

TU3/124-2

中国土木工程学会高强混凝土委员会

高强混凝土 结构设计 与施工指南

中国建筑工业出版社



高强混凝土结构设计与施工指南

中国土木工程学会
高强混凝土委员会

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书是中国土木工程学会高强混凝土委员会组织编写的一份技术条例文件,并附有详尽的说明。书中介绍高强混凝土结构的设计与施工方法,为在工业与民用建筑和一般构筑物中推广应用C50—C80级的高强混凝土提供了具体依据,弥补现行混凝土结构设计和施工规范中的空缺,可供土建部门的设计施工人员、有关专业的科研人员及大专院校师生参考应用。

高强混凝土结构设计 with 施工指南

中国土木工程学会高强混凝土委员会

*

中国建筑工业出版社 出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店 经销

北京市顺义县燕华印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 2 1/4 字数: 71千字

1994年10月第一版 1997年3月第二次印刷

印数: 10,201—15,200册

定价: 4.00元

ISBN7-112-02447-1

TU·1877 (7505)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

编写人员名单：

第一篇

陈肇元 庄崖屏 蔡绍怀 朱金铨

第二篇：

臧宣武 吴佩刚 冯乃谦 朱金铨

本书的附录部分由陈肇元编写。全书经朱金铨、陈肇元统一修订定稿。

编写说明

近来,用普通水泥、砂石材料和常规工艺配制且具有良好工作度的高强混凝土在发达国家得到迅速发展。高强混凝土的原料普遍、制作简单、成本低廉,可预拌运输和泵送,具有高强、早强、变形小、抗渗抗腐蚀性能优良等特点。高强混凝土能够大幅度提高工程结构和构件的承载能力,减少结构构件尺寸和自重,加快工程施工进度,还能经受恶劣的环境条件,所以有重大的经济效益。这种高性能的混凝土已被看成是最有发展前途的可供大宗应用的新一代结构材料。我国建设部已将C50到C80级高强混凝土列入“八五”期间重点推广的新技术项目之一。

为了及时并有效地推广应用现代高强混凝土技术,中国土木工程学会高强混凝土委员会在1992年召开的全体会议上,决定成立编写组并以学会的名义编制和发布高强混凝土结构设计施工的条例性技术文件,以弥补现行混凝土结构规范和规程的空缺和不足。

从七十年代末期开始,我国有许多研究机构、高等院校和施工单位在研究与应用高强混凝土上做了大量的工作,所积累的成果和经验为编制上述文件奠定了基础。“七五”期间建设部与国家自然科学基金委员会联合资助的重点科研项目——高强混凝土的结构性能、设计方法和施工工艺研究——取得了比较全面的成果。这一项目组的成员清华大学土木工程系、中国建筑工程总公司科技部、中国建筑科学研究院结构研究所和中建二局科研所曾联合起草过《高强混凝土结构设计建议》和《高强混凝土结构施工建议》二份资料,并在1992年6月由高强混凝土委员会组织发起的全国第一届高强混凝土及其应用学术讨论会上发给与会的百余名代表,广泛征集意见,并进行了专题讨论。我们学会编写组充分

参考了这二份资料与讨论意见，并认真搜集和比较分析了国内外的有关数据与设计文件，编制了《高强混凝土结构设计指南》、《高强混凝土结构施工指南》及相应的说明材料。

“指南”及其说明的初稿于1993年初寄给高强混凝土委员会全体成员进行审查。他们都是国内这一领域从事研究、设计或施工方面的专家。1993年4月，中国土木工程学会高强混凝土委员会在北京召开了“指南”修改稿的审查会议，邀请了国内进行高强混凝土结构研究、设计和施工的权威部门以及混凝土结构设计施工标准的主管部门的有关专家参加，进一步接受各方面的审议。“指南”的初稿和修改稿还先后在建设部科技发展司、中国土木工程学会、陕西省土建学会、广东省土建学会等分别举办的高强混凝土研讨班上交流和搜集意见。“指南”是通过充分讨论、审议并反复修改补充后定稿的。

