



CECS 356 : 2013

中国工程建设协会标准

高强箍筋混凝土结构 技术规程

Technical specification for high-strength stirrup
concrete structure

中国计划出版社

中国工程建设协会标准

**高强箍筋混凝土结构
技术规程**

Technical specification for high-strength stirrup
concrete structure

CECS 356 : 2013

主编单位：中国京冶工程技术有限公司

西安建筑科技大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2014年3月1日

中国计划出版社

2013 北 京

中国工程建设标准化协会公告

第 153 号

关于发布《高强箍筋混凝土结构 技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈中国工程建设标准化协会 2006 年第二批标准制订、修订项目计划〉的通知》〔(2006)建标协字第 28 号〕的要求,由中国京冶工程技术有限公司、西安建筑科技大学等单位制订的《高强箍筋混凝土结构技术规程》,经本协会冶金分会组织审查,现批准发布,编号为 CECS 356 : 2013,自 2014 年 3 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会
二〇一三年十一月二十七日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈中国工程建设标准化协会 2006 年第二批标准制订、修订项目计划〉的通知》〔(2006)建标协字第 28 号〕的要求,制定本规程。

本规程共分 8 章和 1 个附录,主要内容包括:总则、术语和符号、材料、基本设计规定、承载力极限状态计算、结构构件的基本规定、高强箍筋混凝土结构构件抗震设计和高强箍筋施工及验收等。

根据原国家计委计标〔1986〕1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,推荐给工程建设设计、施工等使用单位及工程技术人员采用。

本规程由中国工程建设标准化协会冶金分会归口管理,由中国京冶工程技术有限公司负责具体技术内容的解释。在使用过程中如发现需要修改和补充之处,请将意见和资料寄至中国京冶工程技术有限公司(地址:北京市海淀区西土城路 33 号,邮政编码:100088)。

主 编 单 位: 中国京冶工程技术有限公司

西安建筑科技大学

参 编 单 位: 深圳华森建筑与工程设计顾问有限公司

深圳市市政工程设计院

中国瑞林工程技术有限公司

陕西省建筑设计研究院有限责任公司

天津大学

安阳龙腾特钢制造有限公司

主要起草人: 白力更 史庆轩 姜维山 刘维亚 赵昌群

贺志坚 于庆荣 肖利平 李 宁 张兴虎
王顺礼 杨 坤 王秋维 冯永伟 范玫光
冯地报

主要审查人：柯长华 孙慧中 任庆英 刘立新 刘琼祥
郑文忠 张 川

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	材 料	(5)
3.1	混凝土	(5)
3.2	钢筋	(6)
4	基本设计规定	(9)
4.1	一般规定	(9)
4.2	设计计算原则	(11)
5	承载力极限状态计算	(13)
5.1	一般规定	(13)
5.2	正截面承载力计算	(13)
5.3	受剪承载力计算	(14)
6	结构构件的基本规定	(17)
6.1	梁	(17)
6.2	柱	(18)
6.3	梁柱节点	(19)
7	高强箍筋混凝土结构构件抗震设计	(20)
7.1	一般规定	(20)
7.2	梁柱斜截面承载力	(20)
7.3	框架的基本抗震构造措施	(22)
8	高强箍筋施工及验收	(27)
8.1	高强箍筋加工	(27)

8.2 高强箍筋施工	(27)
8.3 高强箍筋验收	(28)
附录 A 高强钢筋的公称直径、公称截面面积及 理论重量	(30)
本规程用词说明	(31)
引用标准名录	(32)
附:条文说明	(33)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Materials	(5)
3.1	Concrete	(5)
3.2	Steel reinforcement	(6)
4	Basic design requirements	(9)
4.1	General requirements	(9)
4.2	Principle of design and calculation	(11)
5	Ultimate limit states design	(13)
5.1	General requirements	(13)
5.2	Calculation of normal section load-bearing capacity	(13)
5.3	Calculation of shear load-bearing capacity	(14)
6	Fundamental requirements for structural members	(17)
6.1	Beams	(17)
6.2	Columns	(18)
6.3	Nodes	(19)
7	Seismic design of high-strength stirrup concrete structural members	(20)
7.1	General requirements	(20)
7.2	Inclined section load-bearing capacity of beams and columns	(20)

7.3	Requirements for detail of frame beams and columns		(22)
8	Construction and acceptance check of high-strength stirrup		(27)
8.1	Processing		(27)
8.2	Construction		(27)
8.3	Acceptance check		(28)
Appendix A	Nominal diameter, sectional areas and theoretical weight of steel reinforcement		(30)
	Explanation of wording in this specification		(31)
	List of quoted standards		(32)
	Addition; Explanation of provisions		(33)

1 总 则

1.0.1 为了进一步推广高强、高性能材料在房屋建筑混凝土结构梁、柱、节点等构件中的应用,合理地设计高强箍筋混凝土结构,做到安全可靠,技术先进,经济合理,确保质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于房屋建筑和构筑物钢筋混凝土结构的设计、施工与验收。

本规程不适用于巨型柱结构体系、预应力混凝土结构、轻骨料混凝土结构及其他特种混凝土结构的设计。

1.0.3 高强箍筋混凝土结构设计、施工与验收,除应符合本规程外,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 高强箍筋混凝土结构 high-strength stirrup concrete structure

采用高强度钢筋作为箍筋的钢筋混凝土结构。

2.1.2 高强箍筋 high-strength stirrup

由高强度钢筋加工制作的箍筋。

2.1.3 高强复合箍筋 high-strength composite stirrup

由多个普通形式高强箍筋叠套组装而成的封闭箍筋。

2.1.4 高强连续复合箍筋 high-strength consecutive composite stirrup

高强箍筋在二维平面内由一根钢筋连续加工制成的复合封闭箍筋,也称为“一笔画”箍筋。

2.1.5 高强螺旋箍筋 high-strength spiral stirrup

高强箍筋在三维方向由一根钢筋制成的各类螺旋箍筋的统称。

2.1.6 高强复合螺旋箍筋 high-strength composite spiral stirrup

由高强螺旋箍筋与多个普通形式高强箍筋或高强连续复合箍筋叠套组成的复合箍筋。

2.1.7 高强连续复合螺旋箍筋 high-strength consecutive composite spiral stirrup

高强箍筋在三维空间内由一根钢筋连续加工制成的或由多个高强螺旋箍筋叠套组装而成的复合箍筋。

2.1.8 高强连续箍筋 high-strength consecutive spiral stir-

rup

包括高强连续复合箍筋、高强螺旋箍筋、高强连续复合螺旋箍筋。

2.1.9 平均约束应力 average confinement stress

箍筋对混凝土侧向产生压应力的平均值。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能：

E_c ——混凝土的弹性模量；

E_s ——高强箍筋的弹性模量；

f_{ck} 、 f_c ——混凝土轴心抗压强度标准值、设计值；

f_{tk} 、 f_t ——混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值；

f_{cc} ——高强箍筋约束混凝土的轴心抗压强度设计值；

$\epsilon_{cc,r}$ ——与 $f_{cc,r}$ 相应的高强箍筋约束混凝土的峰值压应变代表值；

$\epsilon_{cu,r}$ ——高强箍筋约束混凝土的极限压应变代表值；

f_{yvk} ——高强箍筋抗拉强度标准值；

f_{yv} ——高强箍筋抗拉强度设计值；

f'_y ——纵向钢筋抗压强度设计值。

2.2.2 作用和作用效应：

N ——轴向压力设计值；

V ——混凝土构件剪力设计值；

S ——作用效应组合的设计值；

θ_e, θ_p ——层间位移角。

2.2.3 几何参数：

b ——构件截面宽度；

h ——构件截面高度；

d ——箍筋的公称直径；

d_{cor} ——螺旋箍筋内表面范围内的混凝土截面直径；

A ——构件的全截面面积；
 A_{cor} ——箍筋内表面范围内的混凝土核心截面面积；
 z ——构件上、下纵向钢筋合力点之间的距离；
 s ——沿构件长度方向上箍筋的间距；
 L ——混凝土构件净跨(高)度；
 c_s ——构件中纵向钢筋混凝土保护层厚度最小值；
 A_s ——全部纵向钢筋的截面面积；
 A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积。

2.2.4 计算系数及其他：

ρ_{sv} ——高强箍筋面积配箍率；
 ρ_v ——高强箍筋体积配箍率；
 γ_0 ——重要性系数；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
 φ ——钢筋混凝土构件稳定系数；
 λ_v ——高强箍筋最小配箍特征值。

3 材 料

3.1 混 凝 土

3.1.1 高强箍筋混凝土梁、柱混凝土强度等级分别不宜低于 C30、C40,混凝土性能应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

3.1.2 混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度的标准值 f_{ck} 、 f_{tk} 应按表 3.1.2 采用。

表 3.1.2 混凝土强度标准值(N/mm²)

强度 分类	混凝土强度等级										
	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
f_{tk}	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11

3.1.3 混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度的设计值 f_c 、 f_t 应按表 3.1.3 采用。

表 3.1.3 混凝土强度设计值(N/mm²)

强度 分类	混凝土强度等级										
	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_c	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9
f_t	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

3.1.4 混凝土受压和受拉的弹性模量 E_c 应按表 3.1.4 采用。混凝土的剪切变形模量 G_c 可按表 3.1.4 中混凝土弹性模量值的 0.40 倍采用。混凝土泊松比 ν_c 可采用 0.20。

表 3.1.4 混凝土的弹性模量($\times 10^4$ N/mm²)

混凝土 强度等级	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
E_c	3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80

3.2 钢 筋

3.2.1 纵向钢筋和分布钢筋的选用、强度和弹性模量等力学指标取值等应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行。

3.2.2 钢筋混凝土梁中的高强箍筋应选用极限强度标准值 f_{puk} 不低于 800N/mm^2 , 钢筋混凝土柱中的高强箍筋应选用极限强度标准值 f_{puk} 不低于 1000N/mm^2 。高强箍筋选用的材料应符合国家现行标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223、《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3 和《中强度预应力混凝土用钢丝》YB/T 156 的有关规定。

3.2.3 钢筋的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率, 高强钢筋强度标准值 f_{yvk} 、 f_{puk} 应按表 3.2.3-1 和表 3.2.3-2 采用。

表 3.2.3-1 高强钢筋强度标准值 (N/mm^2)

种 类		符号	公称直径 (mm)	抗拉强度标准值 f_{yvk}	极限强度标准值 f_{puk}
中强度 预应力钢丝	光面 螺旋肋	Φ^{PM} Φ^{HM}	4~9	620	800
				780	970
				980	1270
				1080	1370
消除 应力钢丝	光面 螺旋肋	Φ^{P} Φ^{H}	4~12	1250	1470
				1330	1570
预应力钢棒	光面	Φ^{P}	6~16	1080	1230
				1280	1420
				1420	1570
	螺旋肋	Φ^{H}	6~14	1080	1230
				1280	1420
				1420	1570

表 3.2.3-2 高强热处理钢筋强度标准值(N/mm²)

牌号	符号	公称直径 d (mm)	屈服强度标准值 f_{yk}	极限强度标准值 f_{pk}
HTH800 HTH800H HTH800R	Φ^{HT}	5~13	800	970
HTH900 HTH900H HTH900R	Φ^{HT}	5~13	900	1070
HTH1000 HTH1000H HTH1000R	Φ^{HT}	5~13	1000	1170
HTH1100 HTH1100H HTH1100R	Φ^{HT}	5~13	1100	1270
HTH1200 HTH1200H HTH1200R	Φ^{HT}	5~13	1200	1370

3.2.4 高强箍筋的抗拉强度设计值 f_y 应按下列规定取值:

1 钢筋混凝土框架梁、柱受剪承载力计算时,其高强箍筋的抗拉强度设计值应取为 550MPa;

2 考虑地震作用组合在构造验算时,其高强箍筋的抗拉强度设计值可取为 700MPa;

3 除符合本条第 1、2 款的条件外,高强箍筋的强度设计值应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定取值。

3.2.5 高强箍筋的弹性模量 E_s 应按表 3.2.5 采用。

表 3.2.5 高强箍筋的弹性模量 ($\times 10^5 \text{ N/mm}^2$)

种 类	弹性模量 E_s
高强度钢丝	2.05
热处理钢筋	2.00
中强度钢丝	2.05

3.2.6 当采用其他牌号的高强钢筋作为箍筋时,应符合相应的标准规定。

3.2.7 各种规格箍筋的公称直径、计算用公称截面面积及理论重量应符合附录 A 的规定。

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.1 梁、柱及其节点中的高强箍筋应对混凝土形成有效约束,合理选取梁、柱、节点中的高强箍筋形式;对截面尺寸大的柱,应在混凝土柱内配置核心高强圆形螺旋箍筋。

4.1.2 柱、节点中的高强箍筋应采用高强复合箍筋、高强连续复合箍筋、高强螺旋箍筋、高强复合螺旋箍筋、高强连续复合螺旋箍筋。梁、柱等构件,除抗剪需要设置拉筋作箍筋外,其他情况不宜使用拉筋作为约束箍筋。

