

ICS

R

团体标准

T/CHTS XXXXX-2024

喷扩压灌流态固化土桩地基处理 技术指南

Technical guidelines for pressure-grouting pile of fluid
solidified soil foundation treatment

XXXX-XX-XX 发布 XXXX-XX-XX 实施

中国公路学会 发布

作为国家标准委、中国科学技术协会团体标准双试点单位，中国公路学会积极贯彻国务院《深化标准化工作改革方案》（国发〔2015〕13号）的要求，立足交通运输行业公路交通领域，于2015年6月份正式启动团体标准工作。同时，中国公路学会标准工作得到了交通运输部的大力支持，并正式写入交通运输部《交通运输标准化“十三五”发展规划》。

中国公路学会严格按照学会标准管理办法及团体标准良好行为指南要求对标准化工作进行管理，遵循开放、公平、透明、协商一致的原则，突出团体标准贴近实际、注重实用的特点，充分发挥密切跟踪行业科技创新进程、及时了解市场技术发展需求的优势，为交通运输行业公路交通领域提供优质的标准，促进行业技术进步，并打造中国公路学会标准品牌。

获取更多学会标准资讯请关注“中国公路学会标准”微信公众号(微信号: CHTS-standard)。

本标准版权为中国公路学会所有。除用于国家法律法规规定用途，或事先得到中国公路学会文字上的许可，不得以任何形式擅自复制、改编、汇编、翻译、发行或传播本标准。

中国公路学会地址：北京市朝阳区安华路17号

电话：010-64288712

网址：<http://www.chts.cn/>

电子信箱：CHTS-S@qq.com

中国公路学会标准

喷扩压灌流态固化土桩地基处理技术指南

Technical guidelines for pressure-grouting pile of fluid solidified
soil foundation treatment

T/CHTS XXXXX-2024

主编单位：山东高速建设管理集团有限公司

山东大学

发布单位：中国公路学会

实施日期：xxxx年xx月xx日

XXXXXX (出版单位)

中国公路学会文件

XXXX (文号)

中国公路学会关于发布《喷扩压灌流态固化土桩地基处理技术指南》的公告

现发布中国公路学会标准《喷扩压灌流态固化土桩地基处理技术指南》(T/CHTS XXXXX—2024), 自XXXX年XX月XX日起实施。

《喷扩压灌流态固化土桩地基处理技术指南》(T/CHTS XXXXX—2024)的版权和解释权归中国公路学会所有。

中国公路学会

XXXX年XX月XX日

前 言

在广泛调查研究，结合工程实践和专项研究，认真总结经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本指南。

本指南按照 T/CHTS 10001《中国公路学会标准编写规则》编写，共分为 7 章、9 个附录。主要内容包括：总则、术语及符号、基本规定、材料、设计、施工、质量控制与验收等。

本指南由中国公路学会提出并归口。

受中国公路学会委托，由山东高速建设管理集团有限公司负责具体解释工作。指南实施过程中，请将发现的问题与建议，反馈至山东高速建设管理集团有限公司(地址：山东省济南市历下区龙鼎大道中央广场 A1 写字楼 5-9 层，联系电话：0531-88399761；电子邮箱：zjuzqq@163.com)，共修订时参考。

主编单位：山东高速建设管理集团有限公司

参编单位：山东大学

山东高速济德公路有限公司

山东倍特力地基信息技术有限公司

山东大学（齐河）新材料与智能装备研究院

主要起草人：张乾青、王术剑、褚 锋、李金良、刘景航、马 亚、全迪、崔伟、吴传山、李 岩、乔胜石、李振宝、张荣华、李 骏、杨文祥

主要审查人：×××、×××、×××

目 次

1	总则	1
2	术语及符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
4	材料	7
4.1	土料	7
4.2	固化剂	7
4.3	水	7
5	设计	8
5.1	一般规定	8
5.2	流态固化土配合比设计	9
5.3	喷扩压灌流态固化土桩设计	9
5.4	喷扩压灌流态固化土桩复合地基路堤的整体稳定性验算	11
5.5	喷扩压灌流态固化土桩复合地基路堤的沉降计算	11
5.6	喷扩压灌流态固化土桩复合地基承载力设计	13
6	施工	16
6.1	一般规定	16
6.2	施工机械	16
6.3	施工作业	17
6.4	施工安全和环境保护	20
7	质量控制与验收	21
7.1	一般规定	21
7.2	施工前检验	21
7.3	施工中检验	21
7.4	施工后检验	21
	附录	错误! 未定义书签。

附录 A 流态固化土试块无侧限抗压强度和水稳系数试验方法.....	23
附录 B 桩的侧阻力特征值.....	25
附录 C 扩径体的端阻力特征值、桩的端阻力特征值.....	26
附录 D 施工记录表.....	27
附录 E 常用机械设备主要技术参数.....	28
附录 F 水泥浆、水泥用量估算表.....	29
附录 G 施工前质量检验标准.....	31
附录 H 施工中质量检验标准.....	32
附录 I 施工后质量检验标准.....	33
用词说明.....	错误! 未定义书签。
参考文献.....	错误! 未定义书签。
条文说明.....	错误! 未定义书签。 4

中国公路学会标准征求意见稿

喷扩压灌流态固化土桩地基处理技术指南

1 总则

1.0.1 为规范和指导喷扩压灌流态固化土桩加固公路地基的设计、施工、质量控制、检验等技术要求，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、节约资源、保护环境，制定本技术指南。

1.0.2 本技术指南适用于各等级新建、改(扩)建公路等工程中喷扩压灌流态固化土桩复合地基的设计、施工和质量检验。

1.0.3 喷扩压灌流态固化土桩地基处理应根据岩土工程勘察资料、材料情况与施工条件等因素精心设计，做到因地制宜、就地取材、固废利用、经济合理。

1.0.4 喷扩压灌流态固化土桩地基处理的设计、施工和检验除应执行本技术指南外，尚应符合有关法律、法规及国家、行业现行的有关标准、规范的规定。

2 术语及符号

2.1 术语

2.1.1 喷扩压灌流态固化土桩 pressure cast-situ-fluid solidified soil pile

以流态固化土为桩身材料，采用喷扩挤振压灌法施工，形成由桩身、肋板和扩径体组成的变截面桩。

2.1.2 喷扩压灌流态固化土桩复合地基 composite foundation with pressure cast-situ-fluid solidified soil pile

以喷扩压灌流态固化土桩作为竖向增强体与地基土共同承担荷载的人工地基。

2.1.3 喷扩挤振压灌法 spray-expansion extrusion vibration and pressure method

由多功能螺旋钻机成孔、高压旋喷水泥浆扩径、定喷水泥浆形成肋板、挤振压灌流态固化土形成喷扩压灌流态固化土桩的施工方法。

2.1.4 流态固化土 fluid solidified soil

在土料中加入一定比例的固化剂和水经强力拌和均匀，形成具有一定流动性、水稳定性和抗压性能较好的流态混合材料。

2.1.5 固化剂 stabilizer

以水泥、粉煤灰、矿渣粉等为主要原料，并添加一定比例的活性激发剂和改善土颗粒表面性质制剂的复合胶凝材料。

2.1.6 固化剂掺入比 mixing ratio of stabilizer

固化剂质量与干土质量之比，以百分数表示。

2.1.7 多功能螺旋钻机 multi-function auger drill

集螺旋成孔、高压喷射、扩径、挤振、压灌等多种功能于一体的钻机。

2.1.8 双锥台扩径体 expanded body with double frustums

采用喷扩挤振压灌法在桩身预设范围内形成带有上锥台、下锥台的流态固化土与水泥土复合的扩径柱状体，简称扩径体。

2.1.9 锥台角度 frustum angle

桩身扩径体锥台母线与竖向直线间的夹角。

2.1.10 肋板 ribbed plate

采用喷扩挤振压灌法形成的与桩身一体的流态固化土与水泥土复合的竖向板状体。

2.1.11 扩径体水泥土过渡层 cement soil transition layer of expanded body

采用喷扩挤振压灌法施工，在扩径体固化土外围与土层挤密区之间形成的水泥土层。

2.2 符号

2.2.1 几何参数

α —扩径体锥台角度;

a —扩径体扩出尺寸;

a_1 —肋板宽度;

a_2 —肋板厚度;

d_1 —扩径体上部桩身直径;

d_2 —扩径体下部桩身直径;

