

**ANTON 安東**



**油气储运管道外腐蚀检测技术**

2020-08-31

**东方智慧 全球分享**  
Oriental wisdom , Global sharing

- 一、埋地管道的防腐层缺陷产生类型
- 二、管道防腐及阴极保护概论
- 三、管道检测仪器的应用
- 四、解决问题案例

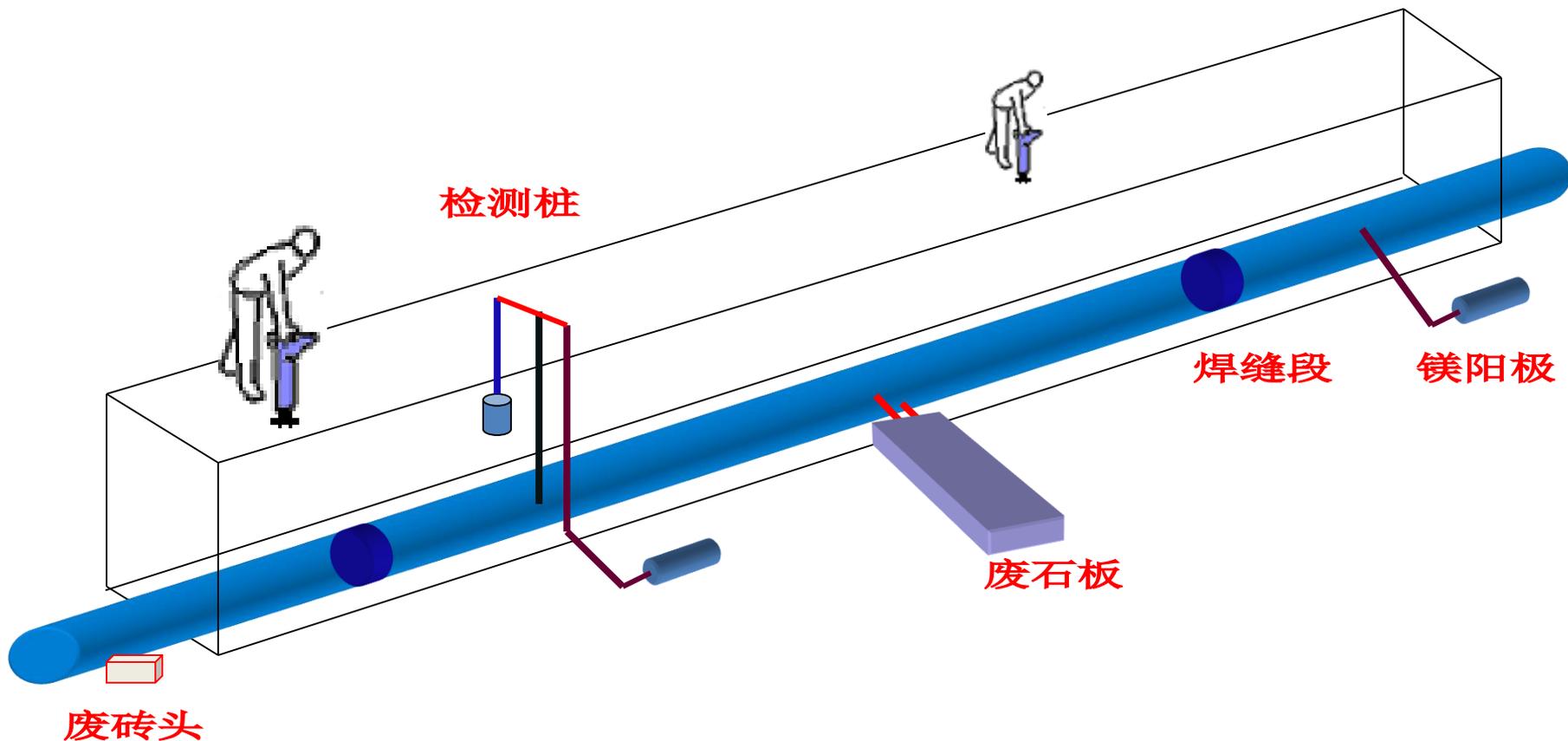
# 一、埋地管道的防腐层缺陷产生类型

## 施工阶段防腐层缺陷的产生

- 1、管道安装、吊装时对防腐层的损害
- 2、焊缝处防腐施工不满足要求
- 3、牺牲阳极或检测桩与管道连接时没有做防腐或防腐层不满足要求
- 4、沟渠内有异物 防腐层被划伤或挤压变形
- 5、有金属物在管道旁或搭接

# 施工阶段防腐层缺陷的产生

产生示意图



## 管道运行阶段防腐层缺陷的产生

- 1、管道附近各种地面施工误伤管道破坏防腐层
- 2、防腐层自然老化
- 3、泥石流、白蚁、老鼠侵害
- 4、施工留下隐患发作
- 5、土壤酸碱度、电阻率作用
- 6、树根侵蚀
- 7、维修质量

其中1为运行阶段主要原因和危害最大原因

## 管道防腐层缺陷的危害

外部破坏力、管道腐蚀、设备故障、管材质量差、施工质量差等是引起管道事故的主要因素，其中管道的腐蚀是影响管道系统可靠性及使用寿命的关键因素。据文献对我国东部输油管道事故的统计，21.3%的国内输油管道事故是管道腐蚀引起的。四川天然气输送干线中20%的管道泄漏、破爆事故是由管材腐蚀引起的。

## 二、管道防腐阴极保护概论

## 管道防腐阴极保护概论

- 1、地埋钢质管道都有外防腐层把钢管和土壤环境绝缘隔离起保护屏障。
- 2、外防腐层质量是有等级，很难有十全十美的外防腐层。
- 3、防腐层管道的点蚀速率比无防腐层的均匀腐蚀速率快得多，防腐层管道有破损处腐蚀会加快。



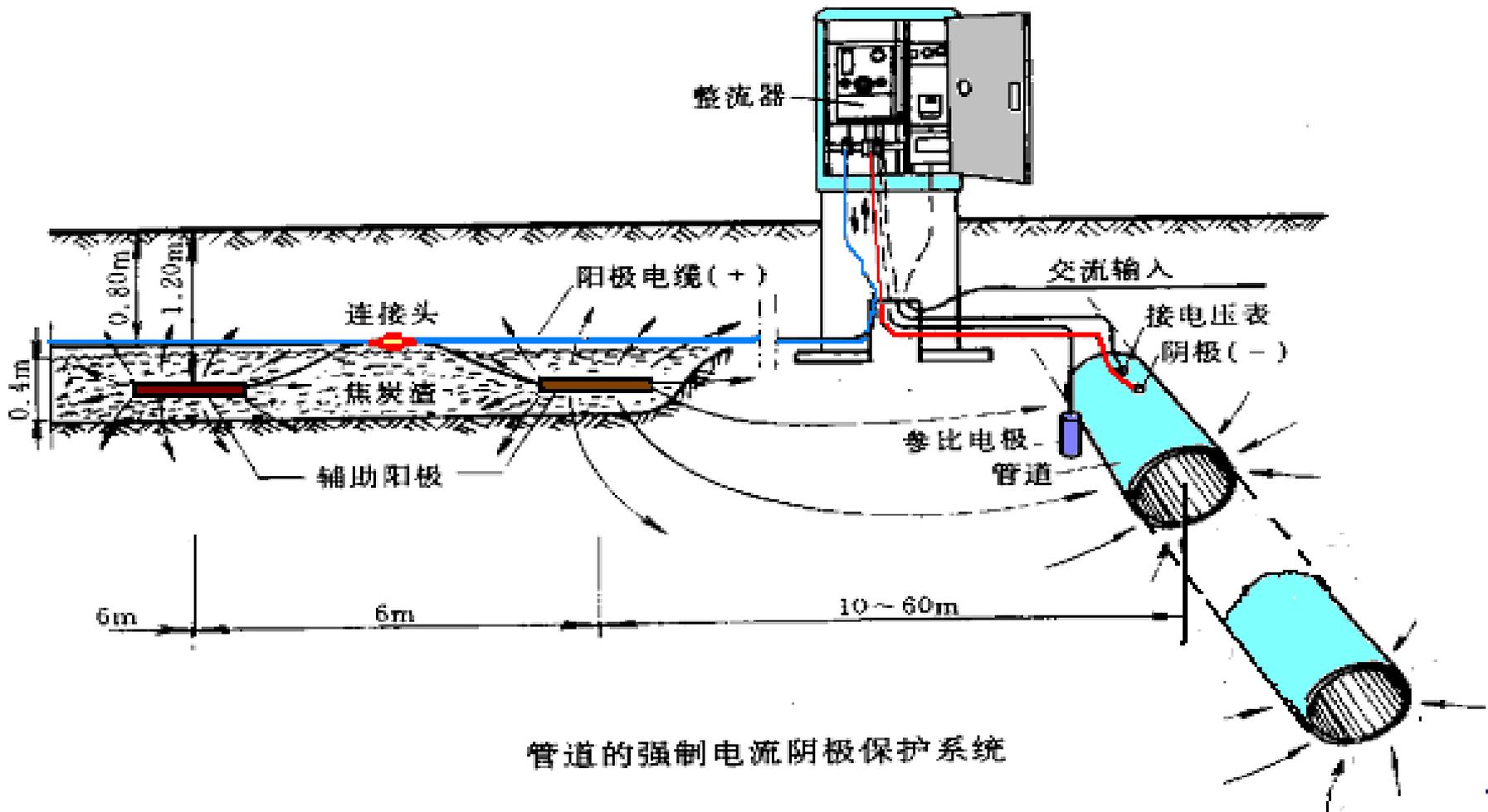
## 管道防腐阴极保护概论

- 4、对防腐层管道实行阴极保护会极大降低防腐层破损处的腐蚀速率。
- 5、对重要的管道有外防腐层另外还辅助阴极保护起双重保护作用。比如：除单井管道外的多数集输管道和外输管道。管道都有外防腐层还辅助有强电流的阴极保护。

