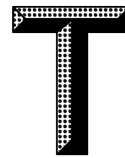


ICS 93.020
CCS P 22



团 体 标 准

T/CI 1210—2025

软土地基深层加固与沉降控制综合 技术规程

Comprehensive technical codes for deep reinforcement and settlement control
of soft soil foundations

2025-10-20 发布

2025-10-20 实施

中国国际科技促进会 发布
中国标准出版社 出版

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 工作程序	2
5 基本规定	2
6 岩土工程勘察	2
7 方案选择和设计	2
7.1 方案选择	2
7.2 设计原则	3
8 加固施工	3
8.1 基本要求	3
8.2 深层搅拌桩加固	3
8.3 高压旋喷桩加固	5
8.4 排水固结法	5
8.5 其他加固方法	6
8.6 质量检验	7
9 沉降控制	7
9.1 一般规定	7
9.2 沉降预测模型及计算方法	7
9.3 沉降监测	9
9.4 沉降控制指标及预警机制	10
9.5 反馈设计与过程控制	10
10 验收与评估	11
10.1 验收程序与内容	11
10.2 验收方法	11
11 长期监测	12
11.1 监测计划	12
11.2 定期监测与评估	12
11.3 档案与数据管理	12
附录 A(资料性) 软土工程特性指标参考表	14
附录 B(规范性) 复合地基静载荷试验要点	15
B.1 一般规定	15

B.2 试验要求	15
B.3 数据处理	15
附录 C(资料性) 沉降观测记录表示例	16
附录 D(资料性) 预警及应急响应表示例	17

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会涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由浙江浙景建设发展有限公司提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：浙江浙景建设发展有限公司、中铁十二局集团有限公司、中交四航局第一工程有限公司、中铁建设集团有限公司、中铁二十五局集团第五工程有限公司、新疆兵团城建集团有限公司、河南省禹志建设工程有限公司、中铁十二局集团市政工程有限公司、中交一航局第五工程有限公司、华诚博远岩土工程勘察有限公司、中国水电建设集团十五工程局有限公司、中国港湾工程有限责任公司、中建八局轨道交通建设有限公司。

本文件主要起草人：董琦荣、邢利军、冯荣先、李方、张伍星、徐卫军、王任重、黄国忠、廖意、张明、邵明想、王景东、何宣、梁军普、梁栋、武邦芳、贾会杰、景世红、朱正发、王树奎、秦绪海、于永睿、周建林、黄晶、张斌、唐立宪、鱼志鸿、王承国。

软土地基深层加固与沉降控制综合 技术规程

1 范围

本文件确立了软土地基深层加固与沉降控制的工作程序和基本规定、岩土工程勘察、方案选择和设计、加固施工、沉降控制、验收与评估及长期监测的技术要求。

本文件适用于各类土木工程中涉及软土地基的深层加固与沉降控制的设计、施工、监测、验收。

2 规范性引用文件

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

- GB 175 通用硅酸盐水泥
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收标准
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB/T 50290 土工合成材料应用技术规范
- GB 50497 建筑基坑工程监测技术标准
- JGJ 79 建筑地基处理技术规范
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JTG/T D31-02 公路软土地基路堤设计与施工技术细则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

软土 soft soil

天然含水率高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的细粒土。

注:如淤泥、淤泥质土、泥炭土和泥炭质土等。

3.2

深层加固 deep reinforcement

对软土地基的深层(一般指距地表以下一定深度范围内)进行物理、化学或机械方法处理,以提高地基承载力和稳定性。

3.3

沉降控制 settlement control

通过技术手段,将软土地基在施工和使用过程中的沉降量控制在允许范围内,确保工程安全和稳定。

3.4

复合地基 composite foundation

由天然地基土体与增强体(如桩体)共同承担荷载的地基。

3.5

工后沉降 post-construction settlement

基础设施竣工后,在运营荷载作用下地基继续产生的沉降量。

3.6

蠕变沉降 creep settlement

土体在有效应力基本不变的条件下,由于土粒骨架的长时间蠕变特性而产生的持续沉降。

3.7

反分析 back analysis

根据施工期监测得到的实际沉降数据,反演土体参数,并用于修正后续沉降预测模型的方法。

4 工作程序

软土地基深层加固与沉降控制工作程序包括岩土工程勘察、方案选择、设计施工、沉降控制、验收与长期监测六个阶段。首先基于详细地质勘察结果,根据土层条件与工程需求选择加固方法;确定方法后进行设计,对软土地基进行加固施工,实施全过程沉降监测与控制;当沉降稳定且满足设计要求时组织竣工验收;验收合格后开展长期监测,确保工程长期安全稳定。

