

化工厂厂房加固设计与施工

彭小锋

四川川油工程技术勘察设计有限公司, 四川 成都 610051

摘 要:充分利用原有化工厂厂房及相应配套生产设备,缩短改造加固施工周期,并达到新技
改要求,是化工厂厂房改造加固面临的问题。通过某化工厂以碳纤维布、外粘型钢加固法对原化工
厂厂房成功进行改造加固的实例,证明该加固法充分利用碳纤维布强度高、延性好及型钢抗弯性能
好等特点,有效提高原有构件截面抗力,满足厂房局部改造及加载要求,取得较好的经济效益,对今
后类似问题的处理提供参考。

关键词:化工厂厂房;改造;碳纤维布;外粘型钢;加固

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2014.06.022

0 前言

某化工厂的一栋厂房建于 2003 年,为四层钢筋混凝土框架结构,2010 年化工厂因生产规模扩大进行技改,需将原位于第三层的 1 台 15 t 的清液储罐更换为 25 t 的清液储罐。经计算原厂房在储罐影响范围内的部分梁柱承载力不能满足新安装的设备荷载,为此提出两种处理方案:一是拆除旧厂房重建,但土建投资大,建设周期至少 6 个月且影响产品生产、销售和业主的市场信誉;二是根据厂房新增荷载的情况,对原厂房进行局部加固以满足承重要求。经过方案对比,决定采用第二种方案。

1 原厂房概况及原始资料收集

原厂房纵向为 5 个开间均为 6.0 m,总长度 $L=30$ m;横向为 3 跨,跨度为 4.5 m + 6.0 m + 4.5 m,总宽度 $B=15.0$ m;层高分别为第一层 4.0 m、第二层 5.0 m、第三层 4.3 m、第四层 3.6 m,建筑总高 16.9 m。

原始资料包括原有地质勘察报告、竣工图、竣工验收资料、隐蔽工程记录、工程改造记录等,均齐全。经厂房现状检查,原结构完好无损,基础无不均匀沉降。本次改造拟在厂房标高 9.0 m 处(第三层)更换设备,阴影部分为更换设备后承载力不足的梁、柱,见图 1。

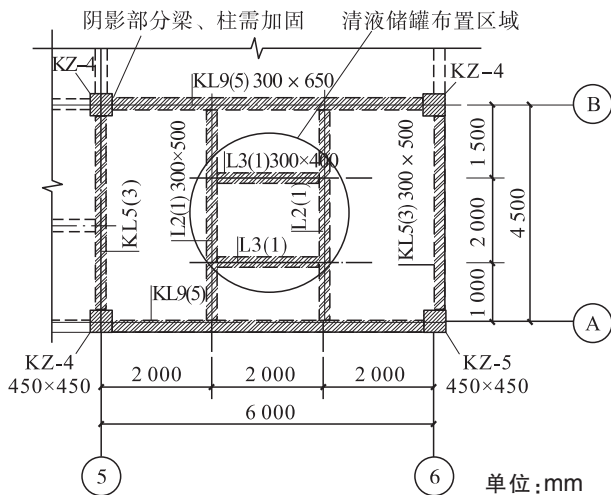


图 1 标高 9.0 m (第三层) 更换设备布置图

2 加固前结构荷载及整体性分析

- 原厂房屋面恒载使用期略有增加:原设计为上人屋面,厂房因屋顶漏水进行过改造,改造过程中增加刚性防水层细石混凝土厚 60 mm,屋面新增恒载 1.5 kN/m^2 ,屋面由上人屋面改为非上人屋面。
- 原厂房二楼层高 5 m,柱子断面 450 mm×450 mm,略显偏小。

收稿日期:2014-05-22

基金项目:某化工厂 $10 \times 10^4 \text{ t/d}$ 离子膜烧碱节能技改项目(YNTL 2010 JN/E 00305)

作者简介:彭小锋(1980-),男,四川西昌人,国家一级注册结构工程师,学士,主要从事油气及化工类工程结构设计工作。

c) 原厂房整体质量、稳定性较好,梁板柱无明显缺陷。

d) 根据第三层加载的受力分析,所加荷载主要通过框架梁柱传递,对原结构楼板(板厚 $h = 120\text{ mm}$)影响甚微,无需对原结构楼板加固。经核算仅罐区范围内的局部主次梁承载力不足,且部分受影响的框架柱承载力需提高。故原厂房部分梁柱需要加固处理。

