡土墙、路堤式挡土墙, 不应修建在滑坡、水流冲刷、崩塌等不良地质地段(受水浸泡及冲刷以及边坡变形控制严格时不应采用)。快速路和主干路挡墙高度不宜大于 12m, 次干路及支路不宜大于 20m。当采用多级墙时, 每级墙高不宜大于 10m, 上、下级墙体之间应设置宽度不小于 2m 的平台。可与其他支挡结构联合使用
岩石锚喷支护	适用于整体稳定性的岩质边坡。边坡高度, 对 I、II 类岩质边坡不宜大于 30m, 对 III 类岩质边坡宜小于 15m。膨胀性岩石的边坡和具有严重腐蚀性的边坡不应采用锚喷支护
土钉支护	适用于高度不大于 18m 的硬塑或坚硬的黏性土、胶结或弱胶结的粉土、砂土、砾石、软岩和风化岩层等挖方边坡的临时支护和永久支护。标贯击数 $N < 9$ 、相对密度 $D_r < 0.3$ 的松散砂土, 液性指数大于 0.5 的软塑、流塑黏性土, 以及含有大量有机物或工业废料的低强度回填土、新填土、强腐蚀性土, 不宜设置永久土钉支护

6.4.5、6.4.6 支挡结构超过某一特定状态, 致使不能正常使用或在正常维护下不能达到正常使用要求, 该特定状态称为功能的极限状态。极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。

承载能力极限状态是指对应于结构、结构构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位的状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时, 应认为超过了承载能力极限状态: 1) 结构或结构的一部分作为刚体失去平衡; 2) 结构、结构构件或其连接因超过材料强度而破坏, 或因过度的塑性变形而不能继续承载; 3) 结构转变为机动体系; 4) 结构或结构构件丧失稳定。

正常使用极限状态是指对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时, 应认为超过了正常使用极限状态: 1) 影响正常使用或外

观的变形；2) 影响正常使用或耐久性的局部损坏；3) 影响正常使用的振动；4) 影响正常使用的其他特定状态。

本规范参考公路行业标准，根据支挡结构的荷载效应组合特点，列出了按承载能力极限状态设计时的设计表达式，未列入结构正常使用极限状态的设计表达式，而后者主要用于钢筋混凝土的构件计算。

6.4.7 路基支挡结构地基稳定性计算与设计的条文中，考虑地基设计可靠性分析的技术储备尚不成熟。事实上仍以容许承载力法为基础，仅采用极限状态设计表达式的形式与术语，即规定除被动土压力分项系数 γ_{QE} 取 0.3 外，其余作用的分项系数规定均等于 1，据此验算偏心距、基底压力，以及抗滑动和抗倾覆稳定系数。

抗滑动稳定系数 K_c 可按下式计算：

$$K_c = \frac{[N + (E_x - E'_p) \tan \alpha_0] \mu_f + E'_p}{E_x - N \tan \alpha_0} \quad (17)$$

式中：N——作用于基底上合力的竖向分力 (kN)，浸水挡土墙应计浸水部分的浮力；

E'_p ——墙前被动土压力水平分量的 0.3 倍 (kN)；

E_x ——墙后主动土压力的水平分量 (kN)；

α_0 ——基底倾斜角 ($^\circ$)，基底为水平时， $\alpha_0 = 0$ ；

μ_f ——基底与地基间的摩擦系数，当缺乏可靠试验资料时，可按表 7 采用。

表 7 基底与地基间的摩擦系数 μ_f

地基土的分类	摩擦系数 μ_f
软塑黏土	0.25
硬塑黏土	0.30
砂类土、黏砂土、半干硬的黏土	0.30~0.40
砂类土	0.40
碎石类土	0.50
软质岩石	0.40~0.60
硬质岩石	0.60~0.70

