

# 混凝土结构加固设计规范 算例



HUNNINGTU

JIEGOUJIAGU  
SHEJIGUIFANSUANLI

卜良桃 周靖 叶蓁 编著

中国建筑工业出版社

# 混凝土结构加固设计规范算例

卜良桃 周 靖 叶 蓁 编著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构加固设计规范算例/卜良桃等编著. —北京:

中国建筑工业出版社, 2007

ISBN 978-7-112-09745-6

I. 混… II. 卜… III. 混凝土结构—加固—结构设计—建筑规范 IV. TU37-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 175261 号

本书系主要根据《混凝土结构加固设计规范》GB 50367—2006 编写的算例, 全书分为 9 章, 分别介绍了增大截面加固法、置换混凝土加固法、外加预应力加固法、外粘型钢加固法、粘贴纤维复合材料加固法、粘贴钢板加固法、增设支点加固法、植筋技术等 8 种加固技术的专项设计算例, 最后为综合加固设计算例。书中算例均来自于实际工程, 力求通过算例的分析计算使规范内容具体化、形象化, 方便读者对规范的学习和理解。

本书内容全面, 其目的就是为了帮助广大读者熟悉和应用新规范。本书可供工程结构加固的设计人员、施工人员、研究人员学习参考, 也可供高校土建专业师生阅读。

\* \* \*

责任编辑: 范业庶

责任设计: 董建平

责任校对: 王雪竹 张虹

## 混凝土结构加固设计规范算例

卜良桃 周靖 叶 蓁 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11 $\frac{1}{4}$  字数: 281 千字

2008 年 2 月第一版 2008 年 2 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 26.00 元

ISBN 978-7-112-09745-6

(16409)

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)

# 前 言

根据建设部建标 [1999] 308 号文件要求,由四川省建筑科学研究院会同同济大学、西南交通大学、福州大学、湖南大学等 23 家单位 29 位专家组成修订组,对原推荐性标准《混凝土结构加固技术规范》CECS 25:90 进行了全面修订和补充完善。建设部于 2006 年 6 月 19 日以 [2006] 年第 440 号文“关于发布国家标准《混凝土结构加固设计规范》的公告”批准公布,通知规定新标准编号为 GB 50367—2006,自 2006 年 11 月 1 日起施行。

《混凝土结构加固设计规范》GB 50367—2006 主要内容有:混凝土结构加固设计的基本规定、材料、增大截面加固法、置换混凝土加固法、外加预应力加固法、外粘型钢加固法、粘贴纤维复合材料加固法、粘贴钢板加固法、增设支点加固法、绕丝加固法、钢丝绳网片—聚合物砂浆外加固法等的设计、计算与构造规定以及有关的附录。此外,还有与各种加固方法配套使用的植筋技术、锚栓技术、混凝土裂缝修补技术和钢筋阻锈技术等。

世界上各先进国家每隔一段时间全面修订规范,为在其本国内设计中贯彻新规范,也均纷纷出版设计实例或算例。本书编写目的就是协助加固设计人员在具体的加固设计中贯彻应用新规范,使得该规范的发布能够更好地为建筑结构加固领域从业人员服务,从而促进建筑加固改造行业又好又快发展。本算例全文分为九章,以规范中的八种常用的加固方法为依据,结合编者在规范试设计中选用的设计算例和典型工程实例,每一章突出一种方法的设计,一目了然。

本算例由卜良桃、周靖、叶葵编著,胡尚瑜、罗新华、郭曙、黎红兵、彭超、全月、于丽分别参加了各章的起草,高伟、岳锋校对了书稿。卜良桃为本规范编制组成员,从事建筑结构加固方面的设计、施工和研究工作多年,具有丰富的工程经验。当然,书中不妥与疏漏之处在所难免,敬请读者拨冗指正。同时书中有些实例是编者所在单位的工程经验,并未包括在规范内容中,仅供读者参考借鉴。

编制一本规范的工作量非常大,经过初稿、征求意见稿、送审稿、报批稿以及试设计、征求意见、审查会、校对、总校对、专题讨论,层层把关,其成果是参与编制的 23 家单位 29 位专家花 7 年多心血,通力合作的共同结晶。因此,本书利用了新规范的集体成果,在此,谨向规范编制组各位专家致以衷心的感谢!

# 目 录

<b>第 1 章 增大截面加固法</b> .....	1
1.1 增大截面加固设计理论 .....	1
1.1.1 受弯构件正截面加固设计 .....	1
1.1.2 受弯构件斜截面加固设计 .....	3
1.1.3 受压构件正截面加固设计 .....	4
1.1.4 增大截面加固构造规定 .....	6
1.2 加固设计算例 .....	8
1.2.1 框架梁增大截面加固算例 .....	8
1.2.2 某砖混结构楼盖 T 形截面梁加固算例 .....	11
1.2.3 楼板增大截面加固算例 .....	12
1.2.4 综合楼框架梁加固算例 .....	13
1.2.5 框架梁斜截面加固算例 .....	16
1.2.6 某框架结构办公楼加层改造柱加固算例 .....	18
1.2.7 加固工程综合实例 .....	23
<b>第 2 章 置换混凝土加固法</b> .....	28
2.1 轴心受压构件置换加固设计 .....	28
2.1.1 加固设计基本方法 .....	28
2.1.2 加固设计算例 .....	29
2.2 偏心受压构件置换加固设计 .....	31
2.2.1 加固设计基本方法 .....	31
2.2.2 加固设计算例 .....	32
2.3 受弯构件置换加固设计 .....	35
2.3.1 加固设计基本方法 .....	35
2.3.2 加固设计算例 .....	35
2.4 置换混凝土加固法构造设计 .....	40
<b>第 3 章 外加预应力加固法</b> .....	41
3.1 预应力加固设计方法 .....	41
3.1.1 钢筋混凝土梁加固 .....	41
3.1.2 钢筋混凝土桁架加固 .....	43
3.1.3 钢筋混凝土轴心受压柱加固 .....	44
3.1.4 钢筋混凝土偏心受压柱加固 .....	45
3.2 预应力加固设计算例 .....	46
3.2.1 算例 3-1 .....	46

