

内封到



放射性同位素 在工业上的应用

苏联专家报告资料汇编之二

上海科学技术出版社

前 言

苏联和平利用原子能科学技术展览会，在上海展出期间，苏联专家组的全体同志，向来自全国二十六个省、市科学研究机关、高等学校、工厂、医院等的科技人员作了百余次的专题报告和座谈会。为了让这些报告更广泛地满足我国原子能科学工作者的需要起见，因此根据报告内容汇编成：1. 热核反应和反应堆；2. 放射性同位素在工业上的应用；3. 放射性同位素在农业和生物学上的应用；4. 放射性同位素在医学上的应用；5. 放射性同位素在地质勘探上的应用；6. 同位素的生产；7. 防护技术等七本专题。这些讲稿，有的是从原稿翻译，有的是根据记录稿整理，因时间匆促，水平有限，在内容上一定有不少错误，希望各地读者阅后提出宝贵意见。

苏联和平利用原子能科学技术展览会上海学习委员会

一九五九年三月

目 录

✓ 放射性辐射的记录.....	✓ 1
应用放射性同位素的经济意义.....	6
放射性同位素在冶金工业上的应用.....	9
关于“放射性同位素在冶金方面的应用”座谈会记录.....	15
放射性同位素在金属学和金属物理中的应用.....	24
关于“放射性同位素在金属学、金属物理上的应用”座谈会记录.....	38
应用放射性同位素研究机械零件和切削工具的磨损.....	45
利用放射性同位素自动控制工艺过程的方法.....	55
应用放射性同位素的替續式控制仪器.....	60
✓ 中子法和利用的可能性.....	✓ 67
利用放射性物质来测量封闭容器中的液体和颗粒体的高度.....	72
利用放射性同位素在各种材料上做标记的原理.....	78
✓ 提高放射性辐射测量精确度的方法.....	✓ 84

放射性輻射的記錄

凡尔霍夫斯基

一、电离室

人的感觉器官不能直接地感觉到放射性輻射。为发现和测量放射性輻射須应用專門的装置——所謂輻射探测器。电离室就是最简单、最广泛使用的探测器之一。

电离室的主要元件是两个电极和充满两电极間的气体。气体可以用空气。电极可以有各种的形式。一般采用的其中有：用平行平板电极的电离室，带有两个同軸圓筒状的电极或有圓筒和固定在其軸上的圓柱状的电极等等的电离室。可以用任何材料作为电极的材料。直流电压加到一般称为高压电极的电离室的一个电极上，該电压的数值通常为几百伏特。电离室的第二个电极通过电阻和电源相连接。在放射性輻射的作用下，在充满两电极空間的气体中就产生正負离子。正离子集結到处于負电位的电极上，而負离子集結到处于正电位的电极上。这样，在电离室电路中就产生电流，很明显，进入电离室的放射性輻射越多，离子流强度就越大。所以测量电流的强度，便可以計算出射到电离室中放射性輻射通量的强度。

离子流一般是很小的，其数值可以用下法估計。假如每秒射进电离室的放射性輻射粒子数为 n ，这些粒子在电离室中的路程等于 1 厘米，那很显然，离子流的强度将为：

$$i = k \cdot n \cdot l \cdot 1.6 \times 10^{-19} \text{ 安培,}$$

其中 K ——粒子在 1 厘米路程过程中所产生的正負离子对数，而 1.6×10^{-19} 庫倫等于一个离子的电荷。

假定，在 1 秒內有 1 个 β 粒子射进电离室，它在电离室中的路程等于 5 厘米。在空气中 β 粒子由于本身的能量关系經過 1 厘米路程所产生的离子对数为 50 到几百左右。为了确实起見，采用一个在 1 厘米路程中等于 200 对离子的平均数，那么电流 i 将等于：

$$i = 1.6 \times 10^{-16} \text{ 安培,}$$

即，假如在 1 秒內射进电离室为 1 个 β 粒子，电流就等于 1.6×10^{-16} 安培，假如射进电离室的为每 1 秒 1 个 α 粒子，那么电流将大約 100 倍以上，因为 α 粒子在 1 厘米路程中所产生的离子对数大約大 100 倍以上，但即使这种情况下离子流仍是很少的，测量这样小的离子流是一个很大的技术困难。所以电离室是用作测量足够强的放射性輻射通量用的。

一般不是直接去测量离子流，而是根据在和电离室串联的电阻上产生的电压降来测量。因为离子流是很小的，所以那种电阻用数值为 $10^2 \sim 10^{12}$ 欧姆的特殊电阻。借助于灵敏的电子放大器测量在这种电阻上的电压降。收集电极固定在高質量的絕緣体上，如琥珀。但即使采用了那样高質量的絕緣体，从高电压电极上漏到集电极上去的电流还是很显著，并影响测量結

果。为了避免这种现象,在电离室的结构中设有一个所谓保护环,该环按置在高压柱和收集电极的绝缘体中间并且和地线相接。在这种情况下高电压电极的漏电将通到保护环上,而不通过高电阻。

根据离子流的平均强度计算放射性辐射通量的电离室称为积分电离室。当电离粒子进入电离室时,根据每次在收集电极上所发生的电压脉冲,电离室也可以用来记录个别的放射性辐射粒子。这种电离室称为脉冲电离室。假如知道收集电极的电容量,就很容易找到电压脉冲的数值。如所周知,电容上的电压等于电荷除以电容量,在该情况下,电荷等于在1厘米路程中粒所产生的离子对数乘上路程长度。

根据上述 $l=5$ 厘米,射进电离室的为 β 粒子,即 $K=200$,收集电极的电容为 $C=10^{-11}$ 法,这样就可以得到脉冲为16微伏。

脉冲仍是非常小的,甚至用最灵敏的放大器也难记录。假使射进电离室的为 α 粒子,那脉冲的数值将大约大100倍,达到百分之几伏。这种脉冲可用较简单的仪器记录。因此脉冲电离室只是用于测量 α 辐射的。

辐射探测器的重要特性是记录的效率,该效率是用放射性辐射粒子或 γ 量子的记录数量与射进探测器的粒子或量子总数的比来表示。很明显,记录效率越大,测量放射性辐射通量就越精确。假使电离室的尺寸虽仅是几厘米,那么每一个射进电离室的 α 或 β 粒子都可以在电离室中产生 n 对离子,并造成了电离电流。因此,在利用电离室时,记录 α 和 β 辐射的效率等于100%。在测量 γ 辐射时,情况就不同了。

