



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

高强预应力冷滚压螺纹钢筋技术规程

Technical specification for high-strength Prestressing cold-rolled Screw Bars

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

高强预应力冷滚压螺纹钢筋技术规程

Technical specification for high-strength Prestressing cold-rolled Screw Bars

T/CECS XXX—202X

主编单位：中冶检测认证有限公司
厦门路桥建设集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会
施行日期：20XX年XX月XX日

中国XX出版社

202X 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕40 号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 9 章和 2 个附录。主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料、预应力系统设计要求、制造要求、试验方法与检验、施工及质量验收、在役检测与监测等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会结构焊接专业委员会归口管理，由中冶检测认证有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中冶检测认证有限公司（北京市海淀区西土城路 33 号，邮编：100088，邮箱：191607093@qq.com）。

主编单位： 中冶检测认证有限公司

厦门路桥建设集团有限公司

参编单位： 柳州欧维姆机械股份有限公司

西南交通大学

北京科技大学

南京钢铁股份有限公司

中交公路规划设计院有限公司

中冶建筑研究总院有限公司

国家钢结构质量检验检测中心

中交第一航务工程局有限公司

中交第二航务工程局有限公司

中国船舶集团国际工程有限公司

长安大学

集美大学

武汉中科创新技术有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总 则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术 语.....	2
2.2 符 号.....	2
3 基本规定.....	4
4 材料.....	5
4.1 一般规定.....	5
4.2 钢筋原材料.....	5
4.3 钢筋力学性能.....	7
5 预应力系统设计要求.....	9
5.1 一般规定.....	9
5.2 锚固端设计.....	10
5.3 连接设计.....	13
5.4 张拉控制应力要求.....	13
6 制造要求.....	15
6.1 冷滚压技术要求.....	15
6.2 调质热处理技术要求.....	15
6.3 钢筋尺寸、重量及外观质量要求.....	16
6.4 防腐要求.....	18
6.5 包装、标识.....	18
6.6 运输储存.....	19
7 试验方法与检验.....	20
7.1 检验项目及取样数量.....	20
7.2 尺寸及外观质量检验.....	21
7.3 化学成分检验.....	21
7.4 组织均匀性检验.....	21
7.5 重量偏差检验.....	21
7.6 力学性能检验.....	22
7.7 防腐性能检验.....	22
8 施工及质量验收.....	23
8.1 一般规定.....	23
8.2 安装.....	23
8.3 张拉、锚固及压浆.....	25
8.4 检验及验收.....	27
9 在役检测与监测.....	28
9.1 一般规定.....	28
9.2 在役监测.....	28
9.3 在役检测与性能评估.....	29
附录 A 钢筋原材料选择与化学成分.....	31

附录 B 钢筋在最大力下总伸长率的测定方法.....32

本规程用词说明..... 33

引用标准名录..... 34

条 文 说 明.....35

制定说明.....36

Contents

1 General provisions.....	1
2 Terms and symbols.....	2
2. 1 Terms.....	2
2. 2 Symbols.....	2
3 Basic provisions.....	4
4 Material.....	5
4.1 General provisions.....	5
4.2 Raw materials for steel bars.....	5
4.3 Mechanical properties of steel bars.....	7
5 Prestressed system design requirements.....	9
5.1 General provisions.....	9
5.2 Anchor end design.....	10
5.3 Connection design.....	13
5.4 Tension controls stress requirements.....	13
6 Manufacturing requirements.....	15
6.1 Technical requirements for cold rolling.....	15
6.2 Technical requirements for quenching and tempering heat treatment.....	15
6.3 Size and appearance quality requirements.....	16
6.4 Anti-corrosion requirements.....	18
6.5 Packaging、logos.....	18
6.6 Transportation and storage.....	19
7 Test Methods and Inspections.....	20
7.1 Inspection items and sample quantity.....	20
7.2 Dimensional and appearance quality inspection.....	21
7.3 Chemical composition testing.....	21
7.4 Tissue uniformity test.....	21
7.5 Weight deviation test.....	21
7.6 Mechanical property test.....	22
7.7 Anti-corrosion performance test.....	22
8 Construction and quality acceptance.....	23
8.1 General provisions.....	23
8.2 Installation.....	23
8.3 tension、anchorage and grouting.....	25
8.4 Inspection and acceptance.....	27
9 In-service detection and reinforcement.....	28
9.1 General provisions.....	28
9.2 In-service testing and performance evaluation.....	28
9.3 In-service testing and performance evaluation.....	29
Appendix A Raw material selection and chemical composition for steel bars.....	31
Appendix B Method for determining the total elongation of steel bars at maximum force.....	32
Explanation of wording.....	33
List of quoted standards.....	34
Addition: Explanation of provisions.....	35

1 总 则

1.0.1 为规范预应力混凝土结构工程中高强预应力冷滚压螺纹钢筋的应用，做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量、节能环保，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于预应力混凝土结构中高强预应力冷滚压螺纹钢筋的设计、制造、试验检验、施工及质量验收、在役检测与监测。

1.0.3 高强预应力冷滚压螺纹钢筋除应符合本规程以外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 冷滚压螺纹钢筋 cold-rolled Prestressing Screw Bars

一种通过冷滚压工艺成型、带有连续外螺纹的直条钢筋，可用带有匹配形状的内螺纹连接器或锚具进行连接或锚固。

2.1.2 高强预应力冷滚压螺纹钢筋 high-strength Prestressing cold-rolled Screw Bars

用于混凝土结构构件中施加预应力且屈服强度大于等于 830MPa 的冷滚压螺纹钢筋。

2.1.3 基圆 base circle

钢筋截面去除螺纹高度后的最大截面圆。

2.1.4 有效截面系数 coefficient of efficiency section

钢筋基圆截面面积与理论截面面积的比值。

2.2 符 号

φ	——	基圆直径
S	——	基圆截面面积
h	——	螺纹高度
b	——	螺纹底宽
l	——	螺距
r	——	螺纹根弧
α	——	螺纹导角
d	——	公称直径
f_{py}	——	屈服强度
f_{pt}	——	极限强度
f_{pyk}	——	屈服强度标准值
f_{ptk}	——	极限强度标准值
f_{pd}	——	抗拉强度设计值
f'_{pd}	——	抗压强度设计值
A	——	断后伸长率
A_{gt}	——	最大力下总伸长率
s	——	六角螺母高度

e	——	六角螺母外径
m	——	六角螺母长度
R	——	张拉端螺母过渡圆弧半径
Φe	——	钢筋连接器外径
L	——	钢筋连接器长度

3 基本规定

3.0.1 钢筋强度等级划分应符合表 3.0.1 的规定。

表 3.0.1 高强预应力冷滚压螺纹钢筋强度等级 (MPa)

强度等级	PSB830	PSB930	PSB1080
屈服强度标准值	830	930	1080
极限强度标准值	1030	1080	1230

【说明】PSB 为强度等级代号,即 Prestressing Screw Bars,表示预应力混凝土用螺纹钢筋,加上规定屈服强度标准值表示预应力钢筋强度等级,其屈服强度标准值、极限强度标准值参照《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065 取值。

3.0.2 钢筋产品表示应包含屈服强度标准值、基圆直径、成型工艺。

【说明】钢筋产品表示: PSB+屈服强度标准值+CR+基圆直径。CR 表示“冷滚压”的英文“cold rolled”的首字母,例如 PSB830CR32 表示屈服强度标准值为 830MPa、基圆直径为 32mm 的冷滚压螺纹预应力钢筋。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 本章规定了制造高强预应力冷滚压螺纹钢筋的热轧圆钢材料性能与成品钢筋力学性能。

4.1.2 钢筋产品规格可根据强度级别和基圆直径确定，宜符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 钢筋产品规格划分

级别	基圆直径 ϕ /mm
PSB830	32~130
PSB930	32~100
PSB1080	32~82

【说明】由于钢筋冷滚压工艺特点，其直径大小需考虑材料特性及经济性原则，因此本规程按照钢筋强度级别与直径的匹配性确定其产品规格。

4.1.3 热轧圆钢的材料选择与化学成分设计可参考附录 A。

4.2 钢筋原材料

4.2.1 热轧圆钢冶炼宜采用转炉/电炉+炉外精炼+真空冶炼的工艺。

4.2.2 热轧圆钢应以退火状态交货，全横截面硬度不应大于 180HBW。

【说明】为满足后续冷滚压加工要求，需规定退火后硬度要求。

4.2.3 热轧圆钢的低倍组织应符合以下规定：

1 应按现行国家标准《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》GB/T 226 进行低倍组织检测，横截面酸浸低倍组织不应有肉眼可见的缩孔、气泡、裂纹、夹杂、翻皮、白点、晶间裂纹等缺陷。

2 酸浸低倍组织应按现行国家标准《结构钢低倍组织缺陷评级图》GB/T 1979 评级，其级别应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 热轧圆钢低倍组织（级）

