2016 年 3 月

中文版

电子期刊

Pipeline Technology Journal

管道技术期刊

www.ilf.com

ILF CONSULTING ENGINEERS

ENGINEERING EXCELLENCE

Your strategic partner with almost 50 years of experience in the Oil and Gas industry

www.pipeline-journal.net

ISSN 2196-4300

CORROSION PREVENTION

We preserve values

DENSOLEN®
PE/Butyl-Tapes & -Systems

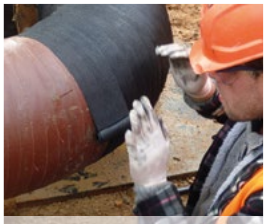
- For high temperatures up to +100 °C (+212 °F).
- Easy and versatile application.
- Several millions sqm applied worldwide – since 1973.
- Worldwide leading technology

DENSO®
Petrolatum-Tapes & Mastics

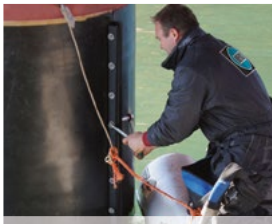
DEKOTEC®
Heat Shrinkable Sleeves

DENSOLID®
Polyurethane Coatings

DENSIT®
Insulation and Sealing Tapes



VivaxCoat®
Coating System for Moist Surfaces



MarineProtect®
Jetty Pile Protection

made in Germany since 1922

www.denso.de

管道泄漏检测...

Klaus Ritter 博士
（主编）

...是实现安全经济管道运行的必然选择。各种新开发的技术层出不穷

亲爱的读者：

全球的流体和气体管道输送量仍在不断攀升，事实足以证明：管道是最安全、最经济的长距离运输系统。要想安全、符合成本效益地运营管道并延长管道的使用寿命，就必须确保新设和现有管道均始终利用最先进的技术。

与世界交流已有的经验，对于创造和推广最先进的技术必不可少。电子版《管道技术期刊》（简称 ptj）将提供有关此行业最新发展和最重要讨论的关键信息。

我们正不断推进《管道技术期刊》，以满足全球管道专业人员的信息需求。将刊期从每年两期增加到六期后，我们现在每期 ptj 的技术焦点对准了管道行业内的某一个重要工作领域。本期将关注管道泄漏检测与监控。5月出版（管道技术会议召开前）的下一期将关注规划与建设。您可以在我们的媒体汇编上查看各期期刊的主要关注领域。

《管道技术期刊》又向前迈出重要的一步，将从4月中旬起发行中文版。我们将借此有选择地瞄准中华人民共和国日益增长的管道市场，使国际管道专家和企业能够向一个潜力巨大、资源丰富的市场引进其解决方案并推广其产品和服务。

我们不会就此停下发展的脚步。我们已经促成与其他潜在合作伙伴就发行更多ptj版本展开的初步讨论，例如在伊朗。伊朗伊斯兰共和国和西方世界的和谐共处，使我们能够推动伊朗行业新军与全球管道社区之间的积极交流。

您会看到，我们乐此不疲地推动管道社区持续交流，并始终盛情邀请您参加下一次的管道技术会议。2016年5月23日至25日，第11届管道技术会议将再次云集世界各地的管道专家。

敬请积极参与！参加管道技术会议期间的专业交流。抓住难得的良机，谈谈您的实践经验，报告您所面临的挑战，并与来自55个不同国家/地区的众多同行交换意见。

敬上

> Klaus Ritter 博士（ptj编辑委员会/ptc咨询委员会主席）

一场无形灾难的余波

南加州天然气公司 (Southern California Gas Company) 旗下一处地下储存设施发生严重泄漏事件，花了足足三个半月的时间才修复完成。就在距离魅力之城洛杉矶不远的地方，泄漏造成了100,000吨甲烷的损失。11,000名市民因为出现流鼻血或恶心等各种症状而被迫疏散撤离。最近，美国科学家发现了这一事件对环境所造成的影响：因为天然气泄漏总量相当于超过500,000辆汽车的年排放量，该泄漏带来严重的温室效应。因此，人们越来越执着地要求实施更严格的法规。

阿利索峡谷天然气泄漏地点
（版权所有 © 2015 年 Scott L，来自美国洛杉矶 (1_D4C1832) [CC BY-SA 2.0]）

目录

技术文章

2016 年 3 月
第 08 期

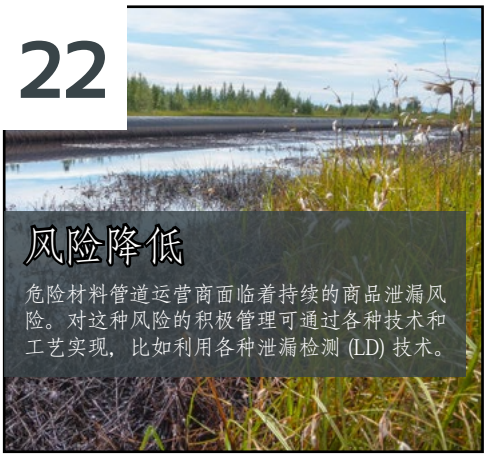
焦点:
泄漏检测与监控

16

更安全的天然气管

总部设在莫斯科的 PetroLight Company 启动了 OptoMonitoring 项目，旨在生产一种专用于天然气管道的监控系统。

22



风险降低

危险材料管道运营商面临着持续的商品泄漏风险。对这种风险的积极管理可通过各种技术和工艺实现，比如利用各种泄漏检测 (LD) 技术。

28

美丽新世界

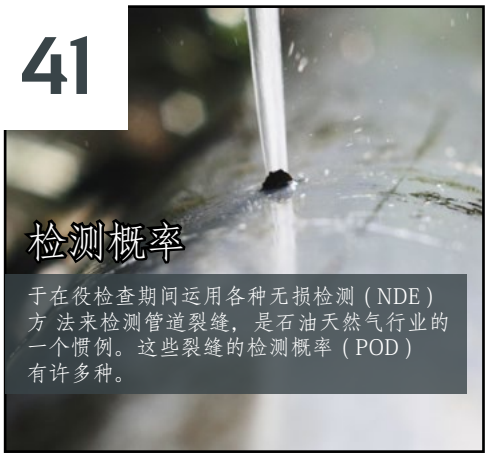
近来的研究工作侧重于开发一种基于机器学习的创新跨平台技术，来可靠、自主、近乎实时地检测微小危险泄漏。

36

CHARM® 2

为了提高高压天然气管网泄漏检测调查的效率，过去几年中开发出了机载激光检测方法。CHARM© 是迄今为止最先进成熟的系统。

41



检测概率

于在役检查期间运用各种无损检测（NDE）方法来检测管道裂缝，是石油天然气行业的一个惯例。这些裂缝的检测概率（POD）有许多种。

THIS ISSUES COMPLETE CONTENT

新闻

行业与实践

世界新闻 8
中文版《管道技术期刊》将于4月首次出版 10
南加州天然气泄漏过后预计将实施更严格的联邦和州法规 10
跨亚得里亚海管道通往欧洲之路畅通无阻 11
PHMSA公布新提案，让美国管道运营商能积极主动地管理管道完整性 11
Salzgitter Group从欧洲天然气市场反弹中获利 12
挪威权衡从巴伦支海到欧洲大陆的天然气管道方案 12
NDT Global面对激烈的竞争赢得挪威国家石油公司 (Statoil) 数百万欧元的合同 13
尼日利亚采用先进的无人机防止对国有管道的持续故意破坏 14
TransCanada 向前推进新建1600公里原油运输管道支线的计划 14
TransCanada 敲定与Columbia Pipeline Group的大型交易，力图成为市场强力军 14

技术文章

研究/发展/技术

更安全的天然气管道 - OptoMonitoring：扩展物体监控系统 16
风险降低 - 泄漏检测在降低管道输送风险中发挥的作用 22
美丽新世界 - 机器学习：自动化微小泄漏检测 28
CHARM© 2 - 下一代 CHARM© 的应用初体验 36
Probability of detection - History, development and future 41

报告

会议/研讨会/展览

2015年柏林第10届管道技术会议回顾 48
专题：2016 年管道技术会议与管道和下水道会议 50
第11届ptc/第1届PASC日程安排 53
活动日历 54

加拿大

TransCanada向前推进为庞大的能源东输工程新建1600公里原油运输管道支线的计划。如果政府批准，TransCanada到2018年即可开始施工。

第14页

挪威海

NDT Global宣布已经代表Gassco从挪威领先的石油天然气企业挪威国家石油公司（Statoil）获得数百万欧元的合同。

第13页

加拿大

TransCanada 敲定与Columbia Pipeline Group的大型交易，力图成为全球天然气市场强力军。

第14页

美国/华盛顿

管道和危险材料安全管理局(PHMSA) 公布了新提案，将更新对该国3,218,688公里天然气输送管网的安全要求。

第11页

美国/洛杉矶

南加州天然气泄漏终于堵漏成功，预计此后将实施更严格的联邦和州法规。

第10页

尼日利亚

为阻止每年导致高达120亿美元损失的第三方干预，尼日利亚安全和民防部队（NSCDC）已设立“指挥和控制中心”，用无人机来监控国家管网。

第14页

挪威/奥斯陆

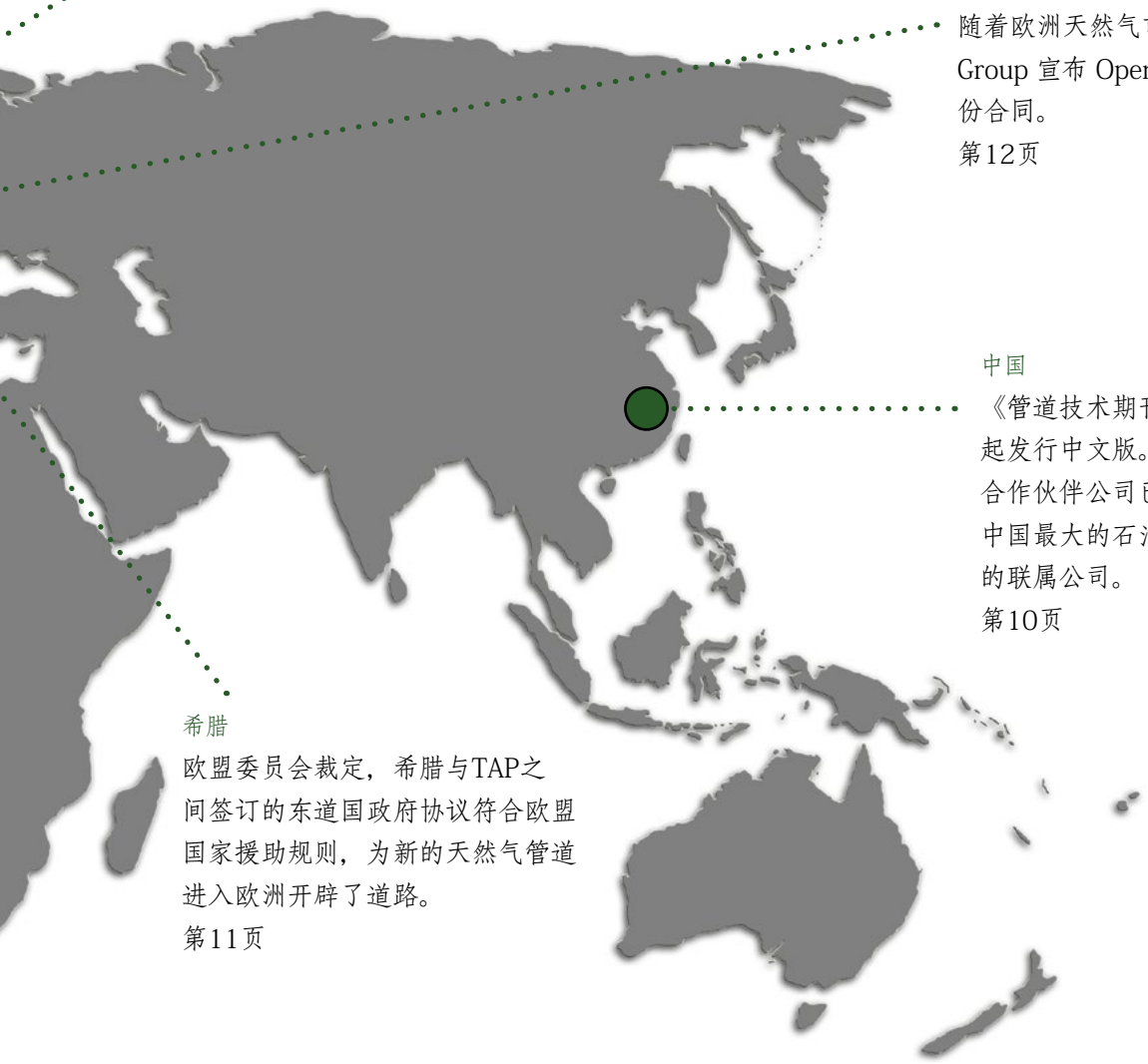
挪威是仅次于俄罗斯的欧洲第二大天然气供应方，如今正寻求从欧盟获得讯息以了解其天然气未来在欧洲能源结构内所扮演的角色。

第12页

德国/萨尔茨基特

随着欧洲天然气市场近期回暖，Salzgitter Group 宣布 Open Grid Europe已授予其三份合同。

第12页



中国

《管道技术期刊》(ptj) 将从2016年4月起发行中文版。ptj 的出版商和一家中国的合作伙伴公司已就此达成协议，该公司为中国最大的石油天然气集团 — 中国石油的联属公司。

第10页

希腊

欧盟委员会裁定，希腊与TAP之间签订的东道国政府协议符合欧盟国家援助规则，为新的天然气管道进入欧洲开辟了道路。

第11页

世界新闻

中文版《管道技术期刊》将于 4 月首次出版发行

《管道技术期刊》(ptj) 将从2016年4月起发行中文版。ptj 的出版商和一家中国的合作伙伴公司已就此达成协议，该公司为中国最大的石油天然气集团 — 中国石油的联属公司。

“我们坚信，中国市场对众多国际企业而言越来越重要。因此，更紧密的合作和ptj译文版是连接中国管道行业和全球管道社区的理想举措。”《管道技术期刊》出版商和主编兼管道技术会议（柏林，2016 年5月23日至25日）主席 Klaus Ritter 博士表示。

中文版 ptj 将从 4 月中旬起出版发行。出刊时间为英文版发布三周后。最终的合同会在 2016 年中国国际管道大会期间签署，该会议将于 2016 年 4 月 12 日至 14 日在中国廊坊召开

“这项合作使外国公司能够将其专有技术引进中国市场，并宣传其产品。我们将借由中文版 ptj 与多达 20,000 名中国管道专业人员接触。其中包括运营商、服务和技术提供商、政府官员以及媒体联络人。”合作伙伴公司廊坊国际管道会展有限公司总经理兼中文版 ptj 发行负责人马振涛说道。

借助这项合作，《管道技术期刊》将显著拓展其覆盖范围，囊括全球约 50,000 名管道专家

南加州天然气泄漏终于堵漏成功，预计此后将实施更严格的联邦和州法规

在从南加州天然气公司（Southern California Gas Company，简称SoCal Gas，是全美最大的天然气分配公用事业公司）旗下一处位于阿利索峡谷的储存设施中检测出高浓度甲烷气体泄漏几个月后，加州环保部宣布，泄漏点已用混凝土永久封堵。

南海岸空气质量管理区（South Coast Air Quality Management District）和加州空气资源委员会（California Air Resources Board）在未来几周内仍将继续监测空气状况，关注甲烷、硫醇、苯和硫化氢的含量。与此同时，在采用新标准检查剩余所有114个天然气井之前，地下储气库中不会再注入更多的天然气。

众议员Brad Sherman（民主党波特兰奇地区代表）呼吁，对这个占地3,600英亩、规模居全美前列的地下天然气储存设施的其余114个注入井实施“严格的新规”。该天然气公司表示，这些气井中许多已经老化、腐蚀和受到机械损伤。

发生泄漏事件后被迫离开家园的6500名该地区居民如今可以返回家中。SoCal Gas 将对这些居民在搬迁期间产生的费用予以赔偿，并表示愿意在加强阿利索峡谷储存设施内其余天然气井安全方面与州监管机构展开合作。

自 4 月中旬起发行：ptj 中文版

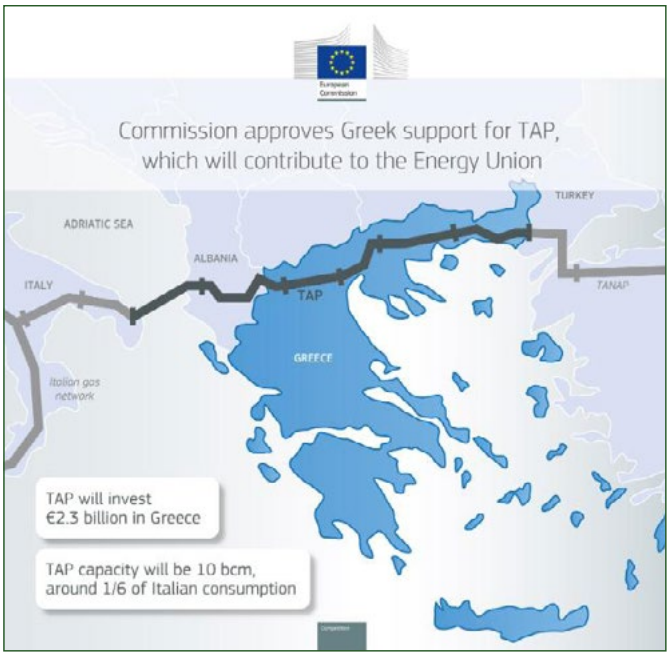
跨亚得里亚海管道通往欧洲之路畅通无阻

恰逢上周跨亚得里亚海管道（TAP）授予希腊和阿尔巴尼亚境内约760公里跨国海岸管道的设计、采购和施工（EPC）合同之际，欧盟委员会裁定，希腊与TAP之间签订的东道国政府协议符合欧盟国家援助规则，为新的天然气管道进入欧洲开辟了道路。

特别是，该协议为TAP提供了自开始商业经营后25年内的具体税制。这可能赋予该公司经济优势，使其超越那些无法从具体税制中受益的竞争对手，并因此获得欧盟规则所规定的国家援助。

欧洲能源联盟副主席Maroš Šefčovič表示：“我们今天批准TAP协议，是朝着完成南部天然气走廊这一目标迈出了重要一步。欧洲能源联盟于2015年2月制定的框架战略认同此项目将对欧盟能源安全做出重要贡献，为欧洲带来新的天然气输送路径和来源。就在本周一，我参加了在巴库召开的南部天然气走廊部长级会议，会上确认了所有参与国和财团按时完成这一关键基础设施项目的决心。”

欧盟的裁决是确保TAP管道深入推进工作的关键因素。因此，其中一份针对希腊北部两个施工段的EPC合同授予了由Bonatti S.p.A（意大利）和J&P AVAX S.A（希腊）组成的合资企业。这些施工段涵盖了在卡瓦拉 (Kavala) 和伊洛佩吉 (Ieropigi)（阿尔巴尼亚边境）之间延伸的约 360 公里管道。另一份合同则授予了 SPIECAPAG（法国），由其总承包希腊境内基波伊 (Kipoi) 和卡瓦拉之间 185公里长的施工段以及阿尔巴尼亚境内（总长 215 公里）从比利什特（Bilisht）延伸至托波耶（Topoje）的两个施工段。SPIECAPAG还将在希腊与土耳其的边境执行管道河流穿越，TAP 将在那里连接到跨安纳托利亚管道（TANAP）.



