

中华人民共和国工业和信息化部 石油和化工计量技术规范

JJF（石化）XXXX—20XX

石油天然气地下金属管线探测仪校准规范

Calibration Specification of Petroleum and Natural Gas Underground Metal Pipeline
Detectors

（报批稿）

20XX - XX - XX 发布

20XX - XX - XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

石油天然气地下金属管线 探测仪校准规范

Calibration Specification of Petroleum and Natural Gas
Underground Metal Pipeline Detectors

JJF(石化) XXXX—20XX

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：济宁市质量计量检验检测研究院

山东锐智科电检测仪器有限公司

参加起草单位：中国计量测试学会

宁波市计量测试研究院

本规范委托全国石油和化工行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

王 军（济宁市质量计量检验检测研究院）

董再孟（济宁市质量计量检验检测研究院）

张浩然（济宁市质量计量检验检测研究院）

刘 勇（山东锐智科电检测仪器有限公司）

参加起草人：

杨扬仲夫（中国计量测试学会）

高富银（山东锐智科电检测仪器有限公司）

韩 丽（济宁市质量计量检验检测研究院）

张晓燕（宁波市计量测试研究院）

目 录

引言.....	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(2)
6.1 校准前检查	(2)
6.2 定位示值误差	(3)
6.3 测深示值误差	(3)
6.4 测深示值重复性	(3)
7 校准结果	(4)
7.1 校准记录	(4)
7.2 校准证书	(4)
8 复校时间间隔	(4)
附录 A 石油天然气地下金属管线探测仪校准原始记录参考格式	(5)
附录 B 石油天然气地下金属管线探测仪校准证书/报告内页参考格式	(7)
附录 C 综合校准场的构建要求	(8)
附录 D 测深示值误差校准结果的不确定度评定示例	(10)
附录 E 定位示值误差校准结果不确定度评定示例	(13)

引 言

本规范依据 JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1001—2011《通用计量术语及定义》进行编写。

本规范参考了 CJJ 61—2017《城市地下管线探测技术规程》中的部分技术要求。

本校准规范为首次发布。

石油天然气地下金属管线探测仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围为（2~15）m 的利用电磁感应原理工作的石油天然气地下金属管线探测仪（以下简称探测仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 概述

石油天然气地下金属管线探测仪是一种利用电磁感应原理对地下金属管线的位置进行精准探测的仪器。

探测仪主要由发射机（图 1）、接收机（图 2）和配套附件组成。发射机的主要作用是通过连接被测管线，给其施加电流从而产生电磁场。接收机通过内部装置，接收管线传输的磁场信号，计算出被测管线平面投影位置和垂直深度。

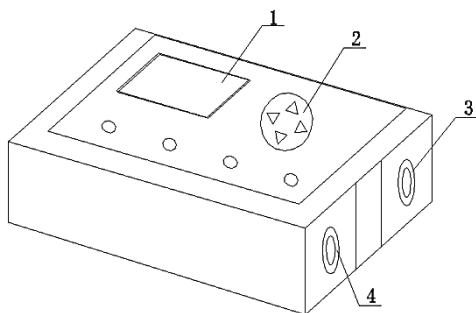


图 1 发射机结构示意图

1. 显示屏 2. 功能键 3. 输出插孔 4. 充电插孔

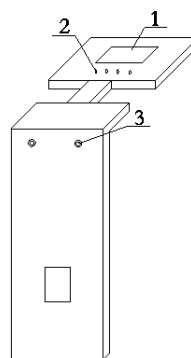


图 2 接收机结构示意图

1. 显示屏 2. 功能键 3. 插孔

4 计量特性

探测仪的计量特性见表 1。

表 1 探测仪的主要计量特性

序号	校准项目	技术要求
1	定位示值误差	不超过探测深度的 10%
2	测深示值误差	不超过探测深度的 10%
3	测深示值重复性	不超过探测深度的 5%
注：校准不判断合格与否，上述计量特性仅供参考。		

