

Construction technology of fixed torque for flanges of modern chemical equipment pipelines

Senchuan Fan Ruihong Du

Zhejiang Industrial Equipment Installation Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310001, China

Abstract

Flange connection is one of the most common connection methods in modern chemical equipment pipeline systems, and its construction quality directly affects the safe and stable operation of the equipment. The flange torque, as a key factor affecting the reliability of flange connections, has become an important indicator for measuring the quality of installation of equipment pipelines in terms of its construction control level. This article analyzes the important role of flange torque construction technology in the installation of chemical equipment pipelines. Based on a practical case of a petrochemical plant, the process flow, calculation and verification methods, and special considerations for high-pressure large-diameter flange construction of flange torque construction are systematically explained. On this basis, the quality control and continuous improvement strategies for flange torque construction were discussed, aiming to provide reference and inspiration for improving the construction level of flange connections in chemical plants and ensuring production safety.

Keywords

chemical equipment pipelines; Flange connection; Fixed torque construction; Quality Control; continuous improvement

现代化工设备管道法兰定力矩施工技术

樊森川 杜瑞红

浙江省工业设备安装集团有限公司, 中国·浙江 杭州 310001

摘要

法兰连接是现代化工设备管道系统中最为常见的连接方式之一,其施工质量直接关系到设备的安全稳定运行。法兰定力矩作为影响法兰连接可靠性的关键因素,其施工控制水平已成为衡量装置管道安装质量的重要指标。本文分析了法兰定力矩施工技术在化工设备管道安装中的重要作用,结合某石化装置的实践案例,系统阐述了法兰定力矩施工的工艺流程、测算校核方法以及高压大口径法兰施工的特殊考虑因素。在此基础上,探讨了法兰定力矩施工质量控制与持续改进策略,旨在为提升化工装置法兰连接施工水平、确保生产安全提供参考和借鉴。

关键词

化工设备管道; 法兰连接; 定力矩施工; 质量控制; 持续改进

1 引言

化工装置生产过程中,大量高温高压、易燃易爆和有毒有害介质均需通过管道输送,而法兰连接因其拆装方便、密封可靠等优点在各种管道组中得到广泛应用。法兰定力矩作为决定法兰连接可靠性的关键参数,其施工质量的优劣直接影响设备的安全稳定运行。

2 法兰连接定力矩施工技术的重要性

2.1 法兰连接在现代化工设备管道中的广泛应用

在化工装置中,管道作为连接各生产设备、输送工艺介质的纽带,是保障生产顺利进行的关键环节。法兰连接因

其标准化程度高、连接效率高、密封性能好等优点,在石油、化工、冶金、电力等行业的高温高压管道中得到了广泛应用^[1]。一个典型的大型炼油联合装置,其管道法兰连接数量达23200个。

2.2 法兰连接定力矩控制对设备安全运行的影响

法兰定力矩是指法兰连接螺栓拧紧时所施加的力矩,其大小直接决定了法兰连接的紧密程度和密封性能。法兰定力矩过小,易导致螺栓松动、垫片失效,进而引发介质泄漏;定力矩过大,又可能造成螺栓塑性变形、垫片过度挤压,同样影响密封效果。因此,精确控制法兰定力矩是确保法兰连接质量的关键。上海某研究院对1032个化工装置典型法兰连接失效案例进行分析发现,30%的泄漏事故是由不当的法兰定力矩施工引起的。在各类致因中,螺栓定力矩不合理导致的密封失效占比最高。另外,某石化企业统计数据

【作者简介】樊森川(1992-),男,中国山西运城人,本科,工程师,从事管道安装研究。

管道法兰泄漏占设备故障的23%，其中85%是由施工质量问题造成的，尤其是定力矩控制不当。可见，规范法兰定力矩施工对于确保装置安全平稳运行具有重要意义。

2.3 不当的法兰定力矩施工导致的事故案例分析

某公司在新建气体管道试压过程中，由于法兰定力矩施工不当，导致管道与法兰连接处发生大量介质泄漏，整个装置试车被迫中断。经分析，泄漏原因是施工人员未按规定的定力矩值进行螺栓紧固，且紧固过程缺乏必要的检查与校核，最终导致密封失效。类似的案例在石化行业并不鲜见，这些深刻教训警示必须高度重视法兰定力矩施工控制，杜绝因施工不规范酿成的安全和经济损失^[2]。

2.4 加强法兰定力矩施工技术研究的必要性

目前，我国化工行业法兰定力矩施工还存在操作随意性大、测量手段落后、质量检查流于形式等问题。部分企业仍沿用传统的“望、听、摸”施工法，即凭借操作人员的经验来判断定力矩，这种方法精度低、一致性差，极易造成连接不可靠。另外，定力矩测量设备老旧、功能单一，智能化水平有待提升，施工过程的数据记录和质量追溯也不尽如人意。随着化工项目向大型化、高参数方向发展，超大口径、超高压、超低温等特殊工况不断涌现，这对法兰定力矩施工技术提出了更高要求。迫切需要开展法兰定力矩施工工艺优化、测量方法创新、质量控制信息化等方面的系统研究，不断提升施工技术水平，为化工装置的本质安全提供坚实保障^[3]。同时，加快建立法兰定力矩施工标准规范体系，完善相关作业指导书和操作规程，对于规范行业施工行为、保障装置安全运行也具有重要意义。