3.2.2 算例 3-2 .....	47
3.2.3 算例 3-3 .....	50
3.2.4 算例 3-4 .....	51
3.2.5 算例 3-5 .....	53
3.2.6 算例 3-6 .....	54
3.2.7 算例 3-7 .....	56
3.2.8 算例 3-8 .....	59
<b>第 4 章 外粘型钢加固法 .....</b>	<b>62</b>
4.1 轴心受压构件正截面加固计算 .....	62
4.1.1 加固设计基本方法 .....	62
4.1.2 加固设计算例 .....	63
4.2 偏心受压构件正截面加固计算 .....	68
4.2.1 加固设计基本方法 .....	68
4.2.2 算例 4-3 .....	69
4.3 受弯构件正截面加固计算 .....	72
4.3.1 加固设计基本方法 .....	72
4.3.2 算例 4-4 .....	74
4.4 受弯构件斜截面加固计算 .....	76
4.4.1 加固设计基本方法 .....	76
4.4.2 算例 4-5 .....	76
<b>第 5 章 粘贴纤维增强复合材加固法 .....</b>	<b>79</b>
5.1 粘贴纤维增强复合材加固设计方法 .....	79
5.1.1 受弯构件正截面加固计算 .....	79
5.1.2 受弯构件斜截面加固计算 .....	82
5.1.3 受压构件正截面加固计算 .....	84
5.1.4 受压构件斜截面加固计算 .....	85
5.1.5 大偏心受压构件加固计算 .....	86
5.1.6 受拉构件正截面加固计算 .....	87
5.1.7 提高柱的延性的加固计算 .....	88
5.1.8 构造设计 .....	88
5.2 加固设计算例 .....	92
5.2.1 受弯构件正截面加固算例 .....	92
5.2.2 受弯构件斜截面加固算例 .....	100
5.2.3 受压构件正截面加固算例 .....	101
5.2.4 受压构件斜截面加固算例 .....	102
5.2.5 柱的抗震延性加固算例 .....	102
<b>第 6 章 粘贴钢板加固计算 .....</b>	<b>104</b>
6.1 受弯构件正截面加固计算方法 .....	104

## 6 目 录

6.2	受弯构件斜截面加固计算方法	106
6.3	大偏心受压构件正截面加固计算方法	107
6.4	受拉构件正截面加固计算	108
6.5	构造设计	108
6.6	加固设计算例	110
6.6.1	受弯构件正截面加固设计	110
6.6.2	受弯构件斜截面加固计算	117
<b>第7章</b>	<b>增设支点加固法</b>	<b>119</b>
7.1	增设支点加固法基本步骤	119
7.2	增设支点加固设计算例	119
7.2.1	框架梁增设一个支点加固计算	119
7.2.2	框架梁增设二个支点加固计算	125
7.2.3	悬挑梁增设支点加固计算	130
7.3	梁、柱及砖墙托换加固计算	136
7.3.1	算例 7-8	136
7.3.2	算例 7-9	141
7.3.3	算例 7-10	146
<b>第8章</b>	<b>植筋技术</b>	<b>150</b>
8.1	植筋锚固设计基本方法	150
8.2	植筋技术设计算例	151
8.2.1	新增一般梁与原柱的连接	151
8.2.2	新增悬挑梁与原柱的连接	153
8.2.3	减小梁高度后新增纵筋与原结构的连接	153
8.2.4	非地震区加大截面梁纵筋与原结构的连接	154
8.2.5	地震区加大截面梁纵筋与原结构的连接	155
8.2.6	加大截面柱纵筋与原结构的连接	157
<b>第9章</b>	<b>混凝土结构加固设计综合算例</b>	<b>160</b>
9.1	工程概况	160
9.1.1	原结构设计概况	160
9.1.2	检测评定结果	160
9.1.3	加固设计要求	160
9.2	加固设计依据及计算基本条件	162
9.2.1	所依据的国家规范	162
9.2.2	结构计算的基本条件	162
9.2.3	荷载标准值的确定方法	162
9.2.4	加固设计计算原则	162
9.3	框架结构加固设计	162
9.3.1	加层、加固设计的基本思路	162
9.3.2	框架柱加固设计	163
9.3.3	框架梁加固设计	170

# 第1章 增大截面加固法

增大截面加固法，也称为外包混凝土加固法，它通过增大构件的截面和配筋，来提高构件的承载力、刚度、稳定性和抗裂性。该方法施工工艺简单，适用面广，可广泛用于梁、板、柱、墙、基础、屋架等混凝土构件的加固。根据构件受力特点和加固目的、构件几何尺寸、便于施工等要求可设计为单侧、双侧或三侧的加固和四面包套的加固。例如梁常用上、下侧加固层加固，中心受压柱常用四面外包加固，偏心受压柱常用单侧或者双侧加厚层加固。根据不同的加固要求，此法又可分为加大断面为主的加固和加配钢筋为主的加固，或者两者兼备的加固。加大断面为主的加固，为了保证补加的混凝土正常工作，亦需适当配置构造钢筋；加配钢筋为主的加固，为了保证配筋的正常工作，需按钢筋的间距和保护层等构造要求适当增大截面尺寸。加固中应将新旧钢筋加以焊接，做好新旧混凝土的结合。增大截面加固法的混凝土一般为普通的混凝土，强度等级不低于C20。当加厚层较薄，钢筋较密时，可用细石混凝土，在条件许可的情况下还可采用钢纤维混凝土加固。配置的钢筋除普通钢筋外，还可采用型钢和钢板等。

增大截面法的技术特点是，在设计构造方面必须注意解决好新加部分与原有部分的整体工作、共同受力问题。加固结构在受力过程中，结合面会出现拉压弯剪等各种复杂应力，其中主要是拉力和剪力。在弹性阶段，结合面的剪应力和法向拉应力主要是靠结合面两边新旧混凝土上的粘结强度承担；开裂后至极限状态，则主要是通过贯穿结合面的锚固钢筋或锚固螺栓所产生的被动剪切摩擦力传递。

