

放射性激发光源—— ^3H 和 ^{85}Kr 原子灯的研制

孔祥海 包海秋 庄道玲 赵肇懿 吴国栋

(中国科学院上海原子核研究所)

一、基本原理

原子灯是借助于发光粉把放射性物质射线的能量转换成光能的装置。放射性物质发出的射线打到发光粉上使发光粉激发，在退激的过程中，激发能转换成光能。由于这种光源不需要外界提供能量而自行发光，故亦称“自发光光源”、“冷光光源”等。这种光源结构简单，携带方便，安全可靠，不受外界影响而自行发光，在矿井、隧道、机场、地下铁道、海洋和军事上都得到应用。

原子灯是具有透光窗的密封容器，按其结构可以分为透射式和反射式两大类^[1,2]。透射式原子灯的灯壳用透明材料做成，内表面涂有适当厚度的发光粉，光通过灯壳透射出。由于发光粉的厚度对灯的亮度影响较大，厚度较难控制，加上发光粉本身对光的吸收，输出的光通量往往较低，故一般不被采用。反射式原子灯内涂有足够厚的发光粉，光从透光窗透射出来。这类原子灯输出的光通量较大，故一般都采用这种结构。我们所研制的原子灯属于这种类型。

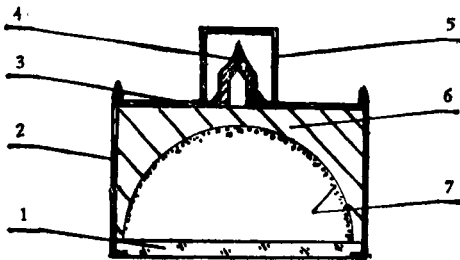


图1 原子灯结构示意图

1. 窗玻璃； 2. 灯壳； 3. 后盖； 4. 灯尾；
5. 保护帽； 6. 灯芯； 7. 发光粉

型。图1是我们研制的金属外壳原子灯的典型结构。当然也可以根据不同需要，用不同材料制造出不同形状的灯来^[1-7]。本文主要叙述金属外壳反射式原子灯的研制情况。

二、材料选择

原子灯对材料有其特定的要求，故必须精心地选择。

1. 放射性核素的选择

所有放射性核素发出的射线都能使发光粉发光，但并不是所有的放射性核素均能做原子灯的能源^[2,3,5]，适合做原子灯的核素必须具备下列条件：(1)没有高能 γ 射线、 α 射线和不希望的裂变产物；(2)毒性低；(3)有足够长的半衰期；(4)价格低而且有足够的供应量。

可供原子灯选用的核素列于表1。

从表1可以看出， ^3H 和 ^{85}Kr 都有较长的半衰期，毒性均低； ^3H 是纯 β 发射体， ^{85}Kr 虽有 γ 射线，但 γ 射线的数量仅为 ^{85}Kr 核衰变数的0.43%，稍加屏蔽就不会对人体造成明显的放射性损伤；两者价格均低且有充足的供应量，是做原子灯较适合的核素。本工作所用核素正是

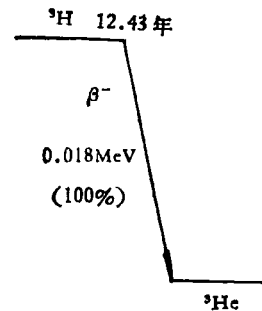
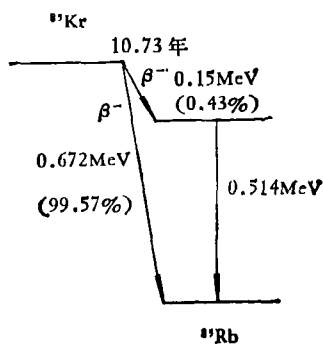


