

# 钢筋混凝土结构的建筑加固改造关键技术分析

道杰

青海民族大学 基本建设处, 青海 西宁 810007

**摘要:** 随着建筑物使用年限的增加, 建筑结构会由于自身的老化、自然灾害或者人为的损害而出现不同程度的破坏, 从而引起安全隐患。本文根据相关的检测结果判断建筑物构件的损害程度, 并对混凝土构件加固改造过程中的一些关键技术进行分析。

**关键词:** 建筑结构; 加固技术; 计算分析

**中图分类号:** TU375

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2017)04-0511-05

## Analysis of Key Technologies for Strengthening and Retrofitting Building with Reinforced Concrete Structures

DAO Jie

Infrastructure Project Department of Qinghai Nationalities University, Xining 810007, China

**Abstract:** With the increase in the useful life of buildings, its structures will be damaged at different degrees due to its aging, natural disasters or man-made damage so as to cause potential safety hazards. This paper judged the damaged extent of the building according to the relevant detection results and analyzed some key technologies during the reinforcement and reconstruction for the reinforced concrete structures of the building. In this paper, the damage degree of building components is judged according to the relevant test results, some key technologies during the reinforcement and reconstruction of concrete components are analyzed.

**Keywords:** Building structure; reinforcement technology; calculation and analysis

钢筋混凝土构件如同其他产品一样都有相应的使用年限, 当达到使用年限时候就不能再使用, 中途有损伤时候就需要修复加固。混凝土加固技术有两方面含义, 一是在建筑物形成之初, 由于施工技术不合理存在质量缺陷从而使得建筑物不符合建筑设计要求, 但是国内相关法律法规指出对于不符合设计要求的施工经过修复加固之后满足设计要求, 则允许验收合格; 二是随着时间的推移, 建筑物由于自身老化、自然灾害或者人为的损害等造成建筑出现不同程度破坏, 存在使用安全隐患, 因此需要加固处理才能继续使用。

加固最根本的原则就是加固后的构建能够满足当初最早的设计要求和目前的功能性使用要求。

### 1 非破坏性的检测方法

进行加固之前首先要进行相损伤检测。。传统的检测方法主要是破损的方法, 主要分为钻芯法和拔出法, 他们的缺点很明显主要进行相关结构的外观破坏, 相比之下非破损法进行检测就得到快速的发展<sup>[1]</sup>。非破损法主要是分为回弹法和超声脉冲法。超声脉冲法。它的主要原理是利用产生波介质内部传递时候, 在不同属性的介质内部传递的物理属性是不同, 这些物理属性都是可以利用相关的曲线描述出来。

$$v = \sqrt{\frac{E_d(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

公式 1 反应超声波在钢筋混凝土构件内部传播速度和各个因子之间的关系。 $E_d$ 是混凝土构件的弹性模型,  $\rho$ 是材料密度,  $\mu$ 是系数,  $v$ 是超声波传递的速度。采用相应的传感器进行检测, 将信号转换成为数字, 在实际检测过程当中将信号分解为若干个小分层, 进行不同方向的检测, 从而提高信噪比和分辨率, 根据电脑客户端的信号图就能判断钢筋混凝土构件损伤的程度<sup>[2]</sup>。下表 1 和表 2 反应这完整混凝土构件和损伤混凝土构件检测结果的差别。

**收稿日期:** 2017-02-11

**修回日期:** 2017-03-20

**作者简介:** 道杰(1977-),男,本科,高级工程师.主要研究方向为建筑工程. E-mail:gwengao@sina.com

表 1 无损混凝土柱子超声波探测

Table 1 Ultrasonic detection for non-damaged concrete columns

柱子 Column	一阶频率 $F_1$ Frequency order 1	二阶频率 $F_2$ Frequency order 2	统计值 Statistics
A	25.6	51	一阶频率平均值 UF1 是 25.4HZ 标准差是 0.848
B	25	49.7	
C	27	55	