4.1.3 混凝土的抗压强度及抗拉强度的平均值 f_{cm} 、 f_{tm} 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定计算。

4.1.4 本节规定的单轴受压高强箍筋约束混凝土本构模型应适用于下列条件:

- 1 混凝土的强度等级 C30~C80;
- 2 混凝土质量密度为 $2200\text{kg/m}^3 \sim 2400\text{kg/m}^3$ 之间;
- 3 正常温度、湿度环境;
- 4 正常加载速度。

4.1.5 高强箍筋约束混凝土单轴受压的应力-应变曲线可按下列公式确定:

$$\sigma = (1 - d_c) E_c \epsilon \quad (4.1.5-1)$$

$$d_c = \begin{cases} 1 - \frac{\rho_c n}{n - 1 + x^n} & x \leq 1 \\ 1 - \frac{\rho_c}{\alpha_c (x - 1)^k + x} & x > 1 \end{cases} \quad (4.1.5-2)$$

$$\rho_c = \frac{f_{cc,r}}{E_c \epsilon_{cc,r}} \quad (4.1.5-3)$$

$$n = \frac{E_c \epsilon_{cc,r}}{E_c \epsilon_{cc,r} - f_{cc,r}} \quad (4.1.5-4)$$

$$x = \frac{\epsilon}{\epsilon_{cc,r}} \quad (4.1.5-5)$$

$$k = 2.56 - 9.55 \left(\frac{\rho_v}{f_{c,r}} \right)^{0.27} \quad (4.1.5-6)$$

$$\alpha_c = \frac{3\epsilon_{cu,r}/\epsilon_{cc,r}}{17(\epsilon_{cu,r}/\epsilon_{cc,r} - 1)^k} \quad (4.1.5-7)$$

式中: n ——单轴受压应力-应变曲线上升段的参数值;

α_c 、 k ——单轴受压应力-应变曲线下降段的参数值,当 k 小于 1.0 时取 1.0;

$f_{c,r}$ ——非约束混凝土轴心抗压强度代表值,其值可根据实际结构分析的需要,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定分别取 f_c 、 f_{ck} 或 $f_{c,m}$;

$f_{cc,r}$ ——高强箍筋约束混凝土单轴抗压强度代表值,可按 4.1.6 条的规定计算;

$\epsilon_{cc,r}$ ——与 $f_{cc,r}$ 相应的高强箍筋约束混凝土峰值压应变代表值,可按式(4.1.7-1)计算;

$\epsilon_{cu,r}$ ——高强箍筋约束混凝土的极限压应变代表值,定义为约束混凝土应力-应变曲线进入软化段应力下降到 $0.85f_{cc,r}$ 时所对应的应变值,可按式(4.1.7-2)计算。

4.1.6 矩形或方形截面高强箍筋约束混凝土的单轴抗压强度可按公式(4.1.6)计算,且当计算值 $f_{cc,r} > 1.25f_{c,r}$ 时,取 $f_{cc,r} = 1.25f_{c,r}$ 。

$$f_{cc,r} = \left(1 + 550 \frac{\rho_v}{f_{c,r}} \right) f_{c,r} \quad (4.1.6)$$

式中: $f_{cc,r}$ ——矩形或方形截面高强箍筋约束混凝土的单轴抗压强度代表值;

$f_{c,r}$ ——非约束混凝土轴心抗压强度代表值,其值可根据实际结构分析的需要,按现行国家标准《混凝土结构

设计规范》GB 50010 的规定分别取 f_c 、 f_{ck} 或 $f_{c,m}$ ；

ρ_v ——高强箍筋的体积配箍率(%)。

4.1.7 单轴受压作用下,矩形或方形截面高强箍筋约束混凝土的峰值压应变和极限压应变可按下列公式取值:

$$\epsilon_{cc,r} = 0.002 + 7.7 \frac{\rho_v}{f_{cr}} \quad (4.1.7-1)$$

$$\epsilon_{cu,r} = 0.0033 + 11.55 \frac{\rho_v}{f_{cr}} \quad (4.1.7-2)$$

4.1.8 混凝土单轴受拉的应力-应变曲线应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定确定。

4.2 设计计算原则

4.2.1 多、高层建筑高强箍筋混凝土结构的结构布置、最大适用高度、高宽比限值、荷载和地震作用计算、结构分析、荷载效应组合、水平位移验算等均应符合国家现行有关标准的规定。

4.2.2 高强箍筋混凝土结构构件的承载力计算,应采用下列极限状态设计表达式:

持久设计状况、短暂设计状况:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (4.2.2-1)$$

地震设计状况:

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (4.2.2-2)$$

式中: γ_0 ——重要性系数:对安全等级为一级的结构构件,不应小于1.1;对安全等级为二级的结构构件,不应小于1.0;对安全等级为三级的结构构件,不应小于0.9;

S ——作用效应组合的设计值,应按国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 等的有关规定计算;

R ——结构构件承载力设计值;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数,按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定取值。

4.2.3 高强箍筋混凝土结构正常使用极限状态应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行。

4.2.4 高强箍筋混凝土结构构件的抗震设计,应根据设防烈度、结构类型、房屋高度按国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 采用不同的抗震等级。凡本规程未规定的计算和构造,应符合国家现行有关标准的要求。

4.2.5 高强箍筋混凝土结构弹性层间位移角限值 $[\theta_e]$ 和弹塑性层间位移角限值 $[\theta_p]$,应采用国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 所规定的限值。

5 承载力极限状态计算

5.1 一般规定

5.1.1 本章规定的内容适用于高强箍筋混凝土梁、柱承载力极限状态计算。计算中未作规定的应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

5.1.2 正常使用阶段极限状态设计应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行。

5.1.3 构件扭曲承载力计算、剪扭承载力计算、受冲切承载力计算、局部受压承载力计算、疲劳验算等应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

5.2 正截面承载力计算

5.2.1 高强箍筋混凝土轴心受压构件,其正截面受压承载力应符合下列规定:

1 对圆形截面柱,宜采用圆形螺旋箍筋,其轴心受压承载力应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的方法计算。高强螺旋箍筋的抗拉强度设计值按本规程第 3.2.4 条取值。

2 对矩形截面柱,其轴心受压承载力应符合下列规定:

$$N \leqslant 0.9\varphi(A_{\text{cor}}f_{\text{cc}} + A'_s f'_y) \quad (5.2.1)$$

式中: N ——轴向压力设计值;

φ ——钢筋混凝土构件的稳定系数,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用;

f_{cc} ——高强箍筋约束混凝土的轴心抗压强度设计值,按本规程第 4.1.6 条的规定计算;

A_{cor} ——构件的核心截面面积,取箍筋内表面范围内的混凝土截面面积;

A'_s ——全部纵向钢筋的截面面积;

f'_y ——纵向钢筋的抗压强度设计值。

当按上式计算值小于按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中规定的正截面受压承载力值时,应采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中的有关规定进行计算。

注:当柱的长细比 $l_0/h > 14$ 时,不考虑箍筋的约束作用。

5.2.2 高强箍筋混凝土构件正截面受弯承载力、压弯承载力、拉弯承载力、受拉承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

5.3 受剪承载力计算

5.3.1 矩形、T形和I形截面高强箍筋混凝土梁、柱构件的受剪截面限制条件应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

5.3.2 高强箍筋混凝土梁、柱构件斜截面受剪承载力计算时,剪力设计值的计算截面应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

5.3.3 高强箍筋混凝土构件受剪承载力设计值应满足下式要求:

$$V \leq \min\{V_{\text{su}}, V_{\text{bu}}\} \quad (5.3.3)$$

式中: V ——混凝土构件剪力设计值;

V_{su} ——混凝土构件斜截面受剪承载力设计值;

V_{bu} ——混凝土构件剪切粘结承载力设计值。

5.3.4 当框架梁、柱仅配置箍筋时,矩形、T形和I形截面高强箍筋混凝土构件斜截面承载力可按下列公式计算:

$$V_{\text{su}} = \rho_{\text{sv}} f_{\text{yv}} b z + \alpha_{\text{cv}} (1 - \beta_0) \nu_0 f_c b h \quad (5.3.4-1)$$

$$\beta_0 = \frac{2\rho_{\text{sv}} f_{\text{yv}}}{\nu_0 f_c} \quad (5.3.4-2)$$

$$\alpha_{cv} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\left(\frac{L}{h} \right)^2 + 1} - \frac{L}{h} \right] \quad (5.3.4-3)$$

$$\nu_0 = 1 - \frac{f_c}{90} \quad (5.3.4-4)$$

$$\rho_{sv} = \frac{A_{sv}}{bs} \quad (5.3.4-5)$$

式中: V_{su} ——混凝土构件斜截面受剪承载力设计值;

f_{yv} ——高强配箍的抗拉强度设计值,按本规程 3.2.4 条取值;

ρ_{sv} ——高强箍筋面积配箍率,当 $\rho_{sv} > 1.2\%$ 时,取 $\rho_{sv} = 1.2\%$;

$\rho_{sv} f_{yv}$ ——平均约束应力,当 $\rho_{sv} f_{yv}$ 大于 3.5 时取 3.5;

b ——构件截面宽度;

z ——构件上、下纵向钢筋合力点之间的距离, z 取 $0.9h$;

α_{cv} ——构件混凝土受剪承载力系数计算;

β_0 ——混凝土受剪时,箍筋承载力与混凝土承载力的比值,当 $\beta_0 > 1$ 时应对构件截面尺寸或混凝土强度等级进行调整;

ν_0 ——混凝土强度降低系数;

f_c ——混凝土抗压强度设计值,按本规程 3.1.3 条规定取值;

h ——构件截面高度;

L ——混凝土构件净跨(高)度;

s ——沿构件长度方向的箍筋间距;

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积。

5.3.5 当框架梁、柱仅配置箍筋时,矩形、T 形和 I 形高强箍筋混凝土构件剪切粘结承载力可按下列公式计算:

$$V_{bu} = f_b z \sum c_r + \alpha_{cv} (1 - \beta_b) \nu_0 f_c b h \quad (5.3.5-1)$$

$$\beta_b = \frac{2f_b \sum c_r}{\nu_0 f_c b} \quad (5.3.5-2)$$

$$f_b = 0.8 \left(1.6 + 0.7 \frac{c_s}{n_s d} + 20 \frac{\rho_{sv}}{n_s} \right) f_t \quad (5.3.5-3)$$

式中: V_{bu} ——混凝土构件剪切粘结承载力设计值;

f_b ——混凝土与纵向钢筋之间的粘结强度;

Σc_r ——混凝土构件受拉边外排纵向钢筋周长之和;

c_r ——纵向钢筋周长;

β_b ——混凝土构件粘结破坏时,纵向钢筋粘结承载力与混凝土承载力的比值, β_b 大于1时取1;

c_s ——构件中纵向钢筋混凝土保护层厚度最小值;

n_s ——混凝土构件受拉边外排纵向钢筋根数,当大于4时取4;

d ——混凝土构件受拉边外排纵向钢筋直径最大值;

f_t ——混凝土抗拉强度设计值,按本规程3.1.3条规定取值。

5.3.6 当框架梁、柱受剪计算截面配置弯起钢筋时,其受剪承载力应符合下式的规定:

$$V \leq \min\{V_{su}, V_{bu}\} + V_w \quad (5.3.6)$$

式中: V ——混凝土构件剪力设计值;

V_{su} ——混凝土构件斜截面受剪承载力设计值;

V_{bu} ——混凝土构件剪切粘结承载力设计值;

V_w ——弯起钢筋剪切承载力设计值,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定计算。

5.3.7 非框架梁、柱受剪承载力应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的相关规定计算。

6 结构构件的基本规定

6.1 梁

6.1.1 直接承受动力荷载或位于较高腐蚀环境下的梁不宜使用高强箍筋。

6.1.2 梁中高强箍筋配置应符合下列规定：

1 按承载力计算不需要配置箍筋的梁，当截面高度大于300mm时，应沿梁全长设置箍筋；当截面高度 $h = 150\text{mm} \sim 300\text{mm}$ 时，可仅在构件端部 $l_0/4$ 设置箍筋；但当在构件中部 $l_0/2$ 范围内作用有集中荷载时，则应沿梁全长设置箍筋， l_0 为梁净跨度。当截面高度小于150mm时，可不设置箍筋。

2 梁中箍筋的最大间距和最小直径应符合表 6.1.2 的规定。

表 6.1.2 梁中箍筋的最大间距(mm)

梁高 (mm)	$V > 0.7 f_t b h_0$		$V \leq 0.7 f_t b h_0$	
	最大间距	最小直径	最大间距	最小直径
$150 < h \leq 300$	150	4	200	4
$300 < h \leq 500$	150	5	250	4
$500 < h \leq 800$	200	5	300	4
$h > 800$	250	6	300	5