PHMSA公布新提案，让美国管道运营商能积极主动地管理管道完整性

鉴于美国近来发生一系列备受瞩目的管输天然气泄漏/爆炸事件，并因此导致美国管道运营商对采取更严格的活动规范措施犹疑不决，管道和危险材料安全管理局（PHMSA）上周公布了新提案，将更新对该国 3,218,688公里天然气输送管网的安全要求。据PHMSA称，拟议规则为管道运营商提供了监管方面的确定性，并回应了国会命令和外部安全建议，让管道运营商能积极主动地管理管道完整性事宜。

“全美天然气的产量、使用量和商业化数量显著增长，这对美国的管道系统提出了前所未有的要求，”美国交通运输部长Anthony Foxx表示：“这份提案包含一些常识性措施，将更好地确保管道基础设施附近居民社区的安全并保护我们的环境。”

特别是，输气安全法规的拟议更改预计将减少事故的发生，这可能会削减泄漏到大气中成为温室气体（GHG）的天然气数量。拟议规则预计将导致年均净减900至1,500公吨二氧化碳和4,600至8,100公吨甲烷（一种强大的温室气体）。该规则还提议更改管道运营商在飓风和洪水等极端天气事件过后固定和检查输气管道基础设施的方式。

- 此外，PHMSA的提案还通过以下方式修订并加强了联邦管道安全规程
- 修改高后果区内外管道的维修标准；
- 针对如何评估内部检查结果以识别异常情况，提供额外的指导；
- 明确风险评估的要求以实现完整性管理，包括应对地震风险；
- 扩展强制性的数据收集和整合要求以实现完整性管理，包括数据验证和地震活动性；
- 要求进行额外的施工后质量检查，以解决涂层完整性和阴极保护问题；，
- 要求管道的发射和接收装置增添新的安全功能，要求采用系统的方法来验证管道的最大容许工作压力（MAOP），并要求运营商报告MAOP超限情况。

拨冗莅临
第 11 届管道技术会议
2016 年 5 月 23 日至 25 日，德国柏林，艾司特尔会议中心
(ESTREL CONVENTION CENTER)
www.pipeline-conference.com

SALZGITTER GROUP从欧洲天然气市场反弹中获利

随着欧洲天然气市场近期回暖，Salzgitter Group宣布Open Grid Europe已授予其三份合同，让其负责制造约70,000吨螺旋焊接大口径管道。

这些管道将用于拓展德国南部和西部的天然气管网，加强供应的安全性。

订单由该集团的附属公司Salzgitter Mannesmann Großrohr GmbH（MGR）预订，并将在萨尔茨基特生产。

加上在法国、波兰和意大利承接的其他管道项目（总计超过50,000吨），这家大口径钢管制造厂已确保将以两班产能利用率运营至2017年年中。Salzgitter Flachstahl GmbH将负责供应原料。

作为高品质管道用管的领先生产商，Salzgitter Mannesmann Röhrenwerke Group旗下的各家公司均将从这一趋势中获益

挪威权衡从巴伦支海到欧洲大陆的天然气管道方案

挪威是仅次于俄罗斯的欧洲第二大天然气供应国，如今正寻求从欧盟获得讯息，以了解其天然气未来在欧洲能源结构内所扮演的角色。

挪威石油和能源部长Tord Lien周五表示，挪威已经认识到，巴伦支海很可能存在巨大的气藏，而要将此商品推向市场需要高额的投资，于是挪威正寻求在下周获得明确的表态，即该燃料可在减少排放和专注于新基础设施需求方面发挥重要的作用。

此外："我们尚未开发的天然气资源中，有相当多一部分位于巴伦支海。巴伦支海天然气出口能力的增长量将在未来十年内决定。这种未来的业务拓展可以是根据目的地灵活地提高液化天然气产能，或者通过管道连接到欧洲。而这样的业务拓展需要非常可观的前期投资。对这一产能进行投资的公司将从商业角度出发做出自己的选择，并考虑到天然气在欧洲的前景。"

欧盟与挪威上周在布鲁塞尔举行了能源会议，气候行动专员Miguel Arias Canete在会上表示天然气仍是欧盟能源结构的重要组成部分，并将挪威称为值得信赖且稳定的合作伙伴。

Open Grid Europe授予Salzgitter Group三份合同，让其负责制造约70,000吨螺旋焊接大口径管道（版权所有©2016年Salzgitter Group

NDT GLOBAL面对激烈的竞争赢得挪威国家石油公司（STATOIL）数百万欧元的合同

NDT Global是超声波管道检测和完整性服务的一家领先供应商。该公司宣布，其已经代表 Gassco从挪威领先的石油天然气企业挪威国家石油公司（Statoil）获得数百万欧元的合同。

NDT Global将与Statoil密切合作，为707公里长24至42英寸口径的仙宫 (Åsgard) 天然气运输管道开发适当的管道内检测 (ILI) 工具。该公司还将提供用于执行相应调查的管道内检测工具。这种特殊的工具包含了联合检测技术的最新内部开发成果。

仙宫运输管道起始于挪威海中的半潜式仙宫 B（Åsgard B）平台，终止于挪威西南部的 Kårstø 加工厂，自2000年10月开始运营。

NDT Global与Statoil自2006年以来一直在框架协议的范围内开展合作。当前的订购单是在 2015 年收到的，管道内检测定于2017年开始执行

仙宫B平台（此照片的所有权利均归Statoil所有）

Pipeline Technology Journal - 管道技术期刊

www.pipeline-journal.net
ptj@eitep.de

出版商
Euro Institute for Information and Technology Transfer GmbH
Am Listholze 82
30177 Hannover, Germany
电话: +49 (0)511 90992-10
传真: +49 (0)511 90992-69
网址: www.eitep.de

President: Dr. Klaus Ritter
注册法院：Amtsgericht Hannover 公司注册号码：HRB 56648
增值税识别号码：DE 182833034

主编
Klaus Ritter 博士
电子邮件: ritter@eitep.de
电话: +49 (0)511 90992-10

编辑委员会
管道技术会议（ptc）咨询委员会

编辑管理、广告设计与布局
Admir Celovic
电子邮件: celovic@eitep.de
电话: +49 (0)511 90992-20

编辑人员
Dennis Fandrich: fandrich@eitep.de
Mark Iden: iden@eitep.de

出版周期
每年六期，下一期出版时间：2016 年 5 月
稿件截止时间：2016 年 4 月 18 日
广告截止时间：2016 年 4 月 29 日

尼日利亚采用先进的无人机防止对国有管道基础设施的持续故意破坏

由于每年对尼日利亚管道基础设施造成高达120亿美元损失的第三方干预毫无停止的迹象，尼日利亚安全和民防部队（NSCDC）设立了“指挥和控制中心”，以监控南南区域的国家管网，并赶在蓄意破坏者破坏管道和窃取石油之前制止他们。

该部队的发言人EmmanuelOkeh称：“NSCDC作为保护关键基础设施的领导机构，已将大量技术部署到位，力求确保成功跟踪蓄意破坏者，并可将其破坏行为减至最低水平。”100 多人接受了相应的培训，将可使用无人机对管道进行监控。新的无人机使用全球定位系统来记录发现破坏分子的时间和地点。

除金钱损失以外，破坏管道并盗窃产品的事件已造成巨大的人员伤亡和环境损害：尼日利亚国家石油公司（NNPC）曾经表示，总共已有 350人因石油窃贼的活动丧生，其中包括NNPC员工、警官和社区成员；而壳牌公司指出，输油管道的破坏活动是造成出产石油的尼日利亚南部发生泄漏和污染的主要原因。

为了向NSCDC的努力提供进一步的支持，尼日利亚电气电子工程师协会（NIEEE）全国主席Gracious Omatseye已建议政府吸引石油天然气管道所在社区的所有利益相关者参与其中：“推出一个年度奖项，授予那些能够减少或消除石油管道或电力设施破坏记录的社区，这对于鼓励社区领导人确保管道和设施不被破坏将大有帮助。

TRANSCANADA向前推进为庞大的能源东输工程新建1600公里原油运输管道支线的计划

TransCanada希望开始为能源东输管道（Energy East Pipeline）增建1600 公里的原油运输管道支线，并已经与ABB Canada签署价值数百万美元的临时订单合同，准备在管道沿线开发建设22个为管道泵站供电的电气室（e-house）。

耗资157亿美元的能源东输管道每天可将一百万桶西部原油往东一直输送到圣约翰，以服务于国内炼油厂和国际客户。

而基于环保理由，反对能源东输的呼声在附近地区的市长之间日益高涨。加拿大国家能源委员会（以及最终的联邦内阁）有权批准能源东输工程。但根据在不列颠哥伦比亚省所见的情况来看，来自省级和地方政府的强烈反对可能会给原油管道项目竖立起显著的障碍。

如果政府批准，TransCanada表示到2018年即可开始施工。该管道到2020年即可投入使用。

TRANSCANADA敲定与COLUMBIA PIPELINE GROUP的大型交易，力图成为全球天然气市场强力军

TransCanada证实了上周各网页所报道的传言，即该公司将出资130亿美元收购总部位于休斯敦的Columbia Pipeline Group及其24,000公里的管网，从而缔造北美地区规模最大的受监管天然气输送企业之一。

TransCanada的首席执行官Russ Girling表示，纳入Columbia的经营业务后，将创造一个长达91,000公里的天然气管道系统，把美国马塞勒斯（Marcellus）和尤蒂卡（Utica）页岩气地区产量最丰富的供气盆地与北美大陆各地的市场连接起来。这还将能够提供液化天然气终端，以出口到国际市场。

此外，他还表示，合并后的公司将拥有通过长期合同确保的价值230亿加元的短期项目或受到监管的服务成本收入，这将为TransCanada实现至2020年每年股息增长8%至10% 的目标提供支持，或甚至抬高这一目标。

Russ Girling（TransCanada 首席执行官）

能源东输管道路线图（版权所有©2015年TransCanada）

ON THE GO.

Round-the-clock availability is essential. Which is why ROSEN provides second-to-none service delivery. Get what you need, where and when you need it. Every time.

ROSEN

empowered by technology

www.rosen-group.com

更安全的天然气管道

OptoMonitoring

扩展物体监控系统

OptoMonitoring Company
Marina Horoneko（副总负责人）

俄罗斯国立古布金石油天然气大学
(State Gubkin-University of Oil and Gas)
Victoria Malkina（石油天然气分析师）

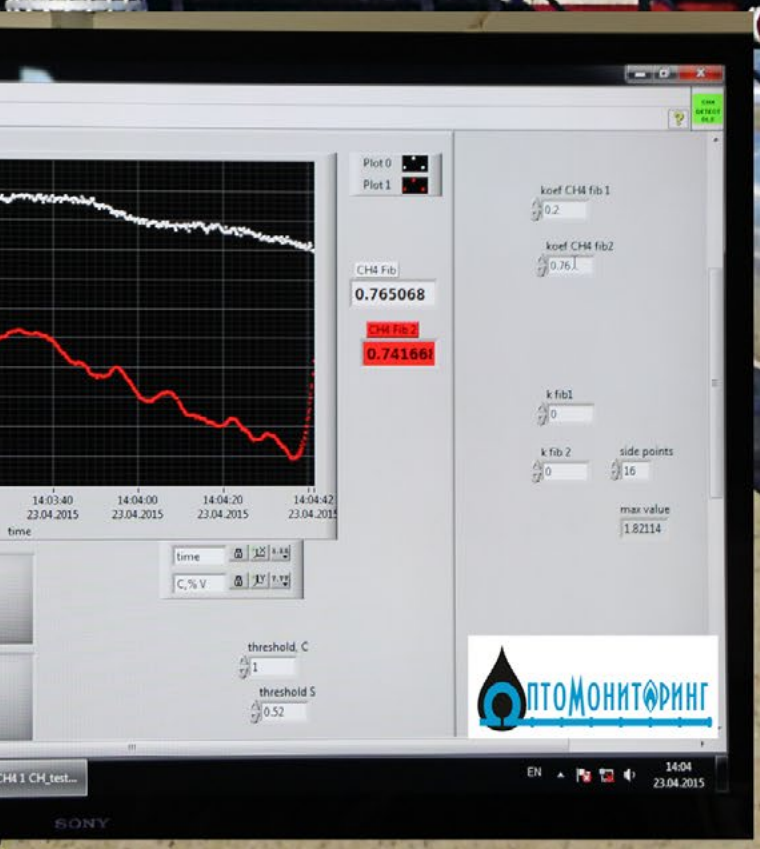
OMEGA Company
Grigory Kiselev（开发部主管）
Aleksey Turbin 博士（副总负责人）

摘要

人们普遍认为，保护管道免受技术、生态和人为破坏均具有特定的特性，这取决于所输送的烃。考虑到这一事实，并凭借自身为能源部门精心设计光纤监控系统的丰富经验，总部设在莫斯科的PetroLight Company于2015年启动了OptoMonitoring项目，旨在生产一种专用于天然气管道的监控系统。与PetroLight 的其他产品一样，扩展物体监控系统（System of Monitoring of Extended Objects，简称OptoMonitoring SMEO）的基本原理是：为改善天然气管道上的事件跟踪和识别附加一系列所需的设备，然后将分布式光纤传感器实施到与这些附加设备相同的范围内。

2010年，PetroLight 与世界最大的石油和石油产品运输公司 Transneft Company展开合作，创立OMEGA Company，并通过该公司为5500多公里的管道配备了光纤泄漏检测与活动控制系统（Leak Detection and Activity Control System，简称 OMEGA LDACS）。俄罗斯天然气工业股份公司（GAZPROM Company）对那些多年来已在石油和石油产品管道上证明其有效性的系统萌发浓厚的兴趣，这直接导致了全新SMEO选件的诞生。

严格地说，输液管道和输气管道在泄漏检测方面的主要区别就是焦耳-汤姆逊效应，该效应是指气体在不与环境做热交换的绝热状态下因压力通过阀门或多孔塞时引起的强烈温度变化。上述内容促使人们关注分布式声传感（DAS）在专为天然气管道设计的监控系统中的应用：OMEGA-PetroLight认为，该传感方法可确认通过分布式温度传感获得的泄漏信号。



SMEO 的工作特性

OptoMonitoring SMEO允许操作人员检查电缆沿线的温度、声学振动和应变。此外，SMEO可选择部署光纤甲烷报警器（FOMA），该报警器可在特别关注的位置检查实时甲烷浓度。

系统的基本工作原理是：将光纤电缆用作线性传感器，发射光波的窄脉冲信号到电缆中，然后测量所得的反向散射。光纤电缆将沿着管道或扩展物体埋入地下。常规SMEO组件有逻辑模块（LM）、光纤电缆（FOC）、计算服务器（CS）和自动化操作员工作站（AOW）。

LM通过FOC发送激光脉冲。FOC沿线的温度、振动或应变信息会返回到 LM 中进行解释。此外，解释后的信号会发送到CS中进行处理。处理后的信号会发送到AOW，而操作人员将根据检测到的事件的性质做出决定。

OPTOMONITORING SMEO 检测技术

OptoMonitoring SMEO最多可以同时使用三种测量技术：分布式声传感（DAS）、分布式温度传感（DTS）和分布式应变传感（DSS）。

当1550nm 的近红外光脉冲进入FOC时，温度、压力和应变等环境变量能够影响FOC的光传输特性，并导致部分光反向散射。反向散射的光会进一步分离成不同的波长 — 瑞利、拉曼和布里渊波段。这种分离也是由光脉冲和FOC之间不同的相互作用机制导致的。

分布式声传感利用瑞利波长分析进行声学和振动检测。如图2所示，主要的反向散射波处于已发射脉冲的波长范围内，被称为瑞利波段。这种散射光的性质受到光纤结构内小应变事件的影响，而这些事件本身由局部的声学或地震环境决定。瑞利散射以光与小于光波长的粒子（原子和分子）之间的相互作用为特征。在瑞利散射中，粒子能够弹性地散射光辐射，而不改变光能量。反射光的强度将在传输光脉冲后作为时间函数进行测量。如果脉冲能传输到光纤的尽头并返回，则可沿光纤发送下一个激光脉冲。来自同一光纤区域的连续脉冲的反射强度变化由该段光纤的光程长度变化导致。光在FOC中的传播速度很容易确定，而且由于反向散射光的强度会随着时间的推移按指数律衰减，可根据反向散射光的时间行程计算出光的传播距离。可通过将返回信号记为时间函数执行DAS测量，从而确定FOC沿线的声场。

