

ICS XX.XXX.XX

CCS X XX

DB32

江苏省地方标准

DB 32/XXXX—2024

预制混凝土劲性体复合地基技术规范

Specification of precast concrete rigid body for composite foundations

(征求意见稿)

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

江苏省市场监督管理局 发布

目 次

目 次	I
前 言	II
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	2
5 材料、规格与质量要求	2
6 设计	2
6.1 一般规定	2
6.2 构造	3
6.3 劲性体单桩承载力设计	3
6.4 桩帽及加筋垫层设计	4
6.5 劲性体复合地基设计	6
6.6 劲性体复合地基的整体稳定性验算	7
7 施工	7
7.1 一般规定	7
7.2 运输、起吊和堆放	7
7.3 试桩	8
7.4 静压法沉桩	8
7.5 锤击法沉桩	9
7.6 接桩与截桩	9
7.7 桩帽及加筋垫层施工	10
8 检验和验收	11
8.1 施工过程检验	11
8.2 验收	11
附 录 A (规范性) 劲性体的分类、参数及质量要求	14
A.1 管型劲性体	14
A.2 方形劲性体	15
A.3 劲性体标记	16
A.4 劲性体构造要求	17
A.5 质量要求	17
附 录 B (资料性) 劲性体弯矩计算简易方法	20
B.1 劲性体受力和位移假设	20
B.2 劲性体最大荷载集度与软土层底面弯矩	20
B.3 劲性体桩顶力和软土层底面剪力	22
B.4 劲性体桩身弯矩	22

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。

本文件由江苏省综合交通运输学会提出。

本文件由江苏省交通运输厅归口。

本文件起草单位：XXX，XXX，XXX。

本文件主要起草人：XXX，XXX，XXX。

预制混凝土劲性体复合地基技术规范

1 范围

本文件规定了预制混凝土劲性体复合地基的材料、设计、生产、施工、检验和验收等技术要求。

本文件适用于交通工程中的预制混凝土劲性体复合地基的材料、设计、生产、施工、检验和验收，其他工程建设行业复合地基工程采用预制混凝土劲性体时可参照使用。

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 50007	建筑地基基础设计规范
GB 50164	混凝土质量控制标准
GB 50204	混凝土结构工程施工质量验收规范
GB 50661	钢结构焊接规范
GB/T 700	碳素结构钢
GB/T 3077	合金结构钢
GB/T 13476	先张法预应力混凝土管桩
GB/T 13657	双酚A型环氧树脂
GB/T 50290	土工合成材料应用技术规范
JGJ 94	建筑桩基技术规范
JGJ 106	建筑基桩检测技术规范
JGJ 340	建筑地基检测技术规范
JGJ/T 406	预应力混凝土管桩技术标准
JG/T 197	预应力混凝土空心方桩
JTG D30	公路路基设计规范
JTG F80/1	公路工程质量检测评定标准
JTG/T 3512	公路工程基桩检测技术规范
JTG/T D31-02	公路软土地基路堤设计与施工技术细则
TB 10001	铁路路基设计规范
TB 10035	铁路特殊路基设计规范
TB 10218	铁路工程基桩检测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

预制混凝土劲性体 precast concrete rigid body

复合地基中作为竖向增强体的预制预应力混凝土空心桩，包括管形劲性体和方形劲性体，简称“劲性体”（管形劲性体的代号PST，方形劲性体的代号PTS）。

3.2

预制混凝土劲性体复合地基 precast concrete rigid body composite foundation

由劲性体、桩帽、加筋垫层及其周围土体共同承担荷载的地基，简称“劲性体复合地基”。

3.3

桩帽 pile cap

安装在劲性体顶部，用于分担荷载的板式结构，包括现场浇筑桩帽和预制桩帽。

3.4

加筋垫层 reinforced cushion

在垫层材料中铺设单层或多层水平向加筋材料形成的垫层。

4 基本规定

- 4.1 劲性体预制混凝土劲性体复合地基技术规范可用于加固填土路堤及小型构筑物下的淤泥质土、黏性土、粉土、砂土等土层；高路堤段、桥头或通道与路堤衔接段可优先选用。
- 4.2 劲性体复合地基施工前宜根据工程需要进行试桩和载荷试验，并根据试验结果调整设计参数。
- 4.3 劲性体复合地基应根据工程地质勘察报告、场地环境、荷载、沉降和承载力控制要求等进行设计。
- 4.4 铁路路基工程设计应按照结构的功能要求和设计使用状况采用相应的组合，设计验算采用不同的安全系数。采用总安全系数法设计时，荷载及作用应采用计算值，荷载组合应符合TB 10001的规定；采用极限状态法设计时，荷载及作用应采用设计值，荷载组合应符合相关规定。
- 4.5 铁路路堤与地基的整体稳定性、地基沉降应根据地基特性、处理措施类型及滑动破坏形式等条件，按施工期和运营期分别进行计算分析，稳定安全系数和工后沉降控制标准应符合TB 10035和TB 10001的有关规定。
- 4.6 劲性体应根据地质条件和环境影响程度，选择静压法或者锤击法进行施工，必要时可采用引孔法辅助施工。
- 4.7 劲性体复合地基施工前应进行劲性体产品的进场检验。施工过程中以及施工完成后，应按现行有关标准的规定进行检验和验收。

5 材料、规格与质量要求

- 5.1 管形劲性体生产时的原材料应符合现行国家标准GB/T 13476的相关规定。
- 5.2 方形劲性体生产时的原材料应符合现行行业标准JG/T 197的相关规定。
- 5.3 劲性体的分类、规格及质量要求应符合附录A的规定。
- 5.4 劲性体的连接采用插销式机械连接法时，螺母的钢材宜采用45#，其质量应符合现行国家标准GB/T 700的规定。插杆、扣筒的材质宜采用40Cr，其质量应符合现行国家标准GB/T 3077的规定。密封材料采用环氧树脂时，其质量应符合现行国家标准GB/T 13657的规定。

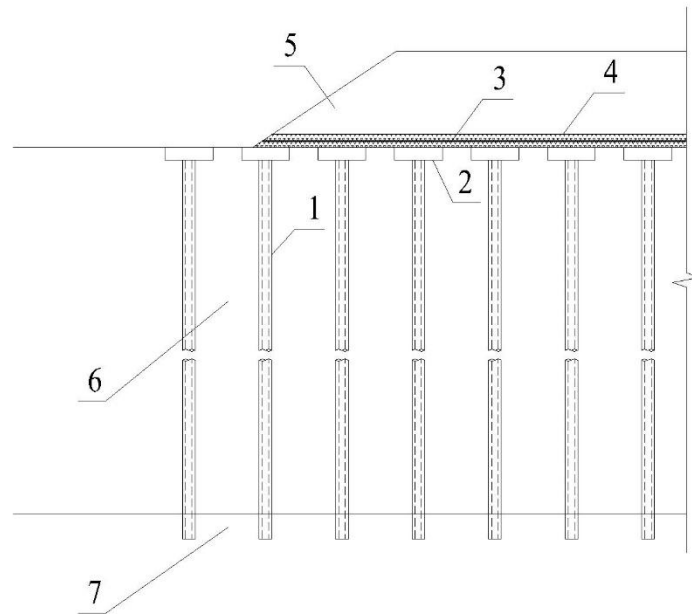
6 设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 劲性体复合地基设计应包括下列内容：
 - a) 劲性体单桩承载力设计计算；
 - b) 复合地基承载力设计；
 - c) 复合地基沉降计算；
 - d) 复合地基软弱下卧层承载力和沉降验算；
 - e) 桩帽抗弯及抗冲切承载力设计；
 - f) 稳定性验算；
- 6.1.2 劲性体桩端宜进入相对硬土层。
- 6.1.3 劲性体复合地基中的劲性体和桩间土在荷载作用下应能共同承担荷载。
- 6.1.4 劲性体桩身混凝土抗压强度等级不宜小于C60。

6.2 构造

6.2.1 劲性体复合地基的构造示意见图1。



- 标引序号说明：
- 1——劲性体；
 - 2——桩帽；
 - 3——加筋材料；
 - 4——加筋垫层；
 - 5——填土路基；
 - 6——软土层；
 - 7——相对硬土层。

