

# 完整性管理在净化厂的应用研究

唐 霏, 刘 畅, 舒 洁

中国石油西南油气田公司安全环保与技术监督研究院, 四川 成都  
Email: 799424394@qq.com

收稿日期: 2021年5月28日; 录用日期: 2021年6月12日; 发布日期: 2021年6月24日

## 摘 要

天然气净化厂不同于一般的石油企业, 具有设备密集、流程复杂等特点。目前国内外尚未提出油气管道所属天然气净化厂的完整性管理系统理论与方法, 缺乏适合天然气净化厂完整性管理的风险评价方法, 天然气净化厂完整性管理技术标准不统一, 缺乏一套成熟的天然气完整性管理体系。因此本文选取天然气净化厂作为研究对象, 分析西南油气田天然气净化厂完整性管理的现状, 面临的问题, 存在的短板, 从而建立一套适用于天然气净化厂的完整性管理体系, 对保障天然气净化厂的安全平稳运行具有重大意义。

## 关键词

天然气净化厂, 完整性管理, 管线设备

# Application of Integrity Management in Purification Plant

Fei Tang, Chang Liu, Jie Shu

Safety Environment & Technology Supervision Research Institute, PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu Sichuan  
Email: 799424394@qq.com

Received: May 28<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jun. 12<sup>th</sup>, 2021; published: Jun. 24<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The natural gas purification plant is different from the general petroleum enterprises, which has the characteristics of intensive equipment and complex process. At present, the theory and method of the integrity management system of the natural gas purification plant belonging to the oil and gas pipeline have not been put forward at home and abroad, and there is a lack of risk as-

assessment method suitable for the integrity management of the natural gas purification plant. The technical standards of the integrity management of the natural gas purification plant are not unified, and a set of mature natural gas integrity management system is lacking. Therefore, this paper chooses the natural gas purification plant as the research object, analyzes the current situation, problems and shortcomings of the integrity management of the natural gas purification plant in the southwest oil and gas field, so as to establish a set of integrity management system suitable for the natural gas purification plant, which is of great significance to guarantee the safe and smooth operation of the natural gas purification plant.

## Keywords

Natural Gas Purification Plant, Integrity Management, Pipeline Equipment

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 天然气净化厂完整性管理概况分析

### 1.1. 天然气净化厂完整性管理现状

当前中国石油管道线路已经实现基于风险的完整性管理，但对站场设备设施的管理仍基本沿用传统的管理模式，为进一步提高站场管理水平，满足安全生产更高的要求，各油气田公司逐步推进站场完整性管理。中国石油与天然气股份有限公司西南油气田分公司 2019 年发布的是《管道和站场完整性管理手册》(C 版)。中国石油与天然气股份有限公司西南油气田分公司 2019 年发布《管道和站场完整性管理手册》(C 版)，管理手册包括总则 1 个、程序文件 10 个、作业文件 51 个，附录文件 2 个，其中涉及站场的程序文件 5 个、作业文件 16 个。其中站场完整性管理工作流程包括数据采集、风险识别、检测评价、维修维护、效能评价 5 个环节。通过上述过程的循环，逐步提高完整性管理水平。工作流程示意图如图 1 所示。

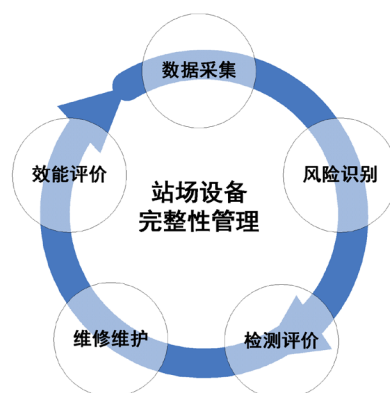


Figure 1. Schematic diagram of station integrity management workflow

图 1. 站场完整性管理工作流程示意图

但是，目前国内外尚未提出油气管道所属天然气净化厂和终端的完整性管理的系统的理论和方法，天然气净化厂完整性管理技术标准不统一，缺乏适合天然气净化厂完整性管理的风险评价方法，即使是管道行业提供咨询和进行站场完整性评价的公司，也缺乏一套成熟的天然气净化厂完整性管理体系[1]。

## 1.2. 天然气净化厂完整性管理面临的挑战及存在问题

天然气净化厂是站场中重要组成部分，确保天然气净化厂的安全运行，是提高天然气行业经济效益的重要前提与基础。而随着天然气产量的快速增长，天然气净化厂的管理难度不断加大，主要面临以下几个方面问题：