由中国土木工程学会高强混凝土委员会编制的本“指南”并不是法定文件，也不能代表或反映现行《混凝土结构设计规范》和《混凝土结构工程施工及验收规范》编写负责人员的见解。单独编制一本高强混凝土结构的设计和施工验收规范似乎也不尽适宜，它应该纳入混凝土结构的设计和施工验收规范之中。所以这里提出的《高强混凝土结构设计指南》(HSCC 93-1)和《高强混凝土结构施工指南》(HSCC 93-2)只是对现行规范的补充，为设计施工人员提供科学的依据。我们期望通过“指南”编写人员的专业水准与审查人员的权威性，以及在编写过程中所持的科学与审慎态度，取得读者对使用这一技术文件的信任。

《高强混凝土结构设计指南》(HSCC 93-1)只与现行《混凝土结构设计规范》(GBJ 10-89)相配合，仅适用于采用C50到C80高强混凝土的工业民用房屋和一般构筑物。至于公路钢筋混凝土桥涵设计中如何应用高强混凝土，我们已与相应设计规范的主编单位——交通部公路规划设计研究院联系，准备另行编制公路桥涵高强混凝土结构设计指南。对于港口工程，现行的港工混凝土结构设计规范(JTJ220-87)正在修订中，并已将混凝土强度等

级拓宽到 C80，其中 C50—C80 高强混凝土结构的设计方法已由我们提供，其主要的修改和补充原则，与这里发表的“指南”中所采用的相同。

我们热诚希望读者在使用本“指南”的过程中，将有关的意见和问题告诉我们。

中国土木工程学会

高强混凝土委员会

主任委员 陈肇元（清华大学）

蔡绍怀（中国建筑科学研究院）

张 琳（铁道部科学研究院）

沈荣熹（中国建筑材料科学研究院）

庄崖屏（清华大学）

目 录

编写说明

第一篇 高强混凝土结构设计指南 (HSCC93-1)	1
第一章 总则	1
第二章 材料	2
第三章 基本设计规定	3
第四章 承载能力极限状态计算	4
第五章 正常使用极限状态验算	12
第六章 构造规定	12
第七章 结构构件的规定	14
第八章 钢筋混凝土结构构件抗震设计	15
第二篇 高强混凝土结构施工指南 (HSCC93-2)	18
第一章 总则	18
第二章 混凝土原材料	18
第三章 混凝土配合比	20
第四章 混凝土拌制	21
第五章 混凝土运输与浇筑	22
第六章 混凝土泵送施工	23
第七章 混凝土养护	25
第八章 质量检查	25
附录 1 高强混凝土结构设计指南的说明	27
附录 2 高强混凝土在建筑工程中的应用	56
参考文献	78

第一篇

高强混凝土结构设计指南

(HSCC 93-1)

第一章 总 则

第 1.1 条 为推广应用现代高强混凝土技术, 在高强混凝土结构设计中做到技术先进、经济合理、保证安全, 特编订本指南, 供设计人员使用。

第 1.2 条 本指南适用于工业与民用房屋和一般构筑物的钢筋混凝土以及预应力混凝土承重结构的设计, 其中的混凝土为用水泥、砂石原料和常规工艺配制的 C50—C80 级高强混凝土, 主要指采用高效减水剂和外加粉煤灰、F 矿粉、矿渣、或硅灰等掺合料后获得高强度的混凝土。

第 1.3 条 本指南依据国家标准《建筑结构设计统一标准》GBJ68—84 规定的原则进行编订。符号计量单位和基本术语按照国家标准《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》GBJ83—85 的规定采用。

第 1.4 条 本指南参照《混凝土结构设计规范》GBJ10—89 进行编写, 针对高强混凝土的特点, 仅列出 GBJ10—89 规范 (以下简称规范) 条文推广用于高强混凝土时需要补充和宜加修正的部分。除本指南已作规定者外, 规范条文的其它部分内容在进行高强混凝土结构设计时, 必须同样予以遵循。本指南在引用规范公式或规定并将其用于高强混凝土结构计算时, 其中的混凝土强

