

ICS 93.080.01

CCS A04

团体标准

T/JSCTS ×××-××××

公路复合地基用预制高强混凝土管状 劲性体技术规程

Technical specification for precast high strength concrete
tubular stiffness for highway composite foundations

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同
支持性文件一并附上。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

江苏省综合交通运输学会 发布

目 次

前言.....	A
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 劲性体产品及质量要求.....	3
6 设计.....	3
6.1 一般规定.....	3
6.2 构造要求.....	3
6.3 劲性体单桩设计.....	4
6.4 桩帽及加筋垫层设计.....	5
6.5 劲性体复合地基设计.....	7
7 施工.....	9
7.1 一般规定.....	9
7.2 运输、起吊和堆放.....	9
7.3 静压法沉桩.....	10
7.4 锤击法沉桩.....	11
7.5 接桩与截桩.....	12
7.6 桩帽及加筋垫层施工.....	13
8 检验和验收.....	14
8.1 一般规定.....	14
8.2 施工前检验.....	14
8.3 施工过程中检验.....	15
8.5 工程质量验收.....	18
附录 A（规范性附录）劲性体产品及其制作要求.....	20
附录 B（规范性附录）劲性体产品质量要求.....	23
附录 C（规范性附录）劲性体几何参数及力学性能.....	25
附录 D（规范性附录）劲性体荷载分担比系数.....	27
附录 E（资料性附录）静压法施工记录表.....	28
附录 F（资料性附录）锤击法施工记录表.....	29
附录 G（资料性附录）条文说明.....	30

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结果和起草规则》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。

本文件由建华建材（中国）有限公司提出。

本文件由江苏省综合交通运输学会归口。

本文件起草单位：建华建材（中国）有限公司、苏交科集团股份有限公司、华设设计集团股份有限公司、南京金宸建筑设计有限公司。

本文件主要起草人：郑赛荣、毛由田、王家强、侯善民、范昭平、欧阳小星、顾明、涂圣武、李军、赵俊明、徐从荣、陈红斌、李志高、杨芷、顾银和、陈欢、郭红辛、陈梅富。

公路复合地基用预制高强混凝土管状劲性体技术规程

1 范围

为规范道路软基处理工程设计及应用，贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、经济合理、保护环境，制定本标准。

本标准规定了复合地基用预制混凝土劲性体的术语和定义、产品要求、设计及施工要点、检验和验收的主要要求。

本标准适用于公路工程中复合地基预制混凝土劲性体的设计、施工、检验及验收，其他行业的有关工程应用劲性体复合地基时可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 13476-2009 《先张法预应力混凝土管桩》

GB 50007-2011 《建筑地基基础设计规范》

GB 50661-2011 《钢结构焊接规范》

GB/T 50783-2012 《复合地基技术规范》

JGJ 94-2008 《建筑桩基技术规范》

JGJ/T 406-2017 《预应力混凝土管桩技术标准》

JTG/T D31-02-2013 《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》

JTG D30-2015 《公路路基设计规范》

JTG/T 3610-2019 《公路路基施工技术规范》

JGJ 106-2014 《建筑桩基检测技术规范》

JGJ/T 327-2014 《劲性复合桩技术规程》

3 术语和定义

3.1

预制混凝土劲性体 **precast stiffness concrete pile**

刚性桩复合地基中作为竖向增强体混凝土强度等级为C60、C80的地基处理用预制桩。

壁厚小于《先张法预应力混凝土管桩》GB13476规定最小壁厚的离心成型先张法预应力混凝土管桩，简称圆状劲性体。

壁厚小于《预应力混凝土空心方桩》08SG360规定最小壁厚的离心成型先张法预应力混凝土空心方桩，简称方状劲性体。

3.2

预制混凝土劲性体复合地基 composite foundation with precast stiffness concrete piles

使用施工机械设备将劲性体沉入地基中，置换天然土层的部分土体，并在劲性体顶部设置桩帽和加筋垫层，形成由劲性体及其周围土体、桩帽、加筋垫层共同承担荷载的地基，简称劲性体复合地基。

3.3

复合地基承载力特征值 characteristic value of bearing capacity of composite foundation

由载荷试验测定的复合地基压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值，其最大值为比例界限值。

3.4

垫层 cushion layer

指设置于路堤基地或构筑物地基与复合地基表面用以调整桩土应力分配、减小桩土不均匀沉降的传力层。

3.5

面积置换率 area replacement ratio

劲性体桩身外径截面面积（含中空部分）与所分担的处理地基面积之比。

3.6

筋材 reinforcing material

设置于土或填料中，用于改善土或填料力学性能，并由土工合成材料制成的条带状或网格状抗拉材料。

4 基本规定

4.1 劲性体适用于处理填土路堤及小型构筑物下的淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土等土层，当淤泥层深厚时尚应进行研究论证后方可使用。

4.2 劲性体复合地基中的劲性体和桩间土应能共同承担上部路堤和结构荷载。

4.3 劲性体复合地基施工前应根据工程需要提前修筑实验路段，进行成桩工艺试验。

4.4 劲性体应根据地质条件和环境影响程度，选择静压法或锤击法进行施工，必要时可采用引孔法辅助施工。

4.5 劲性体复合地基施工过程中以及施工完成后，尚应按现行有关标准《工程测量规范》GB50026、《公路勘测规范》JTG C10、《公路路基施工技术规范》JTG F10d 等规范的规定，

进行路基沉降与稳定检测。

5 劲性体产品及质量要求

- 5.1 劲性体混凝土强度等级不应低于 C60。
- 5.2 劲性体的产品及其制作要求应符合附录 A 的规定。
- 5.3 劲性体产品质量应符合附录 B 的规定。
- 5.4 劲性体几何参数及力学性能参数应满足附录 C 的要求。

6 设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 劲性体复合地基应根据工程勘察报告、场地环境、上部结构及基础设计等有关资料和质量控制标准进行设计。
- 6.1.2 劲性体应按摩擦端承型桩设计，且桩端应穿过压缩性较高及硬质夹层的土层，进入压缩性相对较低的土层。
- 6.1.3 劲性体复合地基应按沉降控制的原则进行设计。
- 6.1.4 劲性体复合地基的耐久性应符合现行有关标准的规定，当地基土和地下水对劲性体混凝土及钢筋有中、强腐蚀性时，应采取可靠防腐措施并经研究论证后方可使用。
- 6.1.5 劲性体复合地基应进行下列计算或验算：

- 1 劲性体单桩承载力计算及验算；
- 2 复合地基承载力计算及验算；
- 3 复合地基沉降计算；
- 4 复合地基软弱下卧层承载力和沉降验算；
- 5 桩帽抗弯及抗冲切承载力计算及验算；
- 6 筋材最大拉应力计算及验算；
- 7 整体稳定性验算和绕流稳定验算。

6.2 构造要求

- 6.2.1 劲性体的外径宜取 300mm~600mm，加固土层厚、软土性质差或上部荷载大时宜取较大值。
- 6.2.2 劲性体中预应力主筋的混凝土保护层厚度不应不小于 25mm。
- 6.2.3 劲性体的接头应符合下列规定：
 - 1 单桩接头数量不宜超过 3 个；

2 同一截面内的接头面积百分率不宜大于 50%。

6.2.4 劲性体顶部宜采用可靠的封堵形式。若采用填芯混凝土方式，填芯高度不宜小于 35 倍填芯钢筋长度，填芯混凝土强度等级不宜低于 C30。

6.2.5 劲性体顶部应设置强度等级不低于 C30 的混凝土桩帽，且劲性体顶部进入桩帽不宜小于 30mm，桩帽应符合下列要求：

- 1 桩帽面积与单桩加固面积之比宜 20-25%；
- 2 桩帽宜采用现浇方形桩帽；
- 3 桩帽边长不宜小于 1000mm，厚度不宜小于 200mm。

6.2.6 桩帽与路堤填土或小型构造物基础间应设置级配碎石加筋垫层，垫层厚度应根据劲性体的间距、劲性体的竖向变形刚度、上部结构对沉降的要求综合确定，宜取 0.3m~0.5m，当桩径较大或桩间距较大时宜取高值。