强度级别	中心疏松	一般疏松	锭型偏析
PSB830	≤2.0	≤2.0	≤2.0
PSB930	≤1.5	≤1.5	≤1.5

PSB1080			
---------	--	--	--

【说明】钢材中缩孔、气泡、裂纹、夹杂、翻皮、白点、晶间裂纹等缺陷对成品钢筋的疲劳性能影响较大，综合考虑工程经验与试验数据，按照本条要求对低倍质量进行控制。

4.2.4 热轧圆钢应按现行国家标准《钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法》GB/T 10561 中 A 法进行非金属夹杂物检测，并应符合表 4.2.4 中 A 级要求。

表 4.2.4 热轧圆钢非金属夹杂物（级）

A		B		C		D		DS
细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	
≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 1.0	

【说明】为保证成品钢筋的疲劳性能，结合工程经验与试验数据，需要对非金属夹杂物进行严格控制，因此采用《钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法》GB/T 10561 中 A 法进行控制。

4.2.5 热轧圆钢的奥氏体晶粒度检验应按现行国家标准《金属平均晶粒度测定法》GB/T 6394 的有关规定进行，合格级别不应粗于 5 级，级差不应超过 3 级。

4.2.6 热轧圆钢的脱碳层检验应按现行国家标准《钢的脱碳层深度测定法》GB/T 224 的有关规定进行，总脱碳层深度不应超过圆钢钢材公称直径的 1%。

4.2.7 热轧圆钢应进行超声波探伤检查，检测比例为 100%，质量应满足现行国家标准《圆钢超声检测方法》GB/T 37566 质量等级 3 级要求或《锻轧钢棒超声检测方法》GB/T 4162 质量等级 A 级要求。

【说明】《圆钢超声检测方法》GB/T 37566 中规定了直径 8mm~400mm 圆钢脉冲反射法超声自动或半自动检测时的质量等级要求，其中 3 级质量等级对应人工缺陷尺寸为直径 0.5mm、长度 12.7mm 横孔；《锻轧钢棒超声检测方法》GB/T 4162 中规定了直径 12mm~250mm 锻轧钢棒采用超声波脉冲发射法手动检测时的质量等级要求，其中 A 级质量等级对应单个缺陷直径 2.0mm 平底孔相当于直径 0.5mm、长度 12.7mm 横孔，两者质量等级规定的缺陷尺寸要求相当，当对热轧圆钢钢材进行超声波探伤检查时，建议自动或半自动检测时采用 GB/T 37566 中质量等级 3 级要求，手动检测时采用 GB/T 4162 中质量等级 A 级要求。

4.2.8 热轧圆钢尺寸应符合以下规定：

- 1 每米弯曲度不应大于 3mm，总弯曲度不应大于总长度的 0.30%；
- 2 尺寸允许偏差应符合表 4.2.8 的规定；

表 4.2.8 热轧圆钢尺寸允许偏差 (mm)

直径规格 (大于成品直径)	允许偏差	
	外径允许偏差	允许不圆度
$35 < d \leq 50$	± 0.5	≤ 0.5
$50 < d \leq 80$	± 0.8	≤ 1.0
$80 < d \leq 100$	± 1.0	≤ 1.2
$100 < d \leq 135$	± 1.3	≤ 1.5

3 钢材的规定交货长度在合同中注明,长度允许偏差为 0mm~+50mm。

【说明】1 为避免热轧圆钢弯曲对剥皮、冷滚压螺纹工艺的影响,需要对其弯曲度进行控制。

2 表 4.2.8 外径允许偏差的规定参考《热轧钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 702 中 3.2.1 条按第 2 组允许偏差执行;不圆度是指圆形金属材料 (包括棒、线、管等)横截面上最大与最小直径的差值,也称作椭圆度或失圆度。

4.2.9 热轧圆钢表面质量宜进行目视和表面无损检测,并应符合以下规定:

1 不应有裂纹、结疤、折叠及夹渣;

2 如有上述缺陷必须清除,清除深度应小于尺寸允许偏差,清除宽度不应小于清除深度的 6 倍,且同一截面达到最大清除深度的缺陷不应多于 1 处;

3 每米圆钢深度不大于 0.5mm 的表面压痕、麻点不应多于 1 处;

4 压痕、麻点尺寸不应大于尺寸允许偏差的二分之一。

【说明】热轧圆钢表面无损检测建议参考《圆钢涡流探伤方法》GB/T 11260、《圆钢漏磁检测方法》GB/T 32547、《磁粉探伤方法》GB/T 15822、《钢棒材红外探伤检验方法》YB/T 4374-2014 的有关规定。

4.3 钢筋力学性能

4.3.1 钢筋成品力学性能应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 钢筋力学性能

级别	基圆直径 ϕ/mm	屈服强度标准 值 f_{yk}/MPa	极限强度标准 值 f_{tk}/MPa	断后伸长 率 A / %	最大力下 总伸长率 $A_{gt} / \%$
PSB830	32~130	830	1030	8	3.5
PSB930	32~100	930	1080	7	
PSB1080	32~82	1080	1230	6	

【说明】通过对试验数据和曲线的观察和分析,钢筋材料为高强度无流幅钢,

应力-应变曲线没有屈服平台。对于无流幅钢，存在比例极限点、弹性极限点，但没有明显转折点。通常工程中约定塑性残余变形不超过 0.2%即处于工程可接受的范围，基本处于“弹性状态”。因此，在保证钢筋安全应用的原则上，为充分利用钢筋性能，一般取 0.2%残余应变所应对的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为其条件屈服强度 f_{py} ，以钢筋在拉伸载荷作用下所能承受的最大拉伸应力为极限强度 f_{pt} ，相当于国内各钢筋标准中的抗拉强度特征值 R_m 。

4.3.2 钢筋 1000h 应力松弛率不应大于 3%，可使用推算法进行 120h 松弛试验确定 1000h 松弛率，应力松弛试验应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢材试验方法》GB/T 21839 的有关规定。

【说明】1000 h(大于 1000 h)的应力松弛值可以用不少于 120 h 的松弛试验值进行外推,但应充分证明外推 1000 h(大于 1000 h)的松弛值与实测 1000 h(大于 1000 h)的松弛值相当，此时试验报告中应注明外推方法，如《预应力混凝土用钢材试验方法》GB/T 21839 中外推公式等。

4.3.3 钢筋疲劳性能应能经受 200 万次脉动负荷后而不断裂，疲劳应力范围宜符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 疲劳应力范围

直径范围	应力范围
$32 \leq \varphi \leq 50$	$(0.60 f_{ptk} - 80\text{MPa}) \sim 0.60 f_{ptk}$
$50 < \varphi \leq 130$	$(0.60 f_{ptk} - 50\text{MPa}) \sim 0.60 f_{ptk}$

【说明】实际工程疲劳性能试验建议按设计的最高应力及最高应力幅确定，若试验设备无法满足全尺寸钢筋疲劳试验条件，可进行切片试样疲劳试验代替全尺寸钢筋疲劳试验。

4.3.4 钢筋宜进行延迟断裂性能试验，延迟断裂性能宜满足试样在临界缺口应力下断裂时间大于 100h。

【说明】使用带缺口的圆棒拉伸试样在恒定载荷下进行拉伸试验，将钢筋 100h 内发生断裂的最小应力与 100h 不发生断裂的最大应力取平均值，定义为本试验临界缺口应力。

钢筋延迟断裂性能试验方法建议参照现行国家标准《高强度钢氢致延迟断裂评价方法》GB/T 39039 中恒载荷拉伸试验的有关规定，其延迟断裂评价参照现行国家标准《高强度钢氢致延迟断裂评价方法》GB/T 39039 的有关规定。

使用带缺口的圆棒拉伸试样在恒定载荷下进行拉伸试验，以 100h 为临界断裂时间，测出规定时间内不发生断裂的最大应力 σ_n 和发生断裂的最小应力 σ_f ，并通过计算得出缺口试样在该溶液侵蚀下的临界断裂应力。

5 预应力系统设计要求

5.1 一般规定

5.1.1 钢筋抗拉强度设计值 f_{pd} 、抗压强度设计值 f'_{pd} 应按表 4.3.2 采用，弹性模量宜按表 5.1.1 采用，当有可靠试验依据时，弹性模量 E_p 可按实测数据确定。

表 5.1.1 钢筋抗拉、抗压强度设计值及弹性模量取值

级别	基圆直径 ϕ/mm	抗拉强度设计值 f_{pd}/MPa	抗压强度设计值 f'_{pd}/MPa	弹性模量 E_p/MPa
PSB830	32~130	690	400	2.0×10^5
PSB930	32~100	775		
PSB1080	32~82	900		

【说明】钢筋的强度设计值由强度标准值除以材料分项系数 γ_s 得到。延性较好的热轧钢筋， γ_s 取 1.10；对钢筋的抗拉强度设计值，取其条件屈服强度标准值除以材料分项系数 γ_s ，由于钢筋延性稍差， γ_s 一般取不小于 1.20。