3 当梁中配有按计算需要的纵向受压钢筋时，高强箍筋应符合下列规定：

- 1) 梁端箍筋宜置于支座内 20mm, 且箍筋的端头应作成 135° 的弯钩, 弯钩端头平直段长度不应小于 $6d$ (d 为箍筋直径), 且不应小于 50mm。
- 2) 箍筋间距不应大于 $15d$, 且不应大于 300mm。当纵向钢筋一排钢筋多于 4 根时, 两个无双向拉结的纵筋不得相邻。当纵向钢筋直径大于 18mm 时, 箍筋间距不应大于 $12d$ (d 为最外排纵向受压钢筋的最小直径)。
- 4 当 $V > 0.7 f_t b h_0$ 时, 沿梁全长的配箍率 ρ_{sv} 应符合下列要求:

$$\rho_{sv} \geq 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} \quad (6.1.2)$$

6.1.3 弯剪扭构件中的高强箍筋间距不应大于表 6.1.2 中的最大间距和最小直径, 且应符合下列要求:

1 沿构件外侧布置的箍筋应为封闭箍筋, 位于截面内部的箍筋不应计入受扭所需的箍筋面积。考虑受扭所需的箍筋配箍率沿杆件全长不应小于 0.14%。

2 箍筋的直径不应小于 5mm, 箍筋的端头应在该构件支撑构件内且箍筋的端头应作成 135° 的弯钩, 箍筋弯钩平直段长度不应小于 $12d$ (d 为箍筋直径)。

3 箍筋间距不宜大于 0.75 倍的梁宽度。

6.2 柱

6.2.1 柱中的高强箍筋直径不应小于 $d/5$ (d 为纵向钢筋最大直径), 且不应小于 5mm。

6.2.2 高强箍筋间距不应大于 300mm 及构件的短边尺寸, 且不应大于 $15d$ (d 为纵向钢筋的最小直径)。

6.2.3 当采用连续复合箍筋时, 重叠段或投影重叠段长度不宜小于 100mm, 且角部应有纵向受力钢筋, 箍筋末端应做成 135° 的弯钩, 弯钩端头平直段长度不应小于 $6d$ (d 为箍筋直径)。

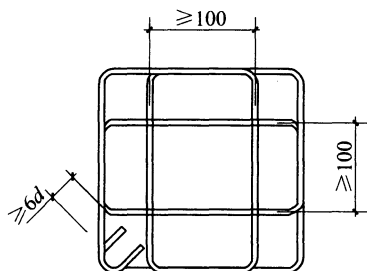


图 6.2.3 连续复合箍筋重叠段长度

6.2.4 柱截面的短边尺寸不宜小于 300mm,纵向钢筋的间距不宜大于 200mm,箍筋肢距不宜大于 300mm。当柱中全部纵向钢筋的配筋率大于 3%时,柱中的高强箍筋还应符合下列要求:

- 1 箍筋直径不应小于 5mm。
- 2 箍筋间距不应大于 $10d$ (d 为纵向钢筋的最小直径)且不应大于 200mm。
- 3 箍筋肢距不应大于 200mm,末端应做成 135° 的弯钩,弯钩端头平直段长度不应小于 $12d$ (d 为箍筋直径)。

6.2.5 轴心受压构件承载力计算中考虑高强箍筋的约束作用采用 f_{cc} 指标时,箍筋的间距不应大于 80mm,且不宜小于 40mm。

6.3 梁 柱 节 点

6.3.1 框架梁柱节点内应配置高强箍筋,高强箍筋应符合本规程 6.2 节的要求。

6.3.2 对四边均有梁的中间节点,其节点内可仅设沿周边的矩形高强箍筋。当顶层端节点内有梁上部钢筋和柱外侧纵向钢筋搭接头时,高强箍筋设置应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

6.3.3 高强箍筋间距不宜大于 200mm。

7 高强箍筋混凝土结构构件抗震设计

7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于高强箍筋混凝土构件抗震设计,未作规定的应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。

7.1.2 考虑地震作用组合时,构件的受扭承载力计算、剪扭承载力计算、受冲切承载力计算、局部受压承载力计算及疲劳验算等应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定执行。

7.2 梁柱斜截面承载力

7.2.1 考虑地震作用组合时,矩形、T形和I形截面高强箍筋混凝土构件受剪截面限制条件应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

7.2.2 考虑地震作用组合时,高强箍筋混凝土梁、柱构件内力设计值的调整应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

7.2.3 考虑地震作用组合时,高强箍筋混凝土框架梁、柱受剪承载力应满足下式要求:

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} [\min\{V_{su}, V_{bu}\}] \quad (7.2.3)$$

式中: V ——考虑地震作用组合的框架梁、柱剪力设计值;

V_{su} ——考虑地震作用组合的框架梁、柱斜截面受剪承载力设计值;

V_{bu} ——考虑地震作用组合的框架梁、柱剪切粘结承载力设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数。

7.2.4 考虑地震作用组合的框架梁、柱仅配置箍筋时，矩形、T形和I形截面高强箍筋混凝土构件斜截面受剪承载力可按下列公式计算：

$$V_{su} = \rho_{sv} f_{yv} b z + \alpha_{cv} (1 - \beta_e) \nu_e f_c b h \quad (7.2.4-1)$$

$$\beta_e = \frac{2\rho_{sv} f_{yv}}{\nu_e f_c} \quad (7.2.4-2)$$

$$\nu_e = \delta \left(1 - \frac{f_c}{90} \right) \quad (7.2.4-3)$$

$$\delta = 1 - 15\theta_p \quad (7.2.4-4)$$

式中： V_{su} ——考虑地震作用组合的框架梁、柱斜截面受剪承载力设计值；

β_e ——考虑地震作用组合的框架梁、柱斜截面受剪破坏时，箍筋受剪承载力与混凝土受剪承载力的比值，当 $\beta_e > 1$ 时应对构件截面尺寸或混凝土强度等级进行调整；

ν_e ——考虑地震作用组合的混凝土强度降低系数；

δ ——考虑地震作用组合的混凝土退化系数；

θ_p ——弹塑性转角限值， θ_p 可取1/50。

7.2.5 考虑地震作用组合的框架梁、柱仅配置箍筋时，矩形、T形和I形截面高强箍筋混凝土构件剪切粘结承载力可按下列公式计算：

$$V_{bu} = f_{be} z \sum c_r + \alpha_{cv} (1 - \beta_{be}) \nu_e f_c b h \quad (7.2.5-1)$$

$$\beta_{be} = \frac{2f_{be} \sum c_r}{\nu_e f_c b} \quad (7.2.5-2)$$

$$f_{be} = 0.65 \left(1.6 + 0.7 \frac{c_s}{n_s d} + 20 \frac{\rho_{sv}}{n_s} \right) f_t \quad (7.2.5-3)$$

式中： V_{bu} ——考虑地震组合的框架梁、柱剪切粘结承载力设计值；

β_{be} ——考虑地震组合的框架梁、柱剪切粘结破坏时,纵向钢筋
 粘结承载力与混凝土承载力之比, β_{be} 大于1时取1;

f_{be} ——考虑地震组合时,混凝土与钢筋之间的粘结强度。

7.3 框架的基本抗震构造措施

7.3.1 框架柱宜采用连续复合箍筋、复合螺旋箍筋或连续复合螺旋箍筋,高强箍筋间距不应大于构件外侧纵筋直径最小值的5倍,且不应大于80mm。纵向钢筋搭接长度范围内应满足加密区要求。

7.3.2 考虑地震组合的框架梁、柱,其构造措施的截面配箍验算中,高强箍筋的抗拉强度设计值可取700MPa。

7.3.3 框架结构梁的纵筋直径不应小于14mm。

7.3.4 框架梁端高强箍筋的加密区长度、最大间距和箍筋最小直径应按表7.3.4采用;当梁端纵向受拉钢筋配筋率大于2.0%时,表7.3.4中箍筋最小直径应增大1mm;非加密区的箍筋间距不宜大于加密区箍筋间距的2.0倍,且沿梁全长高强箍筋的配筋率 ρ_{sv} 应符合下列规定:

$$\text{一级抗震等级: } \rho_{sv} \geq 0.48 \frac{f_t}{f_{yv}}$$

$$\text{二级抗震等级: } \rho_{sv} \geq 0.45 \frac{f_t}{f_{yv}}$$

$$\text{三、四级抗震等级: } \rho_{sv} \geq 0.40 \frac{f_t}{f_{yv}}$$

表 7.3.4 框架梁端高强箍筋的加密区长度、最大间距和箍筋最小直径

抗震等级	加密区长度 (取较大值)(mm)	箍筋最大间距 (取最小值)(mm)	箍筋最小直径 (取较大值)(mm)
一级	$2h_b$ 和 500	$h_b/4, 70$	6, $d/5$
二级	$1.5h_b$ 和 500	$h_b/4, 80$	6, $d/5$

续表 7.3.4

抗震等级	加密区长度 (取较大值) (mm)	箍筋最大间距 (取最小值) (mm)	箍筋最小直径 (取较大值) (mm)
三级	—	$h_b/4, 80$	$5, d/5$
四级	—	$h_b/4, 100$	$5, d/5$

注: h_b 为框架梁截面高度, d 为纵筋最大直径。

7.3.5 梁箍筋加密区长度范围内的高强箍筋肢距: 一级抗震等级, 不宜大于 150mm 和 20 倍箍筋直径的较大值; 二、三级抗震等级, 不宜大于 200mm 和 20 倍箍筋直径的较大值; 四级不宜大于 250mm。两个无双向拉结的纵筋不得相邻。

7.3.6 梁端设置的第一个高强箍筋应进入柱表面内。

7.3.7 配置高强箍筋的框架柱的纵向钢筋直径, 一、二级抗震等级不应小于 18mm, 其他情况不应小于 16mm。

7.3.8 柱中高强箍筋的配置应符合下列规定:

1 柱加密区的箍筋最大间距和箍筋最小直径应符合表 7.3.8 的规定。

表 7.3.8 柱加密区的箍筋最大间距和箍筋最小直径

抗震等级	箍筋最大间距 (mm)	箍筋最小直径(取较大值) (mm)
一级	50	$7, d/5$
二级	50	$6, d/5$
三级	60(底层柱 50)	$5, d/5$
四级	70(底层柱 50)	$5, d/5$

注: d 为纵向钢筋最大直径。

2 框支柱和一级抗震等级的框架柱高强箍筋肢距不应大于 150mm; 二级抗震等级的框架柱, 箍筋肢距不应大于 200mm; 三、四级抗震等级框架柱的箍筋肢距不应大于 250mm。两根无双向拉结的纵向钢筋不得相邻。

3 框架柱非加密区的箍筋间距不得大于加密区箍筋间距的 2 倍。

7.3.9 抗震设计时,高强箍筋约束混凝土框架柱、框支柱的轴压比可按下式计算。其值不宜大于表 7.3.9 规定的限值。对Ⅳ类场地上较高的高层建筑,其轴压比限值应适当减小。

$$n_0=\frac{N}{f_cA} \tag{7.3.9}$$

式中: n_0 ——计算轴压比;
 N ——考虑地震组合的柱轴向压力设计值;
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值,按本规程 3.1.3 条规定取值;
 A ——柱全截面面积。

表 7.3.9 高强箍筋约束混凝土柱的轴压比限值

结构体系	抗震等级			
	一级	二级	三级	四级
框架结构	0.80	0.90	0.10	1.05
框架-剪力墙结构、筒体结构	0.85	0.95	1.05	1.05
部分框支剪力墙结构	0.70	0.80	—	—

- 注:1 表内限值适用于剪跨比大于 2、混凝土强度等级不高于 C60 的柱;
 2 当混凝土强度等级为 C65、C70 时,轴压比限值宜按表中数值减小 0.05;混凝土强度等级为 C75、C80 时,轴压比限值宜按表中数值减小 0.10;
 3 剪跨比不大于 2.0 的柱,其轴压比限值应按表中数值减小 0.05;剪跨比小于 1.5 的柱,轴压比限值应专门研究并采取特殊构造措施;
 4 当柱截面中部设置由附加纵向钢筋形成的芯柱,且附加纵向钢筋的总面积不少于柱截面面积的 0.8%时,其轴压比限值可按表中数值增加 0.05;
 5 考虑各种作用后柱轴压比限值不应大于 1.05。

7.3.10 柱采用高强箍筋时,加密区高强箍筋的体积配筋率应符合下列规定:

$$\rho_v\geqslant\lambda_v\frac{f_c}{f_{yv}} \tag{7.3.10-1}$$

式中: λ_v ——高强箍筋最小配箍特征值,按表 7.3.10 采用;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值,应按本规程 3.1.3 条规定采用;

f_{yv} ——高强箍筋抗拉强度设计值取 700MPa;

ρ_v ——柱高强箍筋加密区的体积配筋率,应根据箍筋形状按下列公式计算,计算中应扣除重叠部分的箍筋体积。

当箍筋为矩形方格网式配置时:

$$\rho_v = \frac{n_1 A_{s1} l_1 + n_2 A_{s2} l_2}{A_{cor} s} \quad (7.3.10-2)$$

当箍筋为圆形螺旋式配置时:

$$\rho_v = \frac{4 A_{ss1}}{d_{cor} s} \quad (7.3.10-3)$$

式中: A_{cor} ——箍筋内表面范围内的混凝土核心面积;

n_1 、 A_{s1} ——分别为方格网沿 l_1 方向的钢筋根数、单根箍筋的截面面积;

n_2 、 A_{s2} ——分别为方格网沿 l_2 方向的钢筋根数、单根箍筋的截面面积;

