

DB 33

浙 江 省 地 方 标 准

DB33/T 904—2021

代替 DB33/T 904—2013

公路软土地基路堤设计规范

Specifications for design of highway embankment on soft ground

2021 - 12 - 12 发布

2022 - 01 - 12 实施

浙江省市场监督管理局 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 3

 4.1 软土的界定 3

 4.2 基础资料 4

 4.3 工程勘察 4

 4.4 沉降与稳定标准 4

 4.5 设计 5

 4.6 施工要求 8

 4.7 设计文件的编制 8

5 软土的工程特性及勘察 8

 5.1 软土的分类与工程特性 8

 5.2 工程勘察 8

6 浅层处理 12

 6.1 一般规定 12

 6.2 设计 12

 6.3 施工要求 15

 6.4 质量检验 16

7 土工合成材料加筋 16

 7.1 一般规定 16

 7.2 设计 17

 7.3 施工要求 20

 7.4 质量检验 21

8 排水固结法 21

 8.1 一般规定 21

 8.2 设计 21

 8.3 施工要求 24

 8.4 质量检验 25

9 水泥搅拌桩 25

 9.1 一般规定 25

 9.2 设计 25

 9.3 施工要求 29

9.4 质量检验..... 29

10 桩承式加筋路堤..... 30

10.1 一般规定..... 30

10.2 设计..... 30

10.3 施工要求..... 35

10.4 质量检验..... 35

11 轻质路堤..... 36

11.1 一般规定..... 36

11.2 设计..... 36

11.3 施工要求..... 39

11.4 质量检验..... 40

12 其它处理方法..... 41

12.1 一般规定..... 41

12.2 设计..... 41

12.3 施工要求..... 42

12.4 质量检验..... 43

13 动态监测与分析..... 43

13.1 一般规定..... 43

13.2 观测仪标及断面布置..... 44

13.3 沉降观测..... 44

13.4 侧向位移观测..... 44

13.5 观测频率..... 44

13.6 监测成果分析..... 44

13.7 监测控制指标..... 45

13.8 沉降预测和预抛高计算..... 45

附录 A （资料性） 浙江省软土的分布及典型软土物理力学性质指标..... 47

附录 B （资料性） 浙江省软土的分类 54

附录 C （资料性） 浙江省软土工程特性 56

附录 D （规范性） 软土室内试验项目 57

附录 E （规范性） 不同地基处理方法的软土试验项目..... 58

附录 F （规范性） 桩体荷载分担比系数 59

前 言

本标准按照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。

本标准代替DB33/T 904—2013《公路软土地基路堤设计规范》，与DB33/T 904—2013相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了术语“土工合成材料”（见 3.7，2013 年版的 3.8）、“水泥搅拌桩”（见 3.9，2013 年版的 3.10）、“泡沫混凝土”（见 3.14，2013 年版的 3.16）、“路面施工期预抛高”（见 3.21，2013 年版的 3.22），增加了术语“就地固化技术”（见 3.6）、“素混凝土桩”（见 3.12）、“高压旋喷桩”（见 3.16）、“高真空击密法”（见 3.17），删除了术语“软土”（见 2013 年版的 3.1）、“极限填筑高度”（见 2013 年版的 3.2）、“塑料套管混凝土桩”（见 2013 年版的 3.13）、“负摩阻力和中性点”（见 2013 年版的 3.14）、“EPS 颗粒混合轻质土”（见 2013 年版的 3.18）；
- b) 更改了软土鉴别指标（见表 1，2013 年版的表 4.1.2）、新建工程工后沉降控制标准（见 4.4.1，2013 年版的 4.4.1），增加了拼宽路基工后沉降控制标准（见 4.4.2），更改了设计原则（见 4.5.1，2013 年版的 4.5.1）、设计步骤（见 4.5.2，2013 年版的 4.5.2）、选用原则（见 4.5.3，2013 年版的 4.5.3）、沉降与稳定性计算（见 4.5.4，2013 年版的 4.5.4）、设计文件编制（见 4.7，2013 年版的 4.7）；
- c) 更改了软土的分类与工程特性（见 5.1，2013 年版的 5.1）、不同设计阶段勘察应查明的内容（见 5.2.2，2013 年版的 5.2.2、5.2.3）、横向勘探点间距确定原则（见 5.2.6 中 b），2013 年版的 5.2.7.1），增加了物探方法技术的选用原则（见 5.2.3 中 b））、物探技术的要求（见 5.2.6 中 f））；
- d) 更改了浅层处理的常用形式及选用原则（见 6.1.2，2013 年版的 6.1.2）、设计（见 6.2，2013 年版的 6.2）、水泥稳定土（拌和法）加固层施工要求（见 6.3.3，2013 年版的 6.3.3）和石灰稳定土（拌和法）加固层施工要求（见 6.3.4，2013 年版的 6.3.4），增加了就地固化的施工要求（见 6.3.6）；
- e) 更改了土工合成材料的常用类型（见 7.1.2，2013 年版的 7.1.2）、设计抗拉强度计算（见 7.2.1.4，2013 年版的 7.2.1.4）、土工合成材料与路堤填料接触的界面摩擦系数（见 7.2.1.7，2013 年版的 7.2.1.7），更改了薄层软土的抗滑稳定计算（见 7.2.2.3，2013 年版的 7.2.2.3），删除了土工合成材料检验项目表（见 2013 年版的 7.4）；
- f) 更改了排水固结法的一般规定（见 8.1，2013 年版的 8.1），删除了袋装砂井选用（见 2013 年版的 8.2.2 中（3））、竖向排水体的设计间距计算（见 2013 年版的 8.2.5），更改了塑料排水板的质量检验要求（见 8.4.3，2013 年版的 8.4.3）；
- g) 更改了水泥搅拌桩的适用范围（见 9.1.1，2013 年版的 9.1.1）、选用原则（见 9.1.2，2013 年版的 9.1.2）、浆喷桩的水灰比（见 9.2.3，2013 年版的 9.2.3）、桩体布置间距（见 9.2.4，2013 年版的 9.2.4）、桩体设计强度（见 9.2.5，2013 年版的 9.2.5）、水平加筋垫层要求（见 9.2.6，2013 年版的 9.2.6）、设计计算（见 9.2.7，2013 年版的 9.2.7）、施工要求（见 9.3，2013 年版的 9.3）及质量检验要求（见 9.4，2013 年版的 9.4）；

- h) 更改了桩承式加筋路堤的适用范围(见 10.1.1, 2013 年版的 10.1.1)、适用条件(见 10.1.2, 2013 年版的 10.1.2)、选用原则(见 10.1.3, 2013 年版的 10.1.3)、材料要求(见 10.2.1, 2013 年版的 10.2.1)、桩长确定原则(见 10.2.2, 2013 年版的 10.2.2)、沉降计算(见 10.2.11, 2013 年版的 10.2.12)、单桩承载力验算(见 10.2.12, 2013 年版的 10.2.13)、施工要求(见 10.3, 2013 年版的 10.3)及质量检验要求(见 10.4, 2013 年版的 10.4);
- i) 删除了“塑料套管混凝土桩”(见 2013 年版的第 11 章);
- j) 增加了轻质路堤的设计要求(见 11.1.3), 更改了泡沫混凝土的设计计算(见 11.2.1.3, 2013 年版的 12.2.1.3)、泡沫混凝土的施工要求(见 11.3.1, 2013 年版的 12.2.2)及质量检验要求(见 11.4.1, 2013 年版的 12.2.3), 更改了 EPS 块体材料要求(见 11.2.2.1, 2013 年版的 12.3.1.1), 增加了 EPS 块体基底的抗滑稳定性要求(见 11.2.2.3 中 e)), 删除了 EPS 颗粒混合土轻质路堤(见 2013 年版的 12.4)及粉煤灰轻质路堤(见 2013 年版的 12.5);
- k) 增加了其它处理方法(见第 12 章);
- l) 更改了动态监测与分析的一般规定(见 13.1, 2013 年版的 13.1)、观测仪标(见 13.2.1, 2013 年版的 13.2.1)和观测频率(见 13.5, 2013 年版的 13.5)。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由浙江省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位: 浙江数智交院科技股份有限公司、浙江公路水运工程咨询有限责任公司。

本标准主要起草人: 段冰、毛斌、曾怀武、任超、郑束宁、江建坤、薛皓辰、单君、陈建荣、陈新国、张天宝、古海东、陆建阳、金康康、金建鸿。

本标准及其所代替标准的历次版本发布情况为:

- 2013 年首次发布为 DB33/T 904—2013;
- 本次为第一次修订。

公路软土地基路堤设计规范

1 范围

本标准规定了公路软土地基路堤的勘察设计、施工、质量检验和动态监测的主要要求。

本标准适用于新建、改扩建的各等级公路软土地基路堤的设计、施工和质量检验。

2 规范性引用文件

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

GB 175 通用硅酸盐水泥

GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50021 岩土工程勘察规范

JGJ 63 混凝土用水标准

JTG/T 3222 公路工程物探规程

JTG 3430 公路土工试验规程

JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

JTG C20 公路工程地质勘察规范

JTG D30 公路路基设计规范

JTG/T D31-02—2013 公路软土地基路堤设计与施工技术细则

JTG/T D32 公路土工合成材料应用技术规范

JTG D40 公路水泥混凝土路面设计规范

JTG D50 公路沥青路面设计规范

JTG E50 公路工程土工合成材料试验规程

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

DB33/T 996—2015 公路工程泡沫混凝土应用技术规范

3 术语和定义

DB33/T 996界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

堆载预压 preloading

在软土地基上施加荷载，促使地基排水、固结、压密，以提高地基强度，减少在使用荷载作用下产生的工后沉降量。若预压荷载等于路基荷载与路面等效荷载，称为等载预压；若预压荷载大于路基荷载与路面等效荷载，称为超载预压；若预压荷载小于路基荷载与路面等效荷载，称为欠载预压。

[来源：JTG/T D31-02—2013，2.1.11，有修改]

3.2

真空预压 vacuum preloading

通过对覆盖于设置竖向排水体地基表面的不透气薄膜内抽真空形成负压,而使地基固结的地基处理方法。

[来源: JTG/T D31-02—2013, 2.1.22, 有修改]

3.3

真空联合堆载预压 vacuum-surcharge preloading

在真空预压的同时,结合路基填筑荷载的联合预压作用,达到加速软土地基固结,提高地基强度和稳定性的地基处理方法。

3.4

预压期 preloading period

路基初次填筑至设计预压高程后,至卸载开始时或路面结构层开始施工时所持续的时间。

[来源: JTG/T D31-02—2013, 2.1.12, 有修改]

3.5

浅层处理 shallow treatment

通过置换、加筋、夯压、浅层固化、设置褥垫等方式对浅层软土进行处理,以提高地基承载力的地基处理方法。

3.6

就地固化技术 in-situ solidification technique

利用固化剂对软弱土等土体就地进行固化,使土体达到一定强度或其它使用要求,从而对土体进行就地利用或达到地基处理要求的技术。

3.7

土工合成材料 geosynthetics

置于土体内部、表面或填料之间,以塑料、化纤、合成橡胶等为原料,制成的各种聚合物产品。

3.8

加筋 method of reinforcement

在土或填料中加入土工合成材料、钢筋、钢丝等条带网格状抗拉材料,以改善土或填料的受力特性,提高路基稳定性和均化沉降的方法。

3.9

水泥搅拌桩 cement mixing pile

以水泥作为固化剂的主剂,利用搅拌机械将固化剂和地基土强制搅拌,所形成的具有一定深度、直径、强度的桩体。

3.10

复合地基 composite subgrade

部分土体被增强或被置换形成增强体,由增强体和周围地基土共同承担荷载的地基。

3.11

桩承式加筋路堤 pile-supported reinforced embankment

由刚性桩、桩帽、加筋垫层及填料形成的主要由刚性桩承担荷载的路堤。

3.12

素混凝土桩 concrete pile

无筋或不配置受力钢筋的现浇混凝土灌注桩。

3.13

轻质路堤 lightweight embankment

将泡沫混凝土、EPS块体等轻质材料作为路基填料,以减少沉降、提高稳定性的路堤型式。

[来源: JTG/T D31-02—2013, 2.1.14, 有修改]

3.14

泡沫混凝土 foamed concrete

采用物理方法将发泡剂制备成泡沫，再将泡沫按特定比例混入到搅拌均匀的由水泥浆料以及外加剂、掺合料组成的混合料浆中，浇筑凝固成型后含有大量均匀封闭气孔的轻质微孔混凝土。

[来源：DB 33/T 996—2015，3.1]

3.15

EPS 块体 expanded polystyrene block

由聚苯乙烯发泡形成的硬质闭孔结构块体，可作为轻质路基填料。

3.16

高压旋喷桩 high pressure jet grouting pile

通过钻杆的旋转、提升，高压水泥浆由水平方向的喷嘴喷出，形成喷射流，以此切割土体并与土拌合形成的水泥土竖向增强体。

3.17

高真空击密法 high vacuum compact method

采用高真空井点降水与强夯联合作用，从而达到提高软土密实度和承载力的一种动力排水固结法。

3.18

动态设计方法 dynamic design method

根据施工过程中的反馈信息和监测资料，对设计参数及设计方案进行验证和优化的软基处理设计方法。

3.19

施工动态控制技术 dynamic control technology for construction

根据施工过程中的反馈信息和监测资料，对施工方案的安全性和合理性进行判断，动态跟踪和调整施工的控制技术。

3.20

路基填筑期预抛高 pre-flip height for subgrade settlement during subgrade filling

为了补偿预压期路基沉降，在路基填筑期内就将预压期内发生的路基沉降量作为路基填筑高度的一部分预先填筑的方法。

3.21

路面施工期预抛高 pre-flip height for settlement during pavement

在路面结构层施工之前预先采用路床填筑材料，或在路面施工过程中预先采用路面材料来补偿预抛高沉平时间内所发生的沉降量的方法。

4 基本规定

4.1 软土的界定

4.1.1 软土主要有淤泥、淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土、软塑至流塑黏土、软塑至流塑粉质黏土、稍密粉土、有机质土、泥炭质土、泥炭等。软土鉴别指标应符合表 1 的规定。

表1 软土鉴别指标^a

软土名称		特性指标										
		塑性指数 ^b I_p	天然 含水率 $w/\%$		天然孔隙比 e	直剪快剪 内摩擦角 $\phi_q/^\circ$	压缩系数 $a_{0.1-0.2}$ / (MPa ⁻¹)	十字板 抗剪强度 τ /kPa	静力触探 锥尖阻力 q_c /MPa	标准贯 入试验 锤击数 N /次	有机质含量 $w_u/\%$	
黏 性 土	淤 泥	—	≥ 35	$\geq w_L$	$e \geq 1.5$	< 5	> 0.5	< 35	≤ 0.75	—	—	
	淤泥质 黏 土	$I_p > 17$			$1.0 \leq e < 1.5$							
	淤泥质 粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$		$w \geq w_L$ 或 $e \geq 1.0$								
	软塑至流 塑黏土	$I_p > 17$										
	软塑至流 塑粉质黏 土	$10 < I_p \leq 17$										
稍密粉土		$7 < I_p \leq 10$	≥ 30	—	$e > 0.9$	—	> 0.3	—	< 2	≤ 8	—	
有机质土		—		—	—	—	—	—	—	—	$5 < w_u \leq 10$	
泥炭质土		—		—	—	—	—	—	—	—	$10 < w_u \leq 60$	
泥 炭		—		—	—	—	—	—	—	—	$w_u > 60$	
^a 当黏性土、粉土的天然含水率和天然孔隙比两个指标同时满足时即可划为软土。												
^b 塑性指数 $I_p = w_L - w_p$, w_L 为液限(%)， w_p 为塑限(%)，液限、塑限分别采用 76 g 锥试验确定。												

4.2 基础资料

- 4.2.1 软土地基路堤设计应收集调查沿线的气象、水文、地形地貌、地质构造、工程地质及水文地质等资料。
- 4.2.2 根据设计要求还应收集和调查以下内容：
- 路线纵横断面及桥梁、通道、涵洞的布设等各相关专业的资料；
 - 软土路段路堤附近的已有构筑物、管线等环境状况；
 - 路堤填筑材料的来源、特性等有关情况；
 - 附近公路、铁路、水利工程的软基处理相关经验；
 - 改扩建路段原有路基软土处理方法和沉降情况。

4.3 工程勘察

- 4.3.1 应根据公路等级、工程规模及场地条件，采用综合勘察方法，多种勘察手段互相补充验证。勘察成果和精度应满足各阶段的设计要求。
- 4.3.2 应加强勘察过程控制，重视原位测试工作，严格按操作规程规定的要求操作，保证勘察资料的准确性。
- 4.3.3 对可能导致地基失稳的临水、傍山、暗浜、暗塘及桥头高填土等路段，应加强地质勘察工作，查明软土层的分布及其在纵向、横向的厚度和性质变化，为设计选线和路堤设计提供地质依据。

4.4 沉降与稳定标准

- 4.4.1 当新建工程设计计算工后沉降不满足表 2 的要求时，应针对沉降进行处理设计。相邻路段差异沉降引起的纵坡变化应控制在 0.4 % 以内。

表2 容许工后沉降

单位: m

公路等级	桥梁与路基 相邻路段	通道与路基相邻 路段 ^a	涵洞与路基相邻 路段	一般路段
高速公路、一级公路	≤0.10	≤0.15	≤0.20	≤0.30
二级公路（干线公路）	≤0.15	≤0.20	≤0.25	≤0.40
其它等级公路	≤0.20	≤0.25	≤0.30	≤0.50
^a 桥式通道按桥梁考虑。				

- 4.4.2 拼宽路基沉降控制应满足以下要求：
- a) 拼宽部分路基设计计算工后沉降，应满足桥头处不大于 0.05 m，通道及涵洞处不大于 0.10 m，其它一般路段不大于 0.15 m 的要求；
 - b) 原有路基与拼宽路基的路拱横坡度的工后增大值不应大于 0.5 %、相邻路段差异沉降引起的纵坡变化不应大于 0.4 %的要求。
- 4.4.3 公路软土地基设计应进行路堤的稳定验算，其稳定安全系数应满足表 3 的规定值。

表3 稳定安全系数

采用指标	计算方法				
	有效固结应力法		改进总强度法		简化 Bishop 法、 Janbu 法
	不考虑固结	考虑固结	不考虑固结	考虑固结	
直接快剪指标	1.1	1.2	—	—	—
静力触探、十字板剪切指标	—	—	1.2	1.3	—
三轴有效剪切指标	—	—	—	—	1.4

4.5 设计

4.5.1 总体要求

- 设计总体要求如下：
- a) 应遵循“安全适用、技术先进、经济合理、质量可控”的设计要求，做到因地制宜、合理选材、节约资源、保护环境；
 - b) 应重视软土地区地质选线工作，对深厚软土区尽可能避让，无法避让时应进行路堤、桥梁方案比选。软基处理方案应根据全寿命的设计理念从技术、经济等方面综合比选；
 - c) 高速公路、一级公路应采用动态设计方法和施工动态控制技术，二级及以下公路宜采用动态设计方法和施工动态控制技术；
 - d) 当工程性质复杂，无类似的工程经验可借鉴时，应选择合适的试验段，对软基处理方案进行试验研究，为设计、施工提供依据；
 - e) 除执行本标准外，还应符合国家、行业和省现行有关标准、规范的规定。

4.5.2 设计步骤

设计步骤如下：

- a) 根据软土层厚度及其物理力学指标、填土高度等情况，分别对不同路段进行综合分析，提出代表性的典型路段；
- b) 根据 4.4 沉降与稳定标准的要求，确定各典型路段的处理方案及构造物与路基相邻路段的处理长度；
- c) 根据 4.4.1 或 4.4.2 相邻路段差异沉降引起的纵坡变化要求，确定过渡段处理长度。桥头过渡段长度不宜小于 20 m，箱式通道或箱式涵洞过渡段长度不宜小于 15 m。

4.5.3 选用要求

4.5.3.1 一般路段选用要求如下：

- a) 软土层深度小于 5 m 时，宜选用浅层处理或堆载预压；软土层深度大于 5 m 时，宜选用排水固结法或复合地基，并结合等载预压或超载预压。当预压高度较大，稳定性不能满足设计要求时，可结合加筋处理；
- b) 软土层厚度大于 10 m 时，宜选用排水固结法或复合地基，并结合等载预压或超载预压；当预压高度较大，稳定性不能满足设计要求时，可结合加筋处理；
- c) 在填土高、工期紧的情况下，可选用桩承式加筋路堤、轻质路堤或真空联合堆载预压等方案；
- d) 两构造物之间的一般路段长度小于 50 m 时，宜采用和构造物与路基相邻路段相同的处理方法。

4.5.3.2 桥梁、通道、涵洞与路基相邻路段选用要求如下：

- a) 填土高度较低（ <3.0 m）并具备预压条件时，宜选用排水固结法结合堆载预压的处理方法；
- b) 填土高度较高时（ ≥ 3.0 m），宜选用桩承式加筋路堤或水泥搅拌桩等方法；
- c) 填土高度超过 2 倍~3 倍的极限填筑高度时，宜选用桩承式加筋路堤，或选用泡沫混凝土、EPS 块体等轻质填料，并可结合排水固结、复合地基等方法综合处理。