### 1.2.1. 数据采集

天然气净化厂完整性管理的基础是数据采集问题，由于天然气净化厂部分数据缺失和不健全是影响天然气净化厂完整性管理工作的主要问题。因此在后续实施完整性管理的过程中，数据的收集、整理以及处理是关键。

### 1.2.2. 风险评价技术

目前对于天然气净化厂的检测与评价技术还不太成熟，特别是动设备的风险评价技术亟待研究，应形成具有针对性的风险评价方案。

### 1.2.3. 完善管理工作计划

根据油田站场完整性管理的工作流程，需提高检测计划以及维修维护计划的针对性和效果，是实现天然气净化厂完整性管理工作目标的关键。因此，如何准确地识别风险位置，评价危险的大小，采取有效的维修维护策略是天然气净化厂完整性管理的工作重点[2] [3] [4]。

### 1.2.4. 压力设备的定期检验

在进行站场完整性管理技术研究中面对的一些设备属于压力容器，而压力容器有一套相对完善的检验标准制度，如何将风险检测与压力设备的定期检验相结合，是后续研究中需要解决的问题之一。

## 1.3. 建立天然气净化厂完整性管理的必要性

天然气净化厂具有设备密集、工艺复杂等特点。在生产工艺上，工艺流程高温高压、介质易燃易爆且含酸性气体具有腐蚀性；生产装置上，气田生产设备种类繁多，包括吸收塔、换热器、储罐、泵、压缩机以及加热炉等。天然气净化厂管线、动设备、自控系统一旦发生失效将会产生严重的安全事故，对人员、财产、环境将造成严重的破坏，传统的管理模式无法完全满足“提质、降本、增效”要求，因此需推行净化厂智能化完整性管理体系，做好净化厂设备的安全管理，保证设备的完好率，进一步提升管理水平，实现本质安全，促进降本增效，是保证生产平稳、高效、安全运行的关键。

对天然气净化厂完整性管理进行研究，以提高管道安全管理、优化管道运行，是一项非常迫切而又重要的工作。该体系构建将有助于推进全面综合性的天然气净化厂完整性管理体系的建设，将使天然气净化厂的风险管理由设备拓展到人、操作工艺以及环境的影响，进一步提升天然气净化厂整体的安全管理水平。

推进天然气净化厂完整性管理过程本身就是引进先进理念、提高效率和提升管理水平的过程，是规范和提升站场运营企业站场管理的有效手段[5] [6] [7]。

有利于风险过程管理。完整性管理是针对天然气净化厂全生命周期的过程管理，风险控制过程是以大量的危害识别及分析评价工作为基础的，便于天然气净化厂运营、企业有的放矢的进行风险管理。

促进资源的合理分配。完整性管理是一种基于风险的管理过程，追求的是管理成本与效能的最佳平衡，通过持续的风险管理活动，把有限的资源投入到最需要的地方，实现天然气净化厂风险最小化运行。

有效提升专业管理水平。完整性管理要求企业加大预防性的天然气净化厂维护工作，这种基于风险的管理要求管理人员注重天然气净化厂基础资料和业务数据收集与整理，探索风险识别和控制方法，有效削减天然气净化厂风险，为管理决策提供科学、全面、系统的决策依据，促使管理水平持续提升。

本文探索适合国内天然气净化厂完整性管理的最佳模式，为制定适合天然气净化厂的管理模式提供可借鉴的思路。

## 2. 天然气净化厂完整性管理体系构建

### 2.1. 全生命周期天然气净化厂完整性管理概念

完整性管理是国际先进石油化工企业积极推崇的资产管理模式，中石油提出“实施全寿命周期的完整性管理，保证管道系统安全、可靠、受控，避免重大安全、环境责任事故”的完整性管理总体目标，要求管道管理从传统的被动应对方式转变为主动预防的完整性管理模式。其中，站场完整性管理作为管道完整性管理的一个重要并且特殊的组成部分，开始在各个专业公司推广应用[8] [9] [10] [11]。

但是，到目前为止，国内外尚没有形成一套普遍适合应用的天然气净化厂完整性管理标准模式。我国的社会环境、企业环境与欧美存在极大的差异，任何思想、方法的引入必定是一个逐步学习、逐步深入的过程，各个企业根据自身的特点在探索和实践，本文试图就天然气净化厂完整性管理进行有益的探讨。

