

DB37

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 4228—2020

黄泛区公路工程地质勘察与地基处理技术规范

Technical code for geologic investigation and ground treatment of highway
engineering in the Yellow River Flood Area

2020-11-26 发布

2020-12-26 实施

山东省市场监督管理局 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 符号 2

5 工程地质勘察 3

 5.1 一般规定 3

 5.2 预可勘察 4

 5.3 工可勘察 4

 5.4 初步勘察 5

 5.5 详细勘察 6

6 稳定性与沉降计算 7

 6.1 一般规定 7

 6.2 稳定性验算 7

 6.3 沉降计算 8

7 地基处理设计 9

 7.1 一般规定 9

 7.2 强夯和强夯置换 9

 7.3 换填法 10

 7.4 堆载预压 10

 7.5 粒料桩 11

 7.6 加固土桩 12

 7.7 水泥粉煤灰碎石桩 12

 7.8 管桩 12

 7.9 透水混凝土桩 13

 7.10 隔断层 13

 7.11 注浆加固 13

8 地基处理施工及检验 14

 8.1 一般规定 14

 8.2 强夯和强夯置换 14

 8.3 换填法 15

 8.4 堆载预压 16

 8.5 粒料桩 17

 8.6 加固土桩 18

 8.7 水泥粉煤灰碎石桩 19

 8.8 管桩 20

 8.9 透水混凝土桩 21

 8.10 隔断层 22

8.11 注浆加固 23

附录 A（规范性） 简化 Bishop 法地基稳定性验算方法 25

附录 B（规范性） 地基沉降计算方法 26

附录 C（规范性） 复合地基承载力计算方法 29

附录 D（规范性） 强夯地基动态响应测试方法 30

附录 E（规范性） 复合地基稳定性和沉降计算方法 31

附录 F（规范性） 固结度与强度增长计算方法 33

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：山东省交通规划设计院、山东大学、山东宇通路桥集团有限公司、山东省公路设计咨询有限公司、山东广信工程检验检测集团有限公司、山东恒泰工程集团有限公司。

本文件主要起草人：崔新壮、张明晶、刘正银、张珂、金青、张炯、王成军、杨晓东、李中奎、樊守亮、张向文、闫志平、赵永刚、刘丽惠、赵才、蒋启祥、卢途、张乐文、朱琦、林志军、林波、魏巍、魏东旭、李健、李广景、王贯国、李萌、郝前勇、胡永飞、刘虎、张鑫、王胜、贾栋、王艺霖、张小宁、李骏、王洁茹、韩若楠、孙华琛、孙玉杰、郝建文、苏俊伟、王帅、高上。

黄泛区公路工程地质勘察与地基处理技术规范

1 范围

本文件规定了黄泛区公路工程的地质勘察、稳定性与沉降计算、地基处理设计以及地基处理施工等内容。

本文件适用于山东省范围内黄泛区高速公路，一级公路新建、改（扩）建公路工程地基的勘察、设计与施工，二级及以下公路参照执行。

2 规范性引用文件

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

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB 13475 先张法预应力混凝土管桩
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ 79 建筑地基处理技术规范
- JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
- JTG B02 公路工程抗震规范
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG/T D32 公路土工合成材料应用技术规范
- JTG E40 公路土工试验规程
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建部分
- DB37/T 5124 透水混凝土桩复合地基技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

黄泛区 Yellow River Flood Area

黄河中下游数次改道影响的特殊地区。

注：该区域的土体以低液限粉土和含砂粉土为主，不易压实、孔隙率高、毛细作用显著、水稳定性差。

3.2

盐渍土 salty soil

土层中含有易溶盐，其质量分数大于0.3%小于20%，且具有溶陷、盐胀、腐蚀等特性的土。

3.3

复合地基 composite foundation

部分土体被增强或被置换，形成由地基土和增强体共同承担荷载的人工地层。

3.4

堆载预压 drift preloading

在地基上施加荷载，促使地基固结、压密的地基处理方法。

注：堆载预压分等载预压、超载预压和欠载预压。预压荷载等于路堤设计荷载的，称为等载预压；预压荷载超过路堤设计荷载的，称为超载预压；预压荷载小于路堤设计荷载的，称为欠载预压。

3.5

换填法 replacement method

挖去表面浅层土层，回填碎石、砂砾、石屑、矿渣、粉煤灰或灰土等材料，并夯压、碾压密实形成的垫层。

3.6

水泥粉煤灰碎石桩 (CFG) cement fly-ash gravel pile

采用一定比例的水泥、粉煤灰、碎石以及石屑混合料，现场灌注而成的桩体。

3.7

强夯 dynamic compaction

利用大质量夯锤从较高处自由落下对地基产生冲击和振动，降低地基土的压缩性并提高其强度的处理方法。

3.8

强夯置换 dynamic replacement

强夯时，在夯锤冲击形成的夯坑中，边夯边填碎石、片石等粗颗粒材料置换原地基土，在地基中制成大直径的粒料墩，形成复合地基的处理方法。

3.9

透水混凝土桩 pervious concrete pile

由水泥、碎石、外加剂等混合料加水拌和形成，具有透水性、抗震减压性。

4 符号

下列符号适用于本文件。

α : 滑动面切面与水平面夹角 ($^{\circ}$)。

c : 地基土三轴试验测得的黏聚力 (kPa)。

CFG: 水泥粉煤灰碎石桩。

C_{ci} : 土层的压缩指数。

C_{si} : 土层的回弹指数。

C_v : 竖向固结系数 (m^2/s)。

C_r : 径向固结系数 (m^2/s)。

d : 桩身平均直径 (m)。

d_e : 每根桩分担的处理地基面积的等效圆直径 (m)。

e : 土体孔隙比。

E_p : 桩体压缩模量 (kPa)。

E_s : 土体压缩模量 (kPa)。

m : 桩土面积置换率。

m_c : 每立方米透水混凝土所需水泥的质量 (kg)。

m_w : 每立方米透水混凝土所需水泥和水的质量 (kg)。

n : 桩土应力比。

- p_{0j} : 地基中各分层中点的自重应力 (kPa)。
- p_{ci} : 地基中各分层中点的先期固结压力 (kPa)。
- ρ_c : 水泥的密度 (kg/m^3)。
- ρ_w : 水的密度 (kg/m^3)。
- $R_{w/c}$: 初始水灰比。
- S_∞ : 最终沉降 (m)。
- S_S : 瞬时沉降 (m)。
- S_P : 工后沉降 (m)。
- S_0 : 路面设计使用年限内地基发生的总沉降 (m)。
- S_{CP} : 路基路面施工期沉降 (m)。
- S_{TX} : 地基总溶陷量 (m)。
- τ_p : 桩体部分的抗剪强度 (kPa)。
- τ_s : 地基土的抗剪强度 (kPa)。
- σ : 滑动面处桩体的竖向应力 (kPa)。
- μ_s : 桩间土应力折减系数。
- ϕ : 地基土三轴试验测得的内摩擦角 ($^\circ$)。
- ϕ_c : 粒料桩的内摩擦角 ($^\circ$)。

5 工程地质勘察

5.1 一般规定

5.1.1 工程地质勘察应根据工程方案、场地条件,合理选择勘察方法,保证勘察质量,满足各方案设计的需要。

5.1.2 工程地质勘察工作应包括收集资料、工程地质调绘、工程地质勘探、工程地质测试、工程地质评价及报告编制等工作。

5.1.3 工程地质勘察应收集沿线地形、地貌资料,古地形地貌图和历史河流变迁图,区域地质、遥感图像及解译资料;沿线既有建筑、道路等建(构)筑物的勘察、设计、施工、观测资料,科研项目及试验工程成果资料;地震烈度、震害等资料。

5.1.4 工程地质调绘应完成下列工作:

- 地形地貌的成因、类型、分布、规模、形态特征等;
- 地层的成因、年代、层序、厚度、岩性和岩石的风化程度等;
- 地质构造的类型、产状、规模、分布范围等;
- 地下水的类型、埋深、赋存、补给、排泄和径流条件,以及水系、井、泉的分布位置、高程和动态特征等;
- 特殊性岩土和黄泛区粉土的类型、分布范围及工程地质性质等;
- 不良地质的类型、分布范围、规模、形成条件、发生与发展的规律等;
- 既有工程的使用情况等。

5.1.5 工程地质勘探应在工程地质调绘的基础上,采用挖探、简易钻探、钻探、静力触探、标准贯入试验、十字板剪切试验等方法,并辅以必要的物探综合进行。对难以取样的黄泛区粉土地层,应以静力触探、标准贯入试验、十字板剪切试验等原位测试为主,必要时可采用旁压试验等方法。对暗埋的塘、沟、坑穴等,宜采用静力触探方法。可主要采用静力触探方法测定黄泛区粉土层在天然结构状态下土的物理、力学性质,划分地质层次。土的分类应按 JTG C20 的规定执行。

5.1.6 工程地质评价应在综合分析调绘、勘探、原位测试和土工试验等资料的基础上,针对工程特点

和要求进行。评价内容应包括场地地质条件评价、场地地基稳定性评价及场地环境影响评价等，并应符合下列规定：

- a) 场地地质条件评价，应在分析研究区域地质与水文地质条件和工程地质特征的基础上，对不同工程场地方案进行综合评价和比选；
- b) 场地地基稳定性评价，应包括滑动稳定性评价与沉降稳定性评价。应对路基在正常使用情况下可能发生的变形、不均匀沉降、滑动作出评价，提出加固和处理措施建议；
- c) 应对场地因施工、取土、运输等产生的环境地质问题作出评价，并提出相应措施。

5.1.7 当地面以下 20 m 的深度范围内有黄泛区粉土时，地震动峰值加速度不小于 0.1 g 的地区（存在重要建筑时为不小于 0.05 g），应进行地震液化工程地质勘察，其它地区宜进行地震液化工程地质勘察。

5.1.8 地震液化工程地质勘察应查明下列内容：

- a) 地形地貌、地震动参数和历史震害资料；
- b) 地层的成因、地质年代、土层结构；
- c) 土质名称、粒径组成、密实程度和状态；
- d) 饱和砂土、粉土的分布范围、厚度、埋深、液化的可能性和液化等级；
- e) 地下水的类型、分布、埋深、水位及变化趋势；
- f) 当地工程的抗震措施及经验。

5.1.9 工程地质报告应包括文字说明和图表资料，并应符合下列规定：

- a) 文字说明应阐明任务要求、勘察阶段、工程地质条件、工程项目的特点，应包括对本文件第 5.1.4 条要求查明内容和结论的说明，以及按本文件第 5.1.5 条要求进行工程地质评价的情况及结论；
- b) 初步勘察和详细勘察阶段，图表资料应包括工程地质平面图，纵、横断面图，钻孔柱状图，原位测试成果图表，土工试验资料成果图表，水文地质测试资料图表、勘探，试验照片等。

5.1.10 黄泛区公路工程地质勘察深度应与勘察设计的阶段相对应，可分为预可行性研究工程地质勘察（以下简称预可勘察）、可行性研究工程地质勘察（以下简称工可勘察）、初步工程地质勘察（以下简称初步勘察）与详细工程地质勘察（以下简称详细勘察）四个勘察阶段。可根据工程的重要性和特点合并执行。

5.2 预可勘察

5.2.1 预可勘察应了解公路建设项目所处区域的工程地质条件及存在的工程地质问题，为编制预可行性研究报告提供工程地质资料。

5.2.2 预可勘察应充分收集区域地质、地震、气象、水文、采矿、灾害防治与评估等资料，采用资料分析、遥感工程地质解译、现场踏勘调查等方法，对各路线走廊带或通道的工程地质条件进行研究，完成下列各项工作内容：

- a) 各路线走廊带或通道的地形地貌，地层岩性，地质构造，水文地质条件，地震动参数，以及不良地质和特殊性岩土的类型、分布范围、发育规律；
- b) 了解当地建筑材料的分布状况和采购运输条件；
- c) 评估各路线走廊带或通道的工程地质条件及主要工程地质问题；
- d) 编制预可行性研究阶段工程地质勘察报告。

