

# 城市燃气管道电磁涡流内检测解决方案

----四川德源管道科技股份有限公司



联系人：孙鹏

联系方式：15708463536



# CONTENTS

## 目录

01. 城市燃气管道内检测面临的挑战
02. 城市燃气管道电磁涡流内检测解决方案
03. 案例分享



# 城市燃气管道内检测面临的挑战



非常规管道内检测技术领导者

截至2023年末，我国城市燃气管道长度104.73万公里，城市燃气普及率98.25%，管道燃气普及率83.46%。北京、浙江和上海3个省（市）城市燃气普及率达到100%。其中老旧管道（服役20年以上）占比约15%-20%，部分城市甚至超过30%。聚乙烯（PE管）逐步替代铸铁管和钢管成为主流，但老旧金属管道仍广泛存在。

## 1. 管道本体缺陷☆

腐蚀与老化

接口与焊缝缺陷

老旧管道法兰、螺纹接口易松动

焊接工艺缺陷（如未焊透、气孔）在高压下易引发泄漏

## 2. 外部破坏风险

## 3. 管理与运维短板



非常规管道内检测技术领导者

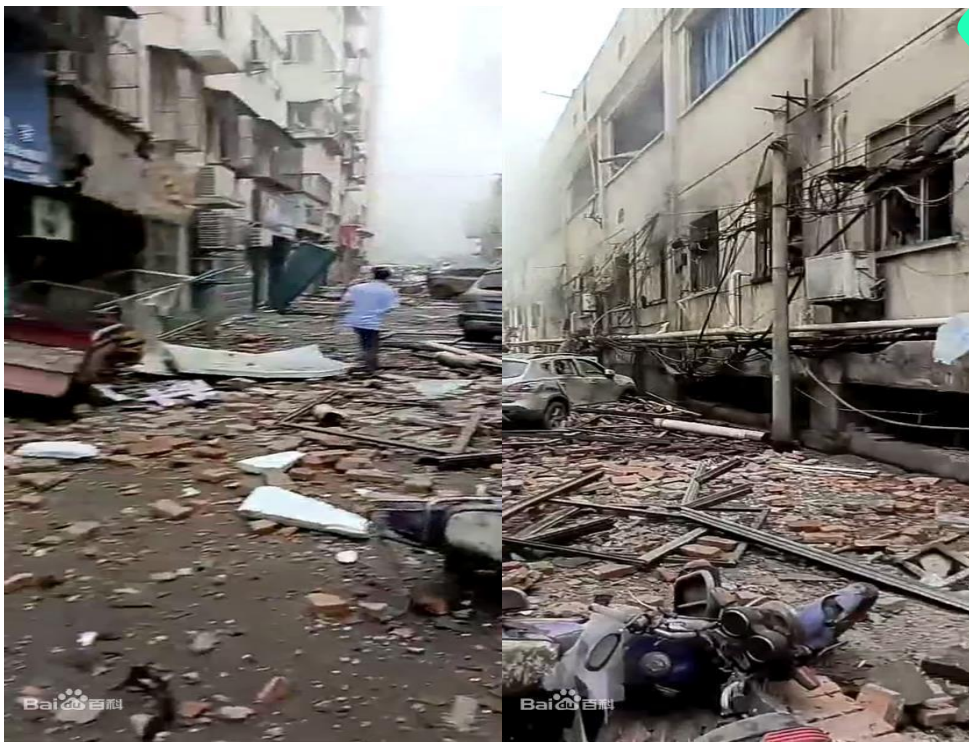


# 城镇燃气事故案例



## 1. 湖北十堰“6·13”重大燃气爆炸事故（2021年）

管道为1990年代建设的铸铁管，长期受潮湿环境影响**腐蚀严重**，导致天然气泄漏并在地下密闭空间聚集。爆炸造成26人死亡、138人受伤，直接经济损失约5395万元。



## 2. 河北燕郊3月燃气爆燃事故（2024年）

管道老化泄漏，老旧钢制燃气管道因腐蚀导致燃气泄漏至污水管道，遇明火引发爆燃。造成7人死亡、27人受伤。



非常规管道内检测技术领导者

### 3. 韩国首尔燃气管道爆炸 (2002)

接口焊接缺陷，新建燃气管道焊接质量不达标，长期受振动后开裂泄漏。爆炸引发火灾，致2人死亡，10人受伤，周边商铺严重损毁。



**燃气安全是**

**“生死线”，**

**更是“民心线”**

## 国务院及相关部门的相关规定

**2018年1月**，中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《**关于推进城市安全发展的意见**》，并发出通知，要求各地区各部门结合实际认真贯彻落实。

**2022年6月10日**国务院办公厅发布了《**城市燃气管道等老化更新改造实施方案（2022-2025年）**》

**2023年8月**，国务院安全生产委员会印发《**全国城镇燃气安全专项整治工作方案**》。它是为深刻汲取近年来城镇燃气安全重特大事故教训，全面加强城镇燃气安全风险隐患排查治理，切实保障人民群众生命财产安全，制定的工作方案。



## 1. 人工巡检

覆盖范围有限、效率低下、主观性风险

## 2. 压力测试

破坏性检测、仅验证整体强度、无法动态监测

## 3. 泄漏检测

被动响应、环境干扰大、灵敏度不足

## 4. 外腐蚀直接评估 (ECDA)

依赖间接推测、无法检测内腐蚀、适用性受限

(通过土壤电阻率、防腐层破损点检测等间接评估腐蚀风险，无法直接量化管壁剩余厚度。)



激光甲烷检测仪



# 城市燃气管道内检测面临的挑战

## 1. 管道本体结构特征



非标发球装置 (非标发球筒、临时发球装置)



管道特征复杂 (高焊缝、连续弯头、斜接弯头)



管道缩径



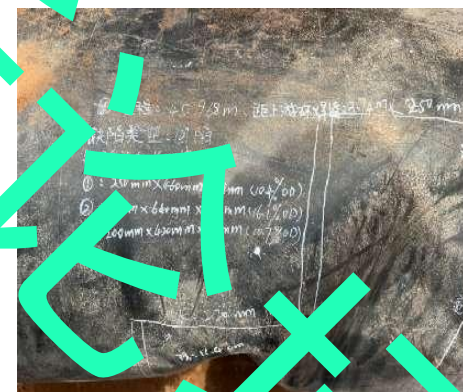
管道内有台阶



小口径厚壁管道



管线落差大



管道超限变形

非常规管道内检测技术领导者



# 城市燃气管道内检测面临的挑战



## 2. 管道输送工艺及运行条件



管道沉积物 (结垢、结蜡严重)



压力低



流量低



发球作业空间受限

管道清洁度未知  
从未进行过通球  
支管/三通无扫线

.....

非常规管道内检测技术领导者

# 检测能力需求



管道现状	检测挑战	检测器能力要求	检测器总结
非标发球装置	常规检测器难以应用	检测器长度短	集成度高
管道特征复杂	常规检测器难以通过	通过能力强	通过能力强
管道缩径	常规检测器难以通过	通过能力强	通过能力强
管道内部台阶	常规检测器难以通过	通过能力强	通过能力强
厚壁管	通过能力弱及难以磁化	通过能力强，不受管道壁厚限制	厚壁管缺陷检出能力
管道超限变形	常规检测器通过能力弱	通过能力强	通过能力强
管道沉积物	沉积物堆积，难以通过；检测效果不佳；	通过能力强、对管道清洁度要求低	通过能力强、清洁度要求低
低压低流量	常规检测器无法进行检测	启动压差小、运行阻力小	重量轻、运行阻力小
小口径	尺寸限制且结构复杂	小巧且检测且保证检测精度	通过性能力强

