

## 建筑技术

# 应用黏碳纤维法加固重腐蚀结构

李曰辰 李秀君<sup>1</sup>

(武汉大学水利水电学院,武汉 430072;武汉天弘建筑加固技术有限公司<sup>1</sup>,武汉 430070)

**摘要** 某盐厂制盐车间长期在重度腐蚀环境下运行,结构破坏严重,已极度不安全,必须进行加固。经过分析与论证,确定采用以黏碳纤维法为主的综合加固措施对厂房结构进行整体的加固与防腐处理。介绍了加固方案设计以及施工的主要过程和要点。加固后,厂房已运行了4年,效果良好。

**关键词** 重腐蚀 加固 黏碳纤维 修补 防腐

**中图法分类号** TU746.3; **文献标志码** B

## 1 工程概况

某盐硝厂制盐车间建于1989年,为钢筋混凝土框架结构,共3层,东西长49 m,南北宽17 m,建筑面积约2 100 m<sup>2</sup>。虽然投入使用的时间并不太长,但是由于制盐车间特殊的使用环境,厂房结构已出现了严重的腐蚀破坏现象。

## 2 破坏状况及原因分析

厂房内大部分柱、梁、板构件均出现了不同程度的破坏现象,主要表现为混凝土开裂、酥松破碎、粉化剥落,钢筋锈蚀、外露等。整个厂房的破坏状况可谓触目惊心,大量混凝土剥落,未剥落部位也有很多早已腐化,触手即溃,多处钢筋几乎已完全锈断。

经统计,已经出现破坏现象的梁、柱、板等构件约占整个车间的60%,其中约40%的构件破坏比较严重,混凝土开裂剥落,构件外形已很不完整,截面

损失最大的超过30%,结构刚度大大下降;锈蚀严重的部位,钢筋截面损失超过60%。经初步检测,混凝土强度已下降约30%,且碳化严重。

由于制盐车间特殊的环境,盐腐蚀是结构破坏的最直接和最主要原因。空气中存在大量的氯离子Cl<sup>-</sup>、水蒸气H<sub>2</sub>O和氧O<sub>2</sub>,甚至有时生产中的盐水直接流到了结构构件上,这样直接造成混凝土结构中钢筋化学反应,锈蚀破坏。钢筋锈蚀又导致体积膨胀;不仅钢筋锈胀导致混凝土开裂,混凝土本身的腐化及混凝土中微小孔隙渗入的盐类的晶体化也产生体积膨胀起物理性破坏。经过一定的时间,结构混凝土变形开裂,酥松粉化,钢筋的保护作用越来越小,又进一步导致钢筋锈蚀加剧。破坏的过程为混凝土变形—开裂—疏松—粉化—剥落,钢筋锈蚀膨胀—外露—再锈蚀膨胀,整体结构逐步破坏。

厂房结构的破坏极其严重,已极度不安全,必须尽快进行加固处理。

## 3 结构加固方案

### 3.1 加固方法选择

对钢筋混凝土结构的加固,目前最常用的方法主要有三种<sup>[1]</sup>:钢筋混凝土加大截面法、粘贴钢板

2010年9月3日收到,9月7日修改

第一作者简介:李曰辰(1972—),男,工程师;武汉大学水利水电学院水力学实验室。E-mail:liyc1000@163.com。

法、粘贴碳纤维法。

加大截面法是传统的加固方法,用同种材料——钢筋混凝土来加大被加固构件的截面和配筋量,并通过植筋或焊接来保证新旧结构的连接。加大截面法造价相对较低,可以使构件刚度、承载力、抗变形能力同时提高,但是它增大了构件的尺寸和自重,影响构件的使用功能,而且施工不便、速度慢、占用空间大、噪音大,对生产、生活有较大的影响。更重要的是,新旧混凝土结合面是一个薄弱环节,共同工作效果较差,严重影响加固效果;而且,在重腐蚀环境下,腐蚀介质更容易侵入新旧结合面这个薄弱环节,造成深度腐蚀,使加固和防腐更容易和更快地失效。

粘贴钢板法和粘贴碳纤维法是比较新式的加固方法,可以很好地解决加固材料与被加固结构的新旧结合问题。粘贴加固技术的原理是将钢板或碳纤维等通过高强粘接剂粘贴在混凝土构件外表面上形成三相结构:混凝土—胶—钢板(或碳纤维)的复合系统共同工作,以提高结构的强度和刚度。由于粘接剂有着优异的物理化学性能,粘贴加固法可以让加固钢板或纤维布与被加固结构结合致密,完全连成一体共同受力,而且还有着施工简便、速度快、不影响外观等优点。

在制盐车间的环境中,粘贴钢板加固法显然是有很大缺陷的,因为钢板本身就很容腐蚀,而且粘贴钢板又是将其暴露在结构表面,对整个加固和防腐处理是不利的。相比之下,碳纤维有着更突出的优点,碳纤维材料质轻高强,耐高温、耐腐蚀,外形柔软,施工更加简便,和被加固结构的结合更加致密。对本工程的重腐蚀环境而言,耐腐蚀性能优越的碳纤维材料有着天然的适用性,因此,本工程确定采用粘贴碳纤维作为加固主体结构的方法。