全生命周期天然气净化厂完整性管理是通过根据不断变化的管道因素，对天然气净化厂运营中面临的风险因素进行识别和技术评价，制定相应的风险控制对策，不断改善识别到的不利影响因素，从而将天然气净化厂运营的风险水平控制在合理的、可接受的范围内[12]，建立以通过检查、监测、检测、检验、维护等各种方式，获取天然气净化厂完整性的信息，对可能使天然气净化厂设备设施失效的主要威胁因素进行检查、检测、检验，据此对设备设施的适用性进行评估，最终达到持续改进、减少和预防设备设施事故发生、经济合理地保证设备设施安全运行的目的[13] [14] [15]。

### 2.2. 天然气净化厂完整性管理原则

天然气净化厂完整性管理的建设应与管道系统建设与运行同步进行，甚至在管道系统的建设初期要确定完整性管理的概念与方法，并在后期根据实际情况需要进行适当的调整与更新。

天然气净化厂完整性管理的原则：1) 配备必要的管理手段，完善管理流程，建立完善的天然气净化厂完整性管理体系；2) 在天然气净化厂完整性过程中及时更新新技术；3) 建立数据库，实现天然气净化厂资产完整性管理的统一管理。

### 2.3. 天然气净化厂完整性管理体系主要内容

由于天然气净化厂设备设施类型多样性、工艺流程的复杂性以及处理介质的多变性，如何将完整性管理融入天然气净化厂以提高净化厂的整体管理水平，是一个亟待解决的问题。因此，为了进一步管理天然气净化厂设备，根据相关的管理规范，本文构建了全生命周期天然气净化厂完整性管理体系。该体系主要是由数据采集模块、风险评价模块、监测/监测模块、维修维护模块以及效能评价模块组成。

#### 2.3.1. 数据采集

天然气净化厂设备完整性管理以设备数据为基础，数据的准确度和完整度决定评价结果的准确性，进而影响维护措施和完整性管理效果。完整性管理工作需要不断更新和完善，结合净化厂竣工资料与维修维护资料，采集对象主要包括动设备、静设备以及仪表系统等，了解对象状况、识别具体位置上影响设备完整性的危险因素，并了解事故对公众、环境和操作造成的后果。

#### 2.3.2. 风险评价

利用采集的数据，对天然气净化厂内的静设备、动设备以及仪表系统进行风险评价，确定天然气净化厂内的高风险区域以及关键设备，并提出具有指导性的工作建议。在对天然气净化厂进行风险评价过程中，涉及到的风险评价方法主要包括 RBI、RCM、SIL 以及 HAZOP 等方法。

### 1) 基于风险的检测(RBI)

RBI 是国际上新兴的资产完整性管理技术, 该技术的应用需要处理大量数据, 采用定量风险评估需要采用相对比较复杂的失效概率计算模型和失效后果计算模型。RBI 评价的对象主要是天然气净化厂装置中的静设备、管道等。

### 2) 以可靠性为中心的维护(RCM)

RCM 即以可靠性理论为手段, 以保持系统具有的功能或固有的可靠性为目标, 根据设备故障发生和发展的规律及其后果, 针对其不同的故障后果和原因, 采取不同的维修策略。RBI 评价的对象主要是动设备。

### 3) 安全完整性等级(SIL)

SIL 是通过评估安全仪表系统功能失效后的风险和已有风险降低手段而确定的, SIL 定级可以实现安全功能的目标化管理以及衡量设施风险状况及制定管理要求, 同时 SIL 技术提供了各方认可的安全品质整体量化的方法, 填补了控制技术发展后安全法规体系的空白。国际标准中共规定了四个等级, 第四级表示最高的完整性程度, 第一级表示最低。对应着每一种安全完整性等级, 都规定了可以降低设计错误的设计规范。RBI 评价的对象主要是仪表系统。

### 4) 危险与可操作性分析(HAZOP)

HAZOP 研究是以系统工程为基础的一种可用于定性分析或定量评价的危险性评价方法, 用于探明生产装置和工艺过程中的危险及其原因, 寻求必要对策。通过分析生产运行过程中工艺状态参数的变动, 操作控制中可能出现的偏差, 以及这些变动与偏差对系统的影响及可能导致的后果, 找出出现变动与偏差的原因, 明确装置或系统内及生产过程中存在的主要危险、危害因素, 并针对变动与偏差的后果提出应采取的措施。HAZOP 评价的主要对象是工艺系统。