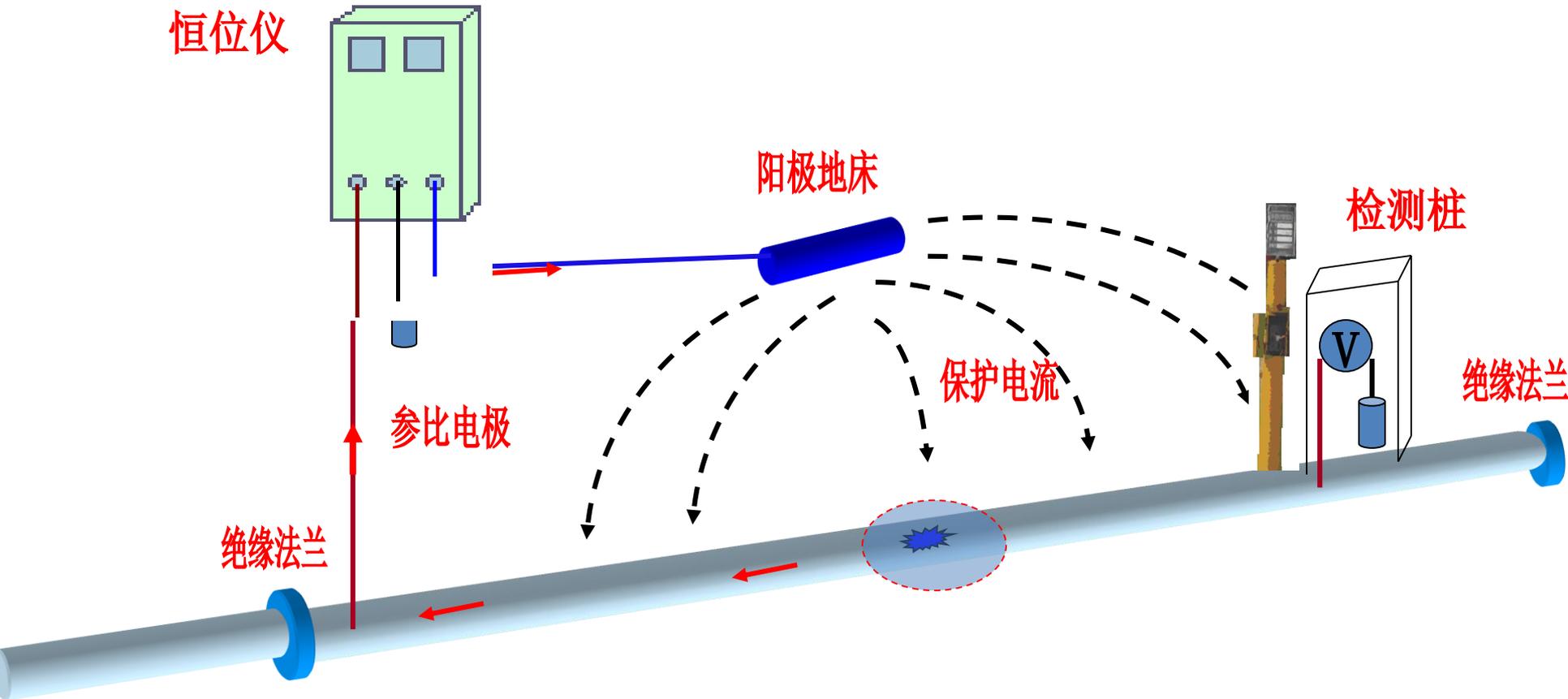
## 管道阴极保护概论

- 1、将金属（管道）阴极极化以减少或防止金属腐蚀的方法称阴极保护法
- 2、阴极保护是把被保护金属（管道）的电极电位阴极极化到保护电位的技术
- 3、阴极保护包括强制电流和牺牲阳极两种

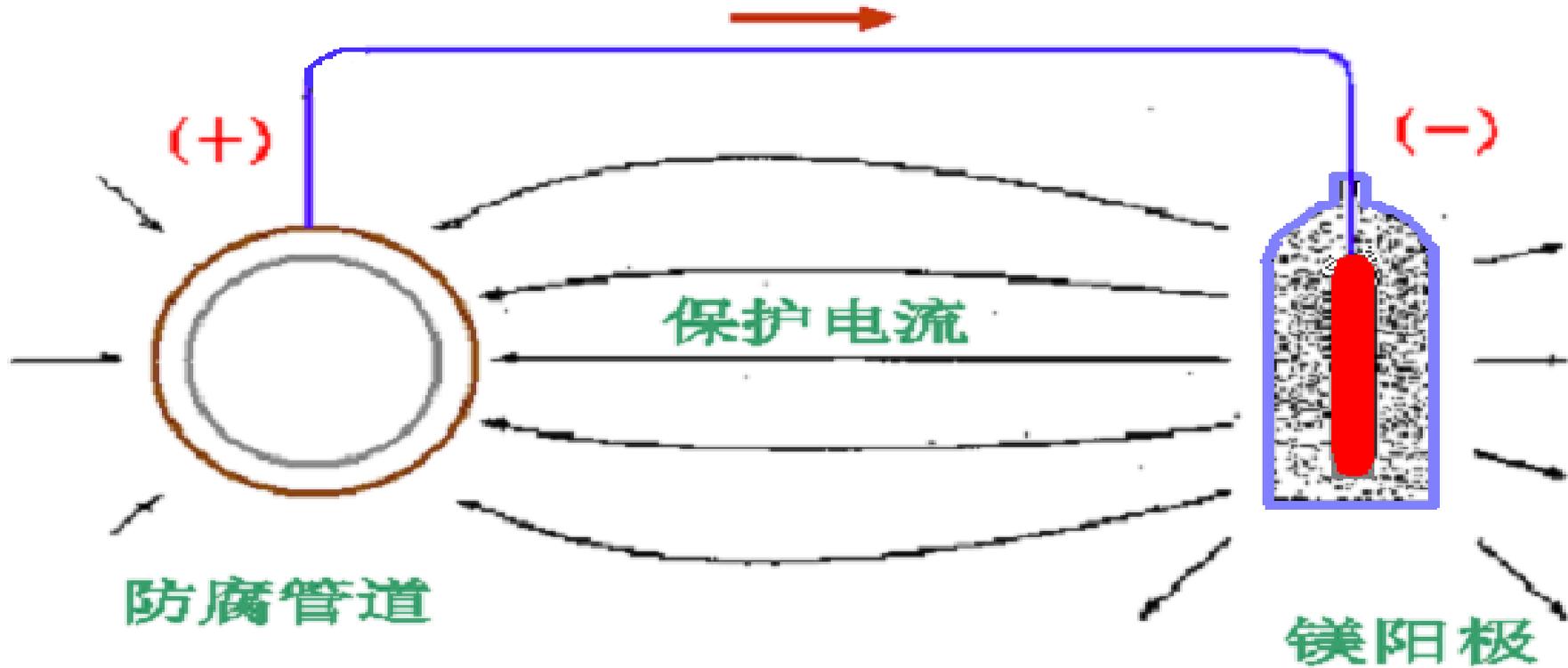
## 管道强制电流阴极保护站



## 阴极保护—强制电流法图示



牺牲阳极



牺牲阳极保护

## 管道外防腐层和阴极保护作用关系

- 防腐层是保护油气管道免遭外界腐蚀的第一道防线，对埋地钢管腐蚀起到约95%以上的防护作用，一旦发生局部破损或剥离，就必须保证阴极保护（Cathodic Protection, CP）电流的畅通，达到防护效果。随着防腐涂层性能的降低，CP的作用会逐渐增加，



## 管道防腐层防护的重要性

- 但是无论如何发挥CP的作用，它都不可能替代防腐涂层对管道的保护作用。而且使用CP应注意它的负作用，CP仅在极化电位-（0.85~1.20）V这样一个很窄的电位带上起作用，一旦电位超出这个范围，就无法达到相应的保护效果。
- 对管道外防腐层进行定期不定期的检测和评价，及时发现问题并修复，对于消除管道安全隐患至关重要，也是最有效和最降低成本的。

- 防腐层是保护油气管道免遭外界腐蚀的第一道防线也是最重要的防线，对埋地钢管腐蚀起到约95%以上的防护作用。
- 防腐层漏点使管体与围土直接接触，引发管体腐蚀乃至穿孔。
- 阴极保护在管道防护中仅起着辅助作用。防腐层的防护效果直接影响着阴极保护电流的工作效率。
- 对管道防腐层进行定期检测和评价，及时发现并修复破损点，对于消除管道腐蚀穿孔等安全隐患至关重要。



## 石油天然气管道安全监督与管理暂行规定— 国家经济贸易委员会令第17号

### 管道检测：

- 石油管道应当定期进行**全面检测**  
新建石油管道在投产三年内进行检测，  
鉴定周期最多不超过八年
- 石油管道进行**一般检测**  
新建管道必须在一年内检测，以后视管  
道安全状况每一年至三年检测一次
- 对管道不合格段应当立即采取**维修**等整改措施
- 企业应建立石油管道检测档案，**保存**原始数据

# 中华人民共和国石油天然气管道保护法

## 第三章 管道运行中的保护

第二十二條 管道企业应当建立、健全管道巡护制度，配备专门人员对管道线路进行日常巡护。

第二十三條 管道企业应当定期对管道进行检测、维修，确保其处于良好状态；对管道安全风险较大的区段和场所应当进行重点监测，采取有效措施防止管道事故的发生。

第二十四條 管道企业应当配备管道保护所必需的人员和技术装备。

# 防腐层检测遵循的技术规范

- 中国石油天然气行业标准
- SY/T0087.1-2006 《钢制管道及储罐腐蚀评价标准·埋地钢质管道外腐蚀直接评价》
- SY / T 5918-2004 《埋地钢质管道外防腐层修复技术规范》

ICS 75. 200

E 98

备案号：19094—2006

**SY**

中华人民共和国石油天然气行业标准

P

SY/T 0087. 1—2006

钢制管道及储罐腐蚀评价标准  
埋地钢质管道外腐蚀直接评价

Standard of steel pipeline and tank corrosion assessment —  
Steel pipeline external corrosion direct assessment

