

ICS 93.020

CCS P 22

DB 37

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 4848—2025

公路工程管状劲性体复合地基技术规范

Technical specifications for tubular stiffness composite foundation of highway
engineering

2025 - 05 - 24 发布

2025 - 06 - 24 实施

山东省市场监督管理局 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 设计 1

 4.1 设计资料及适用土层 2

 4.2 管状劲性体选择及计算 2

 4.3 复合地基计算 3

 4.4 桩帽及褥垫层设计 4

5 施工 5

 5.1 施工准备 5

 5.2 沉桩 5

 5.3 管状劲性体连接与截桩 6

 5.4 桩帽及褥垫层施工 7

6 检验和验收 7

 6.1 施工准备检验 7

 6.2 施工过程检验 7

 6.3 施工后检验 8

 6.4 工程质量验收 8

附录 A（规范性） 管状劲性体的结构形式与力学性能要求 9

 A.1 分类 9

 A.2 管状劲性体构造要求 9

 A.3 管状劲性体力学性能要求 10

附录 B（规范性） 管状劲性体质量要求 11

附录 C（资料性） 静压法施工记录表 12

附录 D（资料性） 锤击法施工记录表 13

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

公路工程管状劲性体复合地基技术规范

1 范围

本文件规定了公路工程管状劲性体复合地基设计、施工、检验和验收的技术要求，描述了对应的证实方法。

本文件适用于公路工程管状劲性体复合地基处理。

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—2011 建筑地基基础设计规范
- JGJ 8 建筑变形测量规范
- JGJ 94 建筑桩基技术规范
- JGJ 340 建筑地基检测技术规范
- JTG/T 3512 公路工程基桩检测技术规程
- JTG D30—2015 公路路基设计规范
- JTG/T D31—02—2013 公路软土地基路堤设计与施工技术细则
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

管状劲性体 *tubular stiffness*

预制混凝土管状竖向增强体。

3.2

管状劲性体复合地基 *composite foundation of tubular stiffness*

由管状劲性体及其周围土体共同承担荷载的人工地基。

3.3

桩帽 *pile cap*

安装在管状劲性体顶部，用于调整复合地基中桩土应力比的板式结构。

3.4

桩帽间的土拱高度 *height of soil arch between pile caps*

桩帽以上土体，通过产生完整土拱效应将荷载转移至桩帽，所需要的最小土体高度。

4 设计

4.1 设计资料及适用土层

- 4.1.1 管状劲性体复合地基设计前,应具备岩土工程勘察报告、上部结构设计、场地环境等相关资料。
- 4.1.2 管状劲性体复合地基宜用于素填土、杂填土、淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土等地基及其它高压缩性土的处理。
- 4.1.3 管状劲性体复合地基遇到以下地层时,应根据工程设计的要求,通过工艺性沉桩试验确定其适用性:
- 穿越孤石和障碍物较多的地层;
 - 有坚硬夹层的土层;
 - 膨胀土、自重湿陷性土等特殊土。
- 4.1.4 当管状劲性体复合地基用于地基土和地下水对混凝土结构有中、强腐蚀性的环境以及特殊水文地质环境时,应进行研究论证。
- 4.1.5 管状劲性体复合地基的设计,应包含下列内容:
- 管状劲性体外径、壁厚、长度、强度设计、单桩承载力计算;
 - 管状劲性体复合地基承载力计算、沉降计算、软弱下卧层验算和稳定性验算;
 - 桩帽及褥垫层设计。

4.2 管状劲性体选择及计算

- 4.2.1 管状劲性体的外径宜取 300 mm~600 mm,壁厚宜为 60 mm~65 mm,上部荷载大、加固土层厚、地基土性质差时宜取较大值。
- 4.2.2 管状劲性体长度应满足地基稳定和沉降的要求,端部进入持力层的长度对于黏性土、粉土不宜小于 2 倍劲性体外径,对于砂土不宜小于 1.5 倍劲性体外径。
- 4.2.3 管状劲性体的竖向承载力特征值按公式 (1) 计算:

$$R_a = Q_{uk}/K \dots\dots\dots (1)$$

式中:

R_a ——竖向承载力特征值,单位为千牛 (kN);

Q_{uk} ——竖向极限承载力标准值,单位为千牛 (kN), 应通过静载荷试验确定;

K ——安全系数,取 $K=2$ 。

- 4.2.4 初步设计时,管状劲性体的竖向承载力标准值应结合工程经验参数按公式 (2) 估算:

$$Q_{uk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \dots\dots\dots (2)$$

式中:

u ——管状劲性体周长,单位为米 (m);

q_{sik} ——第 i 层土的极限侧阻力标准值,单位为千帕 (kPa), 由静载荷试验确定,或根据场地单桥或双桥探头静力触探试验结果,按JGJ 94的规定取值;

l_i ——极限端阻力标准值,单位为千帕 (kPa), 由静载荷试验确定,或根据场地单桥或双桥探头静力触探试验结果,按JGJ 94的规定取值;

q_{pk} ——第 i 层土的厚度,单位为米 (m);

A_p ——管状劲性体端部截面面积,单位为平方米 (m^2), 当端部敞口时,宜考虑土塞作用,并符合JGJ 94的规定。

- 4.2.5 管状劲性体的混凝土抗压强度等级不宜小于 C60,当不考虑压屈影响时,管状劲性体的桩身混凝土强度应按公式 (3) 验算:

$$N \leq \psi_c A_p f_c \dots\dots\dots (3)$$

式中:

N ——轴心竖向力作用下，作用于管状劲性体的竖向压力设计值，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，取0.75；当采用顶压式施工时，取0.80；
 A_p ——管状劲性体横截面面积，单位为平方米（m²）；
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值。

4.2.6 管状劲性体的竖向承载力应按公式（4）验算：

$$\gamma_0 F_{cap} \leq R_a \quad (4)$$

式中：

γ_0 ——重要性系数，对一级及以上公路取1.1，其他取1.0；
 F_{cap} ——相应于荷载效应标准组合时作用于桩帽顶部的荷载，单位为千牛（kN），符合JTG/T D31—02的规定。

4.2.7 周围土体沉降可能引起管状劲性体负摩阻力时，管状劲性体的竖向承载力应按公式（5）进行验算：

$$\gamma_0 F_{cap} + Q_g^n \leq R_a \quad (5)$$

式中：

Q_g^n ——相应于荷载效应标准组合时作用于管状劲性体的负摩阻力，单位为千牛（kN），应符合JGJ 94的规定。

4.2.8 管状劲性体的结构形式与力学性能应符合附录A的规定，外观质量要求与尺寸允许偏差应符合附录B的规定。

4.3 复合地基计算

4.3.1 管状劲性体的间距应根据地基土的性质、复合地基承载力、上部结构要求和施工工艺确定，且布置范围考虑填土路基稳定性要求。管状劲性体宜按正方形或等边三角形布置，间距不宜小于5倍桩径。

4.3.2 管状劲性体复合地基承载力特征值在初步设计时按公式（6）和公式（7）估算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta (1 - m) f_{sk} \quad (6)$$

$$m = d^2 / d_e^2 \quad (7)$$

式中：

f_{spk} ——复合地基竖向承载力特征值，单位为千帕（kPa）；
 λ ——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；
 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0.7~1.0，天然地基承载力高时宜取大值；
 f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值，单位为千帕（kPa），宜按地区经验取值，如无经验时可取天然地基承载力特征值；
 d ——管状劲性体外径，单位为米（m）；
 d_e ——单根管状劲性体分担的处理地基面积的等效圆直径，单位为米（m），按等边三角形布置时， d_e 可按1.05 S_a 取值；按正方形布置时， d_e 可按1.13 S_a 取值， S_a 为管状劲性体间距。