5 基本规定

- 5.1 软土地基处理工程应坚持因地制宜、保护环境、技术先进、安全可靠、经济合理的原则。
- 5.2 软土地基处理前,应进行岩土工程勘察。勘察工作应符合 GB 50021 的规定。
- 5.3 软土地基处理设计应符合 GB 50007、GB 50009 及 JGJ 79 的规定。
- 5.4 施工应实行动态控制,根据监测信息及时调整施工参数和工艺。
- 5.5 质量检验与验收应符合 GB 50202 的规定。

6 岩土工程勘察

6.1 勘察应包括但不限于下列内容。

- 勘察工作除应确定软土分布、厚度与性质外,应通过原位测试和室内试验提供地基处理设计所需参数,包括但不限于压缩模量、抗剪强度指标、固结系数等。
- 勘察报告应提供各土层用于沉降计算的关键参数,包括但不限于:压缩指数(C_c)、再压缩指数($C_{c'}$)、固结系数(C_v)、次固结系数(C_a)以及不同应力水平下的变形模量,参数取值可参考附录 A。
- 应查明承压水、潜水等地下水的埋藏条件和水位变化规律,评价其对地基稳定性和施工的影响。

6.2 地质勘察后形成勘察报告和评估报告,为方案选择提供依据。

7 方案选择和设计

7.1 方案选择

7.1.1 进行岩土工程勘察,查明软土层的分布、厚度、工程特性及水文地质条件后,应根据勘察结果、工

程结构特点和使用要求,进行多方案技术安全经济比较,选择合适加固方法。

7.1.2 深层加固方法的选择原则如下:

- 深厚软土层且需提高地基承载力的工程,宜采用深层搅拌法;
- 处理深度大、需加速排水固结的工程,宜采用排水固结法;
- 局部处理或既有建筑地基加固工程,宜采用高压喷射注浆法。

7.2 设计原则

方案设计原则如下。

- 根据选定的加固方法进行专项设计,设计相关要求应符合 GB 50007、GB 50009 及 JGJ 79 以及第 8 章的有关规定。
- 充分考虑施工现场的条件,包括场地大小、交通状况、施工机械的可进入性等。
- 优先考虑当地丰富的材料资源,确保材料的供应及时、价格合理。
- 遵循环境保护的原则。应评估加固工程对周边环境的影响,包括施工噪音、振动、粉尘污染以及废弃物处理等,并采取相应的环保措施,减少对环境的负面影响。
- 确保施工过程中的安全性,并考虑加固工程的可持续性。

8 加固施工

8.1 基本要求

8.1.1 地基加固施工前应具备完整的岩土工程勘察报告、设计文件和施工组织设计或施工方案。

8.1.2 施工过程中应进行质量控制与检验,检验项目应包括原材料、施工参数和成桩质量等。

8.1.3 施工完成后应进行地基承载力检验,检验数量和方法应符合 8.6 的规定。

8.2 深层搅拌桩加固

8.2.1 深层搅拌法适用于处理正常固结的淤泥、淤泥质土、粉土、饱和黄土等软土地基。用于处理泥炭土、有机质土、塑性指数 I_p 大于 26 的黏土或地下水具有腐蚀性时,应通过试验确定其适用性。

8.2.2 材料应符合下列要求:

- a) 宜采用强度等级不低于 42.5 级的普通硅酸盐水泥,质量应符合 GB 175 的规定;
- b) 水泥掺入量宜为被加固湿土质量的 12%~20%,可根据土质情况通过配比试验调整;
- c) 外掺剂可选用石膏、碳酸钠、三乙醇胺等,其掺量宜通过配比试验确定;
- d) 拌合用水应符合 JGJ 63 的规定。

8.2.3 设计应符合下列要求。

- a) 搅拌桩的布置形式可采用正方形、等边三角形等。桩间距应根据设计要求的复合地基承载力、土性及施工工艺确定,宜为 1.0 m~1.5 m。
- b) 搅拌桩的长度应根据上部结构对承载力和变形的要求确定,并宜穿透软土层到达承载力相对较高的土层;有效桩长不宜小于 4 m,且不宜大于 25 m。
- c) 单桩竖向承载力特征值应通过现场静载荷试验确定;初步设计时,需通过“土力学特性”和“桩身材料强度”双维度估算,取两者较小值,可按公式(1)和公式(2)估算,并取其中较小值:

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

R_a ——单桩竖向承载力特征值,单位为千牛(kN);

u_p ——桩的周长,单位为米(m);