e) 原厂房基础为人工挖孔桩基础,使用 7 a,虽局部增加荷载,但原有基础余量较大,经核算仍可满足使用要求,无需加固。

3 加固设计

3.1 加固方案

在不改变原结构受力体系的情况下,常用梁柱加固法有:加大截面加固法、增加支承担加固法、粘贴钢板加固法、外粘型钢加固法、粘贴碳纤维布加固法等。

加大截面加固法能大幅度提高构件的承载力,但施工为湿作业、周期长,对生产有较大影响,加固后的楼层净空减小,影响设备使用。

增加支承担加固法虽能提高构件的承载力,满足加载要求,但加固后对厂房使用空间有较大影响,不能满足生产工艺要求。

粘贴钢板加固法具有受力可靠、现场工作量较小的优点,适用于不允许显著增大原构件截面尺寸,但又要大幅度提高其承载能力的混凝土结构加固。若采用在梁底粘钢板加固框架梁和四面粘贴钢板加固框架柱,为固定钢板需新增较多锚栓锚入原框架梁、柱内,同时锚栓有可能损坏原梁、柱内钢筋,且施工不方便。

外粘型钢加固法具有受力可靠、施工简便、现场工作量少等优点,适用于不允许显著增大原构件截面尺寸,但又要大幅提高其承载能力的混凝土结构加固。

粘贴碳纤维布加固法具有耐腐蚀、耐潮湿、不增加结构自重、不影响使用空间、抗拉弯强度高、延性好、施工方便,施工周期短、维护费用低等优点,特别适合于抗弯性质的混凝土结构构件加固。

综合各种加固方法的优缺点以及各方面因素,原厂房框架柱采用对称配筋,考虑到加固后的柱子与原结构协调和统一性,本工程优选外粘型钢加固法加固承载力不足的框架柱;考虑化工类建筑的特殊性,生产环境对厂房有一定的酸碱腐蚀和业主对施工工期的要求,承载力不足的梁优选粘贴碳纤维布加固法,以满足结构的承载力和生产使用要求。

3.2 加固材料性能指标

碳纤维布、碳纤维布用胶粘剂、外粘型钢用胶粘剂的主要性能指标见表 1^[1]、表 2^[2],胶粘剂均采用 A 级改

性环氧树脂,型钢采用 Q 235 B。

表 1 碳纤维布主要性能指标

单位面积 / ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	设计厚度 / mm	抗拉强度 标准 /MPa	弹性模量 / MPa
200	0.196	$\geq 3\ 000$	$\geq 2.1 \times 10^5$

表 2 碳纤维布及外粘型钢胶粘剂安全性能指标

性能项目		A 级胶性能要求	
		碳纤维布胶粘剂	外粘型钢胶粘剂
胶体性能	抗拉强度 / MPa	≥40	≥30
	受拉弹性模量 / MPa	≥2 500	≥3 500
	伸长率 / (%)	≥1.5	≥1.3
	抗弯强度 / MPa	≥50	≥45 且不得脆性破坏
	抗压强度 / MPa	≥70	≥65
粘结能力	钢 – 钢拉伸抗剪强度标准值 / MPa	≥14	≥15
	钢 – 钢不均匀扯离强度 / MPa	≥20	≥16
	与混凝土的正拉粘结强度 / MPa	≥2.5, 且为混凝土内聚破坏	

3.3 第三层梁局部加固

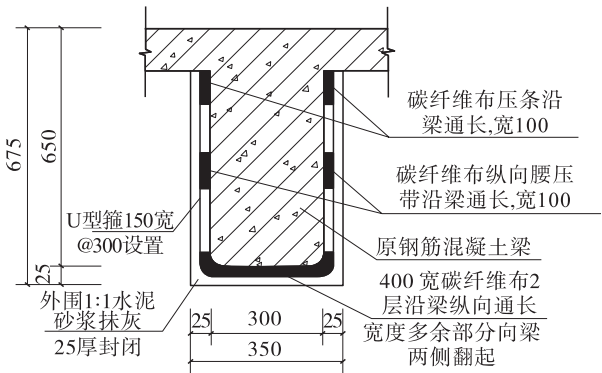
现以标高 9.0 m(第三层)承载力不足的梁 KL 9(5)为例进行加固分析。

3.3.1 梁正截面强度复核

原梁正截面跨中抗力弯矩 $236.5\text{ kN}\cdot\text{m}$ ^[3],加载后梁承载弯矩最大值 $275.9\text{ kN}\cdot\text{m}$,原梁跨中正截面承载力不足,现采取在梁底沿梁通长粘贴 2 层 400 mm 宽的碳纤维布,经计算现梁正截面抗力弯矩 $306.5\text{ kN}\cdot\text{m}$ ($>275.9\text{ kN}\cdot\text{m}$),正截面强度满足使用要求,加固后梁的抗弯承载力较原梁提高 30% ($<40\%$),符合 GB 50367-2013《混凝土结构加固设计规范》^[2]要求。梁支座负弯矩经计算满足要求,故无需加固。

