管道检测与评价技术



中国石油管材研究所
安全评价与完整性研究中心

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

汇 报 提 纲

一、管道检测技术

1、管道检测与安全评价的必要性
2、相关法规和标准对实施管道检测的规定
3、管道检测标准
4、管道检测技术
5、基于风险的管道检测技术
6、检测技术发展趋势

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

二、管道安全评价技术

1、管道安全评价概念
2、管道安全评价标准
3、含缺陷管道剩余强度评价
4、含缺陷管道剩余寿命预测
5、管道安全评价技术最新进展
6、管道安全评价案例

一、管道检测技术

1、管道检测与安全评价的必要性

管道运输是石油、天然气最经济、合理的运输方式。由于石油、天然气的易燃、易爆性和具有毒性等特点，管道的安全运行非常重要。

油气输送管道长时间服役后，会因外部干扰、腐蚀、管材和施工质量等原因发生失效事故，导致火灾、爆炸、中毒，造成重大经济损失、人员伤亡和环境污染。

通过管道的检测与安全评价，不仅可以大大减小管线事故发生率，而且可以避免不必要和无计划的管道维修和更换，从而获得巨大经济效益和社会效益。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

2、相关法规和标准对实施管道检测的规定

Ø 2000年4月24日由原国家经贸委发布并实施的17号令《石油天然气管道安全监督与管理暂行规定》

第三十四条 石油管道应当定期进行全面检测。新建石油管道应当在投产后三年内进行检测，以后视管道运行安全状况确定检测周期，最多不超过八年。

第三十五条 石油企业应当定期对石油管道进行一般性检测。新建管道必须在一年内检测，以后视管道安全状况每一至三年检测一次。

Ø SY／T 5922-2003《天然气管道运行规范》

8.4.4.1 新建管道应在1年内进行一般性检测，以后根据管道运行安全状况每1～3年检测一次。

8.4.4.2 新建管线应在3年内进行全面性检测，以后根据管道运行安全状况确定全面检测周期，最多不应超过8年。

5

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

对检测（安全评价）单位的规定

Ø《中华人民共和国安全生产法》

第六十二条 承担安全评价、认证、检测、检验的机构应当具备国家规定的资质条件，并对其作出的安全评价、认证、检测、检验的结果负责。

Ø原国家经贸委17号令《石油天然气管道安全监督与管理暂行规定》

第三十三条 从事石油管道技术检测检验的单位必须取得国务院石油工业行政主管部门认定的相应资质，并对其检测检验的结果负责。

Ø1996年4月23日原劳动部发布并实施的劳部发（1996）140号文件《压力管道安全管理与监察规定》

第十三条 新建、扩建、改建的压力管道应由有资格的检验单位对其安装质量进行监督检验；在用压力管道应由有资格的检验单位进行定期检验。

Ø2003年3月11日发布并于2003年6月1日起施行的国务院第373号令《特种设备安全监察条例》

第六条 特种设备检验检测机构，应当依照本条例规定，进行检验检测工作，对其检验检测结果、鉴定结论承担法律责任。

6

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

3、管道检测标准

国外

1、NACE RP0102-2002 Recommended Practice In-line Inspection of Pipelines （管道内检测推荐作法）

2、API 1163-2005 In-line Inspection Systems Qualification Standard（管道内检测系统合格标准）

3、API 580-2002 Risk-Based Inspection （基于风险的检测）

国内

1、SY/T 0036-2000 埋地钢质管道强制电流阴极保护设计规范

2、SY/T 0017-1996 埋地钢质管道直流排流保护技术标准

3、SY/T 0032-2000 埋地钢质管道交流排流保护技术标准

4、SY/T 0086-2003 阴极保护管道的电绝缘标准

5、SY/T 0023-1997 埋地钢质管道阴极保护参数测试方法

6、SY/T 0066-1992 管道防腐层厚度无损测量方法（磁性法）

7、SY/T 0063-1992 钢管防腐层检漏试验方法

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

8、SY/T 0379-1998 钢质管道煤焦油磁漆外防腐层技术标准

9、SY/T 6063-1994 埋地钢质管道防腐绝缘层电阻率现场测量技术规定

10、SY/T 6597-2004 钢质管道内检测技术规范

11、SY/T 0087-1995 钢质管道及储罐腐蚀与防护调查方法标准

12、SY/T 0443-1998 常压钢制焊接储罐及管道渗透检测技术标准

13、SY/T 4080-1995 管道、储罐渗漏检测方法

14、SY/T 5919-1994 埋地钢质管道干线电法保护技术管理规程

15、Q/SYJS 0054-2005 钢制管道内检测执行技术规范

……

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

4、管道检测技术

统计表明，影响管道安全运行的三大因素为：

- Ø 防腐层的老化、破损
- Ø 管体的腐蚀
- Ø 第三方破坏

管道检测主要针对上述三类问题，分为：

- Ø 内检测
- Ø 外检测

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

管道内检测技术（Smart Pig）

缺陷类型	检测仪器	检测方法
1、腐蚀 2、裂纹 3、几何变形 4、HIC 5、分层	1、漏磁检测器 2、超声波壁厚检测器 3、超声波裂纹检测器 4、通径检测器	1、漏磁检测技术 2、超声波检测技术 3、射线检测技术 4、电磁声纳检测技术 5、涡流检测技术

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

管道内检测主要以国外公司为主

- Ø PII公司
- Ø ROSEN公司

GE PII的系列化检测器

金属损失类缺陷检测器







裂纹类缺陷检测器







通径检测器





11

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

MagneScan 漏磁检测器

Magnetic Flux Leakage

主要适用于：

- 金属损失探测——管道内外腐蚀等
- 油气管道都适用

其次还可以探测

- 环焊缝缺陷
- 管道金属外接物
- 管道材质硬疤

PII MagneScan



12

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

超声波壁厚检测器USWM

Ultrasound - Time of Flight

主要适用于
- 金属损失探测——管道内外腐蚀
- 输油或液体管线

其次还可以探测
- 夹层缺陷
- 氢鼓泡



UltraScan WM

13

Transcan

漏磁原理 – 环向磁场

主要适用于:
- 轴向狭长金属损失缺陷

其次还可探测:
- 直焊缝裂纹



TranScan

14

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

Ultrascan CD-超声波裂纹探测器

Ultrasound - 45° Shear Wave

主要适用于

- 管体应力腐蚀裂纹

还可探测到

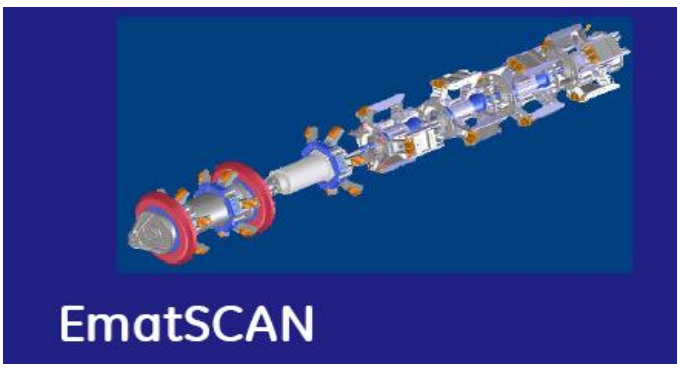
- 焊缝的疲劳和收缩裂纹



UltraScan CD

15

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根



高精度输气管线裂纹检测器

16

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

ROSEN公司系列化检测器

- Ø 腐蚀检测器：CDP
- Ø 轴向裂纹检测器：AFD
- Ø 裂纹及涂层剥离检测器：RoCD²
- Ø 几何尺寸检测器：EGP

17

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

ROSEN－轴向裂纹检测器



18

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

裂纹及涂层剥离检测器

RoCD² consists of the following system components:
- battery, electronic and memory modules
- crack detection channels
- coating disbondment channels
- odometer unit
- speed control unit (optional)

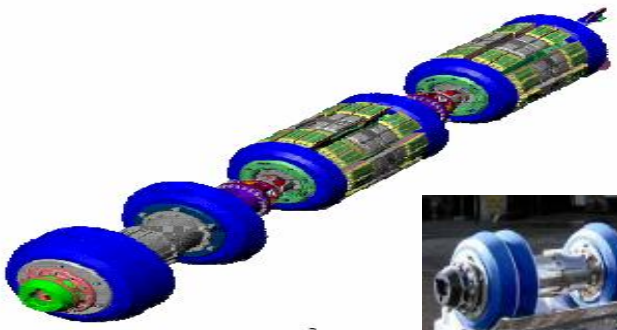


Fig. 2 | 16" high-resolution RoCD² system

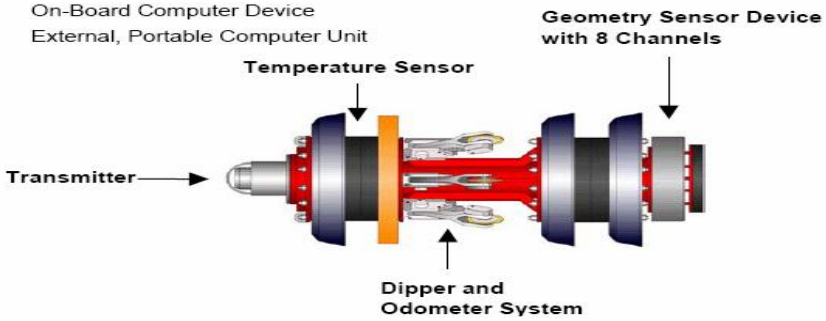


19

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

几何尺寸检测器

- Standard ROSEN Tool Body
- Geometry Sensor Device
- Odometer System
- Mechanical Dipper System
- Temperature Sensor
- Transmitter
- On-Board Computer Device
- External, Portable Computer Unit



PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

管道外检测技术

检测内容	检测仪器	检测方法
1、外防腐层的检测 • 破损 • 漏点 • 老化	PCM检测仪 DCVG-CIPS检测仪 SL2098防腐层漏点检测仪	选频-变频法 Pearson法 PCM法 DCVG检测法 CIPS检测法 杂散电流测试法
2、阴极保护有效性检测 • 保护电位 • 杂散电流	DCVG-CIPS检测仪 RD-SCM 检测仪	
3、管体检测 • 腐蚀 • 第三方破坏	导波检测仪 C扫描检测仪 超声波检测仪 测厚仪 测深尺 ……	

21

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

PCM管中电流检测仪

PCM（pipeline current mapping）（管中电流法）

PCM检测仪器由两部分组成:

Ø 发射机 可同时向管道施加多个频率的电流信号;