ICS 75. 010

E 10

备案号：14052—2004

**SY**

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5918—2004

代替 SY/T 5918—94，SY/T 6063—94

埋地钢质管道外防腐层修复技术规范

Technical criteria for external coating rehabilitation  
of buried steel pipeline

# 防腐层分级评价标准的规定

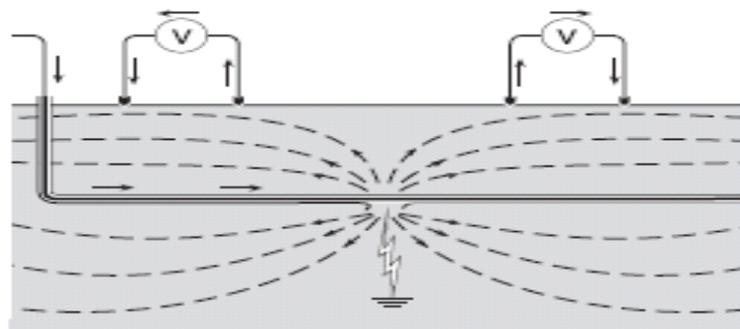
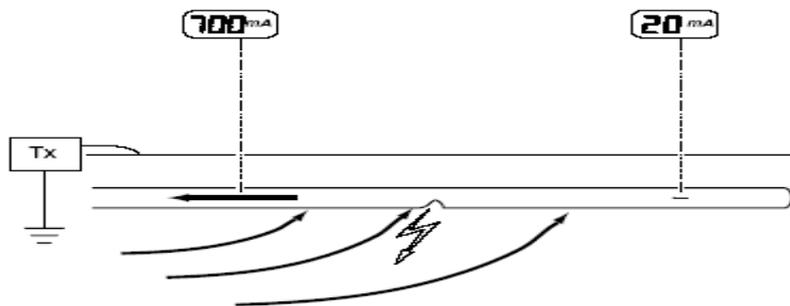
- SY / T 5918-2004 《埋地钢质管道外防腐层修复技术规范》

表 1 电流—电位法和变频—选频法对石油沥青防腐层分级标准及相应措施

防腐层等级	一级 (优)	二级 (良)	三级 (可)	四级 (差)	五级 (劣)
电流—电位法测电阻率 $r$ $\Omega \cdot m^2$	$\geq 5000$	$2500 \leq r < 5000$	$1500 \leq r < 2500$	$500 \leq r < 1500$	$< 500$
选频—变频法测电阻率 $r$ $\Omega \cdot m^2$	$\geq 10000$	$6000 \leq r < 10000$	$3000 \leq r < 6000$	$1000 \leq r < 3000$	$< 1000$
老化程度及表现	基本无老化	老化轻微, 无剥离和损坏	老化较轻, 基本完整, 沥青发脆	老化较严重, 有剥离和较严重的吸水现象	老化和剥离严重, 轻剥即掉
采取措施	暂不维修和补漏	每三年为一周期进行检漏修补作业	每年进行检漏和修补	加密测点进行小区段测试; 对加密测点测出的小于 $1000 \Omega \cdot m^2$ 的防腐层进行维修	大修

# 交流电流法检测技术

- 交流电流法采用交流电流衰减法和交流电位梯度法，通过测量管线电流和泄漏电流实现防腐层漏点定位和分段评估
- 交流电流衰减法 —— 管线电流测量，用于防腐层漏点普查和防腐层分段评估；接收机沿着管道测量混频电流，分析相邻两个测点的交流电流衰减情况，确定防腐层是否存在绝缘故障点
- 交流电位梯度法（ACVG） —— 泄漏电流测量，用于防腐层漏点精确定位：对于管线电流异常段，采用交流电位梯度法精确定位防腐层漏点（管线接地故障点）



## 三、管道检测仪器的应用

## DM内外业一体化型管道防腐层检测仪

### DM中文PC版防腐层评价软

管线外防腐层检测评估结果

序号	管段位置(米)	管段长度(米)	等效电阻(欧*平方米)	防腐层评级	维修建议
0	1.0~ 2.0	1.00	0	劣	安排大修
1	2.0~ 3.0	1.00	0	劣	安排大修
2	3.0~ 4.0	1.00	0	劣	安排大修
3	4.0~ 5.0	1.00	0	劣	安排大修
4	5.0~ 6.0	1.00	0	劣	安排大修
5	6.0~ 7.0	1.00	0	劣	安排大修
6	7.0~ 8.0	1.00	0	劣	安排大修
7	8.0~ 9.0	1.00	0	劣	安排大修
8	9.0~ 10.0	1.00	0	劣	安排大修
9	10.0~ 11.0	1.00	0	劣	安排大修
10	11.0~ 12.0	1.00	0	劣	安排大修
11	12.0~ 13.0	1.00	0	劣	安排大修
12	13.0~ 14.0	1.00	0	劣	安排大修

从上表可以统计出外防腐层评级为:  
评为劣级的有 13 米, 占全长的 100.0%

### DM接收机 防腐破损定位A字架

### DM发射机



### HOLUX蓝牙GPS接收器



## 最新一代的DM内外业

### 一体化型管道防腐层检测仪

- ✓ 彩屏接收机
- ✓ 多频大功率发射机
- ✓ 数字A字架

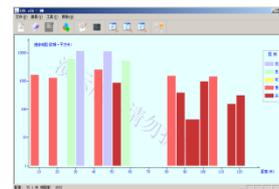


➤ 自动测量点距的GPS

➤ PC版防腐评估软件

➤ 便携式高能锂电池

➤ 内外业一体化数据终端RedBox



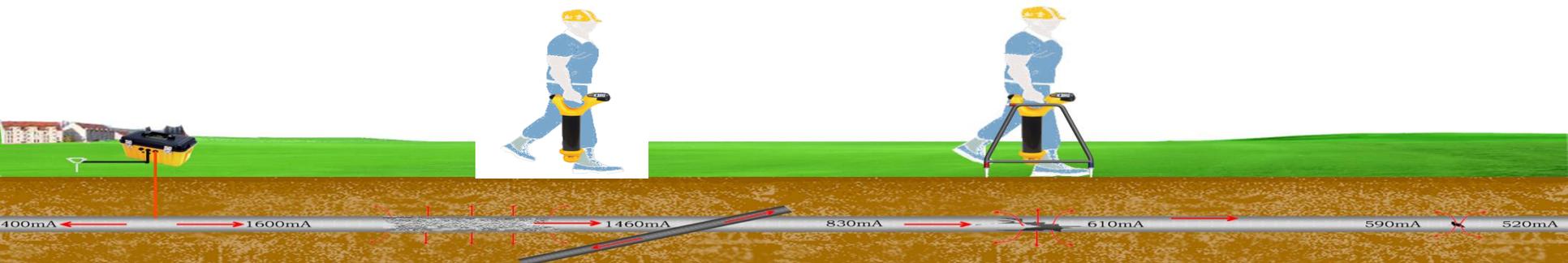
- 可拆卸磁靴
- 轻便小巧
- 大容量锂电池
- 5Hz超窄带滤波器
- 高灵敏度、高稳定性的定位信号
- 抗干扰能力更强，更适用于复杂环境



## 雷迪DM防腐层检测仪功能

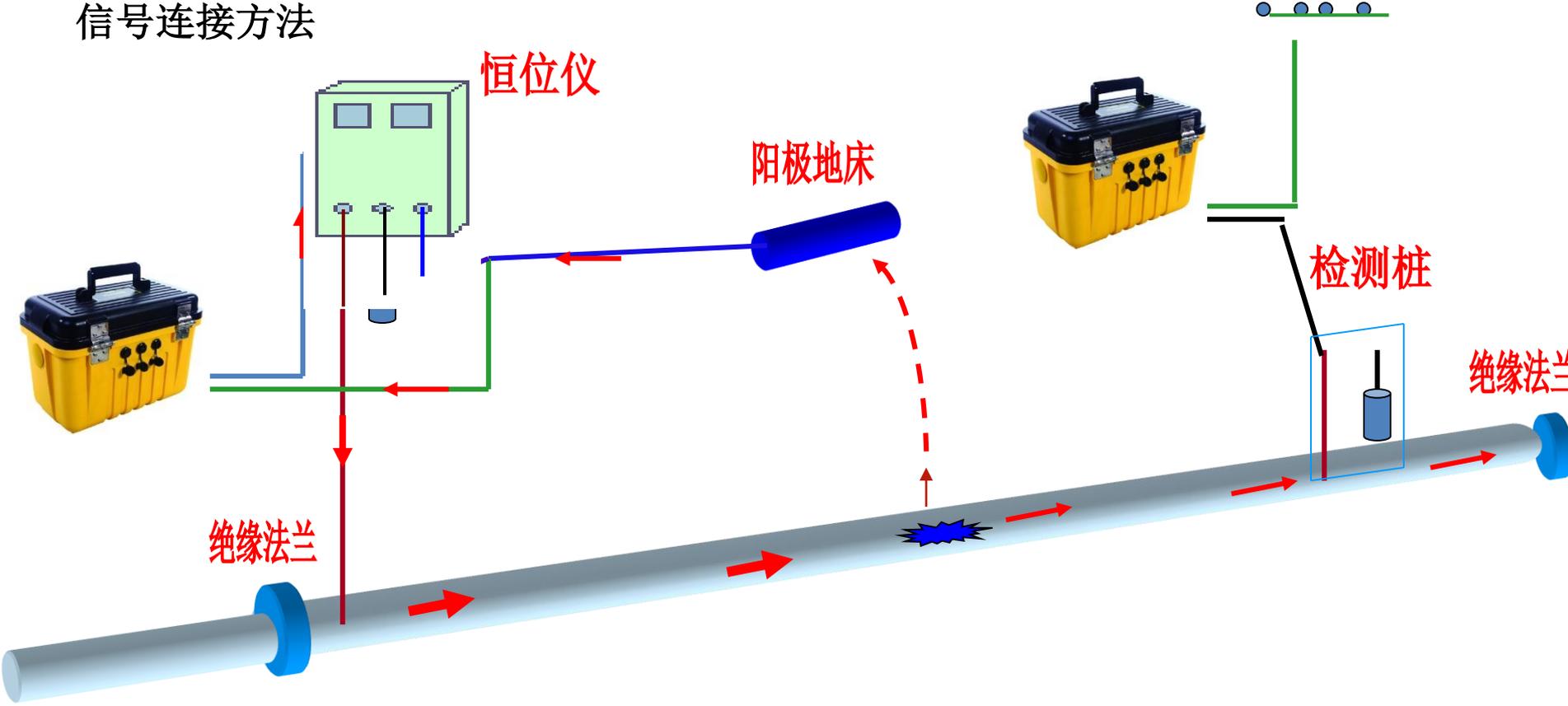
- 1、探测管道位置
- 2、探测管道深度
- 3、精确探测定位出管道外防腐层破损点
- 4、对管道搭接定位
- 5、对管道外防腐层保护状况评估
- 6、对管道阴极保护效果间接评估