5.2.3 预可勘察报告应分析并对控制路线方案和重点地段的黄泛区粉土和不良地质的分布范围、成因类型及其对工程可能产生的危害和应对措施进行重点说明。

5.2.4 预可勘察报告应提供全线工程地质图（1: 50 000~1: 100 000），填绘黄泛区粉土分布范围及其工程地质要素，宜与路线方案示意图合并成图。

5.3 工可勘察

5.3.1 工可勘察应掌握路线走廊带内对工程规模有较大影响的黄泛区粉土的分布，研究其可能对工程产生的影响，勘察成果应满足工可路线方案研究的需要。

5.3.2 工可勘察应包括下列内容：

- a) 在预可勘察成果的基础上，应对路线走廊带的黄泛区公路地基进行现场调查，必要时宜进行简易勘探和测试；
- b) 对控制路线方案和重点地段的黄泛区公路地基，宜通过勘探钻孔与静力触探核查所收集的资料，进一步了解其成因类型、性质、分布范围及可能对工程产生的危害；
- c) 对沿线的堤防、涵闸、桥梁、道路等大型既有建（构）筑物应进行重点调查，了解其结构、基础类型以及地基处理措施和经验等；
- d) 对室内遥感解译成果应进行现场核对、修改和补充。

5.3.3 工可勘察报告文字说明应重点阐明各方案中黄泛区粉土的分布范围、成因类型、工程特性等对路线的影响，对路线方案作出评价，并提出对初步勘察工作的建议。

5.3.4 工可勘察报告图表资料应包括下列内容：

- a) 全线工程地质图（1: 10 000~1: 50 000），图中应填绘各路线方案和大型结构物的位置，主要的地貌界限、地层界线、地质构造线、岩层产状，黄泛区粉土分布范围，地震基本烈度分区界限等；
- b) 必要时推荐方案及重要比较方案工程地质图（1: 2 000~1: 10 000）；
- c) 控制路线方案的复杂黄泛区粉土地段的工程地质平、纵断面示意图；
- d) 不良地质地段表。

5.4 初步勘察

5.4.1 初步勘察应基本查明控制路线方案的黄泛区粉土分布及其工程地质特征，研究其对工程方案的影响，提出处理措施建议。勘察成果应满足路线布设、处理方案设计及结构设计的需要。

5.4.2 初步勘察应包括下列内容：

- a) 在工可勘察成果的基础上，采用工程地质调绘、钻探与原位测试、室内试验等手段，初步查明沿线黄泛区粉土的成因类型、分布范围、埋藏条件及古河道、暗塘的分布，地下水类型、埋藏深度、活动情况、补给与排泄条件；
- b) 对控制路线方案的黄泛区粉土地段，尚应查明层位、层厚、物理、力学、化学、水理性质等工程地质特征，并初步分析其变形和稳定性。

5.4.3 初步勘察工程地质调绘范围应满足路线方案比选的需要，对地质条件复杂并控制路线方案的黄泛区粉土地段，必要时应扩大调绘范围。

5.4.4 初步勘察勘探点位布设、钻探深度、原位测试和室内试验应符合下列规定：

- a) 不同的黄泛区粉土类别分段应设置勘探孔。成层复杂、变化大、附加应力显著变化或有山间洼地时，勘探点应加密；
- b) 代表性路段应采用静力触探、钻探等进行综合勘探。工程地质条件简单时，每公里不得少于 2 个，做代表性勘探；工程地质条件较复杂或复杂时，应增加勘探测试点数量；
- c) 控制性钻孔应布置在有代表性的部位。当黄泛区粉土层深厚或厚度变化不大时，宜布置在路中心。每一地貌单元或地质单元、重要工点均应有控制性钻孔。控制性钻孔不应少于钻孔总数的 1/3；
- d) 钻探深度应根据黄泛区粉土的分布厚度及路堤填土高度确定，厚度较薄时，应穿透黄泛区粉土层至主要持力层内 2 m~5 m 或下伏基岩；厚度较厚时，钻孔深度应达到预估的地基附加应力与地基土自重（饱和层用浮重度）应力比为 0.10~0.15 时所对应的深度；

- e) 静力触探的深度，宜达到黄泛区粉土分布的底层。作为参数孔时，应设置于钻探孔 ζ m 范围以内；
- f) 对非均质土层，在地面下 10 m 以内，应每 1.0 m~1. ζ m 取一组样品；10 m 以下可每 1. ζ m~2.0 m 取一组样品；变层时应补取样品。对于厚度大于或等于 ζ m 的均质土层，应在该层的上、中、下部各取一组样品。控制性钻孔应连续采取各土层原状土样；
- g) 砂土、粉土测试项目可按表 1 选择，各项测试应符合 JTG E40 的相关要求。

表1 室内测试项目表

测试项目		地层		
		砂土	粉土	黏性土
颗粒分析		+	+	+
天然含水率		+	+	+
密度			(+)	(+)
塑限			(+)	(+)
液限			(+)	(+)
黏粒含量百分率		+	+	+
毛细水上升高度			+	+
压缩系数			+	+
前期固结压力				+
渗透系数	垂直			+
	水平			+
固结系数	垂直			+
	水平			+
剪切试验	黏聚力		+	+
	内摩擦角	+	+	+
注1：“+”——必做项目；“（+）”——选做项目。				
注2：黏粒含量百分率应采用六偏磷酸钠作分散剂测定。				

5.4.5 初步勘察工程地质报告文字说明应阐明沿线黄泛区公路地基和各工点黄泛区粉土成因类型与分布规律，物理力学指标特点，并针对各类工程项目与该地段地质环境、指标特性的相互作用，作出工程地质评价与预测，提出地基处理措施建议。

5.4.6 初步勘察工程地质报告图表资料中，应包括全段工程地质平面图和路线各比较方案工程地质平面图（1：2 000）、全段工程地质纵断面图和路线各比较方案工程地质纵断面图（1：2 000）、工程地质钻孔柱状图（1： ζ 0~1： 200），宜包括工程地质横断面图（1： 100~1： 400）。

5.5 详细勘察

5.5.1 详细勘察应逐段查明路线范围内黄泛区粉土的工程地质特性。

5.5.2 详细勘察应包括下列内容：

- a) 查明黄泛区粉土层、排水层、下卧层的工程地质条件，以及地下水赋存；
- b) 根据黄泛区粉土成因类型、各结构层厚度及特点，划分出不同地质分段，查清黄泛区粉土沿路线与垂直路线方向以及沿深度方向的分布范围与层位；
- c) 分段对黄泛区粉土地基进行现场原位测试和对各地层的样品进行室内物理、力学、化学、水理性指标试验，提供路堤稳定与沉降计算的技术指标；
- d) 计算分析典型路段路堤的稳定与沉降，分段提供技术建议或地基处理方案。

5.5.3 详细勘察工程地质调绘应进行下列工作：

- a) 对初步勘察调绘所列调查内容进行补充，并核对沿初步设计推荐的路线范围内的工程地质条件；
- b) 整理路线中线左、右各 100 m～200 m 宽范围内的工程地质测绘资料，填制 1:2 000 工程地质图；
- c) 对已收集到的区域地质图范围内黄泛区粉土的性质、分布、地质年代、成因类型及沿线地貌特征进行核对与验证。

5.5.4 详细勘察勘探点位布设、钻探深度、原位测试和室内试验应符合下列规定：

- a) 详细勘察应充分利用初勘资料，勘探测试点宜沿确定的路线中线布置；
- b) 工程地质条件简单时，地层单一路段，每段填、挖路基勘探测试点的数量不宜少于 1 个，平均间距不宜大于 500 m；工程地质条件较复杂或复杂，地层变化大路段，勘探测试点的数量应增加，其平均间距不宜大于 200 m；
- c) 不良地质发育路段，宜布置横向勘探断面进行勘探，每条勘探断面上勘探点的数量不宜少于 2 个；
- d) 勘探深度、取样，测试等应符合第 5.4.4 条的规定。

5.5.5 详细勘察工程地质报告文字说明应说明区域地质、地震地质、水文地质、气象、地形、地貌等有关资料，重点阐明已定路线黄泛区公路地基形成特点与分布规律，并针对各类工程项目与地质环境的相互作用，结合试验与测试指标作出工程地质评价与预测，提出有效的地基处理措施。

5.5.6 详细勘察工程地质报告黄泛区公路地基部分的图表资料应符合本文件第 5.1.9 条及第 5.4.5 条中比例尺相关规定，其中工程地质纵断面图应包括全段工程地质纵断面图和路线各典型路段工程地质纵断面图。各典型路段工程地质纵断面图的水平比例尺可视路段长度选用。

6 稳定性与沉降计算

6.1 一般规定

- 6.1.1 黄泛区公路地基路堤稳定性计算与沉降计算应根据线路的工程地质条件分段进行。
- 6.1.2 稳定性验算与沉降计算应按分层地基进行，不得简化为均质地基。
- 6.1.3 黄泛区公路地基沉降应计算至附加应力与有效自重应力之比不大于 0.15 处。
- 6.1.4 稳定性验算应按路堤施工期及公路运营期的荷载分别计算安全系数。施工期荷载可仅考虑路堤自重；运营期荷载应包括路堤自重、路面的增重及行车荷载；地震力可仅考虑水平向地震力。
- 6.1.5 稳定性验算时行车荷载可按静止的土柱作用考虑。换算土柱高度可按车辆荷载均布于车辆投影面积上换算得出，土柱位置应选择路堤上车辆荷载最不利的作用位置。
- 6.1.6 路堤高度小于或等于 2.5 m 时，应考虑行车动荷载对路堤沉降的影响。
- 6.1.7 路基预压时，稳定性验算与沉降计算的路基高度应包含预压高度。

6.2 稳定性验算

6.2.1 黄泛区公路地基的稳定性验算宜采用简化 Bishop 法，具体计算方法应按附录 A 执行，稳定系数计算见附录图 A.1。

6.2.2 黄泛区公路地基的稳定性验算时，应考虑以下三种工况：

- a) 正常工况：路基投入运营后经常发生或持续时间长的工况；
- b) 非正常工况 I：路基处于暴雨或连续降雨状态下的工况；
- c) 非正常工况 II：路基遭遇地震等荷载作用的工况。

6.2.3 地基稳定性分析的强度参数应根据填料来源、场地情况及分析工况的需要，选择有代表性的土

样进行室内试验，并结合现场情况确定。土样强度参数、值试验方法应符合表 2 的要求，路堤填土不同工况下试样制备要求见表 3。

表2 路堤填土强度参数试验试样制备要求

土样类型	试验方法
路堤填土 ^a	直剪快剪或三轴不排水剪试验
地基土	直剪固结快剪或三轴不排水剪试验
高路堤沿斜坡地基或软弱层带 ^b	直剪快剪或三轴不排水剪试验
^a 当路基填料为粗粒土或填石料时，可采用大型三轴试验仪或大型直剪试验仪进行试验。	
^b 当存在地下水影响时，应采用饱水试件进行试验。	

表3 路堤填土强度参数试验试样制备要求

分析工况	适用范围	试样要求
正常工况	用于新建路堤	采用填筑含水率和填筑密度；当难以获得填筑含水率和填筑密度时，或进行初步稳定分析时，密度采用要求达到的密度，含水率采用击实曲线上要求密度对应的较大含水率
	用于已建路堤	取路基原状土
非正常工况 I	用于降雨入渗影响范围内的填土	同正常工况试样要求，但要预先饱和
非正常工况 II	适用范围	同正常工况试样要求

6.2.4 各等级公路高路堤与陡坡路堤稳定性安全系数不得小于表 4 所列稳定性安全系数值。对非正常工况 II，路基稳定性分析方法及稳定安全系数应符合 JTG B02 的规定。

表4 稳定安全系数

地基强度指标	分析工况	稳定性安全系数
直剪的固结快剪或三轴固结不排水剪指标	正常工况	1.4 ζ
	非正常工况 I	1.3 ζ
快剪指标	正常工况	1.3 ζ
	非正常工况 I	1.2 ζ

6.3 沉降计算

6.3.1 主固结沉降 S_c 应采用分层总和法计算，计算参数可采用由压缩试验得到的 $e-p$ 曲线、压缩模量 E_s 或 $e-lgp$ 曲线。主固结沉降 S_c 、瞬时沉降 S_d 、次固结沉降 S_s 、最终沉降和工后沉降 S_∞ 具体计算方法应按附录 B 执行。

6.3.2 当工后沉降 S_p 不满足表 ζ 的要求时，应针对沉降进行处理设计。

表5 容许工后沉降

位置	工后沉降 mm
桥台与路堤相邻处	≤ 0.10
涵洞、箱涵、通道处	≤ 0.20
一般路段	≤ 0.30

7 地基处理设计

7.1 一般规定

7.1.1 黄泛区公路地基处理设计应按地质资料准备、设计路段划分、稳定性和地基沉降验算、处理方案设计的流程进行。

7.1.2 各设计路段的黄泛区粉土参数应根据工程地质勘察报告的有关内容，以勘探孔为单位，对沉降计算和稳定性验算所需要的物理、力学参数进行整理后确定；对于缺失的参数，可通过其它参数的综合对比分析，参考相邻孔确定。