4.3.3 管状劲性体复合地基可不考虑桩间土压缩变形对沉降的影响，按单向压缩分层总和法计算最终沉降量时，应符合JTG/T D31—02—2013中关于加固区下卧土层压缩变形量的规定。

4.3.4 地基沉降计算深度应大于加固区的厚度，应符合JTG D30—2015关于沉降计算深度的规定。

4.3.5 当地基受力层范围内有软弱下卧层时，应符合GB 50007—2011中关于地基沉降深度并验算软弱下卧层承载力的规定。

4.3.6 管状劲性体复合地基的稳定性验算，宜采用圆弧滑动法，滑动面上的复合抗剪强度宜按公式（8）

计算:

$$\tau_{ps} = m\tau_p + (1 - m)\tau_s \dots\dots\dots (8)$$

式中:

τ_{ps} ——复合地基抗剪强度, 单位为千帕 (kPa);

τ_p ——管状劲性体抗剪强度, 单位为千帕 (kPa), 可取劲性体混凝土28 d无侧限抗压强度的1/2;

τ_s ——地基土的抗剪强度, 单位为千帕 (kPa)。

4.3.7 特殊地形以及地基较差或地基为单一无硬壳的流塑状淤泥、淤泥质土地层, 应采取适当增加管状劲性体嵌固段长度、增强桩顶或桩帽间联系构造等措施, 加强管状劲性体复合地基结构横向稳定性。

4.4 桩帽及褥垫层设计

4.4.1 管状劲性体顶部应设置强度等级不低于 C30 的圆形或方形混凝土桩帽, 直径或边长不宜小于 1 000 mm, 厚度不宜小于 300 mm。劲性体顶部进入桩帽不宜小于 50 mm 且与桩帽应有可靠连接。

4.4.2 采用正方形布置和正方形桩帽时, 桩帽间的土拱高度应按公式 (9) 计算:

$$h_t = 0.707(S_a - b)/\tan\varphi \dots\dots\dots (9)$$

式中:

h_t ——桩帽间的土拱高度, 单位为米 (m);

S_a ——管状劲性体的中心距, 单位为米 (m);

b ——方形桩帽边长, 单位为米 (m), 圆形桩帽可按面积相等原则等效为方形桩帽;

φ ——填土的摩擦角, 单位为度 ($^{\circ}$), 黏性土取综合摩擦角。

4.4.3 对填土路堤下的管状劲性体复合地基, 桩帽以上的最小填土设计高度应按公式 (10) 计算:

$$h_2 = 1.2(h_t - h_1) \dots\dots\dots (10)$$

式中:

h_2 ——褥垫层之上最小填土设计高度, 单位为米 (m);

h_1 ——褥垫层厚度, 单位为米 (m)。

4.4.4 在荷载基本组合条件下, 桩帽的抗冲切承载力应按公式 (11)~公式 (13) 计算:

$$V_s/u_m h_0 \leq 0.7\beta_{hp}f_t/\eta_0 \dots\dots\dots (11)$$

$$V_s = P_s b^2 - \pi(h_0 \tan 45^{\circ} + d)^2 P_s / 4 \dots\dots\dots (12)$$

$$u_m = \pi(d + h_0 \tan 45^{\circ}) \dots\dots\dots (13)$$

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, 取桩帽底面至上层钢筋网的距离, 单位为米 (m);

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;

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)。

4.4.5 在荷载基本组合条件下, 桩帽的抗弯承载力应按公式 (14) 和公式 (15) 计算:

$$M \leq M_R \dots\dots\dots (14)$$

$$M = \frac{1}{2} P_s d \left(\frac{b-d}{2}\right)^2 + \frac{2}{3} P_s \left(\frac{b-d}{2}\right)^3 \dots\dots\dots (15)$$

式中:

M ——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（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）。