A_{ss1} ——单根螺旋箍筋的截面面积;

d_{cor} ——螺旋箍筋内表面范围内的混凝土截面直径;

s ——箍筋间距。

2 在计算高强复合螺旋箍筋的体积配筋率时,其中非螺旋箍筋的体积应乘以系数 0.8。

3 对一、二、三、四级抗震等级的柱,其箍筋加密区的箍筋体积配筋率分别不应小于 0.50%、0.40%、0.30%和 0.30%。

5 当剪跨比 ≤ 2 时,一、二、三、四级抗震等级的柱,其箍筋体积配筋率不应小于 1.0%,9 度一级时不应小于 1.2%;

6 框支柱最小配箍特征值应按表 7.3.10 中的数值增加 0.02 采用,且体积配筋率不应小于 1.0%;

7 在柱箍筋加密区外,高强箍筋的体积配筋率不宜小于加密区体积配筋率的一半。

表 7.3.10 柱箍筋加密区的高强箍筋最小配箍特征值 λ_v

抗震等级	轴压比 n								
	≤ 0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.05
一级	0.10	0.12	0.15	0.17	0.22	0.26	0.33	—	—
二级	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19	0.24	0.30	0.36	0.40
三、四级	0.06	0.10	0.12	0.14	0.16	0.19	0.24	0.33	0.36

注：当柱设置芯柱时，确定 λ_v 的轴压比可以减少 0.05。

7.3.11 一、二、三级抗震等级的框架节点核芯区高强箍筋的最大间距、最小直径宜按本规范表 7.3.8 采用。当顶层端节点内有梁上部纵向钢筋和柱外侧纵向钢筋的搭接接头时，节点内水平箍筋直径不应小于 5mm，间距不应大于 100mm，纵向钢筋直径大于 25mm 时，尚应在搭接接头两个端面外 100mm 范围内各设置两道箍筋。

7.3.12 框架节点核芯区配箍特征值 λ_v ，一、二、三级抗震等级分别不宜小于 0.15、0.13 和 0.12，且其体积配箍率分别不宜小于 0.50%、0.40% 和 0.30%。当框架柱的剪跨比不大于 2 时，其节点核心区配箍特征值不宜小于核芯区上、下柱端配箍特征值中的较大值。

8 高强箍筋施工及验收

8.1 高强箍筋加工

8.1.1 除本章规定外,高强箍筋混凝土结构施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的相关规定。

8.1.2 设计单位应对高强箍筋加工给出要求,宜采用图纸形式表达高强箍筋的形状,并在图纸上注明箍筋各肢边长尺寸;施工单位应严格按设计施工图纸进行放样,各肢边长尺寸允许偏差应为 $\pm 4\text{mm}$ 。

8.1.3 高强连续箍筋宜在工厂进行加工,在现场加工时,应单独建立高强箍筋临时加工厂,加工厂内应有安全防护设施。

8.1.4 高强连续箍筋宜采用机械自动成型,当采用人工成型时,应对工人进行培训且合格。箍筋加工时弯曲半径应符合下列要求:

1 直径为 7mm 以下的高强钢筋的弯弧内直径不应小于高强钢筋直径的 6 倍;

2 直径为 7mm 及以上的高强钢筋的弯弧内直径不应小于高强钢筋直径的 8 倍。

8.1.5 高强螺旋箍筋第一圈应制成封闭型。

8.1.6 高强钢材应采用机械剪断,不得采用火焰、电焊等切断。

8.1.7 高强箍筋不应与电焊接触。

8.1.8 高强钢材及箍筋的运输储藏应有防锈措施。

8.2 高强箍筋施工

8.2.1 高强箍筋与纵向钢筋之间应采用绑扎固定,严禁采用焊接固定。

8.2.2 梁内连续箍筋的末端应进入柱表面内,柱内连续箍筋的末端宜设置在梁边,节点内连续箍筋末端宜设置在梁上边下排钢筋下面和梁下边钢筋的上面;端部连续箍筋应有一圈以上的连续箍筋重叠,箍筋末端应设置不小于 135° 的末端弯钩,弯钩绕过纵向钢筋锚固在混凝土内。

8.2.3 梁或柱分段配置连续箍时,连续箍分段处末端应符合下列规定:

1 单个连续箍筋,当采用环形连续箍筋时,两个环形连续箍筋末端搭接不应小于 $100d$ (d 为箍筋直径),其他形状搭接不应少于两个弯折角;

2 复合连续箍筋,组成复合连续箍筋的单个连续箍筋应符合本条第 1 款的规定;

3 连续箍筋搭接处应设置不小于 135° 的末端弯钩并锚固在混凝土内。

8.3 高强箍筋验收

8.3.1 除本节规定外,高强箍筋混凝土结构施工质量应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

8.3.2 高强钢筋应以冷加工后的热处理状态交货。

8.3.3 当所采用高强钢筋的品种、级别或规格需做变更时,应办理设计变更文件。

8.3.4 在混凝土浇筑前,应对箍筋的品种、规格、数量、间距等进行隐蔽工程验收。

8.3.5 用作箍筋的高强钢筋或场外配送成品箍筋进场时,应按国家现行标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223、《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3 和《中强度预应力混凝土用钢丝》YB/T 156 等的规定抽取试件做力学性能检验,其质量必须符合相应标准的规定。力学性能检验中,抗拉强度、规定非比例延伸强度(名义屈服强度)和弯曲试验为必检项目。

检查数量:每 30t 为一批,少于 30t 时,以进货重量为一批,任意抽取该批三卷或三根,每卷(根)端部取一根试件,组成一组。

检验方法:检查产品合格证、出场检验报告和进场复验报告。

8.3.6 当发现高强钢筋有脆断或力学性能有明显的不正常现象时,应对该批高强钢筋进行化学分析检验或其他专项检验。

检验方法:检查化学成分或专项检查报告。

8.3.7 高强钢筋应无破损、表面无裂纹、油污、颗粒状或片状老锈等。

检查数量:进场时和使用前全数检查。

检验方法:观察。

8.3.8 高强箍筋末端应做弯钩,弯钩形式应符合设计要求,当设计无具体要求时,应符合下列规定:

- 1 弯钩的弯弧内直径不应小于本规程第 8.1.4 条的要求;
- 2 箍筋弯钩的弯折角度不应小于 135° ;
- 3 箍筋弯后平直部分的长度不应小于箍筋直径的 8 倍。

检查数量:按每工作班同一类型的钢筋、同一加工设备抽查不应小于 3 件。

检验方法:钢尺检查。

8.3.9 高强箍筋加工形状、尺寸应符合设计要求,其箍筋内净尺寸允许偏差应为 $\pm 4\text{mm}$ 。

检查数量:按每工作班同一类型的钢筋、同一加工设备抽查不应小于 3 件。

检验方法:钢尺检查。

8.3.10 高强箍筋各弯折部位不应有裂纹。

检查数量:按每工作班同一类型的钢筋、同一加工设备抽查不应小于 3 件。

检验方法:观察。

附录 A 高强钢筋的公称直径、公称截面面积及理论重量

表 A 高强钢筋的公称直径、公称截面面积及理论重量

公称直径 (mm)	公称截面面积 (mm ²)	理论重量 (kg/m)
4.0	12.6	0.099
5.0	19.6	0.154
6.0	28.3	0.222
7.0	38.5	0.302
8.0	50.3	0.394
9.0	63.6	0.499
10.0	78.5	0.616
11.0	95.0	0.746
12.0	113.1	0.887
13.0	133.0	1.044
14.0	153.9	1.209
16.0	201.0	1.578

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

- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223
- 《预应力混凝土用钢棒》GB/T 5223.3
- 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- 《中强度预应力混凝土用钢丝》YB/T 156

中国工程建设协会标准

高强箍筋混凝土结构
技 术 规 程

CECS 356 : 2013

条 文 说 明

目 次

1	总 则	(37)
2	术语和符号	(40)
2.1	术语	(40)
2.2	符号	(41)
3	材 料	(42)
3.1	混凝土	(42)
3.2	钢筋	(42)
4	基本设计规定	(45)
4.1	一般规定	(45)
4.2	设计计算原则	(50)
5	承载力极限状态计算	(51)
5.1	一般规定	(51)
5.2	正截面承载力计算	(51)
5.3	受剪承载力计算	(51)
6	结构构件的基本规定	(57)
6.1	梁	(57)
6.2	柱	(57)
6.3	梁柱节点	(58)
7	高强箍筋混凝土结构构件抗震设计	(59)
7.1	一般规定	(59)
7.2	梁柱斜截面承载力	(59)
7.3	框架的基本抗震构造措施	(59)
8	高强箍筋施工及验收	(67)

8.1	高强箍筋加工	(67)
8.2	高强箍筋施工	(67)
8.3	高强箍筋验收	(68)

1 总 则

1.0.1 随着高层建筑快速发展,混凝土结构采用高强材料成为发展趋势,C50 以上的高强混凝土在实际工程中得到较多应用;2010 版《混凝土结构设计规范》GB 50010 将 500MPa 级钢筋列入其中,标志着我国在混凝土结构中开始广泛地应用高强材料。

混凝土是一种脆性材料,强度越高脆性越明显,高强混凝土的脆性使结构的延性降低,造成高强混凝土结构的抗震性能较差,这是阻碍高强混凝土应用的一个重要方面。众所周知,钢筋混凝土结构的延性并不取决于混凝土,而是取决于钢筋的配置。利用箍筋对混凝土的约束是克服混凝土脆性、改善其力学性能的一个重要手段。

目前钢筋混凝土结构中采用的箍筋强度普遍较低,导致其受剪承载力也较低,更重要的是不能对混凝土形成有效的约束;或在有些情况下需要的箍筋直径大、间距密,致使箍筋绑扎和混凝土浇灌等施工困难,难以保证质量,同时还造成材料的浪费。为解决上述矛盾,日本自 1988 年开展了题为“采用高强混凝土和钢筋(高强度主筋、高强度箍筋)材料,开发先进的钢筋混凝土建筑”(通常称为“新钢筋混凝土”)的全国性研究项目,对高强材料的开发、新钢筋混凝土构件和结构的性能、设计及施工指南等进行了较系统的研究,其中包括高强箍筋混凝土结构,并已制订了相应的行业规程和指南,在工程实际中得到较多的推广应用,据目前可查到的资料,日本采用新混凝土结构技术建设的实际工程,至 1997 年已达 28 栋,最高建筑为高度 128m、41 层的高层建筑。

高强箍筋混凝土是将目前混凝土结构中的普通强度箍筋用高强钢筋来代替,将箍筋的强度提高,直径变细,间距变密,一方面使

得箍筋能对混凝土起到更有效约束作用,以改善高强混凝土的脆性,提高其强度和延性,改善结构的抗震性能,另一方面还可提高构件的受剪承载力,达到节约钢材的目的。本规程中的高强箍筋是指梁采用极限抗拉强度为 800MPa 以上、柱采用极限抗拉强度为 1000MPa 以上的高强钢筋作为箍筋,采用高强箍筋的目的是使构件在极限状态时箍筋不屈服,构件在大变形时,箍筋处于弹性状态,对混凝土形成有效的约束,构件在大震下超过极限承载力而进入软化段后,高强箍筋对混凝土的约束效果更加显著,从而使混凝土构件具有良好的抗震性能。

对于配置高强箍筋的钢筋混凝土结构,我国自 21 世纪也开始进行了研究工作,其结论与日本所做工作基本相同,为了使采用高强箍筋有法可依,依据试验结果并参考国外的研究成果和标准规范,编制了本规程。本规程提出的高强箍筋混凝土结构可丰富和完善现有的钢筋混凝土结构基本理论,提高钢筋混凝土结构的抗震性能和安全性,同时,采用高强钢筋又能节省钢材用量,取得好的经济效益和社会效益,对推广高强钢筋的应用和节能减排有重要意义。

本规程编制过程中,编制组进行了试验研究,除此之外主要参考了日本相关研究和设计规程。

1.0.2 高强箍筋混凝土结构仅是将建(构)筑物混凝土结构中的普通强度箍筋用高强钢筋代替,增加箍筋对混凝土的约束效果,改善混凝土结构的受力和抗震性能。对巨型柱结构体系、预应力混凝土结构、轻骨料混凝土结构等目前尚未开展相应的研究工作。

1.0.3 本规程是在国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的基础上,依据我国现行工程结构及建筑结构的可靠性设计统一标准,针对钢筋混凝土结构中的箍筋用高强钢筋来代替,考虑高强箍筋对混凝土结构的有利影响,通过试验研究和理论分析,参考国内外相关的研究成果和有关标准,其基本内容是基

于现阶段混凝土结构设计的成熟做法和设计要求,对我国上述标准中相关的内容进行了调整和修改。本规程与相关的标准进行了合理的分工和衔接,执行时应当符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