这种方法要求的现场湿作业工作量大，养护时间较长，对生产和生活有一定影响，而且构件的截面增大后对结构的外观和房屋净空也有一定影响，故在采用时应考虑其局限性及使用效果。

## 1.1 增大截面加固设计理论

### 1.1.1 受弯构件正截面加固设计

采用增大截面法加固受弯构件时，应根据原结构构造和受力的实际情况，选用在受压区或者受拉区增设现浇钢筋混凝土外加层的加固方式。当仅在受压区加固受弯构件时，其承载力、抗裂度、钢筋应力、裂缝宽度及挠度的计算和验算，可按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002关于叠合式受弯构件的规定进行。若验算表明，仅需增设混凝土叠合层即可满足承载力要求时，也应按构造要求配置受压钢筋和分布钢筋。其原因是为了提高新增混凝土层的安全性，同时也为了与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002新作出的“应在板的未配筋表面布置温度、收缩钢筋”的规定相协调。因为这一规定很重要，可以大大减少新增混凝土发生温度、收缩应力引起的裂缝。



当在受拉区加固矩形截面受弯构件,如图1-1所示,其正截面受弯承载力可按下列公式计算:

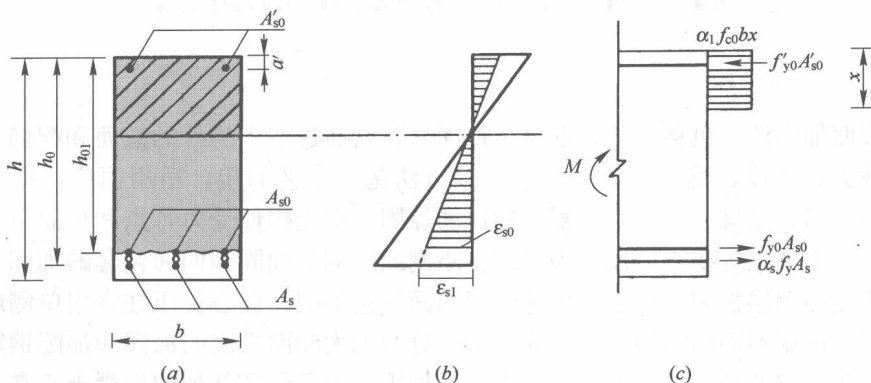


图1-1 受弯构件加固计算

$$M \leq \alpha_s f_y A_s \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_{y0} A_{s0} \left( h_{01} - \frac{x}{2} \right) + f'_{y0} A'_{s0} \left( \frac{x}{2} - a' \right) \quad (1-1)$$

$$\alpha_1 f_{c0} b x = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s - f'_{y0} A'_{s0} \quad (1-2)$$

$$2a' \leq x \leq \xi_b h_0 \quad (1-3)$$

式中  $M$ ——构件加固后弯矩设计值;

$\alpha_s$ ——新增钢筋强度利用系数,取  $\alpha_s = 0.9$ ;

$f_y$ ——新增钢筋的抗拉强度设计值;

$A_s$ ——新增受拉钢筋的截面面积;

$h_0$ 、 $h_{01}$ ——构件加固后和加固前的截面有效高度;

$x$ ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度,简称混凝土受压区高度;

$f_{y0}$ 、 $f'_{y0}$ ——原钢筋的抗拉、抗压强度设计值;

$A_{s0}$ 、 $A'_{s0}$ ——原受拉钢筋和原受压钢筋的截面面积;

$a'$ ——纵向受压钢筋合力点至混凝土受压区边缘的距离;

$\alpha_1$ ——受压区混凝土矩形应力图的应力值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值;当混凝土强度等级不超过 C50 时,取  $\alpha_1 = 1.0$ ;当混凝土强度等级为 C80 时,取  $\alpha_1 = 0.94$ ;其间按线性内插法确定;

$f_{c0}$ ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值;

$b$ ——矩形截面宽度;

$\xi_b$ ——构件增大截面加固后的相对界限受压区高度,按公式(1-4)计算。

由于加固后的受弯构件正截面承载力可以近似地按照一次受力构件计算,试验研究也验证过新增主筋一般能够屈服,因而受弯构件增大截面加固后的相对受压区高度  $\xi_b$ ,应按公式(1-4)计算。另外,需要说明的是新增钢筋位置处的初始应变值计算公式的确定问题。该公式从表面看来似乎是根据  $x_b = 0.375h_{01}$  推导的,其实是引用前苏联在预应力加固设计指南中对受弯构件内力臂系数的取值推导而成的,之所以决定引用该值,是因为注意到原

推荐性标准早在 1990 年即已引用,我国西南交通大学和东南大学的相关研究结果也认为该值可以近似地用于加固构件初始应变,而不会有显著的偏差。

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{\alpha_s f_y}{\epsilon_{cu} E_s} + \frac{\epsilon_{s1}}{\epsilon_{cu}}} \quad (1-4)$$

$$\epsilon_{s1} = \left(1.6 \frac{h_0}{h_{01}} - 0.6\right) \epsilon_{s0} \quad (1-5)$$

$$\epsilon_{s0} = \frac{M_{0k}}{0.87 h_{01} A_{s0} E_{s0}} \quad (1-6)$$

式中  $\beta_1$ ——计算系数;当混凝土强度等级不超过 C50 时,  $\beta_1$  值取为 0.8;当混凝土强度等级为 C80 时,  $\beta_1$  值取为 0.74;其间按线性内插法确定;

$\epsilon_{cu}$ ——混凝土极限压应变,取  $\epsilon_{cu} = 0.0033$ ;

$\epsilon_{s1}$ ——新增钢筋位置处,按平截面假设确定的初始应变值;当新增主筋与原主筋的连接采用短钢筋焊接时,可近似取  $h_{01} = h_0$ ,  $\epsilon_{s1} = \epsilon_{s0}$ ;