表 2 无损混凝土柱子超声波探测

Table 2 Ultrasonic detection for non-damaged concrete columns

柱子 Column	一阶频率 $F_1$ Frequency order 1	二阶频率 $F_2$ Frequency order 2	( $F_1-F_2$ )/UF1
D	24.6	43	17.2%
E	22	45	11.85%
F	21	42	9.57%

由上表可以很直接的看出，收到损伤的混凝土构件超声检测时候和万豪无缺的混凝土构件对应的一介频率有着细微的差别，受损伤的混凝土梁其对应的一介频率比无损混凝土梁对应的一介频率的平均值 25.4 Hz 小了很多，而且可以看出损伤越大，其对应的差值比例越大。通常情况下，不是一种单一的检测工具进行检测的，超声波能够检测出混凝土构件破坏的程度，而回弹性是能够弹出损后的混凝土构件的强度，因此如果进行量化分析加固损伤后的混凝土构件，需要两种检测方式结合使用<sup>[3]</sup>。

## 2 混凝土构件的加固

### 2.1 混凝土梁、板加固

混凝土梁板不能满足当下实际承载力的需要，通常有以下原因，一是设计承载力和目前使用承载力不同导致现在结构受力不能满足实际需要，二是施工过程当中的错误，实际尺寸和设计有差别，实际配筋和设计不符合，三是损伤破坏不能满足实际使用需求。对于每种不同的形式采用不同的加固方法。

增大截面积的方法。它主要是针对在施工过程当中由于施工的原因导致的混凝土梁板的尺寸和实际差别很大的时候采用的一种加固方法。在实际过程当可以采用两面或者三面的方法进行加固，在宽度和高度两个纬度进行加固施工，从而提高混凝土构件梁板的受力截面积。如下图 2，增大有效受力截面积的加固方法。

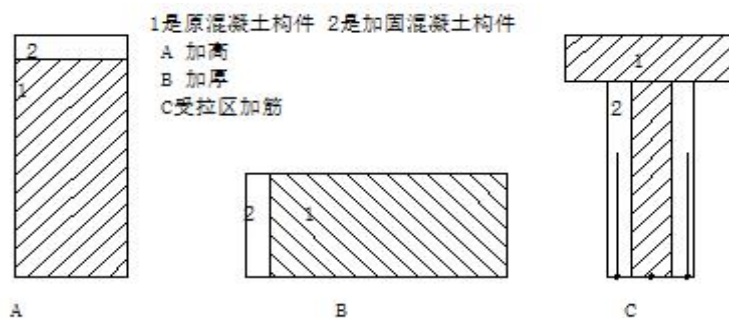


图 2 增大有效受力截面积的加固方法

Fig.2 The reinforcement method for increasing effective sectional area of force

无论是增加受力混凝土截面的面积还是增加受拉钢筋都是为了提高混凝土构件的刚度、挠度，极限承载力等。在加固施工过程当中，必须将原混凝土的表面凿毛将内部碎石裸露出来，同时如有钢筋露出，要进行钢筋除锈，然后将接触面清洗干净，这样提高新旧混凝土的结合力，必要时可以添加高强粘结剂。另外在混凝土构件受拉部位增加钢筋的时候，应首先考虑植入钢筋的方法后考虑焊接的方法，这样提高钢筋和原混凝土的作用力<sup>[4]</sup>。

加钢材的方法。在建筑结构受力区域增加一定的钢板，根据国内外相关的经验此方法有一定的效果。其原理是在混凝土截面积的不变的前提下增加了配筋率。其施工重点是将混凝土构件的表面

打磨清洗干净,利用环氧树脂作为粘结材料将钢板和混凝土构件有效结合在一起,另外在必要的时候可以采取植钢筋的方法增加锚固,因此也能有效提高钢板和混凝土结构的结合力,从而提高构件的极限承载力、抗剪切力和抗弯能力等。

