



油气管道科技丛书

8

油气管道 检测与修复技术

中国石油管道公司 ◎ 编

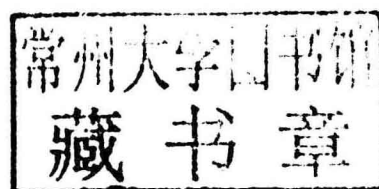


石油工业出版社

油气管道科技丛书

油气管道检测与修复技术

中国石油管道公司 编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了在役管道检测技术、在役储罐检测技术以及管道维修抢修技术三部分内容。其中在役管道检测技术主要阐述了管道超声导波检测技术、超声相控阵和衍射时差(TOFD)检测技术、非开挖检测技术等检测技术；在役储罐检测技术主要阐述了声发射和机器人检测技术和平板导波技术；管道维抢修技术主要阐述了管道维修技术和管道抢修技术。

本书可供管道设计、施工、运营单位与相关工作人员使用，也可作为石油工程技术、科研及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气管道检测与修复技术/中国石油管道公司编.

北京:石油工业出版社,2010.7

(油气管道科技丛书)

ISBN 978-7-5021-7839-0

I. 油…

II. 中…

III. ①石油管道-检测

②天然气管道-检测

③石油管道-修复

④天然气管道-修复

IV. TE973

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第103545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.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523579 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:中国石油报社印刷厂

2010年7月第1版 2010年7月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:11.25

字数:274千字

定价:48.00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

《油气管道科技丛书》编委会

主任：姚 伟

副主任：崔 涛 杨祖佩 赵丑民 艾慕阳 张秀杰

委员：刘玲莉 康力平 权忠舆 佟文强 刘广文

郝建斌 李 立 李 莉 刘建平 张一玲

张惠芬 王禹钦

《油气管道检测与修复技术》编写组

编写人：王维斌 王禹钦 李荣光 康叶伟 林明春

刘桂春 张一玲 潘红丽 石 蕾 孙 盛

刘 哲 李景昌

审核人：权忠舆 刘建平

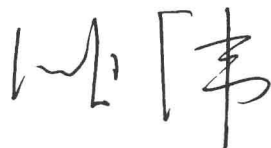
序

今年是“八三”管道建设40周年。40年前的8月3日，经党中央、国务院批准，大庆经铁岭至抚顺和秦皇岛输油管道工程建设领导小组召开了第一次会议，并将这项工程命名为“东北八三工程”。由此，拉开了我国长距离输油气管道建设的序幕，开创了油气管道运输的一个新的时代。40年来，中国的油气管道从小到大、由弱到强，特别是近10年来得到了突飞猛进的发展，现已成为国家能源重要战略基础设施，为国民经济和社会发展做出了巨大贡献。

回顾40年来我国油气管道的发展历程，既是一部艰苦创业史，更是一部科技创新史。自“八三”管道开始，几代管道人以敢为天下先的精神，以大无畏的英雄气魄，迎难而上，努力拼搏，使我国起步较晚的管道事业有了长足进步。其间，科技进步成为发展的助推器。当年在冻土带管道建设、严寒条件下管道防腐、三高原油工艺参数确定等方面开展了大量艰苦细致的科学试验，为管道的顺利建设提供了技术保障，建立了管道勘察、设计、施工及运营的技术标准，为中国管道运输业的发展奠定了基础。此后，在密闭输送、节能降耗、提高效率等技术改造过程中，科技进步始终发挥着支撑和引领作用。

历史表明，科技创新是推进企业发展的巨大动力。随着经济社会发展和国家油气资源战略的实施，油气管道正进入新一轮大发展时期。面对快速发展中的瓶颈技术和当前制约安全生产的难点问题，必须依靠科技进步加以解决。通过科技创新，加快经济发展方式的转变，提高全面协调可持续发展能力，实现管道事业又好又快发展。

为纪念“八三”管道建设40周年，梳理和总结40年来管道科技发展成果，中国石油管道公司组织编写了这套《油气管道科技丛书》。全套丛书共有9个分册，分别对油气管道运行工艺、化学添加剂、流动保障、完整性管理、腐蚀控制、安全预警与泄漏检测、地质灾害风险管理、检测与修复及国内外技术标准等进行了介绍。这套技术丛书，既是对以往管道运行管理技术的回顾和总结，也是对未来管道科技工作的规划和展望。期冀此套丛书成为管道科技发展的新起点，为管道安全运行提供支撑和保障。



