

艰难的冷聚变

Much Ado about Cold Fusion

亚瑟·菲舍

提 要 自1989年的冷聚变研究热降温以后，许多问题仍然悬而未决。对冷聚变是否存在，争论颇多。本文论述了冷聚变的研究历史及其坎坷经历。目前，仍有不少科学家在致力于揭开这个有争论的问题的谜底。

1989年初，犹他大学B.斯坦利·庞斯(B. Stanley Pons)和英国南安普敦大学马丁·弗莱施曼(Martin Fleischmann)宣布产生大量余能的室温核聚变成果，引起了物理学界的震动。

冷聚变的公布不仅振奋了物理学家和电化学家，也使各国领导人、经济学家和公众产生了兴趣。如果丰富的余能——比投入能量多8倍——真能由分裂重水的简单桌上电解装置产生，那么就接近了长期寻求的能量产生的极点。

但大多数科学家怀疑真的发生了冷聚变，少数研究者则认为他们观察到的这种反常现象除了核聚变外无法解释。

但是不管最后的裁决怎样，庞斯和弗莱施曼公布的结果引起了冷聚变研究和理论的蓬勃发展。许多观察者看到了相当有益的效果。例如，在这很短时间内我们了解到的金属氢化物(冷聚变实验过程中生成的金属和氢的化合物)的行为比过去100年还要多。金属氢化物在未来的氢系统中能起重要的储能作用。在核物理方面，已促使理论学家去考虑那些他们从未考虑过的想法。一个结果便是重新计算某些核粒子间的聚变速率。加州理工学院得到的新数据根本地修订了老的神圣不可侵犯的数据达10个数量级之多。

氢转变为氦

1926年10月柏林大学化学学院的库尔特·彼得斯(Kurt Peters)和弗里茨·帕内特(Fritz Paneth)在《德国化学学会志》上发表了题为“氢到氦的转变”一文，从此开始了冷聚变的历史。

他们推测，氢变为氦包含着氢的质能转变，而这可能是恒星的能源。他们当时没有意识到中子在聚变中的作用，因为中子是1932年才被发现的。他们不知道含有两个质子和一个中子的最普通的氦同位素不能单靠质子、氢原子核聚合而成；氦-4也不能像他们想像的那样由4个氢原子聚合生成。

但帕内特和彼得斯在1926年文章中提出了一个新途径。即考虑用合适的催化剂(例如钨)而不是施加能量来试验氢是否能转变成氦。

最初，帕内特和彼得斯让氢气通过红热的钨毛细管，试图将氢转变成氦。而后他们发现，如果采用钨黑、钨海绵和钨石棉以扩大催化剂的表面积，即使在室温条件下，也能实现他们的目的。他们很肯定地发现了痕量的氦。

但是，8个月之后，他们发觉忽略了一个重要的误差源，即在检查是否有氦通过玻璃壁从空气中扩散进入装置时，他们发现，在氢气中加热的玻璃会放出吸附的氦。并且，他们还发现，实际提供他们最好结果的钨石棉在存在氢时也释放出可观量的氦。

他们的主要目的并不是要发明一种新的能源，而是想制造比空气轻的气艇用氦。但是，由氢到氦的气球失败了。至少室温核聚变在当时还没有被发现。

寻求能源

1925年当斯德哥尔摩电照度研究实验室(Electrolux Research Laboratory)的约翰·坦德波格(John Tandborg)寻找能在冰箱中密封氦

气的金属时觉察钷有不寻常的特性，引起了对报道帕内特和彼得斯成果的第一份报告的兴趣。他决定用钷作为一个电极，建一个分解普通水的电解池以在钷表面上富集氢。

在坦德波格给瑞典专利局的申请中，他把此过程称作“一种释放原子能的方法”，或许考虑到会被人认为说过头了，后来他把题目改为“一种产生氢和有用能的方法。”尽管这项专利最终被拒绝了，但坦德波格始终坚持与托尔斯坦·威尔纳（Torsten Wilner）合作。