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度

环境温度：(20±10)℃。

5.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 85%。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 2。

表 2 校准项目和测量标准

序号	校准项目	测量标准器名称及技术指标
1	定位示值误差	钢直尺：测量范围（0～1）m，MPE：±0.20mm； 全站仪：III级及以上
2	测深示值误差	全站仪：III级及以上
3	测深示值重复性	
注：允许使用技术指标满足要求的其他计量设备。		

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前检查

校准前应通过目视观察，确保探测仪各部件及配套附件完整，连接线无破损；应通过开关机试验或自检确保仪器处于正常工作状态。

按照探测仪说明书连接线路，设置信号强度较高的频率。

校准时，接收机应接触综合校准场的测量面。

6.2 定位示值误差

用探测仪探测到的定位点与管线投影线在垂直于管线走向的垂直距离表示探测仪的定位示值误差。在探测仪标注测量范围中值的整数米处，用全站仪确定预埋管线在综合校准场对应测量面的投影位置，并标记该预埋管线投影位置。按照仪器操作程序，用接收机测量该测量面管线的探测位置点，即信号峰值点。用钢直尺测量预埋投影位置与探测位置点的垂直距离，即为该点的定位误差。重复测量 5 次，取最大值作为定位示值误差的校准结果，结果保留至 0.01m。

6.3 测深示值误差

选取探测仪全量程内大致均匀分布的三至五点作为校准点，用全站仪确定预埋管线在综合校准场对应测量面的预埋投影位置，在综合校准场的对应深度测量面的预埋投影位置上各取一点，按照仪器操作程序，测量信号峰值时的管线深度。管线深度测量值与管线半径之和即为该次测量的深度测量值。每测量点重复测量 10 次，取平均值作为该点的测深示值误差的校准结果，结果保留至 0.01m。按公式（1）计算各点的测深误差。

$$\Delta_i = \bar{h}_i + D/2 - H_i \quad (1)$$

式中：

Δ_i ——第 i 校准点测深示值误差，单位：m；

\bar{h}_i ——第 i 校准点管线深度测量平均值，单位：m；

D ——预埋管线外径，单位：m；

H_i ——第 i 校准点综合校准场测量面到基准面的距离，单位：m。

6.4 测深示值重复性

在测深示值误差的测量过程中，根据测量数据，按公式（2）计算各校准点的测深重复性。分别计算各校准点的测深重复性，取最大值作为仪器的测深重复性。

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中：

s_i ——第 i 校准点测深重复性，单位：m；

h_i ——第 i 校准点管线深度测量值，单位：m；

\bar{h} ——10 次深度测量的平均值，单位：m；

n ——测量次数。

7 校准结果

7.1 校准记录

校准记录应详尽记录校准数据和计算结果。推荐的校准记录格式见附录A。

7.2 校准证书

经校准的仪器应出具校准证书。校准证书内容应符合JJF1071-2010中5.12的要求。推荐的仪器校准证书（内页）格式参见附录B。

校准证书应给出各校准项目的扩展不确定度，评定示例见附录D、附录E。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用人员、使用频率、使用环境、仪器本身质量等诸因素决定，因此，用户可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，建议不超过一年。如果对仪器的检测数据有怀疑或仪器更换主要部件及修理后应对仪器重新校准。

附录 A

石油天然气地下金属管线探测仪校准原始记录参考格式

基本信息						
委托单位		原始记录号		校准证书号		
仪器名称		规格型号		设备编号		
制造厂商		温度		相对湿度		
校准用标准器						
名称	规格型号	器具编号	测量范围	证书编号	有效期	不确定度或准确度等级或最大允许误差
校准依据						
校准地点				校准日期	年	月 日
校准结果						
校准前检查						
定位示值误差：（单位：m）						
被校深度： m						
测量次数	预埋投影位置与探测位置点的垂直距离			定位示值误差	扩展不确定度 U ($k=2$)	
1						
2						
3						
4						
5						