# DM防腐层检测的基本程序



# DM发射机在阴保线上的使用连接

信号连接方法



## DM发射机在阴保线上的连接



## 无阴保管道连接



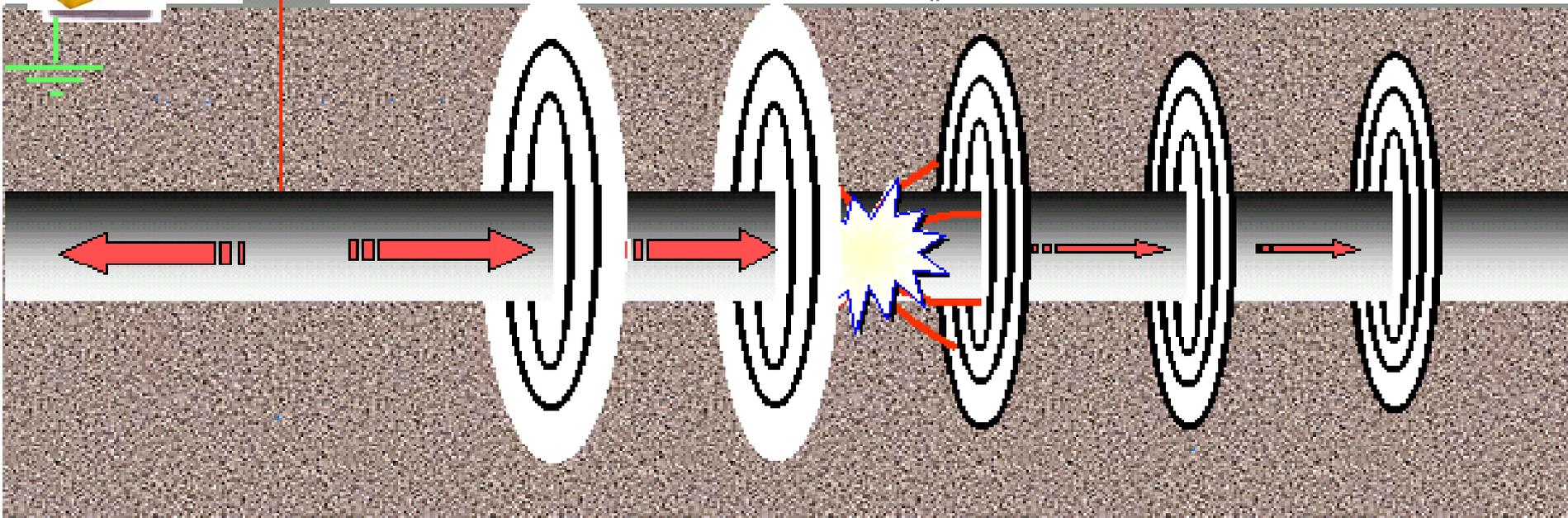
## 防腐层缺陷查找原理(多频电流衰减测绘法)

$I=640\text{mA}$   
 $x=20\text{m}$

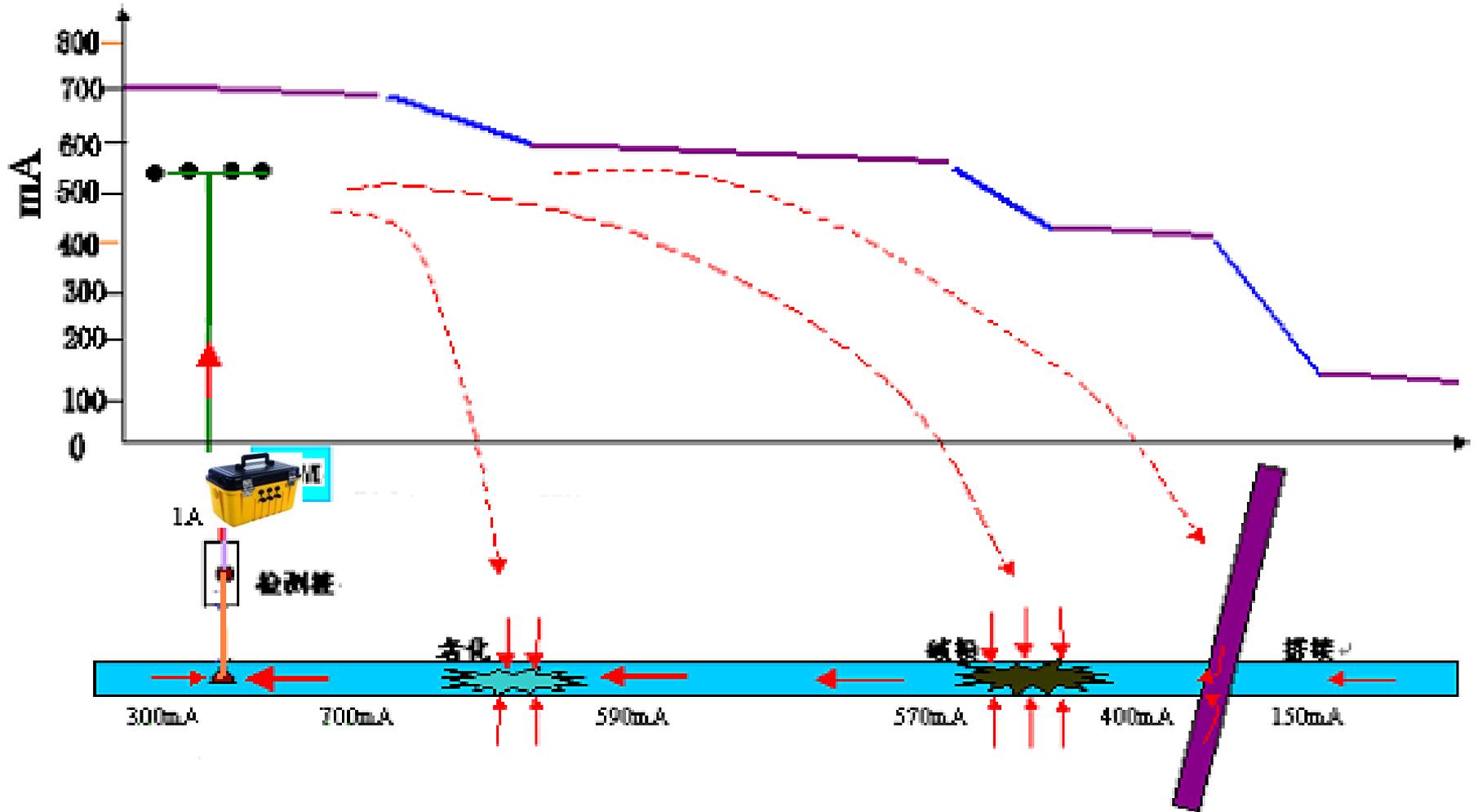
$I=600\text{mA}$   
 $x=39\text{m}$

$I=120\text{mA}$   
 $x=52\text{m}$

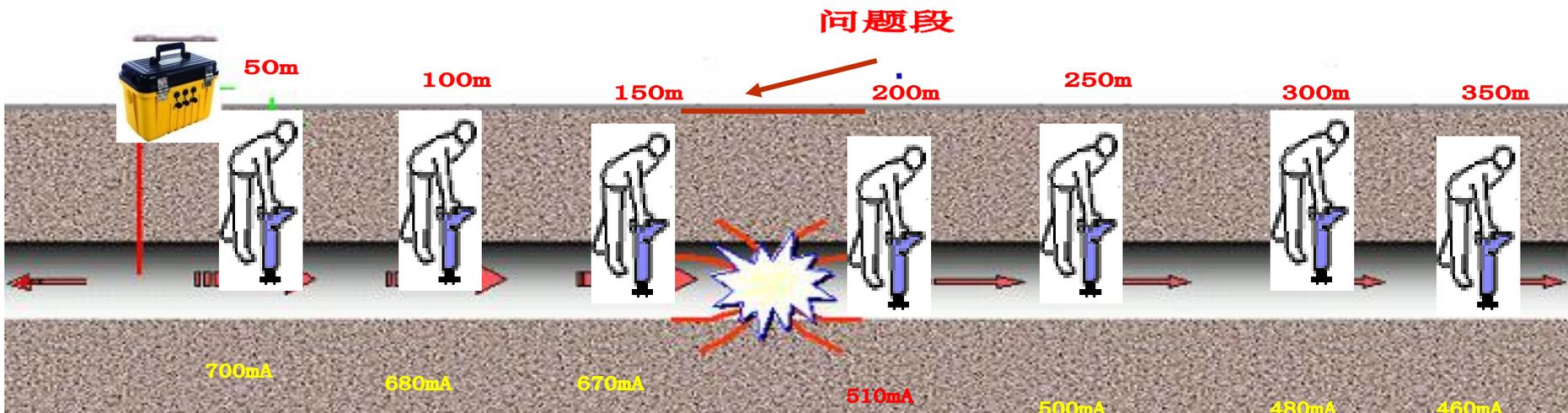
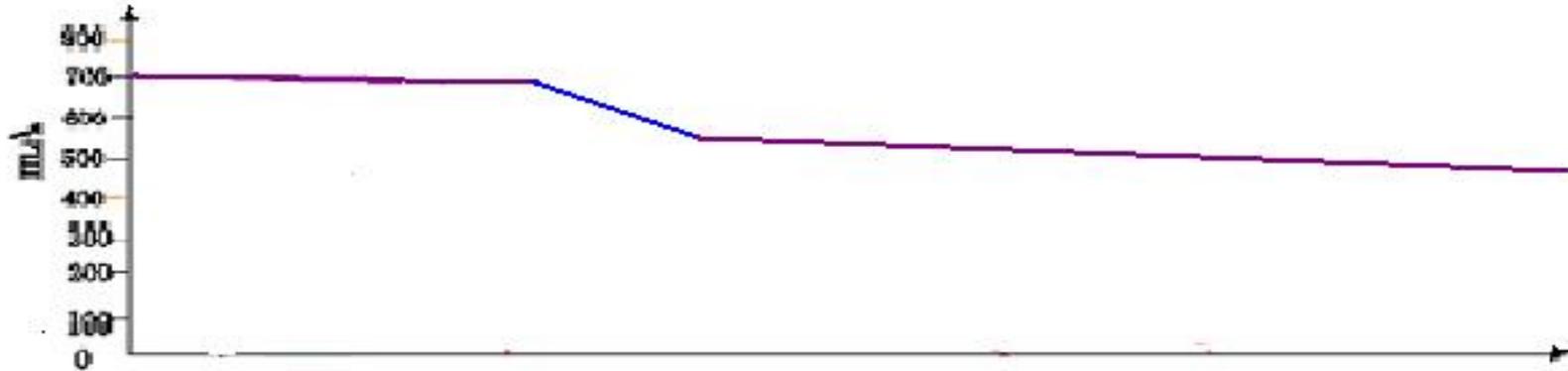
$I=100\text{mA}$   
 $x=61\text{m}$