7.1.3 在黄泛区进行工程建设时，宜避开过、强盐渍土地段，以及分布有浅埋高矿化度地下水的盐渍土地段，并宜选择含盐量较低、场地条件较易于处理的地段，避开下列地段：

- a) 排水不利地段，低洼地段；
- b) 地下水位有可能上升的地段；
- c) 次生盐渍化程度明显增加的地段。

7.1.4 盐渍土地段的各类建（构）筑物设计时，应综合分析下列因素的影响：

- a) 地基承载力及其变化；
- b) 地基溶陷等级与地基总溶陷量；
- c) 地基盐胀等级与地基总盐胀量。

7.1.5 黄泛区公路地基处理的方案设计应按因地制宜、就地取材、经济实用的原则进行。对黄泛区粉土性质差、地基条件复杂或有特殊要求的地基处理工程，可采用多种措施进行综合处理。

7.1.6 现有公路拓宽改建时，拓宽部分的工后沉降应满足表 5 中桥台与路堤相邻处的规定。

7.1.7 处理与未处理以及不同地基处理方案衔接处应缓和过渡，减小差异沉降。

7.1.8 复杂场地黄泛区地基处理过程中应加强动态观测，收集影响设计的各种因素及变化情况，及时制订相应方案，保证安全。

7.1.9 复合地基承载力特征值应通过复合地基静荷载试验或采用增强体静荷载试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定，初步设计时，应按附录 C 估算。

7.1.10 处理后的复合地基承载力和复合地基增强体的单桩承载力，应按 JGJ 79 中的方法确定。

7.1.11 加固土桩、水泥粉煤灰碎石桩、透水混凝土桩等有粘结强度的复合地基增强体桩身强度应满足式（1）的要求。

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \dots\dots\dots (1.)$$

式中：

f_{cu} ——桩体试块（边长150 mm立方体）标准养护28 d的立方体抗压强度平均值（kPa）；

λ ——单桩承载力发挥系数，可按地区经验取值；

R_a ——单桩竖向承载力特征值（kN）；

A_p ——桩的截面积（m²）。

7.1.12 黄泛区公路地基处理设计除应满足本文件要求外，还应符合 JTG D30 的相关要求。

7.2 强夯和强夯置换

7.2.1 饱和粉土、夹有粉砂的饱和软黏土地基或在夯坑中回填片块石、碎砾石、卵石等粒料进行置换处理时，可采用强夯法处理。

7.2.2 强夯法的有效加固深度应根据现场试夯或当地经验确定，也可按式（2）估算。

$$d = \alpha \sqrt{mh} \dots\dots\dots (2.)$$

式中：
 m —— 夯锤质量（t）；
 h —— 夯锤落距（m）；
 a —— 修正系数，与土质条件、地下水位、夯击能大小、夯锤底面积等因素有关，其值范围为 0.34~0.80，应根据现场试夯结果确定。

7.2.3 强夯夯点的夯击次数，应按试夯得到的夯击次数和夯沉量关系曲线确定，最后两击的平均夯沉量应满足表 6 的要求，且夯坑周围地面不应发生过大的隆起，也不应因夯坑过深而发生提锤困难。

表6 强夯法最后两击的平均夯沉量

单击夯击能 E kN · m	最后两击的平均夯沉量 mm
$E < 2000$	$\leq \zeta_0$
$2000 < E \leq 4000$	≤ 100
$E > 4000$	≤ 200

- 7.2.4 当地基为严重液化地基或试夯时夯沉量随夯击数不能趋于稳定时，地基单遍强夯夯点的夯击次数可基于试夯时的地基动态响应来确定强夯参数：
- a) 试夯时，对试夯点正下方的动应力和动孔压进行监测和记录，监测点的埋深应在需加固的地基深度范围内；
 - b) 分析试夯得到的动应力和动孔压响应曲线。最优夯击数应按附录 D 确定。
- 7.2.5 当地下水位较高时，可先降低地下水位到强夯加固深度以下再进行强夯，也可设置竖向排水体后进行强夯。
- 7.2.6 夯点和强夯置换墩宜采用等边三角形或正方形布置，间距宜为 ζ_0 m~7 m。
- 7.2.7 强夯置换墩间距应根据荷载大小和原土的承载力确定，当满布时可取夯锤直径的 2~3 倍。桩的计算直径可取夯锤直径的 1.1~1.2 倍。
- 7.2.8 强夯置换墩顶应铺设一层厚度不小于 0.5 m 的粒料垫层，垫层材料可与桩体材料相同，粒径不宜大于 100 mm。
- 7.2.9 强夯置换设计时，应预估地面抬高值，并在试夯时校正。
- 7.2.10 强夯置换墩复合地基应按附录 E 进行稳定性和沉降计算。

7.3 换填法

- 7.3.1 换填材料宜使用碎石、砂砾、石屑、矿渣、建筑垃圾再生料、粉煤灰以及灰土等。
- 7.3.2 换填垫层顶面的压实度要求应与相同层次的路堤填料压实度要求相同。

7.4 堆载预压

- 7.4.1 堆载预压适用于处理淤泥质土、淤泥、冲填土等地基。
- 7.4.2 在设计前除应了解常规土性指标外，尚应查明土的渗透性、土层在水平和竖直方向的分布和变化、透水层的位置和厚度及水源补给条件。
- 7.4.3 堆载预压设计应包括下列内容：
- a) 竖向排水体设计；
 - b) 预压加固区面积和分块大小；
 - c) 预压荷载大小、荷载分级、加载速率和预压时间；
 - d) 计算地基土的固结度与强度增长，确定要求达到的土层的固结度，具体计算方法应按附录 F 执行；

- e) 预压地基的沉降计算;
- f) 预压地基的稳定性验算。

7.4.4 堆载预压处理地基时,应同时设置塑料排水板、砂井或透水混凝土桩等竖向排水体。

7.4.5 用于竖向排水体的袋装砂井直径宜为 70 mm~100 mm,塑料排水板或其它类似的复合排水体断面尺寸宜为 100 mm×(4~5) mm。对塑料排水板及类似的由土工合成材料制成的复合排水体,计算时应根据与袋装砂井周长相等原则按式(3)进行当量直径 d_w 的换算。

$$d_w = \alpha \frac{2(b + \delta)}{\pi} \dots\dots\dots (3.)$$

式中:

- α ——排水板在周围土压力作用下透水能力的折减系数,可取 0.75~1.0;
- b 、 δ ——排水板的宽度(mm)与厚度(mm)。

7.4.6 竖向排水体的间距应根据地基土的固结特性和预压期内所要求达到的固结度确定,但不宜大于 1.5 m。

7.4.7 竖向排水体的深度应根据地基的稳定性、变形要求和工期确定,宜贯穿整个压缩土层。

7.4.8 对采用挤土方式施工的竖向排水体,应考虑涂抹对土体固结的影响。当竖向排水体的纵向通水量与天然土层水平向渗透系数的比值较小,且长度较长时,尚应考虑井阻影响。

7.4.9 对竖向排水体未穿透压缩土层的地基,应分别计算竖向排水体所穿透土层的平均固结度和竖向排水体底面以下附加应力与自重应力之比大于 0.15 土层的平均固结度。

7.4.10 应在地基上铺设与竖向排水体相连的排水垫层,垫层材料可为砂、碎石或砂砾,厚度宜为 0.5 m,渗透系数不宜小于 1.0×10^{-3} cm/s。

7.4.11 预压区边缘应超出工程需要的加固区轮廓线,每边增加量不得小于 3 m。加固区宜按方形布置。

7.4.12 预压荷载大小、范围、加载速率应符合如下规定:

- a) 预压荷载大小应根据设计要求确定。对于沉降有严格限制的路段,应采用超载预压法处理,超载量大小应根据预压时间内要求完成的变形量通过计算确定,并宜使预压荷载下受压土层各点的有效竖向应力大于路基荷载引起的相应点的附加应力;
- b) 预压荷载顶面的范围应等于或大于路基坡脚的范围;
- c) 加载速率应根据地基土的强度确定。当天然地基土的强度满足预压荷载下地基的稳定性要求时,可一次性加载,否则应分级逐渐加载,待前期预压荷载下地基土的强度增长满足下一级荷载下地基的稳定性要求时方可加载。

7.5 粒料桩

7.5.1 粒料桩适用于挤密处理松散砂土、粉土、粉质黏土、素填土、杂填土等地基,以及用于处理可液化地基。对大型的、重要的或场地地层复杂的工程,以及对于处理不排水抗剪强度不小于 20 kPa 的饱和黏性土地基,应在施工前通过现场试验确定其适用性。

7.5.2 粒料桩的长度、直径、间距应根据稳定性、沉降计算确定,桩长不宜大于 20 m。当相对硬层埋深不大时,桩长应达到相对硬层。振动沉管法成桩的桩径宜为 0.5 m,桩间距不宜大于 1.8 m;振冲置换法成桩的桩径宜为 0.8 m~1.2 m,桩间距不宜大于 3.0 m。相邻桩的间距不应大于 4 倍的桩径。

7.5.3 设有粒料桩的复合地基,应参照附录 E 进行稳定性和沉降计算。

7.5.4 设有粒料桩复合地基部分的平均固结度,可将粒料桩视为竖向排水体,按附录 F 计算。

7.5.5 粒料桩的充盈系数应通过试桩确定。初步设计时,如缺少经验资料,充盈系数可取 1.3。

7.5.6 设有粒料桩的路堤底面应设置一层与粒料桩相连的排水垫层,垫层材料可采用碎石或砂砾,其厚度宜为 0.5 m,粒料中小于 5 mm 部分的含泥量不宜大于 5%,渗透系数不宜小于 1×10^{-3} cm/s。

7.6 加固土桩

7.6.1 加固土桩适用于处理正常固结的淤泥、淤泥质土、素填土、黏性土（软塑、可塑）、粉土（稍密、中密）、粉细砂（松散、中密）、中粗砂（松散、稍密）等土层。加固土桩包括水泥土搅拌桩、旋喷桩等。

7.6.2 竖向承载桩的长度应根据路基对承载力和变形的要求确定，并宜穿透黄泛区粉土层。为提高抗滑稳定性而设置的桩体，其桩长应超过危险滑弧以下 2 m。

7.6.3 水泥土搅拌桩长度、直径、间距应根据稳定性计算、沉降计算确定。粉喷法的加固深度不宜大于 12 m；浆喷法的加固深度不宜大于 20 m。桩径不宜小于 0.5 m。相邻桩的间距不应大于 4 倍桩径。

7.6.4 水泥土搅拌桩设计前应进行拟处理土的室内配合比试验。试验用土样可采用钻探或开挖的方式从地基中采集，宜为保持天然含水率的扰动样和部分原状样；土样应采用塑料袋或其它密封容器包装，防止水分流失；采样位置不应少于 3 处。

7.6.5 旋喷桩地基处理设计应符合下列规定：

- a) 应根据工程需要和土质条件选用单管法、双管法和三管法；旋喷桩加固体形状可分为柱状、壁状、条状或块状；
- b) 旋喷桩加固体强度和直径，应通过现场试验确定。

7.6.6 加固土桩的复合地基应参照附录 E 进行稳定性和沉降计算。

7.6.7 加固土桩应在桩顶设置垫层。垫层厚度宜为 0.3 m~0.5 m，材料可选用灰土、级配碎石以及砂砾等。

7.7 水泥粉煤灰碎石桩

7.7.1 水泥粉煤灰碎石桩（CFG 桩）复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土和自重固结已完成的素填土地基。对淤泥质土应按地区经验或通过现场试验确定其适用性。

7.7.2 CFG 桩的配合比应根据成桩要求的混合料坍落度和桩体设计强度确定：对于长螺旋钻中心压灌成桩施工的坍落度宜为 150 mm~200 mm；桩体的设计强度应取 28 d 无侧限抗压强度。

7.7.3 CFG 桩设计应确定桩长、桩径、桩间距、桩体强度和垫层厚度，并应符合下列规定：

- a) 桩长应根据设计对承载力和变形的要求、土质条件、设备能力等确定；桩端应落在强度相对较高的土层上；最大桩长不宜大于 30 m；
- b) 桩径应根据成桩设备条件确定，宜为 0.35 m~0.6 m；
- c) 桩间距应根据设计对承载力和变形的要求、土质条件、施工工艺等确定，宜取 3~5 倍桩径；
- d) 设计强度应满足路堤沉降与稳定的要求；
- e) 垫层厚度宜取 0.3 m~0.5 m，当桩距大时，垫层厚度宜取高值。垫层材料宜采用中砂、粗砂、级配砂砾或碎石等，最大粒径不宜大于 30 mm。考虑柔性基础特征，土工格栅。