测深示值误差：（单位：m）													
预埋管线直径：													
测量面到基准面的距离	深度测量值										深度测量平均值	测深示值误差	扩展不确定度 $U(k=2)$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
测深示值重复性：（单位：m）													
测量面到基准面的距离													
该校准点测深重复性													
测深重复性													
备注：													

校准：

核验：

附录 B

石油天然气地下金属管线探测仪校准证书/报告内页参考格式

证书编号 XXXXXX-XXXX				
校准机构授权说明				
校准的技术依据 JJF(石化) XX-XXXX 《石油天然气地下金属管线探测仪校准规范》				
校准环境及地点				
地点				
环境温度		环境湿度		
校准使用的计量(基)标准装置				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量(基)标准证书编号	有效期至
序号	校准项目	校准结果		
1	校准前检查			
2	定位示值误差		校准结果的扩展不确定度($k=2$)	
3	测深示值误差		校准结果的扩展不确定度($k=2$)	
4	测深示值重复性		校准结果的扩展不确定度($k=2$)	
备注				

附录 C

综合校准场的构建要求

C.1 综合校准场应建立在周围无强电磁场的干扰、结构稳定、不易变形、具有必要的安全防护措施的场地上。同时应考虑是否满足校准环境条件。

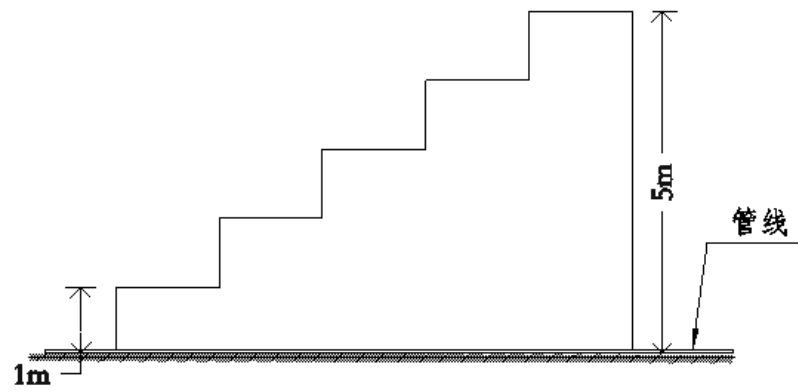
C.2 综合校准场中的装置整体呈梯形，分别测量并标注每一梯台面（探测平面）与管线附着水平面的垂直距离。在每一梯台面（探测平面）的管线投影线处制作竖直刻线标志，垂直于投影镶嵌钢直尺，钢直尺500mm刻划处与竖直刻线标志重合，便于定位误差校准。校准装置内部可采用土壤等导磁性良好的物质填实，外部修砌采用实心砖、大理石或混凝土加固等非磁性稳定材质。管线与大地相连，构成闭合回路。图C.1和图C.2为5m校准场结构示意图。标准校准场还需另设接地处。

C.3 探测平面和管线附着平面的平面度不大于5mm，两平面间的平行度不大于10mm。综合校准场平面度的检测可采用平尺、水平尺等满足计量要求的设备进行。平行度的检测可在探测平面上选择梯台 4 个角作为测量位置，分别测量探测平面到管线附着平面的距离值，取 4 个位置测量结果的最大值与最小值之差作为探测平面和管线附着平面的平行度。垂直距离相对于对应标准整数米的差值应在每次校准前逐点测量。