Ø 接收机 可接收发射机所发射的不同频率的电流信号，追踪探测施加的电流信号强度并可存储检测数据。



22

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

基本原理——电流法

由发射机向管道发射某一频率的信号电流，电流流经管道时，在管道周围产生一相应磁场。当管道防护层完好时，随着管道的延伸，电流较平稳，无电流流失现象或流失较少，其在管道周围产生的磁场比较稳定；当管道防护层破损或老化时,在破损处就会有电流流失现象，随着管道的延伸，其在管道周围磁场的强度就会减弱。

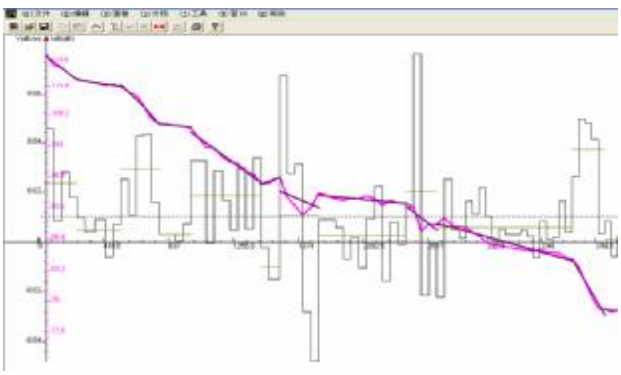
检测人员在管道上方用接收机对管道周围的磁场信号进行接收、处理后，可以直接读出该处管道电流数据和管道埋深等,逐点记录测点的距离X及电流强度I，将现场测量数据输入计算机并经计算机处理后，得到该管道防护层的评价结果并可输出图形文件。

23

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

质量评判

- 当管道的防腐层由同种材料构成，且各段的平均绝缘电阻差别不大时，管道中电流强度的对数与管道远离供电点的距离成线性关系变化，其斜率大小取决于防腐层的绝缘电阻值;
- 当出现电流突变时，往往是问题所在。



24

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

PCM管中电流检测仪的主要用途

a、直接应用

- Ø 测量管线的位置和埋深
- Ø 检测防腐（保温）层破损点
- Ø 查明电缆故障（低阻型）位置

b、扩展应用

- Ø 评价防腐（保温）层的电气性能
- Ø 查找牺牲阳极埋设位置
- Ø 阴极保护系统故障检测



PCM管中电流检测仪的特点

- ? 防腐层漏点检测
- ? 防腐层等级评定
- ? 仪器功率强大150W、检测距离大
- ? 计算出防腐层绝缘电阻的大小

25

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根



哈得管线外防腐层PCM检测现场

PCM检测结果:

- Ø 哈得输油管线老线与新线的防腐层防腐效果较好。全线的防腐层平均电阻Rg大于10.2 KΩ•m^2。根据SY/T 0036-2000，煤焦油瓷漆的防腐层绝缘电阻应不小于10 KΩ•m^2。据此标准，防腐层的防腐性能综合等级可评定为优。
- Ø 局部管段检测点上的防腐层有破损，绝缘电阻较低，最低在0.1 KΩ•m^{2}以下，防腐层等级为劣等。

26

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

DCVG: direct current voltage gradient

名称：直流电压梯度

主要功能：用于测试防腐层的破损点





27

检测原理

- 对于管道防腐层并加有阴极保护的埋地管线，当防腐层出现破损时，阴极保护电流将从破损点的周围流向破损处的管体，电流流过破损点周围的土壤，在土壤电阻上产生电压降，在破损点周围形成一个电压梯度分布，这个电压梯度在破损点所在的地面上形成以破损点位置为中心的一圈一圈的等位线。在接近破损点的部位，由于电流密度增大，因而电位梯度也增大。这样一个与管道防腐层破损点相对应的等位线，在地面上就有对应的电压梯度分布。
- 特点——利用阴极保护电流进行检测。

28

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

SL2098防腐层漏点检测仪

- 这是一个古典的检测方法，是由John Pearson博士发明的，也叫Pearson检漏法。
- 在国内，也有将这种方法叫人体电容法。





29

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

基本原理——电位差法

当一个交流信号加在金属管道上时，在防护层破损点便会有电流泄漏入土壤中，这样在管道破损裸露点和土壤之间就会形成电位差，且在接近破损点的部位电位差最大，用仪器在埋设管道的地面上检测到这种电位异常，即可发现管道防护层破损点。



30

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

优点

- Ø 很古老的防腐层漏点检测方法，准确率高；
- Ø 很适合油田集输管线以及城市管网防腐层漏点的检测。

缺点

- Ø 抗干扰能力性能差；
- Ø 需要探管机及接收机配合使用，首先必须准确确定管线的位置，然后才能通过接收机接收到管线泄漏点发出的信号；
- Ø 受发射功率的限制，最多可检测5km；
- Ø 只能检测到管线的漏点，不能对防腐层进行评级；
- Ø 检测结果很难用图表形式表示，缺陷的发现需要熟练的操作技艺。

31

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

CIPS检测仪

CIPS: close interval potential survey

名称：密间隔电位测试

功能：主要用于测试阴极保护的有效性

检测仪器：加拿大阴极保护公司的DCVG/CIPS检测仪



32

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

阴极保护测试的传统方法

- 在埋地管线的阴极保护系统中，被保护的管道每间隔一定的距离有一个管地电位的测试桩，是用导线与管体金属连接，然后引到地面上，并做好与地的绝缘。
- 通常为了检测阴极保护的有效性，一般的方法是：工作人员定期用毫伏表沿管线逐个在桩上测量该点的管地电位，从阴极保护站的加电点开始观察所施加的电位沿管道的衰减情况，用以了解保护的范围和异常衰减的区段，参考下页图。
- 该方法的缺点：由于IR降的存在，测量很粗糙。

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

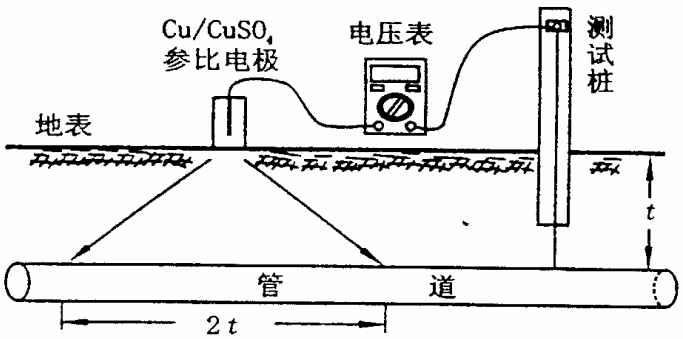


图　典型的管/地电位测量示意图

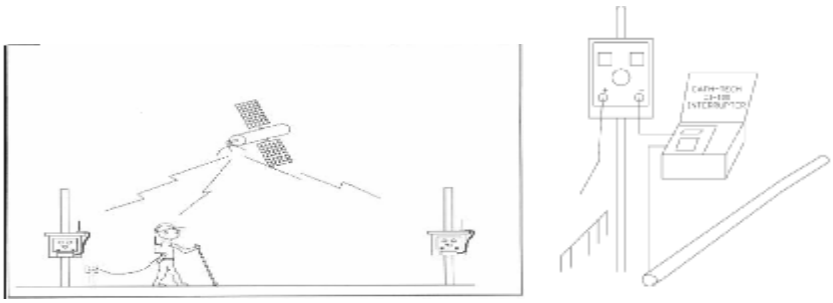
PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



传统的阴极保护检测现场

CIPS方法

消除土壤IR降的影响，可以测取外加阴极保护系统下的真实管地电位（off电位）。



检测过程示意图

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

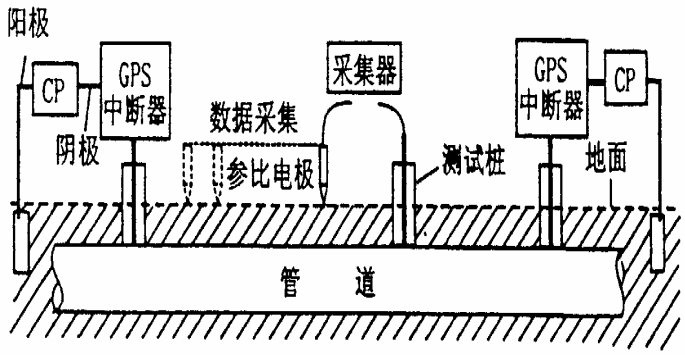


图 密间隔电位测量原理图

37



CIPS方法检测现场

38

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

RD-SCM 检测仪

用途：杂散电流检测法

杂散电流是造成管体腐蚀穿孔的重要因素之一



杂散电流从钢管流出所造成的蚀孔

主要作用

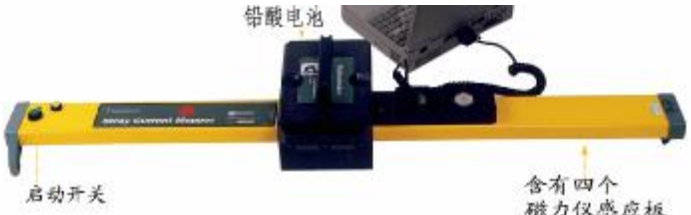
a、直接测量应用

- 管道杂散电流大小方向
- 判别杂散电流的来源
- 确定管道阳极倾向点位置
- 测量管线的位置和埋深

b、扩展应用

- 评价电保护和排流效果
- 检测管体局部腐蚀部位
- 评价防腐(保温)层性能
- 检验维修效果

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



SCM系统组成—智能传感器



- 智能信号发生器提供SCM检测信号。
- 将信号发生器SI与阴保整流器串联，SI中断阴保电流以向管道加载一个可被感应器识别的特殊信号。
- SCM系统可同时使用四个SI 发送不同特征的信号以供电流检测。
- SI还具有普通中断器的高温功能稳定性，100伏特时可提供高达100A的电流。

SCM系统组成—智能信号发生器（SI）

41



SCM系统组成—灵敏探杆



- 定位磁力计安置于杆中构成探杆集成件，可以“插进”土壤里；
- 使定位磁力计靠近管道以便增大信噪比；
- 增强型设计可以自动将管位信号转换为电流值。

42

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

导波检测仪

- 采用导波技术对管道的腐蚀或冲蚀进行检测，仪器在测试点向管道两端发射低频超声导波，该导波以金属管道为导体进行传播，腐（冲）蚀点或管道上的特征结构（如焊缝、法兰）会使信号发生反射，回波经由仪器接收、分析后可评价管道的腐蚀情况。
- 具有快速、全面检测管道的性能，因而在检测难于接近的管段时效率很高。
- 本身自带电池，野外检测时不用外接电源，操作简便。
- 由于可对运行中的系统进行检测，所以检测所造成的损失小。