7.7.4 CFG 桩的复合地基应参照附录 E 进行稳定性和沉降计算。

7.8 管桩

7.8.1 管桩可用于变形要求较严格的高路堤段、桥头或通道与路堤衔接段，以及拓宽路堤段。

7.8.2 先张法预应力混凝土管桩宜工厂预制，外径宜为 300 mm~500 mm，壁厚宜为 70 mm~100 mm；现浇混凝土大直径管桩外径宜为 1.0 m~1.5 m，壁厚宜为 120 mm~200 mm。

7.8.3 管桩桩顶宜设桩帽，并铺设柔性土工合成材料加筋垫层。

7.8.4 管桩的平面布置可采用正方形或正三角形排列。管桩的直径、桩长、间距应经稳定性、沉降验算后确定，桩间距不宜大于 5 倍桩径。

7.8.5 管桩桩帽可采用圆柱体、台体或倒锥台体，桩帽平面尺寸宜为 1.0 m~1.5 m，厚度宜为 0.3 m~0.4 m。

7.8.6 管桩的复合地基应参照附录 E 进行稳定性和沉降计算。

7.9 透水混凝土桩

7.9.1 透水混凝土桩复合地基适用于素填土、粉土、黏性土、砂土等场地的地基。遇有下列情况时，应通过现场和室内试验确定其适用性：

- a) 淤泥、淤泥质土、含有大量植物根茎土；
- b) 地下水具有中～强腐蚀性、地下水流速较大的场地；
- c) 含有较多块石、漂石或其他障碍物。

7.9.2 透水混凝土桩复合地基在设计阶段前宜按场地复杂程度，选择有代表性的部位进行成桩工艺性试验，类似条件下试验数量不宜少于 3 根，并根据试验结果确定试验参数和提出施工技术要求。

7.9.3 桩径、桩间距应根据处理后复合地基承载力、单桩承载力、施工工艺、土层情况综合考虑。方案设计时，桩径宜取 300 mm～500 mm，桩间距宜为 3～5 倍桩径。

7.9.4 垫层厚度宜取 0.3 m～0.5 m，当桩距大时，宜取高值。垫层材料宜采用中砂、粗砂、级配砂砾或碎石等，最大粒径不宜大于 30 mm。

7.9.5 透水混凝土桩的配合比设计宜通过现场试验确定，应同时满足桩身混凝土设计强度等级、目标孔隙率和渗透系数的要求，目标孔隙率宜取 10 %～20 %，渗透系数不宜低于 1.0×10^{-3} cm/s，所需粗骨料的质量应由紧密堆积密度确定，考虑实际情况应乘以折减系数 0.98。

7.9.6 使用体积法进行透水混凝土配合比设计以目标孔隙率为控制参数，通过堆积密实的集料空隙率与最优水灰比，按式 (4)～(5) 推导出水泥和水的用量：

$$\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_w}{\rho_w} = (1 - \rho)V \quad (4.)$$

$$m_c = (1 - \rho)V \frac{\rho_c \rho_w}{\rho_w + \rho_c R_{wc}} \quad (5.)$$

$$m_w = m_c R_{wc} \quad (6.)$$

式中：

ρ ——目标孔隙率；

R_{wc} ——初始水灰比；

ρ_c ——水泥的密度 (kg/m³)；

ρ_w ——水的密度 (kg/m³)；

m_c ——每立方米透水混凝土所需水泥的质量 (kg)；

m_w ——每立方米透水混凝土所需水泥和水的质量 (kg)。

7.9.7 透水混凝土桩的复合地基应参照附录 E 进行稳定性和沉降计算。

7.10 隔断层

7.10.1 隔断层适用于在盐渍土地基中隔断盐分和水分的迁移。

7.10.2 盐渍土地基中设置的防渗土工布 (膜) 隔断层应有足够的抗拉强度和耐腐蚀性。

7.10.3 盐渍土中采用隔断层时，应综合利用其防盐、治盐和提高地基承载力等作用。

7.10.4 隔断层的设置层位应高出地表或地表长期积水位 0.2 m 以上，并满足最大冻深的要求。

7.11 注浆加固

7.11.1 注浆加固适用于地基的局部加固处理，适用于砂土、粉土、黏性土和人工填土等地基加固。加固材料可选用水泥浆液、硅化浆液和碱液等固化剂，且应满足环保要求

7.11.2 注浆加固设计前，应进行室内浆液配比试验和现场注浆试验，确定设计参数，检验施工方法和

设备。

7.11.3 注浆加固应保证加固地基在平面和深度连成一体,满足土体渗透性、地基土的强度和变形的设计要求。

7.11.4 注浆加固后的地基变形计算应按 GB 50007 的有关规定进行。

7.11.5 对地基承载力和变形有特殊要求的建筑地基,注浆加固宜与其他地基处理方法联合使用。

7.11.6 对软弱地基土处理,可选用以水泥为主剂的浆液及水泥和水玻璃的双液型混合浆液;对有地下水流动的软弱地基,不应采用单液水泥浆液。

7.11.7 水泥为主剂的注浆加固设计应符合下列规定:

- a) 注浆孔间距宜取 1.0 m~2.0 m;
- b) 在砂土地基中,浆液的初凝时间宜为 5 min~20 min;在黏性土地基中,浆液的初凝时间宜为 1 h~2 h;
- c) 注浆量和注浆有效范围,应通过现场注浆试验确定;在黏性土地基中,浆液注入率宜为 15%~20%;注浆点上覆土层厚度应大于 2 m。

8 地基处理施工及检验

8.1 一般规定

8.1.1 黄泛区地基处理施工前应做好下列准备工作:

- a) 收集并熟悉有关施工图、工程地质勘察报告、土工试验报告和地下管线、构造物等资料;
- b) 编制施工组织设计;
- c) 检验有关原材料;
- d) 调试施工机械设备;
- e) 平整施工场地;
- f) 试验确定合理的施工工艺流程及有关工艺参数;
- g) 施工测量、放样;
- h) 完成临时用房、便道、电力电信、供水和必要的安全、环保等设施;
- i) 重点路段补充编制专项施工方案。

8.1.2 施工材料应分类堆放,妥善保管。

8.1.3 施工所用的建筑垃圾再生料、工业废料应符合环保要求,且无腐蚀性和无放射性危害。

8.1.4 施工过程中应贯彻信息化施工原则。当设计与实际不符时,应及时提出书面报告。

8.1.5 应做好施工原始记录和观测记录。

8.1.6 黄泛区公路地基处理施工及检验除应满足本文件要求外,还应符合 JTG/T 3510、JTG F80/1 的相关要求。

8.2 强夯和强夯置换

8.2.1 强夯置换的桩体材料宜采用级配良好的块石、碎石、矿渣等坚硬粗颗粒材料,粒径大于 300 mm 的颗粒含量不宜超过 30%。桩体材料的最大粒径不宜大于夯锤底面直径的 0.2 倍,含泥量不宜超过 10%。

8.2.2 强夯加固黏土地基时,宜采用较大底面积的锤。强夯置换宜采用细长的铸钢锤。在强夯能级不变的条件下,宜采用重锤、低落距。

8.2.3 强夯和强夯置换施工前应在代表性路段选取试夯区进行试夯,每个试夯区场地面积不应小于 500 m²。

8.2.4 强夯施工应符合下列规定:

- a) 强夯前应在地表铺设一定厚度的垫层,垫层材料可采用碎石、矿渣等坚硬粗颗粒材料;

- b) 强夯宜分为主夯、副夯、满夯三遍实施。第一遍主夯完成后，第二遍的副夯点应在主夯点中间穿插布置；副夯点与主夯点的布置间距及夯击能级应相同。满夯夯点应采用彼此搭接 1/4 连续夯击，满夯能级可采用主夯能级的 1/3~1/2；
 - c) 两遍夯击之间应有一定的时间间隔，间隔时间应根据土中超静孔隙水压力的消散时间确定；当缺少实测资料时，可根据地基土的渗透性确定。对于渗透性较差的黏性土地基，间歇时间不应少于 21 d；对于粉性土地基，间歇时间不应少于 7 d；对于渗透性好的地基，间歇时间不宜少于 3 d。
- 8.2.5 强夯置换施工应符合下列规定：
- a) 强夯置换前应在地表铺设一定厚度的垫层，垫层材料宜与桩体材料相同；
 - b) 强夯置换夯点的夯击次数应通过现场试夯确定，并满足下列要求：
 - 1) 置换桩底应达到设计置换深度（桩长度）；
 - 2) 累计夯沉量应为设计桩长的 1.5~2.0 倍；
 - 3) 最后两级的平均夯沉量应满足第 7.2.3 条的规定。
 - c) 强夯置换应按照由内向外、隔行跳打的方式施工。
- 8.2.6 可采用载荷试验、标准贯入试验、静力触探、十字板剪切、瞬态瑞利波法和钻孔取样试验等方法检验地基土强度的变化情况，评价强夯的效果。载荷试验的频率应按 1 处/3 000 m² 控制，且不应少于 3 处；其他方法的检测频率可适当增大。
- 8.2.7 强夯置换应按下列要求进行工程质量检验：
- a) 采用载荷试验检验单桩承载力，抽检频率应为总桩数的 0.5%，且不应少于 3 处。也可根据需要同时检测桩间土的承载力。测定的承载力应达到设计要求；
 - b) 应采用超重型（N120）或重型（N63.5）动力触探检测桩体的密实度和桩长，抽检频率应为总桩数的 1%~2%。桩体的密实度和桩长应达到设计要求。

8.3 换填法

- 8.3.1 砂砾换填宜采用级配良好、质地坚硬的中、粗砂或砂砾。砂的颗粒不均匀系数不宜小于 10，不得含有草根、垃圾等杂物，含泥量应不大于 5%。
- 8.3.2 碎石换填宜采用 5 mm~40 mm 的天然级配，碎石最大粒径不宜大于 50 mm，含泥量应不大于 5%。垫层材料应符合环保要求。
- 8.3.3 石屑换填所用石屑中，粒径小于 2 mm 的部分不得超过总重的 40%，含泥量应不大于 5%。
- 8.3.4 矿渣换填宜采用粒径 20 mm~50 mm 的分级矿渣，不得混入植物、生活垃圾和有机质等杂物。
- 8.3.5 建筑垃圾再生材料换填所用的材料中，最大粒径不宜大于 50 mm，含泥量和有机质含量不宜大于 5%，粒径大于 4.75 mm 的部分不宜小于 40%。
- 8.3.6 粉煤灰换填可采用电厂排放的硅铝型低钙粉煤灰，最大粒径不宜大于 2 mm，小于 0.075 mm 颗粒含量宜大于 45%，烧失量宜小于 12%。
- 8.3.7 灰土换填的石灰剂量（石灰占混合料总质量的百分比），消石灰宜为 8%，磨细生石灰宜为 5%。土料不得含有有机质，土料粉碎后土块粒径不宜大于 15 mm。石灰中 CaO+MgO 含量不应低于 55%，宜采用 III 级钙质消石灰或 II 级镁质消石灰。
- 8.3.8 碎石、砂砾、石屑、矿渣、建筑垃圾再生材料换填施工应符合下列规定：
- a) 宜采用机械碾压施工，碾压工艺和分层摊铺厚度应根据现场试验确定。压实遍数不宜少于 4 遍；
 - b) 最佳含水率应根据具体的施工方法确定。当采用碾压法时，最佳含水率宜为 8%~12%；当采用平板式振动器时，最佳含水率宜为 15%~20%；当采用插入式振动器时，宜处于饱和状态；