本规程给出了采用高强钢筋作为混凝土结构中的箍筋,在现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的基础上,为强调高强箍筋对混凝土的约束效果,给出了与高强箍筋相关的术语,如高强箍筋的定义、高强箍筋的形式、平均约束应力等。高强连续复合箍筋俗称“一笔画”箍筋,本规程仅给出了一些常见的形式;高强螺旋箍筋是指圆形、矩形、方形等各种形式的螺旋箍筋的统称;高强复合螺旋箍筋是指由本规程第 2.1.5 条规定的高强螺旋箍筋与本规程第 2.1.3 条规定的高强复合箍筋或本规程第 2.1.4 条规定的高强连续复合箍筋叠套组装而成的箍筋;高强连续复合螺旋箍筋是指三维空间内由一根钢筋连续加工制成的复合螺旋箍筋或由本规程第 2.1.5 条所指的多个高强螺旋箍筋叠套组装而成的复合箍筋。图 1~图 5 所示为一些常见的普通箍筋和高强箍筋形式。

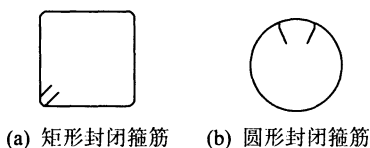


图 1 普通形式箍筋

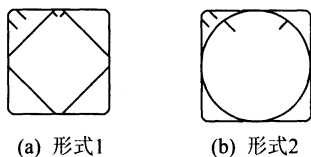


图 2 高强复合箍筋

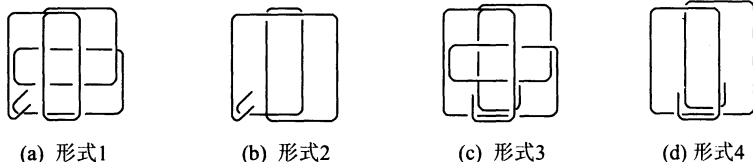
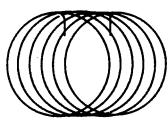


图 3 高强连续复合箍筋

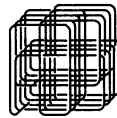


(a) 圆形

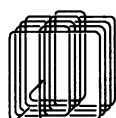


(b) 矩形或方形

图 4 高强螺旋箍筋



(a) 形式1



(b) 形式2

图 5 高强连续复合螺旋箍筋

当混凝土受压向外膨胀时而使箍筋对混凝土产生侧向压力，为量化高强箍筋对混凝土的约束效果，箍筋对混凝土产生的侧向压应力平均值定义为平均约束应力，应按下列公式进行计算：

$$\sigma_r = f_{yv} \rho_{sv} \quad (1)$$

$$\rho_{sv} = \frac{\sum A_{sv}}{bs} \quad (2)$$

2.2 符 号

本规程除基本沿用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的符号外，由于高强箍筋对混凝土具有良好的约束效果，增加了与高强箍筋约束混凝土相关的材料力学性能指标的符号。

2.2.1 用 f_{cc} 表示高强箍筋约束混凝土的抗压强度设计值， ϵ_{cc} 表示与 f_{cc} 相应的高强箍筋约束混凝土的峰值压应变， ϵ_{cu} 表示高强箍筋约束混凝土的极限压应变。

3 材 料

3.1 混 凝 土

3.1.1 为了充分发挥高强材料的性能,使高强箍筋与混凝土强度等级相匹配,所采用的混凝土强度等级较高;混凝土强度等级较高时其脆性越明显,利用高强箍筋对较高强度等级的混凝土进行约束,使混凝土的脆性性能得到明显改善,有利于混凝土结构的抗震性能。由于混凝土结构中的梁采用的混凝土强度一般较柱低,基于上述考虑,结合目前我国混凝土结构的实际,建议梁的混凝土强度等级不低于 C30,柱的混凝土强度等级不低于 C40。

3.1.2~3.1.4 规定取自于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010。

3.2 钢 筋

3.2.1 本条只是将现行混凝土结构中的箍筋采用高强箍筋,以提高箍筋对混凝土的约束效果,克服混凝土特别是较高强度等级混凝土的脆性,因此其他钢筋的配置不变,故纵向钢筋和分布钢筋的选用和力学指标取值仍按国家现行标准执行。

3.2.2、3.2.3 由于高强钢筋较热轧钢筋的延性和变形性能较差,根据现有试验测试结果,高强箍筋约束高强混凝土轴心受压试件,在达到极限压应变时基本上可达到 800MPa~1100MPa,甚至拉断;高强箍筋约束高强混凝土压弯构件和短柱,在构件破坏时高强箍筋的应力也可高达 800MPa;为使混凝土构件在受力过程中箍筋不屈服,充分利用高强箍筋对混凝土约束作用,本规程提出框架柱高强箍筋所使用的钢筋强度标准值应不低于 1000N/mm^2 ,考虑梁采用的混凝土强度等级较低,且高强箍筋对梁的混凝土约束效

果不明显,故对高强箍筋的强度等级适当降低。

高强箍筋选用的材料应符合相应的现行国家标准、行业标准。日本“新混凝土结构”中可用于箍筋的高强钢材有两种,一种是现有的预应力钢材;还有一种是专门为用于箍筋而开发的高强钢材,这种钢材采取的生产加工工艺是“高频感应加热热处理钢筋”,该品种钢筋在我国已研制成功,已编制了相应的企业标准,并正在编制冶金行业材料标准《高强度热处理箍筋》。这种钢筋与预应力钢材有明显的不同,主要是该钢材有明显的屈服,这种钢材与预应力钢材相比,用于高强箍筋,其机械加工性能较好。鉴于材料具有较好的物理力学性能,且已有企业标准。因此,亦将该产品列入本规程表 3.2.3-2 中。

采用高强钢筋用作箍筋时,高强钢筋要进行不同角度的弯折,鉴于目前考虑弯折后钢筋强度影响的研究很少,且在计算中,各种状态下箍筋应力取值均小于箍筋强度,故此处暂取没有考虑弯折后的箍筋强度。

3.2.4 试验和研究表明,高强箍筋抗拉强度的发挥程度与配箍率、混凝土强度、轴压等因素有关,且随不同的受力阶段而变化,确定其抗拉强度设计值是一个比较复杂的问题。结构设计时,需要确定构件在承载能力极限状态时高强箍筋的抗拉强度设计值。日本相应的规范规定:高强箍筋强度设计值为 $\min\{25F_c, \sigma_s\}$ 。其后的研究表明,按下式计算高强箍筋的抗拉强度设计值更为准确:

$$f_{yv} = 125 \sqrt{\frac{1.7(1+2n)F_c}{\sqrt[3]{F_c}}} \quad (3)$$

将公式(3)中的混凝土抗压强度转换成我国的混凝土轴心抗压强度设计值,可得到高强箍筋的抗拉强度设计值计算公式:

$$f_{yv} = 180 \sqrt{\frac{(1+2n)f_c}{\sqrt[3]{f_c}}} \quad (4)$$

日本的试验表明,只要配置适量的高强箍筋和适当的配箍形式,即使采用抗拉强度标准值 1270N/mm^2 以上的高强箍筋,箍筋

仍可屈服;编制组的试验表明,采用抗拉强度标准值 $1000\text{N}/\text{mm}^2$ 以上的高强箍筋,当构件达到承载能力极限状态时,箍筋抗拉强度可发挥达 60% 以上;当构件超过承载能力极限状态进入软化阶段时,箍筋应力发展较快,至构件破坏(极限变形)时,箍筋都可达到屈服。

采用公式(4)的高强箍筋抗拉强度值计算构件的受剪承载力与试验值相比,其结果令人满意,并偏于安全。

考虑到与现行国家标准《混凝土结构设计规范》协调,综合考虑安全、适用和便于设计,最终确定了本条规定的高强箍筋抗拉强度设计值。

3.2.6 本规程允许采用其他牌号或种类的高强钢筋做箍筋,但所采用的高强钢筋性能应符合相应的标准规定。

4 基本设计规定

4.1 一般规定

4.1.1、4.1.2 高强箍筋在梁、柱、节点构件中的形式基本上与普通强度箍筋混凝土构件相同,此处强调高强箍筋的封闭,突出高强螺旋复合箍筋、高强连续复合箍筋,以增强对混凝土的约束效果。结合工程实际,本规程给出了梁、柱、节点等典型的箍筋形式,见图6、图7。

鉴于目前国内外的试验构件截面较小,对截面尺寸大的柱,在混凝土柱内增加配置核心高强圆形螺旋箍筋,以增大高强箍筋对混凝土的约束效果。

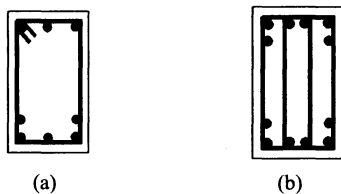


图6 梁的箍筋

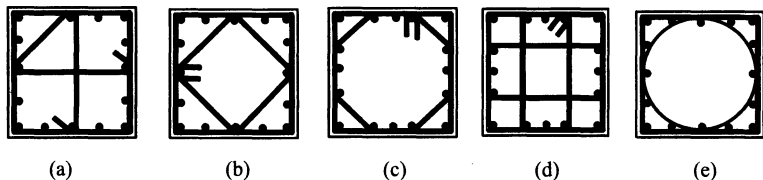


图7 柱、节点连续复合箍筋

4.1.3 混凝土强度的平均值主要用于弹塑性分析时的本构关系,宜按实测确定。本条按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB

50010 的规定取值。

4.1.4 由于高强箍筋约束混凝土轴心受压试验数据中的混凝土强度等级较高,故本规程给出的本构关系模型适用于较高强度等级的普通混凝土,且所处环境和加载速率符合国家现行相关标准的规定。

4.1.5 国内外对箍筋约束混凝土的轴心受压性能进行了大量的研究,提出了较多的约束混凝土单轴受压应力-应变本构模型。经过对比分析,发现高强箍筋约束对其上升段影响不大,但对其下降段影响很大。根据近年来国内外高强箍筋约束混凝土轴心受压力学性能试验研究结果和对目前已有的相关本构关系模型分析,表明采用我国现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中的单轴受压本构模型表达形式,通过对下降段本构模型表达式进行一些参数的修正,所得轴心受压本构模型计算结果与试验结果吻合较好,且保持了规范的一致性。

4.1.6 根据国内外高强箍筋约束混凝土轴心受压力学性能的试验研究,表明当高强箍筋约束混凝土棱柱体试件达到峰值强度时箍筋尚未屈服,且与配箍率、箍筋形式、混凝土强度等因素有关,故在计算时不能直接取高强箍筋的实际屈服强度,需要确定箍筋实际应力的大小。为简化计算,根据试验结果实测和国内外已有的研究结果,对应于应力-应变峰值点时高强箍筋的应力代表值可取 550MPa。根据国内外高强箍筋约束混凝土轴心受压力学性能的试验研究结果,采用箍筋的体积配箍率,通过回归分析建立了方形截面高强箍筋约束混凝土单轴抗压强度代表值与非约束混凝土轴心抗压强度之间的关系(见图 8、图 9),提出了高强箍筋约束混凝土的单轴抗压强度计算方法。

4.1.7 根据国内外高强箍筋约束混凝土轴心受压力学性能的试验研究,约束混凝土棱柱体试件的峰值应变随高强箍筋配箍率的增大而增大,同时还与箍筋间距和箍筋形式等有关。由于对应约束混凝土峰值应变时的高强箍筋尚未屈服,根据试验结果实测和

理论分析,为简化计算,取约束混凝土达到峰值应变时的高强箍筋的应力代表值为 550MPa。通过回归分析建立了高强箍筋约束混凝土轴心受压的峰值应变计算方法(图 10、图 11)。分析表明,高强箍筋约束混凝土峰值压应变的增长率大于其强度增长率。