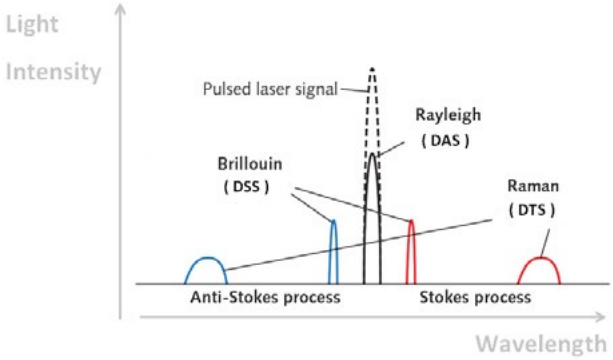


图2：SMEO中实施的散射范式

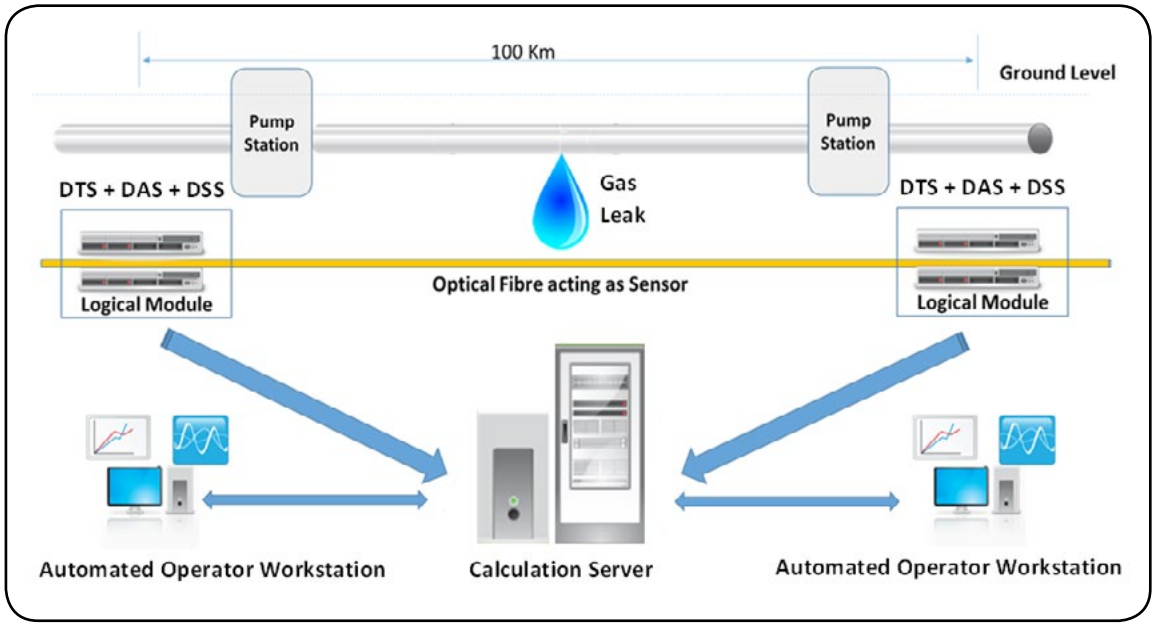


图 1：SMEO操作程序

分布式温度传感利用拉曼波长分析进行温度测量。如果FOC暴露于热效应之下，会诱发光纤内的晶格震荡。一旦激光脉冲通过这些受热激励的分子，光子与光纤分子之间会发生相互作用。这种相互作用就是分子振动，它取决于FOC的温度。拉曼散射光具有对称分布于瑞利峰两侧的两个组成部分：斯托克斯峰和反斯托克斯峰。反斯托克斯峰的强度比斯托克斯峰低，但它与温度高度相关；斯托克斯峰的强度则与温度关系不大。通过计算反斯托克斯与斯托克斯的信号强度比，可以得出精确的温度测量值。DTS将这种温度测量技术与通过飞行时间法对光进行遥测的手段结合起来，可沿整条FOC递增地提供温度参数.

分布式应变传感利用布里渊波长分析进行扩展物体的机械应变检测。FOC的变形（如应变）将导致光纤的折射率发生变化 — 一种载体变形波，也是声波的一种形式。如果沿 FOC 传播的激光脉冲与上述晶格波相互作用，则光会反向衍射，从而通过类似于多普勒频移的现象产生频移组成部分。因此，布里渊散射是由光纤内光波和声波之间的相互作用导致的。与拉曼散射一样，布里渊散射缺乏弹性。

与分布式传感器相比，FOMA采用点式传感器，适用于遥测临界甲烷气体浓度，并使用FOC进行信号传输。FOMA的基本工作原理是：进行自调谐，并在测量元件中对实时甲烷浓度进行连续监测。FOMA利用了天然气吸收光的特性。当激光脉冲进入甲烷检测元件时，会被甲烷气体吸收。元件的近红外激光二极管在1650μm的甲烷分子吸收波长下工作。将从检测元件返回的光量与通过校准元件的光量进行比较，即可执行天然气浓度的定量测量。FOMA敏感元件的重量为0.2千克，甲烷检测精度为200ppm。从该元件到 LM 的距离最多可达50公里，而且这种子系统不需要供电。

除SMEO以外，对于化工厂、天然气加工厂、矿井、管道等高风险设施而言，使用可靠的传感器来检测甲烷是最重要的安全问题之一。甲烷是天然气的主要成分，LEL（爆炸下限）为4.4%，这使得这种气体易燃易爆。不幸的是，甲烷爆炸经常发生，并往往导致死亡事故。有几处甲烷检测位置实际很适合实施FOMA，其中包括管道过渡区和管道通过区以及与铁路、公路和水下通道相交汇的区域。一个SMEO LM能够承载200 多个FOMA，这些FOMA具有极高的灵敏度，可以监控甲烷的实时浓度，并在浓度达到危险水平之前提醒设施操作人员。

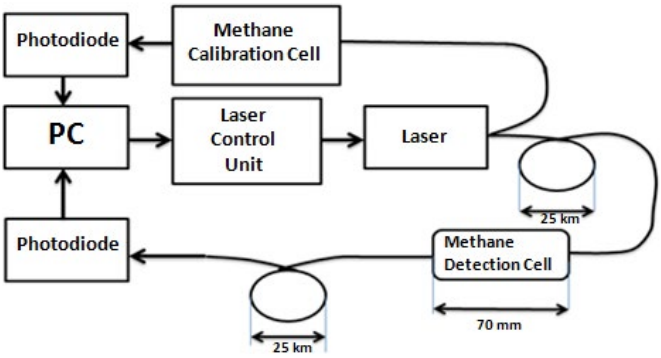


图3：FOMA示意图

图 4：OptoMonitoring逻辑模块（左侧）

SMEO的主要设备

OptoMonitoring SMEO的一个常规组件是光纤电缆（FOC）。玻璃光纤由石英玻璃制成，可用于远距离光传输，而且损耗非常小。光纤电缆由光纤、惰性气体、钢模块、铝壳、钢铠以及聚合物涂覆层组成。其中，光纤是传输光的部件，外径最小可达5至10微米。此类光纤具有应变，周围由包层裹覆。包层由二氧化硅制成，折射率略低于纤芯，旨在将光信号约束在纤芯内（例如通过全折射），尽量减少损耗，并在光信号于光纤内传播时为纤芯区域提供物理上的支持。光纤四周充满惰性气体，旨在防止光纤接触氢气，进而避免可能由此导致的光纤暗化。钢、铝和钢铠层则可为FOC提供防护、鲁棒性和刚性。最后，添加涂覆层是为了防止钢氧化。根据SMEO的特定项目或应用，涂覆层的材质可以是丙烯酸酯，某些情况下还可以是聚酰亚胺，而对于某些特殊应用（例如恶劣环境、高温），则需采用其他材料（例如碳、铝、金等）制作涂覆层。

纤芯中用于传感的光信号不与任何周围电磁场相互作用。因此，光纤传感器本质上可以免受任何电磁干扰（EMI）的影响，这将大大增强其长期稳定性和可靠性。可在数十公里的距离范围内进行测量而不需要任何电活性组件，是监控大型远程结构（如地标性桥梁、水坝、隧道和管道）时的一项重要功能。在1550纳米波长下工作的光纤可同时用于传感和信号传输。

LM是SMEO的核心，为一种专用的光电设备，可确保生成、实时接收和预处理光信号。LM在实时模式下通过一组给定的算法工作，并执行数据收集（从FOC）、主要数据处理和传输功能（至CS）。LM由位于屏蔽柜内的若干组件（如DAS、DTS、DSS 和FOMA模块）以及KVM切换器、连接面板和不间断供电系统组成。CS是SMEO的数据中心，可确保实时接收 LM 的信号，并为AOW操作员处理、解释和转发现成的信息。

此外，它还可用于存储数据，能够收集并保存扩展物体沿线发生的所有事件。AOW赋予操作员对SMEO的控制权。AOW能够显示有关扩展物体沿线可能活动的信息，为操作员提供地图服务和事件信息，提供对 CS数据库的访问权限，并可用于执行SMEO的维护操作.

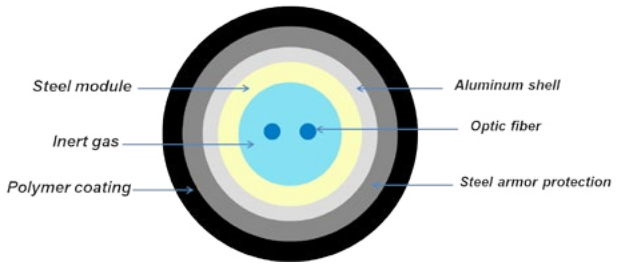


图5. SMEO FOC设计

系统性能

OptoMonitoring SMEO使天然气管道运营商能够执行泄漏检测。LM控制 50公里长的电缆，DTS可在其中5米长的电缆传感区域上执行 1° C 的温度变化自动检测。

分布式传感器沿线的冲击检测精度（单位：米）	± 5
相变灵敏度（单位：弧度）	0.1 – 0.2
分析频率范围（单位：Hz）	1–500
脉冲重复频率（单位：kHz）	1
由系统的一个模块控制的管道长度（单位：公里）	100

表 1：SMEO DAS 参数

除泄漏检测功能以外，SMEO DAS还可充当扩展物体的安全工具。Opto-Monitoring SMEO可防止非法搭接（这在高压天然气管道上不大常见）、侵扰和侵占，因为其对扩展物体沿线的振动活动执行实时监控。SMEO DAS的一个重要优势是，不仅能从受保护的区域传输事件信号，还可以确定信号的性质。系统记录下管道周围10米内具有潜在危险的活动（如行人流动、使用挖掘工具的挖掘作业、使用挖沟机的挖掘作业、轻型和重型车辆运动）后，操作员会收到通知。

分布式传感器沿线的空间分辨率（单位：米）	5
应变精度（单位：$\mu\varepsilon$）	10
应变范围（单位：%）	-1.25 to 1.25
由系统的一个模块控制的管道长度（单位：公里）	50

表 2：SMEO DSS 参数

Optomonitoring SMEO DSS可履行结构方面的职责，并保护管道的完整性。地面运动、土壤塌陷、水力侵蚀、不稳定斜坡、地震、管道运输途中的疲劳裂纹或制造缺陷会加重关键区域管道上的压力，造成可能导致管道出现故障的管道位移或金属变形。在发生严重故障前，机械管道位移会对相连的FOC施加应变，从而向系统操作员发出警示。

结论

因此，基于多种技术解决方案的 Optomonitoring SMEO可提供众多必要的监控程序，以确保天然气运输在技术和生态两方面均更加安全。有许多新选件将集成到这一控制和测量综合设备中，例如石油天然气管道电气装置监控系统，Omega和OptoMonitoring的科学家们正致力于该选件的收尾工作。此系统依赖于使用DTS进行持续的温度变化测量，将排除可能由接触干扰导致的火灾。

作者

Marina Horoneko
OptoMonitoring Company
副总负责人
Horoneko@optomonitoring.ru

Victoria Malkina
State Gubkin-University of Oil & Gas
石油天然气分析师
bg@ecovestnik.ru

Grigory Kiselev
OMEGA Company
开发部主管
KiselevGA@ome.tn.corp

Dr. Aleksey Turbin
OMEGA Company
副总负责人
turbi60@mail.ru

风险 降低

泄漏检测在降低管道输送风险中发挥的作用

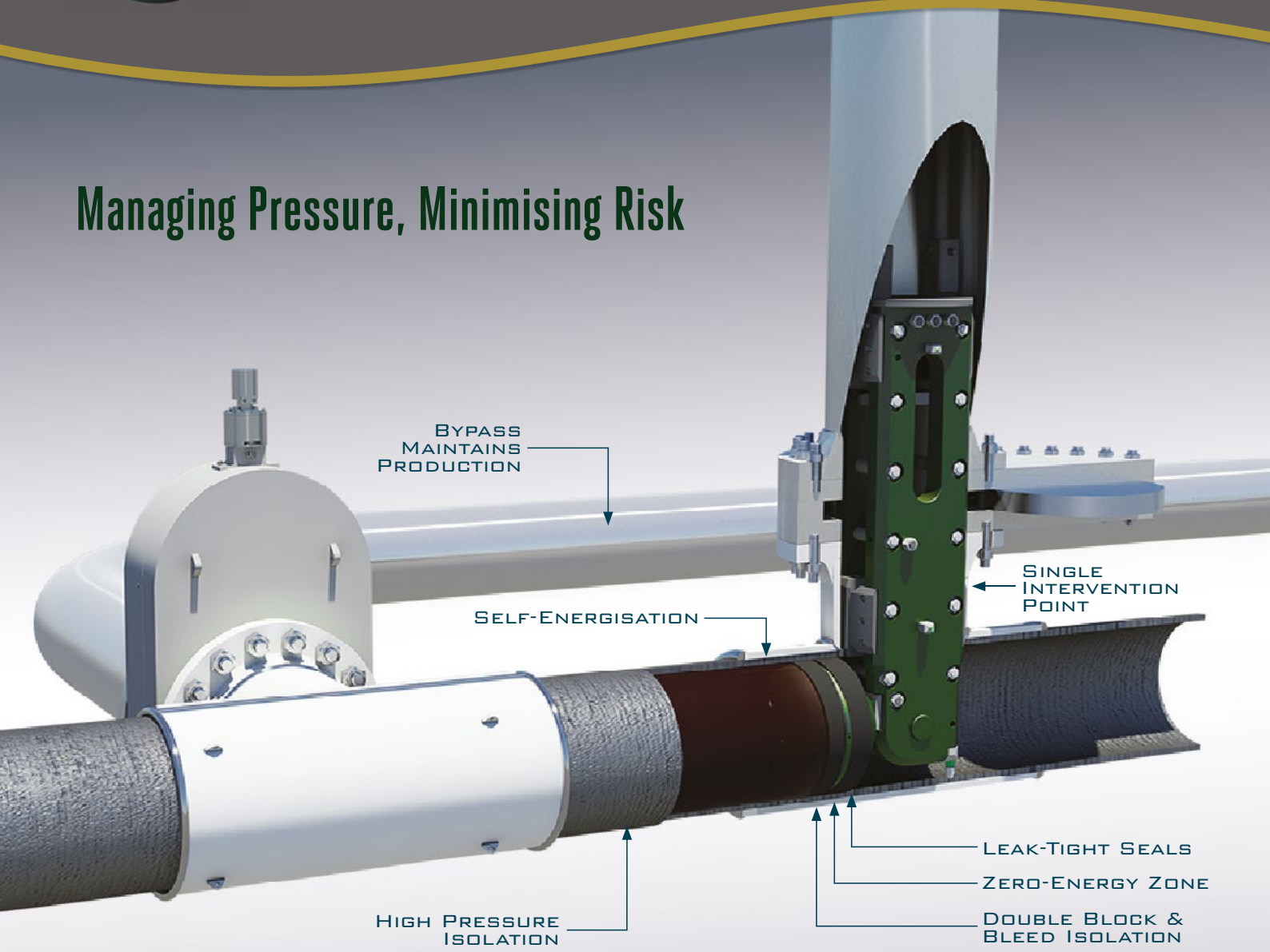
> 作者：
> Morgan Henrie 博士 > 总裁兼专家项目经理 > MH Consulting Inc.
> Philip Carpenter > 项目经理 > Serrano Services Inc.
> Paul Liddell > 项目经理 > Alyeska Pipeline Service Co.

摘要

危险材料管道运营商面临着持续的商品泄漏风险。对这种风险的积极管理可通过各种技术和工艺实现，比如利用各种泄漏检测（LD）技术。考虑风险时，运营商面临三方面的问题：存在哪些可能导致泄漏的漏洞、漏洞被利用的可能性以及泄漏可能导致的后果。本文将在上述三分框架内，论证LD系统如何通过缓解后果帮助降低整体的泄漏风险。

STATS GROUP

Managing Pressure, Minimising Risk



BISEP™ | High Pressure Intervention & Isolation

Pipeline intervention and isolation can be achieved using STATS patented leak-tight BISEP™. The BISEP™ provides fail-safe double block and bleed isolation deployed through a single full bore hot tap penetration – no additional bleed ports. The BISEP™ contains dual energised seals and the annulus zero-energy zone proves and monitors the seal integrity before and during intervention work.