$M_{0k}$ ——加固前受弯构件验算截面上原作用的弯矩标准值;

$\epsilon_{s0}$ ——加固前,在初始弯矩  $M_{0k}$  作用下原受拉钢筋的应变值。

当按公式(1-1)及公式(1-2)算得的加固后混凝土受压区高度  $x$  与加固前原截面有效高度  $h_{01}$  之比  $x/h_{01}$  大于原截面相对界限受压区高度  $\xi_{b0}$  时,应考虑原纵向受拉钢筋应力  $\sigma_{s0}$  尚达不到  $f_{y0}$  的情况。此时,应将上述两公式中的  $f_{y0}$  改为  $\sigma_{s0}$ , 并重新进行验算。验算时,  $\sigma_{s0}$  值可按式(1-7)确定:

$$\sigma_{s0} = \left(\frac{0.8 h_{01}}{x} - 1\right) \epsilon_{cu} E_s \leq f_{y0} \quad (1-7)$$

若算得  $\sigma_{s0} < f_{y0}$ , 则按此验算结果确定加固钢筋用量;若算得的结果  $\sigma_{s0} \geq f_{y0}$ , 则表示原计算结果无需变动。

对翼缘位于受压区的 T 形截面受弯构件,其受拉区增设现浇配筋混凝土层的正截面受弯承载力,应按《混凝土结构加固设计规范》GB 50367—2006 第 5.2.3 条至第 5.2.5 条的计算原则和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 关于 T 形截面受弯承载力的规定进行计算。

### 1.1.2 受弯构件斜截面加固设计

对受剪截面限制条件的规定与现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 完全一致,而从增大截面构件的荷载试验过程来看,增大截面还有助于减缓斜裂缝宽度的发展,特别是围套法更为有利,因此,受弯构件加固后的斜截面应符合下列条件:

$$\text{当 } h_w/b \leq 4 \text{ 时,} \quad V \leq 0.25 \beta_c f_c b h_0 \quad (1-8a)$$

$$\text{当 } h_w/b \geq 6 \text{ 时,} \quad V \leq 0.2 \beta_c f_c b h_0 \quad (1-8b)$$

当  $4 < h_w/b < 6$  时,按线性内插法确定。

式中  $V$ ——构件加固后的剪力设计值;

$\beta_c$ ——混凝土强度影响系数,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定值采用;

$b$ ——矩形截面的宽度或 T 形、I 形截面的腹板宽度;

#### 4 第1章 增大截面加固法

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

采用增大截面法加固受弯构件时，其斜截面受剪承载力可按如下公式确定：

① 当受拉区增设配筋混凝土层，并采用 U 形箍与原箍筋逐个焊接时：

$$V \leq 0.7f_{t0}bh_{01} + 0.7\alpha_c f_t b(h_0 - h_{01}) + 1.25f_{yv0} \frac{A_{sv0}}{s_0} h_0 \quad (1-9)$$

② 当增设钢筋混凝土三面围套，并采用加锚式或胶锚式箍筋时：

$$V \leq 0.7f_{t0}bh_{01} + 0.7\alpha_c f_t A_c + 1.25\alpha_s f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 1.25f_{yv0} \frac{A_{sv0}}{s_0} h_{01} \quad (1-10)$$

式中  $\alpha_c$ ——新增混凝土强度利用系数，取  $\alpha_c = 0.7$ ；

$f_t$ 、 $f_{t0}$ ——新、旧混凝土轴心抗拉强度设计值；

$A_c$ ——三面围套新增混凝土截面面积；

$\alpha_s$ ——新增箍筋强度利用系数，取  $\alpha_s = 0.9$ ；

$f_{yv}$ 、 $f_{yv0}$ ——新箍筋和原箍筋的抗拉强度设计值；

$A_{sv}$ 、 $A_{sv0}$ ——同一截面内新箍筋各肢截面面积之和及原箍筋各肢截面面积之和；

$s$ 、 $s_0$ ——新增箍筋或原箍筋沿构件长度方向的间距。

斜截面受剪承载力的计算与原规范比较，主要有三点不同：一是将新、旧混凝土上的斜截面受剪承载力分开计算，并给出了具体公式；二是新、旧混凝土的抗拉强度设计值分别按《混凝土结构加固设计规范》GB 50367—2006 和现行《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 的规定取用；三是按试验和分析结果重新确定了混凝土和钢筋的强度利用系数。经试算按照上面公式计算的斜截面承载力，其安全储备有所提高。

### 1.1.3 受压构件正截面加固设计

#### (1) 轴心受压构件承载力计算

采用增大截面加固钢筋混凝土轴心受压构件时(图 1-2)，其正截面受压承载力应符合下列规定：

$$N \leq 0.9\varphi[f_{c0}A_{c0} + f'_{y0}A'_{s0} + \alpha_{cs}(f_c A_c + f'_y A'_s)] \quad (1-11)$$

式中  $N$ ——构件加固后的轴向压力设计值；

$\varphi$ ——构件稳定系数，根据加固后的截面尺寸，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 的规定值采用，见表 1-1 所列；

$A_{c0}$ 、 $A_c$ ——构件加固前混凝土截面面积和加固后新增部分混凝土截面面积；

$f'_y$ 、 $f'_{y0}$ ——新增纵向钢筋和原纵向钢筋的抗压强度设计值；

$A'_s$ ——新增纵向受压钢筋截面面积；

$\alpha_{cs}$ ——综合考虑新增混凝土和钢筋强度利用程度的修正系数，取  $\alpha_{cs}$  为 0.8。该值与原推荐性标准  $\alpha$  值相同，只是表达需要将  $\alpha$  改为  $\alpha_{cs}$ 。