D —扩径体直径;

L —桩身长度;

l_1 —扩径体上部桩身长度;

l_2 —扩径体下部桩身长度;

l_3 —肋板顶至桩顶的长度;

l_4 —肋板长度;

h —扩径体长度;

h_1 —扩径体直段长度;

h_2 —上锥台高度;

h_3 —下锥台高度;

b —扩径体水泥土过渡层厚度。

2.2.2 计算参数

τ_{ps} —复合地基抗剪强度;

τ_p —桩体部分的抗剪强度;

q_u —圆柱形流态固化土试块标准养护条件下 90 d 龄期的无侧限抗压强度;

m_1 —按扩径体上部桩身直径 d_1 确定的面积置换率;

m_2 —按扩径体下部桩身直径 d_2 确定的面积置换率;

E_{si} —加固区第 i 土层的压缩模量;

E_p —喷扩压灌流态固化土桩的压缩模量;

β —桩间土承载力折减系数;

u_1 —扩径体上部桩身截面周长;

u_2 —扩径体下部桩身截面周长;

l_{1i} —扩径体上部第 i 层桩周土厚度;

l_{2j} —扩径体下部第 j 层桩周土厚度;

q_{si} —扩径体上部第 i 层土的侧阻力特征值;

q_{sj} —扩径体下部第 j 层土的侧阻力特征值;

q_p —扩径体处端部地基土未经修正的承载力特征值;

q_b —桩端地基土未经修正的承载力特征值;

β_{si} —桩侧阻力增强系数;

β_p —扩径体端阻力增强系数;

β_b —桩端天然地基土的承载力折减系数;

f_{cu} —流态固化土立方体试块在标准养护条件下 90 d 龄期的无侧限抗压强度平均值;

A_{p1} —桩身横截面积, 桩型 I 取桩身横截面积, 桩型 II 取扩径体上部桩身横截面积;

A_{p2} —桩身横截面积, 桩型 II 取扩径体下部桩身横截面积;

η —桩身强度折减系数;

d_e —等效加固直径。

3 基本规定

3.0.1 喷扩压灌流态固化土桩适用于加固淤泥、淤泥质土、填土、黏性土、粉土、砂土等地基，主要用于控制公路地基沉降和提高路堤整体抗剪稳定性。

条文说明：喷扩压灌流态固化土桩由钻杆下放至提钻成桩实现了单机自动一体化施工，成孔速度快，高压旋喷扩径体后顺次、瞬时挤振压灌混凝土，对桩端、侧土产生预压，桩体和双锥台扩径腔体不会产生塌孔现象，桩侧无泥皮、底部无沉渣，因此该桩型可适用于加固淤泥和淤泥质土等软弱土层。

3.0.2 采用喷扩压灌流态固化土桩的工程勘察资料应符合国家现行标准《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）的有关规定。

3.0.3 土料可采用现场开挖土、钻孔渣土或取土场土体。

3.0.4 采用喷扩压灌流态固化土桩地基处理技术前，应针对土料的性质，选择合适的固化剂，并应根据土料的物理力学特性动态调整固化剂种类和掺入量。

3.0.5 流态固化土应搅拌均匀，坍落度应满足施工泵送要求。

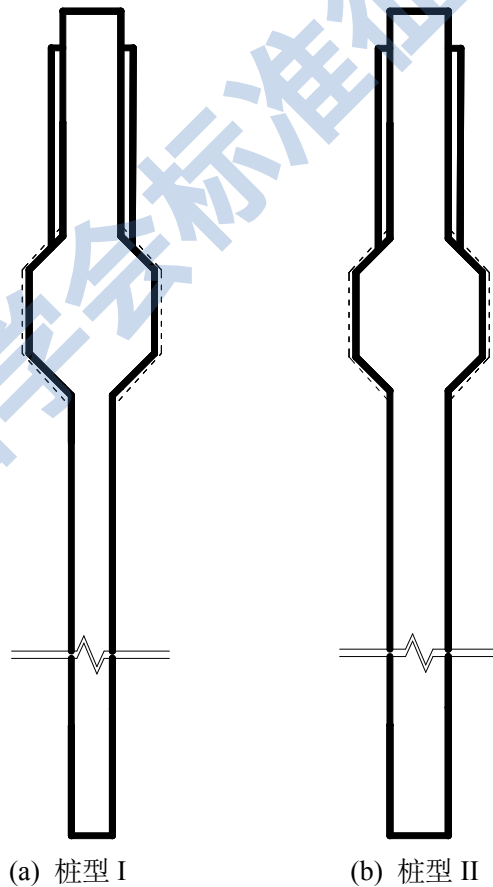


图 3.0.8 喷扩压灌流态固化土桩构造示意图

3.0.6 流态固化土标准养护条件下 90 d 立方体试块无侧限抗压强度可取 3~10 MPa，根

据固化剂掺入量、土料性质和桩身设计强度要求选用。

条文说明：喷扩压灌流态固化土桩施工前需进行配合比设计，根据土料性质选用合理的固化剂种类及掺入量，流态固化土立方体试块的强度可达到 3~10 MPa，在地基加固工程中可取代水泥搅拌桩和管桩，具有单桩承载力高、沉降变形小、质量可靠、经济合理等优势。

3.0.7 喷扩压灌流态固化土桩应采用多功能螺旋钻机施工，通过喷扩挤振压灌法施工成桩。

条文说明：多功能螺旋钻机可实现喷扩挤振压灌技术，是喷扩压灌流态固化土桩施工的专用钻机，对于保障施工质量不可或缺。单机成孔、护壁、灌注流态固化土、旋喷扩径体、定喷肋板、挤振压灌流态固化土，工序流畅、衔接紧凑、工艺简便、功效高、质量可靠。

3.0.8 根据设计使用目的和地层条件可选用图 3.0.8 中的桩型 I 或桩型 II。

中国公路学会标准征求意见稿

4 材料

4.1 土料

4.1.1 土料中不得含有有毒有害物质，有机质含量不得超过 5%，所含颗粒最大粒径不宜大于 5 cm，泥炭土、盐渍土、腐殖质土、污染土等特殊土不得使用。

4.1.2 土料应进行有机质含量、颗粒分析、含水率、液限、塑限等试验，试验方法应符合《公路土工试验规程》（JTG 3430）的要求。

4.2 固化剂

4.2.1 固化剂应根据工程要求、施工工艺、土料性质、经济环保等条件选用，并应符合《土壤固化剂应用技术标准》（CJJ/T 286）的规定。

4.2.2 固化剂原材料应经检测合格后方可使用，试验方法应符合《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG 3441）的要求。