## DM 电流测绘原理



## 接收机确定问题段



## A字架查找破损点(ACVG法)

防腐破损定位A字架定破损点

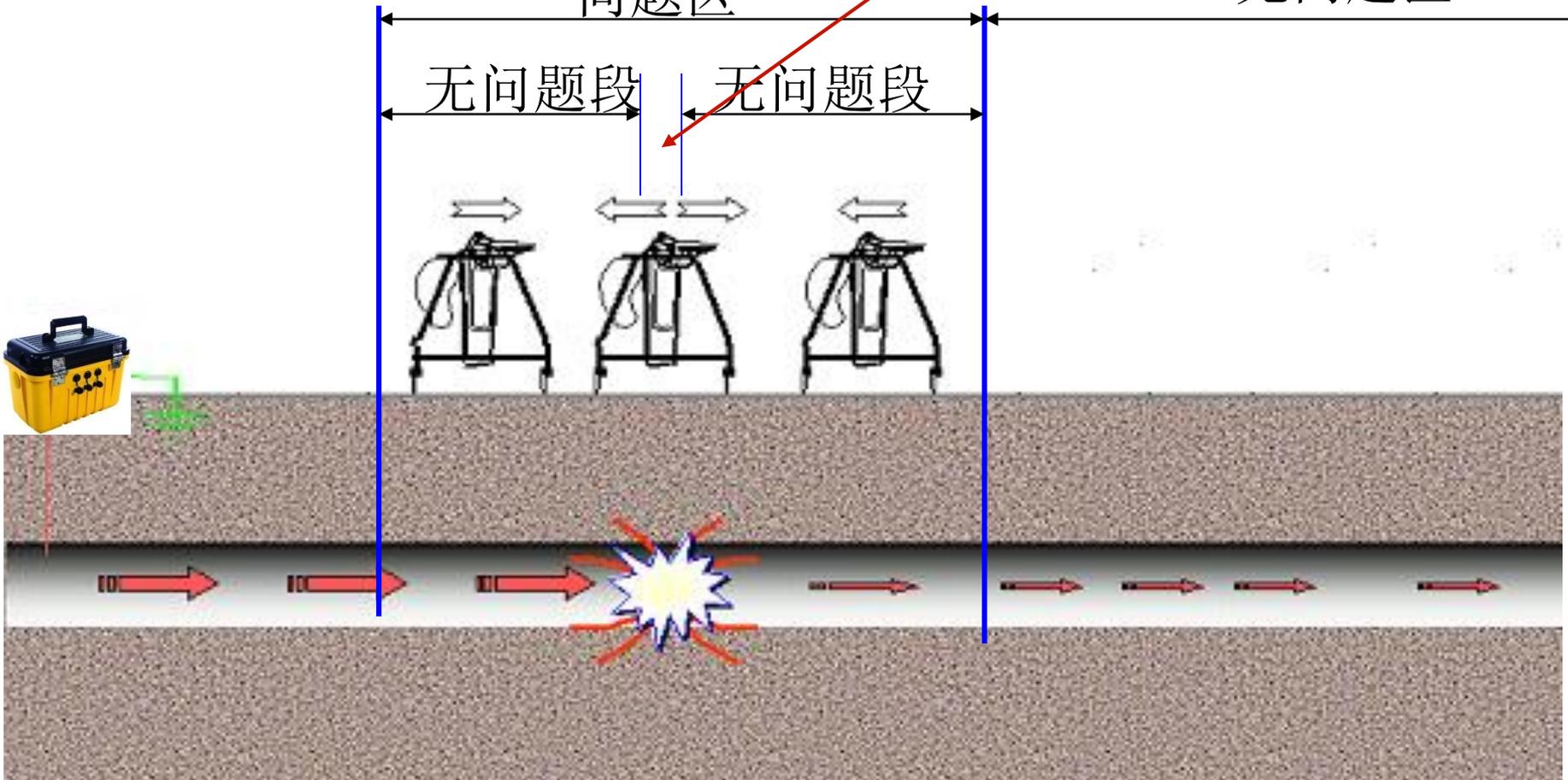
破损点

问题区

无问题区

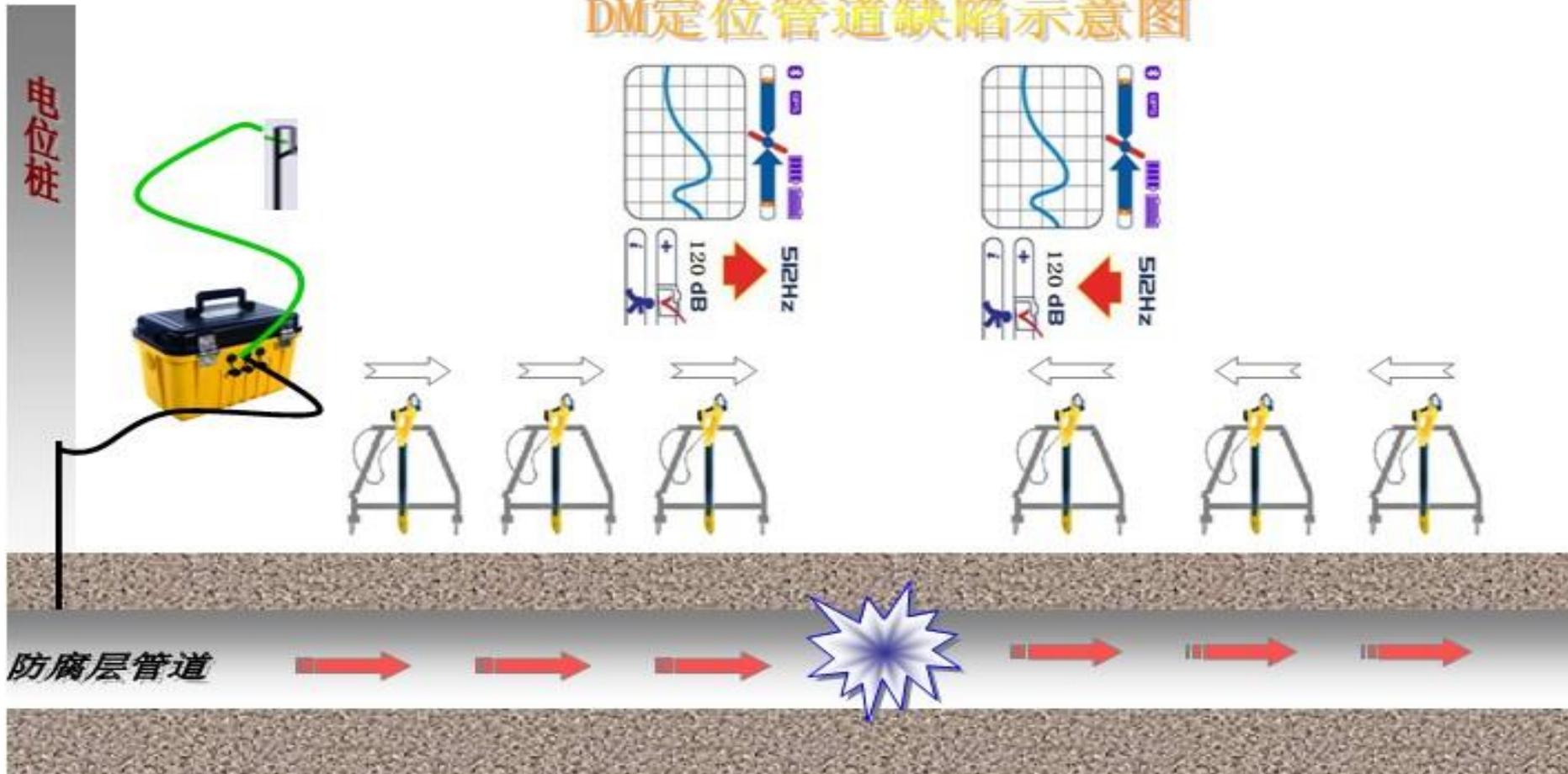
无问题段

无问题段



## 确定防腐层破损点(ACVG法)

### DM定位管道缺陷示意图

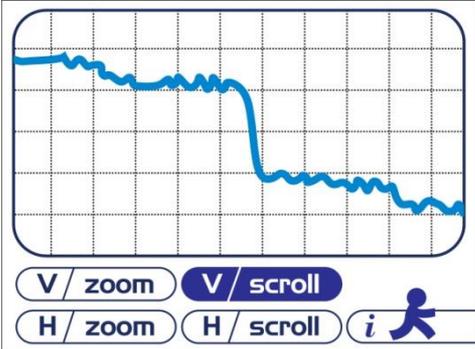
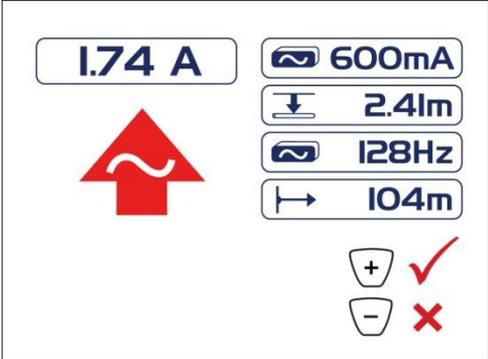
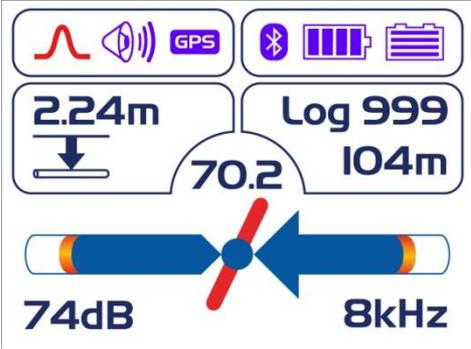