6.2.7 劲性体宜按正方形或正三角形布置，间距应根据地基土层性质、复合地基承载力、上部结构构造荷载大小与变形控制要求以及施工工艺等确定，不宜小于 5 倍桩径，且布置范围尚应考虑填土路堤稳定性的要求。

6.3 劲性体单桩设计

6.3.1 劲性体长度应根据上部结构对承载力和变形的要求确定；桩端进入相对硬土层的深度，对于黏性土、粉土不宜小于 2 倍的劲性体外径，对于砂土不宜小于 1.5 倍的劲性体外径。

6.3.2 劲性体的单桩竖向极限承载力应通过单桩竖向静载荷试验确定。

6.3.3 劲性体应按下列要求验算单桩承载力：

- 1 作用于劲性体单桩顶部的荷载应满足下式要求：

$$F_{\text{cap}} \leq R_a \quad (6-1)$$

式中： F_{cap} ——相应于荷载效应标准组合时，作用于劲性体顶部的荷载。

R_a ——劲性体单桩竖向承载力特征值。

2 桩周土沉降可能引起桩侧负摩阻力时，作用于劲性体单桩顶部的荷载尚应满足下式要求：

$$F_{\text{cap}} + Q_g^n \leq R_a \quad (6-2)$$

式中： Q_g^n ——相应于荷载效应标准组合时，作用于劲性体的负摩阻力，可参照现行《建筑桩基技术规范》JGJ94 计算。

6.3.4 作用于劲性体桩顶的荷载应按下式计算：

$$F_{\text{cap}} = \eta(\gamma H + q_c) S_a^2 \quad (6-3)$$

式中： η ——劲性体荷载分担比，可查附录 D 取值；
 γ ——填料的加权平均重度；
 H ——桩帽上部填料的总厚度（含垫层）；
 q_c ——作用于填料顶部的超载；
 S_a ——劲性体的中心距。

6.3.5 劲性体的单桩竖向承载力特征值应按下列式计算：

$$R_a = Q_{uk} / K_1 \quad (6-4)$$

式中： R_a ——单桩竖向承载力特征值；
 Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值，初步设计时根据 6.3.4 条、6.3.5 条估算得到，施工图设计时应通过单桩静载荷试验得到；
 K_1 ——安全系数，一般取 $K_1=2$ 。

6.3.6 初步设计时，采用锤击法、静压法的劲性体的单桩竖向极限承载力标准值可根据土层经验参数按下式估算：

$$Q_{uk} = \sum u q_{sik} l_i + A_p q_{pk} \quad (6-5)$$

式中： Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；
 u ——劲性体桩身周长；
 q_{sik} ——桩周第 i 层土的极限侧阻力标准值；
 q_{pk} ——极限桩端阻力标准值；
 l_i ——第 i 层土的厚度；
 A_p ——劲性体端部截面面积，当端部敞口时可参照《建筑桩基技术规范》JGJ94 考虑土塞的作用。

6.3.7 劲性体的桩身正截面受压承载力应满足下列式要求：

$$N \leq \psi_c A f_c \quad (6-6)$$

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；
 ψ_c ——成桩工艺系数，采用静压法、锤击法时可取 0.70；
 A ——劲性体桩身横截面面积；
 f_c ——劲性体桩身混凝土轴心抗压强度设计值。

6.4 桩帽及加筋垫层设计

6.4.1 拟方形桩帽的边长时，可按下式估算；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。

$$b = (0.4 \sim 0.5)S_a \quad (6-7)$$

式中: b ——方形桩帽边长, 圆形桩帽可按面积相等原则等效为方形桩帽;
 S_a ——劲性体的中心距。

6.4.2 采用正方形布桩和正方形桩帽时, 桩帽之间的土拱高度可按下式计算:

$$h_t = 0.707(S_a - b) / \tan \varphi \quad (6-8)$$

式中: h_t ——土拱高度;
 φ ——填土的内摩擦角, 黏性土取综合摩擦角。

6.4.3 对填土路堤下的劲性体复合地基, 桩帽以上的最小填土设计高度应按下式计算:

$$h_2 = 1.2(h_t - h_1) \quad (6-9)$$

式中: h_2 ——垫层之上最小填土设计高度;
 h_1 ——垫层厚度。

6.4.4 桩帽的抗冲切承载力应按下列公式验算:

$$V_s / u_m h_0 \leq 0.7 \beta_{hp} f_t / \eta_0 \quad (6-10)$$

$$V_s = P_s b^2 - \pi (h_0 \tan 45^\circ + D)^2 P_s / 4 \quad (6-11)$$

$$u_m = \pi (D + h_0 \tan 45^\circ) \quad (6-12)$$

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;
 h_0 ——桩帽的有效厚度, 取桩帽底面至上层钢筋网的距离;
 P_s ——相应于荷载效应基本组合时, 作用于桩帽上的压力值;
 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;
 η_0 ——影响系数, 取 1.25;
 D ——劲性体外径。

6.4.5 桩帽的受弯承载力应按下列公式验算:

$$M \leq M_R \quad (6-13)$$

$$M = \frac{1}{2} P_s D \left(\frac{b-D}{2} \right)^2 + \frac{2}{3} P_s \left(\frac{b-D}{2} \right)^3 \quad (6-14)$$

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;
 M_R ——桩帽截面抗弯承载力设计值。

6.4.6 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 200mm~300mm。

6.4.7 垫层材料最大粒径不宜大于 30mm，夯填度不应大于 0.9。

6.4.8 加筋垫层的形式应根据设计要求以及地基土条件确定，宜选择土工格栅加筋垫层、高强土工布加筋垫层等，并应符合下列规定：

- 1 筋材应具有抗拉强度高、切线模量高、非脆性、耐久性良好、抗老化、抗腐蚀等工程性质；
- 2 筋材的抗拉强度不宜低于 50kN/m，延伸率应小于 10%。

6.4.9 筋材宜布置 1~2 层，且应覆盖所有桩帽，最下层筋材与桩帽顶部的距离宜为 0.2m~0.3m；当布置 2 层筋材时，上层筋材的作用应折减后按 0.6 倍取用，两层筋材的间距宜为 0.1m~0.3m。

6.4.10 筋材的最大拉应力应满足下列公式的要求：

$$T_{\max} \leq T_a \quad (6-15)$$

$$T_{\max} = \frac{W_T(S_a - b)}{2b} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon_g}} \quad (6-16)$$

$$T_{\max} = \varepsilon_g E_g \quad (6-17)$$

$$W_T = \frac{\gamma S_a^3 H(1-\eta)}{S_a^2 - b^2} \quad (6-18)$$

式中： T_{\max} ——作用于筋材的最大拉应力；

W_T ——劲性体间土上的荷载；

E_g ——筋材的线刚度；

ε_g ——筋材的应变；

T_a ——筋材的设计抗拉强度。

6.4.11 当筋材反包时，最小反包长度不宜小于 2.0m。

6.5 劲性体复合地基设计

6.5.1 劲性体复合地基承载力的确定应符合下列规定：

1 挡墙、涵洞等小型构造物下的劲性体复合地基，应通过复合地基载荷试验确定复合地基承载力；

2 填土路堤下的劲性体复合地基，宜通过复合地基载荷试验结合工程实践经验确定复合地基承载力。

6.5.2 填土路堤下的劲性体复合地基可不进行复合地基承载力验算，但挡墙、涵洞等小型构造物基础下的劲性体复合地基应按下列公式进行复合地基承载力验算：

1 轴心荷载作用时:

$$p_k \leq f_a \quad (6-19)$$

式中: p_k ——相应于作用的标准组合时,作用在劲性体复合地基顶面的平均压力;
 f_a ——经深度修正的劲性体复合地基承载力特征值,可按现行国家标准《复合地基技术规范》GB/T 50783 进行计算。

2 偏心荷载作用时,除应符合上式要求外,尚应符合下式要求:

$$p_{k\max} \leq 1.2f_a \quad (6-20)$$

式中: $p_{k\max}$ ——相应于作用的标准组合时,作用在基础底面边缘处劲性体复合地基上的最大压力。

6.5.3 劲性体复合地基承载力特征值在初步设计,参照《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 公式 7.1.5-2 进行计算。

