

电离室工业核技术应用中的应用

目 录

§1	电离室基本工作原理	(1)
§2	电离室饱和特性曲线	(2)
§3	电离室的基本结构	(2)
§4	电离室的主要特性	(4)
§5	电离室使用规范	(5)
§6	电离室安装规范	(6)
§7	电离室常见现象分析	(7)
§8	其它用途的电离室	(9)

附图（另编成册、见 5.2.2-92）

- 图 1 电离室基本原则
- 图 2 电离室的电流与外加电压关系曲线
- 图 3 电离室的基本结构
- 图 4 金属熔封陶瓷绝缘子
- 图 5 圆筒形电离室采用保护环结构
- 图 6 双绝缘子及保护环圆筒形电离室结构
- 图 7 电离室电极联线图
- 图 8 电离室安装必须对准中心区
- 图 9 放射源与电离室灵敏区

核子秤传感器的主组成部分是辐射传感器或叫辐射探测器。由于核子秤采用的是 Y 射线源，因此是 Y 射线电离室。它是探测器中最简单，问世最早的一种探测器。它的优点是结构简单，长期工作稳定性好，寿命长，使用中无须维修，能在恶劣环境下稳定工作。因此，虽然工业核仪表所用的辐射传感器有多种，但是在某些情况下，如轧钢机用测厚仪，连续浇注钢水的钢水液面控制仪，核子秤和连续料位计，都使用大体积的电离式。

§1 电离室的基本工作原理

电离室是气体探测器中原理最简单的。电离室的正常工作是利用电场收集在气体中直接电离所产生的全部电荷。

电离室由两个基本电极组成，一个是高压电极，另一个是收集电极，室内充有高压气体氙气，外面是一个密封外壳。

当入射的 Y 射线射到电离室灵敏体积中，在电极或室壁上打出次级电子（光电子和康普顿电子），次级电子使气体产生电离，生成正负离子对。当存在电场时（两个电极加上极化电压时），离子和电子所呈现的正电荷向阴极的漂移和负电荷向阳极方向漂移构成电流。一定体积的气体受恒定的 Y 射线照射时，离子对的生成率是恒定的。

图 1 表明了电离室的基本原理，一个密封的气体容器内，有两个基本电极，当外加电压时，在两电极间产生电场。Y 射线入射到电离室的灵敏体积中，产生离子对，在电场作用下正负离子向相应的电极漂移，在外电路中形成电流。外电路收集到的电流就是电离电流。

若 n 为电离室中的体积元 dt 内单位体积中离子对的产生率， N 为灵敏体积 V 内产生的离子对总数， e 为电子电荷。电离室平均电离电流 I_c 就由下式求出：

$$I_c = e \int_V n dt = eN \quad (1)$$

一定体积的气体受恒定 Y 射线照射时，产生的电离电流 I_c 正比于该体积内离子对的生成率。该离子生成率与入射的 Y 射线强度成正比。因此 I_c 正比于入射的 Y 射线强度。

若在外电路串联负载电阻 R ，则其上面将产生一个电压信号 V ：

$$V = I_c R \quad (2)$$

此信号经前置放大器放大后输出给二次仪表。

从 (1) 和 (2) 可知，电离室输出信号正比于电离室处 Y 射线的强度。

§2 电离室饱和和特性曲线

电离室的外加电压与收集的电离电流的关系如图 2 所示。当外加电压从零开始渐渐增加，电流也是渐渐增加。当电压增加到某一值时，收集的电流就不变。

以图 2 中 1 曲线为例。当外加电压从零到 V_1 值，电流的变化为 OA ，对应的外加电压值为 V_1 ，电流值为 I_1 ，再增加电压值，电流不增加，好似达到了“饱和”状况。因此，对应的 V_1 值叫饱和电压，相应的 I_1 叫饱和电流。从 V_1 往后的电压区称饱和特性区。

电离室工作时，外加电压应该选在饱和电压区，保证收集的电流是饱和电流。

为什么在电流—电压特性曲线的“OA”段是渐渐增加的呢？

这是因为在外加电压形成的电场不够大，不足以使正负离子很快的向两电极方向漂移，有一部分在漂移过程中，正负离子相碰又复合成中性的分子了，因此，有一部分离子就损失了。随着电压的增加，电场强度增大，这种复合损失就会减少，因此收集电流就随之增加。当电压增加到 V_1 时，正负离子对达到全收集，电流达到饱和，不增加。因此只有全收集才能反映信号的正确值。