泄漏和后果

由人身伤害、财产损失或环境破坏导致的潜在成本动辄高达数百万。

利用管道运输危险液体（如原油和成品油）可说是一种极其安全、高效且有效的基础设施。这种基础设施应用广泛。例如，美国交通运输部管道和危险材料安全管理局（PHMSA）发布的危险液体管道报告指出，2013年（现有最新信息）美国境内共有危险液体或二氧化碳管道192,388 英里，天然气分配管道2,149,23英里，天然气输送和采集系统管道320,248 英里。

事实上，管道还具有运输商品未被包含在管道内的固有风险，此时将发生泄漏。PHMSA指出，1995至2014年的二十年间（现有最新数据），由原油和成品油导致的重大事故年均达到251起。根据报告，同一时期发生泄漏的油桶平均总数为72,930桶，造成净损失27,953 桶，平均财产损失高达156,402,682 美元。这就是原油和成品油商品泄漏或以其他已知方式溢出所造成的年平均后果。

这些管道的所有者和运营商应用各种技术和工艺管理泄露风险，比如利用各种泄漏检测（LD）技术。考虑风险时，在以下等式的框架内，LD内部及自身仅适用于某一次泄漏的后果。

等式1

$$\text{风险} = \sum_{\text{所有事故}} (\text{事故发生概率}) \times (\text{事故后果})$$

等式2在等式 1 的基础上进行了扩展，以表明发生某个事故的概率是管道威胁和漏洞集合的结果

等式2

$$\text{发生某个事故的概率} = \sum_{\text{所有事故}} (\text{所有威胁}) \times (\text{所有漏洞})$$

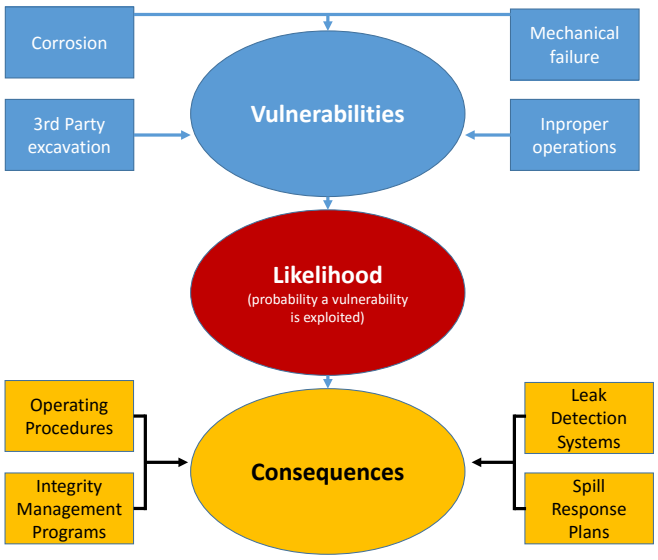


图1：广义风险图

等式1和等式2说明了如何从各种变量（包括威胁、漏洞和后果）的组合得出管道的最终风险。下文清楚地表明，泄漏检测系统只能通过帮助减轻管道泄漏以及由此导致的漏油的后果来降低风险。泄漏检测系统对管道泄漏威胁或漏洞不会产生任何影响。

本文所称的威胁与导致管道内所含商品泄露的管道密闭度丧失有关。所有管道均具有发生泄漏的常见威胁。根据PHMSA的报告，一般情况下，管道的泄漏事故率为每十亿吨英里0.58起。因此，所有管道均具有相同的威胁；而目前还没有能够为在役管道完全消除这一威胁的方法。

漏洞可被定义为系统中的弱点。如图2所示，最主要的管道弱点或漏洞是管体、焊接或设备的故障。其次是腐蚀，再然后是第三方引致的损伤。举例说明何谓第三方引致的损伤：施工人员紧贴管道进行挖掘。施工过程中意外碰撞管道。结果造成管道破裂或管道刺穿，商品因而泄漏。接下来，最主要的故障模式是自然力和外力，操作不当也可导致管道事故，但事故率相对较低。

如前所述，LD系统对导致泄漏和随后漏油的事故概率变量不会产生任何影响。无论是否存在泄漏检测系统，管道都会出现泄漏。从历史上看，早在基于LD技术的系统问世前，管道就会发生泄漏，我们可以大胆地推断，无论LD技术实现怎样的进步，泄漏现象都会继续发生。LD系统对于机械故障、腐蚀、第三方挖掘等的周边环境无法施加任何影响是导致这种状态的直接原因。在危险液体管道行业内，任何及所有这些漏洞每年都会继续受到利用。LD技术无法改变管道漏洞的属性。因此，引进LD系统无法改变基于威胁和漏洞属性的管道泄漏事故风险。

由于管道泄漏威胁无法消除而且漏洞会被利用，泄漏仍会发生，随后的漏油数量会逐渐累积。所有者/运营商的风险等级将基于漏油的后果。漏油的规模较小而且一系列连续后果的影响被很好地控制在最低限度上，还是漏油的规模非常大、发生在高后果区、一系列连续后果的影响极大且造成了人员伤亡？LD系统旨在协助减轻漏油的后果。

关键在于，基于LD技术的系统为所有者/运营商提供了可能尽早识别泄漏发生的手段。越早识别泄漏，就能越快地启动应急响应。这有助于减轻由此造成的漏油的后果。

综上所述，LD技术系统可通过改变风险等式的后果变量，帮助降低组织的漏油事故风险。根据以上讨论，只要管道在役并内含商品，泄漏威胁便存在，而且将继续存在。在风险等式中，威胁始终大于零。与此同时，管道会出现各种漏洞。管道所有者/运营商都在积极地管理各种漏洞，但历史会不断提醒我们，所有漏洞均仍未消除。这意味着，风险等式的漏洞变量也大于零。

由于风险或事故等式的三个变量中有两个大于零，那么除非后果变量可以设置为零，否则公司的泄漏风险水平将大于零。遗憾的是，这种状态并不存在，因为所有泄漏都会造成与之相关联的后果，只不过可在某种程度上对后果的严重程度进行管理而已。

利用EPA的基本漏油成本估算模型（BOSCEM），可在分析工作中对后果减轻程度进行估计。根据BOSCEM中的概述，对于导致泄漏的事故，其所造成的后果水平取决于随后发生的漏油数量和位置。一般来说，规模更大的漏油会导致更严重的后果，而发生在环境敏感区域的漏油等也将带来更严重的后果。BOSCEM提供了一种可使用等式3估算漏油总成本的方法。常情况下，漏油量可通过等式4得出。

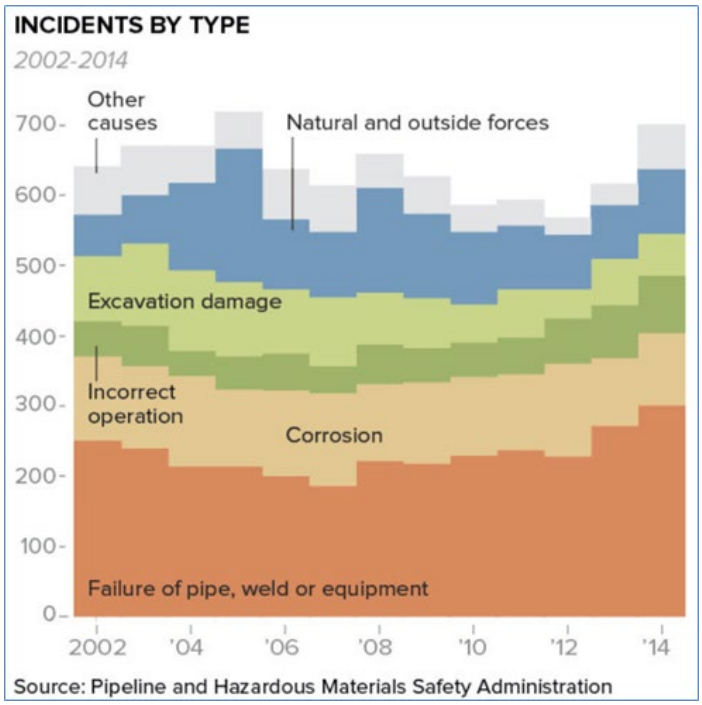


图2：各种类型的事故

“早在基于LD技术的系统问世前，管道就会发生泄漏，我们可以大胆地推断，无论LD技术实现怎样的进步，泄漏现象都会继续发生”

> Morgan Henrie 博士

泄漏后果 = $(C_{cleanup} \times M_{medium} + C_{soc} \times M_{location} + C_{env} \times .5 \times (M_{water} + M_{w.l.})) \times V$

$V = ($ 泄漏率 $) \times ($ 检测时间+反应时间 $) +$ 排放量

说明

$C_{cleanup}$	= 每加仑响应成本
M_{medium}	= 漏油位置的介质类型
C_{soc}	= 社会经济和文化价值
$M_{location}$	= 发生漏油的实际位置
C_{env}	= 环境基本费用
M_{water}	= 淡水脆弱性
$M_{w.l.}$	= 栖息地和野生动物敏感度
V	= 漏油量

注 1：

BOSCEM模型旨在量化不同泄漏类型的相对损失和成本，以评定监管影响、制定应急计划并评估泄漏预防和削减措施的价值。

注 2：

C cleanup、C soc、C env 均为漏油量的（步进式）函数

注 3：

（根据BOSCEM）如果发生在具有相同介质的同一位置，规模较大的漏油反而比规模较小的漏油成本更低是绝对不可能的.

泄漏检测活动可减少检测时间，并有助于减少反应时间。这最终将减少漏油量。因此，LD系统可通过直接影响后果变量，而不是威胁或漏洞变量，来帮助降低管道漏油事故风险.

综述

泄漏历来以基本可以确定的频率发生。由此可以大胆地推断，只要管道在役，泄漏就会继续发生。因此，由其导致的任何漏油都会带来负面后果。应用适当的LD技术系统可以影响这些后果会扩大到何种程度。选择、实施和操作适当的LD系统有助于降低后果变量，并最终降低组织的漏油事故风险水平。

LD系统能够在多大程度上改变漏油后果变量取决于多种因素的综合影响，如实施的LD系统类型、管道的地理状况和工作条件。举例来说，如果管道非常简单，全部位于平坦地理区域的地面以上，从许多位置均完全可见，

而且在稳定的状态下持续运行，那么多种不同的泄漏检测系统（如目视检测）可以非常迅速地检测出泄漏。在这种情况下，由于检测时间很快，泄漏规模应为最小；而由于关闭响应迅速，产生的排放量也会是最低水平。

相反，如果管道系统非常复杂，埋入地下，以高度动态的方式运行，而且配备的仪器极少，那么可能适用的泄漏检测系统类型会发生改变。有效而高效地检测泄漏的能力可能也会受到影响，这可能导致发生更大规模的泄漏。

无论管道的环境、操作和物理特性如何，通过管理后果变量，应用并严格维护 LD 系统将有助于减少所有者/运营商的泄漏事故风险因素

作者

Morgan Henrie 博士
MH Consulting Inc.
总裁/专家项目经理
mhenrie@mhcinc.net

Philip Carpenter
Serrano Services Inc.
项目经理
serrano.services@suddenlink.net

Paul Liddell
Alyeska Pipeline Service Co.
项目经理
Paul.Liddell@
Alyeska-pipeline.com

Going places ...

... with our track record & technology

The Great Wall stretches more than 21,000km across the northern boundary of China. Our intelligent and cleaning PIGs have travelled more than twice that length of pipeline under the oceans all over the world. We design, build and operate our own fleet of pipeline inspection gauges (PIGs). Our products and services include:

- High resolution MFL/In-line inspection tools
- Multi-channel Caliper
- Pipeline XYZ Mapping
- Pipeline Data logger
- Various types of pipeline cleaning PIGs and customised polyurethane products

** The Great Wall of China is the longest man-made structure ever built.*

ROMSTAR GROUP

Pipeline Integrity Solutions

www.romstargroup.com romstar@romstargroup.com

美丽新世界

机器学习

by:
> Maria S. Araujo > 高可靠性系统研发经理
> Shane Siebenaler > 流体动力学研发经理
> Sue Baldor > 高级研究工程师
> Edmond DuPont > 高级研究工程师
> Samantha Blaisdell > 研究工程师
> Daniel Davila > 工程师
> Company **> 美国西南研究院 (Southwest Research Institute)**

使用跨平台遥感技术的危险液体管道自动化微小泄漏检测

摘要

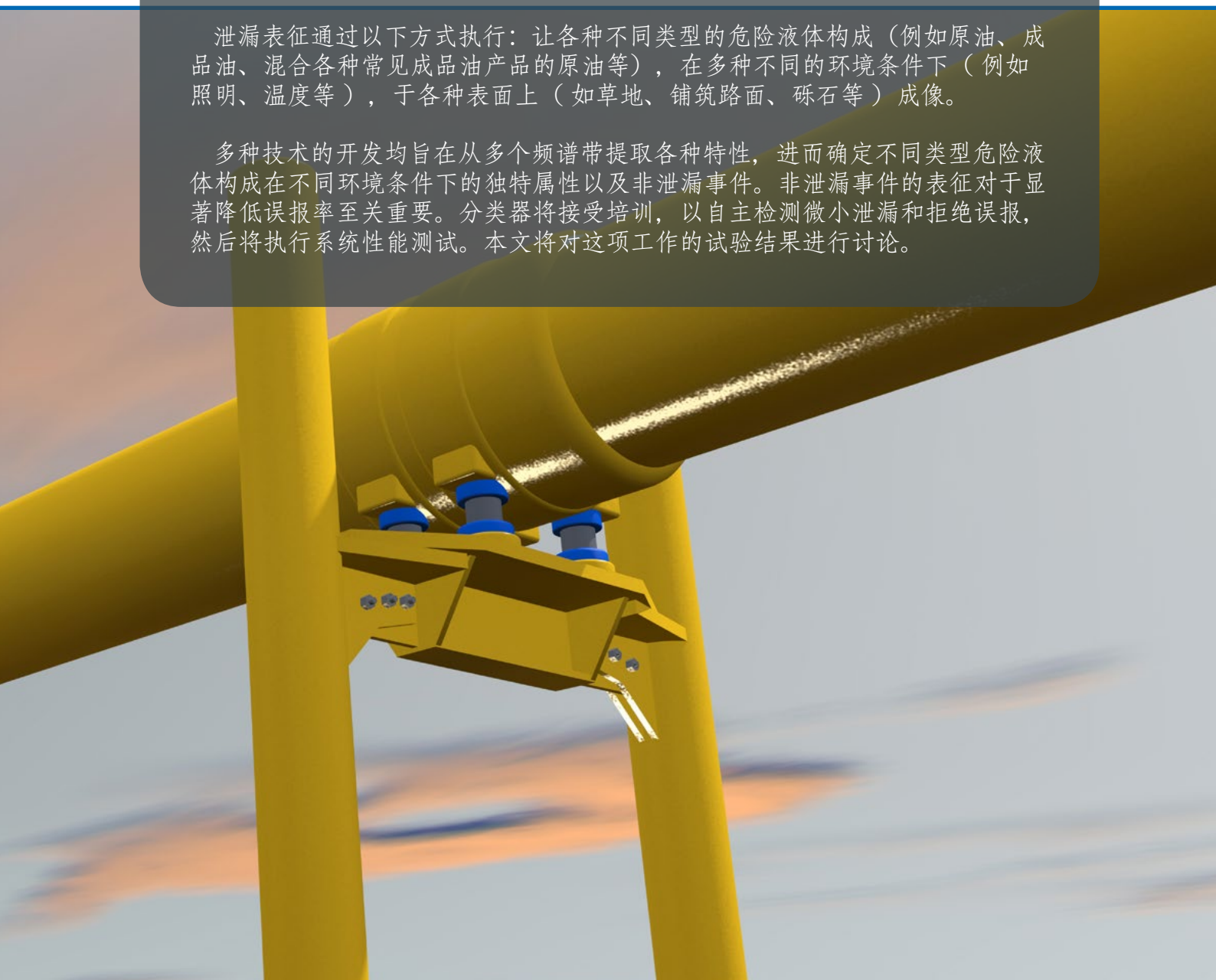
近来的研究工作侧重于开发一种基于机器学习的创新跨平台技术，来可靠、自主、近乎实时地检测危险液体管道微小泄漏。本文将就此展开讨论。该技术的目标是提供可靠的微小泄漏（<管道额定流量的1%）检测，并避免产生误报。

该技术同时适用于移动平台（载人和无人飞机、全地形车等）和固定平台（如泵站和截止阀位置的固定装置）。开发的重点在于检测液态烃泄漏，但该技术还展示出可用于检测天然气泄漏的前景。

根据传感器的输入数据，系统采用机器学习技术来可靠地检测微小危险液体泄漏的“指纹”。不同类型传感器的组合可提高从现有泄漏事件中检测出泄漏产品的可能性，即使当前的泄漏情况并不活跃。此外，还可以整合和/或组合不同类型的传感器，这让这项技术具有非常好的可扩展性。

泄漏表征通过以下方式执行：让各种不同类型的危险液体构成（例如原油、成品油、混合各种常见成品油产品的原油等），在多种不同的环境条件下（例如照明、温度等），于各种表面上（如草地、铺筑路面、砾石等）成像。

多种技术的开发均旨在从多个频谱带提取各种特性，进而确定不同类型危险液体构成在不同环境条件下的独特属性以及非泄漏事件。非泄漏事件的表征对于显著降低误报率至关重要。分类器将接受培训，以自主检测微小泄漏和拒绝误报，然后将执行系统性能测试。本文将对这项工作的试验结果进行讨论。



前言

管道可为企业和广大消费者输送支持其关键需求（如运输、供暖和发电）所需的燃料，在社会中发挥着至关重要的作用。欧盟管道系统的长度超过2,000,000 公里，其中包括36,000公里的危险液体系统 [1]。从人口密集的城市中心到偏远的乡间村落，这些管道能够穿越各种地点，还可经过水道等生态敏感区域。最普遍的管道用地泄漏监控方式是计算管道监控（CPM）或监管控制与数据采集 (S CADA）监控。但这些系统存在诸多限制，特别是在尝试监控相对较小的泄漏时

过去十年中，曾经开发出多项主要用于天然气输送管道的技术，它们均利用某种形式的远程监控来检测烃泄漏。这些技术需要大量人力资源来监控和解释由遥感器收集的信息（例如从全地形车、高空工作台和固定装置），而且往往容易识别并非泄露烃的液体源

因此需要有一种技术，能够针对许多不同的管道配置，运用机器学习拓宽传感器技术应用，并在不产生误报的情况下检测出泄漏。此外，急需开发一种对输送平台不敏感的技术。人们期望该技术具备的关键特性已在表 1 中列出

特性	详细信息
低误报率	低于1%（被错误地分类为泄漏的事件数量）， 不考虑监控区域、环境条件和平台。系统必须能够将矿藏油气与水区分开，因为勘测期间预计应出现水池。
液体和气体泄漏	能够同时检测出液态（例如原油、成品油）和气态有害物质（例如甲烷、乙烯）。
最小检测规模	能够检测出小于最严格报告阈值的泄漏，通常约为五(5)加仑。
自主检测	无需由人决策 — 系统可以使用机器学习算法采集数据、处理数据并自主做出有关是否观测到有害物质的决策。
近实时检测	获取数据的时间与获得系统输出的时间之间仅相差几分钟。
跨平台	能够在多种平台上部署技术： a. 高空：载人和无人飞机。 b. 地面：载人和无人系统。 c. 固定：用于炼油厂和泵站等监控设施。
可扩展性	能够将新的检测技术灵活地集成到系统中，以用于其他类型的目标物质。

表1：有效泄漏检测技术的主要特点

技术方法/概述

本文介绍的研究采用机器学习技术，来自主检测微小危险液体泄漏的“指纹”。采用光学传感器，主要是因为光学传感技术在泄漏检测方面表现出绝佳的功效，而且通常在本质上具有非侵入性。此外，虽然运用光学传感技术监控管道的大部分工作均集中在评估和改进此项功效上，自主（即非人决策）实时泄漏检测技术的开发进展却非常有限。这正是机器学习技术发挥重要作用的地方.

研究的第一阶段涉及使用多种光学传感器，包括长波红外 (LWIR)、短波红外 (SWIR)、高光谱和可见光摄像机。研究早期阶段对于多种摄像机的运用侧重于确定可在其中找到危险液体唯一特性的频谱带。接下来的一步是要去掉获得极少或并未获得任何相关信息的摄像机，而最终目标是要将摄像机（传感器）的数量尽量减至最低。泄漏表征通过以下方式执行：让各种不同类型的危险液体构成（例如原油、成品油、混合各种常见成品油产品的原油、乙烯、甲烷等），在多种不同的环境条件下（例如照明、温度等），于各种表面上（如草地、铺筑路面、砾石、灰土地等）成像。

该技术采用多阶段处理管道来实现精确检测。从而提供多种机会，可在提高检测精度的同时，降低误报发生率。图 1 显示了这条管道的主要阶段。

“该技术的核心是使用机器学习技术，它可以实现可靠的材料分类和自主操作。”

> Maria S. Araujo.