图 1 劲性体复合地基的构造示意图

- 6.2.2 劲性体的外径或边长宜取300 mm~600 mm，加固土层厚、软土性质差或上部荷载大时宜取较大值。
- 6.2.3 劲性体桩体连接接头设置应符合下列规定：
- a) 同一水平截面内的接头数量百分率不应大于50%；
 - b) 相邻劲性体的接头位置，竖向错开距离不应小于1 m。
- 6.2.4 小型构筑物下的劲性体复合地基，劲性体顶部宜采用填芯进行封堵，填芯高度不宜小于35倍填芯钢筋直径，填芯混凝土强度等级不宜低于C30。
- 6.2.5 路堤下的劲性体复合地基，劲性体顶部宜安装桩帽，劲性体顶部进入桩帽不宜小于30 mm，且桩帽符合下列要求：
- a) 桩帽面积与单桩有效处理面积之比不宜小于20%；
 - b) 桩帽宜采用预制桩帽，也可采用现浇桩帽，桩帽混凝土强度等级不宜低于C30；
 - c) 桩帽外形可采用圆柱体、台体或倒锥台体；
 - d) 桩帽边长或直径不宜小于1000 mm，厚度不宜小于200 mm。
- 6.2.6 桩帽与路堤填土间应设置加筋垫层，垫层厚度应根据劲性体的间距、劲性体的竖向变形刚度、沉降控制要求等综合确定，宜取300 mm~500 mm。
- 6.2.7 劲性体宜按正方形或正三角形布置，间距应根据地基土性质、复合地基承载力、上部构筑物要求以及施工工艺等确定，宜取5~8倍劲性体外径或边长，且布置范围宜考虑填土路堤稳定性控制的要求。

6.3 劲性体单桩承载力设计

- 6.3.1 劲性体长度应根据承载力、变形及稳定性的要求，通过计算确定。
- 6.3.2 劲性体的单桩竖向抗压极限承载力可通过载荷试验确定，载荷试验应符合现行行业标准JTG/T 3512的相关规定。

6.3.3 作用于单根劲性体桩顶的分担荷载，应根据现行行业标准JTG/T D31-02的相关规定计算。

6.3.4 作用于劲性体单桩顶部的荷载应满足公式（1）要求：

$$F_{\text{cap}} \leq R_a \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- F_{cap} ——作用于劲性体顶部的荷载，单位为千牛（kN）；
- R_a ——劲性体单桩竖向抗压承载力特征值，单位为千牛（kN）。

6.3.5 劲性体的单桩竖向承载力特征值应按公式（2）计算：

$$R_a = Q_{\text{uk}} / K \dots\dots\dots(2)$$

式中：

- R_a ——劲性体单桩竖向抗压承载力特征值，单位为千牛（kN）；
- Q_{uk} ——劲性体单桩竖向极限承载力标准值，单位为千牛（kN）；
- K ——安全系数，取2.0。

6.3.6 劲性体单桩竖向极限承载力标准值可按公式（3）估算：

$$Q_{\text{uk}} = \sum u q_{\text{sik}} l_i + A q_{\text{pk}} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- Q_{uk} ——劲性体单桩竖向极限承载力标准值，单位为千牛（kN）；
- u ——劲性体横截面周长，单位为米（m）；
- q_{sik} ——劲性体桩周第*i*层土的极限侧阻力标准值，单位为千帕（kPa），可由当地静载荷试验结果统计分析得到，或根据场地单桥或双桥探头静力触探试验结果，按现行行业标准JGJ 94取值；
- l_i ——第*i*层土的厚度，单位为米（m）；
- A ——劲性体桩身横截面面积，单位为平方米（m²），当端部敞口时可按现行行业标准JGJ 94考虑土塞的作用；
- q_{pk} ——极限端阻力标准值，单位为千帕（kPa），可由当地静载荷试验结果统计分析得到，或根据场地单桥或双桥探头静力触探试验结果，按现行行业标准JGJ 94取值。

6.3.7 劲性体的桩身正截面受压承载力应满足公式（4）要求：

$$N \leq \Psi_c A f_c \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- N ——相应于荷载效应基本组合时，作用于劲性体顶部的竖向压力设计值，单位为千牛（kN）；
- Ψ_c ——成桩工艺系数，当采用抱压式或锤击式施工时， Ψ_c 取0.70；当采用顶压式施工时， Ψ_c 取0.80；
- A ——劲性体桩身横截面面积，单位为平方米（m²）；
- f_c ——劲性体桩身混凝土轴心抗压强度设计值，单位为牛每平方毫米（N/mm²）。

6.4 桩帽及加筋垫层设计

6.4.1 初步估算台体桩帽的边长时，可按公式（5）进行确定。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。

$$b = (0.4 \sim 0.5) S_a \dots\dots\dots(5)$$

式中：

- b ——台体桩帽边长，单位为米（m），圆柱体桩帽可按照面积相等原则等效为台体桩帽；
- S_a ——劲性体的中心距，单位为米（m）。

6.4.2 桩帽的抗冲切承载力应按公式（6）~（8）验算：

$$V_s / u_m h_0 \leq 0.7 \beta_{\text{hp}} f_t / \eta_0 \dots\dots\dots(6)$$

$$V_s = P_s b^2 - \pi (h_0 \tan 45^\circ + D)^2 P_s / 4 \dots\dots\dots(7)$$

$$u_m = \pi (D + h_0 \tan 45^\circ) \dots\dots\dots(8)$$

式中：

- V_s ——相应于荷载效应基本组合时，作用于桩帽的最大冲切力，单位为千牛（kN）；
- u_m ——桩帽冲切破坏椎体一半有效厚度处的周长，单位为米（m）；
- h_0 ——桩帽的有效厚度，单位为米（m），取桩帽底面至上层钢筋网的距离；
- β_{hp} ——冲切高度影响系数，取1.0；
- f_t ——桩帽混凝土轴心抗拉强度设计值，单位为牛每平方毫米（N/mm²）；
- η_0 ——影响系数，取1.25；

P_s ——相应于荷载效应基本组合时，作用于桩帽上的压力值，单位为千牛（kN）；
 b ——台体桩帽边长，单位为米（m），圆柱体桩帽可按面积相等原则等效为台体桩帽；
 D ——劲性体外径，单位为米（m），方形劲性体可按面积相等原则等效为管型劲性体。

6.4.3 桩帽的受弯承载力应按公式（9）~公式（10）验算：

$$M \leq M_R \dots\dots\dots (9)$$

$$M = \frac{1}{2} P_s D \left(\frac{b-D}{2} \right)^2 + \frac{2}{3} P_s \left(\frac{b-D}{2} \right)^3 \dots\dots\dots (10)$$

式中：

M ——相应于荷载效应基本组合时，作用于桩帽截面的弯矩，单位为千牛米（kN·m）；
 M_R ——桩帽的受弯承载力设计值，单位为千牛米（kN·m）；
 P_s ——相应于荷载效应基本组合时，作用于桩帽上的压力值，单位为千牛（kN）；
 D ——劲性体外径，单位为米（m）；
 b ——台体桩帽边长，单位为米（m），圆柱体桩帽可按面积相等原则等效为台体桩帽。

6.4.4 桩帽配筋设计应按公式（11）验算：

$$A_s \geq \frac{M}{0.9 f_y h_0} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

A_s ——桩帽上部受拉钢筋计算截面面积，单位为平方米（m²）；
 M ——相应于荷载效应基本组合时，作用于桩帽截面的弯矩，单位为千牛米（kN·m）；
 f_y ——受拉钢筋抗拉强度设计值，单位为牛每平方毫米（N/mm²）；
 h_0 ——桩帽的有效厚度，单位为米（m），取桩帽底面至上层钢筋网的距离。

6.4.5 桩帽受力钢筋的最小配筋率不宜小于0.15%，上部的受拉钢筋直径不宜小于8 mm，钢筋间距宜为100 mm~200 mm。

6.4.6 当地层为单一无硬壳层的淤泥质土时，可采取下列措施加强劲性体复合地基的结构横向稳定性：

- a) 适当增加劲性体的长度；
- b) 增强桩顶或桩帽间的联系构造。

6.4.7 加筋垫层设置范围应大于劲性体处理范围，垫层边缘超出最外侧桩帽边缘的宽度宜为200 mm~300 mm。

6.4.8 加筋垫层的填料宜因地制宜的采用级配良好的砂砾石、碎石或再生材料等。

6.4.9 加筋材料应具有抗拉强度高、切线模量高、非脆性、耐久性良好、抗老化、抗腐蚀等工程性质，宜为土工格栅、高强土工布、土工格室等。

6.4.10 加筋材料的最大拉应力可按公式（12）~公式（14）计算，并应满足公式（15）的要求。

$$T_{\max} = \frac{W_T (S_a - b)}{2b} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon_g}} \dots\dots\dots (12)$$

$$T_{\max} = \varepsilon_g E_g \dots\dots\dots (13)$$

$$W_T = \frac{\gamma S_a^2 H (1 - R_p) S_a}{S_a^2 - b^2} \dots\dots\dots (14)$$

$$T_{\max} \leq T_a \dots\dots\dots (15)$$

式中：

T_{\max} ——加筋材料的最大拉应力，单位为千牛每米（kN/m）；
 W_T ——桩间土上的荷载，单位为千牛每米（kN/m）；
 S_a ——劲性体的中心距，单位为米（m）；
 b ——台体桩帽边长，单位为米（m），圆柱体桩帽可按面积相等原则等效为台体桩帽；
 ε_g ——加筋材料的应变；
 E_g ——加筋材料的线刚度，单位为千牛每米（kN/m）；
 γ ——路堤填料的重度，单位为千牛每立方米（kN/m³）；
 H ——路堤高度，单位为米（m）；
 R_p ——劲性体的桩体荷载分担比，可按现行行业标准JTG/T D31-02的相关规定计算；
 T_a ——加筋材料的设计抗拉强度，单位为千牛每米（kN/m）。

