

# 长输管道全寿命周期完整性管理策略分析

程 春 杨 娜（中石化石油工程设计有限公司天津分公司，天津 300000）

**摘要：**在社会快速发展的背景下，长输管道建设规模逐渐增大，为充分保障长输管道运行的安全性、可靠性，需要转变传统管理方式，采用全寿命周期完整性管理模式。本文主要分析长输管道全寿命周期完整性管理意义与现状，并重点探究长输管道全寿命周期完整性管理对策，旨在指导相关行业人员加大对风险管理的重视，通过构建完善的完整性管理体系，提高长输管道运行安全管理水平。

**关键词：**长输管道；全寿命周期；完整性管理

## 0 引言

长输管道建设与运行管理会为国民经济发展带来一定影响。现阶段，长输管道是我国运输石油、天然气、汽油、液化气等液态物质的主要方式，其通常具有五个特点，一是全密闭，二是占地小，三是效率高，四是能耗低，五是安全环保，被称为国民经济的生命线。然而，长输管道建设虽能为民众生活提供便利，促进国民经济发展，但也存在一定的安全问题，如输油管道泄漏事故、爆炸事故等时有发生，而这种安全事故一旦发生往往会造成严重的经济损失与人员伤亡。对此，应深入研究长输管道全寿命周期完整性管理，有效提高安全管理水平。

## 1 长输管道全寿命周期完整性管理意义

所谓长输管道全寿命周期完整性管理，指的是在管道设计阶段、管件管材采购阶段、管道施工安装阶段、管道投产运行阶段，即从管道最初设计、建设到管道最终废弃的全过程，采用合适的管理方法，持续识别、评估各种风险因素，针对性采取措施减缓风险，实现对风险的有效控制，以保证管道运行的安全性、稳定性。这种管理模式主要具备四个特点，一是预防为主，即以预防风险出现、降低安全事故发生可能性为目的；二是注重全寿命周期管理，即在管道设计、管道施工、管道运行以及管道废弃等阶段贯彻落实管理工作，并非单纯的管理某个阶段；三是持续改进，即按照规定要求定期评价管道的完整性，通过持续改进，确保管道能在外界环境、条件不断变化的情况下良好适应；四是综合性，即管理工作涉及地质灾害、管道施工、管道防腐、安全评价、材料科学等多个学科领域，需要在各学科领域专业知识与技术的支持下开展。

总体而言，长输管道全寿命周期完整性管理的意义有三。首先，在长输管道运行中，受多种因素的影响，

较易影响运行的安全性。通过全寿命周期完整性管理，准确识别、评价潜在风险因素，并采取有效措施减缓风险，将风险控制在合理范围内，能保证管道安全运行。同时，合理制定风险管理决策，以防止风险发生为目的配置各项资源，能提高资源的利用效率。其次，通过全寿命周期完整性管理，对管道材料、管道工艺的安全特性进行全面了解，有利于减少管道损坏、管道老化等现象，提高安全管理水平，使管道的使用寿命延长。最后，长输管道运行与国民经济发展息息相关，通过全寿命周期完整性管理，能使国民对管道安全的期望得到满足，降低管道安全事故的发生，避免对社会造成影响，充分保护国民的利益<sup>[1]</sup>。

## 2 长输管道全寿命周期完整性管理现状

现阶段，我国大多长输管道投入运行的期限已接近30年。根据相关统计数据显示，在这近30年的时间里，欧洲长输气管道事故率为0.42次/(10km·a)，前苏联长输气管道事故率为0.46次/(10km·a)，美国长输气管道事故率为0.6次/(10km·a)，西欧长输油管道泄漏事故率为0.25次/(10km·a)，我国长输气管道、长输油管道事故率均在0.2次/(10km·a)以上，其中，位于四川的长输气管道事故率甚至超过4次(10km·a)。通过分析诸多长输管道事故可发现，管理方法落后是导致事故发生的主要原因。

截至目前，除中央企业对长输管道采用现代化管理方法外，其他企业在长输管道管理上还采用以往的人工管理模式，具体存在以下问题。首先，人员门槛较低，缺少培训教育，当前人员拥有的知识与技能难以满足管理要求。其次，长输管道建设期间管理力度不够，存在注重进度管理、忽视质量管理的现象，时常发生偷工减料问题，埋下一定安全隐患，如管道破损、防腐层损伤、焊接缺陷等，而这些安全隐患难以及时发现。例如，根据相关行业标准要求，针对管道

