

钚的新天地

原文作者：

贾恩·哈特曼（Jan Hartmann），德国亚琛工业大学化学系研究生。



由于历史原因，钚元素总是让人联想到核武器。哈特曼讲述了第94号元素同样值得关注的另一面，包括它飞向同名天体的故事。

钚对20世纪产生了无可争议的影响。先是1945年8月，在日本长崎爆炸的原子弹对结束第二次世界大战起到了至关重要的作用，后来它又是冷战时期核军备竞赛的关键。

1934年，费米将钡、氦和其他物质的混合物误判为第94号元素。在此之后，到了1940年，西博格及其同事首次制备和分离出了**钚**。当时**钚**是由使用氘核轰击铀靶而获得的，但这一成就一直被保密到第二次世界大战结束。

“Plutonium”这个名字源自罗马神话里的冥王的名字“Pluto”。这一名称在1816年时就被提出用于命名钡，但提议未被采纳。西博格用它命名了第94号元素，延续了周期表中在它之前的锕系元素——镎和铀——以太阳系最外层行星命名的传统^[1]。

严格来说的话，**钚**是天然存在的，1951年D.F. 佩帕德（D. F. Peppard）从铀矿中分离出极少量的**钚**-239。但它仅占地球岩石层质量的 $2 \times 10^{-19}\%$ ，因此地球上几乎所有的**钚**都是在核反应堆中人工生产的。

哈恩于1938年发现了铀的核裂变，引发了人们对纳粹德国可能致力于开发核武器的担忧。这促使了第二次世界大战期间旨在开发核武器的“曼哈顿计划”的设立。其间，**钚**被确定为合适的裂变材料。在被发现不到4年后，**钚**这一新元素就迎来了千克级量产。德国于1945年5月投降，因此，欧洲战场的战争在核武器的实战准备完成之前就结束了。于是核武器转而被用来对付日本，并极大地加速了太平洋地区战争的结束过程。尽管战争结束，**钚**的大规模生产又因美苏核军备竞赛而得以继续。如今，这批核武储备中的大多数推动了对**钚**金属老化过程的必需研究。自发辐射会导致**钚**的物理性质逐渐发生改变，但人们仍不太了解这一转化过程的具体细节。

当然，**钚**不是只具有破坏力，它还展现出惊人的物理特性和迷人的化学特性。所有已知的**钚**同位素都是放射性的，其中最稳定的同位素（**钚**-244）的半衰期约为8000万年。其他一些同位素，特别是**钚**-239，能够自我维持核链式反应，释放出巨大的能量。它有六种同素异形体，以至于它被戏称为“物理学家的梦想，工程师的梦魇”^[2]。其能量相近的不同晶相之间极易相互转换，微小的刺激就能导致前后物性大相径庭。它的“delta”型同素异形体是唯一已知的具有负热膨胀系数的金属，意味着当它被加热时体积会收缩。

第94号元素能够以+3价至+7价的氧化态存在，每一个都颜色绚丽。**钚**也是唯一已知的、四种氧化态离子（+3至+6价）可以在水溶液

中以几乎相同浓度共存的元素。事实上， Pu^{4+} 的中性水溶液在几小时内就能转换为全部四种离子的平衡态^[3]。在最稳定的+ IV价氧化态中，钚倾向于形成配位络合物，其中一些可溶于有机溶剂如乙醚或磷酸三丁酯。后者在“PUREX”过程中被用于将钚和铀分离开。

钚可以在发电或是科研用的核反应堆中作为燃料。2010年，核电站满足了全球超过13%的电力需求^[4]。作为高强度中子辐射源的科研用反应堆也是非常宝贵的设备。这样的反应堆中子源可以用在中子衍射实验中。钚的非裂变同位素钚-238可以在放射性同位素发电装置（即核电池）中得到利用，它结合了长工作寿命和高能量密度。

这也让它适合为无人太空船提供电能，例如“好奇号”火星漫游车和“新地平线号”探测器。“新地平线号”探测器在2015年到达了冥王星并收集了数据，它的仪器由10.9 kg $^{238}\text{PuO}_2$ 所驱动^[5]。因此，在以天体命名的所有元素中，钚是迄今为止唯一一个飞往其同名天体的元素。

或许钚本该以罗马双面神雅努斯（Janus）的名字命名。它的历史清晰地展现了科学探索中的矛盾。没有任何科学发现是天然善良或是邪恶的，它的用途决定了它如何被看待。

[1] Römpp, H. et al. Römpp Chemie Lexikon Vol. 5 (Thieme, 1995).

[2] Plutonium, an element at odds with itself. Los Alamos Sci. 26, 16-23 (2000).

[3] Holleman, A. F. & Wiberg, E. Lehrbuch der Anorganischen Chemie 101 edn (de Gruyter, 1995).

[4] Another drop in nuclear generation. World Nucl. News (05 May 2010).

[5] Final Environmental Impact Statement for the New Horizons Mission (NASA, 2005).