1932年发现氘之后，坦德波格和威尔纳采用钷电极重复了电解实验。但这次使用了重水——氧化氘。

他们记录的结果（产生氦-3和中子）代表了现在已知氘-氘聚变反应的一个分支反应。氢的轻同位素氘-2具有一个包含两个质子和一个中子的原子核。第二个分支反应与第一个分支反应同样可能发生，产生一个质子和一个氘原子核。氘-氘聚变反应很稀少的第三个分支反应（几率约千万分之一）产生一个氦-4原子核和 γ 射线形式的大量能量。

只有当粒子相互靠得足够近时（大约 10^{-13}cm ）两个氘核的聚变才能发生，因为只有在这这么近距离内强有力的核力才能起作用。但粒子相互靠近有困难，因为氘核带正电荷，在一定范围内受电磁力的排斥。随着粒子相互接近，排斥达到称为“库仑势垒”的最大值，必须克服这个势垒才能发生聚变。如果粒子相互间能达到足够接近，发生称为“隧道”的量子力学效应，氘核就聚合在一起。如何将粒子靠得足够近呢？

随着40年前氢弹的产生，物理学家不懈地探索受控核聚变。但受控核聚变常常要求非常高的温度。

在地球上，氘-氘聚变（现在认为是所寻求的最有益的反应）需要上亿度的温度。在过去的40年中，人们一直在用两种主要方法来达到这样高的温度，然后约束所产生的高能粒子。一是创造热等离子体并捕捉在某种磁瓶中；一是采用很强的激光束照射核燃料小球，使小球组份还未来得及离散就发生了聚变，此技术称为惯性约束。

两种方法都遇到了很多困难，花费了上10亿美元还都未获成功。

μ 介子催化聚变

但是，还有不依赖高温而能诱发核聚变的其它方法，即通过引入反电荷粒子来屏蔽相互接近的核的电磁排斥力。由于各种原因，带负电荷的电子无法提供足够有效的屏蔽。但另一种带负电

的 μ 介子能够提供，这是原生宇宙射线与高空大气组份碰撞时降落在地球上的次生宇宙射线中找到的短寿命亚核粒子。

1947年英国布里斯托尔大学的弗兰克（F. C. Frank）首次推理，认为 μ 介子甚至在室温下也会对氢同位素的聚变起诱发催化作用，这种 μ 介子十年前才在地球上用加速器制造出来。弗兰克推测 μ 介子会不变地由每次聚变形成，因此能够促进反应的进行。

1956年伯克利加利福尼亚大学的路易斯·阿尔瓦雷斯（Luis Alvarez），在无意中证实了这一理论。他在研究一些无关的气泡室实验的胶片时，注意到一些奇怪的粒子径迹—— μ 介子停止在充液氢和氘的室内。

阿尔瓦雷斯和他的同事在爱德华·特勒（Edward Teller）的帮助下也观察到了 μ 介子催化聚变。阿尔瓦雷斯—特勒小组推断 μ 介子形成了一个包含聚变粒子的分子，代替了轨道电子的作用。因为 μ 介子的质量是电子的207倍，它的轨道比电子轨道紧密得多，它把粒子束缚在一起要比束缚在普通重氢分子中近200多倍。这种 μ 介子的约束在 10^{-12} 秒内导致聚变。

当阿尔瓦雷斯接受1968年诺贝尔物理奖时（气泡室实验成就），他宣布发现聚变：“当我们认为已解决了人类今后所有燃料问题时，我们度过了短暂而兴奋的时刻。”

但是，当计算表明 μ 介子寿命很短，1个 μ 介子只能催化1或2次聚变时，兴奋大大失色。在加速器中产生 μ 介子要花费大量的能量和钱，所以即使每个 μ 介子至少产生300至400次聚变，也只好放弃。

此后， μ 介子催化冷聚变除零星理论工作外实际上处于静止状态达20年。直到1977年，杜布纳（Dubna）联合核子研究所的苏联研究者预测，在特定条件下，氘和氚的混合物中会发生“共振”现象，使每个 μ 介子引发100次以上聚变。

这项工作的报道促使物理学家史蒂文·E.琼斯（Steven E. Jones 现在伯明翰·扬大学工作）决定证明这一预测。在美国能源部支持下，他和他的小组从1982年开始在洛斯阿拉莫斯国立实验室采用 μ 介子束进行了一系列实验，以获得冷聚变。此后的六年中他们的一些实验结果很有希望。但每个 μ 介子能催化的聚变次数仍然太低。琼斯说：“我相信 μ 介子催化聚变成为商用能源是不大可能的。”

其他路径

1986年3月，在伯明翰·扬大学教员学术报

告会上讨论琼斯的工作时，一位名叫保罗·帕尔默（Paul Palmer）的物理学家提出了一个大胆的科学理论。

众所周知，异常高浓度的氦-3（一种比氦-4轻的、氦的稀少同位素）存在于岩石、液体和火山喷出的气体中，也存在于地球巨大构造板块相互咬合或分离地域的大气中。在钻石中也发现了类似比率的氦同位素。氦-3是氘-氘聚变的产物，也是氢-氘聚变的产物。帕尔默认为，也许在地球内部进行着某种形式的冷聚变，那里的受压岩石能够催化聚变。这样，既解释了反常的氦-3，也解释了伴随构造活动产生的巨大能量。并且，此过程能够在实验室中重现。琼斯现在认为这种地质冷聚变假说是可证实的。地球形成时，氘包含在其中。现在氘在海水中的丰度，即氘与氢核的比率约为 1.5×10^{-4} 。

琼斯说，在火山喷出物中找到氦将对这一理论的一个证明。氘-氘聚变约有50%几率产生氦。氦具有12.4年的半衰期，衰变成为氦-3，所以在火山喷出气体中找到氦将证实现在的地质冷聚变假说。

琼斯认为，1972年迈阿密佛罗里达大学的一个氦监测站就发现了这样的证据。这个监测站自1971年8月至1977年底在夏威夷岛冒纳罗亚山（Mauna Loa）工作。琼斯说：“我们发现在冒纳罗亚山探测到的氦和这一时期附近的火山活动有很大关联。”在1972年2~3月氦水平数据中出现了一个特别引人注目的峰值，这正与东南40公里的冒纳尤路（Mauna Ulu）火山的一次主要爆发相一致。当时，风把火山气体直接带到了冒纳罗亚监测站。

模 拟

不管地质物理冷聚变假说的命运如何，它的方式推动琼斯及其伙伴于1986年5月起试图在实验室中模拟上述现象。模拟途径与60年前帕内特和彼得斯的十分相似，即在金属电解池中充入大量气体。但是此次气体不是氢而是氘。

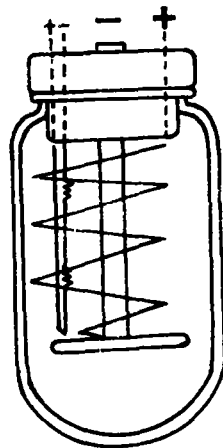
琼斯选择钨和钛作为待选阳极，因为它们具有贮氢和形成氢化物的特性。选择金箔作正电极，电解液是氧化氘，即重水，其中含有少量在火山岩浆中发现的金属盐，如锂和钠盐。

到1988年底，伯明翰·扬大学的琼斯等人确信他们在室温和低电压操作的电解池中确实看到了核聚变。证据是有真正能量特征（2.5MeV）的中子。但是观察到的聚变速率非常低，还差许多数量级才足以作为实用能源。琼斯说：“冷聚变并不是获取聚变能的捷径，但我毫不怀疑我们正在观察一种很小但非常重要的科学现象。”

庞斯和弗莱施曼

弗莱施曼和庞斯于1984年开始合作。他们探索的目的是用钨达到具有60年历史的低温聚变。

1989年3月，他们宣布在室温下悬于橡胶浅桶中的玻璃瓶内获得了持续核聚变，研究装置是悬在重水中的钨电极和一个汽车供电电瓶构成的电解池。他们把这种用电流分解水的装置称为“犹他U-1托克马克”。



犹他托克马克。斯坦利·庞斯和马丁·弗莱施曼设计的电解池安装在一个真空杜瓦烧瓶中(草图左上部)。螺旋钨阴极环绕钨阳极(断面线)和电阻(左)。电解装置悬在重水溶液中，由汽车电瓶充电。

他们说，最重要的是此过程以中子形式产生余能，特别是产生过量热——相当于投入能量的8倍。这将远超过难倒聚变研究者们数十年的能量突破点。

庞斯和弗莱施曼的结果与史蒂文·琼斯和伯明翰·扬大学研究组公布的实验结果相差甚远。事实上，庞斯和弗莱施曼声称释放的能量还要大 10^9 到 10^{12} 倍。

重复庞斯—弗莱施曼结果的努力一直是失败的占大多数。可以这样说，早期的热情已衰，早期的怀疑又盛。但是，犹他州议会决定投资500万美元在盐湖城的犹他大学建立国立冷聚变研究所。1989年10月，在华盛顿特区，大约50名科学家出席了一个两天半的冷聚变专题会。与会科学家们报道了冷聚变实验中的许多反常现象。会议主席在最后报告中说：“基于产生过量热和生成核产物（如氦）的新的、肯定的结果已经提出来了。根据我们已有的资料，这些现象不能解释为人工制造、设备误差或人为误差。然而，这些现象仍然缺乏可预见性、重现性，以及各种现象之间可能的相互关系。正是在过量热和诸如氦、 γ 射线或中子等聚变特征之间缺少相互联系，引起

了对犹他大学声明合理性的怀疑。

为了寻求肯定的结果,国家冷聚变研究所的初始计划需要拨款450万美元,进行两年时间的进一步实验。然而,犹他小组希望除此之外,再投入团体或政府的资金继续实验,目标是5年之后,每年预算达1 000万美元。

而美国能源部的休伊曾格—拉母齐委员会于1989年11月提出的最终报告重申:没有证据表明冷聚变能成为有用的能源。因此,对于冷聚变研究不必要求联邦政府特别资金。专家小组的结论是:没有证据表明一些研究人员报告的过量热是由于聚变引起的。休伊曾格说:“冷聚变实验产生的许多问题,引起了一些科学家的兴趣,但这不足以说明有理由进行任何大规模的研究”。能源部的最终报告认为“由于仍存在一些可能有趣的、尚未解决的问题,专家小组赞同在现有资金体制内资助进行集中的和合作的实验”。

另一类电解池

1989年4月,意大利国家核与代用能源机构的弗兰西斯科·斯卡拉马齐(Francesco Scaramuzzi)领导的一个科学家小组宣布:他们用更简单的方法(即用氘气与金属钛直接接触)实现了冷聚变,并由产生中子所证实。

实验结果产生的可测量中子与琼斯曾报道的聚变率相一致。当受压池首先冷却至液氮温度然后升温时,产生了最大通量的中子。

琼斯和意大利国家核聚变研究所的安东尼奥·贝尔坦(Antonio Bertin)合作,也取得了相似的结果。为了屏蔽宇宙射线,实验是在阿尔卑斯山内的深处进行的。尽管琼斯相信这样的结果证实了核聚变,但其他观测者则认为这些实验不够灵敏,不能说明这样低的中子通量是天然本底的一部分,还是真正的聚变中子。低水平的中子量很难和物理学家所称的本底即实验中的无源漫射中子区分开。琼斯目前的研究则采用了一个更简单的非电解装置,即压力池。因为它产生中子(冷聚变最必要的证据)的重现性比电解池更好。

琼斯的实验是在伯明翰·扬大学校园内的一个巨大地下实验室中进行的。使用的压缩氘气装置由钢瓶、60 cm长的管及圆形量压器组成,看起来象一个多孔乐器。不锈钢钢瓶规格约为23×4 cm,额定压力为1 800 Psi (12.41 MPa)。

他用钛合金代替钯,用一种市售厨房混料机将钛合金切成小块,其表面很粗糙。然后将不锈钢瓶在大约1000Psi (6.895MPa)或70大气压的压力下充满氘气。使用压力池试验能得到大约80%的重现性;而使用电解池,重现性大约为

50%。

因为压力池避免了电解反应的所有复杂过程,它能很容易地控制所涉及的参数,尤其是压力、温度和时间。这就很容易找到要控制的参数,从而使冷聚变现象的重现性接近100%。但琼斯说,目前他并不知道哪些参数需要控制。他知道改变温度有所帮助,但不明白为什么。因为不明原因导致结果的易变性,仍然得不到100%的重现性,这一直使琼斯感到迷惑和困扰。

某些特殊的情况

由于在洛斯阿拉莫斯合作研究中使用压力池所观察到的中子产生(100到200个中子)具有相当高的重现性。琼斯说:“那是我们见到冷聚变的最有力的证据,我不知道自然界还有什么其它物质能使你在50 μ s或更短的时间内获得这样大量的中子”。

1989年5月,在洛斯阿拉莫斯国立实验室的倡议下,美国能源部在新墨西哥州的圣菲(Santa Fe)举行了为期3天的会议。会上首次报道了洛斯阿拉莫斯的结果。诺贝尔奖获得者J. 罗伯特·施里弗(J. Robert Schrieffer)认为,实验室所支持的证据是有说服力的。他说:“我认为有一个合理的可能性:在这种低中子水平下所观察到的是来自聚变或其它核过程的中子。显然,某些特殊事情正在进行着”。

但问题是,除可能的本底中子引入外,正是选择用来屏蔽检测器的物质,甚至检测器本身的元件,同样能释放级联中子,从而导致实验致命的错误。

中子检测的根本问题是,中子不带电荷,是电中性的。因此,不能用通过磁场或电场影响其径迹的方法来示踪。耶鲁大学的物理学家莫舍·盖(Moshe Gai)1989年夏季与琼斯联合使用耶鲁的仪器进行了压力池实验。

耶鲁的仪器是直接测量中子的总能量,特别是核聚变的特征2.5MeV高能中子的能量。此法使用了称为“飞逝时间”的测量技术,记录中子从第一个检测器到第二个检测器所用时间及精确测量两个检测器之间的距离。

盖解释说:“ γ 射线以光的速度运动。因此,它们的运动时间实际上可以认为是零。而中子要慢得多,大约为光速的3%”。中子的这种特征及其它特征使得实验中清除高能 γ 射线的信号成为可能。

而且,中子是从三个不同角度被测量。盖说:“如果它真是来自实验的中子,则三个不同时间的测量结果应该相同,如果是本底中子,则从三个角度测到的机率都非常小”。

耶鲁的实验仪器放置在位于康乃狄格(Connecticut)山腰的纽海文(New Haven)以外的一个隧道实验室里。仪器由一圈排成平面六角形的检测器组成。每个检测器都充满了一种称为NE213的液体。液体由碳氢化合物组成,其中含有掺入二甲苯和萘的苯。此液体易扩散,很容易着火,但它是中子检测的最好介质,这是因为其分子结构的原因。它通过闪光(即闪烁)来迎接每个中子或 γ 射线的到来,其闪烁由光电倍增管检测。除了“飞逝时间”测量外,实验工作者进一步检查是谁获得的 γ 射线或中子。 γ 射线释放电子,中子释放质子,这两种粒子产生不同的闪烁,因为它们激发电子到不同的状态。盖说:“这正是NE213的优越之处”。

耶鲁的实验工作者竭尽全力减小来自散射本底的影响。盖认为,在乡村本底是最低的,大约是其它大多数实验的1%,约为伯明翰·扬大学实验的1/50。检测器由看起来象是喷过漆的木质建筑砖做成的墙来屏蔽。每块砖2英尺长,1.5英尺宽,里面充满了掺入硼砂的熔融石蜡。使用硼砂是因为硼有很大的中子俘获截面。

诸如此类的实验可能最终解决聚变中子是否的确在受压池或风行世界的电解池内产生的问题,但是,它们当然不能解释这是怎样发生的和

为什么会发生。那永远是理论学家的责任,他们一直为此在忙碌着。总之,无论是可能还是不可能,可解释还是不可解释,冷聚变及科学家的努力一定会在历史上留芳。美国国家科学基金会已同意资助在康奈尔大学建立一个冷聚变档案馆。这将是康奈尔大学科学、技术、社会计划中的一部分。物理学家、化学家及任何研究人员,无论是亲自参加了冷聚变工作还是着迷的旁观者,都被邀请送交有关材料给档案馆,这些材料包括报告会和实验室记录,为正式或非正式会议准备的幻灯片和投影软片等。

科学史学家,档案馆主任布鲁斯 V. 卢恩斯坦(Bruce V. Lewenstein)说:“既然这是一个科学家怎样冲击新的、有争议的论题的典型事件,我们想确保在这个过程中所产生的生命短暂的材料得到保存”。他重申说:“我们希望档案馆将来会成为科学史学家和科学社会学家的一份财富”。由美国国家科学基金会的社会学计划资助的保存关于冷聚变大量文献的档案馆正在康奈尔大学筹建。

(张英杰、吴兆广节译自美国《MOSAIC》杂志,第21卷,第2期,1990年夏;罗上庚校)

(责任编辑 刘先曙)

科技动态

波罗沃冷聚变国际进展会议

朱荣保

(中国原子能科学研究院)

由美国能源部,电力研究所和伯明翰·扬大学联合举办的“氘/固体系统异常核效应国际进展会议”于1990年10月22日至24日在美国犹他州波罗沃召开。这是本年度继犹他大学国家冷核聚变研究所在盐湖城举办的冷核聚变首届年会以后的第2次国际学术会议。由于物理学界尚未承认冷核聚变的实验证据与科学含义,本次会议采用了氘/固体系统异常核效应作为主题。17个国家的140位学者出席了会议,其中多数来自世界上著名的高等学府或研究机构,例如美国斯坦福大学,麻省理工学院、得克萨斯农工大学、洛斯阿拉莫斯国家实验室、布鲁克海文国家实验室、美国电力研究所、日本东京大学、大阪大学、苏联杜布纳研究所、意大利核能和可替代能源委员会(ENEA)、印度巴巴原子研究中心(BARC)等。我国清华大学、兰州大学、中国科学院物理研究所、化学研究所和中国原子能科学研究院也分别派代表参加了会议。会议上共发表了72篇论文,反映了氘/固体系统异常

中子、氘、电磁辐射、带电粒子、地球物理中的异常核比例(氘/氢, $^3\text{He}/^4\text{He}$)的实验结果和异常核效应机制理论探讨方面的最新进展。波罗沃会议与盐湖城会议相比有下述几点特色。

1. 有意识地限制过剩热测量结果

盐湖城会议的中心人物是弗莱施曼和庞斯,主要专题是电化学方法,量热、氘测量技术和结果。有些单位掌握了将氘气与氧复合还原为重水的技术,并采用封闭式电解槽,改进了量热计的刻度技术并力求减小温度和空间分布所引起的误差。在寻找氘的实验中注意了制造电极用的钽材料中氘沾污的可能性。中子测量着重降低本底和增加效率。由于过剩热测量方面暴露了不少问题,例如电解槽功率上升和下降条件下刻度参数、电解液浓度、搅拌、气泡效应、 O_2/D_2 复合,以及恒电流、恒电压操作的稳定性等对过剩热测量的影响,过剩热与其他反应产物关系不符合目前认识的规律,过剩热产生原因的非核反应解释等。这使