- c) 换填前, 应先对现场的古井、古墓、洞穴、暗塘、旧基础进行清理、填实, 经检验符合要求后, 方可铺填垫层施工;
 - d) 当地面有起伏坡度时应开挖台阶, 台阶宽度宜为 $0.5\text{ m} \sim 1.0\text{ m}$ 。
- 8.3.9 粉煤灰换填施工应符合下列规定:
- a) 粉煤灰的物理化学指标应符合设计要求, 施工最大干密度和最佳含水率应由室内击实试验确定;
 - b) 不得在浸水状态下施工;
 - c) 施工时应分层铺填压实, 松铺厚度应由试验确定;
 - d) 换填施工验收合格后, 并应及时填筑路堤或封层。
- 8.3.10 灰土换填施工应符合下列规定:
- a) 施工前应先施作排水设施, 施工期间不得积水。当遇到局部软弱地基或孔穴时, 应挖除后用灰土分层填实;
 - b) 灰土应拌和均匀, 严格控制含水率, 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;
 - c) 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;
 - d) 应分层铺填碾压, 虚铺厚度不宜大于 0.3 m ;
 - e) 压实后 3 d 内不得受水浸泡;
 - f) 换填施工验收合格后, 应及时填筑路堤或作临时遮盖, 防止日晒雨淋。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。
- 8.3.11 对粉质黏土、灰土、砂石、粉煤灰换填垫层的施工质量可选用环刀取样、静力触探、轻型动力触探或标准贯入试验等方法进行检验; 对碎石、矿渣、建筑垃圾垫层的施工质量可采用重型动力触探试验等进行检验。压实系数可采用灌砂法、灌水法或其他方法进行检验。
- 8.3.12 换填垫层的施工质量检验应分层进行, 并应在每层的压实系数符合设计要求后铺填上层。

8.4 堆载预压

- 8.4.1 堆载预压施工期间应进行孔隙水压力、地表面沉降、土层深部沉降、土层深部水平位移、地下水位等项目的监测, 宜每 1 d 测一次。
- 8.4.2 堆载预压加载速率应满足下列要求:
- a) 竖井地基最大竖向变形量不应超过 15 mm/d ;
 - b) 天然地基最大竖向变形量不应超过 10 mm/d ;
 - c) 堆载预压边缘处水平位移不应超过 5 mm/d ;
 - d) 根据上述观测资料综合分析、判断地基的承载力和稳定性。
- 8.4.3 当连续五昼夜实测地面沉降小于 0.5 mm/d , 经验收满足工程对沉降、承载力的要求, 即可开始卸载。
- 8.4.4 竖向排水体宜采用袋装砂井、塑料排水板或透水混凝土桩, 透水混凝土桩的施工应符合本文件 7.9 的相关要求。
- 8.4.5 袋装砂井施工应符合下列规定:
- a) 宜采用中、粗砂, 粒径大于 0.5 mm 颗粒的含量宜大于 50% , 含泥量应小于 3% , 渗透系数应大于 $5 \times 10^{-2}\text{ mm/s}$ 。砂袋的渗透系数应不小于砂的渗透系数;
 - b) 套管起拔时应垂直起吊, 防止带出或损坏砂袋。发生砂袋带出或损坏时, 应在原孔位边缘重打;
 - c) 砂袋在孔口外的长度应不小于 300 mm , 并顺直伸入砂砾垫层。
- 8.4.6 塑料排水板施工应符合下列规定:

- a) 塑料排水板技术指标应满足设计要求，露天堆放时应有遮盖；
- b) 施工中应防止泥土等杂物进入套管内；
- c) 塑料排水板不得搭接，预留长度应不小于 500 mm，并时弯折埋设于砂垫层中。

8.4.7 袋装砂井应按表 7 的要求进行工程质量检验。

表7 袋装砂井质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	井距	± 150 mm	抽检 2 %且不少于 5 点
2	井径	不小于设计值	挖验 2 %且不少于 5 点
3	井长	不小于设计值	查施工记录
4	灌砂率	不小于设计值	查施工记录

8.4.8 塑料排水板应按表 8 的要求进行工程质量检验。

表8 塑料排水板质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	板距	± 150 mm	抽检 2 %且不少于 5 点
2	板长	不小于设计值	抽检 2 %且不少于 5 点

8.4.9 预压地基处理效果应按下列要求进行工程质量检验：

- a) 排水竖井处理深度范围内和竖井底面以下受压土层，经预压所完成的竖向变形和平均固结度应满足设计要求；
- b) 应对预压的地基土进行原位试验和室内土工试验；
- c) 原位试验可采用十字板剪切试验或静力触探，检验深度不应小于设计处理深度。原位试验和室内土工试验，应在卸载 3 d~5 d 后进行。检验数量按每个处理分区不少于 5 点进行检测，对于堆载斜坡处应增加检验数量。

8.5 粒料桩

8.5.1 粒料桩宜就地取材，可采用砂、碎石、建筑垃圾再生料、矿渣等作为桩体填料，不宜采用易风化崩解、遇水易软化的材料作为桩体填料。

8.5.2 砂桩宜采用中、粗砂，粒径大于 0.5 mm 颗粒含量宜占总质量的 50 %以上，含泥量应小于 3 %，渗透系数应大于 5×10^2 mm/s；也可使用砂砾混合料，含泥量应小于 5 %。

8.5.3 碎石桩宜采用级配好、不易风化的碎石或砾石，最大粒径宜不大于 50 mm，含泥量应小于 5 %。

8.5.4 采用建筑垃圾、矿渣作为粒料时最大粒径宜不大于 50 mm，含泥量应小于 5 %。

8.5.5 粒料桩施工可采用振动沉管、锤击沉管或冲击成孔等成桩法。当用于消除粉细砂及粉土液化时，宜用振动沉管成桩法。

8.5.6 施工前应进行成桩工艺和成桩挤密试验。当成桩质量不满足设计要求时，应在调整设计与施工有关参数后，重新进行试验或改变设计。

8.5.7 粒料桩处理软黏土地基宜从中间向外围或间隔跳打。

8.5.8 粒料桩应按下列要求进行工程质量检验：

- a) 在成桩 30 d 后，采用重型 (N_{63.5}) 动力触探检测桩身密实度和桩长，抽检频率应为总桩数的 1 %~2 %。要求贯入量 100 mm 时，锤击数不应小于 5 击；
- b) 在成桩 30 d 后进行载荷试验，检验单桩承载力和复合地基承载力，抽检频率应不小于总桩数的 0.1 %，且不应少于 3 处。测定的承载力应达到设计要求；
- c) 其余项目应按表 9 的要求检验。

表9 粒料桩质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距	±150 mm	抽检 2 %且不少于 5 点
2	桩径	不小于设计值	抽检 2 %
3	桩长	不小于设计值	查施工记录
4	粒料灌入率	不小于设计值	查施工记录

8.6 加固土桩

8.6.1 施工前应进行成桩工艺和成桩强度试验。当成桩质量不满足设计要求时，应在调整设计与施工有关参数后，重新进行试验或改变设计。

8.6.2 水泥土搅拌桩的固化剂宜采用水泥或石灰，也可采用多种固化材料的混合物，固化剂掺量应根据试验确定。当选用水泥时，宜选用强度等级为 42.5 级的水泥。在盐渍土地区的加固土桩可用粉煤灰和矿渣微粉等量代替 50 % 的水泥作为固化剂，且矿渣微粉的掺加量不少于 40 %。

8.6.3 水泥土搅拌桩粉喷法施工应符合下列规定：

- a) 施工钻进过程中应保持连续喷射压缩空气，保证喷灰口不被堵塞，钻杆内不进水。钻进速度宜为 0.8 m/min~1.5 m/min；
- b) 提升钻杆、喷粉搅拌时，应使钻头反向边旋转、边喷粉、边提升，提升速度宜为 0.5 m/min~0.8 m/min；当钻头提升至距离地面 0.3 m~0.5 m 时，可停止喷粉；
- c) 应根据设计要求，对桩身从地面开始 1/3~1/2 桩长并不小于 5 m 的范围内或桩身全长进行复搅。复搅速度宜为 0.5 m/min~0.8 m/min；
- d) 应随时记录喷粉压力、瞬时喷粉量和累计喷粉量、钻进速度、提升速度等有关参数的变化。当发现喷粉量不足时，应整桩复打，复打的喷粉量应不小于设计用量。当遇停电、机械故障等原因致使喷粉中断时，必须复打，复打重叠桩段长度应大于 1 m。当粉料储存容器中剩余粉量不足一根桩的用量加 50 kg 时，应在补加后方可开钻施工下一根桩；
- e) 出现沉桩时，应查明原因后进行处理；孔洞深度在 1.5 m 以内的，可用 8 % 的水泥土回填夯实；孔洞深度超过 1.5 m 的，可先将孔洞用素土回填，然后在原位补桩，补桩长度应超过孔洞深度 0.5 m。

8.6.4 水泥土搅拌桩浆喷法施工应符合下列规定：

- a) 浆液应严格按照成桩试验确定的配合比拌制，制备好的浆液不得离析，不得长时间放置，超过 2 h 的浆液应废弃。浆液倒入集料斗时应加筛过滤，避免浆内块状物损坏泵体；
- b) 提升钻杆、喷浆搅拌时，应使钻头反向边旋转、边喷浆、边提升，提升速度宜控制在 0.5 m/min~0.8 m/min。当钻头提升至距离地面 1 m 时，宜用慢速提升；当喷浆口即将出地面时，应停止提升，搅拌数秒，保证桩头搅拌均匀；
- c) 应根据设计要求，对地面以下一定深度范围内的桩身进行复搅。复搅速度宜为 0.5 m/min~0.8 m/min；
- d) 应随时记录喷浆压力、喷浆量、钻进速度、提升速度等有关参数的变化。当发现喷浆量不足时，应整桩复打。当施工中因故停浆时，应使搅拌头下沉至停浆面以下 0.5 m，待恢复供浆后再喷浆提升。当停机超过 3 h 时，应拆卸输浆管路，清洗后方可继续施工，防止浆液硬结堵管；
- e) 桩机移位前，应向集料斗中注入适量清水，开启灰浆泵，清洗全部管路中残存的浆液，直至管体干净，并将搅拌头清洗干净后，方可移位。

8.6.5 水泥土搅拌桩浆喷法施工应符合下列规定：

- a) 旋喷桩的施工工艺及参数应根据土质条件、加固要求，通过试验或根据工程经验确定。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，流量应大于 30 L/min，气流压力宜大于 0.7 MPa，提升速度宜为 0.1 m/min~0.2 m/min；
- b) 旋喷注浆，宜采用强度等级为 42.5 级的普通硅酸盐水泥，可根据需要加入适量的外加剂及掺合料。外加剂和掺合料的用量，应通过试验确定；
- c) 水泥浆液的水灰比宜为 0.8~1.2；
- d) 旋喷桩的施工工序为：机具就位、贯入喷射管、喷射注浆、拔管和冲洗等；
- e) 喷射孔与高压注浆泵的距离不宜大于 50 m。钻孔位置的允许偏差应为±50 mm。垂直度允许偏差应为±1%；
- f) 当喷射注浆管贯入土中，喷嘴达到设计标高时，即可喷射注浆。在喷射注浆参数达到规定值后，随即按旋喷的工艺要求，提升喷射管，由下而上旋转喷射注浆。喷射管分段提升的搭接长度不得小于 100 mm；
- g) 对需要局部扩大加固范围或提高强度的部位，可采用复喷措施；
- h) 旋喷注浆完毕，应迅速拔出喷射管。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程，可在原孔位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施。

8.6.6 加固土桩应按下列要求进行工程质量检验：

- a) 在成桩 28 d 后进行钻探取芯，抽检频率应不小于总桩数的 0.5%，取芯位置宜在桩直径 2/5 处。应将代表性芯样应加工成 $\Phi \times h=50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的圆柱体，进行无侧限抗压强度试验。强度值应达到设计要求；
- b) 在成桩 28 d 或 90 d 后进行载荷试验，检验单桩承载力和复合地基承载力，抽检频率应不小于总桩数的 0.1%，且不应少于 3 处。测定的承载力应达到设计要求；
- c) 可采用轻型动力触探、静力触探以及反射波、瑞利波等物理勘探方法，对桩的均匀性和完整性进行检查；
- d) 其余项目应按表 10 的要求检验。

表10 加固土桩质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距	±100 mm	抽检 2%且不少于 5 点
2	桩径	不小于设计值	抽检 2%且不少于 5 点
3	桩长	不小于设计值	查施工记录并结合钻探取芯检查
4	单桩每延米喷粉（浆）量 ^a	不小于设计值	查施工记录
^a 水泥土搅拌桩的检验项目			

8.7 水泥粉煤灰碎石桩

8.7.1 水泥粉煤灰碎石桩（CFG 桩）的粗集料可采用碎石或砾石，泵送混合料时砾石最大粒径不宜大于 25 mm，碎石最大粒径不宜大于 20 mm。可掺入砂、石屑等细集料改善级配。水泥宜用 42.5 级普通硅酸盐水泥。粉煤灰宜采用 II 级或 III 级粉煤灰，且含 SO₃ 量不宜大于 3%，含氮量不宜大于 0.1%。