2010年5月 于廊坊

前 言

为了纪念“八三”管道工程40周年,总结40年来管道科技成就,为科研、设计、运营管理、领导决策提供参考资料,中国石油管道公司组织专家学者和科技人员共计200余人,历时两年编制了这套油气管道科技丛书。全套丛书共分为9个分册,包括:《油气管道运行工艺》、《油气管道化学添加剂技术》、《油气管道流动保障技术》、《油气管道完整性管理技术》、《油气管道腐蚀控制实用技术》、《油气管道安全预警与泄漏检测技术》、《油气管道地质灾害风险管理技术》、《油气管道检测与修复技术》、《国内外油气管道标准对比分析》。本书是系列丛书的第8分册。

近年来,随着国内能源需求的快速增长,油气管道及相关储运设施的建设始终保持了强劲的增长势头。我国在役长输油气管道总长超过 6×10^4 km,其中相当一部分经多年服役,已出现不同程度的腐蚀而需要进行检测、改造、修复或降压运行。运用完整性管理技术,能够确保管道始终处于完全可靠的服役状态。管道检测与修复技术是完整性支持技术的重要组成部分,能够及时发现并修复管体存在的缺陷,使管道始终处于受控状态,充分满足物理上和功能上的完整。

检测技术分为内、外检测技术。作为内检测技术的有效补充,外检测技术主要应用在不能清管的干线管道、站场、炼厂、油田管网及其附属设施上,如储罐、阀门、压缩机等的检测。外检测技术近年来发展迅速,涌现出大量高新的检测技术,如超声导波检测技术、平板导波检测技术、超声相控阵和衍射时差(TOFD)检测技术、声发射检测技术、非开挖系列检测技术以及其他无损检测技术。每种检测技术都有各自的适用范围和特点,组合起来使用,有效保障了油气管道及其设施的完整性。本书主要介绍外检测技术的分类、技术原理、特点、技术指标和应用情况等方面内容。

管道修复技术包括管道维修技术和管道抢修技术两大类。本书主要介绍这两大类修复技术中国内外较为先进的修复技术及方法,使读者了解到管道修复技术整体情况和修复技术的特点和使用范围。

由于管道检测可避免或减少管道事故发生,准确全面了解管道状况,科学预测管道未来的运行状况,指导管道管理者和操作者经济可靠地维护管道,变过去的不足维护和过剩维护为视情维护,因此大力发展长输油气管道检测事业,提高管道修复水平是延长老管道的使用寿命、预防事故发生、保障管道安全运行的重要保证。

本书编者均为长期从事油气管道检测与修复技术的科研技术人员。本书第

一篇及第二篇第二章由王维斌、王禹钦编写，第二篇第一章由康叶伟、林明春、刘桂春编写，第三篇第一章由李荣光编写，第三篇第二章由张一玲、潘红丽、石蕾、孙盛、李荣光、刘哲、李景昌编写，全书由王维斌统稿，权忠舆、刘建平审稿。

本书在编写过程中同时参考了许多同领域专家、学者的著作和研究结果，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和错误之处，敬请读者批评、指正。

编 者
2010 年 5 月

目 录

第一篇 在役管道检测技术

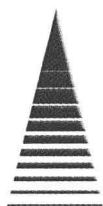
第一章 管道超声导波检测技术	3
第一节 概述	3
第二节 超声导波工作原理	4
第三节 油气管道超声导波检测技术发展及现状	5
第四节 超声导波检测系统	9
第五节 在役管道的超声导波检测	13
第六节 超声导波数据分析智能诊断系统	25
第七节 基于导波聚焦扫描的管道长距离成像	27
第八节 埋地管道导波监测技术	29
参考文献	31
第二章 超声相控阵和衍射时差 (TOFD) 检测技术	33
第一节 超声相控阵和 TOFD 检测技术的历史和现状	33
第二节 超声相控阵和 TOFD 基本原理	35
第三节 焊缝扫查器改进及设置	40
第四节 人工缺陷检测试验	42
第五节 管体焊缝检测	54
参考文献	70
第三章 非开挖检测技术	72
第一节 不能清管管道的地面上 NoPig 检测技术	72
第二节 无接触式磁应力层析成像技术	76
第三节 瞬变电磁技术	79
参考文献	80
第四章 其他检测技术	81
第一节 在役管道内检测技术	81
第二节 三轴高清漏磁内检测技术	84
第三节 其他外检测技术	85