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

系统组成



主机



固定式传感器环



充气式传感器环

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



牙哈1—东一联管线超声导波检测现场

45

5、基于风险的管道检测技术

基于风险的检测（RBI）是目前的发展热点。

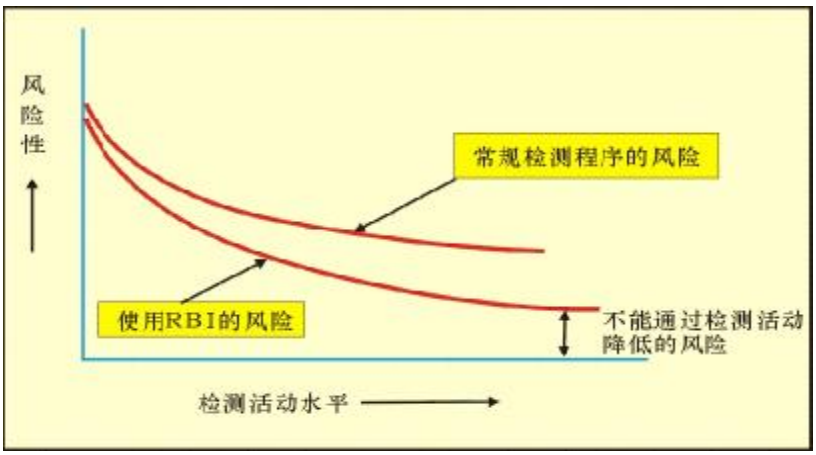
基于风险的检测是以风险评价为基础，对检测程序进行优化安排和管理的一种方法。是将检测重点放在高风险（HRA）和高后果（HCA）的管段上，而把适当的力量放在较低风险部分。在给定的检测活动水平下，RBI有利于风险的降低(见下页图)。

基于风险的检测程序的目的是：(1)识别高风险部位；(2)对各部位的运行进行风险评价；(3)进行风险排序；(4)设计适当的检测程序以降低总的风险并节约资源；(5)为完整性管理提供技术支撑。

46

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

基于风险检测（RBI）的意义



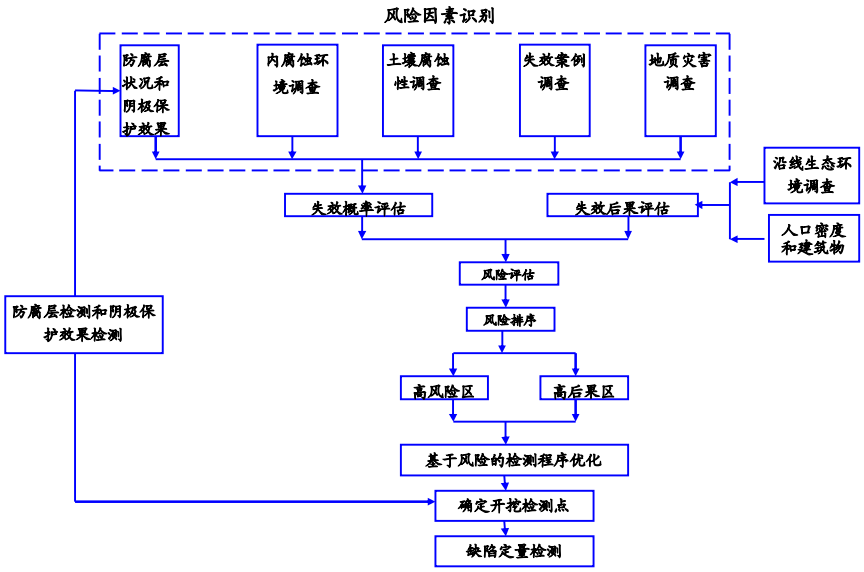
47

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

- 管材研究所将风险评估和外检测（直接评估）技术相结合，建立了基于风险的管道检测技术，包括管线风险评估、管线风险排序、检测程序优化等。
- 在基于风险的检测程序优化技术基础之上，利用PCM、DCVG、CIPS等各种外检测仪器，并结合管道缺陷开挖检测，对靖西线、中安线、中开线等多条油气长输管线和油田集输管线进行了成功检测，为管道的适用性评价和安全维护提供了重要依据。
- 基于风险的管道检测技术对于许多无法采用内检测技术的管道非常适用和有效。

48

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



基于风险的管道检测技术流程

49

6、检测技术发展趋势

- Ø 高分辨率
- Ø 尺寸规格系列化
- Ø 针对不同类型的缺陷开发系列化检测器
- Ø 缺陷三维尺寸

50

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

高分辨率漏磁检测器的主要技术指标

项目名称	技术指标
轴向采样距离	2mm，如果检测器采样时间一定，轴向采样距离随检测速度的增加而增大
周向传感器间距	8mm～17mm
最小检测速度	0.5m/s（导电线圈） 没有要求（传感器为霍尔元件）
最大检测速度	4m/s～5m/s
宽度检测精度（周向）	±10～17mm
定位精度	轴向（相对最近环焊缝）：±0.1m 周向：±5°
可信度	80%

51

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

高分辨率漏磁检测器的主要技术指标

缺陷尺寸检测精度	
一般腐蚀	最小深度：10%WT（WT表示管道壁厚） 深度测量精度：±10%WT 长度测量精度：± 20mm
坑状腐蚀	最小深度：10% —20% WT 深度测量精度：±10%WT 长度测量精度：± 10mm
轴向沟槽	最小深度：20%WT 深度测量精度：-15%/+10%WT 长度测量精度：± 10mm
周向沟槽	最小深度：10%WT 深度测量精度：-10%/+15%WT 长度测量精度：± 15mm

52

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

二、管道安全评价技术

1、管道安全评价概念

- 为了使含有缺陷结构的安全可靠性与经济性两者兼顾，从80年代起在国际上逐步发展形成了以“适用性”或称“合于使用”(Fitness for service, Fitness for purpose) 为原则的评价标准或规范。
- 含缺陷管道适用性评价包括含缺陷管道剩余强度评价和剩余寿命预测两个方面。
- 含缺陷管道剩余强度评价是在管道缺陷检测基础上，通过严格的理论分析、试验测试和力学计算，确定管道的最大允许工作压力（MAOP）和当前工作压力下的临界缺陷尺寸，为管道的维修和更换，以及升降压操作提供依据。
- 含缺陷管道剩余寿命预测是在研究缺陷的动力学发展规律和材料性能退化规律的基础上，给出管道的剩余安全服役时间。剩余寿命预测结果可以为管道检测周期的制定提供科学依据。

53

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

适用性评价按四种情况分别处理:

- 对安全生产不造成危害的缺陷允许存在;
- 对安全性虽不造成危害但会进一步扩展的缺陷，要进行寿命预测，并允许在监控下使用;
- 若含缺陷结构降级使用时可以保证安全可靠性，可降级使用;
- 若含有对安全可靠性构成威胁的缺陷，应立即采取措施，返修或停用。

54

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

2、管道安全评价标准

国外标准

（1）NACE RP0502-2002 Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology （管道外腐蚀直接评估方法）

（2）NACE RP0204-2004 Stress corrosion cracking (SCC) Direct Assessment Methodology （应力腐蚀开裂直接评估方法）

（3）DNV RP F101-2004 Recommended Practice of Corroded Pipelines （腐蚀管道缺陷评价推荐作法）

（4）API 579-2007 Fitness-For-Service （适用性评价）

（5）ASME B31G Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines （腐蚀管道剩余强度评定手册）

（6）BS 7910-2005 Guide to Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures （金属构件中的缺陷可接受性评价方法准则）

……

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

国内标准

1、SY/T 6477-2000 含缺陷油气输送管道剩余强度评价方法 第1部分：体积型缺陷

2、SY/T 6151-1995 钢制管道管体腐蚀损伤评价方法

3、Q/SY 1034-2007 输油管道改为输气管道钢管材料适用性评价方法

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

3、含缺陷管道剩余强度评价

剩余强度评价的缺陷类型包括五大类:

（1）体积型缺陷　如局部沟槽状腐蚀缺陷、片状腐蚀缺陷、局部打磨缺陷等;

（2）平面型缺陷　即裂纹型缺陷，包括焊缝未熔合缺陷、未焊透缺陷、焊接裂纹、疲劳裂纹、应力腐蚀裂纹以及氢致宏观裂纹等;

（3）弥散损伤缺陷　包括点腐蚀缺陷、表面氢鼓泡以及氢致微裂纹等;

（4）几何缺陷　包括焊缝错边、焊缝嘴、管体不圆、壁厚不均匀等缺陷;

（5）机械损伤缺陷　主要由管道建造时的意外损伤及建筑施工、农民耕地、人为破坏等原因造成的损伤，缺陷类型包括表面凹坑（Dent）、沟槽（Gouge）以及凹坑+沟槽（Dent+Gouge）。

57

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

剩余强度评价方法大体归结为以下四种:

（1）基于大量含缺陷管段水压爆破试验得到的半经验公式;

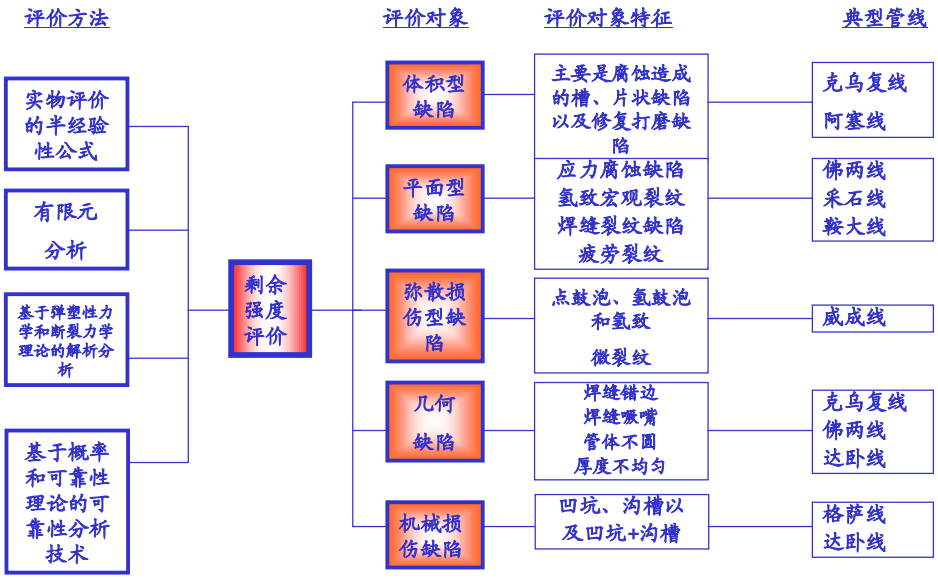
（2）基于弹塑性力学和断裂力学理论的解析分析方法;