非常规管道内检测技术领导者

集成度高、重量轻、

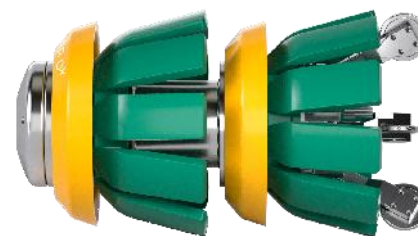
通过能力强、运行阻力小；

适用速度范围广；

缺陷检出能力强；

适用于小口径管道；

适用于低压低流速检测；





# 城市燃气管道电磁涡流内检测解决方案

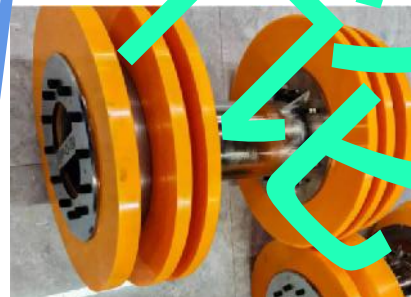
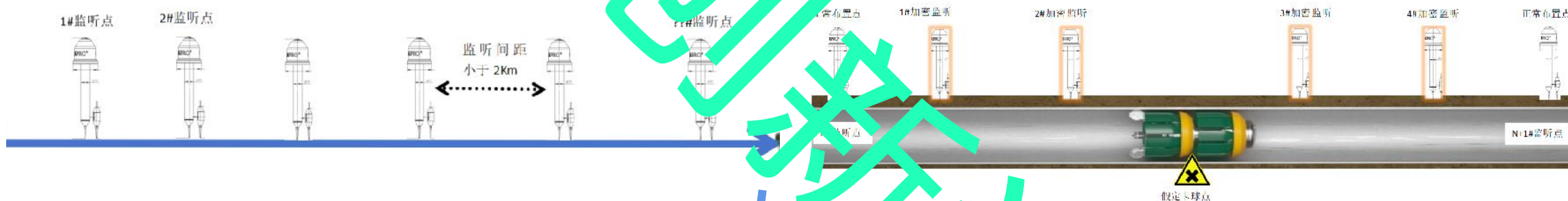


非常规管道内检测技术领导者

# 城镇燃气管道检测方案



- 第一步，发泡沫球，通过**TP智能跟踪球仪**信号分析，筛选判断疑似卡球点，分析皮碗通过性；
- 第二步，根据泡沫球清管情况判断发皮碗或直碟清管器；
- 第三步，发**电磁涡流检测器**，并采用TP智能跟踪球仪实时跟踪。



非常规管道内检测技术领导者

# PIGPROX系统简介



## PIGPROX<sup>®</sup>电磁涡流管道内检测机器人

- 专利技术的差动涡流内检测仪器
- 无源智能跟踪仪
- 检测数据分析软件
- 智能跟踪软件
- 用户检测数据管理软件
- 内检测缺陷定位技术



**PIGPROX** 电磁涡流内检测系统，是四川德源管道科技股份有限公司于2021年正式发布的德源管道检测解决方案的注册商标。

**PIGPROX** 不仅仅是一种涡流内检测工具。它是一个内检测系统，包括PIGPROX-EC内检测器、PIGPROX-TR跟踪系统、PIGPRO-PIG清管器以及相关操作软件和分析软件等。

非常规管道内检测技术领导者



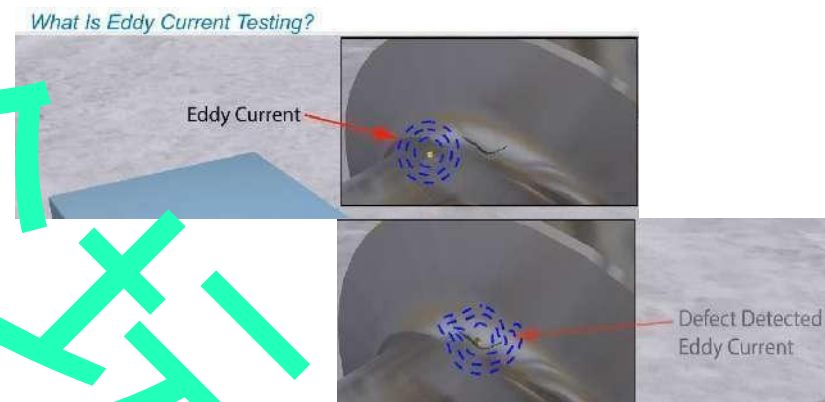
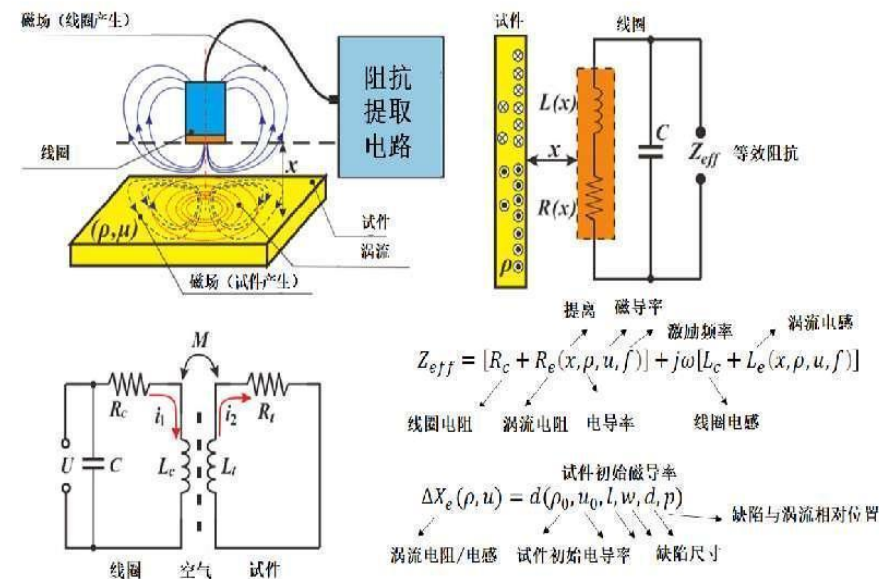
## 管道电磁涡流内检测技术(ECT)

### 什么是涡流?

当金属导体处在变化着的磁场中或在磁场中运动时, 由于电磁感应作用而在金属导体内产生的旋涡状流动电流。

### 涡流检测的原理

导体中的涡流也会产生自己的磁场, 涡流磁场同样会与线圈发生电磁感应作用, 进而在线圈上感生电压。当导体中某些因素发生改变, 如出现缺陷或电导率、磁导率、形状、尺寸发生变化时, 将影响涡流的强度和分布, 进而引起线圈感应电压的变化, 通过测定线圈感应电压(阻抗)变化而实现无损检测的方法就是涡流检测。



