



国外油气勘探开发新进展丛书

GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU

十四

PIPELINE INTEGRITY HANDBOOK RISK MANAGEMENT AND EVALUATION

管道完整性手册 ——风险管理与评估

[英] Ramesh Singh 著

董绍华 罗金恒 译

石油工业出版社

国外油气勘探开发新进展丛书（十四）

管道完整性手册

——风险管理与评估

[英] Ramesh Singh 著

董绍华 罗金恒 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从管道工程技术实践出发,详细阐述了管道完整性风险管理、评估技术方法以及管控措施,提出了液体管道风险管控的监管程序和内容,指出政府监管将有助于企业更好地坚持管道完整性管理原则。本书从管道风险管理和工程评估、管道完整性评价和工程评估以及管材评估三个方面论述管道完整性关键技术。

本书可供从事管道工程的技术人员使用,也可供高等院校管道工程、安全工程、储运工程等相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

管道完整性手册:风险管理与评估/(英)拉米什·辛格(Ramesh Singh)著;董绍华,罗金恒译.—北京:石油工业出版社,2018.9
(国外油气勘探开发新进展丛书·十四)

书名原文:Pipeline Integrity Handbook: Risk Management and Evaluation

ISBN 978-7-5183-2857-4

I. ①管… II. ①拉… ②董… ③罗… III. ①管道工程—完整性—手册 IV. ①U172-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第216187号

Elsevier (Singapore) Pte Ltd.
3 Killiney Road, #08-01 Winsland House I, Singapore 239519
Tel: (65) 6349-0200; Fax: (65) 6733-1817

Pipeline Integrity Handbook: Risk Management and Evaluation
Ramesh Singh
Copyright © 2014 Elsevier Inc. All rights reserved.
ISBN-13: 9780123878250

This translation of Pipeline Integrity Handbook: Risk Management and Evaluation by Ramesh Singh was undertaken by Petroleum Industry Press and is published by arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.
Pipeline Integrity Handbook: Risk Management and Evaluation by Ramesh Singh由石油工业出版社进行翻译,并根据石油工业出版社与爱思唯尔(新加坡)私人有限公司的协议约定出版。

《管道完整性手册——风险管理与评估》(董绍华 罗金恒 译)
ISBN: 978-7-5183-2857-4

Copyright © 2018 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. and Petroleum Industry Press.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from Elsevier (Singapore) Pte Ltd. Details on how to seek permission, further information about the Elsevier's permissions policies and arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at our website: www.elsevier.com/permissions.

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. and Petroleum Industry Press (other than as may be noted herein).

This edition is printed in China by Petroleum Industry Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the contract.

本书简体中文版由Elsevier(Singapore)Pte Ltd.授权石油工业出版社在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受民事和刑事法律之制裁。

本书封底贴有Elsevier防伪标签,无标签者不得销售。

注意
本译本由Elsevier Singapore Pte Ltd 和石油工业出版社合作完成。相关从业及研究人员必须凭借其自身经验和知识对文中描述的信息数据、方法策略、搭配组合、实验操作进行评估和使用。在法律允许的最大范围内,爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对译文或因产品责任、疏忽或其他操作造成的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任,亦不对由于使用文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2015-6809

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号楼 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部:(010) 64523738 图书营销中心:(010) 64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2018年9月第1版 2018年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:8

字数:140千字

定价:80.00元

(如发现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《国外油气勘探开发新进展丛书（十四）》

编委会

主 任：赵政璋

副 主 任：赵文智 张卫国

编 委：（按姓氏笔画排序）

卢拥军 朱道义 向建华

刘德来 余维初 周家尧

钦东科 章卫兵 董绍华

中国石化天然气勘探分公司副总经理



序

为了及时学习国外油气勘探开发新理论、新技术和新工艺，推动中国石油上游业务技术进步，本着先进、实用、有效的原则，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织多方力量，对国外著名出版社和知名学者最新出版的、代表最先进理论和技术水平的著作进行了引进，并翻译和出版。

从2001年起，在跟踪国外油气勘探、开发最新理论新技术发展和最新出版动态基础上，从生产需求出发，通过优中选优已经翻译出版了13辑70多本专著。在这套系列丛书中，有些代表了某一专业的最先进理论和技术水平，有些非常具有实用性，也是生产中所急需。这些译著发行后，得到了企业和科研院校广大科研管理人员与师生的欢迎，并在实用中发挥了重要作用，达到了促进生产、更新知识、提高业务水平的目的。部分石油单位统一购买并配发到了相关的技术人员手中。同时中国石油天然气集团公司也筛选了部分适合基层员工学习参考的图书，列入“千万图书下基层，百万员工品书香”书目，配发到中国石油所属的4万余个基层队站。该套系列丛书也获得了我国出版界的认可，三次获得了中国出版工作者协会的“引进版科技类优秀图书奖”，形成了规模品牌，产生了很好的社会效益。