（3）有限元数值计算方法;

（4）基于含缺陷管道的失效判据，结合概率和可靠性理论，建立含缺陷管道的概率完整性评价方法。

58

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



含缺陷管道剩余强度评价的对象、类型和评价方法

59

- 对于体积型缺陷的评定，基于Kiefner和Maxey等人70年代研究建立的半经验断裂力学关系式，形成了以ASME B31G（1991年）和CAN/CSA Z144-M86(1986年)为代表的评价标准和规范。从上世纪九十年代开始，为避免B31G方法的过分保守性，国际上对局部腐蚀缺陷的评定方法又开展了大量研究工作，并颁布了新的标准和方法，包括DNV RP F101（1999）和API RP 579的第5章等。
- 对于平面型缺陷的评定，主要采用弹塑性断裂分析方法，包括EPRI方法、CEGB R6方法、ASEM XI篇IWB-3640 附录C和IWB-3650 附录C。

60

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

- 对于几何缺陷，API RP 579的第8章给出了管体不圆、直焊缝啜嘴和错边的评价方法。
- 对于弥散损伤型缺陷，API RP 579的第6章给出了点腐蚀损伤的评定方法，但评定过程，尤其是缺陷的定量化过程太复杂，工程上难以操作和应用，另外，对氢鼓泡评价也仅给出了粗略的指导性做法。
- 对于机械损伤缺陷的评定方法，尽管国际上从上世纪80年代末期以来已开展了不少研究，但尚未形成系统的评价规范和标准。

61

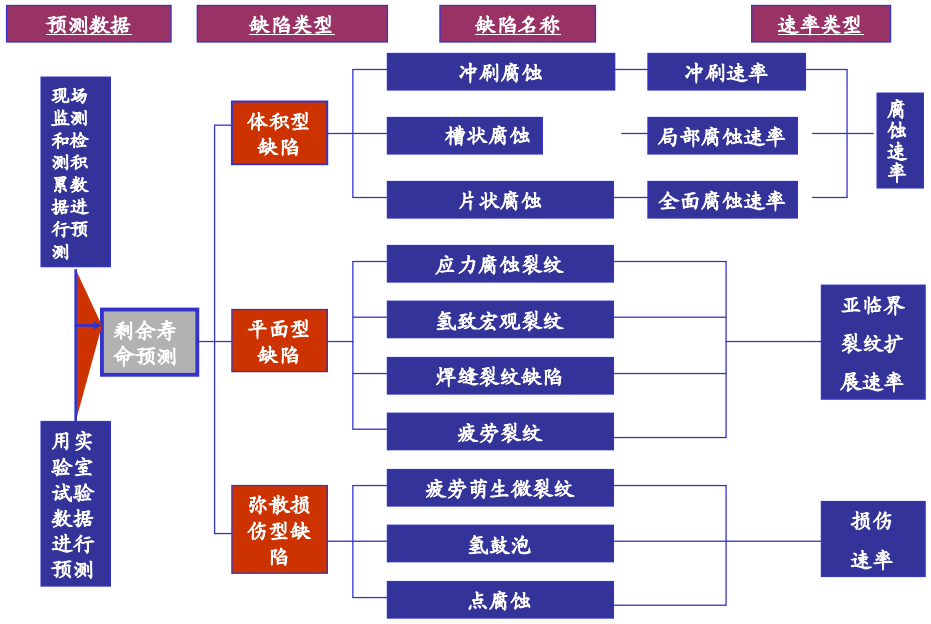
中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

4、含缺陷管道剩余寿命预测

- 剩余寿命预测涉及的缺陷类型包括平面型缺陷、体积型缺陷和弥散损伤型缺陷，涉及的缺陷发展速率类型包括腐蚀速率、亚临界裂纹扩展速率和损伤速率。
- 剩余寿命的方法大体包括两种：一是基于现场检测和监测积累的数据进行预测。腐蚀检测是利用内外腐蚀检测技术定期进行管道的缺陷检测，从而获得缺陷的动力学发展规律。监测技术包括现场挂片试验、腐蚀探针等技术，通过监测可以实时得到缺陷的动力学发展规律。二是在实验室内模拟管道服役环境进行缺陷增长规律试验，通过模拟试验获得缺陷的动力学发展规律，然后对管道剩余寿命进行预测。
- 应当注意的是，此处所指的是管材本身的剩余寿命预测，实际上，对于具体管线的剩余寿命,还应当考虑管线防腐层的有效保护寿命和缓蚀剂的有效保护寿命问题。有关这方面的研究虽有报道，但总的来说难度很大，研究很不成熟。

62

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



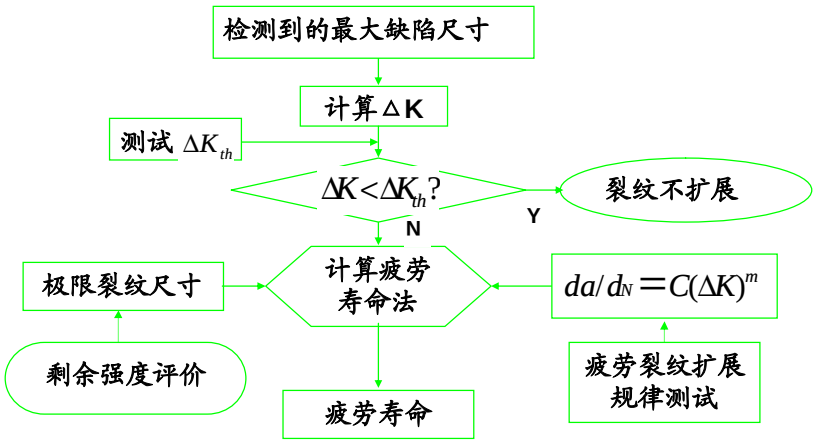
含缺陷管道剩余寿命预测的对象、类型和方法

63

- 剩余强度评价主要是评价管道的现有状态，而剩余寿命预测则主要是预测管道的未来事态，显然后者的难度远大于前者，目前研究也确实没有前者成熟。
- 剩余寿命主要包括腐蚀寿命、亚临界裂纹扩展寿命和损伤寿命三大类。三者之中，除亚临界裂纹扩展寿命，尤其是疲劳裂纹扩展寿命的研究较为成熟、较易预测之外，腐蚀寿命和损伤寿命研究都远不成熟，预测难度很大。难点在于：1）缺陷发展速率难以实现现场准确监测；2）实验室内加速试验数据与现场复杂多变的环境难以对应；3）除疲劳数据外，目前可利用的数据资料较少，并且与许多常见失效机制预测有关的知识不足。
- CEGB R6和BS 7910对疲劳和蠕变寿命作了一些指导性的考虑,在其它已有的结构完整性评价标准中剩余寿命预测要么没有提到,要么只是粗略地提及。

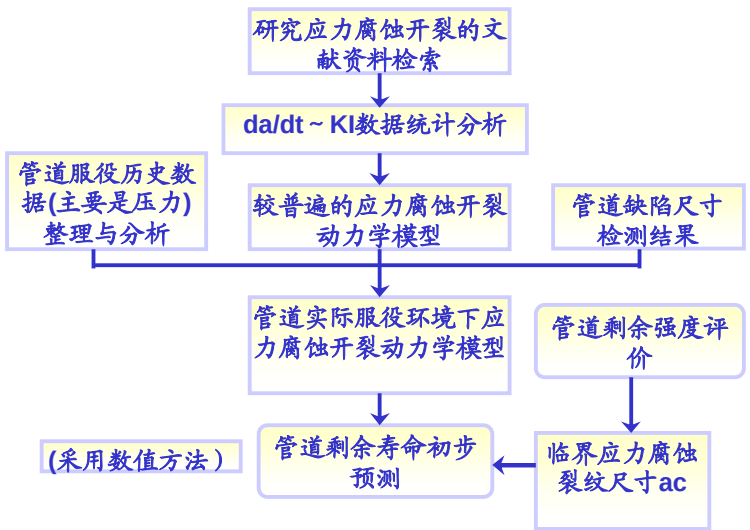
64

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



管道疲劳寿命预测思路框图

65



管道腐蚀剩余寿命预测思路框图

66

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

5、管道安全评价技术最新进展

Ø 管材研究所从“九五”开始，结合我国管线特点，通过科技攻关，建立了系统的含缺陷油气输送管道适用性评价方法，取得了一批创新性成果:

(1)螺旋焊缝几何缺陷评定方法;

(2)弥散损伤缺陷的剩余强度和剩余寿命预测方法;

(3)腐蚀管道抗压溃评估准则;

(4)管道三维断裂准则;

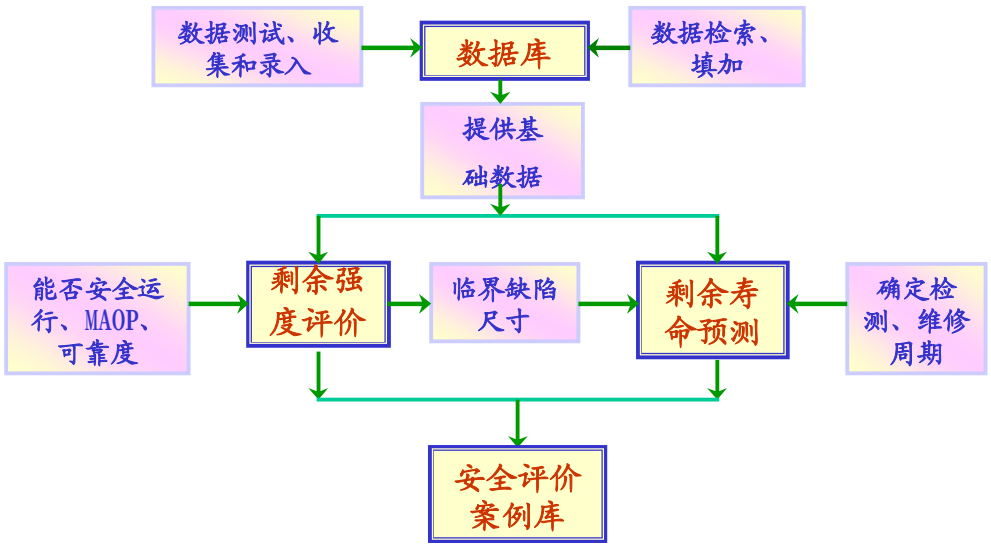
(5)基于FAD图的双参数疲劳寿命预测方法;