## 2.3.3. 监测/检测评价

根据风险评价结果制定响应方案, 制定采取措施的实施方案和 timetable, 按危险类型确定有效的措施, 对设备操作规程、日常检查等的技术标准进行审查和修改, 确保合格的行业标准和作法进行作业, 确保完整性评价的要求落实。

### 1) 静设备的监测/检测评价

#### a) 压力容器的监测/检测评价

压力容器的定期检验方法以宏观检查、壁厚测定为主, 必要时采用表面无损检测、超声检测。

宏观检查应以容器本体、对接焊缝、接管角焊缝的裂纹、变形、泄漏以及排污装置的检查为重点, 测厚部位以液位波动处、进出口接管对应筒壁、排污装置处筒壁为重点。

表面无损检测、超声检测以宏观检查有问题的部位及错边量和棱角度超过制造标准的部位为重点。

#### b) 管道的监测/检测评价

对风险等级为高、中高的管线以外宏观检查、壁厚测定、无损检测、安全保护装置检验为主, 必要时进行材质检验、应力分析; 对风险等级为中、低的管线以外宏观检查、壁厚测定、安全保护装置检验为主, 必要时进行无损检测。

外部宏观检查以管道组件的损伤、变形、腐蚀, 管道与管架连接部位的局部腐蚀, 焊接接头的表面裂纹检查为重点。

无损检测以外宏观检查有疑问、长期承受明显交变载荷、支架损坏部位附近焊接接头为检测重点。

### 2) 动设备的监测/检测评价

动设备运行状态监测可分为离线监测和在线监测, 对于 A 类设备, 可采用计算机化在线状态监测系统对设备进行连续监测, 或一般在线监测系统; 对于 B 类设备, 可采用一般在线监测系统, 或采用离线



状态监测仪器进行定期监测；对于 C 类设备，可采用离线状态监测仪器进行定期监测，或采用便携式测量仪器进行监测。

动设备状态监测部位一般选择：故障易发生部位；轴承定位部位；连接刚性好的部位；润滑系统部位等。

#### 2.3.4. 维修维护

根据监测/检测评价结果，确定维修维护对象，制定天然气净化厂维修维护工作计划，采取必要的技术手段确保各项设备日常维护工作能够落实到位。

##### 1) 静设备的维修维护

容器的日常维护由使用单位经培训的人员进行，包括巡检及日常检测；巡检时间按照作业区相关规定进行，重点应关注风险相对较高的容器。

日常检测的间隔时间，按照风险等级为高风险的容器每 1 季度一次，风险等级为中高风险的容器每半年一次，风险等级为中风险和低风险的容器每 1 年一次进行。

管道的日常维护检测由使用单位经培训的人员进行，包括巡检及日常检测；巡检时间按照作业区相关规定进行，重点应关注高风险和失效可能性 3 级以上的管道，按照失效可能性 3 级及以上，风险等级为高风险或中高风险的管道 1 季度一次，风险等级为中风险或低风险的管道每半年一次；失效可能性 3 级以下，风险等级为高风险或中高风险的管道每半年一次，风险等级为中风险或低风险的管道每 1 年一次；

##### 2) 动设备的维修维护

动设备的维修维护方案应根据各相关设备在特定流程中主导的失效模式、失效根本原因以及失效后果，同时结合各设备自身结构特点，提出优化的维护策略，从而使装置风险降低到可接受的等级下

#### 2.3.5. 效能评价

在实施天然气净化厂完整性管理过程中，效能评价是重中之重，它不仅量化完整性管理开展后的考核结果，而且也是管理中的重点内容。效能评价的功能就是总结完整性管理执行时的各项不足，并对这些不足点进行改善和修正，强化管理人员的综合素养，保证天然气净化厂的管道管理水平。

效能评价主要是通过相应的效能测试手段进行，效能测试主要关注的是完整性管理程序提高设备安全性的效果。正确地选择和评价效能测试，是确定完整性管理程序效果的一项重要工作。

