

钢筋焊接网锚固和搭接长度的实践

林振伦 林国珍 张云

星联钢网（深圳）有限公司

[摘要] 实践中常遇到钢筋焊接网的锚固和搭接的问题，针对工程实践中遇到的具体问题，按现行的《规范》《规程》规定的要求，进行了不同配筋的搭接长度、搭接钢筋用量的分析和比较，对实际问题提出了一些看法。

[关键词] 钢筋焊接网 锚固 搭接 实践

1. 概述

钢筋焊接网的锚固和搭接是钢筋焊接网构件和其他构件的连接及钢筋焊接网之间的连接的技术措施，是钢筋焊接网技术的重要内容之一，也是关系到钢筋焊接网经济指标和推广应用的重要问题之一。

钢筋焊接网已应用多年，在锚固和搭接技术方面积累了较多的经验。这些经验已总结于《混凝土结构技术规范》(GB50010-2002) (简称《规范》) 和《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》(J276-2003) (简称《规程》) 之中。按《规范》和《规程》的规定，结合钢筋的锚固和搭接的机制、钢筋焊接网搭接的工作条件和应用实践，进行了各种条件下钢筋焊接网锚固和搭接长度的计算，以及搭接材料用量的计算。通过工程实践和相应的计算加深了对《规范》和《规程》的有关规定的了解。

2. 钢筋的锚固和搭接

工程中混凝土内钢筋的锚固包括了作为构件连接件的钢筋（锚栓等）在混凝土内的锚固，及在混凝土内钢筋的锚固即体现于钢筋搭接的锚固。我们讨论的是后者。

2.1 锚固

2.1.1 钢筋的混凝土粘结强度和锚固长度

钢筋在混凝土内的锚固是混凝土内钢筋与混凝土间力的传递，是混凝土中水泥胶体与钢筋表面的胶结力，混凝土收缩握紧而产生的钢筋与混凝土间的摩擦力，钢筋表面的机械咬合力的体现。

人们进行了大量的钢筋锚固拔出试验，包括各种类型钢筋、锚固方法、端部固定、试件加载方式、混凝土强度、混凝土侧限模拟等各种类型试验。试验时钢筋的锚固长度较小，一般为 $3d\sim 6d$ ，通常使用的锚固长度达 $30d$ 。钢筋拔出试验表明，在钢筋周边混凝土内将形成径向裂缝的内裂缝区。钢筋表面状态不同，其破坏状态亦不同。光面钢筋会沿着钢筋表面滑移而出；带肋钢筋会在混凝土裂缝区内拔出，钢筋距混凝土表面很近或钢筋间距很小时会因混凝土劈裂而破坏。通过大量的钢筋拔出试验，获得了大量的钢筋混凝土粘结强度及其分布、锚固力、锚固长度、以及它们与钢筋强度和混凝土强度之间的关系等资料，总结出了钢筋锚固机制，钢筋锚固强度的工程适用计算公式。

试验资料表明，粘结应力 τ 沿钢筋锚固长度是不均匀的，实践中常采用平均粘结应力 τ_{av} 来表征钢筋的粘结特性。钢筋锚固长度较小时粘结应力 τ 在锚固范围内分布较为均匀，平均粘结应力 τ_{av} 较高；锚固长度较长时 τ 分布较不均匀，平均值较小，但总的锚固能力随锚植长度的增加而增大，达到某一长度时，锚固力不再增加。当锚固长度达到某一定值，钢筋受拉达到屈服而未发生粘结破坏时，该临界状态的锚固长度称为基本锚固长度 l_a 。实践中常以 l_a 作为设计的依据。

从大量的试验结果可得出影响钢筋锚固长度的因素有：

1) 钢筋和混凝土强度指标 钢筋强度愈高，要求的 l_a 愈大；混凝土强度指标愈高，粘结应力愈大， l_a 愈短。

2) 钢筋的表面形态 光面钢筋的粘结应力较小, 变形钢筋肋的机械咬合作用加强了钢筋表面的机械咬合力, 粘结应力较大, l_a 较小。

3) 钢筋的锚固状态 单筋锚固、并筋锚固、机械锚固等锚固状态的锚固结果不同。单筋锚固即为常见的锚固形式。并筋锚固是并筋布置钢筋的锚固, 由于并筋间钢筋表面积的削弱, l_a 较大。机械锚固为钢筋在锚固区采用机械方法锚固的锚固形式, 如钢筋弯钩、焊短筋、焊横筋等, l_a 较小。

4) 钢筋直径 钢筋直径较大, 粘结强度降低。有资料表明, $d=32\text{mm}$ 钢筋粘结强度比 $d=16\text{mm}$ 低 12%。有的标准中还规定了钢筋直径的影响系数。

5) 钢筋保护层厚度和钢筋间距 保护层厚度大, 可形成较完整的混凝土锚固区, 充分发挥混凝土的粘结作用, l_a 较小。钢筋间距也起到类似保护层的作用。

6) 钢筋搭接处周围混凝土 (含保护层) 内横向钢筋 横向钢筋起到加固锚固区混凝土的作用, 可减少 l_a 。

7) 受力条件 钢筋受压时钢筋粘结强度增大, 钢筋受剪时钢筋粘结强度降低。

2.1.2 锚固长度计算

钢筋锚固力是混凝土内钢筋粘结应力的体现。钢筋在混凝土中的粘结应力 τ 沿钢筋轴线的分布是不均匀的, 常用平均钢筋粘结强度 τ_u 来计算钢筋锚固力, 即

$$T = \tau_u \pi d l_a, \quad (2.1-1)$$

钢筋的设计承载力为

$$F = f_y \pi d^2 / 4, \quad (2.1-2)$$

由于 $T=F$, 则得

$$l_a = f_y d / (4 \tau_u) \quad (2.1-3)$$

式中 T ——钢筋锚固力; F ——钢筋设计承载力; τ_u ——钢筋粘结强度平均值; d ——钢筋直径; l_a ——钢筋锚固长度; f_y ——钢筋抗拉强度设计值。

在实践中常用混凝土性能的某一指标 (如混凝土的轴心抗压强度设计值 f_c 、混凝土的轴心抗拉强度设计值 f_t 等) 乘以某一系数来表示 τ_u 。《规范》用 f_t 来表示, l_a 的表达式为:

$$l_a = \alpha f_y d / f_t \quad (2.1-4)$$

α 为考虑了钢筋表面形态影响的系数。

比较式(2.1-3)和(2.1-4)可得 $\tau_u = f_t / (4 \alpha)$ 。带肋钢筋 $f_y = 360\text{N/mm}^2$, C25 混凝土 $f_t = 1.27\text{N/mm}^2$ 和带肋钢筋 $\alpha = 0.14$, 则 $\tau_u = 2.27\text{N/mm}^2$; 对 C30 混凝土为 2.55N/mm^2 。通常光面钢筋取为 $\tau_u = 1.5 \sim 3.5\text{N/mm}^2$, 变形钢筋取为 $\tau_u = 2.5 \sim 6.0\text{N/mm}^2$ 。显然, 实际应用的 l_a 已留有足够的富余度的。

《规范》采用公式 (2.1-4) (《规范》公式 (9.3.1-1))。其实, 实际情况复杂得多, 《规范》用某些条款对 l_a 进行修正。《规程》则在公式 (9.3.1-1) 的基础上用具体的数值表达。

2.2 《规范》和《规程》关于锚固的规定

2.2.1 《规范》 l_a 的规定

《规范》中对公式 (2.1-4) 计算 l_a 时做了如下的规定:

- 1) 钢筋直径大于 25mm 时, 其锚固长度乘以修正系数 1.1 (《规范》第 9.3.1-1 款, 下同)。
- 2) 钢筋在锚固区的混凝土保护层厚度大于钢筋直径的 3 倍且配有箍筋时, 其锚固长度可乘以修正系数 0.8 (第 9.3.1-4 款)。

3) 除构造需要的锚固长度外, 当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时, 如有充分依据和可靠措施, 其锚固长度可乘以设计计算面积与实际配筋面积的比值 (第 9.3.1-5 款)。

4) 当纵向受拉钢筋末端采用机械锚固措施时, 包括附加锚固头在内的锚固长度可取为按本规范公式 (9.3.1-2) 计算的锚固长度的 0.7 倍。(第 9.3.2 条)。

2.2.2 《规程》关于 l_a 的规定

《规程》(J276-2003) 是《规范》(GB50010-2002) 的规定的体现, 结合钢筋焊接网的特点在表述上较为具体。

1) 焊接网的锚固长度按式 (2.1-4) 以表格的形式表达 (《规程》(J276-2003) 表 5.1.1), 以方便使用。

2) 以有横筋的形式表达采用机械锚固措施时的锚固长度的减少 (《规程》(J276-2003) 表 5.1.1 有横筋项)。

3) 《规程》(J276-2003) 表 5.1.1 注 2 规定, 当锚固区内无横筋、焊接网的纵向钢筋净距不小于 $5d$ (d 为纵向钢筋直径) 且纵向钢筋保护层厚度不小于 $3d$ 时, 表中的锚固长度可乘以 0.8 的修正系数。

4) 《规程》(J276-2003) 第 5.1.14 款、第 5.1.15 款关于受力较小处搭接长度 (亦即锚固长度) 的规定, 似可认为反映了《规范》(GB50010-2002) 第 9.3.1-5 款关于受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时锚固长度可折减的规定。

2.3 搭接

钢筋的搭接实际上是通过钢筋表面的混凝土与钢筋间的粘结应力将搭接处两根搭接钢筋的力相互传递的作用实现的。搭接钢筋间混凝土的“斜杆”作用加强了钢筋的传递能力。位于两根搭接钢筋之间的混凝土受到的斜向挤压力, 如同斜杆作用于两钢筋之间。同时, 肋对混凝土的斜向挤压力的径向分力使外围混凝土中产生横向拉力, 将更易于出现纵向劈裂破坏, 使粘结强度降低。作为钢筋搭接的钢筋锚固作用还应考虑混凝土内的横向钢筋的影响。显然, 用分析方法求得钢筋搭接的解析表达式是不现实的。实用的方法是在锚固试验和钢筋搭接试验的基础上给出实用的搭接长度计算方法。计算纵向受拉钢筋搭接接头的搭接长度时, 在钢筋锚固长度的基础上乘以一修正系数, 确定钢筋的搭接长度。

《规范》计算纵向受拉钢筋搭接长度时, 用锚固长度乘以一修正系数, 确定钢筋的搭接长度。即

$$l_l = \zeta l_a \quad (2.2-1)$$

式中 l_l ——纵向受拉钢筋搭接长度。 ζ ——纵向受拉钢筋搭接长度修正系数, 取表 1 (《规范》(表 9.4.3) 的值)。

表 2.2-1 纵向受拉钢筋搭接长度修正系数

| 纵向钢筋搭接接头面积百分率 (%) | ≤25 | 50 | 100 |
|-------------------|-----|-----|-----|
| ζ | 1.2 | 1.4 | 1.6 |

其实 ζ 应是对 l_a 的综合修正。除了搭接处纵向钢筋搭接接头面积百分率的修正外, 还应包括两根搭接钢筋周边混凝土条件的修正, 包括搭接处纵向钢筋布置较密钢筋周边混凝土条件的修正。有资料提出, 当搭接区内钢筋的间距大于较粗钢筋直径的 10 倍或当混凝土保护层厚度大于较粗钢筋的 5 倍时, 搭接长度可取锚固长度 l_a 。《规范》中已在锚固长度的规定中考虑了搭接处钢筋的搭接条件的各种情况。

3 钢筋焊接网搭接的工作条件

钢筋焊接网常用于面积较大, 厚度较小的构件中, 钢筋直径、搭接钢筋上焊有横筋、钢筋在混凝土中的布置和位置等条件与其它钢筋混凝土构件有较大的差别, 它们的锚固和搭接的工作条件也有所不同。

3.1 各种搭接形式的工作条件

《规程》中规定了钢筋焊接网搭接的 3 种类型: 扣搭、叠搭和平搭。实践中常用的搭接类型为叠搭和平搭。近来, 较大直径钢筋的焊接网常采用组合网的布置形式, 其搭接形式为平搭, 但其形式与惯用平搭形式略有不同, 横筋为成网钢筋, 其间距很大, 搭接处常不出现焊接横向钢筋。不同的搭接形式在搭接处钢筋的锚固条件不同, 其搭接长度亦应不同。

3.1.1 叠搭 叠搭处搭接钢筋均焊有横向钢筋，钢筋的锚固条件为：焊点处钢筋类似于机械锚固；锚固区内搭接钢筋上下的混凝土内均有焊接于纵向钢筋上的横向钢筋加强。即搭接处钢筋类似于有机械锚固，上下侧为有横筋加强的混凝土。

焊接网搭接长度试验表明，叠搭的搭接长度较小。由于无严格的搭接顺序，布置和安装较为方便。但上下网片的搭接钢筋不在同一平面上，其计算高度不同，钢筋应力亦不同，常在搭接钢筋端部首先出现裂缝。钢筋直径愈大上述现象更为突出。此现象也影响到叠搭的广泛使用。叠搭常用于较小直径钢筋。

3.1.2 扣搭 扣搭为在搭接处将叠搭焊接网之一翻面，使横向钢筋相扣的搭接形式。搭接处钢筋的锚固条件与叠搭同，且横筋相扣。

3.1.3 平搭 搭接处的搭接钢筋在同一平面上，且仅有一网片的纵向钢筋焊有横向钢筋，即搭接处混凝土一侧焊有横筋加强。被搭接钢筋常为受荷较小钢筋（板构件），常布置在里侧，其保护层增加一个横向钢筋直径。由于搭接钢筋在同一平面上，搭接钢筋净间距为焊接网钢筋净距减去 1 个搭接钢筋直径。平搭可用于各种直径的钢筋。

3.1.4 组合网平搭 组合网为由两片由架立筋（成网钢筋）与单向受力筋焊接的网片组合而成的焊接网，搭接处为单向受力钢筋平搭，搭接钢筋两侧混凝土内均为未焊接的横筋（即另一方向网片的受力筋）加强，即受力筋互为横筋相互加强各侧混凝土。且仅一侧的混凝土保护层增加一个横向钢筋直径的厚度，情况与绑扎钢筋基本相同。组合网可用于各种直径的钢筋。但使用于较小钢筋直径时，由于需使用成网钢筋成网，钢筋用量将增加。

