

DB33

浙江省地方标准

DB 33/T 927—2014

长管节后张法预应力混凝土 大管桩设计与施工规程

Technical code of design and construction for long tube and large diameter post
tensioned prestress concrete cylinder pile

2014 - 07 - 07 发布

2014 - 08 - 07 实施

浙江省质量技术监督局 发布

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 长管节大管桩设计 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 计算 2

 4.3 构造 7

5 长管节制作 9

 5.1 原材料 9

 5.2 钢模 10

 5.3 混凝土 10

 5.4 成型与养护 11

 5.5 起吊、堆存和运输 11

 5.6 质量检验 12

6 长管节大管桩拼接 12

 6.1 钢绞线 12

 6.2 锚具与夹具 12

 6.3 粘结剂 13

 6.4 拼接与张拉 13

 6.5 压浆与放张 14

 6.6 桩质量检验 15

7 长管节大管桩吊运、堆存和装运 16

 7.1 场内吊运 16

 7.2 场内堆存 16

 7.3 装运 16

8 长管节大管桩沉桩 16

 8.1 一般规定 17

 8.2 吊桩 17

 8.3 沉桩工艺 17

 8.4 质量控制 18

附录 A（规范性附录） 长管节大管桩型号、规格及技术性能表 19

附录 B（规范性附录） 长管节大管桩性能曲线 23

附录 C（资料性附录）	长管节大管桩设计选用示例.....	27
附录 D（规范性附录）	粘结剂正拉粘结强度试验方法.....	31
附录 E（资料性附录）	选锤参考资料	34

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由浙江省交通运输厅提出并归口。

本标准的起草单位：浙江省交通运输厅工程质量监督局、宁波海港工程有限公司、浙江省交通规划设计研究院。

本标准主要起草人员包括：吴安宁、陈妙初、陈学国、叶先光、曹云、应永良、史美鹏、赵殿鹏、荣海敏、何晓宇、杨明军、陈晓峰、戴晓栋、徐小梅、蒋春晖、应志峰、张盛创、吴捷安、应齐明、吴显华、董志远、贾慧萍、方中军、王果、王斐斐、孙健、张秀华、王光忠、陈月松、王世军。

长管节后张法预应力混凝土 大管桩设计与施工规程

1 范围

本标准规定了长管节后张法预应力混凝土大管桩设计、制作、拼接、吊运、堆存、装运以及沉桩等技术要求。

本标准适用于长管节后张法预应力混凝土大管桩的设计与施工。

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 175 通用硅酸盐水泥

GB 50158 港口工程结构可靠度设计统一标准

GB/T 701 低碳钢热轧圆盘条

GB/T 2567 树脂浇铸体性能试验方法

GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线

GB/T 14370 预应力筋锚具、夹具和连接器

GB/T 50152 混凝土结构试验方法标准

JTG/T F50 公路桥涵施工技术规范

JTJ 270 水运工程混凝土试验规程

JTJ 275 海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范

JTS 151 水运工程混凝土结构设计规范

JTS 167—4 港口工程桩基规范

JTS 167—6 港口工程后张法预应力混凝土大管桩设计与施工规程

JTS 202 水运工程混凝土施工规范

JTS 257 水运工程质量检验标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

长管节 long pile section

长度为8 m及以上,采用离心工艺生产的混凝土管桩的单位节段。

3.2

长管节大管桩 long tube and large diameter cylinder pile
采用后张法预应力拼接的多节段长管节的混凝土大管桩。

4 长管节大管桩设计

4.1 一般规定

- 4.1.1 长管节大管桩上的作用及作用组合应符合 GB 50158 的有关规定。
- 4.1.2 长管节大管桩在海水环境中的设计使用年限应不低于 50 年，且应符合 JTJ 275 的有关规定；设计使用年限超过 50 年的结构应进行专项耐久性设计；有抗冻要求的长管节大管桩的使用性能应符合 JTS 202、JTS 151 的规定。
- 4.1.3 嵌岩长管节大管桩设计应符合 JTS 167—4 的有关规定。
- 4.1.4 长管节大管桩型号、规格及技术性能可参见附录 A 的表 A.2。

4.2 计算

4.2.1 验算项目

- 4.2.1.1 不同工作阶段的长管节大管桩应按表 1 中所规定的验算内容进行相应作用状态下的验算。

表1 长管节大管桩不同工作阶段验算项目表

工作阶段	验算内容	作用状态
吊运阶段	抗裂验算	吊运产生的弯矩
锤击沉桩阶段	锤击拉应力、压应力验算	锤击沉桩拉应力
		锤击沉桩压应力
使用阶段	抗裂验算	受拉桩轴心拉力与弯矩组合
		受压桩轴心压力与弯矩组合
	正截面承载力验算及单桩承载力验算	轴心受拉
		轴心受压
		受拉桩轴心拉力与弯矩组合
		受压桩轴心压力与弯矩组合

- 4.2.1.2 长管节大管桩单桩承载力验算包括：单桩轴向承载力验算和水平承载力验算。单桩承载力的计算和试验方法应符合 JTS 167—4 的有关规定。

4.2.2 吊运阶段验算

长管节大管桩在吊运阶段应进行抗裂验算。
其截面边缘的混凝土法向拉应力应满足式（1）、法向压应力应满足式（2）要求：

$$\frac{M}{W_0} - \sigma_{pc} \leq 0.7\gamma f'_{tk} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{M}{W_0} + \sigma_{pc} \leq 0.85 f'_{ck} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

M ——吊运阶段的弯矩设计值 ($\text{N}\cdot\text{mm}$) ;

W_0 ——按照混凝土弹性模量换算的截面弹性抵抗矩 (mm^3) ;

σ_{pc} ——长管节大管桩混凝土有效预压应力值 (N/mm^2) ;

γ ——受拉区混凝土塑性影响系数;

f'_{tk} ——长管节大管桩混凝土在施工阶段轴心抗拉强度标准值 (N/mm^2) ;

f'_{ck} ——长管节大管桩混凝土在施工阶段轴心抗压强度标准值 (N/mm^2) 。

4.2.3 锤击沉桩阶段验算

4.2.3.1 长管节大管桩进行锤击沉桩拉应力验算时, 应满足下式要求:

$$\gamma_{\text{sk}} \sigma_{\text{k}} \leq f_{\text{t}} + \sigma_{\text{pc}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

γ_{sk} ——锤击拉应力分项系数, 取1.15;

σ_{k} ——锤击沉桩拉应力标准值 (N/mm^2) , 该值根据锤能、锤击速度大小、桩垫软硬程度、桩长、组合钢管桩长度和地质条件等综合确定, 可取8.0 $\text{N}/\text{mm}^2 \sim 11.0 \text{ N}/\text{mm}^2$, 带有较长钢管桩的组合桩应取较大值;

f_{t} ——长管节大管桩混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm^2) ;

σ_{pc} ——长管节大管桩混凝土有效预压应力值 (N/mm^2) 。

4.2.3.2 长管节大管桩进行锤击沉桩压应力验算时, 应满足下式要求:

$$\gamma_{\text{sp}} \sigma_{\text{p}} \leq f_{\text{c}} - \sigma_{\text{pc}} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

γ_{sp} ——锤击压应力分项系数, 取1.1;

σ_{p} ——锤击沉桩压应力标准值 (N/mm^2) , 根据桩端支撑性质、桩截面大小、桩长、选用的桩锤锤击能量和地质条件等综合确定, 其上限值可取25.0 N/mm^2 ;

f_{c} ——长管节大管桩混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2) ;

σ_{pc} ——长管节大管桩混凝土有效预压应力值 (N/mm^2) 。

4.2.4 使用阶段验算

4.2.4.1 抗裂验算

4.2.4.1.1 长管节大管桩应按照正常使用极限状态效应组合对截面进行抗裂验算。

截面边缘压应力按照式(5)、截面边缘拉应力按照式(6)计算:

$$\sigma_{\text{c}} = \left(\frac{N}{A_0} + \frac{M}{W_0} \right) \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_{\text{t}} = \left(\frac{N}{A_0} - \frac{M}{W_0} \right) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- σ_c ——截面边缘压应力 (N/mm^2);
 N ——使用阶段的轴力设计值 (N), N 以压力为正, 拉力为负;
 A_0 ——长管节大管桩换算截面面积 (mm^2);
 M ——使用阶段的弯矩设计值 ($\text{N}\cdot\text{mm}$);
 W_0 ——按照混凝土弹性模量换算的截面弹性抵抗矩 (mm^3);
 σ_t ——截面边缘拉应力 (N/mm^2)。

4.2.4.1.2 对于裂缝控制等级为一级的长管节大管桩截面边缘拉应力在作用的标准组合下和裂缝控制等级为二级的长管节大管桩截面边缘拉应力在作用的准永久组合下应满足下式要求:

$$\sigma_t \leq \sigma_{pc} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- σ_t ——截面边缘拉应力 (N/mm^2);
 σ_{pc} ——长管节大管桩混凝土有效预压应力值 (N/mm^2)。

4.2.4.1.3 对于裂缝控制等级为二级的长管节大管桩截面边缘拉应力在作用的标准组合下应满足下式要求:

$$\sigma_t \leq \sigma_{pc} + \alpha_{ct} \gamma f_{tk} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- σ_t ——截面边缘拉应力 (N/mm^2);
 σ_{pc} ——长管节大管桩混凝土有效预压应力值 (N/mm^2);
 α_{ct} ——混凝土拉应力限制系数;
 γ ——受拉区混凝土塑性影响系数;
 f_{tk} ——长管节大管桩混凝土轴心抗拉强度标准值 (N/mm^2)。

4.2.4.2 正截面承载力验算

4.2.4.2.1 使用阶段长管节大管桩截面应按照承载能力极限状态作用效应组合进行验算。

4.2.4.2.2 轴心受拉长管节大管桩应满足下式要求:

$$N \leq N_u \dots\dots\dots (9)$$

$$N_u = f_{py} A_p \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- N ——使用阶段的轴力设计值 (N);
 N_u ——长管节大管桩截面轴心抗拉承载力设计值 (N);
 f_{py} ——钢绞线抗拉强度设计值 (N/mm^2);
 A_p ——钢绞线截面面积 (mm^2)。

4.2.4.2.3 轴心受压长管节大管桩应满足下式要求:

$$N \leq \varphi N_{u0} \dots\dots\dots (11)$$

$$N_{u0} = 0.9(f_c A + (f'_{py} - \sigma'_{p0})A_p) \dots\dots\dots (12)$$

式中:

N ——使用阶段的轴力设计值 (N) ;

φ ——轴心受压稳定系数, 参见JTS 151相关章节;

N_{u0} ——轴心受压稳定系数时, 长管节大管桩截面轴心抗压承载力设计值 (N) ;

f_c ——长管节大管桩混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm²) ;

A ——长管节大管桩截面面积 (mm²) ;

f'_{py} ——钢绞线抗压强度设计值 (N/mm²) ;

σ'_{p0} ——纵向预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时钢绞线拉应力 (N/mm²) ;