实际上, γ 辐射是没有电离本领的,只是从物质的原子中被 γ 量子打出的二次电子才能发生电离。这种过程的可能性是比较小的,而且受到 γ 辐射物质的密度越小,也就是这个物质单位体积内所包含的原子和电子越少,这种可能性也越小,因为充气电离室气体的密度比电离室壁的密度小很多倍。可以认为离子流完全是由 γ 射线在电离室壁中产生的二次电子所造成。为提高记录效率似乎可以把电离室壁做得厚些,以便能增加在电离室壁上产生的二次电子数。但是二次电子的穿透能力不大,并容易被电离室壁本身所吸收。所以在壁的深处所产生的电子被电离室壁的材料吸收,不能到达电离室内部。这样在二次电子还能穿过的厚度以上再增加厚度,就不能得到理想的效果而仅引起测辐射的附加吸收。在电离室厚度最好的情况下,测辐射的记录效率一般是1~2%。这就是电离室的主要缺点。为测量 γ 辐射通量要采用其他的探测器。

为测量放射性辐射通量,广泛地使用所谓电离室的微分系统(差别系统)。电离室微分系统是由具有一个公共收集电极的两个电离室组成。极性相反的电压送到二个高压压极上,假如放射性辐射通量射入这种电离室系统的每一个电离室中,那末在每一个电离室中就产生了离子流。因为加在高压电极上的电压极性相反,电离室的离子流的方向相反,因此,只有离子流的差数沿着高电阻流过。其中当两个电离室的电流相等时,那么就没有离子流沿电阻流过。假如现在我们把要测量的放射性辐射流只射入一个电离室,而另外一个电离室的电流可以独立的改变。那末,总可以调节这独立改变的电流数值使在电阻上的电压降等于零。这样,测量放射性辐射通量就是在于将微分电离室系统的一个电离室的电流数值调整到高电阻上的电压降等于零,这样就可以避免由于改变电离室中气体压力或者温度、高电阻数值和放大器放大系数改变所发生的一系列的错误,这些错误通常在使用一个电离室直接测量放射性辐射时是无

法避免的。

二、气体放电计数管

电离室只是用来记录 α 辐射的单个粒子,在记录时还应采用灵敏的放大器,因为脉冲值只有百分之几的伏特。但是,如果电离室电极上的电压升高,那末在气体中放射性辐射所产生的电子和离子本身也将具有足够使气体原子电离的能量,这样,由放射性辐射所产生的每个一次电子又产生一系列二次电子和离子,电离室中的电流自然也就增加。这一过程就称为气体的放大。如电离室内电极上的电压继续升高,那末在电极之间会产生气体放电。在这种电压下,即使在电极之间只有一对由放射性辐射所产生的离子,气体放电闪光现象同样会发生。

这种仪器叫做气体放电计数管或者用发明者的名字叫作盖革-缪勒计数管。计数管通常是一个金属圆筒。在这个圆筒的中心有一根细钨丝或钼丝,用绝缘体与圆筒隔开作为计数管阴极的圆筒接负电压。计数管的阳极丝接正电压。在丝的附近产生能够形成气体放电所必须的高电场强度。在封闭的计数管中充有低压的特种气体混合物。计数管通常是用玻璃做的。在这种情况下玻璃管内表面涂上一层很薄的金属或是石墨作为计数管的阴极。

气体放电计数管的电流比电离室的电流大几千倍。所以这时就不需要高电阻,同时计数管负载电阻之大小一般不超过一兆欧。在电阻上获得的电压脉冲可高达几十伏。这些脉冲用简单的电子放大器就可以记录。

计数特性是计数管的基本特性之一。当加到计数器上的辐射强度不变时,计数管产生的脉冲数和加到计数管的电压之间的关系就称为计数特性。当然,要在射到计数管的放射性辐射流不改变时来取得这特性。当电压升高到足够使气体放电时,计数管中产生脉冲。电压的增加只能使每个脉冲的强度增加。而脉冲数与加到计数管上的电压关系很少,因为在计数管中的所产生的每一对离子都发生放电。在特性曲线中几乎水平的一段就是计数管的工作区域(一般称为“坪”)。电压继续增加时,脉冲数就也很快增加,同时计数管开始连续放电。在特性曲线的“坪”的部分工作时,脉冲数几乎与电压无关系。那末计数管电源电压的稳定性要求不高。对各种类型的计数管所需的电压一般在 400 到 1000~1500 伏特。

使用气体放电计数管或使用电离室不仅可以记录个别的脉冲。还可以记录平均电流。在此情况下,计数管就好比是欧姆电阻。从能够产生自持放电的电压开始,平均电流值与单个脉冲的振幅一样,与电压成线性关系。这时电流与进入计数管的放射性辐射粒子数目成正比。用测量平均电流强度的方法来代替记录个别脉冲使测量线路大大地简单化。所以这种方法在实验中经常采用。

计数管的电流值可以用下面的方法来计算。加在计数管上的电压是电源电压 V 和与计数管串联的电阻 R 上的电压降之差。从这个电压中还应当计算出使计数管发生气体放电之电压值,这个值叫触发电压 V_0 。因为从这电压开始计数管才类似欧姆电阻的特性。如果现在把这种方法算出的电压数值除以计数管的内阻 Z ,那末我们可以求得通过计数管的电流:

$$i = \frac{V - iR - V_0}{Z}$$

单个脉冲的数目及平均电流与进入计数管的粒子数 n 成正比。因此,计数管的电

粒子数成反比。即： $Z = b \frac{1}{n}$ 。于是，我们可以得出下列电流的表示式：

$$i = \frac{n(U - U_a)}{b + Rn}$$

其中 b 表示与计数管的大小，充满在计数管中的气体的种类和压力有关的常数。

当电源电压超过 U_a 几十伏特， R 等于 10^6 ，射到计数管内的粒子数 n 等于每秒十个时，那末大多数类型的计数管电流约为十分之几微安。显然，这个数字要比电离室的电流大好几千倍。