## 2.2 混凝土柱子的加固

针对混凝土柱子坚固技术,应该了解混凝土柱子破坏的原理,才能有针对性的采用相应的措施进行加固。目前建筑物采用得最多的形式就是框架结构,在一定高度内,建筑主要是通过柱子传递竖向荷载,因此钢筋混凝土柱子的性能就得到重视。柱子主要破坏形式主要是小偏心的受压破坏和大偏心的受压破坏(受拉破坏)。小偏心受压破坏主要应力较大的一侧出现的是一道裂痕,同时对应的一侧钢筋没有达到屈服强度而变形。柱子受到大偏心受压的时候,往往在受拉力区域的边缘分区出现直线裂缝,随着作用力的不断加大,整条裂缝出现加长的趋势,同时相应的受压区域开始逐步变小,受拉钢筋开始逐步屈服,最终达到屈服强度而发生破坏。

增大截面积的方法加固。目前主流的加固柱子的方法是增大柱子的截面积,必要时添加相应的钢筋,可以采用在水平地面植入钢筋或者将原来的柱子钢筋剥离出来进行焊接。这样能够大幅度提高柱子的抗压能力、抗震能力。如下图3所示,增加截面和新加钢筋的方法提高柱子的力学性能。

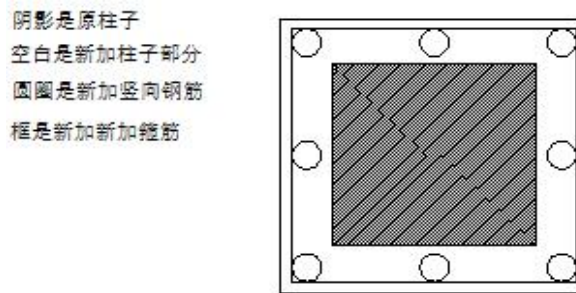


图3 增加柱子截面积和配筋示意图

Fig.3 Sketch of increasing column sectional area and reinforcement

在增加截面积和配筋的过程当中,首先要进行原柱子的表面凿毛和清洗干净,通过植入钢筋的方法增加钢筋,必要时要做拉拔试验,检验植入钢筋的力学性能。新加箍筋就是将原来的柱子包裹起来即可。提高损伤柱子的力学性能的方法不止一种,也可以采用碳纤维布和角钢结合的方法增加柱子的力学性能。它主要是利用碳纤维布的粘结力将角钢固定在柱子的四周,间接增加相应的配筋率,从而提高钢筋混凝土柱子的力学性能<sup>[5]</sup>。

## 3 混凝土加固技术的承载力计算

### 3.1 计算基本假设

由于加固的钢筋混凝土构件和一次成型的混凝土构件在力学性能上存在一定的差异,因此我们认为在计算加固之后计算混凝土构件之前做出相应的计算假设。一是在新添加混凝土和原混凝土构件形成一个整体,其力学性能和原混凝土构件力学性能呈现线性的关系;二是不记混凝土的抗拉强度;因此得出一下的结论:当混凝土构件受压时,对应的应力-应变关系是:

$$\text{当 } \varepsilon_c \leq \varepsilon_0 \quad \sigma_c = f_c \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^n \right] \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_c &= f_c \\ \text{当 } \varepsilon_0 < \varepsilon_c < \varepsilon_{cu} \text{ 时} \quad n &= 2 - \frac{1}{60} (f_{cu,k} - 50) \\ \varepsilon_0 &= 0.002 + 0.5 (f_{cu,k} - 50) * 10^{-5} \\ \varepsilon_{cu} &= 0.0033 - 0 (f_{cu,k} - 50) * 10^{-5} \end{aligned} \quad (3)$$

注释: $f_c$ 是混凝土轴心抗压强度设计值, $\varepsilon_0$ 是混凝土构件压力与构件强度设计相同时对应的应变,

最低取值 0.002。ε<sub>cu</sub> 为正截面的混凝土极限应变，最大值取 0.0033，当轴心受压时取值 ε<sub>0</sub>。f<sub>cu,k</sub> 是标准立方体构件的强度标准值。N 是系数，最大值为 2。