第二篇 在役储罐检测技术

第一章 声发射和机器人检测技术	91
第一节 概述	91
第二节 声发射检测技术	92
第三节 储罐机器人检测技术	95
参考文献	103
第二章 平板导波技术	105
第一节 概述	105
第二节 国内外现状及技术发展	106
第三节 平板导波技术原理	107
第四节 平板导波技术在罐底检测中的应用	108
第五节 板波在罐底焊缝中传播规律	110
第六节 通过透射层析成像技术定位不均匀位置	114
参考文献	117

第三篇 管道维抢修技术

第一章 管道维修技术	121
第一节 概述	121
第二节 管体缺陷碳纤维复合材料修复技术	133
第三节 管体缺陷 B 型套筒修复技术	138
第四节 管道防腐涂层自动喷涂技术	145
参考文献	152
第二章 管道抢修技术	153
第一节 应急预案编制	153
第二节 管道泄漏控制与回收技术	157
第三节 溢油污染环境修复技术	161
第四节 管道抢修设备缆索运载技术	168
第五节 在役管道焊接技术	169
参考文献	172



第一篇



在役管道检测技术



第一章 管道超声导波检测技术

第一节 概 述

管道运输业是一个庞大的工业体系，在石油天然气工业中发挥越来越重要的作用。管道输送的基本要求是安全、高效。管道系统在长期服役中，由于腐蚀、疲劳破坏或管道内部的潜在缺陷致使管道开裂，工业事故频繁发生，不仅造成巨大的经济损失，而且对社会和环境也产生了严重的后果。因此，工业发达国家均高度重视管道检测技术的研究和开发，对在役长距离油气输送管道实行强制性的检测，特别是对新建和老龄管道更是十分关注。目前，我国多数油气管道已进入中老年期。由于历史原因，这些始建于 20 世纪 50 ~ 70 年代的油气管道，经过三四十年的运行已进入事故多发期。为防止管道腐蚀穿孔、爆管等恶性事故的发生，我国每年用于油气管道维修费用达数亿元，且有逐步增加的趋势。由于受检测手段的制约，管道损伤状况多数不明，往往造成盲目开挖、盲目报废，维修缺少科学性，从而造成人力、物力的巨大浪费。因此，定期对管道的完整性进行检测成了维护管道不可或缺的必要手段；寻找一种经济实用、快速高效的管道检测技术成为亟待解决的问题。

含缺陷管道的检测问题一直是困扰管道安全工作者的重要课题。传统的无损探伤检测方法，如超声、射线等逐点检测方法，只能对传感器对应的部位进行检测。内检测技术的发展，解决了许多长输管道的检测效率等难题，但对于某些难以接近的管道系统，如套管，穿公路、铁路、架空管道以及穿越段的管道，不能内检测的埋地管道以及许多不能清管的管道，使用常规检测方法很难实现对管道缺陷的检测。

常规的超声波检测，只能测到传感器下管壁的厚度。所以，在检测大范围管线时速度很慢，且常常需要找出有代表性的特征点进行检测。对于进行大面积腐蚀缺陷的测量，需要在管钢表面对缺陷进行多点测量，以取得较为接近真实情况的测量结果。如果超声探头难以直接在管钢表面测量或以这种方式进行检测的费用昂贵，进行全面的检验将是不经济的，而且常规检测的也仅仅只能得到所测试位置的管体健康程度。同样，也限制了壁厚的其他测试方法，如射线、涡流等方法。这种类型的局部检验不可能有效地减少产生泄漏和破坏缺陷的数量，因为对于未检测的区域，检出缺陷的概率为零。

但当遇到埋地管道或有防腐层管道时，传统超声方式就不能奏效了。人们渴望使用单一的传感器来进行大范围的测量，这使得超声导波（Ultrasonic Guided Wave）的使用引人关注。通过研究形成的超声导波设备在传感器环的两侧均可检测数十米。

在有边界的结构中（如平板和圆筒），超声导波可以沿结构传播很长距离，这种满足边界条件传播能量的超声波就是导波。由于其低衰减特性，导波适合远距离无损检测。导波通常比体波复杂得多，也正是这种复杂性给导波提供了更多的选择性，导波技术给检测提供了