3 某石化装置法兰连接定力矩施工技术应用

3.1 工程项目概况与法兰连接施工要求

某安装企业新建一套40万吨/年乙烯装置，涉及大量的高温高压管道，公称直径从DN15到DN1200不等，设计压力普遍在8MPa以上。其中乙烯、丙烯等介质管道，工艺参数高达120~150℃、10~15MPa，对法兰连接施工质量提出了极高要求。本项目管道法兰采用螺栓连接，执行国家标准GB/T 9115和GB/T 9119。法兰材质包括20#钢、16Mn、304不锈钢等，垫片主要为石棉橡胶复合垫。工程建设单位明确要求以“高质量、高标准、高可靠”为原则，建立完善的法兰连接定力矩施工管理制度，加强施工过程控制，确保管道组对密封性能满足设计要求。

3.2 法兰定力矩施工工艺流程与关键控制点

本项目结合工程实际，制定了一套行之有效的法兰定力矩施工工艺流程，明确了施工准备、工艺实施、质量检查、验收交付等关键环节，为保障施工质量奠定了基础。图1为本工程法兰定力矩施工工艺流程图。在施工准备阶段，应确认法兰规格、压力、材质等参数，合理选用垫片、螺栓、螺母，做好定力矩的初步测算。张拉定力矩施工前，应检查法兰端

面、垫片表面质量，确认无缺陷。采用数显扭矩扳手等专用工具进行螺栓拧紧，严格按照“三级紧固法”的操作要求施工，即初拧、二次拧紧和终拧三个步骤依次进行，在每级拧紧完成后都要进行定力矩复检。施工完成后，及时填写定力矩施工记录表，建立可追溯的质量档案。

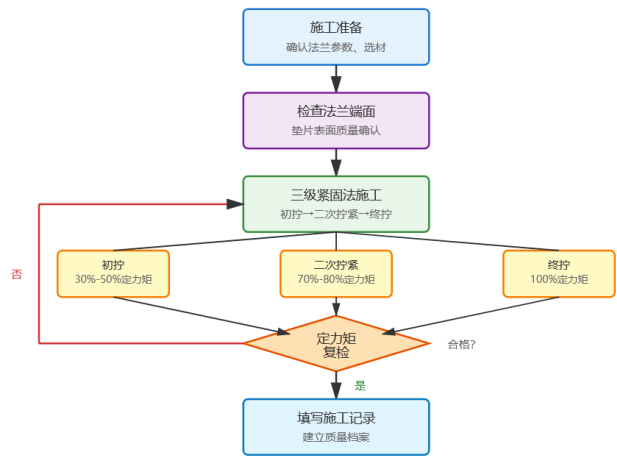


图1 法兰定力矩施工工艺流程图

本工程针对法兰定力矩施工工艺流程中的薄弱环节进行了重点管控。强化施工人员技能培训，提高规范操作意识；配备精度高、性能稳定的定力矩测量工具，落实专人定期校验；严格执行交接班制度，做到信息传递无遗漏；加强施工过程质量检查，对关键工序实行旁站监督。通过对关键控制点的有效管理，保障了法兰定力矩施工质量和效率^[4]。

3.3 法兰定力矩数值的测算与校核方法

准确测算并校核法兰定力矩数值是施工控制的重中之重。本工程以《压力容器法兰连接设计规范》(JB 4732)为依据，结合设备管道的公称直径、公称压力、设计温度、介质特性等因素，分别测算出各规格法兰的理论定力矩值。

根据B4732，法兰定力矩的基本计算公式为：

式中：法兰螺栓理论定力矩，螺纹摩擦系数，取；单个螺栓初始预紧力， d 螺栓公称直径，。对于值的确定，执行B4732附录的规定，按下式求得：式中：设计压力，；垫片反应面直径，；垫片系数，与垫片材质、工况等有关；螺栓数量。

在理论定力矩值基础上，还需考虑施工误差、设备状态等因素，通过现场试验确定最终施工定力矩值。本工程采用超声波测量法对典型规格法兰进行了定力矩校正试验。试验时在螺栓杆件上布置超声波传感器，测量不同定力矩下螺栓的声时差，进而求取实际预紧力大小。通过对比理论值和实测值，优化调整施工定力矩，实现了定力矩的精确控制。

3.4 高压大口径法兰定力矩施工的特殊考虑因素

相比常规工况，高压大口径管道(公称压力 $\geq 10\text{MPa}$ ，公称直径 $\geq \text{DN}600$)法兰施工面临诸多挑战，如螺栓预紧力大、施工难度高、密封要求严等。其定力矩施工需要考虑以下特殊因素：合理选择垫片材质和结构形式。对于高参数

