

铍更明亮的未来

原文作者：

拉尔夫·普赫塔 (Ralph Puchta)，德国埃朗根-纽伦堡大学化学与药理学系。



虽然铍主要以其剧毒而闻名，但它也拥有一系列在非工业应用中引人注目的特性。普赫塔在这里解释了为什么我们不用“谈铍色变”。

自古以来，人们为翡翠的绿色、红色及海蓝宝石的淡蓝色而着迷。这些宝石都是由绿柱石——一种透明的铍铝硅酸盐矿物——和少量赋予其鲜明色彩的过渡金属元素组成。德语中的“眼镜”（brille）一词也来源于绿柱石之名（beryl）。

1798年，法国人路易-尼古拉·沃克兰（Louis-Nicolas Vauquelin）在分析绿柱石时，从中分别分离出了铍盐和铝盐。当时他基于它甜甜的味道提议取名“glucinium”；但在1957年，为了与其他语言一致，铍在法语中也最终被定名为“beryllium”。1828年，弗里德里希·维勒（Friedrich Wöhler）和安托万·比西（Antoine Bussy）分别独立用氯化铍与钾反应的方法制备出了铍的单质。1898年，保罗·勒博（Paul Lebeau）通过电解氟化铍和氟化钠的熔融混合物也得到了单质铍。今天，大部分的铍都是通过镁和氟化铍的氧化还原反应制备而成，而氟化铍的来源是绿柱石。

作为元素周期表中的第4号元素，铍是最小的金属原子，通常表面会有一层氧化铍的保护膜，该氧化膜可以防止它与浓的酸氧化剂反应。但稀盐酸可以溶解这层氧化膜并生成氢气。铍结合了高熔点（1287 °C）、高弹性、优良的高能中子散射性能等物理性质的特点，这使其具有几个独特的实际应用。

例如，由于几乎不吸收X射线，铍一直被用于构建X射线管的辐射窗口。对高能粒子的透明性质也使其被用在大型强子对撞机的探测器部件中。此外，铍在所有的核能应用中都有贡献。譬如，铍在核裂变发电站和核武器中被用作中子反射器。

铍在宇宙中的天然核反应过程中也发挥着作用，例如生成碳的聚变反应。在古老恒星的 3α 过程中，三个 ${}^4_2\text{He}$ 氦原子核（也被称为 α 粒子）聚变成一个 ${}^{12}_6\text{C}$ 碳原子。首先，两个 ${}^4_2\text{He}$ 原子核聚变成极不稳定的 ${}^8_4\text{Be}$ 铍，这种铍原子核倾向于衰变回两个 ${}^4_2\text{He}$ 氦原子核。然而，在特定条件下，这些铍原子核的形成速度要快于其衰变速度。其中一部分铍原子核可以再与另一个 ${}^4_2\text{He}$ 氦原子核聚变为稳定的 ${}^{12}_6\text{C}$ 原子。在大约60亿年后，我们的太阳也会开始这一反应过程。那个时候太阳的年龄大约为100亿岁。

铍合金拥有的有趣机械性能、热性能以及电学性能使其在很多实际应用中大展身手。比如铍铜合金（一般含有最多2.5%的铍）是非磁

性的，可以用于陀螺仪或者磁共振成像设备。**铍**比玻璃能承受更低的温度，这在军事及航天应用中非常实用。

铍还被用来掺杂半导体，比如用分子束外延的方法将其掺杂在砷化镓里。与其半导体掺杂应用相反，氧化**铍**却是一种电绝缘体，但具有非常好的导热性。也许**铍**最有意思的新可能性是在量子计算机中——**铍**离子可能被用作量子计算机的处理器。有160个量子程序已经在这样的量子计算机上经过了测试，其中有80%得到了正确结果。看起来通过使用基于**铍**的处理单元有可能实现更大的量子计算系统^[1]。

然而，**铍**的大部分实际应用都被它和它的化合物（尤其是其尘埃颗粒形式）的毒性扼杀在摇篮里。被吸入后，这些小颗粒会引起**铍**中毒。**铍**中毒以慢性肺病的形式发作，发病时间可能是几个月到几年不等，且不可治愈^[2]。这并不是说人们完全不该使用**铍**和**铍**的化合物，但必须小心。

当前对于**铍**元素的研究主要集中于对其基础性质的探索，比如其结构以及机械性质，近来这类研究更多是基于计算模拟而不是实际实验。例如，对**铍**的四配位化合物的研究^[2]提供了有关**铍**化合物的结构多样性的新认识。**铍**的可能配位数最近也已被解明^[3]、^[4]。为了阐明**铍**的溶剂交换过程^[5]、^[6]，对其相关机理的研究也正在进行中。

随着对**铍**化合物的结构和反应性能越来越深入的了解，**铍**元素无疑将在日常应用中扮演更加重要的角色。有鉴于此，我们或许可以给出结论——对于**铍**，“用，还是不用”，将不再是个问题。

[1] Hanneke, D. et al. *Nature Phys.* 6, 13–16 (2009).

[2] Dehnicke, K. & Neumüller, B. *Z. Anorg. Allg. Chem.* 634, 2703–2728 (2008).

[3] Azam, S. S. et al. *J. Chem. Phys. Chem. B* 113, 9289–9295 (2009).

[4] Rudolph, W. W., Fischer, D., Irmer, G. & Pye, C. C. *Dalton Trans.* 38, 6513–6527 (2009).

[5] Puchta, R., Pasgreta, E. & van Eldik, R. *Adv. Inorg. Chem.* 61, 523–571 (2009).

[6] Budimir, A., Walther, M., Puchta, R. & van Eldik, R. *Z. Anorg. Allg. Chem.* 637, 10.1002/zaac.201000418 (2011).