

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）XXX—XXXX

固定式射线机校准规范

Calibration Specification of Fixed X-ray Equipment

（报批稿）

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

固定式射线机校准规范

Calibration Specification of Fixed X-ray
Equipment

JJF(石化) XXX—XXXX

归口单位：中国石油和化学工业联合会

主要起草单位：中国乐凯集团有限公司

参加起草单位：乐凯医疗科技有限公司

国防科技工业1311区域计量站

惠阳航空螺旋桨有限责任公司

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：

张庆功 （中国乐凯集团有限公司）
王朋坤 （中国乐凯集团有限公司）
任学锋 （中国乐凯集团有限公司）
刘浩强 （中国乐凯集团有限公司）
刘然清 （中国乐凯集团有限公司）
汤进飞 （中国乐凯集团有限公司）

参加起草人：

徐向巍（国防科技工业1311区域计量站）
李新路（惠阳航空螺旋桨有限责任公司）

目 录

引言.....	(II)
1. 范围.....	(1)
2. 引用文件.....	(1)
3. 术语和定义.....	(1)
3.1 射线机.....	(1)
3.2 空气比释动能率.....	(1)
3.3 半值层.....	(1)
4. 概述.....	(1)
5. 计量特性.....	(2)
6. 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 测量标准及其他设备.....	(3)
7. 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
7.3 空气比释动能率半衰示值误差校准.....	(4)
7.4 固定式射线机重复性的校准.....	(5)
8. 校准结果.....	(5)
8.1 校准记录.....	(5)
8.2 校准证书.....	(5)
8.3 不确定度.....	(5)
9. 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 固定式射线机校准记录.....	(6)
附录 B 固定式射线机校准证书内页格式.....	(8)
附录 C 固定式射线机空气比释动能率半衰示值误差不确定度评定示例.....	(9)
附录 D 固定式射线机空气比释动能率重复性测量结果不确定度的评定示例.....	(12)

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》等基础性系列规范进行编写。

本规范参照了 GB/T 12162.1《用于校准剂量仪和剂量率仪及确定其能量响应的 X 和 γ 参考辐射 第 1 部分：辐射特性及产生方法》，并结合固定式射线机的使用和校准现状进行了制定。

本校准规范为首次发布。

固定式射线机校准规范

1. 范围

本规范适用于评价工业射线胶片照相性能的固定式射线机校准。

2. 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071-2010 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. 术语和定义

3.1 射线机 X-ray equipment

对物体内部结构进行X射线摄影或断层检查的设备总称。

3.2 空气比释动能率 Air kerma rate

时间间隔内比释动能率的增量。当定义中的介质明确为空气时，即为空气比释动能率。

3.3 半值层 half value layer

半值层(英文缩写HVL)使空气比释动能率、照射量率或吸收剂量率减弱到原值一半所需材料的厚度。

4. 概述

固定式射线机是评价工业射线胶片的一种发射射线的设备，其核心功能是阴极被施加高压达到白炽状态时产生电子束，电子束在高压作用下打到阳极的钨靶上，从而激发出射线能量，射线首先照射到被照物体上，然后穿过被照物体，最后照射到感光胶片上，胶片因其具有的感光特性而感光。感光的过程中因被照体内部的均匀程度不同，射线穿过被照物体后能量不同程度的衰减，从而相应地使感光胶片不同程度感光而形成潜影。最终实现指标数值可量化识别，验证固定式射线机的工作稳定可靠，来评判验证工业射线胶片的性能和表观的质量稳定可靠。射线透过半值层，空气比释动能率理论应为原值