3.3.2 梁斜截面强度复核

原梁斜截面抗力为 236.3 kN ,加载后梁支座处承担



单位: mm

图 2 梁加固断面图

剪力最大值为 240.9 kN, 大于原截面抗力, 需加固, 同时为加强梁底碳纤维布的锚固及增加梁的抗剪能力, 在主梁两侧粘贴 150 mm 宽 U 型箍, 在次梁两侧粘贴 100 mm 宽 U 型箍, 间距均为 300 mm。因 KL 9(5) 梁高为 650 mm, 该梁腹板高度 $h_w \geq 450$ mm^[2], 应增设纵向腰压带^[2]。梁加固断面图见图 2, 碳纤维布加固后的梁见图 3。



图 3 碳纤维布加固后的梁 (抹灰前)

3.4 第二层柱子局部加固

本工程仅对增加载荷较大的第一层、第二层 4 根柱子采用外粘型钢加固法进行加固, 其他楼层柱子经过复核, 均满足使用要求。现以内力最大的 1 根框架柱 KZ-4 为例, 说明加固情况。

柱子截面尺寸: 450 mm×450 mm, 混凝土 C 25, 采用对称配筋, 单侧 4Φ18($A_s=A'_s=1\,017$ mm²) 纵筋。柱子加固前截面抗力: 弯矩 463.3 kN·m, 轴力 1 875 kN·m^[3]。该柱加载后应承载内力: 弯矩 526.5 kN·m, 轴力 1 645 kN。抗弯强度明显不足。

加固采用柱四角外粘 4 L 75×5 的型钢, 型钢与原柱混凝土间填充改性环氧树脂, 并设置扁钢环箍封闭^[4]。加固后该柱的截面抗力增量为弯矩 108.5 kN·m, 轴力 174 kN^[2]。

经计算, 加固后框架柱截面抗力:

弯矩: $463.3 + 108.5 = 571.8$ kN·m > 526.5 kN·m, 满足要求;

轴力: $1\,875 + 174 = 2\,049$ kN > 1 645 kN, 满足要求。

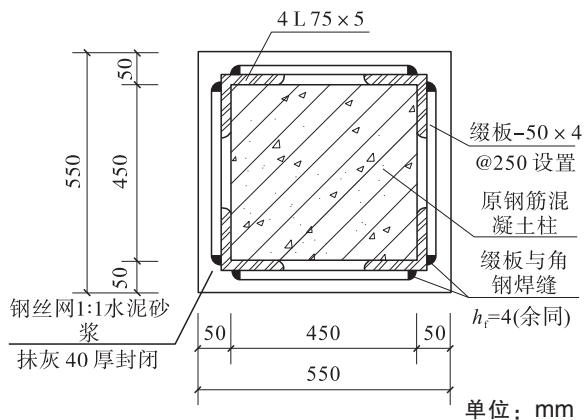


图 4 柱加固断面图

采用 4 L 75×5 的外粘型钢加固框架柱后, 柱子抗弯承载力较未加固前提高了 23%, 轴力提高 9.3%, 满足加载后的使用要求。

柱加固断面图见图 4, 外粘型钢加固后第一层的柱子见图 5。



图 5 外粘角钢加固后第一层柱子 (抹灰前)

4 加固施工工艺

4.1 碳纤维布加固施工工艺

- 清除需粘贴碳纤维布处构件表面的粉刷层。
- 用砂轮机将粘贴部位打磨平整, U 型箍转角处打磨成半径不小于 20 mm 的圆弧, 用吹风机清除浮尘并用脱脂棉沾丙酮擦拭表面。
- 用找平材料修补混凝土表面不平整部位。
- 涂刷基底树脂使其渗透至混凝土内部, 以提高混凝土与碳纤维布之间的粘结力。
- 涂刷树脂胶粘剂, 随即粘贴碳纤维布, 滚压均匀, 并使胶液充分浸透碳纤维布, 多层粘贴时重复本步骤。
- 最后一层碳纤维布外表面涂刷一道树脂, 在树脂未干前粘粗砂, 再用 1:1 水泥砂浆抹灰 25 mm 厚以增强加固构件的防火性能。