(6)基于可靠性的腐蚀寿命预测方法。

Ø 在上述成果的基础上开发了油气管道适用性评价软件，并在20多条油气输送管道上应用，经济效益和社会效益显著。

67

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根



适用性评价软件功能和结构框图

68

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



评价软件典型界面1

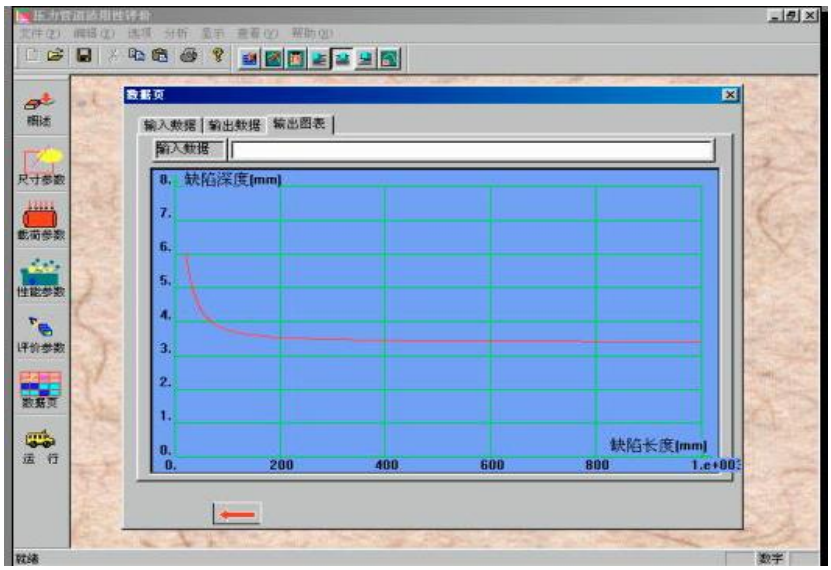
69



评价软件典型界面2

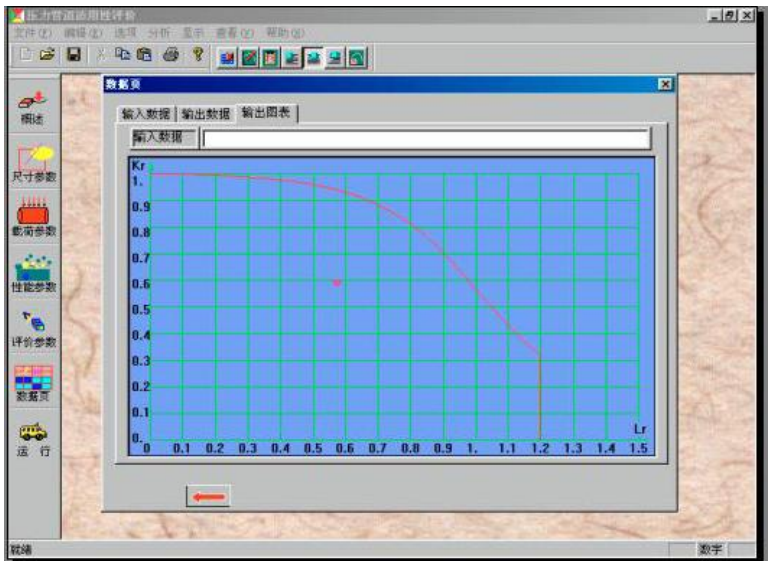
70

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



评价软件典型界面3

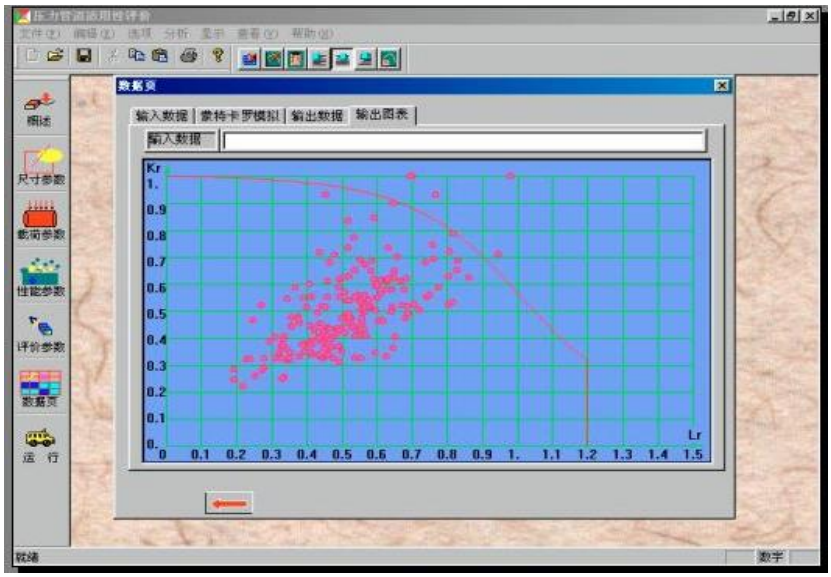
71



评价软件典型界面4

72

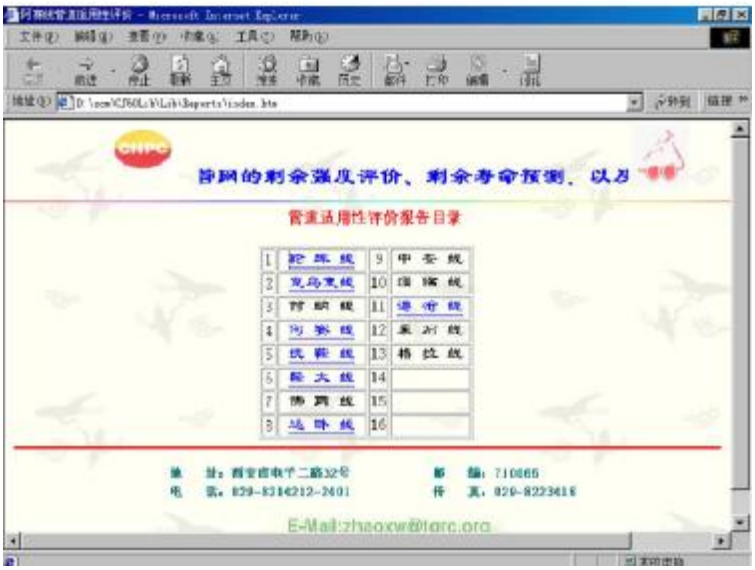
PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



评价软件典型界面5

73

6、管道安全评价案例



74

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

1）濮临线安全评价项目简介

濮阳——临邑输油管线（简称濮临线）起始于河南濮阳市柳屯乡，途经九个县市，终止于山东省临邑县，该管线于1979年7月29日投产输油，管线全长241.9Km。

1999年，中国石化管道储运公司试图将濮临线由输油改为输气，委托管材研究所对该管线输油改输气进行安全评价。

管线规格：Φ377×7

设计压力：2.8MPa

缺陷情况：

腐蚀缺陷：共三处，深度分别为3.0mm，0.6mm，1.0mm

焊缝缺陷：未焊透、未熔合、裂纹等

75

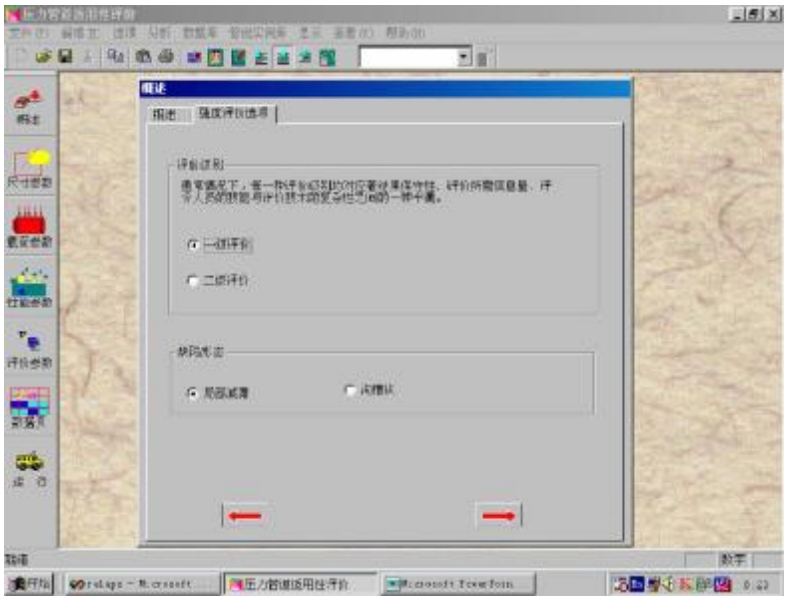
中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