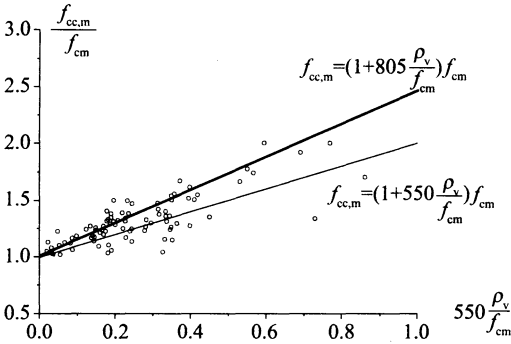


图 8 约束混凝土抗压强度与配箍率关系

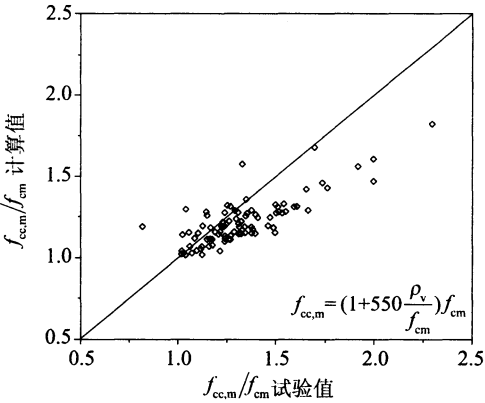


图 9 约束混凝土抗压强度试验与计算值对比

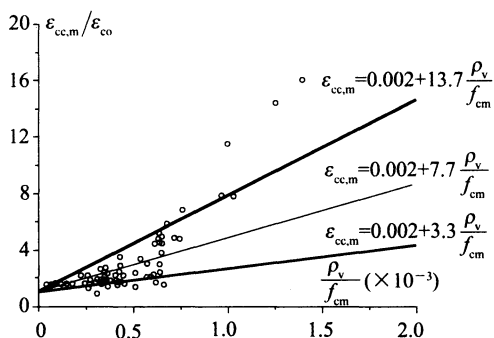


图 10 约束混凝土峰值应变与配箍率关系

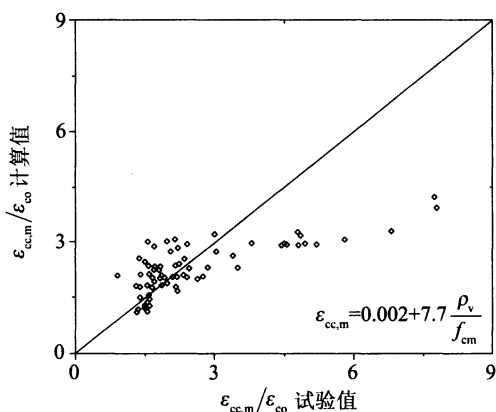


图 11 约束混凝土峰值应变试验与计算值对比

高强箍筋约束混凝土的轴心受压试验表明,当约束混凝土超过峰值强度进入软化段后,高强箍筋的应力随混凝土压应变的增加而增大较快;当高强箍筋约束混凝土受压破坏时,高强箍筋达到了较高的应力状态,个别高强箍筋屈服或拉断;试验实测和理论分析表明,约束混凝土的极限应变主要与高强箍筋配箍率、配箍形式等因素有关。若取约束混凝土的极限压应变为其峰值强度下降

15%时对应的应变,此时高强箍筋的应力代表值可取 700MPa,通过国内外大量试验数据回归分析,可建立方形截面高强箍筋约束混凝土轴心受压峰值应变计算方法(图 12、图 13)。分析表明,高强箍筋约束混凝土的峰值应变增大较多。因此,工程设计中采用高强箍筋约束混凝土不仅具有节材意义,同时更大的作用在于提高构件的延性和抗震性能。

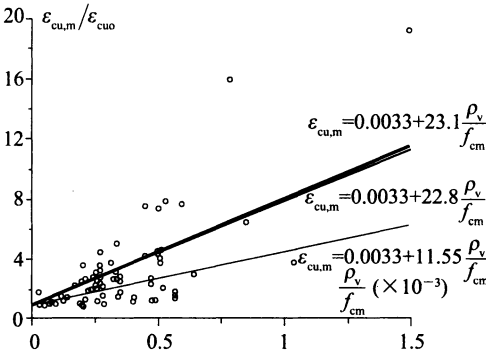


图 12 约束混凝土极限应变与配箍率关系

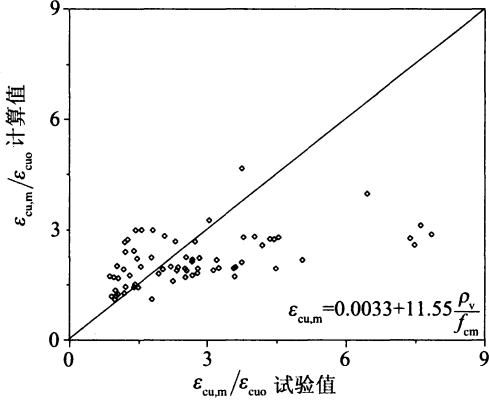


图 13 约束混凝土极限应变试验与计算值对比

4.2 设计计算原则

4.2.1 与国家现行有关标准的规定保持一致。

4.2.2、4.2.3 条文规定的环境适用条件和构件所承受作用的加载速率与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相同,同样适用于现行国家标准《人民防空地下室设计规范》GB 50025 的应用范围,由于本规程限制高强箍筋仅用于约束混凝土,在人民防空地下室设计中的材料抗力调整系数可与 HRB500 级钢筋相同。

关于构件的耐火极限要求,由于条文规定的抗剪与约束作用使用的值基本与材料的母材强度接近,即使材料在高温下强度衰减,强度是有保证的,构件的耐火极限可取普通混凝土构件的耐火极限。

4.2.4 本条与国家现行有关标准的规定保持一致。

4.2.5 高强箍筋对混凝土结构弹性层间位移角限值基本上没有影响,但对结构弹塑性层间位移角限值影响较大。试验表明,当结构出现弹塑性变形后,特别是达到极限荷载以后,高强箍筋对混凝土的约束逐渐显现,由于限制高强箍筋进入屈服状态,混凝土塑性发展越大,高强箍筋约束效果越好,使得结构的弹塑性变形得到明显改善,延性和层间位移角增大。根据现有的试验研究结果,出于安全考虑,国家有关标准规定高强箍筋混凝土结构弹性层间位移角限值和弹塑性层间位移角限值的取值与国家现行有关标准相同。

5 承载力极限状态计算

5.1 一般规定

5.1.1~5.1.3 本章的内容仅限于高强箍筋混凝土梁、柱承载力极限状态的计算,其他设计计算,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定执行。

5.2 正截面承载力计算

5.2.1 圆形截面轴心受压构件可充分发挥高强箍筋的强度,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定执行。

对矩形和方形截面轴心受压构件,考虑高强箍筋对混凝土的约束作用,可采用高强箍筋约束混凝土轴心抗压强度设计值 f_{cc} 进行计算,即按式(5.2.1)计算;截面较小时,按式(5.2.1)计算,其承载力可能小于按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定的计算值,故采取了取较大值的计算方法。

5.2.2 试验表明,高强箍筋约束混凝土对构件正截面压弯承载力有一定的提高作用,由于数据较少,从偏于安全考虑,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定执行。

5.3 受剪承载力计算

5.3.1、5.3.2 矩形、T形和I形截面高强箍筋混凝土梁、柱构件的受剪截面限制条件,以及剪力设计值的计算截面等规定与国家标准保持一致。

5.3.3 目前,构件的受剪承载力计算一般只考虑斜截面的受剪承载力,然而在钢筋直径较粗、配筋率较高或是反复荷载作用下容易出现剪切粘结破坏;一般情况下剪切粘结破坏承载力低于剪压破

坏,如不考虑剪切粘结破坏,则会高估混凝土构件的受剪承载力,使混凝土构件受剪处于不安全的状态。

在本规程编制过程中,包括编制组的试验共搜集各种斜截面剪切破坏、剪切粘结破坏的试验数据 266 个,按本规程给出的方法计算,高强箍筋的抗拉强度设计值 f_{yv} 取 550MPa,混凝土轴心抗压强度试验值 $f_c=0.76\alpha_{c2}f_{cu}$,并采用斜截面剪切破坏和剪切粘结破坏两种模式分别计算并取较小值的方法,其平均值为 1.413,均方差为 0.498,变异系数为 0.352,共有 24 个试验点在平均值以下(图 14)。由此可见,受剪承载力计算是安全的。对简支梁、连续梁共 16 个试验数据,按本规程计算,斜截面剪切破坏和剪切粘结破坏两种模式分别计算并取较小值的方法,其平均值为 1.256,均方差为 0.400,变异系数为 0.320。

由于粘结破坏和剪压破坏界限难以划分,因此,采用斜截面剪压破坏和剪切粘结破坏分别验算并取较小值。

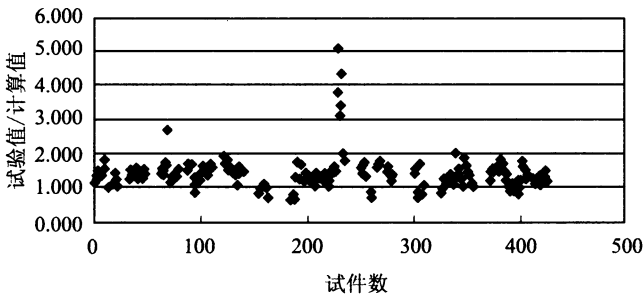


图 14 试验值与本规程计算值比较

5.3.4 斜截面受剪破坏一般分为剪压破坏、斜压破坏和斜拉破坏三种,斜压破坏一般通过受剪截面限制条件予以控制,斜拉破坏一般通过最小配箍率进行控制,剪压破坏通过计算予以控制。在编制本规程之初,编制组试图采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的模式计算高强箍筋混凝土构件的受剪承载力,但

对试验数据分析表明,现行规范公式计算高强箍筋混凝土受剪破坏有一定的不适应性,因此不得不另外寻找计算方法。目前国际上采用的除试验回归公式外,发达国家均建立了以理论公式为主、试验验证为辅的混凝土受剪公式,目前世界上公认的主要是桁架模型,美国 ACI318 采用了拉压-杆模型、欧洲规范 EN1992 采用的是变角桁架模型、日本采用的是桁架-拱模型,这些模型均是桁架模型的变种。由于桁架-拱模型最终表达式与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 相近,因此编制组最终选定了桁架-拱模型。日本的桁架-拱模型在推导公式时首先假定了拱的截面高度为 $h/2$,这样推导得到拱受力与混凝土斜压角无关,斜压角仅与箍筋项有关;编制组在重新推导了桁架-拱模型时未假定拱的截面高度,得到的结果是拱的截面高度为 $h/(\tan\varphi + \cot\varphi)$,同时混凝土受剪承载力系数 α_{cv} 也与斜压角 φ 有关,因此本规程并不是完全照搬了日本《混凝土结构抗震设计规程》的公式。为了计算简化,对于框架梁、柱,取斜压角 $\cot\varphi=1$,得到了本规程 5.3.4 条中的相关公式。

混凝土降低系数 ν_0 是由于假定的混凝土构件中的斜压杆、拱都存在着微裂缝,随着微裂缝的发展混凝土发生软化,在理论模型中是必须考虑,各国规范都对由此而产生的混凝土软化进行了考虑,用软化系数 ν_0 降低混凝土强度,即用 $\nu_0 f_c$ 来替换受剪承载力公式中的 f_c ,但各国规范软化系数的取值并不完全相同,日本规范取 $\nu_0 = 1.0 - F_c/140$ 。本规程取 $\nu_0 = 1.0 - f_c/90$,是考虑 F_c 与 f_c 存在差异等因素(统计试验数据时可取 $\nu_0 = 1.0 - f_c/133$)。

关于轴力对受剪承载力的影响。试验表明,当轴力较小时,轴力对混凝土构件的受剪能力有所提高,当轴力较大时,轴力则会降低混凝土构件受剪承载力(大致分解线在轴压比为 0.7 左右),我国现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 考虑轴向力这一有利因素。理论分析混凝土构件受剪时,国际上亦有以桁架模型为基础,建立带轴力的几种模型,编制组在最初推导桁架-拱模

型时也试图建立一个带轴力的桁架-拱模型,但与国际上几种模型一样,公式非常复杂,得不到简洁实用的解析解。同时各国规范考虑轴向压力抗剪作用时差异较大,日本规范不考虑轴向压力对抗剪强度的提高;欧洲规范仅考虑预应力产生的轴向压力对混凝土抗剪强度的提高作用,在混凝土抗剪项上乘以增大系数,但欧洲规范不考虑荷载轴向力的影响。编制组也曾参考欧洲规范的模式,在混凝土抗剪项上乘上一个增大系数 α_N ($\alpha_N = N/f_c b h \leq 1.3$),计算结果表明,试验值与计算值的平均值为 1.125,结果也是相当令人满意的,但编制组考虑到实际工程中,构件轴压比较高,不宜考虑轴力的影响。

高强箍筋混凝土构件受剪承载力计算时,公式中的 $\rho_{sv} f_{yv}$ 是一个重要的配箍指标。试验表明,箍筋是否能达到屈服强度 f_{yvk} 不取决于箍筋屈服强度的高低,而取决于配箍率 ρ_{sv} 和平均约束应力 $\rho_{sv} f_{yv}$ 。当 $\rho_{sv} > 1.2\%$ 时,无论是高强箍筋还是普通箍筋都不会屈服(《鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説》,日本建筑学会,2010);试验还表明,当 $\rho_{sv} f_{yv} > 4.0$ 时, $\rho_{sv} f_{yv}$ 值不再等比例增加;当 $\rho_{sv} f_{yv} > 5.0$ 时,在承载力峰值时 $\rho_{sv} f_{yv}$ 的值不再增加,因此本规程规定 $\rho_{sv} f_{yv} \leq 3.5$ 。

β_0 是推导桁架模型时令混凝土斜压杆承载力与箍筋拉杆拉力相等得到的,由公式(5.3.4-2)可以看出,当 $\beta_0 = 1$ 时,公式(5.3.4-1)的混凝土项为 0,此时在箍筋拉杆达到设计值时,混凝土正好压坏,这就是欧洲规范的设计方法;但是混凝土强度一般是由构件受弯、受压所决定的,因此当箍筋达到设计强度时,混凝土未必被压坏($\beta_0 < 1$),这富裕的混凝土强度转化为拱作用继续承受剪力;当 $\beta_0 > 1$ 时,箍筋没有达到设计强度,而混凝土被压坏,构件出现明显的脆性破坏,这是设计不允许的。因此,要调整混凝土截面尺寸或混凝土强度,必须保证 $\beta_0 \leq 1$ 。实际上 β_0 是理论推导出来的截面限制条件。