多个图像馈入第一个区块传感器配准 (Sensor Registration)，这里的图像数据转换可确保每台摄像机中的视界都是相同的。接下来，在特征提取 (Feature Extraction) 中，将针对每个图像计算包括纹理表征特征在内的多个特征。特征向量被传递到分类器 (Classifier) 中，后者将做出有关图像中是否存在某种特定危险液体的决策，确定该特定危险液体在图像中的位置，并对该决策的可信度评分。最后，后处理 (Post-Processing) 将清理低可信度决策和噪声源.

虽然这项工作涉及使用光学传感器，请务必注意，该技术的核心是使用机器学习技术，它可以实现可靠的材料分类和自主（非人决策）操作。如图 1 所示，这些机器学习技术对传感器不敏感。因此，还可以整合和/或组合不同类型的传感器（包括非光学传感器），这让这项技术具有非常好的可扩展性。

实施

技术开发侧重于检测可在地表上方感知的烃液。在这种情况下，无源光学传感器被用于捕获环境并训练分类系统自动检测是否存在危险液体。机器学习技术随后被开发出来，用于评估电磁能如何在宽广的电磁波谱范围内与危险液体相互作用。

数据收集涵盖多种物质（包括矿物油、原油、柴油、汽油和水等独立液体），涉及多种表面（包括混凝土、草地、灰土地和砾石）。测试还包括误报的一个常见来源 — 水，因而是开发鲁棒方法的一个关键组成部分。表 2 总结了所用的每台摄像机的频谱范围和分辨率。这些摄像机可同时捕获包含处于代表性环境中的危险液体的画面。

图像配准方法被用于在所有摄像机之间映射图像。这允许对传感器系统进行单独和集体分析。先执行配准，然后再应用机器学习算法检测是否存在危险液体。

摄像机	频谱范围	分辨率
SOC710VP HS-Portable Visible/NIR	0.4μm - 1μm	696x520
Sensor Unlimited 640CSX	0.9μm - 1.7μm	640x512
FLIR A65	7.5μm - 13μm	640x512
UI-5240SE	0.4μm - 0.9μm	640x480

表2：泄漏检测算法开发过程中使用的光学传感器

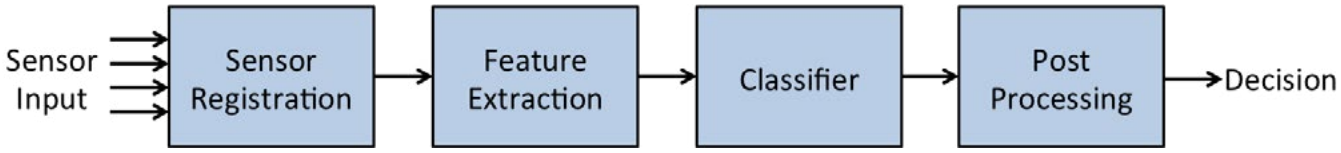


图1：泄漏检测处理管道

必须强调的是，摄像机本身并非该技术的关键因素；事实上，对于一个可部署的光学解决方案，因为需要不同的分辨率，摄像机也需要不同。该技术的关键部分是，能够根据传感器输入数据和分类参数自主实时预测检测到的输入是什么.

我们构思了一个方案，将流体和可见表面的各种组合置于低矮的容器中

（如图 3 所示）。这一受控方案被用于使用不同的摄像机捕获不同液体的频谱响应，以备进行离线评估。为了模拟常见于管道附近的预期地面表面，数据收集包括将混凝土、草地、灰土地或砾石添加到每种受测液体，以捕获其频谱响应的任何变化。某些情况下，危险液体会留在表面上；其他情况下，危险液体则会被固体化合物吸收

频谱响应的变化基于液体的温度、液体在表面停留的持续时间以及泄漏过程中的环境条件。在数据收集的过程中，除当时所处的环境以外，液体不会被任何外部源加热或冷却。每次测试的数据收集方式均可确保捕获由环境和下垫面条件导致的温度变化、吸收和蒸发情况。此外，数据收集在多个不同的时间执行（包括黄昏、正午、晚间、阳光直射下和阴凉处），以捕获各种照明条件和环境温度。如图2所示，我们对气态物质也进行了类似的测试，即在测试中模拟受控的气体泄漏。

唯一特征和可辨明特性。该分析应用了利用以下信息的特征提取和分类方法：

- 频谱信息：频谱信息包含电磁波谱特定范围内大量离散频谱带的反射率数据。
- 空间信息：空间信息描述液体的现实世界表现，比如规模和纹理。

根据摄像机捕获的相对电磁响应，每种液体均呈现出不同的亮度和纹理特性。这些特性均在各台摄像机中手动选出，旨在确定地面实况标签以训练分类系统。一组特征提取方法被开发并用于识别图像中的相关几何结构（例如区域、边界）、纹理和上下文信息。这些特征被集体和分别应用于频谱和空间信息，旨在将地面实况标签转换成判别组件，用作培训分类系统的输入信息。能够最好地将危险液体与非危险物质区分开的特征组合对于分类器和此方法的鲁棒性非常重要，因为它不仅直接影响到泄漏检测率，还能影响误报率。

图2:
危险液体在灰土地上的泄漏测试（小图）以及气体（液氮）泄漏测试（大图）

应用分类系统，将危险液体与环境中的水和其他非危险物质区分开。分类器会从所提取的地面实况标签特征中学习模式（训练步骤），然后在稍后的阶段在一组已提取特征的未知样本上学习。然后，调用分类器，就是否存在危险物质做出决策（分类步骤）。按像素定义分类输出，然后运用后处理技术移除错误检测出的像素并对真正类区域分组，以更好地确定图像内的危险液体构成。

训练和评估

在各种天气条件下以及一天当中的不同时间收集用于初始验证的数据，以获取多种照明条件。该集合包括使用高光谱、可见光、热传感和短波红外（SWIR）摄像机在（传感器和目标物质之间）相隔大约十(10)米的距离拍摄的图像。图3 显示了同时从可见光摄像机和热传感摄像机的角度模拟关注情况的典型方案。前景中的每个黑色容器均装有以下组合：

1. 管道下方发现的一种典型地表面，以及

2. 液体涂层，为危险液体或潜在误报物质（比如水）。

表 3 列出了用于数据收集的部分表面、液体和照明条件。

表面	物质
砾石	矿物油
草地	汽油
灰土地	柴油
混凝土	原油
	水
	无液体（只有表面）
	甲烷
	乙烯

表3：数据收集过程中使用的表面、液体和照明条件的子集

此外，还收集了有关误报潜在来源的额外测试数据。其中包括在各种照明和天气条件下拍摄的图像。测试图像包括树木、草地和铺满树叶的地面等自然景观。额外测试图像集合中的潜在关注对象包括车辆、金属结构、管道和人。

从所收集图像的集合提取样本，以填充用于测试和训练的各类。类的定义是液体类型和表面的组合。为确保样本之间的独立性，使用了单独的图像集合来培训和测试分类器。此外，由于图像采集自播放速度为每秒 30 帧的视频流，按照时间顺序排列的图像的采样被策略性地间隔开，以便在整个测试过程中捕获独立样本的最大可能范围。对图像上定义的关注区域随机采样，以生成类数据。

为评估分类器的性能，采用了多种评分指标，包括准确度、精度、召回率、F1分数（测试准确度测量指标）、危险液体误报率以及危险液体漏检率。在这种情况下，误报率的定义是被错误地归类为危险液体像素（矿物油、汽油、柴油、原油）的非危险液体像素（水、仅表面等）百分比。同样，漏检率的定义是被错误地归类为非危险液体像素（水、仅表面等）的危险液体像素（矿物油、汽油、柴油和原油）百分比。这项分类工作的目标是，最大限度地提高准确度、精度、F1分数和召回率，同时最大限度地降低危险液体漏检率和误报率。这些指标均在完整测试数据集合的基础上观测得出，以包含许多可能相关的泄露和非泄漏情况。

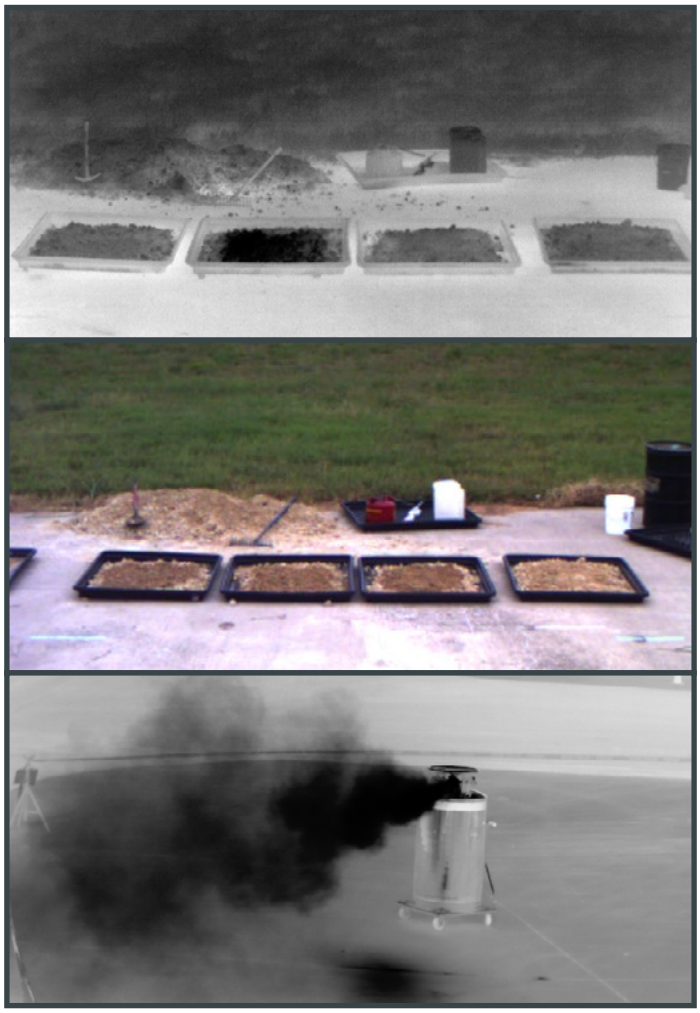


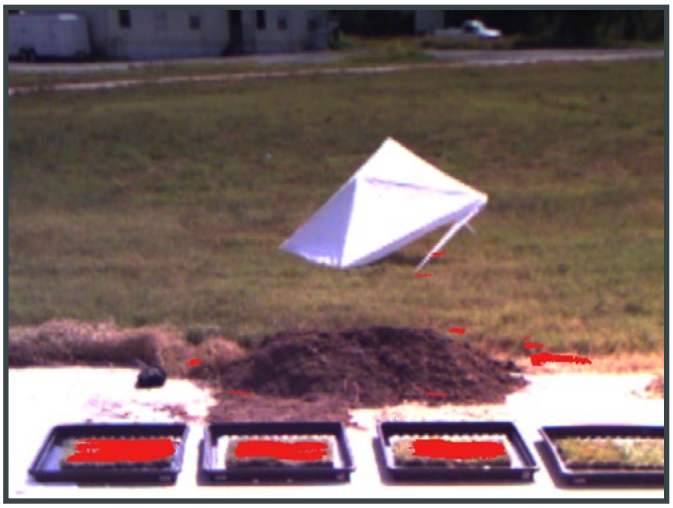
图3：砾石表面上的各种液体（左起：可见光摄像机，居中：热传感摄像机）、氮（底部：热传感摄像机）

结果

各种测试条件的分类结果如图4a-d所示，并已制作成表4。这些结果图像以红色显示检测出危险液体（矿物油、汽油、柴油和原油）。在图 4-a和图4-b中，前景中的塑料容器内分别包含（从左至右）带有矿物油、汽油、柴油和水的表面。在图4-c中，每个容器内均包含一种顶部洒有原油的不同表面。图4-d包含一张其中不存在任何危险液体的测试图像。这些检测结果通过同时结合可见光摄像机和热传感摄像机的输出得出。

据预计，随着收集数据量的增多、训练纳入的风景种类增加、特征选择过程得到完善和后处理得以执行，这些误报率甚至将进一步降低（非常接近于零）。后处理可能包括配置阈值以管理某个区域内的最小像素数以及有必要报告为真正类的分类器确定性。测试还表明，可从 SWIR 和高光谱摄像机中提取相关特征，其中前者特别适用于表征植被。这可能在进一步减少误报方面对分类过程特别有利。

图4：各种测试案例的危险液体检测情况（红）红色区域反映出算法自主检测到存在危险液体（原油和/或成品油产品）的位置



A：危险液体在草地表面上

C：原油在多种表面上

B：危险液体在砾石表面上

D：潮湿表面，无危险液体

指标	危险液体在草地表	危险液体在砾石表	危险液体在灰土地	危险液体在混凝土表面
准确度	0.996675	0.952678	0.999899	0.99964
精度	0.995941	0.932763	0.999922	0.999494
召回率	0.998214	0.932653	0.999895	0.999645
F1	0.997060	0.932707	0.999908	0.999493
误报率	0.000042	0.038962	0.000063	0.000402
漏检率	0.0	0.058900	0.0	0.0

表4：数据收集过程中使用的表面、液体和照明条件的子集

未来的工作

如前所述，在不久的将来，将进行算法的开发和完善，以进一步降低误报率。还将进行各种测试，以评估系统的性能并详细量化以下参数：

- 泄漏检测率：针对各种测试场景，系统检测到的模拟泄漏的百分比。
- 误报率：针对各种测试场景，系统触发的假警报的百分比。
- 实时性能：对于每个泄漏检测事件，从第一眼“看到”泄漏到系统触发泄漏警报所用的时间。

因为图1中描述的处理管道可轻松适应各种传感器，可以使用不同类型的传感器收集数据，比如LIDAR、超声波、化学传感器等。对于非成像传感器，可从数据中提取特征，并将其用于分类。

最后，将所开发的算法迁移到适合部署在高空或地面平台（例如载人飞机、无人机、地面车辆）上的原型嵌入式平台。然后，将该原型系统用于这种全新液体泄漏检测技术在操作情境下的验证/性能测试。更具体而言，这种技术的验证将按照下面的情况执行：

1. 在高空平台上，检查（具有模拟泄漏的）真实或代表性管道。
2. 在固定平台上，监控某个设施的模拟泄漏（例如压缩机和泵站）。

结论

当今用于监控危险液体管道的主要泄漏检测系统的设计无法检测出低于 1% 额定流量的泄漏。所有泄漏检测系统的误报是引发业界关注的一个重要问题，因为它们会导致警报被忽略，从而使泄漏检测系统最终失去效力。本文介绍的技术填补了当今主要泄漏检测系统中存在的关键空白，包括：

- 近实时自主泄漏检测和报告；无需由人决策。
- 检测的重复性和可信度（低误判率）。
- 跨平台（空中、地面、载人和无人）。
- 微小泄漏检测（低于管道流量的1%）。
- 能够将新的检测技术灵活地集成到系统中，以用于其他类型的目标物质。
- 能够将泄漏检测警报集成到现有的管道通信基础设施中（例如光纤电缆），以便近乎实时地向远程监控设施提供地理参照警报。

虽然本文介绍的工作涉及使用光学传感器，但该技术的核心是使用机器学习技术，它可以实现可靠的材料分类和自主（非人决策）操作。这些机器学习技术对传感器不敏感，因而允许整合和/或组合不同类型的传感器（包括非光学传感器），这让这项技术具有非常好的可扩展性。

References

[1] 欧盟委员会环境总署，《评估欧盟针对管道安全立法的案例以及此倡议可能带来的影响》。ENV.G.1最终报告，2011 年。

作者

Maria S. Araujo
Edmond DuPont
Sue Baldor
Samantha Blaisdell
Shane Siebenaler
Daniel Davila
美国西南研究院 San Antonio, USA
联系方式: maria.araujo@swri.org

CHARM® 2

下一代 CHARM® 的应用初体验

> 作者: Axel Scherello 博士 > 项目负责人 CHARM® > Open Grid Europe GmbH

摘要

为提高高压天然气管网泄漏检测调查的效率，过去几年中开发出了机载激光检测方法。种类繁多的机载天然气遥测系统基于不同国家/地区及其各自天然气准则的各种不同的要求。 CHARM®是迄今为止最先进成熟的系统。但由于设备数量众多，必须使用操作成本更高的较大型直升机。

为了降低每公里确定管道的相对操作成本，新一代CHARM®在过去几年中被开发出来。所谓的CHARM-2系统中运行着速度快十倍的激光，可凭借更宽的检查通道实现更快的处理。

本文是2016年管道技术会议的投稿文章，将介绍新系统与第一代CHARM® 和其他天然气遥测系统相比的优势。有关应用CHARM-2检测Open Grid Europe自有管道的最初实际体验也会在本文中予以介绍。

前言

天然气管道检查主要使用移动天然气检测仪以步行巡查的方式在地面上完成检漏。这种方法非常耗时耗力。由Open Grid Europe 开发和提供的CHARM® 远程天然气检测系统（CH4 机载远程监控）是最先进的天然气运输管道检测系统。CHARM® 可用于在土壤覆盖下或密封表面下检测管道。

基本天然气遥测

该方法依靠一个安装在直升机上、能精确检测极低甲烷浓度的红外激光系统。Open Grid Europe向全欧洲的天然气运输公司提供了这种高效灵活的天然气管道密封性检查方法。精确的甲烷浓度测量需要利用卫星导航系统，并结合包含管道路径详细信息的地理信息系统，以确定直升机的精确位置。由 CHARM® 识别出的任何有问题的管段均可由技术团队在现场进行充分检查和评估。这种方法使天然气供应商能够以更低的成本更轻松地遵守其检查义务，并保持其天然气供应基础设施的高安全标准。

用于监控埋设管道密封性的天然气检测系统必须能够识别最微量的甲烷痕迹。CHARM® 技术基于差分吸收激光雷达(DIAL)的测量原理，这是检测大气中不同气体的常用主动式遥感方法。激光雷达(LIDAR)技术涉及发射激光以及检测和分析由大气或固体目标对象（如地面）反向散射的光。痕量气体浓度可通过将激光波长微调至待测气体的光谱特征和吸收特性来确定。