### 3.2 增大截面积对应的方法计算

增大截面积的加固方法，对应受弯曲构件对应的受力示意图，见图 4。

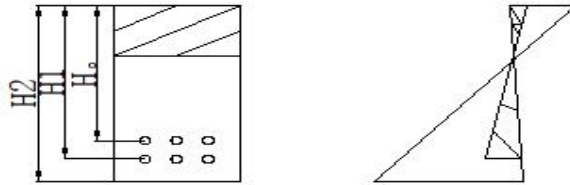


图 4 加固构件时受弯曲构件的受力示意图

Fig.4 Stress of the bent member when the member is strengthened

其主要的受力分析是根据上文的计算假设，新添加的混凝土部分和原本的构件对应的力学性能是线性的关系，在增加钢筋的同时，其对应的受弯曲的弯矩图如图 4 中右图。我们可以看出加固的部分对应的力学性能（阴影部分）已经完全融入原本混凝土构件的力学性能当中，在下影线出现新加混凝土的力学性能，因此我们可以根据上文的力学假设，建立新添加混凝土增大截面积的加固方法对应的力学公式，进行检验承载力师是否满足当初的设计要求。

$$\alpha_1 f_{c0} b x = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s - f'_{y0} A'_{s0} \tag{4}$$

$$M \leq \alpha_s f_y A_s (h_0 - \frac{x}{2}) + f_{y0} A_{s0} (h_{01} - \frac{x}{2}) + f'_{y0} A'_{s0} (\frac{x}{2} - \alpha') \tag{5}$$

注释：M 是设计弯矩值。f<sub>y</sub> 是新加受拉钢筋强度设计值。A<sub>s</sub> 新增加的截面积。h<sub>0</sub> h<sub>1</sub> 新旧混凝土构件对应的截面积。f<sub>y0</sub> f'\_{y0} 是原抗拉和抗压设计值。

对于增大截面积的方法，加固的结果只要加固后的实际承载力实验值大于原先的设计值，则加固是有效的。如图 5 所示，混凝土简支梁的破坏形式。

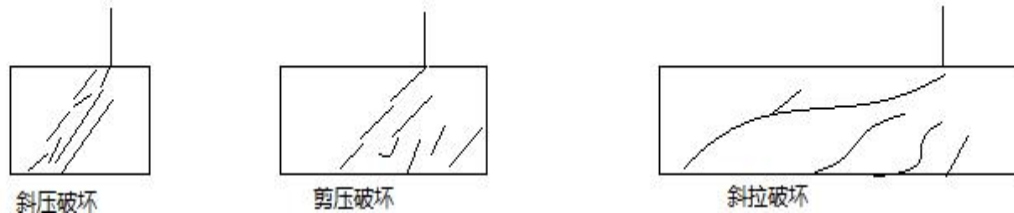


图 5 混凝土简支梁的破坏形式

Fig.5 Destructional modes of concrete simply supported beams

我们针对上图 5 中右图中的斜压破坏的简支梁进行加固处理，再进行加固前后是实验数据得到下表 4。

表 4 实验前后的数据

Table 4 Data before and after experiment

	b	h	d	f <sub>cu</sub>	ρ	λ	M
实验前梁	160	180	1000	21.8 Mpa	1.82	1.98	71.8 Mpa
加固后梁	180	200	100	24.8 Mpa	1.8	1.82	79.2 Mpa

备注，上述的实验数据在植入钢筋 Q235 三级钢的前提下进行加固的。

通过上述的数据可见，由于加固的界面是 B\*H=(180-160)\*(200-180)=20\*20，得出数据是

$$\text{加固后 } f_{cu} * \frac{\rho_{\text{后}}}{\rho_{\text{前}}} = 24.8 * 1.8 / 1.82 = 24.52 > \text{加固前 } f_{cu} \quad \text{加固后 } M * \frac{\lambda_{\text{后}}}{\lambda_{\text{前}}} = 79.2 * 1.82 / 1.98 = 72.8 > \text{加固前 } M \text{。因}$$