钢筋抗拉强度设计值 f_{pd} 参考《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 按屈服强度标准值 f_{pyk} 除以材料分项系数 1.2 计算得到；抗压强度设计值 f'_{pd} 按钢筋受压应变 0.2%对应的应力，即 $f'_{pd}=0.002 \times 2.0 \times 10^5=400\text{MPa}$ 。

5.1.2 钢筋预应力锚固体系应符合以下规定：

- 1 预应力锚固系统的螺母、连接器、球形垫板、钢垫板、螺旋筋、预埋管、连接套筒、压浆管及排气管应成套使用，不应任意拼凑；
- 2 锚固系统端部钢垫板组件应预留灌浆通道；
- 3 连接套筒应预留满足张拉时钢筋伸长的位移量。

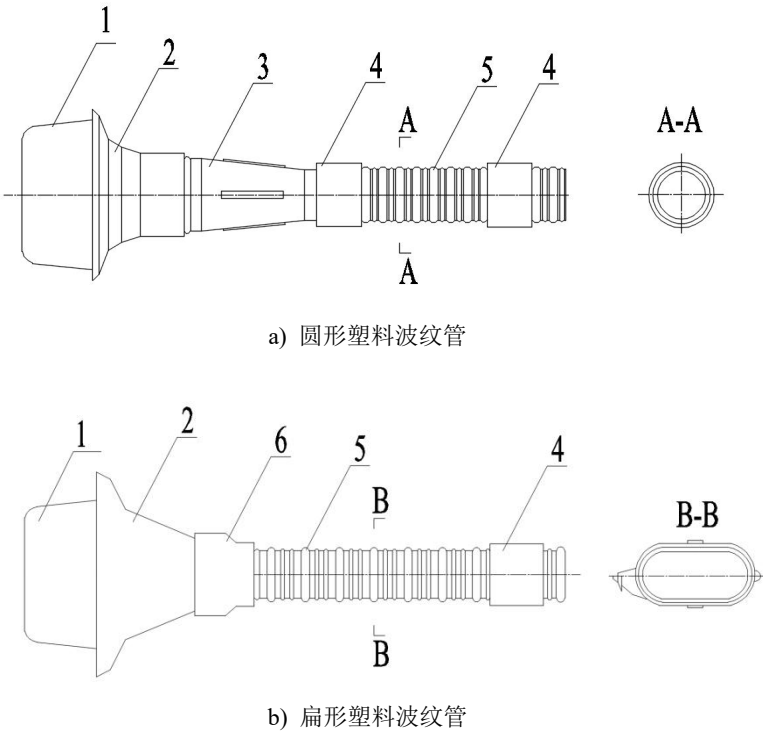
【说明】钢筋预应力锚固体系一般包括端部锚具系统和钢筋连接系统两个部分：端部锚具系统组件主要包括螺母、钢垫板组件、螺旋筋和灌浆罩等，其中灌浆罩主要起到灌浆和封锚的双重作用；钢筋连接器系统的组件主要包括止转连接器和连接套筒。

5.1.3 钢筋预应力系统中预埋管材质可选择金属波纹管。

【说明】预埋管的选择要充分考虑预制施工过程对管材力学性能要求，因大型预制构件浇筑混凝土过程对预埋管材刚度要求较高，宜使用金属波纹管或塑料和金属复合波纹管。对管材刚度要求较低的预制结构，也可采用塑料波纹管。

资料表明，金属波纹管存在漏浆、堵管、磨擦阻力系数过大、防腐性能差、不能绝缘、不能防止预应力筋受到杂散电流的腐蚀等缺点，目前在欧洲及日本等地区推荐采用塑料波纹管，并编制了相关施工标准。

此外，为便于采用雷达波检测技术进行预应力钢筋损伤断裂无损检测，宜采用满足预制施工性能要求的大刚度塑料波纹管。塑料波纹管由塑料波纹管管节、管节接头、连接接头(塑料喇叭管或热塑套管)组成，圆形塑料波纹管结构示意图如图 1a)所示，扁形塑料波纹管结构示意图如图 1b)所示。



说明：
 1——锚头； 3——塑料喇叭管； 5——塑料波纹管管节；
 2——锚下垫板； 4——塑料波纹管管节接头； 6——热塑套管。

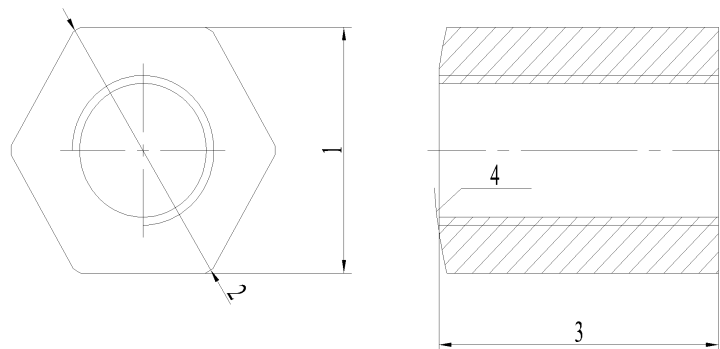
图 1 常见塑料波纹管结构示意图

5.1.4 孔道灌浆剂应符合《预应力孔道灌浆剂》GB/T 25182 的相关规定，灌浆剂强度等级不应低于应用部位构件的混凝土强度等级。

5.1.5 钢筋锚具及连接器性能应满足工程应用需要，并满足《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的相关规定。

5.2 锚固端设计

5.2.1 张拉端锚具宜采用大六角型螺母（图 5.2.1），不同规格钢筋的张拉端螺母参数宜符合表 5.2.1 的规定。



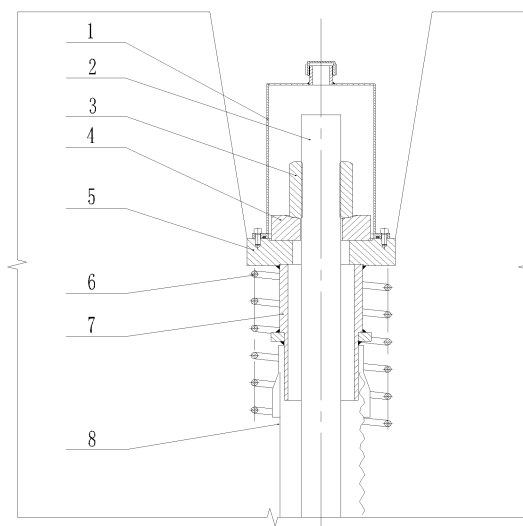
1—张拉端螺母高度 s；2—张拉端螺母外径 e；3—张拉端螺母长度 m；4—张拉端螺母过渡圆弧半径 R

图 5.2.1 张拉端螺母示意图

表 5.2.1 不同钢筋规格下张拉端螺母参数

序号	钢筋规格 (mm)	螺母高度 s (mm)	螺母外径 e (mm)	螺母长度 m (mm)	螺母过渡圆弧半径 R (mm)
1	32	48	68	60	130
2	40	66	78	70	160
3	50	78	88	78	200
4	65	108	116	102	260
5	75	115	128	120	300
6	82	120	146	128	330
7	90	120	158	140	360
8	100	132	176	155	400
9	115	132	198	175	460
10	130	132	228	200	520

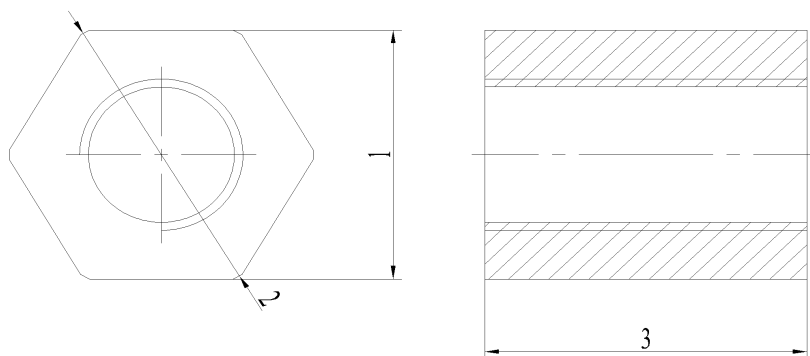
【说明】张拉端锚固系统组件一般包括与钢筋配套的张拉端螺母、球形垫板、钢垫板、螺旋筋、密封筒、预埋管及保护罩，其构造设计可参考图 1。



