



中国石油天然气集团公司统编培训教材

天然气与管道业务分册

管道完整性管理技术

《管道完整性管理技术》编委会 编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了管道完整性管理的理念；管道完整性管理数据采集技术、高后果区识别技术、风险评价技术、检测和监测技术、完整性评价技术、维护维修技术和效能管理技术；站场管道完整性管理相关的各种技术等。另外，本书还介绍了管道完整性管理在中国石油天然气集团公司、Enbridge 管理公司、加拿大 TCPL 管理公司的实施情况。

本书可作为管理运营管理专业技术人员、管理完整性管理专业技术人员、站场管理专业技术人员的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

管道完整性管理技术/《管道完整性管理技术》编委会编.

北京:石油工业出版社,2011.12

中国石油天然气集团公司统编培训教材

ISBN 978-7-5021-8754-5

I. 管…

II. 管…

III. 油气运输-管道工程-完整性-技术培训-教材

IV. TE973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 213934 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petro pub. com. cn

编辑部:(010)64240656 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:29.5

字数:510千字

定价:104.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》 编 审 委 员 会

主任委员：李万余

副主任委员：金 华 白泽生

委 员：王志刚 连建家 胡宝顺 马晓峰

卢丽平 杨大新 吴苏江 杨 果

方朝亮 王同良 刘江宁 卢 宏

周国芳 雷 平 马新华 戴 鑑

上官建新 陈健峰 秦文贵 杨时榜

何 京 张 镇

秘 书：张玉文 王子云

《天然气与管道业务分册》

编 审 委 员 会

主任委员：黄维和

副主任委员：马志祥 丁建林 张耀明 侯创业
陈健峰 梁 鹏

委 员：王 斌 吴世勤 吴忠良 魏东吼
唐善华 陈四祥 柴 伟 米庆来
徐文满 刘海春 刘 锴 崔红升
吴志平 刘克举

《管道完整性管理技术》

编 委 会

主 编：杨祖佩

副 主 编：郑洪龙 冯庆善 常景龙 戴联双

编写人员：周利剑 税碧垣 魏东吼 吴志平

张华兵 王学力 李 祎 贾韶辉

付立武 贺克奋 董绍华 余海冲

燕冰川 冯文兴 韩 冰 项小强

李保吉 宋汉成 王 婷 孙 盛

韩小明 王联伟 张海亮 刘 悦

李明菲 杨玉锋 王 新 韩文超

任 武 魏然然

序

企业发展靠人才，人才发展靠培训。当前，集团公司正处在加快转变增长方式，调整产业结构，全面建设综合性国际能源公司的关键时期。做好“发展”、“转变”、“和谐”三件大事，更深更广参与全球竞争，实现全面协调可持续，特别是海外油气作业产量“半壁江山”的目标，人才是根本。培训工作作为影响集团公司人才发展水平和实力的重要因素，肩负着艰巨而繁重的战略任务和历史使命，面临着前所未有的发展机遇。健全和完善员工培训教材体系，是加强培训基础建设，推进培训战略性和国际化转型升级的重要举措，是提升公司人力资源开发整体能力的一项重要基础工作。

集团公司始终高度重视培训教材开发等人力资源开发基础建设工作，明确提出要“由专家制定大纲、按大纲选编教材、按教材开展培训”的目标和要求。2009年以来，由人事部牵头，各部门和专业分公司参与，在分析优化公司现有部分专业培训教材、职业资格培训教材和培训课件的基础上，经反复研究论证，形成了比较系统、科学的教材编审目录、方案和编写计划，全面启动了《中国石油天然气集团公司统编培训教材》（以下简称“统编培训教材”）的开发和编审工作。“统编培训教材”以国内外知名专家学者、集团公司两级专家、现场管理技术骨干等力量为主体，充分发挥地区公司、研究院所、培训机构的作用，瞄准世界前沿及集团公司技术发展的最新进展，突出现场应用和实际操作，精心组织编写，由集团公司“统编培训教材”编审委员会审定，集团公司统一出版和发行。

根据集团公司员工队伍专业构成及业务布局，“统编培训教材”按“综合管理类、专业技术类、操作技能类、国际业务类”四类组织编写。综合管理类侧重中高级综合管理岗位员工的培训，具有石油石化管理特色的教材，以自编方式为主，行业适用或社会通用教材，可从社会选购，作为指定培训教材；专业技术类侧重中高级专业技术岗位员工的培训，是教材编审的主体，