2016年在前13辑出版的基础上，经过多次调研、筛选，又推选出了国外最新出版的6本专著，即《实用油藏工程（第三版）》《石油工程师指南——油田化学品与流体》《水力压裂解释——评估、实施和挑战》《管道完整性手册——风险管理与评估》《非常规页岩气有效开发》《油井生产手册》，以飨读者。

在本套丛书的引进、翻译和出版过程中，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的工程技术人员担任翻译和审校工作，使得该套丛书能以较高的质量和效率翻译出版，并和广大读者见面。

希望该套丛书在相关企业、科研单位、院校的生产 and 科研中发挥应有的作用。

中国石油天然气集团公司副总经理

译者前言

当前世界油气工业飞速发展，油气管道的主要运输方式、安全管理成为必须重视的问题，完整性管理是管道行业安全管理的基石。油气管道已成为能源输送的“命脉”，石油、天然气占全球一次能源近 60%，陆上 70% 石油和 99% 天然气依靠管道输送，是国民经济的生命线。当前中国的油气管道总数量达到 $12.5 \times 10^4 \text{ km}$ ，随着中国油气管线建设的不断加快，到 2025 年全国油气管网里程将达到 $24.5 \times 10^4 \text{ km}$ ，基本实现全国骨干线联网，同时打通中亚、中缅、中俄三大陆上油气战略通道，保障能源供应安全，管道成为国家工业体系不可或缺的重要环节。管道对经济、环境和社会稳定的敏感度也越来越高，油气管道的安全问题已经是社会公众、政府和企业关注的焦点，政府对管道的监管力度也逐渐加大。

如何才能实现油气管道的长治久安？这无疑是全球管道运输领域面临的共同难题。据不完全统计分析表明，在 1987—2016 年的 30 年内，美国天然气管道共发生 1637 起事故，平均事故率为 $0.25 \times 10^{-3} \text{ 次} / (\text{km} \cdot \text{a})$ ，一些重大管道事故促使人们认识到管道完整性管理的重要性，国际上一些大的管道公司将管理重点放在管道安全与可靠性方面，提出制订和实施管道完整性管理的要求，发达国家的政府和议会也积极参与管道完整性管理计划，制定和出台了一系列的标准规范以及法律法规，如美国国会于 2002 年 11 月通过了《关于增进管道安全性的法案》(H.R.3609 号)，逐渐形成了一套较为系统的管道完整性管理技术，目的是将有限的资金高效地用于降低管道的风险，以提高管道运营的安全性。

何为管道完整性？是指管道处于安全可靠的服役状态，管道在结构和功能上是完整的，管道处于风险受控状态，管道的安全状态可满足当前运行要求。管道完整性管理 (PIM) 是对管道面临的风险因素不断进行识别和评价，持续消除识别到的不利影响因素，采取各种风险削减措施，将风险控制在合理、可接受的范围内，最终实现安全、可靠、经济地运行管道的目的。

本书作者 Ramesh Singh 先生从管道工程实践与操作出发，针对建设期、运行期等阶段，详细阐述了风险管理、完整性评价、腐蚀与控制、阴极保护、数据管理、管道材料等技术细节、过程参数选择等，具有较强的实用性，最终建

立完善的管道风险管理和评估方法；结合作者长期的工作理论与实践经验，提出了液体管道的监管原则，针对管道风险管理和工程评估，阐述了数据采集、风险评估工具、系统安全隐患，液体管道监管措施等内容；针对管道完整性评价和工程评估，阐述了高后果区分析、管道缺陷和修复措施、腐蚀剩余强度评价和寿命预测，评估、分析了残余应力对管道可靠性的影响敏感性等；针对管材安全可靠性的，阐述了建设期完整性管理的失效控制原则，提出了管道材料、阀门、组件的参数与规格，采用内腐蚀监控、试压评价等，强化投产运行前的风险管控。