计数管是一种简单而又很灵敏的用来测定单个粒子射程的放射性辐射探测器。但是，与电离室相反，计数管不能用来测定很强的辐射通量。这是因为在放电后，也就是在每次记录粒子后，计数管内留着正离子云。这种云使计数管的电场发生畸变，因此当所有正离子还没有集中到阴极上去以前，以后来的粒子不能引起放电。计数管对辐射失去敏感性的时间就叫“死”时间。它的大小等于几十分之一毫秒。所以计数管用在一秒钟测量一千个粒子数时，才不会造成实际的漏计数。这是气体放电计数管限制使用范围的主要缺点。产生在计数管中的脉冲值与管内放射性辐射粒子所造成的离子对数没有关系。所以靠计数管记录出来的单个粒子不能区别粒子的种类和它们的能量。对 γ 射线的记录效率低劣（约 0.5~1.5%）也是计数管的一个缺点。 γ 的记录效率低劣之原因和上面所说的电离室相同。记录进入管内的 α 和 β 粒子的效率和电离室相同，接近于 100%。

三、闪烁计数器

某些物质如硫化锌、蒽、碘化铯、碘化钡等在放射性辐射的作用下产生闪光——闪烁。这些物质叫萤光体或闪烁体。用萤光体中所产生的闪光来记录射线的方是历史上被物理学家用来研究原子核的结构和放射特性的首先采用的方法之一。由于它的帮助科学家们得到了一系列辉煌成就。闪烁是在暗室中用简单的光学设备进行测量。只有 α 粒子产生的闪光可以用肉眼记录。除此之外，这种记录方法本身是非常使人疲劳而且免不了要生产错误。所以，这种测量放射性辐射方法几乎已被电离室和气体放电计数管所代替。但是，当光电倍增管被苏联科学家 Л. А. Кузнецкий 发明后，放射性辐射闪烁记录法又重新被广泛地使用在放射性研究工作的领域中。

近代闪烁计数器是一种萤光体（一种在辐射作用下能发光的物质）和能够使微弱的闪光变成电流脉冲的光电倍增管 $\Phi\Theta Y$ 的组合。在不同的科技部门中用来测量弱光流的光电倍增管 $\Phi\Theta Y$ 型式很多。专门用来计数闪烁的光电倍增管一般是用玻璃做成的圆柱体。在圆柱体的一个末端装一个带有引出 $\Phi\Theta Y$ 光电倍增管电极的管座，在另一个末端的内表面带有光敏半透明薄层。这一薄层组成 $\Phi\Theta Y$ 的光阴极。在光的作用下光阴极放出电子。这些电子打到光电倍增管的第一个打拿极上。在打拿极上发生叫做二次电子发射的过程。这种发射过程就是：打到打拿极的每个电子会从打拿极上打出 2~3 或更多的二次电子。打拿极放出的电子数和射到打拿极上的电子数的比例叫做二次电子发射系数。打拿极是用二次发射系数较大的材料所制成的。从第一个打拿极发出的电子跑到第二个打拿极上，在那里又产生新的二次电子发射，

所发射出来的电子又到第三个打拿极上……在不同类型的 $\Phi\Theta\Upsilon$ 中打拿极总数是从 2~3 到 12~14 个之间。光电倍加管就相应地称为 2、3、12 或 14 级倍加管。脉冲电流在最后的阳极上测定最后一个打拿极的电子都到阳极上去。加到 $\Phi\Theta\Upsilon$ 打拿极和阳极上的电压是逐步增加的。 $\Phi\Theta\Upsilon$ 光阴极和阳极之间的电压是在一千到一千五百伏特之间。通常，这种电压平均地分加到每一个打拿极之间。

在多级光电倍加管中，即使个别打拿极的二次发射系数不大，但总的放大系数即：聚集到阳极的电子数和跑到第一个打拿极上的电子数的比例会得到非常大的数目。显然，光电倍加管的放大系数等于 σ^n 。是二次发射系数。而 n 是级数。以十四级的光电倍加管为例，当 σ 等于二点五时， $M \approx 10^6$ 。这样就可看出光电倍加管灵敏度是很高的。二次发射系数 σ 是与一次电子能量有关，也就是与打拿极之间的电压值有关，因为电子正是被这种电压加速的。在多级 $\Phi\Theta\Upsilon$ 中，二次发射过程是多次发生着，所以 $\Phi\Theta\Upsilon$ 的放大系数与电源电压值的关系是非常显著的。举个例子来说，电压只改变了 2%~3% 时，十四级 $\Phi\Theta\Upsilon$ 的放大系数差不多要改变二倍。所以当采用 $\Phi\Theta\Upsilon$ 来测量时必须严格地把电源电压值保持稳定。

对辐射敏感的萤光体通常装在特种容器中，最广泛采用的萤光体是单晶的碘化钠，碘化铯和用有机萤光物所制备的蒽和葱。装萤光体的容器的一端装有透明的玻璃盖。这一面贴或放在倍加管的光阴极上。在 $\Phi\Theta\Upsilon$ 打拿极上的电压可用单个电源供给，但经常用各相等的电阻组成的普通分压器来供给。在 $\Phi\Theta\Upsilon$ 阳极电路中接入电阻，当放射性辐射粒子打到萤光体中时就在电阻上产生电压脉冲。放射性辐射同样也可以根据流过 $\Phi\Theta\Upsilon$ 阳极电路的平均电流强度来测量，因为打到萤光体中的粒子越多，电流就越大。当然，所有的装置都放在不漏光的外罩中。外罩上靠萤光体的对面，开一个孔，此孔用不透光的薄箔遮蔽。但放射性辐射很易透过此箔。

不同类型的萤光体的闪烁持续时间从 10^{-8} 到 10^{-6} 秒。由于这单个闪烁持续时间很短，通过闪烁计数器可以测定弱的或强的放射性辐射通量。当根据 $\Phi\Theta\Upsilon$ 阳极电流的平均值来测定时，被测量的辐射通量强度一般受限制，因为甚至当单个闪烁相互重叠时，电流强度的增加还是与闪烁数成正比。