按照《专业培训教材开发目录及编审规划》逐套编审，循序推进，计划编审300余门；操作技能类以国家制定的操作工种技能鉴定培训教材为基础，侧重主体专业（主要工种）骨干岗位的培训；国际业务类侧重海外项目中方员工的培训。

“统编培训教材”具有以下特点：

一是前瞻性。教材充分吸收各业务领域当前及今后一个时期世界前沿理论、先进技术和领先标准，以及集团公司技术发展的最新进展，并将其转化为员工培训的知识和技能要求，具有较强的前瞻性。

二是系统性。教材由“统编培训教材”编审委员会统一编制开发规划，统一确定专业目录，统一组织编写与审定，避免内容交叉重叠，具有较强的系统性、规范性和科学性。

三是实用性。教材内容侧重现场应用和实际操作，既有应用理论，又有实际案例和操作规程要求，具有较高的实用价值。

四是权威性。由集团公司总部组织各个领域的技术和管理权威，集中编写教材，体现了教材的权威性。

五是专业性。不仅教材的组织按照业务领域，根据专业目录进行开发，且教材的内容更加注重专业特色，强调各业务领域自身发展的特色技术、特色经验和做法，也是对公司各业务领域知识和经验的一次集中梳理，符合知识管理的要求和方向。

经过多方共同努力，集团公司首批39门“统编培训教材”已按计划编审出版，与各企事业单位和广大员工见面了，将成为首批集团公司统一组织开发和编审的中高级管理、技术、技能骨干人员培训的基本教材。首批“统编培训教材”的出版发行，对于完善建立起与综合性国际能源公司形象和任务相适应的系列培训教材，推进集团公司培训的标准化、国际化建设，具有划时代意义。希望各企事业单位和广大石油员工用好、用活本套教材，为持续推进人才培训工程，激发员工创新活力和创造智慧，加快建设综合性国际能源公司发挥更大作用。

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编审委员会

2011年4月18日

前言

石油天然气管道是国家重要的公共基础设施，管道运输与铁路、公路、水运、航空并列为五大运输方式之一。由于石油天然气管道输送介质具有高压、易燃、易爆的特性，一旦发生事故，会严重威胁沿线居民的人身安全，并造成财产损失和环境污染等。另外服务中断会直接扰乱下游的生产和居民生活，严重时甚至会引起社会恐慌，给国家和社会带来极其恶劣的负面影响。近年来，各工业发达国家为使油气管道始终处于安全、可靠的服役状态，保证管道在功能上和结构上是完整的、处于受控的状态，正在积极推行“管道完整性管理”的安全策略，并开展了相应的技术研究，制定了相应的法律、法规和技术标准，逐步走上了依法施工管理和运行管理的轨道。

管道企业作为易燃易爆品的储运企业，在生产过程中面临着极大的行业风险，安全问题在管道企业显得尤为重要。多年来的经验证明，安全生产必须从预防入手，而预防又必须从完整性管理的教育抓起，提高企业员工对管道完整性管理的认识是搞好安全生产的根本保证。

本书在吸收国外完整性管理经验的基础上，结合科研项目中已经推广应用的成果，针对培训工作的要求而编写，内容涵盖了完整性管理的各个方面，适用对象为油气管道系统线路及站场的运行、维护、管理和检修人员。本书力求精简实用，让读者快速获取全面而系统的管道完整性管理相关知识，为管道完整性管理的顺利实施提供保障。

本书全面阐述了管道完整性管理的程序、内容、方法、步骤等。另外，本书还介绍了管道完整性管理在中国石油天然气集团公司、Enbridge 管道公司、加拿大 TCPL 管道公司的实施情况。本书第一章介绍了管道完整性管理的理念，主要适用对象为管道运营管理和专业技术人员；第二章介绍了管道完整性管理数据采集技术、高后果区识别技术、风险评价技术、检测和监测技术、完整性评价技术、维护维修技术和效能管理技术，主要适用对象为从事

管道完整性管理相关专业人员；第三章介绍了站场管道完整性管理相关的各种技术，如超声导波检测、HAZOP 分析技术、RBI 技术、RCM 技术以及 SIL 技术，主要适用对象为站场进行管理的专业技术人员。