A_p ——钢绞线截面面积 (mm²) 。

4.2.4.2.4 对于 CD1200 系列长管节大管桩, 其截面轴心抗压承载力设计值可参见附录 A 中表 A.2 的长管节大管桩型号、规格及技术性能表。

4.2.4.2.5 轴力和弯矩共同作用的长管节大管桩应满足下式要求:

$$\eta M \leq M_u \dots\dots\dots (13)$$

$$M_u = \frac{(\alpha_1 f_c A (D + d) \sin(\pi\alpha) / 4 + f'_{py} A_p d_p \sin(\pi\alpha) / 2 + (f_{py} - \sigma_{p0}) A_p d_p \sin(\pi\alpha_t) / 2)}{\pi} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

当轴力设计值满足: $N \leq 2\alpha_1 f_c A / 3 + (2f'_{py} / 3 - \sigma_{p0}) A_p$ 时, 公式 (14) 中系数 α 和 α_t 按下式计算:

$$\alpha = \frac{N + A_p f_{py}}{\alpha_1 f_c A + f'_{py} A_p + 1.5 f_{py} A_p - 1.5 \sigma_{p0} A_p} \dots\dots\dots (15)$$

$$\alpha_t = 1 - 1.5\alpha \dots\dots\dots (16)$$

当轴力设计值满足: $N > 2\alpha_1 f_c A / 3 + (2f'_{py} / 3 - \sigma_{p0}) A_p$ 时, 公式 (14) 中系数 α 和 α_t 按下式计算:

$$\alpha = \frac{N + A_p \sigma_{p0}}{\alpha_1 f_c A + f'_{py} A_p} \dots\dots\dots (17)$$

$$\alpha_t = 0 \dots\dots\dots (18)$$

式中:

η ——截面偏心距增大系数, 参见JTS 151相关章节;

M ——使用阶段的弯矩设计值 (N•mm) ;

M_u ——指定轴力下截面抗弯承载力设计值 ($N \cdot mm$)；对于CD1200系列长管节大管桩，其截面抗弯承载力设计值可参见附录B的长管节大管桩性能曲线；

α_1 ——长管节大管桩混凝土矩形应力图应力与混凝土轴心抗压强度设计值之比，C80时 $\alpha_1 = 0.94$ ；

f_c ——长管节大管桩混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2)；

A ——长管节大管桩截面面积 (mm^2)；

D ——长管节大管桩环形截面外直径 (mm)；

d ——长管节大管桩环形截面内直径 (mm)；

α ——长管节大管桩受拉区面积与全截面面积之比；

f'_{py} ——钢绞线抗压强度设计值 (N/mm^2)；

A_p ——钢绞线截面面积 (mm^2)；

d_p ——钢绞线重心所在圆的直径 (mm)；

f_{py} ——钢绞线抗拉强度设计值 (N/mm^2)；

σ_{p0} ——纵向预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时钢绞线拉应力 (N/mm^2)；

α_t ——纵向受拉钢筋截面面积与全部纵向钢筋截面面积的比值，当 $\alpha > 2/3$ 时，取 $\alpha_t = 0$ ；

N ——使用阶段的轴力设计值 (N)。

4.2.5 张拉控制应力值

4.2.5.1 施加预应力时，混凝土立方体抗压强度不得低于设计强度的 75%，结构计算时，不应考虑非预应力钢筋。

4.2.5.2 预应力主筋应采用高强度低松弛钢绞线，钢绞线的强度指标应符合 GB/T 5224 的规定。其张拉控制应力值宜满足下式要求：

$$\sigma_{con} \leq 0.70 f_{ptk} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

σ_{con} ——钢绞线张拉控制应力值 (N/mm^2)；

f_{ptk} ——钢绞线抗拉强度标准值 (N/mm^2)。

4.2.5.3 张拉控制应力值 σ_{con} 考虑钢绞线松弛、摩擦阻力等各项预应力损失，可提高 $0.05 f_{ptk}$ 。

4.2.6 预应力损失值

4.2.6.1 在计算结构截面应力和钢绞线控制应力时，钢绞线在施工阶段的预应力损失值宜根据试验确定。如无试验资料时可按下式计算：

$$\sigma_1 = \sigma_{11} + \sigma_{12} + \sigma_{13} + \sigma_{14} + \sigma_{15} + \sigma_{16} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

σ_1 ——钢绞线在施工阶段总预应力损失值 (N/mm^2)；

- σ_{11} ——锚具变形和钢绞线内缩引起的预应力损失值 (N/mm^2) ;
- σ_{12} ——钢绞线与预留孔道壁之间摩阻力引起的预应力损失值 (N/mm^2) ;
- σ_{13} ——拼接缝粘结剂弹性压缩变形引起的预应力损失值 (N/mm^2) ;
- σ_{14} ——钢绞线应力松弛引起的预应力损失值 (N/mm^2) ;
- σ_{15} ——混凝土收缩徐变引起的预应力损失值 (N/mm^2) ;
- σ_{16} ——分批张拉钢绞线时,后批张拉钢绞线所产生的混凝土弹性压缩变形对先批张拉钢绞线所引起的预应力损失值 (N/mm^2) 。

4.2.6.2 σ_{11} 、 σ_{12} 、 σ_{13} 、 σ_{14} 、 σ_{15} 各项预应力损失值应按 JTS 151 有关预应力钢筋的预应力损失值规定计算。

4.2.6.3 计算 σ_{16} 分批张拉钢绞线时,累计到 j 批次张拉钢绞线所产生的混凝土弹性压缩变形对之前 i 批次张拉钢绞线所引起的预应力损失值,可按下列式计算:

$$\sigma_{16}[i, j] = \sum_{k=i}^j \frac{E_p A_p}{E_c A_c + k E_p A_p} \sigma_{pe}[k] \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (21)$$

式中:

- $\sigma_{16}[i, j]$ ——累计到 j 批次张拉钢绞线所产生的混凝土弹性压缩变形对之前 i 批次张拉钢绞线所引起的预应力损失值 (N/mm^2) ;
- i ——第 i 批次;
- j ——第 j 批次;
- k ——第 k 批次;
- E_p ——钢绞线弹性模量 (N/mm^2) ;
- A_p ——每批次张拉的钢绞线截面面积 (mm^2) ;
- E_c ——混凝土弹性模量 (N/mm^2) ;
- A_c ——长管节大管桩混凝土截面面积 (mm^2) ;
- $\sigma_{pe}[k]$ ——第 k 批次张拉时钢绞线有效预拉应力 (N/mm^2) 。

4.3 构造

4.3.1 长管节大管桩由长度为 8 m、9 m、10 m 的长管节拼接组成。

4.3.2 长管节大管桩预应力主筋应采用在每个预留孔道中设置单股、双股或三股高强度低松弛钢绞线,其构造示例图参见图 1。

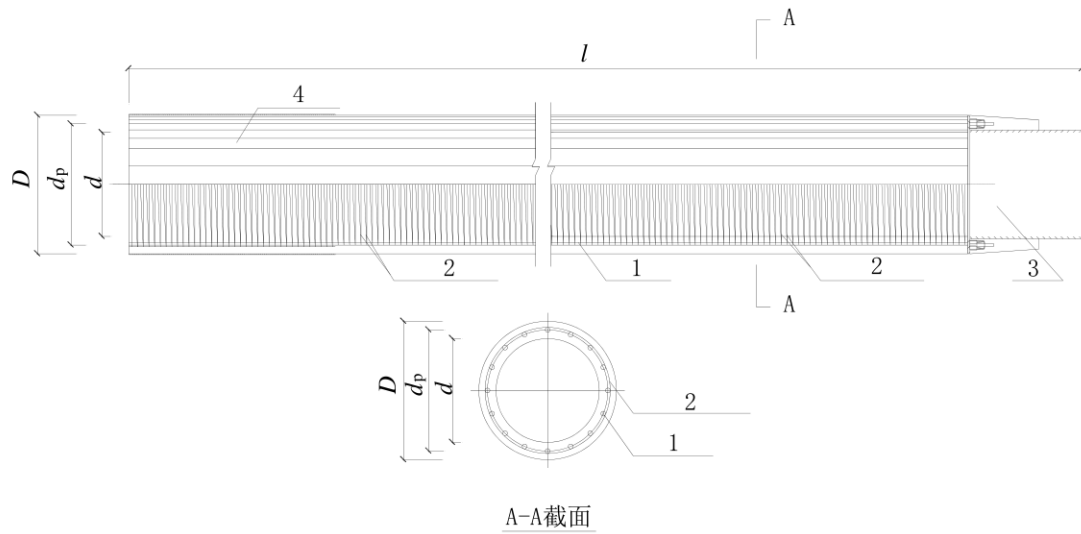


图1 长管节大管桩构造示例图

说明:

- 1 —— 预应力主筋;
- 2 —— 架立钢筋和螺旋环向箍筋;
- 3 —— 钢桩靴;
- 4 —— 桩身混凝土;
- l —— 桩长;
- D —— 长管节大管桩环形截面外直径;
- d_p —— 钢绞线重心所在圆的直径;
- d —— 长管节大管桩环形截面内直径。

- 4.3.3 长管节大管桩预应力主筋应沿周边均匀布置, 且不宜少于 16 根。
- 4.3.4 长管节纵向架立钢筋直径应不小于 7 mm; 螺旋环向箍筋直径应不小于 6 mm, 桩顶管节环向筋螺距为 50 mm, 基本管节环向筋螺距管节端部 1500 mm 范围内为 50 mm, 其余为 100 mm。
- 4.3.5 混凝土强度等级应不小于 C80。当有抗冻要求时, 应符合 JTS 151 的有关规定。
- 4.3.6 长管节壁厚应不小于 150 mm。
- 4.3.7 长管节大管桩预应力钢筋保护层厚度应不小于 50 mm。
- 4.3.8 预应力钢筋的预留孔孔径宜控制在 32 mm~44 mm 之间, 并且中心间距应不小于 160 mm。
- 4.3.9 长管节大管桩拼接应采用粘接剂进行拼接, 其粘结强度应高于长管节混凝土设计强度。粘接材料应符合 JTS 167—6 的有关规定。
- 4.3.10 预留孔道应采用压力灌注专用压浆料, 压浆料应密实, 其立方体抗压强度应不小于 45 MPa。
- 4.3.11 根据工程的需要, 长管节大管桩桩端可采用不超过 1 000 mm 的钢桩靴或采用组合桩型式。钢桩靴或组合桩的钢管直径、长度和钢板厚度与材质、桩端结构型式和锚具保留数量应根据施工和地质条件确定。组合钢管长度超过 8 000 mm 时, 应对锚具进行专门设计。长管节大管桩钢桩靴(组合桩)型式参见图 2。