Ramesh Singh 先生长期致力于管道技术研究，多年来在管道完整性领域有很深的造诣，具有深厚的理论基础和实践经验，其花费数年整理手稿，整理案例，最终成稿，我和 Ramesh Singh 先生多次在国际会议上就管道完整性关键问题进行交流 and 探讨，其在管道完整性领域做出的成就推动了管道完整性技术的应用与发展。因此，决定将此书翻译成中文版奉献给广大读者，相信该书将给读者带来更多的惊喜，特别是在培养管道完整性工程经验和 技术实践型人才方面具有重要的参考价值。

由于译者水平有限，错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

原书前言

管道完整性管理这个主题在市面上有许多信息资源，大多是监管要求和准则。在大多数情况下，由于监管的性质，监管的材料专门调整为“做与不做”的清单。本书旨在进一步强化遵循管理原则和监管要求，并运用这些原则达到实施的最佳效果。

而监管要求是必不可少的，在笔者看来，管理原则的推广应用可以提升一个公司完整性管理水平。本书从工程应用的角度为理论教科书提供参考。

本书同时针对负责管道完整性公共安全的管理人员，旨在作为一个知识体和参考的信息源。

在写本书时，不主张新颖的思想和言语，因为完整性管理已成为认知的普遍问题。各种资源和工作经验促进了我对此问题的了解。我有意识地直接从这些经验和资源中总结问题和想法，正如我所做的，我认为它们是最好的。

对于本书中专有技术论述想进一步获取更详细信息的读者，可以向从事这些技术研究的专业协会、院校和地方监管机构咨询。并从这些机构中能找到一些出版著作，其对专项技术主题的深入理解会有很大的帮助。

第三章 管道材料	(59)
第一节 简介	(59)
第二节 管板管	(60)
第三节 配件和附件	(64)
第四节 阀门	(71)
第五节 试验——气压和水压	(84)
第六节 缺陷和缺陷检测	(88)
附录 管道内窥镜检测技术	(93)

第一章 管道风险管理 和工程评估

第一章 管道风险管理和工程评估	(1)
第一节 简介	(1)
第二节 风险管理基本概念、风险定义	(2)
第三节 数据收集	(6)
第四节 风险评估工具	(8)
第五节 管道系统的安全隐患	(14)
第六节 液体管道风险管理的监管方法	(43)
第二章 管道完整性评价和工程评估	(46)
第一节 简介	(46)
第二节 管道缺陷和矫正措施	(53)
第三节 管道可靠性评估	(56)
第三章 管道材料	(59)
第一节 简介	(59)
第二节 管线钢	(60)
第三节 配件和锻件	(64)
第四节 阀门	(71)
第五节 试压——气压和水压	(84)
第六节 腐蚀和防腐蚀	(88)
附录 管道内腐蚀监控技术	(93)

第一章 管道风险管理和工程评估

第一节 简介

管道业和监管机构使用风险管理 (RM) 方法优化管道设计、运行、维护和提高公共安全。风险管理计划应该与行业实践相符, 为制定管道长期运营决策提供有力支持, 增加民众对管道运输安全的信心。

风险管理从排查某一具体管道系统存在的风险入手, 随后确定可采用的最有效风险管理技术。目前, 这些技术在管道工业领域普遍应用。以下几点可以衡量管道泄漏的严重程度:

- (1) 输送介质潜在释放量。
- (2) 输送介质流向高后果区 (HCA) 的途径。
- (3) 实际流向 HCA 的输送介质的估计量。
- (4) 泄漏对人员和环境的影响。

重点是实用性。合理运用成熟技术使效益最优化。

ASME B 31.8S 附录 A 是关于管材、设计条件、敷设、检测和运行历史的标准列表。根据历年来规定最小屈服强度 (SMYS) 设定了检测频率进行严格指导 (表 1-1-1)。

表 1-1-1 完整性强制评估 (ASME B 31.8S)

管道运行压力	建成后第 1 次检测时间 (a)
60%SMYS 以上	10
50% ~ 60%SMYS	13
30% ~ 50%SMYS	15
30% SMYS 以下	20

风险管理的方法构造应该既适用于旧管道系统, 也适用于新建管道。风险管理者应该掌握以下概念和原则:

- (1) 风险的基本概念。
- (2) 风险评估方法。
- (3) 索引技术。

- (4) 失效模式。
- (5) 后果分析。
- (6) 计算受污染面积。
- (7) 泄漏影响因子。
- (8) 补充评估。
- (9) 收集数据和分析。
- (10) 数据的可比性。
- (11) 动态分段。
- (12) 使用常见的电子表格和桌面数据库工具。
- (13) 管理风险。
- (14) 资源配置模型。
- (15) 应用。
- (16) 完整性管理和风险管理。