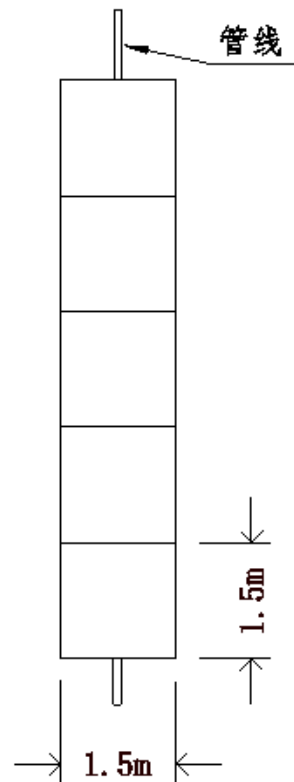
C.4 刻线标志的检测可在管线在校准场上水平安置完成后，在管线正上方吊垂准线，确定管线中心线。固定整平全站仪，使其望远镜竖丝瞄准垂准线，竖直方向旋转仪器目镜至探测平面，以望远镜在探测平面上观测到的竖丝位置作为管线投影线在探测平面上标记竖直刻线标志。

C.5 管线应使用导电性能良好的金属材质，形状规则，中心线直线度应不大于5mm/m，埋设管线长度应不低于最大标准深度值的3倍。

C.6 由于仪器的生产厂家和规格型号的不同，仪器本身的测量范围和探测精度也会有较大差异。在试验场的构建过程中，可根据需要增大梯台高度或减小梯台高度间隔。



图C.1 综合校准场结构侧视图



图C.2 综合校准场结构俯视图

附录 D

测深示值误差校准结果的不确定度评定示例

D.1 测量对象和方法

D.1.1 测量对象:测量范围为(0~5)m的石油天然气地下金属管线探测仪

D.1.2 测量方法:标准深度直接比较法。

D.2 测量模型

$$\Delta_i = \bar{h}_i + D/2 - H_i \quad (\text{D.1})$$

式中:

Δ_i ——第*i*校准点测深误差,单位:m;

\bar{h}_i ——第*i*校准点管线深度测量平均值,单位:m;

D ——预埋管线直径,单位:m;

H_i ——第*i*校准点综合校准场测量面到基准面的距离,单位:m。

D.3 输入量的标准不确定度的评定

D.3.1 地下管线探测仪测量重复性引入的不确定度分量 u_1

以3m处测量点为例,用地下管线探测仪测量金属管道埋深3m处的标准深度,在信号峰值处测量10次测深示值误差,见表D.1:

D.1 重复10次测量结果

第 <i>i</i> 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值误差/m	0.22	0.14	0.18	0.14	0.16	0.14	0.27	0.24	0.22	0.16

采用贝塞尔公式计算单次测量的标准偏差,取3次测量平均值作为测量结果,所以测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 :

$$u_1 = 0.027\text{m} \quad (\text{D.2})$$

各校准点计算结果见表D.2:

表 D.2 测量重复性引入的标准不确定度分量

序号(测量米数)	测量重复性引入的标准不确定度值/m
u_1 (1)	0.009
u_1 (2)	0.018
u_1 (3)	0.027
u_1 (4)	0.032
u_1 (5)	0.045

D.3.2 接收机放置位置引入的不确定度分量 u_2

根据测量经验，由信号峰值处接收机所放置位置导致测量轴线与标准基线不平行从而引入的测量误差约 $\pm 1\text{cm}$ ，假设其服从三角分布，则由此引入的标准不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{0.01\text{m}}{\sqrt{6}} = 0.004\text{m} \quad (\text{D.3})$$

D.3.3 校准装置引入的不确定度分量 u_3

该分量是探测平面和金属管道附着平面的平面度、平行度、管线直线度、标准深度测量误差以及土壤对磁场的影响情况等综合确定的一个不确定分量。根据校准装置构建情况，估计其影响深度误差测量而产生的误差为 $\pm 0.01\text{m}$ ，假设其服从均匀分布，则由此引入的标准不确定度分量为：

$$u_3 = \frac{0.01\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.006\text{m} \quad (\text{D.4})$$