3.1.5 搭接处搭接钢筋的位置

不同搭接形式的搭接钢筋间的位置是不同的。叠搭和扣搭的搭接钢筋相隔一根横筋，平搭（含组合网平搭）则紧贴在一个平面上，此差别应不影响钢筋间混凝土的斜杆作用。叠搭处焊接网钢筋净间距即为焊接网钢筋净间距，平搭处焊接网钢筋净间距应减去一个钢筋直径，在钢筋间距很小时应考虑此差别。如果搭接处横向钢筋在外侧，搭接钢筋的保护层应增加一个横向钢筋直径。两片焊接网搭接处的钢筋间距不同时，搭接钢筋的实际间距不尽相同。在实践中常用的焊接网钢筋间距情况下，似有利于发挥搭接钢筋间的斜杆作用。

3.2 搭接处钢筋焊接网的工作条件

3.2.1 楼板钢筋焊接网

楼板钢筋焊接网有两种布置方法：常规（叠搭和平搭）布置形式和组合网布置形式，搭接处钢筋的锚固条件即为叠搭、平搭和组合网平搭的搭接条件。

楼板底网中，短跨受力筋常不搭接，且布置在外侧。长跨受力筋搭接布置在受力较小处，搭接处钢筋的保护层增加 1 个受力筋直径的厚度。面网中，受力筋跨梁间断布置时无搭接问题；连续满铺布置时，为避免增加钢筋叠垒现象，常用平搭。如果搭接钢筋布置在横向受力筋下侧也会有保护层增加一个直径的问题。

底网受搭接布置于梁中 1/3 跨以外，面网布置于梁边 1/4 梁边以外，以减小搭接长度。楼板底网宽度将受焊机宽度限制，焊机最大宽度通常为 2.7m 或更大。以网宽度 2.7m 为准进行验算。楼板长跨（净跨）最大净跨分别为：2.7m（一片网）、2.7m ~ 3.68m（二片网）和 3.68m ~ 7.35m（三片网）。面网的楼板长跨最大净跨为 5.4m。限制了焊接网的适用范围。板的配筋率一般为最小配筋率，钢筋直径常取为 $\Phi^R 7.0$ ，或 $\Phi^R 8.5$ 。此时叠搭的优势可充分发挥，可采用较小的搭接长度。

任意搭接位置布置时，搭接长度不折减，就不存在上述问题。

3.2.2 墙钢筋焊接网

墙通常为构造配筋，钢筋直径较大。双排或多排网外侧墙的焊接网锚固布置在暗柱或柱的外侧时，及无暗梁或暗梁钢筋在内侧时，常用平搭搭接形式，以保持搭接处的平整。墙单排或多排配筋的内排钢筋宜用叠搭，布置和安装方便，且可发挥叠搭短搭接优势。墙网片在暗梁钢筋外侧时，与暗柱的布置同；插入暗梁或内排网入暗梁时常采用类似楼板底网连接网的布置形式，且连接网的搭

接和锚固须加强（墙周边荷载效应较大）。搭接处钢筋的搭接条件即为叠搭、平搭的搭接条件。

3.2.3 大面积板钢筋焊接网

大面积板如道路路面、桥面铺装、地坪等，为在整个面积上配筋。由于结构或施工的需要，可分块布置，有的为单层网布置，有的为上下两层网布置。这些构件使用的钢筋较大，搭接常用平搭形式，也可用组合网布置，以达到避免多层叠垒和焊接网表面平整的目的。单层时则用叠搭。道路路面可为单层或双层配筋，单层配筋时钢筋保护层较大，常采用叠搭。连续道路路面的搭接亦可附加连接网的扣搭的搭接形式。其工作条即为叠搭、平搭和组合网的搭接工作条件。

4 搭接长度比较

4.1 计算条件

钢筋焊接网搭接长度验算基本上是按照《规程》和《规范》的规定进行。进行了多种搭接形式、多种搭接条件、多种参数的搭接长度的计算，以了解各种条件和参数对搭接长度的影响。

标准：以《规范》为主要依据，《规程》有专门规定时按《规程》的规定进行验算。

材料：混凝土，C25， $f_{tk}=1.27\text{ N/mm}^2$ ；钢筋， $f_y=360\text{ N/mm}^2$ 和 400 N/mm^2 ； $\zeta=1.3$ 和 1.4 。

锚固长度：最小锚固长度有无横筋时用《规程》表 5.1.7， $f_y=400\text{ N/mm}^2$ 时，各锚固长度按 f_y 的比例（即乘以 $400/360$ ）加大。按《规范》用第 9.3.1 条和表 9.3.1 的规定， α 取为 0.14。无横筋的锚固长度按公式（2.1-4）计算，焊有横筋时取公式（2.1-4）计算的锚固长度的 0.7 倍；

系数 ζ ：钢筋搭接长度修正系数取为 $\zeta=1.3$ （《规程》），《规范》无关于焊接网的规定，仍用 $\zeta=1.3$ 。还计算了《规程》和《规范》的 $\zeta=1.4$ 情况。

钢筋直径：小直径钢筋锚固力大于大直径钢筋，但在焊接网常用的钢筋范围内其差别不大。此处是从保护层和钢筋直径的关系出发，根据楼板底网搭接的实际情况，以 $d=8.5\text{ mm}$ 为界，按 $d\leq 8.5\text{ mm}$ 和 $d>8.5\text{ mm}$ 分别验算。 $d\leq 8.5\text{ mm}$ 时考虑到保护层接近 $3d$ 和保护层混凝土内有焊接的横筋等条件，按《规范》验算时，锚固长度应乘以 0.8；按《规程》验算时仅适用于无焊接横筋情况，有横筋时不乘以 0.8。为进行比较，无横筋时亦列出不乘以 0.8 的结果（带*号）。

以 $d=8.5\text{ mm}$ 为分界条件是考虑到其保护层厚度接近于 $3d$ 。此时可包括常用小直径冷轧带肋钢筋为 8.5mm、7.0mm 和 5.5mm，热轧带肋钢筋为 8mm、7mm 和 6mm。 $d=8.5\text{ mm}$ 时的保护层厚度略小于 $3d$ ，但考虑到焊接横筋的存在似可用此条件。否则分界条件可改为 $d=7.5\text{ mm}$ 。

4.2 《规程》和《规范》的搭接长度

锚固和搭接长度按《规范》和《规程》的规定计算，具体的计算条件如第 4.1 节所述。焊接网的锚固和搭接长度如表 4.2-1 和表 4.2-2。4.2-1 为按《规范》和《规程》计算的钢筋锚固长度和搭接长度。表 4.2-2 为不同 ζ 钢筋搭接长度。