6.5.4 劲性体复合地基加固区的沉降量参照《公路路基设计规范》(JTG D30) 章节 7.7 和《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02-2013) 章节 5.8.13 相关公式进行计算。

6.5.5 作用在下卧层顶面的附加压力宜采用等效实体法确定。

6.5.6 地基沉降计算深度应大于加固区的厚度,并应参照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 关于地基沉降计算深度的有关规定。

6.5.7 当地基受力层范围内有软弱下卧层时,应参照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定验算下卧层承载力。

6.5.8 劲性体复合地基应进行整体滑动稳定性验算,稳定性安全系数允许值应符合现行有关标准的规定,分析方法宜采用圆弧滑动法,滑动面上的桩土复合抗剪强度可按下式计算:

$$\tau_{ps} = m\tau_p + (1-m)\tau_s \quad (6-21)$$

式中: τ_{ps} ——桩土复合抗剪强度;
 τ_p ——劲性体桩身抗剪强度,可取桩体混凝土 28d 无侧限抗压强度的 1/2;
 τ_s ——地基土的抗剪强度。

6.5.9 劲性体复合地基存在下列情况之一时,尚应进行绕流稳定性验算,且必要时应采取抵抗桩间土滑出的措施:

- 1 因桩间距较大、桩帽覆盖率较小等原因,导致桩间土承担荷载较大时;
- 2 劲性体复合地基邻近处分布有水沟、水塘,或需开挖沟槽时。

6.5.10 单一无硬壳层的流塑状淤泥或淤泥质土地层,应采取加强劲性体复合地基结构横向稳定性的措施。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 劲性体施工前应结合地质勘察报告，在代表性位置进行成桩工艺试验。

7.1.2 劲性体施工前应具备产品合格证，并应具有混凝土抗压强度实验报告、水泥、砂石、钢材检验报告等材料。

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，并应符合下列规定：

1 应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；

2 根据劲性体的设计桩端埋深，宜先深后浅；

3 根据劲性体的规格，宜先大直径后小直径；

4 宜采用后退式施工；

5 在软土地基中施工时可采取跳打方式。

7.1.4 当设计要求或施工需要采用引孔辅助沉桩法时，应配备长螺旋钻孔机，或在压桩机上配备专用的螺旋钻，引孔的直径、孔深及数量应符合下列规定：

1 孔径不宜超过劲性体外径的 2/3，孔深不宜超过桩长的 2/3，并应采取防塌孔措施；

2 宜采用螺旋钻干作业法，引孔的垂直度偏差宜大于 0.5%；

3 引孔作业和压桩作业应连续进行，间隔时间不宜大于 12h，对软土地基间隔时间不宜大于 3h。

7.1.5 当施工过程中发现实际地质情况与勘察报告不符时，应立即停止施工，并及时通知相关单位进行处理。

7.1.6 劲性体复合地基应按附录 E、附录 F 进行施工记录。

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：

1 在吊运过程中应轻起轻放，严禁抛掷、滚落、磕碰；

2 吊装宜采用两头勾吊法，吊索与桩节水平夹角不应小于 45°；

3 运输过程中的支承点位置应距离桩节端部 0.21L 处；

4 放置于运输车辆上的桩应绑扎牢固。

7.2.2 劲性体现场堆放、移桩和取桩应符合下列规定：

1 堆放场地应平整坚实、排水通畅；

- 2 应按不同规格、长度及施工流程分类堆放；
- 3 场地条件许可时宜单层堆放，叠层堆放时不宜超过 2 层；
- 4 叠层堆放时，最下层应在垂直劲性体长度方向且距桩节端部 $0.21L$ 处设置 2 道垫木，最外缘劲性体的垫木处应用木楔塞紧；
- 5 应采用吊机起吊取桩，不应拖拉取桩。

7.3 静压法沉桩

7.3.1 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。

7.3.2 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。

7.3.3 选择压桩机的参数应包括下列内容：

- 1 压桩机型号、最大压桩力、外型及拖运尺寸；
- 2 压桩机的最小边桩距、长、短船型履靴的尺寸和接地压强；
- 3 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；
- 4 吊桩机构的类型及吊桩能力。

7.3.4 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。

7.3.5 劲性体压桩时应符合下列规定：

- 1 第一节桩下压时垂直度偏差不应大于 0.5%；
- 2 宜将每根桩一次性连续压到底，接桩、送桩应连续进行；
- 3 抱压力不应大于桩身允许侧向压力；
- 4 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，严禁用移动机架等方法强行纠偏。

7.3.6 终压条件应符合下列规定：

- 1 应根据现场试桩的试验结果及设计要求确定终压力标准；
- 2 宜以桩顶标高控制为主，终压力控制为辅；
- 3 当终压力值未达预估值时，劲性体单桩竖向承载力特征值宜根据静载荷试验确定，不应随意增加复压次数；
- 4 当压桩力已达到终压力或桩端已到达相对硬层时应采取稳压措施；
- 5 终压后的连续复压应根据桩长及地质条件等因素确定，入土深度大于等于 8m 的桩可复压 1~2 次，入土深度小于 8m 的桩可复压 2~3 次；
- 6 稳压压力不应小于终压力，稳压时间宜为 5s~10s。

7.3.7 静压送桩应符合下列规定：

- 1 测量桩身垂直度并检查桩头质量，合格后方可送桩，压桩及送桩作业应连续进行；
- 2 送桩应采用专用钢制送桩器，不应将工程桩用作送桩器；
- 3 送桩的最大压桩力不宜超过桩身允许抱压压力；
- 4 送桩后地表坑洞应及时回填或防护。

7.3.8 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：

- 1 油压表值与试桩参数及现场勘察参数不符；
- 2 沉桩深度已达设计值，但油压表值未达到设计要求；
- 3 桩身突然倾斜、移位、夹持机构打滑；
- 4 压桩机械工作状态出现异常；
- 5 桩身出现纵向裂缝或桩头混凝土出现剥落等异常现象；
- 6 地面明显隆起、邻桩上浮或位移过大。

7.3.9 桩位及桩距的允许偏差应符合下表规定：

表 1 桩位及桩距允许偏差

项目	允许偏差
桩位	100mm
桩距	±100mm

7.4 锤击法沉桩

7.4.1 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。

7.4.2 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。

7.4.3 劲性体打入时应符合下列规定：

- 1 桩端帽或送桩帽与桩周围的间隙应为 5mm~10mm；
- 2 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；
- 3 桩锤、桩端帽或送桩帽应和桩身在同一中心线上；
- 4 劲性体插入时的垂直度偏差不应超过 0.5%。

7.4.4 终锤控制应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 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；

3 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。

7.4.5 最大锤击数应根据实际现场情况及施工经验确定。

7.4.6 锤击送桩应符合下列规定：

1 桩端帽、送桩器、桩身的中心线应位于同一直线上，送桩深度不宜大于 2m；

2 测量桩身垂直度并检查桩头质量，合格后方可送桩；

3 送桩后地表坑洞应及时回填或防护；

4 送桩深度超过 2m 且不大于 6m 时，打桩机应为三点支撑履带自行式或步履式柴油打桩机；桩端帽与桩锤之间应设置钢丝绳盘成的锤垫，厚度宜为 150mm~200mm。

7.4.7 送桩器及衬垫应符合下列规定：

1 送桩器宜为圆筒形，并有足够的强度、刚度和耐打性，长度应满足送桩深度的要求，弯曲度不应大于 1/1000，上下两端面应平整，并与送桩器中心轴线相垂直；

2 送桩器下端应为开口式；

3 送桩作业时，送桩器与桩头之间应设置弹性衬垫，压实后厚度不应小于 60mm。

7.4.8 遇下列情况，应暂停施打，分析原因并采取相应措施：

1 贯入度突变；

2 桩头砼剥落、破碎；

3 桩身突然倾斜、移位；

4 邻桩上浮或位移过大；

5 单桩总锤击数超过 1000 击。

7.4.9 锤击法沉桩的桩位和桩距允许偏差应符合表 1 的规定。

7.5 接桩与截桩

7.5.1 劲性体的连接宜采用端板焊接法。

7.5.2 焊接操作除应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 宜采用二氧化碳气体保护焊焊接；

2 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 5mm，节点弯曲矢高不应大于桩长的 1/1000，就位纠偏时不得采用大锤横向敲打；