本教材编写分工如下：第一章，魏东吼、杨祖佩、吴志平、郑洪龙、董绍华；第二章，冯庆善、常景龙、郑洪龙、戴联双、张华兵、王联伟、付立武、贺克奋、王富祥、项小强、李祎、王学力、贾韶辉、韩冰、孙盛、李明菲、杨玉锋、王新；第三章，税碧垣、冯文兴、李保吉、宋汉成、燕冰川；第四章，周利剑、戴联双、余海冲、韩小明、王婷、张海亮、刘悦；附录部分主要由郑洪龙、戴联双、张华兵、韩文超、任武、魏然编写。

在此，对本教材提供指导和支持的中国石油天然气与管道分公司、中国石油管道分公司及北京天然气管道有限公司的各位领导和同事表示感谢。

由于水平有限，书中有不当之处敬请读者批评指正。如有任何改进建议请反馈至：LSDai@petrochina.com.cn，将不甚感激。

编者
2011 年 8 月

说 明

该教材可作为中国石油天然气集团公司所属各管道分公司的管道完整性管理专用教材。随着管道完整性管理的推广，各管道分公司的管道从业人员，包括从管道管理者到基层站队员工，需要进行不同内容、不同层次的管道完整性管理技术专业培训。培训对象的划分及其应掌握和了解的内容在本教材中章节分布，做如下说明，供参考。培训对象的划分如下：

(1) 生产管理人员，包括：

管道分公司管道处、管道科、管道管理岗。

(2) 专业技术人员，包括：

管道分公司管道科、基层站队、管道班、巡线工。

(3) 相关技术人员，包括：

除各管道分公司管道处、管道科以外的管道完整性管理从业者。

针对不同级别人员的教学内容，可参照如下要求：

(1) 生产管理人员，要求掌握第一章、熟悉第二章和第三章、了解第四章内容。

(2) 专业技术人员，要求掌握第二章和第三章、了解第一章和第四章内容。

(3) 相关技术人员，要求掌握第二章和（或）第三章相关的专业技术内容、了解第一章、第四章内容。

目 录

第一章 管道完整性管理概述	1
第一节 管道完整性管理简介	1
第二节 管道完整性管理现状	10
第三节 管道完整性管理法规与标准	22
小结	24
第二章 线路完整性管理技术	26
第一节 数据采集技术	26
第二节 高后果区识别技术	31
第三节 管道风险评价技术	41
第四节 完整性评价技术	109
第五节 管道维抢修与风险减缓	189
第六节 监测技术	221
第七节 效能管理技术	247
第八节 建设期管道完整性管理	273
小结	277
第三章 站场完整性管理技术	279
第一节 站场评价技术和检测技术概述	279
第二节 HAZOP 分析技术	282
第三节 基于风险的检验	298
第四节 以可靠性为中心的维护	316
第五节 安全完整性等级评估	325
第六节 站场 QRA 分析技术	343
小结	403



第四章 完整性管理案例	404
第一节 输气管道完整性管理案例	404
第二节 输油管道完整性管理案例	426
第三节 国外案例	433
附录	441
附录 1 完整性管理法规标准目录	441
附录 2 缩略语	452
参考文献	457



第一章 管道完整性管理概述

第一节 管道完整性管理简介

一、管道完整性管理的定义

管道完整性 PI (Pipeline Integrity) 是指：

- (1) 管道始终处于安全可靠的服役状态；
- (2) 管道在物理上和功能上是完整的，管道处于受控状态；
- (3) 管道运营商已经采取，并将持续不断地采取措施防止管道事故的发生。

管道完整性管理 PIM (Pipeline Integrity Management) 是指管道公司根据不断变化的管道因素，对管道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，从而将管道运营的风险水平控制在合理的、可接受的范围内，建立通过监测、检测、检验等各种方式，获取与专业管理相结合的管道完整性的信息，对可能使管道失效的主要威胁因素进行检测、检验，据此对管道的适用性进行评估，最终达到持续改进、减少和预防管道事故发生、经济合理地保证管道安全运行的目的。

管道完整性管理与管道的设计、施工、运营、维护、检修等各过程密切相关。在役管道的完整性管理要求管道公司要不断识别运营中面临的风险因素，制定相应的控制对策。对可能使管道失效的危险因素进行检测，对其适用性进行评估，不断改善识别到的不利因素，将运营的风险水平控制在合理的可接受的范围内。管道完整性管理是一个连续的、循环进行的管道监控管理过程，需要在一定的时间间隔后，再次进行管道检测、风险评价及采取措施减轻风险，以达到持续降低风险和预防事故的发生，保证管道生产过程经