1—保护罩；2—高强冷滚压螺纹钢筋；3—张拉端螺母；
4—球形垫板；5—钢垫板；6—螺旋筋；7—密封筒；8—预埋管

图 1 锚固系统张拉端构造示意图

5.2.2 固定端锚具宜采用大六角型螺母（图 5.2.2），不同规格钢筋的固定端螺母参数宜符合表 5.2.2 的规定。



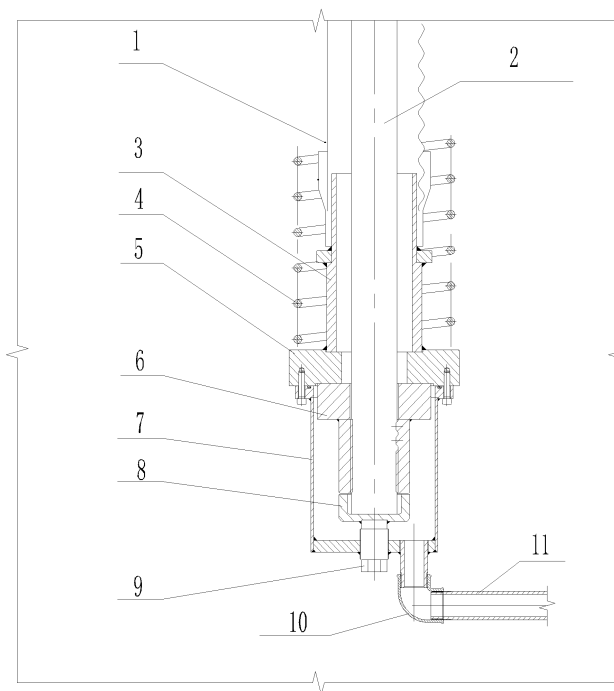
1—固定端螺母高度 s；2—固定端螺母外径 e；3—固定端螺母长度 m

图 5.2.2 固定端螺母示意图

表 5.2.2 不同钢筋规格下固定端螺母参数

序号	钢筋规格	螺母高度 s (mm)	螺母外径 e (mm)	螺母长度 m (mm)
1	32	48	68	60
2	40	66	78	70
3	50	78	88	78
4	65	108	116	102
5	75	115	128	120
6	82	120	146	128
7	90	120	158	140
8	100	132	176	155
9	115	132	198	175
10	130	132	228	200

【说明】锚固端锚固系统组件一般包括与钢筋配套的固定端螺母、钢垫板、螺旋筋、密封筒、预埋管及保护罩、螺母压紧套、螺母压紧杆以及下端预留灌浆管与弯管接头，其构造设计可参考图 2。



1—预埋管；2—高强冷滚压螺纹钢筋；3—密封筒；4—螺旋筋；5—钢垫板；6—固定管螺母；7—保护罩；8—螺母压紧套；9—螺母压紧杆；10—弯管接头；11—灌浆管

图 2 锚固系统固定端构造示意图

5.3 连接设计

5.3.1 预应力系统钢筋不宜接长，当需要接长时，可采用带止转装置的连接器对钢筋进行接长（图 5.3.1）。

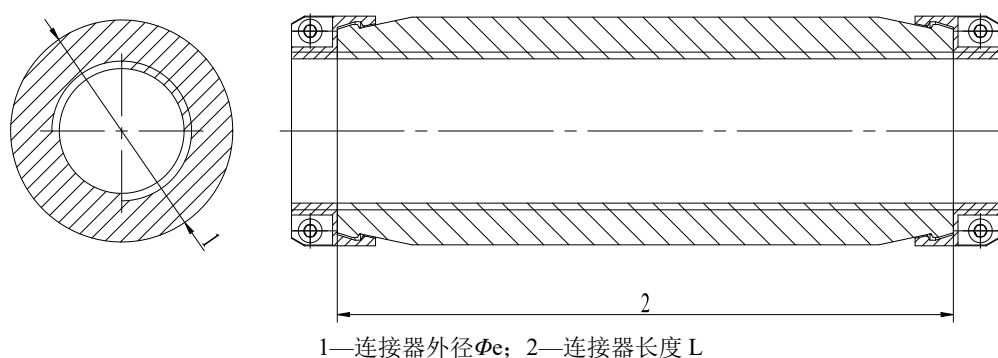


图 5.3.1 连接器示意图

5.3.2 不同规格钢筋的连接器参数宜符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 不同钢筋规格的连接器参数

序号	钢筋规格	外径 Φ_e (mm)	长度 L (mm)
1	32	58	120
2	40	73	150
3	50	88	180
4	65	107	250
5	75	118	270
6	82	128	280
7	90	146	290
8	100	157	300
9	115	178	310
10	130	207	320

5.4 张拉控制应力要求

5.4.1 钢筋张拉控制应力不宜低于极限强度标准值的 50%，不宜高于极限强度标准值的 60%。

5.4.2 张拉控制力为 $0.60f_{ptk}$ 时不宜进行超张拉，当张拉控制力小于 $0.60f_{ptk}$ 时可进行超张拉，但最大张拉力不应大于 $0.60f_{ptk}$ 。

【说明】5.4.1、5.4.2 高强预应力冷滚压螺纹钢筋张拉控制力限值的规定，一方面是从结构性能需求考虑，钢筋张拉控制应力过小会造成不经济，过大会造成使用阶段钢筋应力较大，高应力状态下使构件预压区可能出现纵向裂纹；另一方面从预应力钢筋性能限值考虑，为降低预应力钢筋断裂风险，张拉控制应力则不能过大。冷滚压工艺加工缺陷、大直径钢筋螺纹根部应力集中问题，限制了钢筋张拉应力，因此提出以上控制要求。

国外相关设计标准以极限强度载荷 f_{ptk} 为控制参数,对冷滚压螺纹预应力钢筋的张拉控制力提出了相关要求:1)在后张拉预应力结构中,法国规范(BPEL91 修订 99)将应力限制为 $0.70 f_{ptk}$;2)在预应力地锚中,欧洲规范 EN 1537 规定最终力限制为 $0.60 f_{ptk}$,初步检验和接收试验的拉力小于 $0.80 f_{ptk}$;3)如果再次使用,第一次使用时棒材的拉力限制在 $0.60 f_{ptk}$,后续使用时限制在 $0.50 f_{ptk}$ 。现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对精轧螺纹钢筋张拉控制要求为不宜小于 $0.5 f_{pyk}$ 、不应超过 $0.85 f_{pyk}$,按 PSB930 级钢筋换算为 $0.73 f_{ptk}$,控制力限值较高。本规程在总结考虑螺纹根部应力集中、基于断裂力学的钢筋张拉控制应力限值研究、基于钢筋疲劳性能的张拉控制应力限值研究结论,在试验与理论研究的基础上,建议将高强预应力冷滚压螺纹钢筋张拉控制应力上限值设为 $0.60 f_{ptk}$ 。

6 制造要求

6.1 冷滚压技术要求

6.1.1 钢筋冷滚压工艺应包括滚压前进速度、模具转速、单道次挤压量等参数。

6.1.2 钢筋冷滚压加工应符合以下规定：

1 钢筋张拉端、固定端或连接端滚压次数不宜超过 3 次，中间段宜采取一次滚压；

2 多次冷滚压过程挤压力宜均衡，单次冷挤压量分配合理，冷滚压加工后不应产生影响使用性能的挤压裂纹或折叠；

3 冷滚压螺纹尺寸精度应满足设计要求。

【说明】钢筋经一次滚压后，牙顶未完全成型，金属受挤压量较小，螺纹根部金属堆积较少，未形成折叠；经多次滚压后，螺纹两侧金属受滚压力影响逐渐向螺纹根部堆积，堆积的金属多次受挤压力易形成螺纹根部折叠，对钢筋性能造成严重影响，钢筋生产及成品钢筋不允许存在，检验过程中需着重进行检测，钢筋中间段宜采用一次滚压工艺从而避免肉眼可见的螺纹根部折叠。

6.2 调质热处理技术要求

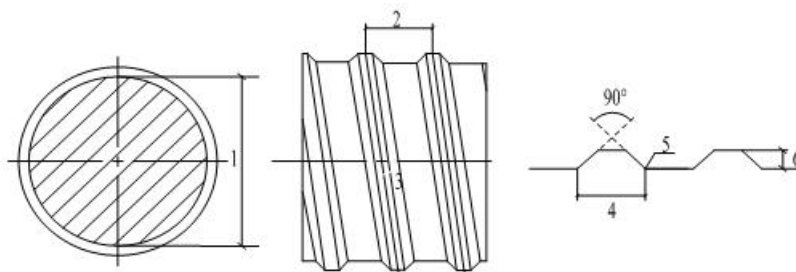
6.2.1 钢筋螺纹冷滚压完成后应进行调质热处理。

6.2.2 钢筋的淬火热处理不应超过 2 次，若淬火 2 次应进行超张拉检验。

6.2.3 应对调质后钢筋横截面硬度进行检测，横截面硬度差值不应大于 4HRC。

6.3 钢筋尺寸、重量及外观质量要求

6.3.1 钢筋外形采用连续螺旋线的螺纹（图 6.3.1），钢筋出厂及进场前应进行外形尺寸测量，测量项目及要求应符合表 6.3.1 的规定。



1—基圆直径 φ ；2—螺距 l ；3—螺纹导角 α ；4—螺纹底宽 b ；5—螺纹根弧 r ；6—螺纹高度 h

图 6.3.1 钢筋外形及截面形状

表 6.3.1 钢筋尺寸与允许偏差（mm）

公称 直径	基圆直径		螺距		螺纹底宽		螺纹高度		螺纹根弧
	φ		l		b		h		r
	公称 尺寸	允许 偏差	公称 尺寸	允许 偏差	公称 尺寸	允许 偏差	公称 尺寸	允许 偏差	
32	32.0	±0.2	8.0	±0.2	5.0	±0.3	1.8	±0.1	0.5
40	40.0	±0.3	11.0		6.5		2.0		0.5
50	50.0	±0.4	13.0		8.0		2.2		0.5
65	65.0	±0.5	18.0	±0.3	10.5		2.6	±0.2	1.0
75	75.0		20.0		12.0		2.8		1.0
82	82.0		20.0		12.0		2.8		1.0
90	90.0		20.0		12.0		2.8		1.0
100	100.0	±0.6	22.0		13.0		3.0		1.5
115	115.0		22.0		13.0		3.0		1.5
130	130.0		22.0		13.0		3.0		1.5