每一个打到萤光体中的 α 和 β 粒子在闪烁计数管中都能造成闪光，因此闪烁计数器的记录效率等 100%。对 γ 辐射的高计数效率是闪烁计数器的重要优点之一。事实上，电离室和气体放电计数管对 γ 辐射记录效率小是因为在室壁加厚时， γ 辐射所引起的二次电子会被厚壁吸收。而萤光体增厚时组成二次电子的可能性就将增加。

当然大部分电子在厚的萤光体中被吸收，而达不到 $\Phi\Theta\Upsilon$ 阴极。但是它们中的每一个电子在萤光体中都引起闪烁，因为萤光体完全能透过闪烁光，所以光电倍加管能记录所有这些闪光次数。带大萤光体的闪烁计数器 γ 辐射记录效率会达到 30~50%，也就是比电离室或气体放电计数管的记录效率大 80~100 倍。

单个闪烁的强度是与打到萤光体的粒子能量和这些粒子的性质有关。 $\Phi\Theta\Upsilon$ 电流脉冲振幅与萤光体所产生的光量成正比。所以用专门的仪器确定 $\Phi\Theta\Upsilon$ 电流脉冲振幅后，可以决定粒子的性质和能量。无论是物理研究也好与放射性同位素有关的实际工作也好，闪烁计数器这最后一个特性将特别扩大它的应用范围。

应用放射性同位素的經濟意义

彼·斯·薩維茨基

目前放射性同位素已經在各个科学和技术部門中获得了广泛的应用。借助于放射性同位素創立了一种嶄新的研究方法——“示踪”原子法。

科学家們在化学、冶金、医学、生物学和其它許多知識領域中利用“示踪”原子的方法进行着有价值的研究工作。

作为放射源的放射性同位素越来越广泛地被用来解决工艺上的問題。譬如在探伤法中采用鈷 Co^{60} ，銥 Ir^{192} 和其它放射源等；在檢查生产和生产自动化的工艺仪器中采用銫 Cs^{137} ，銣 Sr^{90} ，鉕 Pm^{147} 等放射性同位素；在輻射化学中采用强輻射源来实现聚合、橡胶硫化、有机物的合成、氧化过程和卤化等过程。强放射綫应用在下列一些过程中，如在医学中的消毒、产品的保存、蚕茧的加工处理等方面，它的优越效果是十分显著的。

同位素方法的重要特点在于利用这种方法进行科学研究时所得的結果具有很高的精确性，并且在实际工作中也有很大的經濟价值。

在这篇报告所述及的是应用同位素的一些經濟观点和国民經济各个部門中由于应用同位素后得到的好处。

一、高炉生产

苏联馬格尼托哥尔斯克和庫茲涅茨克冶金联合企业利用“示踪”原子对于高炉中气体和炉料运动所作的研究工作，使我們有可能来研究熔炼机构和制定改建高炉的建議书。因而使炉子生产率增加 10~20%。同时炉子的改建工程可以在定期的大修时进行。

用 Co^{60} 放射源来檢查炉砌和炉底的熔蝕情况可以消灭由于炉砌裂縫所發生的事故。最近五年来用鈷 Co^{60} 来檢查的炉子没有一个炉子出过一次事故。而以前一出事故只得使炉子停下来，造成生鉄不可回收的损失，并且为了修复炉子而耗費不少資金。消耗在修炉上的費用为五百万至二千五百万卢布，生鉄不可回收的損耗为全部冶炼生鉄的 0.01%。

二、炼鋼生产

黑色冶金科学研究所庫茲涅茨克冶金联合企业利用示踪原子方法对平炉的研究炼鋼过程，使我們能够制定更为完善的冶炼规范。按照这种新的规范縮短了冶炼時間 20~40 分钟。这样一来平炉的生产率提高了 5~10%，替国家每年节约几亿卢布。

三、軋鋼生产

在冷軋 30 公厘厚鋼材时，由于应用了依靠放射性同位素进行工作的所謂“測厚計”的仪器，正公差因而减少，这样便使軋鋼帶平均厚度减少 2.5%。因而被軋鋼帶的长度和用这种鋼帶制成的产品的长度也相应地提高了 2.5%。仅列宁格勒軋鋼工厂一年中就节约了七十万芦布。軋制速度同时也提高了 2~4 倍。

列宁格勒紅色的魏包尔日茨工厂由于采用了 ИТУ-495 型測厚計来測量 Л-62 合金鋼帶的厚度之后，使軋机生产率平均提高 7%，并使由于厚度不均的原因所造成的廢品率从 4.4% 降低至 1.4%。这样工厂为添置这些装置設備而增加支出十万芦布的情况下每年就能节约一千万芦布以上。

放射性仪器用来測量鉄皮涂錫层的厚度是一个典型的运用。

仅馬格尼托哥尔斯克冶金联合企业的一个車間由于减少了化学分析每年就节约了十五万四千芦布，同时又节约了几百公斤錫，价值几十万芦布。

四、石油和其它矿石的普查、勘探及开采

普查和勘探石油时可应用“示踪”原子法和放射性測井法来研究石油钻井，借无岩心钻井，查明地下水和石油流动的路綫，孔隙度的評价，測定水油接触面等，在 1957 年便节约了二亿芦布。

在普查、勘探和开采石油、煤、鉀、地下气体和其它矿物时所用的放射性測井方法和示踪原子方法在我們国内來說是广泛采用的一項基本的方法，这样每年为国民經济节约了几亿芦布。

五、 γ -探伤法

采用放射源 Co^{60} ， Ir^{192} 和其它放射物的 γ -探伤法的优越性是大家都知道的。

試驗計算的結果指出：采用一架 γ -探伤装置跟采用 x 光探伤装置比較起来在劳动消耗方面每年可减少 590 人/天。以所有开动的 γ -探伤器来計算，在节约电能方面，仅 1958 年一年中即达六千万芦布。

除了經济效果以外， γ -探伤法比 x 光探伤法还有很多其他的优点。

— γ -探伤器可以透視厚度为 300 公厘的金属毛胚；可以測定已制成的构件中的損伤，而不必将成品截切开来；也可以檢驗主导管中焊接的质量和檢查各种結構的焊接情况（例如船体和其它重型結構）。

