

化工装置机电安装工程压力管道监检流程优化与资料管控研究

潘东东¹ 郭慧²

1.榆林市大可建设工程有限公司化建部, 陕西 榆林 719000

2.榆林胜利集团建筑有限公司预算部, 陕西 榆林 719000

[摘要]在石油化工及精细化工成套装置机电安装工程中,压力管道的焊接与安装属于特种设备强制监督检验范畴。监检流程繁琐、资料体系庞杂,已成为制约项目施工进度、影响管道长期安全稳定运行的突出瓶颈。本文基于多个精细化工项目(设计压力 10MPa,管道总长 71.2m,焊口数量约 115 道)的工程实践,系统梳理了压力管道从设计审查、安装告知、现场监检、无损检测、压力试验到使用登记的全生命周期管控流程,构建了覆盖资质审查、设计文件、材料管理、焊接控制、无损检测、防腐绝热、系统试验及竣工归档等九大维度的标准化监检资料审查清单,明确了各阶段的质量控制要点与资料归档标准。工程应用表明,该标准化管控体系可使监检报验一次通过率从 62%提升至 91%,资料审核周期缩短 36%,综合成本降低约 18%,对同类化工机电安装项目具有显著的工程参考价值。

[关键词]化工装置;机电安装;压力管道;监督检验;流程优化;资料管控;PDCA;质量安全

DOI: 10.33142/aem.v8i8.20489

中图分类号: TQ082

文献标识码: A

Research on Optimization of Pressure Pipeline Inspection Process and Data Control for Mechanical and Electrical Installation Engineering of Chemical Plant

PAN Dongdong¹, GUO Hui²

1. Chemical Construction Department of Yulin Dake Construction Engineering Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

2. Budget Department of Yulin Shengli Group Construction Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract: In the electromechanical installation engineering of complete sets of petrochemical and fine chemical equipment, the welding and installation of pressure pipelines belong to the category of mandatory supervision and inspection of special equipment. The cumbersome inspection process and complex data system have become prominent bottlenecks that restrict project construction progress and affect the long-term safe and stable operation of pipelines. This article is based on the engineering practice of multiple fine chemical projects (with a design pressure of 10 MPa, a total pipeline length of 71.2 m, and approximately 115 welds). It systematically summarizes the full lifecycle control process of pressure pipelines from design review, installation notification, on-site supervision, non-destructive testing, pressure testing to usage registration. It constructs a standardized inspection data review checklist covering nine dimensions including qualification review, design documents, material management, welding control, non-destructive testing, anti-corrosion insulation, system testing, and completion archiving, and clarifies the quality control points and data archiving standards for each stage. Engineering applications have shown that this standardized control system can increase the pass rate of supervision and inspection from 62% to 91%, shorten the data review cycle by 36%, and reduce the overall cost by about 18%. It has significant engineering reference value for similar chemical and mechanical installation projects.

Keywords: chemical equipment; mechanical and electrical installation; pressure pipeline; supervision and inspection; process optimization; data control; PDCA; quality and safety

引言

石油化工与精细化工现代化成套装置建设涉及设备就位、工艺管道配管、电气仪表安装、防腐绝热、系统试压及联动试车等多专业交叉施工作业。工艺压力管道作为

介质输送的核心载体,其焊接施工质量直接决定装置的运行安全性与可靠性。依据《中华人民共和国特种设备安全法》及 TSG D7006—2020《压力管道监督检验规则》等法规要求,压力管道安装焊接全过程须由核准的特种设备

检验检测机构实施监督检验（以下简称“监检”）。

当前，化工施工企业在压力管道监检管理方面普遍存在以下突出问题：（1）流程认知不清，各工序衔接脱节，导致监检中断、反复整改；（2）资料归集缺乏系统性，施工后期集中补资料现象普遍，严重影响审核效率；（3）质量追溯体系不完善，焊接、检测等关键工序数据链条断裂，埋下长期运行安全隐患。上述问题不仅大幅拖慢项目建设工期，更对装置的安全稳定运行构成潜在威胁。图7所示鱼骨图系统梳理了造成监检问题的六大类根本原因。