CHARM©依据的测量原理被称为LIDAR（激光雷达）。直升机内部的高频激光向管道发出激光脉冲。击中地面后，光会向所有方向散射。一小部分发射的光被散射回直升机机载系统，并在聚焦后馈送至检测仪进行分析。

为了消除大气和地面反向散射对测量信号的影响，差分吸收激光雷达(DIAL)技术采用两种不同波长的光脉冲。测量波长(λ on)的脉冲会被甲烷吸收，而第二波长(λ off)的脉冲不会被吸收，并可充当参考。反向散射信号的差异将被转换成浓度-长度的综合检测值。

运行中的 CHARM®：在德国的一次试飞

"CHARM® 技术基于差分吸收激光雷达(DIAL)的测量原理"

> Axel Scherello 博士

CHARM® 包括一个专门开发的软件包，允许在非常短的时间间隔内安排并分析飞行检查。所有坐标、测量点和事件均可准确记录，还可以拍摄照片留作额外的文件资料。

检测浓度极低的甲烷

CHARM® 可以牢固地安装在直升机上并免受振动的影响。确保激光束空间稳定性的控制系统能够抵消运动的影响，并将测量激光束精确地对准管道的中心线。差分GPS（全球定位系统）允许高度精确地定位直升机。该系统结合了惯性测量系统（IMS），可实现精确的直升机定位，以自动而精确地将测量激光束瞄准管廊（CHARM®-自动跟踪功能，简称 CAT）。在大约120米的高空作业时，CHARM® 系统可在地面上生成直径1米左右的激光光斑。运用扫描设备时，激光光斑能够沿着管道路径覆盖一条宽达30米的走廊。

如果天然气从埋设天然气管道中逸出，它会分层分散在地平面附近。分散的路径难以预测，因此，在某些情况下，天然气可能不会直接从泄漏点上方而是从管道上相隔数米远的地方逸出。CHARM® 可以沿着管道路径扫描一条宽达30米的走廊。宽阔的走廊大大提高了检测到任何泄漏的概率。该系统高度自动化的操作模式和常规飞行检查可确保所有组件均完全正常和可以使用。所有飞行均可自动而详实地进行记录，以证明规定的管道检查均已妥当执行。

与第一代CHARM® 相比，第二代配备了更快的激光器，可发射1,000个激光双脉冲而不是100个。信号生成速度快十倍使直升机能够加快巡航速度。因为激光光斑跟踪覆盖区域的密集程度大幅提高，还可以避免没有必要的返航飞行。对于具有复杂拓扑结构的管段或环状管道，仅需一次飞行即可轻松完成检查。总体来说，CHARM-2的净容量较之第一代应可增加一倍。由于截稿日期较早，尚未获得有关实际数据的详细信息。相关结果将在会议上提供。

CHARM©已获得DVGW认证

德国煤气与水技术科学协会（DVGW）曾经公布机载远程天然气检测技术规则（指导准则G501），用于定义相关检测方法的功能和程序要求。CHARM® 是唯一能够满足这些要求的系统，并已通过DVGW认证。经证明，其能够检查建成区和空旷野外埋设管道的密封性，还能够检测出气流量低至每小时100升的最微小的泄漏。在能源公司和天然气管网运营商的配合下，卡尔斯鲁厄技术大学恩格勒-邦特研究所（Engler-Bunte-Institute of Karlsruhe Technical University）的DVGW研究机构主持开展了一项旨在确定该系统适用性的综合性测试计划。作为这些测试的一部分，多项不同的参数（比如天然气泄漏量、气候条件以及直升机的高度和速度）进行了反复修改。测试证实，CHARM® 能够以符合适用行业规范的高标准可靠地检测高压管道。

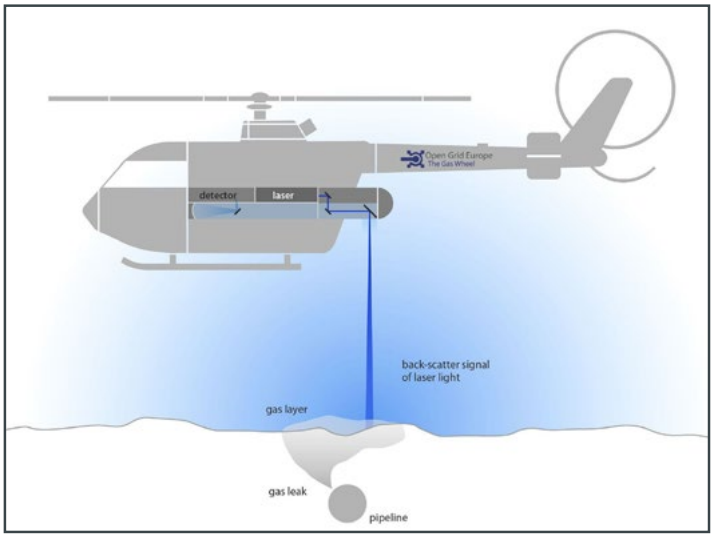


图1LIDAR 原理

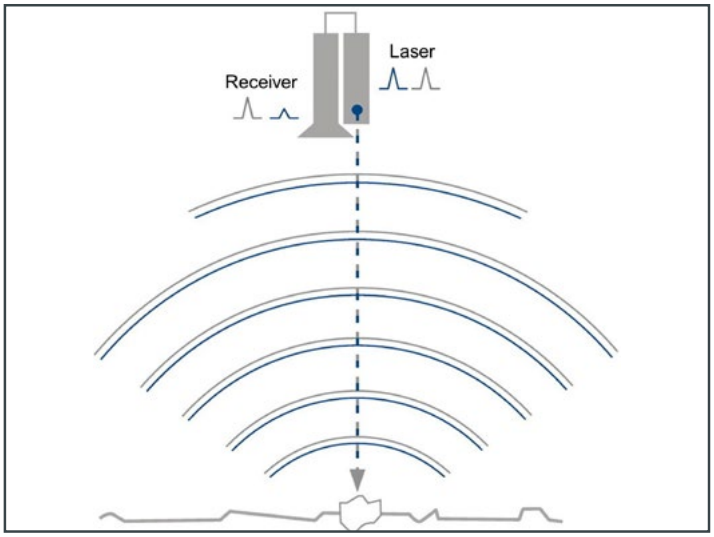


图2差分吸收激光雷达

参考文献

[1] 德国煤气与水技术科学协会：机载远程天然气检测，技术规则 – 指导公告，DVGW G 501 (M)，2012 年 3 月。
[2] Scherello, A.；Ulbricht, M. 和 Kern, T.：《经德国认证可用于城市天然气管网的机载泄漏检测仪》。《管道与天然气期刊》，74 至 75 页，2010 年 8 月。
[3] Scherello, A.：《机载天然气遥测 – 技术与程序》。2014 年管道技术会议会刊

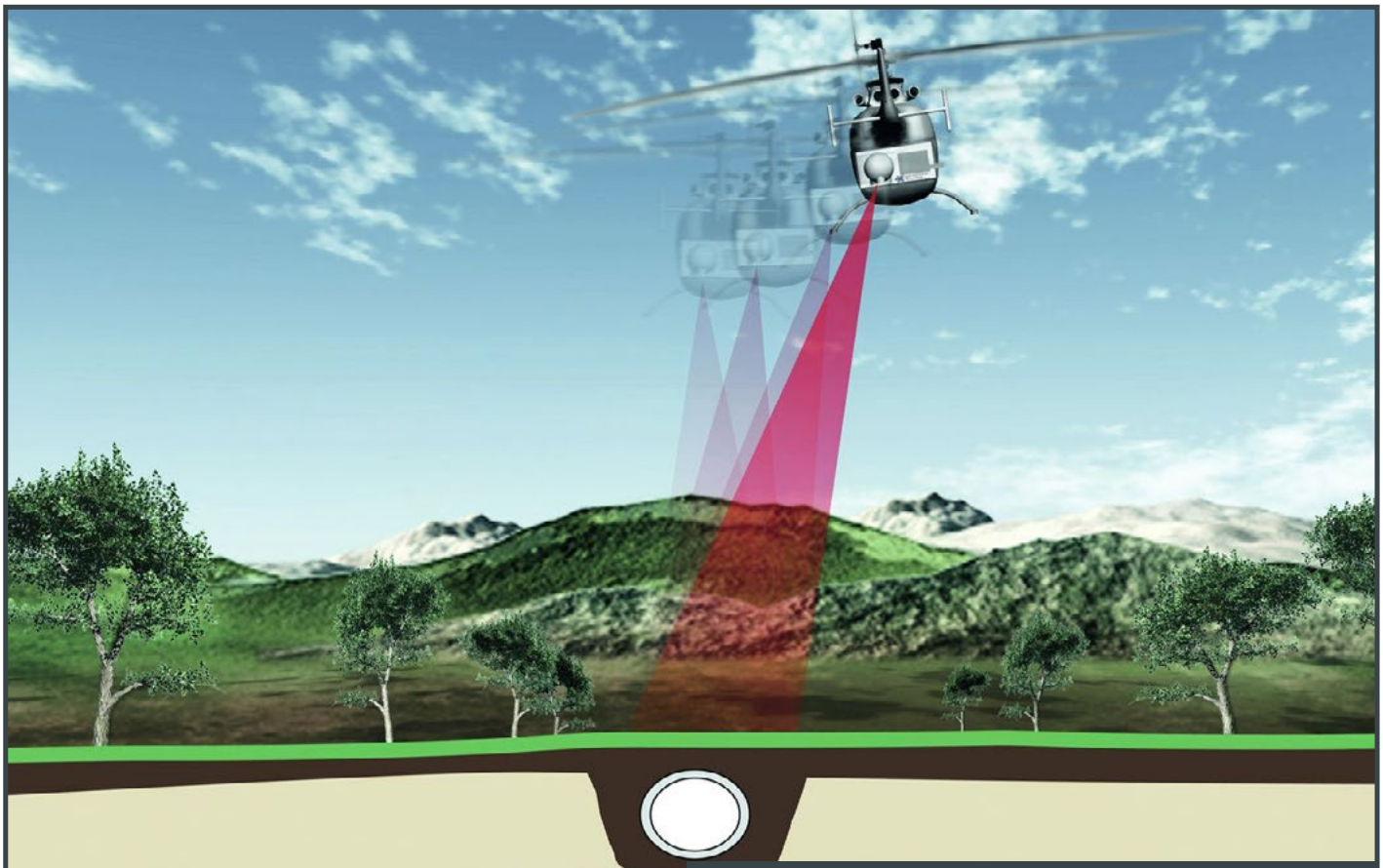


图3：CHARM® 自动跟踪功能的简图

CHARM® 概览

- 基于红外激光技术的机载远程天然气检测系统
- 可从80至140 米的高度，安全地识别出最微量的天然气痕迹
- 高灵敏度允许在操作过程中检测出浓度为 5 ppm 或以上的甲烷
- 以多达 30米的宽度完全覆盖管道路径
- 借助 CHARM®自动跟踪功能（CAT）发出的测量激光束可进行精确的地理定位
- 检测频率高，每秒进行1,000次双脉冲测量
- 检查过程中的巡逻速度很高（每小时50至150公里）
- 自动功能检查可确保所有系统组件均正常工作
- 自动化记录管道检查，实时报告各种指标
- 以高科技方法补充传统管道检查程序的不足之处
- 已通过DVGW指导准则G501认证：“机载远程天然气检测方法”
- 飞行检查的照片记录可让人了解到管道路径的大致情况
- 实践验证：在实际条件下，于风速 >3米/秒时，检测出每小时150升的地下泄漏

开发合作伙伴

除Open Grid Europe以外，下列组织也参与了 CHARM® 的开发工作：

Adlares GmbH, Air Lloyd Deutsche Helicopter Flugservice GmbH□Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) PLEdoc Gesellschaft für Dokumentationserstellung und -pflege mbH

作者

Axel Scherello 博士
Open Grid Europe GmbH
项目负责人 CHARM®
axel.scherello@
open-grid-europe.com

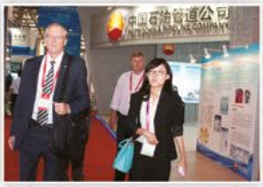
The 9th China International Pipeline Exhibition

Apr 12 -14, 2016

China·LangFfang International Conference And Exhibition Center

Global oil and gas pipelines industry event

350 exhibitors
40000 m² exhibition area
20000 professional visitors



30 industry seminars

International Pipeline Summit

Lang Fang International Pipeline Conference &Exhibtion Co., LTD

Web: www.pipechina.com.cn
Exhibition Hotline: 0316-6078315
Visit Hotline: 0316-2558883
Fax: 0316-2558877
Mail: expo@pipechina.com.cn

Hold at the same time

2016 China International Pipeline Summit
World Energy Pipeline Workshop
Trenchless Technology Seminars
Seminar on Pipeline Inspection and Maintenance
IPLOCA Asia Pacific Annual Meeting

OFFICAL WECHAT

检测概率

历史、发展与未来

> 作者: *Arvind Keprate* > 研究员 > 挪威斯塔万格大学机械与结构工程和材料科学系 *(University of Stavanger, Norway, Department of Mechanical & Structural Engineering and Materials Science)*

摘要

于在役检查期间运用各种无损检测（NDE）方法来检测管道裂缝，是石油天然气行业的一个惯例。NDE方法的功能可由名为检测概率（POD）的指标表示，该指标可通过POD曲线被表述为裂缝大小的函数。因此，本文将论述POD的各个方面。首先，简要探讨NDE的可靠性并介绍POD。然后，根据文献回顾，介绍POD曲线的历史和发展。最后，简要探讨POD的未来，即介绍由模型辅助的POD。

学术研究

前言

几种无损检测（NDE）方法在海上产业中被用于检测焊接结构裂纹[1]。《美国金属协会（ASM）手册》对上述内容进行了简要的讨论[2]。NDE产业将NDE方法分为传统和高级两类。传统NDE包括射线探伤（RT）、超声波探伤（UT）、染色渗透剂、目测、涡电流（EC）等方法，高级NDE技术则包括声发射（AE）、热红外、相控阵、衍射时差（TOFD）等方法[3]。

进行NDE活动时，除NDE成本以外，附带的相关脚手架搭建、防护套拆卸和清洁/准备活动也会产生费用[3]。因此，必须谨慎地为在役检查选择特定的NDE技术[3]。一般而言，有必要在选择特定NDE方法之前，理解需要考虑的问题。举例来说，如果在役检查要求对焊接结构进行体积检查，那么与其他传统NDE技术相比，UT和RT是优先选择的NDE方法[2]。

尽管可以使用多种高级NDE方法，但在役检查期间所用的NDE技术中有90%都是传统方法（如图 1 所示）[3]。因为传统NDE方法是在役检查领域的主流选择，所以有必要按各种属性对上述内容进行比较（如表 1 所示）[4]。NDE方法的效率可通过术语NDE可靠性进行量化，而NDE可靠性的定义是“在指定检测条件和程序下，在给定尺寸组中检测出裂缝的概率”[5]。NDE可靠性依据检测概率为90%的裂纹尺寸进行表述。上述裂缝尺寸被称为a90裂缝尺寸 [6]。然而，a90的值具有一定的统计误差，这一点可通过说明一个95% 的置信区间来表示。这一裂缝尺寸可表示为a90/95，并充当量化NDE可靠性的一个重要参数 [6]。

NDE可靠性的三个方面为再现性、重复性和能力。用于测量NDE能力的指标被称为检测概率（POD），其定义是“使用给定检测方法在组件中检测出给定损伤的概率”[7]。POD的其他定义可在文献中找到；但其所有定义均表明了与裂纹尺寸的强大相关性，这一点已在图2中通过POD曲线予以说明 [1]。了解得出POD曲线的方式很重要。因此，本文将在第2节介绍POD曲线的历史和发展。然后在第3节中简要探讨POD的未来，即概述由模型辅助的POD。最后，在第4节得出结论。

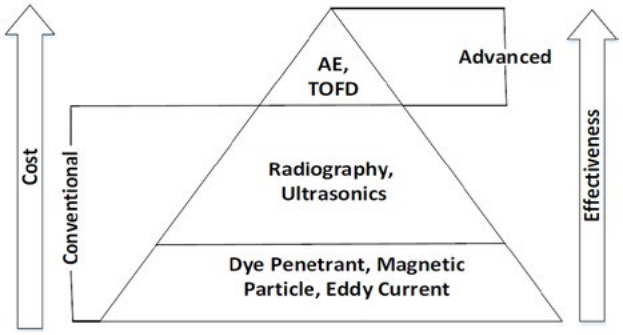


图1：在役检查期间NDE方法的使用情况 [3]。

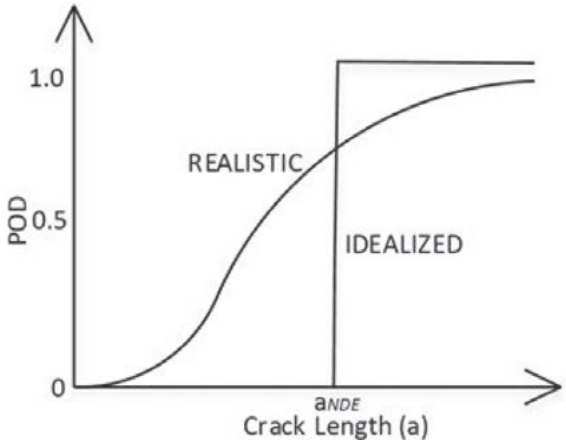


图2：现实POD曲线与理想化POD曲线的对比情况 [5]

POD 的历史背景和发展 POD 的起源

将POD函数用作量化NDE能力的指标在20世纪60 年代晚期左右和20世纪70年代早期经历过较大发展 [8]。1969年，美国国家航空和宇宙航行局（NASA）意识到，需要在设计和生产航天飞机的过程中量化NDE [9, 10]。为了达到损伤容限要求，NASA 依据可能被忽略的最大裂纹而非可能被探测到的最小裂纹对NDE可靠性进行评估 [9,10]。人们感觉到了这一转变的需要，因为与探测 NDE 方法可能忽略的最大裂纹相比，通过NDE方法探测最小裂纹更为麻烦、更不可靠。图3 描述了命中/未命中数据，并说明了探明最小裂纹和漏检最大裂纹之间的差距。

NASA 的NDE能力量化方法被纳入NASA-5009标准，不久后美国空军（USAF）便发布MIL A-83444文件，宣布采用该方法 [9, 10]。此后，POD的概念于 1973 年问世，并被纳入NASA航天飞机计划的设计要求 [11]。NASA POD开发项目是量化 NDE 能力的创举，而且很快便被视为标准方法

先使用移动平均数创建POD曲线的初始标定点，然后通过这些点手动拟合曲线 [12]。此后，产生了大量描绘POD曲线的方法。等式POD (a)= 可充当这些方法的主要方程式，而二项统计数据被用于计算置信界限 [13]。然而，这种非参数方法并不适当，因为其针对单个裂纹尺寸会产生一致的结果，但往往导致需要极多的样本数量才能获得合理的POD置信下限 [14]。

此后的1978年，USAF 和统计学家为分析命中/未命中数据而依据逻辑回归进行的大型NDE可靠性计划 [16] 发布了最终报告 [15]。该计划名为“Have-Cracks-Will-Travel”，其实验数据中包括大量范例，每个范例均包含两个长度几乎相同但具有明显不同POD的裂缝。这些结果清楚地表明，除裂缝长度以外，POD 还受到许多其他因素的影响 [17]。

注意的是，“Have-Cracks-Will-Travel”仅记录了“命中/未命中”数据。基于对上述数据的分析，Berens 和 Hovey [16] 提出了对POD的一种概率性描述，即“穿过相同长度所有裂缝检测概率平均数的曲线”。他们将这样的曲线称为回归曲线。上述方法记录在美国材料与试验协会（ASTM）特种文献中 [17]。上述文件中提到，非参数方法使用基于二项式的估算，与之相比，POD的对数优劣比模型可提供更好的 POD估算，而且离散更少。

“NASA POD开发项目是量化NDE能力的创举，而且很快便被视为标准方法.”