在化粧品工业中（例如里加的“捷恩塔尔斯”工厂）由于采用了放射計数器，水位指示器，溫度調节器和其它自动化和檢查装置之后，每年便节省了五十万芦布。

仅以“勃拉士馬”皮革提取联合企业（里加）一个单位來說，由于蒸发装置中进行密度檢查和作了扩散液計密度的液面檢查，每年便节约了一百万芦布。

烏茲別克苏維埃社会主义共和国在采用、放射綫杀死蚕茧以代替蒸汽处理蚕茧方面完成

了在国民經济方面极有意义和十分重要的工作。这就为共和国节约了几百万芦布，并显著地改善了蚕絲的质量。在那里，为了保存棉籽而对其进行消毒方面也正在作重要的工作。

苏联和其它国家所完成的有关产品辐射处理(馬鈴薯，肉类，谷物等)和对藥品和裹伤物品进行放射性巴氏消毒保貯法处理和消毒的工作在国民經济上均具有重大的意义，在工业范围内推行这种方法可以保存几百万吨产品，并可以保存小型定量分装形式的医药品。

所举的这些例子显然还不是全面的，我們还可以举出研究机器另件磨損的問題，拟訂切削规范，以及在辐射化学和其它部門中的有数的利用同位素的例子。但是就这些例子已令人信服地指出：在国民經济和科学研究中应用同位素将为国家經济带来很大的好处。

在研究工作中应用同位素的方法，这是科学中的一大进步。在实际工作中同位素和放射物是使生产过程机械化和自动化的新工具，是嶄新的合理的工艺过程，这在今天來說已具有几百万的經济价值，而在最近几年内将具有几十亿的經济价值。

放射性同位素在冶金工业上的应用

費多洛夫

在科学和技术上，生产和应用人工放射性同位素是苏联原子技术的一个方面。目前的苏联原子工业正在生产大量的种类繁多的放射性同位素，其大部分是在核子反应堆中核子发生变化时所产生的副产物。这样在苏联国民经济的各部门中，把同位素广泛地用于研究各种工艺过程、檢驗鑄件质量、勘探有益的矿床以及其他的目的，由于放射性同位素在工业上的应用，使国民经济仅仅在 1957 年之中就节约 15 亿卢布。

人工放射性同位素对冶金具有很重大的意义，它們可用来研究和控制高炉情况。这样就使很多问题得到解决，甚至在某些情况下，用其他方法无法解决的问题也可解决。

高炉冶炼时，檢驗其耐火炉衬的熔蚀速度的方法已远远不能满足当前提出的要求。要檢查高炉炉壁的砌造情况，就必须需要很长时间的停歇，而炉料面也随之下落，而这时在炉膛部分还要打洞。高炉炉底损坏的深度只有在連續操作時間结束后，即在大修理时，才能测量。过去在炉基内用热电偶装置測量温度法，只能够提供炉衬状况的定性特征。

只有用放射性指示計，結合热电偶插入炉基的方法，才能对炉底情况进行連續檢查，同时也能預告可能导致漏鉄的事故，炉基的损坏和高炉事故的停頓。

图 1 表示炉底部分同位素裝置的示意图，图上沿着炉底中心至各层炉衬間放着五个放射性源，所使用的同位素是磷-32、鈣-45 和鈷-60，根据鑄鉄样品的放射性，可以确定按放射性源的一定的炉衬层损坏情况。

根据炉底损坏的实验，表明相同结构的炉底，其损坏速度相差不大，第一周期炉底最大程度损坏情况以下列方程式表示之。

$$\tau = Ae^{kh}$$

式中 τ 代表使用時間， h 代表损坏深度， A 和 K 是与炉底结构有关的系数。图 2 表示同位素在炉膛内裝置的示意图，在这种場合，与炉底平行的三条水平綫上的不同距离内，各放着三个鈷-60 的放射源，其强度为 100 毫居里，6.2 毫居里，0.62 毫居里。为了測量放射性强度，在高炉外部还有与計数管相連接的綫路。在測量放射性源总强度的同时，对每炉鑄鉄样品

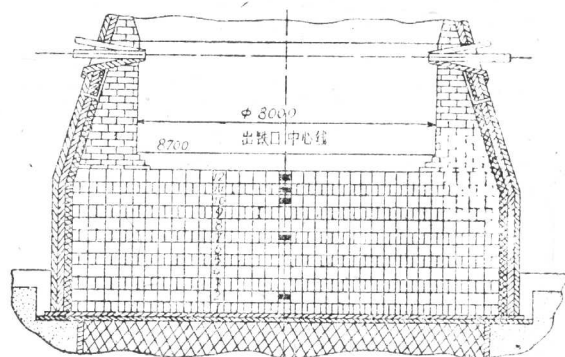


图 1

的放射性强度也要测量，鑄鉄中的放射性是从装置源处掉下来的，放射性源的出现和放射源总强度的减小是放射源的特征。可見炉衬已經损坏到該放射源装置处，这样便可在任何時間內知道炉衬损坏的一般情况，图3是表示高炉在使用三年多后其炉膛炉衬的情况。这对研究高炉內燃料的运动，和設計結構最好的高炉是很重要的。不久以前这方面研究还只是用間接的方法进行的。这个間接方法是，利用鋼索吊着重物运动的原理。我們可以紧接着两次的加料時間，确定出炉膛上部的炉料运动速度。重物下降在炉料不同部分間存在不同的距离。但是用这方法仅只能获得定性上的数据。而要定量上用这方法来确定炉膛各部的炉料运动的不平衡性，以及炉料各組成部分的运动情况是不可能的。由于炉料