条文说明：固化剂可选用市场现有固化剂或通过多种原材料选配获得，需进行配合比试验满足流态固化土的工程要求。

4.3 水

4.3.1 流态固化土拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 土料应优先采用现场钻孔渣土，施工时所用土料应与试配土料一致，流态固化土制备过程中土料性质、指标等变化较大时，应及时调整配合比或固化剂种类。

条文说明：由于所加固地基路段过长，土体质量变化幅度过大，需根据施工场地土层性质灵活调整固化剂种类和配合比，并进行配合比试验确定。

5.1.2 流态固化土的立方体抗压强度、水稳性、坍落度等应满足设计和施工要求；根据土料性质、流态固化土强度和坍落度要求确定固化剂掺入量；流态固化土坍落度宜为 200~220 mm。

5.1.3 流态固化土的抗压强度应取标准养护条件下 90 d 龄期立方体试块的抗压强度平均值。

条文说明：流态固化土的强度随龄期的增长而增长，在龄期超过 28 d 后强度仍有明显增长，故选取 90 d 龄期为标准龄期。参考水泥土的抗压强度试验可得，当其他条件相同时，不同龄期的流态固化土抗压强度间关系大致如下：

$$f_{cu7} = (0.47 \sim 0.63) f_{cu28}$$

$$f_{cu14} = (0.62 \sim 0.80) f_{cu28}$$

$$f_{cu60} = (1.15 \sim 1.46) f_{cu28}$$

$$f_{cu90} = (2.37 \sim 3.73) f_{cu7}$$

$$f_{cu60} = (1.73 \sim 2.82) f_{cu14}$$

5.1.4 喷扩压灌流态固化土桩的桩径、桩长应满足地基稳定性和变形的要求，桩径不宜小于 400 mm，桩端持力层宜选用强度较高的土层；当采用桩型 II 时，下部桩径 d_2 不应小于 300 mm，桩长不宜大于 25 m；当喷扩压灌流态固化土桩用于提高地基稳定性时，其桩底端面应超过危险滑弧以下不少于 2 m。

5.1.5 当喷扩压灌流态固化土桩用于提高地基稳定性时可超出路基范围布桩，当用于控制地基沉降时应布置在路堤投影范围内；喷扩压灌流态固化土桩的平面布置可采用梅花形、正方形或矩形布置方式。

5.1.6 喷扩压灌流态固化土桩复合地基桩间距不宜大于扩径体上部桩身直径 d_1 的 4 倍。

5.1.7 喷扩压灌流态固化土桩应根据设计要求、地层条件、施工环境及设备施工能力等因素，并结合现场试验确定桩长和桩径。

5.1.8 喷扩压灌流态固化土桩顶部应设置垫层。垫层厚度宜为 300~500 mm，材料可选

注： α —扩径体锥台角度； a —扩径体扩出尺寸； a_1 —肋板宽度； a_2 —肋板厚度； d_1 —扩径体上部桩身直径； d_2 —扩径体下部桩身直径； D —扩径体直径； L —桩身长度； l_1 —扩径体上部桩身长度； l_2 —扩径体下部桩身长度； l_3 —肋板顶至桩顶的长度； l_4 —肋板长度； h —扩径体长度； h_1 —扩径体直段长度； h_2 —上锥台高度； h_3 —下锥台高度； b —扩径体水泥土过渡层厚度。

表 5.3.1 喷扩压灌流态固化土桩构造尺寸表

构造名称	肋板宽度 a_1	肋板厚度 a_2	水泥土过渡层厚度 b	扩径体长度 h	肋板顶至桩顶的距离 l_3	锥台角度 α
构造尺寸	100 mm	30 mm	50 mm	1.0 m	≥ 1.0 m	45°

5.3.2 喷扩压灌流态固化土桩肋板尺寸宜按 30 mm×100 mm 选用，肋板宜沿桩周对称设置 3 个。

条文说明：喷扩压灌流态固化土桩由双锥台扩径体、肋板和桩身组成。肋板不但增加了桩侧面积，且提高了桩-土界面的摩擦力；高压旋喷水泥浆制作扩径腔体时，对周围土体具有挤密渗透加固效应，同时增大了端阻面积。因此，喷扩压灌流态固化土桩具有单桩承载力高、变形小等优点。为充分发挥扩径体端阻力的作用，扩径体一般设置在桩身上部。考虑高压喷射水泥浆施工安全，肋板距桩顶宜不小于 1 m。根据桩的受力特点，为提高材料利用率、节省工程造价，可采用桩型 II。

5.3.3 喷扩压灌流态固化土桩桩身直径宜选用 400 mm、500 mm、600 mm、700 mm、800 mm。当采用桩型 II 时，上下桩身直径之差不应大于 300 mm，且下部桩身直径宜选用 300 mm、400 mm、500 mm。扩径体扩出尺寸应符合表 5.3.3 的规定。

表 5.3.3 扩径体扩出尺寸

土的名称		扩径体扩出尺寸 a (mm)
黏性土	$0.5 < I_L \leq 0.75$	100、150、200、250
	$0.25 < I_L \leq 0.5$	100、150、200、250
	$0 < I_L \leq 0.25$	100、150、200
粉土	$0.75 < e \leq 0.9$	100、150、200、250、300
	$e < 0.75$	100、150、200、250
砂土	$5 < N \leq 10$	150、200、250、300
	$10 < N \leq 20$	100、150、200、250、300
	$20 < N \leq 30$	100、150、200、250、300

	$N > 30$	100、150、200
砾砂	$20 < N_{63.5} \leq 30$	100、150、200
	$N_{63.5} > 30$	100、150

注：1 I_L 为液性指数； e 为孔隙比； N 为标准贯入击数； $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数；

2 淤泥、淤泥质土扩出尺寸可取 300 mm。

5.4 喷扩压灌流态固化土桩复合地基路堤的整体稳定性验算

5.4.1 当喷扩压灌流态固化土桩复合地基用于路堤整体抗剪稳定性时宜采用桩型 I；当采用桩型 II 时，扩径体上部桩身应超过危险滑弧以下不少于 2 m。

5.4.2 喷扩压灌流态固化土桩复合地基路堤的整体抗剪稳定性验算依据《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》（JTG/T D31-02）。

5.4.3 喷扩压灌流态固化土桩复合地基路堤的整体抗剪稳定性验算中复合地基内滑动面上抗剪强度应采用复合地基抗剪强度 τ_{ps} ，可按式(5.4.3)计算。

$$\tau_{ps} = m_1 \tau_p + (1 - m_1) \tau_s \quad (5.4.3)$$

式中： τ_p —桩体部分的抗剪强度，可钻取试验路段喷扩压灌流态固化土桩龄期为 90 d 的原状试块测无侧限抗压强度 q_u ， τ_p 取 q_u 的 1/2；也可按设计配合比由室内制备的流态固化土试块（直径 50 mm、高度 100 mm 的圆柱体）90d 龄期的无侧限抗压强度 q_u 乘以 0.30 的折减系数求得，即 $\tau_p = 0.3q_u$ ；用于初步设计时，还可采用 96 h 高温养生圆柱体流态固化土试块的无侧限抗压强度代替 90 d 龄期圆柱体试块的无侧限抗压强度；

m_1 —按扩径体上部桩身直径 d_1 确定的面积置换率，即 $m_1 = d_1^2 / d_e^2$ ，其中 d_e 为等效加固直径，对于正方形（桩间距为 S ）、梅花形（桩间距为 S ）和矩形（横向桩间距为 S_1 ，纵向桩间距为 S_2 ）布置的桩， d_e 分别取 $1.128S$ 、 $1.05S$ 和 $1.128\sqrt{S_1 S_2}$ 。

