

ICS 93.080
P66

DB33

浙 江 省 地 方 标 准

DB 33/T 904—2013

公路软土地基路堤设计规范

Code for design of highway embankment on soft ground

2013 - 12 - 31 发布

2014 - 01 - 31 实施

浙江省质量技术监督局 发布

目 次

前言	IV
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	4
4.1 软土的界定	4
4.2 基础资料	5
4.3 工程勘察	5
4.4 沉降与稳定标准	5
4.5 设计	6
4.6 施工要求	8
4.7 设计文件的编制	8
5 浙江省软土的工程特性及勘察	9
5.1 软土的分类与工程特性	9
5.2 工程勘察	11
6 浅层处理	15
6.1 一般规定	15
6.2 设计	15
6.3 施工要求	18
6.4 质量检验	19
7 土工合成材料加筋	19
7.1 一般规定	19
7.2 设计	21
7.3 施工要求	23
7.4 质量检验	24
8 排水固结法	24
8.1 一般规定	24
8.2 设计	24
8.3 施工要求	28
8.4 质量检验	28
9 水泥搅拌桩	28
9.1 一般规定	28
9.2 设计	29
9.3 施工要求	32

9.4	质量检验	33
10	桩承式加筋路堤	33
10.1	一般规定	33
10.2	设计	33
10.3	施工要求	40
10.4	质量检验	40
11	塑料套管混凝土桩	40
11.1	一般规定	40
11.2	设计	41
11.3	施工要求	42
11.4	质量检验	43
12	轻质路堤	43
12.1	一般规定	43
12.2	泡沫混凝土轻质路堤	44
12.3	EPS 块体轻质路堤	46
12.4	EPS 颗粒混合土轻质路堤	49
12.5	粉煤灰轻质路堤	51
13	动态监测与分析	52
13.1	一般规定	52
13.2	观测仪标及断面布置	52
13.3	沉降观测	52
13.4	侧向位移观测	53
13.5	观测频率	53
13.6	监测成果分析	53
13.7	监测控制指标	53
13.8	沉降预测和预抛高计算	54
附录 A (资料性附录)	浙江省软土分布图	56
附录 B (规范性附录)	不同地基处理方法的软土试验项目	57
附录 C (规范性附录)	软土室内试验项目	58
附录 D (资料性附录)	浙江省软土工程特性	59
附录 E (资料性附录)	浙江省典型软土物理力学性质指标表	60
附录 F (规范性附录)	桩体荷载分担比系数	66
	参考文献	67

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由浙江省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：浙江省交通规划设计研究院。

本标准主要起草人：杨少华、段冰、郑束宁、毛斌、袁迎捷、刘健、江建坤、陈建荣、俞帆、单君、黄天元、姜正晖、任超、张天宝、徐立新、朱益军、陈永辉、王新泉。

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这些专利的责任。

公路软土地基路堤设计规范

1 范围

本标准规定了各软基处理方法的勘察设计原则、施工要点和质量检验的主要要求。
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。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG 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 E40 公路土工试验规程
- JTG F10 公路路基施工技术规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准（第一册 土建工程）
- JGJ 94 建筑桩基技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

软土 soft soil

滨海、湖沼、谷地、河滩沉积的天然含水率高、天然孔隙比大、压缩性高和抗剪强度低的细粒土。

3.2

极限填筑高度 limited Height of filling

在天然软土地基上用快速施工的方法修筑一般断面的路基所能填筑的最大高度，称为极限填筑高度。

3.3

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之和，称为等载预压；若预压荷载大于路基

荷载与路面等效荷载之和，称为超载预压；若预压荷载小于路基荷载与路面等效荷载之和，称为欠载预压。

3.4

真空预压法 vacuum preloading method

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，而使地基固结的地基处理方法。

3.5

真空联合堆载预压 vacuum-surchage 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一种地基处理方法。

3.6

预压期 preloading period

路基初次填到设计预压标高后，至卸载开始时或路面结构层开始施工时所持续的时间。

3.7

浅层处理 shallow treatment

通过置换、加筋、夯压、浅层固化、设置褥垫等方式对表层软土进行处理，以提高地基承载力的一种方法。

3.8

土工合成材料 geosynthetics

以塑料、化纤、合成橡胶等为原料，制成的各种聚合物产品。置于土体内部、表面或填料之间，发挥排水、隔离、反滤、加筋等作用的材料。

3.9

加筋 method of reinforcement

在土或填料中加入土工合成材料、钢筋等条带网格状抗拉材料，以改善土或填料的力学性能，提高路基稳定性和均化沉降的方法。

3.10

水泥搅拌桩 cement mixing piles

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，使软土硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的一种桩体。

3.11

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。

3.12

桩承式加筋路堤 pile-supported reinforced embankment

在软土地基中按一定间距打设刚性桩，在桩顶端设置相应尺寸的桩帽（或称为托板），并在桩帽顶面铺设土工合成材料加筋垫层，然后填筑形成的路堤。

3.13

塑料套管混凝土桩 plastic tube cast-in-place concrete pile

带塑料套管的现浇混凝土桩。由预制桩尖、塑料套管、套管内混凝土、顶部桩帽四部分组成；按一定间距将塑料套管打入软土地基中，套管内用混凝土浇注成桩。

3.14

负摩阻力和中性点 negative skin friction and neutral point

桩身周围土由于自重固结、地下水位下降、地面附加荷载等原因而产生大于桩身的沉降时，土对桩侧表面产生向下的摩阻力，称为负摩阻力。

在桩身某一深度处的桩土位移量相等，该处称为中性点。中性点是正、负摩阻力的分界点。

3.15

轻质路堤 lightweight embankment

将泡沫混凝土、EPS块体、EPS颗粒混合土、粉煤灰等轻质材料作为路基填料，以减少沉降、增加稳定性的一种路堤型式。

3.16

泡沫混凝土 foamed concrete

将发泡剂、水溶液用物理方法制备成泡沫群，并加入到由水泥、水、外加剂（集料）制成的浆液中，经混合搅拌、浇筑成型的含有大量封闭气孔的轻质材料。

3.17

EPS块体 expanded polyStyrene block

由聚苯乙烯发泡形成的块体，是一种轻质路基填料。

3.18

EPS颗粒混合轻质土 mixed lightweight soil with EPS

将原料土、EPS颗粒、固化材料和水混合搅拌均匀后，经压实和固化作用形成的一种改性人造轻质土。

3.19

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。

3.20

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。

3.21

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。

3.22

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基填筑材料，或在路面施工过程中预先采用路面材料来补偿沉平控制时间内所发生的沉降量的方法。

3.23

预抛高沉平时间 the needed time for settlement equal to pre-flip height

路面施工期预抛高后，路面标高因地基沉降而沉至原设计标高所需的时间。

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。

4.1.2 软土鉴别可按表 1 执行。

表1 软土鉴别指标表

特征指标		塑性指数	天然含水率	天然孔隙比	直剪快剪内摩擦角	压缩系数	十字板抗剪强度	静力触探锥尖阻力	标准贯入试验锤击数	有机质含量	
名称		I_p	w (%)	e	φ_q (°)	$a_{0.1-0.2}$ (MPa^{-1})	τ (kPa)	q_c (MPa)	N (次)	w_u (%)	
黏性土	淤泥		≥ 35	$e \geq 1.5$	< 5	> 0.5	< 35	≤ 0.75			
	淤泥质黏土	$I_p > 17$		$\geq w_L$							$1.0 \leq e < 1.5$
	淤泥质粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$									
	黏土	$I_p > 17$		$w \geq w_L$ 或 $e \geq 1.0$							
	粉质黏土	$10 < I_p \leq 17$									
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										$w_u > 60$	

注1：当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。

注2： w_L 指液限(%)。

注3：液限、塑限分别采用76g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：

- a) 路线纵横断面及桥梁、通道、涵洞的布设等各相关专业的设计资料；
- b) 软土路段两侧附近的已有构筑物、管线等环境状况；
- c) 路堤填筑材料的来源、特性等有关情况；
- d) 附近公路、铁路、水利工程的软基处理相关经验；
- e) 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 应根据道路等级、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沿河、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 新建工程沉降控制标准：公路软土地基在路面设计使用年限内的工后沉降应满足表 2 的要求，同时对差异沉降的过渡应满足其渐变率 $\leq 0.5\%$ 。

表2 工后沉降控制标准

设计速度	路段类型		
	桥梁与路基 相邻路段	箱式通道、涵洞与 路基相邻路段	一般路段
$\geq 100\text{km/h}$	$\leq 0.10\text{m}$	$\leq 0.15\text{m}$	$\leq 0.30\text{m}$
80km/h	$\leq 0.15\text{m}$	$\leq 0.20\text{m}$	$\leq 0.40\text{m}$
$\leq 60\text{km/h}$	$\leq 0.20\text{m}$	$\leq 0.30\text{m}$	$\leq 0.5\text{m}$
注：桥式通道按桥梁考虑。			

4.4.2 稳定控制标准：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

安全系数 采用指标	固结有效应力法		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	1.1	1.2			
静力触探、十字板剪切			1.2	1.3	
三轴有效剪切					1.4

4.5 设计

4.5.1 设计原则

设计应遵循以下原则：

- 应遵循“安全适用、技术先进、经济合理、质量可控”的设计原则，做到因地制宜、合理选材、节约资源、保护环境；
- 应重视软土地区地质选线工作，对深厚软土区尽可能避让；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；
- 应采用动态设计方法，重视施工监测与分析。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；
- 除执行本标准外，还应符合国家及行业现行有关标准、规范的规定。

4.5.2 设计步骤

设计步骤如下：

- 根据不同沉降控制标准进行路基路段划分：桥梁与路基相邻路段的划分长度一般为 30 m~50 m，箱式通道或箱式涵洞与路基相邻路段的划分长度一般为 20 m~40 m，圆管涵与路基相邻路段的划分长度一般为 10 m~20 m，其余为一般路段；
- 根据软土层厚度及其指标、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；
- 分析各典型路段在天然地基条件下的总沉降、工后沉降、极限填筑高度、稳定安全系数等，根据沉降及稳定控制标准，确定是否需进行地基处理；
- 根据处理方法的选用原则，拟定典型路段的各适用处理方案，进行计算分析和综合比较，确定最终处理方案。

4.5.3 选用原则

4.5.3.1 一般路段

- 软土层深度为 3 m~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，当填土高度较大，稳定不能满足设计要求时，可结合加筋处理。
- 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，稳定不能满足设计要求时，可结合加筋处理。
- 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。

4.5.3.2 桥梁、通道、涵洞与路基相邻路段

- 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 2~3 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、EPS 颗粒混合土、粉煤灰等轻质填料, 并可结合排水固结、复合地基等方法综合处理。

4.5.3.3 不同处理方法相邻路段

存在差异沉降的相邻路段, 应做过渡处理设计。

两构造物之间, 当一般路段长度小于50m时, 宜采用与构造物相邻路段相同的处理方法。

4.5.3.4 特殊地形地貌路段

- a) 傍山路段软土分布纵横向变化较大。当软土埋深浅、厚度薄时, 宜选用置换法; 当软土深厚时, 宜选用轻质路堤或钻孔灌注桩等处理方法。
- b) 临河塘路段, 根据软土层条件和稳定验算结果, 宜选用预应力管桩等桩承式加筋路堤、轻质路堤等处理方法。
- c) 桥下、杆线下方等施工设备受净空限制路段, 宜选用钻孔灌注桩、轻质路堤等对设备高度要求低的处理方法。
- d) 临近重要构筑物路段, 宜选用钻孔灌注桩、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。

4.5.3.5 改扩建路段

- a) 路基拼接时, 原有路基与拓宽路基的路拱横坡度的工后增大值不应大于 0.5%; 拓宽路基桥头路段工后沉降不大于 5cm, 桥头路段总沉降不大于 15 cm, 一般路段工后沉降不大于 15 cm。
- b) 原有路基已基本完成地基沉降的路段, 路基拓宽范围的软土地基处理宜选用桩承式加筋路堤或复合地基, 不宜选用排水固结法处理。
- c) 原有路基尚未完成地基沉降的路段, 路基拓宽范围的软土地基处理可选用排水固结法, 或原处理方式相同的处理方法。

4.5.4 沉降与稳定计算

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。沉降计算和稳定验算应考虑路堤在施工期与预压期由于地基沉降而补方的填料增重的影响。

4.5.4.2 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:

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

式中:

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)。

总沉降 S 也可按式 (2) 计算:

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

式中:

S_d ——瞬时沉降(mm);

S_s ——一次固结沉降(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:

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

式中:

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)。

4.5.4.3 稳定验算

软土地基路堤的稳定验算一般采用固结有效应力法、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。验算时按施工期和运营期的荷载分别计算安全系数。施工期的荷载包括路堤自重,运营期的荷载包括路堤自重、路面的增重及行车荷载。

4.5.5 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。

4.6 施工要求

4.6.1 施工组织设计应满足设计要求的预压期和沉降稳定时间,特别是采用排水固结和预压处理的路段,应尽早实施,以利于满足沉降要求。

4.6.2 应按照软基特性和不同的处理方式,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 大面积施工前,应根据设计要求进行现场试桩或试验,以确定合理的施工技术参数。

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 设计文件编制按现行设计文件编制办法执行。

4.7.2 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;
- b) 软土地基处理方法典型设计图;
- c) 不同处理方法之间过渡处理设计图;
- d) 软土地基处理设计表;
- e) 软土地基处理工程数量表;

- f) 软土地基路堤动态监测设计图；
- g) 软土地基路堤动态监测设计表及工程数量表。

4.7.3 施工图设计文件常用图表应包含以下内容：

- a) 软土地基处理方法典型设计图；
- b) 软土地基处理设计表；
- c) 软土地基处理工程数量表；
- 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) 预压路段增宽及坡率设计图；
- g) 软土地基路堤动态监测设计图；
- h) 软土地基路堤动态监测设计表及工程数量表；
- i) 复杂路段软土地基处理平面布置图。

5 浙江省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 软土的分布

- a) 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；
- b) 软土分区可参考表4及附录A；
- c) 各分布区典型软土物理力学性质指标可参考附录E。

表4 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）	

5.1.2 软土的分类

5.1.2.1 软土按成因类型分类见表5。

表5 软土按成因分类

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。

5.1.2.2 软土按特性指标分类见表1。

5.1.2.3 软土按厚度分类见表6，软土按埋藏条件分类见表7。

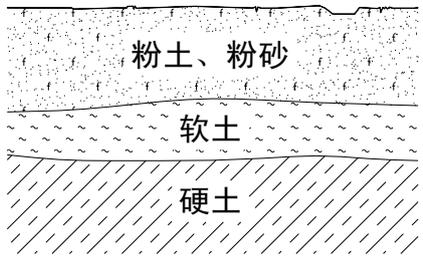
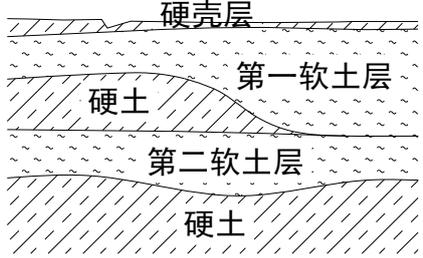
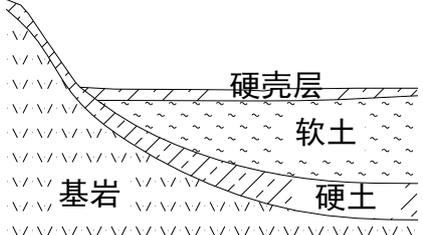
表6 软土按厚度分类

分类名称	软土层厚度
薄层软土	厚度 ≤ 3m
中厚层软土	3m < 厚度 ≤ 15m
厚层软土	15m < 厚度 ≤ 30m
巨厚层软土	厚度 > 30m

表7 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。	
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。	

表7 (续)

分类名称	分布及特征	典型剖面
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。软土分二至三层, 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。	

5.1.3 软土的工程特性见附录D。

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《公路工程地质勘察规范》(JTJ C20)与《公路路基设计规范》(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:

- 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、密度程度;
- 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 施工图设计阶段勘察应查明第 5.2.2 条的内容。

5.2.4 勘察方法的选用按下列原则执行：

- a) 应结合工程地质条件选择，并有所侧重。宜按以下顺序进行：收集资料→工程地质调查测绘→钻探与原位测试→室内试验→编制报告；
- b) 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；
- c) 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，保证成果准确性。

5.2.5 资料收集应包含以下内容：

- a) 工程规模、设计要求等资料；
- b) 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；
- c) 前期勘察和试验成果资料；
- d) 区内类似土建工程软基处治的措施和经验。

5.2.6 工程地质调查和测绘包含以下内容：

- a) 工程地质条件较复杂的场地应进行工程地质测绘。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做必要的补充；
- 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。

5.2.7 勘探

5.2.7.1 勘探点间距应按以下原则确定：

- 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 8 的规定；
 - 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 500m~1000m 布置 1 个路基横向断面，场地条件复杂、软土层性质或厚度变化较大处，应适当加密，可按 250m~500m 考虑。

- 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, 工程地质条件复杂、路基宽度较大处应加密布孔。
- 3) 扩建工程扩建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。

表8 纵向勘探点控制间距

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	1000~1500	700~1000	500	300~500
复杂场地	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	700~1000	500~1000	300	250~300

注1: 设计填土高度大于极限高度或桥头路段采用低限;
注2: 有桥梁钻孔或构造物钻孔作为路桥两用钻孔利用时, 可适当酌减;
注3: 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;
注4: 对于改扩建工程, 尚应自公路中心向两侧加密布设横纵向勘探孔, 单侧至少应布置3个孔, 包括钻孔或静力触探孔。

5.2.7.2 勘探孔定位应按以下原则确定:

- a) 初步设计阶段勘探孔位置应在 1:2000 路线平面上标注或在现场布置。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 10 cm;
- b) 施工图设计阶段勘探孔位置应在 1:2000 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 10 cm。

5.2.7.3 勘探点深度应按以下原则执行:

- a) 勘探点深度主要根据软土埋藏分布条件及填土高度而确定, 要求能够满足工程地质评价和设计的需要;
- b) 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;
- c) 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;
- d) 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。

5.2.7.4 钻探取样应按以下原则确定:

- a) 控制性钻孔必须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, 必要时在重要层位取样或进行原位测试;
- b) 取样间距: 对非均质土, 在地面以下 10 m 以内, 每 1.0 m 取样一组; 在地面下 10 m~20 m, 每 1.5 m 取样一组; 20 m 以下可每 2.0 m 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 1.5 m~2.0 m；

- c) 取样质量和数量应满足室内试验的要求。

5.2.8 原位测试

5.2.8.1 原位测试方法选择应执行以下规定：

- a) 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；
- b) 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做出评价时，应与室内试验和工程反算参数作对比，检验其可靠性；
- c) 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。

5.2.8.2 载荷试验应执行以下规定：

- a) 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；
- b) 根据载荷试验资料，可确定比例界限压力、极限压力、地基土承载力、土的变形模量、基准基床系数等。

5.2.8.3 静力触探试验应执行以下规定：

- a) 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)；
- b) 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。

5.2.8.4 十字板剪切试验应执行以下规定：

- a) 用于测定饱和软黏性土($\varphi \approx 0$)的不排水抗剪强度和灵敏度；
- b) 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。

5.2.8.5 扁铲侧胀试验应执行以下规定：

- a) 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；
- b) 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。

5.2.8.6 旁压试验应执行以下规定：

- a) 可采用预钻式或自钻式旁压试验；
- b) 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。

5.2.8.7 波速测试应执行以下规定：

- a) 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；
- b) 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。

5.2.9 室内试验

5.2.9.1 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为保存，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，严禁样品受冻。

5.2.9.2 土样试验及对试验指标的整理与统计，必须严格遵照《公路土工试验规程》（JTG E40）的规定进行。

5.2.9.3 软土室内试验项目应按附录 C 执行，不同地基处理方法的软土试验项目应按附录 B 执行。

5.2.10 资料整理及工程地质勘察报告编制

5.2.10.1 各阶段原始数据及中间成果应进行及时整理分析。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。

5.2.10.2 工程地质勘察报告编制应满足下列要求：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 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) 地基浅层软土深度小于 3.0 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。

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、宕渣等；浅层加固可选用水泥稳定土、石灰稳定土等。

6.2.2 材料要求：

- a) 砂砾

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50mm，含泥量不应大于5%。

c) 宕渣

最大粒径不大于100mm，含泥量不应大于10%。

d) 水泥稳定土

颗粒的最大粒径不应超过50mm，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），一般不小于3%。

e) 石灰稳定土

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15mm。加固剂可选用新鲜的消石灰，其最大粒径不宜大于5mm，不得夹有半熟化的生石灰块，其质量通常以CaO+MgO含量不低于55%控制。

f) 抛石材料

宜采用中~微风化硬质岩，小于300mm粒径含量不宜大于20%。

6.2.3 浅层处理厚度：

a) 排水垫层厚度以 0.3m~0.8m 为宜，铺设范围为路堤坡脚外延伸 0.5m~1.0m；

b) 置换厚度不宜大于 3.0m。

c) 浅层加固处理的厚度宜为 0.5m~3.0m。

6.2.4 计算

6.2.4.1 浅层处理的设计计算应满足地基承载力和变形的要求。

6.2.4.2 置换层、加固土层的厚度可按式（4）计算确定。

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

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）。

6.2.4.3 挡土墙、箱式通道（涵洞）、盖板涵置换层、加固土层底面处的附加应力值 P_z 可按式（5）简化计算。

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

式中：

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($^{\circ}$)，可按表9确定。

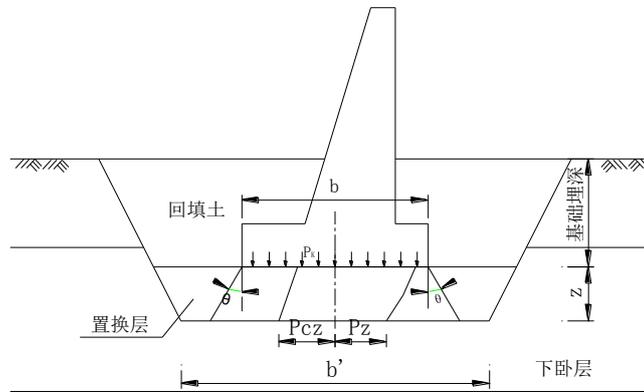


图1 附加应力计算示意图

表9 压力扩散角 $\theta(^{\circ})$

z/b \ 置换材料	中砂、粗砂、砾砂 圆砾、角砾、卵石、碎石	黏性土和粉土 ($8 < I_p < 14$)	石灰稳定土
0.25	20	6	30
≥ 0.5	30	23	

注1：当 $z/b < 0.25$ 时，除石灰稳定土取 $\theta = 30^{\circ}$ ，其余材料均取 $\theta = 0^{\circ}$ ，必要时，宜由试验确定；

注2：当 $0.25 < z/b < 0.5$ 时， θ 值可内插确定。

6.2.4.4 置换层、加固土层的底面宽度可按式(6)计算确定。

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

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($^{\circ}$)，可按表9确定。

6.2.4.5 低填、浅挖路基采用浅层处理，应满足《公路路基设计规范》(JTG D30)中对路床 CBR 值的要求和《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)对土基回弹模量 E_0 值的要求。

6.2.4.6 置换层、加固土层的抗压模量值 E_d 与 CBR 可采用式(7)进行换算。

$$E_d = 17.6CBR^{0.64} \quad \dots \dots \dots (7)$$

式中： CBR ——加州承载比 (%)；

6.2.4.7 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，或采用路面设计计算程序反算，或现场采用承载板法测得。

6.2.4.8 对置换层下存在软弱土层的地基，应按式(8)进行沉降验算。

$$S = S_{zh} + S_u \dots\dots\dots (8)$$

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, 并按式 (9) 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 (10) 计算。

$$S_{zh} = (\frac{p_k + \alpha p_k}{2} z) / E_s \dots\dots\dots (9)$$

$$S_u = \sum_{i=1}^n \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} H_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{si}} H_i \dots\dots\dots (10)$$

式中:

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10确定。

z -----置换层的厚度 (mm) ;

E_s -----置换层压缩模量 (MPa) , 宜由荷载试验确定。

e_{1i} -----根据第*i*分层的自重应力平均值, 从土的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, 从土的压缩曲线上得到的相应孔隙比;

H_i -----第*i*分层土的厚度 (m) ;

E_{si} -----第*i*分层土的压缩模量 (MPa) ;

Δp_i -----第*i*分层土的附加应力平均值 (kPa) 。

表10 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)

6.2.4.9 置换层的承载力宜通过现场荷载试验确定, 并应进行下卧层承载力的验算。

6.2.4.10 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

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 200 mm~300 mm;

b) 施工质量检验应分层进行，每层的压实度符合设计要求后方可填筑上层土。

6.3.2 砂砾、碎石层

- a) 施工中应控制最佳含水率，并采用机械碾压；
- b) 饱和砂石垫层宜采用插入式振捣或水撼法施工；
- c) 砂砾、碎石层的底面宜铺设在同一标高上，如不在同一平面，宜采用台阶或斜坡方式连通。