表 4.2-1 按《规范》和《规程》计算的钢筋锚固长度和搭接长度

| 计 算 类 别 | | 锚 固 长 度 | | | | 搭 接 长 度 | | | | |
|--|-----------------------|-----------|-------|--------------|-------|-----------|-------|--------------|-------|-------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | |
| 项 序 | | J276-2003 | | GB50010-2002 | | J276-2003 | | GB50010-2002 | | |
| 标 准 | | J276-2003 | | GB50010-2002 | | J276-2003 | | GB50010-2002 | | |
| 混 凝 土 强 度 等 级 | | C25 | C30 | C25 | C30 | C25 | C30 | C25 | C30 | |
| CRB550 ($f_y=360$ N/mm^2) | $d\leq 8.5\text{ mm}$ | 有横筋 | 26.0d | 23.0d | 27.8d | 24.7d | 33.8d | 29.9d | 36.1d | 32.1d |
| | | 无横筋 | 28.0d | 24.0d | 31.8d | 28.2d | 36.4d | 31.2d | 41.3d | 36.7d |
| | | 无横筋* | 35.0d | 30.0d | 39.7d | 35.2d | 45.5d | 39.0d | 51.6d | 45.8d |
| | $d>8.5\text{ mm}$ | 有横筋 | 26.0d | 23.0d | 27.8d | 24.7d | 33.8d | 29.9d | 36.1d | 32.1d |
| | | 无横筋 | 35.0d | 30.0d | 39.7d | 35.2d | 45.5d | 39.0d | 51.6d | 45.8d |
| | | 无横筋* | 35.0d | 30.0d | 39.7d | 35.2d | 45.5d | 39.0d | 51.6d | 45.8d |
| CRB550 ($f_y=400$) | $d\leq 8.5\text{ mm}$ | 有横筋 | 28.9d | 25.6d | 30.9d | 27.4d | 37.6d | 33.3d | 40.2d | 35.6d |
| | | 无横筋 | 31.1d | 26.7d | 35.2d | 31.3d | 40.4d | 34.7d | 45.9d | 40.7d |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|------|---|-------|---|-------|--|-------|--|-------|
| N/mm ²) | | 无横筋* | 38.9d | 33.3d | 44.1d | 39.2d | 50.6d | 43.3d | 57.3d | 50.9d |
| | d>8.5mm | 有横筋 | 28.9d | 25.6d | 30.9d | 27.4d | 37.6d | 33.3d | 40.2d | 35.6d |
| | | 无横筋 | 38.9d | 33.3d | 44.1d | 39.2d | 50.6d | 43.3d | 57.3d | 51.0d |
| 计算条件 | | | 1.按《规程》计算。 2. $f_y=400\text{ N/mm}^2$ 时锚固及搭接长度按 $f_y=360\text{ N/mm}^2$ 有无横筋长度比例计算，并乘以 400/360。有*号为未乘以 0.8 的值。 | | 1.按《规范》计算。 2. $d\leq 8.5\text{mm}$ ，有横筋时锚固和搭接长度乘以 0.7；无横筋时乘以 0.8。有*号为未乘 0.8。 | | 1.按《规程》计算。 2. $f_y=400\text{ N/mm}^2$ 时锚固和搭接长度按 $f_y=360\text{ N/mm}^2$ 有无横筋长度比例计算，并乘以 400/360。有*号为未乘 0.8 的值。 3. $\zeta=1.3$ 。 | | 1.按《规范》计算。 2. $d\leq 8.5\text{mm}$ ，有横筋时锚固和搭接长度乘以 0.7；无横筋乘以 0.8。有*号为未乘 0.8。 3. $\zeta=1.3$ 。 | |

表 4.2-2 不同 ζ 钢筋搭接长度

| 项 序 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | |
|--|----------------------|--|-------|-------------|-------|---|-------|-------------|-------|-------|
| 标 准 | | J276-2003 | | | | GB50010-2002 | | | | |
| | | $\zeta=1.3$ | | $\zeta=1.4$ | | $\zeta=1.3$ | | $\zeta=1.4$ | | |
| 混凝土强度等级 | | C25 | C30 | C25 | C30 | C25 | C30 | C25 | C30 | |
| CRB550 ($f_y=360$ N/mm ²) | $d\leq 8.5\text{mm}$ | 有横筋 | 33.8d | 29.9d | 36.4d | 32.2d | 36.1d | 32.0d | 38.9d | 34.6d |
| | | 无横筋 | 36.4d | 31.2d | 39.2d | 33.6d | 41.3d | 36.7d | 44.7d | 39.5d |
| | | 无横筋* | 45.5d | 39.0d | 49.0d | 42.0d | 51.6d | 45.8d | 55.6d | 49.3d |
| | $d>8.5\text{mm}$ | 有横筋 | 33.8d | 29.9d | 36.4d | 32.2d | 36.1d | 32.1d | 38.9d | 34.6d |
| | | 无横筋 | 45.5d | 39.0d | 49.0d | 42.0d | 51.6d | 45.8d | 55.6d | 49.3d |
| CRB550 ($f_y=400$ N/mm ²) | $d\leq 8.5\text{mm}$ | 有横筋 | 37.6d | 33.3d | 40.5d | 35.8d | 40.2d | 35.6d | 43.3d | 38.4d |
| | | 无横筋 | 40.4d | 34.6d | 43.5d | 37.2d | 45.9d | 40.7d | 49.4d | 43.9d |
| | | 无横筋* | 50.6d | 43.3d | 54.5d | 46.6d | 57.4d | 51.0d | 61.7d | 54.9d |
| | $d>8.5\text{mm}$ | 有横筋 | 37.6d | 33.3d | 40.5d | 35.8d | 40.2d | 35.6d | 43.3d | 38.4d |
| | | 无横筋 | 50.7d | 43.3d | 54.5d | 46.6d | 57.3d | 51.0d | 61.7d | 54.9d |
| 计算条件 | | 1.按《规程》计算。 $d\leq 8.5\text{mm}$ ，有横筋时锚固和搭接长度乘以 0.8。 2. $f_y=400\text{ N/mm}^2$ 时，锚固及搭接长度按 $f_y=360\text{ N/mm}^2$ 有无横筋长度比例计算，并乘以 400/360 的比例。 3.有*号为未乘以 0.8。 | | | | 1.按《规范》计算。 2. $d\leq 8.5\text{mm}$ ，有*号为未乘 0.8 的值。 | | | | |

4.2.1 搭接长度比较

1) 锚固和搭接长度增加量

各种标准的锚固和搭接长度的增加量（以《规范》为准）如表 4.2-3。

表 4.2-3 《规范》和《规程》钢筋锚固长度和搭接长度增加量

| 计算类别 | | 锚固长度 | | | | 搭接长度 | | | | |
|--|----------------------|-----------|-------|--------------|-----|-----------|-------|--------------|-----|---|
| 项 序 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | |
| 标 准 | | J276-2003 | | GB50010-2002 | | J276-2003 | | GB50010-2002 | | |
| 混凝土强度等级 | | C25 | C30 | C25 | C30 | C25 | C30 | C25 | C30 | |
| CRB550 ($f_y=360$ N/mm ²) | $d\leq 8.5\text{mm}$ | 有横筋 | -1.8d | -1.7d | 0 | 0 | -2.3d | -2.2d | 0 | 0 |
| | | 无横筋 | -3.8d | -4.2d | 0 | 0 | -4.9d | -5.5d | 0 | 0 |
| | | 无横筋* | -4.7d | -5.3d | 0 | 0 | -6.1d | -6.8d | 0 | 0 |
| | $d>8.5\text{mm}$ | 有横筋 | -1.8d | -1.7d | 0 | 0 | -2.3d | -2.2d | 0 | 0 |
| | | 无横筋 | -4.7d | -5.2d | 0 | 0 | -6.1d | -6.8d | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|------|----------|-------|----------|---|----------|-------|----------|---|
| CRB550 ($f_y=400$ N/mm ²) | $d \leq 8.5$ mm | 有横筋 | -2.0d | -1.8d | 0 | 0 | -2.6d | -2.3d | 0 | 0 |
| | | 无横筋 | -4.2d | -4.7d | 0 | 0 | -5.5d | -6.0d | 0 | 0 |
| | | 无横筋* | -5.2d | -5.9d | 0 | 0 | -6.7d | -7.6d | 0 | 0 |
| | $d > 8.5$ mm | 有横筋 | -2.0d | -1.8d | 0 | 0 | -2.6d | -2.3d | 0 | 0 |
| | | 无横筋 | -5.2d | -5.9d | 0 | 0 | -6.7d | -7.6d | 0 | 0 |
| 计 算 条 件 | | | 同表 5.2-1 | | 同表 5.2-1 | | 同表 5.2-1 | | 同表 5.2-1 | |