5.5 喷扩压灌流态固化土桩复合地基路堤的沉降计算

5.5.1 当被加固的上下土层压缩模量差别较小时宜采用桩型 I，当上部土层压缩模量较低且与下部土层差异较大时宜采用桩型 II。

5.5.2 地基变形计算深度应计算至附加应力与有效自重应力之比不大于 0.15 处，且不小于复合土层的深度。

条文说明：喷扩压灌流态固化土桩的压缩模量取值参照《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》（JTG/T D31-02）中采用加固土桩值。本桩型桩体质量稳定且强度较高，参照加固土桩取值是偏保守的。

5.5.3 当采用桩型 I 时, 加固区第 i 土层处的复合压缩模量 E_{psi} 可按式(5.5.2-1)计算; 当采用桩型 II 时, 加固区第 i 土层处的复合压缩模量 E_{psi} 可按式(5.5.2-1)和(5.5.2-2)计算:

$$E_{psi} = m_1 E_p + (1 - m_1) E_{si} \quad (5.5.2-1)$$

$$E_{psi} = m_2 E_p + (1 - m_2) E_{si} \quad (5.5.2-2)$$

式中, E_{si} —加固区第 i 土层的压缩模量(kPa), 计算时应以变截面做分层;

E_p —喷扩压灌流态固化土桩的压缩模量(kPa), 应取实测值, 无法实测时取值为 $E_p = 83.4 q_u$;

m_2 —按扩径体下部桩身直径 d_2 确定的面积置换率。

5.5.4 加固区复合土层和下卧层均应按分层总和法进行沉降计算。

5.5.5 复合地基最终沉降变形量可按式(5.5.5)计算:

$$s = s_1 + s_2 = \psi_s \left[\sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{spi}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) + \sum_{j=1}^{m_0} \frac{p_0}{E_{sj}} (z_j \alpha_j - z_{j-1} \alpha_{j-1}) \right] \quad (5.5.5)$$

式中, s —复合地基最终沉降变形量(mm);

s_1 —复合地基加固区土层压缩变形量(mm);

s_2 —复合地基加固区以下土层压缩变形量(mm);

n —加固区土层分层数;

m_0 —加固区以下土层分层数

p_0 —作用于桩顶面的应力(kPa);

$\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ —桩顶面计算点至加固区第 i 土层、第 $i-1$ 土层产生的平均附加应力系数;

α_j 、 α_{j-1} —桩顶面计算点至加固区以下第 j 土层、第 $j-1$ 土层产生的平均附加应力系数;

E_{sj} —加固区以下第 j 土层的压缩模量(kPa);

z_i 、 z_{i-1} —桩顶面至加固区第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面的距离(m);

z_j 、 z_{j-1} —桩顶面至加固区以下第 j 层土、第 $j-1$ 层土底面的距离(m);

ψ_s —复合地基沉降计算经验系数, 按地区沉降观测资料统计值确定, 无经验取值时, 采用表 5.5.5-1 的数值。

表 5.5.5-1 沉降计算经验系数 ψ_s

\bar{E}_s (MPa)	≤ 4.0	7.0	15.0	20.0	≥ 35
ψ_s	1.0	0.7	0.4	0.25	0.2

注: \bar{E}_s 为变形计算深度范围内压缩模量的当量值。

5.5.6 变形计算深度范围内压缩模量的当量值 \bar{E}_s ，应按式(5.5.6)计算：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^{m_0} A_j}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{E_{psi}} + \sum_{j=1}^{m_0} \frac{A_j}{E_{sj}}} \quad (5.5.6)$$

式中， A_i —加固区第 i 土层附加应力系数沿土层厚度的积分值；

A_j —加固区以下第 j 土层附加应力系数沿土层厚度的积分值。

5.6 喷扩压灌流态固化土桩复合地基承载力设计

5.6.1 构筑物下的喷扩压灌流态固化土桩，应按照竖向承载桩设计。复合地基的承载力特征值 f_{spk} 应通过现场单桩复合地基或多桩复合地基载荷试验确定，初步设计时可按式(5.6.1)估算：

$$f_{spk} = m_1 \frac{R_a}{A_{p1}} + \beta(1 - m_1) f_{sk} \quad (5.6.1)$$

式中， R_a —单桩承载力特征值(kN)；

A_{p1} —扩径体上部桩身横截面积(m²)；

β —桩间土承载力折减系数，可按地区经验确定，无地区经验时可取 0.8~1.0；

f_{sk} —处理后桩间土承载力特征值(kPa)，可按地区经验确定，无地区经验时取天然地基承载力特征值。

5.6.2 喷扩压灌流态固化土桩单桩竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向静载试验确定，检测方式应符合本指南 7.4.3 的规定。

条文说明：桩身强度折减系数 η 与施工质量、施工队伍水平、室内强度试验与实际加固强度比值等相关的参数。不同于传统水泥搅拌桩等隐蔽工程，喷扩压灌流态固化土桩施工过程中将土料、固化剂和水充分搅拌均匀，确保流态固化土质量可靠。经现场与室内强度试验结果对比研究发现，现场实际施工和室内试验结果差异较小，桩身强度折减系数 η 可取为 0.4。

5.6.3 初步设计时，喷扩压灌流态固化土桩的单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 可根据土体物理指标与承载力参数之间的经验关系，按式(5.6.3-1)进行估算。采用桩型 I 时应同时满足式(5.6.3-2)的要求，采用桩型 II 时应同时满足式(5.6.3-2)和(5.6.3-3)的要求。

$$R_a = u_1 \sum_{i=1}^{n_1} q_{si} l_i \beta_{si} + \beta_p q_p \frac{\pi}{4} (D^2 - d_2^2) + u_2 \sum_{j=1}^{n_2} q_{sj} l_{2j} + \beta_b \frac{\pi}{4} d_2^2 q_b \quad (5.6.3-1)$$

$$R_a \leq \eta f_{cu} A_{p1} \quad (5.6.3-2)$$

$$R_a - u_1 \sum_{i=1}^{n_1} q_{si} l_{1i} \beta_{si} - \beta_p q_p \frac{\pi}{4} (D^2 - d_2^2) \leq \eta f_{cu} A_{p2} \quad (5.6.3-3)$$

式中, u_1 —扩径体上部桩身截面周长(m);

u_2 —扩径体下部桩身截面周长(m);

l_{1i} —扩径体上部第 i 层桩周土厚度(m);

l_{2j} —扩径体下部第 j 层桩周土厚度(m);

q_{si} —扩径体上部第 i 层土侧阻力特征值(kPa), 宜根据试验资料和本地工程经验确定, 当缺乏试验资料时, 可按本标准附录 B 取值;

q_{sj} —扩径体下部第 j 层土侧阻力特征值(kPa), 宜根据试验资料和本地工程经验确定, 当缺乏试验资料时, 可按本标准附录 B 取值;

q_p —扩径体端部处未经修正的地基土承载力特征值(kPa), 按现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007) 的有关规定确定, 可按本标准附录 C 取值;

q_b —桩端地基土未经修正的承载力特征值(kPa), 按现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007) 的有关规定确定, 可按本标准附录 C 取值;

β_{si} —桩侧阻力增强系数, 按表 5.6.3 取值;