- n —— 桩长范围内所划分的土层数；
- q_{si} —— 桩周第 i 层土的侧阻力特征值,单位为千帕(kPa)；
- l_i —— 桩长范围内第 i 层土的厚度,单位为米(m)；
- α —— 桩端天然地基土的承载力折减系数,可取 0.4~0.6；
- q_p —— 桩端地基土未经修正的承载力特征值,单位为千帕(kPa)；
- A_p —— 桩的截面积,单位为平方米(m^2)。

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- η —— 桩身强度折减系数,干法可取 0.20~0.25,湿法可取 0.25；
- f_{cu} —— 与搅拌桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块在标准养护条件下 90 d 龄期的立方体抗压强度平均值,单位为千帕(kPa)。

- d) 复合地基承载力特征值应通过现场复合地基静载荷试验确定。初步设计时,可按公式(3)估算：

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

式中：

- f_{spk} —— 复合地基承载力特征值,单位为千帕(kPa)；
- λ —— 单桩承载力发挥系数,可取 0.8~0.9；
- m —— 面积置换率；
- R_a —— 单桩竖向承载力特征值,单位为千牛(kN)；
- A_p —— 桩的截面积,单位为平方米(m^2)；
- β —— 桩间土承载力发挥系数,可取 0.6~0.9；
- f_{sk} —— 处理后桩间土承载力特征值,单位为千帕(kPa),宜按当地经验取值,无经验时可取天然地基承载力特征值。

8.2.4 施工应符合下列要求。

- a) 施工前应进行工艺性试桩(不少于 3 根),以确定适宜的施工参数,搅拌机钻进速度宜为 0.5 m/min~1.0 m/min;提升速度宜为 0.5 m/min~0.8 m/min;搅拌轴转速宜为 30 r/min~50 r/min。
- b) 施工中应保持搅拌桩机底盘的水平和导向架的垂直,搅拌桩的垂直度偏差不应大于 1/100。
- c) 喷浆量、喷浆压力、搅拌深度等应有专人记录。停浆面应高于桩顶设计标高 0.3 m~0.5 m。
- d) 施工中因故停浆时,应将搅拌头下沉至停浆点以下 0.5m 处,待恢复供浆时再喷浆搅拌提升。

8.2.5 质量检验应符合下列要求。

- a) 施工期质量检验:应检查水泥用量、桩长、桩身质量、搅拌头下沉和提升速度等。成桩 7 d 后,采用浅部开挖桩头(深度宜超过停浆面下 0.5 m),目测检查搅拌的均匀性,量测成桩直径。检查量应为总桩数的 5%。
- b) 成桩后质量检验:应在成桩 28 d 后,采用双管单动取样器钻取芯样作抗压强度试验和桩身完整性检验。检验数量应为施工总桩数的 1%,且不少于 3 根。每根桩的取芯数量不宜少于 3 组(桩顶、桩中、桩底附近)。
- c) 承载力检验:应采用复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验。检验数量应为总桩数的 0.5%~1%,且每个单体工程的复合地基静载荷试验不应少于 3 点。复合地基静载荷试验要点按附录 B 执行。

8.3 高压旋喷桩加固

8.3.1 高压喷射注浆法适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、黄土、砂土、人工填土和碎石土等地基。当土中含有较多的大粒径块石、大量植物根茎或有较高的有机质时,以及地下水流速过大或已涌水的工程,应根据现场试验结果确定其适用性。

8.3.2 材料符合下列要求。

- a) 水泥宜采用强度等级不低于 42.5 级的普通硅酸盐水泥。水泥掺量宜为土体质量的 25%~40%,可根据试验确定。
- b) 外加剂可根据需要掺入速凝剂、早强剂、悬浮剂等。掺入量应通过试验确定。常用的水玻璃掺量宜为水泥用量的 2%~4%。
- c) 水灰比通常采用 0.8:1~1.5:1,可根据工程需要调整。

8.3.3 设计符合下列要求。

- a) 旋喷桩的直径应根据土质条件、喷射方式及工艺参数确定。单管法桩径宜为 0.3 m~0.8 m;双管法桩径宜为 0.8 m~1.2 m;三管法桩径宜为 1.2 m~2.0 m。
- b) 单桩竖向承载力特征值的确定应符合 7.1.3 c) 的规定。桩身强度折减系数可取 0.33。

8.3.4 施工符合下列要求。

- a) 施工前应进行工艺性试桩(不少于 2 根),以确定合适的喷射参数。高压水泥浆液的压力宜大于 20 MPa,流量宜为 80 L/min~120 L/min;压缩空气的压力宜为 0.6 MPa~0.8 MPa;提升速度宜为 10 cm/min~25 cm/min;旋转速度宜为 10 r/min~20 r/min。
- b) 钻孔的垂直度偏差不应大于 1/100。
- c) 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,随即按预定的提升速度、旋转速度自下而上喷射注浆。
- d) 当采用分序跳打法施工时,相邻桩的施工间隔时间应不小于 36 h。