此上述的加固方案是有效的。

上述计算对应的只是简单的一面增加截面积的方法进行计算，但是两面或者四面对应的计算方法是一样的，原因在于基于之前的假设，新加混凝土构件的力学性能和原本的力学性能是存在相应

的线性关系,所以一面和另外一面对应的力学性能也是相应的线性关系。同时由于我们计算的是受弯曲构件,我们知道当混凝土简支梁的受力其实只是一边受力,当受力的那一面承载力能够满足要求,那么另外一面肯定是达不到屈服强度而变形,因此正常情况下,只是增加一面的截面积。

上文介绍了受弯曲界面的加固方法受力分析计算,下面是混凝土受压力的加固方法计算内容。当混凝土柱子的竖向承载力达不到要求的时候,可以采用增大界截面积的方法提高混凝土柱子竖向承载力既是受压同时可以采用四周包裹碳纤维布并且加固角钢的方法提高柱子的受压力。

$$M \leq \alpha_1 f_{c0} b x \left( h - \frac{x}{2} \right) + f_{y0}' A_{s0}' (h - a') + f_{sp}' A_{sp}' h - f_{y0} A_{s0} (h - h_0) \quad (6)$$

$$\alpha_1 f_{c0} b x = \psi_{sp} f_{sp} A_{sp} + f_{y0}' A_{s0}' - f_{y0} A_{s0} - f_{sp}' A_{sp}' \quad (7)$$

$$\psi_{sp} = \frac{(0.8 \varepsilon_{cu} h / x) - \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{sp,0}}{f_{sp} / E_{sp}} \quad (8)$$

注释:  $f_{sp}$ 、 $f_{sp}'$  是加固角钢的力学性能设计值,抗拉和压强度。 $A_{sp}$ 、 $A_{sp}'$  角钢和碳纤维布结合的面积。 $H$  是加固前柱子对应的高度。 $\psi_{sp}$  是角钢在碳纤维布的作用下受力性能增加的系数,最大值为 1.2。 $\varepsilon_{sp,0}$  是钢筋混凝土屈服应变系数,取值为 0.0033。

进行碳纤维布和角钢加固混凝土柱子计算的时候,主要注意的地方是要测量角钢和碳纤维布复合的部分的面积,只有角钢覆盖下的碳纤维的作用才能完全作用在角钢上,这样才会按满足之前的计算假设,新添加的构件和原本的构件存在一定的线性关系。同时采用角钢加固的形式主要是针对配筋率不能满足梁柱截面的构件,或者钢筋裸露的混凝土构件。

## 4 结论

随着建筑行业的快速发展,加固技术在建筑行业也是越来越重要了,因此本文的研究也是有重要的意义。

(1) 混凝土构件加固当中,技术比较难的是判断混凝土构件的损伤程度,针对不同的构件不同的受力分析造成不同的损伤,进行不同的方法进行修复。本文是推荐采用的超声波和回弹仪结合的方式进行测量进行量化分析;

(2) 无论是采用任何方式加固,其本质原理都是增加配筋或者受力面积。另外在加固施工当中,新旧混凝土构件的结合是非常重要的,必须将原本的混凝土构件表面进行凿毛处理,清洗干净;

(3) 加固技术的最后的关键是判断是否加固的方案能否满足最初设计要求和现在使用的承载力要求。

## 参考文献

- [1] 娄德利.浅谈建筑结构钢筋混凝土加固技术方法[J].黑龙江科技信息,2012(13):279
- [2] 刘国恩.论建筑结构钢筋混凝土加固技术方法[J].城市建设,2010(23):382-383
- [3] 罗苓隆.加大截面加固中心受压钢筋混凝土柱的试验研究[J].四川建筑科学研究,1994(1):18-23
- [4] 高剑平,潘景龙.新旧混凝土结合面成为受力薄弱环节原因初探[J].混凝土,2000(6):44-46