β_p —扩径体端阻力增强系数, 按表 5.6.3 取值;

β_b —桩端天然地基土承载力折减系数, 可取 0.4~0.6, 承载力高时取低值;

A_{p1} —桩身横截面积(m²), 桩型 I 取桩身横截面积, 桩型 II 取扩径体上部桩身横截面积;

A_{p2} —桩身横截面积(m²), 桩型 II 取扩径体下部桩身横截面积;

f_{cu} —设计流态固化土配合比试块 (边长 70.7mm 的立方体) 在标准养护条件下 90d 龄期的无侧限抗压强度平均值(kPa);

η —桩身强度折减系数, 可取 0.4。

表 5.6.3 喷扩压灌流态固化土桩侧阻力增强系数 β_{si} 、扩径体端阻力增强系数 β_p

土层名称 系数	淤泥、 淤泥质土	黏性土、 粉土	粉砂、 细砂	中砂	粗砂、 砾砂	砾石、 卵石
β_{si}	1.2~1.4	1.3~1.5	1.5~1.9	1.6~2.0	1.8~2.1	1.8~2.1
β_p	—	1.5~1.7	1.7~2.0			

注：1 β_{si} 适用于扩径体上部直径为 400~800 mm 的桩，小直径取大值，大直径取小值，中间值可采用内插法取值。

2 当扩径体距离桩顶小于 5 m 时 β_p 取大值，当扩径体距离桩顶大于 10 m 时 β_p 取小值，中间值可采用内插法取值。

中国公路学会标准征求意见稿

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 喷扩压灌流态固化土桩施工前应具备下列资料:

- 1 岩土工程勘察报告;
- 2 复合地基工程施工图及图纸会审纪要;
- 3 施工场地的地下管线、地下构筑物等调查资料;
- 4 复合地基工程的施工方案、安全技术交底资料;
- 5 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料;
- 6 水泥、固化剂等原材料质量及流态固化土配合比试验报告等证明文件;
- 7 有关类似地质条件及本工程现场施工工艺参数的试验调查资料。

6.1.2 复合地基施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等临时设施应在开工前准备就绪, 施工场地应进行平整处理,

6.1.3 流态固化土搅拌站宜建在施工现场内, 现场不具备条件时, 应就近设立场外流态固化土搅拌站。

6.1.4 桩轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的位置。开工前经复核后应妥善保护, 施工中应检查复测。

6.1.5 桩施工前宜进行成孔、扩孔、成桩工艺性试验, 核对地质资料、设计参数、工艺参数及技术要求, 并按本标准附录 D 的格式做好记录, 编写试成孔、成桩总结报告。

6.1.6 施工时地面需预留压灌施工措施层, 即施工作业地面标高应高出桩顶标高, 保证桩顶质量。该措施层待基桩检验合格后, 路基褥垫层施工前挖除。

6.1.7 高压喷射注浆用的水泥, 宜采用强度等级不低于 42.5 的普通硅酸盐水泥。

6.2 施工机械

6.2.1 流态固化土的制备宜采用配套土料筛选设备、自动配料系统和剪切式强力搅拌设备一体化智能生产线, 应保证流态固化土拌合均匀, 坍落度满足泵送要求。土料筛选设备筛孔直径不宜大于 50 mm; 强力搅拌设备性能需满足使用要求, 流态固化土产量与需求量应匹配。

6.2.2 喷扩压灌流态固化土桩宜采用多功能螺旋钻机施工, 钻机选型应根据喷扩压灌流态固化土桩的桩径、扩径、桩长及地层情况等因素综合确定, 应根据地层条件选用钻具。

6.2.3 喷扩压灌流态固化土桩施工主要配套设备应符合下列规定:

- 1 流态固化土输送泵和注浆泵的压力、流量应满足施工要求;

- 2 空压机的供气量和额定压力不应小于施工参数值；
- 3 储浆桶的容积应满足连续供给高压喷射浆液的需求；
- 4 连接注浆泵和钻机的高压输送管长度不宜大于 60 m。

6.2.4 施工前应对喷扩压灌流态固化土桩施工机械及配套设备进行检查试运行, 并应对其流量、压力、钻杆提升速度、钻杆旋转速度、钻杆提升高度、筛选传运速度、搅拌速度等施工参数进行标定。

6.2.5 常用机械设备主要技术参数见附录 E。

6.3 施工作业

6.3.1 施工单位应按桩基施工图进行桩位放线并填写放线、验线记录, 经监理、建设单位复核签认后方可开工。

6.3.2 水泥浆制备:

- 1 水泥浆液的水灰比应按工艺、设备、地层情况确定, 可取 0.9~1.5, 宜取 1.0;
- 2 水泥浆应过筛后使用, 水泥浆的搅拌时间不应小于 3 min, 自制备至用完的时间不应超过 2h。

6.3.3 现场流态固化土制备:

- 1 调试土料筛选设备和强力搅拌设备;
- 2 收集并晾晒土料, 转运至土料筛选设备;
- 3 强力振动筛分, 去除土料中杂质和大块土料后转运至强力搅拌设备;
- 4 根据流态固化土配合比先将固化剂与定量的水拌合成浆液, 再在浆液中加入土料, 拌合均匀, 搅拌时间不低于 5 min, 流态固化土放置时间不宜超过 2h。

5 流态固化土搅拌环节应高度重视材料配合比用量的控制, 做好流态固化土坍落度的监控。

条文说明: 流态固化土可采用施工现场和场外制作两种方式, 优先采用现场制作, 可规模化消纳现场渣土, 减少运输成本, 实现绿色施工、节约造价。

6.3.4 喷扩压灌流态固化土桩施工工艺流程如下:

- 1 平整场地, 定位放线, 准备施工;
- 2 多功能螺旋钻机就位并调试;
- 3 多功能螺旋钻机地表试喷、钻进成孔至设计孔深;
- 4 提升钻杆, 在设计位置处高压旋喷水泥浆形成扩径体腔体;
- 5 钻杆下放至孔底设计位置, 提升钻杆压灌桩身流态固化土, 自桩底向上 1.5 m 范围

内的流态固化土应复压灌注；

条文说明：桩端处经复压流态固化土后无沉渣；扩径体处复压流态固化土可保证扩径体扩出尺寸，消除扩径体端沉渣；桩顶复压保证密实度，提高桩顶强度，质量可靠。

6 提升钻杆压灌扩径体流态固化土至扩径体上部不少于 1 m 处停止压灌，下放钻杆挤压扩径体流态固化土；

7 提升钻杆压灌流态固化土，同时高压定喷水泥浆形成肋板至设计标高；

8 单桩完成、钻机移位。

6.3.5 水泥浆、水泥用量估算应按本标准附录 F 的格式做好记录。

6.3.6 喷扩压灌流态固化土桩扩径体及肋板施工工艺参数宜按表 6.3.6-1 和 6.3.6-2 执行。

表 6.3.6-1 喷扩压灌流态固化土桩扩径体施工工艺参数

土的名称		扩径体扩出尺寸 $a(\text{mm})$	升降速度 (mm/min)	旋喷喷射压力 (MPa)	气压 (MPa)	钻机转数 (r/min)	喷嘴层数	喷嘴个数	喷嘴直径 (mm)						
黏性土	$0.5 < I_L \leq 0.75$	250	150	25	0.6~0.8	10~25	3	3×1 (3×2)	2.4~2.8 (2.0~2.4)						
		200	150	20											
		150	200	20											
		100	200	15											
	$0.25 < I_L \leq 0.5$	250	120	25											
		200	150	25											
		150	150	20											
		100	200	20											
	$0 < I_L \leq 0.25$	200	120	25											
		150	150	25											
		100	150	20											
		100	150	20											
粉土	$0.75 < e \leq 0.9$	300	200	25	0.6~0.8	10~25	3	3×1 (3×2)	2.4~2.8 (2.0~2.4)						
		250	200	20											
		200	200	15											
		150	250	15											
	$e < 0.75$	100	300	12											
		250	120	25											
		200	150	25											
		150	200	25											
	砂土	$5 < N \leq 10$	300	200						20	0.6~0.8	10~25	3	3×1 (3×2)	2.4~2.8 (2.0~2.4)
			250	200						15					
			200	250						15					
			150	250						12					
$10 < N \leq$		300	150	20											