挡墙的抗倾覆稳定系数 K_0 可按下式计算：

$$K_0 = \frac{GZ_G + E_y Z_x + E'_p Z_p}{E_x Z_y} \quad (18)$$

式中： Z_G ——为墙身重力、基础重力、基础上填土的重力及作用于墙顶的其他荷载的竖向力合力重心到墙趾的距离 (m)；

Z_x ——为墙后主动土压力的竖向分量到墙趾的距离 (m)；

Z_y ——为墙后主动土压力的水平分量到墙趾的距离 (m)；

Z_p ——为墙前被动土压力的水平分量到墙趾的距离 (m)。

6.5 路基监测

6.5.1 高填方路基稳定和沉降观测可参考表 8 进行设计。

表 8 高填方路基稳定和沉降观测

观测项目	仪器名称	观测目的
地表水平位移量及隆起量	地表水平位移桩 (边桩)	用于稳定监控，确保路基施工安全和稳定
地下土体分层水平位移量	地下水平位移计 (测斜管)	用于稳定监控与研究，掌握分层位移量，推定土体剪切破坏位置。必要时采用
路基顶沉降量	地表沉降计 (沉降板或桩)	用于工后沉降监控，预测工后沉降趋势，确定路面施工时间

6.5.2 挖方路基边坡或滑坡监测可参考表 9 进行设计，预应力锚固工程原位监测内容和项目见表 10。

表 9 挖方路基边坡或滑坡监测

监测内容		监测方法	监测目的
地表监测	水平位移监测	全站仪、光电测距仪	观测地表位移、变形发展情况
	垂直变形监测	水准仪	
	裂缝监测	标桩、直尺或裂缝计	观测裂缝发展情况

续表 9

监测内容	监测方法	监测目的
地下位移监测	测斜仪	探测相对于稳定地层的地下岩体位移,证实和确定正在发生位移的构造特征,确定潜在滑动面深度,判断主滑方向,定量分析评价边(滑)坡的稳定状况,评判边(滑)坡加固工程效果
地下水位监测	人工测量	观测地下水位变化与降雨关系,评判边坡排水措施的有效性
支挡结构变形、应力	测斜仪、分层沉降仪,压力盒、钢筋应力计	支挡构造物岩土体的变形观测,支挡构造物与岩土体间接触压力观测

表 10 预应力锚固工程原位监测内容和项目

预应力锚杆工作阶段	监测对象	监测内容	监测项目
施工阶段	锚杆体材料	锚杆的工作状态 锚杆的施工质量	锚杆张拉力; 锚杆伸长值; 预应力损失
	锚固对象	加固效果	被锚固体的位移和变形
工程运营阶段	锚杆体	锚杆的工作状态	预应力值变化
	锚固对象	锚固工程 安全状况	被锚固体的位移与 地下水状态

6.5.3 近年来,我国城市轨道交通已进入快速发展时期,北京、上海、南京等城市的地铁线路已投入运营,杭州、成都等地正在加紧地铁建设的施工,全国还有多个城市申请建设地铁工程。另外,现有道路下面的管道顶进法施工在各城市也十分普遍。地铁的浅埋暗挖法、盾构法和管道顶进法施工过程中,上方道路的变形控制成为工程中的关键环节之一。由于监控一般由地铁施工单

位实施,所以地铁设计过程中,应对下穿现有道路的地段提出变形预测与评估报告,对暗挖工程影响范围内路基土的稳定、沉降情况做出评价。本条文实际上是道路专业对暗挖工程提出的要求。

7 特殊路基

7.1 一般规定

7.1.1 特殊路基包括特殊土(岩)路基、不良地质地段的路基,以及其他特殊条件下的路基。

7.2 软土地区路基

7.2.4 通常情况下,行车荷载对路基变形的影响可不予考虑。但对于软弱地基上的低路基,国内一些城市快速路的工程实践表明,由于车辆载重的增加和路基高度的降低,部分软弱地基已处于路基工作区范围以内,行车荷载反复作用下可产生显著的动力变形,并导致严重车辙、局部沉陷和路面开裂。

目前,路基永久变形的主流估算方法是根据永久应变与荷载作用次数的关系,采用分层总和法进行计算。永久应变与荷载作用次数的关系以经验公式为主,具有代表性的经验公式如下:

$$\epsilon_p = AN^b \quad (19)$$

式中: ϵ_p ——永久应变(%);

N ——荷载作用次数;

A 、 b ——回归得到的材料参数,综合反映了土的应力状态、物理状态和土的类型等因素的影响。

$$\epsilon_p = a \left(\frac{q_d}{q_t} \right)^m N^b \quad (20)$$

式中: q_d ——行车荷载引起的动偏应力;

q_t ——静力破坏偏应力;

a 、 b 、 m ——材料参数。

$$\epsilon_p = a \left(\frac{q_d}{q_t} \right)^m \left(1 + \frac{q_s}{q_t} \right)^n N^b \quad (21)$$

