

剧毒的钋

原文作者：

埃里克·安索波洛（Eric Ansoborlo），法国原子能和替代能源委员会。



安索波洛认为虽然钋在地球上的丰度很低，其毒性却不可小觑。

钋是元素周期表中的第84号元素，是一种在自然界以极低丰度存在的天然放射性物质。1898年7月，居里夫妇宣布^[1]他们发现了钋。这是利用他们新开发的放射化学分离法发现的第一个元素。他们用皮埃尔自己设计的静电计检测从原始沥青铀矿中分离出来的每一种物质。他们慎重地写道：“我们相信从沥青铀矿中提取的物质含有一种以前未曾发现的金属，其分析性质与铋相似。如果该新金属被确认存在，我们希望将它命名为‘钋’（polonium），以此纪念我们其中一人的祖国。”

这一发现引发了放射化学领域的第一次争议^[2]，对立双方分别是居里夫妇和一些德国科学家——包括维利·马克瓦尔德（Willy Marckwald）和弗里德里希·奥斯卡·吉塞尔（Friedrich Oskar Giesel），后者认为钋根本不是什么新元素，只不过是“因诱导而获得感生放射性的铋”。1901年，马克瓦尔德用另一种方法分离出了一种物质，后来被证明正是上述“新物质”，他暂时改称它为“放射性碲”。对该物质的身份及其在元素周期表中的位置的争议持续了好几年，直到1910年，居里夫人和安德烈-路易·德比埃尔内（André-Louis Debierne）通过火花光谱法明确地鉴别出2 mg分离出来的硫化沉积物中的0.1 mg钋。1911年，居里夫人因发现钋和镭而获得诺贝尔化学奖。

钋有41个同位素，相对原子质量分布于187~227之间。其中最多的天然同位素是钋-210，它是天然铀衰变过程的放射性产物。如今，两种主要的获取大剂量（几毫克量级）钋-210的方法分别为在核反应堆中用中子辐照铋-209靶材，或者用37 MeV特的 α 粒子束轰击铋-209靶材。同位素钋-210几乎是专门的 α 粒子放射源，半衰期为138.4天，因此它的放射性和毒性都很高^[3]。除了放射毒性，它在约50℃的低温即可挥发，并且极易黏附在玻璃上，导致它很难被处理，因此人们对它的化学性质仍然知之甚少^[4]。

钋与氧、硫、硒和碲同属于元素周期表中的氧族元素，它的化学性质与周期表中左侧紧邻的元素铋相似。钋的各个氧化态（-2、+2、+4和+6价）中，四价钋离子在水溶液中是最稳定的，这赋予了它最重要的化学性质：与其他四价元素类似，它倾向于水解并形成 $\text{Po}(\text{OH})_4$ 胶体。它还能与氯离子、醋酸根、硝酸根以及其他无机阴离子形成可溶盐，但与硫离子会发生沉淀，当初居里夫妇正是利用这一

特性分离和识别钋。但是，当使用有机配体时，四价钋的配位化学却复杂得多，会生成氧化物络合物和氢氧化物络合物的混合物。

元素钋-210有一些特殊的用途，例如用于研究 α 粒子各种效应以及校准辐射探测器。它也是一种高能量密度的热源，并且可以和铍混合后制备小型中子源。不过，或许最广为人知的是它罕见而奇毒无比的肝毒性^[3]，它也会侵害骨髓、胃肠道和中枢神经系统。据估计，它对人的致死剂量不超过10 μg 。在被发现后不久，它就展示了它的辐射毒性。当时从居里实验室的蒸馏器皿中意外释放的钋导致了一名技术人员死亡。

更近一点的例子是在2006年，俄罗斯前特工人员亚历山大·利特维年科（Alexander Litvinenko）被认为是喝了含钋-210的茶而中毒身亡^[5]；也有人提出亚西尔·阿拉法特（Yasser Arafat）的死亡与钋有关。钋的毒性超过氢氰酸的一万倍，除了肉毒杆菌毒素外，它是已知的毒性最大的物质之一。在土壤中，钋-210被黏土矿和有机物所吸收。特别是已知它会在烟草植物中富集，导致它以出人意料的显著剂量存在于香烟中。对于吸烟者来说，这可不是什么好消息。要知道，针对钋中毒的治疗仅有过为数不多的少量研究，迄今为止唯一推荐的解毒物只有巯醇基螯合剂。

[1] Curie, P. & Skłodowska-Curie, M. C. R. Acad Sci. 127, 175–178 (1898).

[2] Adloff, J.-P. & Kauffman, B. Chem. Educ. 12, 94–101 (2007).

[3] Ansoborlo, E. et al. Chem. Res. Toxicol. 25, 1551–1564 (2012).

[4] Bagnall, K. W. et al. (eds) Gmelin Handbook of Inorganic and Organometallic Chemistry: PoPolonium (Springer, 1990).

[5] Jefferson, R. D., Goans, R. E., Blain, P. G. & Thomas, H. S. Clin. Toxicol. 47, 379–392 (2009).