> Arvind Keprate

NDE方法	灵敏度（裂缝长度单位：mm）		现场应用的适应性				方法的测试设备		
	焊缝中	接头中	振动	温度	可及性	表面制备	复杂性	自动化	操作员依赖性
超声波探伤	3-7	7-13	良好	良好	尚可	适中	适中	尚可	高
射线探伤	13-25	13-25	尚可	良好	差	低	适中	差	高
涡电流	7-13	>25	良好	良好	优秀	低	适中	良好	适中
磁粉探伤	3-7	>25	良好	良好	尚可	适中	低	差	高
染色渗透剂	7-13	>25	良好	尚可	尚可	高	低	差	高

表 1：传统NDE方法的比较[4]。

POD分析的延伸

POD接下来的演进由自动化EC的开发推动；除“命中/未命中”数据以外，自动化 EC 还允许收集信号响应，而信号响应可被理解为感知到的裂纹尺寸（即 â vs a”数据）。[18] 中介绍了一种通过 â vs a”数据估算POD函数的方法。对信号响应数据的审查表明，该数据在对数尺度上一般呈线性，而方差在平均值附近正态分布，不受裂缝尺寸的影响 [19]。此后，Berens 证明，“对数正态”或“概率单位”最符合信号响应NDE数据 [11]。

20世纪 90年代末之前，Berens 发表于ASM手册中的研究成果被视为POD评估领域的主要参考标准 [14]。后来，这一成果被载入1999年出版的《美国国防部（DOD）手册》，用于POD研究 [20]。POD在发展过程中面临的主要挑战是准确计算置信区间（CI）[21]。自2000年起，有人建议对POD CI计算进行几点修改 [20]。首先，人们认为“命中/未命中”数据的 CI 过度保守，因为它们被同时应用于POD曲线上所有的点。这种CI计算方法以所谓的“沃尔德统计量”为依据 [21]。后来，有人推荐采用似然比方法进行更为准确的CI计算 [22]。

MIL-HDBK-1823 进行了修订，将POD CI计算方面的这些发展均纳入其中，最终 MIL-HDBK-1823A（MIL-HDBK-1823 的更新版本）于2009年出版 [23]。目前，MIL-HDBK-1823A被USAF和其他行业视为进行POD研究的技术现状指南。

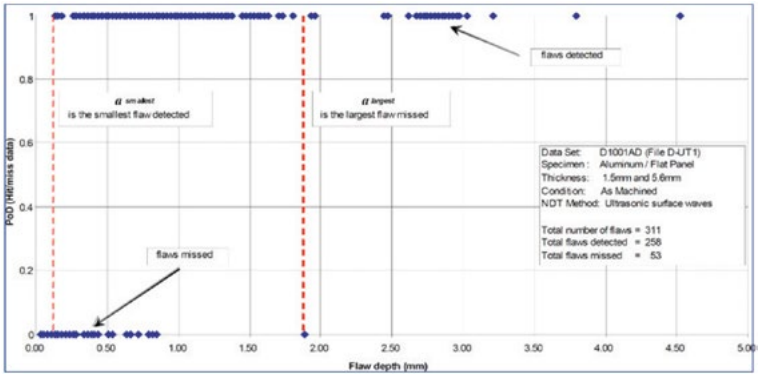


图3：描绘探明最小裂纹和漏检最大裂纹之间差距的超声波NDE命中/未命中数据 [11]。

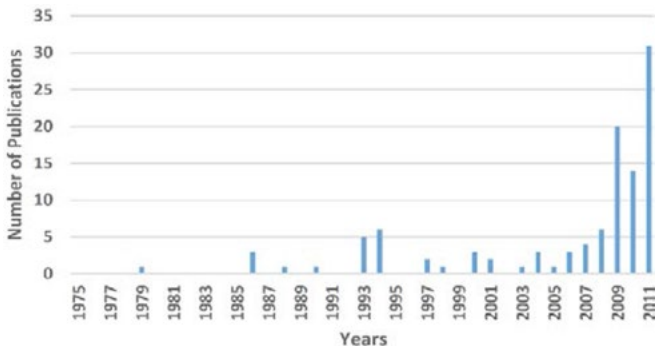


图4：NDE领域POD相关出版物的数量 [35]。

转向计算POD

20世纪90年代中期前，NDE检查的可靠性历来通过实验性试验进行评估。这项任务费时费力，因而POD曲线的生成原理开始从实验模型转向计算模型，这一转变在英国国家NDT中心和美国体现得最为明显 [24]。

1989年，爱荷华州立大学的Gray及其同事发表了一篇检验各种NDE可靠性模型的论文。作者得出结论：出于时间和经济方面的原因，有必要构建用于预测NDE可靠性的计算模型 [25]。后来，在1990年，爱荷华州立大学的Nakagawa和美国西南研究院的 Beissner 采用新方法，用理论物理建模技术取代了实验裂纹信号 [26]。作者从其研究工作中得出结论：计算机模拟可以取代大量实验室EC测量值，用于确定疲劳裂缝的POD [26]。

在爱荷华州立大学进行POD建模工作的同一时期，牛津哈维尔实验室的研究人员也在致力于开发计算POD模型。Ogilvy在1993年创建了一个数学模型，以预测传统超声脉冲回波检测探明的潜在面缺陷的理论POD [27]。1994 年，Wall和Wedgwood在假设能够改进并量化NDE测量的速度、覆盖范围和可靠性的情况下，审视了将由此获得的经济利益 [28]。

同一年，爱荷华州立大学的Schmerr和Thompson根据他们的研究得出结论：NDE 的建模使其能够完全集成到设计和使用寿命性能中 [29]。两年后即1996 年Meeker等人探讨了基于超声波散射原理、可用于预测缺陷信号分布测量值的物理模型 [30]。

接下来的一年，哈维尔国家NDT中心（NNDTC）的Wall发表了其对NDE可靠性建模和人为因素校正应用的看法[24]。同年，Thompson和Meeker对爱荷华州立大学开发的POD建模方法论进行了全面评述 [31]。

1998年，Sarkar等人将决定性POD模型与统计学模型结合起来，以便在检查条件下，而非得出实验数据的原始条件下，预测POD [32]。此后的2001年，Meeker等人介绍了一种综合运用物理建模和统计学建模的新建模方法，以说明未包含在物理模型中的其他重要因素（如人为因素、检测系统属性不可避免的变化）[33]。

POD的未来：由模型辅助的POD

近几年，爱荷华州和NNDTC都在继续开发模型，以确定POD结果。爱荷华州的研究人员已经在2004年成立了模型辅助POD（MAPOD) 工作组，并与美国空军研究实验室（AFRL）、美国联邦航空管理局（FAA）和NASA合作，力图探索计算POD机遇。同样地，NNDTC也在持续开发某些有趣的POD模型，以用于离岸产业中的合成材料、地板扫描仪漏磁和其他POD应用 [34]。

在过去三十年中，POD概念和方法已经得到广泛认可，持续的改进提高了其作为有用的NDE能力量化指标的认可度。如图3 所示，以POD为主题的出版物数量已在近几年得到大幅提高。这一事实反映了POD概念在NDE领域的普及程度和重要性 [35]。

参考文献

[1] A.Keprate，R.M.C.Ratnayake，2015 年。《海上建筑物和机械物品的疲劳与断裂退化检查：技术现状》。出自：《国际近海力学和北极工程会议 (OMAE2015) 会刊》，加拿大纽芬兰省圣约翰市。
[2]《ASM 手册》，1994 年。《无损检测与质量控制》，第九版，第 17 卷，美国俄亥俄州。[3] C. Matthews，2004 年。《机械在役检查手册：压力系统和机械设备》。Professional Engineering Publishing Limited，英国伦敦。
[4] S.B.Chase，1996 年。《面向下个世纪开发 NDT 技术》。出自：《结构材料技术：一场 NDT 会议》，美国加利福尼亚州圣地亚哥。
[5] W.D.Rummel，1982 年。《飞机制造领域 NDE 可靠性演示的推荐做法》。《材料评估》，第 40 卷，美国。
[6] A.P.Berens 和 P.W.Hovey，1988 年。《航空航天工业 NDE 可靠性的统计学评估》。《定量无损检测进展评述》，第 7B 卷，1761-1768 页，Springer，美国。
[7] DNV-RP-G101，2010 年。《基于风险的海上水线上部设施静态机械设备检查》。挪威船级社，挪威霍威克。
[8] HSE-RR-454，2006 年。《检测概率曲线：推导、应用及限制》。健康与安全执行局，英国默西塞德郡。
[9] NASA-STD-5009。《断口关键金属成分的 NDE 要求》。美国国家航空和宇宙航行局，美国华盛顿特区。[10] MIL-A-83444，1974 年。《USAF 损伤容限设计手册：损伤容限飞机结构的分析和设计指南》。
[11] W.D.Rummel 和 G.A.Matzkanin，1997 年。《NDE 能力数据手册》，第三版。NTIAC，德克萨斯州研究所，美国德克萨斯州奥斯汀。
[12] R.T.Anderson、T.J.DeLacy、R.C.Stewart，1973 年。《采用无损检测方法的疲劳裂缝检测》。NASA CR-128946，美国华盛顿特区。
[13] B.G.W.Yee、F.H.Chang、J.C.Couchman、G.H.Lemon 和 P.F.Packman，1976 年。《NDE 可靠性数据评估》。NASA CR-134991，美国华盛顿特区。
[14] A.P.Berens，1989 年。《NDE 可靠性数据分析》。《ASM 金属手册》，第九版，第 17 卷，689-701 页，美国俄亥俄州。
[15] W.H.Lewis、W.H.Sproat、B.D.Dodd 和 J.M.Hamilton，1978 年。《无损检测可靠性 — 最终报告》。《技术报告 SA-ALC/MME 76-6-38-1》，圣安东尼奥市空军后勤中心，美国。
[16] A.P.Berens 和 P.W.Hovey，1981 年。《NDE 可靠性表征评估》。AFWAL-TR-81- 4160。空军莱特航空实验室，莱特-帕特森空军基地，美国俄亥俄州。
[17] A.P.Berens 和 P.W.Hovey，1983 年。《裂纹检测概率估算的统计学方法》。《概率断裂力学与疲劳方法：结构设计和维护的应用》，ASTM STP 798，79-94 页，美国。
[18] P.G.Packman、J.S.Klima、R.L.Davies、J. Malpani、J. Moyzis、W.Walker、B.G.W.Yee 和 D.P.Johnson，1976 年。《无损探伤的可靠性》。《ASM 金属手册》，第八版，第 11 卷，214-224 页，美国俄亥俄州。
[19] D.S.Forsyth 和 J.C.Aldrin，2009 年。《构建自己的 POD》。《第四届欧美 NDE 可靠性研讨会会刊》，德国柏林。
[20] MIL-HDBK-1823，1999 年。《无损检测系统可靠性评估》。美国国防部。
[21] J.S.Knopp、R.Grandh、L.Zeng 和 J.C. Aldrin，2012 年。《NDE 数据统计分析注意事项：命中/未命中分析》。《高级维护电子期刊》，第 4 卷，第 3 辑，105-115 页，日本维护技术协会。
[22] C.Annis 和 J.S.Knopp，2007 年。《比较 90/95 计算的有效性》。《定量无损检测进展评述》，第 26 卷，1767-1774 页。
[23] MIL-HDBK-1823-A，2009 年。《无损检测系统可靠性评估》。美国国防部。
[24] M.Wall、F.A.Wegwood 和 S.Burch，1998 年。《NDT 可靠性 (POD) 建模和人为因素校正应用》。《第 7 届欧洲无损检测会议会刊》，第 3 卷，87-98 页，丹麦哥本哈根。
[25] J.N.Gray、T.A.Gray、N.Nakagawa 和 R.B.Thomson，1989 年。《NDE 可靠性预测模型》。《ASM 金属手册》，第九版，第 17 卷，701-715 页，美国俄亥俄州。
[26] N. Nakagawa、M.W.Kubovich 和 J.C.Moulder，1990 年。《自动化涡流测量系统探伤性能建模》。《定量无损检测进展评述》，第 9 卷，1065-1072 页，Springer，美国。
[27] J.A.Ogilvy，1993 年。《超声波脉冲回波检测概率预测模型》。《NDT & E International》，第 26 卷，第 1 辑，19-29 页，Butterworth- Heinemann LTD.，英国牛津。
[28] M.Wall 和 F.A.Wedgwood，1994 年。《NDT — 物有所值》。《洞察》，第 36 卷，第 10 辑，782-790 页，英国无损检测研究院，英国北安普敦。
[29] Jr.Schmerr、W.Lester 和 D.O.Thompson，1994 年。《NDE 模型和设计 — 统一的生命周期工程》。《定量无损检测进展评述》，第 13 卷，2183-2190 页，Springer，美国。
[30] W.Q.Meeker、C.P.Chiou、V.Chan 和 R.B.Thompson，1998 年。《钛中合成硬质 α 夹杂物检测的可靠性评估改进方法》。《定量无损检测进展评述》，第 17b 卷，2061-2068 页，Springer，美国。
[31] R.B.Thompson 和 W.Q.Meeker，1997 年。《纳入物理模型洞察力的 POD 确定方法论》。《欧美研讨会会刊之 NDE 可靠性和验证方法确定》，107-114 页，德国柏林。
[32] P.Sarkar、W.Q.Meeker、R.B.Thompson、T.A.Gray 和 W. Junker，1998 年。《超声波探伤检测概率建模》。《定量无损检测进展评述》，第 17b 卷，2045-2052 页，Springer，美国。
[33] W.Q.Meeker、C.P.Chiou、V.Chan 和 R.B.Thompson，2001 年。《超声波探伤检测概率的一种预测方法》。《定量无损检测进展评述》，第 17b 卷，2045-2052 页，Springer，美国。
[34] M.Wall 和 S.Burch，2000 年。《旨在评估 NDT 内在能力的建模价值》。第 15 届世界 NDT 会议，意大利罗马。
[35]J.H.Kurz、A.Jungert、S.Dugan 和 G.Dobmann，2012 年。《使用超声相控阵确定 POD 以便在概率损失评估中考虑 NDT》。第 18 届世界无损检测会议，南非德班。
[36] H. B. Shan、M. LI、H.D.Chen 和 T. M. LV，2008 年。《超声波探伤模拟软件的开发》。第 17 届世界无损检测会议，2008 年 10 月 25 日至 28 日，中国上海。

	CIVA	simSUNDT	UTSIM
模拟范围	计算组件内的超声场以及超声场和缺陷之间的相互作用。	计算组件内的超声场以及超声场和缺陷之间的相互作用。	计算组件内的超声场以及超声场和缺陷之间的相互作用。
探头	单元件、双元件、串联、TOFD、聚焦式、接触式、浸入式、相控阵。	接触式、浸入式	接触式。
组件	组件可为平面、圆柱形、圆锥形、球形、弯头或复杂形状。组件的材料可为金属、纤维复合材料或颗粒复合材料。	组件主要为平面物体。组件的材料可为各向同性或各向异性。	组件可为任何复杂形状。组件的材料必须为各向同性。
缺陷	校准缺陷：球面气孔、边钻孔、平底孔和半球形孔。平面缺陷：任意尺寸和方向，矩形或半椭圆形。	体积型缺陷：球形空腔、球形内含物、球腔、边钻孔；裂缝类缺陷：圆形裂纹、矩形裂缝、条状裂缝、表面断裂、条状裂缝。	许多不同类型的缺陷，包括微小平面缺陷等。
应用	分析实验数据，增强缺陷定位和定性。设计和优化检测方式，尤其是适用于相控阵探头的检测方式。CIVA可帮助确定延迟规律和相控阵探头的形状。	优化建议实际检测时使用的探头的角度、频率和带宽。 证明这些参数的可接受范围合理。	预测复杂几何形状中的超声场和缺陷回声。 优化变换器的位置。训练。

表2：各种 UT 模拟工具的对比[36]。

目前，多种不同的方法被用于通过计算方式预测各种NDE方法的POD曲线。通过使用这些方法，多种 NDE 模拟工具（如 CIVA、Imagine 3D、simSUNDT、UTSIM、VirtualNDE 等）均已走向市场。表2对比了其中三种最常用的UT模拟工具。

使用这些模拟工具的好处是，相比之下，它们更易于使用、消耗的时间更少、价格更低。通常情况下，向这些模型执行输入旨在改变扫描速率、缺陷方向、阈值设置等参数，以获得一致的POD和误报概率（POFA）估算值 [34]。模型计算的另一好处是，这些计算是POFA数据的唯一来源，因为 POFA 的实验数据数量极少 [34]。另外，也实现了对历史数据的评估，优化了设计。筹划和使得有价值的实验数据能够延伸到新应用。

结论

传统NDE方法主要在在役检查期间使用，旨在检测焊接结构的缺陷。因此，更新组件的可靠性通常依赖于NDE 的检测结果；因而，有必要对 NDE方法的检测能力进行量化。这种量化被称为NDE可靠性NDE可靠性主要依据可能被忽略的最大裂纹而非可能被探测到的最小裂纹进行评估。此外，上述缺陷尺寸通常存在较大的差距。检测概率为 90% 的裂纹尺寸可用于表述NDE可靠性。上述裂缝尺寸被称为 a90 裂缝尺寸 [6]。然而，a90的值具有一定的统计误差，这一点可通过说明一个95%的置信区间来表示。这一裂缝尺寸可表示为a90/95。