图2 ^3H 衰变网图

表 1

核 素	半衰期(年)	β 最大能量 (MeV)	γ 射线能量 (MeV)	毒 性	备 注
^3H	12.43	0.018	无	低	β 能量偏低
^{85}Kr	10.73	0.672(99.57%) 0.15 (0.43%)	0.514 (0.43%)	低	惰性气体,有裂变产物,易得
^{147}Pm	2.62	0.225	0.121(4×10^{-6})	中	有裂变产物,半衰期偏短
^{90}Sr	28.1	0.546	无	高	有裂变产物,易在骨中积累
^{204}Tl	3.78	0.763	无	中	半衰期偏短

图 3 ^{85}Kr 衰变网图

^3H 和 ^{85}Kr 。 ^3H 和 ^{85}Kr 的衰变网图分别示于图 2 和图 3。

2. 发光粉的选择

目前国内外供应的发光粉品种繁多,原子灯所用的发光粉应当具备两个条件:(1)发光效率高;(2)不易因产生辐射损伤而降低发光效率。

实验证明^[1,2], $\text{ZnS}(\text{Cu})$ 是符合这两项要求的,且它的发射光谱与人眼的灵敏曲线相近,因此我们选用 $\text{ZnS}(\text{Cu})$ 。

3. 发光粉粘合剂的选择

发光粉粘合剂直接与放射性核素接触,因此除要求有一定的粘结实度外,还必须经得起长期辐照。我们采用了 40° 玻美 (Baumé) 的中性水玻璃 (泡化碱) 作粘合剂,经 ^{60}Co γ 射线长期辐照,不变质,不变色,粘度符合要求,且使用简便。

4. 灯壳和后盖材料的选择

可做灯壳的材料很多,玻璃就是其中的一种。本工作中的灯壳和窗玻璃采用高频焊接工艺焊接,要求两者必须有接近的线膨胀系数和物理

良好的润湿性。灯壳和后盖采用 0.4mm 厚的高铬钢,其线性膨胀系数 $\alpha = 9.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

5. 窗玻璃的选择

一般的光学玻璃在射线的照射下会逐渐变色,影响光的输出。原子灯的窗玻璃应当选用耐辐照的光学玻璃。考虑到与灯壳材料匹配,我们选用了 $\text{B}_{\text{K}-1}$ 玻璃,其透光率为 $92 \pm 2\%$,经 10^{14}R 辐照后,其透光率下降不到 3%,且线性膨胀系数 $\alpha = 9.53 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$,与灯壳材料高铬钢的线膨胀系数接近。经高频焊接,两者有良好的润湿性,因而有较好的焊接质量。

6. 发光粉衬托物——灯芯材料的选择

高速运动的带电粒子(特别是电子),在物质中原子核电荷的作用下会产生韧致辐射损失,损失量随物质的原子序数增大而迅速增加。灯芯材料应选用原子序数低的物质,综合价格、货源诸因素,我们选用工业纯铝做灯芯材料,这样既减少了韧致辐射损失,又使原子灯的重量减轻。