4.4.6 桩帽配筋设计宜按公式（16）计算：

$$A_s \geq \frac{M}{0.9f_y h_0} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

A_s ——桩帽上部受拉钢筋计算截面面积，单位为平方米（ m^2 ）；

f_y ——受拉钢筋计算截面面积，单位为牛每平方毫米（ N/mm^2 ）。

4.4.7 对填土路堤下的管状劲性体复合地基的褥垫层厚度宜取 200 mm~400 mm，当桩间距较大时宜取高值。

4.4.8 褥垫层设置范围宜大于管状劲性体处理范围，褥垫层边缘超出最外侧桩帽边缘的宽度宜为 200 mm~300 mm。

4.4.9 褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、级配砂石、碎石和卵砾石等，最大粒径不宜大于 30 mm，夯填度不应大于 0.9。

4.4.10 桩帽顶部宜铺设加筋体，加筋体应采用具有一定厚度、强度、刚度且完整连续的柔性土工合成材料。加筋体形式宜根据土层条件选择土工格栅、高强土工布、土工格室等。

4.4.11 加筋体宜布置 1 层~2 层，且应覆盖所有桩帽；当布置 2 层时，上部加筋体的作用应折减后按 0.6 倍取用，两层加筋体的间距宜为 100 mm~200 mm。

4.4.12 加筋体的最大拉应力计算应符合 JTG/T D31—02 的规定。

5 施工

5.1 施工准备

5.1.1 管状劲性体施工前应结合岩土工程勘察报告，在代表性位置进行工艺性沉桩试验。

5.1.2 管状劲性体应根据地质条件、设计文件、环境影响和施工设备能力等，选择合适的施工方法并制定专项施工方案。

5.1.3 管状劲性体应按规格、长度及施工流水顺序分类堆放，堆放场地应平整、坚实，排水条件良好。堆放时宜采取支垫措施，支垫材料宜采用长方木或枕木，不应采用有棱角的金属构件；若场地经过充分加固处理，可采用着地平放。堆放层数应根据桩身强度、地面承载力、垫木及堆垛稳定性等因素确定，且堆放层数不宜超过表 1 的规定。

表1 管状劲性体堆放层数限值

管状劲性体外径 mm	300	400	500	600
堆放层数	5	4	3	2

5.2 沉桩

5.2.1 管状劲性体宜采用后退式施工。根据管状劲性体的规格，宜选择先大直径后小直径，先长后短，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。

5.2.2 在邻近湖、塘的施工场区，应防止由地下水位的升降及施工时的挤土效应而产生桩位偏移和倾斜。

5.2.3 当管状劲性体施工可能影响邻近建（构）筑物、边坡、地下管线的正常使用和安全时，应选择合理的施工顺序，或采用引孔、隔离等施工措施，减少振动和挤土影响。

5.2.4 沉桩应连续进行，尽量减少中间停滞时间。首节桩沉入地面下 0.5 m~1.0 m 时，垂直度偏差不应大于 0.5%。沉桩过程中，当桩身垂直度偏差超过 0.8% 时，应找出原因并做纠正处理。沉桩后不应采用移动桩架的方法进行纠偏。

5.2.5 沉桩施工应配备专用送桩器，不应将工程用桩作为送桩器。

5.2.6 管状劲性体沉桩方式可采用静压法、锤击法和引孔辅助法。

5.2.7 采用静压法沉桩时应符合以下规定：

- a) 应经现场工艺性沉桩试验后合理选择静力压桩设备型号和配重；
- b) 沉桩前处理空中及地下障碍物，并平整、压实地面，且地面承载力不应小于压桩机接地压强的 1.2 倍；
- c) 沉桩过程中的最大压桩力应符合设计要求，或根据沉桩工艺试验确定，且不应大于桩身结构竖向承载力设计值的 1.5 倍；
- d) 终压控制标准应根据设计要求、工艺性沉桩试验、桩端进入持力层深度及压桩动阻力等因素，结合静载荷试验确定；
- e) 摩擦桩与端承摩擦桩以桩端标高控制为主，终压力控制为辅；当终压力达不到预估值时，单桩竖向承载力特征值应根据静载试验确定；
- f) 当压桩力已达到终压力或桩端已进入持力层时应采取稳压措施。