3 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；

4 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；

5 焊接接头应自然冷却后方可继续施工，自然冷却时间不宜少于 8min，严禁采用水冷却或焊完立即施工；

6 宜采用活动防风罩进行保护施焊，雨天焊接时尚应采取可靠的防雨措施。

7.5.3 焊缝质量应符合表 2 的规定：

表 2 焊缝质量要求

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

7.5.4 沉桩过程中遇到较难穿透的土层时，接桩宜在桩端穿过该土层后进行。

7.5.5 单根桩采用两节或多节劲性体连接时，最上节不宜短于 6m。

7.5.6 截桩应符合下列规定：

1 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；

2 应采用锯桩器截桩，切割时应一次性将劲性体外壁切透，严禁用大锤横向敲击或强行扳拉接桩。

7.6 桩帽及加筋垫层施工

7.6.1 现浇桩帽施工应符合下列要求：

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 20cm，然后采用人工开挖和修整，不得超挖，不得扰动基底土和桩间土；

2 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；

3 应按设计桩帽尺寸立模，并使桩帽中心与劲性体中心重合；

4 桩帽模板安装应稳固牢靠，接缝应封堵严密，不得漏浆；

5 模板混凝土接触面应清理干净并涂刷脱模剂，同一桩帽模板顶面相对高差不应大于 5mm，相邻桩帽模板高差不应大于 15mm，模板内侧宽度偏差宜为-5mm 至 10mm，长宽尺寸偏差不应大于 30mm；

6 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；

7 桩帽钢筋布置及绑扎应符合设计要求；

8 浇筑混凝土后，应振捣密实并及时养护。

7.6.2 拆模后，桩帽之间应采用砂土、石屑等回填密实。

7.6.3 加筋体的施工应符合下列要求：

1 加筋材料的运输、储存和铺设应避免阳光暴晒；

2 应选用较大幅宽的加筋体，两幅拼接时接头强度不应小于原有强度的 70%；接头宜布置在桩帽上，重叠宽度不得小于 300mm；

3 铺设时地面应平整，不应有尖锐物体；

4 加筋体铺设应平整；

5 加筋体的经纬方向应与布桩的纵横方向相同。

7.6.4 垫层的厚度、铺设范围及夯填度应符合设计要求。

7.6.5 垫层厚度大于 300mm 时应分层静压压实。

8 检验和验收

8.1 一般规定

8.1.1 劲性体复合地基工程的检验按时间顺序可分为三个阶段：施工前检验、施工过程检验和施工后检验。

8.1.2 检查项目的合格判定应符合现行行业标准《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1 的有关规定。

8.1.3 劲性体复合地基的检验和验收除应符合本标准外，尚应符合现行行业标准《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1 等有关标准的规定。

8.2 施工前检验

8.2.1 施工前检验应符合下列要求：

1 各种原材料以及半成品、成品的品种、规格、质量应符合国家和行业有关标准的规定，并应满足设计要求，每个批次、每种规格的原材料、半成品、成品均应检测合格；

2 劲性体施工前应进行成桩试验，施工工艺应符合规范要求，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；

3 加筋垫层用土工合成材料应无老化，外观应无破损、无污染。

8.2.2 施工前检验实测项目应符合表 3 至表 6 的规定。

表 3 劲性体尺寸偏差和外观质量实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	1	产品合格证核查	合格	核查资料	每批核查 1 次
	2	长度 L	本标准附录 B	丈量	每批产品抽查 2%, 且不少于 3 节
	3	外径 D		丈量	
	4	壁厚 t		丈量	
5	端部倾斜	丈量			
一般项目	6	弯曲度		丈量	每批产品抽查 10%, 且不少于 10 节
	7	粘皮和麻面		目测	
	8	合缝漏浆		丈量	
	9	局部磕碰		丈量	
	10	表面裂缝		目测	全数检查
	11	内外表面露筋		目测	
	12	断筋/脱头		目测	

表 4 劲性体混凝土质量和钢筋配置实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	1	预应力钢筋配置	本标准附录 A、 附录 C 及设计要求	抽查出厂检验报告	每批抽查一次
	2	螺旋筋配置	本标准附录 A、 附录 C 及设计要求	抽查出厂检验报告	
一般项目	3	混凝土均匀性	均匀	抽查出厂检验报告	
	4	混凝土抗压强度	本标准附录 A、 附录 C 及设计要求	抽查出厂检验报告	

表 5 劲性体抗弯性能实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	1	抗裂弯矩	实测抗裂弯矩 不小于 M_{cr}	抽查出厂检验报告	每批抽查一次
	2	极限弯矩	实测极限弯矩 不小于 M_u	抽查出厂检验报告	

表 6 加筋垫层材料实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	1	土工合成材料 抗拉强度	满足设计要求	拉伸试验	每 10000m ² 一 次且不少于 1 次
	2	土工合成材料 延伸率	满足设计要求	拉伸试验	
一般项目	3	碎石粒径	满足设计要求	筛分法	每批次 1 组
	4	碎石含泥量	满足设计要求	水洗法	

8.3 施工过程检验

8.3.1 施工过程检验应符合下列要求：

- 1 劲性体的桩长、接头质量、收锤或终压标准应满足有关标准及设计要求；
- 2 桩帽的混凝土强度、钢筋配置应满足设计要求；
- 3 加筋垫层用土工合成材料应紧贴下承层，按设计和施工要求铺设、张拉、固定。

8.3.2 施工过程中检验实测项目应符合表 7 至表 9 的规定：

表 7 劲性体施工过程中检验实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
一般项目	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	本标准 7.5.3 条	本标准 7.5.3 条	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

表 8 桩帽施工过程中检验实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	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	±15mm	尺量	每工点不少于 9 点
一般项目	3	箍筋间距	±20 mm	尺量	
	4	保护层厚度	+10mm, -5 mm	尺量	

表 9 加筋垫层施工过程中检验实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	1	土工合成材料 搭接长度	不小于设计值	尺量	抽查 2%
	2	下承层平整度、 拱度	满足设计要求	尺量	每 200m 检查 4 处
一般项目	3	土工合成材料 搭接缝错开距离	满足设计要求	尺量	抽查 2%
	4	土工合成材料 锚固长度	满足设计要求	尺量	

8.3.3 当沉桩过程中出现较多桩身开裂或破损情况，对桩身抗压强度存有疑义时，可由建设单位委托有检测资质的机构进行长径比为 1: 1 的全截面桩身抗压强度检测。

8.3.4 劲性体挤土穿过或进入密实砂土、密实粉土或超固结黏性土，可能因挤土效应造成桩身上浮时，应监测单桩沉桩完成时的桩顶标高和全部工程桩沉桩完成后的桩顶标高。

8.3.5 劲性体沉桩挤土可能危及四周的建筑物、道路等，沉桩时应监测四周建（构）筑物和场地土体的变化，挤土效应明显的劲性体复合地基工程，宜设置观测点监测打桩对周边建（构）筑物和地下工程等的影响。

8.4 施工后检验

8.4.1 施工后检验应符合下列要求：

- 1 劲性体施工后应具有良好的完整性；
- 2 劲性体单桩竖向抗压承载力和复合地基承载力的检测结果应满足设计要求；
- 3 桩帽的尺寸应满足设计要求；
- 4 加筋垫层的厚度、宽度及夯填度应满足设计要求。

8.4.2 施工后检验实测项目应符合表 10 至表 13 的规定。

表 10 劲性体施工后检验实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	1	桩长	满足设计要求	查施工记录 低应变法 磁测井法	全部 全部 ($L \leq 20\text{m}$) 抽查 2% 且不少于 5 根
	2	单桩竖向抗压承载力	不小于设计值	静载荷试验	不应少于总桩数的 0.2%，且不应少于 3 根
一般项目	3	桩位	本标准 7.3.9 条	全站仪或用 钢尺量	抽查 2% 且不少于 5 点
	4	桩顶标高	$\pm 50\text{mm}$	水准仪测量	

