扭动的碲

原文作者：
詹姆斯·伊伯斯（Jim Ibers），美国西北大学化学系教授。

伯斯讲述了碲和含碲化合物有趣的结构和键合，同时研究了他们从冶金到电子工业等不同领域中的应用。

元素周期表中第16族元素由上至下物理性能变化急剧。氧，毫无疑问是气体，钋是金属，但是之间的元素，硫、硒以及碲都是固体，其金属性依次增强。事实上，我认为碲（Te）是这一族中最有趣的元素，其性质与多数金属极其相似。

碲可谓是稀有类金属。在地壳中含量大约是1 ppb（十亿分之一），比金、铂或者其他所谓的“稀土”元素更稀少。那么我们为什么要关心这个如此默默无闻的元素呢？借用乔治·马洛里（George Mallory）用来解释他为何攀登珠穆朗玛峰时所说的话，原因之一就是“因为它就在那儿”（“Because it is there”）。然而，如今取悦资金提供者才是明智之举，所以其他原因还包括为了满足当前重要的工业应用以及开发出更多应用潜能。为了实现这些应用，碲除了必须满足实验室内的基础研究还要满足工业生产。这使我们必须来谈一谈碲的来源。

由于碲太稀有且比较分散，因此单纯的开采碲矿无利可图。然而，碲在自然界中经常与金、银、铜以及其他有价金属一起被发现。事实上，金的碲化物是最常见的含金矿物。顺便一提，碲是由奥地利矿物学家弗朗茨-约瑟夫·米勒·冯·赖兴施泰因（Franz Josef Müller von Reichenstein）于1782年在匈牙利的金矿中发现的。因此，碲是精炼上述金属时的副产物，其主要来源是电解精炼铜时的阳极泥。这些矿泥中的碲质量百分数约为2%。碲的世界总产量近年来增长显著，2007年达到了500 t。另外，碲的价格和需求一样一直处于增长的状态。

含碲化合物的合成、结构以及性能研究近年来备受关注。我们可以以结构已表征的含碲化合物作为参考，其表征手法多是X射线衍射技术。在过去的几十年里，无机含碲化合物的数量增长了大约40%；而有机和金属有机含碲化合物数量增长了近70%。这个数字着实令人吃惊，因为碲并非生命体必需元素。此外，有机碲化学中很多合成产物闻起来比硫同系物闻起来还要可怕许多！

在我个人看来，25年前在我们开始研究三元固态碲化物时，我们并不知道这些化合物是否与三元硒化物相似。事实上是有些相似有些却不同。其不同甚至延伸至二元化物。比如，NaTe存在而NaSe却不可知。如果你让一个大学一年级化学系的学生来描述NaTe的结构和氧化

态，答案无疑是众所周知的硫、硒和碲的形成链状或者环状结构的倾向，这种情况碲尤甚，而与氧则大大不同。

NaTe事实上是$Na_6Te(Te_5)$，它包含Na^+阳离子和Te^{2-}以及Z字形的Te_5^{4-}阴离子。这个Z字形阴离子中具有2.82 Å和3.08 Å两种碲—碲键长，这是碲与硫的不同所在。黄铁矿（也有人因为其具有黄金光泽而称之为“愚人金”）FeS_2结构中的硫原子间距均为2.08 Å，属于硫—硫单键长度。铁的形式氧化态是+2价而不是人们通过其化学式可能会误以为的+4价。

事实上，所有包含硫—硫键的固态化合物硫原子间均以单键链接。相反，包含碲—碲的固态化合物除了包含常规的碲—碲单键（键长2.74 Å）以外，还可能包含键长为3.6 Å甚至更长但仍小于范德华键长（4.1 Å）的键合。这就使得形式氧化态的辨识不可能实现。碲的唯一同素异形体在室温下是稳定的，它呈现为无限螺旋结构。在这个螺旋结构中，碲—碲间距大约为2.83 Å，但也有短的间距为3.49 Å邻近原子间作用。含碲固态化合物的键合引发了很多理论研究，这远比其同族更轻同系物要有趣得多。

碲在工业中最主要的应用是在冶金业，它是一种很重要的合金添加剂。添加过碲的钢和铜都更易加工，还可以用来铸铁使热冲击降至最低，从而减少疲劳。碲的另外一个重要的工业应用是在橡胶工业中用作催化剂和硫化剂。这些应用不需要高纯碲。然而，电子工业在一些新演变中的应用中对高纯碲的需求正在增长。例如，碲在新开发的相转变记忆芯片中的应用，以及可复写CD、DVD以及蓝光光碟中的应用。

碲化铋被广泛用于热电冷却设备中。这些设备在电子及消费性产品中应用广泛，最近越来越多地被用在了便携式食品冷却器，而且，信不信由你，它还被用到了汽车座椅的冷却系统里。碲对我们生活造成的最大影响可能来自碲化镉太阳能电池板，虽然还处于发展初期，但它们确实是最有效的发电设备之一。也许，碲还能够拯救全人类！