为规范压力管道施工全过程管理，理顺特种设备监检全链条工序，建立标准化资料归档体系，本文依托多个大型化工机电安装工程实践，系统拆解压力管道监检全流程，

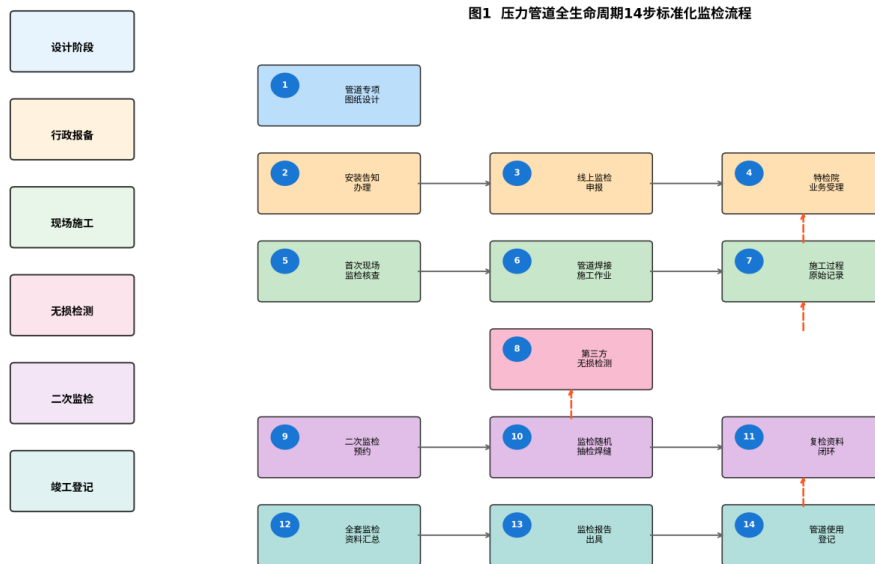


图1 压力管道全生命周期14步标准化监检流程

1.1 设计阶段管控（步骤1）

步骤1：压力管道设计阶段要全面形成施工图、管道性能评价报告、强度验算数据、高风险或者复杂结构需要进行的应力分析文件等齐全体系，依靠严格的设计审查来保障。还要确定无损检测的比例、水压试验的参数、焊后的热处理方案等主要工艺指标，使设计的方案达到现行法规和行业规范的要求。工程建设的纲领性文件，设计变更的一切事项均要依照法定程序办理，对工程质量和符合情况予以确认和记载。

1.2 行政报备阶段（步骤2~4）

步骤2：在实施过程中要发布安装通知来启动相关程序，根据管道特性表中给出的介质特性、设计参数、规格尺寸等数据编制特种设备安装、改造、维修告知书，并向当地的市场监督管理局提出备案申请。该文件应该包含管道类型为GC1、GC2、GC3时的介质种类及具体数值。

编制标准化监检资料审查清单，形成一套成熟、可复制、可推广的压力管道监检与质量管控技术方案。该方案基于PDCA持续改进模型进行迭代优化，具有较强的工程适用性和推广价值，可为化工机电安装工程技术管理、质量创优及老旧装置技术改造提供标准化实践参考。

1 压力管道全生命周期监督检验工序管控

压力管道监检工作分布在设计审核、前期备案、现场施工、无损检测、压力试验、竣工验收等诸多环节中，有明显的特点就是系统性、关联性。任何一阶段的缺失或者延期都会造成监检流程的中断。本文根据对于关键工序的研究，创建出一套包含14项主要因素的标准型监检操作规范框架，如图1所示。

图1 压力管道全生命周期14步标准化监检流程

步骤3：在线监测、验收。取得相应的资质并在批准以后，需通过当地特种设备检验机构（以下简称特检院）的官方网站申请压力管道安装工程的监督检验。上传告知书、设计图纸及相关技术文件、施工单位资质及质量保证体系等相关证明。

步骤4：业务受理阶段。在这段时间里，特种设备检验机构应对申请材料进行全方位的审核，看项目的资料是否符合TSG 07—2019特种设备生产和充装单位许可规则的相关要求。经过审核无误之后，应及时正式接收监督检验任务并告知申请人双方责任界限。

1.3 现场施工阶段（步骤5~7）

步骤5：初步的现场监督检查。特种设备检验机构会对项目的初始阶段实施现场监督，主要内容如下表所示。

（1）核查管道元件进场验收资料是否合法、齐全；（2）核验主要材料、焊接材料质量证明文件是否齐全、符合

要求；(3) 查验施工单位、无损检测单位相关资质证书；
(4) 评判质量管理人员任命书及质量保证体系的运行情况。若首检结果判定合格，则后面的工作可以按照计划进行，反之，在收到不合格通知之后，应在七日内完成整改并经过复检，以保证后面的施工安全。