注： 1 必要时可采用孔内吊锤法替代中磁测井法进行桩长的检查，检查频率应符合设计要求；

2 当有可靠的动静对比试验资料或成熟的地区经验时，也可采用高应变法进行单桩承载力的辅助检验。

表 11 桩帽施工后检验实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	1	厚度	不小于设计值	尺量	抽查 2% 且不少于 5 点
一般项目	2	宽度	不小于设计值	尺量	
	3	帽顶标高	$\pm 50\text{mm}$	水准仪测量	
	4	桩帽中心与桩中心偏差	20mm	经纬仪测量	

表 12 加筋垫层施工后检验实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	1	垫层厚度	不小于设计值	尺量	每 200m 测 2 点且 每工点不少于 5 点
一般项目	2	垫层夯填度	不大于 0.90	尺量	每 200m 每压实层 测 2 处
	3	垫层宽度	不小于设计值	尺量	每 200m 测 2 点且每 工点不少于 5 点

表 13 劲性体复合地基施工后检验实测项目

项目	序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法	检查频率
主控项目	1	复合地基承载力	不小于设计值	静载荷试验	不应少于总桩数的 0.2%，且不应少于 3 点

8.4.3 采用低应变法检测劲性体桩身完整性时，应符合《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106 相关规定：

8.4.4 采用静载荷试验法检测劲性体单桩竖向抗压承载力时，应符合下列规定：

- 1 加载方式应采用慢速维持荷载法；
- 2 静载荷试验最大加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2 倍；
- 3 静载荷试验的仪器设备及其安装、加卸载方式、检测数据分析与判定可参照《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的有关规定。

8.4.5 劲性体单桩承载力检测报告内容参照《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106 相关规定。

8.4.6 采用静载荷试验法检测劲性体复合地基承载力时，应符合下列规定：

- 1 宜采用单桩或多桩复合地基载荷试验确定；
- 2 加载方式应采用慢速维持荷载法；
- 3 载荷试验最大加载量不应小于设计要求的复合地基承载力特征值的 2 倍；
- 4 载荷试验的仪器设备及其安装、加卸载分级及施加方式、检测数据分析与判定可参照《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的有关规定；
- 5 承压板底面标高应与设计要求标高一致；
- 6 检测前应采取措施保持试坑底部岩土的原状结构和天然湿度不变。

8.5 工程质量验收

8.5.1 工程验收时应具备以下资料：

- 1 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；
- 2 经批准的施工组织设计或施工方案；
- 3 桩位测量放线图、包括工程基线复核签证单；
- 4 劲性体的出厂合格证、产品说明书、进场验收检查记录；
- 5 土工合成材料、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；
- 6 劲性体、桩帽的混凝土强度检测报告；
- 7 施工记录汇总、桩位编号图；
- 8 试成桩记录改为成桩工艺试验记录；

- 9 接桩隐蔽验收记录；
- 10 桩顶标高、桩顶平面位置；
- 11 工程竣工图；
- 12 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；
- 13 发生质量事故时的处理记录；
- 14 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；
- 15 相关监测资料；
- 16 其他必要的文件和记录。

附录 A (规范性附录) 劲性体产品及其制作要求

A.1 原材料

圆状劲性体生产时的原材料应符合《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476 的相关规定。

方状劲性体生产时的原材料应符合《预应力混凝土空心方桩基础技术规程》DGJ32/TJ 223 的相关规定。

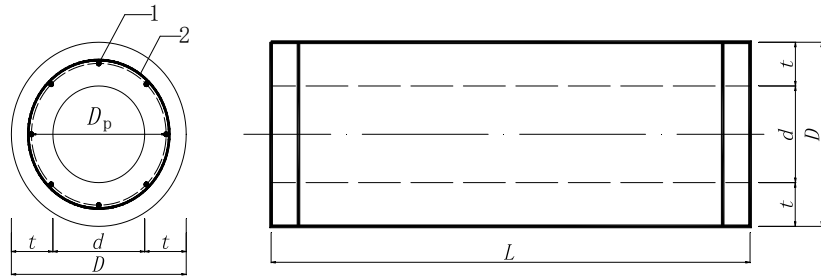
A.2 分类

A.2.1 规格

圆状劲性体按外径一般包括 300mm、400mm、500mm、600mm 共 4 种规格。根据主筋配置的不同，每种混凝土强度等级的劲性体一般可分为 I 型和 II 型。

方状劲性体按外径一般包括 300mm、350mm、400mm、450mm、500mm 共 5 种规格。

A.2.2 劲性体的结构形状和基本几何尺寸如图1所示。



t —壁厚 L —长度 D —外径 d —内径 D_p —预应力钢筋中心所在圆的直径
1—预应力主筋 2—箍筋

图1 圆状劲性体的结构形状

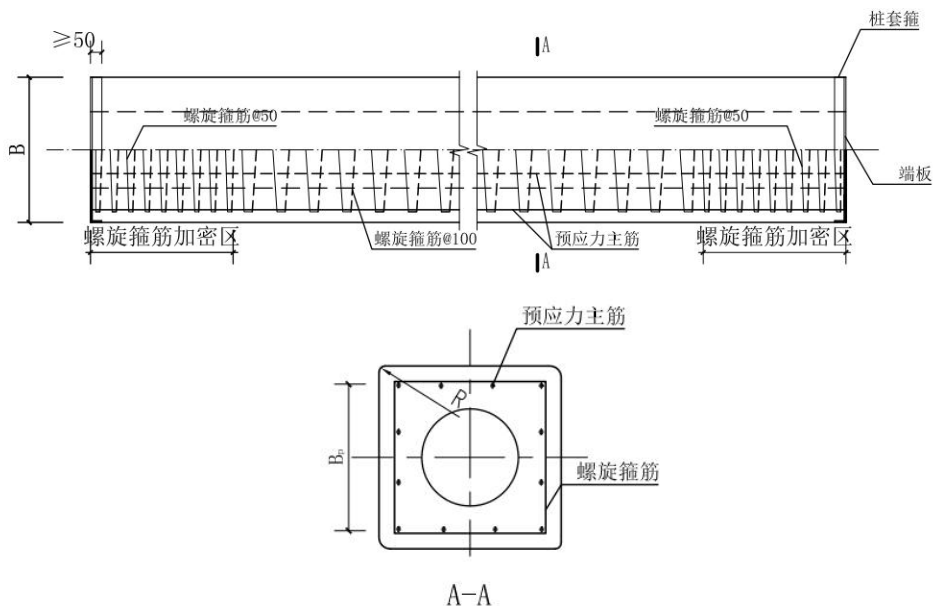
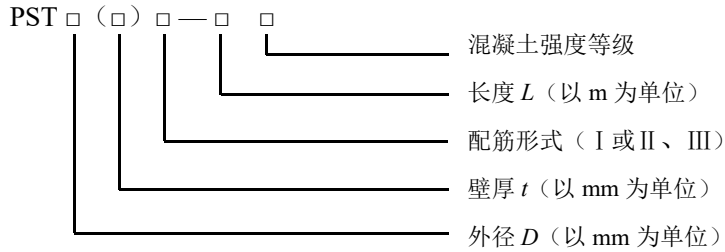


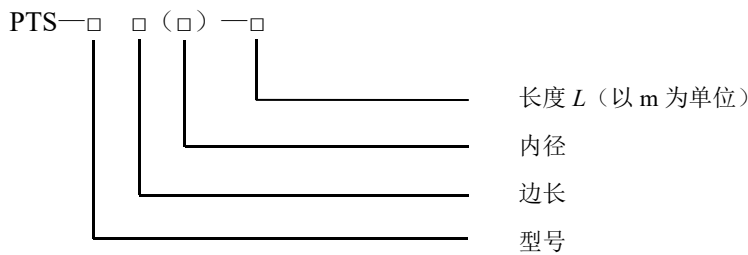
图2 方状劲性体结构形状

A.2.3 每节桩体均应按外径、壁厚、配筋形式、长度、混凝土强度等级进行标记，标记应位于距端头1000mm~1500mm处的桩体外表面。



标记示例：外径 400mm、壁厚 60mm、II 型配筋、长度 12m、混凝土强度等级为 C60 的圆状劲性体的标记为：

PST 400 (60) II—12 C60



标记示例：外径 400mm、内径 220mm、AB 型、长度 12m 的方状劲性体的标记为：

PTS —400 (220) AB—12

A.3 构造要求

A.3.1

1 预应力钢筋应沿其横截面圆周均匀布置，根据长度调节且不得少于5根，间距允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ ，不同品种、规格、型号的劲性体结构配筋应符合本标准附录 A、附录 B 的规定；