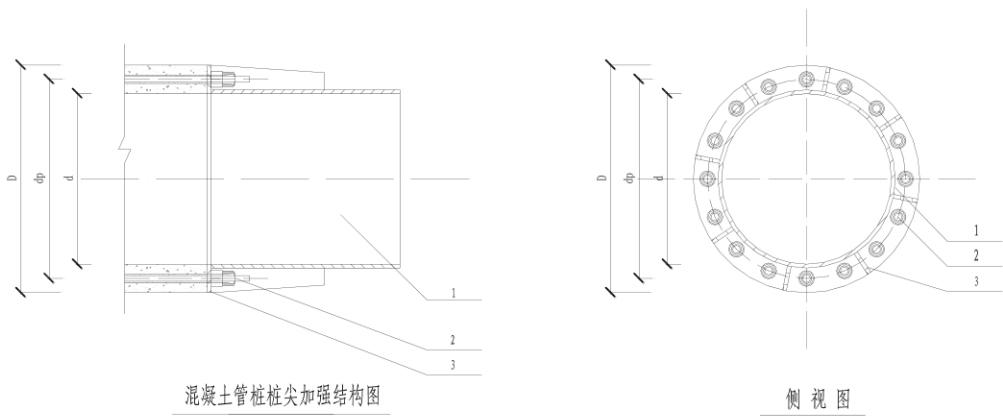


图2 长管节大管桩钢桩靴（组合桩）型式

说明：

- 1 ——钢桩靴；
- 2 ——预留的预应力主筋锚块；
- 3 ——混凝土桩与钢桩联接法兰；
- D ——长管节大管桩环形截面外直径；
- d_p ——钢绞线重心所在圆的直径；
- d ——长管节大管桩环形截面内直径。

- 4.3.12 长管节大管桩桩顶长管节宜设置钢板套箍并增设双层螺旋环向箍筋，也可采用纤维混凝土制作。
- 4.3.13 长管节大管桩桩顶长管节适当部位应设置排气孔、排水孔。

5 长管节制作

5.1 原材料

- 5.1.1 长管节大管桩长管节混凝土所用水泥强度等级不得低于 42.5。水泥品种可采用硅酸盐水泥 P. II 型、普通硅酸盐水泥等。水泥的质量应符合 GB 175 等的有关规定。熟料中铝酸三钙（ C_3A ）含量应不大于 10%。
- 5.1.2 细集料应采用质地坚硬的天然河砂。河砂应为中砂。细集料杂质含量应符合 JTS 202 的有关规定。
- 5.1.3 粗集料应采用质地坚硬的碎石，石料的抗压强度应大于 2 倍所采用的混凝土强度等级。碎石的粒径应为 5 mm~20 mm，且应采用二级配，其中 5 mm~16 mm 与 10 mm~20 mm 粒径的比例应按混凝土配合比设计和试验确定。粗集料的物理性能与杂质含量应符合 JTS 202 的规定，其中压碎值不宜大于 8%，粒径 5 mm 以下含量不宜大于 6%。
- 5.1.4 外加剂应经试验选定，外加剂的质量应符合 JTS 202 的有关规定。
- 5.1.5 拌和用水应符合 JTS 202 的有关规定。

5.1.6 长管节采用的螺旋环向箍筋应采用 HPB300 钢筋，其质量应符合 GB/T 701 的有关规定，螺旋箍筋经过冷拔后直径应不小于 6 mm。架立钢筋应采用 HPB300 钢筋，也可采用强度大于 HPB300 钢筋的其它合适钢筋，其经过冷拔后直径应不小于 7 mm。

5.1.7 原材料进场检验应符合 JTS 257 的有关规定。

5.2 钢模

5.2.1 钢模应符合下列要求：

- a) 满足成型混凝土长管节的相应尺寸要求；
- b) 结构能满足相应的强度和刚度要求；
- c) 模板内表面光滑，无影响长管节外观质量的缺陷，要求合缝口平顺严密；
- d) 制作简单、装拆方便、定位可靠，并能提高使用次数。

5.2.2 钢模材料选用和加工应符合下列要求：

- a) 钢模筒体应选用强度高、弹性好、焊接性能优良的钢材，其机械性能不低于 Q235-A 的要求；
- b) 钢模筒体加工成型后，应用回火处理来消除加工时的焊接应力；
- c) 钢模端板应有足够的刚度，表面平整光滑，宜采用不易变形的端板，也可采用铸钢材料的端板；
- d) 钢模的成孔拉杆应选用抗拉强度高的碳素钢或优质合金钢管材，成孔拉杆外套橡胶管。橡胶套管要求破断强度高，伸长量大，对橡胶套管性能要求宜为，拉断强度不小于 17MPa，伸长量不小于 600%，硬度在 46~50 邵尔度左右。

5.2.3 钢模检验应符合下列要求：

- a) 长管节钢模制作完毕后，应按设计图进行检验，合格后方可投入使用；
- b) 长管节钢模制作完毕后，应进行静平衡力矩试验，不平衡力矩应不大于 $2\text{N} \cdot \text{m}$ ；
- c) 长管节钢模允许偏差和检验方法应符合表 2 的规定。

表2 长管节钢模允许偏差和检验方法

序号	项目	允许偏差 mm	检验数量	单元测点	检验方法
1	钢模筒体长度	± 2	逐件检查	4	钢尺测量
2	钢模内径	4 -1		4	
3	钢模内径椭圆度（长、短直径差）	5		4	
4	钢模外径各跑轮圈同心度	1		4	
5	端板面相对于钢模内径的垂直度	0.4		4	2m 靠尺和塞尺测量
6	端板环面平面度	0.1		4	
7	合缝口间隙	0.3		4	内卡尺测量
8	钢模纵向直线度	2/m		4	2m 靠尺和塞尺测量

5.3 混凝土

长管节混凝土的技术参数应符合 JTS 202 的有关规定，且应符合下列要求：

- a) 强度等级应不小于 C80；

- b) 胶凝材料用量宜在 450 kg/m³~500 kg/m³;
- c) 水胶比不大于 0.25;
- d) 抗氯离子渗透性以电通量指标来快速测定, 不大于 1 000 C;
- e) 有抗冻要求的抗冻等级不低于 F350。

5.4 成型与养护

5.4.1 钢筋笼的制作应符合下列规定:

- a) 钢筋笼采用自动编织机按设计尺寸制作成型。
- b) 每一长管节长度的钢筋笼脱焊点不得多于 4 个。

5.4.2 钢筋笼制作、安装的允许偏差和检验方法应符合 JTS 257 的相关要求, 并符合表 3 的要求。

表3 钢筋笼制作、安装的允许偏差和检验方法

序号	项目	允许偏差 mm	检验单元 和数量	单元测点	检验方法
1	钢筋骨架长度	±5	每类构件抽查 10%，且 不少于 3 件	2	用钢尺量直径两端处
2	钢筋笼直径			6	用钢尺量两端及中部垂直两直径
3	箍筋间距	±10		3	用钢尺量两端及中部连续三档各取 大值
4	纵向钢筋间距				
5	钢筋保护层	±5		4	用钢尺量侧面
6	钢筋笼离端板距离				用钢尺量两端各两点

5.4.3 为提高长管节的耐久性, 长管节钢筋笼不宜使用保护层垫块, 钢筋笼采用硬性联结固定法定位。

5.4.4 钢模组装时应符合下列规定:

- a) 装模前, 钢模和橡胶套管上残留的混凝土和浮浆应清除干净, 脱模剂应涂刷均匀。
- b) 钢模端板内侧与筒体外侧之间应紧密配合。
- c) 钢筋笼纵向架立钢筋与成孔拉杆必须错开, 应使钢筋笼不触及预留孔胶管。钢筋笼的端头与端板应保持 20 mm 的间距。
- d) 拉杆螺母上紧扭矩应大于 0.40 kN·m。

5.4.5 混凝土布料应均匀、饱满、连续进行、一次完成。

5.4.6 长管节成型采用离心法, 加速顺序为低速→中速 1→中速 2→高速, 高速离心完毕应自然降速, 防止钢模激烈振动。

5.4.7 长管节成型后, 吊离成型机座时, 应平稳、轻放, 不得碰撞, 并应对长管节内壁面进行收面处理。

5.4.8 脱模应在专用平台上进行, 脱模时混凝土强度应不小于设计强度的 70%。

5.4.9 长管节脱模后需养护并应符合 JTS 202 的有关规定。

5.5 起吊、堆存和运输

5.5.1 长管节吊运时混凝土强度应达到设计强度的 70%, 宜采用起吊专用工具, 吊运应保持平稳、减少震动、避免碰撞。

5.5.2 长管节堆存场地应平整、坚实, 满足承载力要求; 长管节堆存应采用多点支垫, 支垫间距不宜大于 4 m; 长管节堆存时, 长管节间应采取防止碰撞的缓冲措施; 长管节堆存层数应根据地基承载力、垫木强度和堆垛稳定性确定, 不宜超过 3 层; 各层的垫木应位于同一垂直面。堆垛底层长管节应有横向定位措施。

5.5.3 长管节装船或装车运输时，应编制专项运输方案。应在船舶或车辆底层及层间设置垫木，垫木材料应相同，各层垫木应上下对齐。

5.6 质量检验

5.6.1 长管节成型过程中必须留样制作试件测定混凝土立方体的抗压强度。试件的留样和养护条件应与长管节相同。

5.6.2 混凝土试验方法应按 JTJ 270 的有关规定。混凝土的合格标准应按 JTS 202 的有关规定。混凝土强度试件的留取样每工班应取 3 组，其中一组测定长管节脱模强度，一组测定长管节所需张拉强度，一组测定长管节龄期 28 d 的强度。混凝土抗冻、抗渗试件的留取应按 JTS 202 的有关规定。

5.6.3 长管节外壁面不应出现裂缝。

5.6.4 长管节内壁面的干缩裂缝宽度不应超过 0.2 mm，深度不应大于 10 mm，长度不应超过长管节外径的 0.5 倍。

5.6.5 长管节的预应力孔道的质量检验，采用光照投影检验，圆孔所成的阴影与孔径的偏差应不大于 3 mm。

5.6.6 长管节制作的允许偏差和检验方法应满足表 4 的要求。

表4 长管节制作的允许偏差和检验方法

序号	项目	允许偏差 mm	检验单元和数量	单元测点	检验方法
1	外周长	±10	每节	4	用钢卷尺测量
2	长度	±3		2	用钢尺测量
3	壁厚	+10 0			用钢尺测量两端
4	长管节端面倾斜	$D/1000$			用钢角尺测量
5	管壁端面倾斜	$\delta/200$			用钢角尺测量
6	长管节圆度	5		4	用钢尺测量两端
注： δ 为壁厚， D 为长管节外径，单位均为mm。					

长管节应经检验合格后方可使用，并应填写《长管节合格证》。合格证内容应包括：型号、长度、生产日期、混凝土抗压强度、质检人员、监理人员等。

6 长管节大管桩拼接

6.1 钢绞线

6.1.1 钢绞线的质量要求、检验规则和试验方法等均应符合 GB/T 5224 的有关规定。

6.1.2 钢绞线应保持清洁，存放和搬运过程中应避免机械损伤和锈蚀。钢绞线长时间存放的应定期进行外观检查。存放仓库应干燥、防潮、通风良好、无腐蚀气体；钢绞线室外存放，时间不宜超过 180 d，且应搁置在枕木上并采用油布覆盖。

6.1.3 钢绞线的下料长度应通过计算确定，计算时应考虑长管节大管桩的孔道长度、锚夹具厚度、切割块长度、千斤顶长度和外露长度等因素的影响。钢绞线的下料，应采用高速砂轮机切割，不应采用电弧或乙炔—氧气切割。不应将扭曲或折弯的钢绞线调直后使用。