6.4.11 加筋材料宜布置1~2层，并应覆盖所有桩帽。当布置2层筋材时，最下层加筋材料与桩帽顶部的距离宜为200 mm~300 mm，上部筋材的作用应折减后按0.6倍取用，两层加筋材的间距宜为100 mm~300 mm。

6.4.12 当加筋材料反包时，最小反包长度不宜小于2.0 m。

6.5 劲性体复合地基设计

6.5.1 劲性体复合地基承载力应按公式（16）计算：

$$f_{\text{spk}} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{\text{sk}} \quad \text{.....(16)}$$

式中：

f_{spk} ——劲性体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，宜按地区经验取值，如无经验时可取0.7~0.9；

m ——桩土面积置换率；

R_a ——单桩竖向承载力特征值，单位为千牛（kN）；

A_p ——包括桩芯土在内的劲性体横截面面积，单位为平方米（m²）；

β ——桩间土承载力折减系数，宜按地区经验取值，如无经验时可取0.8~1.0，桩间土天然地基承载力较高时宜取大值；

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，如无经验时可取天然地基承载力特征值。

桩土面积置换率，应按公式（17）计算：

$$m = D^2 / D_e^2 \quad \text{.....(17)}$$

式中：

m ——桩土面积置换率；

D ——劲性体外径，单位为米（m）；

D_e ——一根劲性体分担的处理地基面积的等效圆直径，单位为米（m），按等边三角形布桩时， D_e 可按1.05 S_a 取值；按正方形布桩时， D_e 可按1.13 S_a 取值。

6.5.2 公路工程中的劲性体复合地基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。

$$S = \psi_p \sum_{j=1}^{m_s} \sum_{i=1}^{n_j} \frac{\sigma_{j,i} \Delta h_{j,i}}{E_{s,j,i}} \quad \text{.....(18)}$$

式中：

S ——最终沉降量，单位为米（m）；

ψ_p ——劲性体桩基沉降计算经验系数，根据地区沉降观测资料及经验确定，缺少沉降观测资料及经验数据时，可按JTG 3363的相关条文计算确定；

m_s ——劲性体桩端平面以下压缩层内土层分层数；

n_j ——劲性体桩端平面下第 j 层土的计算分层数；

$\sigma_{j,i}$ ——劲性体桩端平面下第 j 层土第 i 个分层的竖向附加应力，单位为千帕（kPa），可按现行国家标准GB 50007附录R计算；

$\Delta h_{j,i}$ ——劲性体桩端平面下第 j 层土第 i 个分层的厚度，单位为米（m）；

$E_{s,j,i}$ ——劲性体桩端平面下第 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，单位为兆帕（MPa）。

6.5.3 铁路工程的基地沉降应分别计算加固区沉降和下卧层沉降。采用劲性体复合地基加固区沉降宜按承载力比法，下卧层宜按Boussinesq法、应力扩散法、L/3法等计算。采用劲性体桩网（筏）、桩板结构地基下卧层沉降宜按等效实体法、L/3法计算。

6.5.4 铁路工程中的劲性体复合地基总沉降量可按公式（19）计算确定。

$$S = m_{\text{Js}} S_1 + m_{\text{Xs}} S_2 \quad \text{.....(19)}$$

式中：

S ——最终沉降量，单位为米（m）；

m_{Js} ——加固区沉降经验修正系数；

S_1 ——加固区沉降计算值，单位为米（m）；

m_{Xs} ——下卧层沉降经验修正系数；

S_2 ——下卧层沉降计算值，单位为米（m）。

6.5.5 铁路工程的地基沉降计算应符合下列规定：

- a) 高速铁路、无砟轨道铁路地基压缩层的计算深度按附加应力等于0.1倍的自重应力确定，其他铁路地基压缩层的计算深度按附加应力等于0.2倍的自重应力确定。
- b) 计算深度以下仍有软土层时，应继续增加计算深度。
- c) 双线路基沉降计算时，轨道荷载可按双线设计，列车荷载宜按单线设计。

6.6 劲性体复合地基的整体稳定性验算

6.6.1 公路工程中采用劲性体复合地基时，路堤与地基的整体稳定性验算应符合下列规定：

- a) 路堤和地基的整体稳定性验算可采用圆弧滑动法验算，滑动面上的抗剪强度采用桩土复合抗剪强度，按公式（20）计算。其中劲性体桩身抗剪强度可取28d无侧限抗压强度的1/2；

$$\tau_{ps} = m\tau_p + (1-m)\tau_s \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

- τ_{ps} ——复合地基抗剪强度，单位为千帕（kPa）；
 m ——桩土面积置换率；
 τ_p ——劲性体桩身抗剪强度，单位为千帕（kPa）；
 τ_s ——地基土抗剪强度，单位为千帕（kPa）。

- b) 验算时应按施工期和运营期的荷载分别计算稳定系数。施工期的荷载只考虑路堤自重，运营期的荷载应包括路堤自重、路面的增重及行车荷载。

6.6.2 铁路工程中采用劲性体复合地基时，路堤与地基的整体稳定性验算应符合下列规定：

- a) 劲性体复合地基及路堤较高、软土特性或环境敏感等条件复杂地段，宜根据复合地基可能的破坏模式，采用适宜的方法或结合数值法分析；
- b) 采用圆弧法分析时，应充分考虑软土特性、桩土模量比等影响因素，合理确定桩土荷载分担形式及作用效应，计算滑面作用力。必要时，宜计算劲性体的水平向承载力，验算桩的横向稳定性；
- c) 采用劲性体桩网（筏）、桩板结构处理时，应按桩承式路堤刚性桩结构进行稳定性分析验算，单桩竖向承载力应不小于其承担的竖向荷载。

6.6.3 劲性体复合地基中的劲性体桩身弯矩宜采用数值法分析，也可按附录B简易方法计算确定，桩身弯矩不应大于其极限承载能力。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 劲性体进场时应具备产品合格证，施工前应制定专项施工方案。

7.1.2 劲性体应根据场地地层条件和环境影响程度选择静压或锤击法施工。

7.1.3 劲性体施工顺序宜根据场地地质条件及周边建（构）筑物等环境因素确定。宜由路基中间向两侧施工，由毗邻既有结构物处向另一方施工，由既有沟渠向远处施工。根据劲性体的设计桩端埋深，宜先深后浅。根据劲性体的规格，宜先大直径后小直径。

7.2 运输、起吊和堆放

7.2.1 劲性体的吊运应符合下列规定：

- a) 在吊运过程中应轻起轻放，不应抛掷、滚落、磕碰；
- b) 劲性体长度小于15 m时，宜采用两点起吊（图2）；也可采用专用吊钩钩住劲性体两端内壁进行水平起吊，吊绳与劲性体夹角应大于45°；