8.3.5 质量检验符合下列要求。

- a) 施工期质量检验:应检查压力、流量、提升速度、旋转速度等参数及水泥用量。检查数量应为施工总桩数的 5%~10%。
- b) 成桩后质量检验:应在成桩 28 d 后,进行桩身质量、强度及承载力检验。检验可采用钻芯法、标准贯入试验、静力触探等方法。检验数量应为施工总桩数的 1%,且不少于 3 根。
- c) 承载力检验:应采用单桩静载荷试验或复合地基静载荷试验。检验数量应为总桩数的 0.5%~1%,且不少于 3 点。

8.4 排水固结法

8.4.1 排水固结法适用于处理厚度较大的饱和软黏土、冲填土、松散粉土等地基。不宜用于含有大量砂层、贝壳、碎石等渗透性较好的土层。

8.4.2 排水系统材料应符合下列要求。

- a) 塑料排水板性能指标应符合 GB/T 50290 的规定。其纵向通水量应不小于 40 cm³/s;芯板抗拉强度应不小于 1.5 kN/10 cm;滤膜渗透系数应不小于 5×10⁻⁴cm/s;滤膜抗拉强度干态应不小于 1.5 N/mm,湿态应不小于 1.0 N/mm。
- b) 袋装砂井用砂宜采用中粗砂,含泥量应不大于 3%,渗透系数应不小于 1×10⁻³ cm/s。
- c) 密封膜应采用抗老化、抗穿刺性能好的聚氯乙烯或聚乙烯薄膜,其厚度不宜小于 0.12 mm。

8.4.3 设计应符合下列要求。

- a) 排水竖井的直径和间距:塑料排水板等效直径可按公式(4)计算,间距可按井径比 $n=15\sim 25$

($n=d_c/d_w$, d_c 为有效排水直径, d_w 为竖井等效直径)。

$$d_w = \alpha \frac{2(b + \delta)}{\pi} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

d_w ——塑料排水板当量换算直径,单位为毫米(mm);

α ——换算系数,可取 0.75;

b ——排水板宽度,单位为毫米(mm);

δ ——排水板厚度,单位为毫米(mm)。

- b) 排水竖井的深度:应根据建筑物对地基的稳定性、变形要求和工期确定。对以地基抗滑稳定性控制的工程,竖井深度至少应超过最危险滑动面 2.0 m;对以沉降控制的工程,竖井深度应根据在限定的预压时间内需完成的沉降量确定。
- c) 预压荷载大小应根据设计要求确定。对于沉降要求高的建筑,可采用超载预压,超载量可为设计荷载的 10%~20%。

8.4.4 施工应符合下列要求。

- a) 塑料排水板打设深度不应小于设计深度,且不宜大于设计深度+0.5 m;平面间距偏差不应大于±50 mm;垂直度偏差不应大于 1.5%。
- b) 堆载预压应分级加载,每级加载后应保持一定时间(通常为 5 d~10 d),待地基土的抗剪强度增长足以承受下一级荷载时,方可进行下一级加载。加载速率应通过监测控制,边桩水平位移不应大于 4 mm/d~5 mm/d,地基竖向变形不应大于 10 mm/d。
- c) 真空预压的膜下真空度应长期稳定在 80 kPa 以上。

8.4.5 质量检验应符合下列要求。

- a) 塑料排水板施工过程中,应检查板位、垂直度、打设深度、回带长度等。检查数量不应少于施工总根数的 2%。
- b) 预压过程中,应进行孔隙水压力、沉降、水平位移等监测。监测点布置应满足 GB 50497 的要求。
- c) 预压结束后,应进行十字板剪切试验、静力触探试验或载荷试验,检验处理效果。检验数量每 1 000 m²不应少于 3 个点。