2 直径400mm 及以下的圆状劲性体螺旋筋的公称直径不应小于3mm，直径400mm 以上的劲性体螺旋筋的公称直径不应小于4mm；

边长400mm 及以下的方状劲性体螺旋筋的公称直径不应小于4mm，边长400mm 以上的先张法预应力高强混凝土薄壁空心方桩螺旋筋的公称直径不应小于5mm；

3 劲性体螺旋筋加密区长度不小于2000mm，加密区间距不应大于50mm，非加密区间距不应大于100mm，螺旋筋的间距偏差不应超过 $\pm 5\text{mm}$ 。

A.3.2 预应力筋混凝土保护层厚度应符合下列要求：

1 劲性体保护层厚度不小于25mm。

2 用于特殊环境下的劲性体，保护层厚度尚应符合相关标准的要求。特殊环境如：对桩身防腐、抗渗有特殊要求的环境。

A.3.3 端板焊接接头的构造应符合下列规定：

1 圆状劲性体端板应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476 的有关规定：

方状劲性体端板应符合《预应力混凝土空心方桩基础技术规程》DGJ32/TJ 223 的相关规定：

2 接头的端面必须与桩身的轴线垂直，劲性体允许偏差应为 $\pm 0.5\%D$ （ D 为劲性体外径），方状劲性体允许偏差应为 $\pm 0.5\%B$ （ B 为薄壁空心方桩边长）。

A.4 生产工艺

A.4.1 预应力钢筋的加工应符合《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476的相关规定。

A.4.2 混凝土质量控制应符合现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204的规定，预应力钢筋放张时混凝土抗压强度不得低于45MPa，不得采用钻芯取样，出厂时桩身混凝土应达到设计强度。

A.4.3 混凝土配料应称重，并应采用强制式搅拌机进行搅拌。各种材料称量的允许误差为：水泥、掺合料、水、外加剂 $\pm 2\%$ ，粗、细骨料 $\pm 3\%$ 。

A.4.4 其他未尽事宜应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476的有关规定。

附录 B
(规范性附录)
劲性体产品质量要求

B.1 劲性体产品质量检验分为出厂检验和型式检验。

B.2 圆状劲性体出厂检验的批量和抽样应符合《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476的相关规定。

方状劲性体出厂检验的批量和抽样应符合《预应力混凝土空心方桩基础技术规程》DGJ32/TJ 223的相关规定。

B.3 圆状劲性体出厂检验时，混凝土强度检验评定应符合《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476的相关规定。

方状劲性体出厂检验时，混凝土强度检验评定应符合《预应力混凝土空心方桩基础技术规程》DGJ32/TJ 223的相关规定。

B.4 劲性体的外观质量应符合表 14 的规定。

表 14 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5mm，且应修补。
2	合缝漏浆		漏浆深度不大于5mm，每处漏浆长度不大于300mm，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100mm，且应修补。
3	局部磕损		磕损深度不大于5mm，每处面积不大于50cm ² ，且应修补。
4	内外表面露筋		不允许
5	表面裂缝		不得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	桩端面平整度		劲性体端面平整度和预应力钢筋墩头不得高出端板平面
7	断筋/脱头		不允许
8	桩套箍凹陷		凹陷深度不应大于10mm
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5mm，每处漏浆长度不得大于周长的1/6，且应修补。
		孔洞和蜂窝	不允许

B.5 劲性体的尺寸允许偏差应符合表 15 和表 15a 的规定。

表 15 圆状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		+5mm -2mm
4	壁厚 t		+20mm 0
5	保护层厚度		+5mm 0
6	弯曲度		$\leq L/1000$
7	桩端板	外侧平面度	$\leq 0.5\text{mm}$
		外 径	0 -1mm
		内 径	0 -2mm
		厚 度	正偏差不限 0

表 15a 方状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	外边长		+5mm -2mm
4	空心直径 D		0mm -40mm
5	壁厚 t		+20mm 0
6	保护层厚度		+5mm 0
7	弯曲度 $L \leq 15m$		$\leq L/1000$
8	桩端板	外侧平面度	$\leq 0.6\text{mm}$
		边 长	-3 -1
		内孔直径	+2 -2
		厚 度	正偏差不限 -0.3

B.6 圆状劲性体的型式检验应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476 的有关规定。方状劲性体的型式检验应符合《预应力混凝土空心方桩基础技术规程》DGJ32/TJ 223 的相关规定。

附录 C
(规范性附录)
劲性体几何参数及力学性能

C.1 劲性体应进行生产、堆放、吊装、运输及施工等各阶段的抗裂验算。

C.2 劲性体的配筋及相关参数可按表16、表17、表18取值。

表16 C60圆状劲性体桩身配筋及相关参数表

外径 D (mm)	壁厚 t (mm)	型号	配筋 数量 及直径	允许 单节 长度 (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)	极限弯矩 M_u (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	35	871
		II型	7 ϕ 7.1	≤ 11		5.29	25	40	
		III型	6 ϕ 9.0	≤ 12		7.00	30	52	
400	60	I型	7 ϕ 7.1	≤ 12	340	3.84	45	58	1234
		II型	6 ϕ 9.0	≤ 13		5.13	52	78	
		III型	8 ϕ 9.0	≤ 14		6.64	60	99	
		IV型	7 ϕ 10.7	≤ 15		7.95	67	117	
500	65	I型	9 ϕ 7.1	≤ 13	440	3.58	79	97	1710
		II型	10 ϕ 7.1	≤ 14		3.95	82	107	
		III型	12 ϕ 7.1	≤ 15		4.67	89	126	
600	65	I型	12 ϕ 7.1	≤ 15	530	3.86	125	157	2103

表 17 C80 圆状劲性体桩身配筋及相关参数表

外径 D (mm)	壁厚 t (mm)	型号	配筋 数量 及直径	允许 单节 长度 (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)	极限弯矩 M_u (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	4.61	25	35	1137
		II型	7 ϕ 7.1	≤ 11		5.30	27	41	
		III型	6 ϕ 9.0	≤ 12		7.03	31	54	
400	60	I型	7 ϕ 7.1	≤ 12	340	3.85	47	59	1611
		II型	6 ϕ 9.0	≤ 13		5.15	54	79	
		III型	8 ϕ 9.0	≤ 14		6.67	62	102	
		IV型	7 ϕ 10.7	≤ 15		7.99	69	122	
400	80	I型	7 ϕ 7.1	≤ 12	340	3.11	54	56	2021
		II型	6 ϕ 9.0	≤ 13		4.18	62	76	
		III型	8 ϕ 9.0	≤ 14		5.44	71	99	
500	65	I型	9 ϕ 7.1	≤ 13	440	3.58	83	97	2232
		II型	10 ϕ 7.1	≤ 14		3.96	86	107	

		III型	12φ7.1	≤15		4.68	93	127	
500	80	I型	9φ7.1	≤13	440	3.05	91	95	2653
		II型	10φ7.1	≤14		3.37	95	105	
		III型	12φ7.1	≤15		3.99	102	124	
600	65	I型	12φ7.1	≤15	530	3.87	132	158	2653

表 18 C80 方状劲性体桩身配筋及相关参数表

桩身边长 B (mm)	内径 D (mm)	型号	配筋 数量 及直径	允许 单节 长度 (m)	预应力 钢棒分 布边长 Bp (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	A型	8φ7.1	≤13	240	4.51	37	1506
		AB型	8φ9.0			6.60	46	
350	230	A型	8φ7.1	≤14	290	3.47	50	1889
		AB型	8φ9.0			5.38	63	
400	280	A型	8φ7.1	≤15	340	2.88	66	2297
		AB型	8φ9.0			4.50	81	
450	310	A型	12φ7.1	≤15	380	3.33	101	2964
		AB型	12φ9.0			5.17	127	
500	360	A型	12φ7.1	≤15	430	2.87	126	3459
		AB型	12φ9.0			4.48	156	