式中: q_s ——初始静偏应力;

a 、 b 、 m 、 n ——材料参数。

由以上经验公式可以看出,荷载应力水平对永久变形的累积具有显著影响。一般而言,城市道路交通中货车占的比例小,而小汽车荷载作用下产生的地基永久变形问题并不严重,因此条文中规定仅当重载车型较多时,需重视行车荷载产生的路基变形问题。另外,不管采用何种经验公式,为准确预估行车荷载作用下的永久变形,都需要进行室内重复动三轴试验以获取公式中的材料参数。

值得注意的是,行车荷载作用于湿软路基,往往由于交通荷载在横断面上分布的不均匀性,且路床部分的路基含水率偏高,极易形成显著的不均匀变形,进而引发严重的车辙、局部沉陷和路面开裂。因此,对于重载交通的城市快速路,应加强路基排水、地基处理和路基处治的设计。规范条文也作了明确规定,即路基填土高度小于路面和路床总厚度时,应将地基表层土进行超挖并分层回填压实,压实度不得小于零填及挖方路基的规定值。

7.2.5 EPS不仅可以用于填筑轻质路基,而且可用于置换浅层软土地基,以减小地基中的附加应力。但条文对EPS轻质路基最顶层EPS材料的最小密度作了规定;因为最上一层EPS所受荷载较大,且与混凝土板存在介质突变,若施工不当,易产生应力集中,如果EPS密度不高,易产生压密变形甚至碎裂。另外,EPS的弹性模量与密度存在良好的相关性,John S. Horvath、Megnan、Eriksson、凌建明等人提出的EPS弹性模量与密度的相关关系分别如式(22)~式(25)所示。因此,为保证路基具有足够的顶面当量回弹模量,在路基顶面宜填筑高密度的EPS,而底部EPS密度可适当降低。

$$E = 0.45\rho - 3.0 \quad (22)$$

$$E = 0.479\rho - 2.875 \quad (23)$$

$$E = 0.0097\rho^2 - 0.014\rho + 1.8 \quad (24)$$

$$E = 0.36\rho - 1.1 \quad (25)$$

式中： E ——EPS 弹性模量 (MPa)；

ρ ——EPS 密度 (kg/m^3)。

EPS 轻质材料具有较好的耐压性，压缩强度随密度而变化，通常情况下，材料弹性范围内的压缩强度可达 $60\text{kN}/\text{m}^2 \sim 140\text{kN}/\text{m}^2$ 。日本工业标准 JISK7220 规定：以应变 $\epsilon=5\%$ 时的压应力作为 EPS 的抗压强度；当 $\epsilon=2\% \sim 4\%$ 时，材料已经进入塑性变形状态； $\epsilon \leq 1\%$ 时，材料处于弹性状态，并以 $\epsilon=1\%$ 时的压应力作为允许压应力。EPS 处于弹性状态时，即使在荷载反复作用下，也不会出现蠕变变形。所以 EPS 路堤堤身的压缩变形基本可以忽略。

由于 EPS 填料属超轻质材料，当 EPS 板材处于地下水位以下时，必须进行抗浮稳定性验算。抗浮稳定性系数 F_s 宜大于 1.1 \sim 1.5，若不能满足，应变更 EPS 铺设厚度，增加填土的重量，或采取降排水措施。

7.2.7 考虑到强夯施工会产生强烈的震动和噪声，从而对周边建筑物和沿线居民生活造成严重影响，因此未在条文中推荐采用强夯法。

7.2.8 排水固结法易引起道路周边的地基沉降，因而措施选择和方案设计时需充分评估道路地基排水固结对附近区域（20m 左右）的影响。当附近区域内存在对沉降要求较为严格的重要建筑或管线时，不宜采用。

7.2.10 在《公路路基设计规范》JTG D30 及《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 中，均采用 90d 龄期的强度作为加固土标准强度。从当前的施工情况看，在加固土桩完成后 90d，设计荷载一般也不会完全施加，所以采用 90d 龄期强度进行稳定计算仍是偏安全的。为了与其他相关标准统一，条文也规定采用 90d 龄期强度作为标准强度。但实际上，选用 90d 龄期强度作为标准强度，给室内试验和现场检测带来一定的困难。目前普遍的解决方法是根据短龄期（7d 或 28d）的试验、检测数据，按强度增长经验公式推测 90d 的强度值。一些水泥加固土的强度-龄期经验关