5.3.5 一般我们比较熟悉混凝土构件的斜压破坏、斜拉破坏、剪

压破坏,然而试验研究发现,除上述三种破坏形态外,还存在另一种形式的剪切破坏-剪切粘结破坏,图 15 为典型的高强箍筋混凝土短柱剪切粘结破坏图。

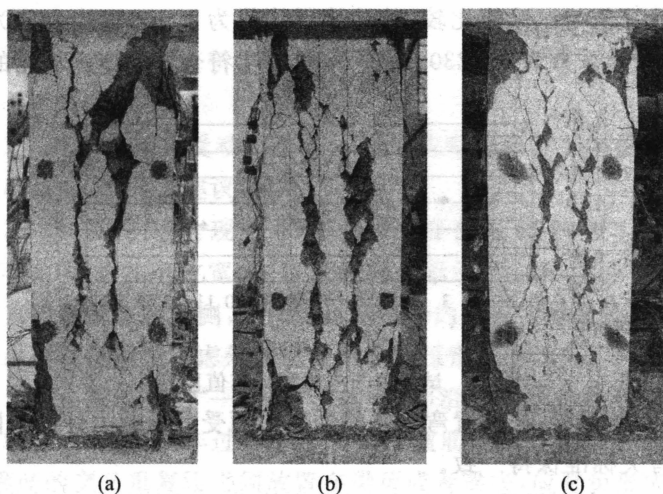


图 15 高强箍筋混凝土短柱典型剪切粘结破坏图

剪切粘结破坏典型的破坏现象是箍筋不能达到设计值,而主筋与混凝土的粘结强度达到了极限,试验表现为沿主筋方向产生较大裂缝,甚至保护层剥落,箍筋内混凝土被压坏,这种破坏与剪跨比、轴压比、配箍率、配筋率以及主筋直径、加载形式都有一定的关系。试验表明剪切粘结破坏承载力低于剪压破坏,因此如不考虑剪切粘结破坏,则会高估混凝土构件受剪承载力,使混凝土构件受剪处于不安全的状态。我国现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 采用了限制混凝土构件最大配筋率来保证不出现剪切粘结破坏,这种方法虽然简单,但考虑的因素较少,因此本规程尝试建立了剪切粘结计算公式。

本条是按桁架-拱模型建立的剪切粘结破坏计算公式,混凝土与钢筋的粘结强度目前没有解析解,公式(5.3.5-3)是根据中国建筑科学研究院的试验结果,并参考日本相关文献进行了修正。公

式(5.3.5-3)中系数 0.8 是考虑了一定的安全储备。

编制组所做试验中共有 13 个试件出现剪切粘结破坏,在不考虑式(5.3.5-3)的 0.8 系数安全储备的条件下,采用本规程计算公式的计算值与试验值比较,其计算平均值为 1.1597,均方差为 0.1426,变异系数为 0.1230,由图 16 可看出符合性是令人满意的。

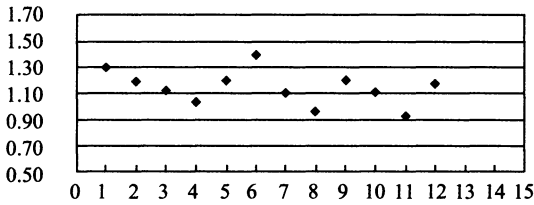


图 16 试验值与本规程计算值比较

5.3.6 框架梁、柱配置弯起钢筋的斜截面受剪承载力计算与国家现行有关标准保持一致。

5.3.7 在条文说明 5.3.3 中,已包含简支梁、伸臂梁的试验结果,采用桁架-拱模型的计算值与试验值符合性也较好,但仅有 16 个数据,试验验证数据偏少,暂按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 执行。

6 结构构件的基本规定

6.1 梁

6.1.1 对于直接承受动力荷载或位于高腐蚀环境下的梁由于缺乏试验研究,因此不建议使用。

6.1.2 本条规定比现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010中的规定放宽,主要考虑到当梁纵筋采用两种直径时,较大直径钢筋放在外侧,因此受压钢筋的约束仅考虑最外排配筋,内侧纵向受压钢筋考虑外侧混凝土及受压钢筋的约束。

当高强箍筋采用“一笔画”箍筋时,即沿杆件全长的箍筋只有两个端头,在箍筋制作过程中必须保证箍筋的最外侧形成封闭形状,箍筋的交叉重复段必须放置在梁顶或者梁底,应避免形成三肢箍状态。

最小配箍率计算与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010相同。

当采用螺旋箍抗扭时,应考虑其和裂缝的夹角对抗剪强度的影响。

6.2 柱

6.2.1 由于高强箍筋强度较高,从约束力的角度约束力满足等强的要求。

6.2.3 高强箍筋采用“一笔画”箍筋时,矩形截面箍筋的最外侧往往不能“封闭”,存在着“搭接”的现象。由于钢筋非直线搭接,当箍筋配置抗剪控制时,应采用单肢箍筋(拉筋)进行补强。

6.2.4 本条参考了现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50011的相关条文及节点的箍筋间距要求。

6.2.5 试验表明:在箍筋间距大于 80mm 时,钢筋的约束效果显著下降。当箍筋的间距小于 40mm 时,结构施工较为困难。当计算考虑间接钢筋作用提高承载力时,截面计算参数不应考虑钢筋保护层的作用,截面宜从约束钢筋内表面算起且箍筋肢距不应大于 200mm。当矩形截面不等边时, d_{cor} 应以短边计算,偏于安全,约束应力取最小的面约束应力,体积配箍率以最小面配箍率的 2 倍计算。

6.3 梁 柱 节 点

6.3.1 框架梁柱节点内应配置水平箍筋,其他配筋形式节点的延性较差。

6.3.3 考虑箍筋直径较小,对现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 要求进行缩减。

7 高强箍筋混凝土结构构件抗震设计

7.1 一般规定

7.1.1、7.1.2 虽然其他构件(如剪力墙边缘构件因采用高强箍筋)试验表明仍可提高其承载能力,但没有足够的试验数据给出定量的计算方法,故本规程建议应符合相关的规定。

7.2 梁柱斜截面承载力

7.2.1、7.2.2 混凝土构件受剪截面限制条件以及框架梁柱的内力调整与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 保持一致。

7.2.3 本条是考虑了地震作用组合的承载力验算。

7.2.4 抗震设计时,在大震下,混凝土抗压强度已发生退化,混凝土退化系数各国规范也有不同的表达方式,因为本规程的软化系数采用了日本的公式,因此混凝土强度退化系数也沿用了日本规程的表达式 $\delta = 1 - 15\theta_p$,本规程考虑构件产生的弹塑性转角为 $1/50$ 时的混凝土退化强度。

7.2.5 抗震设计时,在大震下,混凝土抗压强度已发生退化,钢筋与混凝土的粘结强度发生退化。试验所得往复荷载粘结强度与单次加载粘结强度之比为 0.86,本规程取为 0.8, $0.8 \times 0.8 = 0.64$,公式(7.2.5-3)中取为 0.65。

7.3 框架的基本抗震构造措施

7.3.1 采用高强箍筋的主要目的是为了约束混凝土,在地震作用下,特别是大变形时,利用高强箍筋不屈服的特性有效约束混凝土,从而增加混凝土构件的变形能力,试验表明采用连续复合箍

筋、复合螺旋箍筋或连续复合螺旋箍筋可更好地约束混凝土,因此作出了本条规定。

7.3.2 由于本规程规定材质钢筋的抗拉强度值较高,试验中发现在高配箍率构件达到极限承载力后箍筋应力一般达不到屈服强度标准值。当构件超过其承载力进入软化段后,高强箍筋应力增加较快,配箍率较少的试件高强箍筋屈服甚至拉断;而对配置普通强度箍筋的混凝土构件,当构件达到其承载力时,普通强度箍筋一般已达到屈服强度,构件承载力进入软化阶段后,箍筋对混凝土的约束能力不再增加,承载力快速下降,这是普通强度箍筋与高强度箍筋的较大区别之处。本规程设定约束计算时箍筋应力按 700MPa 取值,使构件的强度和延性均有保证。

7.3.4 本条指标参考钢筋强度等级 HRB500 级热轧钢筋确定,由于结构构件基本上属空间构件,框架梁或多或少承担部分扭矩。因此,规定的最小值不低于非抗震的抗扭构件的要求。为防止箍筋配置过少,本条规定了箍筋沿全长的最小配箍率。最小配箍率指标与 HRB500 级钢筋相同。

对于箍筋的最大间距,考虑约束混凝土只有当箍筋间距小于 80mm 时约束效果较好,抗震等级为四级时适当放松。构造设定时满足箍筋平均约束应力大于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中箍筋采用 500 级热轧钢筋时的平均约束应力的要求,以达到节材的目的。

本条及本规程 6.2.1 条关于箍筋最小直径的规定,参考了欧洲规范中的 $d_{bw} \geq 0.4d_{bl, \max} \sqrt{f_{ydl}/f_{ydw}}$ 公式,箍筋的最小直径约在 $(0.20 \sim 0.25)d$ 之间, d 为纵筋最大直径。鉴于本规程箍筋间距、肢距要求较小及四级抗震等级的延性要求较低,故规定箍筋最小值小于纵筋最大直径的 1/5。

7.3.5 控制高强箍筋的肢距小于普通强度箍筋的肢距,以使约束应力在平面方向比较均匀,有利于提高构件的延性和变形性能。

7.3.7 尽管在大震作用下柱的纵筋可能屈服,但较粗的纵筋有利

于配合箍筋提高对混凝土的约束作用。

7.3.8 高强箍筋混凝土柱端塑性铰区的延性取决于高强箍筋对混凝土的约束效果,主要与高强箍筋的间距、配箍率、配箍形式等影响因素有关。在现行有关标准规定的基础上,依据国内外试验研究结果,为保证高强箍筋对混凝土的约束效果和柱端塑性铰区的延性,防止纵向钢筋压屈和保证受剪承载力,本条提出了柱端高强箍筋加密区的构造要求。

7.3.9 大量的试验研究表明,受压构件的位移延性随轴压比的增大而减小,控制柱的设计轴压比是保证其具有必要延性的重要措施之一。在本规程编制过程中,西安建筑科技大学分两批共进行了13个高强箍筋约束混凝土柱的抗震试验及3个普通强度箍筋约束混凝土柱的对比试验;高强箍筋约束混凝土柱的试验轴压比均较高,试验轴压比为0.45~0.572,对应的设计轴压比约为0.72~0.92;混凝土采用C59.3~C88的高强混凝土;截面尺寸为300mm×300mm柱的纵向钢筋配筋率为2.98%,截面尺寸为250mm×250mm柱的纵向钢筋配筋率为2.36%,其他试验参数见表1和表2。荷载-位移滞回曲线如图17和图18所示。试验表明,高强箍筋对核心混凝土具有较好的约束效果,明显改善柱的位移延性性能,在相同的轴压比下,高强箍筋与普通强度箍筋约束混凝土柱的抗震性能相比,高强箍筋约束混凝土柱的抗震明显较好。这是由于当超过极限荷载后,随位移的逐渐增大,高强箍筋不会发生屈服,仍能继续增加对核心混凝土的约束。国内外其他高强箍筋约束混凝土柱的抗震试验也表明,高强箍筋约束混凝土柱的抗震性能明显得到改善和提高。

高强箍筋混凝土柱中,由于高强箍筋对混凝土的约束作用,提高了混凝土的轴心抗压强度,轴压比 n 的计算可按高强箍筋约束混凝土的轴心抗压强度 f_{cc} 进行计算。但考虑设计习惯,本规程轴压比 n 计算方法与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定一致,根据国内外试验结果及其对比分析,对高

强箍筋约束混凝土柱设计轴压比的上限值做适当提高,以间接反映高强箍筋对约束混凝土轴心抗压强度的提高。

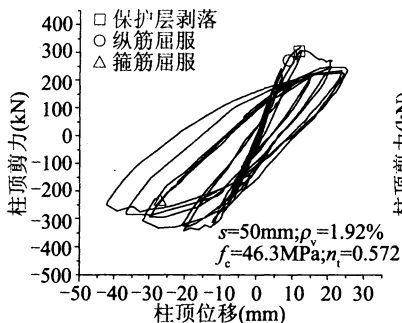
同时,为满足不同结构类型框架柱、框支柱在地震作用组合下的位移延性需求,本条规定了不同结构体系中框架柱设计轴压比的上限值。