6.3.3 水泥稳定土加固层

- a) 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；
- b) 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；
- c) 拌和深度应达稳定层底并宜侵入下承层 5 mm~10 mm，以利上下层粘结；
- d) 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%；
- e) 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 石灰稳定土加固层

- a) 石灰稳定土垫层施工，必须先做好排水设施，严禁场地积水；
- b) 石灰稳定土垫层应将石灰稳定土拌和均匀，控制含水率；
- c) 石灰稳定土垫层压实后 3 天内不得受水浸泡，冬季施工应采取防冻措施。

6.3.5 抛石挤淤

- 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，并在低侧边部多抛约 2m 宽的平台顶面；
- c) 当石料抛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，再进行填土；
- 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。

6.4 质量检验

6.4.1 压实度检测方法按《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2004）附录 B 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 弯沉或承载板试验应满足设计要求。

7 土工合成材料加筋

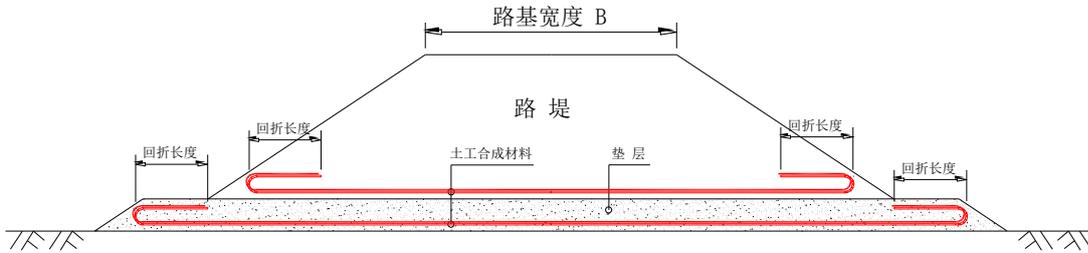
7.1 一般规定

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、玻纤土工格栅、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 11。

表11 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一般；延伸率较大，蠕变性较大；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；不适用于直接作为加筋材料或复合地基路堤加筋处理。
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处理。
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处理。
玻纤 土工格栅	抗拉强度高，但抗折性能差；延伸率小，蠕变性小；耐磨性强，抗疲劳开裂和抗低温缩裂性较好。	一般适用于路面防开裂处理，不得用于路堤底部加筋。
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；延伸性较大，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 材料要求与设计参数

7.2.1.1 软基处理中采用土工合成材料对路堤进行加筋，以提高路堤稳定性时，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，一般要求延伸率不大于 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，一般宜在端部回折反包上一填筑层，回折长度不宜小于 2.0m。

7.2.1.4 土工合成材料的设计抗拉强度 T_{gc} ，按式（11）确定。

$$T_{gc} = T_s / \lambda_c \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

T_s ——土工合成材料的抗拉强度

λ_c ——材料强度综合修正系数，对于土工织物取 3.0；对于土工格栅取 2.0，土工格室可取 1.5~2.0。

7.2.1.5 土工合成材料的设计抗拉强度还应满足以下条件：若根据式（11）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。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 12 的要求。

表 12 土工织物最低强度

握持强度 (kN)	刺破强度 (kN)	梯形撕裂强度 (kN)	CBR 顶破强度 (kN)
≥ 1.2	≥ 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} ，可由式（11）、式（12）确定。对重要工程，当需要进一步校核 f_{gs} 时，应采用《公路工程土工合成材料试验规程》（JTG E50）规定的剪切试验方法由试验确定。

$$\text{土工织物: } f_{gs} = 0.667 \text{tg } \varphi_q \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{土工格栅: } f_{gs} = 0.9 \text{tg } \varphi_q \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

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。

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（14）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。

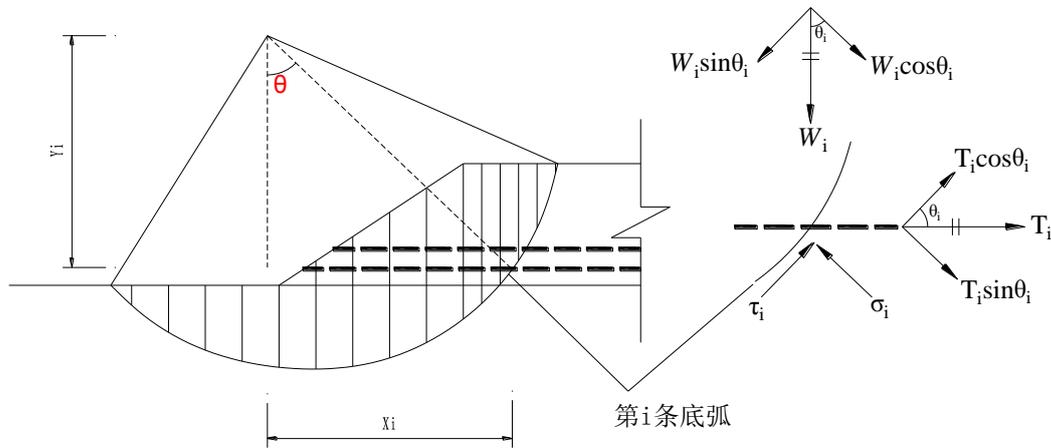


图3 圆弧滑动法稳定验算示意图

$$F_b = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \theta_i \tan \phi_{qi} + c_{qi} \Delta l_i) R_i + \sum_{i=1}^m (T_i Y_i + T_i \tan \phi_{qi} X_i)}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i) R_i} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

F_b ——整体稳定安全系数；

W_i ——第*i*土条重（kN/m）；

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；

T_i ——第*i*层土工合成材料设计抗拉强度（kN/m）；

X_i ——第*i*土条中心距滑弧圆心的水平距离（m）；

Y_i ——第*i*层土工合成材料距滑弧圆心的垂直高度（m）；

Δl_i ——第*i*条滑弧的弧长（m）；

R_i ——滑弧半径（m）；

θ_i ——第*i*条滑弧的仰角（°）。

7.2.2.3 薄层软土抗滑稳定安全系数可采用水平滑动面法按式（15）计算。

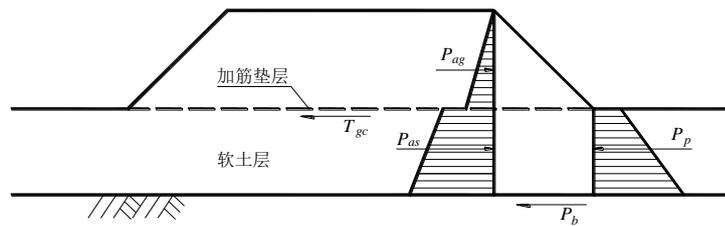


图4 水平滑动稳定验算示意图

$$F_p = \frac{P_p + P_b + T_{gc}}{P_{ag} + P_{as}} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- F_p ——抗滑稳定安全系数；
- P_p ——被动土压力（kN/m）；
- P_b ——软土层底部抗滑力（kN/m）；
- T_{gc} ——土工合成材料设计抗拉强度（kN/m）；
- P_{ag} ——加筋垫层以上土体主动土压力（kN/m）；
- P_{as} ——软土层主动土压力（kN/m）。

7.2.2.4 水泥搅拌桩复合地基、桩承式加筋路堤中对土工合成材料的指标要求及路堤稳定性验算，可按本规范第9、10章节内容执行。

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200mm~400mm砂砾垫层或其它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。

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600mm。

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300mm，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100mm，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缝接应错开，错开长度应大于500mm。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800mm~1000mm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1m，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 600 mm 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，为了土工合成材料摊铺的平整性和完整性，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 土工合成材料的铺设施工温度应控制在 0℃~40℃，且铺设完毕至填筑覆盖的暴露时间不宜大于 36 小时。

7.4 质量检验

对加筋土工合成材料的检验，应满足设计文件所要求的设计指标，其检验项目和频率可按表13规定执行。

表13 土工合成材料检验项目

检验项目	单位面积质量	厚度	孔径	垂直渗透系数	水平渗透系数	条带拉伸	CBR 顶破	刺破	落锥穿透	直接剪切磨擦	拉拔磨擦
检验选择	☆	△	☆	△	△	☆	☆	☆	△	☆	△
检验频率	1 次/10000m ²									1 次/批	
注1：“☆”为必检项目，“△”为选检项目； 注2：试验频率亦可根据工程规模、所用数量，由设计单位或监理单位确定； 注3：表列中“批”，如每批大于5000m ² ，则以5000m ² 为一批。											

8 排水固结法

8.1 一般规定

8.1.1 适用范围如下：

- 适用于深度大于 5 m 的软土，但灵敏度大于 5 的软土不宜采用；处理深度不宜超过 30 m；
- 预压期少于 8 个月时不宜使用。

8.1.2 常用形式和选用原则如下：

- 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，分为欠载预压、等载预压、超载预压。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；
- 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。

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 竖向排水体的选用原则如下：

- a) 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材料制成，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；
- b) 采用真空预压处理时，宜选用 150mm 宽的大通水量塑料排水板；
- c) 若当地粗砂料源丰富，宜采用袋装砂井或普通砂井。袋装砂井中的砂料应选用粗砂，其不均匀系数小于 4，含泥量小于 3%，渗透系数大于 5×10^{-2} mm/s；砂袋应选用抗拉强度大于 40 kN/m 的聚丙烯编织布，有效孔径 $D_{95} < 0.075$ mm，砂袋中灌砂率应大于 95%；
- d) 塑料排水板应具有足够的抗拉强度和垂直排水能力，性能应满足设计要求。

8.2.3 竖向排水体的布置

8.2.3.1 排水体可按正方形或等边三角形两种形式布置，如图 5 所示。

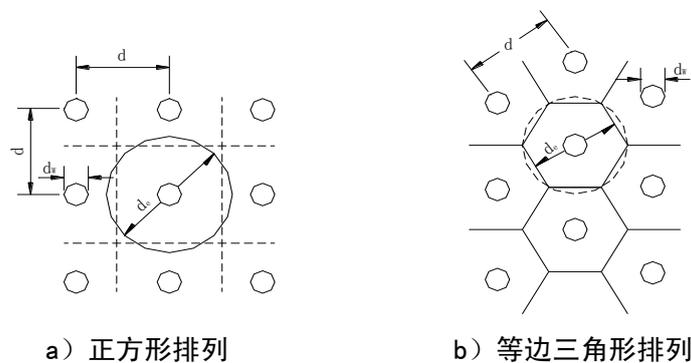


图5 排水体的布置形式

8.2.3.2 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 关系按式（16）、式（17）计算。

正方形布置	$d_e = 1.128 d$	(16)
等边三角形	$d_e = 1.05 d$	(17)

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 ——分别为塑料排水板的宽度（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，可结合工程经验按式（19）初步确定。塑料排水板的设计间距宜在 1.0 m~2.0 m 内选用。

$$s = \left\{ \frac{6.5 C_h \cdot t_a}{\ln(s/d_w) \times \ln[0.8/(1-U_{rz})]} \right\}^{0.5} \dots \dots \dots (19)$$

式中：
 s ——竖向排水体的布置间距（cm）；

C_h ——地基土的水平向固结系数 (cm^2/s)；

t_a ——工程允许的固结时间 (s)；

U_{rz} ——工程要求达到的固结度 (%)；

d_w ——竖向排水体的等效直径 (cm)。

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 20m 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 1.0m 的软土中。

8.2.7 竖向排水体的固结度计算

8.2.7.1 排水固结法的总沉降和工后沉降的计算参见 4.5.4 节相关公式。

8.2.7.2 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 (20) 计算。

$$\bar{U}_{rz} = 1 - (1 - \bar{U}_z)(1 - \bar{U}_r) \dots\dots\dots (20)$$

式中：

\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 (21) 计算：

$$\bar{U}_{rz} = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\beta t} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