系式如表 11 所示。

表 11 不同地区水泥加固土强度与龄期的关系式

代表地区和资料来源	关系式	备注
天津、福建、连云港、南通地区第一公路设计院	$q_{u28} = 2.37q_{u7} - 0.19$ $(r=0.87, n=12)$ $q_{u90} = 1.14q_{u28} + 0.85$ $(r=0.79, n=15)$	q_{u7} 、 q_{u28} 、 q_{u90} 分别表示 7d、28d 和 90d 无侧限抗压强度。 r 、 S 、 n 分别表示相关系数、标准差和统计组数
《粉体喷搅法加固软弱土层技术规范》TB 10113-96	$q_{u28} = 1.49q_{u7}$ ； $q_{u90} = 1.97q_{u7}$ ； $q_{u90} = 1.33q_{u28}$	
天津地区 天津港湾工程研究所 “水泥鉴别土工程特性研究”（研究报告）	淤泥： $q_{u7} = 0.364q_{u90}$ $q_{u28} = 0.652q_{u90}$ 淤泥质黏土： $q_{u7} = 0.262q_{u90}$ $q_{u28} = 0.485q_{u90}$	
上海地区 《地基处理》叶书麟	$q_{u7} = 0.56q_{u28}$ $(r=0.98, S=0.059, n=15)$ $q_{u90} = 1.63q_{u28}$ $(r=0.98, S=0.143, n=9)$	

7.2.11 相对于其他地基处理措施，刚性桩法造价较高，但具有施工速度快、总沉降量和工后沉降小的优势，适用于施工周期有限、对沉降控制要求高的情形。刚性桩法在路基工程地基处理中的应用普遍基于“复合地基”原理，因而强调桩与桩间土共同受力、协调变形。考虑到刚性桩的刚度较大，为增大桩体承担荷载的比例、充分利用桩体的承载潜能，应在桩顶设置桩托和（加筋）垫层。另外，如果刚性桩进入持力层较多，桩体沉降很小，会使桩顶部和桩间土产生较大的差异沉降，因此刚性桩的设置深度宜通过沉降计算确定。桩和桩间土的差异沉降一方面可以通过桩托和垫层缓解，另一方面为避免路面“蘑菇状”突起，还要求在桩顶以上填筑有足够厚度的填土。

7.2.13 高填方路基或桥头引道应进行沉降与稳定监测设计,以保证路基填筑施工的安全。特别是当填土高度超过软土地基的极限填土高度时,必须控制填土速率,保证地基固结时间,以提高地基土的抗剪强度和路基的稳定性。填筑速率常常以边桩位移速率和地面沉降速率进行控制,边桩位移量每昼夜不得大于5mm,路基中心沉降量每昼夜不得大于10mm~15mm,并结合位移和沉降发展趋势进行综合分析。在现场施工过程中,对于一般路堤,在极限填土高度以内,填筑速率一般应小于1.5m/月;大于极限填土高度时,若采用排水固结法处理地基,则应控制原地面沉降速率小于10mm/昼夜;若采用水泥搅拌桩等复合地基进行处理,则应控制地面沉降速率小于15mm/昼夜;若采用刚性桩进行处理,应控制原地面沉降速率小于5mm/昼夜。

7.3 红黏土与高液限土地区路基

7.3.1~7.3.3 红黏土和高液限土具有渗透性差、吸水膨胀、失水收缩、施工压实难度大等特性。这类地区的许多新建道路在施工过程中就出现各种工程问题,有的路段一边施工开挖,一边溜塌、坍塌。

坍塌是由于边坡浅层高液限土体,在湿胀干缩效应与风化作用影响下形成裂隙切割,兼之水的入渗,导致土体强度衰减,丧失稳定。因此条文中规定了较缓的边坡坡率,对于挖方路基,宜采用更缓的边坡坡率。

另外,边坡浅表强风化层内的土体,吸水过饱和,在重力与渗透压力作用下,将沿坡面向下产生溜塌。溜塌常发生在雨季,可以在边坡浅表的任何部位发生,与边坡坡率无关,需要进行路基排水和边坡防护的综合设计,及时引排地表水和地下水。