长度超过 10km 的情况，应有效控制防腐层漏点密度，即优等级密度为 1 ~ 2 个、良等级密度为 2 ~ 4 个、低等级密度为 5 ~ 8 个，但部分长输管道存在漏点较多的现象，以河南某企业为例，其所建设的天然气长输管道不超过 100km，而在强制检验过程中却发现漏点多达 100 个，通过探查，这些漏点主要由于长输管道施工期间缺少有效管理所导致<sup>[2]</sup>。最后，在长输管道投入运行后，未配置专门的管道管理人员开展巡线工作，且缺少现代管理技术的应用，未制作三桩一牌，管道周边存在栽植混乱的现象，无法明确管道的具体位置。这种问题均对长输管道的安全运行、稳定运行造成影响。

### 3 长输管道全寿命周期完整性管理对策

#### 3.1 强化风险管理意识，优化用人标准

为提高完整性管理水平，应注重风险管理，通过教育培训的方式，夯实完整性管理专业知识与技能，正确认识完整性管理的意义，加大对风险管理的重视。同时，应强化责任意识教育，建立健全安全生产责任制，在完整性管理工作中融入风险管理，构建全员参与的格局，以有效加强完整性管理效果。

为适应先进技术的应用，应优化用人标准，聘用拥有相关专业背景、具备丰富工作经验的人员担任技术管理岗位，适当提高人员门槛，对人才质量进行严格把控。同时，以梯级形式配置人员，包括低级、中级以及高级，即技术员、助理工程师、工程师以及高级工程师等。

#### 3.2 注重源头管理，做好数据采集工作

在长输管道建设筹备时期，应加大安全生产管理力度。通常情况下，长输管道以埋地形式敷设，涉及较多隐蔽工程，建设过程难免受到不可控干扰因素的影响，如果出现安全隐患，难以及时发现、解决。所以应注重源头管理，在设计方案规划、管道敷设路径确定、设计单位招标、材料采购、管道施工安装等环节重视长输管道全寿命周期安全。通过源头管理，有效控制建设标准。

从长输管道建设筹备时期开始，做好资料、数据收集工作，尤其要采集管道路由坐标、管道转角、管道埋深、管件阀门规格等参数，并在长输管道建设完成后，对这些参数进行整合与检查，确保全面性、准确性。同时，应绘制长输管道竣工图纸，规范设置管道标识，包括转角桩、里程桩等。

#### 3.3 构建完整评价平台，开发软件系统

从风险管理、缺陷评价等多方面入手，开展完整

性管理工作，构建完整性评价平台。在管道运行过程中，腐蚀缺陷会对运行的安全性造成直接影响，所以应设置腐蚀监测装置，以监测结果为依据，全面评估管道的腐蚀缺陷情况，以此采取维修或更换措施。具体而言，在完整性管理中，应有机结合完整性评价与风险管理，通过准确评估管道腐蚀状态、防腐涂层情况，针对性采取措施解决，保障长输管道的安全运行<sup>[3]</sup>。

同时，应积极开发并运用完整性评价软件系统，此软件系统主要由三个模块组成，一是管道风险预测模块，二是管道数据分析模块，三是管道维护模块，能对各管道内部数据进行动态收集，并通过数据分析，对风险定量计算，从中筛选出存在较高风险问题的管段，发出预警提醒管理人员采取解决措施。同时，基于软件系统能自动化监测、评估管道的腐蚀情况、泄漏情况以及完整性状况等，并可视化呈现评估结果，向管理人员实时反馈相应数据。通过准确评估管道的剩余寿命，帮助管理人员对管道的运行状态进行预测，以此合理制定维护保养方案。

#### 3.4 有效控制建设期间长输管道的质量

在长输管道全寿命周期完整性管理中，有效控制建设期间建设关键点质量是重要内容。

一是在管道路由与工艺控制上，应优先选择距离城市中心区域、居民区域、工矿企业等较远的位置，并规划多种理由方案，对各方案进行比选，从中选出最优者，同时，应加强施工技术管理，明确施工设计图纸要求，对管道施工安装流程进行全面了解。

二是在管材管件控制上，应由第三方专业机构控制管材管件的质量，以驻厂检验的形式，通过分析管材管件材质、检测母材缺陷、抽查管件管材壁厚、开展无损检测等多种方式，对管件管材产品的生产质量进行严格控制，并做好运输管理，保证入场管件管材性能质量达标。

三是在焊接控制上，一方面，应加大监督检验管理力度；另一方面，应由第三方专业机构通过复评底片、现场检验等多种方式对焊接质量进行检验，在发现焊接缺陷的情况下，要求责任方及时整改。

四是在防腐控制上，应通过进场管道外防腐层破损检测、质量检测的方式，有效控制外防腐层施工质量，一方面，注重检测防腐补口粘结性与补扣工艺，避免存在脱落或粘结性不达标的情况；另一方面，应做好运输管理，避免由于碰撞、摩擦等问题导致长输管道的外防腐层破损。