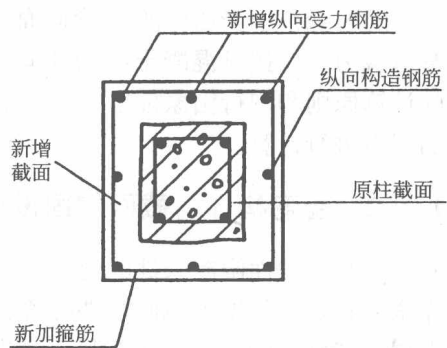


图 1-2 轴心受压构件增大截面加固

钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数

表 1-1

$l_0/b$	$\leq 8$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$l_0/d$	$\leq 7$	8.5	10.5	12	14	15.5	17	19	21	22.5	24	26
$l_0/i$	$\leq 28$	35	42	48	55	62	69	76	83	90	97	104
$\varphi$ 值	1.0	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56	0.52

注：表中  $l_0$  为构件计算长度； $b$  为矩形截面短边尺寸； $d$  为圆形截面直径； $i$  为截面最小回转半径。

(2) 偏心受压构件承载力计算

采用增大截面加固钢筋混凝土偏心受压构件时，其矩形截面正截面承载力按下列公式计算(图 1-3)：

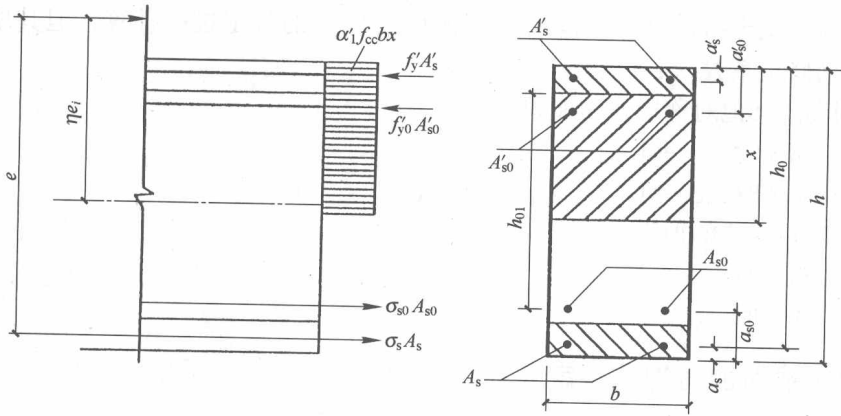


图 1-3 矩形截面偏心受压构件加固的计算

注：当为小偏心受压构件时，图中  $\sigma_{s0}$  可能变向。

$$N \leq \alpha_1 f_{cc} b x + 0.9 f_y' A_s' + f_{y0}' A_{s0}' - 0.9 \sigma_s A_s - \sigma_{s0} A_{s0} \quad (1-12)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_{cc} b x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + 0.9 f_y' A_s' (h_0 - a_s') + f_{y0}' A_{s0}' (h_0 - a_{s0}') - \sigma_{s0} A_{s0} (a_{s0} - a_s) \quad (1-13)$$

$$\sigma_{s0} = \left[ \frac{0.8 h_{01}}{x} - 1 \right] E_s \epsilon_{cu} \leq f_{y0} \quad (1-14)$$

$$\sigma_s = \left[ \frac{0.8 h_0}{x} - 1 \right] E_s \epsilon_{cu} \leq f_y \quad (1-15)$$

式中  $\alpha_1$ ——系数，按公式(1-2)对应规定取值；

$f_{cc}$ ——新旧混凝土组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值，可按  $f_{cc} = \frac{1}{2} (f_{c0} + 0.9 f_c)$  确定；

$f_c$ 、 $f_{c0}$ ——新、旧混凝土轴心抗压强度设计值；

$\sigma_{s0}$ ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋应力；当算得  $\sigma_{s0} > f_{y0}$  时，取  $\sigma_{s0} = f_{y0}$ ；

$\sigma_s$ ——受拉边或受压较小边的新增纵向钢筋应力；当算得  $\sigma_s > f_y$  时，取  $\sigma_s = f_y$ ；

$A_{s0}$ ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋截面面积；

$A_{s0}'$ ——原构件受压较大边纵向钢筋截面面积；

- $e$ ——偏心距，为轴向压力设计值  $N$  的作用点至新增受拉钢筋合力点的距离，按《混凝土结构加固设计规范》GB 50367—2006 第 5.4.3 条的规定进行计算；
- $a_{s0}$ ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋合力作用点至加固后截面近边的距离；
- $a'_{s0}$ ——原构件受压较大边纵向钢筋合力点到加固后截面近边的距离；
- $a_s$ ——受拉边或受压较小边新增纵向钢筋合力点至加固后截面近边的距离；
- $a'_s$ ——受压较大边新增纵向钢筋合力点至加固后截面近边的距离；
- $h_0$ ——受拉边或受压较小边新增纵向钢筋合力点至加固后截面受压较大边缘的距离；
- $h_{01}$ ——原构件截面有效高度。

其他符号同前。

### (3) 偏心距 $e$

按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 的规定进行计算，但其增大系数  $\eta$  尚应乘以下列修正系数  $\psi_\eta$ ：

1) 对围套或其他对称形式的加固：

当  $e_0/h \geq 0.3$  时： $\psi_\eta = 1.1$ ；

当  $e_0/h < 0.3$  时： $\psi_\eta = 1.2$ 。

2) 对非对称形式的加固：

当  $e_0/h \geq 0.3$  时： $\psi_\eta = 1.2$ ；

当  $e_0/h < 0.3$  时： $\psi_\eta = 1.3$ 。

## 1.1.4 增大截面加固构造规定

采用增大截面法，应满足如下构造要求：

1) 新增混凝土的强度等级不低于 C20，且宜比原构件设计的混凝土等级提高一级。

2) 新增混凝土的最小厚度，板不应小于 40mm；梁、柱采用人工浇筑时，不应小于 60mm；采用喷射混凝土施工时，不应小于 50mm。

3) 加固用钢筋，应采用热轧钢筋。板的受力钢筋直径不应小于 8mm；梁的受力钢筋直径不应小于 12mm；柱的受力钢筋直径不应小于 14mm；加锚式箍筋不应小于 8mm；U 形箍直径应与原箍筋直径相同；分布筋直径不应小于 6mm。