6.3.2 钢筋的基圆直径、基圆截面面积与理论重量宜符合表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 钢筋基圆直径、基圆截面面积与理论重量

序号	基圆直径 φ (mm)	基圆截面面积 S (mm ²)	理论重量 (包括螺牙重量) (kg/m)
1	32	804	6.92
2	40	1257	10.72
3	50	1963	16.69
4	65	3318	27.96
5	75	4418	37.16
6	82	5281	44.16
7	90	6362	52.89

8	100	7854	65.12
9	115	10387	85.51
10	130	13273	108.67

- 6.3.3** 钢筋实际重量与理论重量的允许偏差为 $\pm 4.0\%$ 。
- 6.3.4** 钢筋端部应平齐以便于连接器安装，且应采用匹配形状的连接器的检验旋进情况。
- 6.3.5** 钢筋表面不得有横向裂纹等影响钢筋力学性能和连接的其他缺陷。
- 6.3.6** 无防腐要求的钢筋外观目视检测时允许存在轻微锈迹。
- 6.3.7** 钢筋表面外观质量要求应符合以下规定：
- 1 螺纹顶面折叠或裂纹尺寸不应大于 0.25 倍螺纹高度；
 - 2 螺纹侧面中径以下不应存在任何深度或长度的折叠或裂纹；
 - 3 螺纹顶面允许存在凹陷深度不超过 0.25 倍螺纹高度的双牙尖。

【说明】

(1) 不允许的折叠或裂纹，见图 1：

- 1) 牙顶折叠或裂纹尺寸不允许大于 0.25h；
- 2) 中径以下的任何深度或长度的折叠，不允许在螺纹牙底及中径以下螺牙侧面出现；起点在中径以上，终点在中径以下的折叠或裂纹也不允许；

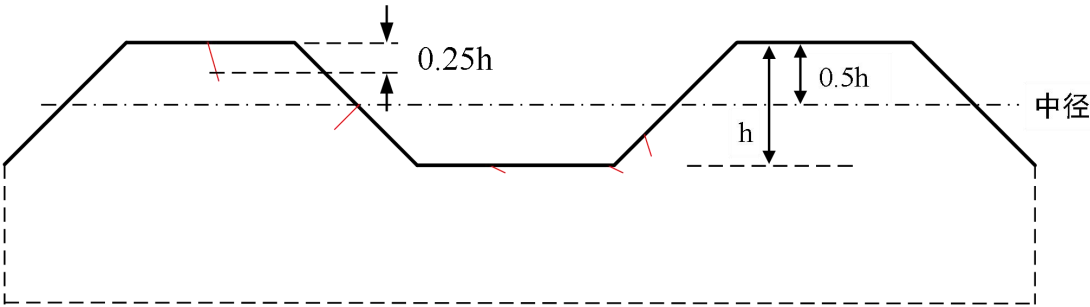


图 1 不允许的折叠和裂纹

(2) 允许的折叠或裂纹，见图 2：

- 1) 螺纹牙顶 0.25h 范围内的折叠；
- 2) 起点及终点全部在中径以上螺牙侧面。

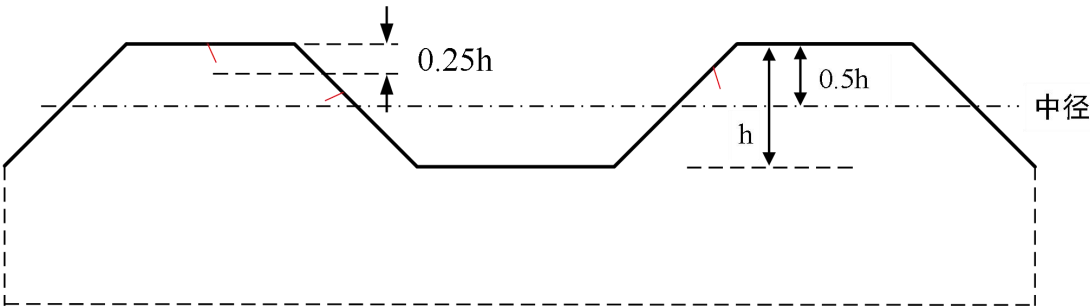


图 2 允许的折叠和裂纹

(3) 允许的双牙尖，其中凹陷尺寸深度不超过 0.25h，见图 3：

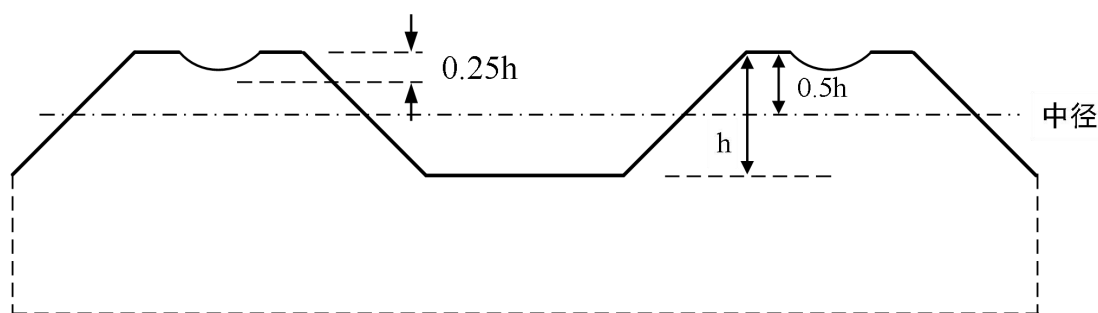


图 3 允许的双牙尖

6.4 防腐要求

6.4.1 根据混凝土工程的设计使用年限和环境类别来选择使用钢筋或环氧树脂涂层钢筋。

【说明】混凝土结构的设计使用年限依据设计要求确定，不低于现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50453 的有关规定；混凝土结构的环境类别参照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定，对于混凝土中的最大氯离子和最大碱含量有一定的限制和要求。采用环氧树脂涂层钢筋的混凝土可掺加钢筋阻锈剂，但不得与外加电流阴极保护联合使用。

6.4.2 钢筋涂覆前应进行表面处理，并应达到《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 规定的目视评定除锈等级 $Sa2\frac{1}{2}$ 级。

【说明】钢筋表面处理可采用超声波、喷砂、激光等技术去除表面氧化皮，采用以上钢筋防腐措施，仍然要首先保证混凝土耐腐蚀性能满足使用要求，这样才能保证结构构件整体的耐腐蚀性能。

6.4.3 环氧树脂涂层钢筋的最小涂层厚度应符合现行国家标准《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826 的规定。

6.4.4 涂层附着性应符合现行国家标准《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826 中阴极剥离试验以及 800h 盐雾试验的合格级别。

【说明】钢筋涂层附着性参照现行国家标准《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826 中附录 A3.2、A3.3 的有关规定进行检验。

6.4.5 环氧树脂涂层钢筋的涂层连续性应满足：涂层固化后无孔洞、空隙、裂纹和其他目视可见的缺陷；每延米环氧树脂涂层钢筋的漏点数量不应超过 5 个。

6.5 包装、标识

6.5.1 钢筋的标识可按下列规定执行：

- 1 钢筋标识包括钢筋生产批号、牌号、规格、交货状态等组成信息；
 - 2 钢筋标识可采用挂牌方法，标牌捆扎牢固，内容应清晰全面；
 - 3 钢筋可按强度级别进行端头涂色：PSB830 涂白色、PSB930 涂黄色、PSB1080 涂绿色。
- 6.5.2** 钢筋的包装、标识及质量证明书应符合《型钢验收、包装、标志及质量证明书的一般规定》GB/T 2101 的有关规定。

6.6 运输储存

- 6.6.1** 钢筋生产检验合格后，全螺纹段应采取有效保护，运输过程可采用带 V 型槽的枕木将钢筋隔离运输，避免钢筋相互碰撞损伤。
- 6.6.2** 吊装应使用扁平编织吊装带。
- 6.6.3** 工地现场存储应置于室内干燥场所，避免污染及腐蚀。
- 6.6.4** 安装前应检查钢筋表面涂层情况及锚固螺纹丝扣质量，不应带伤使用。

