

## 钒的胜利

---

原文作者：

安德烈·塔罗尼（Andrea Taroni），《自然-物理》主编。



塔罗尼分享了他与钒相关的经历。钒具有丰富的色彩、化学性质，甚至还有丰富的物理性质，是典型的过渡金属。

为什么我在大学选择读化学可谓是一个谜，连我自己都不大清楚。我了解化学中大部分的基本原则，但其中的细节，如氧化/还原、顺式/反式以及R/S构型等，以及它们转化的方式，似乎专门就是为了让感到无所适从的。坦率地说，我并不是天生擅长这一学科。

我记得在实验室里，我尝试实际处理，而不只是单纯地知道其存在的第一个元素就是钒。在无机化学实验中，我合成并分析了五配位络合物 $\text{VO}(\text{acac})_2$ （acac是乙酰丙酮），很快它就向我生动地展示了化学能够多么色彩缤纷。

“钒奇妙的化学和物理特性都源于其d电子的丰富特性。”

和大多数的过渡金属一样，钒存在很多氧化态。最常见的是从+2到+5价的钒，但它甚至能够展现出-1价乃至-3价的氧化态（如 $\text{V}(\text{CO})_5^{3-}$ ），因此钒可以参与各种类型的电子转移过程。钒的配位络合物可以发生金属向配体的电子转移跃迁（反之亦然）。当这些跃迁的激发能量处于电磁谱的可见光区域时，对应的光吸收会产生一种强烈的特征色彩，比如 $\text{VO}(\text{acac})_2$ 的蓝色。

通常我们可以通过增加或调换其配体来改变一个金属的氧化态，这影响了其配位环境，进而改变了配合物电荷转移跃迁的能量，最终导致配合物的颜色改变。我其余的本科实验课程便要求我利用不同试剂，还原我的钒配合物溶液并确定其氧化态。我清晰地记得每一个氧化态改变所带来的颜色突变，这让我非常理解为何以“Vanadis”命名这一元素——Vanadis是主管美的北欧女神，她更常被称作Freyja。

事实上，许多过渡金属化合物都有异常丰富的颜色，这使它们成为理想的颜料。它们丰富的氧化还原化学也是它们在生物系统中应用的关键所在（譬如光合作用中的锰）。氧化还原反应当然也是电化学的核心，全钒液流电池已经被设计出来，用以在液体电解质而非电极中储存能量。这些电池利用 $\text{V}^{4+}/\text{V}^{5+}$ 和 $\text{V}^{2+}/\text{V}^{3+}$ 的硫酸盐水溶液作为阴/阳电解质，并用离子交换膜将两者隔开。

过渡金属也有令人兴奋的物理学现象。当它们以固态形式结合在一起时，会形成凝聚态物理学家口中的强关联电子体系，一些特别的特性就会显现出来。

比如铁的导电性和铁磁性，它们是自古以来就为人类所利用的两个例子，例如基于磁铁矿的指南针。铁是一个被利用得如此充分，以

至于人类历史上有一个完整的时代都以它来命名。20世纪80年代中期，人们发现了某些铜氧化物在液氮冷却下可以变成超导体，这一发现为K. 阿勒克斯·缪勒（K. Alex Müller）和约翰内斯·格奥尔格·贝德诺尔茨（Johannes Georg Bednorz）赢得了1987年的诺贝尔物理学奖。在同一年代，人们发现薄铁铬薄膜对外加磁场有巨大的电流响应，这种性质现在被称为巨磁阻效应，它支撑了大部分的信息存储技术（阿尔伯特·费尔（Albert Fert）和彼得·格林贝格（Peter Grünberg）因在这一领域的贡献而赢得了2007年的诺贝尔物理学奖）。所有这些特性都来自于这些体系中电子的不同编排，这些电子似乎有无穷多种排列方式，而材料科学家们现在越来越能够熟练地操控它们。

自然地，第23号元素在固态下也显示了它自己的一系列有趣又有用的特性。例如，二氧化钒是一种典型的被冷却到室温以下时会从金属导体转化为绝缘体的氧化物。事实上，这种金属-绝缘体的转变可以通过调节一系列外部参数（如压力、掺杂和外加电场等）来控制。由于这种转变伴随着电阻率和透明度的显著变化，因此二氧化钒已被广泛应用在涂料和传感器上。

就像其他的过渡金属元素一样，钒奇妙的化学和物理特性都源于其d电子的丰富特性。在我本科学习化学的那些日子里，我体验到了一个虽简单却十分精彩的演示实验。我当时从没想到，这些强关联电子体系将会变成我成为物理学家后的一个主要研究兴趣。