8.7.2 CFG 桩宜采用长螺旋钻中心压灌成桩。施工前应进行成桩工艺和成桩强度试验。当成桩质量不满足设计要求时，应在调整设计与施工有关参数后，重新进行试验或改变设计。

8.7.3 CFG 桩施工应符合下列规定：

- a) 混合料应严格按照成桩试验确定的配合比拌制，搅拌均匀，搅拌时间不得少于 1 min；
- b) 桩顶超灌高度不宜小于 0.5 m；

- c) 成桩过程中，每个台班应做不少于一组（3 个）试块（边长 150 mm 的立方体），检验其标准养护 28 d 抗压强度；
 - d) 当设计桩距较小时，宜按隔桩跳打的顺序施工。施打新桩与已打桩间隔的时间不应少于 7 d。
- 8.7.4 CFG 桩应按下列要求进行工程质量检验：
- a) 在成桩 28 d 后，对桩身质量采用低应变法和取芯法检测，采用两种方法抽检的总频率应不少于总桩数的 10 %，其中采用取芯法检测的比例不应少于总桩数的 0.5 %。应根据低应变法的检测结果，按表 11 对桩身质量进行评价。对于Ⅲ类桩，采用取芯法检测桩体强度能够达到设计值的，可以使用。其他Ⅲ类桩及Ⅳ类桩应采取补强、补桩、设计变更等措施处理。

表11 桩身完整性分类表

类别	分类原则
I 类桩	完好桩
II 类桩	桩身有轻微缺陷，但不影响桩身原设计强度的发挥
III 类桩	桩身有明显缺陷，应采用其他方法进一步确认其可用性
IV 类桩	桩身有严重缺陷或断桩

- b) 在成桩 28 d 后进行载荷试验，检验 CFG 桩的单桩承载力及复合地基承载力，抽检频率应不少于总桩数的 0.1 %，且不应少于 3 根桩。测定的承载力应达到设计要求；
- c) 其余项目应按表 12 的要求检验。

表12 CFG 桩质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距	±100 mm	抽检 2 %且不少于 5 点
2	桩径	不小于设计值	抽检 2 %且不少于 5 点
3	桩长	不小于设计值	查施工记录

8.8 管桩

- 8.8.1 预应力混凝土管桩宜采用工厂预制，其质量标准应符合 GB 13476 的规定。
- 8.8.2 施工前应进行成桩工艺试验，预应力混凝土管桩试桩数量不得少于 2 根。
- 8.8.3 预应力混凝土管桩宜采用静力压桩机施工，也可采用锤击沉桩机施工，施工现场应配有起吊设备，其起吊能力宜大于 5 t。现浇混凝土大直径管桩宜采用振动沉管设备施工。
- 8.8.4 预应力混凝土管桩施工应符合下列规定：
- a) 沉桩过程中应严格控制桩身的垂直度。宜采用全站仪进行垂直度控制，可在距桩机 15 m~25 m 处成 90° 方向设置全站仪各一台，测定导杆和桩身的垂直度；
 - b) 每根桩宜一次性连续沉至控制高程，沉桩过程中停歇时间不应过长；
 - c) 焊接接桩时，焊缝应连续饱满，满足三级焊缝的要求；因施工误差等因素造成的上、下桩端头间隙应采用厚薄适当的楔形铁片填实焊牢。接桩时上、下节桩的中心线偏差不得大于 5 mm，节点弯曲矢高不得大于桩段的 0.1 %；
 - d) 沉桩过程中遇到较难穿透的土层时，接桩宜在桩尖穿过该土层后进行。
- 8.8.5 现浇混凝土大直径管桩施工应符合下列规定：
- a) 粗集料宜优先选用卵石。采用碎石时，宜适当增加含砂率。集料最大粒径宜不大于 33 mm。混凝土坍落度宜为 80 mm~100 mm，且在运输和灌注过程中无离析、泌水；
 - b) 桩尖、桩帽混凝土强度等级宜不低于 C30。桩尖表面应平整、密实，桩尖内外面圆度偏差不得大于 1 %，桩尖端头支承面应平整；

- c) 邻近有建筑物或构造物时，应采取有效的隔振措施；
- d) 群桩施工，应合理设计打桩顺序、控制打桩速度，防止影响邻桩成桩质量。

8.8.6 预应力混凝土管桩应按表 13 进行工程质量检验：

表13 预应力混凝土管桩施工质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距	±100 mm	抽检 2 %
2	桩长	不小于设计值	查施工记录并结合钻探取芯检查
3	垂直度	1 %	抽检 2 %
4	单桩承载力	满足设计要求	抽检 0.1 %且不应少于 3 根
5	桩帽高度	+20, - 10	抽检 2 %
6	桩帽长度和宽度	+30, - 20	抽检 2 %
7	桩帽位置	±50	抽检 2 %

8.8.7 现浇混凝土大直径管桩应按表 14 进行工程质量检验。

表14 现浇混凝土大直径管桩施工质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土抗压强度	在合格标准内	每根桩两组，每台班至少两组
2	桩距	±100 mm	抽检 2 %
3	桩径	不小于设计值	抽检 2 %
4	桩长	不小于设计值	查施工记录
5	垂直度	1 %	抽检 2 %
6	单桩承载力	满足设计要求	抽检 0.1 %且不应少于 3 根
7	桩身完整性	无明显缺陷	低应变测试，抽检 10%

8.9 透水混凝土桩

8.9.1 进场的水泥、粗集料、外加剂等材料应根据有关规范进行质量检验，合格后方可使用，且应符合下列规定：

- a) 水泥宜采用强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥，其质量应符合 GB 175 的规定；
- b) 粗集料可选用碎石，含泥量应不大于 1 %；一般选择单一级配的粗集料制备透水混凝土，粗集料粒径宜在 5 mm~10 mm 范围内选取，且最大粒径不宜超过 25 mm；
- c) 根据混凝土性能要求、施工及气候条件等因素必须经试验来确定掺加符合国家现行标准的混合材料或外加剂的品种及掺量；
- d) 混凝土拌和用水应符合 JGJ 63 的规定；
- e) 无纺土工布的强度等级不宜低于 II，挡土性能、透水性、防淤堵性能应符合 JTG/T D32 的规定。

8.9.2 应对透水混凝土渗透系数进行测试，测试方法应符合 DB37/T 5124 的相关规定。

8.9.3 桩位轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的地方；开工前控制点和水准点经复核后应妥善保护，施工中应经常复核控制点和水准点。

- 8.9.4 当周边环境对变形有严格要求时，成桩过程中应减少对周边环境影响的措施。
- 8.9.5 透水混凝土桩的施工宜采用振动沉管法进行施工。
- 8.9.6 成孔设备就位后，必须平整、稳固，确保在成孔过程中不发生倾斜和偏移。应在成孔钻具上设置控制深度和沉管垂直度的标尺，或者用专业测量仪器进行测量，并应在施工中进行观测记录。
- 8.9.7 灌注混凝土前应在孔内布置无纺土工布；在灌注混凝土时应抽样做混凝土试块，并测定其立方体抗压强度和渗透系数。
- 8.9.8 桩在正式施工前应进行设计技术参数工艺试成孔，试成孔数量应不少于 3 个，试成孔时应通知建设、勘察、设计、监理等有关人员参加，核对场地地质情况及机械设备、施工工艺等是否符合设计图纸要求，确认施工工艺。
- 8.9.9 成桩工艺性试验应符合下列规定：
- a) 应根据场地地层分布情况及设计资料确定成桩工艺性试验位置与数量；
 - b) 选择施工机械，初步确定成桩施工工艺参数。
- 8.9.10 透水混凝土桩应按下列要求进行工程质量检验：
- a) 在成桩 28 d 后，对桩身质量采用低应变法和取芯法检测，采用两种方法抽检的总频率应不少于总桩数的 10 %，其中采用取芯法检测的比例不应少于总桩数的 0.5 %。应根据低应变法的检测结果，按表 15 对桩身质量进行评价。对于Ⅲ类桩，采用取芯法检测桩体强度能够达到设计值的，可以使用。其他Ⅲ类桩及Ⅳ类桩应采取补强、补桩、设计变更等措施处理；

表15 桩身完整性分类表

类别	分类原则
I 类桩	完好桩
II 类桩	桩身有轻微缺陷，但不影响桩身原设计强度的发挥
III类桩	桩身有明显缺陷，应采用其他方法进一步确认其可用性
IV类桩	桩身有严重缺陷或断桩

- b) 在成桩 28 d 后进行载荷试验，检验透水混凝土桩的单桩承载力及复合地基承载力，抽检频率应为总桩数的 0.1 %，且不应少于 3 根桩。测定的承载力应达到设计要求；
- c) 其余项目应按表 15 的要求检验。

表16 透水混凝土桩质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距	±100 mm	抽检 2 %
2	桩径	不小于设计值	抽检 2 %
3	桩长	不小于设计值	查施工记录并结合钻探取芯检查
4	渗透系数	不小于设计值	取芯进行渗透性试验，不少于 0.5 %

8.10 隔断层

8.10.1 隔断层材料可采用透水性好的砾（碎）石、复合土工膜。弱盐渍土地段，可选用一布一膜的复合土工膜；中、强、过盐渍土地段，应选用两布一膜或三布两膜的复合土工膜。复合土工膜的性能指标应满足表 17 的要求。

表17 隔断层的复合土工膜性能要求

性能指标	复合土工膜类型		
	一布一膜	两布一膜	三布两膜
布（质量，g/m ² ）/膜（厚度，mm）	布/膜 ≥(250/0.25)	布/膜/布 ≥(150/0.3/150)	布/膜/布/膜/布 ≥(100/0.25/100/0.25/100)
总厚度(mm)	≥1.9	≥2.4	≥3.5
极限抗拉强度(kN/m)	≥14	≥17	≥24
极限伸长率(%)	≥30		
CBR 顶破强度(kN)	≥2.5	≥3.0	≥3.5
撕破强度(kN)	≥0.35	≥0.42	≥0.50
垂直渗透系数(cm/s)	10 ⁻⁹ ~10 ⁻¹²		

8.10.2 复合土工膜隔断层的铺筑应符合下列规定：

- 土工合成材料铺设时，应采取全断面铺设，并铺设平展且紧贴下承层，无褶皱；
- 土工合成材料铺设时，表面平整度与横坡应符合设计要求；
- 土工合成材料铺设完成后，应及时填筑保护层或填料，避免受到阳光长时间的直接暴晒；
- 土工合成材料铺设完成后，严禁行人、牲畜和各种车辆通行，并应及时填筑上层路基，避免阳光暴晒；
- 在土工膜上填筑粗粒土时，应设上保护层。保护层材料宜采用砂料，其粉粒和黏粒含量应小于15%。保护层摊平后先碾压2~3遍，再铺一层粗粒土，与上保护层一起碾压，保护层总厚度不应大于400mm。

8.10.3 砾（碎）石隔断层的铺筑应符合下列规定：

- 砾（碎）石隔断层厚度宜为30cm~40cm，应在上下铺设反过滤层，反滤层宜采用具有渗透功能的土工织物；
- 砾（碎）石隔断层的顶面位置应在路肩边缘以下不小于80cm的位置，同时底面高出路边长期积水或边沟流水面20cm以上，路拱横坡应为2%~5%；
- 砾（碎）石隔断层最大粒径为50mm，粒径小于0.5mm的土含量不大于5%。

8.10.4 复合土工膜隔断层的质量检验应符合下列规定：

- 应检测复合土工膜的抗拉强度，每一批次的检测数量不应少于3组；
- 应检查上、下保护层的施工质量，保护层内不得有尖刺状物质，下保护层应平整。

8.10.5 砾（碎）石隔断层应分层检验压实系数。压实系数可采用灌砂法、灌水法或其他方法进行检验。

8.11 注浆加固

8.11.1 注浆加固施工应符合下列规定：

- 施工场地应预先平整，并沿钻孔位置开挖沟槽和集水坑；
- 注浆施工时，宜采用自动流量和压力记录仪，并应及时进行数据整理分析；
- 注浆孔的孔径宜为70mm~110mm，垂直度允许偏差应为±1%。

8.11.2 花管注浆法施工可按下列步骤进行：

- 钻机与注浆设备就位；
- 钻孔或采用振动法将花管置入土层；
- 当采用钻孔法时，应从钻杆内注入封闭泥浆，然后插入孔径为50mm的金属花管；
- 待封闭泥浆凝固后，移动花管自下而上或自上而下进行注浆。

