

转化炉管道及部件

转化炉管道测试综合性服务



转化炉管道测试	4 - 5
转化炉外管检测 (LEO-Scan)	6 - 9
转化炉内管检测 (LEO-iScan)	10
转化炉猪尾管测量	11
炉管顶端检测	12 - 13
炉管剩余寿命评估 (RLA)	14 - 15
技术	16
Foerster 测试塔	17
全球网络	18 - 19



新的名字，不变的使命

材料无损检测是确保石油化工厂安全高效运行的关键服务，尤其是对离心浇铸转化器催化管道及其相关部件进行检测。多年来，德国公司 Magnetische Pruefanlagen (MP) 和美国公司 US Thermal Technology (USTT) 一直是该领域的佼佼者。MP 公司是国际企业 FOERSTER 集团的全资子公司，也是其重要组成部分，总部位于德国罗伊特林根；USTT 公司自 1989 年起一直是 MP 公司在西半球地区进行管道检测的长期合作伙伴，直到 2020 年被 FOERSTER 直接收购。2021 年，MP 公司并入



埃尔多拉多化工基地，埃尔多拉多，阿肯色 (Arkansas)；
隶属 LSB 工业材料公司

Institut Dr. Foerster GmbH & Co. Kg。最后，在 2021 年底，FOERSTER 集团完成了对 Quest Integrity 合成气业务部门的收购，其中包括业务部门的技术人员以及其 LOTIS 和 MANTIS 检测技术。

现在，这些专业合作伙伴加入到 FOERSTER 集团后，组成了新的一个检测业务单元，他们将共同继续为行业提供 30 多年来一直从事的重要工作。虽然他们的名字有所改变，但使命不变：即为您的所有转化器管道测试需求提供全面服务。



FOERSTER

Parent Company of MP and USTT
Owner of LOTIS and MANTIS Technology

好质量 看得见

FOERSTER 集团开发、制造和销售材料无损测试所需仪器和系统，其中包括涡流 (EC) 技术。FOERSTER 还生产高度专业化、定制的涡流探头，用于检测裂纹和进行微观结构测试。