D.3.4 仪器分辨力引入的不确定度分量 u_4

仪器的分辨力一般为 0.01m ，按照均匀分布，可得

$$u_4 = \frac{0.01\text{m}}{2\sqrt{3}} = 0.003\text{m} \quad (\text{D.5})$$

取 u_1 和 u_4 两者的较大者。

D.4 标准不确定度分量表

标准不确定度分量见表 D.3。

表 D.3 不确定度分量汇总

标准不确定度分量 u	不确定度来源	标准不确定度分量值/m	
u_1	测量重复性	u_1 (1)	0.009
		u_1 (2)	0.018
		u_1 (3)	0.027
		u_1 (4)	0.032
		u_1 (5)	0.045
u_2	接收机放置位置	0.004	
u_3	校准装置	0.006	

D.5 合成标准不确定度

各输入量之间相互独立，因此：

$$u_c(h) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \quad (\text{D.6})$$

表 D.4 合成标准不确定度

序号(测量米数)	合成标准不确定度值/m
$u_c(1)$	0.01
$u_c(2)$	0.02
$u_c(3)$	0.03
$u_c(4)$	0.04
$u_c(5)$	0.05

D.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则校准结果的扩展不确定度为：

$$U(h) = k \times u_c \quad (k = 2) \quad (\text{D.7})$$

表 D.5 扩展不确定度

序号(测量米数)	扩展不确定度值/m ($k = 2$)
$u_c(1)$	0.02
$u_c(2)$	0.04
$u_c(3)$	0.06
$u_c(4)$	0.08
$u_c(5)$	0.10

附录 E

定位示值误差校准结果不确定度评定示例

E.1 测量对象和方法

E.1.1 测量对象: 测量范围为 (0~5) m 的石油天然气地下金属管线探测仪

E.1.2 测量方法: 直接测量法。

E.2 测量模型

定位误差的测量模型见式 (E.1):

$$\Delta w = |w - w_c| \quad (\text{E.1})$$

式中:

Δw ——定位误差, 单位: m;

w ——探测管线投影位置点, 单位: m;

w_c ——预埋管线投影位置点, 单位: m。

E.3 输入量的标准不确定度的评定

E.3.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

以 3m 处测量点为例, 用地下管线探测仪测量金属管道埋深 3m 处的标准深度, 在信号峰值处测量 10 次定位误差, 测量值见表 E.1:

E.1 重复 10 次测量结果

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
定位误差/m	0.17	0.09	0.16	0.14	0.20	0.15	0.28	0.24	0.29	0.12

采用贝塞尔公式计算单次测量的标准偏差, 取 3 次测量平均值作为测量结果, 所以测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 :

$$u_1 = 0.039\text{m} \quad (\text{E.2})$$

E.3.2 校准装置引入的不确定度分量 u_2

该分量是探测平面和金属管道附着平面的平面度、平行度、管线直线度、标准深度测量误差以及土壤对磁场的影响情况等综合确定的一个不确定分量。根据校准装置构建情况, 估计其影响定位误差测量而产生的误差为 $\pm 0.01\text{m}$, 假设其服从均匀分布, 则由此引入的标准不确定度分量为:

$$u_2 = \frac{0.01\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.006\text{m} \quad (\text{E.3})$$

E.3.3 仪器分辨力引入的不确定度分量 u_3

仪器的分辨力一般为 0.01m，按照均匀分布，可得

$$u_3 = \frac{0.01m}{2\sqrt{3}} = 0.003m \quad (\text{E.4})$$

取 u_1 和 u_3 两者的较大者。

E.4 标准不确定度分量表

标准不确定度分量汇总表, 见表 E.2:

表 E.2 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量 u	不确定度来源	标准不确定度分量值/m
u_1	测量重复性	0.039m
u_2	校准装置	0.006m

E.5 合成标准不确定度 u_c

各输入量之间相互独立，因此：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.04m \quad (\text{E.5})$$

E.6 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，则定位误差校准结果的不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.039m = 0.08m \quad (k = 2) \quad (\text{E.6})$$