8.5 其他加固方法

8.5.1 化学注浆法

8.5.1.1 化学注浆法适用于处理粉土、砂土、填土及裂隙发育的岩层等地基,可用于提高地基承载力、减小变形、防渗堵漏及已有建筑地基补强。

8.5.1.2 设计中,应根据工程目的、土体孔隙特征、地下水条件,选择注浆材料(如水泥基、硅化浆液、高分子化学浆液)及注浆工艺(渗透注浆、劈裂注浆、压密注浆)。

8.5.1.3 施工前,应进行室内配比试验和现场工艺性试验,以确定浆液配比、凝胶时间、注浆压力、注浆量等关键参数。

8.5.1.4 施工中,应严格控制注浆压力与流量,并采用实时监测等手段,防止对周边环境造成不利影响。

8.5.1.5 质量检验可采用标准贯入试验、静力触探、钻孔取芯等方法,检验应在浆液达到设计强度后进行。

8.5.2 强夯置换法

8.5.2.1 强夯置换法适用于处理高饱和度的粉土与软塑~流塑的黏性土地基,通过夯击将碎石、块石等

粗颗粒材料强制挤入软土中,形成置换墩体。

8.5.2.2 设计应通过试夯确定单击夯击能、夯锤底面积、置换材料规格、夯点间距与布置方式(等边三角形或正方形)、夯击次数以及收锤标准。

8.5.2.3 施工应遵循由内而外、隔行跳打的原则。每遍夯击后,应采用推土机将夯坑填平,并测量场地的平均下沉量。

8.5.2.4 质量检验宜在施工结束间隔一段时间后进行。检验方法宜采用载荷试验、重型动力触探(DPT)并结合置换墩体状况调查,检验数量不应少于3个墩体。

8.5.3 动力固结法(强夯法)

8.5.3.1 动力固结法适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。

8.5.3.2 设计应根据土质条件与加固深度确定夯击能、夯点间距、夯击遍数、间隔时间等参数。有效加固深度可按相关经验公式估算,并应通过试夯验证。

8.5.3.3 施工应严格按设计要求的夯击能和次数进行,并记录每夯的夯沉量。两遍夯击之间应留有必要的间歇时间,以超孔隙水压力消散为依据。

8.5.3.4 应监测与评估强夯振动对周边环境的影响,必要时应采取开挖减振沟等隔振措施。

8.5.3.5 质量检验方法宜采用原位测试(如静力触探、标准贯入试验、动力触探)和土工试验。检验时间,对于碎石土和砂土地基,可取施工结束后7d~14d;对于粉土和黏性土地基,可取施工结束后14d~28d。

8.6 质量检验

8.6.1 地基处理工程的质量检验应贯穿于施工全过程和各分项工程。

8.6.2 检验方法应包括现场测试(如静载荷试验、静力触探、标准贯入试验、十字板剪切试验等)和室内试验(如土的物理力学性质试验、水泥土强度试验等)。

8.6.3 检验批的划分、抽样数量和合格判定标准应符合GB 50202、JGJ 79及相关设计文件的规定。

8.6.4 检验结果不满足设计要求时,应及时分析原因,采取补救措施,并重新进行检验,直至合格为止。

9 沉降控制

9.1 一般规定

9.1.1 软土地基工程应进行全过程沉降控制,包括施工期沉降、工后沉降及差异沉降。

9.1.2 沉降控制应遵循“动态设计、信息化施工”的原则,依据监测数据及时反馈与优化设计及施工方案。

9.1.3 沉降控制标准应根据上部结构类型、使用要求及GB 50007和JTG/T D31-02相关要求确定。

9.2 沉降预测模型及计算方法

9.2.1 沉降预测模型

9.2.1.1 宜根据以下方法选择沉降预测模型:

- a) 对于均质土层或层状土层,优先采用分层总和法,根据各土层的压缩性计算总沉降量,计算方法见9.2.2;
- b) 对于重要工程或复杂地质条件,宜采用有限元法(FEM)、有限差分法(FDM)等数值分析方法辅助沉降预测,应考虑土体的非线性、弹塑性和流变特性;

c) 根据地区经验或类似工程案例,可选用经验公式法,但需验证其适用性。

9.2.1.2 宜根据以下方法确定参数。

- a) 通过现场原位试验(如静力触探、标准贯入试验)获取土层压缩模量、泊松比等参数。
- b) 考虑固结时间效应,采用时间相关的压缩模型。
- c) 对于排水固结法,需特别关注排水系统的效率和固结速率。
- d) 在进行沉降计算(如采用分层总和法)时,需要输入土层的压缩模量、压缩系数等参数。当缺乏详细的现场试验数据时,工程师可根据土类名称(如淤泥、淤泥质土)参考附录 A 中的指标范围进行初步取值和估算。

9.2.1.3 模型验证应遵循:

- a) 对比历史沉降数据与模型预测结果,评估模型精度;
- b) 在关键区域设置验证点,进行施工前后的沉降对比观测。

9.2.2 计算方法及应用

9.2.2.1 主固结沉降计算宜采用分层总和法,按公式(5)计算:

$$s_c = \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} h_i \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- s_c ——最终主固结沉降量,单位为米(m);
- e_{0i} ——第 i 层土初始孔隙比;
- e_{1i} ——第 i 层土在荷载作用下趋于稳定的孔隙比;
- h_i ——第 i 层土的厚度,单位为米(m)。