非常规管道内检测技术领导者

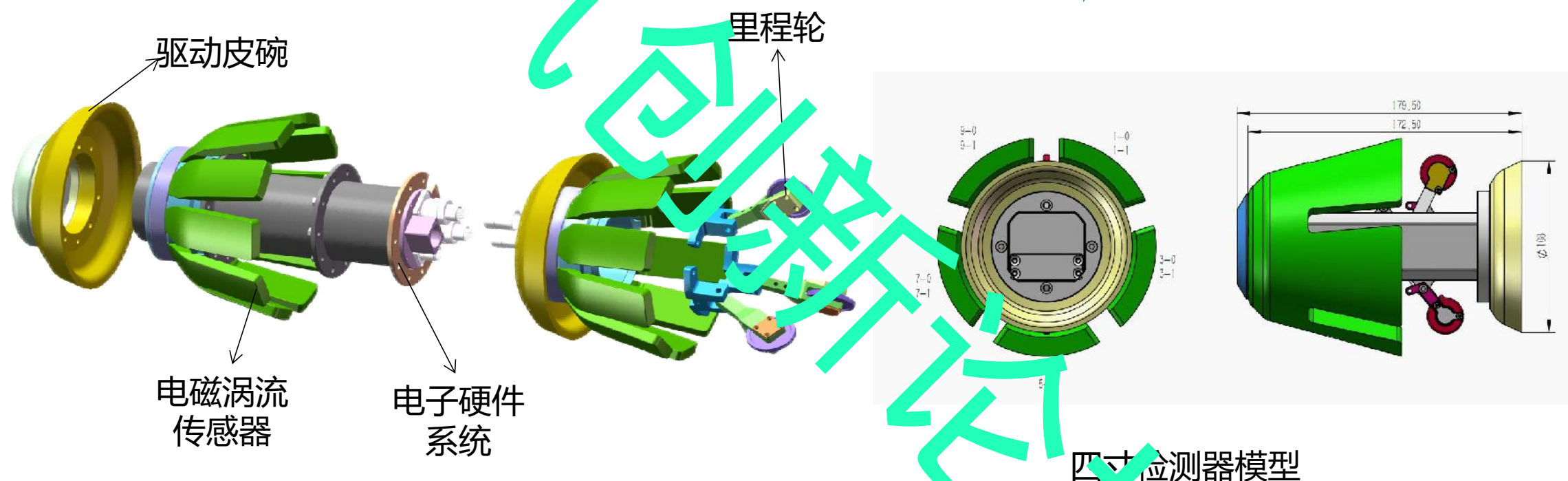


# PIGPROX-EC : 关键技术优势

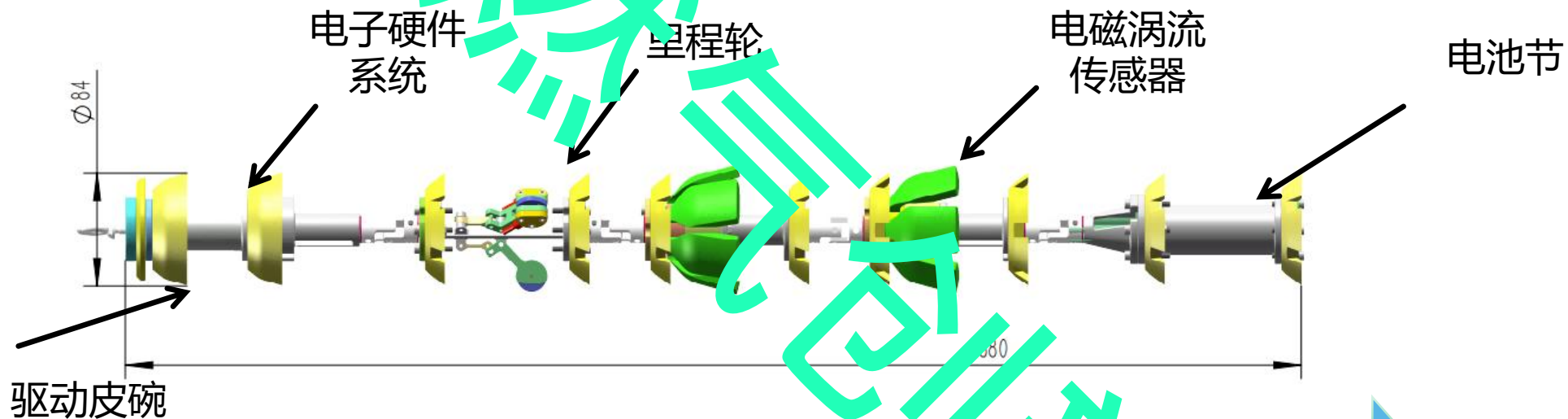
高度集成的设计，检测器体积小、重量轻



通过性好



# PIGPROX-EC电磁涡流内检测器



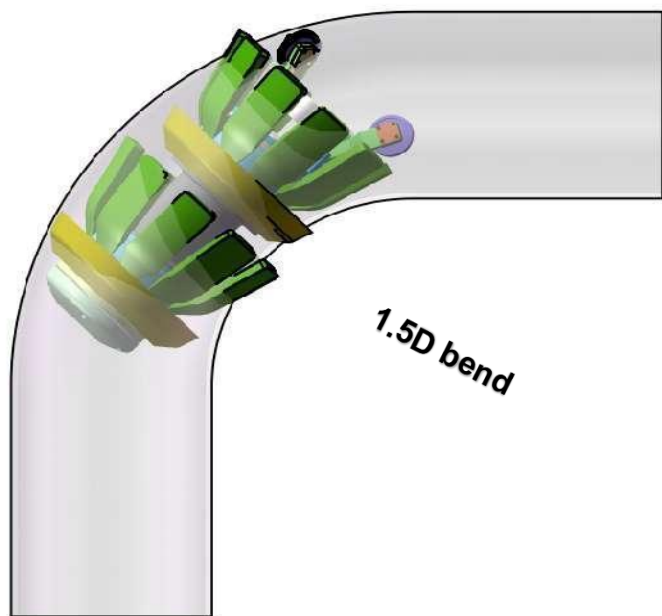
三寸检测器

小口径厚壁管

非常规管道内检测技术领导者

## PIGPROX-EC : 关键技术优势

能够顺利通过 1.5 D 弯头 or 20%OD 管道变形



**管道特征复杂**

(超限变径、高焊缝、连续弯头、斜接弯头)

**成功通过 16.7%OD 变形 (屈曲变形)**

非常规管道内检测技术领导者



# PIGPROX-EC：关键技术优势



可通过**短节发球**、**清球阀发球**、**临时收发装置发球**



改造临时发球装置

短节发球



球阀发球



**非标发球装置**



非常规管道内检测技术领导者



## PIGPROX-EC：关键技术优势



在保证通过性的前提下，对管道清洁程度要求不高，检测前只需**1-2次**清管即可；



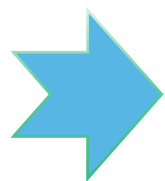
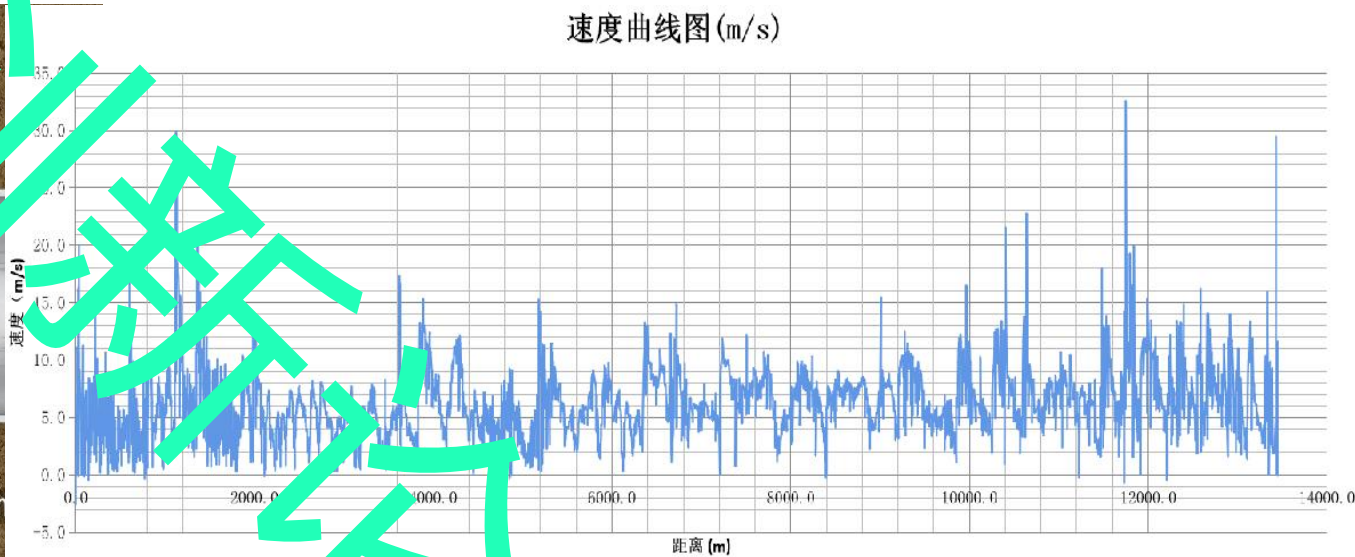
**管道清洁度未知**