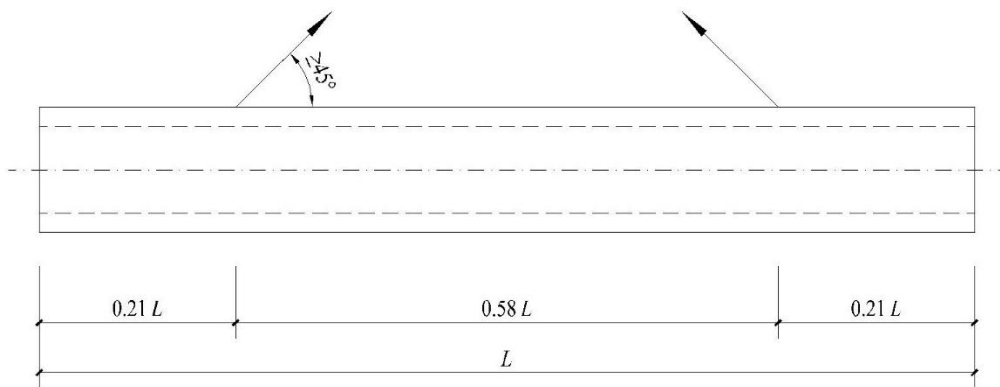


图 2 15 m以下刚性体吊点位置

- c) 运输过程中的支承点位置宜按图3所示的两支点位置；
- d) 放置于运输车辆上时应绑扎牢固。

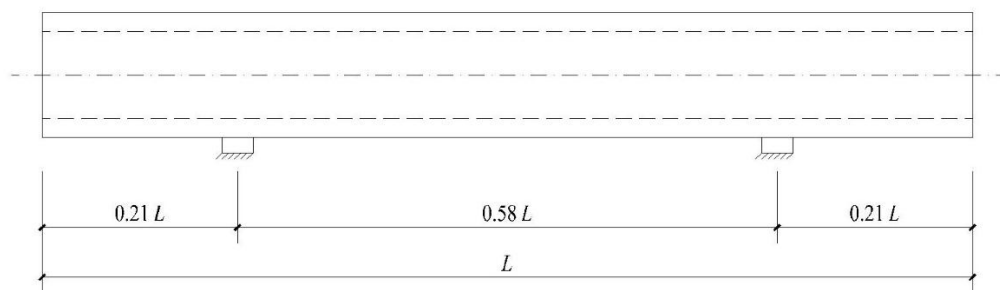


图 3 两支点位置示意图

7.2.2 刚性体现场堆放、移桩和取桩应符合下列规定：

- a) 堆放场地应平整坚实、排水通畅；
- b) 应按不同规格、长度及施工流程分类堆放；
- c) 场地条件许可时宜单层堆放，叠层堆放时不宜超过2层，确需堆放超过2层时，应设置专用的堆放架；
- d) 叠层堆放时，最下层应在垂直刚性体长度方向且距桩节端部0.21L处设置2道垫木，最外缘刚性体的垫木处应用木楔塞紧；
- e) 应采用吊机起吊取桩，不应拖拉取桩。

7.3 试桩

7.3.1 刚性体复合地基的工程桩施工前应选择典型地质条件进行不少于3根的试沉桩，以核对地质资料的正确性、检验沉桩机械选用的合理性，并确定沉桩控制参数及停止沉桩的标准。

7.3.2 刚性体试沉桩应符合下列规定：

- a) 试沉桩的刚性体规格型号、长度及地质条件应与工程桩一致；
- b) 试沉桩点应选在地质勘探孔附近；
- c) 试沉桩的施工机械条件应与工程桩一致；
- d) 试沉桩后用载荷试验进行单桩承载力测试，有条件时载荷试验宜加载至刚性体的单桩竖向抗压极限承载力。

7.4 静压法沉桩

7.4.1 采用静压法沉桩时，场地地面承载力不应小于压桩机接地压强的1.2倍，且场地应平整。

7.4.2 静压法沉桩宜选择顶压式液压压桩机或抱压式液压压桩机。

7.4.3 选择压桩机的参数应包括下列内容：

- a) 压桩机型号、最大压桩力、外型及拖运尺寸；
 - b) 压桩机的最小边桩距、长、短船型履靴的尺寸和接地压强；
 - c) 夹持机构的型式、液压油缸的数量、直径、电机总功率及压力值换算关系；
 - d) 吊桩机构的类型及吊桩能力。
- 7.4.4 选用的压桩机的最大压桩力应取机架重量和配重之和乘以0.8。
- 7.4.5 劲性体压桩时宜将每根桩一次性连续压到底，接桩、送桩连续进行。同时还应符合下列规定：
- a) 第一节桩下压时垂直度偏差不大于0.5%；
 - b) 抱压力不应大于桩身允许侧向压力；
 - c) 压桩时应严格监控桩位偏移及桩身垂直度，当桩端进入硬土层后，不准许用移动机架等方法强行纠偏。
- 7.4.6 终压条件宜以桩顶标高控制为主，终压力控制为辅。
- 7.4.7 出现下列情况之一时，应暂停压桩作业，并分析原因，采取相应措施：
- a) 油压表值与试桩参数及现场勘察参数不符；
 - b) 沉桩深度已达设计值，但油压表值未达到设计要求；
 - c) 桩身突然倾斜、移位、夹持机构打滑；
 - d) 压桩机械工作状态出现异常；
 - e) 桩身出现纵向裂缝或桩头混凝土出现剥落等异常现象；
 - f) 地面明显隆起、邻桩上浮或位移过大。
- 7.4.8 桩位及桩距的允许偏差应符合表5的规定。

7.5 锤击法沉桩

- 7.5.1 锤击法沉桩前，应处理空中及地下障碍物，并平整、压实地面，且场地地面承载力不应小于桩机整体接地压强的1.5倍。
- 7.5.2 桩锤的选用应根据现场地质条件、桩型、桩长、桩的密集程度、桩端土特性、设计单桩竖向承载力及现有施工条件等因素综合确定。
- 7.5.3 劲性体打入时应符合下列规定：
- a) 桩端帽或送桩帽与桩周围的间隙应为5 mm~10 mm；
 - b) 锤与桩帽套筒、桩帽套筒与桩之间应加设硬木、尼龙板、棕绳等弹性衬垫；
 - c) 桩锤、桩端帽或送桩帽和桩身应在同一中心线上；
 - d) 劲性体插入时的垂直度偏差不应超过0.5%。
- 7.5.4 终锤控制应符合下列规定：
- a) 当桩端位于一般土层时，应以控制桩端设计标高为主，贯入度为辅；
 - b) 桩端达到坚硬、硬塑的黏性土、中密以上粉土、砂土时，应以贯入度控制为主，桩端标高为辅；
 - c) 贯入度已达到设计要求而桩顶标高未达到时，应继续锤击3阵，并按每阵10击的贯入度不大于设计规定的数值确认，必要时应通过试验确定贯入度控制标准。
- 7.5.5 最大锤击数应根据实际现场情况及施工经验确定。
- 7.5.6 遇下列情况，应暂停施打，分析原因并采取相应措施：
- a) 贯入度突变；
 - b) 桩头混凝土剥落、破碎；
 - c) 桩身突然倾斜、移位；
 - d) 邻桩上浮或位移过大；
- 7.5.7 锤击法沉桩的桩位和桩距允许偏差应符合表5的规定。

7.6 接桩与截桩

- 7.6.1 劲性体的连接可采用端板焊接法或插销式机械连接法。
- 7.6.2 劲性体的连接采用端板焊接法时，应符合下列规定：
- a) 焊接宜采用二氧化碳气体保护焊焊接，宜采用活动防风罩进行保护施焊，雨天焊接时应采取可靠的防雨措施；
 - b) 下节桩的桩头处宜设导向箍，接桩时上下节桩段应保持顺直，错位偏差不宜大于5 mm，节点弯

曲矢高不应大于桩长的1/1000，就位纠偏时不准许采用大锤横向敲打；

- c) 上、下节桩接头端板坡口应用钢丝刷清刷干净并保持干燥，焊接处应刷至露出金属光泽；
- d) 焊接层数不应少于2层，第一层焊完后应将焊渣清理干净，方可进行第二层施焊，焊缝应连续、饱满；
- e) 焊接接头应自然冷却完成后方可继续施工，自然冷却时间不宜少于8 min，不准许采用水冷却或焊完立即施工。

7.6.3 焊缝质量应符合表1的规定：

表 1 焊缝质量要求

序号	检查项目	允许值
1	上下节端部错位	≤ 2.0 mm
2	焊缝咬边深度	≤ 0.5 mm
3	焊缝加强层高	0~2.0 mm
4	焊缝加强层宽	0~2.0 mm
5	外观焊缝电焊质量	无气孔、无焊瘤、无裂缝