7. 灯尾材料的选择

在本工作中,原子灯采用金属外壳,充好放射性气体后,需用冷夹的方法把原子灯从真空系统上取下。灯尾材料选用无氧铜管时,冷切部位气密性良好。

三、性能指标

一个合乎理想的原子灯,必定能输出足够大的光通量,而且牢固耐用,对人体不产生明显的放射性损伤。影响原子灯亮度的主要因素是发光粉的用量、发光粉粘合剂的用量和放射性

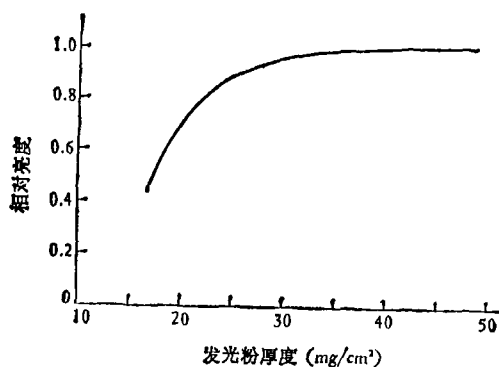


图4 发光粉厚度与亮度的关系

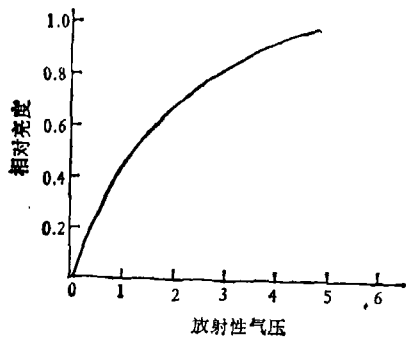


图5 ^3H 压力与亮度的关系

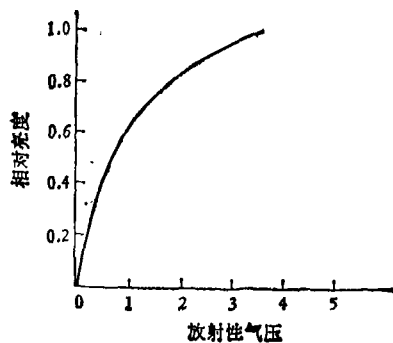


图6 ^{85}Kr 压力与亮度的关系

物质的用量。对于反射式原子灯，灯的亮度随发光粉用量变化而变化的情况示于图4。由图可见，每平方厘米有30—35mg发光粉是适宜的。用量过多，亮度增加甚微，不但造成发光粉浪费，而且发光粉容易脱落。发光粉粘合剂的用量一般为发光粉用量的1—2%（干量），过少时，发光粉容易脱落；过多时，因其本身吸收能量增加而使灯的亮度下降。

灯的亮度随放射性用量的增加而增加， ^3H

灯和 ^{85}Kr 灯亮度随充入的放射性气压(atm)变化而变化的情况分别示于图5和图6。由图可以看出，随着放射性气压的增大，灯的亮度先是迅速增大，后渐渐缓慢地增大而趋向饱和。考虑到安全、加工诸因素，在一般情况下，充入一个大气压左右的放射性气体是适当的。若确有必要充入较高的放射性气压，应当考虑原子灯的结构，特别是窗玻璃的耐压问题。在这种情况下，窗玻璃的厚度应根据下式计算：

$$d = \frac{D}{2} (P/\sigma)^{1/2},$$

其中 D 为窗玻璃的口径(cm)， d 为窗玻璃的厚度(cm)， σ 为玻璃的抗弯应力， P 为窗玻璃承受的压强(kg/cm^2)。为安全起见，实际使用的窗玻璃的厚度应比计算值大3—4倍。

原子灯的防护应视所使用的核素和放射性的用量而定。使用 ^3H 的原子灯，灯壳足以吸收掉 ^3H 发出的 β 射线，无需另加防护层；用 ^{85}Kr 的原子灯，应加适当的防护层，防护层的厚度按防护规程计算。

本工作所研制的 $\phi 30$ 反射式 ^3H 原子灯的亮度为2nit， $\phi 25$ 反射式 ^{85}Kr 原子灯的亮度为11nit。

对 ^3H 原子灯跟踪观察100天，对 ^{85}Kr 原子灯跟踪观察450天，结果表明，在误差范围内，原子灯的亮度按所使用的放射性核素的衰变规律变化。

我们也对原子灯进行了耐温实验，在 -80 — $+60^\circ\text{C}$ 环境中，原子灯的性能无变化。

参加本工作的还有王廷方、林元铨、胡瑞堂、兰云霞和夏锡清等同志。

参 考 文 献

- [1] 秦卓也等，三菱电机，35-10(1961)，21。
- [2] 秦卓也等，第四回日本アイソープ会議報文集，日本原子力産業会議等，(1962)，599。
- [3] John Duncan Horsfall Hughes, Light Source, USP, (1962), 3,026, 436。
- [4] Thed F. Linhart et al., Radiation Excited Light Source, USP, (1971), 3,566, 125。
- [5] John F. Dewan, Self-Luminous Light Sources, USP, (1960), 2, 953, 684。

(下转第388页)