6.2 锚具与夹具

6.2.1 钢绞线锚具和夹具应具有可靠的锚固性能、足够的承载能力和良好的适用性，检验规则和试验方法应符合 GB/T 14370 的有关规定，同时其结构型式应满足长管节大管桩设计构造要求。

6.2.2 钢绞线锚具应符合设计要求。锚具应满足二次张拉及放松预应力的操作要求。夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和重复使用性能。切割块应按设计图纸加工验收，应满足锚具、夹具放置的要求，同时应设置压浆孔或排气孔，压浆孔截面面积应保证浆体的畅通。

6.2.3 锚具、夹具的存放、搬运均应妥善保管，避免锈蚀、玷污、机械损伤或散失。临时性的防护措施应不影响安装操作和防锈措施的实施。

6.3 粘结剂

6.3.1 粘结剂固化后，龄期为 14 d 的粘结剂胶体抗压强度不小于 85 MPa，抗拉强度不小于 30 MPa，试验应按 GB/T 2567 的有关规定执行。

6.3.2 粘结剂拉伸强度应不小于 10 MPa，试验应按附录 D 执行。接头固化后，其胶接处的正粘结强度应大于长管节混凝土本体劈裂抗拉强度。

6.3.3 粘结剂配比应根据气温的变化及时调整。配比后粘结剂的适用期应控制在 120 min(夏季 60 min)以内，固化时间宜控制在 5 h。24 h 粘结剂抗压强度应不小于 30 MPa。

6.3.4 粘结剂在下列情况下应进行胶体抗压强度、对接接头拉伸强度的测定：

- a) 选用新的粘结剂类型；
- b) 选用新批量粘结剂；
- c) 特殊情况下进行自行配置粘结剂；
- d) 粘结剂质量不确定的其他情况。

6.4 拼接与张拉

6.4.1 张拉所用的拉伸机与油压表应配套使用，并应定期维护和校验，确定张拉力与油压表之间的关系曲线。油压表精度不宜低于 1.5 级，校验设备仪表精度允许偏差为 $\pm 2\%$ 。校验时拉伸机活塞的运行方向应与实际张拉工作状态一致。张拉设备的校验期限不应超过 6 个月且张拉次数不超过 200 次。张拉设备出现不正常现象或检修后，必须重新校验。

6.4.2 长管节拼接时混凝土抗压强度应达到设计要求，且不应低于设计强度的 70%，其龄期应大于 14 d。

6.4.3 长管节拼接前胶接面应进行表面清洁干燥处理，磨除表层水泥浮浆，确保端面平整，无明显缺损和油污。预留孔道应洁净畅通。

6.4.4 长管节大管桩拼接时应对拼接台车进行检查和调整。拼接时长管节的预留孔应按标识一一对应。粘结剂应均匀饱满刮涂在胶接面上，长管节合拢后应将长管节端面内外侧用粘结剂补平，并采取防粘结剂流淌的措施。

6.4.5 钢绞线张拉应符合下列规定：

- a) 钢绞线应采用应力控制法张拉，同时校核钢绞线的伸长值；
- b) 钢绞线的张拉控制应力应符合设计要求。钢绞线超张拉时，控制应力值应不大于 0.75 倍钢绞线强度标准值；
- c) 钢绞线张拉方法可分整体张拉和分批张拉，张拉时应对称、同步、缓慢进行；
- d) 预应力钢绞线的张拉应分 2 次进行。第 1 次张拉至第 2 次张拉前不得移动长管节大管桩；
- e) 第 2 次张拉时粘结剂抗压强度值应大于 30 MPa，且第 2 次张拉力控制值与设计张拉力的偏差不得大于 3%；
- f) 张拉过程中预应力钢绞线不应出现断丝或滑丝现象。

6.4.6 钢绞线伸长值应符合下列规定：

- a) 理论伸长值与实际伸长值的差值应满足设计要求,设计无要求但实际伸长值与理论伸长值偏差大于 6%时,应暂停张拉,并应查明原因,采取调整措施。
- b) 预应力钢绞线的理论伸长值可按式计算:

$$\Delta L = \frac{P_p L}{A_p E_p} \dots\dots\dots (22)$$

式中:

ΔL ——预应力钢绞线的理论伸长值 (mm);

P_p ——预应力钢绞线的张拉力 (N);

L ——预应力钢绞线的长度 (mm);

A_p ——预应力钢绞线的截面面积 (mm²);

E_p ——预应力钢绞线的弹性模量 (N/mm²)。

- c) 预应力钢绞线张拉的实际伸长值可按式计算:

$$\Delta L' = \Delta L_1' + \Delta L_2' + \Delta L_3' \dots\dots\dots (23)$$

式中:

$\Delta L'$ ——预应力钢绞线张拉的实际伸长值 (mm);

$\Delta L_1'$ ——第 1 次张拉时从初应力至第 1 次张拉应力间的实测伸长值 (mm);

$\Delta L_2'$ ——第 2 次张拉时从第 1 次张拉应力至最大张拉应力间的实测伸长值 (mm);

$\Delta L_3'$ ——初应力以下的推算伸长值 (mm),可根据初应力和产生 $\Delta L_1'$ 的张拉应力的比值推算确定。

- d) 预应力钢绞线的锚固应在张拉控制应力稳定状态下进行。张拉端预应力钢绞线的回缩值与锚具变形值之和不应大于 6 mm。

6.4.7 钢绞线锚固后张拉力的作用线应与孔道中心线重合,对预留孔道侧壁不得产生侧向力。长管节大管桩张拉时应通过计算和试验调整每批次张拉控制应力,或采用整体张拉工艺确保桩周预压应力分布均匀。

6.4.8 长管节大管桩张拉过程应做好记录,张拉要求应符合 JTS 202 和 JTS 257 的有关规定。

6.5 压浆与放张

6.5.1 预应力钢绞线张拉后孔道应及时压浆。

6.5.2 压浆料材料应符合下列规定:

- a) 压浆材料性能应符合 JTG/T F50 的有关规定。
- b) 预应力孔道压浆应采用专用压浆料或专用压浆剂配制的浆液,压浆材料应进行现场检验。

6.5.3 压浆料的制备应符合下列规定:

- a) 压浆料在使用前和压浆过程中应连续搅拌,宜采用不低于 1000r/min 高速搅拌机拌合,且采用不低于 100r/min 的低速拌合筒储备。
- b) 水胶比不应大于 0.35。
- c) 压浆料可使用时间应控制在 30min 内,稠度宜控制在 16s~20s。
- d) 压浆料拌合后 3h 的泌水率应小于 2%,且泌水应在 24h 内重新全部被压浆料吸收。
- e) 压浆料中可掺入适量膨胀剂,自由膨胀率应通过试验确定,且控制在 5%~10%。

6.5.4 高温季节拌浆时应采取适当降温措施。环境温度低于 5℃或以后 48h 可能降至 5℃以下时应对应长管节大管桩加热,且拌浆应采取保温措施。

6.5.5 孔道压浆应符合下列规定：

- a) 压浆前应在长管节大管桩的预留孔道两端安装保压阀，并采用 0.2MPa 压力水检查桩身与拼缝是否漏水，同时清洁孔道。压水检查后应使用不含油的压缩空气将预留孔道内积水吹出。
- b) 长管节大管桩压浆宜采用负压真空压浆工艺。对每孔穿 3 股钢绞线的孔道压浆必须采用负压真空压浆工艺。真空压浆工艺要求预留孔道内形成 0.1 MPa 负压。
- c) 压浆顺序宜从下层孔道逐渐向上层孔道进行。压浆料由桩的一端向桩的另一端压送，压浆应缓慢、均匀地进行，不得中断，待出浆口流出浓浆后关闭出浆口阀门，并应保持 0.4MPa~0.6MPa 压力不少于 2min。
- d) 压浆料初凝后方可拆除保压阀门。

6.5.6 压浆时，每 1 工班应留取不少于 2 组试件，其中 1 组标准养护 7 d，其余标准养护 28 d，其抗压强度分别应不小于 32 MPa 和 45 MPa。试件试验应按 JTJ 270 的有关规定执行。

6.5.7 压浆后应从检查孔抽查压浆的密实情况，如不密实应及时处理。压浆后压浆料抗压强度达到 32 MPa 之前，长管节大管桩不得以任何方式移动或吊运。

6.5.8 放松锚具、夹具可采用乙炔—氧气切割的方法，但其切割点应距锚具 50 mm 以上，并应采取防止产生退火或回火现象的措施。退火或回火的锚具、夹具不得再次使用。

6.5.9 切割放张钢绞线应对称、相互交错进行。

6.5.10 桩顶长管节切割后的钢绞线不得突出桩顶端面，低于桩顶端面时宜用环氧胶泥补平。

6.5.11 为提高长管节大管桩耐久性，长管节间保护可用多层环氧树脂覆盖玻璃纤维布包覆保护，包覆范围在接头两侧各 1 m。

6.6 桩质量检验

6.6.1 长管节大管桩的质量应满足设计要求，并应符合 JTS 257 的有关规定。

6.6.2 长管节大管桩制作的允许偏差、检验数量和方法应符合表 5 的规定。

表5 长管节大管桩制作的允许偏差、检验数量和方法

序号	项目	允许偏差 mm	检验单元和数量	单元测点	检验方法
1	长管节大管桩长度	±100	每根桩检查	2	用钢卷尺测量
2	桩顶面倾斜	5 <i>D</i> /1000			用直角尺测量垂直两方向
3	拼缝处错台	6	每根桩抽查 50%拼缝	1	用钢尺与塞尺测量
4	拼缝处弯曲失高	6			在拼缝处两侧，沿长管节各 4 m 处拉线， 用钢尺测量
注： <i>D</i> 为长管节大管桩环向截面外直径，单位为mm。					

6.6.3 长管节大管桩应进行抗弯性能检验，每 1 000 根随机抽样 1 根或至少每年在产品中随机抽样 1 根进行检验。检验应按 GB/T 50152 的有关规定执行。

6.6.4 长管节大管桩外观质量应符合下列规定：

- a) 长管节大管桩外壁面不应出现裂缝。
- b) 长管节大管桩内壁面的裂缝宽度不应超过 0.2 mm，深度不应大于 10 mm，长度不应超过长管节大管桩外径的 0.5 倍。
- c) 长管节大管桩顶端应平整，不应有突出物。

6.6.5 每根桩应经检验合格后方可使用，并提供《长管节后张法预应力混凝土大管桩合格证》。合格证应包括下列内容：

- a) 型号、长度和桩的编号;
- b) 张拉记录;
- c) 灌浆日期;
- d) 混凝土抗压强度;
- e) 预留孔水泥浆体抗压强度;
- f) 出厂日期;
- g) 制造厂厂名;
- h) 质检、审核、监理人员。