9.2.2.2 次固结(蠕变)沉降宜按公式(6)计算:

$$s_s = \sum_{i=1}^n \frac{C_{ai}}{1 + e_{0i}} h_i \lg \frac{t}{t_p} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- s_s ——次固结沉降量,单位为米(m);
- C_{ai} ——第 i 层土的次固结系数;
- t ——计算次固结沉降的时间,单位为年(a);
- t_p ——主固结完成所需时间,单位为年(a)。

9.2.2.3 应根据计算结果,按以下原则进行设计决策,沉降控制标准参考值见表 1:

- a) 当预测总沉降量和工后沉降量均小于控制值时,可维持原设计方案;
- b) 当预测总沉降量满足要求但工后沉降量接近或超过控制值时,应优化设计以提高地基刚度或延长预压期;
- c) 当预测差异沉降超过控制值时,应调整加固措施(如增加边桩强度、设置过渡段)以协调不均匀变形;
- d) 当计算发现存在稳定性隐患(如滑移、隆起)时,应修改设计方案,确保地基整体稳定。

表 1 沉降控制参考值

工程类型	总沉降控制值/mm	工后沉降控制值/mm	差异沉降(与距离之比)	施工期沉降速率控制值/(mm/d)
多层建筑	150~200	≤50	1/500~1/300	5~10
高层建筑	200~300	≤50	1/1 000~1/500	3~5

表 1 沉降控制参考值 (续)

工程类型	总沉降控制值/mm	工后沉降控制值/mm	差异沉降(与距离之比)	施工期沉降速率控制值/(mm/d)
一级公路	—	≤300	—	10~15
高速公路	—	≤150	—	10~15
港口码头	—	≤200~300	—	5~10

注：具体控制值应以设计文件为准。

9.2.2.4 所有基于计算结果的设计调整均应记录在案,并重新进行沉降计算验证。

9.3 沉降监测

9.3.1 沉降监测点布置

9.3.1.1 沉降观测点布置原则包括但不限于：

- 监测点应布置在荷载突变、地质条件变化、结构物角部和中点等关键部位；
- 监测点应采用强制对中装置,减少人为测量误差；
- 监测点间距宜为 15 m~30 m,且每单体工程不少于 4 点；
- 观测点应避免施工干扰区,确保观测的连续性和准确性；
- 对于大型工程,可根据需要设置分层观测点,以监测不同深度的沉降情况。

9.3.1.2 应根据工程规模设置观测点,对于重要结构物应适当加密。观测点应编号并标记在施工图上,便于后续管理。

9.3.1.3 观测点应设置保护罩,防止施工损坏。应定期检查观测点,及时修复或更换损坏部分。

9.3.2 监测频率

各阶段监测频率如下。

- 加固施工前,进行至少一次全面观测,建立初始沉降基准。
- 施工期:在加载阶段,每 1 天~3 天观测 1 次;在间歇期,每周观测 1 次。当沉降速率超过控制标准时,应增加观测频率。
- 预压期:每周观测 1 次~2 次。
- 竣工后:第一个月,每 2 周 1 次;第二个月至第三个月,每月 1 次;以后每 3 个月 1 次,直至沉降稳定(连续半年沉降速率小于 0.04 mm/d)。

9.3.3 监测成果整理

监测成果内容和要求如下。

- 应使用专用记录表,详细记录观测时间、观测点编号、沉降量(包括累计沉降和本次沉降)、观测者等信息。
- 每次观测后,应对数据进行复核,确保无误后录入数据库。
- 应绘制沉降曲线图,分析沉降趋势和速率,对比预测模型与实测数据,评估模型准确性。
- 对于异常沉降点,应进行重点分析,查找原因并采取相应措施。
- 每月应编制沉降观测报告,包括观测数据、分析图表及结论建议。报告应提交给项目管理人

员、设计单位及监理单位、建设单位等相关方。

f) 监测记录表示例见附录 C。

9.4 沉降控制指标及预警机制

9.4.1 沉降控制指标

9.4.1.1 施工期间,日沉降速率应控制在一定范围内,不宜超过 2 mm/d。竣工后,月沉降速率应逐渐减小并趋于稳定,一般不超过 0.5 mm/月。

9.4.1.2 对于相邻建筑物或构筑物,其差异沉降应控制在允许范围内,以避免结构损伤。

9.4.2 预警机制

9.4.2.1 预警条件包括但不限于:

- a) 当沉降量接近或超过控制指标时;
- b) 沉降速率突然加快,超过正常施工或竣工后的沉降速率;
- c) 出现不均匀沉降,导致建筑物或构筑物出现裂缝、倾斜等异常现象。