更快更经济的方式。

长距离超声波用于检测管道的金属损失是一种新的无损检测（NDT）技术。由于超声导波具有检测效率高、一次检测覆盖范围大（一般金属管道中超声导波可传播几十米）、速度快和可检测整个管壁等优点，在管道的长距离快速检测和性能评价等方面受到国外无损检测学者的极大关注。各国管道公司对此非常重视，先后在世界各大管道公司运营的管道上应用此项技术。该项技术特别适合于炼厂、管道站场以及不能实施内检测的长距离管段。

与传统的超声波检测相比（图 1-1-1），超声导波技术具有突出的优点：一方面，在结构的一点处激励超声导波由于沿传播路径衰减小的特性，可以沿构件传播多达几十米远的距离，且探头所接收到的信号包含了有关激励和接收两点间结构整体性的信息，因此，这种技术实际上是检测了一条线，而不是一点；另一方面，由于超声导波在管（或板）的内、外（上、下）表面和中部都有质点的振动，声场遍及整个壁厚（板厚），因此整个壁厚（或板厚）都可以被检测到。这就意味着，既可以检测构件的内部缺陷也可以检测构件的表面缺陷。利用超声导波检测管道技术，具有快速、可靠、经济且无须剥离外包层的优点，是管道检测新兴的和前沿的一个发展方向。因此研究超声导波在结构中的激励、接收、应用与缺陷定位等问题，对将导波技术应用在工程中具有重要的意义和良好的应用前景。

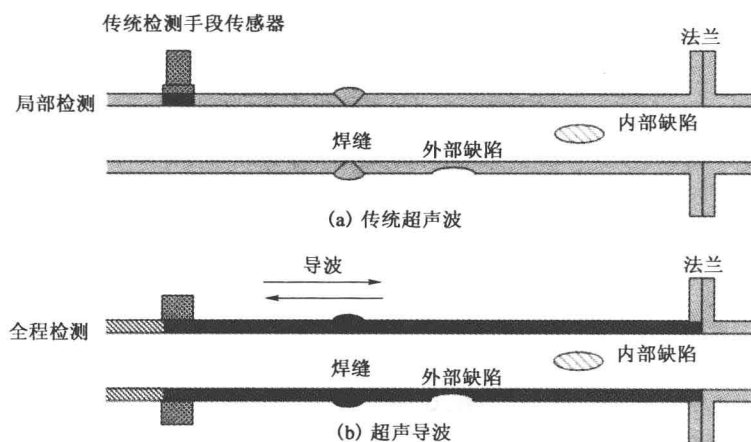


图 1-1-1 超声导波与传统超声波技术检测范围对比图

长距离超声导波检测技术能对管道腐蚀和损伤的重点区域，如场站、河流及公路铁路、沼泽地等穿越管段进行检测，显示出其检测的快速、灵活和有效的优点。实践证明，超声导波检测技术具有很高的灵敏度，优良的声波传输功能，是一项与智能式管道内检测技术（漏磁法内检测）互补并在某些方面能取而代之的既经济高效，又简便实用的管道腐蚀与缺陷检测技术。

第二节 超声导波工作原理

超声导波检测系统是利用探头上的压电陶瓷等材料 and 管壁紧密结合，激发出低频超声波信号，在钢管中的频率范围为 5 ~ 60kHz，传播速度为 3260m/s，声波从固定在管道周围的



探头环发射。该频率范围不需要液体进行耦合,采用机械或气体施加到探头的背面以保证探头与管道表面接触,从而达到超声波良好的耦合。管道环向的超声波探头均匀地间隔排列,使得声波以管道轴心为对称传播。这些声波沿着管道传播,整个管道壁被声波的运动激励,管道作为波导媒体而“工作”,即导波名词来源。

根据导波的对称性,导波在管道中传播可划分为两类:轴对称模态导波和弯曲模态导波。轴对称模态导波在整个管道的圆周内有规则的位移和应力。它们可以分为纵向模式(与之对应的是平板中的对称模式)与扭转模式(与平板中的水平剪切模式类似)。轴对称模态导波可以在轴对称源产生。与轴对称模态导波不同,弯曲模态导波在圆周内有正弦曲线的位移和应力的分布,探头阵列不对称加载,可在管道内激发出弯曲模态导波。