4.5.3.3 过渡路段选用要求如下：

- a) 采用桩承式加筋路堤、复合地基、排水固结法等不同方法处理的路段之间应根据相邻路段差异沉降引起的纵坡变化进行过渡处理设计；
- b) 过渡设计可采用局部超载预压、轻质路堤分级换填、桩长渐变、桩间距渐变等单一或综合处理措施。

4.5.3.4 特殊地形地貌路段选用要求如下：

- a) 傍山路段当软土埋深浅、厚度薄时，宜选用浅层处理；当软土深厚时，宜通过稳定性验算合理选用素混凝土桩、轻质路堤、高压旋喷桩等处理方法；
- b) 临水路段，根据软土层条件和稳定验算结果，宜选用桩承式加筋路堤、轻质路堤等处理方法；
- c) 桥梁、杆线下方等施工设备受净空限制路段，宜选用素混凝土桩、轻质路堤、高压旋喷桩等对设备高度要求低的处理方法；
- d) 邻近重要构筑物路段，宜选用素混凝土桩、水泥搅拌桩、轻质路堤等对构筑物影响小的处理方法；不宜选用真空预压、排水固结等易产生地基沉降及侧向位移等不良影响的处理方法；
- e) 无硬壳层路段，可采用就地固化、加筋垫层等方法处理以满足机械施工要求；
- f) 表层为饱和松散砂土、粉土、粉质粘土或吹填土时，可选用高真空击密法以提高地基承载力，减小地基沉降。

4.5.3.5 改扩建路段选用要求如下：

- a) 原有路基符合设计沉降控制要求的路段，浅层软土地基，或拼宽荷载较小、沉降易控制时，可采用浅层处理或堆载预压等方法；深厚软土地基或拼宽荷载较大、对既有公路影响较大时，可采用桩承式加筋路堤、复合地基或轻质路堤等方法；
- b) 原有路基不符合设计沉降控制要求的路段，路基拓宽范围的软土地基处理可选用轻质路堤，或与原处理方式相同的处理方法。

4.5.4 沉降与稳定性计算

4.5.4.1 设计应进行软基的沉降与稳定性计算分析工作，必要时应采用有限元等数值分析方法进行验算。

4.5.4.2 对用于计算沉降的压缩层，其底面应在附加应力与有效自重应力之比不大于 0.15 处。

4.5.4.3 路堤高度大于 2.5m 时，可忽略行车动荷载对沉降的影响；路堤高度小于或等于 2.5m 时应考虑行车动荷载对沉降的影响。

4.5.4.4 沉降计算应包含总沉降及工后沉降的计算，具体计算如下：

- a) 总沉降

总沉降 S 宜按式 (1) 计算：

$$S = m_s S_c \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S ——总沉降 (mm)；

m_s ——综合经验修正系数，与地基条件，荷载强度，加荷速率等因素有关，其范围一般为 0.9~1.7；

S_c ——主固结沉降 (mm)，应采用分层总和法计算。

总沉降 S 也可按式 (2) 计算：

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

式中：

S ——总沉降 (mm)；

S_d ——瞬时沉降 (mm)；

S_c ——主固结沉降 (mm)；

S_s ——次固结沉降 (mm)。

- b) 工后沉降

路面设计使用年限内的工后沉降 S_p 可按式 (3) 计算：

$$S_p = S_{tp} - S_{td} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

S_p ——路面设计使用年限内的工后沉降 (mm)；

S_{tp} ——路面设计使用年限末的地基沉降量 (mm)；

S_{td} ——路面交工时的地基沉降量 (mm)。

4.5.4.5 稳定验算应按路堤施工期及公路运营期的荷载分别计算。**施工期荷载**包括路堤自重（含地基沉降而补方的填料增重的荷载）、预压荷载，**运营期荷载**包括路堤自重（含地基沉降而补方的填料增重的荷载）、路面荷载及行车荷载。地震力计算可仅考虑水平地震力。

4.5.4.6 软土地基路堤的稳定验算一般采用有效固结应力法、改进总强度法，有条件时也可采用简化 Bishop 法；对于非圆弧滑动验算，宜采用 Janbu 普通条分法。

4.6 施工要求

4.6.1 施工组织设计中软基路段施工工序及工期安排应满足设计要求的预压期和沉降稳定时间，对采用排水固结法和预压处理的路段应尽早实施，以利于满足沉降要求。

4.6.2 按照软基特性和不同的处理方式，宜采用信息化技术，实施施工动态控制。

4.6.3 预压期应根据实测的沉降情况进行调整；路基二次开挖、回填及路面施工时间应以沉降速率和推算工后沉降值控制，两者均应满足设计容许值。

4.6.4 软基施工应实行“首件制”，大面积施工前，应根据设计要求进行现场试桩或试验段验证，以确定合理的施工工艺和技术参数。

4.6.5 施工阶段实际地质情况与施工图出入较大时，应验证地质情况，修正设计方案。

4.7 设计文件的编制

4.7.1 初步设计文件常用图表应包含以下内容：

- a) 软土地基处理方案比选表（图）；
- b) 软土地基处理设计表；
- c) 软土地基处理工程数量表；
- d) 软土地基处理方法典型设计图；
- e) 不同处理方法之间过渡处理设计图；
- f) 软土地基路堤动态监测设计表及工程数量表；
- g) 软土地基路堤动态监测设计图。

4.7.2 施工图设计文件常用图表应包含以下内容：

- a) 软土地基处理设计表；
- b) 软土地基处理工程数量表；
- c) 软土地基处理方法典型设计图；
- d) 不同处理方法之间过渡处理设计图；
- e) 软土地基处理沿线纵断面布置图；
- f) 软土地基路堤动态监测设计表及工程数量表；
- g) 软土地基路堤动态监测设计图；
- h) 复杂路段软土地基处理平面布置图。

5 软土的工程特性及勘察

5.1 软土的分类与工程特性

5.1.1 浙江省软土的分布及典型软土物理力学性质指标见附录 A。

5.1.2 浙江省软土按特性指标分类应符合表 1 的规定，按其他方法分类见附录 B。

5.1.3 浙江省软土的工程特性见附录 C。

5.2 工程勘察

5.2.1 应在资料收集的基础上,根据场地条件、公路等级、工程方案选用综合勘察方法,查明场地的工程地质条件、水文地质条件,为设计提供必要的地质参数。工程勘察应满足 JTG C20 与 JTG D30 的要求。

5.2.2 初步设计阶段勘察应基本查明以下内容,施工图设计阶段勘察应查明以下内容:

- 地形地貌的成因、类型、分布和形态特征;
- 软土的成因、地质年代、分布范围、埋藏深度、地层结构、分层厚度;
- 软土下卧硬层的起伏形态和横向坡度、地表硬壳层的分布范围及厚度;
- 软土地层中的砂类土夹层或透镜体的分布范围、厚度、渗透性、密实程度;
- 软土的物理、力学、水理性质和地基的承载力;
- 暗埋的塘、浜、沟、渠等的发育与分布情况;
- 地下水的类型、埋深、水位变化情况、水质及腐蚀性。

5.2.3 勘察过程和勘察方法的选用按下列原则执行:

- a) 勘察过程应结合工程地质条件选择,并有所侧重。宜按以下顺序进行:资料收集→工程地质调查测绘→物探、钻探与原位测试→室内试验→报告编制;
- b) 物探方法技术应根据下部岩土体条件、勘察要求选用,并满足相应的地球物理条件,宜通过方法试验确定物探技术参数。物探测试应遵照 JTG/T 3222 相关规定执行;
- c) 钻探应根据软土地层结构、成因类型、成层条件、地层厚度并结合构筑物的类型、规模与基础类型等综合确定钻孔间距、深度。对软土埋藏浅、厚度小的地段或山区薄层软土段,可采用探坑或轻便螺纹钻;
- d) 原位测试应根据岩土条件、设计对参数的要求、地区经验和测试方法的适用性等因素选用。原位测试成果应与室内试验成果相互验证,保证成果的准确性。

5.2.4 资料收集应包含以下内容:

- 工程规模、设计要求等资料;
- 地形地貌、区域地质、水文地质、遥感影像、气象、地震动峰值加速度等资料;
- 前期勘察和试验成果资料;
- 区内类似土工工程软基处治的措施和经验。

5.2.5 工程地质调查和测绘应包含以下内容:

- a) 对工程地质条件较复杂的场地应进行工程地质测绘。对工程地质条件简单的场地,可用工程地质调查代替工程地质测绘;
- b) 初步设计阶段宜在工程可行性研究的基础上全面进行工程地质调查和测绘,施工图设计阶段可在初步设计的基础上,对某些专门的地质问题作必要的补充;
- c) 工程地质调查和测绘主要有以下内容:
 - 1) 场地的微地貌类型和不良地质作用,并进行工程地质分区;
 - 2) 场地的第四纪地层特征、成因类型、分布范围、埋藏条件、应力历史等情况;
 - 3) 地下水的埋藏条件、水位变化幅度与地表径流及潮汐的水力联系、补给来源和地下水水质类型等;
 - 4) 既有堤防、涵洞、桥梁、道路、房屋、地下洞室等构筑物修建时间、地基处理措施、施工方法、处理效果等。

5.2.6 勘探应满足以下要求:

- a) 纵向勘探点间距应按以下原则确定:
 - 1) 纵向勘探点控制间距应满足表 4 的规定;

表4 纵向勘探点控制间距^{a、b}

环境类别	公路等级	钻探点间距(m)		静力触探点间距(m)	
		初步设计阶段	施工图设计阶段	初步设计阶段	施工图设计阶段
简单场地	高速公路、一级公路	600~800	400~600	250~400	200~250
	二级公路	800~1000	600~700	400~500	250~300
	二级以下公路	1 000~1 500	700~1 000	500	300~500
复杂场地 ^c	高速公路、一级公路	400~600	250~400	200~250	100~200
	二级公路	600~700	400~500	250~300	200~250
	二级以下公路	700~1 000	500~1 000	300	250~300
注：简单场地是指软土埋藏较深、厚度较薄、地层较稳定的地质环境；复杂场地是指软土埋藏浅、厚度较大、地层变化显著的地质环境。					
^a 设计填土高度大于极限填筑高度或桥头路段采用低限。 ^b 有桥梁钻孔或构造物钻孔作为路桥两用钻孔利用时，勘探点可适当酌减。 ^c 施工图设计阶段，宜在傍山路段等复杂场地增布纵、横向勘探孔，以查明软土层厚度在纵、横方向的变化。					

- 2) 对于傍山软土路段及其它软土厚度变化较大的路段，勘探孔应加密布置，以查明软土层的厚度和性质在纵向上的变化，满足设计要求；
- 3) 对于改扩建工程，应根据工程特点、原公路软基处理方式、固结时间等综合确定勘探点间距。
- b) 横向勘探点间距应按以下原则确定：
 - 1) 简单场地纵向间距 500 m~1 000 m 布置 1 个路基横向断面，在场地条件复杂、软土层性质或厚度变化较大处，可按 250 m~500 m 考虑，傍山路段应适当加密路基横向断面间距；
 - 2) 每个横断面上勘探点不宜少于 3 个，可按路基中心线及两侧坡脚进行布置，在工程地质条件复杂、路基宽度较大处应加密布孔；
 - 3) 改扩建工程，拼宽侧横断面钻孔应从原路基坡脚向外布置，勘探孔数量不宜少于 3 个。
- c) 勘探孔定位应按以下原则确定：
 - 1) 初步设计阶段勘探孔位置应在 1:2 000 路线平面上标注或在现场布设。孔点位置用坐标控制，允许移动范围：对路基孔沿中线前后不超过 30 m，垂直中线左右不超过 15 m；构造物孔沿中线前后不超过 10 m，垂直中线左右不超过 5 m。孔口高程不超过 0.1 m；
 - 2) 施工图设计阶段勘探孔位置应在 1:2 000 路线平面上标注，并充分利用初步设计阶段勘探孔成果。孔点位置用坐标控制，允许移动范围：对路基孔沿中线前后不超过 20 m，垂直中线左右不超过 10 m；构造物孔沿中线前后不超过 5 m，垂直中线左右不超过 5 m。孔口高程不超过 0.1 m；
 - 3) 扩建工程勘探孔宜布置在路基坡脚处。
- d) 勘探点深度应按以下原则确定：
 - 1) 勘探点深度主要根据软土埋藏分布条件及填土高度确定，要求能够满足工程地质评价和设计的需要；
 - 2) 钻孔深度宜穿透软土层。对于厚层及巨厚层软土，钻孔深度应达到预估的地基附加应力与地基土自重应力比为 0.10~0.15 时所对应的深度（地下水位以下采用浮容重）或不小于地基压缩层的计算深度；
 - 3) 对于薄层软土或傍山路段，钻孔深度应达到下卧层内 2 m~5 m；
 - 4) 对于多层软土，应根据软土特点、填土高度、处理方式等，按受影响的最下层软土控制。

- e) 钻探取样应按以下原则确定：
 - 1) 控制性钻孔应采用薄壁取土器按规定深度在软土层中准确采用原状土样。一般性钻孔应按控制性钻孔规定深度鉴别土层，必要时在重要层位采用薄壁取土器取样或进行原位测试；
 - 2) 取样间距：对非均质土，在地面以下 10m 以内，每 1.0m 取样一组；在地面下 10m~20m，每 1.5m 取样一组；20m 以下可每 2.0m 取样一组。变层处应取样品。对厚层、巨厚层均质软土层，可对性质相同或相近层次的层顶和层底各取一组样品，中间取两组以上的样品。如软土指标有变化，应补取样品。对于硬壳层、软土间夹层、硬土层以及排水砂层，也应采集样品以取得计算指标，取样间距 1.5m~2.0m；
 - 3) 取样质量和数量应满足室内试验的要求。
- f) 物探技术应按以下原则确定：
 - 1) 应根据场地的工程地质条件选择适宜的物探方法，宜采用综合工程物探方法开展工作；
 - 2) 常用的物探方法有：人工源面波法、微动法、高密度电法等；
 - 3) 物探测试成果分析应结合其他勘探方法取得的地质资料，各种方法的解释成果应相互补充、相互验证。

5.2.7 原位测试应满足以下要求：

- a) 原位测试方法应执行以下规定：
 - 1) 原位测试方法应根据岩土条件、设计对参数的要求、地区经验和测试方法的适用性等因素选用；
 - 2) 根据原位测试成果，利用地区经验估算岩土工程特征参数和对岩土工程问题作出评价时，应与室内试验和工程反算参数作对比，检验其可靠性；
 - 3) 对原位测试的仪器设备应定期检验和标定。分析原位测试成果资料时，应注意仪器设备、试验条件、试验方法等对试验的影响，结合地层条件，剔除异常数据。
- b) 载荷试验应执行以下规定：
 - 1) 载荷试验用于测定承压板下应力主要影响范围内软土的承载力及变形特性。可根据需要选用浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验或螺旋板载荷试验；
 - 2) 根据载荷试验资料，可按 GB 50021 确定比例界限压力、极限压力、地基土承载力、土的变形模量、基准基床系数等。
- c) 静力触探试验应执行以下规定：
 - 1) 根据需要采用双桥探头或带孔隙水压力量测的双桥探头，测定锥尖阻力 (q_c)、侧壁摩阻力 (f_s) 和贯入时的孔隙水压力 (u)；
 - 2) 根据静力触探资料，可进行力学分层，估算土的强度、地基承载力、沉桩阻力等。根据孔压消散曲线可估算土的固结系数和渗透系数。
- d) 十字板剪切试验应执行以下规定：
 - 1) 用于测定饱和软黏性土 ($\phi \approx 0$) 的不排水抗剪强度和灵敏度；
 - 2) 根据十字板剪切试验资料，可计算各试验点的不排水抗剪峰值强度、残余强度、重塑土强度和灵敏度，确定地基承载力、单桩承载力，计算边坡稳定，判定软黏性土的固结历史。
- e) 扁铲侧胀试验应执行以下规定：
 - 1) 根据试验资料，可计算土的侧胀模量、侧胀水平应力指数、侧胀土性指数；
 - 2) 根据地区经验，可判别土类，确定黏性土的状态、静止侧压力系数、水平基床系数等。
- f) 旁压试验应执行以下规定：
 - 1) 可采用预钻式或自钻式旁压试验；
 - 2) 根据旁压试验资料，可计算土体的旁压模量，评定地基承载力和变形参数。根据自钻式旁压试验的旁压曲线，还可测求土的原位水平应力、静止侧压力系数、不排水抗剪强度等。

g) 波速测试应执行以下规定:

- 1) 可采用单孔法、跨孔波或面波法测定软土的压缩波、剪切波或瑞利波的波速,计算软土的动力参数;
- 2) 根据测试资料,可计算土层小应变的动弹性模量、动剪切模量和动泊松比。

5.2.8 室内试验应满足以下要求:

- a) 软土试验样品不得因长期存放而改变其物理力学性质,必要时可在现场进行室内试验。对原状软土样品应在三天内开样试验,并应做好开样记录。对不能按时开始试验的样品应妥善保存,合理置放,夏季应挖坑放置,并用保持一定湿度的覆盖物防护;冬季应放置于有合适温度的场地,样品不应受冻;
- b) 土样试验及对试验指标的整理与统计,应遵照 JTG 3430 的规定进行;
- c) 软土室内试验项目应按附录 D 执行,不同地基处理方法的软土试验项目应按附录 E 执行。

5.2.9 资料整理及工程地质勘察报告编制应满足以下要求:

- a) 对各阶段原始数据及中间成果应及时进行整理分析。对岩土的参数应进行数理统计,作为编制工程地质勘察报告的基础资料;
- b) 工程地质勘察报告编制应满足以下要求:
 - 1) 总说明应重点分析软土的工程地质特征及埋藏分布条件及其对路线和构筑物的影响,作出工程地质评价与预测,提出软土处理措施的建议;
 - 2) 综合图表部分应根据工程性质提供特殊性岩土地段一览表、物理力学性质统计表、全线工程地质平面图、全线工程地质纵断面图、 $e-p$ 曲线图、 $e-lgp$ 曲线图、勘探孔地质柱状图、原位测试成果图表等;
 - 3) 工点资料应提供工程地质说明、工程地质平面图、工程地质纵断面图、代表性工程地质横断面图等。必要时还应提供硬壳层底面或硬土层顶面高程等值线图。

6 浅层处理

6.1 一般规定

6.1.1 适用范围如下:

- a) 地基承载力不足的浅层软土路段;
- b) 不满足路面结构及路基对地基强度要求的低填、浅挖路段。

6.1.2 常用形式及选用原则如下:

- a) 地基浅层软土深度不大于 5.0 m 的路段,处理形式可选用排水垫层、浅层置换或浅层加固;
- b) 路基填筑高度小于 2.0 m 的路段及浅挖路段,处理形式可选用排水垫层、浅层加固;
- c) 地基位于河塘、滩地及常年积水的洼地,表层为流塑状软土且层厚较薄时,处理形式可采用抛石挤淤、就地固化;
- d) 无硬壳层或硬壳层较薄的高填方深厚软基路段,可采用就地固化人造硬壳层,与复合地基或桩承式加筋路堤联合应用。

6.2 设计

6.2.1 应根据工程具体情况,按就地取材的原则选用材料。排水垫层宜选用透水性能良好的砂砾或碎石;置换垫层宜选用强度较高的砂砾、碎石等;浅层加固的固化剂宜选用水泥、石灰等;抛石挤淤宜选用不易风化的片石、块石。

6.2.2 材料要求如下:

- a) 砂砾，应为级配良好、质地坚硬的粒料，其颗粒不均匀系数不小于 10，不含植物残株、垃圾等杂质，一般最大粒径为 5 mm~40 mm 的天然级配；若采用砂石掺配，以中粗砂为宜，并掺入 25 %~30 % 的碎石或卵石，最大粒径不宜大于 50 mm，含泥量不应大于 5 %；
 - b) 碎石，一般采用中~微风化硬质岩且级配良好的碎石，最大粒径不宜大于 50 mm，含泥量不应大于 5 %；
 - c) 水泥，宜采用通用硅酸盐水泥，其强度等级应为 42.5 级及以上，其性能应符合 GB 175 规定；
 - d) 石灰，宜选用新鲜的消石灰，其最大粒径不应大于 5 mm，石灰中 CaO+MgO 含量不应低于 55 %；
 - e) 抛石材料，宜采用中~微风化硬质岩，小于 300 mm 粒径含量不宜大于 20 %。
- 6.2.3 浅层处理厚度应满足以下要求：
- a) 排水垫层厚度以 0.3 m~0.8 m 为宜，铺设范围为路堤坡脚外延伸 0.5 m~1.0 m；
 - b) 置换厚度不宜大于 3.0 m；
 - c) 浅层加固处理的厚度宜为 0.5 m~3.0 m，采用就地固化工艺处理的厚度不宜大于 5.0 m。
- 6.2.4 浅层处理的设计计算应满足地基承载力和变形等要求。
- 6.2.4.1 置换层、加固土层的厚度可按式（4）计算确定。

$$P_z + P_{cz} \leq f_{ak} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

P_z ——置换层、加固土层底面处的附加应力（kPa）；

P_{cz} ——置换层、加固土层底面处的自重应力（kPa）；

f_{ak} ——置换层、加固土层底面处下卧层的地基承载力设计值（kPa）。

- 6.2.4.2 挡土墙、箱式通道（涵洞）、盖板涵置换层或加固土层底面处的附加应力值 P_z 可按式（5）简化计算，其计算示意图图 1。

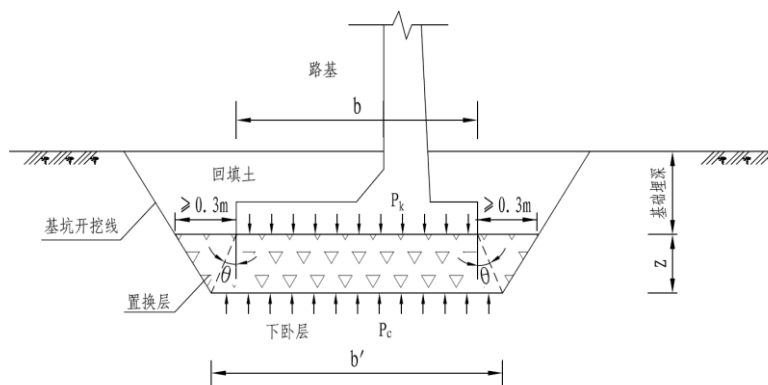


图1 附加应力计算示意图

$$P_z = \frac{b(p_k - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

P_z ——置换层、加固土层底面处的附加应力（kPa）；

b ——基础底面宽度（m）；

p_k ——基础底面处的平均压力设计值（kPa）；

p_c ——基础底面处的自重应力（kPa）；

z ——置换层、加固土层的厚度 (m) ;
 θ ——压力扩散角 (°), 可按表5确定。

表5 压力扩散角 θ

单位: °

z/b ^a	置换材料		
	中砂、粗砂、砾砂、圆砾、角砾、卵石、碎石	黏性土和粉土（8<I _p <14）	掺灰土
0.25	20	6	30
≥0.5	30	23	
注：I _p 为塑性指数。			
^a 当 z/b<0.25 时，除掺灰土取 θ=28°，其余材料均取 θ=0°，必要时，宜由试验确定；当 0.25<z/b<0.5 时，θ 值可内插确定。			

6.2.4.3 置换层、加固土层的底面宽度可按式(6)计算确定。垫层顶面每边超出基础底边缘不宜小于0.3 m。

$$b' \geq b + 2z \tan \theta \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

b' ——置换层、加固土层底面宽度 (m) ;
 b ——基础底面宽度 (m) ;
 z ——置换层、加固土层的厚度 (m) ;
 θ ——压力扩散角 (°), 可按表5确定。

6.2.4.4 低填、浅挖路基采用浅层处理, 应满足 JTG D30 中对路床 CBR 的要求、JTG D50 和 JTG D40 对土基回弹模量 M_R 的要求。

6.2.4.5 路面结构下土基回弹模量可根据加固土层抗压模量及下卧层回弹模量采用等效法验算, 现场可采用落锤式弯沉仪、实测 CBR 经换算得到, 或与承载板法或贝克曼梁法等测得的静回弹模量之间建立经验关系得到。

6.2.4.6 对置换层下存在软弱土层的地基, 应按式(7)~式(9)进行沉降验算。

$$S = S_{zh} + S_u \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$S_{zh} = \left(\frac{p_k + \alpha p_k}{2} z \right) / E_s \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$S_u = \sum_{i=1}^n \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} H_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{si}} H_i \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

S ——总沉降 (mm) ;
 S_{zh} ——置换层自身的变形值 (mm), 仅考虑其自身的压缩变形, 按式(8)简化计算;
 S_u ——置换层下压缩层范围内各土层压缩变形之和 (mm), 可用分层总和法按式(9)计算;
 p_k ——置换层顶面的平均压力设计值 (kPa) ;
 α ——平均压力扩散系数, 按表6确定;
 z ——置换层的厚度 (mm) ;
 E_s ——置换层压缩模量 (MPa), 宜由载荷试验确定;
 e_{1i} ——根据第*i*分层的自重应力平均值, 从压缩曲线上得到的相应孔隙比;
 e_{2i} ——根据第*i*分层的自重应力平均值与附加应力平均值之和, 从压缩曲线上得到的相应孔隙比;

Δp_i ——第*i*分层土的附加应力平均值（kPa）；
 H_i ——第*i*分层土的厚度（m）；
 E_{si} ——第*i*分层土的压缩模量（MPa）。

表6 平均压力扩散系数 α

2z/b	L/b											
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	10.0	条形
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.2	0.994	0.995	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
0.4	0.960	0.968	0.972	0.974	0.975	0.976	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977
0.6	0.892	0.910	0.920	0.926	0.930	0.932	0.936	0.936	0.937	0.937	0.937	0.937
0.8	0.800	0.830	0.848	0.859	0.866	0.870	0.878	0.880	0.881	0.881	0.881	0.881
注：L-置换层长度（m）；b-置换层宽度（m）；z-置换层厚度（m）												

6.2.4.7 置换层的承载力宜通过现场载荷试验确定，并进行下卧层承载力的验算。当缺乏资料时，置换层的承载力可按表 7 选用。

表7 置换层的承载力

置换材料	承载力特征值（kPa）
碎石	200~300
砂夹石（其中碎石占全重的 30 %~50 %）	200~250
土夹石（其中碎石占全重的 30 %~50 %）	150~200
中砂、粗砂、砾砂、圆砾、角砾	150~200
掺灰土	200~250

6.2.4.8 置换层的最小压实度应不小于相同层次的路基填料压实控制标准。

6.3 施工要求

6.3.1 排水垫层及浅层置换施工要求如下：

- a) 施工机械、分层摊铺厚度及压实遍数等宜通过试验确定，一般情况下分层铺填厚度为 0.2 m~0.3 m，接触下卧软土层的垫层首次铺设厚度宜根据施工机械设备要求确定；
- b) 施工质量检验应分层进行，每层的压实度满足设计要求后方可填筑上层土。

6.3.2 碎石、砂砾垫层施工要求如下：

- a) 施工中应控制最佳含水率，并采用机械碾压；
- b) 不应扰动垫层下卧软土层；
- c) 砂砾、碎石层的底面宜铺设在同一高程上，如不在同一平面，宜采用台阶或斜坡方式连接。

6.3.3 水泥稳定土（拌和法）加固层施工要求如下：

- a) 水泥稳定用土颗粒的最大粒径不宜超过 50 mm，宜选用塑性指数小于 17 的土。应通过配合比试验确定水泥剂量（水泥剂量=水泥质量/干土质量），宜不小于 3 %；
- b) 稳定土碾压的松铺厚度和分层压实厚度应事先通过试验确定；
- c) 对人工摊铺的土层整平后，用轻型压路机进行碾压，使其表面平整，并满足压实度要求；
- d) 拌和深度应达稳定层底并宜侵入下承层 5 mm~10 mm，以利上下层黏结；

- e) 洒水及拌和过程中,应及时检查混合料的含水率。宜比最佳含水率大1%~2%;
- f) 经过拌和、整形的水泥稳定土,宜在水泥初凝前并应在试验确定的延迟时间内完成碾压,并达到要求的密实度,同时没有明显的轮迹。

6.3.4 石灰稳定土(拌和法)加固层施工要求如下:

- a) 土料宜选用粉质黏性土,不宜使用块状黏土和砂质粉土,不得含有松软杂质,其最大粒径不宜大于15 mm;
- b) 施工前应先施作排水设施,施工期间作业面不应积水;
- c) 灰土应拌和均匀,严格控制含水率在最优含水率±2%的范围,拌好的灰土宜当日铺填压实;当土料中水分过多或不足时,应晾干或洒水润湿;
- d) 分段施工时,上下两层的施工缝应错开不小于0.5 m,接缝处应夯压密实;
- e) 灰土垫层应分层铺填碾压,虚铺厚度不宜大于0.3 m;
- f) 灰土垫层压实后3 d内不得受水浸泡;
- g) 灰土垫层验收合格后,应及时填筑路堤或作临时遮盖。刚填筑完毕或未经压实而遭受雨淋浸泡时,应视其影响程度进行处理,必要时掺灰拌和重新铺筑。

6.3.5 抛石挤淤施工要求如下:

- a) 当横坡缓于1:10时,应沿路线中线向前成等腰三角形抛填,渐次向两侧对称抛填至全宽,将淤泥挤向两侧;
- b) 当横坡陡于1:10时,应自高向低张开抛填,并在低侧边部多抛形成不小于2 m宽的平台;
- c) 当抛石高出水面后用小石块填塞平整,用重型压路机碾压,其上铺设反滤层,再进行路基填筑;
- d) 不得在施工完抛石挤淤的垫层上直接填筑路基,应增设一层土工合成材料加筋垫层来改善路基底部的受力性能。

6.3.6 就地固化施工要求如下:

- a) 施工前,应进行室内配合比试验,并选取典型路段作为试验段进行试搅,以确定施工最佳配合比、施工参数和施工工艺,试验路段面积不宜小于30 m²;
- b) 根据土体情况、施工条件和环保要求合理选用干法施工或湿法施工,应尽量避免雨季施工;
- c) 宜采用边固化边推进的方式,固化剂与处理深度范围内的原状土应搅拌均匀,各搅拌区块之间应有不小于0.05 m的复搅搭接宽度。

6.4 质量检验

6.4.1 压实度检测方法按JTG F80/1进行,检测频率按每200 m每压实层测4处控制。

6.4.2 加固土强度不应小于设计要求。

6.4.3 处理宽度和深度不应小于设计要求。

6.4.4 弯沉或回弹模量应满足设计要求。

7 土工合成材料加筋

7.1 一般规定

7.1.1 主要适用于结合不同软基处理方式的加筋垫层。

7.1.2 常用类型及选用原则如下:

- a) 土工合成材料的常用类型主要有编织土工布、复合土工布、塑料土工格栅、经编土工格栅、整体式钢丝土工格栅、钢塑土工格栅、土工格室等;
- b) 土工合成材料加筋布置设计示意图见图2;

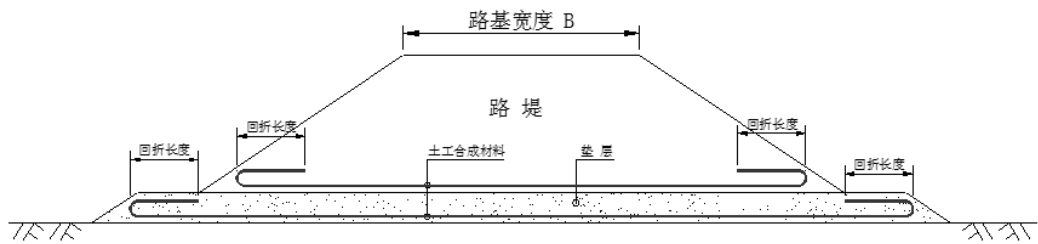


图2 土工合成材料加筋布置设计示意图

c) 土工合成材料的工程特性和适用范围见表 8。

表8 土工合成材料工程特性和适用范围

材料名称	材料工程特性	适用范围
编织土工布	抗拉强度和顶破强度范围广；反滤性较好，渗透性好；未经特殊处理，则抗紫外线能力低，如不直接暴露，抗老化及耐久性较好。	一般适用于排水固结法处理软基的路段，起到隔离不同填料、改善排水通道及均衡地基受力的作用。
复合土工布	抗拉强度和顶破强度较高；延伸率相对较大，蠕变性较小；渗透性和反滤性好；抗紫外线能力、抗老化及耐久性较好。	一般与排水固结法联合处理软土地基或直接作为加筋和隔离材料使用，不适用于复合地基路堤、高路堤的加筋处理。
塑料土工格栅	抗拉强度较高，延伸率中等；节点采用熔接工艺，强度较高；与填料结合效果尚可；蠕变性较大，耐久性一般。	一般适用于排水固结法、水泥搅拌桩或桩承式加筋路堤的加筋材料。
经编土工格栅	抗拉强度高，延伸率较小；节点采用定向编织网格，强度较高；抗撕裂强度大，与填料结合力较强。蠕变性较大，耐久性较好。	一般适用于排水固结法、水泥搅拌桩或桩承式加筋路堤的加筋材料。
整体式钢丝土工格栅	抗拉强度高，延伸率小；节点采用钢丝焊接工艺，节点强度高；蠕变性小，耐久性好。	一般适用于桩承式加筋路堤的加筋材料。
钢塑土工格栅	抗拉强度高，延伸率小；节点采用超声波焊接工艺，节点强度相对较低；蠕变性小，抗冻性好，耐久性一般。	一般适用于水泥搅拌桩或桩承式加筋路堤的加筋材料；但施工过程中节点与表面镀塑易受损，垫层宜采用砂砾、灰土材料。
土工格室	抗拉强度高；节点采用强力焊接工艺，节点强度较高；延伸率较大，抗化学性能优，耐久性好，对施工控制及压实要求较高。	一般适用于加筋垫层，排水垫层中不宜采用。

7.2 设计

7.2.1 材料要求

7.2.1.1 软基处理中采用土工合成材料对路堤进行加筋，常用的主要技术指标有抗拉强度、延伸率、焊接（接缝）强度、界面摩擦系数及耐久性。

7.2.1.2 土工合成材料主要用于加筋时，宜选用强度高、变形小且界面粗糙的土工格栅类；用于反滤、隔离、排水同时兼顾加筋目的时，宜选用渗透性好、有效孔径适宜，拉伸断裂强度大、界面粗糙度大的土工合成材料类，具体如下：

a) 浅层处理：可选用编织土工布、复合土工布、塑料土工格栅、经编土工格栅、土工格室；

- b) 排水固结处理：可选用编织土工布、复合土工布、塑料土工格栅、经编土工格栅；
- c) 水泥搅拌桩：可选用塑料土工格栅、经编土工格栅、钢塑土工格栅、土工格室；
- d) 桩承式加筋路堤：可选用钢塑土工格栅、整体式钢丝土工格栅。

7.2.1.3 用于加筋的土工合成材料，宜要求延伸率不大于 15 %；加筋土工合成材料除整体式钢丝土工格栅及土工格室外，宜在端部回折反包上一填筑层，回折长度不宜小于 2.0 m。

7.2.1.4 土工合成材料的设计抗拉强度 T_{gc} ，按式（10）计算并符合 7.2.1.5 规定。

$$T_{gc} = \frac{T_s}{RF} = \frac{T_s}{(RF_{CR} \times RF_D \times RF_{ID})} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- T_{gc} ——土工合成材料的设计抗拉强度（kN/m）；
- T_s ——土工合成材料的极限抗拉强度（kN/m），按JTG E50试验确定；
- RF ——总折减系数，一般取2.0~5.0；
- RF_{CR} ——蠕变折减系数；
- RF_D ——老化折减系数；
- RF_{ID} ——施工损伤折减系数。

7.2.1.5 土工合成材料的设计抗拉强度还应满足以下要求：

- a) 若根据式（10）计算得到的 T_{gc} 大于土工合成材料延伸率为 5%时对应的拉力值，采用延伸率 5% 时的拉力值作为设计抗拉强度；
- b) 用于加筋的土工合成材料的设计抗拉强度不宜小于 25 kN/m。

7.2.1.6 土工织物最低强度还应满足表 9 的要求。

表9 土工织物最低强度 单位：kN

刺破强度	梯形撕裂强度	CBR 顶破强度
≥0.5	≥0.3	≥2.5

7.2.1.7 土工合成材料与路堤填料接触的界面摩擦系数 f_{gs} ，应符合以下规定：

- a) 对高速公路、一级公路、二级公路的施工图，应采用 JTG E50 规定的拉拔摩擦特性试验或直剪摩擦特性试验确定；
- b) 其他等级公路，或高速公路、一级公路、二级公路的初步设计，可由式（11）、式（12）确定，或参照表 10 取值。

土工织物： $f_{gs} = 0.667tg\varphi_q \dots\dots\dots (11)$

土工格栅： $f_{gs} = 0.9tg\varphi_q \dots\dots\dots (12)$

式中：

- f_{gs} ——土工合成材料与路堤填料接触的界面摩擦系数；
- φ_q ——对无黏性土取土体直接快剪内摩擦角；对黏性土取考虑黏聚力影响的综合内摩擦角。

表10 界面摩擦系数参考值

筋材种类	细粒土（黏性土）	粗粒土（砂类土）	巨粒土（碎石土）
土工格栅等非金属类材料	0.25~0.40	0.35~0.45	0.40~0.50
钢丝（筋）网等金属材料	0.30~0.50	0.45~0.65	0.60~0.90

7.2.1.8 土工合成材料应具有抗腐蚀性、抗老化性及较好的保护层等。

7.2.2 设计计算

7.2.2.1 土工合成材料的铺设层数、铺设方式、铺设范围，应通过对加筋路堤稳定性计算、平面滑动稳定性计算确定。

7.2.2.2 加筋路堤整体稳定性，可采用圆弧滑动法按式（13）进行计算，计算时应假设若干个穿越地基土的滑弧，以求得最小安全系数和相应的临界滑动面，圆弧滑动法稳定验算示意图见图 3。

$$F_B = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \theta_i \tan \phi_{qi} + c_{qi} \Delta l_i) R_i + \sum_{i=1}^m (T_i Y_i + T_i \tan \phi_{qi} X_i)}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i) R_i} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

F_B ——整体稳定安全系数；

W_i ——第*i*土条重（kN/m）；

θ_i ——第*i*条滑弧的仰角（°）；

c_{qi} 、 ϕ_{qi} ——第*i*土条底土体黏聚力（kPa）和内摩擦角（°），由直接快剪试验确定；

Δl_i ——第*i*条滑弧的弧长（m）；

R_i ——滑弧半径（m）；

T_i ——第*i*层土工合成材料设计抗拉强度（kN/m）；

Y_i ——第*i*层土工合成材料距滑弧圆心的垂直高度（m）；

X_i ——第*i*土条中心距滑弧圆心的水平距离（m）；

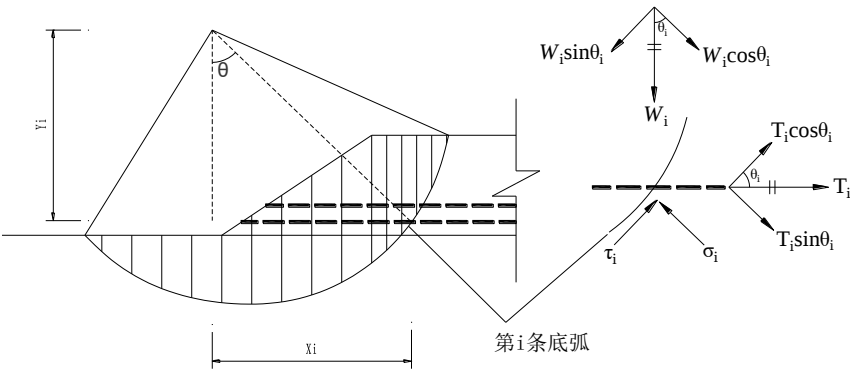


图3 圆弧滑动法稳定验算示意图

7.2.2.3 薄层软土的水平抗滑稳定安全系数可采用式(14)～式(15)计算,水平滑动稳定验算示意图见图4。

$$F_s = \frac{2(Lc_u + T_{gc})}{K_a \gamma_1 H^2} \geq 1.3 \dots \dots \dots (14)$$

$$K_a = \tan^2(45 - \varphi' / 2) \dots \dots \dots (15)$$

式中:

- F_s ——水平抗滑稳定安全系数;
- L ——路堤边坡宽度(m);
- c_u 、 φ_u ——薄层软土的不排水剪切强度(kPa)和内摩擦角($^\circ$);
- T_{gc} ——土工合成材料的设计抗拉强度(kN/m);
- K_a ——主动土压力系数;
- γ_1 ——路堤填料的容重(kN/m^3);
- H ——路堤高度(m);
- c' 、 φ' ——路堤填料的黏聚力(kPa)和内摩擦角($^\circ$)。

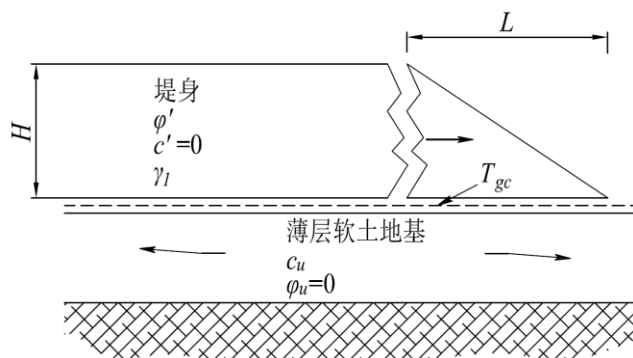


图4 薄层软土水平滑动稳定验算示意图

7.3 施工要求

7.3.1 土工合成材料不宜直接铺设在地面上,应进行现场清理,并在地表铺设0.2m~0.4m砂砾垫层或其他透水性较好的均质土料后,再铺设土工合成材料。在距土工合成材料层80mm以内的路堤填料,其最大粒径不得大于60mm,不应有尖锐棱角。

7.3.2 加筋路堤采用多层土工合成材料时,层间距不宜小于单层填土最小压实厚度,且不得大于0.6m。

7.3.3 土工合成材料在铺设时,宜将强度高的方向置于垂直路堤轴线方向。用人工或张紧设备拉紧土工合成材料,使之不出现皱褶,并紧贴于填料上。铺后用销钉固定土工合成材料,以防止发生移动或松弛。

7.3.4 土工合成材料搭接宽度不得小于0.3m,采用专用塑料扣或小铁丝等固定;采用缝接时,缝接宽度不宜小于0.1m,缝接强度应不低于土工合成材料的抗拉强度。多层土工合成材料的上下层接缝应错开,错开长度应大于0.5m。土工合成材料需端部回折时,最小回折长度不宜小于2.0m。

7.3.5 土工格室施工时应进行充分拉展,使格室中线与路线中线重合;纵横向的搭接必须紧密拼接固定,形成整体。铺设好后应及时回填填料,并严格控制填料粒径和级配;距边线0.8m~1.0m范围内的回填,应人工摊铺填实后,采用轻型压路机碾压,碾压时宜先从两侧碾压,然后再碾压中线部位,以保证格室不倾倒。

7.3.6 路堤填筑时，应采用后卸式卡车沿土工合成材料两侧边缘倾卸填料，以形成运土的交通便道，并将土工合成材料张紧。填料不允许直接卸在土工合成材料上面；卸土堆载高度不宜大于 1.0 m，以免造成局部承载能力不足。卸土后应立即摊铺，以免出现局部下陷。

7.3.7 填成施工通道后，再由两侧向中心平行于路堤中线对称填筑，宜保持填土施工面呈“U”形。第一层填料宜采用推土机或其他轻型压实机具进行压实；仅当已填筑压实的初始层厚度大于 0.6 m 后，才能采用重型压实机械压实。

7.3.8 施工设备作业方向与路堤中线平行，在第一层填料上不得转弯、随意急刹车等。若车辙深度大于 80 mm，应选用小型设备进行施工。

7.3.9 土工合成材料铺设过程中应注意防晒，铺设完毕应及时填筑覆盖，暴露时间不宜大于 24 小时。

7.4 质量检验

土工合成材料应满足设计文件所要求的设计指标，施工过程中的检查验收应满足 JTG/T D32 相关条款的要求，施工完成后的质量检验应满足 JTG F80/1 相关条款的要求。

8 排水固结法

8.1 一般规定

8.1.1 适用范围如下：

- 深度小于 5.0 m 的软土，可采用天然地基堆载预压处理；深度大于 5.0 m 的软土，宜采用竖向排水体堆载预压处理，处理深度不宜超过 30 m；
- 含水量大于 60 % 且塑性指数大于 25 的淤泥、有机质土、泥炭土和其它次固结变形占很大比例的土应慎重采用；
- 天然地基堆载预压时间少于 8 个月或采用竖向排水体堆载预压时间少于 12 个月时不宜采用；
- 路基填筑高度大于 5.0 m 时不宜采用。

8.1.2 常用形式和总体要求如下：

- 按加载方式的不同，分为堆载预压、真空预压、真空联合堆载预压等；按加载与设计荷载的关系，分为等载预压、超载预压；
- 构造物相邻路段宜采用超载预压，超载的高度宜为填高的 20 % ~ 40 %；
- 填方较高且施工期无法满足预压期要求的堆载预压路段可采用真空联合堆载预压；
- 为提高路堤的整体稳定性和垫层的排水性能，可在水平排水垫层中设置土工合成材料。

8.1.3 应考虑处理对邻近构筑物、地下管线等产生附加沉降的影响，必要时应采取保护措施。

8.2 设计

8.2.1 排水固结法设计前应预先查明地基土层的类别、结构性特点、分布和透水层位置，并通过现场原位测试和室内试验提供设计所需的物理力学指标。

8.2.2 竖向排水体的选用要求如下：

- 竖向排水体宜优先选用塑料排水板。塑料排水板芯板应采用聚乙烯或聚丙烯新料制成，不得采用再生塑料；其滤膜应采用高强度和良好渗透性及反滤性的热轧或热熔无纺布。塑料排水板应选用可测深式塑料排水板；
- 采用真空预压处理时，宜选用 0.15 m 宽的大通水量塑料排水板；
- 塑料排水板应具有足够的抗拉强度和垂直排水能力，性能应满足使用要求。

8.2.3 竖向排水体的布置应满足以下要求：

- a) 排水体宜按等边三角形布置，也可按正方形布置，见图 5；

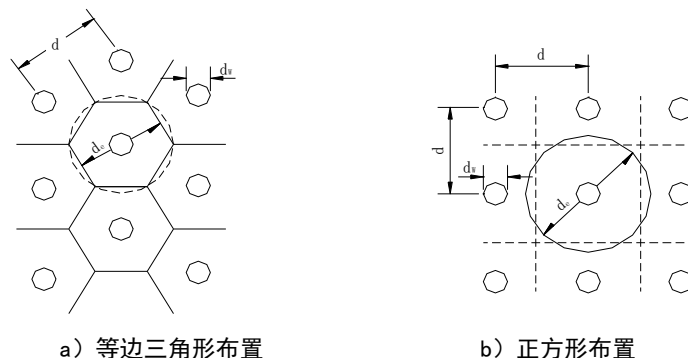


图5 排水体的布置形式

- b) 设计计算时，将排水体近似用直径为 d_e （有效排水直径）的圆柱体来代替， d_e 与排水体间距 d 的关系按式（16）、式（17）计算。

$$\text{等边三角形布置} \quad d_e = 1.05d \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{正方形布置} \quad d_e = 1.128d \dots\dots\dots (17)$$

式中：

d_e ——有效排水直径（cm）；

d ——排水体间距（cm）。

- 8.2.4 塑料排水板的等效直径 d_w 按式（18）计算。

$$d_w = \frac{2(b + \delta)}{\pi} \dots\dots\dots (18)$$

式中：

b ， δ ——塑料排水板的宽度（cm）和厚度（cm）。

- 8.2.5 竖向排水体的设计间距应满足工程设计对固结度的要求。塑料排水板的设计间距宜在 1.0 m～1.5 m 内选用。

- 8.2.6 竖向排水体的打设深度应根据工程允许工后沉降量通过计算确定。当软土层厚度小于 20 m 时，宜打穿软土层；当下卧层有透水层且采用真空预压处理时，竖向排水体宜打设到距透水层顶部 1.0 m 的软土中。

- 8.2.7 竖向排水体的固结度计算应满足以下要求：

- a) 排水固结法的总沉降和工后沉降分别按式（1）、式（3）计算；
b) 瞬时加载条件下竖向和径向共同引起的地基平均固结度可按式（19）计算；

$$\bar{U}_{rz} = 1 - (1 - \bar{U}_z)(1 - \bar{U}_r) \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$\bar{U}_{rz}$ ——地基平均固结度（%）；

$\bar{U}_z$ ——竖向排水固结度（%）；

$\bar{U}_r$ ——径向排水固结度（%）。

当 $\bar{U}_{rz} > 30\%$ 时,可按式(20)简化计算:

$$\bar{U}_{rz} = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\beta \cdot t} \dots\dots\dots (20)$$

式中:

β ——固结指数(1/s);

t ——固结时间(s)。

c) 固结指数 β 可按式(21)~式(23)计算:

$$\beta = \frac{\pi^2 C_v}{4H^2} + \frac{8C_h}{(F_n + J + \pi G)d_e^2} \dots\dots\dots (21)$$

$$F_n = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \dots\dots\dots (22)$$

$$n = \frac{d_e}{d_w} \dots\dots\dots (23)$$

式中:

β ——固结指数(1/s);

C_h, C_v ——径向和竖向固结系数(cm^2/s);

H ——土层竖向排水距离(cm),单面排水时取压缩层的厚度,双面排水时取压缩层厚度的一半;

J ——涂抹因子;

G ——井阻因子;

d_e ——有效排水直径(cm);

F_n ——与井径比相关的系数;

n ——井径比;

d_w ——竖向排水体等效直径(cm)。

d) 软土地基上路堤应分级填筑,分级加载时应对式(19)计算的地基平均固结度进行修正,常用的两种修正方法是改进的太沙基法和改进的高木俊介法;

e) 当竖向排水体未打穿整个软土层时,整个压缩土层的平均固结度可按式(24)、式(25)计算。

$$\bar{U} = \lambda \bar{U}_{rz} + (1 - \lambda) \bar{U}_z' \dots\dots\dots (24)$$

$$\lambda = \frac{H_1}{H_1 + H_2} \dots\dots\dots (25)$$

式中:

$\bar{U}$ ——压缩土层的平均固结度(%);

λ ——竖向排水体打设深度与整个压缩层厚度的比值;

$\bar{U}_{rz}$ ——竖向排水体打设深度范围内土层的平均固结度(%),可按式(19)计算;

$\bar{U}_z'$ ——竖向排水体以下压缩层范围土层的平均固结度(%);

H_1 ——竖向排水体打设深度范围内的土层厚度(cm);

H_2 ——竖向排水体以下压缩层范围内土层厚度(cm)。

8.2.8 采用排水固结法处理的路堤进行稳定性计算时，应考虑软土的抗剪强度因固结而增长以及高灵敏度软土的抗剪强度因扰动而降低等情况。计算方法一般采用瑞典圆弧滑动法中的有效固结应力法、改进总强度法，也可采用简化 Bishop 法、Janbu 普通条分法。

8.2.9 真空联合堆载预压设计应满足以下要求：

- a) 真空联合堆载预压处理公路软基时，抽真空时间：对高速公路、一级公路应不小于 6 个月，联合预压时间不小于 4 个月；二级及以下公路，抽真空时间不小于 4 个月，联合预压时间不小于 3 个月；
- b) 真空联合堆载预压下地基沉降计算时，可将膜下真空度视为等效荷载，同时应考虑因抽真空对土体侧向收缩的影响，沉降综合修正系数 $m_s=0.9\sim 1.2$ ；
- c) 当填土高度超过极限填筑高度时，应进行地基的稳定验算，分析时可采用真空力矩增加法，即在真空加固范围内的土条上增加一真空抗滑力矩，按式（26）计算。

$$M_{\text{真空}} = P_{vi} \cdot U_i \cdot \tan \varphi \cdot R \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中：

- $M_{\text{真空}}$ ——真空抗滑力矩（kN/m）；
- P_{vi} ——滑弧对应*i*土条底的真空负压力（kPa）；
- U_i ——地基固结度（%）；
- φ ——地基土的内摩擦角（°）；
- R ——滑弧半径（m）。

8.3 施工要求

8.3.1 塑料排水板应通过试打确定实际打设长度和打设施工参数，塑料排水板顶端埋入排水垫层的长度不应小于 0.5 m。

8.3.2 堆载预压的施工工艺应满足下列要求：

- a) 铺设排水垫层厚度应均匀，表面平整；排水垫层应选用中砂、粗砂或砂砾，厚度不宜小于 0.5 m，含泥量不应大于 5 %，渗透系数大于 5×10^{-2} cm/s；
- b) 施工时应注意做好临时排水系统，保证排水畅通；
- c) 在天然地基的极限填筑高度以下，可快速分层填筑；填土高度大于极限填筑高度后，应结合动态监测，严格控制填筑速率。

8.3.3 真空联合堆载预压的施工工艺应满足下列要求：

- a) 在砂垫层中沿水平方向设置滤水管，在预压过程中滤水管应能适应地基变形；
- b) 密封膜宜采用 2 层～3 层聚乙烯或聚氯乙烯薄膜，单层密封膜的技术要求应满足表 11 的要求，密封膜周边应开挖压膜沟，压膜沟深度应不小于不透水层、不透气层顶面以下 0.5 m；

表11 单层密封膜技术指标

最小抗拉强度(MPa)		最小断裂延伸率 (%)	最小直角撕裂强度 (kN/m)	厚度 (mm)
纵向	横向			
18.5	16.5	220	40	0.12~0.16

- c) 当加固区周边或表层土有透水层或透气层时，应采用黏土密封墙将其封闭；

- d) 安装抽真空设备，联接抽气管道，真空泵的设置应根据预压区大小、真空泵的功率及工程经验确定，可参照 900 m²/台泵~1 100 m²/台泵布置；
- e) 在加固区范围内抽真空，当膜内真空度保持在 85 kPa 以上，5 d~10 d 后开始填筑堆载，进行真空堆载联合预压；
- f) 膜内真空度应保持在 85 kPa 以上，当固结度大于 70 %后，可逐步均匀减少抽真空设备，但停泵数不得大于总泵数的 1/3；
- g) 密封膜上应覆盖土工布，以保护密封膜；
- h) 宜采用物联网技术加强真空度监测。

8.4 质量检验

- 8.4.1 塑料排水板的滤膜表面应有生产厂家的企业标志和产品编码，标识间距可为 0.2 m~0.5 m，不应大于 1.0 m。
- 8.4.2 同批次生产的塑料排水板，每 2×10⁵m 检测一次。小于 2×10⁵m 的按 2×10⁵m 计；不同批次生产的塑料排水板应分批次检测，同批次生产分批运输的也应分批次检测，塑料排水板的外观质量和性能指标应满足设计要求。
- 8.4.3 塑料排水板的检测频率和检验标准应满足表 12 的要求。

表12 塑料排水板施工质量检验项目

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	板距	±150 mm	尺量，抽检 2 %且不少于 5 点
2	板长	不小于设计值	查施工记录
3	垂直度	1.5 %	查施工记录

9 水泥搅拌桩

9.1 一般规定

- 9.1.1 适用范围如下：
- a) 适用于十字板抗剪强度不小于 10 kPa 的软土地基；当有机质含量大于 5 %、塑性指数大于 25 或地下水具有中等及以上腐蚀性时不宜采用；
 - b) 含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土、硬塑及坚硬的黏性土、密实的砂土，以及地下水呈流动状态的土层不应采用；
 - c) 路基填土高度不宜大于 6 m；
 - d) 处理深度不宜大于 10 m，桩长超过 10 m 时应通过试桩确定设备的动力功率、注浆压力、钻进及提升速率等工艺性指标。
- 9.1.2 常用形式及总体要求如下：
- a) 水泥搅拌桩分为粉体喷射搅拌桩（简称粉喷桩）和浆液喷射搅拌桩（简称浆喷桩）两种；
 - b) 水泥搅拌桩应采用双向搅拌工艺。

9.2 设计

- 9.2.1 材料要求如下：

- a) 固化剂宜选用强度等级在 42.5 级及以上的普通硅酸盐水泥；
- b) 外加剂种类和掺量应根据不同土质条件和工程要求通过试验确定。外加剂种类主要有木质素磺酸钙、石膏、三乙醇胺等。

9.2.2 应用水泥搅拌桩前应进行室内配合比试验，选择合适的固化剂、外掺剂及其掺量，提供不同龄期、配合比的强度参数。

9.2.3 水泥掺入比以 10 %~20 %为宜，浆喷桩的水泥浆水灰比可选用 0.45~0.55。水泥搅拌桩桩径为 0.5 m 时水泥掺入量与土样天然含水率的对应关系可参考表 13。

表13 水泥掺入量与土样天然含水率对应关系参考值

天然含水率(%)	水泥掺入量 (kg/m)
≤50	40~55
50~70	50~65
>70	60~70

9.2.4 桩体布置应满足以下要求：

- a) 水泥搅拌桩直径、深度及间距应经稳定验算确定并满足工后沉降的要求；
- b) 桩径不应小于 0.5 m；
- c) 桩的深度宜穿透软土层到达承载力相对较高的土层（静力触探锥尖阻力不宜小于 800 kPa），提高抗滑稳定性而设置的搅拌桩，其桩长应超过危险滑弧面以下不小于 2 m；
- d) 桩在平面上可按等边三角形、正方形或矩形布置，相邻桩的净距不宜大于 2.5 倍桩径。

9.2.5 桩体抗压强度宜按 90 d 龄期无侧限抗压强度进行设计。现场检测可在成桩 28 d 后进行，其无侧限抗压强度平均值应不小于 1.0 MPa，桩长≤10 m 时桩体抗压强度最小值应不小于 0.6 MPa，桩长>10 m 时桩体抗压强度最小值应不小于 0.5 MPa。

9.2.6 水平加筋垫层应满足以下要求：

- a) 水泥搅拌桩复合地基应在路基和桩之间设置水平加筋垫层，其厚度宜为 0.3 m~0.5 m；
- b) 垫层材料可选用级配碎石、砂砾或掺灰土，垫层材料最大粒径不宜大于 0.1 m；
- c) 水平加筋体材料可选用钢塑土工格栅或经编土工格栅，应满足延伸率≤5 %时抗拉强度≥80 kN/m 的要求。

9.2.7 水泥搅拌桩复合地基设计计算应满足路堤稳定性、沉降及承载力的要求。

9.2.7.1 路堤整体稳定性验算可采用圆弧滑动法，滑动面上的复合地基抗剪强度 τ_{ps} 按式(27)、式(28)计算。

$$\tau_{ps} = m\tau_p + (1-m)\tau_s \dots\dots\dots (27)$$

$$m = \frac{D^2}{d_e^2} \dots\dots\dots (28)$$

式中：

- τ_{ps} ——复合地基抗剪强度(kPa)；
- m ——复合地基置换率；
- τ_p ——桩体的抗剪强度(kPa)；
- τ_s ——地基土的抗剪强度(kPa)；
- D ——桩身平均直径(m)；

d_e ——每根桩分担地基处理面积的等效圆直径(m)，按式(29)～式(31)确定；

$$\text{等边三角形布桩} \quad d_e = 1.05d_1 \dots\dots\dots (29)$$

$$\text{正方形布桩} \quad d_e = 1.128d_1 \dots\dots\dots (30)$$

$$\text{矩形布桩} \quad d_e = 1.128\sqrt{d_2d_3} \dots\dots\dots (31)$$

式中：

d_1 、 d_2 、 d_3 ——分别为桩间距(m)、矩形布桩时的纵向间距(m)和横向间距(m)。

9.2.7.2 桩体的抗剪强度 τ_p ，可钻取试验路段水泥土 90 d 原状试件测无侧限抗压强度，按其一半计算；也可按设计配合比由室内制备的水泥土试件（直径 50 mm、高度 100 mm 的圆柱体）测得的 90 d 无侧限抗压强度乘以 0.3 的折减系数求得；初步设计阶段可采用 96 h 高温养生无侧限抗压强度代替 90 d 无侧限抗压强度。

9.2.7.3 水泥搅拌桩复合地基的沉降量按加固区沉降量 S_1 和下卧层沉降量 S_2 两部分计算。

9.2.7.4 加固区沉降量 S_1 采用复合压缩模量法，按式(32)～式(34)计算。

$$S_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{psi}} \Delta h_i \dots\dots\dots (32)$$

$$E_{psi} = mE_p + (1 - m)E_{si} \dots\dots\dots (33)$$

$$E_p = 83.4q_u \dots\dots\dots (34)$$

式中：

S_1 ——加固区沉降量(mm)；

Δp_i ——加固区第*i*层土的平均附加应力值(kPa)；

E_{psi} ——加固区第*i*层土的复合压缩模量(MPa)；

Δh_i ——加固区第*i*层土厚度(mm)；

E_{si} ——加固区第*i*层土压缩模量(MPa)；

m ——复合地基置换率；

E_p ——桩体压缩模量(MPa)，应通过实测确定，无实测资料时可按式(34)计算确定；

q_u ——90 d龄期的水泥土无侧限抗压强度。

9.2.7.5 下卧层沉降量 S_2 可按式(35)计算，下卧层顶部附加应力 P_b 可采用等效实体法按式(36)计算，等效实体法计算简图见图6。

$$S_2 = \psi \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_{bi}}{E_{si}} \Delta h_i \dots\dots\dots (35)$$

$$P_b = \frac{BLp - (2B + 2L)hf}{BL} \dots\dots\dots (36)$$

式中：

S_2 ——下卧层沉降量(mm)；

ψ ——下卧层沉降计算经验系数，无经验时可取1.1～1.2；

Δp_{bi} ——下卧层顶部附加应力 P_b 引起的下卧层第*i*层土体的附加应力增量(kPa)；

E_{si} ——下卧层第*i*层土体的压缩模量(MPa)；

Δh_i ——下卧层第*i*层土体的厚度(mm)；

- p_b ——下卧层顶部附加应力(kPa)；
- B 、 L ——加固区范围内路堤荷载作用的宽度(m)和长度(m)；
- p ——路堤荷载引起的加固区顶面平均附加应力值(kPa)；
- h ——加固区厚度(m)；
- f ——桩侧摩阻力(kPa)，可取桩土极限摩阻力的一半。

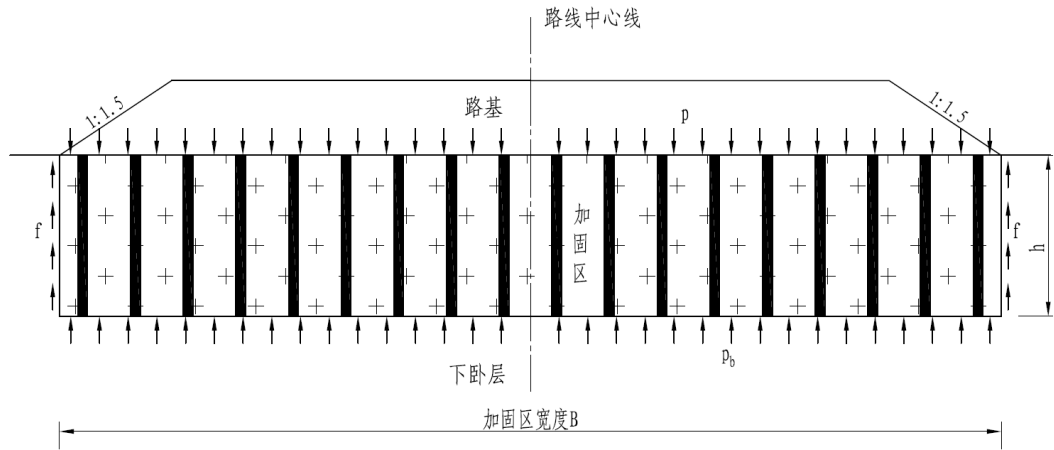


图6 等效实体法计算简图

9.2.7.6 单桩竖向承载力特征值可通过现场载荷试验确定；设计时可按式(37)及式(38)计算，并取其中较小值。

$$R_a = U_p \sum q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \dots\dots\dots (37)$$

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \dots\dots\dots (38)$$

式中：

- R_a ——单桩竖向承载力特征值(kN)；
- U_p ——桩的周长(m)；
- q_{si} ——桩周第*i*层土的侧摩阻力特征值(kPa)。对淤泥可取4 kPa~7 kPa；对淤泥质土可取6 kPa~12 kPa；对软塑状态的黏性土可取10 kPa~15 kPa；对可塑状态的黏性土可取12 kPa~18 kPa；
- l_i ——桩长范围内第*i*层土的厚度(m)；
- α ——桩端天然地基土的承载力折减系数，可取0.4~0.6，承载力高时取低值；
- q_p ——桩端地基土未经修正的承载力特征值(kPa)，可由载荷试验、原位测试或工程经验确定；
- A_p ——桩的截面面积(m²)；
- η ——桩身强度折减系数，粉喷桩可取0.2~0.3，浆喷桩可取0.25~0.33；
- f_{cu} ——与搅拌桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块(边长70.7 mm或50 mm的立方体)在标准养护条件下90 d龄期的抗压强度平均值(kPa)；

9.2.7.7 水泥搅拌桩复合地基承载力特征值，可通过现场单桩或多桩复合地基载荷试验确定，设计时也可按式(39)估算。

$$f_{spk} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m) f_{sk} \dots\dots\dots (39)$$

式中：

- f_{spk} ——复合地基承载力特征值 (kPa)；
- m ——复合地基置换率；
- R_a ——单桩竖向承载力特征值 (kN) ；
- A_p ——桩的截面面积 (m²)；
- β ——桩间土承载力折减系数，当桩端土未经修正的承载力特征值大于桩周土的承载力特征值的平均值时，可取0.1~0.4，差值大时取低值；当桩端土未修正的承载力特征值小于或等于桩周土的承载力特征值的平均值时，可取0.5~0.9，差值大时或设置垫层时均取高值；
- f_{sk} ——桩间土承载力特征值 (kPa)，可取天然地基承载力特征值。

9.3 施工要求

- 9.3.1 在靠近城区及村镇等环保要求较高路段时应采取必要的环保措施。
- 9.3.2 水泥搅拌桩施工现场应预先平整，清除地上和地下的障碍物。遇到明浜、池塘及洼地时，可回填细粒土并整平或就地固化形成硬壳层。
- 9.3.3 水泥搅拌桩施工前应进行工艺性成桩试验，试验桩数不少于 5 根，并取得以下技术参数和技术要求：
 - a) 满足设计掺入量的各种技术参数，如钻进速度、提升速度、搅拌速度、喷浆（粉）压力、单位时间掺入量等；
 - b) 根据下钻和提升的阻力情况，选择保证水泥浆液（粉）灌入量的合理技术措施；
 - c) 检验室内试验所确定的配合比、水灰比是否便于施工，是否需要添加外加剂等。
- 9.3.4 水泥搅拌桩施工应采用能自动记录喷浆（粉）数量装置的双向搅拌桩设备，宜采用双电机，每个电机功率不小于 45 kW。浆喷桩施工配备注浆泵的额定压力不应小于 5.0 MPa，送浆管长度不得大于 50 m。制浆设备宜采用自动化制浆站。
- 9.3.5 施工工艺应采用“四搅二喷”或“四搅三喷”。
- 9.3.6 施工监控宜采用基于物联网技术的水泥搅拌桩监控系统。

9.4 质量检验

- 9.4.1 施工过程中应随时检查施工记录和计量记录。
- 9.4.2 现场施工完成的水泥搅拌桩均应测量并记录桩位坐标，坐标测量误差应≤10 mm。
- 9.4.3 水泥搅拌桩的质量检验标准应满足表 14 的规定。

表14 水泥搅拌桩的施工质量检验项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法及频率
1	桩径	不小于设计值	用钢尺量，总桩数 3 %，并不得少于 3 根
2	桩距 (mm)	±100	用钢尺量，总桩数 3 %，并不得少于 3 根
3	垂直度 (%)	≤1.5	查施工记录

表 14 水泥搅拌桩的施工质量检验项目（续）

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法及频率
4	桩长（m）	不小于设计值	喷浆（粉）前测钻杆长度，成桩 28 天后钻孔取芯，总桩数 1 %~2 %，并不得少于 3 根
5	单桩每延米喷浆（粉）量	不小于设计值	查施工记录
6	桩体无侧限抗压强度	不小于设计值	成桩 28 d 后钻孔取芯，在桩体三等分段底面以上 1 m 处各取芯样一个，总桩数 1 %~2 %，并不得少于 3 根
7	单桩或复合地基承载力	不小于设计值	静载试验，总桩数 0.2 %~0.5 %，并不得少于 3 处

10 桩承式加筋路堤

10.1 一般规定

10.1.1 适用范围如下：

- 桥头、通道等构造物与路堤的衔接部位；
- 路堤拓宽路段；
- 稳定性难以满足要求的高填方路堤；
- 设置挡墙的软基路段；
- 土层中夹有难以消除的孤石、障碍物，或难以贯穿的坚硬夹层时不宜采用预制桩；
- 岩面上无适合作桩端持力层的土层或持力层较薄且持力层的上覆土层较为松软、岩面埋藏较浅且倾斜较大时不宜采用预制桩。

10.1.2 适用条件如下：

- 桩端下卧持力层的静力触探锥尖阻力不应小于 1 000 kPa；
- 填土高度宜大于 3 m；
- 预应力管桩处理深度宜大于 10 m，灌注桩处理深度宜大于 5 m。

10.1.3 常用桩型及总体要求如下：

- 常用桩型有预应力管桩、预制混凝土方桩、钻孔灌注桩（一般为素混凝土桩）、现浇混凝土薄壁筒桩、预应力混凝土异型预制桩、圆形或异形沉管灌注桩等；
- 应根据路堤高度、桩端持力层土类、施工设备、施工环境、制桩材料供应条件等，选择经济合理、安全适用的桩型和成桩工艺；当周边环境对变形有严格要求时，应采用非挤土桩，或成桩过程中采取措施减小对周边环境的影响；
- 桩的直径（或方桩尺寸）可根据地基土质情况、成桩设备、常规尺寸等因素确定，摩擦桩的长径比不宜大于 100，端承桩或摩擦端承桩的长径比不宜大于 80；
- 桩帽之间宜通过土工合成材料、钢筋混凝土系梁等进行连接，下列情况桩基顶部桩帽之间应采用钢筋混凝土系梁连接：
 - 无硬壳层或硬壳层较薄，且桩侧为可液化土或不排水抗剪强度小于 10 kPa 的软弱土层时；
 - 软土深度变化较大的傍山路段；
 - 具有较大临空面的沿河（塘）路段；
 - 施工期需大幅开挖的箱涵等构造物路段。

10.2 设计

10.2.1 材料要求如下：

- a) 垫层材料宜采用级配良好的砂砾、碎石、中粗砂等散粒状材料，也可采用具有一定整体刚度的掺灰土；
 - b) 水平加筋体材料应满足以下要求：
 - 1) 水平加筋体要求抗拉强度高、延伸率小、耐久性好、抗老化和抗腐蚀较好；
 - 2) 延伸率 5 %（若加筋体材料的极限延伸率小于 5 %时，以极限延伸率计）对应的抗拉强度应大于 80 kN/m，抗拉模量应大于 1 000 kN/m；
 - c) 宜采用 C30 混凝土、现场浇筑的圆形或方形桩帽；
 - d) 预制桩桩尖材料可采用 C30 混凝土或钢材，形状及尺寸根据桩型、地质条件确定。预应力管桩宜采用闭口桩尖。
- 10.2.2 桩长确定原则如下：
- a) 一般情况下，桩长应穿透软土层；刚性桩处理过渡段桩长未穿透软土层时，应满足达到最危险滑弧面以下 3.0 m 的深度，并应验算软弱下卧层的承载力；
 - b) 桩端进入持力层的深度，对黏性土、粉土不宜小于 2 倍桩径且不宜小于 2.0 m；砂性土不宜小于 1.5 倍桩径且不宜小于 1.5 m；碎石类土不宜小于 1 倍桩径且不宜小于 1.0 m。若持力层以下有软弱土层，桩端以下持力层的厚度不宜小于 4 倍桩径且不宜小于 4.0 m；
 - c) 桩长的具体取值还应满足路堤沉降及稳定性要求。
- 10.2.3 桩的平面布置宜采用正方形或正三角形布置。桩的平面布置中心距可取 4 倍～8 倍桩径，路堤高时取低值，并应满足路堤沉降及稳定性要求。
- 10.2.4 构造物与路基相邻路段可设置桩间距渐变、桩长渐变或其它变形协调方式的过渡段。
- 10.2.5 初拟桩帽边长 B （方形）时，可按式（40）估算。圆形桩帽可按面积相等的原则等效为方形桩帽。桩帽边长的具体取值应根据工程条件、荷载大小等因素进一步调整确定。

$$B = (0.4 \sim 0.5)S_a \dots\dots\dots (40)$$

式中：

B ——方形桩帽的边长或圆形桩帽的等效边长(m)；

S_a ——桩的中心间距(m)。

- 10.2.6 钢筋混凝土桩帽的厚度 t_p 可按式（41）估算。

$$t_p = (0.5 \sim 0.6)(B - D_p) \dots\dots\dots (41)$$

式中：

t_p ——桩帽的厚度(m)；

B ——方形桩帽的边长或圆形桩帽的等效边长(m)；

D_p ——桩径(m)。

- 10.2.7 桩与桩间土因刚度差异而在路堤中形成土拱效应，桩帽上部承担的荷载 Q_u 按式（42）计算。

$$Q_u = \eta(\gamma_1 H + q_c)S_a^2 \dots\dots\dots (42)$$

式中：

Q_u ——桩帽上部承担的荷载(kN)；

η ——桩体荷载分担比系数，按附录F查表求得；

γ_1 ——路堤填料的容重(kN/m³)；

H ——路堤填筑高度 (m)，宜大于 $1.4(S_a - B)$ ；

q_c ——路堤顶面超载 (kPa)；

S_a ——桩的中心间距 (m)。

10.2.8 桩帽的平面尺寸和厚度初步确定后，应根据 GB 50010 对其进行强度验算及配筋设计。桩帽与桩连接部位的最大弯矩值 $M_{\max}$ ，可按式 (43)、式 (44) 计算。

$$M_{\max} = \frac{\xi p B (B - D_p)^2}{8} \dots\dots\dots (43)$$

$$p = \frac{Q_u}{B^2} \dots\dots\dots (44)$$

式中：

$M_{\max}$ ——桩帽与桩连接部位的最大弯矩值 (kN·m)；

ξ ——修正系数，取值为 2.7~3.8，当桩帽尺寸较大 ($B/D_p=4$) 时取低值，桩帽尺寸较小 ($B/D_p=2$) 时取高值，中间值可采用线性插值计算；

p ——桩帽上的等效平均应力 (kPa)；

B ——方形桩帽的边长或圆形桩帽的等效边长 (m)；

D_p ——桩径 (m)；

Q_u ——桩帽上部承担的荷载 (kN)。

10.2.9 水平加筋垫层的厚度不宜小于 0.3 m，初拟厚度可按式 (45) 估算；若软土指标较差时，可适当加厚。

$$t = (0.2 \sim 0.25) S_a \dots\dots\dots (45)$$

式中：

t ——水平加筋垫层的厚度 (m)；

S_a ——桩的中心间距 (m)。

10.2.10 加筋体的设计抗拉强度 T_{gc} 应满足式 (46)~式 (50) 的要求。

$$T_{gc} \geq T_{rp} + T_{ds} \dots\dots\dots (46)$$

$$T_{rp} = \frac{Q_s (S_a - B)}{2B} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon}} \dots\dots\dots (47)$$

$$T_{ds} = 0.5 K_a \gamma_1 H^2 \dots\dots\dots (48)$$

$$K_a = \tan^2 (45 - \varphi' / 2) \dots\dots\dots (49)$$

$$Q_s = (1 - \eta)(\gamma_1 H + q_c) S_a \dots\dots\dots (50)$$

式中：

- T_{gc} ——加筋体的设计抗拉强度 (kN/m) ;
 T_{rp} ——桩土之间差异沉降产生的拉力 (kN/m) ;
 T_{ds} ——路堤侧向变形在水平加筋体内产生的拉力 (kN/m) ;
 Q_s ——桩帽间单位长度土体承担荷载的平均值 (kN/m) ;
 S_a ——桩的中心间距 (m) ;
 B ——方形桩帽的边长或圆形桩帽的等效边长 (m) ;
 ε ——水平加筋体的延伸率, 可取5% ;
 K_a ——主动土压力系数;
 γ_1 ——路堤填料的平均容重 (kN/m³) ;
 H ——路堤填筑高度 (m) ;
 φ' ——路堤填料的内摩擦角 (°) ;
 η ——桩体荷载分担比系数, 按附录F查表求得;
 q_c ——路堤顶面超载 (kPa) 。

10.2.11 桩承式加筋路堤的沉降计算应满足以下要求:

- a) 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, 采用单向压缩分层总和法按式 (51) 计算;

$$s = \psi_p \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \frac{\sigma_{j,i} \Delta h_{j,i}}{E_{sj,i}} \dots\dots\dots (51)$$

式中:

- s ——桩基最终沉降 (m) ;
 ψ_p ——桩基沉降计算经验系数, 可取1.1~1.4;
 m ——桩端平面以下压缩层内土层总数;
 n_j ——桩端平面下第j层土的计算分层数;
 $\sigma_{j,i}$ ——桩端平面下第j层土第i个分层的竖向附加应力 (kPa) ;
 $\Delta h_{j,i}$ ——桩端平面下第j层土第i个分层的厚度 (m) ;
 $E_{sj,i}$ ——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) 。

- b) 桩端平面下第j层土第i分层的竖向附加应力按式 (52) 计算;

$$\sigma_{j,i} = \sigma_{pj,i} + \sigma_{sj,i} \dots\dots\dots (52)$$

式中:

- $\sigma_{j,i}$ ——桩端平面下第j层土第i个分层的竖向附加应力 (kPa) ;
 $\sigma_{pj,i}$ ——桩端平面下第j层土第i个分层由桩顶荷载引起的竖向附加应力 (kPa) , 可按GB 50007—2011 附录R计算;
 $\sigma_{sj,i}$ ——桩端平面下第j层土第i个分层由桩间土体的平均压力引起的竖向附加应力 (kPa) , 按布辛奈斯克解计算;
c) 桩端平面以下地基中由桩顶荷载引起的竖向附加应力, 端承桩宜采用明德林应力公式计算, 摩擦桩宜采用等效实体法计算;

- d) 最终沉降计算深度 Z_n , 可按应力比法确定, 即 Z_n 处总的附加应力 $\sigma_{j,i}(Z_n)$ 与土的自重应力 σ_c 应满足式 (53) 的要求。

$$\sigma_{j,i}(Z_n) \leq 0.15\sigma_c \dots\dots\dots (53)$$

式中:

$\sigma_{j,i}(Z_n)$ ——沉降计算深度 Z_n 处总的附加应力;

σ_c ——沉降计算深度 Z_n 处土的自重应力。

10.2.12 桩承式加筋路堤的单桩承载力验算应满足以下要求:

- a) 刚性桩的竖向承载力设计值应满足式 (54) 的要求;

$$\gamma_0 Q_u \leq R \dots\dots\dots (54)$$

式中:

γ_0 ——公路重要性系数, 取1.1;

Q_u ——桩帽上部承担的荷载 (kN);

R ——单桩竖向承载力设计值 (kN)。

- b) 当采用单桩静载荷试验时, 单桩竖向承载力设计值按式 (55) 计算;

$$R = \frac{R_u}{\gamma_{sp}} \dots\dots\dots (55)$$

式中:

R ——单桩竖向承载力设计值 (kN);

R_u ——采用静载荷试验确定的单桩极限承载力 (kN);

γ_{sp} ——综合分项系数;

- c) 根据土体的物理指标确定单桩承载力时, 单桩竖向承载力设计值按式 (56) ~ 式 (63) 计算;

$$R = \frac{Q_{sk}}{\gamma_s} + \frac{Q_{pk}}{\gamma_p} \dots\dots\dots (56)$$

$$Q_{sk} = u \sum q_{skl_i} \dots\dots\dots (57)$$

$$Q_{pk} = q_{pk}(A_j + \lambda_p A_{p1}) \dots\dots\dots (58)$$

$$\text{管桩: } A_j = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_1^2) \dots\dots\dots (59)$$

$$\text{空心方桩: } A_j = b^2 - \frac{\pi}{4}d_1^2 \dots\dots\dots (60)$$

$$A_{p1} = \frac{\pi}{4}d_1^2 \dots\dots\dots (61)$$

$$\text{当 } h_b/d < 5 \text{ 时: } \lambda_p = 0.16h_b/d \dots\dots\dots (62)$$

$$\text{当 } h_b/d \geq 5 \text{ 时: } \lambda_p = 0.8 \dots\dots\dots (63)$$

- 式中：
- R ——单桩竖向承载力设计值（kN）；
- Q_{sk} ——单桩总侧阻力的标准值（kN）；
- Q_{pk} ——单桩总端阻力的标准值（kN）；
- γ_s, γ_p ——桩侧抗力分项系数和桩端抗力分项系数；
- u ——桩的周长（m）；
- q_{ski} ——桩侧阻力标准值（kPa）；
- l_i ——分层厚度（m）；
- q_{pk} ——极限端阻力标准值（kPa）；
- A_j ——空心桩桩端净面积（m²）；
- λ_p ——桩端土塞效应系数；
- A_{p1} ——空心桩敞口面积（m²）；
- $d、b$ ——分别为管桩外径与空心方桩边长（m）；
- d_1 ——空心桩内径（m），对闭口桩为0；
- h_b ——桩端进入持力层深度（m）。

d) 桩侧抗力分项系数 γ_s 、桩端抗力分项系数 γ_p 和综合分项系数 γ_{sp} ，可按表 15 选取。

表15 $\gamma_s、\gamma_p、\gamma_{sp}$ 取值

桩型	静载试验法 γ_{sp}	经验参数法 ($\gamma_s=\gamma_p$)
管桩、方桩	1.6	1.65
钻孔灌注桩	1.65	1.70
现浇薄壁管桩	1.70	1.75

10.2.13 桩承式加筋路堤整体稳定性可采用圆弧滑动法验算，滑动面上的抗剪强度采用桩土复合抗剪强度，可按式（27）计算，桩体抗剪强度 τ_p 可取桩体 28 d 无侧限抗压强度的 1/2。

10.3 施工要求

- 10.3.1 大面积施工前，应进行成桩施工工艺试验，各典型路段不得少于 3 根，基桩施工 28 d 后，采用静载荷试验确定单桩承载力极限值并根据试桩结果动态调整桩长。
- 10.3.2 施工场地清理整平后，必要时铺设一层厚度为桩帽高度的工作垫层，再进行桩的打设，桩帽应下挖浇筑，桩帽顶设置加筋垫层。
- 10.3.3 桩的打设次序：横向从路基中心线向两侧的方向推进；纵向从构造物部位向路堤的方向推进。
- 10.3.4 桩端应设在持力层中，打设时应注意持力层顶面高程的变化以及施工场地填土厚度的影响，及时调整桩长。
- 10.3.5 准确定位后应采取可靠的施工工艺，确保桩体质量。防止因振动、挤土等作用导致桩体倾斜、折断、桩体上浮、侧向位移和地面隆起等。
- 10.3.6 施工现场应配备桩身垂直度观测仪器（长条水准尺或经纬仪），随时量测桩身的垂直度。

10.4 质量检验

- 10.4.1 施工过程中应随时检查施工记录。
- 10.4.2 现场施工完成的桩基均应测量并记录桩位坐标，坐标测量误差应 ≤ 10 mm。
- 10.4.3 桩承式加筋路堤的质量检验标准应满足表 16 的规定，现浇桩混凝土强度应满足设计要求。

表16 桩承式加筋路堤的施工质量检验项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法及频率
1	桩距(mm)	± 50	抽查桩数 5 %
2	垂直度(%)	≤ 0.5	经纬仪，抽查桩数 5 %
3	桩径(mm)	不小于设计值	抽查桩数 5 %
4	桩长(m)	不小于设计值	吊绳量测，成桩数 5 %
5	桩帽尺寸(mm)	不小于设计值	钢尺量测抽查，成桩数 5 %
6	28 天单桩承载力	不小于设计值	静载荷试验，成桩数 0.2 %，并不得少于 3 根
7	桩身完整性	无明显缺陷	低应变测试抽查，成桩数 5 %

11 轻质路堤

11.1 一般规定

11.1.1 适用范围如下：

- 软土地基构造物与路基相邻路段；
- 不同软基处理方式的过渡段；
- 滑动后的快速修复路堤；
- 软土地基拓宽路堤；
- 工期较紧的特殊路段。

11.1.2 常用形式及总体要求如下：

- 按轻质材料的不同分为泡沫混凝土轻质路堤、EPS 块体轻质路堤等；
- 应根据工程设计要求，以及因地制宜、就地取材的原则，进行轻质材料的选择。

11.1.3 设计要求如下：

- 轻质路堤应采取有效的防护措施，轻质材料不得直接裸露。路基横断面可采用直立式路堤或包边护坡的斜坡式路堤；
- 轻质路堤与一般填土路堤之间应设置过渡段。过渡段应采用台阶式衔接，台阶高度宜为 0.5 m～1.0 m，坡比宜为 1:1～1:2；
- 轻质路堤设计应满足路堤沉降及稳定性要求；
- 轻质路堤位于地下水位以下或受洪水淹没时，应进行抗浮验算，抗浮安全系数不应小于 1.2。

11.2 设计

11.2.1 泡沫混凝土轻质路堤

11.2.1.1 材料要求如下：

- 水泥的强度等级应为 42.5 级及以上；
- 发泡剂应无明显沉淀物，对环境无不利影响，宜采用表面活性类发泡剂；
- 施工用水应符合 JGJ 63 的要求。

11.2.1.2 设计的主要内容如下：

- 泡沫混凝土的形状设计，包括路堤宽度、高度，泡沫混凝土与常规填土路堤间的衔接坡比、路堤顶面纵横坡调节台阶等；
- 确定设计重度和无侧限抗压强度；
- 泡沫混凝土自身强度验算：应满足路堤各部位的强度要求；
- 沉降验算：检验是否满足容许的沉降和工后沉降要求；
- 稳定性验算：包括路基稳定性验算及某些情况下（如作为拓宽路堤、挡墙、护岸构造物或这些构造物墙背填料时）路堤的抗滑、抗倾覆及地基的承载力验算；
- 泡沫混凝土在地下水位以下或受洪水淹没时，应考虑浮力的影响；
- 防排水设计：泡沫混凝土吸水后容重增加将导致其轻质性受到一定程度的损失，应根据实际情况，在路堤基底设置排水盲沟或其它排水措施，排除基底积水及地表水；此外还宜在泡沫混凝土表面设置一层防水布；
- 泡沫混凝土的附属构造设计，包括：挡板设计，交通工程预埋件设计，泡沫混凝土内部局部加筋设计，沉降缝设计等；
- 泡沫混凝土轻质路堤上路面的设计与计算，可参照现行公路路面设计规范进行。

11.2.1.3 设计计算应满足以下要求：

- a) 泡沫混凝土轻质路堤浇筑体底宽 L 与高度 H 应满足式 (64) 要求；

$$L \geq 2 \text{ m 且 } L \geq 0.2H \quad \dots\dots\dots (64)$$

式中：

L ——泡沫混凝土轻质路堤浇筑体底宽 (m)；

H ——泡沫混凝土轻质路堤浇筑体高度 (m)。

- b) 应根据公路等级、荷载条件、填筑部位，按 DB 33/T 996 要求合理选用泡沫混凝土干重度等级、抗压强度等级等指标。泡沫混凝土在地下水位以下时，干容重不宜小于 10 kN/m^3 ；
- c) 泡沫混凝土轻质路堤设计计算时，不同环境条件和工程条件下泡沫混凝土的相关性能指标按 JTG D30 取值；
- d) 泡沫混凝土轻质路堤底面抗滑稳定性验算：当泡沫混凝土置于平面与斜面交界处施工时，可将其分成坡前和坡上两部分计算滑动力和滑动抵抗力，按式 (65) 计算抗滑安全系数，泡沫混凝土底面抗滑稳定性验算示意图见图 7。

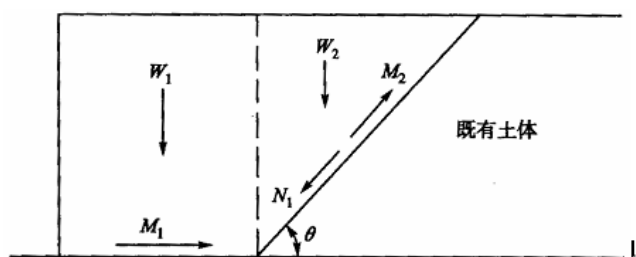


图7 泡沫混凝土底面抗滑稳定性验算示意图

$$F_s = \frac{M_1 + M_2 \cos \theta}{N_1 \cos \theta} = \frac{\mu W_1 + \mu W_2 \cos \theta \cos \theta}{W_2 \sin \theta \cos \theta} \geq 1.3 \quad \dots\dots\dots (65)$$

式中：

F_s ——抗滑安全系数；

M_1 ——坡前泡沫混凝土在底面上产生的滑动抵抗力 (kN/m)；

M_2 ——坡面上泡沫混凝土沿斜面方向产生的滑动抵抗力 (kN/m)；

θ ——斜坡的角度 (°)；

N_1 ——坡面上泡沫混凝土沿斜面方向的滑动力 (kN/m)；

μ ——坡面上(或坡前)泡沫混凝土底面与天然坡或基础地基的摩擦系数,在没有实测资料时可取 0.5,如果泡沫混凝土与地基之间铺设防水土工布,则应通过试验确定摩擦系数;

W_1 ——坡前泡沫混凝土的自重及路面荷重 (kN/m)；

W_2 ——坡面上泡沫混凝土的自重及路面荷重 (kN/m)；

11.2.1.4 泡沫混凝土的构造设计应满足 DB 33/T 996 相关条款的要求。

11.2.2 EPS 块体轻质路堤

11.2.2.1 材料要求如下:

- EPS 块体材料的密度,宜在 $20 \text{ kg/m}^3 \sim 30 \text{ kg/m}^3$ 内选用,10 %应变的抗压强度不宜小于 110 kPa,抗弯强度不宜小于 150 kPa,压缩模量不宜小于 3.5 MPa,7d 体积吸水率不宜大于 1.5 %。桥头搭板下方等特殊部位 EPS 块体材料的抗压强度不应小于 250 kPa;
- 下列情况应采用阻燃型 EPS 块体:
 - 有防火要求的建筑物附近;
 - EPS 块体填方量大于 $1\,500 \text{ m}^3$ 时;
 - 暴露堆放时间过长。

11.2.2.2 EPS 标准块件常用尺寸 (高×宽×长,单位 m) 可选用: $0.5 \times 1.2 \times 6.0$ 、 $0.5 \times 1.2 \times 2.5$ 、 $0.5 \times 1.0 \times 2.5$ 、 $0.5 \times 1.0 \times 3.0$ 。

11.2.2.3 设计计算应满足以下要求:

- 初步设计时,应论证选用 EPS 块体作为软土地基上路堤填筑材料的必要性;
- 根据路堤的稳定性和容许工后沉降要求,确定 EPS 块体的断面布置;
- 进行 EPS 块体轻质路堤的横断面和纵断面设计,EPS 块体轻质路堤典型横断面示意图见图 8;

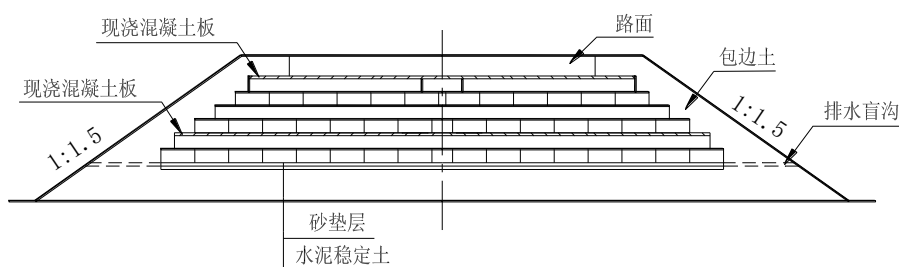


图8 EPS 块体轻质路堤典型横断面示意图

- 应按式 (66) ~ 式 (69) 进行 EPS 块体材料的抗压强度验算,竖向应力计算示意图见图 9;

$$\sigma_z \leq [\sigma_a] \dots\dots\dots (66)$$

$$[\sigma_a] = \frac{\sigma_a}{2} \dots\dots\dots (67)$$

$$\sigma_z = \sigma'_z + \sigma_g \dots\dots\dots (68)$$

$$\sigma'_z = \frac{P(1 + \xi)}{(B + 2htg\theta)(L + 2htg\theta)} \dots\dots\dots (69)$$

式中:

- σ_z ——作用于EPS块体表面的竖向压应力(kPa)；
[σ_a] ——EPS块体的容许抗压强度(kPa)；
 σ_a ——EPS块体抗压强度极限值(kPa)，可由室内无侧限抗压强度试验确定；
 σ'_z ——轮压荷载传递到EPS块体上的压应力(kPa)；
 σ_g ——路面结构层及混凝土板作用在EPS块体上的压应力(kPa)；
 P ——轮压荷载(kN)；
 ξ ——冲击系数，取0.3；
 $B、L$ ——车轮着地宽度和长度(m)，可分别取0.2 m和0.6 m；
 h ——路面结构层与混凝土板的厚度(m)；
 θ ——应力扩散角(°)，对水泥路面取45°，对沥青路面取40°。

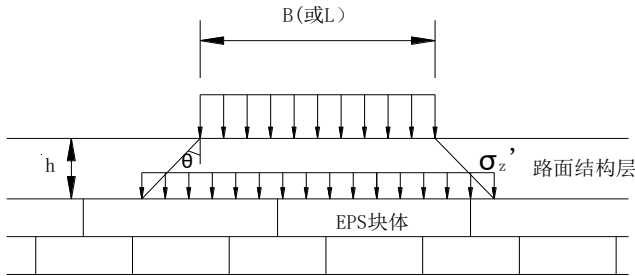


图9 竖向应力计算示意图

e) EPS 块体基底的抗滑稳定性可按式(70)验算。

$$F_s = \frac{\text{抗滑力}}{\text{滑动力}} = \frac{(W + P_v)f}{P_h} \geq 1.5 \dots\dots\dots (70)$$

式中：

- F_s ——抗滑稳定安全系数；
 W ——EPS块体的自重(kN/m)；
 P_v ——上覆荷载竖向总压力(kN/m)；
 P_h ——作用力EPS块体底板的总滑动力，即侧向总压力(kN/m)；
 f ——底板与地基土的摩擦系数，可取0.3~0.5。

11.2.2.4 构造设计应满足以下要求：

- a) EPS 块体轻质路堤的构造设计，应包括 EPS 块体的结构设计、钢筋混凝土板的设计、坡面覆土保护层设计、施工基面和排水设计等内容；
- b) EPS 块体与路面之间应设置现浇钢筋混凝土板，其厚度宜为 0.1 m~0.15 m，并按构造要求配置钢筋。为避免现浇钢筋混凝土板被施工机械压碎，可增设碎石垫层，其厚度宜为 0.3 m~0.5 m；
- c) 在 EPS 多层块体之间，每隔 2 m~3 m 或 4~6 层应设一层现浇钢筋混凝土板，其厚度宜为 0.1 m，并按构造要求配置钢筋；
- d) EPS 块体轻质路堤两侧坡面应覆土保护，坡面覆土最小垂直厚度不小于 0.5 m；
- e) EPS 块体底部应设置砂垫层，以保证施工基面的平整。

11.3 施工要求

11.3.1 泡沫混凝土的施工要求如下：

- a) 泡沫混凝土浇筑工程量超过 5 000 m³ 时, 应选择典型试验路段施工, 以确定施工工艺主要参数;
- b) 泡沫混凝土浇注施工宜采用配管泵送方式;
- c) 泡沫混凝土的单层浇注厚度, 除狭小面积可按≤1 m 控制外, 其它按 0.3 m~0.8 m 控制;
- d) 泡沫混凝土的单块浇注面积应根据设备能力、浇注厚度确定, 确保浇注工作在泡沫混凝土初凝以前完成, 上层浇注应待下浇注层终凝后方可进行;
- e) 泡沫混凝土每层浇筑完毕应采用保湿养生; 顶层泡沫混凝土应及时覆盖塑料薄膜或土工布; 泡沫混凝土顶面在上路床范围时, 路面施工应在顶层泡沫混凝土养生 28 d 以后进行;
- f) 当遇到大雨或长时间持续的小雨天气时, 对未固化的表层应采取遮雨措施。重新浇注上层前, 应将已被雨水浸泡的表层进行铲除清理;
- g) 固化前, 应避免对泡沫混凝土的扰动。

11.3.2 EPS 块体的施工要求如下:

- a) EPS 块体材料应满足设计要求的抗压强度、密度及阻燃性;
- b) EPS 块体基底应整平压实, 平整度和压实度应满足设计要求;
- c) EPS 块体采用“搭积木”方式, 分层纵横交错铺设, 块体间的缝隙宽应小于 20 mm, 块体间高低差应小于 5 mm。当曲线段块体间缝隙大于容许误差时, 应采用砂、无收缩水泥砂浆等填塞, 块体间高低差可采用无收缩水泥砂浆调平;
- d) 为使 EPS 块体间相互固定, 设置有金属联结件, EPS 块各层间采用双面爪型联结件。底层 EPS 块用 L 型销钉固定于施工基面, 边铺设边联结;
- e) 现浇钢筋混凝土板, 混凝土可用泵送或手推车运送, 浇筑后用平板振动器捣实并抹平。混凝土横缝间隔为 10 m, 其缝宽为 10 mm, 可采用沥青浸渍杉木条嵌缝;
- f) EPS 块体轻质路堤两侧护坡应覆土, 覆土应采用细粒料填筑, 并充分夯实;
- g) EPS 块体铺设时, 应禁止车辆及其它重型机械直接在 EPS 块体上行驶。路面底基层、基层施工时, 应避免采用强振幅的压路机进行碾压, 以防对现浇混凝土板的损伤;
- h) EPS 块体轻质路堤施工现场应注意防火、防晒, 防止与有机溶剂或石油等接触;
- i) EPS 块体轻质路堤施工中应注意排水, 避免地下水上升到 EPS 块体铺砌层;
- j) 应控制 EPS 块体材料质量, 并采取相应的质量管理措施。

11.4 质量检验

11.4.1 泡沫混凝土施工过程中的质量检验及施工质量检验评定按 DB 33/T 996 相关规定执行。

11.4.2 EPS 块体的质量检验要求如下:

- a) EPS 块体施工时, 应对 EPS 块体的尺寸、密度、抗压强度、阻燃性和变形模量等指标进行检验, 抽样检查频率见表 17;

表17 抽样检查频率表

填方量 (m ³)	最少块体数量 (个)
<500	3
500~1 000	5
≥1 000	每 250 m ³ 1 个

- b) EPS 块体轻质路堤的质量应符合 JTG/T 3610 泡沫轻质土的相关要求；
- c) 采用阻燃性型 EPS 块体时应进行燃烧性试验。

12 其它处理方法

12.1 一般规定

12.1.1 高压旋喷桩适用范围如下：

- a) 施工净空受限路段；
- b) 对邻近构筑物及地下管线等环境敏感路段应评估后使用；
- c) 处理深度不宜超过 30 m；
- d) 对土中含有较多大直径块石、大量植物根茎或有机质含量较高，以及地下水流速较大时不宜采用。

12.1.2 高真空击密法适用于地基承载力不足、可液化的饱和松散砂土、粉土、粉质黏土等地基或吹填土地基。

12.2 设计

12.2.1 高压旋喷桩

12.2.1.1 材料要求如下：

- a) 宜采用强度等级为 42.5 级及以上的普通硅酸盐水泥，可根据需要加入适量的外加剂和掺合料。外加剂和掺合料的用量应通过试验确定；
- b) 水泥浆液的水灰比宜为 0.8~1.2。

12.2.1.2 桩体布置应满足以下要求：

- a) 旋喷桩直径、深度及间距应经稳定性验算确定并满足工后沉降的要求；
- b) 桩径不宜小于 0.5 m 且不宜大于 2.0 m；
- c) 桩的深度宜穿透软土层到达承载力相对较高的土层，提高抗滑稳定性而设置的旋喷桩，其桩长应超过危险滑弧面以下不小于 2 m。

12.2.1.3 桩体抗压强度宜按 90 d 无侧限抗压强度进行设计，现场检测可在成桩后 28 d 进行，其无侧限抗压强度不宜小于 2.0 MPa。

12.2.1.4 设计计算应满足以下要求：

- a) 旋喷桩复合地基承载力特征值和单桩竖向承载力特征值宜通过现场静载荷试验确定；
- b) 设计时承载力、沉降及稳定性按 9.2.7 有关规定计算。

12.2.2 高真空击密法

12.2.2.1 高真空击密法包含强夯设计与降排水设计。强夯设计内容包括单击夯击能、夯点间距及布置、夯点夯击次数、夯击遍数、前后两遍夯击间隔时间和强夯处理范围等；降排水设计内容包括降水系统和排水系统。

12.2.2.2 强夯设计应满足以下要求：

- a) 强夯可采用变能量渐进方式，夯击能应根据地基土类型、地下水位、荷载大小和有效加固深度等因素综合考虑，宜通过现场试验确定，可取 800 kN·m~3 000 kN·m；
- b) 强夯的有效加固深度应根据现场试验或地区经验确定。在缺少试验资料或经验时，可按表 18 进行估算；

- c) 夯点的夯击次数应根据现场试夯确定，并满足最后两击的平均夯沉量不大于 50 mm，夯坑周围地面不发生过多的隆起；
- d) 夯击遍数应根据地基土的性质确定，可采用点夯 2 遍~4 遍，对于渗透性较差的细颗粒土，应适当增加夯击遍数，最后以低能量满夯 2 遍，满夯可采用轻锤或低落距锤多次夯击，锤印搭接；

表18 有效加固深度

单击夯击能 E (kN·m)	粉土、粉质黏土等细颗粒土 (m)
1 000	3.0~4.0
2 000	4.0~5.0
3 000	5.0~6.0

- e) 两遍夯击之间的间隔时间取决于土中超静孔隙水压力的消散时间，间隔时间宜满足超静孔隙水压力消散 80 %以上。当缺少实测资料时，可根据地基土的渗透性确定，渗透性较差的黏性土地基，间隔时间不应少于 2 周~3 周，渗透性好的地基可连续夯击；
- f) 夯击点位置可根据预处理范围，采用等边三角形或正方形布置，第一遍夯击点间距可取夯锤直径的 2.5 倍~3.5 倍，第二遍夯击点应位于第一遍夯击点之间；
- g) 处理范围宜超出路基坡脚外不小于 2 m。

12.2.2.3 降排水设计应满足以下要求：

- a) 降水系统宜采用真空井点系统，根据土性和加固深度布置井点管间距和埋设深度，在加固区以外 3 m~4 m 处设置外围封管并在施工期间不间断抽水；排水系统可采用施工区域四周挖明沟，并设置集水井；
- b) 降水深度及降水持续时间应根据土质条件和地基有效加固深度要求确定，并在降水施工期间对地下水位进行动态监测，严格控制强夯施工时地下水位达到规定的深度。

12.2.2.4 地基变形计算主要包括有效加固深度范围内的沉降和加固区下卧层的沉降计算，应按第 4 章有关规定进行计算。有效加固深度范围内土层的压缩模量宜通过原位测试或土工试验确定。

12.3 施工要求

12.3.1 高压旋喷桩

- 12.3.1.1 应根据工程需要和土质条件采用单管法、双管法和三管法。
- 12.3.1.2 施工前应根据土质条件、加固要求进行工艺性成桩试验，确定施工参数及工艺，试验桩数不少于 5 根。
- 12.3.1.3 单管法、双管法高压水泥浆和三管法高压水的压力应大于 20 MPa，气流压力宜大于 0.7 MPa，提升速度宜为 0.1 m/min~0.2 m/min，旋转速度宜为 10 r/min~20 r/min。加固土体每立方的水泥掺入量不宜少于 300 kg，水泥浆液的流量不宜小于 60 L/min。
- 12.3.1.4 施工中应严格按照施工参数和材料用量施工，并做好各项施工记录。制浆设备宜采用自动化在线制浆站，喷浆压力、流量和提升速度应自动记录，宜采用基于物联网技术的自动监控系统。
- 12.3.1.5 喷射管分段提升的搭接长度不应小于 0.1 m。
- 12.3.1.6 在邻近构筑物或地下管线等环境敏感路段施工时，应加强对周边设施的监测。

12.3.2 高真空击密法

12.3.2.1 施工前应选取代表性的场地进行试验性施工,确定其适用性、加固效果和施工工艺。试验区数量应根据场地复杂程度、工程规模、工程类型及施工工艺等确定。

12.3.2.2 施工前应查明场地范围内的地下构筑物和各种地下管线的位置及标高,必要时采取防振或隔振措施,并设置监测点,施工时应由距离构筑物近处向远处夯击。

12.3.2.3 夯锤宜采用圆柱形钢制或铸铁制的平锤或柱锤,质量宜为 10 t~30 t,锤底应对称设置 4 个~6 个上下贯通的气孔,孔径宜为 0.3 m~0.4 m,锤底静接地压力宜为 25 kPa~40 kPa。

12.3.2.4 高真空击密法施工宜按下列步骤进行:

- a) 平整场地,施工降排水系统,设置地下水位、孔隙水压力等观测设施;
- b) 按设计规定的夯击能、夯击次数及控制标准完成第一遍强夯;
- c) 用推土机将夯坑填平,并测量场地高程;
- d) 在规定的间隔时间后,调整夯击能,并按上述步骤完成全部的夯击遍数;
- e) 低能量满夯。

12.3.2.5 施工过程中应对每个夯点的夯击次数、每击的夯沉量、每遍夯击后的沉降量等参数及情况进行详细记录,同时动态监测地下水位、孔隙水压力变化。

12.4 质量检验

12.4.1 高压旋喷桩的质量检验要求如下:

- a) 施工过程中应随时检查施工记录和计量记录;
- b) 现场施工完成的旋喷桩均应测量并记录桩位坐标,坐标测量误差应 ≤ 10 mm;
- c) 旋喷桩的质量检验标准可参照 9.4 节相关要求执行。

12.4.2 高真空击密法的质量检验要求如下:

- a) 处理后的地基承载力检验,应在施工结束后间隔一定时间进行,对于粉土和黏性土地基,间隔时间宜为 14 d~28 d;
- b) 地基处理效果检验可采用动力触探试验、标准贯入试验或静力触探试验等原位测试,以及室内土工试验。检测频率每 400 m² 不少于 1 个检测点;
- c) 地基承载力检测频率每 1 000 m² 不少于 1 个检测点。

13 动态监测与分析

13.1 一般规定

13.1.1 动态监测与分析适用于高速公路及一级公路项目,其他等级公路可参照本章要求执行。

13.1.2 监测设计应包含以下内容:

- a) 沉降板、位移桩、测斜管等布置设计、典型断面的设置和监测内容;
- b) 提出填筑期、预压期、路面施工期等沉降速率控制指标和侧向位移的控制指标。

13.1.3 动态监测与分析应包含以下内容:

- a) 路堤填筑前,应根据设计文件的要求,及时埋设观测标志及观测仪器;
- b) 施工期应对沉降、位移等进行定期观测,并对观测数据进行整理分析,动态调整填筑控制标准、预压期、超载高度和预抛高等参数;
- c) 根据沉降观测结果,提供路基沉降土方量,校验路基填筑标高。

13.1.4 动态监测工作应以设计单位的监测设计为基础,由建设单位委托有资质的第三方专业单位进行监测,有条件时可采用基于物联网的 GPS 沉降变形监测技术、液压式静力水准仪等自动监测方法。除第三方专业单位监测外,施工企业尚应根据施工需要在施工期间自行监测。

13.1.5 高速公路及一级公路宜进行工后沉降监测。

13.2 观测仪标及断面布置

13.2.1 观测仪标主要包括沉降板、位移边桩、测斜管等，有条件时选择典型断面进行分层沉降、孔隙水压力、剖面沉降管的长期监测。

13.2.2 观测断面布置原则如下：

- a) 在不处理及预压处理的一般软基路段，纵向设置间距一般为 100 m~200 m，当软土深度或填土厚度变化较大时，需根据实际情况加密；
- b) 对于桥头路段，第一个观测断面设置于桥台后 5 m~10 m 处，第二个观测断面设在过渡段，第三个观测断面设在桥头路段与一般路段交界段；
- c) 对于沿河(塘)软土地基路段，纵向设置间距要求不大于 50 m。

13.3 沉降观测

13.3.1 沉降板宜设置在路中和两侧土路肩处，并应注意以下事项：

- a) 路中沉降板的设置应防止与通信管道或防撞护栏位置冲突，高速公路埋设位置宜设在路中偏右 0.5 m~0.6 m 处；
- b) 单车道匝道仅单侧设置于土路肩处，超高路段设置于超高外侧土路肩处；有中间分隔带的双车道匝道设置于路中线处；
- c) 斜交桥涵构造物相邻路段，应沿斜交方向设置。

13.3.2 沉降观测应满足二等水准测量精度要求。

13.4 侧向位移观测

13.4.1 位移边桩、测斜管设置原则如下：

- a) 位移边桩宜设置于观测断面的路堤坡脚、边沟外缘以及边沟外缘 10 m 处，并结合稳定分析在预测可能的滑裂面与地面的切面位置布设测点。于路基两侧沿监测横断面延长线上设置基准桩，并保持其与最外侧边桩的距离在 30 m 以上；
- b) 测斜管宜设置于大于极限填筑高度且路基填高 3.0 m 以上的沿河、沿塘路段，以及路基填高在 4.0 m 以上的高路堤路段（刚性桩处理路段可放宽至 5.0 m）。测斜管需穿越软土层并进入硬土层 1 m 以上。

13.4.2 位移边桩观测精度：测距仪误差 ± 5 mm，方向观测水平角误差为 $\pm 2.5''$ ；测斜管测量精度： ± 0.02 mm/500 mm。

13.5 观测频率

13.5.1 侧向位移观测应与沉降观测同步进行。

13.5.2 路基填筑期间，每填筑一层后立即观测一次；填筑间歇期间，对重点路段（如极限填筑高度以上的高路堤等）每 3 d 观测一次，若填筑间隔时间较长，宜每 7 d 观测一次；路堤填筑完成进入预压期后，第 1 个月每 3 d 观测一次，第 2 个月~3 个月每 7 d 观测一次，第 4 个月及以后每 15 d 观测一次，直至预压期结束。

13.5.3 路面施工期间，每层加载后应至少观测一次。若间隔时间较长，第 1 个月每 15 d 观测一次，第 2 个月起每 30 d 观测一次。

13.6 监测成果分析

13.6.1 观测单位应定期编写观测月报告、阶段报告及总报告。

13.6.2 成果分析及报告编制要求如下：

- a) 所有观测数据应及时记录，随时计算、校核、汇总，并整理分析，以便能全面了解、分析土体变化情况而作出判断。若发现异常，应及时复查或复测处理；
- b) 路基施工至路床范围 1 层~2 层以及预压一段时间后应及时编写观测报告，根据观测成果及时对设计参数，如预压高度（包括路基预抛高）和预压期等进行动态调整；
- c) 在预压荷载卸载之前，根据预压期的观测成果编写阶段观测报告，提出各路段的卸载时间和路面预抛高数据；
- d) 监测工作全部完成后编写总报告。

13.7 监测控制指标

13.7.1 填筑期控制要求如下：

- a) 极限填筑高度以内，填筑速率要求不大于 $1.5 \text{ m/mth} \sim 2.0 \text{ m/mth}$ ；大于极限填筑高度，根据沉降速率及水平位移控制填筑速率。排水固结法、水泥搅拌桩复合地基的填筑速率不应大于 0.25 m/7 d ；
- b) 采用排水固结法处理地基时，应控制填筑速率，使之与地基的强度增长相适应。一般路堤，沉降速率应不大于 15 mm/d ；对于桥头路堤，沉降速率应不大于 10 mm/d 。对于真空预压处理路段，在稳定抽真空时期、填土高度 5 m 以下时，沉降速率应不大于 20 mm/d ；
- c) 非排水固结法处理的路段，沉降速率应不大于 10 mm/d ；
- d) 各种地基的水平位移应不大于 5 mm/d ；
- e) 当观测数据超出以上范围或路堤稳定出现异常情况而可能失稳时，观测单位应立即通知施工单位停止加载并采取处理措施，待路堤恢复稳定后，方可继续填筑。

13.7.2 预压卸载时，要求推算的工后沉降量小于设计容许值，同时满足以下沉降速率标准，方可卸载开挖路槽并开始路面铺筑：

- a) 对欠载预压的路段，按连续两个月的月沉降速率不大于 3 mm 进行控制；
- b) 对等载预压的路段，按连续两个月的月沉降速率桥头不大于 3 mm 、一般路段不大于 5 mm 进行控制；
- c) 对超载预压的路段，当有效应力面积比不大于 0.75 并且预压期超过 6 个月以上时，按连续两个月的月沉降速率不大于 7 mm 进行控制。有效应力面积比为 $0.75 \sim 1.00$ 时，按连续两个月的月沉降速率桥头不大于 5 mm 、一般路段不大于 7 mm 进行控制。有效应力面积比超过 1.00 时，按连续两个月的月沉降速率桥头不大于 3 mm 、一般路段不大于 5 mm 进行控制。

13.7.3 连续两个月的月沉降速率不大于 3 mm ，方可铺筑沥青混凝土下面层。

13.8 沉降预测和预抛高计算

13.8.1 预抛高设置原则如下：

- a) 预抛高分为路基填筑期预抛高与路面施工期预抛高；
- b) 预抛高路段可根据计算预抛高值的差异进行分段；构造物之间距离小于 200 m 时宜划分为同一预抛高值路段；
- c) 等载预压和超载预压路段需进行路基填筑期预抛高时应考虑路堤的稳定性；
- d) 路段之间或与构造物相邻路段路面施工期预抛高时，应设置渐变段，渐变段长度按 $0.4\% \sim 0.6\%$ 的坡率进行控制，并且不小于 20 m ；
- e) 路面施工期预抛高沉平时间宜采用交工验收后 12 个月~18 个月。

注：预抛高沉平时间指路面施工期预抛高后，路面高程因地基沉降而沉至原设计高程所需的时间。

13.8.2 沉降预测方法如下：

- a) 以沉降计算值和实际观测值的绝对误差按式 (71) 建立目标函数;

$$J = \sum_{i=1}^N (s_i - s_i^*)^2 \dots\dots\dots (71)$$

式中:

- N ——沉降观测值总数;
 s_i ——根据实际加载和地基处理方法计算第*i*个时刻的沉降值 (mm);
 s_i^* ——沉降观测值 (mm);
 J ——各种土工参数和加载信息的函数。

- b) 以地基中各土层的室内试验参数为基准, 在合理的范围内给出各种土工参数和修正系数的上下限区域, 在此区域内给出各参数试算的值, 进行各种组合, 计算 J 值, 在符合最近一段时间沉降值的前提下取出与最小的 J 值相对应的一组参数组合。根据这组参数和实际加载信息, 代入沉降计算理论公式, 推算相应的沉降曲线。

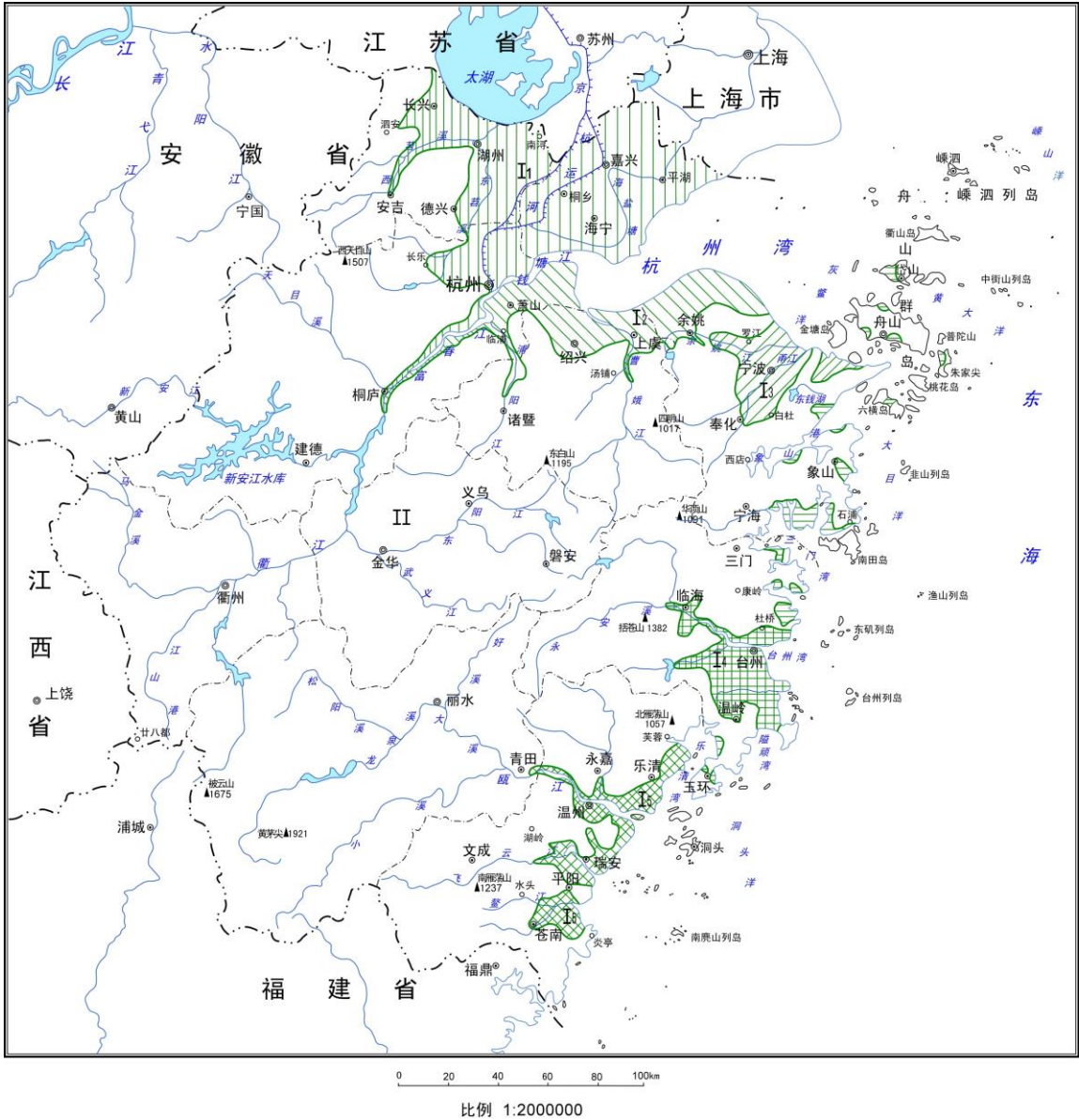
13.8.3 路面施工期预抛高值根据沉降预测计算获得, 可乘以 1.1 倍~1.3 倍的系数。

附 录 A
(资料性)
浙江省软土的分布及典型软土物理力学性质指标

A.1 浙江省软土主要分布在浙北、浙东平原区（Ⅰ），零星分布在中低山丘陵及浙中盆地区（Ⅱ）低洼地带。表A.1 及图A.1 提供了浙江省软土分区情况。

表A.1 浙江省软土分区表

区	亚 区
浙北、浙东平原区（Ⅰ）	杭（州）嘉（兴）湖（州）平原软土分布区（Ⅰ ₁ ）
	萧（山）绍（兴）姚（余姚）平原软土分布区（Ⅰ ₂ ）
	宁（波）奉（化）平原软土分布区（Ⅰ ₃ ）
	温（岭）黄（岩）平原软土分布区（Ⅰ ₄ ）
	温（州）瑞（安）平（阳）平原软土分布区（Ⅰ ₅ ）
	三门湾及岛屿软土分布区（Ⅰ ₆ ）
中低山丘陵及浙中盆地区（Ⅱ）	—



图例

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| I ₁ 杭(州)嘉(兴)湖(州)平原软土分布区 | I ₂ 温(州)瑞(安)平(阳)平原软土分布区 |
| I ₃ 萧(山)绍(兴)余(姚)平原软土分布区 | I ₄ 宁(波)奉(化)平原软土分布区 |
| I ₅ 温(岭)黄(岩)平原软土分布区 | II 中低山丘陵区及浙中盆地软土分布区 |

图A.1 浙江省软土分区图

A.2 表A.2～表A.6 提供了浙江省各软土分布区典型软土物理力学性质指标。

表 A.2 杭（州）嘉（兴）湖（州）平原软土分布区（Ⅰ₁）

地层年代成因		Q ₄ ^m					Q ₃ ^{2m}
深度		0 m～10 m		10 m～20 m		20 m～30 m	>30 m
软土类型		淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥质土	淤泥质土
天然含水量 W		53.5～65.2	36.0～54.2	53.2～61.9	35.7～53.3	39.6～48.6	37.9～43.3
天然湿密度 ρ		1.58～1.71	1.69～1.86	1.64～1.68	1.69～1.86	1.74～1.83	1.78～1.86
天然孔隙比 e		1.500～1.955	1.011～1.482	1.501～1.737	1.028～1.483	1.069～1.307	1.015～1.210
液性指数 I _L		1.08～1.96	1.04～1.91	1.41～1.88	1.05～2.10	1.08～1.51	1.07～1.54
压缩系数 a ₁₋₂		0.84～1.80	0.51～1.53	1.31～1.73	0.50～1.33	0.50～0.80	0.38～0.50
压缩模量 Es ₁₋₂		1.28～2.54	1.46～4.07	1.38～1.97	1.61～4.32	1.96～4.16	4.36～4.98
直剪	内聚力 C	3.0～19.0	5.0～24.0	5.0～10.0	7.0～20.0	5.0～26.0	21.8～35.7
	内摩擦角 φ	0.4～4.8	0.5～5.1	1.0～2.9	1.0～6.8	1.4～4.5	5.5～8.2
直剪 固快	内聚力 C	14.0～23.0	11.0～20.0	—	16.0～23.0	15.0～24.0	—
	内摩擦角 φ	6.6～14.0	7.4～15	—	6.8～13.9	4.5～17.2	—
三轴 快剪	内聚力 C _{uu}	—	4.0～18.0	8.0～9.0	4.0～20.0	—	26.0～27.0
	内摩擦角 φ _{uu}	—	0.6～1.7	1.4～1.9	0.5～1.3	—	2.2～2.5
渗透 系数	垂直 K _v	2.63E-7～ 1.50E-6	4.73E-8～ 1.50E-6	8.30E-8～ 5.37E-7	3.70E-8～ 1.40E-6	2.00E-7～ 1.10E-6	3.00E-7～ 7.90E-6
	水平 K _h	5.83E-7～ 4.10E-6	6.50E-8～ 4.10E-6	2.50E-8～ 1.44E-7	3.10E-7～ 3.40E-6	2.20E-7～ 6.30E-6	3.70E-7～ 9.00E-5
无侧限 抗压 强度	原状土 q _u	8.0～18.0	10.0～30.0	—	18.0～35.0	—	64.0～64.7
	重塑土 q _u '	—	2.0～13.0	—	3.0～10.0	—	5.0～12.0
	灵敏度 s _t	—	1.0～4.2	—	2.2～6.0	—	4.9～11.5
静力 触探	锥尖阻力 q _c	0.28～0.38	0.34～0.58	—	0.42～0.60	0.45～0.60	—
	侧壁阻力 f _s	9.7～13.2	5.18～20.45	—	6.57～16.0	7.30～8.20	—
十字板	原状土 C _u	—	12.5～30.2	—	15.2～32.2	—	—
	灵敏度 S _t	—	1.9～4.3	—	—	—	—

表 A.3 萧(山)绍(兴)姚(余姚)平原软土分布区 (Ⅰ₂)

地层年代成因		Q ₄ ^m					
深度		0 m~10 m		10 m~20 m		20 m~30 m	>30 m
软土类型		淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥质土	淤泥质土
天然含水量 W		51.8~64.9	36.4~53.6	51.4~62.4	35.1~52.2	35.0~46.1	35.0~45.8
天然湿密度 ρ		1.55~1.69	1.67~1.84	1.58~1.67	1.68~1.85	1.74~1.85	1.75~1.85
天然孔隙比 e		1.512~1.842	1.015~1.485	1.516~1.898	1.074~1.483	1.012~1.246	1.041~1.245
液性指数 I _L		1.28~2.96	1.03~1.93	1.13~2.25	1.03~2.72	1.02~1.79	1.04~1.44
压缩系数 a ₁₋₂		0.97~2.17	0.50~1.48	1.21~1.94	0.45~1.36	0.31~0.82	0.53~0.88
压缩模量 Es ₁₋₂		1.26~2.21	1.57~3.95	1.41~2.09	1.69~4.33	2.39~6.23	2.33~4.13
直剪快剪	内聚力 C	4.0~16.0	4.0~18.0	6.0~18.0	4.0~26.0	8.0~32.0	14.0~30.0
	内摩擦角 φ	0.4~5.5	0.5~6.1	1.0~4.0	0.7~9.2	1.5~11.2	2.8~7.2
直剪固快	内聚力 C	9.0~15.0	10.0~24.0	9.0~12.0	11.0~21.0	15.0~26.0	—
	内摩擦角 φ	10.0~14.3	9.4~15.4	9.5~19.9	13.4~18.7	13.8~16.5	—
三轴快剪	内聚力 C _{uu}	4.0~9.0	4.0~10.0	—	8.0~11.0	—	—
	内摩擦角 φ _{uu}	1.6~3.3	1.2~3.0	—	1.6~2.0	—	—
渗透系数	垂直 K _v	6.20E-7~7.80E-6	9.30E-7~5.70E-6	—	1.40E-7~4.80E-6	9.00E-7~5.70E-5	—
	水平 K _h	2.10E-7~2.60E-6	7.50E-7~1.40E-6	—	3.12E-7~4.40E-6	4.90E-6~2.70E-5	—
无侧限抗压强度	原状土 q _u	19.0~46.0	32.0~60.0	22.0~45.0	26.0~65.0	45.0~82.0	—
	重塑土 q _u '	7.0~19.0	7.0~18.0	6.0~16.0	7.0~22.0	9.0~25.0	—
	灵敏度 s _t	2.3~5.0	2.1~4.8	3.6~4.6	2.5~5.6	2.6~5.0	—
静力触探	锥尖阻力 q _c	0.28~0.48	0.25~0.72	—	0.32~0.86	0.58~1.06	0.58~0.88
	侧壁阻力 f _s	7.5~7.8	4.3~13.8	—	5.8~14.2	9.9~16.7	11.7~19.1
十字板	原状土 C _u	1.0~4.2	2.5~8.4	—	2.7~3.6	—	—
	灵敏度 S _t	1.4~4.1	2.0~4.9	—	2.0~5.8	—	—