步骤 6：焊接施工作业。严格执行焊口标记移植、焊工钢印标识制度，实现焊缝全生命周期可追溯。焊接工艺须与经评定合格的焊接工艺评定（WPS/PQR）相符。焊工须在持证项目覆盖范围内施焊，超出范围须重新进行工艺评定。

步骤 7：施工过程记录编制。同步收集整理：(1) 焊接原始记录；(2) 焊缝外观检查记录；(3) 焊材入库、烘干、领用、回收全流程台账；(4) 全场焊缝布置分布图及焊缝台账。

1.4 无损检测阶段（步骤 8）

步骤 8：第三方无损检测实施。按设计规定比例开展射线检测（RT）、超声检测（UT）等无损检测。质量控制要求如下：

- (1) 若首检出现不合格焊缝，须强制扩探同批次相邻 2 道焊缝；
- (2) 扩探仍存在缺陷时，对该批次全部焊缝实施 100% 无损探伤；
- (3) 缺陷返修须编制返修工艺卡，同一部位返修不得超过 2 次；
- (4) 返修后须重新进行无损检测并出具返修检测记录。

1.5 二次监检与抽检阶段（步骤 9~11）

步骤 9：二次监检预约。无损检测阶段性完成后，邀

约特检院开展第二次现场监检，同步提交管道试压方案、无损检测底片及检测报告。

步骤 10：监检随机抽检。特检院根据现场施工质量状况，随机抽取代表性焊口（一般不少于焊口总数的 5%），委托独立于施工单位和原检测单位的第三方检测机构开展复核探伤。第三方检测机构须具备相应资质且与项目各方无关联关系。

步骤 11：复检资料闭环。第三方检测完成并出具合格报告后，全套探伤资料（含底片、报告、评定记录）报送特检院归档。若抽检发现不合格，须扩大抽检范围并追溯同批次焊缝质量。

1.6 竣工与登记阶段（步骤 12~14）

步骤 12：全套监检资料汇总。归集设计、施工、焊接、检测、试验、防腐、安全附件等全部技术资料，按特检院归档要求整理装订。资料须按九大模块分类编码（详见第 2 章）。

步骤 13：监检报告出具。特检院完成全部资料审核与现场核查，出具《压力管道安装监督检验证书》。施工单位完成监检服务费结算。

步骤 14：使用登记。持监检合格报告至属地市场监督管理部门办理压力管道使用登记，取得使用登记证，完成全流程闭环。

2 压力管道监检标准化资料审查清单体系

特检院对压力管道安装监检实行全套资料逐项核查制度。根据施工实际，未涉及工序对应资料可免于提交。本文按管理类别将资料清单划分为九大模块，体系架构如图 2 所示。

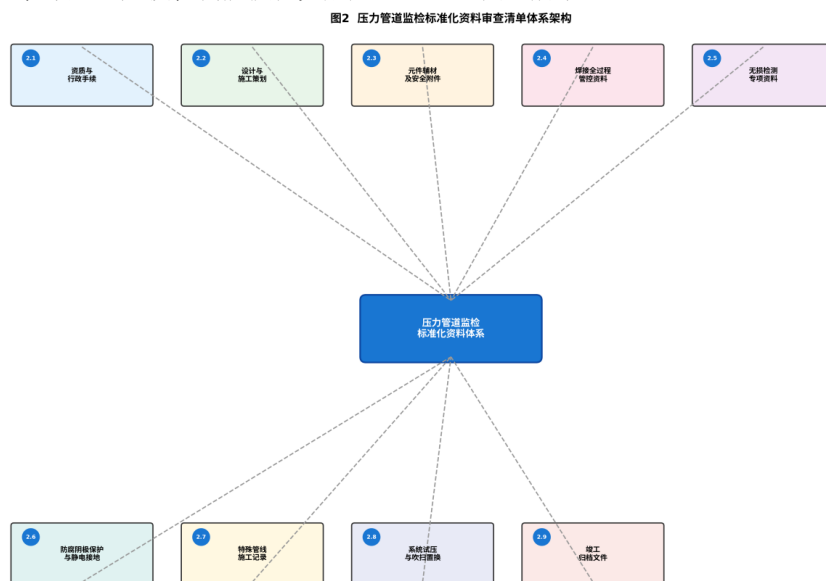


图 2 压力管道监检标准化资料审查清单体系架构

2.1 资质与行政手续文件

- (1)《特种设备安装改造维修告知书》;
- (2)设计、安装、无损检测单位许可资质证书;
- (3)各单位质量保证体系文件:质量手册、程序文件、管理制度、责任人员任免文件、专项作业指导书;
- (4)持证焊工、无损检测人员资格证书、注册信息及合格项目明细表;
- (5)焊接班组负责人劳动合同及社保缴纳证明。