7.6.4 劲性体的连接采用插销式机械连接法时，宜符合下列规定：

- a) 连接前检查劲性体两端制作的尺寸偏差及连接件，无损伤后方可起吊施工。劲性体入土部分桩段的桩头宜高出地面1.0 m；
- b) 下节劲性体安装弹簧、扣筒、中间螺母等配件后，应采用水平靠尺检查中间螺母的平整度，并应符合设计要求；
- c) 上节劲性体安装插杆等配件后，应采用与劲性体等直径或等边长的垫板整体平靠在插杆的头部，插杆的头部均需与垫板接触；
- d) 下节劲性体的端面应均匀涂抹环氧树脂等密封材料，材料的初凝时间不应超过6 h，终凝时间不应超过12 h，涂抹时间不宜超过3 min。当施工温度低于10℃时，应采取加热措施对密封材料进行加热，加热温度宜为25℃~30℃。涂抹密封材料的总时间不宜大于2 min；采用环氧树脂时，其质量应符合现行国家标准GB/T 13657的规定。
- e) 上下节劲性体对准3个以上孔位时缓慢插入，严禁碰撞，完全连接后方可继续沉桩。

7.6.5 桩过程中接桩点的位置宜考虑较难穿透的土层的深度，选择合理的劲性体长度，避免在较难穿越的土层中进行接桩。

7.6.6 劲性体沉桩，在满足桩长的情况下，宜减少接桩数量。

7.6.7 截桩应符合下列规定：

- a) 截桩前应清理桩头周围土方，用水准仪确定桩顶标高并做好标记；
- b) 应采用锯桩器截桩，切割时应一次性将劲性体外壁切透，不准许用大锤横向敲击或强行扳拉截桩。

7.7 桩帽及加筋垫层施工

7.7.1 桩帽基槽开挖时宜先采用小型挖机开挖至基槽底面以上20 cm，然后采用人工开挖和修整，不应超挖，不应扰动基底土和桩间土。桩头四周及端板应清理干净，基底土应压密或采用碎石垫层找平。

7.7.2 劲性体复合地基桩帽根据场地条件，可选择现浇或预制桩帽施工。

7.7.3 现浇桩帽施工应符合下列规定：

- a) 应按设计桩帽尺寸立模，并使桩帽中心与劲性体中心重合；
- b) 桩帽模板安装应稳固牢靠，接缝应封堵严密，不应漏浆；
- c) 桩帽混凝土宜与桩孔填芯混凝土一并浇筑，填芯混凝土浇筑前应将桩孔内壁浮浆清除干净。
- d) 拆模后，桩帽之间应采用砂土、石屑等填实。

7.7.4 预制桩帽施工应符合下列规定：

- a) 预制桩帽尺寸及配筋应符合设计要求；
- b) 预制桩帽安装时应保证桩帽中心与劲性体中心对齐；
- c) 预制桩帽安装时，桩帽与底部土体之间应紧密贴合，严禁脱空，桩帽与周边土体之间应采用砂

土、石屑等填实。

7.7.5 加筋垫层的加筋材料布筋位置和高程应符合设计要求，筋材在堤宽方向应避免接缝。

7.7.6 加筋垫层的填料铺摊厚度，对机械压实处宜为250 mm，人工夯实处宜为150 mm。压实含水率宜控制为最优含水率 $\pm 2\%$ ，压实度不宜小于95%。

7.7.7 施工时，碾压机离筋材的垂直距离不宜小于150 mm，碾压机械宜直行。

8 检验和验收

8.1 施工过程检验

8.1.1 施工过程检验应符合下列要求：

- 劲性体的桩长、接头质量、收锤或终压标准应满足现行行业标准JGJ/T 406的相关规定及设计要求；
- 桩帽的混凝土强度、钢筋配置应满足设计要求；
- 加筋材料应按设计和施工要求铺设、张拉与固定。

8.1.2 劲性体施工过程检验实测项目应符合表2的规定：

表 2 劲性体施工过程检验实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
1	焊材质量	满足设计要求	查产品合格证	每批焊材抽查5组
2	焊缝质量	见表1	见表1	抽查2%且不少于5点
3	收锤或终压标准	满足设计要求	查沉桩记录	全部

8.1.3 桩帽施工过程检验实测项目应符合表3的规定：

表 3 桩帽施工过程检验实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
1	混凝土强度	满足设计要求	混凝土试件	每工点不少于1组
2	主筋间距	± 15 mm	丈量	每工点不少于9点
3	箍筋间距	± 20 mm	丈量	
4	保护层厚度	+10 mm, -5 mm	丈量	

8.1.4 加筋垫层施工过程检验实测项目应符合表4的规定：

表 4 加筋垫层施工过程检验实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
1	加筋材料搭接长度	不小于设计值	丈量	抽查2%
2	垫层下路堤填土平整度、拱度	满足设计要求	丈量	每200 m检查4处
3	加筋材料搭接缝错开距离	满足设计要求	丈量	抽查2%
4	加筋材料锚固长度	满足设计要求	丈量	

8.2 验收

8.2.1 劲性体复合地基验收应符合下列要求：

- 劲性体施工后应具有良好的桩身完整性；
- 劲性体单桩竖向抗压承载力的检测结果应满足设计要求；
- 桩帽的尺寸与位置应满足设计要求；
- 加筋垫层的厚度、宽度及夯填度应满足设计要求。

8.2.2 劲性体施工后检验实测项目应符合表5的规定。

表 5 劲性体施工后检验实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
1	桩长	满足设计要求	查施工记录并结合孔内吊锤法 (采用封闭桩尖时)	检查全部施工记录并用 孔内吊锤法抽查5%
2	单桩承载力	不小于设计值	静载荷试验	总桩数的0.2%~0.5%， 且不少于3根
3	桩位	±100 mm	全站仪或用钢尺量	抽查2%且不少于5点
4	桩距	±100 mm	用钢尺量	
5	桩顶标高	±50 mm	水准仪测量	
注：当有可靠的动静对比试验资料或成熟的地区经验时，可也采用高应变法进行单桩承载力的辅助检验。				

8.2.3 桩帽施工后检验实测项目应符合表6的规定。

表 6 桩帽施工后检验实测项目

单位为毫米

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
1	高度	+20, -10	尺量	抽查2%且不少于5点
2	宽度或直径	+30, -20		
3	桩帽中心与桩中心偏差	50		

8.2.4 加筋垫层施工后检验实测项目应符合表7的规定。

表 7 加筋垫层施工后检验实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
1	垫层厚度	不小于设计值	尺量	每200 m测2点且每工点不少于5点
3	垫层宽度			
2	垫层夯填度	不大于0.90		每200 m每压实层测2处

8.2.5 公路工程中，采用静载试验检测劲性体单桩竖向抗压承载力时，应参照现行行业标准JTG/T 3512的有关规定。

8.2.6 水运工程中，采用静载试验检测劲性体单桩竖向抗压承载力时，应参照现行行业标准JGJ 106的有关规定。

8.2.7 铁路工程中，采用静载试验检测劲性体单桩竖向抗压承载力时，应参照现行行业标准TB 10218的有关规定。

8.2.8 采用载荷试验检测劲性体复合地基承载力时，应参照现行行业标准JGJ 340的有关规定。

8.2.9 验收时应具备以下资料：

- a) 工程地质勘察报告、施工图等设计文件、图纸会审记录、设计变更资料；
- b) 经批准的施工组织设计或施工方案；
- c) 桩位测量放线图、包括工程基线复核签证单；
- d) 劲性体的出厂合格证、产品说明书、进场验收检查记录；
- e) 加筋材料、水泥、钢筋、预应力钢棒、端板、焊材等材料的合格证及质检报告；
- f) 劲性体混凝土强度检测报告；
- g) 施工记录汇总、桩位编号图；
- h) 成桩工艺试验记录；
- i) 接桩隐蔽验收记录；
- j) 桩顶标高、桩顶平面位置检测结果；
- k) 工程竣工图；
- l) 劲性体单桩承载力检测报告，劲性体复合地基承载力检测报告；
- m) 发生质量事故时的处理记录；

- n) 施工技术措施记录，包括桩孔填芯深度及插筋数量、桩帽配筋数量等；
- o) 其他必要的文件和记录。

附 录 A

(规范性)