7 试验方法与检验

7.1 检验项目及取样数量

7.1.1 钢筋成品的检验分为型式检验、出厂检验和进场复验，并应满足以下规定：

- 1 型式检验应包括表 7.1.1 中规定的所有检验项目；
- 2 出厂检验应包括尺寸检验、外观质量目视及磁粉检验，检测比例 100%；
- 3 每批钢筋进场复验的取样频率及取样方法应符合表 7.1.1 的规定。

表 7.1.1 钢筋产品检验取样频率及方法

检验项目	进场复验取样频率		进场复验取样方法	备注	
尺寸	10%		随机抽取	/	
外观质量	逐支		/	目视	
化学成分	/		/	仅型式检验	
组织均匀性	硬度	逐支	/	/	
	宏、微观金相	每 500t 一个	/	/	
拉伸试验	每 500t 两个		任选 2 根钢筋	全截面尺寸	
松弛试验	每 3000t 一个		任选 1 根钢筋	全截面尺寸	
疲劳试验	每 3000t 一个		任选 1 根钢筋	全截面尺寸	
重量偏差	/		/	仅型式检验	
防腐性能	涂层厚度		5%	按数量随机抽取，每根钢筋每米测 5 个点	/
	涂层附着性	阴极剥离	每 500t 一个	任选 1 根钢筋	/
		盐雾试验	每 3000t 一个	任选 1 根钢筋	/
	涂层连续性		5%	随机抽取	/

【说明】组织均匀性包括钢筋横截面的硬度分布均匀性、金相组织均匀性。

7.1.2 钢筋有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 1 产品定型鉴定或产品恢复生产；
- 2 产品正式生产后，如结构、材料、工艺有较大的改变而影响产品性能。

7.1.3 型式检验中，表 7.1.1 中的检验项目应全部达到要求方为合格品。若检验项目有 2 项及以下不合格，允许返工后重新检验，仍未达标则判定为不合格品。

7.1.4 每批钢筋均应进行出厂检验，经制造商检验合格并附产品合格证后方可出厂。

7.2 尺寸及外观质量检验

7.2.1 钢筋截面尺寸测量可选用直尺、游标卡尺等，且应精确至 0.1mm。

7.2.2 钢筋外观质量检验应包含目视检测与磁粉检测，目视检测应符合现行国家标准《无损检测 目视检测 准则》GB/T 20967 的有关规定，磁粉检测应符合现行国家标准《无损检测 磁粉检测 第 1 部分》GB/T 15822.1 的有关规定。

7.3 化学成分检验

7.3.1 钢筋化学成分检验应按照现行国家标准《钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法》GB/T 20066 的有关规定进行取样，化学成分偏差应符合《钢的成品化学成分允许公差》GB/T 222 的有关规定。

7.3.2 钢筋化学成分检验应符合现行国家标准《钢铁及合金 锰含量的测定 电位滴定或可视滴定法》GB/T 223.4、《钢铁 酸溶硅和全硅含量的测定 还原型硅钼酸盐分光光度法》GB/T 223.5、《钢铁及合金 铬含量的测定 可视滴定或电位滴定法》GB/T 223.11、《钢铁及合金 钼含量的测定 硫氰酸盐分光光度法》GB/T 223.26、《钢铁及合金化学分析方法 磷钼酸铵容量法测定磷量》GB/T 223.61、《钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法（常规方法）》GB/T 20123、《碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)》GB/T 4336、《钢铁 氢含量的测定 惰气脉冲熔融热导法》GB/T 223.82 、《钢铁 氧含量的测定 脉冲加热惰气熔融—红外线吸收法测定氧量》GB/T 11261 、《钢铁 氮含量的测定 惰性气体熔融热导法（常规方法）》GB/T 20124 的有关规定。

7.4 组织均匀性检验

7.4.1 钢筋宏观金相及微观金相检验应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2 的有关规定。

7.4.2 钢筋试样横截面具有衬度均匀的宏观金相特征时，可直接判定为合格。

7.4.3 钢筋基圆的微观组织特征：在金相显微镜下，从表面到芯部应为均匀的组织形貌。

7.5 重量偏差检验

7.5.1 测量钢筋重量偏差时，试样应从不同根钢筋上截取，数量不应少于 5 支，每支试样长度不应小于 500 mm。长度应逐支测量，应精确到 1mm。测量试样总重

量时，应精确至不大于总重量的 1%。

7.5.2 钢筋实际重量与理论重量的偏差按下式计算：

$$\text{重量偏差} = \frac{\text{试样实际总重量} - (\text{试样总长度} \times \text{理论重量})}{\text{试样总长度} \times \text{理论重量}} \times 100\% \quad (7.5.2)$$

7.6 力学性能检验

7.6.1 钢筋拉伸试验方法应符合现行国家标准《金属材料拉伸试验第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1 的有关规定，单位应力应按基圆截面面积计算。

7.6.2 钢筋的应力松弛试验应符合现行国家标准《金属材料 拉伸应力松弛试验方法》GB/T 10120 的有关规定，试验期间试样的环境温度应保持在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，试样标距长度不小于 40 倍公称直径，试样制备后不得进行热处理和冷加工；初始负荷应在 3min ~ 5min 内均匀施加完毕，持荷 1min 后开始记录松弛值。

7.6.3 钢筋疲劳试验应符合现行国家标准《金属材料 疲劳试验 轴向力控制方法》GB/T 3075 的有关规定，试样长度应保证俩夹具之间距离不小于 500mm。

7.6.4 钢筋延迟断裂试验及评价方法宜符合现行国家标准《高强度钢氢致延迟断裂评价方法》GB/T 39039 中恒载荷拉伸试验的有关规定。

7.7 防腐性能检验

7.7.1 环氧树脂涂层厚度的检验方法宜按照现行国家标准《色漆和清漆 漆膜厚度的测定》GB/T 13452.2 中方法 7 的有关规定进行。每个厚度记录值为 3 个相邻肋间厚度测量值的平均值，并应在钢筋相对的两侧进行测量，且沿钢筋的每一侧至少应取得 5 个间隔大致均匀的涂层厚度记录值（每个试样最少 10 个记录值）。

7.7.2 环氧树脂涂层附着性宜按照现行国家标准《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826 中阴极剥离试验和 800h 盐雾试验的有关规定进行检测。

7.7.3 环氧树脂涂层连续性宜按照现行国家标准《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826 的有关规定进行漏点检测。

8 施工及质量验收

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于预应力混凝土预制构件的施工。

8.1.2 预应力混凝土工程中的高强预应力冷滚压螺纹钢筋张拉和后张孔道压浆宜采用信息化施工。

【说明】信息化已在预应力混凝土工程的施工中特别是在张拉和压浆两个关键工序中得到普遍应用，主要是在施工过程中能自动采集相关数据和参数，对有效地控制预应力混凝土工程的质量具有良好效果，值得推广应用，故增加了本条规定。

8.1.3 预应力混凝土工程施工时，应采取必要的安全防护措施，防止发生事故。

【说明】安全防护措施包括三个方面的内容，作业人员的人身安全、操作设备的安全和结构物的安全。为保证施工作业安全地进行，就需要采取必要的安全防护措施。

8.2 安装

8.2.1 采用金属或塑料波纹管构成后张预应力混凝土结构或构件的孔道时，应符合下列规定：

1 管道的规格、尺寸应符合设计规定，且其内横截面积不应小于钢筋净截面积的 2 倍；对长度大于 60m 的管道，宜通过试验确定其面积比是否可以进行正常的压浆作业；

2 管道应按设计规定的坐标位置进行安装，并应采用定位钢筋固定，使其能牢固地置于模板内的设计位置，且在混凝土浇筑期间不产生位移。管道与普通钢筋重叠时应移动普通钢筋，不得改变管道的设计坐标位置。固定各种成孔管道用的定位钢筋的间距，对钢管不宜大于 1.0m，波纹管不宜大于 0.8m；位于曲线上的管道和扁平波纹管应适当加密。定位后的管道应平顺，其端部的中心线应与锚垫板相垂直；

3 管道接头处的连接管宜采用大一级直径的同类管道，其长度宜为被连接管道内径的 5~7 倍。连接时不应使接头处产生角度变化及在混凝土浇筑期间发生管道的转动或移位，并应缠裹紧密，防止水泥浆的渗入。塑料波纹管应采用专用焊接

机进行热熔焊接或采用具有密封性能的塑料结构连接器连接。当采用真空辅助压浆工艺进行孔道压浆时，管道的所有接头应具有可靠的密封性能，并应满足真空度的要求；

4 所有管道均应在每个顶点设排气孔，以及需要时在每个低点设排水孔，在每个顶点和两端设检查孔。压浆管、排气管和排水管应是最小内径为 20mm 的标准管或适宜的塑性管，与管道之间的连接应采用金属或塑料结构扣件，长度应足以从管道引出结构物以外；

5 管道安装完毕后，其端口应采取可靠措施临时封堵，防止水或其他杂物进入。

【说明】1 管道内横截面积的大小与穿束的难易程度和是否能正常压浆作业有关，既不能过小亦不能过大，过小时穿束与压浆均较困难，过大则会削弱结构或构件的正常断面因此需要采用适宜的内横截面积；