以下概念和准则将在本章后续内容中详细介绍：

- (1) 风险管理的概念、风险的定义。
- (2) 收集、分析数据。
- (3) 风险评估概念、风险评估工具。
- (4) 识别可导致失效的危害。
- (5) 确定失效后果、识别高后果区 (HCA)。

第二节 风险管理基本概念、风险定义

一、风险

管理风险之前，必须知道什么是风险，并且能够识别风险。风险是失效的可能性与失效后果的乘积，可用下式表示：

$$R=P \times C$$

式中， R 表示风险； P 表示失效的可能性； C 表示失效后果

风险由失效的可能性和失效后果两因素控制，只要消除其一，风险即为零。风险管理的根本目的是消除风险或控制风险：

失效是指管道内输送介质意外泄漏或完整性遭到破坏，丧失预期功能。例如，内腐蚀、外腐蚀、违法操作或第三方破坏引起管道泄漏。

失效的可能性是指发生风险的可能性有多大？例如，根据失效风险评估推

测事件发生的可信度。穿越断层区会增加失效可能性。

失效后果即为失效的结果。例如，靠近高人口密度区，如学校、医院等公共地点的管道失效引起失火或爆炸，将造成重大生命财产损失。

二、完整性管理和风险的关系

完整性管理主要根据评估失效可能性达到控制和消除风险的目的。如上文所述，根据可能性和后果的关系建立起风险水平。换言之，完整性管理就是管理和控制引起 HCA 失效的可能性。只要引起失效的可能性增大，任何影响完整性的状况都是风险。失效的后果可高可低。当管道的失效后果很可能导致较大的人员伤亡或财产损失时，称之为 HCA 失效。

HCA 失效风险更高，重要性更显著。因此，完整性管理最先考虑 HCA。最基本的步骤之一是识别 HCA，称为风险缓解。风险缓解、完整性管理和 HCA 之间的关系可表示为：

$$\text{风险缓解} = \text{完整性管理} \times \text{HCA}$$

风险管理是指对预测风险做出反应。例如，特定区域缓解风险的策略；修复发生破损的涂层。

三、风险评估

作为完整性管理很重要的一部分，没有统一的管道评估风险模式。风险评估既能基于实践，也可基于规范。

风险评估是测量过程，风险模型是测量工具。

$$\text{风险} = \text{概率} \times \text{后果}$$

通过组织数据和为完整性管理决策制定提供参考，基于规范的风险评估使完整性管理计划更加丰富。

基于实践的风险管理有两个目标：

(1) 组织数据，把行动计划按优先次序加以区分。

(2) 选择何种检测方式及检测时间，采取减缓措施计划。

任何一种风险评估方法都有各自的局限性和发展潜力。人们并不能仅仅依靠风险评估方法就准确地预测出失效位置和时间。就运营者而言，大多数管道事故是若干个系统失效的结果，风险评估就是监控系统有效运行。风险评估方法论最好能直接预测失效的可能性；然而，预测模型所输入数据的准确性对评估有很大影响。

评估是系统性、客观地收集一切管道及周围环境信息。将所收集数据输入

预测模型确定失效的可能性，便于做出明智的决定。建模的数据必须全面综合，这样才能产生更多有效信息。以下步骤能使风险评估模型更加有效。

评估方法应建立在目的明确的基础上。风险评估的目标可以是以下任何一项或它们的结合：

- (1) 评价已采取的减缓措施的有效性。
- (2) 确定已知威胁的最有效减缓方法。
- (3) 评估检测时间表变化带来的影响。
- (4) 把需要采取缓解措施或进行完整性评估的管段按优先次序加以区分。
- (5) 改变检测方法或者重新配置资源。

这些评估都是基于模拟试验或概率方法建立的相对评估方法。无论使用哪种方法，都需要检验、再检验和证实。在建立能解决风险管理中实际问题的模型前要考虑相当多的问题。

四、试验

风险模型解决问题的能力远远超过工作人员的能力。人力无法通过分析庞大的变量和数据做出有效决定。风险模型能够同时处理成百上千个变量。

风险模型要输出全新的数据表和有用的信息。这些信息需要进一步研究和数据分析来验证。根据最终结果，再次评估目前的模型并做出改进。

五、提升空间——质疑结果

解决任何问题最科学的方法就是不断质疑。运营者应该对数据分析后出现的任何意想不到的结果问“为什么”。

- (1) 为什么该管段风险最高？
- (2) 为什么出现这样的新信息？
- (3) 为什么以前没有发现？

质疑前提，这个前提是否正确？

对新知识持质疑态度是验证新知识的方法。风险模型必须能回答这些问题，能够给出诸如以下原因：

- (1) 该地区新搬入一个老年家庭。
- (2) 附近开了一间新学校。
- (3) 人口密度增加。
- (4) 发现了以前没有发现的脆弱含水层。
- (5) 在租赁地区新建了一条高速公路。