导波的传播主要被声波的频率和材料的厚度控制,在遇到管道壁厚发生变化的位置,无论增加或减少,一定比例能量被反射回到探头。在这种情况下,管道的特征,如环焊缝、壁厚的增加在管道周向是对称的。因此,上升的环向波峰被均匀地反射回来,而反射的声波也是对称的。在有腐蚀的区域,入射声波产生反射和散射,并发生模式转换。因此组成的反射波包含模式转换组分。模式转换声波由于不统一的声源趋于产生管道弯曲波,该信号的出现是不连续的强烈显示,如腐蚀和裂纹,并且能显示这两种声波。

超声波检测系统在较好的检测条件下可达数十米,较差的检测条件或有某种吸收超声波的覆盖层的条件下,检测距离只为几米。理想的缺陷反射幅度和其尺寸之间,有单一的关系,如大缺陷产生大的反射,真实缺陷的对应关系非常复杂,因为缺陷的形状和取向也影响响应的幅度。超声导波检测设备是一个对缺陷进行快速筛查的工具,能够快速发现缺陷,并对缺陷严重程度进行初步的分级,但是无法对缺陷尺寸进行定量分析,还需要借助于其他无损检测手段进行精确的检测与分析判断。

第三节 油气管道超声导波检测技术发展及现状

一、导波理论研究概况

19 世纪后期到 20 世纪早期,人们开始研究弹性波在不同形状的有界波导中传播。J. Rayleigh 和 H. Lamb 研究了自由状态下的各向同性板中弹性波的传播,并首次推导出在平面应变假设下单层、各向同性自由板的 Rayleigh-Lamb 超越方程。在已知板厚和弹性常数的情况下,方程可以用于确定在板内传播的波的波数和频率之间的关系。尽管该方程看起来很简单,但只能用数值方法求解。

C. Chree 研究了弹性波在无限长圆柱杆中的传播。A. Love 和 J. Rayleigh 利用板壳理论,并假设波为轴对称运动,分析了波在空心圆柱壳中的传播。Lin 等利用板壳理论,建立了 Timoshenko 模型,推导出波在空心圆柱壳中轴对称传播时频率与波数之间的关系。同时,他们又通过增加不同的条件改进板壳理论近似的准确性。G. Herrmann 和 I. Mirsky 在他们进行板壳分析时,考虑了旋转惯量和横向剪切变形的影响。R. M. Cooper 和 P. M. Naghdi [10] 利用板壳理论分析了非轴对称波在圆柱壳中的传播。



J. Ghosh 在 1923 年首先推导出波在空心圆柱壳中传播的线弹性解,得到了两个同轴圆柱体相套结构的频散方程和纵向轴对称模态的数值解,但没有对解的正确性进行讨论和数值分析。G. Herrmann 和 I. Mirsky 利用三维弹性理论研究了厚壁的空心圆柱壳,验证了板壳分析理论,并推导出频散方程,给出了一些低阶的轴对称模态导波的相速度解。

D. C. Gazis 分析了板壳理论和轴对称假设的局限性,提出了自己的线弹性理论。首先分析了平面应变假设条件下的空心圆柱壳,得到了频散方程,并分析了轴对称和非轴对称模态导波。得出了壁厚和内径比越小,圆柱壳中的弹性解接近板中兰姆波的解的结论。后来又完整地推导出,在无限长、各向同性的空心圆柱壳中的弹性解,得到了描述纵向模态和扭转模态导波在空心圆柱壳中传播的理论表达式,并进行了数值计算,画出了含有许多模态的频散曲线,得到了不同模态的截止频率。同时,还进一步分析得出,当壁厚和内径比值较大时,他的解更接近 Pochhammer 的解;当该值比较小时,他的解更接近兰姆波的解。N. A. Armenakas 等详细讨论了圆柱壳中的弹性波传播理论,指出波在管线结构中传播时存在许多种模态,并且在相速度频散曲线中给出了可能出现的模态。J. J. Ditre 等指出,导波模式的特征,如灵敏性和穿透力,在很大程度上依赖于模态出现的数量和频率。近年来,英国帝国理工大学 M. J. S. Lowe 和 P. Cawley 等人在理论研究方面做了很多工作,尤其是他们开发出了用于计算板和管道频散曲线的 Disperse 软件。