4.2 外粘型钢加固施工工艺

- 清除需外粘型钢处构件粉刷层和粘合面表面油污后用水冲洗。
- 用砂轮机将粘贴部位原构件截面的棱角打磨成半径 ≥ 10 mm 的圆角, 待完全干燥后用脱脂棉沾丙酮擦拭表面即可。
- 将型钢沿柱子四周放置就位后, 与扁钢箍进行焊接。
- 在型钢与柱子之间灌注改性环氧树脂。
- 检测: 用小锤敲击型钢, 检验型钢的有效密实面积。如无空洞声, 表示已灌注密实, 否则应对孔隙部分补注改性环氧树脂。

f) 加固后的柱子在外粘型钢四周外侧设置 Φ4@150 钢丝网后用 1:1 水泥砂浆抹 40 mm 厚灰, 以提高加固后

柱子防腐及防火性能。

5 工程竣工情况

某化工厂厂房改造工程于2010年6月12日开工,6月25日完工,加固工程费用约10万元。厂房竣工验收合格后,于2010年7月23日投入使用,并于使用期满3a后通过专业检测单位检测,加固后的梁柱构件各项指标均符合GB 50550-2010《建筑结构加固工程施工质量验收规范》^[5]的要求。厂房加固后的设计使用年限为25a。

6 注意事项

a) 加固设计前应对原厂房进行结构鉴定^[6],确定是否需要加固;若需加固,应进行加固方案比选,选择最适合的加固方案。

b) 加固施工前应对采用的胶粘剂进行鉴定,检验合格后方可使用。对厂房加固后设计使用年限为30a的胶粘剂,应通过耐湿热老化性能检验;对设计使用年限为50a的胶粘剂,应通过耐湿热老化性能和耐长期应力作用性能检验^[7]。

c) 考虑到化工类厂房生产环境的特殊性,无论是粘贴纤维布还是外粘型钢均不宜让其裸露在梁柱外表面,通常做法为抹厚度不小于25mm的高强度水泥砂浆防护层或抹厚度不小于40mm的高强度钢丝网水泥砂浆防护层;若有特殊防火要求的建筑,还应按GB 50016-2006《建筑设计防火规范》^[8]的相关规定对加固构件进行防火处理和保护^[9],同时针对厂房所处环境的酸碱度等采取有效的防腐措施。

d) 加固后的建筑投入使用10a内,应请专业检测单位进行检测,合格后方可继续使用^[10];加固后的建筑设计使用年限通常不宜大于30a,若有特殊情况需延长,应经技术鉴定并采取有效措施后方可继续使用。

7 结论

某化工厂改造加固实例说明粘贴纤维布加固法和外粘型钢加固方法基本不增加结构的截面尺寸和重量,可有效提高构件的承载力;同时具有现场工作量大、工期短、加固效果好等优点,为原有化工类厂房加固提供了借鉴。随着生产发展,以及技术改造需要的增加,相信粘贴纤维布加固法和外粘型钢加固法加固原有建筑的应用会越来越广泛。

参考文献:

- [1] CECS 146:2003, 碳纤维片材加固混凝土结构技术规程(2007年版)[S].
CECS 146:2003, Technical Specification for Strengthening Concrete Structures with Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminate(2007 Version)[S].
- [2] GB 50367-2013, 混凝土结构加固设计规范[S].
GB 50367-2013, Design Code for Strengthening Concrete Structures[S].
- [3] GB 50010-2010, 混凝土结构设计规范[S].
GB 50010-2010, Code for Design of Concrete Structures[S].
- [4] GB 50017-2003, 钢结构设计规范[S].
GB 50017-2003, Code for Design of Steel Structures[S].
- [5] GB 50550-2010, 建筑结构加固工程施工质量验收规范[S].
GB 50550-2010, Code for Acceptance of Construction Quality of Strengthening Building Structures[S].
- [6] 刘以臣, 李 帅. 建筑结构加固改造方法研究[J]. 国防交通工程与技术, 2012, 30(S2): 36-39.
Liu Yichen, Li Shuai. Method of Building Structure Reinforcement and Reconstruction Research[J]. National Defense Transportation Engineering and Technology, 2012, 30 (Suppl 2): 36-39.
- [7] 刘 坤, 何 娜, 王 尧, 等. 高含硫气田开发安全评价技术探讨[J]. 天然气与石油, 2013, 31(4): 78-79.
Liu Kun, He Na, Wang Yao, et al. Discussion on Safety Evaluation Technology for High Sulfur Gas Field Development[J]. Natural Gas and Oil, 2013, 31(4): 78-79.
- [8] GB 50016-2006, 建筑设计防火规范[S].
GB 50016-2006, Code of Design on Building Fire Protection and Prevention[S].
- [9] 赵华田, 邓 烨. 天然气处理厂建筑防火设计要点[J]. 天然气与石油, 2011, 29(1): 70-71.
Zhao Huatian, Deng Ye. Specific Considerations in Building Fire Fighting System Design[J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29 (1): 70-71.
- [10] 陈雨晖, 郭 莉, 罗 洋. 龙岗气田作业区倒班公寓楼建筑设计[J]. 天然气与石油, 2012, 30(6): 74-75.
Chen Yuhui, Guo Li, Luo Yang. Design of Work Shift Apartment of Operation Area in Longgang Gas Field[J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30(6): 74-75.