4) 新增受力钢筋与原受力钢筋的净间距不应小于 20mm，并应采用短筋或箍筋与原钢筋焊接。其构造应符合下列要求：

① 当新增受力钢筋与原受力钢筋的连接采用短筋 [图 1-4(a)] 焊接时，短筋的直径不应小于 20mm，长度不应小于其 5 倍直径，各短筋的中距不应大于 500mm。

② 当截面受拉区一侧加固时，应设置 U 形箍筋 [图 1-4(b)]。U 形箍筋应焊在原有箍筋上，单面焊缝长度为箍筋直径的 10 倍，双面焊缝长度为箍筋直径的 5 倍。

当受构造条件限制必须采用植筋方式埋设 U 形箍 [图 1-4(c)] 时，应采用锚固专用的结构胶种植，不得采用自行配制的环氧树脂砂浆或其他水泥砂浆。

③ 当采用混凝土围套加固时，应设置环形箍筋或加锚式箍筋 [图 1-4(d)或(e)]。

5) 梁的新增纵向受力钢筋，其两端应可靠锚固；柱的新增纵向受力钢筋的下端应伸入基础并应满足锚固要求；上端应穿过楼板与上层柱脚连接或在屋面板处封顶锚固。

6) 对于加固后为整体工作的板，在支座处应配负钢筋，并与跨中分布筋相搭接。分

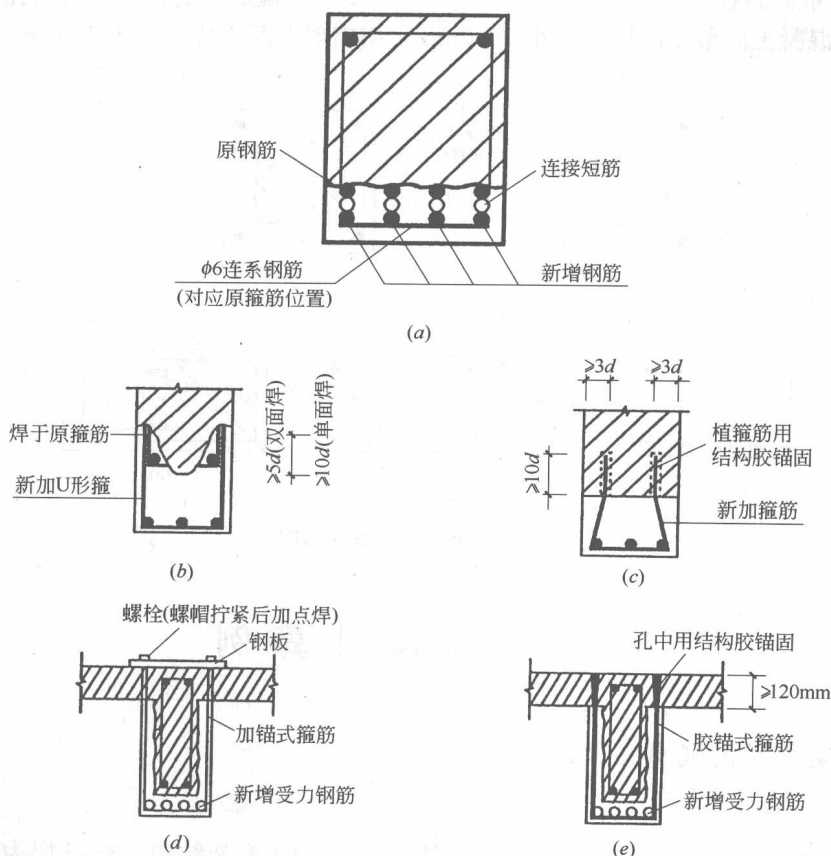


图 1-4 增大截面配置新增箍筋的连接构造  
注： $d$  为箍筋直径。

布筋应采用直径大于 4mm、间距不大于 300mm 的钢筋网，以防止产生收缩裂缝。

7) 混凝土的最大粒径不宜超过新浇混凝土最小厚度的  $1/2$  及钢筋最小间距的  $3/4$ 。

8) 进行加固柱的构造设计及施工时，应特别注意以下几点：

① 当采用四周外包混凝土加固时，应将原柱面凿毛、洗净。箍筋采用封闭箍，如图 1-5(a)和(b)所示，间距应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 的规定。

② 当采用单面或双面加厚混凝土的方法加固时，应将原柱表面凿毛。凸凹不平应不小于 6mm，并应采取下述构造措施：

A. 当新浇混凝土较薄时，用短钢筋将加固钢筋焊接在原柱的受力钢筋上，如图 1-5(c)所示。短钢筋直径不应小于 20mm，长度不小于  $5d$  ( $d$  为新增纵筋和原有纵筋直径的较小者)，各短筋的中距不大于 500mm。

B. 当新浇混凝土较厚时，应用“U”形箍固定纵向受力钢筋，“U”形箍筋与原柱子连接，可用焊接法，如图 1-5(d)所示，也可用锚固法，如图 1-5(e)所示。当采用焊接法时，单面焊缝长度为  $10d$ ，双面焊缝长度为  $5d$  ( $d$  为“U”形箍筋直径)。锚固法的具体做法是：在距柱边不小于  $3d$ ，且不小于 40mm 处的原柱上钻孔，孔洞深度不小于  $10d$ ，孔径