表 A.4 宁（波）奉（化）平原软土分布区（Ⅰ₃）

地层年代成因		Q ₄ ⁿ					
深度		0 m~10 m		10 m~20 m		20 m~30 m	>30 m
软土类型		淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥质土	淤泥质土
天然含水量 W		54.5~68.4	37.3~53.7	51.2~56.5	35.8~52.7	35.0~49.7	35.0~42.3
天然湿密度 ρ		1.59~1.68	1.67~1.82	1.62~1.69	1.67~1.81	1.67~1.83	1.72~1.83
天然孔隙比 e		1.510~1.902	1.052~1.470	1.505~1.583	1.050~1.479	1.018~1.474	1.023~1.232
液性指数 I _L		1.30~1.49	1.06~1.65	1.11~1.64	1.03~1.65	1.02~1.35	1.04~1.34
压缩系数 a ₁₋₂		1.17~1.79	0.52~1.41	1.14~1.81	0.57~1.29	0.45~1.15	0.42~0.82
压缩模量 E _{s1-2}		1.55~2.00	1.64~3.67	1.29~2.23	1.84~3.46	2.13~4.48	2.52~4.81
直剪快剪	内聚力 C	2.0~7.0	3.0~10.0	6.0~13.0	5.0~11.0	5.0~18.0	8.0~10.0
	内摩擦角 φ	0.9~8.0	0.9~9.0	1.4~6.5	2.2~11.5	2.3~18.5	3.0~9.5
直剪固快	内聚力 C	6.0~9.0	9.0~12.0	9.0~10.0	9.0~14.0	11.0~16.0	—
	内摩擦角 φ	8.0~16.5	8.2~15.7	8.4~8.9	8.1~9.6	4.2~9.4	—
三轴快剪	内聚力 C _{uu}	—	1.4~7.0	—	3.0~10.0	—	—
	内摩擦角 φ _{uu}	—	1.4~2.2	—	1.6~3.2	—	—
渗透系数	垂直 K _v	—	1.30E-7~ 5.90E-7	—	1.00E-7~ 2.00E-7	1.20E-7~ 1.80E-7	—
	水平 K _h	—	1.60E-7~ 1.30E-6	—	1.50E-7~ 3.10E-7	1.40E-7~ 2.30E-7	—
无侧限抗压强度	原状土 q _u	14.1~20.0	15.0~24.0	—	16.0~31.0	2.2~3.0	—
	重塑土 q _u '	3.3~7.4	3.0~6.7	—	4.2~6.7	4.4~6.7	—
	灵敏度 s _t	5.0~6.0	4.8~5.6	—	2.3~5.3	4.2~5.0	—
静力触探	锥尖阻力 q _c	0.23~0.49	0.30~0.67	0.31~0.68	0.37~1.06	0.62~1.16	—
	侧壁阻力 f _s	4.8~7.2	5.4~14.5	6.1~8.7	6.2~15.0	8.9~13.7	—
十字板	原状土 C _u	2.1~12.3	4.0~15.1	—	4.5~22.1	6.9~23.3	—
	灵敏度 S _t	1.2~5.2	1.0~6.8	—	1.0~6.4	1.2~5.6	—

表A.5 温(岭)黄(岩)平原软土分布区(Ⅰ₄)

地层年代成因		Q ₄ [■]					
深度		0 m~10 m		10 m~20 m		20 m~30 m	
软土类型		淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土
天然含水量 W		54.0~71.1	36.5~56.2	53.6~69.7	36.4~54.9	52.5~65.6	36.1~52.6
天然湿密度 ρ		1.58~1.68	1.69~1.83	1.55~1.69	1.67~1.85	1.62~1.69	1.69~1.82
天然孔隙比 e		1.576~1.966	1.041~1.491	1.511~1.888	1.043~1.485	1.505~1.776	1.013~1.468
液性指数 I _L		1.06~2.18	1.02~1.74	1.05~1.99	1.01~1.75	1.09~1.52	1.02~1.44
压缩系数 a ₁₋₂		1.06~2.21	0.53~1.36	1.14~2.07	0.55~1.32	0.56~1.47	0.48~1.18
压缩模量 Es ₁₋₂		1.12~2.24	1.68~3.85	1.22~2.11	1.75~3.56	1.76~4.28	1.89~4.26
直剪快剪	内聚力 C	3.0~13.0	6.0~16.5	5.0~13.0	4.0~16.0	6.0~27.0	6.0~22.0
	内摩擦角 φ	0.5~3.7	0.7~7.5	0.5~4.3	0.5~4.9	0.7~6.7	0.6~6.8
直剪固快	内聚力 C	7.0~15.0	9.0~16.0	8.0~18.0	9.0~18.0	9.0~19.0	18.0~23.0
	内摩擦角 φ	3.0~18.6	7.0~17.2	3.3~16.5	5.0~17.5	3.0~12.5	12.5~14.0
三轴快剪	内聚力 C _{uu}	1.6~13.0	5.0~15.0	2.0~14.0	3.0~17.0	2.5~13.0	—
	内摩擦角 φ _{uu}	0.2~4.2	0.9~3.1	1.1~2.8	1.2~2.0	0.8~3.0	—
渗透系数	垂直 K _v	1.58E-7~ 1.30E-6	4.00E-7~ 1.45E-6	1.2E-7~ 1.8E-6	1.0E-7~ 2.6E-6	—	3.5E-7~ 1.20E-6
	水平 K _h	1.42E-7~ 2.90E-6	5.40E-8~ 2.70E-6	1.3E-7~ 2.3E-6	1.3E-7~ 4.0E-6	—	3.2E-7~ 1.30E-6
无侧限抗压强度	原状土 q _u	12.0~2.62	13.0~29.0	13.0~35.0	11.0~39.0	22.0~41.0	28.0~39.0
	重塑土 q _u '	2.0~10.0	3.0~17.0	2.0~11.0	4.0~10.9	6.8~10.0	6.5~9.0
	灵敏度 s _t	2.0~9.5	1.8~5.3	2.1~8.8	2.2~5.6	2.4~4.9	3.0~6.4
静力触探	锥尖阻力 q _c	—	—	—	—	—	—
	侧壁阻力 f _s	—	—	—	—	—	—
十字板	原状土 C _u	—	—	—	—	—	—
	灵敏度 S _t	—	—	—	—	—	—

表A.6 温(州)瑞(安)平(阳)平原软土分布区(Ⅰ5)

地层年代成因		Q_4^m							
深度		0 m~10 m		10 m~20m		20 m~30m		>30 m	
软土类型		淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土
天然含水量 W		55.5~87.2	43.6~53.0	54.1~77.2	39.3~52.6	53.8~71.6	38.6~51.0	53.0~64.0	37.0~50.2
天然湿密度 ρ		1.49~1.85	1.68~1.80	1.52~1.69	1.68~1.83	1.53~1.70	1.67~1.89	1.60~1.68	1.69~1.85
天然孔隙比 e		1.507~ 2.292	1.178~ 1.495	1.507~ 2.132	1.078~ 1.491	1.514~ 2.062	1.092~ 1.468	1.508~ 1.791	1.022~ 1.460
液性指数 I_L		1.04~2.00	1.04~1.46	1.07~1.96	1.02~1.70	1.04~1.62	1.01~1.37	1.03~1.17	1.01~1.06
压缩系数 a_{1-2}		0.73~3.69	0.68~1.18	0.67~3.37	0.56~1.12	0.75~2.34	0.51~1.39	1.04~1.35	0.69~1.15
压缩模量 E_{s1-2}		0.51~2.76	1.92~3.07	0.56~3.19	1.96~2.67	1.13~2.57	1.67~4.27	2.02~2.66	2.09~2.95
直剪 快剪	内聚力 C	1.6~20.0	3.1~15.0	1.40~22.0	4.0~22.0	7.0~20.0	9.0~28.0	10.0~15.0	12.0~21.0
	内摩擦角 ϕ	0.1~9.0	0.3~18.6	0.1~7.1	0.7~20.7	0.3~6.0	0.6~12.8	1.6~4.6	1.0~3.1
直剪 固快	内聚力 C	7.0~17.0	3.0~7.0	6.0~20.0	15.0~17.7	8.0~18.0	—	—	12.0~16.0
	内摩擦角 ϕ	8.6~17.2	11.5~19.1	9.4~17.1	11.7~18.9	8.1~13.4	—	—	19.1~20.1
三轴 快剪	内聚力 C_{uu}	3.0~12.0	—	3.0~14.0	—	13.0~16.0	—	—	—
	内摩擦角 ϕ_{uu}	0.4~2.0	—	0.3~1.8	—	0.8~2.3	—	—	—
渗透 系数	垂直 K_v	2.7E-7~ 1.1E-6	2.7E-7~ 1.7E-6	1.1E-7~ 1.5E-6	—	1.4E-7~ 3.9E-6	—	—	—
	水平 K_h	2.8E-7~ 5.5E-6	2.7E-7~ 3.5E-6	2.3E-7~ 1.6E-6	—	1.5E-7~ 2.9E-7	—	—	—
无侧 限抗 压强 度	原状土 q_u	6.0~32.1	30.4~38.1	15.7~47.0	20.0~50.0	15.9~50.8	13.5~54.2	—	45.1~46.2
	重塑土 $q_{u'}$	3.0~12.0	20.0~21.5	3.6~15.4	5.3~21.3	6.7~19.4	6.2~23.2	—	11.4~14.7
	灵敏度 st	2.9~5.0	1.4~1.9	2.7~6.0	2.3~5.6	2.5~5.2	2.2~5.7	—	3.07~4.05
静力 触探	锥尖阻力 q_c	0.17~0.46	0.35~0.69	0.15~0.65	0.35~0.99	0.41~0.65	0.55~0.99	—	0.66~1.11
	侧壁阻力 f_s	3.0~8.5	6.2~11.4	3.6~9.8	6.2~14.1	6.3~10.4	7.1~24.5	—	11.8~25.1
十字 板	原状土 C_u	7.0~21.3	16.0~36.0	9.0~20.7	10.0~43.0	—	21.0~34.0	—	—
	灵敏度 St	2.0~4.7	—	3.0~4.3	3.9~4.5	—	—	—	—

附 录 B
(资料性)
浙江省软土的分类

B.1 表B.1 提供了软土成因类型分类。

表 B.1 软土按成因类型分类

成因类型	分布范围及主要特征
海相	分布于杭（州）嘉（兴）湖（州）平原、萧（山）绍（兴）姚（余姚）平原、宁（波）奉（化）平原、温（岭）黄（岩）平原、温（州）瑞（安）平（阳）平原，分布范围广，表层有较薄的硬壳层，其下为较厚的淤泥及淤泥质土层，在其边缘常有泥炭堆积。软土层厚度由山前向海边逐渐增大，由平原向山前逐渐变薄。
湖沼相	主要分布于中低山丘陵及浙中盆地排水不畅的低洼地带，分布不均，范围较小，局部有机质含量高。

B.2 表B.2 提供了软土厚度分类。

表 B.2 软土按厚度分类

分类名称	软土层厚度
薄层软土	厚度 ≤ 3 m
中厚层软土	$3\text{ m} < \text{厚度} \leq 15\text{ m}$
厚层软土	$15\text{ m} < \text{厚度} \leq 30\text{ m}$
巨厚层软土	厚度 $> 30\text{ m}$

B.3 表B.3 提供了软土埋藏条件分类。

表 B.3 软土按埋藏条件分类

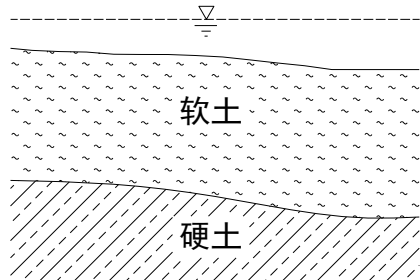
分类名称	分布及特征	典型剖面
无覆盖层软土	分布在池塘、河流、海洋等处，软土层直接分布于水面之下，固结较差，有的为流泥或浮泥。	

表 B.3 软土按埋藏条件分类（续）

分类名称	分布及特征	典型剖面
浅埋软土	主要分布于海积、冲湖积平原区，表部一般为软～硬塑状黏土、粉质黏土，俗称“硬壳层”，厚度一般小于 3m，其下为软土层。多分布在杭（州）嘉（兴）湖（州）平原、萧（山）绍（兴）姚（余姚）平原及宁（波）奉（化）平原等处。	
深埋软土	主要分布于钱塘江两岸冲海积平原区，表部一般为粉土、粉砂层，厚度一般大于 10m，其下为软土层。当只考虑多层软土的下层软土时，也属此类。	
多层软土	主要分布于杭（州）嘉（兴）湖（州）平原、萧（山）绍（兴）姚（余姚）平原及宁（波）奉（化）平原等处，其余平原区也有分布。软土分 2~3 层，软土间为硬土层或相对硬层，局部硬土层缺失处，两层软土层直接接触。第三软土层埋深较大，对路基影响一般较小。	
山前软土	主要分布于海积、冲海积平原傍山段，表部一般为软～硬塑状黏土、粉质黏土，下部软土层厚度自山体向平原区倾斜，随岩体起伏纵、横向厚度变化大。	

附 录 C
(资料性)
浙江省软土工程特性

C.1 表C.1 提供了浙江省软土工程特性。

表 C.1 浙江省软土工程特性

软土特点	工程性质
高含水率	天然含水率较大，多在 40%~70%之间，饱和度在 90%~100%，重度一般在 14.0 kN/m ³ ~19.0kN/m ³ 。
弱透水性 固结速度缓慢	渗透系数较小，一般为 10 ⁻⁶ cm/s~10 ⁻⁸ cm/s，对地基排水固结不利，路堤填筑后沉降延续时间长，尤其是高液限软土，大部分具结构性（蜂窝结构和絮凝结构）。部分海相软土间夹粉土或粉砂薄层，至使其水平渗透系数与垂直渗透系数差别悬殊。
大孔隙比 高压缩性	孔隙比大于 1.0，压缩系数 a_{1-2} 一般大于 0.5MPa ⁻¹ ，最大可达 10MPa ⁻¹ 以上。软土在外力的作用下，最初外力全部由孔隙水承担，随着水分的排出，外力逐渐传递到土骨架上，孔隙水压力减小，有效应力增加。
低抗剪强度	十字板剪切强度<35kPa。对排水条件较差，加荷速率较快的路堤，稳定计算时宜采用快剪强度指标；对排水条件较好，地基能达到一定程度固结时，可采用固结快剪强度指标。
触变性	在天然状态下，软土有一定的结构强度，但一经扰动或振动，结构便被破坏，强度显著降低，甚至呈流动状态。灵敏度一般为 2~6，最大可达到 10 以上。
流变性	在荷载作用下，软土承受剪应力的作用产生缓慢而长期的剪切变形，并导致抗剪强度的衰减，在主固结沉降完成之后还可能继续产生较大的次固结沉降。
有机质含量低	有机质含量一般小于 10%，多为 2%~5%；其中萧（山）绍（兴）姚（余姚）平原、宁（波）奉（化）平原部分硬壳层下分厚度 0.2m~0.5m 的厚泥炭层，性质差，成分主要为纤维素和腐殖质。
分布广、厚度大	浙北、浙东平原区大面积分布，厚度一般为 3m~30m，温州沿海一带厚度大，可达 50m 以上。

附 录 D
(规范性)
软土室内试验项目

D.1 表D.1 规定了软土室内试验项目。

表 D.1 软土室内试验项目^{a、b}

按性质分类	试验项目		提供参数	备 注
物理性质	含水率试验		天然含水率	孔隙比 饱和度 常规项目
	密度试验		天然湿密度、干密度	
	比重试验		比重	
	颗粒分析试验		颗粒组成、不均匀系数	粉土层做
	界限含水率试验		液限、塑限、塑性指数	常规项目
	相对密度试验		相对密度、最大干密度、最小干密度	粉土选做
力学性质	固结试验		压缩系数、压缩模量	常规项目
			压缩指数、回弹指数、固结系数、前期固结压力	选代表性样品做，必要时做 次固结系数
	直接剪切试验	快剪试验	抗剪强度参数（黏聚力、内摩擦角）	常规项目
		固结快剪试验	抗剪强度参数（黏聚力、内摩擦角）	选代表性样品做
	三轴压缩试验	不固结不排水试验	抗剪强度参数（黏聚力、内摩擦角）	选代表性样品做
		固结不排水试验	抗剪强度参数（黏聚力、内摩擦角）	选代表性样品做，必要时做 有效抗剪强度参数
	无侧限抗压强度试验		无侧限抗压强度、灵敏度	选代表性样品做
水理性质	渗透试验		渗透系数	选代表性样品做
化学成分	酸碱度试验		PH 值	必要时选做
	有机质含量试验		有机质含量	选代表性样品做
^a 常规项目指必做试验项目；选代表性样品做指根据地基处理设计要求所需要的试验项目，每一土层均应有指标，数量应满足数理统计的要求；必要时选做指设计有特殊要求所需要的试验项目，每一土层指标数量宜满足数理统计的要求，应大于 3 组。 ^b 固结系数、压缩指数、前期固结压力、渗透系数等应同时提供垂直和水平向试验指标；高压固结试验，试验压力应能满足绘制完整压缩曲线的要求，最大压力不宜小于 1 600 kPa。				

附 录 E
(规范性)
不同地基处理方法的软土试验项目

E.1 表E.1 规定了不同地基处理方法的软土试验项目。

表 E.1 不同地基处理方法的软土试验项目

处理方法	试验方法												
	含水率	密度	比重	界限含水率	压缩试验	直接剪切		固结试验	三轴试验	渗透试验	无侧限抗压强度	灵敏度	有机质含量
						快剪	固结快剪						
浅层处理	☆	☆	☆	☆	☆	☆	—	—	△	△	△	—	—
排水固结法	☆	☆	☆	☆	☆	☆	△	☆	△	☆	△	☆	—
水泥搅拌桩	☆	☆	☆	☆	☆	☆	—	—	☆	—	☆	△	☆
轻质路堤	☆	☆	☆	☆	☆	☆	—	☆	△	△	△	△	—
桩承式加筋路堤	☆	☆	☆	☆	☆	☆	—	—	☆	—	☆	△	—
高压旋喷桩	☆	☆	☆	☆	☆	☆	—	—	☆	—	☆	☆	☆
高真空击密法	☆	☆	☆	☆	☆	☆	△	☆	△	☆	☆	☆	—
注1：本表所列为常用地基处理方法；													
注2：表列试验项目中，“☆”为必选项目，“△”为选做项目。													

附 录 F
(规范性)
桩体荷载分担比系数

F.1 表F.1 规定了桩体荷载分担比系数 η ，中间值按线性内插确定。

表 F.1 桩体荷载分担比系数 η

ϕ		20°				25°				30°			
b/s		0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6
s/h	0.3	0.321	0.494	0.652	0.781	0.423	0.609	0.757	0.863	0.540	0.722	0.846	0.911
	0.4	0.321	0.494	0.652	0.781	0.423	0.609	0.757	0.863	0.540	0.722	0.813	0.867
	0.5	0.321	0.494	0.652	0.781	0.423	0.609	0.748	0.817	0.540	0.686	0.748	0.817
	0.6	0.321	0.494	0.652	0.760	0.423	0.607	0.677	0.760	0.540	0.607	0.677	0.760
	0.7	0.321	0.494	0.603	0.697	0.423	0.527	0.603	0.697	0.468	0.527	0.603	0.697
	0.8	0.321	0.447	0.526	0.628	0.387	0.447	0.526	0.628	0.387	0.447	0.526	0.628
	0.9	0.310	0.368	0.448	0.555	0.310	0.368	0.448	0.555	0.310	0.368	0.448	0.555
ϕ		35°				40°				45°			
b/s		0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.5
s/h	0.3	0.663	0.822	0.872	0.911	0.778	0.834	0.872	0.911	0.799	0.834	0.872	0.911
	0.4	0.663	0.762	0.813	0.867	0.718	0.762	0.813	0.867	0.718	0.762	0.813	0.867
	0.5	0.634	0.686	0.748	0.817	0.634	0.686	0.748	0.817	0.634	0.686	0.748	0.817
	0.6	0.551	0.607	0.677	0.760	0.551	0.607	0.677	0.760	0.551	0.607	0.677	0.760
	0.7	0.468	0.527	0.603	0.697	0.468	0.527	0.603	0.697	0.468	0.527	0.603	0.697
	0.8	0.387	0.447	0.526	0.628	0.387	0.447	0.526	0.628	0.387	0.447	0.526	0.628
	0.9	0.310	0.368	0.448	0.555	0.310	0.368	0.448	0.555	0.310	0.368	0.448	0.555
注： ϕ —路堤填料的内摩擦角（°）；s—桩的中心间距（m）；b—方形桩帽的边长或圆形桩帽的等效边长（m）； h—路堤填筑高度（m）。													