图 3 的电离室电流~电压关系曲线称为电离室的饱和特性曲线。从这曲线变化可看出电离室的基本特性：

- (1) 饱和电压值；
- (2) 饱和电流值；
- (3) 饱和特性区的长度和它的斜度。

这几个基本特性与电离室的设计、材料的选择、所充气体的统一计划与压力大小，工艺的合理和严格都有很大的关系。

性能优良的电离室是饱和电压低，饱和电流大，饱和区宽和它的斜度小。从使用来看，挑选具有好的特性曲线的电离式是重要的。

§3 电离室的基本结构

电离室的结构常见的有平板形和圆筒形。如图 3 所示。

它的基本组成部分由两个电极，密封外壳和电极引出的绝缘子，里面充有工作的气体（氩或其它惰性气体）。

绝缘子和保护环。

由于电离室的电离电流是弱电流约或更小，因此收集这些弱电流是要很注意的。

电离室两个电极要有支承的绝缘子。电极引出线也要有绝缘子和又能密封的部件。这就要注意选择绝缘子的材料及绝缘子的形状（结构）设计。它的结构如图 4 所示。

电极引线极是用于连接电极的。底座是与外壳焊接的。这些所有焊接都是采用氩弧焊来完成。氩弧焊能够保护焊接处清洁、可靠，它没有使用焊药、焊料，焊缝的热区不大，不会改变焊缝的金属结构。

收集电极的绝缘性能是很重要的。若有漏电流就会被加到被测的电离电流上去，给信号带来附加成分，使测量误差加大。

如要测 $10^{-12}A$ 的电流，要求它的误差小于 1%，加 100V 时，它要求绝缘电阻达到 $10^{16}\Omega$ 。

虽然绝缘材料的体电阻是可以达以到这么高的，但是绝缘子表面由于沾污或吸附了湿气，总的电阻会呈现出较低。因此在电离室的弱电流测量中常采用保护环的设计来减少绝缘子漏电的影响。

图 5 是电离室保护环结构在圆筒形电离室的示意图。

绝缘子分成上下两层，下层是保护环将负高压极隔开。上层是保护环与收集极隔开，保护环接地。高压的压降加在下层绝缘子上，有漏电流产生时不经过测量仪器，漏电流 I_a' 直接入地。上层绝缘子的电压降是很小，电流计的电压差是很小的。因而漏电流成分也是很小的。因此保护环起到了保护作用，防止了漏电流流向收集极。

图 6 是另一种圆筒形电离室的保护环结构示意图。

绝缘子底座就是保护环，它与电离室外壳相联，本身接地。外壳起到屏蔽作用，也起到保护环作用。

图 5 的电离室外壳是带电的电极。图 6 的电离室外壳不带电，使用安全可靠。

华海公司电离室采用图 6 的双绝缘子保护环设计。外壳还是密封壳，能承受高气体压力的压力壳，使用中安全可靠。

电离室联线图如图 7 所示。此图为顶视图，排气管在上方时，左边为高压电极、右边为收集电极。

还有两个 M5 的螺钉孔，为固定前板的支承用。“U”形铁块固定在 M5 螺孔中，前放线路板固定在“U”形铁块上。使前放输入端与收集极距离最近，使电极引线最短。同理是使高压电极引线最短。有利于防止干扰。

§4 电离室的主要特性

核子秤电离室除具备一般的探测器特性外，还具有适合于作计量器具所要求的特性。因为它是长而大体积的电离室，它的灵敏度均匀性在计量物料时有着很重要的影响；另外环境温度变化对电离室是否引起很大的计数误差，这些决定着核子秤能否适应恶劣环境的使用条件。因此，核子秤电离室的设计，制造过程要考虑以上的问题。

另外检测它的主要特性是否具备了核子秤电离室工作的基本要求也是很重要的。

HHD—9 型核子秤电离室系列产品通过了中国计量科学研究院形式定型鉴定，主要特性介绍如下：

1. 饱和特性：

饱和和工作电压选择—300V~600V

取饱和曲线中的 450V 的饱和电流值，与 285V 和 630V 的饱和电流值相比，其相对差值为 S。

HHD—9	285V	$S=1.80 \times 10^{-3}$	$S/(V_1-V_2)=1.00 \times 10^{-5}$
	630V	$S=-1.80 \times 10^{-3}$	$S/(V_1-V_2)=1.00 \times 10^{-5}$

2. 环境温度影响：

常温、高、低温使用，它的影响用 T_R 来描述。设 I_1 、 I_2 为温度为 T_1 与 T_2 时电离室所测电流值，定义 T_R 为下式表示：

$$T_R = \left[\frac{I_2 - I_1}{I_1} \right] / (T_2 - T_1) \quad T_2 > T_1 \quad (3)$$