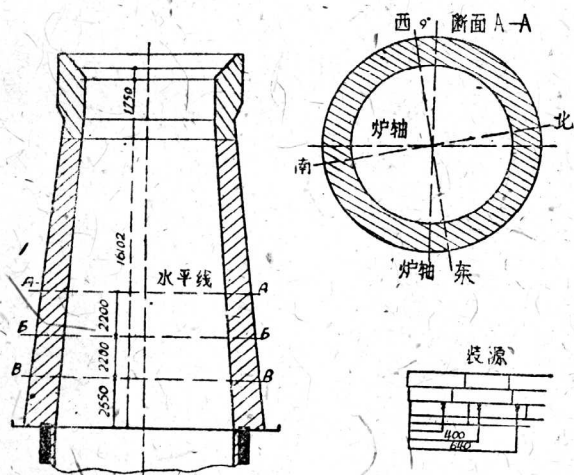


图 2

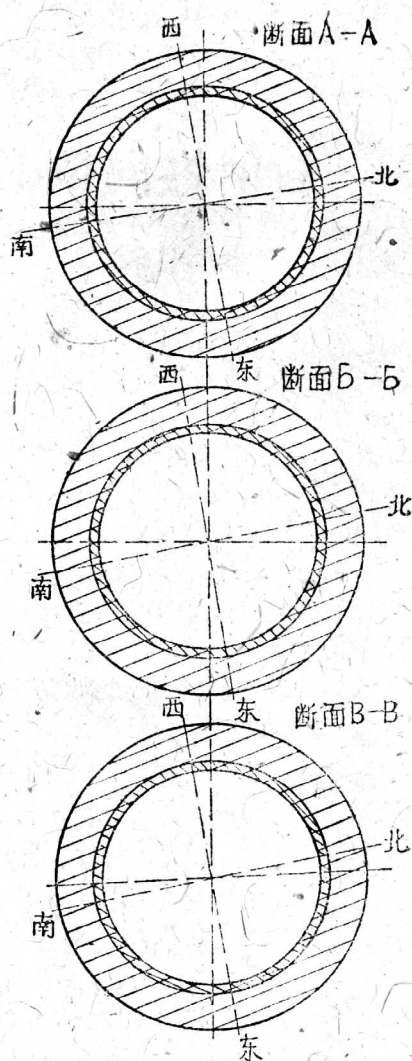


图 3

中装入了放射性同位素，使人們用新的方法有把握地檢查高炉炉料运动情况。方法原理用人工放射性同位素来“标记”某一块炉料，用輻射探测器或用测量熔炼产物放射性的方法，可以了解到炉料的运动情况，标记炉料可以用以下方法来获得，一般情况下可在炉料上鉗孔，把一定量数的（10~20 毫居里）放射性同位素射入孔內，然后用炉料做成栓子把孔塞住填好，获得标记炉料最好方法，是在核子反应堆中使炉料活化，用这种方法可以得到同样的机械性能和同样成分的放射性炉料，这比在实验室内用其他方法制造更好。

目前正在用二种特殊的方法研究炉料的运动情况，其主要原理应用同位素，前者主要是确定炉料停留炉內的总時間，从炉料进高炉起，到它进入炉膛的时间，以及鑄鉄中溶解的时间。在这种情况下，通常是在出鉄前的一定時間将炉料加入炉頂部分，这方法不需專門的装置，可是它无法确定炉料在炉膛內各部的运动速度。

后者需用专门的高炉装置如研究台，水冷却管，把带有计数管的冷却管放进高炉的卷扬机，以及运距测量的操纵线。图4是实验图，在第一条水平线上，离炉心一定距离内，放有放射性同位素。在第一、二、三、四、五和第六条水平线上放有放射性探索器，探索器是由三个同轴管子所构成的系统，在管中有水在内部流通，这样就使里面的管子经常保持 40°C 以下，里面的管子从伸到高炉内的一端起即被包裹起来，并加以密封。以防止有水分侵入，在管内放有辐射计数管，用换向装置可以把安装在任何一条水平线上的计数管接到计数器上。

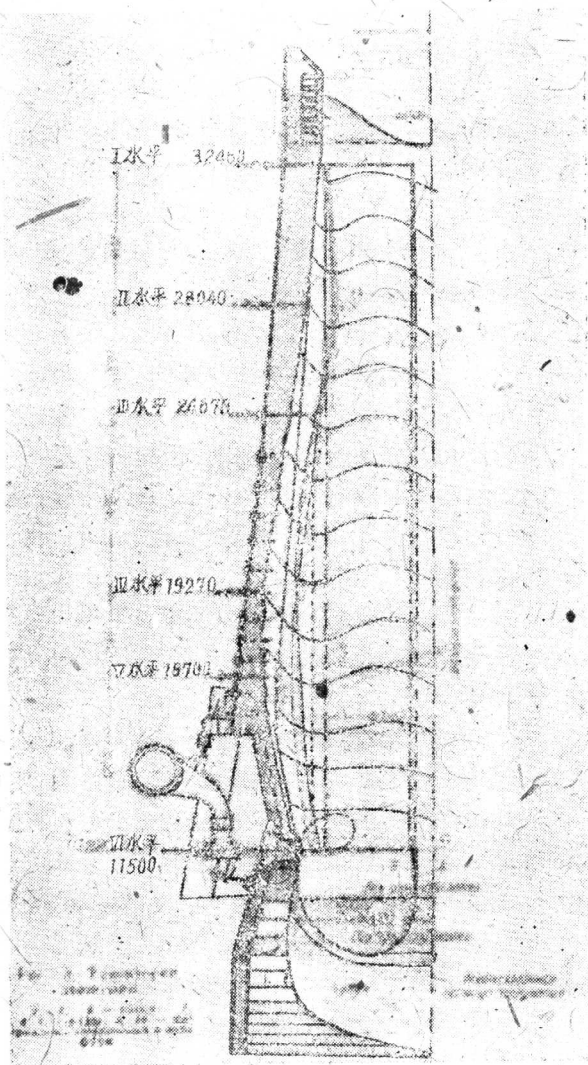


图4

标记块料由上水平线向下运动时。其放射性不断地被下水平线计数管记录下来，根据辐射强度最大值的时间（即与通过两相邻水平线相当的辐射强度最大值间的时间）。或者根据每条水平线上的辐射强度的增长，可以确定炉料在高炉各部的运动速度。图5是表示高炉炉膛中各部（左边最大值）炉膛下部（中间的最大值）辐射强度的变化。