β ——固结指数。

8.2.7.3 竖向排水体的固结计算应考虑井阻作用和涂抹作用对固结度的影响，固结指数 β 可按式 (22) 计算。

$$\beta = \frac{\pi^2 C_v}{4H^2} + \frac{8C_h}{(F_n + J + \pi G)d_e^2} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

$$F_n = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} ;$$

$$n = \frac{d_e}{d_w} , \text{井径比} ;$$

d_w ——竖向排水体等效直径 (cm)；

d_e ——有效排水直径 (cm)；

C_h, C_v ——分别为径向和竖向固结系数 (cm^2/s)；

J ——涂抹因子；

G ——井阻因子。

8.2.7.4 软土地基上路堤应分级填筑，分级加载时应对式(22)计算的地基平均固结度进行修正，常用的两种修正是改进的太沙基法和改进的高木俊介法。

8.2.7.5 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(23)计算。

$$\bar{U} = \lambda \bar{U}_{rz} + (1-\lambda) \bar{U}'_z \dots\dots\dots (23)$$

式中：

\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(20)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 (%)；

$$\lambda = \frac{H_1}{H_1 + H_2}；$$

H_1 ——竖向排水体打设深度范围内的土层厚度 (m)；

H_2 ——竖向排水体以下压缩层范围内土层厚度 (m)。

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，有条件时可采用简化 Bishop 法、Janbu 普通条分法。

8.2.9 真空联合堆载预压

8.2.9.1 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。

8.2.9.2 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 $m_s=0.9\sim 1.2$ 。

8.2.9.3 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(24)计算。

$$M_{\text{真空抗滑}} = P_{vi} \cdot U_i \cdot \tan \varphi \cdot R \dots\dots\dots (24)$$

式中：

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 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、粗砂或砂砾，厚度一般不小于 50cm，含泥量不应超过 3%，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；
- d) 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。

8.3.2 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 2~3 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 14 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 14 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，可按照 $900 \text{ m}^2/\text{台泵} \sim 1100 \text{ m}^2/\text{台泵}$ 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 5~10 天后开始填筑堆载，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。

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 0.2m~0.5m，不得大于 1m。

8.4.2 同批次生产的塑料排水板，每 20 万米检测一次。小于 20 万米的按 20 万米计；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 塑料排水板打设深度的检测应由施工单位自检、监理单位抽检，有条件时委托具有相关资质的第三方检测单位抽检，检测频率和检验标准应符合相关规范的要求。

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 10kPa 的软土地基；当有机质含量大于 5%、塑性指数大于 25 或地下水具有腐蚀性时，必须通过现场试验确定其适用性；
- b) 可用于路基填土高度不大于 6 m 的路段；
- c) 处理深度不宜超过 10 m。

9.1.2 常用形式及选用原则如下：

- 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) 常规浆喷桩采用单向搅拌工艺，为提高搅拌效果，有条件时宜选用双向搅拌工艺。

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、外加剂及其掺量，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 0.4~0.5。水泥掺入量与土样天然含水率的对应关系可参考表 15。

表15 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

注：本表适用于桩径500mm的水泥搅拌桩。

9.2.4 桩体布置应符合以下要求：

- 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) 桩径不宜小于 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或正方形布置，相邻桩的净距不应大于 4 倍桩径。

9.2.5 桩体抗压强度宜按 90d 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不应小于 0.6 Mpa。

9.2.6 水平加筋垫层应符合以下要求：

- 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 300 mm~500 mm；
- b) 垫层材料可选用级配碎石、砂砾或含泥量不大于 10%的宕渣，垫层材料最大粒径不宜大于 100 mm；
- c) 水平加筋体材料可选用钢塑土工格栅或整体式钢丝土工格栅，应满足延伸率≤5%时抗拉强度≥80 kN/m 的要求。

9.2.7 设计计算

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 (25) 计算。

$$\tau_{ps} = m\tau_p + (1-m)\tau_s \dots\dots\dots (25)$$

$$m = \frac{D^2}{d_e^2} \dots\dots\dots (26)$$

式中：

τ_p —桩体的抗剪强度(kPa)，可钻取试验路段水泥土90d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5 cm、高度10 cm的圆柱体）测得的无侧限抗压强度乘以0.3的折减系数求得；

τ_s —地基土的抗剪强度(kPa)；

m —复合地基置换率；

D —桩身平均直径(m)；

d_e ——根桩分担的处理地基面积的等效圆直径(m)，按式 (27) ~式 (29) 确定：

$$\text{等边三角形布桩 } d_e = 1.05d_1 \dots\dots\dots (27)$$

$$\text{正方形布桩 } d_e = 1.128d_1 \dots\dots\dots (28)$$

$$\text{矩形布桩 } d_e = 1.128\sqrt{d_2d_3} \dots\dots\dots (29)$$

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 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。

9.2.7.3 加固区沉降量 S_1 采用复合压缩模量法，按式 (30)、式 (31) 计算。

$$S_1 = \frac{(p + p_b)h}{2E_{ps}} \dots\dots\dots (30)$$

$$E_{ps} = mE_p + (1-m)E_s \dots\dots\dots (31)$$

式中：

p —加固区顶面附加应力值(kPa)；

p_b —加固区底面附加应力值(kPa)；

E_{ps} —加固区复合压缩模量(MPa)；

E_p —桩体压缩模量(MPa)；

E_s —加固区桩间土压缩模量(MPa)；

h —加固区厚度(m)；

m —复合地基置换率。

9.2.7.4 下卧层沉降量 S_2 可按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007) 中相关规定进行计算, p_b 可采用等效实体法按式(32)确定, 计算简图如图6所示。

$$p_b = \frac{BLp - (2B + 2L)hf}{BL} \dots\dots\dots (32)$$

式中:

f —桩侧摩阻力(kPa), 可取桩土极限摩阻力的一半;

B 、 L —分别为加固区范围内路堤荷载作用的等效宽度(m)和长度(m);

h —加固区厚度(m);

p —加固区顶面附加应力值(kPa)。

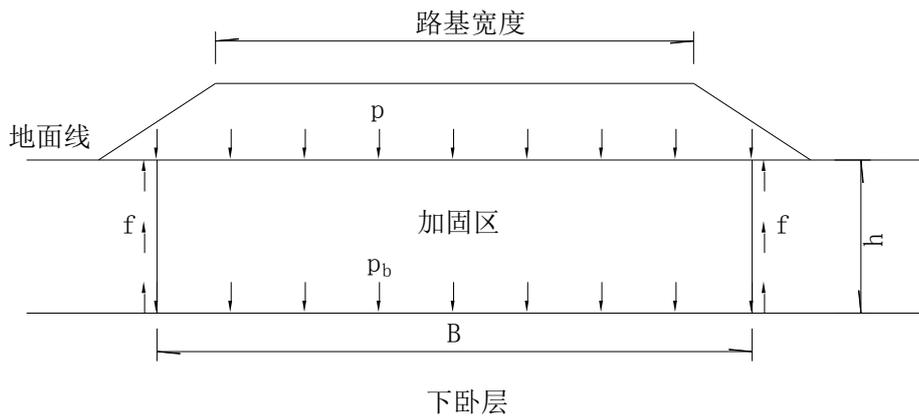


图6 等效实体法计算简图

9.2.7.5 单桩竖向承载力特征值按式(33)及式(34)计算, 并取其中较小值。

$$R_a = U_p \sum q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \dots\dots\dots (33)$$

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \dots\dots\dots (34)$$

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4~7kPa；对淤泥质土可取6 kPa~12kPa；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12~18kPa；

l_i —桩长范围内第*i*层土的厚度(m)；

q_p —桩端地基土未经修正的承载力特征值(kPa)，可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)的有关规定确定；

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。

f_{cu} —与搅拌桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块（直径5cm、高度10 cm的圆柱体）在标准养护条件下90d龄期的立方体抗压强度平均值（kPa）；

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；

A_p —桩的截面积(m²)。

9.2.7.6 水泥搅拌桩复合地基承载力特征值按式(35)计算。

$$f_{spk} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{sk} \dots\dots\dots (35)$$

式中：

f_{spk} —复合地基承载力特征值(kPa)；

β —桩间土承载力折减系数；当桩端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。

R_a —单桩竖向承载力特征值(kN)；

A_p —桩的截面积(m²)；

m —复合地基置换率。

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 水泥搅拌桩施工前必须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。

9.3.3 为保证搅拌桩的质量，要求全桩长进行复搅。

9.4 质量检验

水泥搅拌桩的质量控制应贯穿在施工全过程，并应坚持全程的施工监理。施工过程中必须随时检查施工记录和计量记录，并对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。水泥搅拌桩的质量检验标准应满足表16的规定。

表16 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	经纬仪，总桩数 3%，并不得少于 3 根
4	桩长 (mm)	不小于设计值	喷浆 (粉) 前测钻杆长度，成桩 28 后钻孔取芯总桩数 3%，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 28d 后钻孔取芯，桩体三等分段各取芯样一个，总桩数 3%，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%，并不得少于 3 根

10 桩承式加筋路堤

10.1 一般规定

10.1.1 适用范围如下：

- a) 桥头、通道等构造物与路堤的衔接部位；
- b) 路堤拓宽路段；
- c) 稳定难以满足要求的高填方路堤；
- d) 设置挡墙的软基路段。

10.1.2 适用条件如下：

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

10.1.3 常用桩型及选用原则如下：

- a) 常用桩型有预应力管桩、钢筋混凝土预制方桩、钻孔灌注桩、现浇混凝土薄壁筒桩、圆形或异形沉管灌注桩等；
- b) 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；宜采用强度较高，易于保证施工质量的不挤土或少挤土桩型；
- c) 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，小直径桩和低标号砼桩应进行桩身强度验算。

10.2 设计

10.2.1 材料要求

10.2.1.1 垫层材料宜采用级配良好的砂砾、碎石、中粗砂、含泥量不大于 10%的宕渣等散粒状材料，也可采用具有一定整体刚度的掺灰土等。

10.2.1.2 水平加筋体材料应满足以下要求：

- a) 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；
- b) 高速公路目前常用的加筋体材料有钢塑土工格栅、整体式钢丝土工格栅；
- c) 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 1000 kN/m。

10.2.1.3 宜采用 C30 混凝土、现场浇筑的圆形或方形桩帽。

10.2.1.4 预制桩尖材料宜采用 C30 混凝土，桩尖形状及尺寸根据桩型确定。预应力管桩宜采用闭口桩尖。

10.2.2 桩长应按以下原则确定：

- a) 桩长应穿透软土层；对于巨厚软土层（大于 30m），桩长未穿透软土层时，应满足达到最危险滑弧面以下 3m 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、粉土不小于 2 倍桩径；砂性土不小于 1.5 倍桩径；碎石类土，不小于 1 倍桩径。若持力层以下有软弱土层，该持力层的最小厚度不应小于 10 倍桩径；
- 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 4~8 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、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（36）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。

$$B = (0.4 \sim 0.5) S_a \dots \dots \dots (36)$$

式中：

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（37）估算。

$$t_p = (0.5 \sim 0.6) (B - D_p) \dots \dots \dots (37)$$

式中：

D_p ——桩径(m)；

B ——方形桩帽的边长或圆形桩帽的等效边长(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按式（38）计算。

$$Q_u = \eta(\gamma_1 H + q_c) S_a^2 \dots \dots \dots (38)$$

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；

q_c ——路堤顶面超载(kPa)；

γ_1 ——路堤填料容重(kN/m³)；

H ——路堤填筑高度(m)；

S_s ——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《混凝土结构设计规范》(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距值 M_{max} ,可按式(39)计算。

$$M_{max} = \frac{\xi p B (B - D_p)^2}{8} \dots\dots\dots (39)$$

式中:

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;

D_p ——桩径(m);

B ——方形桩帽的边长或圆形桩帽的等效边长(m)。

p ——桩帽上的等效平均应力(kPa),可按式(40)计算。

$$p = \frac{Q_u}{B^2} \dots\dots\dots (40)$$

式中:

Q_u ——桩帽上部承担的荷载(kN)。

10.2.9 水平加筋垫层的厚度 t 宜为 300 mm~800 mm,初拟厚度可按式(41)估算;若软土指标较差时,可适当加厚。

$$t = (0.2 \sim 0.25) S_s \dots\dots\dots (41)$$

式中:

S_s ——桩的中心间距(m)。

10.2.10 加筋体抗拉强度的验算

10.2.10.1 加筋体的拉力 T_{gc} 可按式(42)计算。

$$T_{gc} = T_{rp} + T_{ds} \dots\dots\dots (42)$$

$$T_{rp} = \frac{Q_s (S_a - B)}{2B} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon}} \dots\dots\dots (43)$$

$$T_{ds} = 0.5 K_a \gamma_1 H^2 \dots\dots\dots (44)$$

式中:

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);

S_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);

ε ——水平加筋体的延伸率,可取5%;

K_a ——主动土压力系数, $K_a = \tan^2 (45^\circ - \varphi'/2)$;

φ' ——路堤填料的内摩擦角 (°) ;

γ_1 ——路堤填料的容重 (kN/m³) ;

H ——路堤填筑高度(m);

Q_s ——桩帽间单位长度土体承担荷载的平均值 (kN/m) , 按式 (45) 计算。

$$Q_s = (1-\eta)(\gamma_1 H + q_c)S_a \dots\dots\dots (45)$$

式中:

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) ;

γ_1 ——路堤填料容重 (kN/m³) ;

H ——路堤填筑高度(m);

S_a ——桩的中心间距 (m)。

10.2.10.2 加筋体的拉力 T_{gc} 应满足式 (46) 的要求。

$$T_{gc} \leq T_s / \lambda_c \dots\dots\dots (46)$$

式中:

T_s ——土工合成材料的抗拉强度 (kN) , 按延伸率5%时确定;

λ_c ——考虑实际施工损伤、材料耐久性等情况的折减系数, 可取2.0~3.0。

10.2.11 预应力管桩、钢筋混凝土预制方桩、圆形或异形沉管灌注桩以及桩端持力层为黏性土、粉土或强度较低的土层时应保证不小于3个月的预压期。

10.2.12 桩承式加筋路堤的沉降计算

10.2.12.1 桩承式加筋路堤的变形由桩顶沉降 s 控制, 桩顶总沉降 s 由桩身压缩量 s_1 、桩端平面以下沉降量 s_2 和桩端刺入量 Δs 三部分组成, 按式 (47) 或式 (48) 计算确定。

$$s = s_1 + \psi_1 s_2 + \Delta s \dots\dots\dots (47)$$

式中:

ψ_1 ——沉降计算经验系数, 无当地经验时, 可取1.0。

$$s = \psi_2 (s_1 + s_2) \dots\dots\dots (48)$$

式中:

ψ_2 ——考虑桩端刺入变形的沉降计算经验系数, 可取1.1~1.4。

10.2.12.2 桩身压缩量 s_1 按式 (49) 计算确定。

$$s_1 = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{pi}}{A_p E_p} \Delta h_i \dots\dots\dots (49)$$

式中:

Q_{pi} ——第*i*段的桩身轴力 (kN) ;

n ——桩身分段总数;

A_p ——桩身截面积;

E_p ——桩体弹性模量;

Δh_i ——桩身第*i*分段的高度;

当采用预应力管桩时, s_1 可取5mm~15mm。

10.2.12.3 桩端平面以下的沉降量 s_2 采用分层总和法, 按式 (50) 计算确定。

$$s_2 = \sum_{i=1}^m \frac{\sigma_{z,i} \Delta z_i}{E_{s,i}} \dots\dots\dots (50)$$

式中:

Δz_i ——桩端平面以下第*i*土层的厚度 (m) ;

$E_{s,i}$ ——桩端平面以下第*i*土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) ;

$\sigma_{z,i}$ ——桩端平面以下第*i*土层的竖向附加应力, 按式 (51) 计算。

$$\sigma_{z,i} = \sigma_{pz,i} + \sigma_{sz,i} \dots\dots\dots (51)$$

$$\sigma_{pz,i} = \sum_{j=1}^m \frac{Q_u}{l_j^2} [\alpha_j I_{p,ij} + (1-\alpha_j) I_{s,ij}] \dots\dots\dots (52)$$

$$\sigma_{sz,i} = \sum_{i=1}^n \alpha_i (1-\eta) (\gamma_1 H + q_c) \dots\dots\dots (53)$$

式中:

$\sigma_{pz,i}$ ——桩端平面以下地基中由基桩引起的附加应力 (kPa), 按《建筑桩基技术规范》(JGJ94)

考虑桩径影响的明德林解计算确定;

$\sigma_{sz,i}$ ——桩帽间土体的平均压力在桩端平面以下引起的附加应力 (kPa), 按布辛奈斯克解计算;

l_j ——第*j*桩桩长 (m) ;

α_j ——第*j*桩总桩端阻力与桩顶荷载之比;

$I_{p,ij}, I_{s,ij}$ ——分别为第j桩的桩端阻力和桩侧阻力对计算轴线第i计算土层1/2厚度处的应力影响系数；

α_i ——计算轴线第i计算土层1/2厚度处的附加应力系数；

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；

q_c ——路堤顶面超载（kPa）；

γ_1 ——路堤填料容重（kN/m³）；

H ——路堤填筑高度(m)。

10.2.12.4 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 $\sigma_{z,i}$ 与土的自重应力 σ_c 应满足式（54）的要求。

$$\sigma_{pz,i} + \sigma_{sz,i} \leq 0.15\sigma_c \dots\dots\dots (54)$$

10.2.13 单桩承载力验算

10.2.13.1 当采用单桩静载荷试验时，单桩承载力按式（55）验算。

$$\frac{R_u - Q_g^n}{Q_u} \geq F_{ub} \dots\dots\dots (55)$$

$$Q_g^n = u \sum q_{si}^n l_i^n \dots\dots\dots (56)$$

$$q_{si}^n = c_i + k_i \text{tg} \varphi_i' \sigma_i' \dots\dots\dots (57)$$

$$\sigma_i' = \sigma_{zi} + \gamma_i' z_i \dots\dots\dots (58)$$

式中：

R_u ——采用静载荷试验确定的单桩极限承载力（kN）；

Q_u ——桩帽上部承担的荷载（kN）；

F_{ub} ——承载力设计安全系数，取1.1~1.3；

Q_g^n ——桩中性点以上的负摩阻力产生的下拉荷载（kN）；

u ——桩的周长(m)；

q_{si}^n ——中性点以上第i个分层负摩阻力的标准值（kPa）；

c_i 、 φ_i ——第*i*个分层黏聚力(kPa)和有效内摩擦角(°)；

k_i ——第*i*个分层侧压力系数；

l_i^n ——中性点以上的分层厚度(m)；

σ_i' 、 σ_{zi} ——分别为第*i*个分层有效应力(kPa)和附加应力(kPa)；

γ_i' ——第*i*个分层有效容重(kN/m³)；

z_i ——自地表起算的第*i*个分层中点深度(m)。

10.2.13.2 根据土体的物理指标确定单桩承载力时，单桩承载力按式(59)验算。

$$\frac{R_u}{Q_u} \geq F_{ub} \dots\dots\dots (59)$$

$$R_u = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{ski} l_i + q_{pk} (A_j + \lambda_p A_{p1}) \dots\dots\dots (60)$$

式中：

l_i ——中性点以下的分层厚度(m)；

q_{ski} ——桩侧阻力标准值(kPa)；

q_{pk} ——极限端阻力标准值(kPa)；

A_j ——空心桩桩端净面积(m²)；管桩： $A_j = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_1^2)$ ；空心方桩： $A_j = b^2 - \frac{\pi}{4}d_1^2$ ；

A_{p1} ——空心桩敞口面积(m²)： $A_{p1} = \frac{\pi}{4}d_1^2$ ；

λ_p ——桩端土塞效应系数：

当 $h_b/d < 5$ 时， $\lambda_p = 0.16h_b/d$

当 $h_b/d \geq 5$ 时， $\lambda_p = 0.8$

h_b ——桩端进入持力层深度(m)；

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。

10.2.13.3 中性点深度 l_n 应按桩周土层沉降与桩沉降相等的条件计算确定，也可按表 17 确定。

表17 中性点深度 l_n

持力层性质	黏性土、粉土	中密以上砂	砾石、卵石	基岩
中性点深度比 l_n/l_0	0.5~0.6	0.7~0.8	0.9	1.0
注1: l_n 、 l_0 ——分别为自桩顶算起的中性点深度和桩周软弱土层下限深度;				
注2: 当桩周土层计算沉降量小于20mm时, l_n 应按表列值乘以0.4~0.8折减。				

10.2.14 桩承式加筋路堤整体稳定性采用圆弧滑动面法验算时, 桩体抗剪强度取 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 天后, 采用静载荷试验确定单桩承载力极限值。

10.3.2 施工场地清理整平后, 先铺设一层厚度为桩帽高度的垫层, 再进行桩的打设; 桩帽浇筑前先挖除相应体积的垫层, 再进行桩帽的浇筑; 第一层水平加筋体铺设在桩帽顶面。

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。

10.4 质量检验

桩承式加筋路堤的施工质量检验应按表18进行。

表18 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	竖直度(%)	≤1	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	预制桩尖尺寸(mm)	不小于设计值	钢尺量测抽查, 成桩数 5%
7	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
8	桩身完整性	无明显缺陷	低应变测试抽查, 成桩数 5%

11 塑料套管混凝土桩

11.1 一般规定

11.1.1 主要适用范围同桩承式加筋路堤。

11.1.2 适用条件如下：

- a) 桩端下卧持力层的静力触探锥尖阻力不应小于 1 000 kPa，下卧层倾斜坡度不大于 20%；
- b) 长细比不超过 100，填土高度不宜大于 6 m。

11.1.3 塑料套管混凝土桩由预制桩尖、塑料套管、套管内混凝土和桩帽四部分组成，如图 7 所示。塑料套管混凝土桩与垫层、土工合成材料构成桩承式加筋路堤，如图 8 所示。

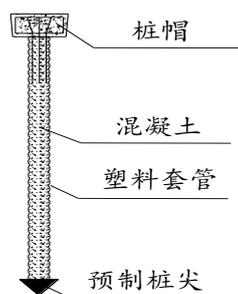


图7 塑料套管混凝土桩的组成

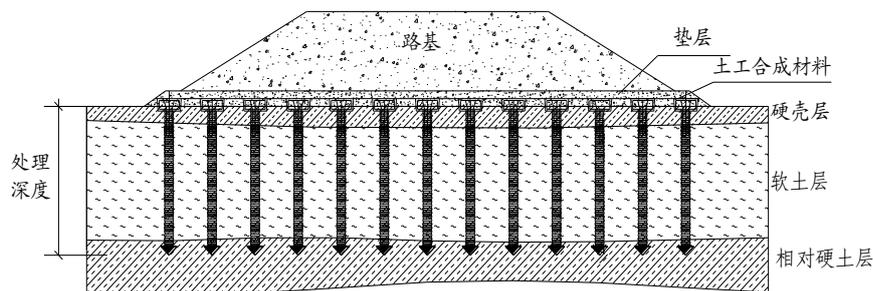


图8 塑料套管混凝土桩加筋路堤

11.2 设计

11.2.1 材料要求

11.2.1.1 应根据不同深度选用塑料套管的壁厚、环刚度。塑料套管打设过程中不应挤破，混凝土浇注前不损坏，混凝土浇注前径向最大相对变形值应小于 20 mm。

11.2.1.2 桩身混凝土强度等级不宜低于 C25。集料最大粒径不应大于 25 mm，混凝土坍落度 180 mm～220 mm。试桩时应根据强度和坍落度要求确定施工配合比。

11.2.1.3 宜采用 C30 钢筋混凝土预制桩尖，并预先设置连接固定塑料套管的塑料接头。

11.2.1.4 宜采用现场浇筑的圆形或方形桩帽，混凝土强度与桩身一致。

11.2.2 桩体直径可采用 100 mm～250 mm，常用规格有 160 mm、200 mm 和 250 mm。

11.2.3 桩的平面可选用正三角形或正方形布置，布置间距应根据变形及承载力要求计算确定。

11.2.4 桩顶应设置土工合成材料加筋垫层，垫层厚度宜取 300 mm～800 mm。

11.2.5 桩端进入硬土层或持力层的深度不宜小于 50 cm。

11.2.6 单桩竖向承载力设计值可按式(61)、式(63)计算 R_{u1} 、 R_{u2} ，并取较小值。

a) R_{u1} 可根据土体的物理指标与承载力参数之间的经验关系，按式(61)、式(62)估算。

$$R_{u1} = \frac{R_u}{K} \dots\dots\dots (61)$$

$$R_u = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \dots\dots\dots (62)$$

式中：

R_u ——单桩竖向极限承载力(kN)，有条件时可按现场承载力试验确定；

K ——安全系数，取1.1~1.3；

q_{sik} ——桩侧第*i*层土的极限侧阻力(kPa)；

q_{pk} ——极限端阻力(kPa)；

l_i ——桩侧第*i*层土厚度(m)；

u ——桩的周长(m)；

A_p ——预制桩尖截面面积(m²)。

b) 压曲临界荷载 R_{u2} 按式(62)、式(63)计算。

$$R_{u2} = \varphi N \dots\dots\dots (63)$$

$$N = \psi_c f_c A_p \dots\dots\dots (64)$$

式中：

φ ——稳定系数，可按《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008)表5.8.4-2取值。

N ——桩顶轴向压力设计值(kN)；

ψ_c ——基桩成桩工艺系数，无地区经验时可取0.85。

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值(kN/m²)；

A_p ——预制桩尖截面面积(m²)。

11.2.7 桩帽与桩身的连接钢筋进入桩身长度不应小于3.0m。

11.2.8 塑料套管混凝土桩的沉降计算与稳定验算，可按本标准10.2.12~10.2.14节中相应内容计算。

11.3 施工要求

11.3.1 根据设计参数和试桩成果选取施工机械，可采用静压设备或静压辅助振动沉管桩机。

11.3.2 施工要点如下:

- a) 桩打设时横向宜以路基中心线向两侧的方向推进,纵向宜以构造物部位向路堤的方向推进;
- b) 打设时应注意实际持力层顶面高程的变化,发现与设计不符时应及时调整桩长;
- c) 打设塑料套管和浇筑混凝土应间隔进行,避免挤土效应影响混凝土的浇筑质量,混凝土浇筑场地距塑料套管打设场地的距离不宜小于 20m;
- d) 塑料套管与桩尖应预先连接,从沉管底部送入后再进行打设;
- e) 桩体应采用细石混凝土浇筑,浇筑过程中采用小型加长振捣棒振捣,确保其均匀、密实。

11.4 质量检验

塑料套管混凝土桩的施工质量检验项目见表19。

表19 塑料套管混凝土桩的检验项目

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	竖直度(%)	≤1	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 或贯入度控制值	测绳量测抽查, 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	预制桩尖尺寸(mm)	不小于设计值	钢尺量测抽查,成桩数 5%
7	混凝土 28 天强度	不小于设计值	浇筑混凝土过程中试块留样,每段落不少于 3 组
8	28 天单桩承载力	不小于设计值	静载荷试验,成桩数 0.2%,每段落不小于 3 根
9	桩身完整性	无明显缺陷	低应变测试抽查,成桩数 5%

12 轻质路堤

12.1 一般规定

12.1.1 适用范围

适用范围如下:

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

12.1.2 常用形式及选用原则

12.1.2.1 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、EPS 颗粒混合土轻质路堤、粉煤灰轻质路堤等。

12.1.2.2 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。

12.2 泡沫混凝土轻质路堤

12.2.1 设计

12.2.1.1 材料要求如下：

- a) 水泥的强度等级应为 42.5 级及以上；
- b) 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；
- c) 施工用水应符合《混凝土用水标准》（JGJ63）的要求。

12.2.1.2 设计的主要内容：

- a) 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；
- b) 确定设计容重和无侧限抗压强度。
- c) 泡沫混凝土自身强度验算：应满足路堤各部位的强度要求；
- d) 沉降验算：检验是否满足容许的沉降和工后沉降要求；
- e) 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、作为挡墙、护岸构造物或作为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；
- f) 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；
- g) 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；
- h) 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；
- i) 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。

12.2.1.3 设计计算：

- a) 泡沫混凝土轻质路堤浇筑体底宽 L 与高度 H 应满足式（65）要求：

$$L \geq 2m \text{ 且 } L \geq 0.2H \dots\dots\dots (65)$$
- b) 泡沫混凝土的容重应根据工程的具体需要进行设计（在地下水位以下或受洪水淹没时，容重不宜小于 10 kN/m^3 ）；
- c) 在满足相关规范的前提下，可按表 20 选择合适的设计强度；

表20 泡沫混凝土轻质路堤的无侧限抗压强度与 CBR 值对照表

公路等级	使用部位	路面底面起计深度范围 (cm)	CBR (%)	无侧限抗压强度 (kPa)			
				要求值	安全系数	泡沫混凝土设计值	
高速公路及一级公路	路堤	上路床	0~30	≥8	≥229	3	687→800
		下路床	30~80	≥5	≥143	3	429→500
		上路堤	80~150	≥4	≥114	3	342→500
		下路堤	>150	≥3	≥86	3	258→300
二级及二级以下公路	路堤	上路床	0~30	≥6	≥171	3	513→800
		下路床	30~80	≥4	≥114	3	342→500
		上路堤	80~150	≥3	≥86	3	258→300
		下路堤	>150	≥2	≥57	3	159→300

- d) 当泡沫混凝土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；

- e) 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（66）计算抗滑安全系数。计算模式见图 9 所示；

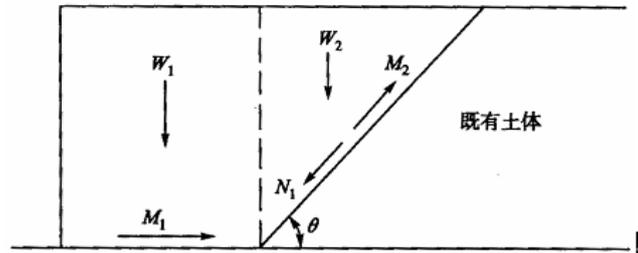


图9 泡沫混凝土底面抗滑稳定性验算示意图

$$F_s = \frac{M_1 + M_2 \cos \theta}{N_1 \cos \theta} = \frac{\mu W_1 + \mu W_2 \cos \theta \cos \theta}{W_2 \sin \theta \cos \theta} \geq 1.3 \dots \dots \dots (66)$$

式中：

F_s ——抗滑安全系数，不小于1.3。

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)；

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)；

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。

- f) 按本标准 4.5.4 条进行泡沫混凝土轻质路堤的沉降计算及整体稳定性验算。

12.2.2 施工要求

施工要求如下：

- 泡沫混凝土浇注施工宜采用配管泵送方式；
- 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；
- 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；
- 在浇注完填筑体的顶层时，应及时覆盖塑料薄膜或土工布，养生时间为3 d；
- 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；
- 固化前，应避免对泡沫混凝土的扰动。

12.2.3 质量检验的要求

质量检验的要求如下：

- a) 泡沫混凝土浇注过程中的质量检验见表 21；

表21 泡沫混凝土浇注过程检验表

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法及频率
1	气泡密度 (kg/m ³)	±2	每班开工前检测 1 次
2	湿容重 (kN/m ³)	±10%	连续浇注每 100m ³ 检测 1 次
3	流动度 (mm)	±20	连续浇注每 100m ³ 检测 1 次

- b) 泡沫混凝土固化后的质量检验内容包括容重和 28d 抗压强度，应满足设计要求。试样应在浇注管管口制取，制取时测定并记录试样的湿容重，制作的试件应进行密封保湿养生。试件规格为 100 mm×100 mm×100 mm 立方体，一组 3 块，制取组数应符合下列规定：
- 1) 相同配合比连续浇注少于 400 m³时，按每 200m³取一组试件；
 - 2) 相同配合比连续浇注多于 400m³时，按每 400m³取一组试件；
 - 3) 每个构造单元应至少取两组试件。

12.3 EPS 块体轻质路堤

12.3.1 设计

12.3.1.1 EPS 块体材料要求如下：

- a) EPS 块体材料的密度，一般宜在 20 kg/m³~30 kg/m³内选用，其抗压强度应不小于 100 kPa；
- b) 下列情况应采用阻燃型 EPS 块体：
 - 1) 有防火要求的建筑物附近；
 - 2) 填方量大于 1 500 m³~2 000 m³时；
 - 3) 暴露堆放时间过长。

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

12.3.2 设计计算

12.3.2.1 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。

12.3.2.2 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。

12.3.2.3 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见图 10。

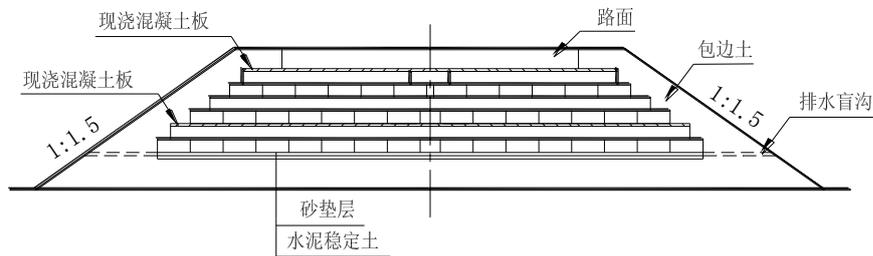


图10 EPS块体轻质路堤典型横断面示意图

12.3.2.4 按本标准第4.5.4条进行EPS块体轻质路堤的沉降计算及整体稳定性验算。

12.3.2.5 应按式(67)~式(70)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11所示。

$$\sigma_z \leq [\sigma_a] \dots\dots\dots (67)$$

$$[\sigma_a] = \frac{\sigma_a}{2} \dots\dots\dots (68)$$

$$\sigma_z = \sigma'_z + \sigma_g \dots\dots\dots (69)$$

$$\sigma'_z = \frac{P(1+\xi)}{(B+2htg\theta)(L+2htg\theta)} \dots\dots\dots (70)$$

式中：

σ_z ——作用于EPS块体表面的竖向压应力(kPa)；

$[\sigma_a]$ ——EPS块体的容许抗压强度(kPa)；

σ_a ——EPS块体抗压强度极限值(kPa)，可由室内无侧限压缩试验确定；

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；

h——路面结构层与混凝土板的厚度(m)；

B、L——分别为车轮着地宽度和长度(m)；

θ ——应力扩散角($^\circ$)，对水泥路面取 45° ；对沥青路面取 40° 。

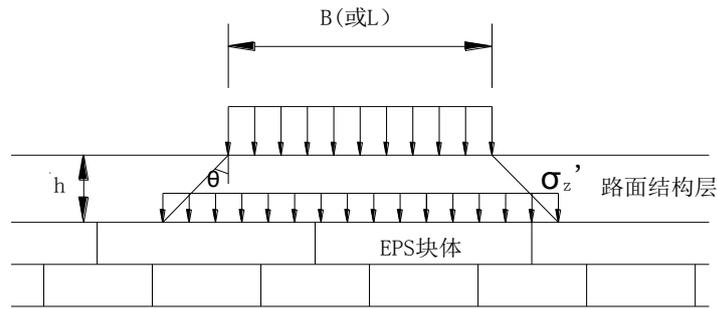


图11 竖向应力计算示意图

12.3.2.6 当 EPS 块体铺设在地下水水位以下或受洪水淹没时，应按式（71）进行抗浮验算。

$$W \geq 1.2F_{\text{浮}} \dots \dots \dots (70)$$

式中：

W ——EPS路堤的总重量(kN)；

$F_{\text{浮}}$ ——作用在EPS块体轻质路堤上的浮力(kN)。

12.3.3 EPS 块体轻质路堤构造设计

EPS块体轻质路堤构造设计应符合以下规定：

- 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 100 mm~150 mm，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 300 mm~500 mm；
- 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 100 mm，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 500 mm；
- e) EPS 块体底部应设置垫层，以保证施工基面的平整。

12.3.4 施工要求

施工要求如下：

- a) EPS 块体材料必须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 5mm。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) 应严格控制 EPS 块体材料质量，并采取相应的质量管理措施。

12.3.5 质量检验的要求

质量检验的要求如下：

- 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 22。

表22 抽样检查频率表

填方量 (m^3)	最少块体数量 (个)
<500	3
500~1000	5
>1000	每 250 m^3 1 块

- b) EPS 块体轻质路堤的质量应符合《公路路基施工技术规范》(JTG F10) 的相关要求。
- c) 采用阻燃性型 EPS 块体时应进行燃烧性试验。

12.4 EPS 颗粒混合土轻质路堤

12.4.1 设计

12.4.1.1 材料要求如下：

- a) EPS：聚苯乙烯球状小珠，经发泡工艺由工厂生产，为白色圆形颗粒状，粒径 3 mm~5 mm，密度 $15\text{kg}/\text{m}^3 \sim 20\text{kg}/\text{m}^3$ ，要求采用阻燃型；
- b) 固化剂：普通 42.5 号硅酸盐水泥，要求尽可能采用缓凝水泥，终凝时间大于 6 小时。水泥掺量一般可在 4%~10%之间选用；
- c) 原料土：应按就地取材的原则，选用黏土、粉土、中细砂、粉煤灰、石屑及淤泥等一种或几种混合土为原料土。

12.4.1.2 按工程需要制备的 EPS 颗粒混合土密度可在 $700 \sim 1300\text{kg}/\text{m}^3$ 范围根据配合比的不同调整，其 CBR (%) 值可达到 8~25，28 天无侧限抗压强度可达到 80 kPa~700kPa。

12.4.1.3 施工前应现场取土进行室内试验确定目标配合比，试验时 EPS 掺入比 (EPS 颗粒与原料土的体积比) 可初选 0.5~1.5，水泥掺量 (水泥与混合料的质量比) 可初选 4%~10%，要求室内试验确定的 EPS 颗粒混合土拌和均匀，容重小于 $11\text{KN}/\text{m}^3$ ，7 天无侧限抗压强度大于 0.2Mpa，28 天无侧限抗压强度大于 0.3Mpa，7 天 CBR (%) 大于 10。施工时应按照目标配合比、生产配合比及生产配合比验证三个阶段进行生产质量控制。