设常温时 HHD—9 电离室其它温度与它相比如下：

$$40^\circ\text{C} \quad T_R = 1.46 \times 10^{-4} (1^\circ\text{C})$$

$$60^\circ\text{C} \quad T_R = 1.51 \times 10^{-4} (1^\circ\text{C})$$

$$-10^\circ\text{C} \quad T_R = 1.09 \times 10^{-4} (1^\circ\text{C})$$

$$-25^\circ\text{C} \quad T_R = 1.27 \times 10^{-4} (1^\circ\text{C})$$

使用在 $-25^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 温度范围内， T_R 最大值为 $1.51 \times 10^{-4} (1^\circ\text{C})$

3. 电离室轴向均匀性（灵敏度轴向均匀性）：

对于 HHD-9 均匀区长度为 81%。

4. 稳定性，测量 8 小时的稳定性：

对于 HHD-9 为 $\pm 0.04\%$

5.本底电流:

对于 HHD-9 为 $6.15 \times 10^{-13} \text{A}$

6.绝缘电阻:

对于 HHD-9 为 $1.59 \times 10^{13} \Omega$

7.具有抗电磁场干扰能力

8.具有抗震能力

(其余略)

HHD 型核子秤电离室获得国家首次颁发的核子秤电离室新型计量器具型式批准证书, 又获得国家专利(实用新型专利证书第 58682 号)。90 年获北京科技进步二等奖。

华海公司生产的核子秤配套使用 HHD 型电离室作辐射探测器, 现已经广泛用于全国二十几个省市的各企业的各种现场, 使用稳定可靠, 获得用户信任和好评。

此产品已安排有两家生产、性能均经北京计量局指定北京计量研究所严格检定, 都达到了核子秤电离室的技术要求。

§5 电离室使用规范

了解了电离室的基本原理和基本特性之后, 使用时还要按照一定的规范要求, 这样才能保证电离室正常稳定的工作。

HHD 电离室规范要求概括如下:

(1) 电离室的两个电极绝缘子应特别注意它的绝缘性能, 受沾污和受潮是使绝缘子绝缘电阻降低的主要原因。沾污是由尘土和煤灰、油污、焊药, 以及其它的污物所引起。

清洁的方法是用干净的丙酮(AR 级)棉球仔细擦洗, 多遍擦洗, 然后用干棉球擦干, 最后用热吹风机吹干, 彻底保证绝缘子干净且干燥。

(2) 经清洗干燥的电离室, 接上前放板后, 注意前置室密封盖板的密封操作:

- a) 七芯插座橡皮“O”圈拧紧;
- b) 放好 $\phi 135 \times 4$ 橡皮“O”圈入密封槽;
- c) 盖板 8 个 M5 的螺孔对好, 螺钉拧时要使盖板平行下压橡皮“O”圈, 保证密封圈压好。操作时注意螺钉不要一次压到底, 而是慢慢的压, 拧螺钉是相对两边的次序拧, 使盖板是平行下压橡皮圈。
- d) 橡皮圈使用一年以后, 若要拆开盖板, 橡皮圈无弹性了, 要更新的, 才能保证密封。

(3) 电离室输出信号不稳、有可能是前放引起, 也有可能是电离室绝缘性能不良引起, 应分别检查判定原因。

电离室的检查是用 1000V 或 2500V 兆欧表(电工使用的摇表, 检查绝缘性能的表)。地线接外壳。高压极接电离室绝缘子, 摇动手柄, (每秒一圈的速度)兆欧表指示应该到 ∞ , 两个绝缘子都如此检查一次。达不到要求就按以上(1)的方法处理。一直到绝缘电阻达到要求为止。只要电离室经此检查合格后, 接上前放, 仍有不稳, 就更换前放再试试, 或者用热吹风机吹各个元件, (注意不能太高温)赶潮气。只要是受潮影响, 经此步骤处理就必然变好。

(4) 陶瓷绝缘子一定要防止撞击、碰敲, 突然的冲击力会使陶瓷损坏。电离室内充有高

压气体，突然的撞击会引起安全事故产生，一定要注意。

(5)电离室在运输过程中，避免野蛮半年猛摔猛扔包装箱，以免损坏。

§6 电离室安装规范

1.电离室的灵敏度体积是电离室接收 Y 射线的主要区域，它安装时应与放射源辐照场对正位置。即放射源中心与电离室灵敏区中心对准，如图 8 所示。

2.是否对准应该在安装前测量好，按计算好的安装就位。

3.放射源的辐射场是否与电离室的安装相配。最好用剂量仪检定一下，辐射场分布是否对称。要保证最佳几何条件。

§7 电离室使用中常见现象的分析

1. 信号在下降:

(1)原来很稳的信号突然渐渐变小:

①是否有恒温器的前放控制线路出现故障，致使高阻不在恒温控制下，渐渐变化，而引起信号变化。

为此可验证：关闭前放电源，十多分钟后再开电源，发现信号从大渐渐变小，就是这种原因造成。这种情况下只好更换前放。

②观察一天昼夜的讯号变化，是否有讯号较大的情况；信号下降的速度是否有变化，是否时快时慢,若上述情况，则是与气温变化有关，前放的高阻受温度影响所致，高阻恒温坏了，需更换高阻。

③“A”型支架或电离室安装不紧，使支架受振动后，电离室位置偏移，造成讯号变小，而且渐渐变小，观察很明显。此时应检查支架和电离室安装是否牢固。

④电离室无外因情况，不可能一下就漏气。而且漏气的速度能看得出讯号的变化，这种漏气速度只有在很大时才才有可能出现此种现象，没有外界原因不可能出现此种情况。因此应该排除这种原因，慢漏气是须另外方法判断。

2.讯号不稳:

(1)开始就不稳（指变化量超过精度要求），检查前放高阴稳定性，恒温控制线路。高压的稳定性和纹波系数大小。

(2)前放本身是稳定的，接上去信号仍然不稳，可以换另一电离室观察讯号是否稳定。若是稳定，就是前放仍有问题。若是不稳定的，就是电离室有问题。电离室检查：①用 1000V 或 2500V 的高阻表（兆欧表，或叫摇表）检查两个绝缘子绝缘电阻,方法:摇表地线电离室外壳(夹在螺钉孔上或排气管上).另一高压线接电离室高压极，摇动摇表的手柄，速度为一圈/秒，摇表电阻值指针应指向 ∞ ，表示合格；同样检查收集极绝缘子绝缘电阻，方法同上，高压线接收集极。也要求达到 ∞ 值才算合格。

绝缘子绝缘电阻达不到要求，其原因不外受沾污或受潮。

清洗方法:

①用丙酮棉花仔细擦洗陶瓷绝缘子，然后用干净棉花球擦干净。

②再用热吹风机的热风吹干，保证陶瓷绝缘子是干净而且是干燥的。

经清洗处理后的陶瓷绝缘子，必须再次检查绝缘电阻。合格后才能再接前放检测。

只要前放是稳定的，电离室陶瓷绝缘子确定受沾污（如受焊油沾污，受灰尘或手沾污等）的，经此清洗处理后必定回复原来的稳定性能。

(3)绝缘子受潮，漏电流的检查，可以判定绝缘子的受潮情况。在南方潮湿天气的客观条件下，因密封不良而使受潮，这时则要设法找出密封不良的原因；再设法用热风吹干前置室的潮气，使绝缘电阻恢复才能密封好，再次使用。

密封前置室是采用 $\phi 135 \times 4$ 的橡皮“O”圈，8个螺钉压紧，这是保证能密封的，只要在密封前检查橡皮圈的弹性，完好性，橡皮槽的干净。密封时将橡皮圈放在槽中，盖子紧好，螺钉拧好。拧螺钉时，要注意，圆周的相对螺钉给盖子受力平衡压下，使橡皮圈均匀受力压紧，就能保证密封。另一密封圈是七芯插座的 $\phi 25 \times 3$ 橡皮圈，只要仔细的拧好螺钉，一定能保证密封好。

3. 电离室原来使用很正常，突然没讯号了：

①是否发生意外突发事件，使供电线路中断，某一条供电线路损坏。检查一下。

②是否发生电网电压不稳，时大时小。电压大时超过仪器允许范围，烧毁电流线路。检查电流的输入，输出电压值是否正常。

③检查前放输入电压值是否正常。

④检查电离室高压电压是否正常。

⑤检查电离室绝缘子绝缘电阻。当绝缘子受潮短路时，也无信号输入。

⑥电离室即使金属漏气了，它的信号也不是零，而是较小而已。因此判断无信号是与其它方面的问题联系在一起的。

4. 电离室使用中的检查

1. 安装前，用放射源对准电离室中心（灵敏区中心） $R=1$ （图9）时，记录下此时的讯号值（电压或脉冲数）。

2. 若干年后发现有小时，检查电离室的这个值，相比较（记住前放变了，此值也会不一样）。若发现确实下降很多，就知道电离室是漏气了。

若此值无很大变化（由于位置的不完全相同，测量可以是有一些变化）则说明电离室是完好的。

§8 其它用途的电离室

还有一些其它用途的电离室，它们的工作原理大体相同只是使用条件、环境、结构不同，主要的有：

①测厚仪（体积小、灵敏高）

②钢水液面计（高温条件使用）

③连续料统计（长、150~200）

④轻物质密度计（大入射窗）

⑤医用剂量测量电离室