度指标应改用本指南规定的数值。

第二章 材 料

第 2.1 条 高强混凝土强度标准值应按表 2.1 采用。

高强混凝土强度标准值 (N/mm²) 表 2.1

强度种类	符号	强 度 等 级						
		C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
轴心抗压	f_{ck}	32.0	35.0	38.0	41.0	44.5	47.5	50.5
抗 拉	f_{tk}	2.75	2.85	2.95	3.10	3.25	3.35	3.45

第 2.2 条 高强混凝土强度设计值应按表 2.2 采用。高强混凝土的弯曲抗压强度等于轴心抗压强度。

高强混凝土强度设计值 (N/mm²) 表 2.2

强度种类	符号	强 度 等 级						
		C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
轴心抗压	f_c	23.5	26.0	28.0	30.5	33.0	35.0	37.5
抗 拉	f_t	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.45	2.55

注：1. 计算现浇钢筋混凝土轴心受压及偏心受压构件时，如截面的长边或直径小于 300mm，则表中强度设计值应乘以系数 0.8。

2. 离心混凝土的强度设计值另行规定。

第 2.3 条 高强混凝土受压或受拉时的弹性模量 E_c 应按表 2.3 采用。

高强混凝土弹性模量 E_c (N/mm²) 表 2.3

强度等级	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
弹性模量	3.45×10^4	3.55×10^4	3.60×10^4	3.65×10^4	3.75×10^4	3.80×10^4	3.90×10^4

注：1. 高强混凝土弹性模量与所用粗骨料种类、砂率及引气剂有很大关系，重要工程宜根据实测并按实测平均值的 0.95 倍取用。

2. 对采用引气剂及较高砂率的泵送混凝土且无实测数据时，表中 E_c 值应乘折减系数 0.90~0.95。

第 2.4 条 高强混凝土疲劳强度设计值应按表 2.2 的强度设计值乘以相应的疲劳强度修正系数 γ_f 确定, 并取 γ_f 与普通强度混凝土中相同。对于经常遭受潮湿的构件, γ_f 应乘折减系数 0.8。高强混凝土的疲劳变形模量 E_f 取为表 2.3 弹性模量 E_c 的 0.47 倍。

第 2.5 条 高强混凝土剪变模量 G_c 可按表 2.3 混凝土弹性模量 E_c 的 0.4 倍采用; 线膨胀系数和泊松比取与普通强度混凝土相同。

第三章 基本设计规定

第 3.1 条 高强混凝土结构的基本设计规定应遵循规范有关章节的要求。但高强混凝土承重结构应配筋使用, 对于重要工程中的条形构件, 其主要受力部位宜设计成约束混凝土; 此外在高强混凝土结构的变形计算中, 并可考虑高强混凝土材料徐变系数较小等有利作用; 在施加预应力时, 经计算确定的混凝土立方块强度也可低于设计的混凝土强度等级的 75%。

第 3.2 条 高强混凝土超静定结构构件的内力计算, 可按普通强度混凝土一样考虑由非弹性变形所产生的塑性内力重分布, 并可参照有关专门规程的要求, 但最大弯矩截面的压区混凝土相对计算高度的上限值应低于普通强度混凝土中的规定数值, 可取为后者乘折减系数 $\beta/0.8$, β 值按表 4.1 确定。

第 3.3 条 预应力构件因混凝土收缩、徐变引起的预应力损失当按规范公式计算时, 式中的常数 220 可乘折减系数 α_c , $\alpha_c =$

$\sqrt{\frac{23.5}{f_c}}$, 此处 f_c 为混凝土抗压强度设计值并按表 2.2 取用。

第四章 承载力极限状态计算

正截面承载力计算

第 4.1 条 正截面承载力按下列基本假定进行计算:

一、截面应变保持平面;

二、不考虑混凝土抗拉强度;