2) 搭接长度比较

由表 4.2-1 摘出混凝土标号为 C25 时的最小搭接长度（如表 4.2-4 和表 4.2-5），以便于进行《规程》和《规范》搭接长度的比较。表 4.2-4 为 $d \leq 8.5$ mm 时的计算结果；表 4.2-5 为 $d > 8.5$ mm 情况。表 4.2-5 亦可视为 $d \leq 8.5$ mm 时不计及混凝土保护层的影响（未乘以 0.8）情况。

表 4.2-4 按《规范》和《规程》计算的最小搭接长度 ($d \leq 8.5$ mm)

| 标 准 | | | 《规程》 J276-2003 | | 《规范》 GB50010-2002 | |
|------------------------|-------------|-----------------------|-------------------|-------|----------------------|-------|
| 钢筋搭接修正系数 ζ | | | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.4 |
| $d \leq 8.5$ mm 有横筋 | 钢筋强 度等级, | 360 N/mm ² | 33.8d | 36.4d | 36.1d | 38.9d |
| | | 400 N/mm ² | 37.6d | 40.5d | 40.2d | 43.3d |
| $d \leq 8.5$ mm 无横筋 | C25 | 360 N/mm ² | 36.4d | 39.2d | 51.6d | 55.6d |
| | | 400 N/mm ² | 40.4d | 43.5d | 57.3d | 61.7d |

表 4.2-5 按《规范》和《规程》计算的最小搭接长度 ($d > 8.5$ mm)

| 标 准 | | | 《规程》 J276-2003 | | 《规范》 GB50010-2002 | |
|---------------------|-------------|-----------------------|-------------------|-------|----------------------|-------|
| 钢筋搭接修正系数 ζ | | | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.4 |
| $d > 8.5$ mm 有横筋 | 钢筋强 度等级, | 360 N/mm ² | 33.8d | 36.4d | 36.1d | 38.9d |
| | | 400 N/mm ² | 37.6d | 40.5d | 40.2d | 43.3d |
| $d > 8.5$ mm 无横筋 | C25 | 360 N/mm ² | 45.5d | 49.0d | 51.6d | 55.6d |
| | | 400 N/mm ² | 50.7d | 54.5d | 57.3d | 61.7d |

由表 4.2-5 可见，混凝土标号为 C25，按《规程》的规定， $f_y=360$ N/mm² 和 $\zeta=1.3$ 时，搭接长度为 33.8d（有横筋）和 45.5d（无横筋）。这是当前钢筋焊接网搭接布置设计的情况。 $f_y=400$ N/mm² 和 $\zeta=1.4$ 时为 40.5d（有横筋）和 54.5d（无横筋），搭接长度增加了 20%。 $d=8.5$ mm 时搭接长度为 344mm（有横筋）和 463mm（无横筋），增加了 47mm（有横筋）和 76mm（无横筋）。

4. 3 搭接钢筋用量比较

4.3.1 计算条件

1) 选取楼板构件作为计算对象为常用钢筋焊接网板构件，其底网布置为周边有边界（即梁）限制的焊接网布置，面网布置按跨梁情况计算。板跨度和配筋选为某工程使用的某些板的资料。配筋：0.256%，最小保护层厚度：15mm。板尺寸：3m×3.6m 和 3m×4.5m。这是底网分为 2 片和 3 片的常用布置和尺寸。

2) 计算了 CRB550 和 HPB235 情况，HPB235 作比较用。CRB550 钢筋计算了叠搭、平搭和绑扎情况。绑扎情况是为了计算搭接长度钢筋材料的增加用量。 ζ 选用 1.3 和 1.4。HPB235 绑扎钢筋用 $\zeta=1.4$ （考虑同一搭接处 50% 钢筋搭接）。

3) 比较时以绑扎 CRB550 的钢筋用量为基准，这样可以反映其与焊接网的关系，也可反映与 HPB235 的关系。计算时 CRB550 绑扎钢筋、CRB550 钢筋焊接网、HPB235 绑扎钢筋各按自身的搭

接要求计算钢筋材料用量，之后计算它们之间的比例。

4) 底网、面网、叠搭、平搭及它们的组合等情况分别列出，以便在各种条件下进行比较。面网的计算结果可供其它无横筋的其它构件参考。

5) 各种情况的搭接长度为第 4.2 节的计算结果。

按第 4.2 节为条件计算的搭接钢筋用量如表 4.2-6。

表 4.2-6 搭接钢筋用量比较

| 项 目 | | | | 材 料 用 量 kg | | | 比 率 | | | |
|-----------------------------|-----------|-----|----------|------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | 底网 | 面网 | 合计 | 底网 | 面网 | 合计 | |
| CRB550 N/mm ² | 叠搭 360 | ζ | 搭接长度 mm | 250 | 250 | | 250 | 250 | 1.245 | |
| | | 1.3 | 板尺寸 m | 3.0×3.6 | 57.83 | 57.74 | 115.57 | 1.235 | 1.172 | 1.203 |
| | 3.0×4.5 | | | 76.10 | 67.89 | 143.99 | 1.309 | 1.264 | 1.287 | |
| | 叠搭 400 | ζ | 搭接长度 mm | 300 | 300 | | 300 | 300 | 1.264 | |
| | | 1.4 | 板尺寸 m | 3.0×3.6 | 59.12 | 58.83 | 117.95 | 1.263 | 1.181 | 1.221 |
| | 3.0×4.5 | | | 77.01 | 71.15 | 148.16 | 1.325 | 1.287 | 1.306 | |
| | 平搭 360 | ζ | 搭接长度 mm | 320 | 320 | | 320 | 320 | 1.177 | |
| | | 1.3 | 板尺寸 m | 3.0×3.6 | 56.29 | 53.39 | 109.69 | 1.203 | 1.083 | 1.142 |
| | 3.0×4.5 | | | 71.27 | 64.14 | 135.41 | 1.226 | 1.194 | 1.211 | |
| | 平搭 400 | ζ | 搭接长度 mm | 400 | 400 | | 400 | 400 | 1.205 | |
| | | 1.4 | 板尺寸 m | 3.0×3.6 | 56.77 | 59.68 | 115.45 | 1.213 | 1.198 | 1.195 |
| | 3.0×4.5 | | | 73.08 | 64.75 | 137.83 | 1.257 | 1.172 | 1.215 | |
| | 绑扎 360 | ζ | 搭接长度 mm | 320 | 320 | | 320 | 320 | 1.000 | |
| | | 1.3 | 板尺寸 m | 3.0×3.6 | 46.81 | 49.28 | 96.09 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 3.0×4.5 | | | 58.14 | 53.71 | 111.85 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| | 绑扎 400 | ζ | 搭接长度 mm | 400 | 400 | | 400 | 400 | 1.000 | |
| | | 1.4 | 板尺寸 m | 3.0×3.6 | 46.81 | 49.82 | 96.63 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| | 3.0×4.5 | | | 58.14 | 55.27 | 113.41 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| HPB235 N/mm ² | 绑扎 210 | ζ | 搭接长度 mm | 370 | 370 | | 370 | 370 | 1.743 | |
| | | 1.4 | 板尺寸 m | 3.0×3.6 | 80.36 | 83.44 | 163.80 | 1.717 | 1.675 | 1.695 |
| | | | | 3.0×4.5 | 99.79 | 103.28 | 203.07 | 1.716 | 1.869 | 1.791 |