5.2.8 采用锤击法沉桩时应符合以下规定：

- a) 打桩锤采用柴油锤或液压锤，经现场工艺性沉桩试验后合理选用锤型；
- b) 沉桩前处理空中及地下障碍物，平整、压实地面，排水畅通，并满足施工所需的地面承载力；
- c) 每根管状劲性体的总锤击及最后 1.0 m 锤击数根据现场工艺性沉桩试验情况及施工经验确定；
- d) 收锤标准根据工程地质条件、管状劲性体的承载性状、承载力特征值、规格及入土深度、打桩锤性能规格及冲击能量、桩端持力层性状及桩尖进入持力层深度、最后贯入度或最后 1.0 m~3.0 m 的每米沉桩锤击数等因素综合确定；
- e) 摩擦桩与端承摩擦桩以桩端标高控制为主，贯入度为辅；当桩端到达坚硬、硬塑的黏性土、中密及以上粉土、砂土时，以贯入度控制为主，桩端标高为辅。

5.2.9 采用引孔辅助法沉桩时宜符合以下规定：

- a) 进行工艺性沉桩试验，引孔直径不超过桩直径的 2/3，深度不超过桩长的 2/3，并采取防塌孔的措施；
- b) 采用长螺旋钻机引孔，垂直偏差不大于 0.5%；
- c) 引孔作业和沉桩作业连续进行，间隔时间不大于 12 h。

5.2.10 当实际地质情况与岩土工程勘察报告不符时，应立即停止施工，并通知相关单位进行处理。

5.2.11 管状劲性体复合地基施工记录见附录 C 和附录 D。

5.3 管状劲性体连接与截桩

5.3.1 管状劲性体的连接方法可选择焊接法、机械连接法。

5.3.2 桩身连接时，入土部分桩端宜高出地面 1.0 m。下节桩的桩头处宜设置导向箍或其他导向措施，保持上下节段顺直，错位不大于 2.0 mm。

5.3.3 焊接前，上下接头端板坡口应除锈、洁净、干燥。焊接宜采用二氧化碳气体保护焊或手工电弧焊。当采用二氧化碳气体保护焊时，焊接层数不应少于 2 层；当采用手工电弧焊时，焊接层数不宜少于 3 层。内层焊渣应清理干净后方可施焊外层，焊缝应连续、饱满。焊接时宜先在坡口圆周上对称点焊 4 点~6 点，待上、下节桩固定后拆除导向箍再分层施焊，施焊宜对称进行。雨天焊接时，应采取可靠的防雨措施。

5.3.4 施焊完成并检查合格后，应经自然冷却，方可继续沉桩。锤击桩自然冷却时间不宜少于 8 min，

静压桩自然冷却时间不宜少于 6 min。

5.3.5 机械连接时，连接间隙应采用沥青填料填满。

5.3.6 采用啮合式机械连接时应符合以下规定：

- a) 连接前将上、下端板清理干净，将涂抹沥青填料的连接销逐根旋入上节管状劲性体端板螺栓孔内，并用校正器调整好连接销高度；
- b) 剔除已施工的下节管状劲性体端板连接槽内保护块，在连接槽内注入沥青填料，并沿带槽端板外周边抹上宽度 20 mm，厚度 3 mm 的沥青填料，当地基土、地下水有中等及以上腐蚀性时，带槽端板板面应满涂厚度为 3 mm 的沥青填料；
- c) 将上节管状劲性体吊起，使连接销与带槽端板上各个连接口对准插入，加压使上、下节管状劲性体端板接触，接桩完成。