2.2 管道设计与施工策划文件

- (1)压力管道全套设计资料:施工图纸、设计说明、管道特性表、强度计算书、管道应力分析计算书(高压及复杂管线必备)、设计变更及材料代用审批文件;
- (2)工程施工合同、图纸会审记录;
- (3)施工组织设计、管道专项施工方案。

2.3 管道元件、辅材及安全附件资料

- (1)管材、管件制造单位许可资质、产品制造监检证书、型式试验报告、产品质量证明书(原件或加盖供货单位公章的有效复印件);

注:聚乙烯管材存放超过4年、管件存放超过6年,须补充抽样性能复检报告。

- (2)管道元件、安全附件进场验收记录、材料理化复验记录、材料技术评审文件;
- (3)阀门出厂资料及单体耐压试验报告;
- (4)安全阀、爆破片、紧急切断阀产品质量证明文件,安全阀校验报告、紧急切断阀性能检测报告;
- (5)防腐、绝热保温材料质量证明文件。

2.4 焊接全过程管控资料

- (1)焊材质量证明文件,焊材验收、仓储、烘干、领用、回收全流程台账;
- (2)焊工钢印分布图、管口坡口加工记录、现场弯管记录、管道组对质量检查记录;
- (3)焊接工艺评定报告(PQR)、专项焊接作业指导书(WPS)、焊接工艺卡;
- (4)施焊原始记录、焊缝外观检查记录、焊接返修工艺卡及返修全过程记录;
- (5)焊后热处理工艺文件、温度曲线记录、热处理后硬度检测报告(适用时)。

2.5 无损检测专项资料

- (1)无损检测委托单、检测专项施工方案;
- (2)无损检测工艺规程、现场作业记录、正式检测

报告;

- (3)射线检测底片、缺陷评定记录及底片借阅归还记录。

2.6 防腐、阴极保护与静电接地资料

- (1)管道防腐、补口、补伤、保温施工质量检查记录;
- (2)埋地管道下沟前防腐层电火花检漏报告;
- (3)牺牲阳极、外加电流阴极保护施工及检测记录;
- (4)管道系统静电接地施工及导通性能检查记录。

2.7 特殊管线施工记录

- (1)穿跨越管道结构、焊缝布置施工检查记录,穿跨越专项施工验收报告;
- (2)管道套管防腐绝缘检测记录、绝缘支撑性能检查报告;
- (3)工厂预制管道配套焊接、热处理、支吊架、补偿器安装检查试验记录。

2.8 系统试压与吹扫置换资料

- (1)耐压试验方案、试压原始记录、试压报告,配套压力表有效检定证书;
- (2)严密性(泄漏性)试验方案、试验记录及报告;
- (3)管道吹扫、清洗、干燥、介质置换全过程记录;
- (4)应力替代试验相关条件文件及试验记录(适用于无法实施常规试压的管线)。

2.9 竣工归档文件

- (1)管道竣工图纸(含变更);
- (2)竣工报告;
- (3)压力管道安装质量证明书;
- (4)管道安装数据汇总表。

3 工程应用与实施效果分析

3.1 工程案例背景

本文所设计的标准监理检验程序及文件清单,在陕西泰合利华工业有限公司的柔性显示、5G 单体材料项目机电安装工程中全部使用。该项目技术要点包含:

装置规模:加氢车间加氢反应釜装置

设计压力:10.0MPa(高压系统)

管道总长:71.2m(全部为GC1级管道)

焊口数量:约115道(全部为高压焊口)

材质分布:全部为不锈钢(304)

无损检测已经达到了百分之百,GC1级高压管道必须进行全面检测才能保证它的安全。

施工方为榆林市大可建设工程有限公司,具有压力管

道安装 GC1、GC2 级别的企业资质以及工业管道 GB1、GB2 级别的工程承包资质，并且取得锅炉相关作业最高级别许可。

监检机构：榆林市特种设备检验检测研究院

项目工期：2023 年 9 月至 2025 年 1 月

3.2 实施过程管控要点

(1) 在设计阶段前控制的方法有无。项目初期要组织设计单位、施工单位、监理单位和特种设备检测机构开展联合技术交底及图审。需要重点审查没有列入管道特性表 GC1 级压力管道无损检测比例不足等问题，减少后续施工中由于变更造成的风险。