的一半，与理论值间的偏差为空气比释动能率半衰示值误差。图1为固定式射线机结构图，图2为固定式射线机工作原理示意图。

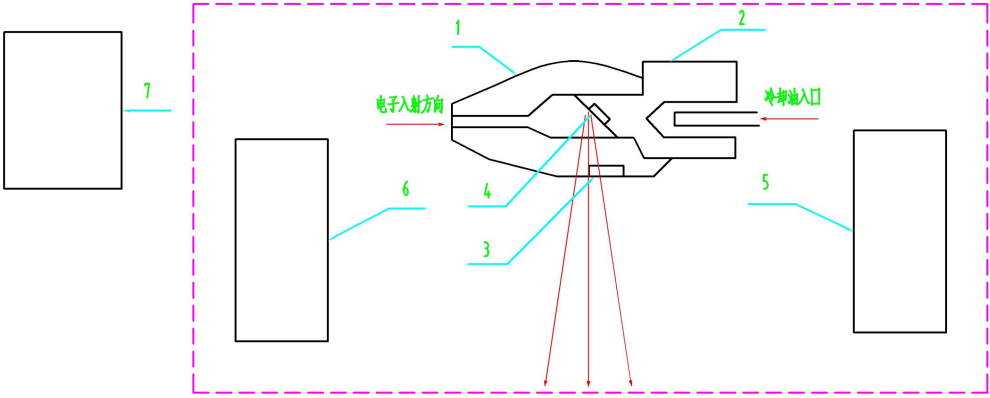


图 1 固定式射线机结构图

1-玻璃外壳；2-阳极冷却环；3-阳极窗口；4-阳极靶；5-冷却系统；6-高压发生器；7-控制系统

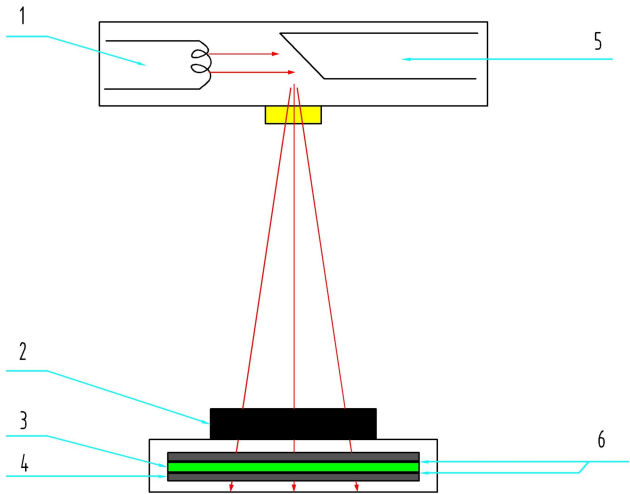


图 2 固定式射线机工作原理示意图

1-阴极；2-被照体；3-胶片；4-暗袋；5-阳极；6-增感屏

5. 计量特性

具体计量特性见表1。

表 1 固定式射线机计量特性一览表

序号	校准项目	技术要求
1	空气比释动能率半衰示值误差	$\pm 10\%$
2	空气比释动能率重复性	$\leq 3\%$

注：以上指标要求不用于合格性判定，应符合用户实际使用要求。

6. 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度条件

环境温度：（18~28）℃。

6.1.2 湿度条件

相对湿度：30%~70%。

6.1.3 其他条件

固定式射线机训机达到设备标称最高值之后，8小时内使用。设备周围应无强烈振动及腐蚀性气体存在，检测环境无外界磁场干扰，应避免其他冷、热源影响。实际工作中，环境条件还应满足测量设备正常使用的要求。本规范所采用(8.00±0.05)mm和(8.00±0.05)mm +(3.5±0.2)mm的铜质滤线器。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备的技术要求见表2。

表2 校准项目和测量标准

序号	校准项目	测量标准名称及技术要求	
1	空气比释动能率半衰示值误差	X 射线空气比释动能（诊断水平）标准装置	型号：RG902， $U_{rel}=3.8\%$ （ $k=2$ ）
2	空气比释动能率重复性	X 射线空气比释动能（诊断水平）标准装置	
注：也可选用符合技术要求的其他设备。			

7. 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

固定式射线机的校准项目见表2。

7.2 校准方法

7.2.1.1 仪器和设备

钢直尺：规格 1000mm，分度值 1mm，精度不低于±0.2mm。

游标卡尺：量程 0mm-150mm、精度不低于 $\pm 0.02\text{mm}$ 。

7.2.1.2 外观检查

7.2.1 校准前检查

校准前，工作人员工作服佩戴个人剂量计，打开射线报警仪，仪器设备运行正常，确保机器、人员安全；用钢直尺确认焦距长度；目视铜滤线器的表面状态，用游标卡尺进行厚度的确认；用数字温湿度表确认工作环境；射线机正式工作前需预热训机，射线机训机达到设备规定最高电压之后，8小时内使用。