注：1 上述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；

2 抗剪承载力设计值可根据设计要求确定螺旋箍筋后计算得到。

附录 D
(规范性附录)
劲性体荷载分担比系数

表 19 荷载分担比系数

φ b/s s/h	20°				25°				30°			
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	0.321	0.494	0.652	0.781	0.423	0.609	0.757	0.863	0.540	0.722	0.846	0.911
0.4	0.321	0.494	0.652	0.781	0.423	0.609	0.757	0.863	0.540	0.722	0.813	0.867
0.5	0.321	0.494	0.652	0.781	0.423	0.609	0.748	0.817	0.540	0.686	0.748	0.817
0.6	0.321	0.494	0.652	0.760	0.423	0.607	0.677	0.760	0.540	0.607	0.677	0.760
0.7	0.321	0.494	0.603	0.697	0.423	0.527	0.603	0.697	0.468	0.527	0.603	0.697
0.8	0.321	0.447	0.526	0.628	0.387	0.447	0.526	0.628	0.387	0.447	0.526	0.628
0.9	0.310	0.368	0.448	0.555	0.310	0.368	0.448	0.555	0.310	0.368	0.448	0.555

表 19 (续)

φ b/s s/h	35°				40°				45°			
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6
0.3	0.663	0.822	0.872	0.911	0.778	0.834	0.872	0.911	0.799	0.834	0.872	0.911
0.4	0.663	0.762	0.813	0.867	0.718	0.762	0.813	0.867	0.718	0.762	0.813	0.867
0.5	0.634	0.686	0.748	0.817	0.634	0.686	0.748	0.817	0.634	0.686	0.748	0.817
0.6	0.551	0.607	0.677	0.760	0.551	0.607	0.677	0.760	0.551	0.607	0.677	0.760
0.7	0.468	0.527	0.603	0.697	0.468	0.527	0.603	0.697	0.468	0.527	0.603	0.697
0.8	0.387	0.447	0.526	0.628	0.387	0.447	0.526	0.628	0.387	0.447	0.526	0.628
0.9	0.310	0.368	0.448	0.555	0.310	0.368	0.448	0.555	0.310	0.368	0.448	0.555

注：表中， φ 为填土的内摩擦角， s 为劲性体的中心距， b 为圆形桩帽的等效边长， h 为桩帽以上的填土高度。

附录 E
(资料性附录)
静压法施工记录表

静力压桩施工记录

工程名称: _____ 建设单位: _____

监理单位: _____ 施工单位: _____

设计桩型: _____ 工程±0.000: _____ 设计竖向承载力特征值: _____

压力换算: _____

日期	序号	桩号	配桩 桩长 (m)	配桩方式 (m)	施工 压力值 (MPa)	终止 压力 (kN)	设计桩顶 标高 (m)	实压桩顶 标高 (m)	送桩深 度(m)	备注
本页合计施工米数 (m)										

建设单位:

监理单位:

施工单位:

附录 F (资料性附录) 锤击法施工记录表

锤击预制桩施工记录

工程名称：_____

建设单位：_____

监理单位：_____

施工单位：_____

设计桩型：_____ 设计桩长：_____

接头处理：_____

锤重：_____

工程±0.000：_____

序 号	施 工 日 期	桩 位 编 号	桩下沉每米锤击数																											设计桩 顶标高 m	最后 贯入度 cm/10 击	备 注						
			1	5	10	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37				38	39	40	41	42	桩长 m

建设单位：

监理单位：

施工单位：

附录 G (资料性附录) 条文说明

1 范围

管桩复合地基作为一种刚性桩复合地基，具有施工质量易控制、施工速度快、工后沉降及不均匀沉降小、地基处理深度大、复合地基承载力大、造价适中等突出优点，在软土地基处理等工程中得到了广泛的应用。当上部荷载较小时，管桩的桩体承载力往往存在较大富余。近年来，国内多个地区在管桩的基础上，通过适当减小管桩的壁厚、降低配筋率、优化混凝土配方等方式，形成了预制混凝土劲性体复合地基技术。工程应用经验表明，预制混凝土劲性体复合地基与PHC管桩复合地基的地基处理效果基本一致，且造价可得到一定程度的节约。该技术在省内公路工程的地基处理中取得了较广泛的应用，也推动了建设工程的节能减排和绿色发展，发挥了良好的经济和社会效益。

为推动劲性体复合地基应用技术的发展，同时为了做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量、保护环境，特制定本标准。

劲性体复合地基适宜用于公路工程中填土路堤及小型构造物的地基处理，设计时应主要用于承担竖向压力，不应用于承受较大水平荷载。《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG T D31-02中指出，预应力混凝土薄壁管桩等刚性桩可用于处理深厚软土地基上荷载较大、变形要求较严格的高路堤段、桥头或通道与路堤衔接段。本标准参考上述标准，并总结劲性体复合地基在省内公路工程中的应用经验，给出了劲性体复合地基的设计、施工、质量检验及验收的具体规定。其他行业的地基处理工程，在应用劲性体复合地基时，尚应综合考虑上部结构类型、荷载特征、基础形式等因素，并经试验验证后，方可参考本标准实施。

4 基本规定

4.0.1 本标准中所述的劲性体复合地基本质上为桩网复合地基，按《复合地基技术规范》GB/T 50783的规定，适用于处理黏性土、粉土、砂土、淤泥、淤泥质土地基。但对新近填土、湿陷性土和欠固结淤泥等地基，工后沉降大，荷载几乎全部由劲性体承担，此时劲性体不再与桩间土共同承担荷载，因此不应作为复合地基考虑。

4.0.2 劲性体复合地基中劲性体和桩间土能共同直接承担荷载是形成复合地基的必要条件。在荷载作用下，路堤下的劲性体产生桩体压缩、桩端发生向下的位移，桩顶在路堤沉降时刺入路堤土体中。当在劲性体顶部设置桩帽，并在桩帽上部合理的布置加筋垫层时，可满足复合地基的形成条件，并能充分发挥劲性体的承载潜能，改善填土路堤下劲性体复合地基的变

形性状。

4.0.3 劲性体复合地基正式施工前，通过试成桩可确认劲性体施工工艺对场地及地质条件的适应性，并可获得关键工艺参数，有利于指导后续施工。在施工图设计阶段，进行现场静载荷试验，可验证设计的劲性体及劲性体复合地基承载力能否达到设计要求，或为优化设计方案提供依据。

4.0.4 劲性体可采用静压法、锤击法施工，两种施工方法对地质条件的适应性、对周边环境的影响程度有一定差异，应结合工程具体情况进行施工工艺的选择。劲性体用于软土地基处理时，采用静压法施工更有利于准确控制桩顶标高和劲性体桩身质量；当桩端需进入中密~密实砂层一定厚度时，宜采用锤击法施工；当地基中存在硬夹层需要穿透时，可先进行引孔，然后采用锤击法、静压法施工。

6 设计

6.1.2 复合地基在工作状态时应能保证桩土变形协调从而共同承担荷载。端承型桩变形较小，用于复合地基时仅能通过垫层来协调桩土相对变形，但地下水位下降等原因可能导致地基土沉降，使基础与垫层脱开，地基土不再承担荷载。因此，在劲性体复合地基设计时，不应设计为端承型桩，而应设计为摩擦型桩。考虑到充分发挥劲性体承载力以及控制沉降的需要，劲性体端部应进入压缩性相对较低的土层，此时劲性体作为端承摩擦桩进行设计。

6.1.3 按沉降控制设计是相对于按承载力控制设计而言的。复合地基作为地基处理的一种重要方法，在工程应用中要兼顾承载力和沉降控制。但相对而言，在地基处理工程中，通常更优先关注的是沉降控制问题，尤其是差异沉降的控制问题。在按沉降控制设计时，宜先按满足沉降要求进行设计，然后再验算承载力是否满足要求。

按沉降控制设计尤其适用于软弱地基上的复合地基设计，有利于合理的控制工程费用，但同时要求设计人员更好的掌握沉降计算理论、总结工程经验、提高沉降计算精度，以利于优化设计。