应比“U”形箍筋直径大4mm,然后用结构胶将“U”形箍筋固定在原柱的钻孔内。

C. 新增混凝土的最小厚度不应小于60mm,用喷射混凝土施工时不应小于50mm。

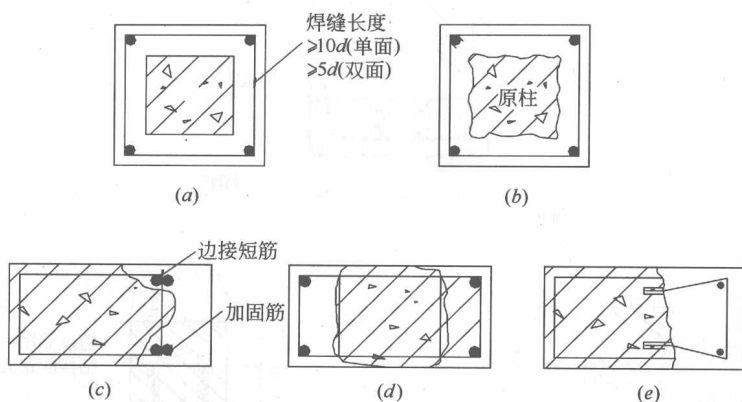


图 1-5 补浇混凝土层的结构

## 1.2 加固设计算例

### 1.2.1 框架梁增大截面加固算例

#### (1) 工程概况

某综合楼为6层钢筋混凝土底框结构,其中1~2层为框架结构,3~6层为砖混结构,按6度抗震设防设计。建筑总长度为50.64m,总宽度为21.24m。综合楼1层层高3.60m,2层层高为3.90m,3~6层层高均为2.90m。现由于2层建筑使用功能的改变,楼面活荷载增至 $6.0\text{kN/m}^2$ 。楼层平面如图1-6所示,楼板、部分框架梁因承载力不足,故采用增大截面外包改性混凝土加固及楼面板现浇叠合板综合加固。

#### (2) 加固设计计算

以①轴交⑥~⑩轴框架梁为例,增大截面加固设计验算如下。框架梁原设计条件:截面尺寸 $b=400\text{mm}$ , $h=1000\text{mm}$ ,混凝土强度等级C30,主筋 $8\phi 25$ ,箍筋 $\phi 10@100$ 。楼面活荷载由原来的 $2.0\text{kN/m}^2$ 增至 $6.0\text{kN/m}^2$ ,经计算框架梁跨中最大弯矩由原标准值 $950.10\text{kN}\cdot\text{m}$ 增至 $1232\text{kN}\cdot\text{m}$ (设计值 $1540.01\text{kN}\cdot\text{m}$ )。采用C35改性混凝土外包增大截面法加固。

1) 按原梁设计条件下,对矩形截面梁进行跨中承载力验算。

$$b=400\text{mm}, h=1000\text{mm}, h_{01}=1000-60=940\text{mm}, A_{s0}=3928\text{mm}^2$$

$$f_{c0}=14.3\text{N/mm}^2, f_{y0}=300\text{N/mm}^2$$

$$\alpha_1 f_{c0} b x = f_{y0} A_{s0}$$

$$x = \frac{f_{y0} A_{s0}}{\alpha_1 f_{c0} b} = \frac{300 \times 3928}{14.3 \times 400} = 206.01\text{mm}$$

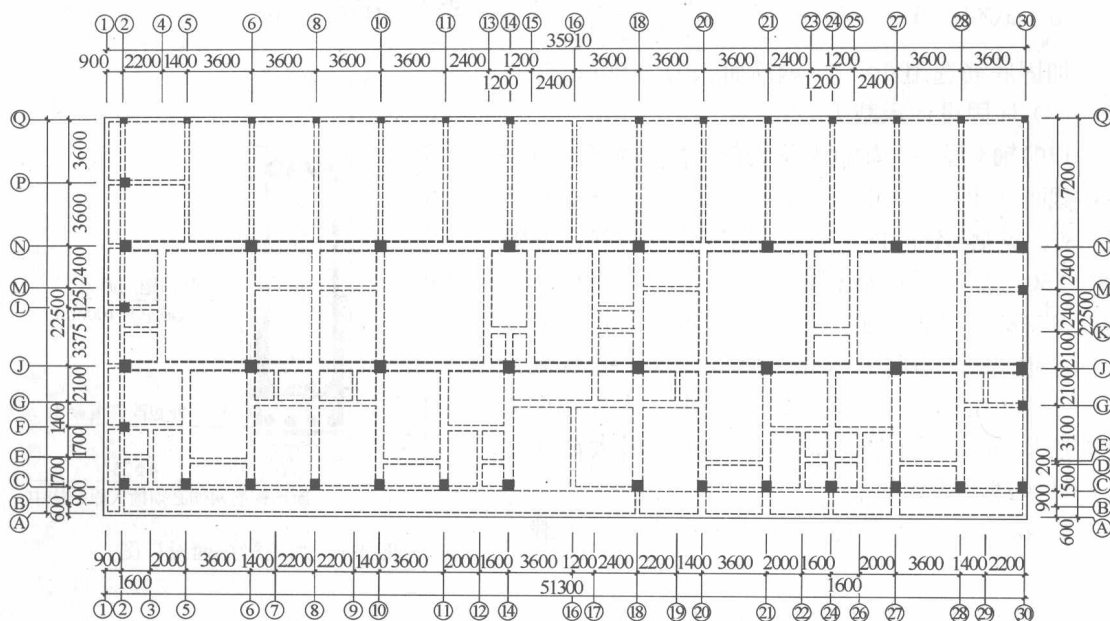


图 1-6 结构平面布置图

$$M = \alpha_1 f_{cd} b x \left( h_{01} - \frac{x}{2} \right) = 14.3 \times 400 \times 206.01 \times (940 - 206.01/2) = 986.30 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M = 986.30 \text{ kN} \cdot \text{m} < M = 1540.01 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

原梁截面不满足现荷载使用要求，故需要采用增大截面加固。

2) 加固设计条件下，加固梁正截面受弯承载力验算。

加固设计基本条件如下，加固层厚度为 100mm， $\Delta h = 100\text{mm}$ ， $h = 1100\text{mm}$ ， $h_0 = 1100 - 35 = 1065\text{mm}$ ， $f_y = 360\text{N/mm}^2$ ， $f_{y0} = 300\text{N/mm}^2$ 。

$$\alpha_1 f_{cd} b x = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s$$

$$1.0 \times 14.3 \times 400 x = 300 \times 3928 + 0.9 \times 360 \times A_s$$

$$M_u = \alpha_s f_y A_s \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_{y0} A_{s0} \left( h_{01} - \frac{x}{2} \right)$$

$$1540.01 \times 10^6 \leq 0.9 \times 360 \times A_s \times \left( 1065 - \frac{x}{2} \right) + 300 \times 3928 \times \left( 940 - \frac{x}{2} \right)$$