7 长管节大管桩吊运、堆存和装运

7.1 场内吊运

- 7.1.1 吊运宜采用钢梁多点起吊, 钢梁应具有足够的刚度, 防止吊运时产生过大的变形。钢梁吊索应与桩纵轴线垂直; 当不采用钢梁吊运时, 吊索与桩纵轴线夹角应大于 45° 。
- 7.1.2 吊运时桩身可采用钢丝绳扣捆绑, 其吊点位置应符合设计要求, 允许偏差为 ± 200 mm。
- 7.1.3 吊运时各吊点应同时受力, 保持平稳, 避免震动碰撞, 防止桩身损坏。

7.2 场内堆存

- 7.2.1 堆存场地应平整和坚实, 满足承载力要求。
- 7.2.2 长管节大管桩堆存应采用多点支垫, 支垫间距不宜大于 4 m。
- 7.2.3 长管节大管桩多层堆存时, 堆存层数应根据地基承载力、垫木强度和堆垛稳定性等确定, 并定期检测垫木的水平度, 堆放层数不宜超过 3 层, 各层垫木应位于同一垂直面上。堆垛底层长管节大管桩应有横向定位措施。

7.3 装运

- 7.3.1 长管节大管桩装运应有专项装运方案。
 - 7.3.2 长管节大管桩的装运应绘制装驳图和加固图。
 - 7.3.3 长管节大管桩装船, 应采取不大于 4 m 的多支点方木底楞搁置, 方木底楞断面宜为 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ 。底楞顶面应在同一平面上。桩身两侧应垫置楔型垫块, 用于稳定底层长管节大管桩, 确保受力良好。堆垛底层长管节大管桩应有横向定位措施。
 - 7.3.4 对于甲板面为弧形的驳船, 底层长管节大管桩无法使用多支点大方木底楞, 可沿桩身两侧间断垫置楔形垫木, 垫木应平整和垫紧, 并固定牢固。
 - 7.3.5 底层以上各层长管节大管桩采用木楔支垫, 各层支垫应在同一垂直面上, 相邻两垫木必须用马钉固定, 以防松动脱落。
 - 7.3.6 短途运输时应按沉桩顺序装船。当出现短桩在下位, 长桩在上位, 长管节大管桩搁置的悬臂长度超过规定时, 应作高位支撑, 支撑必须坚实牢固。
 - 7.3.7 长管节大管桩长途运输时, 按选用驳船的平面尺寸合理布置装船, 装驳层数不应超过 3 层, 各层之间必须支垫牢固, 并用槽钢作整体加固, 堆垛应用钢缆固定以防滑、防滚。
- 装船、卸船时应从船的两侧对称吊装, 保持船的稳定。

8 长管节大管桩沉桩

8.1 一般规定

- 8.1.1 长管节大管桩沉桩应符合 JTS 167—4 的有关规定。
- 8.1.2 长管节大管桩沉桩时替打应设置排气孔，水位超过桩顶时应立即停锤。
- 8.1.3 长管节大管桩锤击沉桩应控制总锤击数，总锤击数可根据桩型、地质条件、桩锤能量和桩垫材料等综合确定。
- 8.1.4 长管节大管桩工程宜安排试沉桩，用以验证所选桩锤是否符合工程要求，并取得与设计要求承载力相应的沉桩控制贯入度，作为停锤标准的依据。
- 8.1.5 沉桩前应对大管桩进行逐根检查，并核实长管节大管桩合格证与施工用桩是否相符。

8.2 吊桩

- 8.2.1 长管节大管桩吊桩时，其吊点及吊点位置应符合设计和 JTS 167—4 标准要求。
- 8.2.2 水上沉桩吊桩时应从桩驳的两侧对称起吊，保持桩驳的稳定性，严防侧倾。

8.3 沉桩工艺

- 8.3.1 沉桩工艺应根据地质条件、单桩极限承载力和桩身强度确定。
- 8.3.2 沉桩工艺分为锤击沉桩和水冲锤击沉桩，粘性土地基宜用锤击沉桩。砂性土地基当沉桩有困难时，宜用内冲内排法水冲锤击沉桩。
- 8.3.3 水冲锤击沉桩当桩端距设计标高 1.0 倍~1.5 倍桩径时，应停止冲水改用锤击，以保证基桩的承载力。水冲锤击沉桩后，应及时与邻近桩或固定结构夹紧，防止桩身倾斜和位移。
- 8.3.4 锤击沉桩应根据地质条件和单桩极限承载力等情况，选择合适的锤型，使沉桩既能满足设计要求的承载力，且锤击过程中桩身产生的锤击拉应力、压应力又不超出桩体混凝土的控制值。锤的大小可参照附录 E 选用。
- 8.3.5 锤击沉桩所用的替打、桩垫和锤垫满足下列要求：
 - a) 替打制作应保证加工质量，用钢板焊接加工的替打应作回火处理；
 - b) 桩垫应具有一定的弹性和韧性，并有足够的厚度，形状应与桩断面相适应，其材质可根据地质或试打桩后确认；
 - c) 锤垫宜采用具有一定弹性及刚度的材料，如竖纹硬木垫、石棉板垫和钢丝绳垫等。
- 8.3.6 试沉桩及高应变动测试验可利用工程桩，但对需要进行复打的动测桩，必须考虑间歇期及复打的可能性。
- 8.3.7 锤击沉桩的控制应根据地质条件、设计承载力、锤型、桩长及高应变动测结果综合考虑，其停锤标准按下列要求执行：
 - a) 设计桩端持力层为一般粘性土时，应以标高控制；
 - b) 设计桩端持力层为硬塑状的粘性土、粉细砂和砾砂土时，应以标高控制为主，当沉桩贯入度比较小而达不到设计桩端标高时，应以贯入度控制，并按最后一阵 10 击平均贯入度接近或达到控制贯入度时即可停锤。当桩端标高仍超过设计标高 2m 时应与设计部门研究解决；
 - c) 设计桩端持力层为风化岩时，应以贯入度控制，当最后一阵 10 击平均贯入度不大于控制贯入度时，即可停锤，当桩端打到设计标高，而贯入度仍较大，则应继续锤击，直至最后一阵 10 击平均贯入度接近或达到控制贯入度时即可停锤；
 - d) 当继续锤击有困难影响施工时，应会同设计部门研究解决。
- 8.3.8 水冲锤击沉桩，停锤标准应以设计桩端标高控制。若桩端持力层为风化岩地基时，则应以贯入度控制。
- 8.3.9 锤击沉桩时应保持桩锤、替打和桩三者在同一轴线上。

8.3.10 在沉桩结束后，应及时夹桩。

8.4 质量控制

8.4.1 锤击沉桩允许偏差应符合表 6 的要求。

表6 锤击沉桩允许偏差

区域	桩位允许偏差					
	mm					
	排架桩		墩台桩			允许垂直度 不大于
	直桩	斜桩	边桩		中间桩	
直桩			斜桩			
有掩护水域	100	150	100	150	150	1/100
无掩护近岸水域	150	200	150	200	200	1/100
无掩护离岸水域	250	300	250	300	300	1/100
注1：沉桩允许偏差是指设计桩的平面位置与夹桩铺底板后，所测桩位置数值之差，在夹桩时严禁拉桩。						
注2：近岸指距岸≤500 m，离岸指距岸>500 m。						
注3：掩护条件较差的河口港沉桩可按“无掩护近岸水域”标准执行。						

8.4.2 锤击沉桩时，桩身不得出现裂缝，当发现桩身有裂缝时，应会同设计单位研究处理。

8.4.3 锤击沉桩时应采取有效措施，防止断桩发生。如果出现断桩，由设计单位提出处理意见。

8.4.4 沉桩后对于超过设计标高的桩应截除。截桩后不应出现纵向裂缝。截桩宜用机械工具，保证桩顶面切割平整不掉角。

8.4.5 在沉桩期间，可分期分批进行高应变动测和低应变桩身质量检测。高应变动测以检验桩的承载力为主，其数量宜取总沉桩数的 2%~5%，并不得少于 5 根。低应变检测用以检验桩的完整性，其数量宜取总沉桩数的 10%，并不得少于 10 根。高应变动测和低应变检测应符合国家现行标准的规定。

附 录 A
(规范性附录)

长管节大管桩型号、规格及技术性能表

A.1 长管节大管桩表示方法

根据长管节混凝土大管桩直径和钢绞线数量的不同，定义不同规格的长管节混凝土大管桩的型号。标记方式表示为CD□□□□—□□。标记方式含义如下：

CD	□□□□	-	□□
长管节混凝土大管桩	管桩外直径	-	钢绞线的数量
如：标记方式CD1200-48的管桩表示外直径为1 200 mm、钢绞线数量48根的长管节混凝土大管桩。			

A.2 长管节大管桩拼接

长管节大管桩混凝土部分桩长度模数为1 m。用长度为8 m、9 m、10 m长管节，可生产长度从30 m到90 m以上的桩。长管节大管桩拼接长度组合可参考表A. 1。

表A.1 长管节大管桩拼接长度组合表

桩长 L $L=8\times n_1+9\times n_2+10\times n_3$	长管节拼接数量			桩长 L $L=8\times n_1+9\times n_2+10\times n_3$	长管节拼接数量		
	n_1	n_2	n_3		n_1	n_2	n_3
30	0	0	3	61	4	1	2
31	—	—	—	62	4	0	3
32	4	0	0	63	3	1	3
33	3	1	0	64	3	0	4
34	3	0	1	65	2	1	4
35	2	1	1	66	2	0	5
36	2	0	2	67	1	1	5
37	1	1	2	68	0	2	5
38	0	2	2	69	0	1	6
39	0	1	3	70	0	0	7
40	0	0	4	71	4	1	3
41	4	1	0	72	4	0	4
42	4	0	1	73	3	1	4
43	3	1	1	74	3	0	5
44	3	0	2	75	2	1	5
45	2	1	2	76	2	0	6
46	2	0	3	77	1	1	6
47	1	1	3	78	0	2	6
48	0	2	3	79	0	1	7
49	0	1	4	80	0	0	8
50	0	0	5	81	4	1	4
51	4	1	1	82	4	0	5
52	4	0	2	83	3	1	5
53	3	1	2	84	3	0	6
54	3	0	3	85	2	1	6
55	2	1	3	86	2	0	7
56	2	0	4	87	1	1	7
57	1	1	4	88	0	2	7
58	0	2	4	89	0	1	8
59	0	1	5	90	0	0	9
60	0	0	6				
注1：桩长单位为m。 注2： n_1 表示单节长度为8 m的长管节数量， n_2 表示单节长度为9 m的长管节数量， n_3 表示单节长度为10 m的长管节数量。							

A.3 示例：CD1200 系列长管节大管桩技术性能

CD1200系列长管节大管桩型号、规格及技术性能参见表A.2，表中技术参数是根据JTS 151提供的公式进行的理论计算值，其中桩的轴心抗压承载能力设计值是取稳定系数 $\varphi=1.0$ 时的计算结果。计算的前提条件如下：

- a) 材料性能取值参见表 A.3 和表 A.4；
- b) 张拉时混凝土强度不得低于设计强度的 75%；
- c) 张拉控制应力按式 A.1 计算；

$$\text{张拉控制应力: } \sigma_{\text{con}} = 0.70 \times f_{\text{ptk}} \dots\dots\dots (\text{A. 1})$$