济、合理、安全地运行。对在役管道逐步实施完整性管理是提高管理水平、确保安全运行的重要措施，是一项防患于未然的科学方法。

管道完整性管理（PIM）也是对所有影响管道完整性的因素进行综合的、一体化的管理，包括：（1）拟定工作计划、工作流程和工作程序文件；（2）进行风险分析和安全评价，了解事故发生的可能性和将导致的后果，制定预防和应急措施；（3）定期进行管道完整性检测与评价，了解管道可能发生的原因和部位；（4）采取修复或减轻失效威胁的措施；（5）培训人员，不断提高人员素质。

完整性管理是一个持续改进的过程，完整性管理是以管道安全为目标的系统管理体系，内容涉及管道设计、施工、运行、监控、维修、更换、质量控制和通讯系统等全过程，并贯穿管道整个运行期，其基本思路是调动全部因素来改进管道安全性，并通过信息反馈不断完善。

二、管道完整性管理的原则

对油气管道实施完整性管理要遵循下述原则：

根据 API St. 1160—2001《危险液体管道的完整性管理系统》和 ASME B 31.8S—2001《天然气管道完整性管理系统》的推荐，以及中国石油行业标准 SY/T 6621—2005《输气管道系统完整性管理》和 SY/T 6648—2006《危险液体管道的完整性管理》的要求，管道完整性管理要遵循如下原则。

1. 应融入管道完整性管理的理念和做法

管道的完整性管理开始于正确的管道设计和施工。为防止管道损伤，确保公众安全，在一系列的标准中（如 ASME B31.4、ASME B31.8），针对输油、输气管道从设计、管子和管件材料制造、管道系统施工、设备安装到管道验收、操作与维护、腐蚀控制等过程，提出了明确的技术指南。这些技术指南以及管道设计说明书为以后的完整性管理程序提供了重要的原始资料信息。

2. 结合管道的特点，进行动态的管道完整性管理

管道完整性管理程序是一套不断改进且能灵活适应管道经营者特点的程序，并通过周期性的评价和修订来适应管道操作系统、运行环境及管道系统本身新输入资料信息的变化。周期性的评价要求能够确保程序采用合适的高新技术及在当时条件下最好的预防、检测和风险减缓等措施，并且和运营商

的运营经验相结合，有效支持运营商的完整性管理。

3. 要对所有与管道完整性管理相关的信息进行分析和整合

完整性管理程序整合所有在制定决策过程中可利用的信息，运营商在最有利的情况下收集和分析这些信息。通过整合所有可利用的信息，管道运营商能够确定在什么位置发生事故的风险最大，进而做出谨慎的评价，降低风险。

4. 必须持续不断地对管道进行完整性管理

风险评价是完整性管理程序的基础，其最终目的是识别和对最重要的风险优先排序。管道风险分析是一个反复循环的过程，管道运营商应该周期性地收集管道系统运行经验及其他附加信息资料。这些信息可以帮助运营商更好地了解管道系统的新风险，并相应调整完整性管理计划，其结果可能会导致检测方法和周期的改变。

5. 应不断在管道完整性管理过程中采用各种新技术

在完整性管理程序中，采用一些新技术，可以提高运营商评价风险的能力。利用有效的、合适的新技术，可以更好地研究管道系统潜在的最大危险。

6. 要建立负责进行管道完整性管理的机构、流程，并配备相应的人员

管道系统基础设施的完整性仅仅只是整个管道系统完整性的一部分，管道系统完整性也包括基础设施的操作人员，以及他们使用和遵循的工作方法。操作人员应该安全地运行并合理地维护管道。为了建立有效的完整性管理程序，该程序必须标明运营者的组织、运营过程及操作系统，并需要对所有操作人员实施不定期的培训，以培养合格的操作人员。

管道完整性管理是一个持续改进的过程，腐蚀、老化、疲劳、自然灾害、机械损伤等能够引起管道失效的多种过程随着岁月的流逝不断地侵害管道，必须持续不断地对管道进行风险分析、检测、完整性评价、维修、人员培训等完整性管理活动。