（1）腐蚀缺陷极限缺陷尺寸计算



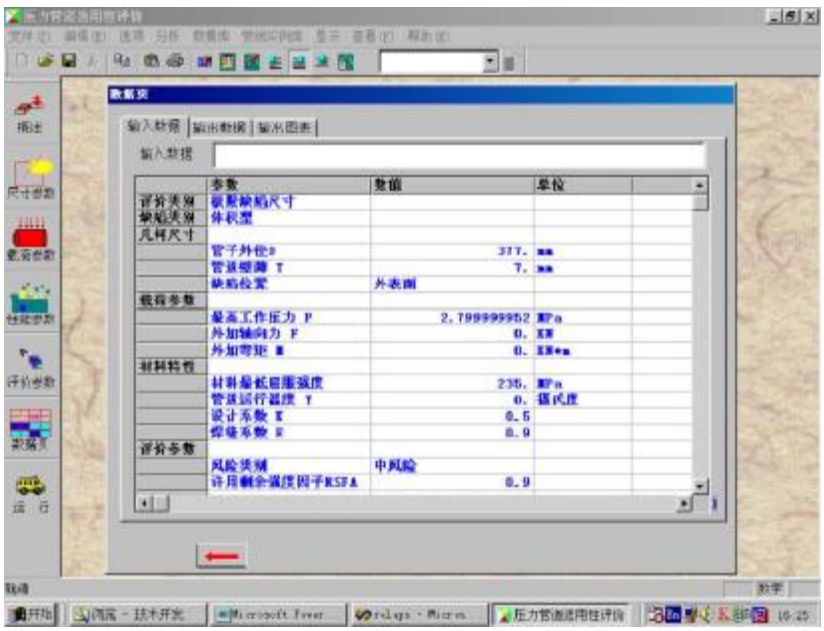
76

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



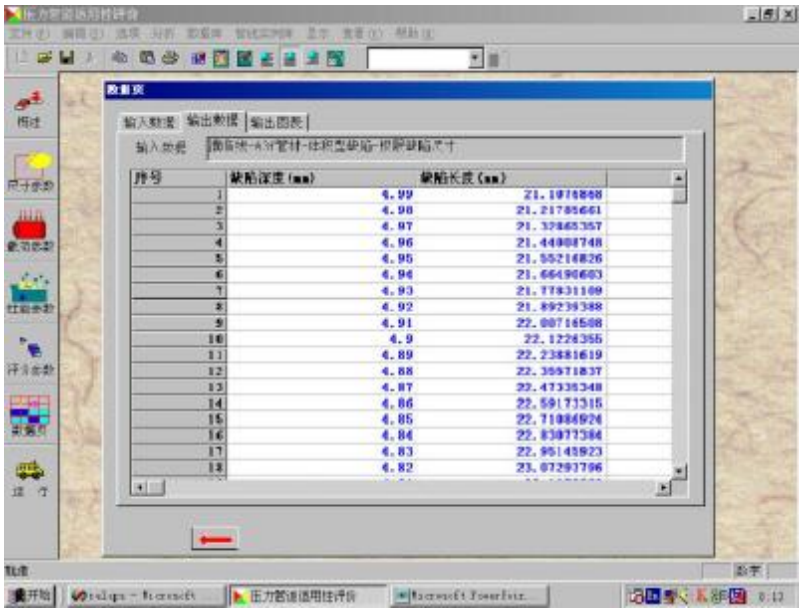
77

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

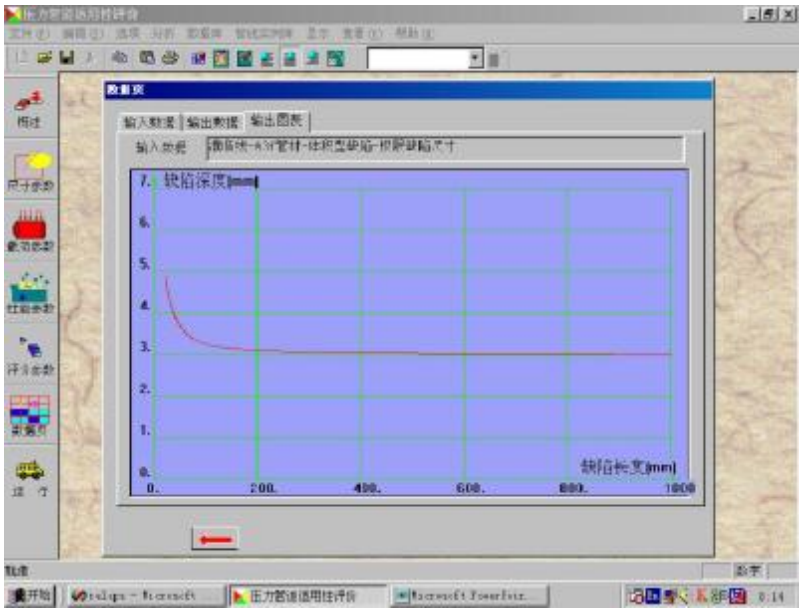


78

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



79



80

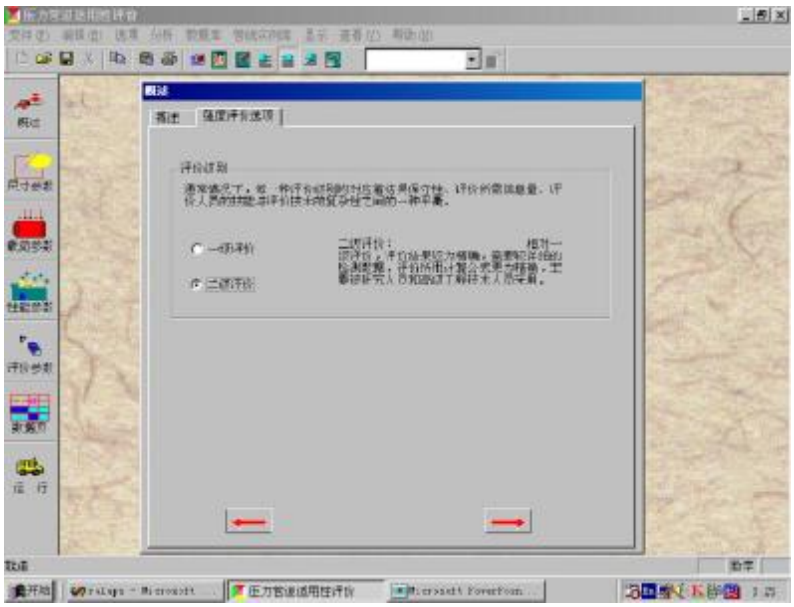
PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

（2）裂纹型缺陷剩余强度评价



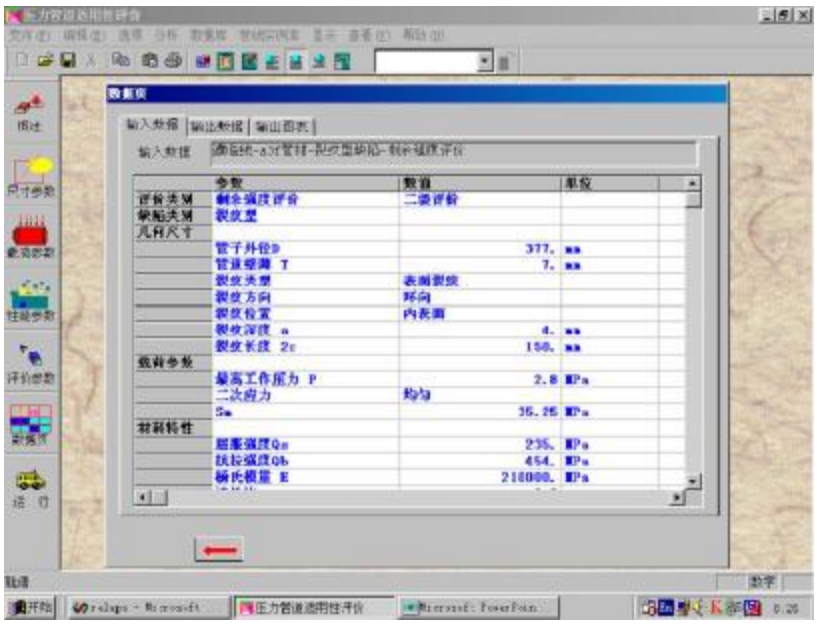
81

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

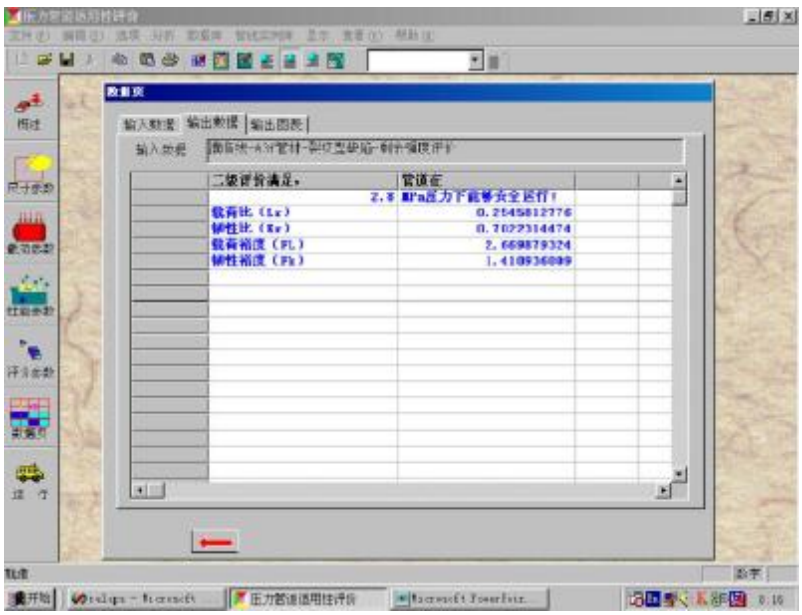


82

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

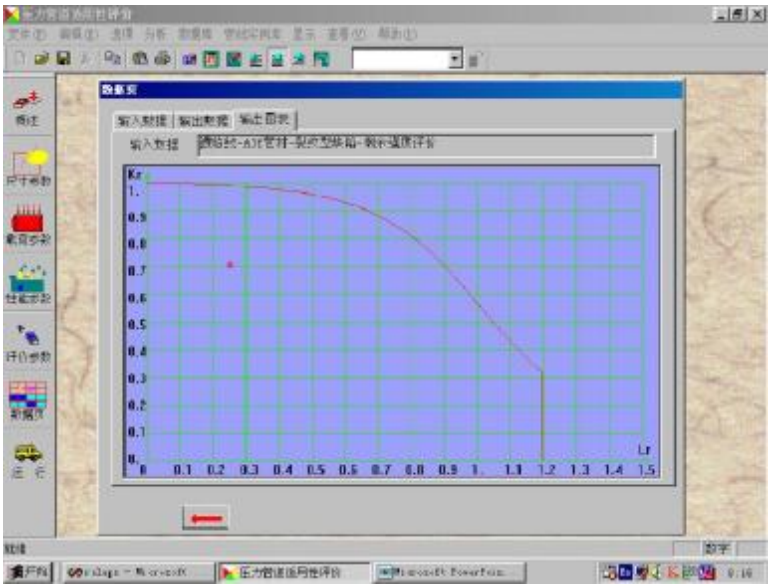


83



84

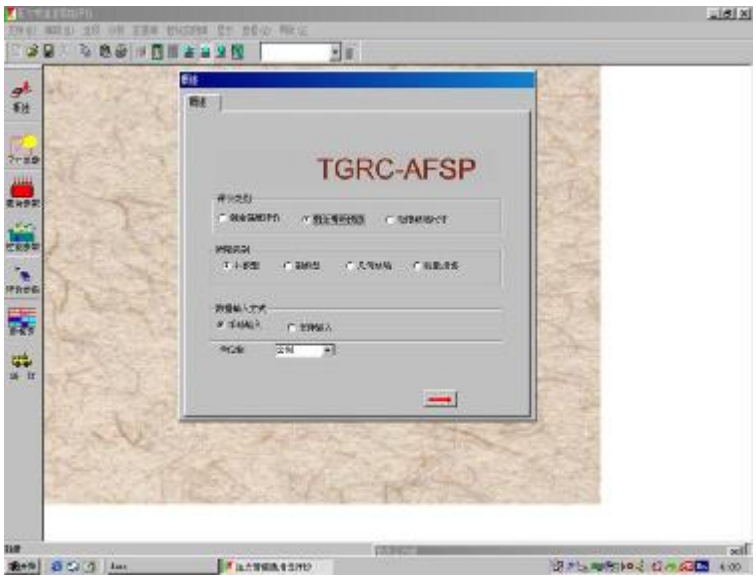
PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