劲性体复合地基是通过一定的沉降量使得劲性体和桩间土共同承担荷载，设计中需要重视沉降对上部结构可能产生的不利影响。

6.1.4 劲性体的壁厚较小，钢筋的混凝土保护层厚度相对较小，因而耐久性相对弱于常用的PHC管桩。当劲性体所处地层范围的土和水对劲性体混凝土及其中的钢筋具有中、强腐蚀性时，一般不建议使用劲性体复合地基。

地基土和地下水对劲性体的腐蚀性等级，可参照现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021、《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046的有关规定确定。

6.2.2 参照现行建筑行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406的规定，对地基处理

和临时性设施基础用管桩的钢筋混凝土保护层厚度不应小于 25mm。

6.2.4 本条参照现行建筑行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的规定。

6.2.5 对劲性体桩网复合地基，设置桩帽可以减少劲性体向垫层中的刺入量，并使得劲性体承担更大比例的荷载。

根据西南交通大学的室内模型试验成果等，当桩帽面积与单桩加固地基面积的比例不小于 25%时，桩网复合地基中桩承担荷载的比例约可达到 90%。因此，对用于软土地基处理的劲性体复合地基，为充分发挥劲性体承担荷载的作用，减小软土承担的荷载，故对填土路堤下劲性体复合地基中劲性体顶部桩帽面积占加固地基面积的比例不应小于 25%。

桩帽采用现浇工法更容易保证对中并使得劲性体顶部与桩帽紧密接触。当采用预制桩帽时，应使桩帽与桩顶牢固连接，并避免垫层施工时导致桩帽倾斜。

6.2.6 劲性体复合地基上设置垫层的目的是增加桩土荷载分担比，使复合地基中的桩体承担更大比例的荷载，因此应设置刚度相对较大的垫层。

垫层对复合地基性状的影响程度与垫层厚度有关。劲性体用于软土地基处理时，桩土相对刚度大，设置一定厚度的垫层有利于适当发挥桩间土的承载性能。

6.2.7 当桩的竖向抗压承载力较高时，宜选择较大的桩间距；但桩间距过大时会使得桩帽造价提高、加筋体的性能要求提高、填土总厚度加大，导致方案不够经济合理。因此，桩间距应根据工程特点、土层条件、荷载情况、经济性等因素合理确定。

6.3.1 本条对劲性体端部进入相对硬层深度的规定，主要源于提高承载力、控制沉降、增强稳定性等方面的考虑。进入持力层深度适当加大，可提高劲性体单桩承载力，有利于充分发挥劲性体桩身承载性能，并有利于减小总沉降和工后沉降；在软土地基中，适当加大在硬土层中的嵌固深度，有利于提高复合地基稳定性。

6.3.5 在劲性体顶部荷载等的作用下，当桩接近破坏状态时，桩顶沉降陡然增大，桩土应力比迅速减小，桩间土承担荷载增大，不利于劲性体复合地基的整体稳定和沉降控制。因此对单桩承载力应保留一定的安全余量，一般可取安全系数为 2.0。

6.3.7 关于成桩工艺系数，不同标准中规定的差异较大，考虑到静压法、锤击法施工在一定程度上会造成劲性体桩身损伤，结合相关标准的规定，本标准建议取 0.70。

6.4.2 对填土路堤下的劲性体复合地基，主要通过填土中土拱的形成以及加筋垫层的作用，使得填土及上部荷载大部分作用于桩帽，从而充分发挥劲性体的承载性能，因此确定桩帽间土拱的高度是填土路堤下劲性体复合地基设计的前提。本条关于桩帽间土拱高度的规定，引用了国家标准《复合地基技术规范》GB/T 50783 的有关内容。

6.4.3 在计算得到的土拱高度的基础上，考虑 20%的安全余量，以保证形成完整的土拱，保

证路面或者堆场地面不发生波浪形的差异沉降。

6.4.9 两层加筋材的总抗强度为 $T1+0.6T2$ ， $T2$ 为上层筋材作用强度。

6.5.1 对填土路堤下的劲性体复合地基，复合地基载荷试验不能反映填土路堤下的劲性体复合地基的桩间土下沉导致不能承担荷载的极限工作状态，故其复合地基承载力应根据竖向抗压静载荷试验并结合工程实践经验确定。对填土路堤下的劲性体复合地基主要由劲性体承担上部荷载，地基土只承担较小比例的荷载，因此关键是确认单桩承载力满足设计要求。

6.5.4 对填土路堤下的劲性体复合地基，其加固区沉降主要由桩身压缩量决定，其数值相对于总沉降的比例很小，故一般在计算总沉降时不予考虑。

6.5.5 目前复合地基下卧层的压缩量一般均采用分层总和法计算，其中下卧层顶部的附加压力的确定是关键，计算方法一般有应力扩散法、等效实体法、改进的 Geddes 法等。应力扩散法的扩散角难以较准确的确定；等效实体法的计算误差主要取决于对侧摩阻力 f 值的合理选用，当桩土相对刚度较小时 f 值选用困难，而劲性体复合地基的桩土相对刚度大，选用误差相对较小；改进的 Geddes 法需要确定荷载分担比，并且需假定桩侧摩阻力分布，容易带来较大误差。因此，对于劲性体复合地基，本标准建议采用等效实体法计算下卧层顶部的附加压力。

6.5.9 工程实例表明，针对整体滑动稳定性满足规范要求的管桩复合地基路堤仍存在滑塌的情况，原因在于当桩间土荷载较大、桩间距较大且桩间土软弱时，可能会发生软弱土绕过管桩滑动，从而造成路堤坍塌。

目前国内尚无统一的绕流稳定性验算方法，实际工程中可参考英国 BS8006 规范推荐的方法按下列公式进行验算：

$$M_D \leq M_{RS} + M_{RR} + M_{RP} \quad (\text{式 1})$$

$$M_{RS} = \sum_{i=1}^n \frac{[c_i' b_i + (f_{fs} W_i + f_q b_i w_{si})(1-r_u) \frac{\tan \varphi_{cvi}'}{f_{ms}}] R}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_{cvi}' \sin \alpha_i}{f_{ms}}} \quad (\text{式 2})$$

$$M_{RR} = T_r Y \quad (\text{式 3})$$

$$M_{RP} = \sum_{i=1}^n F_{pi} X_{pi} \quad (\text{式 4})$$

式中：
 M_D ——滑动力矩；
 M_{RS} ——土体抗滑力矩；
 M_{RR} ——加筋抗滑力矩；

M_{RP} ——桩体抗滑力矩；

c'_i ——第 i 土条底面有效黏聚力；

r_u ——土条底面孔压与土条底面以上荷载之比；

ϕ'_{cvi} ——第 i 土条底面土体峰值内摩擦角之后的稳定摩擦角（弧度）；

Y ——滑动圆心与加筋材料的距离；

X_{pi} ——第 i 根桩与滑动圆点的的水平距离。

6.5.10 工程经验表明，对于单一无硬壳层的流塑状淤泥或淤泥质土层中，在桩底嵌固深度不足时，桩容易出现横向失稳问题。因此，该地质条件下需注意采取加强劲性体复合地基结构的横向稳定性的措施，如适当增加劲性体嵌固段长度、增强桩顶或桩帽间联系构造等。

8 检验和验收

8.2.2 出厂合格的劲性体在吊运过程中可能发生损坏，因此在劲性体施工前，应采用目测、尺量等方法进行抽检。检查中应特别注意劲性体是否产生微小裂缝，对受损劲性体应不准使用。本条列出劲性体进场检验的内容，便于施工单位自检以及监理、质监、业主等单位检查验收。

8.3.3 劲性体壁厚相对较薄，在沉桩过程中可能因各种原因导致桩身开裂或破损现象。本条为劲性体供应商和沉桩施工方对桩身抗压强度发生争议时，提供了科学的处理方法。

8.4.2 现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、建筑行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 以强制性条文规定必须对基桩承载力和桩身完整性进行检验，建筑行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 以强制性条文规定对有粘结强度的复合地基增强体必须进行单桩静载荷试验和复合地基静载荷试验，本标准参照上述标准执行。

公路工程劲性体单桩载荷试验和复合地基载荷试验的检测数量主要参照《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG/T D31-02 的规定，低应变法桩身完整性检测检测数量主要参照了《公路工程基桩动测技术规程》JTG/T F81-01 的有关规定。

8.5.1 本条主要参照了《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的相关规定。