7.3 空气比释动能率半衰示值误差校准

7.3.1 校准参数设定

电流：5mA，焦点：大焦点，焦距：700mm，铜滤线器：8mm和 $(8+3.5)\text{mm}$ 。

7.3.2 校准方法

用钨靶射线管的X射线曝光，射线管固有的滤线作用加上紧挨着钨靶安放附加的铜滤线器，在220 kV附近的电压，使用 $(8.00\pm 0.05)\text{mm}$ 的铜滤线器的作用，调节X射线管的电压，直至加 $(3.5\pm 0.2)\text{mm}$ 的铜滤线器（即找到合适的半值层），通过X射线空气比释动能（诊断水平）标准装置得到空气比释动能率数值。

对 $(8.00\pm 0.05)\text{mm}$ 的铜滤线器的作用后测得的剂量率为 $K_1(\text{cGy/min})$ ，再加 $(3.5\pm 0.2)\text{mm}$ 的铜滤线器的作用后测得的剂量率为 $K_2(\text{cGy/min})$ 。每种条件下测试5次，得出算术平均值。

数据处理

按下列公式（1）计算空气比释动能率半衰示值误差：

$$m = \left(\frac{K_2}{K_1} - 0.5 \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中：

- m —— 空气比释动能率半衰示值误差，结果保留两位有效数字；
- K_1 —— 对 $(8.00\pm 0.05)\text{mm}$ 的铜滤线器的作用后吸收的剂量率，cGy/min；
- K_2 —— 直至加 $(3.5\pm 0.2)\text{mm}$ 的铜滤线器的作用后吸收的剂量率，cGy/min；
- 0.5 —— 为理论衰减比例。

7.4 固定式射线机重复性的校准

按照7.3.2的方法，进行对 (8.00 ± 0.05) mm的铜滤线器的作用，进行6组开机测试，记录为 $K_{l,1}$ 、 $K_{l,2}$ 、 $K_{l,3}$ 、 $K_{l,4}$ 、 $K_{l,5}$ 、 $K_{l,6}$ ，每组测试5次数据，根据贝塞尔公式，计算相对标准偏差即为固定式射线机重复性校准的结果。

数据处理

按下列公式（2）计算空气比释动能率重复性：

$$s_{(K)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{n-1}}$$

式中：

$s_{(K)}$ —— 空气比释动能率重复性测试相对标准偏差；

K_i —— 单次测试结果,cGy/min；

$\bar{K}$ —— 空气比释动能率测试结果平均值,cGy/min；

n —— 测试次数。

8. 校准结果

8.1 校准记录

校准记录应详尽记录校准数据和计算结果。推荐的仪器校准记录格式见附录A。

8.2 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JJF 1071-2010中的5.12要求。推荐的仪器校准证书（内页）格式参见附录B。

8.3 不确定度

校准证书应给出校准项目的扩展不确定度，评定示例见附录C、附录D

9. 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由测定仪的使用情况、使用者、测定仪本身质量等诸多因素决定的。因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔，建议复校时间间隔建议不超过12个月。

附录 A

固定式射线机校准记录格式

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		环境温度	℃	环境湿度	%
校准前检查					
序号	项目	检查结果			
1	焦距/mm				
2	工作电流/mA				
3	工作电压/kV				
4	铜质半值层/mm				
校准结果					
空气比释动能率半衰示值误差值记录表					
通过 8mm 铜质滤线器 空气比释动能率	K _{1, 1}	K _{1, 2}	K _{1, 3}	K _{1, 4}	K _{1, 5}
通过加至 3.5mm 铜质滤线器 空气比释动能率	K _{2, 1}	K _{2, 2}	K _{2, 3}	K _{2, 4}	K _{2, 5}
空气比释动能率半衰示值误差					
空气比释动能率重复性测量记录表					
次数	K _{1, 1}	K _{1, 2}	K _{1, 3}	K _{1, 4}	K _{1, 5}
第一组测量结果					
第二组测量结果					
第三组测量结果					
第四组测量结果					
第五组测量结果					
第六组测量结果					

空气比释动能率 重复性					
注：空气比释动能率重复性测量使用 8mm 铜质滤线器。					
标准器					
名称	编号	证书号	测量范围	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
备注					