非常规管道内检测技术领导者

# PIGPROX-EC : 给客户带来的好处



在0.1MPa (14.5 psi) 压差条件下, 即可平稳运行; 理想的运行速度范围: **0.1-8m/s**。



## 低压低流量管道

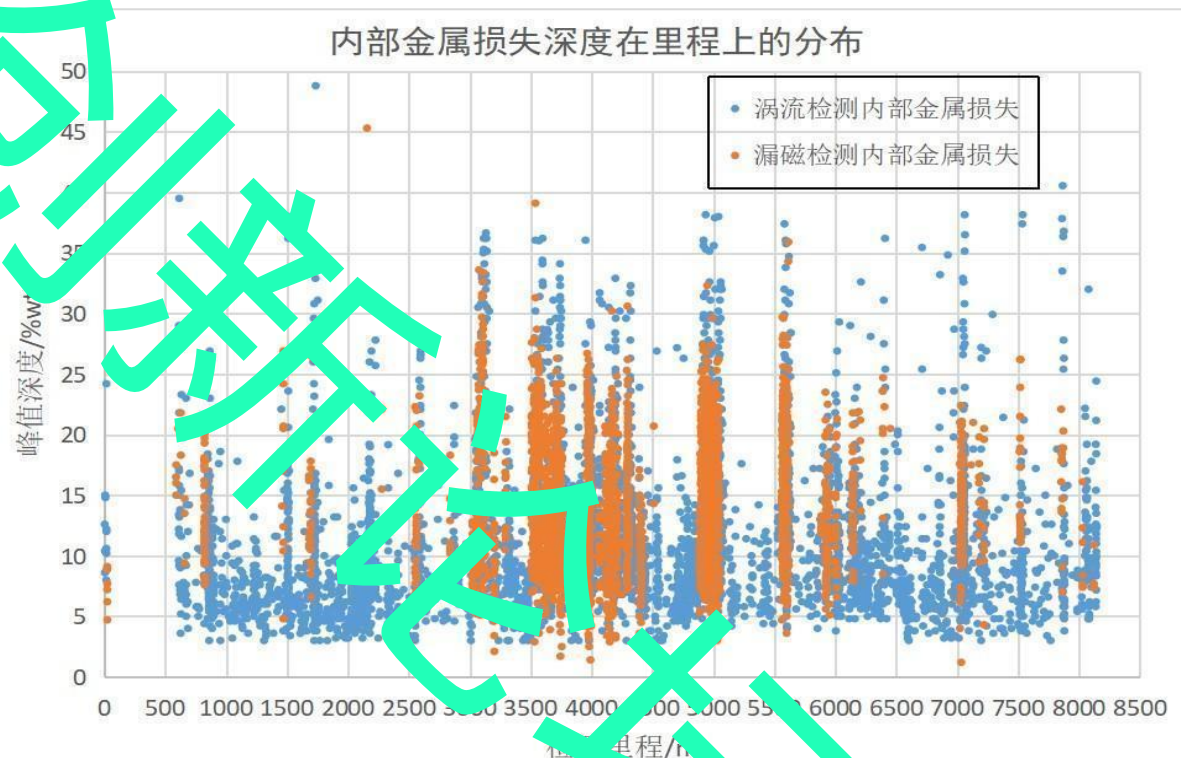
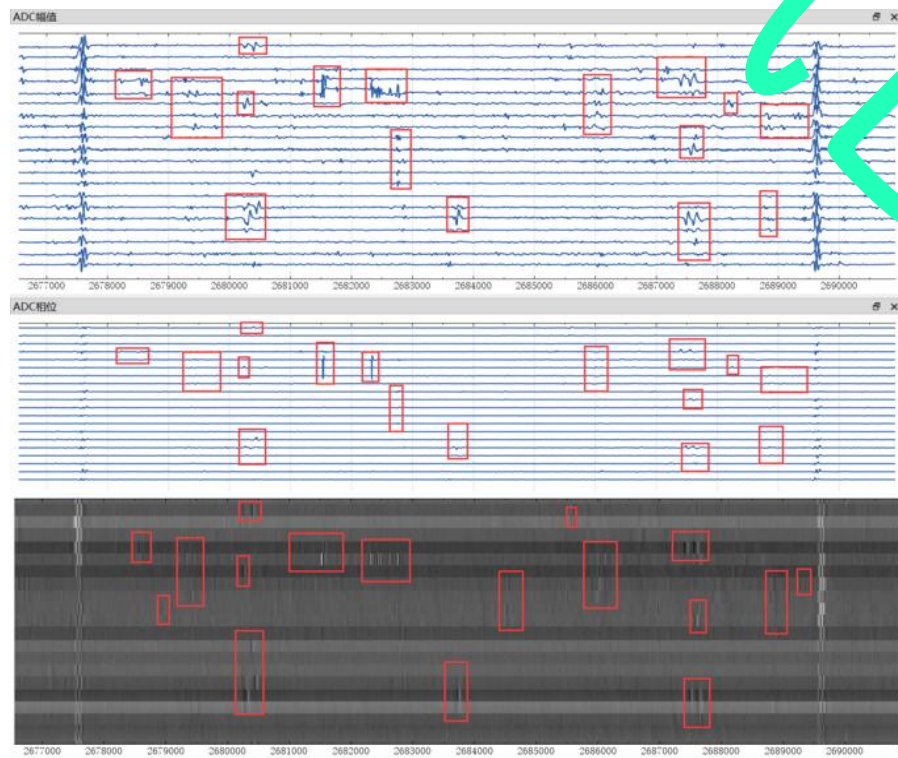
非常规管道内检测技术领导者