5.3.7 采用其他机械连接接桩时，应符合相应操作要求的规定，固定正确、牢固。

5.3.8 截桩宜采用锯桩器，不应采用大锤、破碎机等横向敲击或强行扳、拉截桩。

5.4 桩帽及褥垫层施工

5.4.1 桩帽应选用现浇桩帽或预制桩帽。桩帽施工前，桩帽底部土体应平整、压实，施工时桩帽中心与管状劲性体中心应对齐。预制桩帽安装时，桩帽与底部土体之间应密实，不应脱空，桩帽之间应采用砂土、石屑等回填平整。

5.4.2 褥垫层材料应满足设计要求，加筋体应铺设平整，褥垫层应分层压实。

5.4.3 加筋体应选用较大幅宽并铺设平整，经纬方向与布桩的纵横方向相同。两幅搭接时，接头宜布置在桩帽上，重叠宽度不小于 300 mm。

6 检验和验收

6.1 施工准备检验

6.1.1 施工前应按附录 A 的规定对管状劲性体的结构形式与力学性能进行检验，应按附录 B 的规定对管状劲性体的外观质量与尺寸偏差进行检验。

6.1.2 管状劲性体混凝土强度的检验应符合 JTG F80/1 的规定。

6.1.3 褥垫层材料、加筋体的抗拉强度、延伸率应满足设计要求。加筋体应无老化，外观应无破损、无污染。

6.2 施工过程检验

6.2.1 施工过程中应进行下列项目的检验：

- a) 管状劲性体的定位及就位前的复测；
- b) 桩机机械性能；
- c) 管状劲性体垂直度；
- d) 接头质量；
- e) 锤击（静压）技术指标；
- f) 桩顶标高；
- g) 施工记录；
- h) 挤土效应对周边环境影响。

6.2.2 管状劲性体可采用吊线锤法测量桩身垂直度。需送桩的管状劲性体，可在桩端距自然地面 1.0 m~1.5 m 时测得的垂直度作为该节桩的桩身垂直度。

6.2.3 沉桩挤土可能危及四周的建（构）筑物、道路等设施时，应设置观测点监测沉桩对周边建（构

筑物和地下工程的影响。监测点布置及观测要求应符合 JGJ 8 的规定。

6.3 施工后检验

6.3.1 施工完成后应进行管状劲性体完整性、单桩竖向抗压承载力及复合地基承载力的检验。

6.3.2 管状劲性体低应变法完整性检验，应符合以下规定：

- a) 检测数量不应低于单位工程总数量的 10%，且不少于 10 根；
- b) 检测应在施工完成 3 d 后且相邻管状劲性体施工完毕后进行；
- c) 检测要求及结果判定符合 JTG/T 3512 的规定。

6.3.3 管状劲性体单桩竖向抗压承载力和复合地基承载力检验，应符合以下规定：

- a) 单桩竖向抗压承载力和复合地基承载力检测数量均不低于单位工程总数量的 0.5%，且不少于 3 根（处）；
- b) 检测休止期时间符合 JTG/T 3512 的规定；
- c) 检测要求及结果判定符合 JGJ 340 的规定。

6.3.4 管状劲性体桩距、桩径、桩长的检验应符合 JTG F80/1 的规定。

6.4 工程质量验收

6.4.1 工程验收时应具备以下资料：

- a) 设计文件、施工图纸会审记录、设计变更资料等；
- b) 桩位测量放线图、工程基线复核签证单等；
- c) 岩土工程勘察报告；
- d) 施工组织设计或施工方案；
- e) 管状劲性体检查资料，包括管状劲性体的规格型号、尺寸偏差和外观质量，预应力钢棒的数量和直径，箍筋的直径和间距，箍筋加密区的长度，端板、桩尖以及机械连接套的尺寸，预应力钢棒和箍筋抽检、接头焊缝验收记录等汇总资料；
- f) 预应力钢棒、箍筋、端板材质检验报告，管状劲性体混凝土强度检测报告；
- g) 施工记录、桩位编号图等；
- h) 桩顶标高、平面位置、垂直度偏差检测结果；
- i) 管状劲性体完整性检测报告；
- j) 管状劲性体承载力及复合地基承载力检测报告；
- k) 相关监测资料；
- l) 发生质量事故时的处理记录；
- m) 施工技术措施记录。