9.4.2.2 预警流程包括但不限于:

- a) 观测人员发现异常情况后,立即向项目负责人报告;
- b) 项目负责人组织专家进行现场勘查,分析原因并评估风险;
- c) 根据评估结果,制定应急措施并立即实施,如暂停施工、加强观测等;
- d) 向相关方(如设计单位、监理单位、建设单位等)发送预警通知,说明情况并告知应对措施。

9.4.2.3 预警响应措施包括但不限于:

- a) 相关方在收到预警通知后,应立即响应并按照应急措施执行;
- b) 加强沉降观测,密切关注沉降变化;
- c) 必要时,组织专家进行会商,调整加固方案或采取进一步措施。

9.4.2.4 应建立三级预警机制。

- a) 黄色预警(监测预警):当沉降量达到总沉降控制值的 70%,或沉降速率连续 3 天超过控制值的 80% 时启动。应加大监测频率,分析原因。
- b) 橙色预警(警示预警):当沉降量达到总沉降控制值的 85%,或沉降速率连续 2 天超过控制值时启动。应立即向项目负责人报告,并准备采取工程措施。
- c) 红色预警(行动预警):当沉降量达到控制值,或沉降速率持续增大有失稳风险时启动。应立即停止加载,启动应急预案,采取如调整加载计划、增设支护,甚至卸载等果断措施。
- d) 预警及应急响应表示例见附录 D。

9.4.2.5 预警解除:当沉降得到有效控制,且连续观测一段时间内(如一个月)沉降量及速率均符合控制指标时,可申请解除预警。解除预警应经项目负责人及专家团队确认,并书面通知相关方。

9.5 反馈设计与过程控制

9.5.1 应根据沉降监测结果,动态调整施工参数,如堆载速率、真空预压荷载、搅拌桩施工速度等。

9.5.2 当实测沉降量与预测值差异较大时,应进行反分析,修正土体参数和计算模型,重新评估后续沉降发展趋势。

9.5.3 应根据工后沉降评估结果,判断是否需要后续处理或调整上部结构的施工顺序。

10 验收与评估

10.1 验收程序与内容

10.1.1 验收组织机构

地基处理工程验收工作应由建设单位组织,勘察、设计、施工、监理等单位参加。重要工程验收时,应邀请专家参与。

10.1.2 验收流程

10.1.2.1 验收应按下列程序进行:

- a) 施工单位自评;
- b) 提交验收申请;
- c) 组织验收会议;
- d) 现场检查 and 资料审查;
- e) 形成验收结论。

10.1.2.2 施工单位应在完成设计文件和合同约定的全部内容后,方可提交验收申请。

10.1.3 验收资料

10.1.3.1 验收资料应具备下列资料:

- a) 岩土工程勘察报告;
- b) 设计文件及图纸会审记录;
- c) 施工组织设计及专项施工方案;
- d) 材料合格证及检验报告;
- e) 施工记录及质量检验记录;
- f) 监测报告及沉降观测资料;
- g) 竣工图及设计变更文件;
- h) 质量事故处理记录(如有);
- i) 施工总结报告。

10.1.3.2 验收资料应真实、完整,并按规定归档保存。

10.2 验收方法

10.2.1 现场检测

10.2.1.1 现场检验应符合设计要求和第 8 章的有关规定。

10.2.1.2 检验应在施工完成后的规定间歇期后进行。

10.2.1.3 现场检验应采用下列方法:

- a) 静载荷试验;
- b) 钻芯法;
- c) 标准贯入试验;
- d) 静力触探试验;
- e) 其他有效方法。

10.2.1.4 静载荷试验应符合附录 C 的规定

10.2.2 资料审查

验收委员会或小组应对施工单位提交的验收资料进行详细审查,确认资料的真实性和完整性。

审查过程中,如发现资料缺失、数据异常或不符合设计要求等问题,应要求施工单位进行补充或解释。

11 长期监测

11.1 监测计划

11.1.1 建设单位应制定长期监测计划,监测计划应包括下列内容:

- 监测项目与监测点布置;
- 监测频率与监测期限;
- 监测方法与精度要求;
- 预警值与控制标准;
- 责任主体与工作流程。

11.1.2 监测项目应包括下列内容:

- 地基沉降观测;
- 地基水平位移监测;
- 上部结构变形监测;
- 环境影响因素监测。

11.2 定期监测与评估

11.2.1 监测频率应符合下列规定:

- a) 竣工后第一年,宜每3个月监测一次;
- b) 竣工后第二至三年,宜每6个月监测一次;
- c) 三年以后,宜每年监测一次;
- d) 遇特殊情况或发现异常时,应增加监测频率。