### 3.2 加固方案

#### 3.2.1 结构修复

结构的破坏状况非常严重,无论是破损构件,还是锈蚀钢筋,截面损失都很大,不能直接进行粘布加固,必须首先对构件进行修补,恢复其原有截面尺寸和整体性。而且,在修补前,必须将钢筋上

的锈蚀清除干净,并进行防腐处理<sup>[4]</sup>。

#### 3.2.2 粘碳纤维布加固

结构修复完成后,对框架柱、梁等主体承重结构采用粘贴碳纤维布进行加固。由于结构的运行荷载等条件并没有发生改变,参考结构原设计图纸和现场检查结果,依据国家相关规范<sup>[1-3]</sup>进行核算,确定碳纤维布的粘贴方式和粘贴量,所有布均采用300g高强度I级单向碳纤维布。

在框架柱四角沿柱轴线方向通长粘贴主受力布,然后在柱全长范围内环向粘贴碳纤维布封闭箍,将纵向布条缠在内层,布箍为单层,宽150 mm,间距300 mm,沿柱长度方向均匀分布,环向封闭处搭接200 mm,方案见图1。

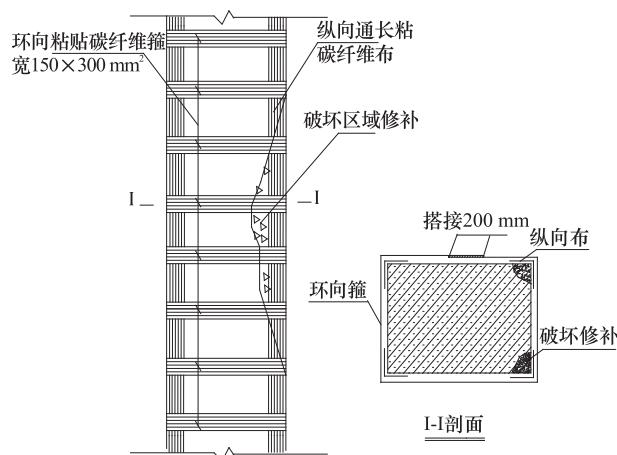


图1 框架柱加固方案图

四角处的混凝土打磨成圆弧形,将布沿宽度方向折成等边“L”形,包裹住相邻垂直的两个柱面,粘贴布的量根据柱角处原配纵向主筋的截面损失进行等强度代换来获得,原配钢筋为II级螺纹钢,设计强度为300 MPa,碳纤维布设计强度按1 900 MPa计算。例如,某柱角原配纵向主筋的截面损失为300 mm<sup>2</sup>,折算成碳纤维布截面积为47.4 mm<sup>2</sup>,300 g碳纤维布的名义厚度为0.167 mm,则可算出该处需粘贴碳纤维布的总宽度为284 mm,为施工方便,可取整数为300 mm。根据构造要求,如果折算出的碳纤维布总宽度小于200 mm,则按200 mm宽进行粘贴处理。

在框架梁底面沿长度方向通长粘贴碳纤维布

作为主受力布;在梁通长范围内环向粘贴“U”形布箍,每条布箍为单层,宽150 mm,间距300 mm,均匀分布,将梁底纵向的碳布裹在内层,“U”形布箍向上粘贴至板底根部;在梁两侧面顶部,贴近板底处,沿梁长度方向各粘贴一层150 mm碳纤维布压条,将“U”形布箍的端部压在内侧,方案见图2。

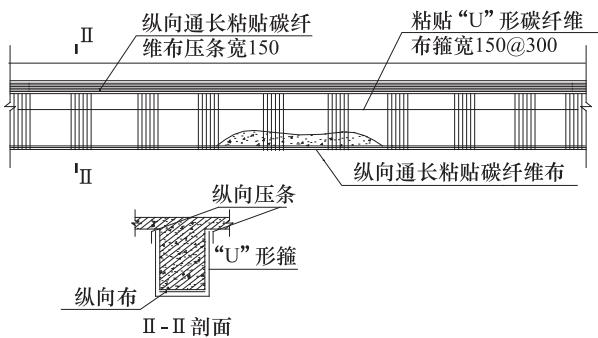


图2 框架梁加固方案图

梁底粘贴主受力布的量根据梁底原配纵向主筋的截面损失进行等强度代换来获得。优先粘贴在梁底面,层数不超过2层。如果梁底面布置不下,可以粘贴在梁两侧面的底部。如果钢筋截面损失较小,则根据构造要求,至少在梁底粘贴一层碳纤维布,且与梁同宽。

已经知道,柱、梁等结构混凝土强度已经大幅度下降,而混凝土在构件中主要起受压作用。混凝土本身的强度是无法直接给予提高的,那么在前述方案中,无论是柱四角纵向的碳纤维布条和四周环向的碳纤维布封闭箍,还是梁底纵向的碳纤维布条和环向“U”形布箍以及纵向的通长压条,均可以构成一个整体的受力体系,将被加固柱、梁构件紧紧约束,通过加强横向的约束,来提高构件的轴向的抗压性能。