注：右第 1 列比率合计项为 3.0×3.6 和 3.0×4.5 项比例的平均值。

5 实践中的一些问题

5.1 《规程》的规定与《规范》基本一致

《规程》是《规范》在钢筋焊接网混凝土构件中具体规定。《规程》将影响锚固长度的因素以具体的锚固长度数值来反映的，即将钢筋焊接网搭接处混凝土及其中的横筋（焊接的、未焊接的）对锚固的加强作用反映于具体的锚固长度数值中。总的结果是相对于《规范》，《规程》略为降低了焊接网搭接长度值。

计算搭接长度常用方法为用锚固长度乘以 ζ 实现的。第 5.2 节中阐述了《规程》在考虑周边混凝土的加强和机械锚固的机制，用 0.7、0.8 和 0.9 等系数（多重折减以 0.7 为限），折减《规范》的锚固长度，形成了《规程》的锚固长度体系。0.7 和 0.8 是《规范》中的规定，0.7 是关于机械锚固的折减，0.8 是关于保护层厚度的折减（不考虑重复的折减）。0.9 是《规程》在平搭形式规定的折减，是考虑焊接横筋加强作用的折减。《规程》并没有“超越”《规范》的规定，与《规范》基本上是一

致的。

5.2 配筋换算

5.2.1 按 HPB235 钢筋设计的换算

楼板构件常用 HPB235 配筋, 一般为 $\Phi 10@200$ 配筋, 板厚 100mm, 配筋率为 0.39%。 $\Phi 8@200$ (配筋率为 0.279%) 则用于板厚 90mm。 $\Phi 10@200$ 配筋, 板厚 100mm 时, 换算为 CRB550 钢筋焊接网常用配筋为 $\Phi^R 7.0@200 \sim \Phi^R 7.0@150$, 配筋率为 0.192%~0.256。 $\Phi^R 7.0@200$ 配筋需原设计单位同意, 否则焊接网生产厂选用 $\Phi^R 7.0@190$ (0.202%), 或 $\Phi^R 7.0@180$ (0.214%), 有时原设计单位也同意采用 $\Phi^R 7.0@150$ 的配筋。在钢筋焊接网材料用量计算中某工程楼板使用的即为 $\Phi^R 7.0@150$ 的配筋。换算时的配筋还取决于焊网机纵筋的设计间距。《规程》建议的纵筋间距以 50mm 进位, 为 100mm、150mm 和 200mm。我国生产的焊网机多为此规格。也有一些焊网机的纵向钢筋间距是 25mm 进位的。因此, 要使 HPB235 配筋构件等强度地换算成 CRB550 配筋焊接网, 问题较为复杂。一般情况是为满足 CRB550 配筋的最小配筋率的要求, CRB550 配筋的焊接网超强。HPB235 $\Phi 8$ 配筋显然只能用 CRB550 $\Phi^R 5.5$ 钢筋替换, 情况也类似于 $\Phi^R 7.0$ 。

因此, 若 CRB550 的 f_y 提高为 400N/mm^2 , 受最小配筋率要求控制, 钢筋用量一般不会降低。

5.2.2 按 HRB335 钢筋设计的换算

构件原设计按 HRB335 钢筋设计时, 也有类似于 HPB235 钢筋设计的情况, 但情况会好一些。HRB335 钢筋按强度计算的最小配筋率为 0.191%, 略小于 0.2%; CRB550 钢筋按强度计算的最小配筋率为 0.159%, 与 0.2% 差距较大。在楼板的跨度较大, 和 (或) 荷载较大时, 多用 HRB335 钢筋配筋, 常用 $\Phi 10$ 和 $\Phi 12$ 。有时按 HPB235 设计而在直径较大时直接用 HRB335 出图, 但换算成 CRB550 钢筋时仍需按 HRB335 换算, 除非设计单位专门说明。

HRB335 钢筋配筋率一般较大, 多超过 0.2%。换算成 CRB550 钢筋的配筋率亦常超过 0.2%, 多不会受最小配筋率的限制。与 HPB235 绑扎钢筋比较, $f_y=400\text{N/mm}^2$ 时的造价仍高些, 但 HRB335 和 HPB235 混合使用, 或可平衡造价, 使之不超过 HPB235 配筋的材料用量。

5.3 搭接长度对造价的影响

表 4.2.6 列出了某工程楼板两楼板 ($3\text{m} \times 3.6\text{m}$ 和 $3\text{m} \times 4.5\text{m}$) 不同钢筋强度设计值、绑扎钢筋和焊接网、不同搭接方式、不同 ζ 等条件的钢筋用量的验算与比较。比较是以绑扎 CRB550 的钢筋用量为基准进行的。

5.3.1 绑扎 CRB550 与 HPB235 比较

比较是以绑扎钢筋为准的。计算材料用量时采用了相同的标准和方法, 材料用量的差别是由强度设计值之比和搭接长度决定的。HPB235 为光面钢筋, $f_y=210\text{N/mm}^2$, $d=10\text{mm}$, $\alpha=0.16$, $\zeta=1.4$ (50% 搭接), 计算得 $l_l=370\text{mm}$ 。CRB550 绑扎钢筋的 $l_l=320\text{mm}$ ($\alpha=0.14$)。因此绑扎 CRB550 与 HPB235 材料用量之比略大于强度设计值之比。

5.3.2 CRB550 钢筋焊接网搭接长度对造价的影响

表 5.3-1 列出了 CRB550 钢筋焊接网材料用量的增加和增加的比率。 $f_y=360\text{N/mm}^2$, $\zeta=1.3$, 叠搭时搭接钢筋用量约比绑扎时钢筋用量增加 19%。跨度为 4.5m 时则增加到 29%。这是因为跨度增加时搭接处焊接横筋由 1 条增至 2 条所致。 $f_y=400\text{N/mm}^2$, $\zeta=1.4$ 时会再增加 3%~5%。平搭时情况类似, 但材料用量比率约低 4%~8%, $\zeta=1.4$ 时再增加量变化不大。对整个工程而言, CRB550 钢筋焊接网材料用量增加的比率, 由于各种楼板尺寸钢筋用量的综合结果, 其增加比率略有变化, 但差别不大。根据多个实际工程的比较计算, 按《规程》(JGJ114-1997) 计算, 焊接网钢筋用量约增加 14%~15% (即最小配筋率为 0.15%, ζ 为 1.2 时)。修订后的《规程》(J276-2003) 最小配筋率提高为 0.20%, ζ 提高为 1.3, 焊接网增加钢筋用量达 18%~19%。若 $f_y=400\text{N/mm}^2$, $\zeta=1.4$ 时, 由于搭接长度的增加, 根据以上的计算结果, 预计焊接网钢筋用量的增加将超过 24%。按上述条件估算的相对于 HPB235 的钢筋用量比率为 0.670、0.694 和 0.723。相对于 1 吨 HPB235 的造价如表 5.3-1。

表 5.3-1 《规程》不同条件时焊接网造价比较

| 计算条件 | 因搭接钢筋增加比率 | 相对于 HPB235 用量比 | HPB235 综合单价 元/吨 | CRB550 综合单价 元/吨 | HPB235 1 吨造价 元 | CRB550 造价 元 | 相对于 HPB235 造价比 |
|---|-----------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------|----------------|
| $f_y=360\text{N/mm}^2$, $\zeta=1.2$, $\rho=0.15\%$ | 1.15 | 0.670 | 3743.22 | 4775.47 | 3743.22 | 3199.56 | 0.855 |
| $f_y=360\text{N/mm}^2$, $\zeta=1.3$, $\rho=0.2\%$ | 1.19 | 0.694 | | | 3743.22 | 3314.18 | 0.885 |
| $f_y=400\text{N/mm}^2$, $\zeta=1.4$, $\rho=0.2\%$ | 1.24 | 0.723 | | | 3743.22 | 3452.66 | 0.922 |