(6) 若干年没实施在线检测。

(7) 系统出现多处涂层失效。

六、了解管道系统和相关风险

完成管道系统中每个管段的风险评估后，完整性管理者应该能够发现腐蚀风险、第三方破坏风险、受体类型和泄漏体积。

在一个案例中，管道完整性管理经理和总监根据以下数据在实测原图上做标记，并放在公司网上让每一个员工看到。失效被划分等级，并用不同颜色标示风险水平，从而易于辨识。

风险评估的典型内容包括泄漏体积、为进行修复系统关闭的时间（天数）、输送介质损失、给居民和环境造成的破坏、气体泄漏地区疏散的当地居民及总经济损失。

令人震惊的是，上述内容并不是所有人都熟知并付诸实践的。在另一家运营公司，一些现场主管对于风险有独到的见解，并为各自的区域制订风险等级。其他人没有记录特殊位置信息的习惯。他们认为定期向当地监管机构提交收集的数据已足够。改变这种心态要通过会议、培训和核查等很多努力，只有管理者们达成共识，完整性管理计划才有可能成功。

七、衡量评估模型的完整性

核查是否存在潜在威胁。考虑这些问题：如果当地的自然保护区穿过厂房该怎么办？如果泄漏发生在河边怎么办？应力腐蚀开裂的可能性是多少？关于管道的外部微生物腐蚀（MIC）风险水平，同地区的其他管道是否已有 MIC 案例？

所有潜在问题都要一一识别并解决。要考虑到所有的失效模型，包括罕见的。

从长时间、大面积角度评估管道系统极复杂后果潜在性，应涉及所有受体、敏感性和变量。一个完整的后果评价应该至少考虑泄漏影响范围、泄漏检测、应急反应（受体）和输送介质特点 4 个变量。

因此，后果 = 泄漏 × 溢出尺寸（分布面积）× 受体 × 输送介质特点（危害性）。

如果其中任何一个的数值为零，不管其他 3 项有多严重，都不会产生后果。

八、相对风险与绝对风险

相对风险和绝对风险的方法都有各自的优势，取决于风险管理者能否合理利用。在这方面，根据每天常规管理进行相对评分，同时在必要的时候能切换到用

于长期计划的绝对模型。

不管初始时平缓还是陡峭，绝对失效概率和相对失效概率的关系曲线最终趋向坐标轴。

好的评分模型在极限处应该是一段没有任何安全隐患的管道。另一个极限是在极度恶劣的环境下接近失效。

风险极限的一端是“接近完美”的模式：埋在 20ft^① 地下，设计双厚壁，材料抗裂抗腐蚀。系统还设有第二层保护，路由管道在全时钟范围内受到安全保护和防护，技术人员通过检测确认监控的完整性。这些想法有可能实现。风险曲线两端含义已经很清晰，中间区域的风险管理很重要，需要大量数据支持。

对数据变量的判断有可能出错。不管如何量化，一些风险因素也不可能百分之百准确。最后的结果可能是有些区域比较准确，而有些区域由于错误数据干扰出现偏差。

因此，风险评估包括认知和确认管道系统危害而后启动减缓措施。相对于失效后补救和矫正措施，采取主动识别和行动阻止事故的发生。如果能收集到详尽、正确的数据进行分析，以上就有可能实现。

第三节 数据收集

管道完整性元素包括位置数据、工作数据、原始设计数据、清管数据、化学程序数据、阴极保护数据、涂层数据、监控和检测数据，由此可见，数据收集在管道完整性管理中很关键。

一、数据收集的作用

数据收集对能否开发成功的风险评估和完整性管理计划有重要作用。尽可能收集所有可能影响到被评估和管理的管段的数据。数据收集没有捷径。用计算机存储数据减少了外勤；然而，也大大增加了数据文件夹。高品质数据直接导致高品质分析结果，详细的数据更有可能发现问题。

数据收集是分析的第一步。下一步讨论必要的数据类型。数据具有管段特殊性，美国有 DOT CFR 192 和 DOT CFR 195 指导。一个 CFR 192 支持文件中写道：“通过计划要求，危险液体运营者分析所有可得到信息和 HCA 失效后果，综合评价每个管段的所有潜在威胁。”