校准员：

核验员：

附录 B

固定式射线机校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX														
校准机构授权说明														
校准的技术依据 JJF（石化）XXX—XXXX《固定射线机校准规范》														
校准环境条件及地点														
地点														
环境温度	℃	相对湿度	%	其他										
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										
校准结果														
<table><tr><td>校准项目</td><td>测量结果</td><td>扩展不确定度</td></tr><tr><td>空气比释动能率半衰示值 误差</td><td></td><td></td></tr><tr><td>空气比释动能率重复性</td><td></td><td></td></tr></table>						校准项目	测量结果	扩展不确定度	空气比释动能率半衰示值 误差			空气比释动能率重复性		
校准项目	测量结果	扩展不确定度												
空气比释动能率半衰示值 误差														
空气比释动能率重复性														
备注														

附录 C

固定式射线机空气比释动能率半衰示值误差不确定度评定示例

C.1 校准方法

校准方法及数据处理，见 7.3.2。

C.2 测量模型

按下列公式 (C1) 计算空气比释动能率半衰示值误差值：

$$m = \left(\frac{K_2}{K_1} - 0.5 \right) \times 100\% \quad (C1)$$

式中：

- m —— 空气比释动能率半衰示值误差，结果保留两位有效数字；
 K_1 —— 对(8.00±0.05)mm 的铜滤线器的作用后吸收的剂量率,cGy/min；
 K_2 —— 直至加(3.5±0.2)mm 的铜滤线器的作用后吸收的剂量率,cGy/min；

C.3 灵敏系数

式中 K_1 与 K_2 为同设备同环境下，两次相互独立的测试结果，且各输入量独立不相关，所以当采用相对不确定度进行计算时，不确定度灵敏系数计算可得：

$$\frac{\partial (m)}{\partial K_1} = -\frac{K_2}{K_1^2}, \quad \frac{\partial (m)}{\partial K_2} = \frac{1}{K_1} \quad (C2)$$

单次测量相对标准不确定度 $u_{rel}(K)$ 相同，可得方差传播公式：

$$u_c(m) = \sqrt{\left(\frac{1}{K_1}\right)^2 u^2(K_2) + \left(-\frac{K_2}{K_1^2}\right)^2 u^2(K_1)} = \sqrt{2} u_{rel} \frac{K_2}{K_1} \quad (C3)$$

C.4 测试值 K 不确定度评估

C.4.1 标准不确定度的来源及评定

(1) 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_{rel}(K_1)$

采用 A 类方法进行评定。选用固定式射线机 TITAN E 320 型, 编号: 779396, 用 X 射线检测仪分别在 X 射线探伤机工作在(220kV, 5mA)、(225kV, 5mA)、(230kV, 5mA)条件下, 采用大焦点、700mm 焦距, 测得空气比释动能率的数据如下表：

表 C.1 8 毫米铜滤线器条件下空气比释动能率测量结果

固定式射线机工作条件	X 射线空气比释动能率测量值 (cGy/min)			$\bar{k}$	$s(k_1)$	$s(\bar{k})=u_{rel}(k_1)$
220kV, 5mA	1.699	1.707	1.70	1.704	0.0043	0.25%
	1.709	1.704	/			
225kV, 5mA	1.841	1.841	1.842	1.842	0.0016	0.08%
	1.845	1.842	/			
230kV, 5mA	2.036	2.038	2.040	2.0386	0.0019	0.09%
	2.038	2.041	/			

表 C.2 11.5 毫米铜滤线器条件下空气比释动能率测量结果

固定式射线机工作条件	X 射线空气比释动能率测量值 (cGy/min)			$\bar{k}$	$s(k_1)$	$s(\bar{k})=u_{rel}(k_1)$
220kV, 5mA	0.780	0.779	0.779	0.780	0.0019	0.24%
	0.778	0.783	/			
225kV, 5mA	0.882	0.881	0.882	0.883	0.002	0.23%
	0.886	0.884	/			
230kV, 5mA	0.984	0.979	0.984	0.983	0.0025	0.25%
	0.985	0.985	/			

单次试验标准偏差：

$$s(k_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k}_1)^2}{(n-1)}} \quad (C4)$$