由表 5.3-1 可见, $f_y=400\text{N/mm}^2$, $\zeta=1.4$ 时, 按现行《规程》, 相对于 1 吨 HPB235, CRB550 钢筋焊接网节省的造价减少约 4% (由 11.5% 减至 7.8%), CRB550 钢筋焊接网的优势明显降低; 在 HPB235 和 HRB335 组合配筋时可能会与 CRB550 钢筋焊接网配筋持平。

5.4 钢筋强度提高

CRB550 钢筋设计强度值增加至 $f_y=400\text{N/mm}^2$ 时, 钢筋用量会减小, 但搭接长度会增加, 需综合考虑。在直接按 CRB550 钢筋设计的构件, 只是在设计时将 $f_y=360\text{N/mm}^2$ 改为 $f_y=400\text{N/mm}^2$ 即可。按 HPB235 和 HRB335 钢筋设计要改为 CRB550 配筋时, 应分别考虑

5.4.1 构件按 HPB235 钢筋设计

楼板构件常用 HPB235 配筋, 一般为 $\Phi 10@200$ 配筋, 板厚 100mm, 配筋率为 0.39%。 $\Phi 8@200$ (配筋率为 0.279%) 则用于板厚 90mm。 $\Phi 10@200$ 配筋, 板厚 100mm 时, 换算为 CRB550 钢筋焊接网常用配筋为 $\Phi^R 7.0@200 \sim \Phi^R 7.0@150$, 配筋率为 0.192%~0.256。 $\Phi^R 7.0@200$ 配筋(配筋率为 0.192%)需原设计单位同意, 否则焊接网生产厂选用 $\Phi^R 7.0@190$ (配筋率为 0.202%), 或 $\Phi^R 7.0@180$ (0.214%), 有时原设计单位也同意采用 $\Phi^R 7.0@150$ 的配筋。在钢筋焊接网材料用量计算中某工程楼板使用的即为 $\Phi^R 7.0@150$ 的配筋。换算时的配筋还取决于焊网机纵筋的设计间距。《规程》建议的纵筋间距以 50mm 进位, 为 100mm、150mm 和 200mm。我国生产的焊网机多为此规格。也有一些焊网机的纵向钢筋间距是 25mm 进位的, 任意纵向钢筋间距的焊网机实属少数。因此, 要使 HPB235 配筋构件等强度地换算成 CRB550 配筋焊接网, 问题较为复杂。一般情况是为满足 CRB550 配筋的最小配筋率的要求, CRB550 配筋的焊接网超强。HPB235 $\Phi 8$ 配筋显然只能用 CRB550 $\Phi^R 5.5$ 钢筋替换, 情况也类似于 $\Phi^R 7.0$ 。

因此, 若 CRB550 的 f_y 提高为 400N/mm^2 , 受最小配筋率要求控制, 钢筋用量一般不会降低。

5.4.2 构件按 HRB335 钢筋设计

构件原设计按 HRB335 钢筋设计时, 也有类似于 HPB235 钢筋设计的情况, 但情况会好一些。HRB335 钢筋按强度计算的最小配筋率为 0.191%, 略小于 0.2%, CRB550 钢筋按强度计算的最小配筋率为 0.159%, 与 0.2% 差距较大。在楼板的跨度较大, 和 (或) 荷载较大时, 多用 HRB335 钢筋配筋, 常用 $\Phi 10$ 和 $\Phi 12$ 。有时按 HPB235 设计而在直径较大时直接用 HRB335 出图, 但换算成 CRB550 钢筋时仍按 HRB335 换算, 除非设计单位专门说明。

HRB335 钢筋配筋率一般较大, 多超过 0.2%。换算成 CRB550 钢筋的配筋率亦常超过 0.2%, 多不会受最小配筋率的限制。HRB335 和 HPB235 混合使用, 或可平衡造价, 使之不超过 HPB235 配筋的材料用量。

5.5 增加搭接长度的问题

就目前使用钢筋焊接网情况, 增加搭接长度有两种情况, 一是材料强度的变化, 一是搭接长度不够。CRB550 的强度设计值由 360N/mm^2 增加到 400N/mm^2 , 钢筋搭接长度会增加。CRB550 钢筋强度增加到 400N/mm^2 是必然趋势, 应按公式 (2.2-1) 计算钢筋的搭接长度。

第 5.5 节中分析了由 $f_y=360\text{N/mm}^2$, $\zeta=1.3$ 增至 $f_y=400\text{N/mm}^2$, $\zeta=1.4$ 时搭接长度和钢筋材料的增加, 并进行了经济分析。由于搭接长度的增加, 其钢筋材料用量的增加达 24%, 从经济上看, 钢筋焊接网的优势大为降低, 影响钢筋焊接网的推广应用。

从以上关于锚固机制、实际使用条件和经济条件的分析, 《规程》使用的上述系数是《规范》的

具体应用，是合理的，加大 ζ 似无此必要。这些系数可作小的调整，但似不宜作大的调整和大幅增加搭接长度。

另外，增加钢筋焊接网的最小搭接长度值，由 200mm 增至 250mm，对常用的钢筋直径不会出现很大问题。但对直径 $d=5.5\text{mm}$ 时会出现一些问题，因为 $\Phi^R5.5$ 一般用于较小跨度的板中，由于搭接长度的增加，钢筋材料用量增加很多，影响经济效果。当然，如果要限制受力钢筋的直径尺寸，如限制 $\Phi^R5.5$ 的使用，那就另当别论了。还有，叠搭和平搭的最小搭接长度值应有所区别。

5.6 关于 $d=8.5\text{mm}$

将 $d=8.5\text{mm}$ 作为焊接网钢筋直径的分段的分界值是基于以下的考虑。更精确地满足净保护层为 $3d$ 时， d 应为 7.5mm 。此应为《规范》关于保护层厚度规定的具体化。

钢筋焊接网的配筋率较小，使用的钢筋直径亦较小，钢筋搭接处混凝土中，可形成较完整的混凝土锚固区，充分发挥混凝土的粘结作用。钢筋搭接处周围混凝土（含保护层）内横向钢筋起到加固锚固区的作用。《规范》第 9.3.1-4 款的规定，带肋钢筋保护层厚度达到 $\geq 3d$ 时锚固长度可乘以 0.8。楼板的配筋多用最小配筋率，常用钢筋直径为 $\Phi^R7.0$ 和 $\Phi^R8.5$ ，以及 $\Phi^R5.5$ 。大跨度及荷载较大时用 $\Phi^R10.5$ 或大于 $\Phi^R10.5$ 的钢筋。板的焊接网搭接钢筋常布置在里侧， $\Phi^R8.5$ 配筋楼板底网保护层厚度为 $15+8.5=23.5\text{mm}$ ，接近 $3d$ ，考虑到保护层混凝土内有焊接的横筋，似可应用《规范》第 9.3.1-4 款的规定，使之具体化。