## 相关技术规程

管道阴极保护参数测量技术规程GB/T 21246-2007  
埋地钢质管道外腐蚀直接评价ECDA 0087.1

# DM: 全新的防腐层检测方式

- 自动化检测，操作简单、结果直观
- **GPS**实时测量点距和测点坐标
- 超高灵敏度，**0-20m**超大测深
- 多种用途的下载数据，丰富的测量参数
- 内外业一体化

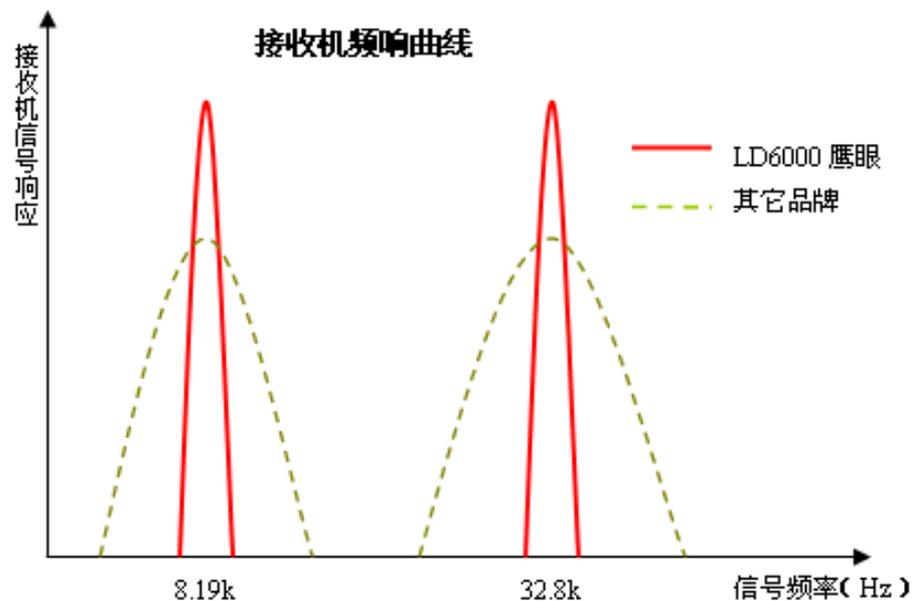


# 独一无二的5Hz精准滤波技术

采用最先进的5Hz超窄带滤波器

接收信号的频带宽度仅为5Hz

接收频率与发射频率点实现一一对应



# 超强抗干扰

接收机只接收发射机的特定频率信号

滤除绝大多数地下和空中的电磁干扰信号

在强电磁干扰以及弱信号区域，定位信号同样稳定而精准

更适应高压线、密集电缆、铁路、电磁干扰等各种复杂环境

避免了一般管线仪定位信号闪烁跳动、无法定位的缺点



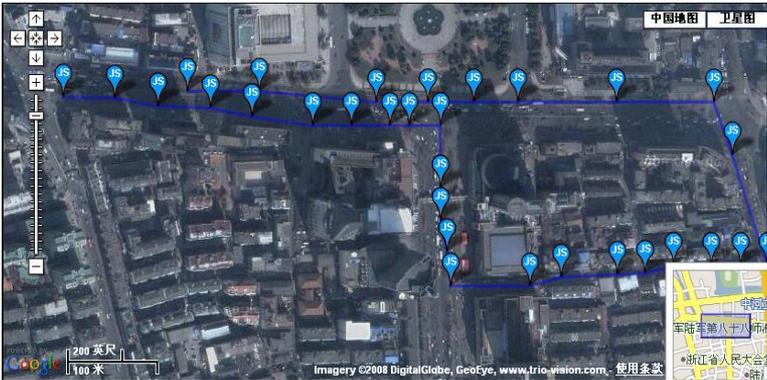
- 各种复杂环境
- 定位信号稳定
- 实现精准定位

# 测绘一体化

蓝牙无线通讯  
 实时GPS定位（精度&纬度）  
 GPS数据与探测数据存储于接收机  
 存储数据可下载为多种表格或图形文件  
 可选各种精度（米级/亚米级/RTK）的蓝牙GPS



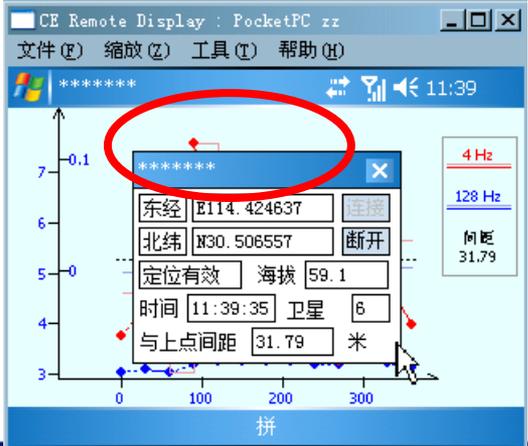
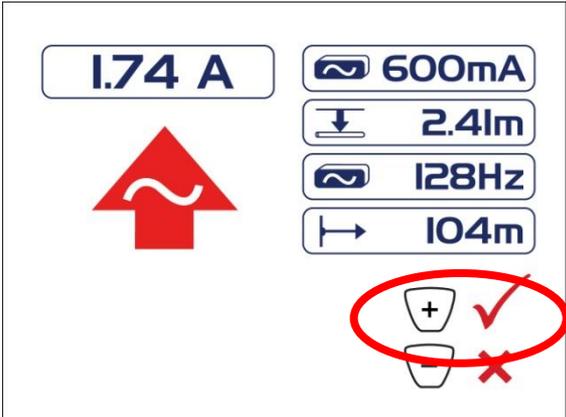
- 探测轨迹图
- 巡线轨迹图
- 自动显示于谷歌地图
- 自动显示于AutoCAD电子地图
- 探测成果可集成于GIS系统，实现测、绘一体化



## 自动化检测——数据采集自动化

数据采集自动化，数据存储自动化：现场操作特别简单

- GPS实时自动测量：点距和测点的GPS坐标等地理定位数据
- DM接收机一键测量：双频电流值、埋深等防腐层检测数据
- DM实时测量并显示：管线电流曲线
- 所有数据（检测数据和GPS数据）：均可自动存储在DM接收机内存中，或通过蓝牙传输、存储到REBBOX数据终端中



## GPS实时点距——改变外业作业方式

### 以前的作业方式:

- 两个操作者，一前一后
- 拉测绳测量点距
- 测量方法原始，劳动强度大，检测效率低
- 问题：固定点距?工作效率?复杂地形?

### 标配：HOLUX蓝牙GPS

外业测量型  
实时显示测量数据  
自动存储



### 现在.....

- 全自动点距测量
- 实时显示与前一测点的距离
- 随时确定下一测点的位置
- 无需再拉测绳了!
- 降低劳动强度!
- 提高检测效率!