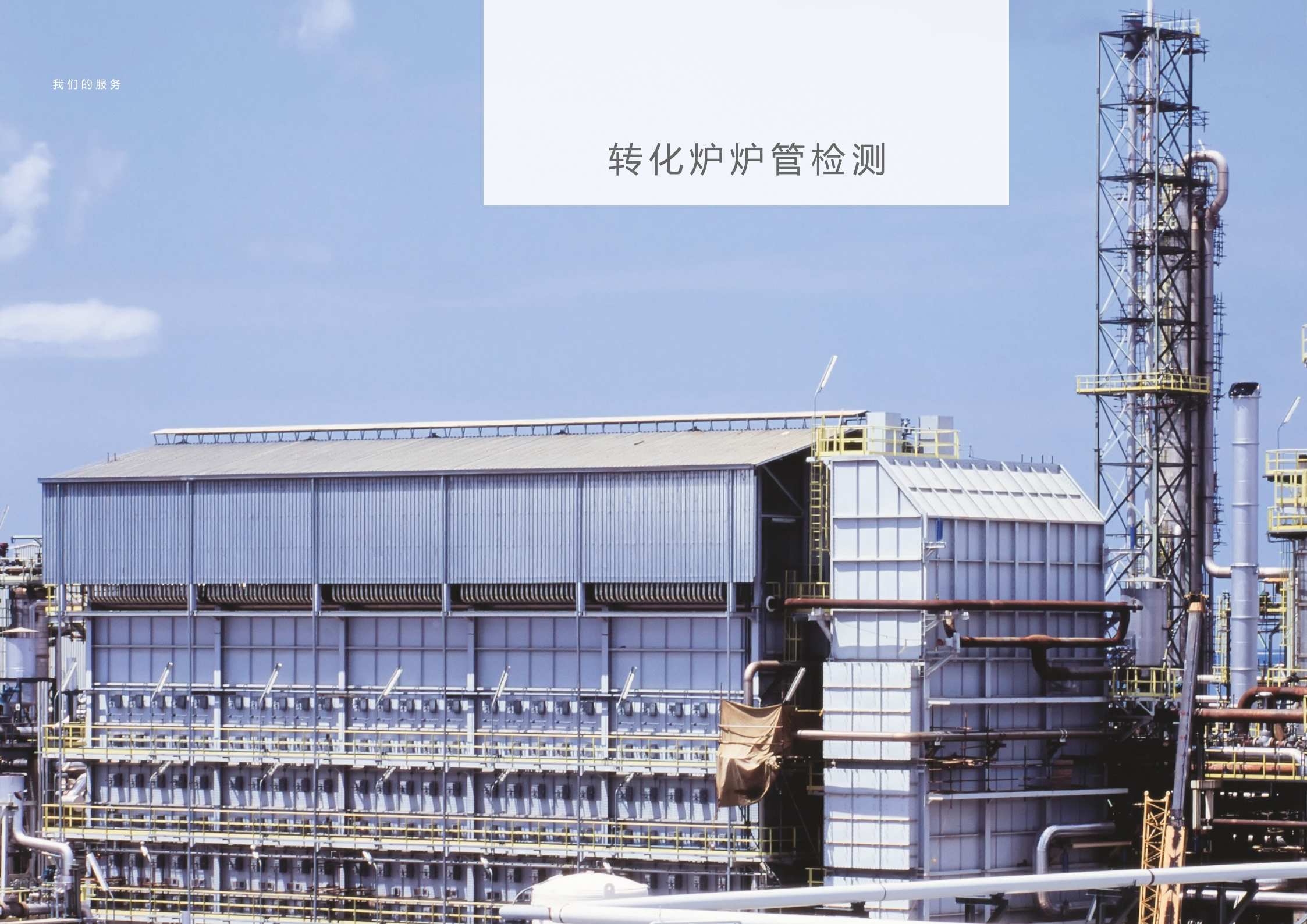
材料无损测试的结果可以借助定制的传感器得以优化，是专为形状复杂的被测部件而设的。为了校准测试系统，FOERSTER 制造了深度、宽度和长度不同的人工样伤以及标准校准试块。



采用 LEO - 扫描系统检测转化炉炉管

我们的服务

转化炉炉管检测





检测业务单元工作的一大重心就是为其客户提供围绕转化炉管检测的全面服务。这项检测被世界各地的氨、甲醇、DRI 和制氢工厂所采用。

自动化检测由训练有素的并且符合 EN ISO 9712 的要求无损检测检测人员执行。这些检测人员都有工程背景，并且拥有包括涡流在内的多个学科的2级和3级证书。因为检测所用部件都是我们设计、生产和指定的，所以对于有专业技术难度的测试，您也能信赖我们顺利执行。

我们建议我们所有的客户都使用 FOERSTER 提供的具有应用性及适用技术的完整检测包，这样我们能在转化炉管道及其部件的整个寿命周期适时进行定期检查，如果检

测结果反映异常，我们可以及时纠正，以最大限度地提高设备产量，避免停机，并营造更安全的工作场所，让您在资产管控上做到省钱省力。

我们的服务包括：

- 转化炉炉管的基线检测（新管时，建议调试前）
- 离心浇铸转化炉管道的定期检查（每 2 至 4 年）
- 采用无损检测方法对转化炉炉管进行剩余寿命评估（RLA）
- 转化炉管道的第三方破坏性测试
- 猪尾管的应力与磁导率检测
- 炉管顶端的内径涡流检测
- 针对客户需求的支持性服务

LEO 扫描

外管检测 (LEO-Scan)