# PIGPROX-EC : 给客户带来的好处

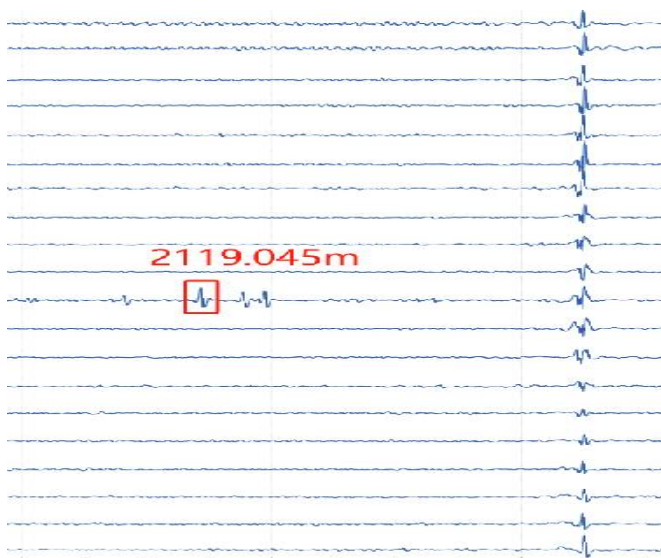


高灵敏和高信噪比的探头对缺陷的检出率高、缺陷检出重复性好，便于客户进行管道内腐蚀发展趋势分析，制定精准的内腐蚀控制措施。

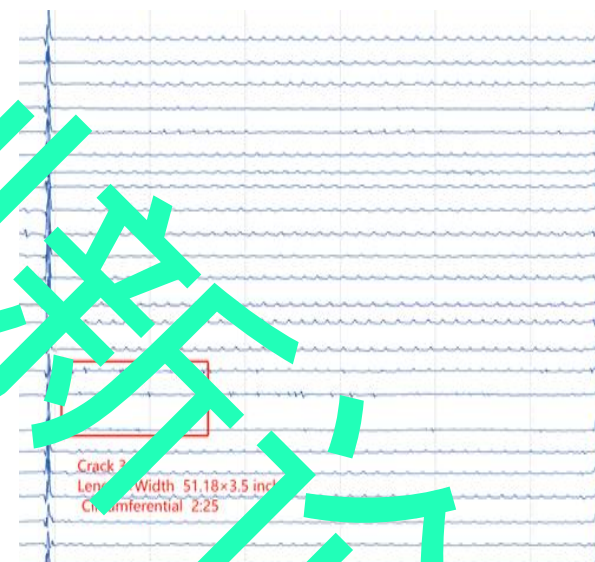


非常规管道内检测技术领导者

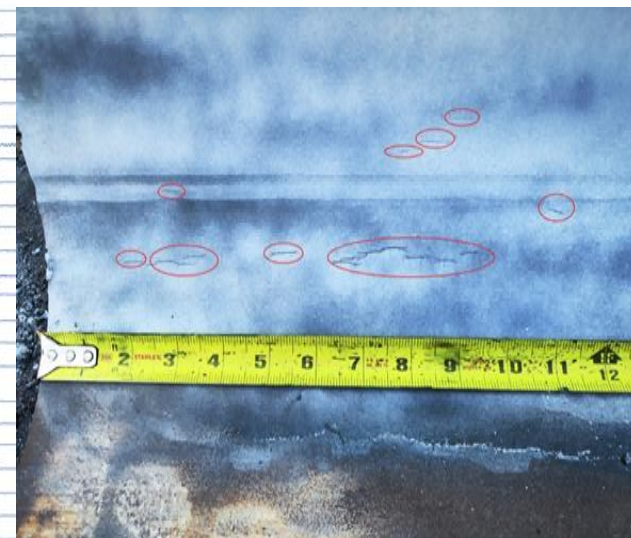
**其他检出能力：**对于微小的表面和近表面缺陷，涡流检测能够敏锐地捕捉到电学特性的变化。



针孔缺陷



轴向裂纹





# PIGPROX-EC电磁涡流内检测器



PIGPROX-EC能够识别什么特征

分类	内容	PIGPROX
缺陷检测能力	内腐蚀	√
	外腐蚀	×
	内表面裂纹	√
	点蚀	√
	针孔	√
	变形	√
	凹陷	√
	褶皱	√
	环焊缝异常	√
	螺旋焊缝异常	√
特征检测能力	阀门	√
	三通	√
	弯头	√
	支管	√
	法兰	√
	环焊缝	√
	螺旋焊缝	√
应力检测能力	应力集中区域	√

分类	内容	PIGPROX
运行参数	驱动压差	0.1 MPa
	运行速度范围	0.1-8 m/s
发球装置	清管阀	√
	非标发球装置	√
	标准发球筒	√
	临时装置	√
管道材质	碳钢	√
	不锈钢	√
	双金属复合管	√



# PIGPROX-EC性能指标



性能参数		GB/T 27699	PIGPRO-EC
内部缺陷检出阈值	POD = 90 %	1.5mm	1.5mm
内部缺陷报告阈值	90 % 置信度条件下	10mm	10mm
深度		±1.5mm	±1.3mm (↑)
长度		±15mm	±12mm (↑)
宽度		±20mm	±11mm (↑)
轴向定位精度 (相对最近环焊缝)		±0.1m	±0.1m
周向定位精度		±5°	±5°

PIGPROX-EC性能指标 (第三方鉴定报告)



中国船级社质量认证有限公司  
CHINA CLASSIFICATION SOCIETY CERTIFICATION CO., LTD.

产品试验证明  
CERTIFICATE OF PRODUCT TEST

编号: SC230700

四川德清管道科技股份有限公司  
Sichuan Deqing Pipeline Technology Co., Ltd.  
成都市高新区天府大道北段777号中核国际交流中心A座1801  
Room 1801, Block A, A/C Center No.777, Aikun Avenue North Section, High-tech Zone, Chengdu, Sichuan, China

产品名称/型号/规格 (产品详细见附录)  
PIGPROX-EC 管道内检测系统 (DN50-DN1200)  
PIGPROX-EC Electromagnetic Eddy Current Pipeline I/I System/ DN50-DN1200

四川德清管道科技股份有限公司  
Sichuan Deqing Pipeline Technology Co., Ltd.  
成都市高新区天府大道北段777号中核国际交流中心A座1801  
Room 1801, Block A, A/C Center No.777, Aikun Avenue North Section, High-tech Zone, Chengdu, Sichuan, China

试验项目/结果 (Test items and results): 详见附录 (See the attached page for details)

试验地点/Test site: 成都 Chengdu

试验日期/报告日期: 2023年12月7日 / Issued on December 7, 2023

签发地点: 北京  
Issued at Beijing

签发机构: 中国船级社质量认证有限公司  
Issued by China Classification Society Certification Co., Ltd.

产品试验证明附录  
PRODUCT TEST CERTIFICATE APPENDIX

编号: SC230700

产品明细/技术规格  
Product details/Technical specifications

类型/Item	内容/Contents	参数/Parameter
单个探头参数 Parameter of single probe	新识别 20X20X1mm 金属剥离的最大提高值 Max. lift off value that 20X20X1mm metal loss can be detected 在 90%置信度下, 探头缺陷深度量化精度 Depth sizing accuracy of probe (90% certainty) 在 90%置信度下, 探头缺陷长度量化精度 Length sizing accuracy of probe (90% certainty)	20mm ±1.3mm ±1.3mm
检测系统参数 System parameter	缺陷检出率 Defect that detectable POD=90%时的管壁缺陷检测阈值(深度) Detection threshold (POD=90%) 管道内检测器报警阈值(深度) Anomaly reporting threshold (Depth) 检出率 (POD) 检出率 (POI) 置信度 Certainty 在 90%置信度下, 检测系统缺陷长度量化精度 Length sizing accuracy of system (90% certainty) 在 90%置信度下, 检测系统缺陷宽度量化精度 Width sizing accuracy of system (90% certainty) 在 90%置信度下, 检测系统缺陷深度量化精度 Depth sizing accuracy of system (90% certainty) 在 90%置信度下, 检测系统缺陷定位精度 System accuracy of distance to adjacent girth weld (90% certainty)	1mm 10mm ≥90% ≥90% ≥90% ±12mm ±11mm ±1.3mm ±0.01m

形式/Form: CP/806R12

在 90%置信度下, 检测系统缺陷周向定位精度 System accuracy of circumferential position (90% certainty)	±5°
耐水压性能 Max. water pressure resistance	10MPa
可通过最小弯头尺寸 Min. radius of bend through capacity	1.5D 90°弯头 1.5D 90° bend
可通过管道凹陷尺寸 Max. deformation through capacity	20% OD (管道外径)
可适应高温环境温度 Max. temperature	90°C

试验项目及结果  
Test items and results

试验项目/Test item	见证方式/Method	试验结果/Result
单个探头性能 Single probe performance	现场见证 Field verification	合格/Pass
检测系统响应性能 System response performance	现场见证 Field verification	合格/Pass
检测系统耐水压性能 System water pressure resistance	现场见证 Field verification	合格/Pass
检测系统通过能力 System bend through capacity	现场见证 Field verification	合格/Pass
检测系统管壁凹陷通过能力 System deformation through capacity	现场见证 Field verification	合格/Pass
检测系统耐高温能力试验 System max. temperature	现场见证 Field verification	合格/Pass

中国测试技术研究院测试报告  
Test Report of NIMTT

报告编号/测试单号: 202300001343号  
Report No.:

测试结果  
Results of Test

5 Test Results

Test content	No.	Item	Result	Confidence level
Single Probe Defect Detection Capability	1	Single Probe Defect Detection Threshold (Depth)	1mm	/
	2	Defect Reporting Threshold (Depth)	10mm	/
	3	Quantitative Accuracy of Single Probe Defect Depth	[-0.45mm, 0.45mm]	90%
	4	Quantitative Accuracy of Single Probe Defect Length	[-14mm, 3mm]	90%
	5	Maximum Lift-off Value of Single Probe	20mm	/
Quantitative Accuracy	1	Quantitative Accuracy of Detector Defect Length	[-15mm, 15mm]	90%
	2	Quantitative Accuracy of Detector Defect Width	[-13mm, 13mm]	90%
	3	Quantitative Accuracy of Detector Defect Depth at 50% Certainty	[-0.3mm, 1.3mm]	90%
	4	Axial Location Accuracy of Detector Defect	[-0.02m, 0.03m]	90%
	5	Circumferential Location Accuracy of Detector Defect	[-5°, 5°]	90%
Mechanical Performance	1	Hydrotest	10 MPa	/
	2	Minimum Bend Through Capacity of Detector	1.5D Bend	/
	3	Pipeline Deformation Through Capacity of Detector	20% OD	/