根据某一炉子的实验证明，高炉内近

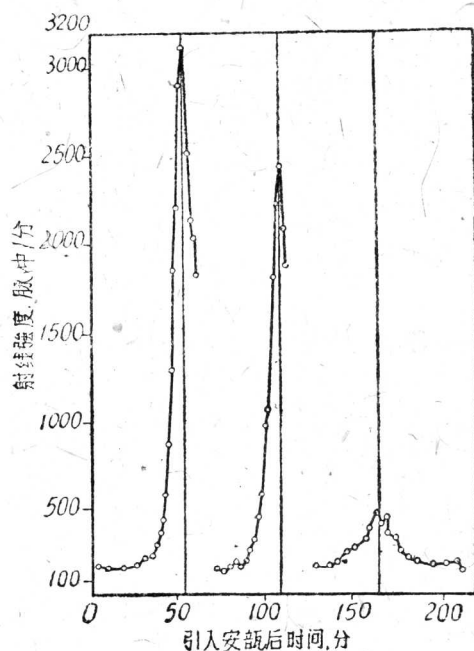


图5

炉心的炉料运动速度比炉料在炉心外圈的运动速度为快，可以断定在炉腹部分有一层运动缓慢。由于这层材料的出现，高炉的生产率就会降低，而在另一座没有炉腹的高炉中可以看到炉心区的炉料下降速度比炉料在炉心外圈的下降速度慢得多，这样在前一种情况下改善炉腹部分的形状能提高高炉的生产率。

計數管所記下的輻射強度是與計數管和放射源之間的爐料層厚度和它們的密度有關的。如果估計一下同位素被吸收的情況就可確定爐心區和爐心外圍的爐料運動的軌迹。實驗證明，在第三條水平綫上（圖4）可以看到爐料運動的軌迹偏向爐心（達0.7米）。再往下，軌迹偏向爐心外圍（並且焦碳的位移為2.5米，矿石的位移為1.5米）。

隨著爐料的下降，使帶有同位素的容器掉在鐵水中，開始熔化。鑄鐵的放射性比強度不僅應該無害於人們，而且應可使其材料用於任何地方。帶有放射性同位素制成的金属材料能使底片產生作用，如果根據使用條件，金屬放在底片附近（例如用同位素的金屬作為貯藏膠卷的建築結構）應不能大大縮短底片的有效期。如果金屬的厚度為1厘米，在每噸中含有0.3毫居里的鈷-60或鐵-59，那麼底片的有效期要減少一倍。計算同位素安全數量時可以估計到放射性分布在第3到第4爐的鐵水中。此外當鑄鐵在平爐中再熔融時，同位素可能減少10~15倍。

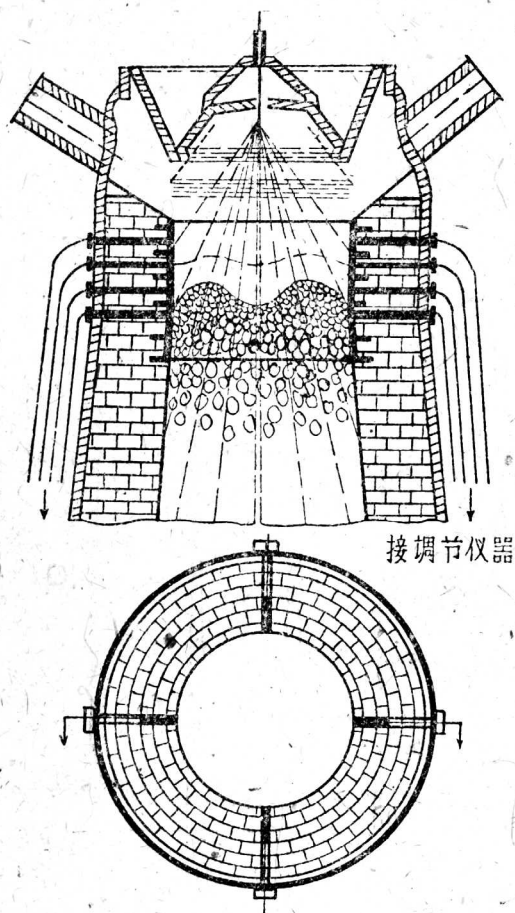


圖 6

目前正採用新的方法檢查高爐的爐料面。這方法的原理是用爐料吸收放射性的射綫，而把放射源（是用強度為200毫居里的放射性鈷）放在爐蓋上（圖6），在耐火爐襯中放有若干輻射探測器（鹵素計數管）。電纜從探測器接到儀器測量室內的記錄儀上（記錄儀有專門的座架）。探測器按裝在四條水平綫上，每條水平綫各裝四個，當爐料面下降得比任何一個探測器按放處的水平綫低時，探測器的程度有顯著的增長，而在座架上相應的信號燈開始發亮。這種方法不僅易確定爐料面的位置，而且又能確定他與水平位置的傾斜情況。

輻射測量法同樣也用於自動記錄裝到爐內焦碳的密度。輻射測量法的原理是測量被裝料器上的焦碳所吸收的放射綫。射綫在通過焦碳後，其輻射強度被能自動記錄的儀器記錄下來，在焦碳密度發生變化時，連續檢查焦碳的密度對及時改變高爐的工作制度是不可缺少的，這樣就有助於提高高爐生產率和減少焦碳消耗數量，該方法之所以有利，是因為它能使加料過程自動化。

放射性同位素廣泛地用於研究煉鋼過程。

程。

眾所周知，在用含硫酸鹽的重油加熱平爐時，來自燃料中的硫分會沾污鋼水。

要解決來自燃料中的硫對鋼水沾污的程度是這樣的，就必須根據這元素在冶煉過程中的情況，制訂很完善的材料平衡表。而要得到非常精確的平衡表在實際工作中是非常困難的。

用放射性指示剂的方法能很简便和很可靠地解决这一问题。为此，在燃料中放入少量的放射性硫，例如把含硫溶液放入苯中，然后根据冶炼情况，取出钢水和炉渣的样品，由于在这些样品中具有了放射性，因而很快地就能发现燃料中硫转到金属中去的情况。

在研究钢水中非金属夹杂物的来源时，可以将放射性同位素（例如氧化钙）很均匀地分放在正在制造的耐火材料中（在一吨干耐火材料中放 150 毫居里左右）。

盛钢桶以及其他与液态金属直接接触的装置都是由“标记”耐火材料作衬砌的，分析从钢水中析出的非金属夹杂物的放射性，可以在定量上确定下铸用耐火材料以及炉衬材料对钢水沾污的作用，用同样的方法也可标记炉渣。

在这以前，平炉中的物质传递仅是用间接方法研究，为了研究液态钢的混合过程，在很多工厂中用放射性同位素作为标示剂，这些同位素在熔炼时仍完全保持在金属相中，同位素放在平炉底部，根据对金属样品（金属样品取自各出钢口的熔池表面）放射性的测量，能够确定运动速度。