7.4 膨胀土地区路基

7.4.2、7.4.3 膨胀土地区路堑边坡的破坏形式多样,但根据破坏的深度,可划分为浅层破坏和深层破坏两大类。浅层破坏是指

发生在大气影响层内的变形,超过这一厚度的边坡变形和破坏即为深层破坏。在进行边坡稳定分析和防护加固设计时,应该针对这两种破坏类型区分对待。

浅层边坡的膨胀土特性主要是受气候变化、风化程度、裂隙发育程度等因素影响,其抗剪强度明显低于深层土体。在边坡整体设计中,如果不需要边坡加固,则需按浅层土质特征进行边坡防护设计;如果边坡需要加固,则浅层工程地质问题已基本得到解决,主要按深部地层强度设计边坡坡度。因此,膨胀土边坡设计应做好防水、排水、保湿、防风化等,并结合浅层和深层土体特征,采取防护、支挡及减少开挖面等措施。

7.5 黄土地区路基

7.5.2 黄土地区路基排水与防护工程的设计要以防冲刷、防渗、有利于水土保持和环境保护为原则,“早接远送”是措施,而处理好进出水口则是关键。否则会引起土体滑坍、坡面冲沟、地基湿陷等病害。

7.6 盐渍土地区路基

7.6.4 一些滨海地区的道路建设常遇到氯盐或亚氯盐弱盐渍土,这类盐渍土的盐胀和溶蚀问题均较轻,因此,在缺乏其他优质填料的情况下,通过相关实验论证,可以直接或经石灰等处治后用于路基甚至路床部位的填筑。

7.7 季节性冰冻地区路基

7.7.1 温度在0℃以下,且含有冰的土(岩石)称为冻土。天然条件下,地面以下这种冻结不融的状态保持三年或三年以上者,称为多年冻土;而每年冬季冻结,春季融化且冻结状态持续1个月以上的冻土称为季节性冻土。我国的季节性冻土地区分布广阔,遍布长江以北的十余个省份,约占国土面积的53.5%。季节性冻土地区道路路基的冻胀、翻浆融沉等病害严重影响道路

的使用性能和使用寿命,给交通安全带来隐患,所以应充分重视。

7.7.2 季节性冻土地区路基不同土层土的冻胀率由试验测定,无冻胀实测数据时,按下式确定:

$$\eta = \left(\frac{R_m}{R} \times W - W_0 \right) \lambda + 2 \quad (26)$$

式中: η ——土的平均冻胀率(%) ;

W ——调查时土的含水率(%) ;

R_m ——近10年最大年降水量(mm) ;

R ——调查年份降水量(mm) ;

W_0 ——起始冻胀含水率(%),可取(0.80~0.84) W_p (土的塑限含水率)或按表12选用;

λ ——系数,细粒土取0.25,粗粒土取0.28。

表12 不同土质的起始冻胀含水率(%)

土的名称	黏质土	粉质土	粉土质砂	细粒土质砾、 黏土质砂	含细粒土 质砾(砂)
土的起始冻胀 含水率 W_0 (%)	12~17	10~14	9~11	8~10	6~8

根据土的平均冻胀率,可按表13,将土分为五类:

表13 土的冻胀性分类

冻胀类型	不冻胀土	弱冻胀土	冻胀土	强冻胀土	特强冻胀土
土的平均冻胀 率 η	$\eta < 1$	$1 < \eta \leq 3.5$	$3.5 < \eta \leq 6$	$6 < \eta \leq 12$	$\eta > 12$

7.7.6 挖方路段,低洼路段常常排水不畅,季节性冻土地区的路基春融期间含水率增大,强度和模量显著下降,边坡也易产生局部滑塌,故须足够重视,并应采取换填、加强排水、保护坡面等措施。

7.8 岩溶地区路基

7.8.1 岩溶是水对可溶性岩石进行以溶蚀作用为主的综合地质作用及由此形成的各种地质现象的总称。岩溶地区路基勘察方法应根据岩溶发育程度、地形条件、勘察阶段要求的内容和深度、所勘察的道路等级、工程规模及其工作难易程度的不同进行选择 and 布置。岩溶勘察应重点关注以下几点:

1 重视工程地质分析。要查明岩溶形态,不能只依赖于勘探手段,必须注重对岩溶发育规律的工程地质分析,在工作程序上应以工程地质调查和测绘为先导。

2 岩溶发育规律研究和勘探工作布置,应遵循从面到点、先地表后地下、先定性后定量、先控制后一般、先疏后密的工作准则。

3 应有针对性地选择勘探手段。如勘察场地的岩溶发育规律、基岩埋深等可采用综合物探;勘察浅层岩溶可采用槽探;勘察土洞可用钎探;勘察深埋土洞可采用静力触探;勘察岩溶洞穴可用钻探等。

4 提倡综合物探,用多种方法相互印证,不宜以未经验证的物探成果作为路基设计以及地基处理的依据。

7.8.2、7.8.3 岩溶评价与处治对道路路基工程和安全运营至关重要,特别是隐状岩溶。有的岩溶经查明,其危害性很小或其影响范围有限不会危及路基安全,则可以不作处理;在岩溶发育程度和溶蚀强度很高的地区,岩溶的影响和危害情况往往不易查清,因而可以遵循避重就轻,防害兴利的原则,在选线时根据岩溶发育的规律和岩溶带的分布情况,通过路线的合理布局进行绕避,以减少岩溶的影响;当很难完全绕避时,可经技术经济比较后,采用适宜的处治措施。

对路基有显著影响的岩溶不均匀性只表现在一定尺寸范围内。不同尺度的岩溶形态带来的病害性质和危害程度不一,因此病害防治措施手段也不尽相同。表14是根据实际工程经验得到

的不同尺度岩溶的危害性和处治对策。

表 14 不同尺度岩溶的危害性和处治对策

岩溶尺度 规模等级	平面尺寸 R	深径比 h/R 范围			
		0~1	大于 1	—	—
小	$0 \leq R < 1\text{m}$	0~1	大于 1	—	—
中等	$1\text{m} \leq R < 6\text{m}$	0~0.1	0.1~1	大于 1	—
大	$6\text{m} \leq R < 20\text{m}$	0~0.05	0.05~0.25	大于 0.25	—
巨大	$20\text{m} \leq R < 50\text{m}$	0~0.03	0.03~0.1	0.1~1	大于 1
危害性大小		无	一般	大	非常严重
对应不同尺度的处治对策		不处理	一般处理	重点处理	无法处理

注： R 为岩溶形态平面影响范围，取病害易于处理的方向上的长度，如溶洞的直径、溶槽的宽度；深径比 h/R 为岩溶形态起伏尺寸与其平面尺寸的比值，如溶沟（或揭穿后溶洞）的深度与其宽度比值，石牙高与基底宽度比，反映了岩溶不均匀性的程度，深径比越大，不均匀性也就越强，危害性也越高，但不同规模的岩溶形态划分危害性的深径比范围也不同。

8 路基改建与扩建

8.1 一般规定

8.1.1 城市道路路基改建或扩建设计前的野外调查、勘探和必要的测试是道路勘测的重要组成部分，应重点收集既有道路的地基、路基填料及处治措施，以便在改扩建设计中采取适宜的工程处治方案，保证道路路基改建或扩建后的整体使用性能。

8.1.2 既有道路地基在路堤荷载和车辆荷载作用下，地基沉降已基本稳定。路堤拓宽后，新老路基之间存在特性差异。为避免新老路基差异沉降引起路基纵向开裂，应对新拼接道路的地基进行处治，减小地基沉降，同时应注意路堤本身的压实，以减小路堤自身压密变形。

8.2 既有路基性状调查与评价

8.2.4 如何评价老路路基是既有设施利用与处治的前提。原则上要求既有路基满足改扩建后相应等级路基的技术标准。已建公路路基土的含水率调查结果表明，经过干湿循环、冻融循环后，路基土的含水率比竣工时含水率普遍偏高，回弹模量和压实度明显降低。若沿用新建路基的回弹模量标准，往往需要进行大规模翻挖和处治。因此，可根据工程实际特点，与路面利用和加铺设计相结合，并根据路基病害的产生原因和对拓宽结构的影响程度，采取针对性的处治措施。