为POD建模已被普遍视为NDE能力的量化指标，并可表达为以POD曲线表示的裂缝尺寸函数。本文已概述POD的历史背景和发展。20世纪90年代中期以前，POD概念的所有应用基本上完全根据经验。由于通过实验确定POD曲线既费时又费力，目前的重点已经转向由模型辅助的POD。使用这些模拟工具的好处是，相比之下，它们更易于使用、消耗的时间更少、更加经济实惠。目前，市场上提供各种NDE模拟工具，在不久的将来，计算POD 生成领域需要更多的发展。

作者

Arvind Keprate
研究员
挪威斯塔万格大学。
arvind.keprate@uis.no

一期 ptj 内容：

规划 与 施工

2016 年专刊

ptc 版本的 ptj 将讨论管道施工的最近进展和技术以及规划程序。

切勿错过

读者群体为28,000多名管道行业的高层管理者、工程师和监理。

www.pipeline-journal.net

有关广告事宜，请联系：
Mr. Admir Celovic
电话：+49 (0)511 90992-20
电子邮件：celovic@eitep.de

官方出版

出版周期
每年六期，下一期出版时间：2016 年 5 月
稿件截止时间：2016 年 4 月 18 日
广告截止时间：2016 年 4 月 29 日

第11届管道技术会议

2016年5月23日至25日，德国柏林，艾司特尔会议中心 (ESTREL CONVENTION CENTER)

ptc

铂金赞助商

ROSEN empowered by technology

金牌赞助商

NDT GLOBAL

ILF CONSULTING ENGINEERS

PII Pipeline Solutions a GE Oil & Gas and Al Shaheen joint venture

银牌赞助商

HERRENKNECHT Tunnelling Systems

GLD GOTTSBERG LEAK DETECTION

DNV·GL

Schneider Electric

YOKOGAWA

www.pipeline-conference.com

ptc 咨询委员会 / ptj 编辑委员会

an EITEP event

主席

Klaus Ritter博士，总裁，EITEP Institute

Uwe Ringel，董事总经理，ONTRAS Gastransport

成员

Muhammad Sultan Al-Qahtani，管道总经理，Saudi Aramco

Arthur Braga，董事，RB&B Consulting

B.D.Yadav 博士，执行董事（运营和项目），Indian Oil Corporation

Andreas Haskamp，管道合资经营管理，BP Europa SE

Maximilian Hofmann，常务董事，MAX STREICHER

Dirk Jedziny，副主席 - Cluster Ruhr North 负责人，Evonik Industries

Herbert Willems，全球 ILI 技术支持，NDT Global

Ralf Middelhauve，流程工业/工厂工程/运营中央部门负责人，T ü V NORD Systems

Hermann Rosen，总裁，ROSEN Group

Roger Vogel，销售经理 - EURA，PII Pipeline Solutions

Uwe Breig，执行董事会成员/BU Utility Tunnelling，Herrenknecht

Asle Venas，全球管道总监，DNV GL

Hans-Georg Hillenbrand 博士，技术服务总监，Europipe

Thomas H ü wener 博士，技术服务常务董事，Open Grid Europe

Cliff Johnson，主席，PR CI - Pipeline Research Council International

Reinhold Krumnack，部门负责人，DVGW - German Technical and Scientific Association for Gas & Water

Joachim M ü ller-Kirch- enbauer 博士兼教授，能源和资源管理专业，柏林工业大学

Prodromos Psarropoulos 博士，结构和土力工程师，雅典国家技术大学

Juan Arzuaga，行政秘书，IPLOCA

Filippo Cinelli，高级营销经理 GE Oil & Gas

Jens Focke，首席执行官，BIL

J⊠rg Himmerich，常务董事/技术专家，Dr.-Ing. Veenker Ing.-ges.

Mark David Iden，董事，Charterford House

Gerhard Knauf 博士，机械工程部门负责人，Salzgitter Mannes- mann Forschung/秘书长，EPRG

Mike Liepe，线路和管道业务解决方案主管，西门子

Frank Rathlev，网络运行经理，Thyssengas

Ulrich Schneider，欧洲大陆业务发展经理，KTN

Markus Rieder，管道部门负责人，T⊠V S⊠D Industrie Service

J ü rgen Schmidt 博士，卡尔斯鲁厄理工学院 (KIT) 教授

Steffen Paeper，海上工程师，South Stream

Tobias Walk，管道系统项目总监，ILF Consult- ing Engineers

Carlo Maria Spinelli，技术规划师，eni gas & power

Heinz Watzka，高级顾问，EITEP Institute

会议管理人员

Dennis Fandrich，会议主管，EITEP Institute

拨冗莅临

第 11 届管道技术会议

2016 年 5 月 23 日至 25 日，德国柏林，艾司特尔会议中心
(ESTREL CONVENTION CENTER)

ptc

欧洲领先的新管道技术会议和展览会

近500名与会者造访第10届柏林PTC

向国际业内人士介绍行业发展动态

2015 年柏林第 10 届管道技术会议回顾

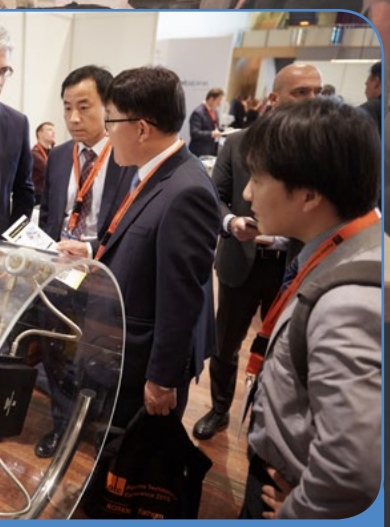
第10届管道技术会议（6 月 8 日至 10 日在柏林召开）云集49个不同国家的代表团和493位与会者共襄盛举（包括53位国际管道运营商的职员和管理人员、47位参展商、10位赞助商、70位演讲者和12位海报展策展人员），正成长为全球管道社区的一项重要盛会。

管道技术会议（ptc）旨在汇聚全球的运营商以及技术和服务提供商来提高管道技术。因此，会议在13场技术分会及其开幕专题讨论会中论述了管道社区如今面对的主要行业挑战。石油天然气行业的国际市场重要参与者均派专家到场参会，他们介绍了近期和未来的各种“安全”问题。他们的真知灼见和专业知识通过现场投票直接纳入讨论会和各种参与活动的内容中。

与会议同期举行的技术展览使30多位媒体合作伙伴有机会在展览期间进驻媒体休息室。随后举办了海报展、会后研讨会和社交活动，代表们借此良机从行业领导者和创新者那里获得巨大的经验财富，并全面了解关键行业问题和创新解决方案。

独特的闭幕专题讨论会以“德国能源转变”为主题，重点关注管道在迈入可再生能源时代的德国、欧洲和全世界将面临怎样的未来。

会议的所有摘要和论文均已在 ptc 网站上公布，供世界各地的研究人员和科学家赏读(www.pipeline-conference.com/abstracts)。
有关更多信息，请访问 www.pipeline-conference.com。



与国际业内人士交流

与会者在展览上建立人脉

600+ 个代表

50+ 个参展商

55+ 个国家/地区

管道技术会议 (ptc) 与管道和下水道会议

作为欧洲领先的管道会议和展览，第11届管道技术会议（ptc）即将拉开帷幕，再次为运营商以及技术和服务提供商提供绝佳良机，来交流最新的技术，并掌握支持全球能源战略的行业发展成果。

会议将呈献以“管道安全”、“德国能源转变”、“挑战性管道”和“海上技术”为主题的专题讨论会和特别聚焦分会。会议还将首次举行“科技发展海报展”，展现当前和今后研究活动的最新动态。

ptc将围绕石油、天然气、水和产品管道系统的方方面面，带来多场讲座和演示。有50多位参展商参与的展览将展示最新的管道技术和产品。今年的ptc将与第 1 届 PASC（管道和下水道会议）同期举办。首次亮相的PASC专注于低压管道和下水道，相关提供商将有机会交流该领域内最新技术和发展趋势。此外，PASC还将为同时活跃于两项展会的提供商带来协同效应。

有关更多信息，敬请访问：www.pipeline-conference.com 和 www.pipeandsewer.com

“64%的ptc代表们来自国外（欧洲、中东、北美、南美、亚洲等）”

35+ 支持者

17 2016 年 ptc/pasc 的技术分会

- 完整性管理
- 管道内检查
- 泄漏检测
- 修理/恢复
- 材料
- 涂层/腐蚀
- 泵和压缩机站
- SCADA/自动化
- 遥感
- 海上技术
- 规划与施工
- 非开挖施工
- 非开挖修复
- 法律评估
- 检查
- 资产管理
- 废水处理

有关会议程序的细节可在以下网站上找到：

www.pipeline-conference.com
www.pipeandsewer.com

ptc

第 11 届管道技术会议

欧洲最大的管道盛事

国际管道社区在欧洲心脏举行的年度聚会

管道技术会议在诞生之初仅为规模盛大的2006年汉诺威工业博览会贸易展上的一场小型活动，如今已发展成为欧洲最大的管道会议和展览。自2012年起，EITEP Institute开始自行组织ptc，并于2014年将活动移至柏林举办。

同期活动

第一届管道和下水道会议

欧洲全新的管道和下水道盛会

针对管道和下水道行业所面临的挑战提供国际交流平台

ptc关注世界各地的高压石油、天然气和水管道，PASC则涵盖了有关供气、供水、区域供暖/供冷管道和下水道的所有主题。与ptc的协同效应对于提供所有压力级别产品的提供商尤其重要。

ptc / PASC 之旅 兼顾 柏林 观光

国际PTC社区相聚于柏林

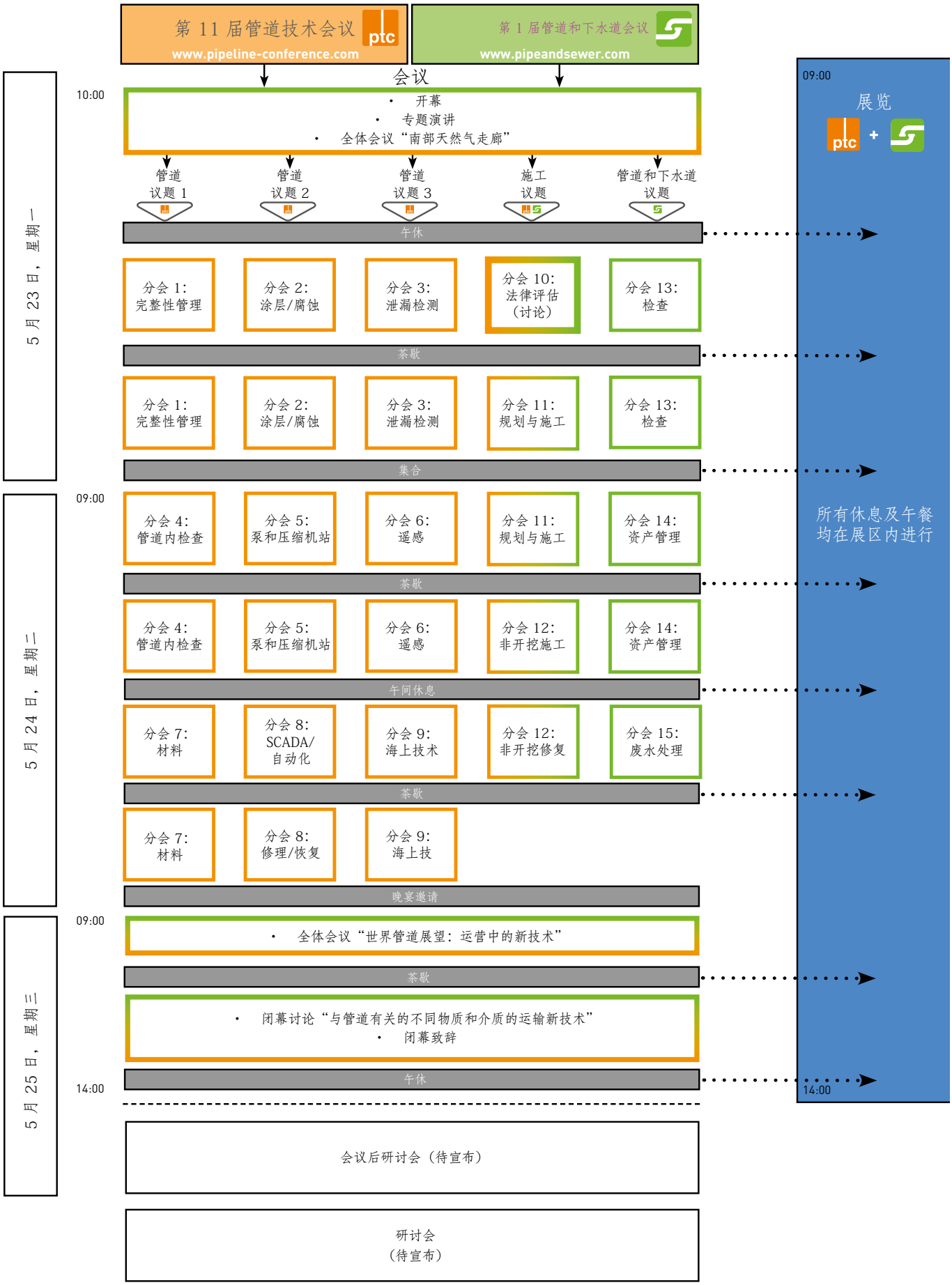
柏林拥有超过775年的历史，在过去的数十年间，历代柏林人都在城里留下了纪念碑和地标性建筑。这座首都是国际会议和贸易展览会的中心，也是德国举行会议最多的城市。柏林处于欧洲的时尚前沿，提供一流的基础设施、多样化的服务以及丰富的购物选择和夜生活场所。

柏林是世界性的文化之都、政治之都、媒体之都和科学之都。其经济以高科技公司和服务行业为基础，涵盖了各种创意产业、研究设施、媒体公司等等。柏林作为欧洲大陆的航空和铁路交通枢纽，具有高度复杂的公共交通。

网络。这座大都市是热门的旅游目的地。其比较重要的产业还包括信息技术、制药、生物医学工程、清洁技术、生物技术、建筑以及电子产品。柏林是德国的16个州之一，人口多达350万。它还是该国最大的城市。

第 11 届 PTC /第 1 届PASC

会议日程安排



1第 11 届管道技术会议
2016 年 5 月 23 日至 25 日，德国柏林，艾司特尔会议中心 (ESTREL CONVENTION CENTER)

ptc

欧洲领先的新管道技术会议和展览会，将在德国柏林的艾司特尔会议中心举行

www.pipeline-conference.com

ptj Pipeline Technology Journal

PTJ中涵盖：有关研究、行业和实践的报告，创新概念和技术的演示，以及有关管道安全的特别报告。
ptj将被发送给28,000多名国际决策者和管道行业专家。

下一期出版时间：
2016 年 5 月

www.pipeline-journal.net

PTJ 在合作伙伴活动上的特别派发安排		
管道运营及维护	2016 年 4 月 11 日至 14 日	巴林麦纳麦
2016年中国国际管道展览会	2016 年 4 月 12 日至 14 日	中国廊坊
第3届国际管道涂料会议	2016 年 4 月 20 日至 21 日	阿联酋迪拜
第11届管道技术会议（ptc）	2016 年 5 月 23 日至 25 日	德国柏林
第1届管道和下水道会议（PASC）	2016 年 5 月 23 日至 25 日	德国柏林

الهيئة الوطنية للنفط والغاز
NATIONAL OIL & GAS AUTHORITY

Held under the Patronage of His Excellency Dr. Abdul Hussain bin Ali Mirza,
Minister of Energy, Kingdom of Bahrain

PIPELINE OPERATIONS & MANAGEMENT 2016 MIDDLE EAST

11-14 APRIL 2016
GULF CONVENTION CENTRE
MANAMA, BAHRAIN

PLATINUM ELITE SPONSOR

أرامكو السعودية
saudi aramco

SILVER SPONSORS

بابكو
Bapco

Clock Spring®

ROSEN
empowered by technology

مجموعة القريان
Al Qaryan Group

CONFERENCE – 12-14 APRIL

Technical tracks presented by industry leaders covering a wide range of subjects will run over the three day event.

The Conference tracks include;

- Track A – Corrosion
- Track B – Repair
- Track C – Design
- Track D – ILI
- Track E – Operations'
- Track F – Management
- Track G – Cracks and SCC
- Track H – Integrity
- Track I – Offshore
- Track J – Materials
- Track K – Coatings
- Track L – Leak detection
- Track M – Maintenance

View the full Conference programme at www.pipelineconf.com

WORKSHOPS – 11 APRIL

Preceding the conference, six Topical Workshops will be held.

The topics include;

- Workshop 1: In-line inspection of traditional and challenging pipelines – an overview
- Workshop 2: Microbiological corrosion
- Workshop 3: Direct assessment
- Workshop 4: Best practices in offshore pipelines
- Workshop 5: Managing black powder
- Workshop 6: Pipeline integrity – management and programmes

EXHIBITION – 12-14 APRIL

A comprehensive exhibition will be part of the event, allowing companies from around the world to showcase their products and services. Visit our website to book your space.

For more information or to register visit www.pipelineconf.com

11TH PIPELINE TECHNOLOGY CONFERENCE

EUROPE'S BIGGEST PIPELINE CONFERENCE AND EXHIBITION

www.pipeline-conference.com

1ST PIPE AND SEWER CONFERENCE

INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON PIPE AND SEWER TECHNOLOGIES

www.pipeandsewer.com

23-25 MAY 2016
ESTREL CONVENTION CENTER
BERLIN, GERMANY

- 600+ DELEGATES
- 55+ DIFFERENT NATIONS
- 50+ EXHIBITORS
- DELEGATIONS FROM 50+ DIFFERENT PIPELINE OPERATORS

EITEP Euro Institute for Information and Technology Transfer | ROSEN empowered by technology | ILF Consulting Engineers | NDT Global | PII Pipeline Solutions a GE Oil & Gas and Al Shaheen joint venture | Yokogawa | Schneider Electric | Herrenknecht | GLD | DNV·GL

Europe's biggest onshore & offshore pipeline conference & exhibition:
www.pipeline-conference.com **www.pipeandsewer.com**