5.7 钢筋焊接网搭接处混凝土的加强

钢筋焊接网构件的主要特点是构件薄而面积大，钢筋直径小，钢筋保护层厚度和钢筋间距相对较大。同时钢筋搭接处混凝土内有焊接（或未焊）的横向钢筋。对搭接效果的影响也是很大的。上述特点主要表现在搭接钢筋周边混凝土得以加强。这是钢筋焊接网搭接处锚固力高于其它构件的主要原因。

钢筋焊接网使用的钢筋直径较小。楼板的配筋多用最小配筋率，常用钢筋直径为 $\Phi^R7.0$ 和 $\Phi^R8.5$ ，以及 $\Phi^R5.5$ ，大跨度及荷载较大时为 $\Phi^R10.5$ 。用于墙中及桥面铺装的焊接网钢筋直径为 $\Phi^R8.5$ 和 $\Phi^R10.5$ ，很少使用 $\Phi^R12.0$ 以上的钢筋直径。小直径钢筋的粘结强度较大直径钢筋的为大。钢筋锚固试验结果表明，较大钢筋直径（如 $\geq 16\text{mm}$ ）锚固力会降低。有的标准中还规定了小直径的影响参数。但钢筋焊接网常用的钢筋直径小于 16mm ，钢筋直径对钢筋锚固力的影响不会很大。但小直径钢筋在布置方面有很大的优势，它有足够的混凝土空间以可形成其间粘结强度，对充分发挥混凝土粘结能力较为有利。

有资料表明，钢筋保护层厚度和钢筋间距达到一定值时，钢筋搭接长度将大为减小。《规范》第 9.3.1-4 款的规定，带肋钢筋保护层厚度达到 $\geq 3d$ 且有箍筋时锚固长度可乘以 0.8。这是形成粘结强度的混凝土空间和有横筋对形成较大锚固力的应用。但《规程》中没有专门的关于横筋影响的规定，也可理解为横筋的影响已在确定钢筋锚固长度数值时考虑了。

受制作条件的限制，焊接网钢筋最小间距为 50mm ，有的焊网机自动钩网机构的限制，最小间距为 65mm 。常用间距为 100mm 、 150mm 和 200mm 。由于使用的钢筋直径较小， $d \leq 8.5\text{mm}$ 时钢筋净距常超过 $10d$ 。在配筋率较大时，常用 $d \geq 10.5\text{mm}$ ，当使用较小的钢筋间距时钢筋间距亦可能超过 $10d$ ；使用 $d=12\text{mm}$ 时可选用适当钢筋间距使大于 $10d$ 。此时有利于钢筋较充分地形成粘结强度和混凝土传递力的作用。《规程》中未体现这些钢筋焊接网的特点，或在平搭时保护层厚度 $\geq 3d$ 时有减少搭接长度的规定，但实践中常未使用。

5.8 叠搭和平搭

叠搭和平搭是钢筋焊接网的主要搭接形式，它们的布置设计、安装方法、钢筋材料用量等是有差别的，作用机制也有些不同。钢筋焊接网的叠搭和平搭搭接处（两侧或一侧）有焊接横筋，加强了搭接处的锚固作用，与绑扎钢筋及平搭比较，搭接处的混凝土有很大的加强。平搭为一侧，绑扎钢筋全无。

叠搭为常用的搭接形式，搭接长度较小，无特殊的安装顺序要求，安装方便。但搭接处钢筋叠

全层数较多，也可能造成施工困难。横筋数视横筋间距和搭接长度而定，可为 1 根、2 根，甚至 3 根。搭接处有 1 根横筋已足于达到《规程》所要求的锚固加强作用，2 根时有较大的富余，3 根时在搭接长度较大或钢筋间距较小时出现，此时钢筋用量较平搭为多，应尽量避免。

平搭的两片焊接网钢筋在同一平面上，贴紧布置，无钢筋叠垒现象。搭接处有 1 片焊接网的钢筋焊有横筋，横筋数视横筋间距和搭接长度而定，可为 2 根或 3 根。平搭搭接钢筋有一侧有焊接横筋，其加固搭接周边混凝土的加强优于绑扎横筋。由于平搭有一侧焊接网无横筋的搭接，锚固和混凝土加强作用较叠搭为小，搭接长度较叠搭为大。若将焊有横筋焊接网布置在搭接外侧，对混凝土的加强接近于叠搭。平搭有特殊的安装顺序要求，无钢筋叠垒问题。由于平搭搭接处一侧无横筋，钢筋用量较叠搭为少。钢筋直径的限制少，使用范围广。加之焊接网安装顺序要求较严格，小直径钢筋配筋的焊接网，总是先考虑使用叠搭的搭接形式。

5.9 任意布置的钢筋焊接网搭接问题

使用钢筋焊接网时可提高效率 and 减少施工现场繁重体力劳动量，在发达国家的应用较为广泛。有时为进一步减少施工现场工作量，任意布置焊接网搭接是重要措施之一。钢筋焊接网搭接任意布置，或者说钢筋焊接网安装时，只要满足搭接长度要求，搭接位置可视施工要求现场任意选择。此时，在钢筋焊接网布置范围内的焊接网搭接长度须满足最大搭接长度。焊接网的此种布置方法有其方便的一面。主要优点为：可使用标准网，安装时可不受结构梁系等的限制，且可裁剪网片以适应构件面积形状和安装需要。此种焊接网布置方法有一定的局限性。首先，只适用于叠搭的搭接形式，因为其他的搭接形式有严格的安装顺序，难于实现任意布置。其次叠搭搭接形式常有搭接处 6 层或 8 层钢筋叠垒现象出现，为避免此现象发生，还需要进行布置设计。因此，此种布置方法常用于小直径钢筋且不很重要的大面积构件中。

还有一种可用于楼板等构件的可称为部分任意布置的焊接网任意布置方法。此法在布置时，既要考虑楼板的梁系布置，又可任意布置焊接网的搭接。这种布置方法可减少焊接网类型并使之标准化。使用此布置方法的楼板构件的特点是梁系布置简单、板厚较大、板钢筋布置在梁钢筋之上（板钢筋与梁钢筋分别布置，板筋布置在梁筋之上）等情况。底网可用与面网相同的方法布置。曾见过德国某工程的楼板的焊接网布置图，此图即为部分任意布置方法布置的一种形式。澳大利亚工程师设计的番禺某工程楼板的焊接网布置图亦用此法布置，但因该工程板钢筋顶面与梁钢筋顶面是在同一平面上，不能施工。

应用《规程》第 5.1.4 条的规定，焊接网布置时有时将焊接网搭接布置在受力较小处，在双向板时是欠妥的。若为视《规范》（第 9.3.1-5 款的具体应用是可行的。一般情况下，基本上用充分利用钢筋抗拉强度的搭接长度布置，但搭接位置布置自由些，使焊接网布置很有规律。这样布置实质上是焊接网搭接任意布置的布置方式。

增加搭接长度与焊接网的任意布置没有直接的因果关系。增加搭接长度似可增加焊接网布置灵活性，但就我国目前的发展水平，用大量增加钢筋用量以减少劳力用量，将增加工程造价。应用这种提高工程效益尚需一段时间后才能实现。

5.10 钢筋锚固和搭接试验

如前所述，在钢筋锚固和搭接方面进行了大量的试验工作，针对钢筋焊接网搭接处搭接钢筋位置的影响的试验较为少见。同时钢筋焊接网混凝土构件和钢筋混凝土构件钢筋锚固和搭接试验结果的比较，它们的机制方面的比较等工作较为少见，宜进行一些这方面的工作，以确定较适用的关于搭接规定。