表 1 高强箍筋约束混凝土柱抗震试验

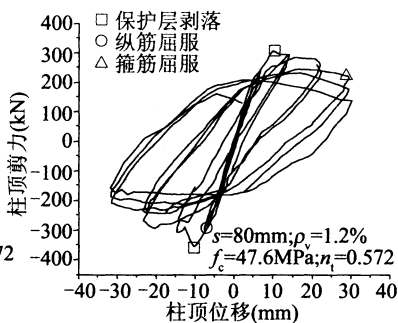
试件编号	截面尺寸 (mm)	$f_{cu,m}$ (MPa)	试验 轴压比 n	箍 筋					位移 延性	极限 位移角
				强度 (MPa)	型式	直径 (mm)	间距 (mm)	体积 配箍率 ρ_v		
HSC-S1-1	300×300	72.0	0.572	1120	八边 形复 合箍	6.5	50	1.92	4.93	1/33
HSC-S1-2		74.0	0.572	1120		6.5	80	1.20	3.11	1/66
HSC-S1-3		80.5	0.45	1120		6.5	50	1.92	4.66	1/37
HSC-S1-4		86.4	0.45	1120		6.5	80	1.20	3.33	1/41
HSC-S2-1		72.6	0.572	1120	井字 形复 合箍	6.5	50	2.48	6.72	1/34
HSC-S2-2		80.0	0.555	1120		6.5	80	1.55	4.70	1/44
HSC-S2-3		76.0	0.5	1120		6.5	50	2.48	4.23	1/40
HSC-S2-4		88.0	0.5	1120		6.5	80	1.55	3.26	1/47
HSSC-S3-1		76.2	0.5	1120	井字 螺旋 复合 箍筋	6.5	50	2.48	5.20	1/32
HSSC-S3-2		75.1	0.56	1120		6.5	50	2.48	5.36	1/41

表 2 高强箍筋与普通强度箍筋约束混凝土柱抗震试验

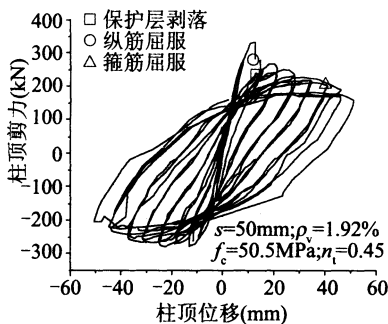
试件编号	截面尺寸 (mm)	$f_{cu,m}$ (MPa)	试验 轴压比 n	箍 筋					位移 延性	极限 位移角
				强度 (MPa)	型式	直径 (mm)	间距 (mm)	体积 配箍率 ρ_v		
YNC-1	250×250	59.3	0.5	400	井字 形复 合箍	8	100	1.83	2.86	1/54
YHC-1		59.3	0.5	1100		7	80	1.75	3.20	1/49
YNC-2		59.3	0.5	400		8	80	2.28	2.40	1/51
YHC-2		59.3	0.5	1100		7	60	2.33	3.35	1/41
YNC-3		59.3	0.5	400		6	60	1.71	3.17	1/47
YHC-3		59.3	0.5	1100		5	42	1.70	3.27	1/44



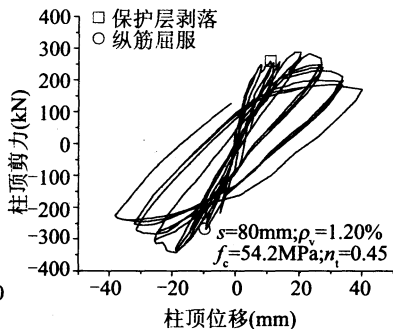
(a) 试件HSC-S1-1



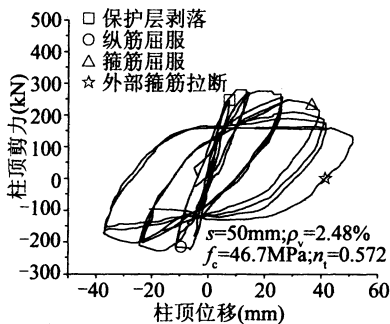
(b) 试件HSC-S1-2



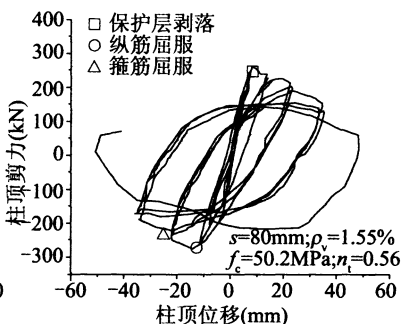
(c) 试件HSC-S1-3



(d) 试件HSC-S1-4



(e) 试件HSC-S2-1



(f) 试件HSC-S2-2

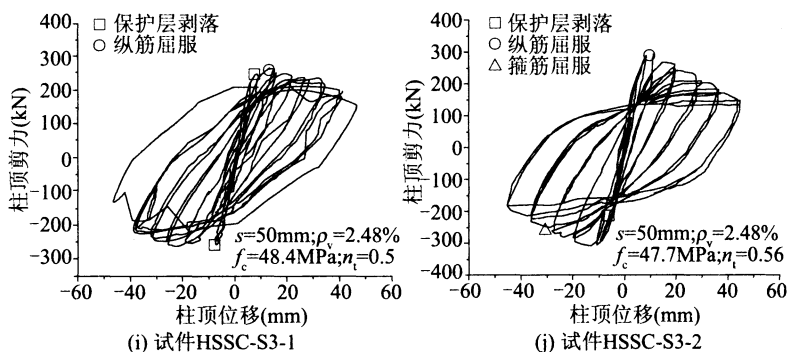
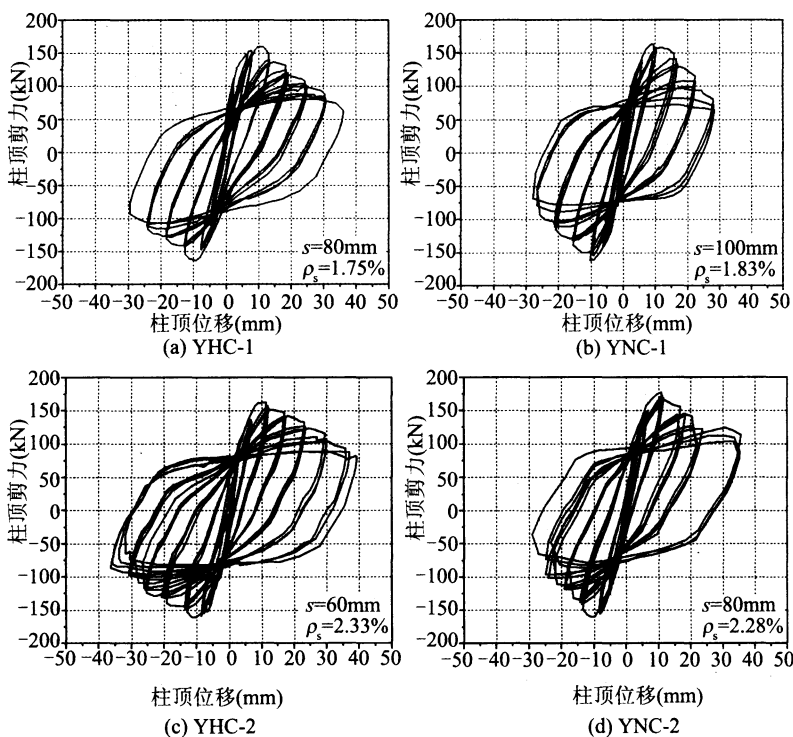


图 17 高强箍筋约束混凝土柱的荷载-位移滞回曲线



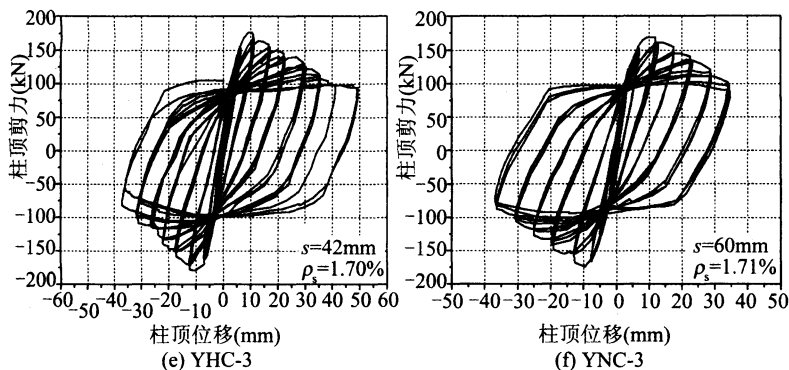


图 18 高强箍筋与普通强度箍筋约束混凝土柱的荷载-位移滞回曲线

7.3.10 在柱端箍筋加密区内配置一定数量的箍筋(用体积配箍率衡量)是使柱具有必要的延性和塑性变形能力的另一项重要措施。抗震等级越高,抗震性能的要求则相应提高,混凝土强度等级越高,需要更高的配箍率方能达到要求的延性,而箍筋强度越高,配箍率则可相应的降低。抗震设计时,先根据抗震等级及轴压比给出所需的柱端配箍特征值,然后计算所需的体积配箍率。

根据西安建筑科技大学及其他国内外所进行的高强箍筋约束混凝土柱的抗震试验分析,按位移延性系数不低于 3.0 的标准,取高强箍筋的抗拉强度设计值为 700MPa,经与我国现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中对于普通强度箍筋混凝土柱最小配箍特征值有关规定的对比分析,给出了柱端箍筋加密区的高强箍筋最小配箍特征值表 7.3.10,同时还规定了箍筋加密区高强箍筋体积配筋率的最小值。

表 7.3.10 与现行协会标准《约束混凝土柱组合梁框架结构技术规程》CECS 347 中的最小配箍特征值相协调,表中部分数据与《约束混凝土柱组合梁框架结构技术规程》CECS 347 不一致是因为《约束混凝土柱组合梁框架结构技术规程》CECS 347 计算最小体积配箍率时采用的箍筋强度为 800MPa 和 900MPa,按本规程中的最小配箍特征值计算得到的最小体积配箍率与《约束混凝土

柱组合梁框架结构技术规程》CECS 347 按 800MPa 计算时相当。

当剪跨比 $\lambda < 2$ 时,根据西安建筑科技大学及国外所进行的高强箍筋约束混凝土短柱的抗震性能试验结果,当箍筋对混凝土的平均约束应力 $\rho_{sv}f_{yv}$ 满足表 3 时,高强箍筋混凝土短柱具有较好的延性和耗能能力,可满足极限位移角为 1/50 的要求。参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对剪跨比 $\lambda < 2$ 的短柱的规定,本条规定仍沿用了体积配箍率的要求。设计时也可参考表 3 的规定,取高强箍筋的抗拉强度设计值为 700MPa,进行平均约束应力 $\rho_{sv}f_{yv}$ 的计算。

表 3 短柱高强箍筋加密区的最小平均约束应力(N/mm²)

抗震等级	轴压比				
	0.7	0.8	0.9	1.0	1.05
一级	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
二级	—	4.0	4.5	5.0	5.5
三级	—	—	4.0	4.5	5.0

7.3.11、7.3.12 参考现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定和本规程的相关条文要求,分别给出了高强箍筋框架节点核芯区箍筋的最大间距、最小直径、配箍特征值和箍筋体积配筋率等的最小取值。

8 高强箍筋施工及验收

8.1 高强箍筋加工

8.1.2 由于高强钢筋种类较多,且各种类型的高强钢筋性能差别较大,若高强钢筋的冷弯性能较差,高强箍筋加工时若仍按普通强度钢筋进行加工,可能会使高强钢筋折断。因此,要针对不同种类高强钢筋,给出箍筋的加工要求。

8.1.3 由于高强钢材弹性较大,在开卷时可能会弹开,为避免弹开时伤人,所以要求有必要的防护设施。

8.1.4 目前国内已研制开发了箍筋成型机械,除可生产单个箍筋外,还可生产连续箍筋,本条推荐使用箍筋机械自动成型机械,以降低劳动力生产成本,降低施工费用。

日本规范规定,箍筋加工时弯曲半径不小于 $4d$ (d 为箍筋直径),在试点工程中, $4d$ 基本能满足要求。考虑到目前我国工人的熟练程度,并参考现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的相关规定,本规程根据不同的钢筋直径适当放大,以更好的保证质量。

8.1.6、8.1.7 目前本规程中采用的高强钢材为高碳钢,焊接性能较差,接触电焊会将高强钢材击伤,从而大幅度降低高强钢材的性能,但目前正在研制的专门用于箍筋的混凝土高强箍筋,即“高频感应加热热处理钢筋”是可焊接材料。

8.2 高强箍筋施工

8.2.1 箍筋与主筋之间的焊接一般采用点焊点形式,这种焊接对母材损害较大,焊接部位的钢筋物理性能变化较大,特别是对高强钢材更甚,因此本规程对箍筋与主筋的固定不能采用焊接方式。

8.2.2、8.2.3 连续箍筋在分段时,为保证其连续性提出的要求。

8.3 高强箍筋验收

8.3.2 高强钢筋有冷加工状态和冷加工后的热处理状态两种交货方式,冷加工后的热处理状态交货的高强钢筋其塑性性能好于未进行热处理的高强钢筋。

8.3.5 普通钢筋一般不检弯曲性能,但高强钢筋一般弯曲性能较差,而箍筋在制作过程中弯曲性能是非常重要的,弯曲性能达不到要求,箍筋弯折处可能会出现裂纹等不良现象。

8.3.8 为了保证弯折处的质量,对高强箍筋弯折处加强检查。