五是在管体控制上，在下沟回填时，受多种因素的影响，可能会出现缺陷问题，如管体变形、管体损伤等，所以在下沟回填后，应做好全线变形检测、阴极保护检测以及防腐层破损检测等，及时修复损伤位置。

六是在杂散电流控制上，应调查长输管道全线的具体情况，明确杂散电流干扰源，并在安装管道后，有效检测杂散电流，在杂散电流较大已超出标准范围的情况下，采用合适的排流方法。

七是在复杂地质与特殊环境条件质量的控制上，应强化施工监理与质量检测，特别是在管道穿越滑坡地区、泥石流地区、大型河流区域、大型水源区域等情况，应采取针对性管理举措，优化管道敷设方式，避免由于外界因素导致管道结构损伤<sup>[4]</sup>。

具体而言，在长输管道全寿命周期完整性管理中，应加大对建设时期的管理力度，采取有效措施控制建设各环节质量。

### 3.5 运用现代化技术，推动信息化建设

一是建立数字化管道。在以往完整性管理中，由于未全面勘察当地环境，导致管道投入运行后存在诸多问题。对此，应积极运用现代化技术，如大地坐标系技术、大数据技术等，基于数字化图像技术与 GIS 地理信息技术，优化数据采集方式。通过构建信息化管理系统，为系统配置多样化功能，包括风险预测功能、管道运行图像生成功能等，构建共享数据库，以此在管道运行过程中，全面了解管道的运行状态，实现 24h、360° 运行监控，并以虚拟现实的形式呈现管道全景，以数字化管道检查管理的方式取代以往人工检查管理模式，在管理人员眼前展现管道三维图像，以便管理人员结合管道的运行数据采取针对性管理措施。同时，建设数字化管道后，管理人员在信息化管理系统中输入关键词即可查询所需信息，对管道周围环境进行全面了解。

二是建设管道完整性系统。在以往完整性管理中，通常采用定期实地检查管道的方式，存在效率较低、检查不全面的问题。对此，应积极运用现代化技术，推动管道完整性系统建设，将各管理人员的信息、各项管理任务进展、各项管理任务审批进度、各项管理任务完成情况等录入系统中，实时呈现管理工作状况。此系统主要包括四个模块，一是风险管理模块，二是防腐管理模块，三是管道保护模块，四是风险预警模块，能为长输管道的高效运行提供保障。管理人员可通过管道保护模块以线上方式监察管道施工的全

过程，并在系统中录入施工人员信息、导入管道施工方案，由系统智能整合、分析后在施工各阶段向施工负责人推送施工要求，对施工过程出现的问题进行记录<sup>[5]</sup>。同时，此系统还能连接信息化管理平台，实现数据共享，为完整性管理提供支持。

三是建立智能巡检系统。引用 GPS 技术，进行智能巡检系统的构建，以数字化管道平面图为依据，在具备 GPS 功能的智能终端中存储相应数据，由管理部门以线上形式对智能终端传输的数据进行分析。此系统包括多种功能，如数据统计分析功能、轨迹记录功能、综合查询功能等，通过此系统，能对管道巡检人员在不同时期上传的巡检数据进行查询，并在 GPS 技术的支持下，对巡检路径进行获取，通过巡检轨迹回放与三维立体图像转化，对不同时间、不同地点的管道巡检工作情况进行全面了解，构建线上管道巡检管理模式，以提高管道巡检效率。

### 4 结论

通过长输管道全寿命周期完整性管理，能充分保证管道安全运行，使管道的使用寿命延长，降低管道安全事故的发生，保护国民的利益。相关行业人员应在明确完整性管理意义的基础上，采取有效措施优化完整性管理方式，具体包括强化风险管理意识，优化用人标准；注重源头管理，做好数据采集工作；构建完整评价平台，开发软件系统；有效控制建设期间长输管道的质量；运用现代化技术，推动信息化建设。

#### 参考文献：

- [1] 吴琼杰, 丁昱森, 王玉敬. 成品油长输管道全寿命周期完整性管理的对策研究 [J]. 石油石化物资采购, 2024,(06):139-141.
- [2] 陈严飞, 刘瑞昊, 侯富恒, 等. 输氢管道完整性管理技术研究进展 [J]. 天然气与石油, 2024,(11):126-128.
- [3] 靳付超, 张勇, 曾杰. 输油气长输管道精细化管理的措施研究 [J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2024,(12):75-78.
- [4] 陈光辉, 方丽丽. 长输石油天然气管道安全管理存在问题及对策分析 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2024,(12):204-207.
- [5] 于鲁宁, 李勃晗. 关于 GIS 在油气长输管道安全管理中的应用分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024,(19):72-74.

#### 作者简介：

程春 (1986-) , 男, 汉族, 山东泰安人, 高级工程师, 本科, 研究方向: 天然气长输管道设计。