式中：

σ_{con} ——钢绞线张拉控制应力值 (N/mm^2)；

f_{ptk} ——钢绞线张拉强度标准值 (N/mm^2)。

- d) 张拉时已充分考虑后批张拉对前批张拉的影响，不考虑分批张拉预应力损失；
- e) 桩拼接长度为 40m；
- f) 长管节大管桩单节长度 8m；
- g) 按照单向进行张拉；
- h) 采用高强度低松弛钢绞线。

表A.2 长管节大管桩型号、规格及技术性能表

长管节大管桩型号	CD1200-16	CD1200-24	CD1200-32	CD1200-40	CD1200-48
长管节大管桩外径 (mm)	1200	1200	1200	1200	1200
长管节大管桩壁厚 (mm)	150	150	150	150	150
按照混凝土弹性模量换算的桩截面积 (m^2)	0.5040	0.5086	0.5132	0.5178	0.5224
单位长度重量 (kN/m)	12.60	12.71	12.83	12.94	13.06
按照混凝土弹性模量换算的桩截面惯性矩 (m^4)	0.07085	0.07148	0.07211	0.07250	0.07338
预留孔数	16	16	16	16	16
预留孔直径 (mm)	44	44	44	44	44
主筋中心位置直径 (mm)	1050	1050	1050	1050	1050
钢绞线股数	16	16+8	16×2	16×2+8	16×3
单股钢绞线直径 (mm)	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
钢绞线抗拉强度标准值 f_{ptk} (N/mm^2)	1860	1860	1860	1860	1860
混凝土有效预压应力值 σ_{pe} (N/mm^2)	5.28	7.87	10.44	12.98	15.51
$\alpha_{\text{ct}}=0.0$ 时纯弯状态下桩截面开裂弯矩 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	623	938	1255	1574	1897
$\alpha_{\text{ct}}=0.3$ 时纯弯状态下桩截面开裂弯矩 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	780	1096	1414	1735	2059
$\alpha_{\text{ct}}=0.5$ 时纯弯状态下桩截面开裂弯矩 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	884	1201	1520	1842	2167
$\alpha_{\text{ct}}=0.8$ 时纯弯状态下桩截面开裂弯矩 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	1040	1359	1679	2003	2329
纯弯状态下抗弯承载力设计值 M_u ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	1476	2107	2632	3040	3325
轴心抗拉承载力设计值 N_u (kN)	2936	4404	5871	7339	8807
轴心抗压承载力设计值 N_{u0} (kN)	14479	13704	12913	12107	11285
注：设计时，应根据具体情况考虑长管节大管桩实际受压稳定系数的影响。					

表A.3 混凝土材料性能取值表

名称	f_{tk} (N/mm ²)	f_{ck} (N/mm ²)	f_t (N/mm ²)	f_c (N/mm ²)	f_{cu} (N/mm ²)	E_c (N/mm ²)
C80	3.11	50.2	2.22	35.9	80	3.8E+04

表A.4 钢绞线材料性能取值表

名称	f_{ptk} (N/mm ²)	f_{py} (N/mm ²)	f'_{py} (N/mm ²)	E_p (N/mm ²)
钢绞线	1860	1320	390	1.95E+05

附 录 B
(规范性附录)
长管节大管桩性能曲线

B.1 抗弯能力及抗裂性能曲线

B.1.1 长管节大管桩抗弯能力性能曲线参见图B.1~图B.5中的抗弯承载力设计值曲线,即图中曲线 M_p 。

B.1.2 长管节大管桩抗裂性能曲线参见图B.1~图B.5中的抗裂弯矩设计值曲线,即图中曲线 M_{f1} 、曲线 M_{f2} 、曲线 M_{f3} 和曲线 M_{f4} 。

- a) 曲线 M_{f1} 是不考虑混凝土抗拉强度的抗裂弯矩设计值曲线;
- b) 曲线 M_{f2} 是考虑混凝土抗拉强度的抗裂弯矩设计值曲线,且对应混凝土拉应力限制系数

$$\alpha_{ct} = 0.3;$$

- c) 曲线 M_{f3} 是考虑混凝土抗拉强度的抗裂弯矩设计值曲线,且对应混凝土拉应力限制系数

$$\alpha_{ct} = 0.5;$$

- d) 曲线 M_{f4} 是考虑混凝土抗拉强度的抗裂弯矩设计值曲线,且对应混凝土拉应力限制系数

$$\alpha_{ct} = 0.8。$$

B.2 性能曲线试验说明

B.2.1 利用本附录提供的长管节大管桩性能曲线可以对长管节大管桩的受力状态进行安全性和抗裂性能评估。

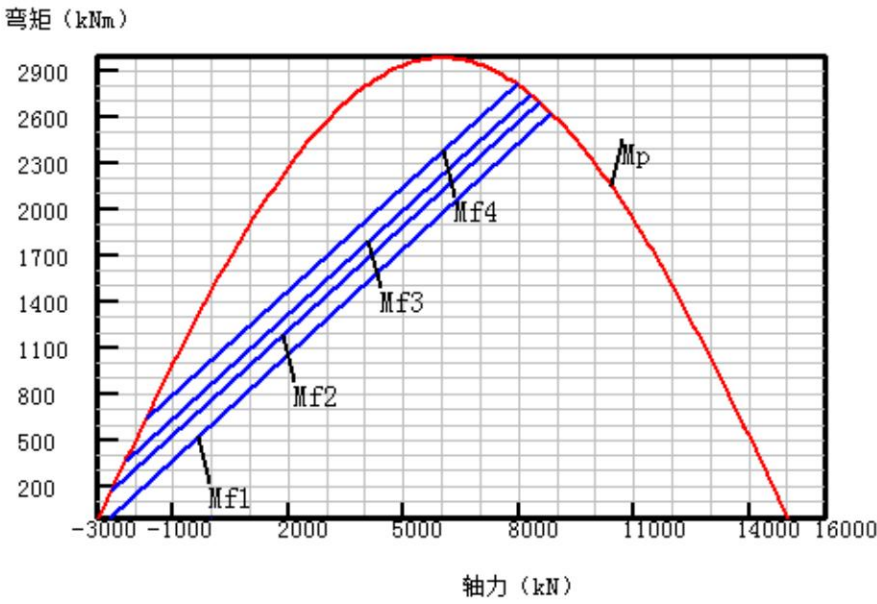
B.2.2 长管节大管桩的受力状态在性能曲线图中可以用状态点表示,即点 (N, M) ,其中 N 为长管节大管桩的轴力设计值, M 为长管节大管桩的弯矩设计值,这里的弯矩设计值应考虑截面偏心距增大系数 η 的影响。

B.2.3 承载能力极限状态下,当长管节大管桩所有截面所对应的状态点均位于 M_p 曲线本身及其下方时,长管节大管桩才满足安全性能的要求。

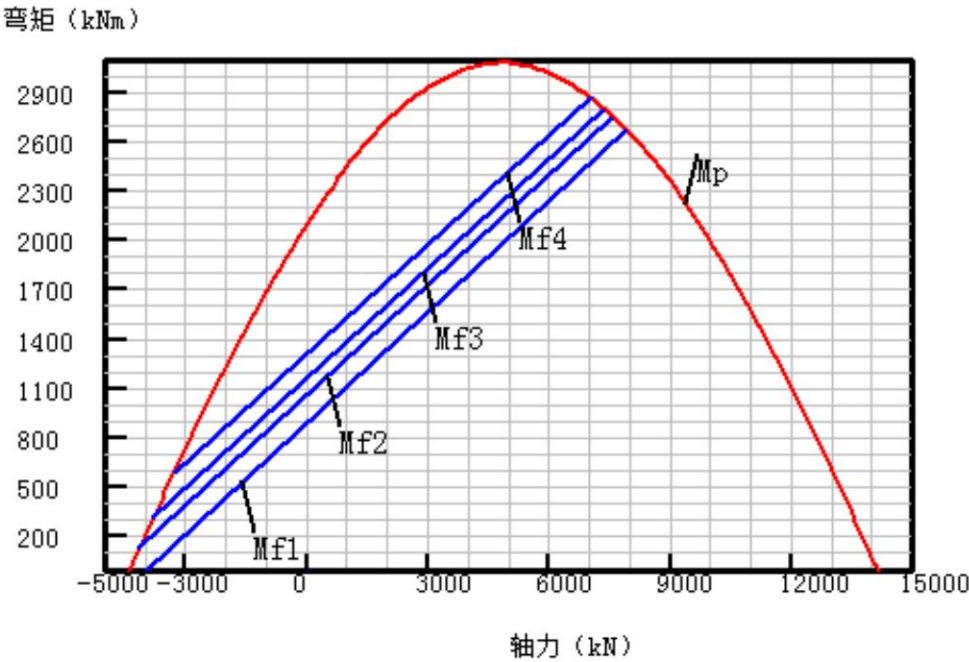
B.2.4 正常使用极限状态下,当裂缝控制等级为一级的长管节大管桩在作用的标准组合下其桩身所有截面所对应的状态点均位于曲线 M_{f1} 本身及其下方时,长管节大管桩才满足抗裂性能的要求。

B.2.5 正常使用极限状态下,当裂缝控制等级为二级的长管节大管桩在作用的准永久组合下其桩身所有截面所对应的状态点均位于曲线 M_{f1} 本身及其下方时,长管节大管桩才满足抗裂性能的要求。

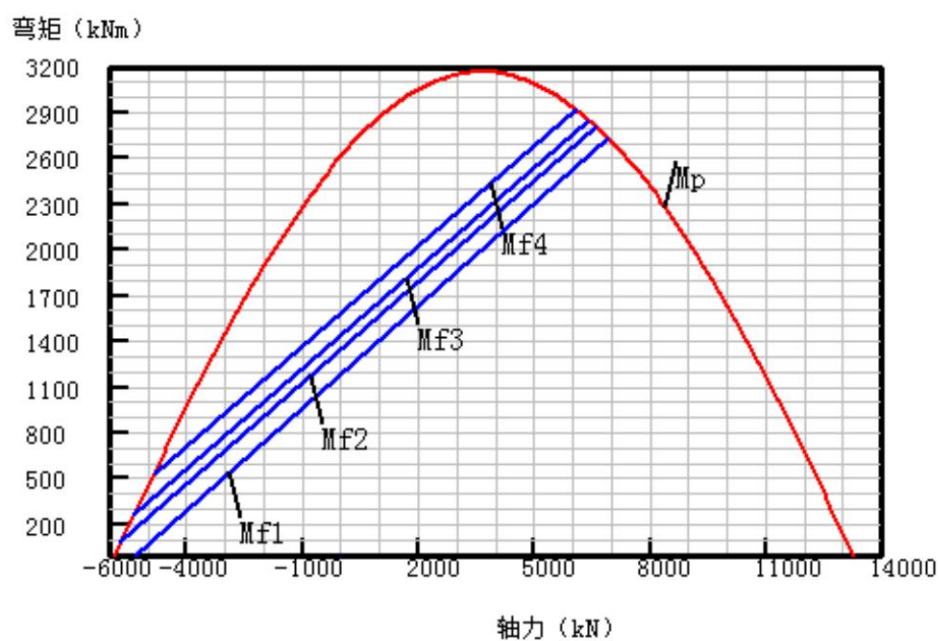
B.2.6 正常使用极限状态下,当裂缝控制等级为二级的长管节大管桩在作用的标准组合下其桩身截面所对应的状态点位于曲线 M_{f2} 、曲线 M_{f3} 或曲线 M_{f4} 本身及其下方时,长管节大管桩才满足抗裂性能的要求,其中曲线的选择(M_{f2} 、 M_{f3} 或 M_{f4})应根据状态点所对应的截面位置(大气区、浪溅区、水位变化区或水下区),参照JTS 151的表3.3.4选择相应混凝土拉应力限制系数 α_{ct} 所对应的曲线。