三、对于一般的矩形、T 形、I 形、环形和圆形截面均可将受压区混凝土的应力图形简化为等效矩形, 其高度 x 可取等于按平面截面假定的中和轴高度乘以表 4.1 所示的系数 β , 矩形应力图的应力取与轴心抗压强度 f_c 相等, 非均匀受压时的混凝土极限应变 ϵ_{cu} 对 C50 到 C80 混凝土均取 0.003。

四、钢筋应力取等于钢筋应变与其弹性模量的乘积, 但不大于其强度设计值。受拉钢筋极限拉应变取 0.01。

混凝土强度等级与 β 的关系

表 4.1

混凝土强度等级	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
β 值	0.80	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65

第 4.2 条 受拉钢筋和受压区混凝土同时达到其强度设计值时的相对界限受压区高度 ξ_b 应按下式计算

一、对有屈服点的热轧钢筋和冷拉钢筋

$$\xi_b = \frac{\beta}{1 + \frac{f_s - \sigma_{p0}}{0.003E_s}} \quad (4.1)$$

二、对无屈服点的热处理钢筋、钢丝和钢绞线

$$\xi_b = \frac{\beta}{1.67 + \frac{f_s - \sigma_{p0}}{0.003E_s}} \quad (4.2)$$

式中 ξ_b ——相对界限受压区高度, $\xi_b = \frac{x_b}{h_0}$;

h_0 ——截面的有效高度;

x_b ——界限受压区高度；

f_s ——纵向钢筋的抗拉强度设计值，对普通钢筋取 $f_s = f_y$ ，对预应力钢筋取 $f_s = f_{py}$ ； f_y 、 f_{py} 值应按规范规定取用；

E_s ——钢筋弹性模量；

σ_{p0} ——受拉区纵向预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋中的应力。

注：在截面受拉区内配置有不同种类或不同预应力值的钢筋的受弯构件，其相对界限受压区高度应分别计算，并取其较小值。

第 4.3 条 钢筋应力可根据截面应变保持平面的假定计算：
对普通钢筋

$$\sigma_{si} = E_s \epsilon_{cu} \left(\frac{\beta}{x/h_{0i}} - 1 \right) \quad (4.3)$$

对预应力钢筋

$$\sigma_{pi} = E_s \epsilon_{cu} \left(\frac{\beta}{x/h_{0i}} - 1 \right) + \sigma_{poi} \quad (4.4)$$

此时，钢筋应力应符合下列条件：

$$-f'_y \leq \sigma_{si} \leq f_y \quad (4.5)$$

当 σ_{si} 为拉应力且其值大于 f_y 时取 $\sigma_{si} = f_y$ ；当 σ_{si} 为压应力且其绝对值大于 f'_y 时取 $\sigma_{si} = -f'_y$ 。

$$\sigma_{poi} - f'_{py} \leq \sigma_{pi} \leq f_{py} \quad (4.6)$$

当 σ_{pi} 为拉应力且其值大于 f_{py} 时取 $\sigma_{pi} = f_{py}$ ，当 σ_{pi} 为压应力且其绝对值大于 $(\sigma_{poi} - f'_{py})$ 的绝对值时，取 $\sigma_{pi} = \sigma_{poi} - f'_{py}$

式中 h_{0i} ——第 i 层纵向钢筋截面重心至混凝土受压区边缘的距离；

x ——混凝土受压区等效矩形应力图的高度；

σ_{si} 、 σ_{pi} ——第 i 层纵向的普通钢筋、预应力钢筋的应力，正值代表拉应力，负值代表压应力。

f_y 、 f_{py} ——纵向的普通钢筋、预应力钢筋的抗压强度设计值，按规范规定取用；

σ_{poi} ——第 i 层纵向预应力钢筋截面重心处混凝土法向应力

等于零时预应力钢筋的应力,按规范规定的算式确定;