6.4.2 工程验收时应符合以下规定：

- a) 管状劲性体施工后应具有良好的完整性；
- b) 管状劲性体的竖向承载力和复合地基承载力的检测结果应满足设计要求；
- c) 桩帽尺寸应满足设计要求；
- d) 褥垫层的厚度、宽度及夯填度应满足设计要求。

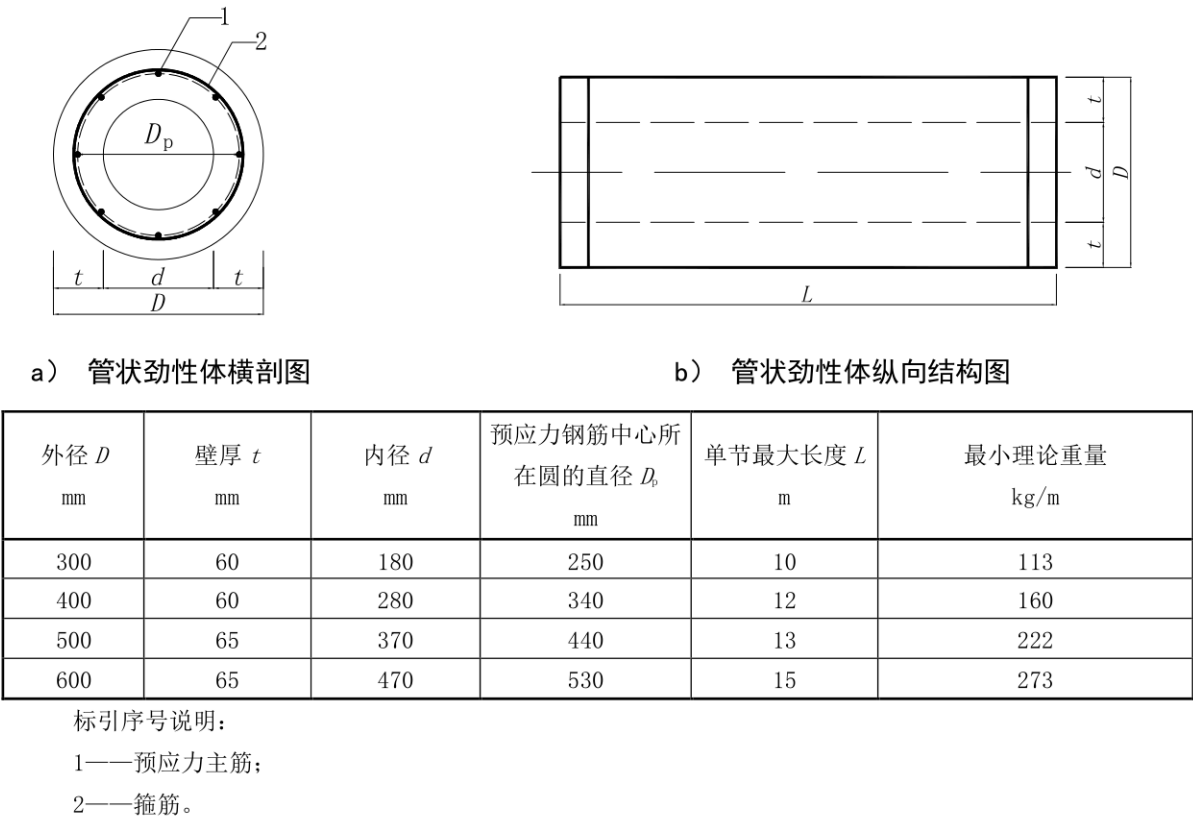
附录 A
(规范性)