由于测量结果为测量 5 次的平均值，因此

$$s(k) = s(k_1) / \sqrt{5} \quad (C5)$$

重复性标准差： $s(\bar{k}) = s(k) / \bar{k}$ ，考虑到对不确定度分量比重小，本处取最大值作为 A 类不确定度分量，标准不确定度分量：

$$u_{rel}(K_1) = s(k_1) = 0.25\% \quad (C6)$$

(2) 剂量仪校准因子给出的不确定度分量 $u_{rel}(K_2)$

根据检定证书，剂量仪校准因子的扩展不确定度为 3.8%，置信因子 $k=2$ ，因此校准因子引入的标准不确定度分量为：

$$u_{rel}(K_2) = 3.8\% / 2 = 1.9\% \quad (C7)$$

表 C.3 标准不确定度分量表

不确定度分量	不确定度来源	不确定度分量值
$u_{\text{rel}}(k_1)$	测量重复性	0.25%
$u_{\text{rel}}(k_2)$	剂量仪校准因子	1.9%

C.4.2 合成标准不确定度

由于各个输入量 $u_{\text{rel}}(k_1)$ 、 $u_{\text{rel}}(k_2)$ 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(K) = \sqrt{u_{\text{rel}}(K_1)^2 + u_{\text{rel}}(K_2)^2} = 1.92\% \quad (\text{C8})$$

C.5 空气比释动能率半衰示值误差合成标准不确定度

由于实际作业中， K_1 约等于 2 倍的 K_2 ($m=2$) 计算重空气比释动能率半衰示值误差的合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c(m) = \sqrt{\left(\frac{1}{K_1}\right)^2 u^2(K_2) + \left(-\frac{K_2}{K_1^2}\right)^2 u^2(K_1)} = \sqrt{2} u_{\text{rel}} \frac{K_2}{K_1} = 0.0136 \quad (\text{C9})$$

C.6 扩展不确定度 ($k=2$)

绝对扩展不确定度

$$U(m) = u_c(m) \times k = 0.0136 \times 2 \approx 0.027 \quad (\text{C10})$$

扩展不确定度最终表述：

$$U = 0.027 \quad (k=2) \quad (\text{C12})$$

附录 D

固定式射线机空气比释动能率重复性测量结果不确定度的评定示例

D.1 标准不确定度的来源及评定

由测量方法可知，空气比释动能率重复性的测量结果是根据空气比释动能率的测量结果经过实验标准偏差公式计算得出的，则空气比释动能率重复性测量结果的不确定分量主要是由测量结果的重复性引入的，采用 A 类方法进行不确定度评定。

D.2 标准不确定度评定

选用固定式射线机 TITAN E 320 型，编号：779396，用 X 射线检测仪分别在 X 射线探伤机,采用大焦点、700mm 焦距，测量空气比释动能率重复性测量结果见表（1）：

表 D.1 空气比释动能率重复性 x_i 测试结果

次数	$K_{I,1}$	$K_{I,2}$	$K_{I,3}$	$K_{I,4}$	$K_{I,5}$
第一组测量结果	1.885	1.893	1.878	1.892	1.907
第二组测量结果	1.904	1.893	1.881	1.869	1.879
第三组测量结果	1.891	1.873	1.885	1.901	1.894
第四组测量结果	1.904	1.893	1.885	1.879	1.869
第五组测量结果	1.902	1.873	1.879	1.879	1.901
第六组测量结果	1.892	1.869	1.885	1.869	1.901

重复性标准偏差：

$$s_{(K)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{n-1}} = 0.012 = 1.2\% \quad (D1)$$

测量过程中每次只测量一组作为测量结果，因此，空气比释动能率重复性测量结果的标准不确定度分量，即

$$u_{\text{rel}} = s = 1.2\% \quad (D2)$$

2.2.2 合成标准不确定度

因只有一个不确定度分量，因此

$$u_{\text{crel}} = u_{\text{rel}} = 1.2\% \quad (D3)$$

D.3 扩展不确定度

取置信因子 $k=2$ ，则相对扩展不确定度：

$$U_{\text{rel}} = k u_{\text{crel}} = 2 \times 1.2\% = 2.4\% \quad (k=2) \quad (\text{D4})$$