BLANK BELOW

备注/Note

核验员/Checked by: 高磊  
测试员/Tested by: 和永强

证书页 (4/2021(1))  
Continued Page

第 26 页 共 26 页  
Page of

CCS认证

NIMTT认证

非常规管道内检测技术领导者

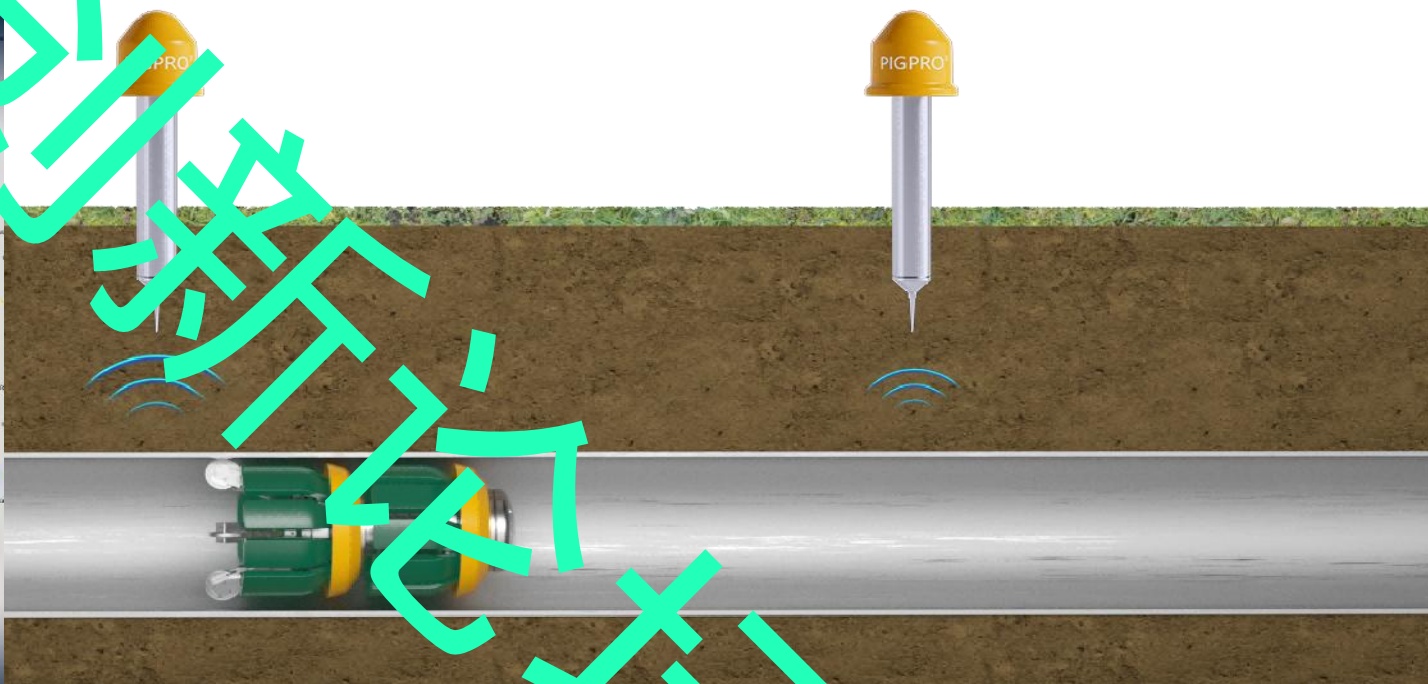


## 助力卡堵定位



**TR智能跟球系统**，无源跟踪，无人值守，实时轨迹展示清管器/检测器在管道中的状态

它由专利技术的PIGPROX-TR跟踪仪和跟踪软件系统组成。主要用于对清管器、内检测器在管道内的运行位置进行实时动态跟踪，并同步传输至跟踪软件系统，用户可通过PC或手机移动端实时掌握检测器或清管器的运行状态。



## 案例分享



非常规管道内检测技术领导者



### 管道基本信息

管道规格:  $\Phi 219 \times 6\text{mm}$

管道长度: 28.96Km

运行压力: 1.2MPa

输送介质: 天然气

发球装置: 非标收发球筒

投产时间: 2007年5月



收发球筒大筒长度过短，且非标称直管段



## 管道挑战一

该管道从未进行过内检测，管道内部情况不明，管线内是否存在大的几何变形异常点、斜接弯头等情况未知，有潜在的通球卡堵风险，且收发球筒收发球筒大筒长度过短，且无标称直管段。

### 解决措施：

(1) 在运行泡沫几何模拟体前，计划前运行1-2个常规泡沫清管器。(2) 在常规泡沫清管器顺利收出后再运行携带测径板的皮碗清管器。(3) 确认最大变形量后，根据实际情况评估，选用合适的检测器进行检测。如评估不满足检测要求，则需对管道进行改造，再进行检测。(4) 如泡沫清管器出现卡堵状态，通过工艺手段无法解堵时，增通过增压和放空，将泡沫清管器破坏进行解堵。不影响管线的正常运行。



## 管道挑战二

管线上下游均有用户，下游用户用气量大于上游井口产量，上游气体倒流，不满足检测条件，且管线工艺复杂，控速困难。

### 解决措施：

启动应急配气方案，采取其他方式保障下游用气，全力保障检测所需气量，并提前贴告示告知上下游用户，从清管到检测完成仅有36小时的窗口期；

利用前期清管，模拟检测状态工艺，积累经验。

## 管道挑战三

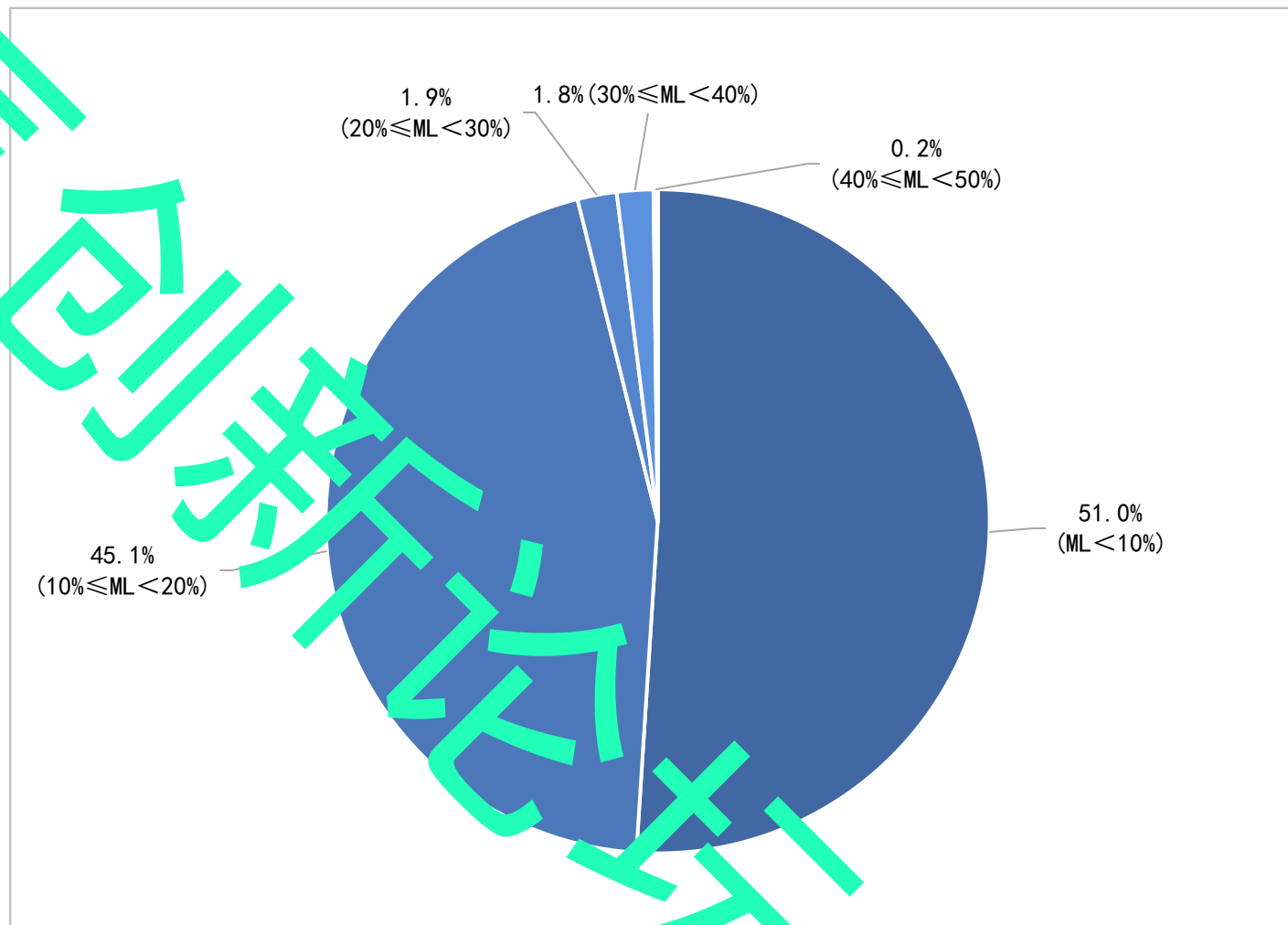
收球站进行改造后，污水池容量较小，约5方，2022年橡胶球清管清出60方液体，预估今年有30方液左右。