ϵ_{cu} ——非均匀受压时混凝土极限应变,对高强混凝土取 0.003。

注:高强混凝土正截面承载力计算时的钢筋应力不宜采用规范中的近似公式确定。

第 4.4 条 当用规范公式计算正截面受弯承载力时,应取混凝土弯曲抗压强度设计值 $f_{cm} = f_c$, 并按本指南的公式 (4.1) 和 (4.2) 计算相对界限受压区高度 ξ_b ; 此外,对于 T 形、I 形和倒 L 形截面,受压翼缘的计算值应按规范确定的数值予以折减,对 C50 到 C65 混凝土截面乘折减系数 0.95,对 C70 到 C80 混凝土截面乘折减系数 0.9。

第 4.5 条 当用规范公式计算配置螺旋式或焊接环式间接钢筋的轴心受压构件时,式中考虑间接钢筋对承载力影响的 $2f_y A_{ss0}$ 项应修改为 $\alpha f_y A_{ss0}$,其中 α 为与混凝土强度等级有关的系数,对 C50 混凝土取 α 等于 2.0,对 C80 混凝土取 α 等于 1.7,对 C50 和 C80 之间的混凝土可按直线内插法确定 α 值。

第 4.6 条 当用规范公式计算偏压构件的正截面承载力时,除应满足第 4.4 条对受弯截面所作的有关规定外,应取附加偏心距 $e_a = 0$,此时只考虑长细比对偏心距的影响。偏压构件中的纵向钢筋应力应按本章 (4.3) 式、(4.4) 式确定。

注:1. 在计算矩形截面对称配筋小偏心受压构件的钢筋截面积时,所用的截面对受压区高度应按本章第 4.1 条到 4.3 条的规定确定,不宜采用规范中的近似计算公式。

2. 对于沿截面腹部均匀配置纵向钢筋的矩形、T 形或 I 形截面偏心受压构件,可用规范的近似公式(其中 f_{cm} 应取 f_c , e_a 应取零)初步确定钢筋面积,但最后应按本章第 4.1 条到第 4.3 条的规定作强度校核。

3. 对于沿周边均匀配置纵向钢筋的环形和圆形截面偏心受压构件,可用规范的近似公式(其中 f_{cm} 应取为 f_c , e_a 应取零)进行正截面强度设计和校核。但当配有 III 级以上钢筋时,应按本章第 4.1 条到第 4.3 条的规定进行强度校核。

第 4.7 条 对截面具有两个互相垂直的对称轴的双向偏心受压构件,其正截面承载力可按规范公式计算。这时式中的 N_{ux} 和

N_{uy} 值应按本章第 4.6 条的规定算出。

第 4.8 条 当用规范公式计算大偏心受拉构件的正截面承载力时, 式中的混凝土弯曲抗压强度设计值 f_{cm} 应取为 f_c 。

第 4.9 条 钢管混凝土受压构件的正截面承载力应按下式计算

$$N \leq \varphi_1 \varphi_e (f_c A_{cor} + \alpha f_y A_s) \quad (4.7)$$

当 $l_e/D > 4$ 时,

$$\varphi_1 = 1 - 0.115 \sqrt{l_e/D - 4} \quad (4.8)$$

当 $l_e/D \leq 4$ 时,

$$\varphi_1 = 1 \quad (4.9)$$

当 $e_0/r_c \leq 1.55$ 时,

$$\varphi_e = \frac{1}{1 + 1.85 \frac{e_0}{r_c}} \quad (4.10)$$

当 $e_0/r_c > 1.55$ 时,

$$\varphi_e = \frac{0.4}{\left(\frac{e_0}{r_c}\right)} \quad (4.11)$$

式中 N ——轴向力设计值;

φ_1 ——考虑长细比影响的承载力折减系数;

φ_e ——考虑偏心率影响的承载力折减系数;

l_e ——构件的等效计算长度, 与构件的端部约束条件和弯矩分布图有关, 按中国工程建设标准化协会标准《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS28:90) 的有关规定确定;

D ——钢管混凝土构件的外径;

r_c ——核芯混凝土的半径;

e_0 ——偏心距, $e_0 = M_2/N$, M_2 为构件端弯矩设计值之较大者;

A_{cor} ——核芯混凝土面积;

α ——与混凝土强度等级有关的系数, 按第 4.5 条规定取用;

f_y ——钢管材料的抗拉强度设计值,按照规程 CECS28:90 有关条文取用;