为了检查蒸汽甲烷转化炉中使用的离心铸造转化炉催化剂管，FOERSTER开发并建造了专有的“LEO扫描”系统，这是一种利用涡流和激光技术从管外进行的检测的系统。

整个LEO-Scan系统安装在一个独特的管道爬行者上，该爬行器的特殊的结构能将传感器从炉底（取决于转化炉的设计）一直运送到炉顶，这也包括烟气收集通道（如果有的话）顶部以下的区域。该系统的探头和激光器则安装在爬行器的底部附近，方便检测人员在典型的下流式转化炉最关键的区域读数，因为这个区域的温度是管内最高。该设备测试管间间隙窄至20 mm (0.79 in) 的转化炉，这样就可以去检测外径间隔非常小的转化炉了。对于上流式转化炉，我们也有其它适配的爬行器和探头用以检测。管道无需预先清理就能检测。

涡流系统在一根0.4 m (15.75 in) 长的实际转化炉管上进行校准，将转化炉管纵向剖开，并在内

径上由电火花加工（EDM）切口，作为一个人工伤裂纹。校准证明了缺陷识别及整个壁厚 的穿透性。

LEO 扫描设备使用双轴激光系统来测量燃烧室内整个管子长度上管子的外径。外径测量虽然不是主要的检测工具，但却是识别蠕变的重要辅助检测手段。使用激光进行该检测可确保可重复性，并可对转化器内整个管道长度的直径数据进行记录。

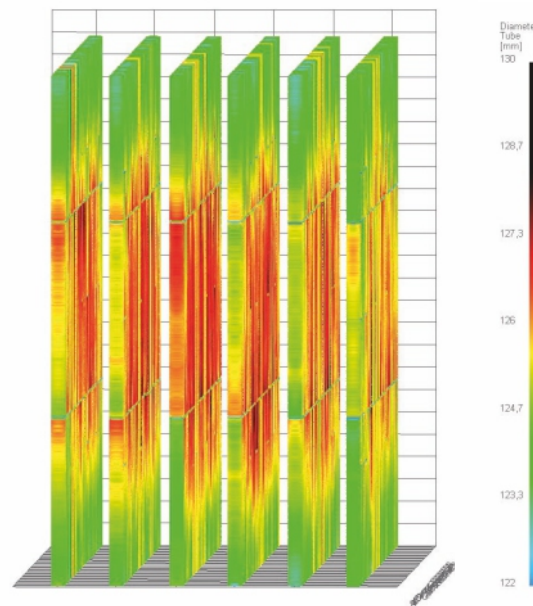


图1：典型的检测结果

这种技术可以追踪转化炉燃烧曲线的变化，并有助于隔离存在催化剂装载或有催化剂状况问题的区域，还能对烟气流有问题的区域也进行隔离。该技术会同时显示外径结果和涡流读数，让检测更便捷。

这是目前唯一在用的，并且经过验证的涡流检测系统，其穿透整个管壁厚度的能力达24 mm (0.95 in)。当爬行者爬上管子时，专有设计的涡流探头记录信号以供评估。系统不仅记录磁导率的变化，更重要的是，系统处理并持续监测磁导率的变化，从而使涡流系统能够检测管壁以及外径和内径表面的裂纹和缺陷。由于系统以电磁方式工作，LEO扫描系统不需要耦合剂（例如水），这使得整个检测完全可以重复。

重复性是这类检测的关键指标。它允许将每次检查的结果进行叠加，并逐年进行直接比较。信号中的任何偏差都可能与管壁损坏有关。这与超声波检测形成鲜明对比：耦合强度的不同可以影响重复性和渗透深度（例如，由于铸造粗糙度和大粗晶粒尺寸（高耗散/阻尼））使得超声波成为离心铸造管检测的一个糟糕选择。

LEO扫描最多可使用四个激光器（数量取决于管与管之间的间隙）在涡流检测的同时对外径进行测量。这些激光器可实现最高精度和可重复性。管径测量作为辅助程序，能够揭示出正常蠕变，也有助于指出造成管道损坏的可能原因。