^① 1ft=30.48cm。

完整性计划主要包括危险识别、数据收集、细节分析和失效后果 4 项内容。

管道运营者必须制订收集风险评估数据计划。计划能够把数据按优先次序区分，以便于进一步分析。根据管道系统中每个识别威胁收集数据。评估建立在管段存在所有潜在风险的假设基础上。因为管道运行条件不统一，所以没有标准数据收集清单，相关风险也不一样。然而，首先还是要建立规范和收集数据。表 1-3-1 显示了收集数据的基本步骤。

表 1-3-1 数据收集指示性基本元素

设计数据	运行数据	监测数据	建设数据
壁厚	流体品质	气压试验	安装年份
直径	流速	在线检测	弯曲法
有缝管和焊接类型	最大允许操作压力	几何工具检测报告	焊接和检验细节
制造商	失效历史	贝尔孔检查	掩埋深度
制造日期	涂层类型和状况	阴极保护检查和数据分析	交叉类型（可能引起腐蚀等）
钢级、性能	阴极保护系统	涂层检查（直流电压梯度法）	压力测试
设备属性	管壁温度	审计和评估	现场涂层类型和施加方式
	管道检测报告		土壤报告，回填细节
	内外腐蚀报告		阴极保护系统安装
	压力剧变		涂层类型
	过去维修情况		
	故意破坏		
	外部因素		

数据手册包括流程和仪表图（P&ID）、竣工图、材料数据报告、检验报告、液压试验报告、焊接地图、开挖报告、地下埋藏条件、检查报告、阴极保护、涂层调查和检查报告。

充分利用现有的管理信息系统（Management Information Systems, MIS）和地理信息系统。结合巡查报告，空中测量报告和摄像确定具体的管段信息。运营公司应意识到数据收集和保存的重要性。作者与美国一家大型天然气公司完整性数据记录主管交流，她很重视培训现场技术人员数据收集。收集信息和转化成图纸的准确性对形成精确的竣工图至关重要。

咨询专家和进行失效根源分析也可以产生对风险评估和完整性管理计划有用的数据。考虑外部资源，例如水文地理、人口结构变化、人口密度和变异。

考虑数据之间的关联性，例如，与时间相关的威胁（腐蚀、应力腐蚀开裂）。相隔几年的数据可能没有关联性。固定威胁和时间无关，随时间稳定发展

的威胁和与时间无关的威胁在后续章节讨论。

二、收集数据的意义

数据收集并不是结束，必须有一个系统将不同方式收集的数据变得有意义。数据放到一起分析，数据的来源和合理解释必须清晰。欠佳的解释会造成错误的决定。

数据来源不同，并以不同的工程单位记录。为了便于使用，需要一个普遍参考系统将所有数据转换成通用单位。所有数据才能结合为一体。站场测量的近间隔的调查数据要能够和在线监测的真实数据（间隔较长）联系起来。需要确定普遍计数工程单位换算所有重要数据类型。

例如，报告指出某一地下管道顶端遭到机械破坏和航拍照片该地点有农民耕地联系在一起。还有，定期调查阴极保护结果显示管道表面的阴极电流良好，但是怀疑管道有腐蚀存在，然后用直流电位梯度法调查涂层状况，找到了涂层破坏的位置。不同的检测方法相互辅助才能找出问题所在。理清不同检测报告之间的联系有助于理解管道系统的整体健康状况。清楚各种检测工具的优势和局限很有帮助。

按照表 1-3-1 收集数据，即使不采取检测方法也可确定敏感区。然后在初步筛选分析的基础上，针对性地开展调查性检测和收集具体管段信息。根据管道航拍图、GIS/MIS 系统数据和潜在影响区域可基本建立系统图。风险评估检测工具产生的专业报告提供了另一方面的数据。

第四节 风险评估工具

分析数据产生的故障树或事件树，是风险评估的基本组成模块。这些工具用作定义事件和整理失效前的事件逻辑顺序，增加人们对事件的了解，形成风险模型基础。

一、故障树分析

建立故障树分析 (FTA) 是一个耗时费力的过程。建立在初步分析基础上的选择性子系统方法十分有效，处理问题细化，减少潜在错误，还可以将子系统结合成完整的分析系统。

从识别失效后果开始，用相应后果的事件从上到下建立故障树。失效概率用逻辑符号表示，用计算机模型计算。