管道,宜优先选用柔性石墨垫片,兼顾承压能力和回弹补偿特性。采用高强度螺栓和专用润滑剂。8.8级及以上高强度螺栓可有效减小螺栓直径,降低拧紧难度;适当使用润滑剂可显著降低螺纹摩擦系数,减小施工力矩。应用液压扳手等专用工具施工。常规手动工具难以满足大口径法兰的施工力矩需求,须配备液压扳手、液压拉伸器等工具。分段多次施加定力矩。避免一次性施加过大预紧力而损坏螺栓,宜分3~5级逐步增加定力矩至设定值。本工程高压乙烯管道采用了F304+柔性石墨垫片,选用G8.8热镀锌高强螺栓,并配备进口液压扳手施工。经现场测试,其施工定力矩可达2500N·m,可靠性水平大大提高。

4 法兰定力矩施工质量控制与持续改进

4.1 法兰定力矩施工质量检查与验收标准

本项目建立了严格的法兰定力矩施工质量检查与验收体系,制定了全过程质量控制准则。施工准备阶段重点检查法兰端面质量、垫片性能、螺栓材质等;施工过程中严格监督操作规范性,杜绝漏拧、欠拧等问题;施工完成后采用超声波测厚、环向应变等无损检测手段,科学评估管道应力水平和密封性能。同时,严格执行国家标准GB 50236的相关规定,从端面形位公差、垫片性能、螺栓品质、施工工艺、无损检测等方面,量化法兰定力矩施工质量验收指标。对检查或验收中发现的任何质量问题,都要求限期整改并复验,确保万无一失。

4.2 常见法兰定力矩施工质量问题原因分析

通过系统性的质量检查,本项目发现法兰端面缺陷、垫片安装不当、施工定力矩不足、紧固程序不规范、施工后松动脱落等问题普遍存在。深层次原因在于施工人员综合素质有待提高,定力矩施工工艺规程不够细致,施工组织管理有待加强。针对这些问题,一方面加大人员技能培训和责任意识教育力度;另一方面优化施工工艺规程,提高操作标准化程度;同时健全施工过程管控机制,加强薄弱环节监管。通过标本兼治、综合施策,促进法兰定力矩施工质量持续改进提升。

4.3 法兰定力矩施工工艺优化与创新实践

为进一步提升法兰定力矩施工质量,本项目大胆创新、精益求精,在施工工艺优化方面进行了一系列卓有成效的实践。优化了螺栓紧固方案,在满足设计要求前提下,灵活采用“四级紧固”“两次复拧”等方法,提高螺栓预紧力控制

水平^[5]。引进了国外先进的数字式力矩扳手、液压动力扳手等高精度施工工具,显著提升了定力矩测量控制的准确性和便捷性。在施工过程中采用超声波测厚技术对螺栓预紧力进行在线监测,实现了定力矩数据的实时采集、分析和预警,有效指导施工参数动态优化。自主开发了法兰定力矩数据管理系统软件,实现了施工数据的信息化采集、存档、追溯和共享应用。创新采用了X射线数字成像技术对法兰内部密封性能进行直观检测,弥补了常规检测手段的不足。通过上述措施的综合应用,本项目法兰定力矩施工一次验收合格率提高到98%以上,质量水平实现了新的跨越式提升。

4.4 建立法兰定力矩施工质量持续改进机制

法兰定力矩施工质量的根本保证在于建立一套行之有效的持续改进机制。本项目以PDCA理论为指导,构建“策划-实施-检查-改进”的质量闭环管理模式。在策划阶段,制定科学的施工作业指导书和质量控制计划;在实施阶段,严格落实质量控制措施,强化过程数据管理;在检查阶段,开展全方位质量“体检”,限期整改问题缺陷;在改进阶段,总结经验教训,修订完善作业指导书和施工方案。同时,将定力矩施工质量纳入绩效考核体系,完善奖惩机制,调动全员参与改进的积极性。定期开展技术比武和培训教育,搭建“比学赶帮超”平台,促进员工能力素质整体提升。

5 结语

综上所述,法兰定力矩施工是化工设备管道安装的关键质量控制点,直接关系到生产装置的安全稳定运行。化工施工企业必须高度重视法兰连接施工质量管理,加大人才培养和科技创新投入,建立健全定力矩施工标准规范体系,不断优化施工工艺、改进施工方法、创新质量管理模式,用一流的法兰连接质量铸就一流的工程业绩。

参考文献

- [1] 郭勇勇.浅论法兰螺栓定力矩紧固在管道安装施工中的应用[J].石油化工建设,2023,45(S01):392-394.
- [2] 朱红满.化工设备管道法兰定力矩施工技术研究[J].石油化工建设,2024,46(4):108-111.
- [3] 曲云芹.法兰连接螺栓的定力矩紧固在石化装置中的应用[J].炼油与化工,2017,28(1):38-40.
- [4] 黄磊,李学林.定力矩紧固标准化施工管理方法分析与应用[J].炼油与化工,2018,29(2):37-39.
- [5] 向成,韩廷檀,罗韬.浅谈管道定力矩紧固质量控制[J].石油化工建设,2023,45(S01):67-69.