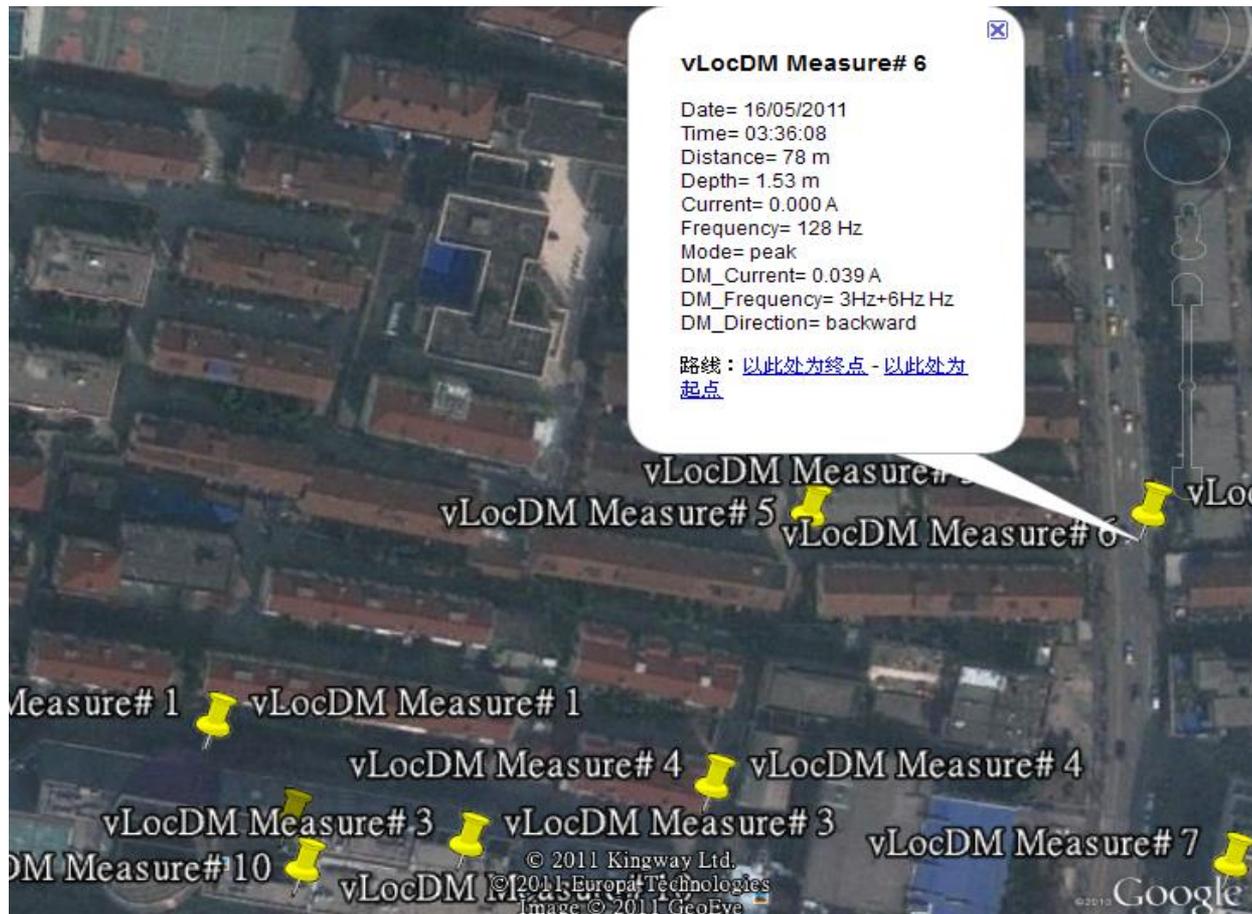
### 选配：REDBOX数据终端

内外业一体化型  
实时显示测量数据  
自动记录测量数据  
无需外业记录  
无需内业处理

自动化检测  
点距  
测点坐标



## GPS自动测量测点坐标



- 自动采集并存储的数据

GPS点距, GPS测点坐标, 双频电流, 电流方向, 埋深, ACVG数据等

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Log No	Date	Time (UTC)	Latitude	Longitude	Distance (i)	Accumulated Distance (m)	Depth (m)	Current (A)	Frequency	Mode	DM Current	DM Frequency	DM Direction
1	1	16/05/2011	03:31:33	31.21376	121.3978	0.00	0.00	0.45	0.000	128	peak	0.078	3Hz+6Hz	backward
2	2	16/05/2011	03:32:17	31.21354	121.3978	30.00	30.00	0.95	0.000	128	peak	0.031	3Hz+6Hz	backward
3	3	16/05/2011	03:33:02	31.21348	121.3982	42.00	72.00	2.44	0.000	128	peak	0.016	3Hz+6Hz	forward
4	4	16/05/2011	03:33:43	31.21362	121.3988	59.00	131.00	0.65	0.000	128	peak	0.013	3Hz+6Hz	forward
5	5	16/05/2011	03:35:01	31.21424	121.3991	72.00	203.00	1.11	0.000	128	peak	0.016	3Hz+6Hz	backward
6	6	16/05/2011	03:36:08	31.21424	121.3999	78.00	281.00	1.53	0.000	128	peak	0.039	3Hz+6Hz	backward
7	7	16/05/2011	03:38:06	31.21343	121.4001	92.00	373.00	0.16	0.000	128	peak	0.006	3Hz+6Hz	forward
8	8	16/05/2011	03:39:27	31.21319	121.3989	119.00	492.00	0.75	0.000	128	peak	0.020	3Hz+6Hz	forward
9	9	16/05/2011	03:40:41	31.21311	121.3981	79.00	571.00	0.17	0.000	128	peak	0.016	3Hz+6Hz	forward
10	10	16/05/2011	03:41:40	31.21343	121.3978	41.00	612.00	1.16	0.000	128	peak	0.188	3Hz+6Hz	backward
11	11	16/05/2011	03:42:45	31.21322	121.3973	58.00	670.00	18.14	0.046	128	peak	1.178	3Hz+6Hz	backward
12	12	16/05/2011	03:43:54	31.21331	121.3965	69.00	739.00	0.56	0.000	128	peak	1.469	3Hz+6Hz	forward
13														
14														
15														
16														

点号 日期 时间 经度 纬度 点距 总距离 埋深 定位电流 定位频率 定位模式 超低频电流 频率 电流方向

# 数据采集和存储自动化

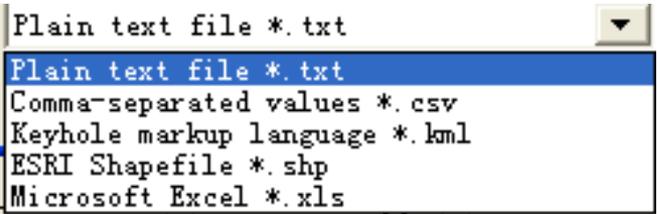
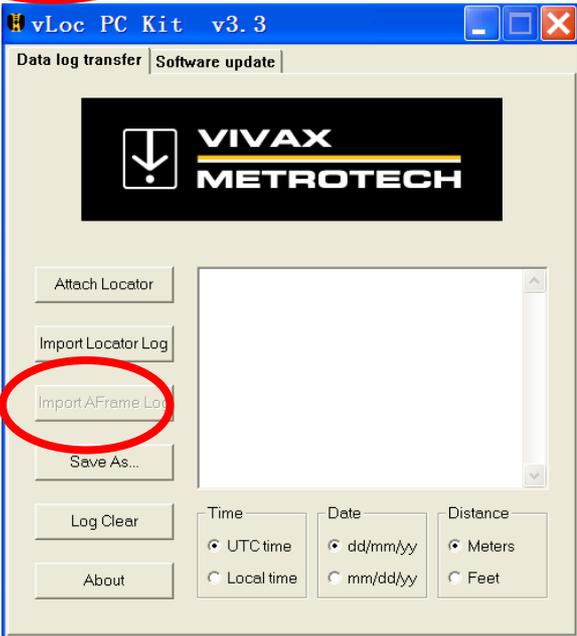
## ——改变了防腐层检测作业方式！

测量参数	过去... (PCM)	现在... (DM)
测量方式	手动测量，手动记录	自动测量并存储
电流测量	三次操作	一键自动测量
点距测量	人工拉测绳	GPS实时测量
测点坐标	无	GPS自动测量
测量参数	单频电流，埋深	双频电流，埋深，GPS点距和测点坐标等丰富的测量参数
数据存储	无	自动存储全部测量数据
检测强度	高	低
检测效率	低	高



# 自动数据下载与分析

- 可用USB数据线将接收机存储的数据下载到电脑
- 可下载为多种用途的数据格式
  - \*.xls文件（标准的EXCEL表格文件，经简单转换后可直接导入PC版防腐层评估软件）
  - \*.txt文件（文本文件）
  - \*.csv文件（逗号分隔值文件）
  - \*.kml文件（用于描述、保存并在Google Earth地图浏览器中显示地理信息的文件；可在Google Earth地图浏览器中显示各个测点的位置及其属性信息）
  - shp文件（矢量图形格式，用于保存几何图形的位置及相关属性；可在AutoCAD中显示各个测点的位置及属性信息）



- 可导入PC版防腐层评估软件进行数据分析和评估

Microsoft Excel - 上海google测试

文件(F) 编辑(E) 视图(V) 插入(I) 格式(O) 工具(T) 数据(D) 窗口(W) 帮助(H) Adobe PDF(B)

Arial 10 B I U

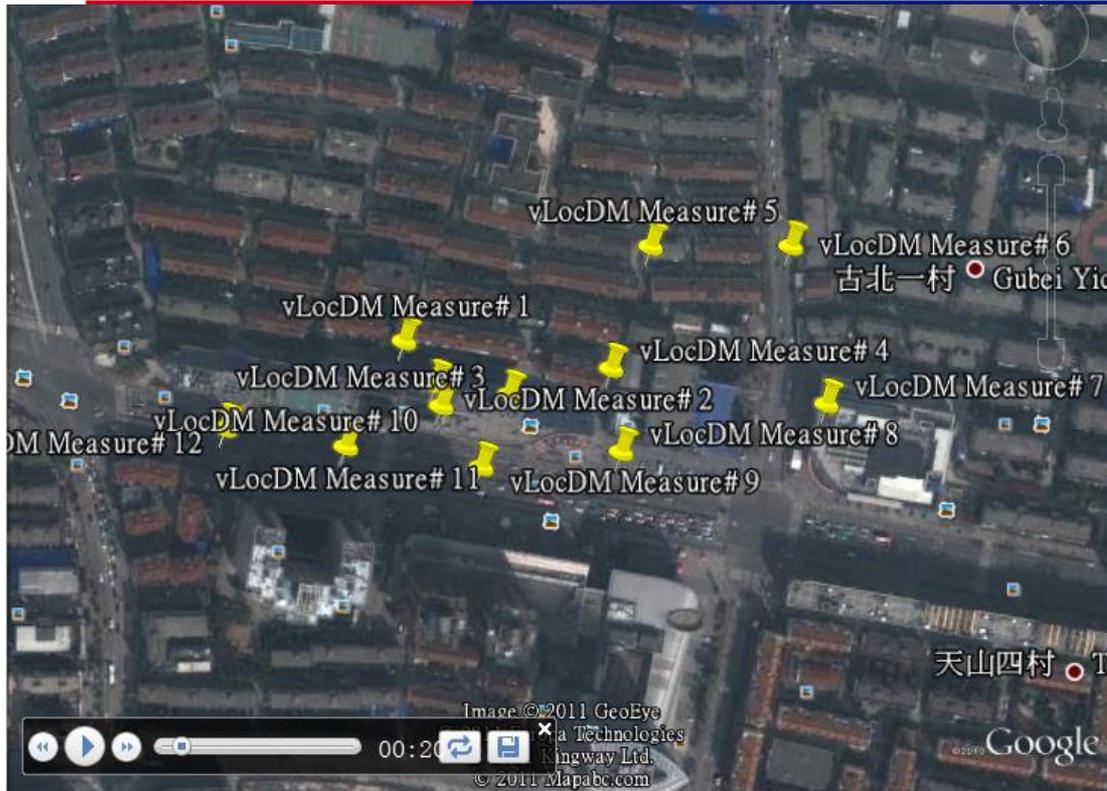
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Log No	Date	Time (UTC)	Latitude	Longitude	Distance (m)	(Accumulated Distance (m))	Depth (m)	Current (A)	Frequ	Mode	DM Curren	DM Frequ	DM Direc
2	1	16/05/2011	03:31:33	31.21376	121.3976	0.00	0.00	0.45	0.000	128	peak	0.076	3Hz+6Hz	backward
3	2	16/05/2011	03:32:17	31.21354	121.3978	30.00	30.00	0.95	0.000	128	peak	0.031	3Hz+6Hz	backward
4	3	16/05/2011	03:33:02	31.21348	121.3982	42.00	72.00	2.44	0.000	128	peak	0.016	3Hz+6Hz	forward
5	4	16/05/2011	03:33:43	31.21362	121.3988	59.00	131.00	0.65	0.000	128	peak	0.013	3Hz+6Hz	forward
6	5	16/05/2011	03:35:01	31.21424	121.3991	72.00	203.00	1.11	0.000	128	peak	0.016	3Hz+6Hz	backward
7	6	16/05/2011	03:36:08	31.21424	121.3999	78.00	281.00	1.53	0.000	128	peak	0.039	3Hz+6Hz	backward
8	7	16/05/2011	03:38:06	31.21343	121.4001	92.00	373.00	0.16	0.000	128	peak	0.006	3Hz+6Hz	forward
9	8	16/05/2011	03:39:27	31.21319	121.3989	119.00	492.00	0.75	0.000	128	peak	0.020	3Hz+6Hz	forward
10	9	16/05/2011	03:40:41	31.21311	121.3981	79.00	571.00	0.17	0.000	128	peak	0.016	3Hz+6Hz	forward
11	10	16/05/2011	03:41:40	31.21343	121.3978	41.00	612.00	1.16	0.000	128	peak	0.188	3Hz+6Hz	backward
12	11	16/05/2011	03:42:45	31.21322	121.3973	58.00	670.00	18.14	0.046	128	peak	1.178	3Hz+6Hz	backward
13	12	16/05/2011	03:43:54	31.21331	121.3965	69.00	739.00	0.56	0.000	128	peak	1.469	3Hz+6Hz	forward
14														
15														