### 解决措施：

检测前开展清管作业，确保管道通过性；检测进行前期，提前协调油污收集罐车2辆排污车，直接采用油污收集罐车将清管及检测过程的污物从排污池中进行收集并托运至指定位置。

## 检测结果

管道特征类型	数量/处
阀门	5
法兰	0
三通	7
绝缘接头	4
支管	2
弯头	1044
环焊缝	6312
内部金属损失	1468
凹陷（其中46处凹陷*）	144
焊缝异常	0
其它	0





## 开挖验证

KWD-3	特征类型	绝对距离/m	峰值深度 /%wt	长度 /mm	宽度 /mm	深度 /mm	时钟方位 /hh:mm
内检测	内部金属损失	1852.999	0.0	78	32	1.8	1:56
实测	内部金属损失	1852.999	36.1%	55	28	2.2	1:35



## 开挖验证

KWD-5	特征类型	绝对距离/m	凹陷深度 (%OD)	长度 /mm	宽度 /mm	深度 /mm	时钟方位 /hh:mm
内检测	凹陷	9197.003	4.2	107	96	9.2	10:24
实测	凹陷	9196.584	5.0%	80	75	11.0	10:30
实测	凹陷	9196.768	6.4%	80	80	14.0	10:30
实测	凹陷	9197.003	5.5%	75	80	14.2	10:30



## 开挖验证

KWD-6	特征类型	绝对距离/m	峰值深度 /%wt	长度 /mm	宽度 /mm	深度 /mm	时钟方位 /hh:mm
内检测	内部金属损失	25438.166	2.7	22	16	1.6	3:03
实测	内部金属损失	25438.166	2.7%	25	18	2.0	3:00





## 案例二

### 管道基本信息

管道规格:  $\varphi 114 \times 4.4/5.6 \text{mm}$

管道长度: 2.8Km

运行压力: 6.3MPa

输送介质: **天然气**

发球装置: 临时收发球装置



### 管道检测难点

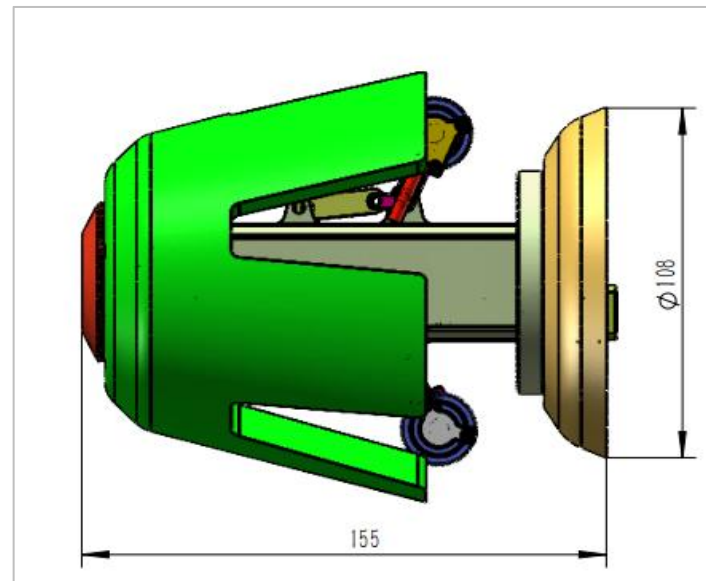
- 1.检测作业安排为停气窗口，且时间较短；
- 2.该管道全线无收发球装置，且管道投产12年以来未进行过清管作业，管道状况不明；
- 3.管道敷设环境复杂，多为穿跨越段，跟球困难；
- 4.注氮工艺发球，注氮设备压力、流量不稳定。





### 解决措施

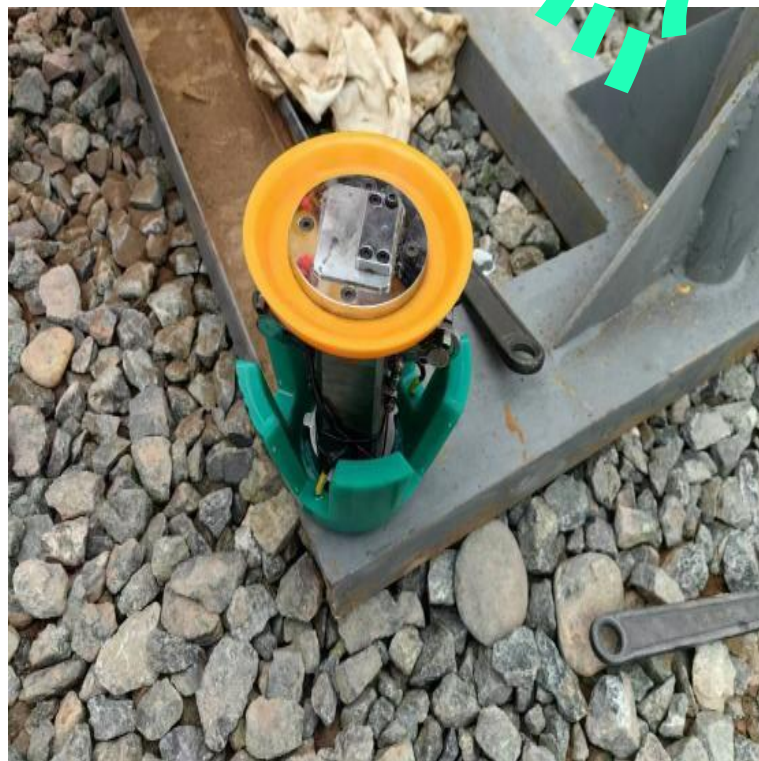
1. 根据管道工况量身定制设计检测器，提高检测器通过能力；
2. 在收发球两处安装临时收发球装置，解决了无收发球装置的难点；
3. 检测前使用双向运行泡沫球和直蝶清管器，如若遇到卡球可将其反推至发球筒，再配合使用PIGPROX-TR监听系统进行清管和检测的实时监听，及时掌握清管器和检测器的运行状态、位置等信息。





