

科技前沿信息

第3期 (总第75期)

上海科技成果转化促进会
上海科学技术情报研究所 主办

2017年2月 月上旬刊

【专题报道】

革命性的突破：金属氢从理论变现实

[导读] 在历经近一个世纪之后，哈佛大学的科学家终于成功地将曾经的理论变为现实——他们创造了这个地球上最稀有的，也是最有价值的材料：金属氢。

革命性的突破：金属氢从理论变现实

近日，美国哈佛大学科学家伊萨克·席尔瓦拉 (Issac Silvera) 及其同事成功将氢气压缩制成“金属氢”。这是一种全新的材料，可以用于制造室温中使用的高效率电导体。这项成果2017年1月26日发表在《科学》(Science) 杂志上，首次证实了物理学家希拉德·亨廷顿 (Hillard Bell Huntington) 和尤金·维格纳 (Eugene Wigner) 在1935年提出的理论，即常温时呈气态的氢可以在极端高压下转变为金属态。这项工作不仅帮助人们理解氢的一般性质提供了重要的新窗口，同时，它也为研究这一潜在的革命性新材料提供了前所未有的新途径。

金属氢的特点与应用价值

氢是宇宙中最丰富的元素，它由最简单的元素构成，在通常的认知下它是一种气体——至少在典型的温度和压力下氢单质是以气态的

形式在地球上被发现的。而液态或固态氢是在上百万大气压的高压下变成的导体。由于导电是金属的特性，故称金属氢。金属氢是一种高密度、高储能材料，之前的预测中表明，金属氢是一种室温超导体。金属氢内储藏着巨大的能量，比普通TNT炸药大30—40倍。

金属氢是一种亚稳态物质，可以用它来做成约束等离子体的“磁笼”，把炽热的电离气体“盛装”起来，这样，受控核聚变反应使原子核能转变成了电能，而这种电能将是廉价的又是干净的，在地球上就会方便地建造起一座座“模仿太阳的工厂”，人类将最终解决能源问题。

金属氢用于输电，可以取消大型的变电站而输电效率在99%以上，可使全世界的发电量增加四分之一以上。如果用金属氢制造发电机，其重量不到普通发电机重量的10%，而输出功率可以提高几十倍乃至上百倍。

此外，金属氢还具有重大的军用价值。火箭是用液氢作燃料，因此必须把火箭做成一个很大的热水瓶似的容器，以便确保低温。如果使用了金属氢，火箭就可以制造得灵巧，小型。金属氢应用于航空技术，就可以极大地增大时速，甚至可以超过音速许多倍。由于相同质量的金属氢的体积只是液态氢的1/7，因此，由它组成的燃料电池，可以较容易地应用于汽车，那时城市就不再像现在这样喧哗、污染，而是变得十分清洁、安静。

金属氢的研究探索过程

早在19世纪后期，氢气被认为是无法液化的“永久气体”。1898年，詹姆斯·杜瓦制作了拥有巧妙热力学设计的“杜瓦瓶”，首次将氢气液化。1899年，杜瓦又首次制取了氢气的固态。

在随后的十年里，液氢实现了工业化大量生产。1935年，希拉德·亨廷顿（Hillard Bell Huntington）和尤金·维格纳（Eugene Wigner）等预测，在25GPa（25万个大气压）下，氢将呈现出金属性质。人们相信，处在元素周期表中第一位的氢元素在足够大的外界压力条件下，分子键会断裂，从而形成一个新的金属原子态，而这种原子态有可能具有超过室温的超导电性。

在25GPa下形成金属原子状态的氢，这是80年前提出的理论假设。但此后的实验表明，需要的压力远高于此。随后，美、日、英、俄、中、朝等国投入了大量的人力、物力研制金属氢。上世纪60年代，通过高压，人们制备了“金属碘”，然后黑磷等等的发现也在逐渐证实这一观点。逐渐地，硫等单质均被高压所征服。四十多年来，世界各地的研究人员一直在努力尝试创造金属氢，这是物理学领域最活跃的研究，可以称得上物理学领域的圣杯。目前，世界上的高压实验室已达100多个。

1989年，美国卡内基研究所霍古阿·马奥博士等人在-196℃的极低温和250万个大气压下，首次制取了成为黑色超微粒子化的一种新固态氢单质。

2016年，来自英国爱丁堡大学的物理学家，使用了一对钻石来挤压氢分子实现高压，同时分析它们的行为。他们发现在压力相当于地球大气压的325万倍时，氢进入到了固体状态，被命名为“状态五”，这时候氢开始表现出一些有趣的和不寻常的特性。它的分子开始分成单个原子，原子中的电子表现出金属特性。该团队声称，他们发现的状态还只是分子分离的开始，如果想要创造出理论预测的纯原子和金属状态的氢，还需要更高的压力。

革命性发现：百年理论完成向现实的华丽转身

此次哈佛大学团队发现的金属氢，是由自然科学系教授伊萨克·席尔瓦拉和他的博士后研究员兰加·迪亚兹共同完成的。他们将一块微小的固态氢样品置于 495 千兆帕斯卡的高压下(大约相当于 488 万个大气压)，这一数值甚至超过了位于地球中心的压力值。在这一极端的外部压力下，分子氢的化学键将被打开，最终形成由氢原子为最小单位而组成的晶体氢，即具有金属性质的金属氢。

对氢气进行压缩处理极为困难，因为它很轻，容易从容器中泄漏出去，同时化学活性又很强，易与其他材料发生化学反应。为了达到能够创造这一全新材料的苛刻条件，席尔瓦拉和迪亚兹选择了两块经过精心抛光的合成金刚石。这两块金刚石在使用之前经过了特殊处理，使其变得更加坚固。

席尔瓦拉说，他们使用钻石粉对金刚石的表面进行了抛光处理，但是它可能会破坏金刚石表面的结构，剥离碳原子。当他们使用原子力显微镜对钻石表面进行观察时，发现了一些缺陷。而这些缺陷可能会削弱材料的强度，并有可能引起材料的断裂。为了解决这一问题，他们使用了反应离子蚀刻工艺，从金刚石的表面刮削出一层仅为 5 微米厚的微小薄层——该厚度仅为人类头发直径的十分之一。随后，他们将金刚石的表面涂覆上了一层氧化铝薄层，以防止氢扩散到金刚石晶体结构中，引起材料脆化。在经过长达四十多年的不懈耕耘后，席尔瓦拉坦言，他第一次亲眼见证这一材料，内心无比激动。这一天，距离金属氢第一次在理论层面上提出，已经过去了近一个世纪。

要使金属氢投入生产，还有相当大的困难。但它的研制已有力地推动和促进了超高压技术、超低温技术、超导技术、空间技术、激光、核物理等 20 多门科学技术向着新的深度发展。可以预言，规模化制造金属氢的时代已为期不远了。