联立方程解得： $x = 327.3\text{mm}$

$$\epsilon_{s0} = \frac{M_{0k}}{0.87 h_{01} A_{s0} E_{s0}} = \frac{950.10 \times 10^6}{0.87 \times 940 \times 3928 \times 2 \times 10^5} = 0.001478$$

$$\epsilon_{s1} = \left( 1.6 \frac{h_0}{h_{01}} - 0.6 \right) \epsilon_{s0} = \left( 1.6 \times \frac{1065}{940} - 0.6 \right) \times 0.001478 = 0.00178$$

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{\alpha_s f_y}{\epsilon_{cu} E_s} + \frac{\epsilon_{s1}}{\epsilon_{cu}}} = \frac{0.8}{1 + \frac{0.9 \times 360}{0.0033 \times 2.0 \times 10^5} + \frac{0.00178}{0.0033}} = 0.394$$

$$x = 327.3\text{mm} \leq \xi_b h_0 = 0.394 \times 1065 = 419.61\text{mm}$$



$$\text{由上式得: } A_s = \frac{1.0 \times 14.3 \times 400 \times 327.3 - 300 \times 3928}{0.9 \times 360} = 2140.5 \text{mm}^2$$

加固底筋选用  $6\Phi 22$ , 钢筋面积为  $2280 \text{mm}^2$ 。

### (3) 加固设计承载力验算

以⑩轴交⑨~⑧轴框架梁为例, 框架梁原设计条件: 截面尺寸  $b=300 \text{mm}$ ,  $h=600 \text{mm}$ , 混凝土强度等级 C30, 梁底钢筋  $4\Phi 25$ , 梁顶部钢筋  $4\Phi 16$ , 箍筋  $\Phi 8@150$ 。楼面活荷载标准值由原来的  $2.0 \text{kN/m}^2$  增至  $6.0 \text{kN/m}^2$  时, 此框架梁跨中最大弯矩由原设计标准值  $224.08 \text{kN} \cdot \text{m}$  增至  $440.16 \text{kN} \cdot \text{m}$  (设计值  $550.20 \text{kN} \cdot \text{m}$ )。采用 C35 改性混凝土外包增大截面法加固, 加固方式如图 1-7 所示。增大截面加固设计承载力验算如下。

1) 按原梁设计条件下, 矩形截面进行承载力验算。

$$h_{01} = 600 - 35 = 565 \text{mm}; A_{s0} = 1964 \text{mm}^2$$

$$\alpha_1 f_{c0} b x + f'_{y0} A'_{s0} = f_y A_s$$

$$1.0 \times 14.3 \times 300 x + 300 \times 804 = 300 \times 1964$$

$$x = \frac{300 \times 1964 - 300 \times 804}{14.3 \times 300} = 81.11 \text{mm}$$

$$M_u = \alpha_1 f_{c0} b x \left( h_{01} - \frac{x}{2} \right) + f'_{y0} A'_{s0} (h_{01} - a'_s)$$

$$= 14.3 \times 300 \times 81.11 \times (565 - 81.11/2) + 300 \times 804 \times (565 - 35) = 310.33 \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 310.33 \text{kN} \cdot \text{m} < M = 550.20 \text{kN} \cdot \text{m}$$

原梁截面不满足现荷载使用要求, 故需增大截面加固。

2) 加固设计条件下, 加固梁正截面受弯承载力验算。

加固设计基本条件如下, 加固层厚度为  $75 \text{mm}$ ,  $\Delta h = 75 \text{mm}$ ,  $h = 675 \text{mm}$ , 加固钢筋面积  $A_s = 1964 \text{mm}^2$ ,  $A_{s0} = 1964 \text{mm}^2$ ,  $f_y = 360 \text{N/mm}^2$ ,  $f_{y0} = 300 \text{N/mm}^2$ ,  $h_0 = 675 - 35 = 640 \text{mm}$ 。

$$\alpha_1 f_{c0} b x = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s - f'_{y0} A'_{s0}$$

$$1.0 \times 14.3 \times 300 x = 300 \times 1964 + 0.9 \times 360 \times 1964 - 300 \times 804$$

$$\text{求得: } x = 229.45 \text{mm}$$

$$\epsilon_{s0} = \frac{M_{0k}}{0.87 h_{01} A_{s0} E_{s0}} = \frac{224.08 \times 10^6}{0.87 \times 565 \times 1964 \times 2 \times 10^5} = 0.00116$$

$$\epsilon_{s1} = \left( 1.6 \frac{h_0}{h_{01}} - 0.6 \right) \epsilon_{s0} = \left( 1.6 \times \frac{640}{565} - 0.6 \right) \times 0.00116 = 0.00141$$

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{\alpha_s f_y}{\epsilon_{cu} E_s} + \frac{\epsilon_{s1}}{\epsilon_{cu}}} = \frac{0.8}{1 + \frac{0.9 \times 360}{0.0033 \times 2.0 \times 10^5} + \frac{0.00141}{0.0033}} = 0.417$$

$$x = 229.45 \text{mm} \leq \xi_b h_0 = 0.417 \times 640 = 266.88 \text{mm}$$

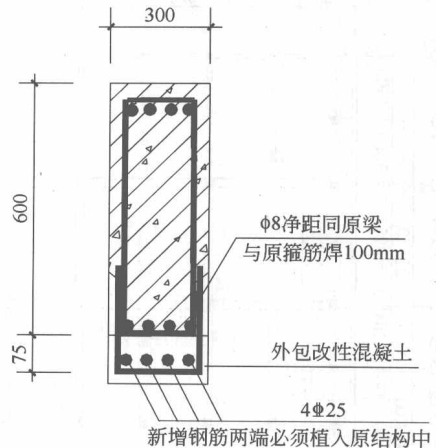


图 1-7 加固梁截面设计图