8.4 路基拓宽

8.4.1 拓宽改建道路的路基横断面形式应根据道路等级，本着“技术可行、经济合理”的原则，结合道路沿线的地形、地貌、水文、地质、填筑情况来确定是单侧拓宽还是双侧拓宽。拓宽的

路基和改线新建道路路基的设计标准均按新建道路的标准执行。

8.4.3 老路边坡开挖台阶的基本形式包括标准式台阶、内倾式台阶、竖倾式台阶和内挖式台阶,如图6、表15所示。《公路路基设计规范》JTG D30第6.3.4条规定台阶宽度不应小于1.0m。从已有的一些公路拓宽工程来看,台阶开挖的高度、宽度、倾角等几何形状存在很大差异,见表16。关于台阶面上的内倾角,国内高速公路扩建工程中大多采用2%~4%的内倾角,出发点是利用内倾角的嵌锁作用增强新老路基的衔接,但是沪宁高速公路江苏段建议不设置内倾角,理由是内倾角的存在影响台阶面的压实效果,且不利于排水,故采用竖倾式台阶。鉴于城市道路施工平台较为有限,条文中规定台阶的宽度不宜小于1.0m。

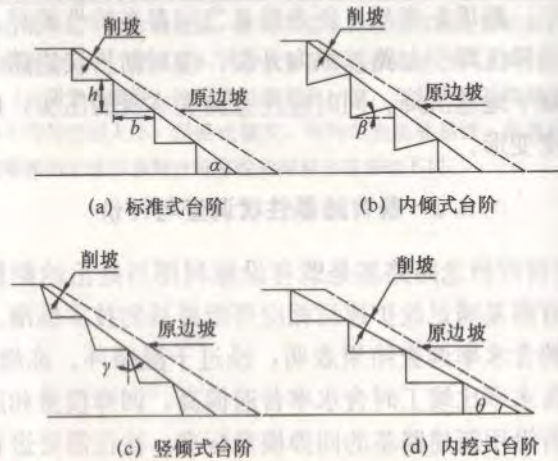


图6 台阶的基本形式

表15 各种台阶形式的优缺点

台阶形式	优点	缺点
标准式台阶	开挖施工方便,台阶压实效果较好	开挖效果受路基边坡坡度影响较大
内倾式台阶	增加新老路基的嵌锁作用,增强新老路基的衔接	影响台阶面的压实效果,内侧角隅部位容易积水,施工难度有所增加

续表15

台阶形式	优点	缺点
竖倾式台阶	便于台阶内侧角隅部位的压实,特别适于不加筋台阶	相同条件下减少了锚固长度,施工难度也有所增加
内挖式台阶	可以同时满足拼接部位填土的压实要求和格栅锚固长度的要求	开挖工程量有所增大

表16 既有公路改扩建工程台阶拼接设计方案

扩建工程名称	台阶拼接设计方案
广佛高速	粉喷桩地基处理路段:第一阶段按1:0.8坡率开挖,第二阶段按1:0.5坡率开挖;旋喷桩地基处理路段:按1:0.5坡率开挖
沪杭甬高速	按1:1.2的坡度削坡,内倾式台阶,高度(0.9~1.0)m,宽度不小于1.0m,顶面内倾2%~4%
沈大高速	按1:0.5的坡度削坡,内倾式台阶,高度不大于0.8m,顶面内倾3%
沪宁高速江苏段	内倾式台阶,高(0.6~0.7)m,宽大于1.0m,顶部台阶尺寸为1.0m×1.5m;粉煤灰、粉土等路基采用高度为0.6m×0.9m的竖倾式小台阶,坡比为10:1
武汉绕城与京珠公路拼接段	按1:1.75的坡度削坡,内倾式+竖倾式台阶,宽度2.0m,顶面内倾5%,台阶竖面向内倾斜
南京绕城高速	高度80cm,宽度(100~200)cm
沪宁—锡澄高速公路拼接段	内倾式台阶,高度0.8m,宽度1.2m,顶面内倾2%
海南环岛东线高速	内倾式台阶,高度(1.0~1.5)m,宽度(2.0~3.0)m,顶面内倾2%~4%
叶信高速东段	内倾式台阶,高度不小于1.0m,宽度不小于2.0m,顶面内倾3%
石黄高速	内倾式台阶,高度(30~60)cm
安阳至新乡高速	内倾式台阶,高度100cm,宽度150m,顶面内倾3%