有以下三种情况会导致转化炉管损坏

- 由于误操作、催化剂问题或火焰冲击（短期过热）、烟气流量分布问题和热冲击，都有可能造成管部裂纹的产生，而不会产生管径增长。
- 管径的增长可以形成不开裂的裂纹（长期过热）
- 上述两者结合的情况

LEO扫描系统结合了涡流检测和激光测量，具有检测复杂缺陷的能力，是目前市场上最彻底、最有效的检测系统之一。

如有必要，可根据检查结果或材料老化情况，建议进行剩余寿命评估（无损、基于应力的方法）。剩余寿命的计算将基于经验和专家意见，以便对管道设备做出适用性评价（FFS）、制定更换策略以及为整个管道寿命管理提供采购支持。这种分析最终会为我们的客户提供 API-579 服务适用性的二级评估。

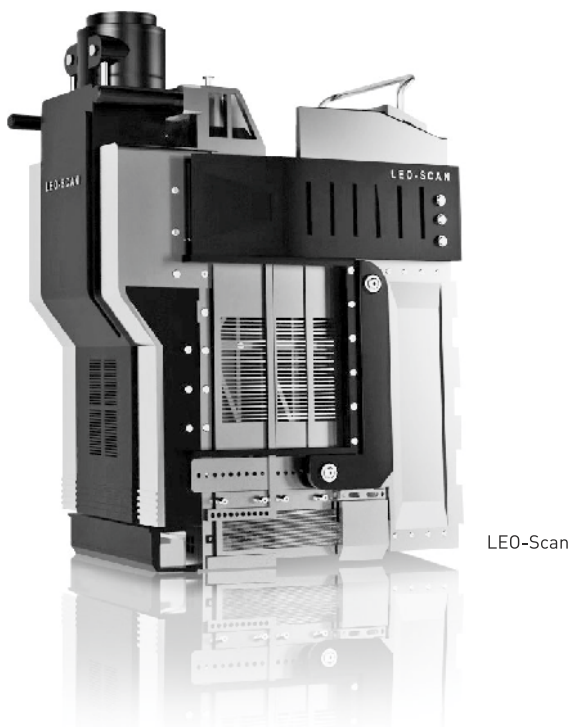


图2显示了数年来从管道外部进行的检测叠加图。理想情况下，这些图表从基线检测开始，然后在每次连续检测的基础上进行叠加。这使得外径检测和涡流检测信号的变化一目了然，并可直接进行评估。此图清楚地显示了图表左侧附近外径的变化（增长），即管道底部的变化。