劲性体的分类、参数及质量要求

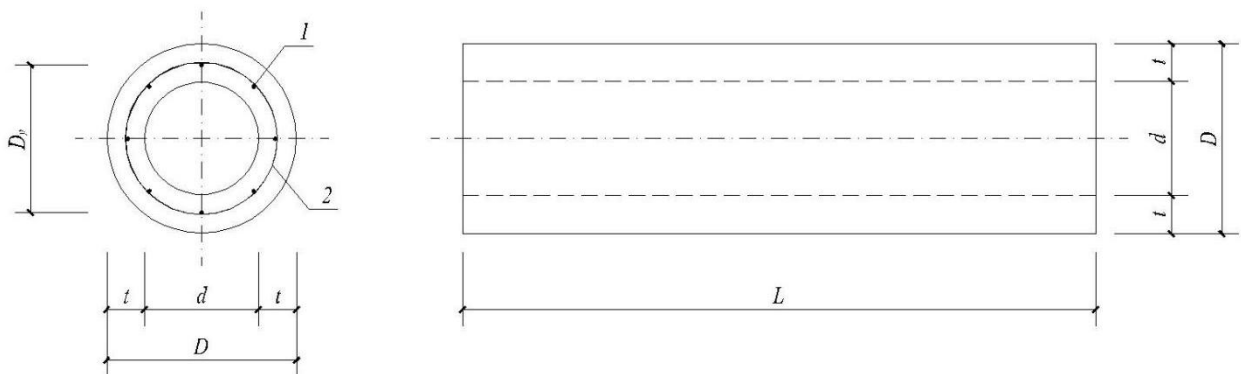
A.1 管型劲性体

A.1.1 规格和型号

管型劲性体按外径分为300 mm、400 mm、500 mm等规格。根据主筋配置的不同，每种混凝土强度等级的劲性体可分为I型、II型、III型和IV型。

A.1.2 结构形状

管型劲性体的结构形状和基本几何尺寸分别如图A.1和表A.1、表A.2。



标引序号说明：

t ——壁厚；

D ——外径；

d ——内径；

D_p ——预应力主筋所在圆的直径；

L ——长度；

l ——预应力主筋；

2——螺旋箍筋。

图 A.1 管形劲性体的结构形状

A.1.3 混凝土强度等级为C60的管形劲性体其配筋和基本参数见表A.1。

表 A.1 C60管形劲性体的配筋及基本参数

外径 D mm	壁厚 t mm	型号	配筋数量 及直径	允许单节 长度 L m	预应力主筋所在 圆周直径 D_p mm	混凝土有效 预应力值 σ_{cc} MPa	开裂弯矩 M_{cr} kN·m	竖向抗压承载力 设计值 R_p kN
300	60	I型	6 Φ 7.1	≤ 10	240	4.59	24	871
		II型	7 Φ 7.1	≤ 11		5.29	25	
		III型	6 Φ 9.0	≤ 12		7.00	30	
400	60	I型	6 Φ 7.1	≤ 12	340	3.32	43	1234
		II型	6 Φ 9.0	≤ 13		5.13	52	
		III型	8 Φ 9.0	≤ 14		6.64	60	
400	80	I型	6 Φ 7.1	≤ 11	340	2.65	49	1548
		II型	6 Φ 9.0	≤ 12		4.14	60	
		III型	8 Φ 9.0	≤ 13		5.39	69	
		IV型	7 Φ 10.7	≤ 14		6.52	76	

500	65	I型	9Φ7.1	≤13	440	3.58	79	1710
		II型	10Φ7.1	≤14		3.95	82	
		III型	12Φ7.1	≤15		4.67	89	
500	80	I型	9Φ7.1	≤12	440	3.01	89	2032
		II型	10Φ7.1	≤13		3.33	92	
		III型	12Φ7.1	≤14		3.95	100	
注：上述劲性体的配筋和壁厚等参数可根据设计要求进行适当调整，相应的力学性能参数应重新计算。								

A. 1. 4 混凝土强度等级为C80的管形劲性体其配筋和基本参数见表A.2。

表 A. 2 C80管形劲性体的配筋及基本参数

外径 D mm	壁厚 t mm	型号	配筋数量 及直径	允许单节 长度 L m	预应力主筋所在 圆周直径 D_p mm	混凝土有效 预应力值 σ_{ce} MPa	开裂弯矩 M_{cr} kN·m	竖向抗压承载力 设计值 R_p kN
300	60	I型	6Φ7.1	≤10	240	4.61	25	1137
		II型	7Φ7.1	≤11		5.30	27	
		III型	6Φ9.0	≤12		7.03	31	
400	60	I型	6Φ7.1	≤12	340	3.33	46	1611
		II型	6Φ9.0	≤13		5.15	53	
		III型	8Φ9.0	≤14		6.67	61	
		IV型	7Φ10.7	≤15		7.99	68	
400	80	I型	6Φ7.1	≤11	340	2.68	53	2021
		II型	6Φ9.0	≤12		4.18	61	
		III型	8Φ9.0	≤13		5.44	70	
		IV型	7Φ10.7	≤14		6.55	78	
500	65	I型	9Φ7.1	≤13	440	3.58	83	2232
		II型	10Φ7.1	≤14		3.96	86	
		III型	12Φ7.1	≤15		4.68	93	
500	80	I型	9Φ7.1	≤12	440	3.05	91	2653
		II型	10Φ7.1	≤13		3.37	95	
		III型	12Φ7.1	≤14		3.99	102	
注：上述劲性体的配筋和壁厚等参数可根据设计要求进行适当调整，相应的力学性能参数应重新计算。								

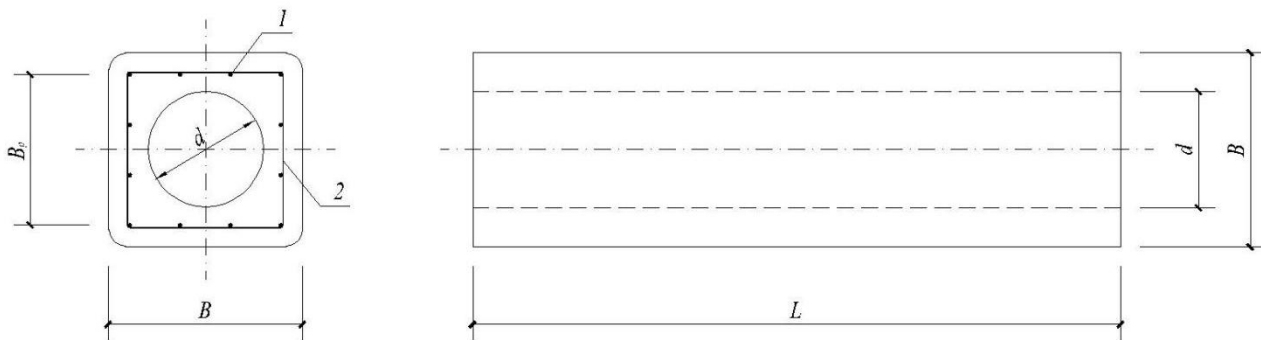
A. 2 方形劲性体

A. 2. 1 规格和型号

方形劲性体按边长分为300 mm、350 mm、400 mm、450 mm、500 mm等规格。根据主筋配制的不同分为I型和II型。

A. 2. 2 结构形状

方形劲性体的结构形状和基本几何尺寸分别如图A.2和表A.3。



标引序号说明：
 B——边长；
 d——内径；
 B_p——预应力主筋分布边长；
 L——长度；
 1——预应力主筋；
 2——螺旋箍筋。

图 A.2 方形劲性体的结构形状

A.2.3 混凝土强度等级为C80的方形劲性体其配筋和基本参数见表A.3。

表 A.3 C80方形劲性体的配筋及基本参数

边长B mm	内径d mm	型号	配筋数量 及直径	允许单节 长度L m	预应力主筋分布 边长 B _p mm	混凝土有效 预应力值σ _{ce} MPa	开裂弯矩M _{cr} kN·m	竖向抗压承载力 设计值R _p kN
300	180	I型	8Φ7.1	≤13	240	4.51	37	1506
		II型	8Φ9.0			6.60	46	
350	230	I型	8Φ7.1	≤14	290	3.47	50	1889
		II型	8Φ9.0			5.38	63	
400	280	I型	8Φ7.1	≤15	340	2.88	66	2297
		II型	8Φ9.0			4.50	81	
450	310	I型	12Φ7.1	≤15	380	3.33	101	2964
		II型	12Φ9.0			5.17	127	
500	360	I型	12Φ7.1	≤15	430	2.87	126	3459
		II型	12Φ9.0			4.48	156	

注：上述劲性体的配筋和内径等参数可根据设计要求进行适当调整，相应的力学性能参数应重新计算。

A.3 劲性体标记

每节劲性体均应按外径、壁厚、配筋形式、长度、混凝土强度等级进行标记，标记应位于距端部1000mm~1500mm处的劲性体外表面。

管形劲性体和方形劲性体的标记图分别见图A.3和图A.4。

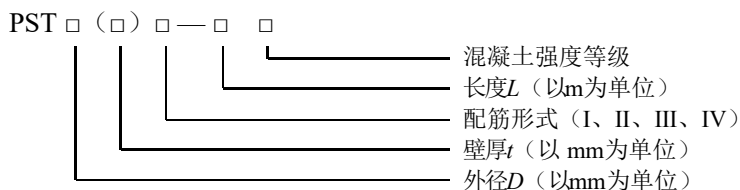


图 A.3 管形劲性体的标记图

示例：外径 400 mm、壁厚 60 mm、II型配筋、长度 12 m、混凝土强度等级为C60的管形劲性体的标记为：PST 400 (60)