11.2.2 监测期限应根据工程重要性确定,且不应少于2年。对特别重要工程,监测期限应至沉降稳定为止。

11.2.3 建设单位应定期组织专家对工程状况进行评估,评估周期宜为3年~5年。

11.2.4 评估内容应包括:

- 地基稳定性状况;
- 上部结构安全性状况;
- 监测系统有效性;
- 长期变形发展趋势。

11.2.5 评估结果应形成评估报告,并提出维护、修复或加固建议。

11.3 档案与数据管理

11.3.1 监测数据应及时收集、整理和分析,并建立监测数据库。

11.3.2 应定期编制监测报告,报告内容应包括:

- 监测数据汇总与分析;
- 沉降发展趋势预测;

- 异常情况说明与处理建议；
- 下一阶段监测工作计划。

11.3.3 当监测数据超过预警值时,应按 9.4 的规定启动预警程序。

11.3.4 应建立完整的长期监测档案,档案应包括下列内容:

- 监测计划与实施方案；
- 原始监测记录与计算资料；
- 监测报告与评估报告；
- 异常情况处理记录。

11.3.5 监测档案应长期保存,并实行数字化管理。

全国团体标准信息平台

附录 A

(资料性)

软土工程特性指标参考表

软土工程特性指标参考表见表 A.1。

表 A.1 软土工程特性指标参考表

土类	天然含水量 w %	孔隙比 e	密度 ρ g/cm^3	压缩系数 $a_{(1-2)}$ MPa^{-1}	压缩模量 E_s MPa	快剪强度	十字板强度 Cu kPa	渗透系数 k cm/s
淤泥	60~85	1.5~2.0	1.5~1.8	1.0~2.5	1.0~3.0	5°~8°	5~15	$10^{-7} \sim 10^{-8}$
淤泥质土	40~60	1.0~1.5	1.6~1.9	0.5~1.0	2.0~5.0	8°~12°	15~30	$10^{-6} \sim 10^{-7}$
泥炭质土	100~300	3.0~8.0	1.0~1.4	2.0~5.0	0.5~2.0	3°~6°	3~10	$10^{-5} \sim 10^{-6}$
有机质土	50~100	1.2~2.0	1.4~1.7	0.8~1.8	1.5~4.0	6°~10°	10~25	$10^{-6} \sim 10^{-7}$
冲填土	30~50	0.8~1.2	1.7~2.0	0.3~0.8	3.0~7.0	10°~15°	20~40	$10^{-5} \sim 10^{-6}$

注：本表仅供参考，具体工程以实际试验数据为准。

附 录 B
(规范性)
复合地基静载荷试验要点

B.1 一般规定

B.1.1 本附录适用于复合地基静载荷试验。

B.1.2 试验方法应符合 JGJ 79 的规定。

B.2 试验要求

B.2.1 试验数量应为总桩数的 0.5%~1%,且不应少于 3 点。

B.2.2 加载分级不应少于 8 级。

B.2.3 沉降稳定标准:每小时沉降量不大于 0.1 mm。

B.3 数据处理

B.3.1 应绘制荷载-沉降曲线(Q-s 曲线)。

B.3.2 承载力特征值确定应符合 JGJ 79 的规定。

附 录 C
(资料性)
沉降观测记录表示例

沉降观测记录表见表 C.1。

表 C.1 沉降观测记录表

工程名称: _____ 观测区段: _____ 第 ____ 页/共 ____ 页									
观测日期	观测点编号	本次沉降量 mm	累计沉降量 mm	沉降速率 mm/d	荷载情况	气象条件	观测人	复核人	备注

附 录 D
(资料性)
预警及应急响应表示例

预警及应急响应表见表 D.1、表 D.2。

表 D.1 沉降预警通知单

工程名称: _____ 编号: _____	
预警级别 <input type="checkbox"/> 黄色预警 <input type="checkbox"/> 橙色预警 <input type="checkbox"/> 红色预警	发出时间 年 月 日 时
预警点信息 点号: _____	本次沉降量: _____ mm 累计沉降量: _____ mm
异常情况描述	
建议措施	
发出部门	负责人
接收部门	接收人

表 D.2 预警应急响应记录表

工程名称: _____ 对应预警编号: _____	
响应时间 年 月 日 时	
响应情况	
执行情况	
建议措施	
监测数据变化	
负责人	记录人

中国国际科技促进会
团体标准
软土地基深层加固与沉降控制综合
技术规程

T/CI 1210—2025

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 0.00 字数 00 千字
2026年2月第1版 2026年2月第1次印刷

*

书号:155066·5-20149 定价 00.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CI 1210-2025