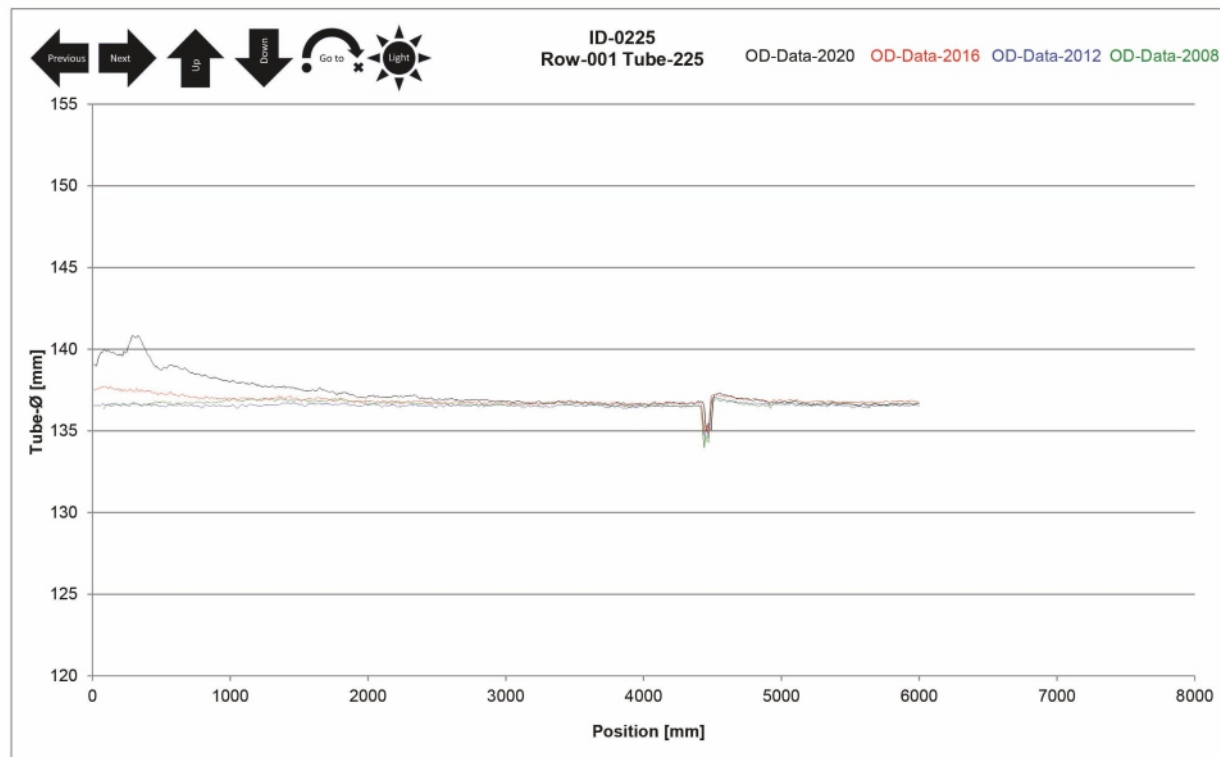


图2：随时间的变化，对转化炉管外径的四次检测的重叠显示（2008年为基线，2012年、2016年和2020年检测）

由检测业务部门开发的新型精密设备现已上市：LEO-iScan。LEO-iScan在现场使用中证明了其自身的坚固可靠，它有一个功能强大的激光装置，可结合涡流系统非常精确地测量内径。检测从管道法兰顶部开始，一直到催化剂支撑网格，这个检测只有在更换催化剂时才能进行。由于转化炉管的内表面经过了机加工，因此即使没有以前的（基线）数据作为对照，测量的读数也很容易显示出蠕变的生长。该系统在四个轴上配置了八个激光器，以此来获得管道内径。

LEO-iScan使用涡流从管道内部进行检测的优点是探头接近潜在蠕变损伤的部位，通常是从内径表面约1/3处开始。

该系统是专为可能需要监测地板以下蠕变损伤的炉体开发的，或为因明显弯曲而相互接触的炉管开发的，因为这些炉管无法从外部进行检测。它也可以作为一个辅助检测手段以验证管的蠕变。

测量结果以三维360°视图展示管直径，可显示单根管道、单排或整个转化炉的信息。

运用多束激光和涡流 (LEO-Scan) 的内径测量



监测出口猪尾管的状况



由于其位置和预期功能的原因，锻造出口猪尾管是需要严格检查的关键部件。为了识别及测定蠕变，我们开发了一种独特的装置，用于测量从管出口到歧管的猪尾管直径。

测量是在两个轴上进行的；考虑到猪尾管在弯曲过程中固有的（和正常的）直径差异，这种配置可以评估猪尾管的直管部分截面和弯曲部分的直径增长。与手工测厚相比，该系统具有快速、可靠、可重复等优点。它还提供了整个猪尾管长度上的准确直径剖面，从而以数字形式评估蠕变，可用于未来评估。

也可以使用 FOERSTER 的 MAGNETOSCOPI 来测量出口猪尾管的磁导率。这一点在管道发生故障而猪尾管需要剪切时显得尤为重要：在这种情况下，确定材料处于合适的状态很重要，即具有足以允许被剪切的延展性。该检测可在线使用，无需停机来封锁泄漏的管道。最近，许多工厂都需要停产，或者需要减少蒸汽流量，仅仅是为了能剪切猪尾管。

顶端检测

顶端检测



长期以来，在蒸汽甲烷转化炉（SMRs）中检测在役转化炉管的历史公认标准是检测炉内管的加热长度。然而，最近的趋势已经改变了这一观点，因为在一些电厂中，发现了迄今为止未检查的管道顶端部分的内部缺陷和损坏。在两种完全不同的设计安排中发现了缺陷：顶燃式下流设计和底燃式上流设

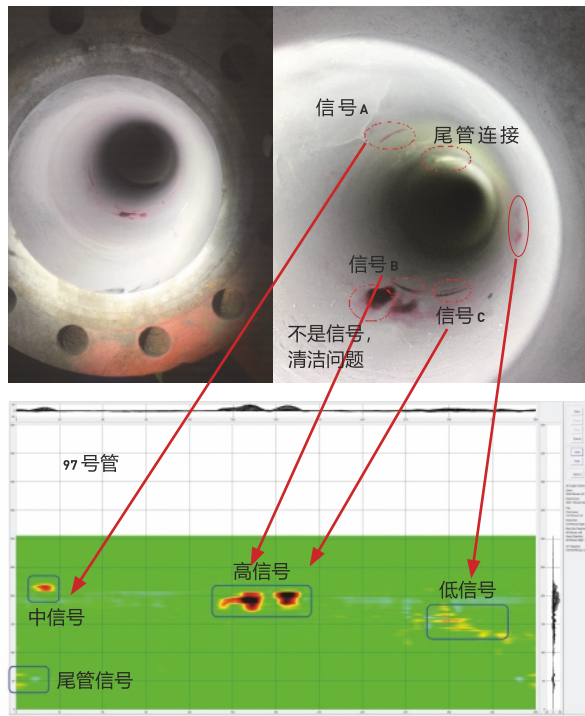


图3：顶端出现缺陷时的代表性扫描图



图4：典型的顶端

计。在这两种情况下，一种被称为“热疲劳”的损伤机制是罪魁祸首。有必要强调的是，这些裂纹缺陷从内部开始并向外部传播，它们不会发出任何警告信号，直到发生意外故障中断服务。同样重要的是，这些裂纹通常没有可测量的蠕变。因此，对顶端的检查必须检

测裂纹而非蠕变损伤。

一旦发生上述的故障，可能会造成严重的财产损失、生产中断和安全事故。这是因为如果转化炉管的顶端的火灾发生在不经常检查的地方，那么可能会燃烧很长时间而不被发现。相邻的管道顶部、入口猪尾管和结构钢可能会过热，从而引发一系列故障。

检测业务部门已经开发出可靠的技术和专用的设备，用于检测这些管道的上部区域，以免此类灾难发生。专门设计的涡流探头可扫描管道上端的裂纹和其他热疲劳迹象。及时发现这些缺陷有助于转化炉安全可靠地运行，并防止可能造成重大损失的火灾。

图3是典型的转化炉管顶端扫描图，显示了管壁上从内表面向外辐射的裂纹。客户通过渗透测试（PT）可以验证裂纹。及时发现此类缺陷能提高可靠性，保护资产价值和确保安全。

炉管的剩余寿命是多少？



TubeLife 是一款经过合作开发的专用软件，旨在弥补在评估转化炉管剩余使用寿命方面的不足。在此之前，没有公开可用的代码或应用来正式解决转化器管道复杂的寿命特性。TubeLife 通过将应变和裂纹尺寸数据整合到其专有模型中来实现这一目标。

过去，对这一重要数据的估算是基于 API 571、API 579、R5 和/或 Bs7910 等施工后

不理想，因为它们不能直接反映影响重整管寿命的损坏机理有多复杂。纳入TubeLife的改进型戴森模型可以评估特定时间段内转化炉管累积的应变，这将作为预测材料退化和计算剩余使用寿命的一种手段。此外，由于裂纹通常会引发管道的失效模式，因此该评估会对任何表明管壁损坏的涡流测量值进行加权。

该软件还利用激光直径数据进行应变测量、工艺信息和停机历史的记录。

该模型调用了已知在转化炉管中发生的几种降解机制。这些包括热老化/软化，应变软化，晶粒结构粗化（尤其是二次碳化物）和移动位错密度的增加，蠕变空隙的形成/气蚀和增长。多种降解类型的集成可根据管材在整个使用寿命内的应变积累对剩余寿命进行实际估算，并通过涡流信号准确评估裂纹的形成。

该评估技术已成功应用于全球多家公司。

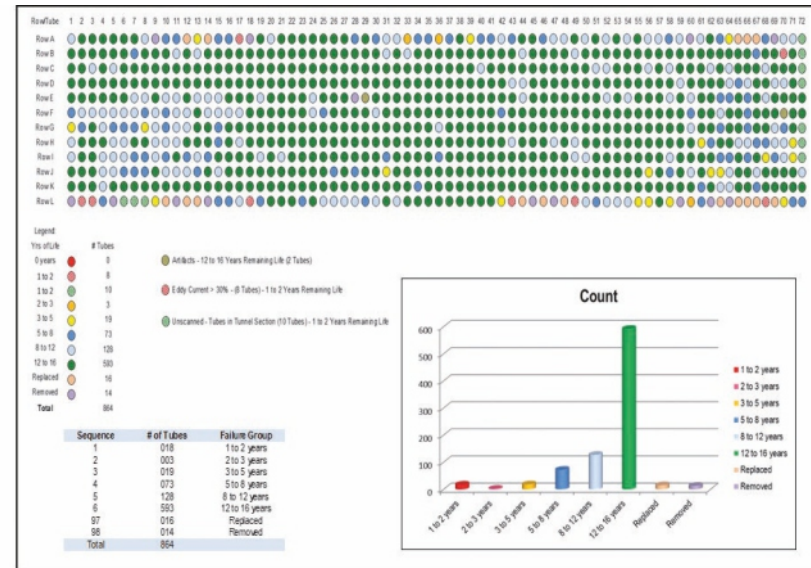


图5：剩余寿命评估的典型输出结果

涡流裂纹检测 使用涡流法进行无损检测

如今，人们对质量高度重视，这已经让 100% 检测变得越来越重要，更不用说需要为产品承担责任风险。符合 DIN EN ISO 15549 标准的涡流检测方法是一种无损零接触的材料检测方法。它可以展现材料缺陷，如裂缝、气孔、空洞和人工缺陷，而且快速、可靠、实惠，无需耦合。

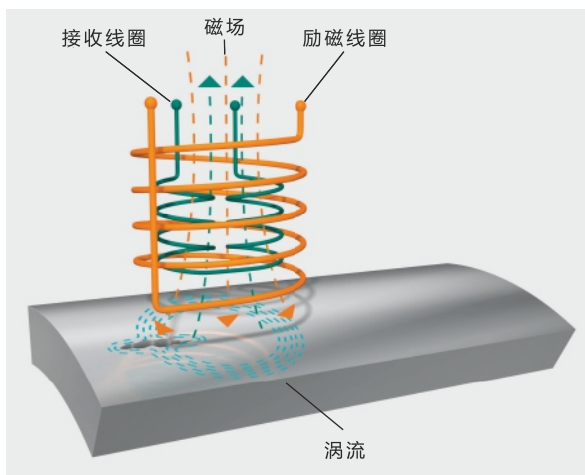


图 6: 涡流检测的原理

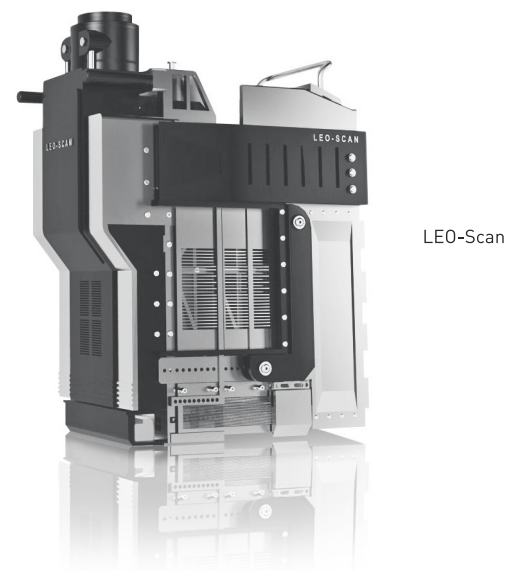
励磁线圈产生磁场，在材料中产生高频涡流。产生的信号通常用差动测量线圈记录。该接收信号同励磁信号以振幅和相位的变化进行评估，即使材料中最小的缺陷都可以被检出。



图7: 蠕变裂缝的高倍显微照片

裂纹检测

对于裂纹检测，涡流探头沿固定样品的长度方向移动。只要材料没有损坏，涡流就会均匀地流过，因为电阻是均匀的。但只要有裂纹，涡流密度就会显示为与未受损零件不同的密度。此变化被记录并以错误信号的方式显示出来。涡流的渗透深度取决于使用的频率：使用较高的频率涡流集中在更接近表面的地方，而使用较低的频率则涡流深入到材料中。探头类型及尺寸和测试频率则根据所需测试类型和测试材料进行选择。



FOERSTER 测试塔 - 我们用于测试设备的真实测试设施

全新安装的测试塔包含多个原始垂直延伸的管道（包括顶部法兰），完美再现了蒸汽甲烷转化炉中的催化剂管的排列。这个设施可以在真实的检测条件下测试新的开发成果、优化原型和进行修改。现在，它可用于外部（外径）和内部（内径）自动扫描系统的实验。此外，当使用先进的便携涡流仪器，它是用于实时应用控制和数据采集方面的软件测试的理想选择。

全球网络

以世界为家
-立足于罗伊特林根



全球覆盖，随时随地提供服务

从最初开始，FOERSTER 集团就致力于建立覆盖全球的专家网络，以便我们的工作在全球国际市场上高效、敏捷地进行。无论您在世界的什么地方需要进行转化炉管道检测，我们的检测业务部门都会为您提供服务，随时响应您的需求和要求。

总部

- Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG, 德国

子公司

- FOERSTER Instruments Inc., 美国
- FOERSTER (LOTIS & MANTIS), 美国
- US Thermal Technology Inc. (USTT), 美国
- 霍释特(上海)检测设备有限公司, 中国
- FOERSTER Japan Ltd., 日本

代理商

- Hydro Kleen Systems do Brasil Limpeza Industrial Ltda, 巴西, 阿根廷
- Middle East Star (MES) – Tragency Middle East, 埃及
- Pipeline Supply Company LLC. (India), 印度
- PT. Profluid, 印度尼西亚
- NDT Corrosion Control Services Co. (NDTCCS), 沙特阿拉伯王国, 巴林
- Calibre Petrochem SDN. BHD., 马来西亚
- Leap Engineering Solutions, 巴基斯坦
- Marant Polska SP z o.o., 波兰
- Arsenal Group Co. Ltd, 俄罗斯
- Safetech Co., Ltd., 韩国
- Pipeline Supply Company LLC. (PSC), 阿曼苏丹国



FOERSTER

Parent Company of MP and USTT
Owner of LOTIS and MANTIS Technology

Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG

In Laisen 70 | 72766 Reutlingen | Germany

+49 7121 140 0 | m +49 160 9461 7857

inspection@foerstergroup.com

foerstergroup.com

U.S. Thermal Technology Inc.

A FOERSTER Group Company

140 Industry Drive | Pittsburgh, PA 15275

+1 412 788 8976 | m +1 713 806 6561

inspection@foerstergroup.com

Kara Ellis

FOERSTER INSTRUMENTS INC.

(LOTIS & MANTIS)

906 Geneva Street, Shorewood, IL 60404

C: 815-979-3238

kara.ellis@foerstergroup.com