II-12 C60。

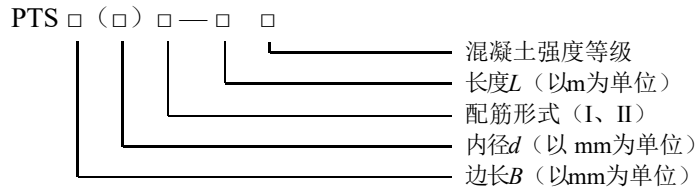


图 A.4 方形劲性体的标记图

示例：边长400 mm、内径280 mm、II型配筋、长度 12 m、混凝土强度等级为C80的方形劲性体的标记为：PTS 400 (280) II-12 C80。

A.4 劲性体构造要求

A.4.1 劲性体钢筋骨架应符合下列规定：

- 预应力钢筋应沿其横截面圆周均匀布置，根据长度调节且不应少于5根，间距允许偏差为 ± 10 mm；
- 直径400 mm及以下的管形劲性体螺旋筋的公称直径不应小于3 mm，直径400 mm以上的管形劲性体螺旋筋的公称直径不应小于4 mm；边长400 mm及以下的方形劲性体螺旋筋的公称直径不应小于4 mm，边长400 mm以上的方形劲性体螺旋筋的公称直径不应小于5 mm；
- 劲性体螺旋筋加密区长度不应小于4倍外径且不小于1000 mm，加密区间距不应大于50 mm，非加密区间距不应大于200 mm。

A.4.2 劲性体预应力筋混凝土保护层厚度应符合下列要求：

- 劲性体的钢筋保护层厚度不小于25 mm；
- 用于特殊环境下（对桩身防腐、抗渗有特殊要求的环境）的劲性体，保护层厚度应符合现行行业标准JGJ/T 406的要求。

A.4.3 端板焊接接头的构造应符合下列规定：

- 管形劲性体端板应符合现行国家标准GB/T 13476的相关规定；方形劲性体端板应符合现行行业标准JG/T 197的相关规定；
- 接头的端面应与桩身的轴线垂直，管形劲性体允许偏差应为 $\pm 0.5\%D$ ，方形劲性体允许偏差应为 $\pm 0.5\%B$ 。

A.5 质量要求

A.5.1 劲性体的质量检验分为出厂检验、型式检验和施工前检验。

A.5.2 管形劲性体出厂检验的批量和抽样应符合现行国家标准GB/T 13476的相关规定。方形劲性体出厂检验的批量和抽样应符合现行行业标准JG/T 197的相关规定。

A.5.3 管形劲性体出厂检验时，混凝土强度检验评定应符合现行国家标准GB/T 13476的相关规定。方形劲性体出厂检验时，混凝土强度检验评定应符合现行行业标准JG/T 197的相关规定。

A.5.4 劲性体的外观质量应符合表A.4的规定。

表 A.4 劲性体的外观质量要求

序号	项目	外观质量要求
1	粘皮和麻面	局部粘皮和麻面累计面积不大于桩总外表面积的0.5%；每处粘皮和麻面的深度不大于5 mm，且应修补
2	合缝漏浆	漏浆深度不大于5 mm，每处漏浆长度不大于300 mm，累计长度不大于总长度的10%，或对称漏浆的搭接长度不大于100 mm，且应修补
3	局部磕损	磕损深度不大于5 mm，每处面积不大于50 cm ² ，且应修补
4	内外表面露筋	不允许
5	表面裂缝	不应出现环向和纵向裂缝，但龟裂、水纹和内壁浮浆层中的收缩裂纹不在此限
6	端面平整度	劲性体端面平整度和预应力钢筋墩头不应高出端板平面

7	断筋/脱头		不允许
8	桩套箍凹陷		凹陷深度不应大于10 mm
9	内表面混凝土塌落		不允许
10	接头和桩套箍与桩身结合面	漏浆	漏浆深度不大于5 mm，每处漏浆长度不应大于周长的1/6，且应修补
		孔洞和蜂窝	不允许

A. 5. 5 劲性体的尺寸允许偏差应符合表A.5和表A.6的规定。

表 A. 5 管形劲性体的尺寸允许偏差

序号	项目		允许偏差
1	长度 L		$\pm 0.5\%L$
2	端部倾斜		$\leq 0.5\%D$
3	外径 D		+5 mm -2 mm
4	壁厚 t		+20 mm 0
5	保护层厚度		+5 mm 0
6	弯曲度		$\leq L/1000$
7	桩端板	外侧平面度	≤ 0.5 mm
		外径	0 -1 mm
		内径	0 -2 mm
		厚度	正偏差不限 0

表 A. 6 方形劲性体的尺寸允许偏差

序号	项目		允许偏差
1	长度 L		$\pm 0.5\%L$
2	端部倾斜		$\leq 0.5\%B$
3	边长 B		+5 mm -2 mm
4	内径 d		0 mm -40 mm
5	保护层厚度		+5 mm 0
6	弯曲度 $L \leq 15$ m		$\leq L/1000$
7	桩端板	外侧平面度	≤ 0.6 mm
		边长	-3 mm -1 mm
		内径	± 2 mm
		厚度	正偏差不限 -0.3 mm

A. 5. 6 管形劲性体的型式检验应符合现行国家标准GB/T 13476的相关规定。方形劲性体的型式检验应符合现行行业标准JG/T 197的相关规定。

A. 5. 7 劲性体的施工前检验应符合下列要求：

- 各种原材料以及半成品、成品的品种、规格、质量除应符合现行行业标准JGJ/T 406的相关规定，并应满足设计要求；
- 劲性体施工前应进行成桩试验，施工工艺和承载能力应符合设计和现行行业标准JGJ/T 406的相关规定，当成桩质量不满足设计要求时，应在调整设计、施工参数后，重新进行试验；

c) 加筋垫层用土工合成材料应无老化，外观应无破损、无污染。

A.5.8 劲性体尺寸偏差和外观质量实测项目应符合表A.7的规定。

表 A.7 劲性体尺寸偏差和外观质量实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
1	产品合格证核查	合格	核查资料	每批核查1次
2	长度 L	管型劲性体参见表A.5 方形劲性体参见表A.6	尺量	每批产品抽查2%且 不少于3节
3	外径 D 或边长 B		尺量	
4	壁厚 t 或内径 d		尺量	
5	端部倾斜		尺量	每批产品抽查10%且 不少于10节
6	弯曲度		尺量	
7	粘皮和麻面		目测	
8	合缝漏浆		尺量	
9	局部磕碰		尺量	
10	表面裂缝		目测	全部
11	内外表面露筋		目测	
12	断筋/脱头		目测	

A.5.9 劲性体抗弯性能实测项目应符合表A.9的规定。

表 A.8 劲性体抗弯性能实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
1	抗裂弯矩	见附录A	抽查出厂检验报告	随机抽查

附 录 B

(资料性)

劲性体弯矩计算简易方法

B.1 劲性体受力和位移假设

假设路堤中线附近桩身水平位移为0，坡脚附近桩身水平位移最大，其他位置的桩身水平位移由路堤坡脚至路堤中线线性变化。劲性体受力和位移可简化为图B.1， δ 宜取0.3， β 宜取0.0~0.3。坡脚劲性体 v_m 可按公式B.1计算。

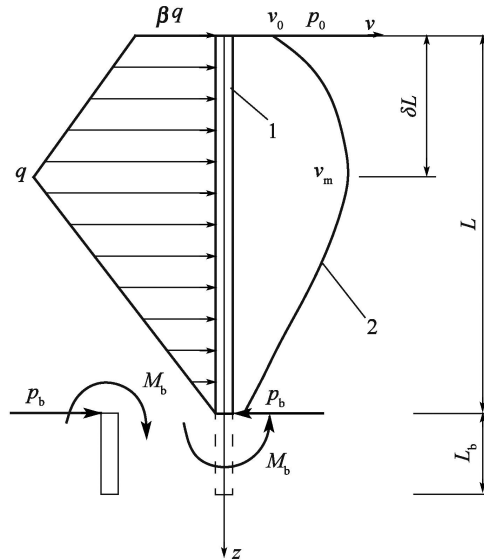


图 B.1 劲性体的受力和挠度

标引序号说明：
1——劲性体；
2——挠曲线。

$$v_m = \frac{4S_{cs}(m_s-1)W_b}{3L} \dots\dots\dots(B.1)$$

式中：

- v_m ——劲性体最大水平位移，单位为毫米（mm）；
- S_{cs} ——软土层地面以上地基固结沉降，单位为毫米（mm）；
- m_s ——沉降修正系数；
- W_b ——路堤底面宽度，单位为米（m）；
- L ——软土层底面以上桩长，单位为米（m）。