8.11.3 压密注浆施工可按下列步骤进行：

- a) 钻机与注浆设备就位;
 - b) 钻孔或采用振动法将金属注浆管压入土层;
 - c) 当采用钻孔法时, 应从钻杆内注入封闭泥浆, 然后插入孔径为 50 mm 的金属注浆管;
 - d) 待封闭泥浆凝固后, 捅去注浆管的活络堵头, 提升注浆管自下而上或自上而下进行注浆。
- 8.11.4 浆液宜用普通硅酸盐水泥。注浆时宜部分掺用粉煤灰, 掺入量可为水泥重量的 20%~50%。根据工程需要, 可在浆液拌制时加入速凝剂、减水剂和防析水剂。
- 8.11.5 注浆用水 pH 值不得小于 4。
- 8.11.6 水泥浆的水灰比可取 0.5~2.0。
- 8.11.7 注浆的流量可取 (7~10) L/min, 对充填型注浆, 流量不宜大于 20 L/min。
- 8.11.8 劈裂注浆的注浆压力, 在砂土中, 宜为 0.2 MPa~0.5 MPa; 在黏性土中, 宜为 0.2 MPa~0.3 MPa。
- 8.11.9 压密注浆的注浆压力, 当采用水泥砂浆浆液时, 坍落度宜为 25 mm~75 mm, 注浆压力宜为 1.0 MPa~7.0 MPa。当采用水泥和水玻璃双液快凝浆液时, 注浆压力不应大于 1.0 MPa。
- 8.11.10 浆体应经过搅拌机充分搅拌均匀后, 方可压注, 注浆过程中应不停缓慢搅拌, 搅拌时间应小于浆液初凝时间。浆液在泵送前应经过筛网过滤。
- 8.11.11 应采用跳孔间隔注浆, 且先外围后中间的注浆顺序。当地下水流速较大时, 应从水头高的一端开始注浆。
- 8.11.12 对渗透系数相同的土层, 应先注浆封顶, 后由下而上进行注浆, 防止浆液卜冒。如土层的渗透系数随深度而增大, 则应自下而上注浆。对互层地层, 应先对渗透性或孔隙率大的地层进行注浆。
- 8.11.13 注浆加固质量检验应符合下列规定:
- a) 注浆检验应在注浆结束 28 d 后进行。可选用标准贯入、轻型动力触探、静力触探或面波等方法进行加固地层均匀性检测;
 - b) 按加固土体深度范围每间隔 1 m 取样进行室内试验, 测定土体压缩性、强度或渗透性;
 - c) 注浆检验点不应少于注浆孔数的 2%~5%。检验点合格率小于 80% 时, 应对不合格的注浆区实施重复注浆。

附录 A
(规范性)

简化 Bishop 法地基稳定性验算方法

稳定系数 F_s 按式 (A.1) ~ (A.2) 计算。

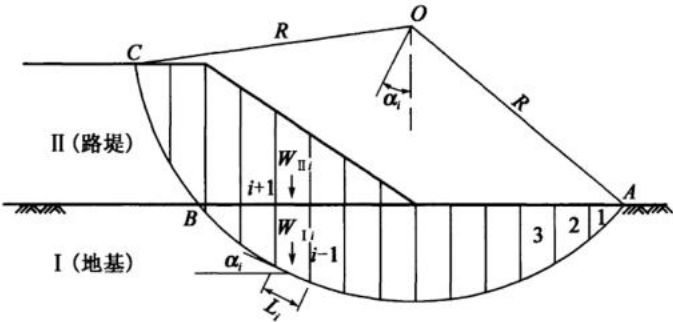
$$F_s = \frac{\sum [c_i b_i + (W_{Ii} + W_{IIi}) \tan \phi_i] / m_{\alpha i}}{\sum (W_{Ii} + W_{IIi}) \sin \alpha_i} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$m_{\alpha i} = \cos \alpha_i + \tan \phi_i \sin \alpha_i / F_s \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- F_s ——路堤稳定系数；
- c_i 、 ϕ_i ——第*i*个土条滑弧所在土层的黏聚力 (kPa) 和内摩擦角 (°) ；
- α_i ——第*i*个土条底滑面的倾角 (°) ；
- b_i ——分条的水平宽度 (m) ，即 $b_i=L_i \cos \alpha_i$ ；
- W_{Ii} ——土条地基部分重力 (kN) ；
- W_{IIi} ——土条路堤部分重力 (kN) 。

图A.1为公式 (A.1) 的计算图示。



图A.1 稳定系数计算图

附录 B
(规范性)
地基沉降计算方法

B.1 采用 $e-p$ 曲线计算时, 主固结沉降 S_c (m) 可按式 (B.1) 计算。

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_{li}}{1 + e_{0i}} \Delta h_i \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

n ——压缩土层内土层分层的数目;

e_{0i} ——地基中各分层在自重应力作用下的稳定孔隙比;

e_{li} ——地基中各分层在自重应力和附加应力共同作用下的稳定孔隙比;

Δh_i ——地基中各分层的初始厚度 (m)。

B.2 采用压缩模量 E_s 计算时, 主固结沉降 S_c 可按式 (B.1) 计算。

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{si}} \Delta h_i \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

E_{si} ——地基中各分层的压缩模量 (kPa);

Δp_i ——地基中各分层中点的附加应力 (kPa)。

B.3 采用 $e-lgp$ 曲线计算时, 主固结沉降 S_c 可分正常固结土、欠固结土和超固结土三种情况分别计算。

a) 正常固结土、欠固结土的主固结沉降 S_c 可按式 (B.3) 计算。

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta h_i}{1 + e_{0i}} C_{ci} \lg \left(\frac{p_{0i} + \Delta p_i}{p_{ci}} \right) \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

p_{0i} ——地基中各分层中点的自重应力 (kPa);

p_{ci} ——地基中各分层中点的先期固结压力 (kPa);

C_{ci} ——土层的压缩指数。

b) 超固结土的主固结沉降 S_c 可按式 (B.4)、式 (B.5) 计算。

1) 当 $\Delta p \geq p_c - p_0$ 时:

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta h_i}{1 + e_{0i}} \left[C_{si} \lg \left(\frac{p_{ci}}{p_{0i}} \right) + C_{ci} \lg \left(\frac{p_{0i} + \Delta p_i}{p_{ci}} \right) \right] \dots\dots\dots (B.4)$$

2) 当 $\Delta p \leq p_c - p_0$ 时:

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta h_i}{1 + e_{0i}} C_{si} \lg \left(\frac{p_{0i} + \Delta p_i}{p_{0i}} \right) \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

C_{si} ——土层的回弹指数。

B.4 软土区域的最终沉降 S_∞ 宜按式 (B.5) 计算。

$$S_{\infty} = m_s S_c \dots\dots\dots (B. 6)$$

$$m_s = 0.123 \gamma^{0.7} (\theta H^{0.2} + V H) + Y \dots\dots\dots (B. 7)$$

式中：
 m_s ——沉降系数，宜根据现场沉降观测资料确定，也可采用以下经验式（B. 7）估算；
 H ——路堤中心高度（m）；
 γ ——路堤填料的重度（kN/m³）；
 θ ——地基处理类型系数，用塑料排水板处理时取0.9~1.1，用水泥搅拌桩处理时取0.8，预压时取0.90；
 V ——加载速率修正系数，加载速率在20 mm/d~70 mm/d之间时，取0.02；采用分期加载，速率小于20 mm/d时取0.00；采用快速加载，速率大于70 mm/d时取0.05；
 Y ——地质因素修正系数，当同时满足不排水抗剪强度小于25 kPa、软土层的厚度大于5 m、硬壳厚度小于2.5 m三个条件时，Y=0，其他情况下可取Y= - 0.1。

B. 5 最终沉降 S_{∞} 也可由瞬时沉降 S_d 、主固结沉降 S_c 及次固结沉降 S_s 三者之和按式（B. 8）计算。

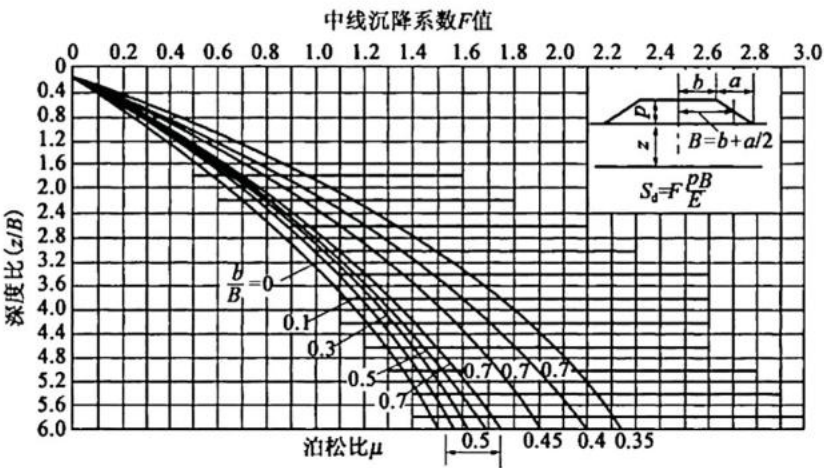
$$S_{\infty} = S_d + S_c + S_s \dots\dots\dots (B. 8)$$

B. 6 瞬时沉降 S_d 可按式（B. 9）和式（B. 10）计算。

$$S_d = F \frac{pB}{E} \dots\dots\dots (B. 9)$$

$$B = b + \frac{a}{2} \dots\dots\dots (B. 10)$$

式中：
 p ——路堤底面中点的最大垂直应力（kPa）；
 E ——由无侧限抗压强度试验得到的弹性模量的平均值（kPa），应按分层厚度加权平均计算；
 F ——路堤中线沉降系数，可由图B. 1查得；当缺少泊松比的实测资料时，可取泊松比 $\mu=0.4\sim0.5$ 。



图B. 1 梯形荷载中线地基沉降系数

B. 7 次固结沉降 S_s 可按式（B. 11）计算。

$$S_s = \sum_{i=1}^n \frac{I_{si}}{1 + e_{0i}} \lg \left(\frac{t_A}{t_{ci}} \right) h_i \dots\dots\dots (B. 11)$$

式中：
 h_i ——各土层的厚度（m）；
 t_{ci} ——主固结完成所需要的时间（d）；
 e_{ci} ——主固结完成时土的孔隙比；
 t_A ——计算次固结变形所要求的总时间（d）；
 I_{si} ——次固结系数，可由土层取样进行室内高压固结试验得到的 e - I_{gt} 曲线确定。

B. 8 工后沉降 S_p 应按式（B. 12）计算。

$$S_p = S_0 - S_{cp} \dots\dots\dots (B. 12)$$

式中：
 S_0 ——路面设计使用年限内地基发生的总沉降（m）；
 S_{cp} ——路基路面施工（预压）期沉降（m），实测得到。

B. 9 在溶陷性盐渍土地基上的公路路基，沉降应满足式（B. 13）要求：

$$S_p + S_{rx} \leq [S] \dots\dots\dots (B. 13)$$

式中：
 S_{rx} ——地基总溶陷量（m），无浸水可能性时取0，若采用地基处理，可按处理后的地基变形量确定；
 $[S]$ ——地基变形允许值（m）。

附录 C
(规范性)
复合地基承载力计算方法

C.1 对散体材料增强体复合地基应按式 (C.1)、(C.2) 计算:

$$f_{\text{spk}} = [1 + m(n-1)] f_{\text{sk}} \dots\dots\dots (\text{C. 1})$$

$$m = \frac{d^2}{d_e^2} \dots\dots\dots (\text{C. 2})$$

式中:
 f_{spk} ——复合地基承载力特征值 (kPa);
 f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值 (kPa), 可按地区经验确定;
 n ——复合地基桩土应力比, 可按地区经验确定;
 m ——桩土面积置换率;
 d ——桩身平均直径 (m);
 d_e ——每根桩分担的处理地基面积的等效圆直径 (m)。

C.2 对有粘结强度增强体复合地基应按式 (C.3) 计算:

$$f_{\text{spk}} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m) f_{\text{sk}} \dots\dots\dots (\text{C. 3})$$

式中:
 λ ——单桩承载力发挥系数, 可按地区经验取值, 初步设计时可取0.8~1.0;
 R_a ——单桩竖向承载力特征值 (kN);
 A_p ——桩的截面积 (m²);
 β ——桩间土承载力发挥系数, 可按地区经验取值, 初步设计时可取0.8~1.0。