构建的全生命周期天然气净化厂完整性管理体系如图 2 所示。

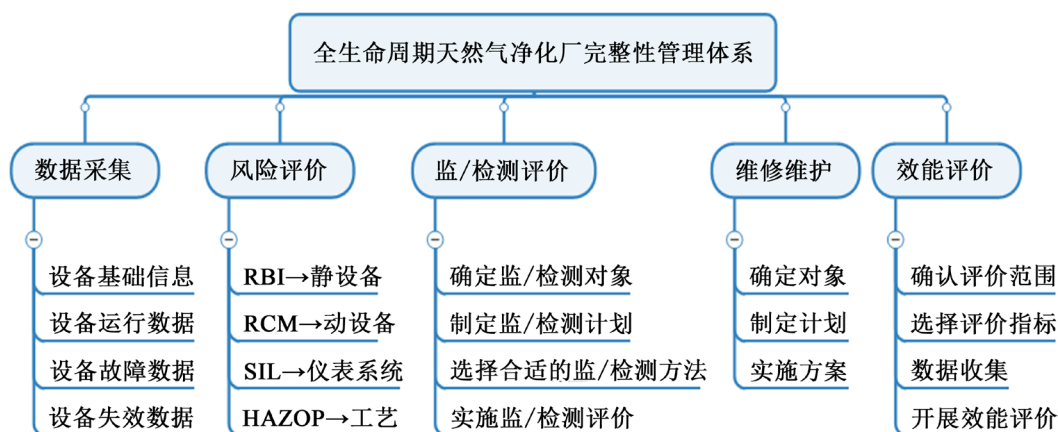


Figure 2. Integrity management system of natural gas purification plant in whole life cycle

图 2. 全生命周期天然气净化厂完整性管理体系

### 3. 结论

综上所述, 在应用完整性管理对天然气净化厂实施管理时, 要明确完整性管理的具体内容, 并在先进管理技术和管理理念的作用下, 充分发挥完整性管理的最大效能。在天然气净化厂的管理中应用完整性管理, 既可以保障天然气净化厂的安全平稳运行, 同时将有效提升天然气净化厂的技术以及管理水平。

### 基金项目

西南油气田分公司安全环保与技术监督研究院 2020 年第一批院级科技项目《完整性管理在天然气净化厂的应用研究》, 2020yj-05。

### 参考文献

- [1] 史兴治. 中石油西部管道公司站场完整性管理模式研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [2] 张宝良, 张维智, 张飞鹏, 等. 油田站场完整性管理技术探析[J]. 油气田地面工程, 2020, 36(6): 72-77.
- [3] Zheng, H., Ai, M., Zhou, L., *et al.* (2012) Research on Oil and Gas Station Integrity Management System. 2012 9th International Pipeline Conference, 387-393. <https://doi.org/10.1115/IPC2012-90261>
- [4] 张璇, 杨帆, 周立辉. 天然气净化厂设备完整性管理体系的构建[C]//中国职业安全健康协会. 中国职业安全健康协会 2016 年学术年会. 2016: 171-177.
- [5] Lai, H.T., Tian, F.G., Li, Z.S., *et al.* (2016) Research on Integrity Management System Based on Corrosion Risk Online Monitoring (CROM). *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Network and Computer Engineering (ICENCE 2016)*, 13-14 August 2016, 565-568. <https://doi.org/10.2991/icence-16.2016.107>
- [6] 毛奇, 赵恒乐, 彭子骞. 浅谈安全完整性等级 SIL [J]. 山东工业技术, 2019(16): 224.
- [7] 七孝磊, 马英利, 谢涛. 浅谈输油站场完整性管理[C]//中国管理信息化. 第四届中国管道完整性管理技术大会. 长春: 吉林科学技术出版社有限责任公司, 2014: 152-153.
- [8] Marvasti, M.A. (2011) Self-Learning Integrity Management System and Related Methods. US7467067B2.
- [9] 董绍华, 韩忠晨, 费凡, 等. 输油气站场完整性管理与关键技术应用研究[J]. 天然气工业, 2013, 33(12): 177-123.
- [10] 杨滨宇. 输油站场完整性管理探讨[J]. 化工管理, 2018(22): 192.
- [11] 冯晓东, 赵忠刚, 白世武, 等. 站场完整性管理技术研究[J]. 管道技术与设备, 2011(4): 15-17, 20.
- [12] 熊小琴, 胡远远, 朱新建. 油气站场完整性管理技术综述[C]//中国石油学会. 第二届油气田地面工程技术交流大会论文集. 2015: 1004-1007.
- [13] 程万洲, 张华兵, 王新. 油气站场工艺管道完整性管理[J]. 化工设备与管道, 2015(3): 76-79.
- [14] 师小杰. 输油站场工艺管线完整性管理研究[J]. 中国化工贸易, 2019, 11(13): 19.
- [15] 祁云清, 姚安林, 朱元杰, 等. 基于可拓理论的油气站场完整性管理质量评价方法研究[J]. 中国安全生产科学技术, 10(10): 185-190.