介绍研究某一平炉的熔化速度曲线（图 7），他们表示放射性钴在 390 吨平炉内的分布情况（图上 1, 2, 3, 4, 5 是表示装料口号）。由于这些研究成果用在实际工作上，因此就能缩短冶炼某些品号钢的时间，约 15~20 分钟。应用这一研究成果的经济效应，单从用现在设备的库茨涅斯基冶金联合工厂看，炼钢产量就增加了 7.5 万吨，节约资金有一百万卢布。

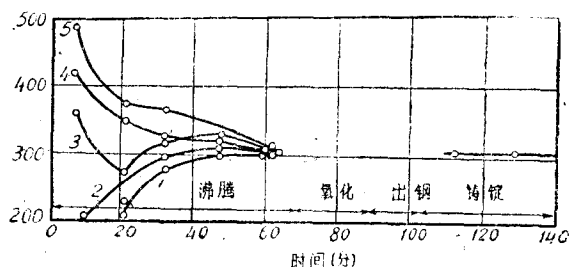


图 7

炼铬合金钢时用放射性同位素能确定铬铁合金在熔池内分布均匀时所必须的时间，在较长的时间里，铬在熔池各部分（浓度是不同的）的分布情况是不均匀的。只有当钢水由炉中倾入盛钢桶时，铬的分布才能均匀。

为了减少半截锭的废品，试用放射性同位素来确定盛钢桶内钢液量是极为有利的，在这里就采用了溶解同位素的方法。把一定量的易溶解但不易氧化的元素（例：钴）同位素放入液态钢内（其重量为已知），在同位素和金属混合后，即取一标准样品，确定其放射性，然后又把同样量的同位素放入重量欲确定的金属中去。显然，如果这一金属的重量比第一次为重，那么标准样品的同位素原子数应该减少，与此相当表面样品的放射性减少几倍，则金属的重量增加几倍。由于钴的半衰期较长射线又硬，因此最好用半衰期较短的同位素来代之。（例：钪）

同位素稀释（减弱）的方法，是用来确定废钢熔化的速度以及炉渣在平炉内形成过程的速度。在前一种情况下，把放射性钴放入到欲灌注于平炉的铁水内，从铁水中取出样品先测量出放射性程度，由于废钢的熔化，因此取自平炉中金属样品，其放射性强度就会减小此法即成为衡量液态金属重量的手段。为了研究堵塞在炉底的由散粒炉料所形成的炉渣速度，通常用放射性钙以氧化钙状态。加入炉渣中，熔化后炉渣浮起，因此在熔化时取出炉渣样品，根据样品放射性的减弱，可确定出炉渣重量的增长。所以这种方法可以研究废钢及炉渣熔化过程，与其他因素有关的动力学问题。

研究结果表明，炉料熔化速度是与装料顺序有关的。

此外，研究机械和钢锭中心部分凝固速度是具有很大的实用意义的，因为它便于查明钢锭

各种毛病的起源,并保证去除它们。

如果在鋼錠結晶时,经过一定的間隔,放射性指示剂 Fe^{59} 就进入金属,这时在凝固的鋼錠中就能发现各种强度的放射性区。在这些放射性的区域既可用射綫照相法进行查明,也可用从鋼剖面取来的鉄屑的放射性强度的方法来查明。这样就便于从数量上来确定 6.2 吨鋼錠結晶的速度。同时也可在任何時間內确定結晶双相区(晶体和液态金属)的分布情况和寬度。

大量的研究工作是化在研究磷和硫在各种成分的鉄和炉渣間的分布情况。为此,采用两种不同的方法。前者是在于把元素的分布情况事先已研究了放射性同位素放入熔化的鉄水中,在温度不变的情况下,将一定成分的炉渣放在液态金属的表面,然后用测量金属和炉渣样品放射性的方法,求它們分布的系数。第二种方法的特点是在于預先将放射性同位素放到各种成分的炉渣中去。在保护气中冶炼,将有一定量放射性同位素的炉渣加在液态金属中去。測定在每次加入放射性炉渣后所取出金属样品的放射性,能够更正确地确定在一定成分的炉渣下面元素在金属中濃度,有系統地研究成分极其不同的炉渣,能够找到許多数值,这些数值是說明磷和硫在鉄和炉渣之間的分布情况。

在有色金属中也采用标记原子的方法。选矿时放射性同位素对研究浮油选矿过程有极大的价值,利用放射性指示剂对矿石可进行浮选剂吸附作用和其他有关因素如煤質的酸性,試剂的濃度、温度、矿石之大小等进行研究。在这方面有价值的消息証明在进行这项研究时可使用自照射的方法。在它的帮助下就能成功地研究出分散在矿物顆粒表層上浮油矿的性质。在研究除去鉛矿中含量极微的鉍的过程中不仅有鈣和鎂,同时还有金属銻。应用了放射性証明了以前在鉛里面的矿物銻由于去鉍过程的结果完全不能提炼出来。应用放射性銻作为同位素稀釋法可以确定熔槽里鉛的数量和出口处的流量,而其他方法只能确定一段時間內鉛的平均之数量。应用放射性銻可用真空研究从銻中精餾純銻,在电解粗銅时用放射性方法可用来作为防止不完全沉淀的金銀变成殘渣的措施。目前在冶金工业我們所談到的利用放射性同位素的方法还不多:可以断定放射性指示剂的方法对研究工作和实际生产都是一种新穎和先进的工具。这种方法将获得广泛的发展并将为在其他部門生产所采用。

最后我們简单地談談在应用放射性同位素过程中应注意安全問題和防护设备。

这些問題是对人体器管有害的射綫有关的,必須引起注意,特别是在工厂生产过程中。

在工作前必須制定安全規則,事先应征求研究放射学方面的物理家和医生的意見。

在应用放射性同位素工作前,每个組織都应保证有專門的放射性测量实验室的设备。这实验室必須根据一定严格的要求建造。此外还应事先建筑用来收藏放射性实验标本的房間和埋藏放射性廢物的地方,系統性地进行剂量,测量在进行放射性同位素的工作中有很大的意义。