上海google测试.txt - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

```
Log No; Date; Time (UTC); Latitude; Longitude; Distance (m); Depth (m); Current (A); Frequency (Hz); Mode; DM Current(A); DM Frequency(Hz); DM Direction
1; 16/05/2011; 03:31:33; 31?2'49.530"N; 121?3'51.384"E; 0.00; 0.45; 0.000; 128; peak; 0.076; 3Hz+6Hz; backward
2; 16/05/2011; 03:32:17; 31?2'48.726"N; 121?3'52.050"E; 30.00; 0.95; 0.000; 128; peak; 0.031; 3Hz+6Hz; backward
3; 16/05/2011; 03:33:02; 31?2'48.534"N; 121?3'53.628"E; 42.00; 2.44; 0.000; 128; peak; 0.016; 3Hz+6Hz; forward
4; 16/05/2011; 03:33:43; 31?2'49.026"N; 121?3'55.806"E; 59.00; 0.65; 0.000; 128; peak; 0.013; 3Hz+6Hz; forward
```

- 检测轨迹
- 检测数据查询



## 超高灵敏度，0-20m超大测深

### 管线定位：20m超大测深

- 先进技术：接收机采用超高灵敏度的特殊接收线圈，独有的5 Hz窄带滤波技术，Anti-Clutter抗杂波滤波器，自动滤除杂波，显著提高定位信号的信噪比和抗干扰性能
- 应用实例：郑州成品油管线，过河管，实测17.5m  
上海天然气管线，过河管，实测3-12m  
广州LNG管线，穿越管线，实测5-12m

### 防腐层漏点定位：20m超大测深

- 先进技术：高灵敏度的数字式交流电位梯度测试仪（A字架）

防腐层绝缘电阻是评价防腐层绝缘性能的参数。根据国家是由石油天然气行业标准SY / T 5918-2004《埋地钢质管道外防腐层修复技术规范》，采用绝缘电阻对防腐层的绝缘性能进行分级评价，防腐层共分为五个等级并对应不同的维修措施

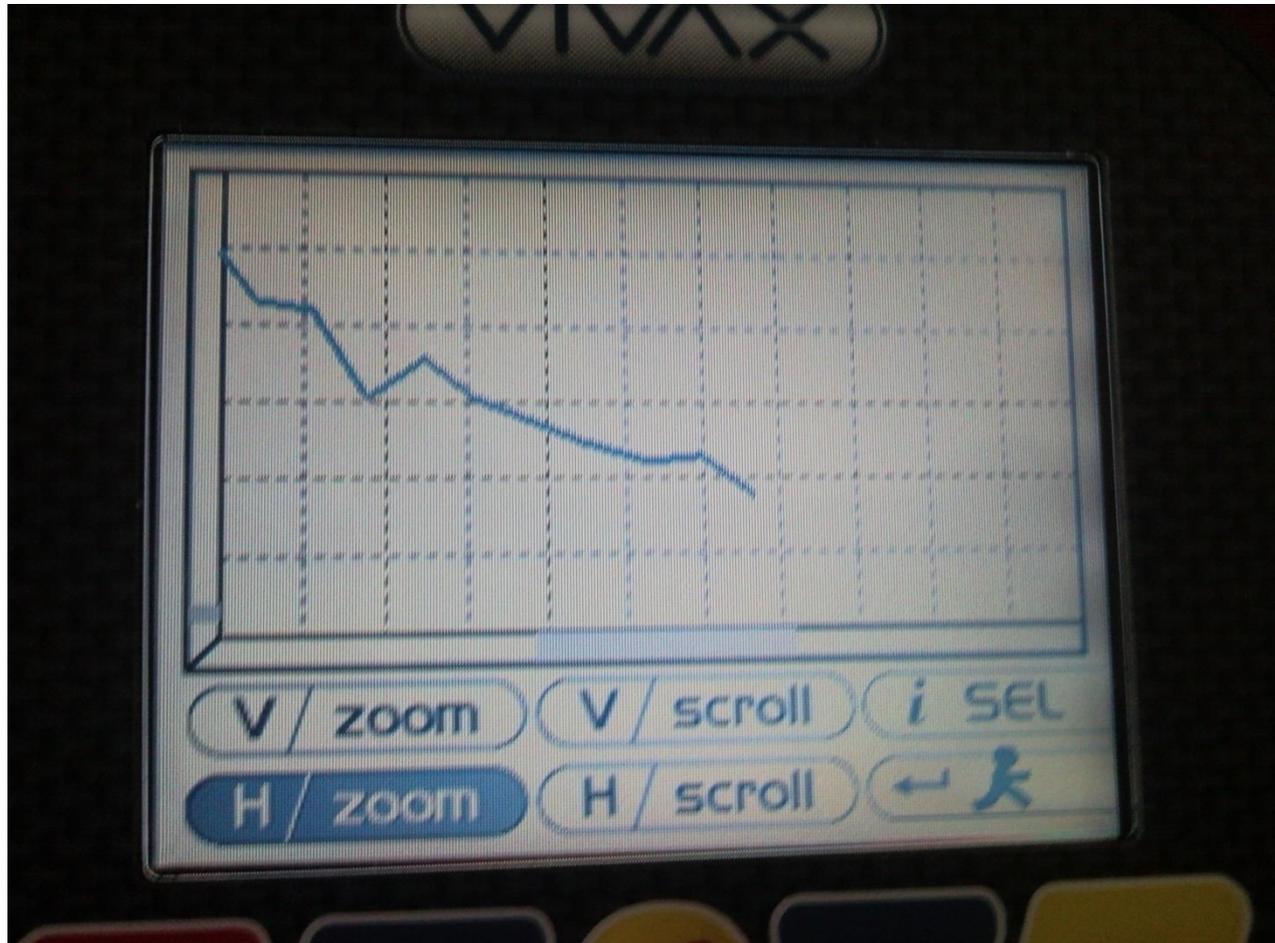
防腐层等级	绝缘电阻 ( $\Omega \cdot m^2$ )	老化程度及表现	维修措施
一级 (优)	$\geq 10000$	基本无老化	暂不维修和补漏
二级 (良)	6000~10000	老化轻微,无剥离和损坏	每二年为一周期进行检漏修补作业
三级 (可)	3000~6000	老化较轻,基本完整	每年进行检漏和修补
四级 (差)	1000~3000	老化较严重,有剥离和较严重的吸水现象	加密测点进行小区段测试,对测出的劣级防腐层进行维修
五级 (劣)	$< 1000$	老化和剥离严重,轻剥即掉	大修

# 仪器解决问题运用

案列一、2009年格尔木某输油管线检测  
检测数据如下

序号	点距 (米)	电流值 (毫安)	电流差降 (毫安)
1	70	560	
2	145	551	9
3	220	543	8
4	296	540	3
5	373	533	7
6	451	505	28
7	528	496	9
8	607	487	9
9	685	470	17
10	762	461	9

## 仪器显示屏上的检测数据电流衰减曲线图



## 现场检测



## 开挖后，管道防腐层问题



## 列二、西北某成品油管道

检测背景：存在输油差，对偷油问题很关注，对重点环境条件恶劣区段6天约200公里检测，运用仪器DM

## 管道上的防腐层微小破损



# 检测出管道防腐问题,管道已经发生锈蚀



## 检测出管道防腐层问题



# 检测出防腐层问题管道轻微锈蚀



## 检测出偷盗油阀门卡



# 检测出管道防腐层问题,已经发生渗油



## 列三 检测出的防腐层问题



## 检测出的防腐层问题



## 检测出的防腐层问题



## 列四、检测出点蚀

2009年在西北某油管道上检测出防腐层破损点，开挖验证为点蚀

## 防腐层破损管道点蚀



## 检测出微小破损点



## 管道搭接—造成阴极保护电流损失



**谢谢!**

**帮助别人成功.....**