### 3.2.3 防腐处理

在修补处理以及粘贴碳纤维施工以后,再对梁柱构件进行全面的防腐处理。

## 4 加固施工

(1) 结构修补前锈蚀钢筋的除锈和防腐是关

键,如果没有处理好,锈蚀必将很快在结构内部继续发展,造成加固失效。除锈采用物理方法和化学方法相结合的方式进行,确保除锈效果,除锈后,再涂刷环氧树脂类防护胶对钢筋进行防腐<sup>[5]</sup>;修补材料采用高强高性能无机修补料,不仅自身性能优异,而且和旧结构有着良好的结合力,形成整体;为了进一步加强对钢筋的防护,在配好的修补料中按比例添加掺入型阻锈剂再进行修补处理。

(2) 目前,粘贴碳纤维技术在国内已有了多年的应用,其施工工艺已比较成熟,在施工中需强调的关键有两点:①粘贴结构胶的质量和调配,首先,粘接胶必须是满足国家相关规范规定的合格产品,其次,施工现场必须严格按照规定的使用环境和操作要求进行调配和操作,不然将会影响胶体的强度等性能,严重时甚至会使胶体完全失效。②粘贴面的处理,混凝土粘贴面必须进行打磨、清洗、冲吹等处理,确保粘贴面平整、干净、干燥,才能保证粘贴效果。

(3) 防腐采用一布二胶,在结构表面先涂刷一层环氧树脂类防护胶,然后包裹一层玻纤布,最后再涂刷一层防护胶。施工要确保涂刷均匀,结合良好,没有漏点,玻纤布完全浸润在胶体内,并保证足够的厚度<sup>[5]</sup>。

## 5 结语

(1) 该厂房结构自加固后至今已运行了4年,加固后的结构未出现新的破坏现象,完好如初,加固效果良好,说明设计思路和施工方法是准确有效的。

(2) 碳纤维材料不仅有着优异的耐腐蚀性能,而且施工上也有着独特的优点,安全可靠,快速便捷,对于类似的高度腐蚀环境下的结构加固是非常适用的。

## 参 考 文 献

- 中国建筑科学研究院. GB 50010—2002 混凝土结构设计规范. 北京:中国建筑工业出版社,2002
- 中国建筑科学研究院. GB 50367—2006 混凝土结构加固设计规

- 范.北京:中国建筑工业出版社,2006
- 3 中国工程建设标准化协会. CECS 146:2003 碳纤维片材加固混凝土结构技术规程.北京:中国计划出版社,2002
- 4 中国建筑科学研究院. GB 50046—2008 工业建筑防腐蚀设计规
- 范.北京:中国建筑工业出版社,2008
- 5 中国建筑科学研究院. GB 50212—2002 建筑防腐蚀工程施工及验收规范.北京:中国建筑工业出版社,2002

## Strengthen Severe Corrosion Structure by CFRP-bonded

LI Yue-chen, LI Xiu-jun<sup>1</sup>

(School of Water Resource and Hydropower, Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China;

Wuhan Teahon Reinforcement Technology co., Ltd<sup>1</sup>, Wuhan 430070, P. R. China)

**[Abstract]** A salt factory workshop was used in severe corrosion environment for ages, structure damaged seriously, was unsafe very much, must be reinforced. Based on analysis and demonstration, determined that to reinforce and antisepsis the workshop by comprehensive measures of mainly CFRP-bonded. The principal points of design and construction are introduced. After construction, the workshop has been in operation more than 4 years, and it shows that reinforcing effect is good.

**[Key words]** severe corrosion     strengthen     CFRP-bonded     patch     antisepsis

(上接第 8093 页)

- 6 Lee Y S, Moon Y S, Kwon W H, et al. Delay-dependent robust  $H_{\infty}$  control for uncertain systems with a state-delay. *Automatica*, 2004;40(1):65—72
- 7 Yu Zhixun, Chen Huitang, Wang Yuejuan. Design of closed loop network control system based on  $H_{\infty}$  and  $\mu$ -synthesis. *Journal of Tongji University*, 2001;29(3):307—311

## A Flow Rate Controller Design for Network Congestion Based on $H_{\infty}$ Feedback Control

QU Bai-da, XU Wei, XU Bao-guo

(Jiangnan University, Wuxi 214122, P. R. China)

**[Abstract]** For solving a problem on network congestion control in modern high-speed communication networks, frequency domain design method is adopted, to transform uncertain time-delay system into multiplicative uncertainty system with unmodeled dynamic boundary. According to the requirement of the robust stabilization and performance index of system, the feedback controller design problem on robust  $H_{\infty}$  congestion control of the high-speed communication networks which based on flow rate control was converted into the common engineering application problem on mixed-sensitivity, then worked out the desirable  $H_{\infty}$  controller by the analytic method. The  $H_{\infty}$  feedback controller of congestion control can get the goals of preventing congestion and maximizing the efficiency of network application by adopting frequency domain design method. The method is demonstrated be simple in use and applicable by an example.

**[Key words]** flow rate      $H_{\infty}$  feedback controller     network congestion     robust stabilization