管状劲性体的结构形式与力学性能要求

A.1 分类

A.1.1 管状劲性体按外径一般分为300 mm、400 mm、500 mm、600 mm共4种规格。按混凝土强度等级分为管状劲性体（C60）、高强混凝土管状劲性体（C80）和超高强混凝土管状劲性体（C100）。

A.1.2 管状劲性体的结构形式和基本几何尺寸见图A.1。



图A.1 管状劲性体的结构形式

A.2 管状劲性体构造要求

A.2.1 管状劲性体钢筋骨架应符合下列规定：

- a) 预应力钢筋沿其横截面圆周均匀布置，最小配筋率不低于 0.3%，且不少于 6 根，间距允许偏差为 ± 5 mm；
- b) 外径 400 mm 以下管状劲性体的螺旋筋公称直径不小于 3 mm，外径 400 mm 及以上管状劲性体的螺旋筋公称直径不小于 4 mm；
- c) 螺旋筋加密区长度不少于 3 倍外径且不小于 2 000 mm，加密区螺旋筋净间距不大于 50 mm，非加密区螺旋筋净间距不大于 80 mm，螺旋筋净间距偏差不得超过 ± 5 mm。

A.2.2 管状劲性体预应力钢筋混凝土保护层厚度应符合下列要求：

- a) 管状劲性体保护层厚度不小于 25 mm；
- b) 用于特殊环境下的管状劲性体，进行研究后确定保护层厚度。

A.2.3 端板焊接接头的构造应符合下列规定：

- a) 管状劲性体端板的宽度不小于管状劲性体的设计壁厚；
- b) 接头的端面与管状劲性体竖向轴线垂直，允许偏差为±0.5% D。

A.3 管状劲性体力学性能要求

A.3.1 管状劲性体的抗弯和抗压性能、单节最大长度及相应配筋见表A.1。

表A.1 管状劲性体力学性能计算值

外径 D mm	壁厚 t mm	允许单节 长度 L m	配筋数量 及直径	螺旋 筋直 径	混凝土 强度等 级	混凝土有效预 应力值 σ_{ce} MPa	桩身开裂 弯矩 M_{cr} kN·m	桩身受弯承载 力设计值 M kN·m	桩身竖向抗压承 载力设计值 R_0 kN
300	60	≤10	6 Φ 7.1	3	C60	4.59	24	34	870
					C80	4.60	24	35	1136
					C100	4.62	26	35	1377
400	60	≤12	6 Φ 7.1	4	C60	3.32	43	50	1233
					C80	3.32	44	51	1610
					C100	3.33	47	51	1951
500	65	≤13	8 Φ 7.1	4	C60	3.20	77	86	1709
					C80	3.20	79	87	2232
					C100	3.21	84	88	2704
600	65	≤15	10 Φ 7.1	4	C60	3.25	120	133	2103
					C80	3.25	123	134	2745
					C100	3.26	130	135	3326

A.3.2 配筋、壁厚、单节长度、混凝土强度等参数可根据工程设计要求进行调整，力学性能参数相应调整。

附 录 B
(规范性)
管状劲性体质量要求

B.1 管状劲性体的外观质量应符合表 B.1 的规定。

表B.1 管状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	不准许
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	断筋/脱头	不准许

B.2 管状劲性体的尺寸允许偏差应符合表 B.2 的规定。

表B.2 管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	弯曲度	$\leq L/1000$

附录 C
(资料性)
静压法施工记录表

静压法施工记录表格式见图C.1。

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	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)										

监理单位签字: _____ 施工人员签字: _____

图C.1 静压法施工记录表

附录 D
(资料性)
锤击法施工记录表

锤击法施工记录表格式见图D.1。

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)												

监理人员签字: _____
施工人员签字: _____

图D.1 锤击法施工记录表