二、油气管道超声导波检测技术国外应用现状

导波技术的发展大体上可以分成两个阶段:1977 年以前是机理研究阶段,主要是研究波的运动模式、传播规律、速度色散曲线的计算。1977 年到现在,主要是技术开发和商业开发阶段,特别是近年来,商业开发发展很快。1997 年英国 GUL 公司与英国帝国大学工程力学系合作,率先成功推出了管道超声波长距离在线无损检测技术(LRUT),并迅速实现商品化。LRUT 主要应用在英国、美国、欧洲、南非、北美、日本等世界各地,应用效果好。2000 年起美国 PCIS 组织正式将 LRUT 引入了美国的炼油厂和化工厂管道的检测。

从事导波研究的研究机构主要有两大中心:一是英国伦敦帝国大学(Imperial College)以 P. Cawley 教授领导的科研小组;二是美国宾夕法尼亚州大学 J. L. Rose 教授领导的科研小组。技术与商业开发的两大机构主要是英国伦敦的导波公司(Guided Wave Co., GWC)和美国休斯敦的西南研究所(Southwest Research Institute, SWRI),英国的另一家公司 Teletest Co. 主要从事商业开发。导波公司技术负责人 D. Alleyne 博士是 P. Cawley 教授的优秀学生与合作者,他在导波研究、技术开发与商业开发方面都作出了突出的贡献。

目前导波技术有两大流派:一个是导波公司(GWC),它们的技术特点是用切变模压电陶瓷作换能器激发与接收导波,多通道多探头。另一派是美国 SWRI,其技术特点是用具有磁致伸缩效应的镍(Ni)金属片作换能器激发和接收导波,两者相比各有优缺点:Ni 片法的优点是仪器设备结构简单、价格便宜;缺点是 Ni 片要粘在被检工件表面上,不易拆下,一般是一次性粘在那里不动,以后检测还可以再用,另一个缺点是通道数少,采集到的数据少,可采用的分析与处理数据的方式方法也少,这对于在噪声背景中提取信号有不利影响。压电法的优点是通道数多,采集到的数据多,可采用的分析与处理信号的方式方法多。例如,焊缝的反射式总体反射,而焊缝中缺陷的反射则是局部反射,用多探头法可以把它们区



分开,单通道法就没有可能把它们区分开。压电法的缺点是设备复杂、价格较高。总的来说, Ni 片法相对比较简单,压电法则更为完善。

三、国内导波检测技术的发展与现状

我国的导波研究起步晚,国外大约是在 1977 年就开始了管中导波的理论研究和技术开发,早于我国 20 多年,我国虽然起步晚,但是进步比较快。

目前,导波在中国也是一个热门的研究领域,中国科学院声学所应崇福、张守玉等关于 Lamb 波的研究得到了国际上的认同。1998 年,管道腐蚀及防护资深专家李绍忠,委托中国科学院金属研究所,率先在国内研究开发导波在长输管道腐蚀检测上的应用技术,探索了超声导波在管道上的长距离传播特性,在 $\phi 720\text{mm} \times 8\text{mm}$ 管壁上得到了导波的长距离传播效应,在国内首先开始了导波长输管道腐蚀检测技术的研究开发。北京工业大学何存富教授领导的研究小组关于导波的研究在国内居领先地位。国内还有不少高等院校开展了管材中导波方面的研究工作,有的用切变模压电陶瓷作换能器,也有的用 Ni 片作为换能器。

刘镇清等人综述了近年来国内外在超声导波技术、声发射技术、新型超声非接触换能方法、超声信号处理与模式识别等方面的若干研究成果。焦敬品等人综述了管道超声导波检测技术及其应用研究进展,着重对超声导波技术和模态声发射技术在管道检测中的最新应用进行了评述,内容涉及超声导波的传播特性、试验检测方法及其数值模拟等。他得安等人分别对导波在空管、充黏液管中的超声纵向轴对称导波的频散特性做了细致分析,得出空管材内径与壁厚之比变化时将对接管中的模式行为产生很大的影响。何存富、李隆涛等研究了薄壁管道内周向超声导波的传播及其频散特性。杜好阳设计了小管径专用超声导波探头,对煤器管件的涡流检测盲区进行了超声导波检测。北京工业大学王智采用在管道表面粘贴压电陶瓷的方法来激励和接收超声导波以及于海群研制了一套可拆卸的超声导波专用探头实现了传感器的可重复使用。

王禹钦等人研究了输气站场埋地管道的超声导波检测技术,结合输气站站场管网的特点,总结出各种工况下管道的检测方法,成功应用在多个站场上。王维斌等人研究比较了超声导波、超声相控阵、TOFD 和高频导波等检测技术各自的优缺点和应用范围,并将这些无损检测技术综合应用到站场管网的检测中,有效保障了管道本体和焊缝的安全。姚伟等人研究了腐蚀管道超声导波检测数据的分析方法,探讨和论证了反射波频率调节和带宽调节在数据分析过程中的重要作用。