(2) 焊工资质动态管理。创建焊工资质信息化管理平台，实现持证技能项目和具体的焊接作业的精准匹配。本工程设置持证焊工两人，其执业范围经过权威机构的审查并且全部符合现行行业标准规范。

(3) 生命周期焊接材料信息管理系统。以专业化的焊材管理软件系统为基础，实现焊材从采购入库、检验检测、干燥处理、领用分发、回收处置全过程的信息化监控和追踪管理，有效地防止由于焊材混用或者过期使用所造成的质量风险。

(4) 焊缝质量追溯系统。创建以焊口编号为轴心的动态数据库，把焊工资质、材料型号、工艺参数、无损检测及试验数据这些重要信息全部纳入进去，并且开展相关的存储工作。

(5) 使实时的数据得到同步。执行“施工同档案一起进行”的理念，各作业环节结束之时要马上展开资料编撰和归档的任务。

3.3 量化效果分析

本文选择标准化管理体系实施前后主要指标的量化数据为分析样本。

(1) 流程标准化对于工程建设项目有明显的经济效益，确定工序之间存在的逻辑关系、验收标准和前置条件，可以减少施工人员的错误判断。据估计实行了标准化之后一段时间内监理检验一次性的合格率由原来的 62%提高到了后来的 91%，提高了 29 个百分点，返工事件次数也从原来的 18 次大幅度降低到了后来的 4 次，减少了 78%。

(2) 档案管理工作效率明显提高。清单式管理模式贯穿于施工全过程之中，克服了传统模式后期集中整理的缺点，把监理和验收文件审核周期从之前的平均 14 个工作日缩短到现在的 9 个工作日左右，效率提高了大约 36%。

(3) 质量管理有所改善。依靠全流程质量信息追溯系统创建，焊接、无损检测和压力测试等主要工序的数据记载达成全面的数字整合。以管道焊接质量为例可以得出焊材控制合格率由原来的 55%提高到了 92%，文件同步完成率由原来的 45%提高到了 93%。设备投运一年复查结果表明，比初始时低得多，下降了 48%以后再降为 2.3%。

该质量提高、效率改善管理体系具有良好的综合性效果，它的门槛低、适用范围广，经过实践检验可知，能够使项目的总工时减少 15%，检测周期减少 25%，并从人力成本和检测成本两个方面节约大约 18%。

4 结论与建议

压力管道监督检验属于化工、机械工程中保证工程质量的重要环节。本文以系统工程理论为基础，提出一套包括设计审查到竣工验收全过程的设计监管体系。同时又针对九大主要管理模块创建出相应的标准文档审核工装，而且就各个时期的质量控制要素做了详细的分析和说明。

该种管控模式是以 PDCA 循环理论为基础建立起来的，具有很强的技术可操作性，动态的优化体系也更加完善。其目的在于对施工过程中的监督检验及报验进行系统性地规定，使工序的偏差、文件的修改大幅度减少，从而提高压力管道工程整个生命周期内质量控制的效率和可靠性。

经过实践证明该体系有明显的使用效益，监理、检验报验一次性合格率为 29%，资料审查用时减少 36%，综合成本降低约 18%，工程实际竣工时间比以前的计划要提前十五天。

目前的研究重点在于三个方面，利用 BIM 技术创建压力管道三维可视化的监检管理系统，创建以大数据为依托的精细化管理体系和智能预测系统，就不同的材质、工况条件采取差异化的改良办法。

[参考文献]

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.工业金属管道工程施工规范:GB 50235-2010[S].北京:中国计划出版社,2011.
- [2]中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.现场设备、工业管道焊接工程施工规范:GB 50236-2011[S].北京:中国计划出版社,2011.
- [3]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.压力管道安全技术监察规程—工业管道:TSG D0001-2009[S].北京:新华出版社,2009.

[4]国家市场监督管理总局.压力管道监督检验规则:TSGD7006-2020[S].北京:中国特种设备安全与节能促进会,2020.

[5]国家市场监督管理总局.特种设备生产和充装单位许可规则:TSG 07-2019[S].北京:中国特种设备安全与节能促进会,2019.

[6]全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国特种设备安全法[M].北京:中国法制出版社,2014.

[7]陕西泰合利华工业有限公司.柔性显示及 5G 单体材料项目工程设计图纸[Z].西安:陕西泰合利华工业有限公司,2022.

作者简介:潘东东(1989—),男,本科,机电一级建造师,注册监理工程师,长期从事化工机电化建安装项目经理、技术负责人等管理工作;郭慧(1990—),女,本科,初级工程师,从事化工机电化建安装项目预算、资料编制等管理工作。