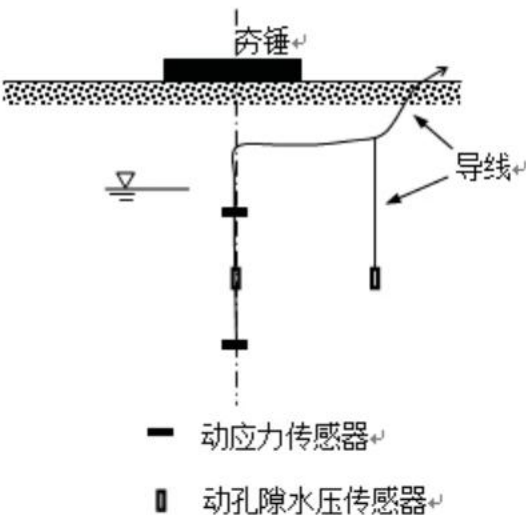
C.3 增强体单桩竖向承载力特征值可按式 (C.4) 估算:

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_{pi} + \alpha_p q_p A_p \dots\dots\dots (\text{C. 4})$$

式中:
 u_p ——桩的周长 (m);
 q_{si} ——桩周第*i*层土的侧阻力特征值 (kPa), 可按地区经验确定;
 l_{pi} ——桩长范围内第*i*层土的厚度 (m);
 α_p ——桩端端阻力发挥系数, 应按地区经验确定, 初步设计时, 水泥土搅拌桩可取0.4~0.5, 其他情况可取1.0;
 q_p ——桩端端阻力特征值 (kPa), 可按地区经验确定; 对于水泥搅拌桩、旋喷桩应取未经修正的桩端地基土承载力特征值。

附录 D
(规范性)
强夯地基动态响应测试方法

D.1 通过地基动态响应来确定强夯参数时，在试夯位置埋入动应力传感器和动孔隙水压力传感器，动应力传感器和动孔隙水压力传感器的埋设位置如图 D.1 所示。



图D.1 传感器布置图

- D.2 试验步骤应符合下列规定：
- a) 某一单击夯击能下对第 1，2，……，n 夯点分别夯击 1，2，……，n 击（工作夯）；夯后搁置一段时间，待地基内由强夯引起的超静孔隙水压力消散后，再对每个夯点夯击一击（测试夯）；测试夯过程中对地基内的动应力和动孔隙水压力进行测试，得到动应力和动孔隙水压力幅值随工作夯夯击数的变化曲线，这些曲线上动参数幅值逐渐稳定时对应的夯击数即为该夯击能下对应的最优夯击数；
 - b) 若加固深度不能满足要求，则改变单击夯击能，重复步骤 1，得到新的最优夯击数；
 - c) 若地基承载力不能满足要求，则进行多遍点夯。每遍均重复步骤 1，得到对应的最优夯击数。

附录 E (规范性)

复合地基稳定性和沉降计算方法

E.1 复合地基稳定性安全系数计算时，复合地基内滑动面上的抗剪强度应采用复合地基抗剪强度 τ_{ps} 。 τ_{ps} 可按式 (F.1) 计算。

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

式中：

- τ_p ——桩体部分的抗剪强度 (kPa)；
- τ_s ——地基土的抗剪强度 (kPa)。

E.2 粒料桩、强夯置换墩复合地基的稳定性安全系数计算中，桩体部分的抗剪强度 τ_p 可按式 (F.2) 计算。

$$\tau_p = \sigma \cos \alpha \tan \phi_c \dots\dots\dots (F.2)$$

式中：

- σ ——滑动面处桩体的竖向应力 (kPa)；
- α ——滑动面切面与水平面夹角 (°)；
- ϕ_c ——粒料桩的内摩擦角 (°)，桩料为碎石时可取 38° ，桩料为砂砾时可取 35° ，桩料为砂时可取 28° 。

E.3 加固土桩复合地基的稳定性安全系数计算中，桩体部分的抗剪强度 τ_p 可钻取试验路段加固土桩龄期为 90 d 的原状试件测无侧限抗压强度 q_u ， τ_p 取 q_u 的 1/2；也可按设计配合比由室内制备的加固土试件 (直径 50 毫米、高度 100 毫米的圆柱体) 测得的 90 d 的无侧限抗压强度 q_u 乘 0.30 的折减系数求得，即 $\tau_p = 0.30 q_u$ 。

E.4 管桩、CFG 桩、透水混凝土桩复合地基的稳定性安全系数计算中，桩体抗剪强度可取桩体混凝土 28 d 无侧限抗压强度的 1/2。

E.5 粒料桩、强夯置换墩处理深度内地基的沉降 S_z 可按式 (F.3)、(F.4) 计算。

$$S_z = \mu_s S \dots\dots\dots (F.3)$$

$$\mu_s = \frac{1}{1 + m(n - 1)} \dots\dots\dots (F.4)$$

式中：

- μ_s ——桩间土应力折减系数；
- n ——桩土应力比，宜用当地或类似试验工程的试验资料确定；无资料时，粒料桩 n 可取 2~5，当桩底土质好、桩间土质差时取高值，否则取低值；强夯置换墩 n 在黏性土地基可取 2~4，粉土和砂土地基可取 1.5~3；
- S ——粒料桩桩长深度内原地基沉降值 (m)。

E.6 加固土桩、CFG 桩、透水混凝土桩复合地基的沉降计算应包括复合地基加固区的沉降 S_I 计算和加固区下卧层的沉降 S_2 计算：

- a) 复合地基加固区的沉降 S_I 可按式 (F.5)、(F.6) 计算；

$$S_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{spi}} \Delta h_i \dots\dots\dots (F. 5)$$

$$E_{spi} = mE_p + (1-m)E_{si} \dots\dots\dots (F. 6)$$

式中：

E_{spi} ——各分层的桩土复合压缩模量（kPa）；

E_p ——桩体压缩模量（kPa）；

E_{si} ——各分层的土体压缩模量（kPa）。

b) 加固区下卧层的沉降 S_2 可按 GB 50007 的有关规定计算。

E.7 加固土桩、CFG 桩、透水混凝土桩复合压缩模量 E_{sp} 可按式（F.7）、（F.8）计算。

$$E_{sp} = mE_p + (1-m)E_s \dots\dots\dots (F. 7)$$

$$E_p = 83.4q_u \dots\dots\dots (F. 8)$$

式中：

E_p ——桩体压缩模量（kPa），应实测，无法实测时可按上式计算确定；

E_s ——土体压缩模量（kPa）。

E.8 管桩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计算最终沉降，可按式（F.9）计算。

$$S = \psi_p \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \frac{\sigma_{j,i} \Delta h_{j,i}}{E_{sj,i}} \dots\dots\dots (F. 9)$$

式中：

S ——桩基最终沉降（m）；

m ——桩端平面以下压缩层内土层分层的数目；

$E_{(sj,i)}$ ——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）；

n_j ——桩端平面下第 j 层土的计算分层数；

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

$\sigma_{(j,i)}$ ——桩端平面下第 j 层第 i 分层的竖向附加应力（kPa），可按 GB 50007—2011 附录 R 计算；

ψ_p ——桩基沉降计算经验系数，应根据当地的工程实测资料统计对比确定。

附录 F

(规范性)

固结度与强度增长计算方法

F.1 地基固结应包括竖向固结与水平向固结两部分，可采用太沙基固结理论计算。

F.2 竖向固结条件下，地基竖向平均固结度 U_v 可按式 (E.1) ~ 式 (E.4) 计算。

$$U_v = \frac{2\alpha U_0 + (1-\alpha)U_1}{1+\alpha} \dots\dots\dots (E.1)$$

$$U_0 = 1 - \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-N} + \frac{1}{9} e^{-9N} + \frac{1}{25} e^{-25N} + L \right) \dots\dots\dots (E.2)$$

$$U_1 = 1 - \frac{32}{\pi^2} \left(e^{-N} - \frac{1}{27} e^{-9N} + \frac{1}{125} e^{-25N} - L \right) \dots\dots\dots (E.3)$$

$$N = \frac{\pi^2}{4} \frac{C_v}{H^2} t \dots\dots\dots (E.4)$$

式中：

α ——排水面处的附加应力与不透水面处的附加应力之比；

C_v ——竖向固结系数 (m^2/s)；

H ——孔隙水的最大渗径 (m)，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；

t ——固结时间 (s)。

F.3 地基中设有砂井或其他形式的竖向排水体时，径向固结度 U_r 可按式 (E.5) ~ 式 (E.7) 计算。

$$U_r = 1 - e^{-\frac{8T_r}{F_n}} \dots\dots\dots (E.5)$$

$$T_r = \frac{C_r}{d_e^2} t \dots\dots\dots (E.6)$$

$$F_n = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \dots\dots\dots (E.7)$$

式中：

C_r ——径向固结系数 (m^2/s)；

n ——井径比，即砂井的有效排水直径 d_e 与砂井的直径 d_w 之比；

d_e ——有效排水直径 (m)，当砂井在平面上布置为正方形布置时， $d_e = 1.128 d$ 当砂井为三角形布置时， $d_e = 1.05 d$ ；

d ——砂井的间距 (m)。

F.4 砂粒料桩的排水体当量直径 d_w 可取 0.7~1 倍粒料桩直径，碎石、砂砾料桩可取 $1/5 \sim 1/3$ 。

F.5 地基中设有砂井或其他形式的竖向排水体时，砂井区地基总的平均固结度可按式 (E.8) 计算。

$$U = 1 - (1 - U_r)(1 - U_v) \dots\dots\dots (E.8)$$

F.6 砂井底面以下地基的固结度应按 U_v 计算， U_v 的排水距离 H' 可按式 (E.9) 和式 (E.10) 计算。

$$H' = \left(1 - \xi \frac{H_1}{H_1 + H_2}\right) (H_1 + H_2) \dots\dots\dots (E. 9)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{\frac{\pi^2 C_v / (2H)^2}{\pi^2 C_v / (2H)^2 + 8C_r / (F_n d_e^2)}} \dots\dots\dots (E. 10)$$

式中：
 H_1 、 H_2 ——砂井深度及砂井以下压缩土层厚度（m）。

- F. 7 地基平均固结度可采用改进的太沙基法或改进的高木俊介法修正。
F. 8 采用改进的太沙基法时，多级等速加载下修正后的地基平均固结度 U'_t 可按式（E. 11）计算。

$$U'_t = \sum_{i=1}^n U_{t\left(t-\frac{t_i+t_{i-1}}{2}\right)} \frac{\Delta p_i}{\sum \Delta p_t} \dots\dots\dots (E. 11)$$

式中：
 t_i 、 $t_{(i-1)}$ ——各级等速加载的起点和终点时间（d），当 t 在某一级等速加载的过程中时，取 $t_i=t$ ；
 Δp_i ——第 i 级等速加载的荷载增量，当 t 在某一级等速加载的过程中时，用该点的荷载增量（kPa）；
 $\sum \Delta p_i$ —— t 时 n 级荷载的累加（kPa）。

- F. 9 采用改进的高木俊介法时，多级等速加载下修正后的地基平均固结度可 U'_t 按式（E. 12）计算。

$$U'_t = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\sum \Delta p_t} \left[(t_i - t_{i-1}) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta t} (e^{\beta t_i} - e^{\beta t_{i-1}}) \right] \dots\dots\dots (E. 12)$$

式中：
 q_i ——第 i 级荷载平均加载速率（kPa/d）；
 α 、 β ——参数，可按表E. 1取值。

表F.1 α 、 β 值

	竖向排水固结	径向排水固结	竖向和径向排水固结 (砂井贯穿土层)	砂井未贯穿土层固结
α	$\frac{8}{\pi^2}$	1	$\frac{8}{\pi^2}$	$\frac{8}{\pi^2} Q$
β	$\frac{\pi^2 C_v}{4H^2}$	$\frac{8C_r}{F_n d_e^2}$	$\frac{\pi^2 C_v}{4H^2} + \frac{8C_r}{F_n d_e^2}$	$\frac{8C_r}{F_n d_e^2}$
注： $Q = H_1 / (H_1 + H_2)$				

- F. 10 考虑井阻和涂抹作用的砂井，径向固结度宜乘以 0.80~0.95 的折减系数。
F. 11 计算预压荷载下饱和黏性地基中某点的抗剪强度 τ_{ft} 时，应考虑土体天然的固结状态。对正常固结饱和黏性土地基，抗剪强度可按式（E. 13）计算。

$$\tau_{ft} = \tau_{f0} + \Delta \sigma_z U_i \tan \phi_{cu} \dots\dots\dots (E. 13)$$

式中：
 τ_{f0} ——地基土的天然抗剪强度（kPa）；
 $\Delta \sigma_z$ ——预压荷载引起的该点的竖向附加应力（kPa）；

- U_i ——该点土的固结度（%）；
 ϕ_{cu} ——三轴固结不排水剪切试验求得的土的内摩擦角（°）。
-