## 案例二

### 检测现场



涡流检测器



放入发球筒的涡流检测器



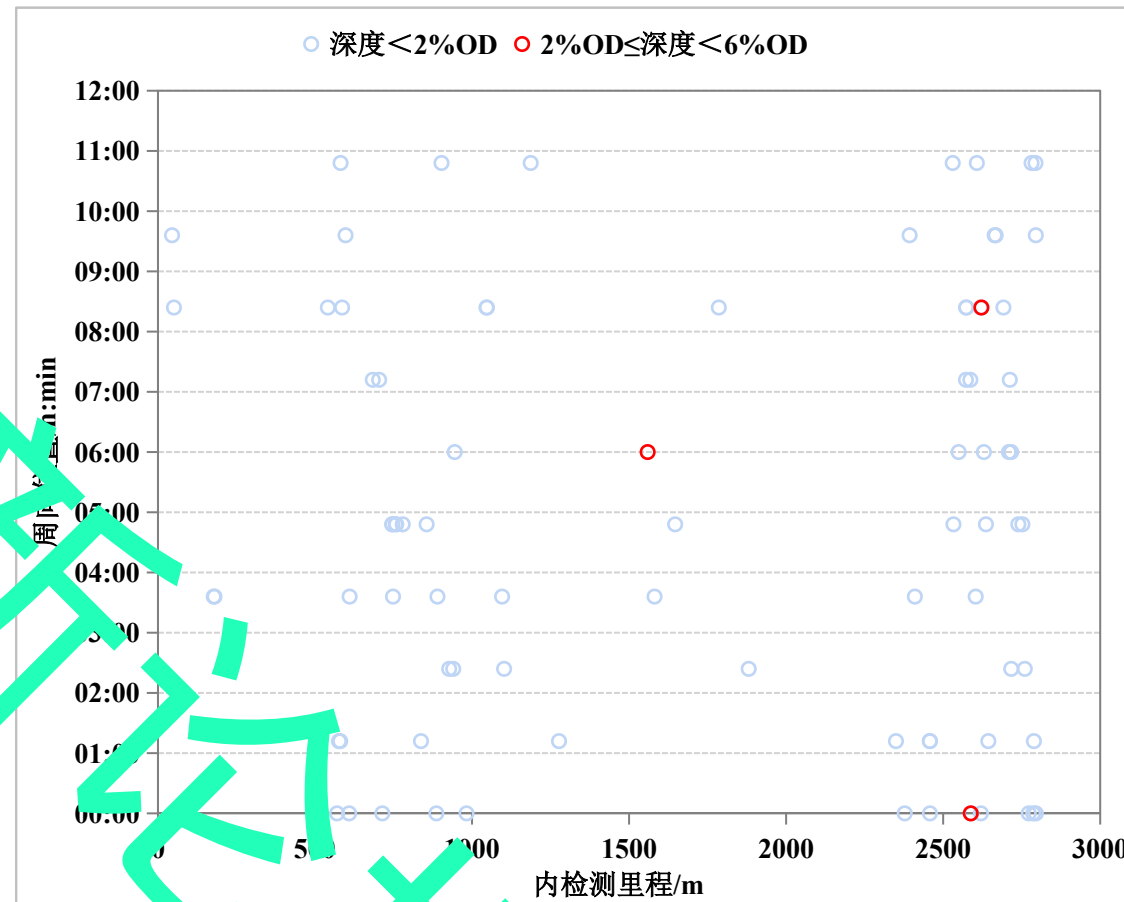
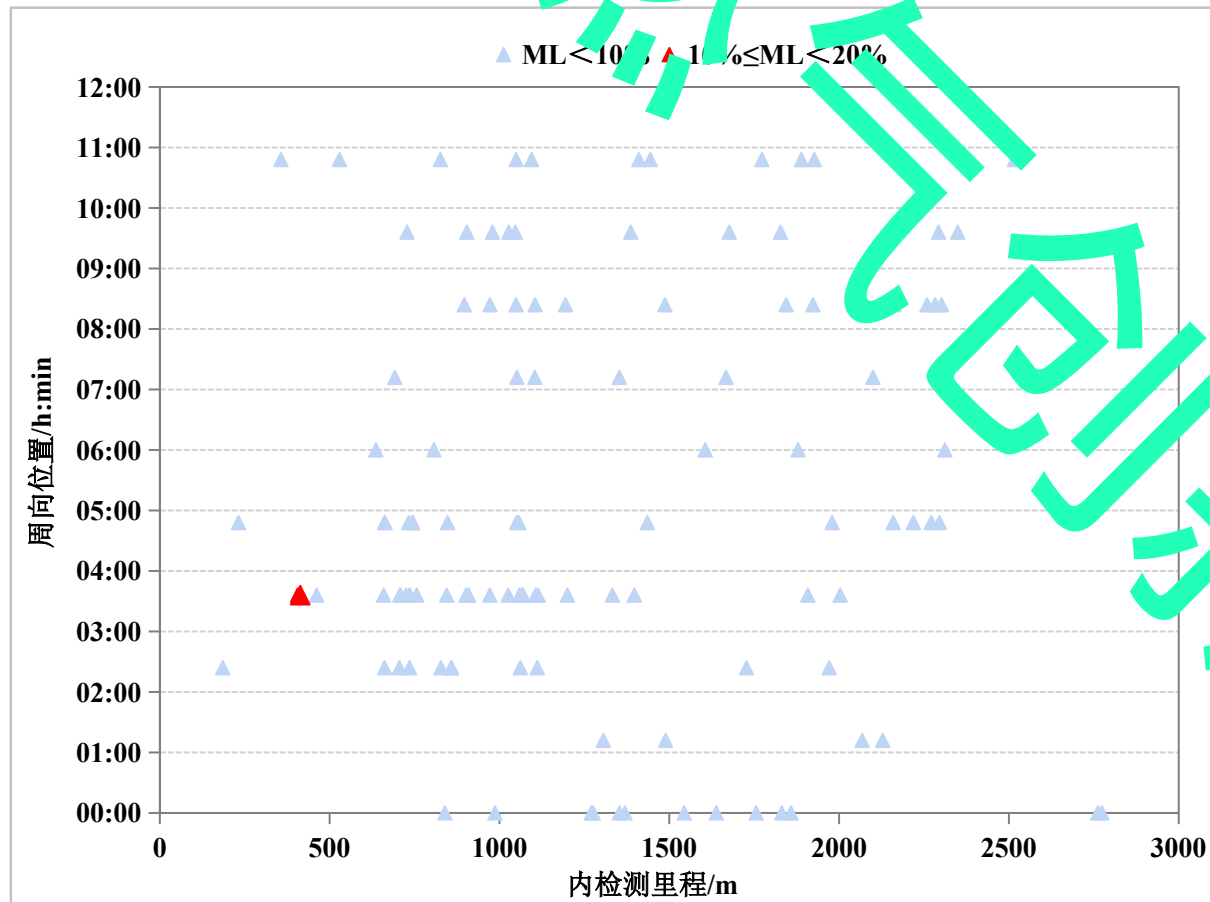
收球筒取出的涡流检测器

## 检测结果

- 数据采集完整，信噪比高。
- 信号质量好，缺陷、环焊缝、弯头等特征清晰。
- 检出的管道特征及缺陷数量见右表。

管道特征类型	数量/处
阀门	2
法兰	0
三通	0
绝缘接头	0
支管	3
弯头	84
环焊缝	426
内部金属损失	132
凹陷（其中52处凹陷）	105
焊缝异常	0
其它	6

## 检测结果



金属损失和凹陷统计分析部分展示

非常规管道内检测技术领导者



## 开挖验证

本次共开挖验证两处金属损失

缺陷深度

M1为 12.5%wt

M2为 16.9%wt

编号	里程	内检测峰值深度 (%wt)	内检测长度 (mm)	内检测宽度 (mm)	内检测深度 (mm)	内检测时钟 (h:min)
M1	405.722	13.6	165	30	0.6	3:36
M2	413.412	11.4	172	30	0.5	3:36





# PIGPROX非常规管道内检测技术领导者



公众号



官网



四川德源管道科技股份有限公司