12.4.2 EPS 颗粒混合土轻质路堤的施工流程

施工流程如图12所示。

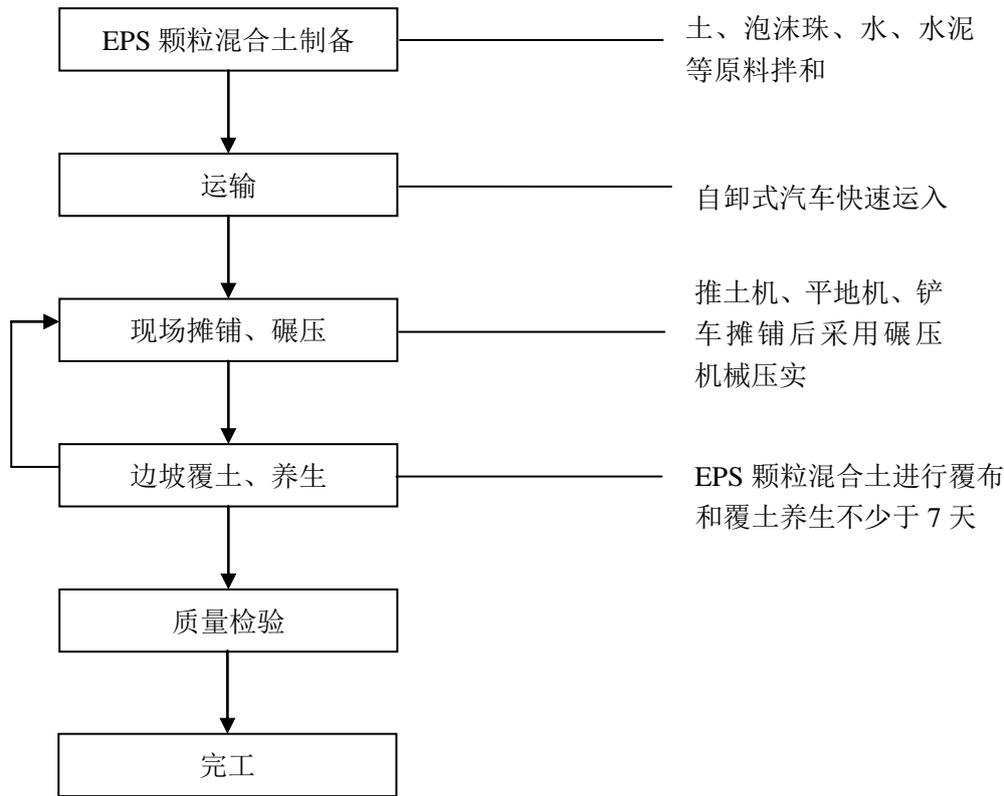


图12 EPS 颗粒混合土轻质路堤施工流程

12.4.3 施工要求

施工要求如下：

- a) 施工前进行场地清理，去除表面松散土和植物残株，以防在原地基和轻质土之间产生薄弱面；
- b) 原材料添加与拌和时，为防止泡沫珠飞散或上浮，宜对泡沫珠进行预湿处理，并应根据现场气候、原料土的天然含水率等不同情况调整拌和时的加水量；
- c) EPS 颗粒混合土经拌和均匀后，应采用自卸汽车快速运至工地，进行铺摊碾压，避免运输时间过长，发生摊铺压实困难；
- d) 现场摊铺可采用推土机、平地机等，按规定的厚度进行施工，摊铺厚度宜为 300 mm~500 mm，松铺厚度根据现场试铺确定；
- e) 铺设砂砾垫层或碎石垫层时，应从路基横断面两侧向中间摊铺，厚度应均匀一致，表面平坦，并满足设计要求；砂砾垫层及碎石垫层应宽出路基坡脚 0.5 m~1.0 m。

12.4.4 EPS 颗粒混合土的施工质量检验项目见表 23。

表23 EPS 颗粒混合土施工质量检验

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法
泡沫珠密度	$\pm 1\text{kg}/\text{m}^3$	随机抽查
水泥掺量	$\pm 0.1\%$	随机抽查
7天容重	$\pm 1\text{kN}/\text{m}^3$	取芯, 每3层抽查数 ≥ 3 个
28天无侧限抗压强度	不小于设计值	取芯, 每3层抽查数 ≥ 3 个
7天CBR (%)	不小于设计值	现场, 每3层抽查数 ≥ 5 个
压实度	不小于设计值	现场, 每层抽查数目 ≥ 5 个

12.5 粉煤灰轻质路堤

12.5.1 设计

12.5.1.1 材料要求如下:

- 用于高速公路、一级公路路堤的粉煤灰烧失量宜小于 12%，烧失量超过标准的粉煤灰应作对比试验，分析论证后采用。粉煤灰的粒径应在 0.001 mm~2 mm 之间，为便于压实，小于 0.075mm 的颗粒含量宜大于 45%；
- 粉煤灰可掺入其它固化材料（石灰、水泥等），掺入比例根据试验确定。

12.5.1.2 路堤横断面设计要求如下:

- 纯灰路堤的边坡和路肩应采取土质护坡保护措施。护坡土料宜采用塑性指数不低于 6 的黏质土，护坡水平方向厚度应不小于 1m，并碾压密实；
- 土质护坡上间隔一定距离宜设置排水盲沟。排水盲沟宜设置于路堤中下部，可设置 1~2 排，盲沟竖向间距 2 m 左右，水平间距 10 m~15 m；
- 粉煤灰轻质路堤上路床应采用土质填筑，也可与路面结构层相结合，采用石灰土、二灰土、水泥稳定土等路面底基层材料作封顶层；
- 粉煤灰轻质路堤底部应离开地下水位或地表长期积水位 500 mm 以上，否则应设置隔离层。隔离层宜采用稳定性好材料，其厚度不宜小于 300 mm，横坡不宜小于 3%；
- 粉煤灰轻质路堤边坡坡率应视路堤高度而定。5 m 以下的路堤，边坡坡率应为 1:1.5，5 m 以上的路堤，上部边坡坡率应为 1:1.5，下部边坡坡率应为 1:1.75。

12.5.1.3 粉煤灰的黏聚力 c 和内摩擦角 φ 应以饱水后测得的 c 、 φ 值为准，地基土各层的 c 、 φ 值应按选用的计算方法取用相应的计算参数。

12.5.1.4 宜通过承载板法等实测手段确定粉煤灰轻质路堤的回弹模量值。在初步设计中如无实测资料时，可根据公路等级选用重型击实标准相应的回弹模量，一般为 30 MPa~35 MPa。

12.5.1.5 软土地基上粉煤灰轻质路应进行沉降计算及稳定性验算，计算方法与土质路堤相同，具体见本标准 4.5.4 相应内容。

12.5.2 施工要求

施工要求如下:

- a) 粉煤灰轻质路堤应采用水平分层填筑法施工。当分成不同作业段填筑时，先填地段应分层留台阶，台阶宽度应不小于 1.5m，以保证相邻作业段接头范围内的压实度；
- b) 土质护坡应与粉煤灰填筑同步进行。土质护坡摊铺宽度应保证削坡后的净宽满足设计要求，同时应按设计要求作好土质护坡的排水盲沟；
- c) 粉煤灰的含水率宜在灰场调节后再运到工地直接摊铺碾压，以达到提高工效之目的。已摊铺的粉煤灰因故造成过湿或过干，应晾晒或喷洒水分调整含水率，以达到 1.0 倍~1.1 倍含水率；
- d) 摊铺后的粉煤灰应及时碾压，做到当天摊铺，当天碾压完毕，以防止水分蒸发影响压实效果。碾压时，应使粉煤灰处于最佳含水率范围内；
- e) 粉煤灰轻质路堤因故较长时间不能继续施工时，应进行表层覆土封闭并碾压密实，作好路拱横坡，以利表面排水。应保持路基排水设施的完好，加强日常养护工作；
- f) 施工中应采取必要措施确保符合环保要求，并应补充施工环保、运输、临时防雨等措施。

12.5.3 其他要求

粉煤灰轻质路堤的压实度应符合《公路路基施工技术规范》（JTG F10）的要求，压实度检验方式以环刀法为准，取样位置应在压实层中部。用灌砂法、核子密度仪等方法检测时应与环刀法建立相关关系。

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 动态监测工作除施工企业自行监测外，还应由有资质的第三方专业单位进行监测。

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。

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 0.5m~0.6m。
- 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10m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 m以上的沿河、沿塘路段，以及路基填高在4.0m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，重点路段（如极限填筑高度以上的高路堤等）每 3 天观测一次，若填筑间隔时间较长，宜每 7 天观测一次；路堤填筑完成进入预压期后，第 1 个月每 7 天观测一次，第 2 个月每 15 天观测一次，第 3 个月及以后每 30 天观测一次，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 天观测一次，第 2 个月起每 30 天观测一次。

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，根据观测的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 m / 月~2.0 m / 月；大于极限填筑高度，按每 7 天填筑一层；
- 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/24 小时；对于桥头路堤，沉降速率应不大于 10 mm/24 小时。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/24 小时；

- c) 非排水固结法处理的路段，沉降速率应不大于 10 mm /24 小时；
- d) 各种地基其水平位移应不大于 5 mm/24 小时；
- 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 0.75~1.0 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 1.0 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 施工至基层顶面后，连续两个月的沉降速率不大于 3mm / 月，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 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（72）建立目标函数；

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

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。

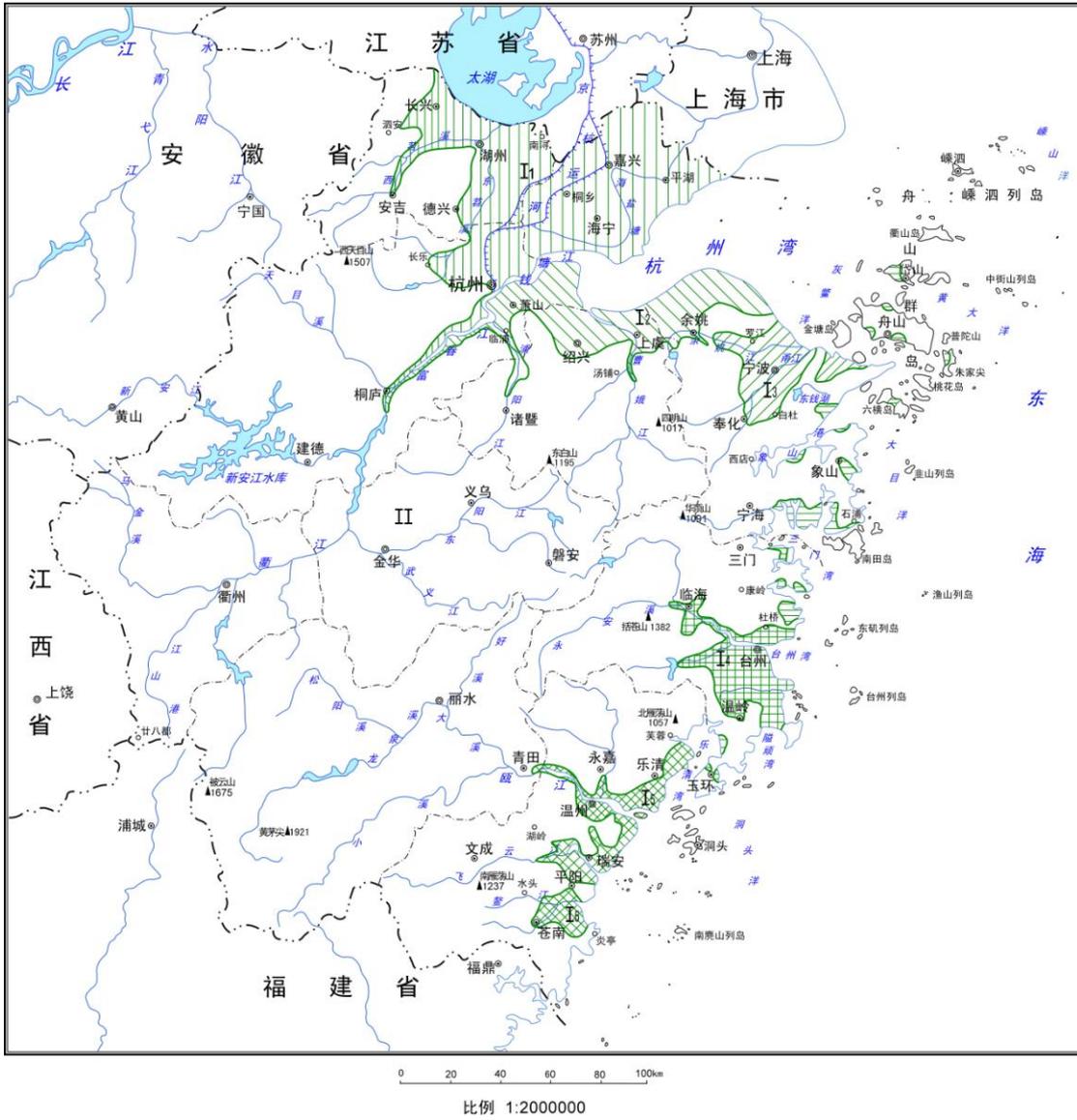
- b) 以地基中各土层的室内试验参数为基准，在合理的范围内给出各种土工参数和修正系数的上下限区域，在此区域内给出各参数试算的值，进行各种组合，计算 J ，在符合最近一段时间沉降值的前提下取出最小的 J 相对应的一组参数组合。根据这组参数和实际加载信息，代入沉降计算理论公式，推算相应的沉降曲线。