85

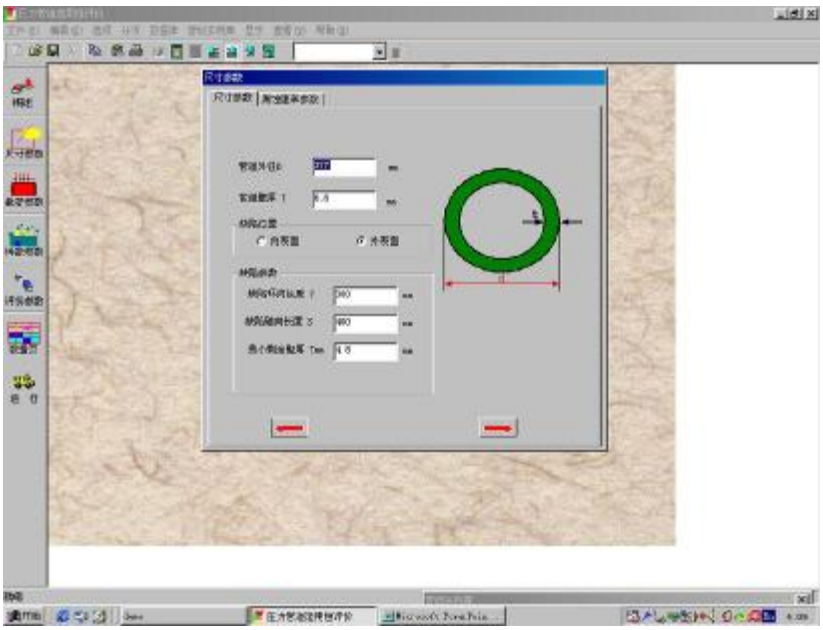
中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

（3）腐蚀缺陷剩余寿命预测



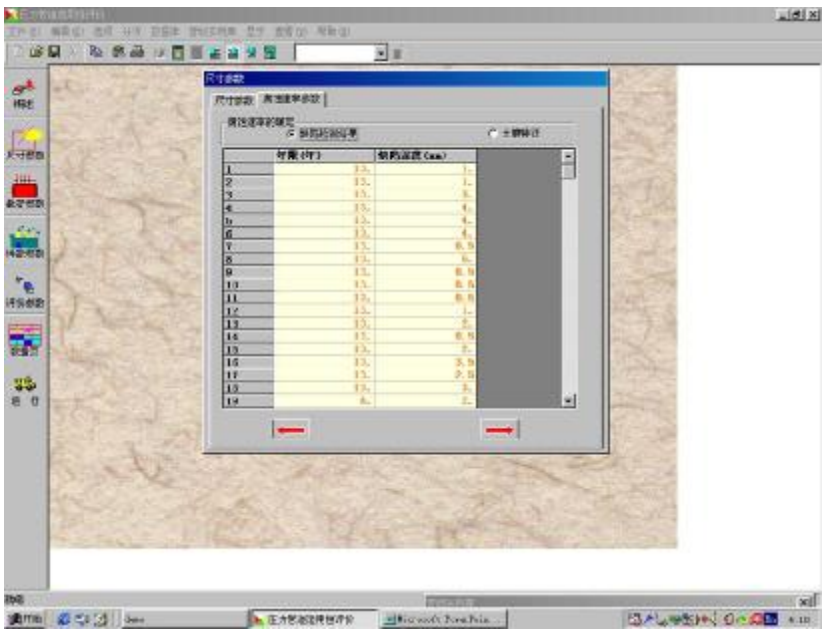
86

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



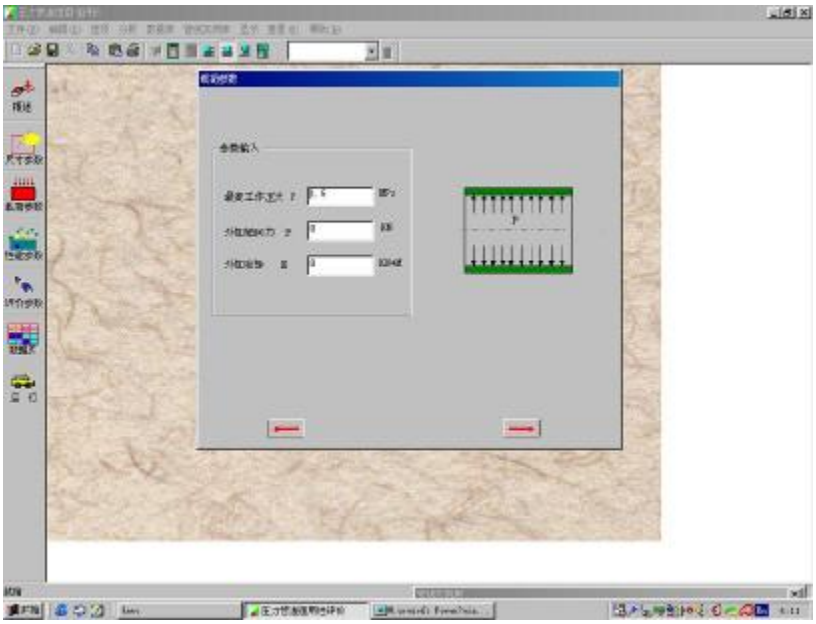
87

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根



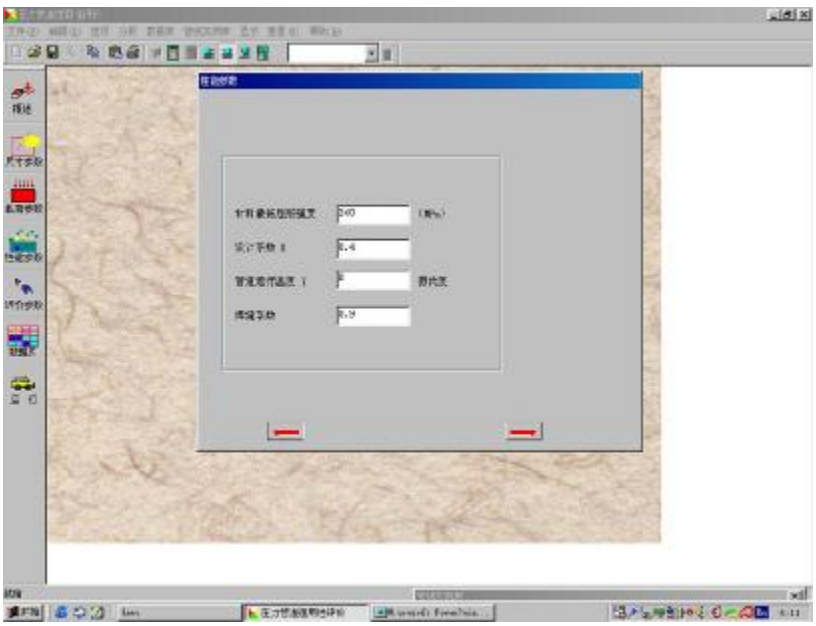
88

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



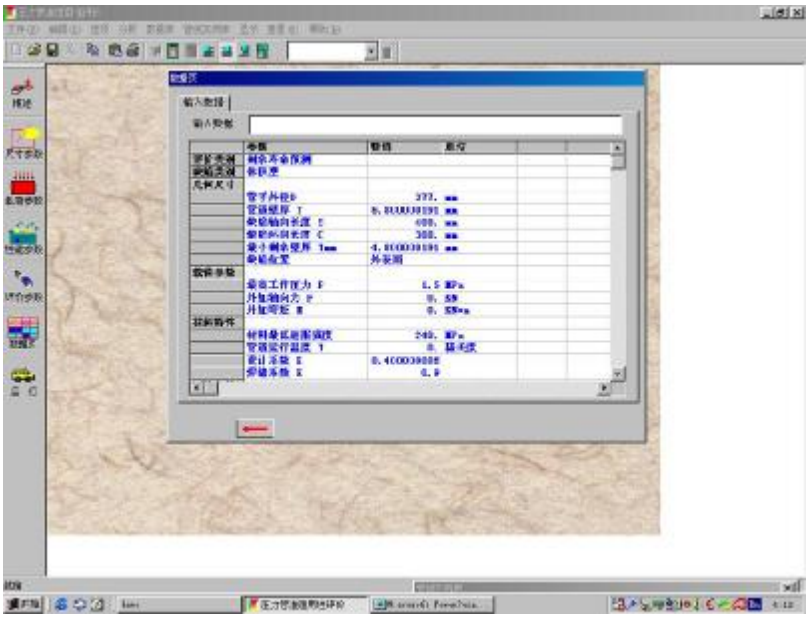
89

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根



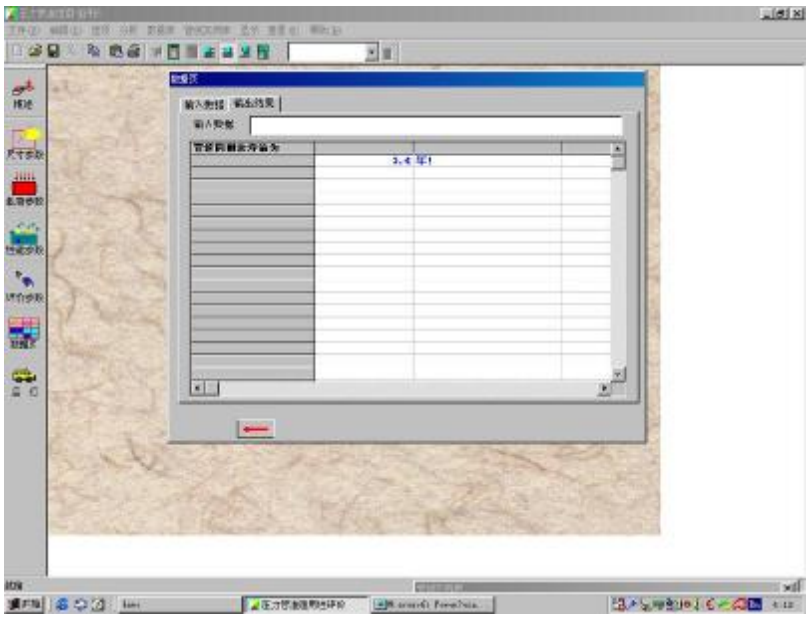
90

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



91

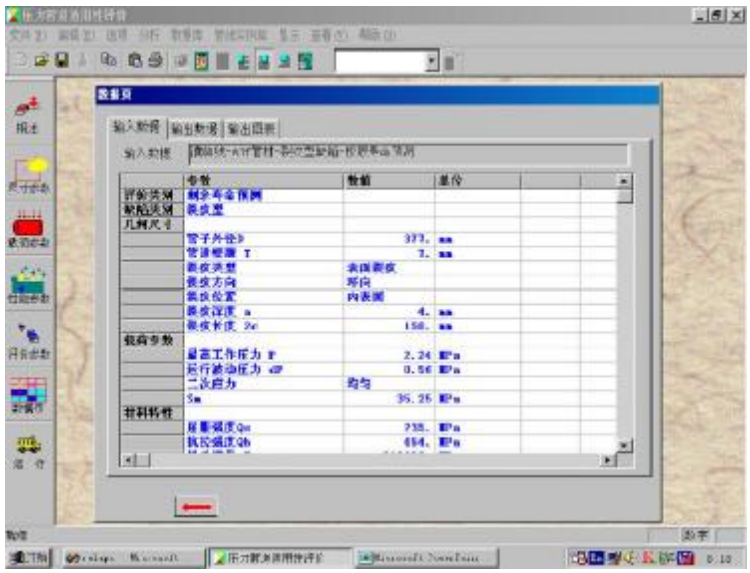
中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根