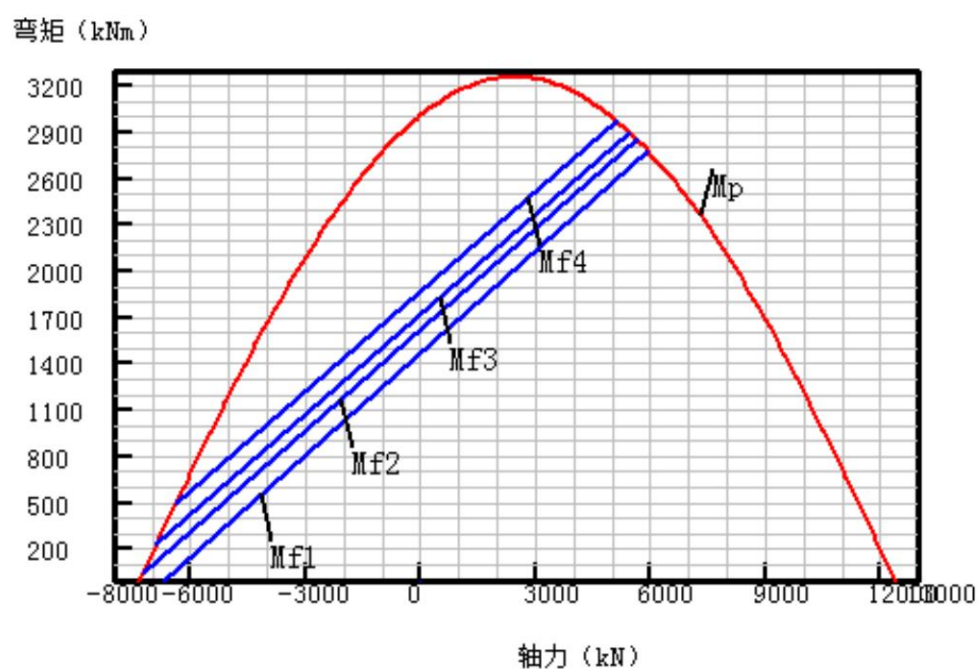
图B.1 长管节大管桩 CD1200-16 性能曲线



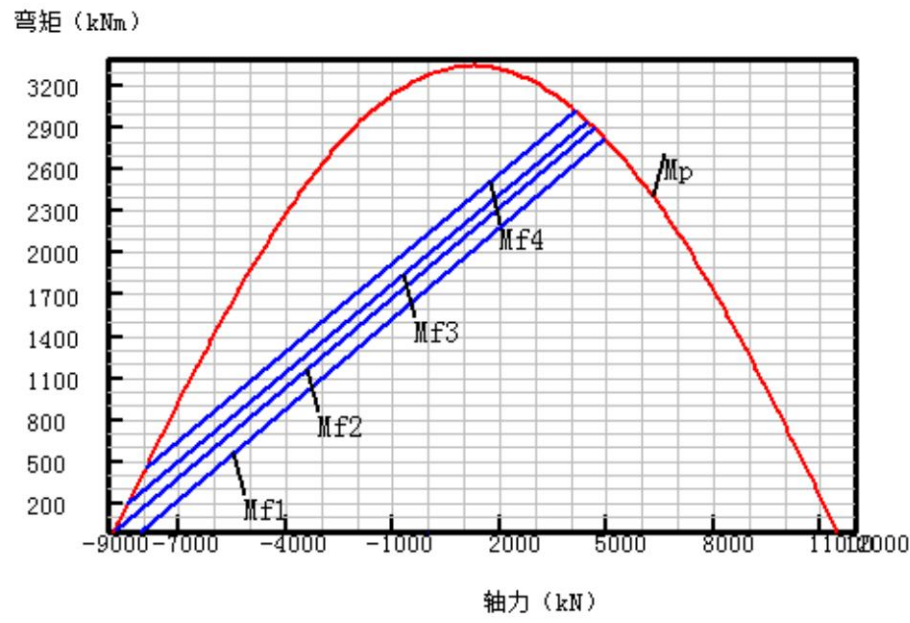
图B.2 长管节大管桩 CD1200-24 性能曲线



图B.3 长管节大管桩 CD1200-32 性能曲线



图B.4 长管节大管桩 CD1200-40 性能曲线



图B. 5 长管节大管桩 CD1200-48 性能曲线

附 录 C
(资料性附录)
长管节大管桩设计选用示例

C.1 前提条件

C.1.1 桩基参数

本示例中桩基参数见表C.1。

表C.1 桩基参数

桩基型号	直径 (m)	内径 (m)	壁厚 (m)	换算截面面积 A_0 (m ²)	换算截面惯性矩 I_0 (m ⁴)	换算截面弹性抵抗矩 W_0 (m ³)	混凝土有效预压应力 σ_{pc} (N/mm ²)
CD1200-32	1.2	0.9	0.15	0.5132	0.0721	0.12019	10.44

C.1.2 地质参数

桩顶高程5 m，泥面高程-7 m，桩基所处位置的地质参数见表C.2。

表C.2 地质参数表

编号	土层名称	层底标高	土层侧阻力 q_{fi} (kPa)	土层端阻力 q_R (kPa)	水平抗力深度增长系数 m (kN/m ⁴)
1	淤泥质粘土	-13.00	30.00	—	3000
2	粉质粘土	-28.00	45.00	—	5000
3	强风化岩	-33.00	100.00	2000.00	10000

C.1.3 桩基内力设计值

桩基内力设计值见表C.3。

表C.3 桩基内力设计值

极限状态组合	内力状态	轴力设计值 (kN)	弯矩设计值 (kN·m)
承载能力极限状态持久组合	轴力最大状态	4000	500
	轴力最小状态	-1300	300
	弯矩最大状态	3000	1000
	应力最大状态	2000	1500
	应力最小状态	-700	1000
正常使用极限状态标准组合	应力最大状态	2500	800
	应力最小状态	-500	700
注：本表中弯矩设计值未考虑截面偏心距增大系数的影响。			

C.2 截面验算

C.2.1 单桩承载力验算

单桩垂直极限承载力设计值和单桩抗拔极限承载力设计值计算公式如下：

$$Q_d = \frac{1}{\gamma_R} (U \sum q_{fi} l_i + \eta q_R A) \dots\dots\dots (C.1)$$

$$T_d = \frac{1}{\gamma_R} (U \sum \xi_i q_{fi} l_i + G \cos \alpha) \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

- Q_d ——单桩垂直极限承载力设计值（kN）；
- γ_R ——单桩轴向承载力分项系数；
- U ——桩身截面外周长（m）；
- q_{fi} ——单桩第*i*层土的极限侧摩阻力标准值（kPa）；
- l_i ——桩身穿过第*i*层土的长度（m）；
- η ——承载力折减系数；
- q_R ——单桩极限端阻力标准值（kPa）；
- A ——桩端外周截面面积（m²）；
- T_d ——单桩抗拔极限承载力设计值（kN）；
- ξ_i ——抗拔折减系数；
- G ——桩重力（kN）；
- α ——桩轴线与垂线夹角（°）。

根据长管节大管桩截面参数计算得到桩身截面外周长 $U=3.77$ m，长管节大管桩桩端外周面积 $A=1.13$ m²，计算中取单桩轴向承载力分项系数 $\gamma_R=1.55$ 、地基土抗拔折减系数 $\xi_i=0.7$ ，桩端承载力折减系数 $\eta=0.8$ 。计算结果见表C.4。

表C.4 单桩承载力设计值计算表

编号	土层名称	层底标高	土层侧阻力 q_{fi} (kPa)	土层端阻力 q_R (kPa)	桩进入该土层长度 l_i (m)	桩侧阻力 (kN)	桩端阻力 (kN)
1	淤泥质粘土	-13.00	30.00	—	6.00	678.58	—
2	粉质粘土	-28.00	45.00	—	15.00	2544.69	—
3	强风化岩	-33.00	100.00	2000.00	5.00	1884.96	1809.56
汇总Σ						5108.23	1809.56
单桩垂直极限承载力设计值（kN）						4463.09	
单桩抗拔极限承载力设计值（kN）						2412.97	

由表C.3和表C.4的计算结果可知：桩基最大轴力小于单桩垂直极限承载力设计值，桩基最小轴力小于单桩抗拔极限承载力设计值，因此结构满足单桩承载力要求。

C.2.2 截面承载力验算

C.2.2.1 截面抗裂验算

对于位于水位变化区域处的长管节大管桩结构一般要求不出现裂缝，裂缝控制等级为二级，取 $\alpha_{ct}=0.3$ ，正常使用极限状态标准组合时桩基抗裂验算见下表C.5。

表C.5 桩基抗裂验算表

轴力设计值 (kN)	弯矩设计值 (kN·m) $\times \eta$	桩边缘拉应力 (N/mm ²)	验算拉应力 $\sigma_{pc} + \alpha_{ct}\gamma f_{tk}$ (N/mm ²)
2500	922.78	2.82	11.75
-500	700	6.80	11.75
注3：轴力设计值中正值表示轴向压力，负值表示轴向拉力； 注4： η 为截面偏心率增大系数； 注5：桩边缘拉应力计算结果中正值表示拉应力，负值表示压应力。			

由上述验算结果可知：桩边缘拉应力均小于验算拉应力，桩基截面满足抗裂要求。

若利用附录B中长管节大管桩CD1200-32性能曲线进行桩基抗裂验算，则需要判断长管节大管桩状态点(2500, 922.78)和(-500, 700)与性能曲线中曲线Mf2的位置关系。本示例中的长管节大管桩性能曲线参见图C.1。由性能曲线图中可知，状态点(2500, 922.78)和(-500, 700)均位于曲线Mf2的下方，因此该长管节大管桩截面满足抗裂要求。