四、中国石油管道公司导波检测技术的发展

为了保障中国油气管道的安全运行,提高中国油气管道的整体管理水平,实现与国际管道管理水平的接轨,提高中国石油管道分公司整体竞争实力,中国石油管道分公司于 2007 年 11 月立项“在役管道超声导波检测技术研究”,旨在通过对管道缺陷的检测和分析诊断,发现和定位管体及焊缝的缺陷和腐蚀情况,为下一步的缺陷评价或修复工作提供数据支持,从而制订消除危险、降低风险的技术上可行、经济上合理的解决措施,并对所采取措施的效果进行持续性的检验、评价及改进,以保证管道安全、平稳生产。

在研究过程中,遵循“边研发、边应用推广、研究推动应用推广、应用提高和完善研



究成果”的宗旨，按照“引进、消化、吸收、集成、再创新”的研究技术路线，做到了研究起点高，与国际同步和接轨，研究与应用紧密结合，研究成果及时得到推广和应用，为生产服务，取得了技术上的创新和应用。

1. 国内特有的埋地管道复杂工况下的超声导波检测与分析技术

中国石油管道公司 2006 年引进英国导波公司检测设备 Wavemaker G3，派遣人员参加在英国帝国理工大学举办的超声导波检测资质培训。培训过程相当简单，培训内容也只是对一些明显的管道属性特征或缺陷特征进行解说，培训实验室使用的管道都是没有防腐层，没有埋地设计的理想化预埋缺陷管道。因此，在英国的培训只是简单地掌握如何操作检测设备软件和硬件的基础操作，尚无法满足现场复杂的检测需求。

研究人员现场开展了大量的检测实验，在服务生产的同时，总结检测中的经验，与实验室的标准缺陷试样检测结果进行比对，最终形成能够对国内管道站场复杂的工况条件下，埋地管道的检测与分析技术。

2. 站场含缺陷管道安全评价方法

长距离干线管道有成熟的管道完整性评价标准，能够对含缺陷管道进行剩余强度评价和预测剩余寿命，但是站场管道及其设施具有复杂的结构、应力分布和局部应力集中，导致干线管道的评价标准无法适用于站场含缺陷管道及其配件的安全评价工作。长期以来，站场管道一直没有可供使用的缺陷评价标准，只能当作金属损失来进行评价，忽略了管道内压。

在借鉴长距离干线管道完整性评价方法的基础上，参考金属损失评价标准 BS 7910 和 API 579，结合管道缺陷评估手册（PDAM）以及 GB 50251—2003《输气管道工程设计规范》，GB 50253—2003《输油管道工程设计规范》和 GB 150—1998《钢制压力容器》的基础上，形成了站场含缺陷管道安全评价方法。

3. 制定站场管道检测技术集团公司企业标准

站场的缺陷全面检测一直是困扰管道运营者的难题，不仅是因为站场管网的结构设计要比干线复杂很多，还因为没有任何一种检测方法能够独立对站场管网进行全面检测。埋地的管道与在地表暴露的相同类型管道相比，检测以及管道替换的费用会大幅度增长。而且，埋地管道由于承受地下酸性或碱性环境影响，地下水和腐蚀性介质容易透过老化、破损或质量较差的防腐层到达管道表面，造成腐蚀、应力腐蚀等缺陷。与国外站场管道情况相比，国内站场管道存在着工况信息更复杂，风险更高，检测需求更多，检测周期更短的特点。

在借鉴美国和欧洲超声检测标准的基础上，根据现场超声导波检测取得的经验，建立站场管网的检测技术标准。同时，参考美国联邦法规 CFR 195.551，确定再检测周期。

上述的研究成果经过应用实践检验，建立了一套系统的站场管网缺陷检测方法，提高管道安全运行水平，并建立了有效的安全经济的站场管道发展机制，为站场完整性管理提供了技术支持。随着国内油气站场埋地管道逐年增加和现有管道老化，站场管理和安全维护的难度也逐渐增加，研究成果的广泛应用，具有重要的推广价值和广阔的应用前景，对管道公司管理的上万公里管道安全提供强有力的安全保障。