B.2 劲性体最大荷载集度与软土层底面弯矩

劲性体最大水平荷载集度和软土层底面桩身弯矩可采用公式B.2和公式B.3计算。

$$q = \frac{b_2 v_m}{a_2 b_1 - a_1 b_2} \dots\dots\dots(B.2)$$

$$M_b = \frac{a_2 v_m}{a_2 b_1 - a_1 b_2} \dots\dots\dots(B.3)$$

$$a_1 = \frac{L^4(-7+15\delta+10\delta^2-10\beta\delta^2-50\delta^3+40\delta^3+45\delta^4-60\beta\delta^4-13\delta^5+40\beta\delta^5-10\beta\delta^6)}{360E_p I(1-\delta)} + \frac{L(1+\delta+\beta\delta^2)}{6} \times [\delta_{vP} + \delta_{0P}L(1-\delta)] \dots\dots(B.4)$$

$$b_1 = \frac{L^2(2-3\delta+\delta^3)}{6E_p I} + \frac{\delta_{vP} + \delta_{vM}L + \delta_{0P}L(1-\delta) + \delta_{0M}L^2(1-\delta)}{L} \dots\dots\dots(B.5)$$

$$a_2 = \frac{L^3(1-6\delta^2+2\beta\delta^2+8\delta^3-6\beta\delta^3-3\delta^4+6\beta\delta^4-2\beta\delta^5)}{24E_p I(1-\delta)} - \delta_{0P} \frac{L(1+\delta+\beta\delta^2)}{6} \dots\dots\dots (B.6)$$

$$b_2 = \frac{L(\delta^2-1)}{2E_p I} - \frac{\delta_{0P} + \delta_{0M} L}{L} \dots\dots\dots (B.7)$$

$$\delta_{VP} = \frac{1}{\alpha^3 E_p I} \frac{[B_3(L_b)D_4(L_b) - B_4(L_b)D_3(L_b)] + K_h [B_2(L_b)D_4(L_b) - B_4(L_b)D_2(L_b)]}{[A_3(L_b)B_4(L_b) - A_4(L_b)B_3(L_b)] + K_h [A_2(L_b)B_4(L_b) - A_4(L_b)B_2(L_b)]} \dots\dots\dots (B.8)$$

$$\delta_{0P} = \delta_{VM} = \frac{1}{\alpha^2 E_p I} \frac{[A_3(L_b)D_4(L_b) - A_4(L_b)D_3(L_b)] + K_h [A_2(L_b)D_4(L_b) - A_4(L_b)D_2(L_b)]}{[A_3(L_b)B_4(L_b) - A_4(L_b)B_3(L_b)] + K_h [A_2(L_b)B_4(L_b) - A_4(L_b)B_2(L_b)]} \dots\dots\dots (B.9)$$

$$\delta_{0M} = \frac{1}{\alpha E_p I} \frac{[A_3(L_b)C_4(L_b) - A_4(L_b)C_3(L_b)] + K_h [A_2(L_b)C_4(L_b) - A_4(L_b)C_2(L_b)]}{[A_3(L_b)B_4(L_b) - A_4(L_b)B_3(L_b)] + K_h [A_2(L_b)B_4(L_b) - A_4(L_b)B_2(L_b)]} \dots\dots\dots (B.10)$$

$$A_2(z) = 1 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-4)}{(5i-1)!} (\alpha z)^{5i-1} \dots\dots\dots (B.11)$$

$$B_2(z) = 1 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-3)}{(5i)!} (\alpha z)^{5i} \dots\dots\dots (B.12)$$

$$C_2(z) = \alpha z + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-2)}{(5i+1)!} (\alpha z)^{5i+1} \dots\dots\dots (B.13)$$

$$D_2(z) = \frac{1}{2!} (\alpha z)^2 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-1)}{(5i+2)!} (\alpha z)^{5i+2} \dots\dots\dots (B.14)$$

$$A_3(z) = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-4)}{(5i-2)!} (\alpha z)^{5i-2} \dots\dots\dots (B.15)$$

$$B_3(z) = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-3)}{(5i-1)!} (\alpha z)^{5i-1} \dots\dots\dots (B.16)$$

$$C_3(z) = 1 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-2)}{(5i)!} (\alpha z)^{5i} \dots\dots\dots (B.17)$$

$$D_3(z) = \alpha z + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-1)}{(5i+1)!} (\alpha z)^{5i+1} \dots\dots\dots (B.18)$$

$$A_4(z) = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-4)}{(5i-3)!} (\alpha z)^{5i-3} \dots\dots\dots (B.19)$$

$$B_4(z) = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-3)}{(5i-2)!} (\alpha z)^{5i-2} \dots\dots\dots (B.20)$$

$$C_4(z) = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-4)}{(5i-1)!} (\alpha z)^{5i-1} \dots\dots\dots (B.21)$$

$$D_4(z) = 1 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-1)}{(5i)!} (\alpha z)^{5i} \dots\dots\dots (B.22)$$

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{m_b b_0}{E_p I}} \dots\dots\dots (B.23)$$

$$b_0 = 0.9(1.5d + 0.5) \dots\dots\dots (B.24)$$

$$K_h = \frac{m_b(L+L_b)}{\alpha E} \dots\dots\dots (B.25)$$

式中：

b_0 ——桩的计算宽度，单位为米（m）

d ——桩径，单位为米（m）；

E_p ——桩身材料弹性模量，单位为千帕（kPa）；

I ——桩身横截面惯性矩，单位为四次方米（ m^4 ）；

m_b ——硬土层水平地基系数的加权平均比例系数，单位为千帕每平方米（ kPa/m^2 ）。

B.3 劲性体桩顶力和软土层底面剪力

劲性体桩顶集中力和软土层底面桩身剪力可采用公式B.26和公式B.27计算。

$$P_0 = \frac{qL(2-\delta+3\beta\delta-\beta\delta^2)}{6} - \frac{M_b}{L} \dots\dots\dots(B.26)$$

$$P_h = \frac{qL(1+\delta+\beta\delta^2)}{6} - \frac{M_b}{L} \dots\dots\dots(B.27)$$

式中：

P_0 ——劲性体桩间土对桩顶端附近的阻力的简化集中力，单位为千牛（ kN ）；

P_h ——软土层底面以下劲性体桩段对上部桩段的水平力，单位为千牛（ kN ）。

B.4 劲性体桩身弯矩

$z \leq \delta L$ 时，劲性体桩身弯矩采用公式B.28计算； $z \geq \delta L$ 时，劲性体桩身弯矩采用公式B.29计算；硬土层中劲性体桩身弯矩采用公式B.30计算。

$$M = P_0 z - \frac{1}{2} \beta q z^2 - \frac{1}{6\delta L} (1-\beta) q z^3 \dots\dots\dots(B.28)$$

$$M = P_0 z - \frac{1}{2} \beta q \delta^2 L^2 - \frac{1}{6} (1-\beta) q \delta^2 L^2 - \frac{1}{2} (1-\beta) q \delta L (z-\delta L) - \frac{1}{2} q (z-\delta L)^2 + \frac{q(z-\delta L)^3}{6(L-\delta L)} \dots\dots\dots(B.29)$$

$$M = \alpha^2 E_p I v_b A_3(z-L) + \alpha E_p I \theta_b B_3(z-L) + M_b C_3(z-L) + \frac{P_h}{\alpha} D_3(z-L) \dots\dots\dots(B.30)$$

$$A_1(z) = 1 + \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^j \frac{\prod_{j=1}^i (5j-4)}{(5i)!} (\alpha z)^{5i} \dots\dots\dots(B.31)$$

$$B_1(z) = \alpha z + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-3)}{(5i+1)!} (\alpha z)^{5i+1} \dots\dots\dots(B.32)$$

$$C_1(z) = \frac{1}{2!} (\alpha z)^2 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-2)}{(5i+2)!} (\alpha z)^{5i+2} \dots\dots\dots(B.33)$$

$$D_1(z) = \frac{1}{3!} (\alpha z)^3 + \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^i \frac{\prod_{j=1}^i (5j-1)}{(5i+3)!} (\alpha z)^{5i+3} \dots\dots\dots(B.34)$$