	20	250	200	20	0.6~0.8	10~25	3	3×1 (3×2)	2.4~2.8 (2.0~2.4)
		200	250	20					
		150	300	20					
		100	300	15					
	20 < N ≤ 30	300	150	25					
		250	200	25					
		200	250	25					
		150	250	20					
		100	300	20					
	N > 30	200	120	25					
		150	150	25					
		100	150	20					
砾砂	20 < N _{63.5} ≤ 30	200	150	25	0.6~0.8	10~25	3	3×1 (3×2)	2.4~2.8 (2.0~2.4)
	N _{63.5} ≤ 30	150	200	25					
	30	100	200	20					
	N _{63.5} > 30	150	120	25					
	30	100	120	20					

注：1 I_L 为液性指数； e 为孔隙比； N 为标准贯入击数； $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数。

2 当黏性土的液性指数为 $0 \leq I_L < 0.25$ 时，复喷一次扩孔；

3 当设置肋板时，采用表中括号内数值。

表 6.3.6-2 喷扩压灌流态固化土桩肋板施工工艺参数

肋板尺寸 (mm)	升降速度 (m/min)	定喷喷射压力 (MPa)	气压 (MPa)	喷嘴层数	喷嘴个数	喷嘴直径 (mm)
30×100	按本标准表 F.0.3 取值	15~20	0.6~0.8	3	3×2	2.0~2.4

6.3.6 喷扩压灌流态固化土桩施工控制要点应符合下列规定：

1 喷扩扩径体腔时，钻杆及喷嘴的钻进或提升速度可根据土层性质取 120 mm/min、150 mm/min、200 mm/min、250 mm/min 或 300 mm/min，转速可取 10~25 r/min，扩孔的浆液喷射压力不应小于 12 MPa；

2 压灌桩身流态固化土时，应先泵入流态固化土并停顿 10~20 s，再缓慢提升钻杆，并利用钻杆分段振动挤压；

3 下压钻杆振动挤压流态固化土时，应封闭钻具出料口铰链式活门，形成活塞效应，腔内流态固化土应振动挤压至设定标高；

4 为保证桩顶处桩身质量，在桩顶位置处应复压灌注，流态固化土充盈系数宜为 1.1~1.3，桩顶流态固化土超灌高度不应小于 0.5 m。

6.3.7 喷扩压灌流态固化土桩群桩施工应采用跳打法，相邻桩施工间隔时间不应小于

12 h。

6.4 施工安全和环境保护

6.4.1 喷扩压灌流态固化土桩施工安全应符合下列规定：

- 1 机械设备应保持性能良好，应由考核合格的专业机械工操作；
- 2 施工中应对机械设备、设施、工具配件以及劳保用品定期检查；
- 3 应控制喷浆压力，不得超压运作，试压时作业人员应确保安全距离；
- 4 启动、钻进及移机时，应设专人负责收、放电缆和输送胶管；
- 5 提钻灌注流态固化土时，应设专人清理钻杆附着泥土。

6.4.2 施工完成后桩头应采取防护措施，冬雨季施工时桩头应进行特殊保护并采取冬雨季施工措施。

条文说明：冬季施工土料不能采用结冰的土料；拌合水需要加热处理；流态固化土输送管需要采取保温措施；成桩后桩头需要及时覆盖，防止桩身冻结对桩身强度的不利影响。

6.4.3 遇暴风雨、雷电等恶劣天气时应暂停施工，设备应停放平稳并切断电源。

6.4.4 环境保护应符合下列规定：

- 1 应采用防护罩对施工机械进行降噪处理；
- 2 水泥和固化剂堆放、水泥浆和流态固化土搅拌应采取覆盖、封闭等防尘措施；
- 3 废弃浆液、渣土应有序排放、及时清理，不得随意流淌和堆放，不得污染环境；
- 4 施工现场作业面应进行覆盖，不得裸露。

7 质量控制与验收

7.1 一般规定

7.1.1 喷扩压灌流态固化土桩质量检验按时间顺序可分施工前检验、施工中检验和施工后检验。

7.1.2 喷扩压灌流态固化土桩质量检验项目应包括原材料、流态固化土配合比、桩身参数、桩身完整性、单桩承载力和复合地基承载力等。

7.2 施工前检验

7.2.1 施工前应对水泥、固化剂及流态固化土进行复试检验。

7.2.2 施工前应对施工机械设备及性能进行检验。

7.2.3 施工前应对桩位进行检查。

7.2.4 施工前应按设计要求进行现场工艺性试验，确定合适的工艺参数。

条文说明：工前可在每种加固地层中施工 3 根试桩，采用井径仪测量扩径体几何尺寸，确定加固土层中扩径体施工工艺参数。

7.2.5 施工前质量检验应符合本标准附录 G 的规定。

7.3 施工中检验

7.3.1 喷扩压灌流态固化土桩施工中检验应包括成孔深度、垂直度、旋喷扩孔、流态固化土灌注、振动挤压流态固化土、流态固化土复灌等工序过程。

7.3.2 施工中应对材料计量、流态固化土配合比、流态固化土灌注量、水泥浆水灰比和水泥使用量进行检验。

7.3.3 施工中应按本标准附录 H 的规定进行检验，并应填写相应的质量检验记录。

7.3.4 每棵桩均应按本标准附录 H 相关规定进行质量检验。不符合设计参数的桩，应经监理单位确认后报设计单位进行处理。

7.4 施工后检验

7.4.1 施工结束后，应对喷扩压灌流态固化土桩的桩间距、桩长、桩径、桩体均匀性和完整性、承载力进行检验。

7.4.2 施工后应按本标准附录 I 的规定进行检验，并应填写相应的质量检验记录。

7.4.3 承载力检验应采用单桩载荷试验和复合地基载荷试验，抽检率应为总桩数的 0.2%~0.5%，且不应少于 3 处。单桩载荷试验和复合地基载荷试验方法除应按照《复合地基技术规范》（GB T 50783）规定外，还应符合下列规定：

1 单桩载荷试验应在成桩 90 d 后进行，应在桩顶表面用粗砂或中砂层找平，其厚度不

宜大于 20 mm。

2 复合地基载荷试验应在成桩 28 d 后进行，承压板底面以下应铺设中粗砂垫层，垫层厚度宜取 100~150 mm。

7.4.4 喷扩压灌流态固化土桩的桩身完整性检测可采用钻芯法、轻型动力触探、静力触探及反射波、瑞利波等物理勘探方法，对桩的均匀性和完整性进行检查。

条文说明：喷扩压灌流态固化土桩的桩身完整性检测优先采用钻芯法。

7.4.5 在成桩 28 d 后进行钻探取芯，抽检频率应为总桩数的 1%~2%，取芯位置宜在桩直径 1/2 处。应将代表性芯样加工成直径 50 mm、长度 100 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。