C.2.2.2 截面承载力验算

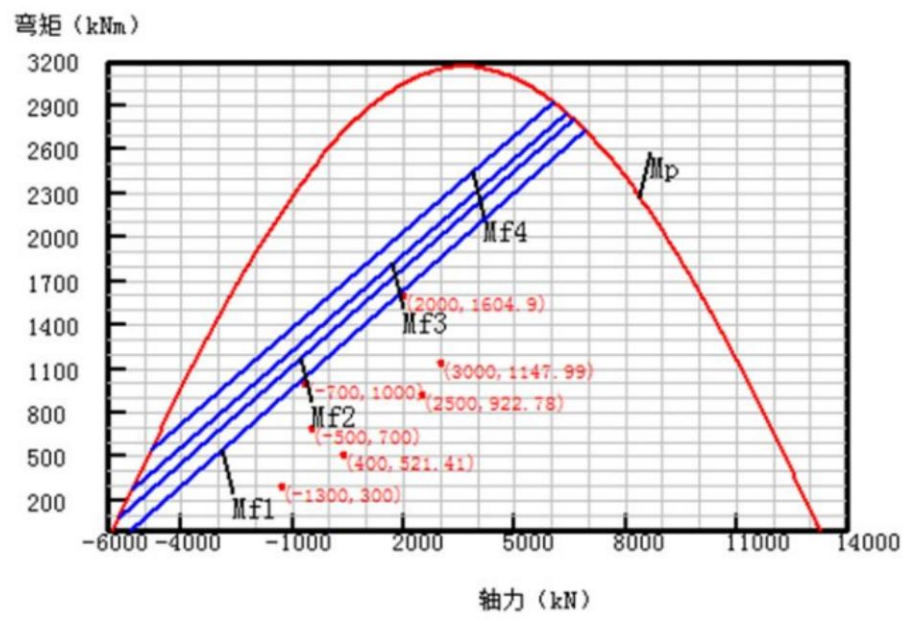
本算例直接利用长管节大管桩性能曲线进行桩基截面承载力验算。

经计算，桩的嵌固深度为7.24 m，桩总长 $L=5+7+7.24=19.24$ m，桩基计算桩长 $L_0=L/2=9.62$ m。桩基截面承载力验算表见表C.6。

表C.6 截面承载力验算表

轴力设计值 N (kN)	弯矩设计值 M (kN·m)	截面偏心距增大系数 η	$\eta \times M$ (kN·m)
4000	500	1.33	667.42
-1300	300	1.00	300.00
3000	1000	1.15	1147.99
2000	1500	1.07	1604.90
-700	1000	1.00	1000.00

状态点(4000, 667.42)、(-1300, 300.00)、(3000, 1147.99)、(2000, 1604.90)和(-700, 1000)均位于性能曲线中曲线Mp的下方(参见图C.1)，表明此长管节大管桩结构满足承载力要求，结构安全。

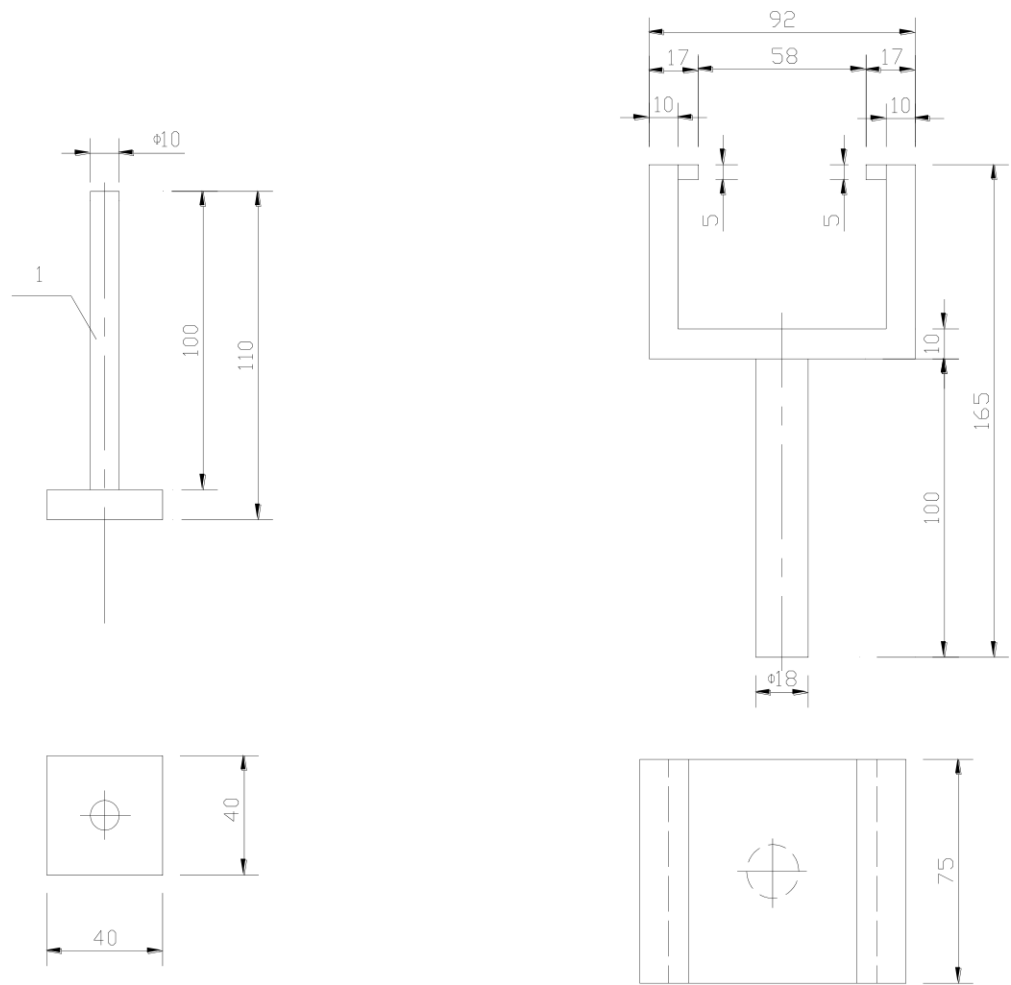


图C.1 长管节大管桩 CD1200-32 性能曲线

附 录 D
(规范性附录)
粘结剂正拉粘结强度试验方法

- D. 1. 1 拉力试验机的量程选择应与试件的破坏荷载相适应。试验时所用的夹具应能使试件对中、固定，试验机应能使拉力平稳地增加。
- D. 1. 2 试验所用机具应采用钢材加工而成（图D. 1）

单位：mm



说明：

1 ——螺杆。

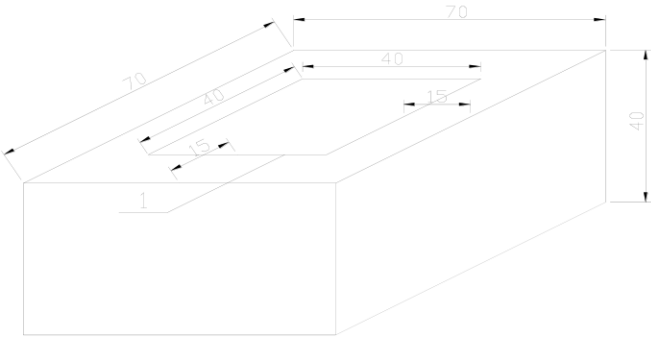
a) 钢标准块

b) 钢夹具

图D. 1 试验机具尺寸

D. 1. 3 试验所用混凝土试块的尺寸为70 mm×70 mm×40 mm。预切缝深度取2 mm~3 mm，宽度1 mm~2 mm（图D. 2）。

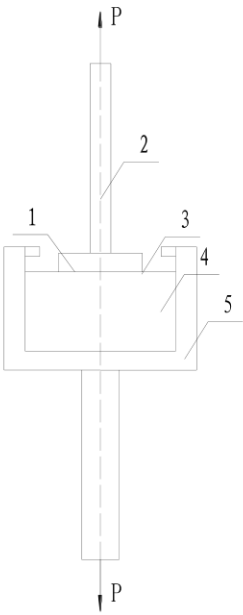
单位：mm



说明：
1 ——预切缝。

图D. 2 混凝土试块尺寸

D. 1. 4 试样为钢标准块与混凝土试块的组合件。在混凝土试块的中央位置将钢标准块与混凝土试块粘结（图D. 3）。粘结剂的制备和固化，应按相应的粘结剂产品技术条件或粘结剂施工工艺说明书中规定的条件进行。



说明：
1 ——粘结剂；
2 ——钢标准块；
3 ——预切缝；
4 ——混凝土试块；
5 ——钢夹具；
P ——试样破坏时的荷载值（N）。

图D. 3 试样组成示意

D.1.5 试验环境应保持在：温度 $23\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度60%~70%。

D.1.6 试验时将制备好的试样置入拉力试验机的夹具并对中，以1500N/min~2000N/min的速度进行加载，直至破坏。记录试件破坏时的荷载值 P ，并观察破坏形式。

D.1.7 正拉粘结强度应按下式计算：

$$f = \frac{P}{A_1} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

f ——正拉粘结强度（N/mm²）；

P ——试样破坏时的荷载值（N）；

A_1 ——钢标准块的粘结面面积（mm²）。

D.1.8 试样破坏可分为以下形式：

- a) 内聚破坏：分为基材混凝土内聚破坏和受检粘结剂的内聚破坏；
- b) 粘附破坏：分为胶层与基材之间的粘附破坏及胶层与钢标准块之间的粘附破坏；
- c) 混合破坏：粘合面出现两种或两种以上的破坏形式。

D.1.9 每组被测试样应不少于5个。单个试验的 f 值与该组试样的算术平均值的误差不超过 $\pm 15\%$ 时为有效值。至少取3个有效值的算术平均值作为该组正拉粘结强度的试验结果。试验结果应由正拉粘结强度的试验结果和破坏形式共同表示。

D.1.10 试验报告应包括下列内容：

- a) 粘结剂的品种、型号、批号和来源；
- b) 取样规则及数量；
- c) 制备试样的工艺条件；
- d) 试样的编号和数量；
- e) 试验时环境的温度、湿度；
- f) 拉力试验机的型号、量程及检定日期；
- g) 加荷方式及加荷速度；
- h) 试样的破坏荷载、破坏形式及正拉粘结强度测定值；
- i) 试验中出现的偏差和异常现象；
- j) 试验日期、试验人员及审核人员。

附 录 E
(资料性附录)
选锤参考资料

表E.1 选锤参考资料表

项目	常用锤型	柴油锤		
		D-80	D-100	D-128
锤型参数	锤芯质量 (t)	8.0	10.0	12.8
	锤总质量 (t)	16.04	19.43	27.00
	常用冲程 (m)	2.8~3.2	2.8~3.2	2.8~3.2
	最大锤击能量 (kJ)	272	340	435
与锤相应的长管节大管桩直径 (mm)		Φ 1200	Φ 1200	Φ 1200、Φ 1400
锤击沉桩时，打入硬土层的能力	可贯穿硬粘土深度 (m)	10~15	10~20	10~20
	可贯穿中密状砂层深度 (m)	8~15	10~15	10~15
	桩端可打入密实砂或砾砂 (N=50 击) 深度 (m)	0.5~1.5	0.5~1.5	0.5~2.5
	桩端可打入风化岩 (N>50 击) 深度 (m)	0.5~1.5	0.5~1.5	0.5~1.5
	所用锤可能达到的极限承载力 (kN)	6000~9000	9000~11000	≥11000
	最终 10 击的平均贯入度 (mm/击)	5~10	5~10	5~10
注1：本表仅供施工单位选锤时参考，不得作为确定极限承载力的依据。 注2：桩打入持力层的深度不包括桩靴长度。 注3：采用其他锤型时，可比照表中最大锤击能量参考选用。 注4：若需选用更大的锤型，应经专门论证。				