3 管道的接头如处理不当，很容易造成漏浆，因此连接管需要具有一定长度，并需要有足够的密封性能，以防止水泥浆浸入；

4 压浆孔用于将浆液注入管道内；排气孔则用于排出空气、水、浆液和泌水。在管道的每个低点设置排水孔能防止水的积存，排水孔需要保持开放直至压浆开始。压浆孔和排气孔的位置与浆体流动的方向、管道的倾斜度、锚具和接头及允许的压浆压力有关，在某些情况下，两者可以互换，使其能用以压浆和再次压浆。本次修订增加了设置检查孔的规定，目的是在压浆完成后能通过其对某些重点部位的密实性进行检查，如发现压浆不密实，则需要进行补压浆或其他后续处理。

8.2.2 钢筋安装应符合下列规定：

1 钢筋可在浇筑混凝土之前或之后穿入孔道，穿束前应检查锚垫板和孔道锚垫板的位置应准确。孔道内应畅通，无水和其他杂物。

2 钢筋安装在管道中后，应将管道端部开口密封防止湿气进入。采用蒸汽养护混凝土时，在养护完成之前不应安装钢筋。

3 对在混凝土浇筑之前穿束的管道，钢筋安装完成后，应进行全面检查，查出可能被损坏的管道。在混凝土浇筑之前，应将管道上所有非有意留的孔、开口或损坏之处修复，并应在浇筑混凝土过程中随时检查钢筋能否在管道内自由移动。

【说明】2 钢筋装入管道后，湿气的大量进入将会使其加速锈蚀。

8.2.3 钢筋安装位置、间距应符合设计要求，锚固施工时应保证与张拉端钢垫板与钢筋保持垂直，角度偏差不应大于 1.5°，预应力孔道的同轴偏差不应大于 10mm。

【说明】预应力系统施工精度及质量要求应进行严格控制，降低钢筋张拉施工过程中产生的附加弯矩对钢筋的影响。

8.2.4 锚具、夹具和连接器在安装前，应擦拭干净，安装时应符合下列规定：

1 锚具和连接器的安装位置应准确，且应与孔道对中。锚垫板上设置有对中止口时，应防止锚具偏出止口。安装夹片时，应使夹片的外露长度基本一致。

2 采用螺母锚固的支撑式锚具，安装时应逐个检查螺纹的配合情况，应保证在张拉和锚固过程中能顺利旋合拧紧。

【说明】1 锚垫板上的对中止口可以保证锚具与垫板的对中，有利于锚具和预应力筋的受力，但如使锚板偏出止口，则反而会形成不利的支撑状态。

2 凡利用螺母锚固的锚具，一般是张拉至规定控制应力时在负荷状态下拧紧螺母所以在安装锚具之前需要逐个检查螺纹的配合情况，保证在张拉锚固时能顺利拧紧。

8.3 张拉、锚固及压浆

8.3.1 预应力张拉用的机具设备和仪表应符合下列规定：

1 预应力筋的张拉宜采用穿心式双作用千斤顶，整体张拉或放张宜采用具有自锚功能的千斤顶；张拉千斤顶的额定张拉力宜为所需张拉力的 1.5 倍；且不得小于 1.2 倍。与千斤顶配套使用的压力表应选用防振型产品，其最大读数应为张拉力的 1.5~2.0 倍，标定精度不应低于 1.0 级。张拉机具设备应与具产品配套使用，并应在使用前进行校正、检验和标定。

2 张拉用的千斤顶与压力表应配套标定、配套使用，标定应在经国家授权的法定计量技术机构定期进行，标定时千斤顶活塞的运行方向应与实际张拉工作状态一致。当处于下列情况之一时，应重新进行标定：

- 1) 使用时间超过 6 个月；
- 2) 张拉次数超过 300 次；
- 3) 使用过程中千斤顶或压力表出现异常情况；
- 4) 千斤顶检修或更换配件后。

3 采用测力传感器测量张拉力时，测力传感器应按相关国家标准的规定每年送检一次。

【说明】2 张拉设备（千斤顶、油泵和压力表等）标定后，即确定相互之间的关系曲线这种关系曲线对应于特定的一套张拉设备，故需要配套标定、配套使用。由于千斤顶主动工作和被动工作时，压力表读数与千斤顶输出力之间的关系

是不同的，因此在标定时，活塞的运行方向要求与实际张拉工作状态一致。

8.3.2 钢筋张拉采用应力控制，以伸长值进行校核，并符合以下规定：

1 实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计规定；

2 设计未规定时，其偏差应控制在 $\pm 6\%$ 以内，否则应暂停张拉，待查明原因并采取措施予以调整后，方可继续张拉。

【说明】钢筋张拉施加预应力具体方法建议参考现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JGJ/T 3650 的有关规定。

8.3.2 钢筋张拉时应在初应力状态下注出标记，以便直接测定钢筋的引伸量。钢筋张拉顺序应遵循均衡对称的原则，可不设超张拉和二次张拉。

8.3.3 钢筋宜按照设计张拉力的 10%、20%、40%、80%、100%分级张拉，每级以均匀速度张拉完成并持荷 3~5 分钟，最后锚固。

【说明】最初张拉时各根预应力筋的松紧、弯曲程度可能不一致，所以初应力时的伸长值不能采用量测方法，而需要采用推算的方法。推算时，通常采用相邻级的伸长值，例如初应力为 $10\%\sigma_{con}$ 时，其伸长值采用由 10%张拉到 20%的伸长值。预应力筋张拉时，一般先张拉到初应力后再正式分级张拉，然后量测预应力筋伸长值，而量测的伸长值并未包括从零张拉到初应力时的伸长值，因此，在确定实际伸长值时，除量测的伸长值外，还需要计入初应力时的伸长值，以便与理论伸长值相对应。第一级张拉至设计张拉力的 10%，可基本消除各连接件间的间隙；第二级张拉至设计张拉力的 20%，通过此时的钢筋伸长量可以推算出 0~20%设计张拉力的伸长量；第三、四、五级以张拉设计张拉力的 20%分段均匀张拉至设计张拉力的 100%，达到设计要求。

8.3.4 钢筋张拉力控制误差不应大于 $\pm 1.5\%$ ，采用应力控制法张拉时，应参照本规程附录 B 校核最大张拉力下钢筋伸长值，实际伸长值与理论伸长值的偏差不应大于 $\pm 6\%$ 。

8.3.5 钢筋的锚固，应在张拉控制应力处于稳定状态下进行。锚固阶段张拉端锚具变形、钢筋回缩量 and 接缝压缩值，不应大于设计规定或不大于表 8.3.5 所列容许值。

表 8.3.5 锚具变形、预应力钢筋回缩和接缝压缩容许值

锚具、接缝类型		变形形式	容许值（mm）
钢制锥形锚具		钢筋回缩锚具变形	6
夹片式锚具	有顶压时		4
	无顶压时		6
墩头锚具		缝隙压密	1
带螺帽锚具的螺帽缝隙			1~3

每块后加垫板的缝隙		2
水泥砂浆接缝		1
环氧树脂砂浆接缝		1

8.3.6 在钢筋张拉、锚固过程中及锚固完成后，均不得大力敲击或振动锚具。预应力筋锚固后需要放松时，对夹片式锚具宜采用专门的放松装置松开，对支撑式锚具可采用张拉设备缓慢地松开。

8.3.7 钢筋在实施张拉或放张作业时，应采取有效的安全防护措施，预应力钢筋两端的正面严禁站人和穿越。

8.3.8 钢筋最终张拉完成后应在 48 小时内完成压浆、封锚，压浆前应采用压缩空气或高压水清除预应力管道内杂质，管道压浆宜采用真空压浆以保证密实，在封锚前应采取防腐措施，防止锚头锈蚀。长期外露的锚具，应采取防锈措施。

8.3.9 预留孔道灌浆后，孔道内水泥浆应饱满、密实。后张预应力孔道压浆的原材料、设备、工艺应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定。

8.3.10 对后张预制构件，在孔道压浆前不得安装就位；压浆后，应在浆液强度达到规定的强度后方可移运和吊装。

【说明】本条是针对将构件安装就位后再压浆的错误施工方法的一项限制性规定。

8.4 检验及验收

8.4.1 钢筋锚固应牢固可靠，目测方式检查不应出现松动或脱落现象。锚具的封闭保护措施应符合设计要求。当设计无具体要求时，外露锚具和预应力筋的混凝土保护层厚度不应小于：一类环境时 20mm，二 a、二 b 类环境时 50mm，三 a、三 b 类环境时 80mm。在同一检验批内应抽查预应力钢筋总数的 5%，且不少于 5 处。

8.4.2 钢筋锚固后张拉力检测宜符合现行行业标准《桥梁用预应力精轧螺纹钢张拉力检测方法》JTT 1265 的有关规定。张拉锚固后，建立在锚下的实际有效预应力与设计张拉控制应力的相对偏差不应超过 $\pm 5\%$ 。