中国公路学会标准征求意见稿

附录 A 流态固化土试块无侧限抗压强度和水稳系数试验方法

A.0.1 试验用试模应符合下列规定:

- 1 试模内表面应光滑、无渗漏;
- 2 采用立方体试模, 尺寸应为 70.7 mm × 70.7 mm × 70.7 mm, 且试模内表面平整度偏差应为每 70.7 mm 不超过 0.1 mm, 各相邻面的垂直度允许偏差应为±0.5°。

A.0.2 试块的搅拌、成型与养护符合下列规定:

- 1 每批试块宜一次搅拌成型, 搅拌方式应采用机械搅拌, 搅拌机宜采用转速可调、可封闭搅拌的搅拌机, 转速宜为 100~400 r/min;
- 2 土料风干、碾碎、过筛后和固化剂应先均匀混合, 再加水搅拌至均匀;
- 3 拌合水可一次加入, 也可逐次加入。当采用逐次加入时, 应逐次拌合 1 min。从加水起至搅拌均匀, 搅拌时间不应少于 10 min, 并不应超过 20 min;
- 4 流态固化土搅拌后应尽快成型, 成型时间不应超过 25 min, 试块应在(20±5) °C 的环境条件下静置 48 h 后拆模。
- 5 拆模后应检查试块外观, 不得有肉眼可见的裂纹、缺棱掉角、倾斜及变形。称取试块养护前的质量, 精确至 1 g, 并应根据试块尺寸计算拆模后流态固化土试块的重度;
- 6 称量后的试块应放入标准养护室养护。

A.0.3 试块的无侧限抗压强度试验符合下列规定:

- 1 试验前应测量试块尺寸, 并精确至 1 mm, 计算流态固化土试块重度;
- 2 压力试验机测量精度应为±1%, 应具有加荷速率控制装置, 并能均匀、连续加荷, 试块破坏荷载应在压力试验机全量程的 20%~80%之间;
- 3 无侧限抗压强度试验的试块应为 6 个。

A.0.4 试块的无侧限抗压强度试验应按下列步骤进行:

- 1 将试块安放在试验机下垫板中心, 试块的承压面应与成型面垂直。启动试验机后, 上压板与试块接近时, 应调整球座, 使接触面均衡受压;
- 2 以 0.03~0.15 kN/s 的速率连续均匀地对试块加荷, 直至试块破坏后记录破坏荷载, 并精确至 0.01 kN。

A.0.5 试验结果计算及确定应符合下列规定:

- 1 试块的无侧限抗压强度 f_{cu} 应按式(A.0.5)计算:

$$f_{cu} = \frac{P}{A_s} \quad (\text{A.0.5})$$

式中, P —试块破坏荷载(N);

A_s —试块的横截面积(mm^2)。

2 试验结果确定应符合下列规定:

1) 应计算 6 个试块的无侧限抗压强度的平均值, 精确至 0.01 MPa;

2) 当 6 个试块无侧限抗压强度的最大值或最小值与平均值之差不超过平均值的 20% 时, 应以 6 个试块的平均值作为该组试块的无侧限抗压强度结果;

3) 当 6 个试块的最大值或最小值与平均值之差超过平均值的 20% 时, 应以中间 4 个试块的平均值作为该组试块的无侧限抗压强度结果;

4) 当中间 4 个试块中最大值或最小值与平均值之差超过平均值的 20% 时, 该组试块的试验结果应作废, 并应重新制作试块。

A.0.6 水稳系数试验应符合下列规定:

1 采用标准养生龄期 7 d 最后一天浸水的流态固化土试块无侧限抗压强度与不经过水中浸泡的同龄期试块的无侧限抗压强度比来评价流态固化土的水稳性。试块在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的水中浸泡 24 h 后擦干表面水分并开展无侧限抗压强度实验, 试验应符合本标准 A.0.3~A.0.5 的规定;

2 试块的水稳系数 γ_w 应按式(A.0.6)计算:

$$\gamma_w = \frac{f_{cuw-7}}{f_{cu-7}} \quad (\text{A.0.6})$$

式中, f_{cuw-7} —浸水 24 h 后试块的无侧限抗压强度(MPa);

f_{cu-7} —不经过水中浸泡的同龄期试块的无侧限抗压强度(MPa)。

附录 B 桩的侧阻力特征值

表 B 桩的侧阻力特征值 q_{si} (kPa)

土的名称	土的状态		q_{si}
填土	—		10~14
淤泥	—		6~9
淤泥质土	—		10~14
黏性土	流塑	$I_L > 1$	11~19
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	19~27
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	27~34
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	34~42
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	42~48
	坚硬	$I_L \leq 0$	48~51
粉土	稍密	$e > 0.9$	12~21
	中密	$0.75 < e \leq 0.9$	21~31
	密实	$e < 0.75$	31~43
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	11~23
	中密	$15 < N \leq 30$	23~32
	密实	$N > 30$	32~43
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	27~36
	密实	$N > 30$	36~47
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	37~48
	密实	$N > 30$	48~58
砾砂	稍密	$5 < N_{63.5} \leq 15$	25~40
	中密 (密实)	$N_{63.5} > 15$	58~65
角砾、圆砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	68~75
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	70~85

注：1 I_L 为液性指数； e 为孔隙比； N 为标准贯入击数； $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数；

2 侧阻力值可根据土体条件和施工情况等取上限或下限，表中中间值可采用内插法取值；

3 当桩周为淤泥、新近沉积土、可液化土层及以生活垃圾为主的杂填土时，不应计入此类土层的桩侧阻力。

附录 C 扩径体处的端阻力特征值、桩的端阻力特征值

表 C 扩径体处的端阻力特征值 q_p 、桩的端阻力特征值 q_b (kPa)

土名称	土的状态		桩入土深度(m)		
			$5 \leq l < 10$	$10 \leq l < 15$	$15 \leq l < 30$
黏性土	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	175~225	225~300	300~375
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	400~450	450~500	500~600
	硬塑	$0 < I_L \leq 0.25$	550~600	600~700	700~800
粉土	中密	$0.75 < e \leq 0.9$	150~250	250~325	325~375
	密实	$e < 0.75$	325~450	375~473	450~550
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	175~250	225~300	300~350
	中密、密实	$N > 15$	300~375	375~450	550~550
细砂	中密、密实	$N > 15$	325~425	450~600	600~750
中砂			425~525	550~750	750~950
粗砂			750~900	1050~1200	1200~1300
砾砂		$N > 15$	750~1000		1200~1600
角砾、圆砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	900~1100		1100~1800
碎石、卵石		$N_{63.5} > 10$	1000~1500		1500~2000

注：1 I_L 为液性指数； e 为孔隙比； N 为标准贯入击数； $N_{63.5}$ 为重型圆锥动力触探击数；

2 砂土和碎石类土中，土越密实或桩端进入持力层深径比越大，桩的端阻力特征取值越高；

3 端阻力值可根据地质条件和施工情况等取上限或下限，表中中间值可采用内插法取放。

附录 D 施工记录表

表 D 施工记录表

工程名称												施工单位				
桩径 (mm)		桩长 (mm)		扩径体直径(mm)				扩径体长度(mm)			肋板长度(mm)			水灰比		
序号	桩号	孔口 标高 (m)	桩顶 标高 (m)	成孔 深度 (m)	旋喷 压力 (MPa)	定喷 压力 (MPa)	喷气 压力 (MPa)	扩径体喷 扩时间	肋板喷 扩时间	挤振复压固 化土深度(m)	成桩 时间	理论 灌注量 (m³)	实际 灌注量 (m³)	充盈 系数	日期	备注
项目专业技术负责人:		专业质量检查员:					专业监理工程师 (建设单位项目专业负责人) :									