三、管道完整性管理的特点

管道完整性管理体系体现了安全管理的组织完整性、数据完整性、管理过程完整性及灵活性的特点。

1. 组织完整性

需要将管道规划、建设到运行维护、检修的全过程实施完整性管理，将它贯穿管道整个生命周期，在整个生命周期进行管理的过程中需要一个完善的组织机构和保持持续改进的执行团队来发挥完整性管理的最大价值，体现了组织完整性。

2. 数据完整性

要求从数据收集、整合、数据库设计、数据的管理、升级等环节，保证数据完整、准确，为风险评价，完整性评价结果的准确、可靠提供重要基础。特别是对在役管道的检测，可以给管道完整性评价提供最直接的依据。

3. 管理过程完整性

管道完整性管理的六步循环（图 1-1）是管道完整性管理的核心技术内容和关键组成部分。例如，要根据管道的剩余寿命预测及完整性管理效果评估的结果，确定再次检测、评价的周期，每隔一定时间后再次循环上述步骤；还要根据危险因素的变化及完整性管理效果测试情况，对管理程序进行必要修改，以适应管道实际情况。持续进行、定期循环、不断改善的方法体现了安全管理过程的完整性。

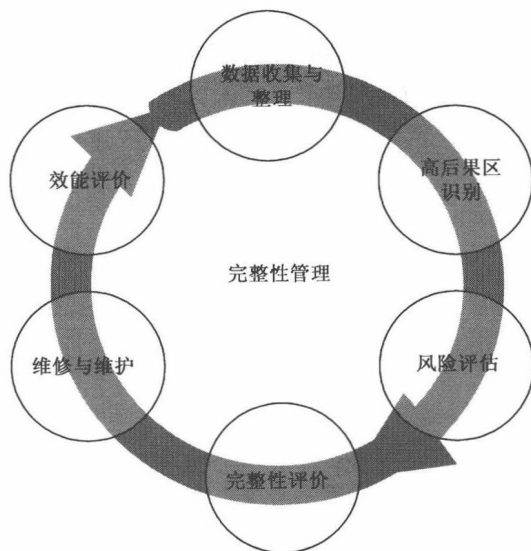


图 1-1 完整性管理流程图

4. 灵活性

完整性管理要适应于每条管道及其管理者的特定条件。管道的条件不同是指管道的设计、运行条件不同,环境在变化,管道的数据、资料在更新,评价技术在发展。管理者的条件是指管理者的完整性目标和支持完整性管理的资源、技术水平等。因此,完整性管理的计划、方案需要根据管道实际条件来制定,不存在适于各种各样管道的“唯一”的或“最优”的方案。

四、管道完整性管理流程

中国石油天然气集团公司经过多年的探索和研究,结合中国石油管道的现状,制定了符合中国实际的管道完整性管理流程,如图 1-1 所示。各步骤概要说明如下。

1. 数据收集和整合

数据的完整性是线路完整性管理的基础,数据的准确性和完整程度会影响到分析与评价的结果。应按照管道完整性管理要求收集与整合数据,满足分析与评估的需要。支持风险评估的数据,因危害类型不同而异,要确定能反映管段状态和可能存在危害影响的必要数据和信息,以便了解管道的状况并识别对管道完整性构成威胁的管段。

完整性管理需要大量的数据,包含设计施工数据、运行维护数据、检测及监测数据、返修数据、环境和地理信息、生产运行历史以及事件和风险数据等。随着管道运行时间的推移,数据量会越来越多,应能保持对数据进行持续、系统地收集和不断地更新、维护。因此,数据应存储在电子数据管理系统中,使用电子数据管理系统也便于进行数据的分析和整合。

某管道公司为了解决数据丢失、无法共享且不能有效支持评价等问题,并进一步提高完整性管理水平,开发了管道完整性数据库和管理平台,该数据库基于国际上最新的 APDM (ARCCIS PIPELINE DATA MODEL) 数据模型,并编写了数据字典,实现了管道完整性数据库和基于 GIS 的完整性管理平台搭建。

该管道公司所搭建的完整性管理平台,不仅符合中国石油天然气集团公司(以下简称中石油)信息系统的统一规划要求,而且涵盖了完整性管理的各个要素,所设计的数据平台总体架构如图 1-2 所示。以数据模型和数据库为基础,开发完成的数据维护系统、现场数据采集系统、高后果区识别软件、