9 在役检测与监测

9.1 一般规定

9.1.1 混凝土中钢筋在役检测应包含钢筋位置、间距或数量、直径和钢筋锈蚀状况等检测分项。

9.1.2 当有检测要求时，可对预应力系统锚固端等进行检测。

9.1.3 高强预应力钢筋检测与监测内容应根据预应力工程阶段确定，包括施工前为设计提供依据的试验，施工过程为质量安全控制提供依据的测试与监测，施工后为验收提供依据的试验和为安全运营提供依据的监测。

9.1.4 高强预应力钢筋检测与监测的仪器设备应在检定或校准的有效期内；使用前应对仪器设备进行检查调试；当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应采取有效的防护措施。

9.2 在役监测

9.2.1 技术条件允许的情况下，宜采用监测技术对预应力锚固体系特别是钢筋应力进行长期监测，为正常使用期间日常维护和检修提供基础；监测数量不宜少于总数的 5%，且不少于 5 根。

9.2.2 预应力钢筋的杆体应力可选择电阻应变式、光纤光栅式等传感器进行测试。

9.2.3 监测测点布设应能够把握环境、作用、结构响应和结构变化的特征，兼顾代表性、经济性、可更换性，并考虑仪器布设条件所受约束性。

9.2.4 预应力钢筋的杆体应力监测应按下列步骤进行：

- 1 对预应力钢筋张拉锁定前宜进行一次测度，张拉锁定完成后应进行一次测度；
- 2 每次测度时，应对每一测点读数 2 次，相邻两次读数间隔 5min，取 2 次读数的平均值作为观测值；
- 3 应记录工程施工和运行情况。

9.2.5 预应力钢筋的杆体应力监测频率可根据工程需要和杆体应力变化情况确

定。

9.2.6 当出现下列情况之一时，应提高监测频率：

- 1 监测数据达到或超过报警值；
- 2 监测数据异常；
- 3 预应力混凝土构件出现开裂。

9.3 在役检测与性能评估

9.3.1 混凝土中钢筋检测方法应符合现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 和《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152 的有关规定，对重要的检测应按雷达法检测或直接法进行修正或验证。

【说明】雷达法检测可参考《混凝土中钢筋检测技术标准》JGJ/T 152-2019 的有关规定执行。雷达法的特点是一次扫描后能形成被测部位的断面图像因此可以进行快速、大面积的扫描检测。因为雷达法需要利用雷达波（电磁波的一种）在混凝土中的传播速度来推算其传播距离，而雷达波在混凝土中的传播速度和其介电常数有关。故为达到检测所需的精度要求，需根据检测结构或构件所采用的混凝土的相对介电常数，对雷达仪的检测数据进行校正。

9.3.2 雷达法宜用于结构或构件中钢筋间距和位置的大面积扫描检测以及多层钢筋的扫描检测，检测步骤应符合以下规定：

- 1 根据检测构件的钢筋位置选定合适的天线中心频率，且应在满足探测深度的前提下，使用较高分辨率天线的雷达仪；
- 2 根据检测构件中钢筋的排列方向，雷达仪探头或天线沿垂直于选定的被测钢筋轴线方向扫描采集数据，场地允许的情况下，宜使用天线阵雷达进行网格状扫描；
- 3 根据钢筋的反射回波在波幅及波形上的变化形成图像来确定钢筋间距、位置和混凝土保护层厚度检测值，并可对被检测区域的钢筋进行三维立体显示。

9.3.3 遇到下列情况之一时，宜采用直接法进行修正或验证：

- 1 认为相邻钢筋对检测结果有影响；
- 2 无设计图纸时，需要确定钢筋根数和位置；
- 3 当有设计图纸时，钢筋检测数量与设计不符或钢筋间距检测值超过相关标准允许的偏差；

- 4 混凝土未达到表面风干状态；
- 5 饰面层电磁性能与混凝土有较大差异。

9.3.4 当采用直接法验证时，应选取不少于 30% 的已测钢筋且不应少于 7 根，当实际检测数量不到 7 根时应全部抽取。

9.3.5 直接法检测混凝土保护层厚度应按下列步骤进行：

- 1 采用无损检测方法确定被测钢筋位置；
- 2 采用空心钻头钻孔或剔凿去除钢筋外层混凝土直至被测钢筋直径方向完全暴露，且沿钢筋长度方向不宜小于 2 倍钢筋直径；
- 3 采用游标卡尺测量钢筋外轮廓至混凝土表面最小距离。

9.3.6 直接法检测钢筋间距应按下列步骤进行：

- 1 在垂直于被测钢筋长度方向上对混凝土进行连续剔凿直至钢筋直径方向完全暴露，暴露的连续分布且设计间距相同钢筋不宜少于 6 根；当钢筋数量少于 6 根时，应全部剔凿；
- 2 采用钢卷尺逐个量测钢筋间距。

9.3.7 钢筋的锈蚀量宜采用直接量测的方法确定，可量测项目包括锈蚀后钢筋直径、锈蚀深度和长度、锈蚀物的厚度等。当钢筋锈蚀量较大时，宜取样测试钢筋强度的损失情况。

【说明】建议在工程现场制作同等条件的钢筋混凝土试件用于钢筋锈蚀量检测。

9.3.8 钢筋经在役检测后进行结构或构件性能评估，应经过受力分析满足设计要求。

附录 A 钢筋原材料选择与化学成分

A.0.1 钢筋可选原材料及化学成分如表 A.0.1 所示：

表 A.0.1 熔炼成分要求 (wt/%)

牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu
42CrMo	0.38 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.90	≤0.025	≤0.025	0.90 ~ 1.20	≤0.25	0.15 ~ 0.25	/	≤0.25
42CrMnNiMo	0.38 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.85 ~ 1.20	≤0.020	≤0.020	1.05 ~ 1.45	0.30 ~ 0.75	0.30 ~ 0.60	/	≤0.25
35CrMoV	0.30 ~ 0.38	0.17 ~ 0.37	0.40 ~ 0.70	≤0.020	≤0.020	1.00 ~ 1.30	/	0.20 ~ 0.30	0.10 ~ 0.20	/
40CrNiMo	0.37 ~ 0.44	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	≤0.020	≤0.020	0.60 ~ 0.90	1.25 ~ 1.65	0.15 ~ 0.25	/	/

注：1）热轧圆钢成品成分允许偏差应符合现行国家标准《钢的成品化学成分允许公差》GB/T 222 的有关规定。

2）H≤2.0ppm，气体含量在轧材上取样分析，取样位置为二分之一半径。

附录 B 钢筋在最大力下总伸长率的测定方法

B.0.1 试样夹具之间的最小自由长度应符合表 B.0.1 的要求。

表 B.0.1 试样夹具间最小自由长度 (mm)

钢筋公称直径	试样夹具之间的最小自由长度
$30 < d \leq 50$	500
$50 < d \leq 75$	750
$75 < d \leq 100$	900
$100 < d \leq 130$	1200

B.0.2 在试样自由长度范围内,均匀划分为 10 mm 或 5 mm 的等间距标记,标记的划分和测量应符合《钢筋混凝土用钢材试验方法》GB/T 28900 的有关规定。

B.0.3 拉伸试验宜按《钢筋混凝土用钢材试验方法》GB/T 28900 的有关规定进行,直至试样断裂。试样断裂后选择 Y 和 V 两个标记,这两个标记之间的距离在拉伸试验之前至少应为 100mm。两个标记都应当位于夹具离断裂点最远的一侧。两个标记离开夹具的距离都不应小于 20mm 或钢筋公称直径 d(取二者之较大者);两个标记与断裂点之间的距离不应小于 50 mm 或 2d(取二者之较大者),见图 B.0.3。

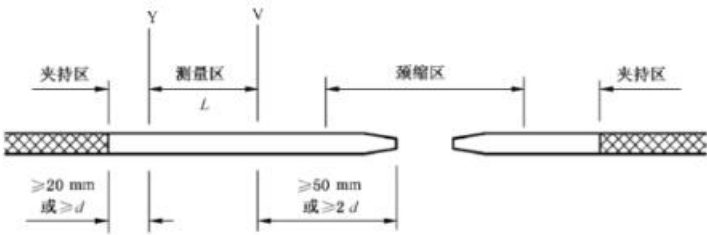


图 B.0.3 拉伸试验前标记

B.0.4 在最大力作用下试样总延伸率 A,可按式(A.1)计算:

$$A_{gt} = \left[\frac{L - L_0}{L_0} + \frac{R_m}{E} \right] \times 100\%$$

式中:

L——图 B.1 所示断裂后的距离,单位为毫米(mm);

L₀——试验前同样标记间的距离,单位为毫米(mm);

R_m——抗拉强度,单位为兆帕(MPa);

E——弹性模量,其值可取为 2×10⁵,单位为兆帕(MPa)。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《钢结构设计标准》 GB 50017

中国工程建设协会标准

高强预应力冷滚压螺纹钢筋技术规程

T/CECS XXX—20XX

条文说明

制定说明