中国公路学会标准征求意见稿

附录 E 常用机械设备主要技术参数

E.0.1 常用多功能螺旋钻机主要技术参数应按表 E.0.1 取值。

表 E.0.1 常用多功能螺旋钻机主要技术参数

钻孔直径 (m)	最大钻孔深度 (m)	主机功率 (kW)	钻杆转速 (r/min)	扭矩 (kN·m)	自动控制 喷浆	自动开闭 活门
300~800	25	55×2	21	65	具备	具备

E.0.2 常用高压注浆泵主要技术参数应按表 E.0.2 取值。

表 E.0.2 常用高压注浆泵主要技术参数

型号	电机功率 (kW)	理论流量 (L/min)	额定排除压力 (MPa)	柱塞直径 (mm)	柱塞形成 (mm)
90E	110	240	25	80	80
	132	240	30	80	80

附录 F 水泥浆、水泥用量估算表

F.0.1 喷扩压灌流态固化土桩喷扩扩径体时水泥浆、水泥用量应按表 F.0.1 取值。

表 F.0.1 喷扩压灌流态固化土桩喷扩扩径体时水泥浆、水泥用量

土 质		扩出尺寸 (mm)	升降速度 (mm/min)	旋喷喷射压力 (MPa)	水泥浆 (m ³)	水泥 (kg)	
黏性土	$0.5 < I_L \leq 0.75$	250	150	25	1.5	1130	
		200	150	20	1.3	1010	
		150	200	20	1.0	760	
		100	200	15	0.9	660	
	$0.25 < I_L \leq 0.5$	250	120	25	1.9	1410	
		200	150	25	1.5	1130	
		150	150	20	1.3	1010	
		100	200	20	1.0	760	
	$0 < I_L \leq 0.25$	200	120	25	1.9	1410	
		150	150	25	1.5	1130	
		100	150	20	1.3	1010	
	粉土	$0.75 \leq e \leq 0.9$	300	200	25	1.1	850
250			200	20	1.0	760	
200			200	15	0.9	660	
150			250	15	0.7	530	
100			300	12	0.5	390	
$e < 0.75$		250	120	25	1.9	1410	
		200	150	25	1.5	1130	
		150	200	25	1.1	850	
		100	300	20	0.7	510	
砂土		$5 < N \leq 10$	300	200	20	1.0	760
			250	200	15	0.9	660
			200	250	15	0.7	530
	150		250	12	0.6	470	
	$10 < N \leq 20$	300	150	20	1.3	1010	
		250	200	20	1.0	760	
		200	250	20	0.8	610	
		150	300	20	0.7	510	
		100	300	15	0.6	440	
	$20 < N \leq 30$	300	150	25	1.5	1130	
		250	200	25	1.1	850	

		200	250	25	0.9	680
		150	250	20	0.8	610
		100	300	20	0.7	510
	$N > 30$	200	120	25	1.9	1410
		150	150	25	1.5	1130
		100	150	20	1.3	1010
砾砂	$5 < N_{63.5} \leq 15$	200	150	25	1.5	1130
		150	200	25	1.1	850
		100	200	20	1.0	760
	$N_{63.5} > 15$	150	120	25	1.9	1410
		100	120	20	1.7	1260

注：喷扩扩径体所需材料用量、适用条件：喷嘴个数 3×2 个、喷嘴直径 2.2mm，水泥浆水灰比 1.0。

F.0.2 喷扩压灌流态固化土桩 3 道肋板每延米喷射水泥浆、水泥用量应按表 F.0.2 取值。

表 F.0.2 喷扩压灌流态固化土桩 3 道肋板每延米喷射水泥浆、水泥用量

直径(mm)	400	500	600	700	800
材料					
水泥浆(m ³)	0.04	0.05	0.07	0.11	0.14
水泥(kg)	30	40	60	80	110

注：喷扩肋板所需材料用量、适用条件：喷射压力 15 MPa，喷嘴个数 3×2 个、喷嘴直径 2.2 mm，水泥浆水灰比 1.0。

F.0.3 压灌流态固化土时，喷射肋板钻杆提升速度应按表 F.0.3 取值，并应根据不同地层做适当调整。

表 F.0.3 喷扩压灌流态固化土桩钻杆提升速度

桩径(mm)	300	400	500	600	700	800
钻杆提升速(m/min)	8.0	5.0	3.5	2.5	1.6	1.2

注：输送泵流量按 60 m³/h 计算。

附录 G 施工前质量检验标准

表 G 施工前质量检验标准

分类	检查项目	允许偏差或允许值	查检方法
主控项目	水泥、固化剂、流态固化土	复合出厂及设计要求	查产品合格证和抽样送检
一般项目	施工机械设备及性能	符合出厂及设计要求	查设备标定记录
	桩位(mm)	±10	用钢尺或全站仪测量

注：流态固化土为非现场搅拌制作。

中国公路学会标准征求意见稿

附录 H 施工中质量检验标准

表 H 施工中质量检验标准

分类	序	检查项目	允许偏差或允许值	查检方法
主控项目	1	桩长(m)	+0.3	量钻杆有效长度
	2	桩径(mm)	不小于设计值	钢尺测量
	3	固化剂用量	按设计要求	查施工记录
	4	水泥用量	按设计要求	查施工记录
	5	扩径体位置(m)	±0.1	量钻杆有效长度
	6	扩径体直径(mm)	按设计要求	查旋喷压力、气压、旋喷扩孔钻杆的提升速度、单桩流态固化土用量施工记录
	7	扩径体长度(m)	按设计要求	量钻杆定喷提升长度
	8	肋板长度(m)	按设计要求	量钻杆定喷提升长度
	9	肋板喷浆量	按设计要求	查肋板顶喷压力、时间施工记录
一般项目	1	流态固化土坍落度	200~220 mm	截锥圆模
	2	喷浆压力	按设计要求	查施工记录
	3	气压	按设计要求	查施工记录
	4	水灰比	按设计要求	查施工记录
	5	旋喷扩孔钻杆提升速度	按设计要求	查施工记录
	6	挤振复压流态固化土深度(m)	按设计要求	查施工记录

附录 I 施工后质量检验标准

表 I 施工后质量检验标准

分类	序	检查项目	允许偏差或允许值	查检方法
主控项目	1	单桩及复合地基承载力	不小于设计值	静载试验及平板试验
	2	桩身流态固化土强度	不小于设计值	钻芯法、无侧限抗压试验
	3	桩位(mm)	满堂布桩为桩径的 0.4 倍 条基布桩为桩径的 0.2 倍	钢尺和全站仪测量
	4	桩径(mm)	按设计要求	钢尺测量
	5	桩长(m)	$l \sim l+0.5$	钻芯法
	6	桩身完整性	按设计要求	钻芯法等
一般项目	1	桩顶标高(mm)	+30 -50	水准仪测量

中国公路学会标准征求意见稿

用词说明

1 本指南执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
- 2) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 3) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合《×××××》（×××）的有关规定”。
- 2) 当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本指南第×章的有关规定”、“应符合本指南第×.×节的有关规定”、“应按本指南第×.×.×条的有关规定执行”。