13.8.2 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，宜采用路基材料预抛高；
- 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) 路段之间或与构造物相邻路段应设置预抛高渐变段，渐变段长度按 0.4%~0.6%的坡率进行控制，并且不小于 20 m；
- d) 等载预压和超载预压路段需预抛高时应考虑路堤的稳定；
- e) 预抛高沉平时间宜采用交工验收后 9 个月~18 个月。

13.8.3 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
(资料性附录)
浙江省软土分布图



图例

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| I ₁ 杭(州)嘉(兴)湖(州)平原软土分布区 | I ₄ 温(州)瑞(安)平(阳)平原软土分布区 |
| I ₂ 萧(山)绍(兴)余(姚)平原软土分布区 | I ₃ 三门湾及岛屿区软土分布区 |
| I ₅ 宁(波)奉(化)平原软土分布区 | II 中低山丘陵区及浙中盆地软土分布区 |
| I ₆ 温(岭)黄(岩)平原软土分布区 | |

图A.1 浙江省软土分布图

附 录 B
(规范性附录)
不同地基处理方法的软土试验项目

表B.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	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	☆	☆	☆	☆	☆	☆			☆		☆	△	
塑料套管混凝土桩	☆	☆	☆	☆	☆	☆			☆		☆	△	

注1：本表所列为常用地基处理方法；

注2：表列试验项目中，“☆”为必做项目，“△”为可做项目。

附 录 C
(规范性附录)
软土室内试验项目

表C.1 软土室内试验项目

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	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	

注1：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；

注2：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1600kPa。

附 录 D
(资料性附录)
浙江省软土工程特性

表D.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%, 容重一般在 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比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, 孔隙水压力减少, 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部厚 0.2m~0.5m 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 3~30m, 温州沿海一带厚度大, 可达 50m 以上。

附 录 E
(资料性附录)
浙江省典型软土物理力学性质指标表

E.1 杭（州）嘉（兴）湖（州）平原软土分布区（I₁）

杭（州）嘉（兴）湖（州）平原软土分布区（I₁）软土物理力学性质指标表见表E.1。

表E.1 杭（州）嘉（兴）湖（州）平原软土分布区（I₁）

成因时代		Q ₄ ⁿ					Q ₃ ²ⁿ	
		0~10m		10~20m		20~30m	32.5~46.3	
指 标	深度	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥质土	淤泥质土	
	天然含水率	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	$a_{0.1-0.2}$	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	$E_{s0.1-0.2}$	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 快剪	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_{un}		4.0~18.0	8.0~9.0	4.0~20.0		26.0~27.0
	内摩擦角	φ_{un}		0.6~1.7	1.4~1.9	0.5~1.3		2.2~2.5
渗透 系数	垂直	K	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

表E.1 (续)

成因时代			Q ₄ ⁿ				Q ₃ ^{al}
			0~10m		10~20m		
指 标	深度		淤泥		淤泥质土		32.5~46.3
	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥质土	淤泥质土	
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_r		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		1.9~4.3			

E.2 萧(山)绍(兴)姚(余姚)平原软土分布区(I₂)

萧(山)绍(兴)姚(余姚)平原软土分布区(I₂)软土物理力学性质指标表见表E.2。

表E.2 萧(山)绍(兴)姚(余姚)平原软土分布区(I₂)

成因时代			Q ₄ ^m					
			0~10m		10~20m		20~30m	>30m
指 标	深度		淤泥		淤泥质土		淤泥质土	
	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥质土	淤泥质土		
天然含水率	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	$a_{0.1-0.2}$		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	$E_{s0.1-0.2}$		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

表E.2(续)

指 标		成因时代		Q_4^m					
		深度		0~10m		10~20m		20~30m	>30m
				淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥质土	淤泥质土
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			

E.3 宁（波）奉（化）平原软土分布区（I₃）

宁（波）奉（化）平原软土分布区（I₃）软土物理力学性质指标表见表E.3。

表E.3 宁（波）奉（化）平原软土分布区（I₃）

指 标		成因时代		Q_4^m					
		深度		0~10m		10~20m		20~30m	>30m
				淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥质土	淤泥质土
天然含水率	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

表E.3(续)

成因时代		Q ₄ ^m						
		深度	0~10m		10~20m		20~30m	>30m
			淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥质土	淤泥质土
指	标							
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	$a_{0.1-0.2}$	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	$E_{s0.1-0.2}$	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	

E.4 温（岭）黄（岩）平原软土分布区（I₄）温（岭）黄（岩）平原软土分布区（I₄）软土物理力学性质指标表见表E.4。

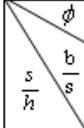
指 标		成因时代	Q ₄ ^m					
		深度	0~10m		10~20m		20~30m	
			淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土
天然含水率	W	54.0~71.1	36.5~56.2	53.6~69.7	36.4~54.9	52.5~65.6	36.1~52.6	
天然湿密度	ρ	1.58~1.68	1.69~1.83	1.55~1.69	1.67~1.85	1.62~1.69	1.69~1.82	
天然孔隙比	e	1.576~1.966	1.041~1.491	1.511~1.888	1.043~1.485	1.505~1.776	1.013~1.468	
液性指数	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 _{0.1-0.2}	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	E _{s0.1-0.2}	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	1.20E-7~1.80E-6	1.00E-7~2.60E-6		3.50E-7~1.20E-6
	水平	K _h	1.42E-7~2.90E-6	5.40E-8~2.70E-6	1.30E-7~2.30E-6	1.30E-7~4.00E-6		3.20E-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						

E.5 温(州)瑞(安)平(阳)平原软土分布区(I₅)温(州)瑞(安)平(阳)平原软土分布区(I₅)软土物理力学性质指标表见表E.5。

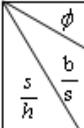
成因时代		Q ₄ ^m								
		0~10m		10~20m		20~30m		>30m		
指	标	深度	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土	淤泥	淤泥质土
		天然含水率	W		55.5~87.2	43.6~53.0	54.1~77.2	39.3~52.6	53.8~71.6	38.6~51.0
天然湿密度	ρ		1.49~1.85	1.68~1.80	1.52~1.69	1.68~1.83	1.53~1.70	1.67~1.89	1.60~1.68	1.69~1.85
天然孔隙比	e		1.507~2.292	1.178~1.495	1.507~2.132	1.078~1.491	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	$a_{0.1-0.2}$		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	$E_{s0.1-0.2}$		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	10.0~1.50	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	2.70E-7~1.10E-6	2.70E-7~1.70E-6	1.10E-7~1.50E-6		1.40E-7~3.90E-6			
	水平	K_h	2.80E-7~5.50E-6	2.70E-7~3.50E-6	2.30E-7~1.60E-6		1.50E-7~2.90E-6			
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	s_t	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	S_t	2.0~4.7		3.0~4.3	3.9~4.5				

附 录 F
(规范性附录)
桩体荷载分担比系数

表F.1 桩体荷载分担比系数

	20°				25°				30°					
	$\frac{s}{h}$	$\frac{b}{s}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6
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		

表F.1 桩体荷载分担比系数(续)

	35°				40°				45°					
	$\frac{s}{h}$	$\frac{b}{s}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6
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)。

参 考 文 献

- [1] 浙江省交通规划设计研究院. 浙江省公路软土地基路堤设计要点[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [2] JT/T 521-2004 公路工程土工合成材料塑料排水板(带)
- [3] JT/T 480-2002 交通工程土工合成材料 土工格栅
- [4] 交通部第二公路勘察设计院. 公路路基设计手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996.
- [5] 史佩栋. 桩基工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [6] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [7] 陈仲颐, 叶书麟. 基础工程学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [8] 宰金珉. 复合桩基理论与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [9] 浙江省交通规划设计研究院. EPS轻质路堤研究[R]. 杭州, 1997.
- [10] 浙江省交通规划设计研究院, 浙江省高速公路建设指挥部, 沪杭高速公路嘉兴指挥部等. 水泥搅拌桩加固沪杭高速公路(嘉兴段)桥头软土地基试验研究[R]. 杭州, 2001.
- [11] 浙江省交通规划设计研究院, 浙江省高速公路建设指挥部, 余杭市高速公路指挥部等. EPS轻质路堤在高速公路上的应用[R]. 杭州, 2002.
- [12] 浙江省交通规划设计研究院, 浙江省杭金衢高速公路指挥部, 河海大学岩土工程研究所. 杭衢高速公路真空联合堆载预压处理桥头软基试验研究[R]. 杭州, 2003.
- [13] 浙江省交通规划设计研究院, 浙江大学, 浙江省交通工程建设集团有限公司, 浙江沪杭甬高速公路股份有限公司. 深厚软基高速公路拓宽工程关键技术研究[R]. 杭州, 2005.
- [14] 浙江省交通规划设计研究院, 浙江大学, 浙江申苏浙皖高速公路有限公司. 桩承式加筋路堤性状原型试验研究[R]. 杭州, 2007.
- [15] 浙江省交通规划设计研究院, 余姚市交通局, 余姚交通工程监理咨询有限公司, 宁波市公路局路桥工程处. 人造轻质土路堤试验研究[R]. 杭州, 2007.
- [16] 浙江省交通规划设计研究院, 浙江申嘉湖杭高速公路有限公司, 浙江土工材料有限公司. 申嘉湖高速公路真空网点吸水联合堆载试验研究[R]. 杭州, 2008.
- [17] 浙江省交通规划设计研究院、浙江大学. 高速公路软基处理方法适用性研究[R]. 杭州, 2010.
- [18] 浙江省杭宁高速公路管委会、浙江省交通规划设计研究院. 现浇混凝土薄壁筒桩加固软土地基试验研究[R]. 杭州, 2002.
- [19] 陈云敏, 贾宁, 陈仁朋. 桩承式路堤土拱效应分析[J]. 中国公路学报. 2004, 17(4): 1-6.
- [20] 徐立新. 桩承式加筋路堤的设计计算方法研究[D]. 浙江大学. 2007.
- [21] 徐立新, 王铁儒, 杨少华. 柔性路堤荷载下粉喷桩复合地基的试验研究[J]. 科技通报. 2006.
- [22] 徐立新, 杨少华, 段冰. 高速公路Y形沉管灌注桩软基处理试验研究[J]. 岩土工程学报. 2007.
- [23] 贾宁等. 杭甬高速公路拓宽工程理论分析及监测[J]. 岩土工程学报. 2005.
- [24] 陈刚, 段冰, 徐立新等. 真空管网吸水联合堆载预压法试验研究[J]. 科技通报. 2010.
- [25] 杨少华, 徐立新, 张继尧. 粉体喷射水泥搅拌桩在高速公路桥头软土地基处理中的应用研究[J]. 公路. 2003.
- [26] 杨少华, 徐立新. EPS超轻质路堤研究及其工程应用[J]. 公路. 2005.
- [27] 徐立新, 陈云敏等. 真空预压法加固高速公路软基的有限元分析[J]. 河海大学学报(自然科学版). 2004.
- [28] 徐立新, 朱文荣. 土工合成材料在浙江公路建设中的应用情况[J]. 交通科技. 2000.

- [29] 桂炎德, 徐立新. 沪杭甬高速公路(红垦至沽渚段)拓宽工程设计方法[J]. 华东公路. 2001.
- [30] 杨少华, 段冰, 姜正晖, 江建坤. 轻质土技术在公路建设中的应用与研究[J]. 公路. 2011.
- [31] 杨少华, 胡建福, 曾怀武, 王黎明. 人造轻质土在高等级公路上的应用[J]. 公路. 2006.
-