A_s ——钢管的横截面积。

在任何情况下均应满足下列条件:

$$\varphi_1 \varphi_e \leq \varphi_0 \quad (4.12)$$

式中 φ_0 ——按轴心受压柱考虑的 φ 值。

斜截面承载力计算

第 4.10 条 矩形、T 形和 I 形截面的受弯构件,其受剪截面应符合下列条件:

$$\text{当 } \frac{h_w}{b} \leq 4 \text{ 时, } V \leq 0.25 f_c \alpha_c b h_0 \quad (4.13)$$

$$\text{当 } \frac{h_w}{b} \geq 6 \text{ 时, } V \leq 0.2 f_c \alpha_c b h_0 \quad (4.14)$$

当 $4 < \frac{h_w}{b} < 6$ 时,按直线内插法取用。

式中 V ——剪力设计值;

b ——矩形截面的宽度,T 形或 I 形截面的腹板宽度;

h_w ——截面的腹板高度;矩形截面取有效高度 h_0 ,T 形截面取有效高度减去翼缘高度,I 形截面取腹板净高。

α_c ——考虑混凝土强度提高的折减系数, $\alpha_c = \sqrt{\frac{23.5}{f_c}}$,或按表 4.2 取用。

考虑混凝土强度提高的折减系数

表 4.2

强度等级	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
α_c	1.0	0.95	0.92	0.88	0.84	0.82	0.79

第 4.11 条 矩形、T 形和 I 形截面的一般受弯构件,当仅配有箍筋时,其斜截面的受剪承载力应按下列公式计算,斜截面的计算位置按规范有关条文确定:

$$V \leq V_{cs} + V_p \quad (4.15)$$

$$V_{cs} = 0.07 f_c a_c a_1 a_h b h_0 + 1.5 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (4.16)$$

$$V_p = 0.05N_{po} \quad (4.17)$$

式中 V ——构件斜截面上的最大剪力设计值；

V_{cs} ——构件斜截面上混凝土和箍筋受剪承载力设计值；

V_p ——由预应力所提高的构件受剪承载力设计值；

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积， $A_{sv} = nA_{sv1}$ ，其中 n 为同一个截面内箍筋的肢数， A_{sv1} 为单肢箍筋的截面面积；

s ——沿构件长度方向上箍筋的间距；

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值，按规范规定的数值采用，但取值上限为 340N/mm^2 。

N_{po} ——计算截面上混凝土法向预应力等于零时的预应力钢筋及非预应力钢筋的合力，按规范规定计算；当 $N_{po} > 0.3f_cA_0$ 时，取 $N_{po} = 0.3f_cA_0$ ，其中 A_0 为构件的换算截面面积；

α_1 ——考虑广义剪跨比的折减系数，近似取为构件跨高比 l/h 的函数，具体见表 4.3；

α_h ——考虑截面高度 h 的折减系数，取 $\alpha_h = (\frac{800}{h})^{\frac{1}{4}}$ ，其中 h 单位为 mm。当 $h \leq 800\text{mm}$ ，取 $\alpha_h = 1$ 。

对集中荷载作用下的矩形截面独立梁（包括作用有多种荷载、且其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力值的 75% 以上的情况），当按公式（4.15）计算时，应将公式（4.16）改为下列公式

$$V_{cs} = \frac{0.2}{\lambda + 1.5} f_c \alpha_c \alpha_h b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (4.18)$$

式中 λ ——计算截面的剪跨比，可取 $\lambda = \frac{a}{h_0}$ ， a 为计算截面至支座截面或节点边缘的距离，计算截面取集中荷载作用点处截面；当 $\lambda < 1.4$ 时取 $\lambda = 1.4$ ，当 $\lambda > 3$ 时取 $\lambda = 3$ ；计算截面至支座之间的箍筋应均匀配置。

注：对于板式构件的斜截面受剪承载力计算，取公式（4.16）和（4.18）中的折减系数 α_1 和 α_h 为 1。