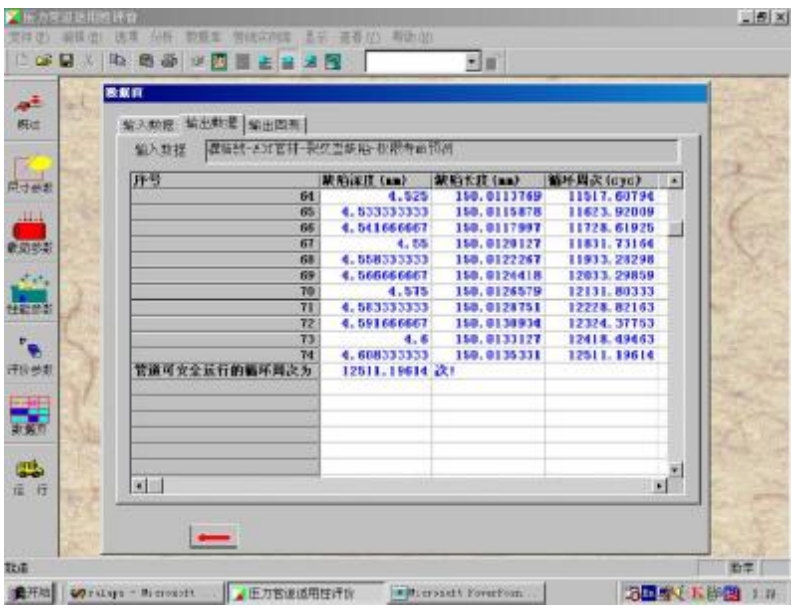
92

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

（4）裂纹型缺陷极限寿命预测

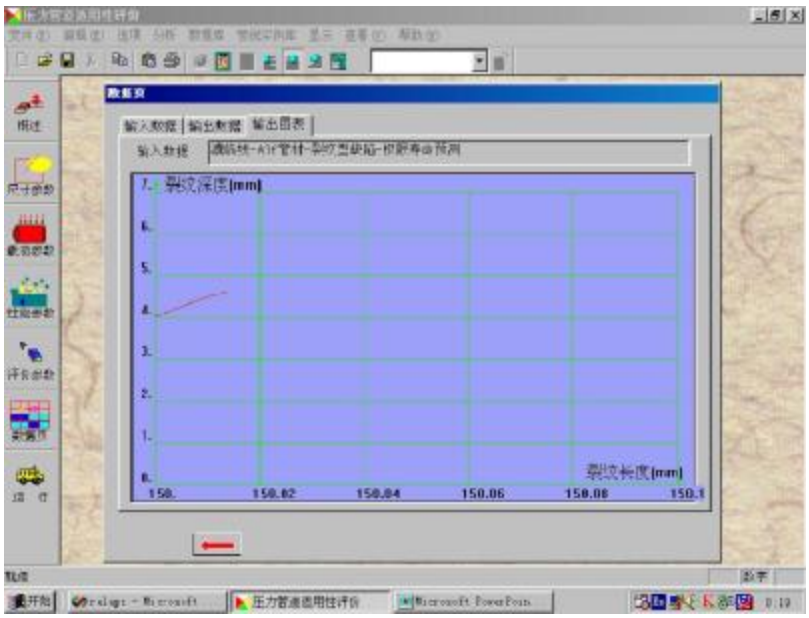


93



94

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



95

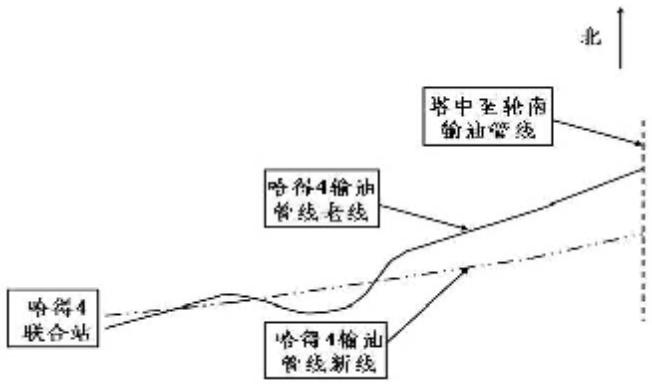
2）哈得管线安全评价简介

管线基本情况

管道名称	起终点	管道规格（mm）	长度（km）	材质	最大输量	投产日期
哈得输油管道（旧线）	起点：哈得4联合站 终点：塔轮输油管线（桩105）	219´7	58.7	20#	40 × 10^4t/a	2000.6.25
哈得输油管道复线（新线）	起点：哈得4联合站 终点：塔轮输油管线（桩115）	273.1´6.7	50.0	L290	100 × 10^4t/a	2003.9.6

96

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



哈得输油管线走向示意图

老线外腐蚀检测结果

序号	开挖点位置（km+m）	防腐层破损点位置	防腐层厚度（mm）	防腐层破损尺寸（cm）	破损点描述	防腐层耐高压等级（kV）	粘结力
1	13+915	12点钟位置	符合要求	3×3	正方形凹坑	25	合格
2	28+490	5点钟位置	符合要求	/	龟裂	25	合格
3	37+125	5点钟位置	符合要求	13×18	防腐层脱落，有锈蚀痕迹	25	合格
4	43+630	4点钟位置	符合要求	3×3	呈圆型凹坑	25	合格
5	56+147	4点钟位置	符合要求	9×14	长勺型	25	合格

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



3＃开挖坑防腐层破损点形貌



5＃开挖坑防腐层破损点形貌

新线外腐蚀检测结果

序号	开挖点位置（km+m）	防腐层破损点位置	防腐层厚度（mm）	防腐层破损尺寸（cm）	破损点描述	防腐层耐高压等级（kV）	粘结力
6	9+125	12点钟位置	符合要求	18×31	扁平	25	合格
7	24+595	2点钟位置	符合要求	2×2	椭圆型	25	合格
8	26+575	5点钟位置	符合要求	6×4	椭圆型凹坑	25	合格
9	32+360	12点钟位置	符合要求	/	针孔装破损	25	合格
10	42+300	2点钟位置	符合要求	/	针孔装破损	25	合格

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



8#检测点防腐层破损原始形貌



9#检测点防腐层破损原始形貌

老线C－扫描检测结果

检测坑 / 缺陷尺寸	1	2	3	4	5
长度(环向,mm)	7.65	8.88	10.98	30.83	24.06
宽度(轴向,mm)	60.76	29.62	25.82	48.61	45.57
深度(mm)	0.62	0.46	0.46	0.62	0.31

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

新线C－扫描检测结果

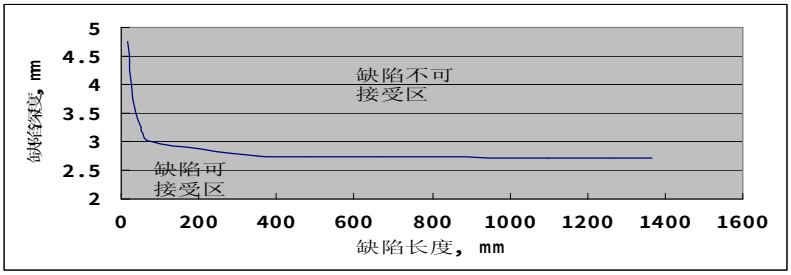
检测坑 / 缺陷尺寸	6	7	8	9	10
长度(环向,mm)	5.5	0.0	9.32	3.91	36.69
宽度(轴向,mm)	21.27	0.0	13.67	3.8	88.1
深度(mm)	0.62	0.15	0.46	0.31	0.31

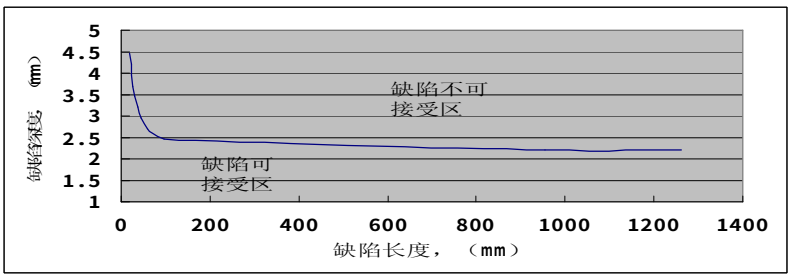
中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

剩余强度评价结果

剩余强度评价采用管材研究所根据SY/T 6477编制的安全评价软件TGRC-AFSP软件，计算出关于缺陷深度和轴向长度的极限缺陷尺寸曲线，如下图所示。从图中可以看出，对于所发现的缺陷最深深度分别为1.16mm（老线）和0.26mm（新线）的腐蚀缺陷，哈得4输油管线在6.4MPa压力下能够安全运行。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn





105

中 国 石 油 管 材 研 究 所
TUBULAR GOODS RESEARCH CENTER OF CNPC
产业为标 科技为本 服务为魂 油田为根

剩余寿命预测结果

在6.4MPa压力下，维持目前的运行环境，哈得输油管线老线检测周期或称腐蚀剩余寿命为4.75年，哈得输油管线新线检测周期或称腐蚀剩余寿命为8年。

106

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

汇报完毕
请各位领导和专家
批评指正



107

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn