

可持续发展的新型氢能源

A New Type of Hydrogen Energy for Sustainable Development

曹栋兴

(清华大学 北京 100084)

20 世纪后期, 已明确认识到能源系统要逐步适应可持续发展的要求, 使应用煤的场合不断由应用贮量更少的油气所替代。我国到 2050 年在传统基础上的能源规划中有明显的缺口, 可能的解决办法也要受很多因素和风险的制约, 不很理想, 有待创新和改进。显然, 能源资源更新换代的时间必将提前, 人们迫切期望有利于可持续发展的重要新能源的出现, 去补充能源的不足及改善生态环境。显然, 这种新能源的发现, 往往要先从概念更新开始, 再考虑复杂的现实条件, 如对待新生事物一样加以扶植, 才能较快成熟。当前已经出现了一些探索性的项目, 新型氢能源就是其中有希望的一种。它基本上属于化学能, 但比常规氢的化学能更大些, 暂且称作超级化学能。开发它的主要目标: 一是达到可持续发展的要求; 二是要有能力取代化石燃料成为重要能源。从原理上看, 它具有进入商用的可能, 但要一步一步用实践去证实和实现。

一、氢能源和新型氢能源

氢是自然界中最丰富的元素, 也是活泼元素之一, 常以化合态存在。若要想从化合态物质中把氢原子重新分离出来, 就要提供能量。氢的燃烧也仅是化学反应, 每个原子能提供电子伏量级的能量。开发贮氢材料的进展, 已为氢能广泛应用提供了可能。虽然, 镍氢电池已经商用, 燃料电池正在进入商用, 但大规模发电的可能性却不大。然而, 氢的聚变则可提供百万电子伏量级的能量; 经半个多世纪的开发, 这方面已取得了很大的成果。但在目前技术水平上要实现商用, 却还有不少困难。首先是投资太大、成本过高, 若要进一步改进, 也仅有远期的希望。这种利用化合态氢能的传统概念, 对突破性发展造成了限制。问题是要找到一种释放能量大一些、技术上又适合现代高技术水平的方法。也就是说, 在它们之间是不是还存在可能较容易实现的层次呢? 我们的回答是有; 而被称为分数氢 (hydri-*nos*) 或负态氢的新状态就是其中之一。在地球上, 氢可

以通过和被称为“能穴”的元素或离子间的相干反应来实现向分数氢的转化。这时放出的能量将比常规的化学能高出许多倍, 具体倍数取决于氢原子因相干引起降低能态的次数或相应的塌缩次数。

有多种实现这一释放能量过程的具体做法, 有在气态, 也有在液态中实现的。国内外都已有了一定的理论和实验结果。其中以电解方式实现最为普通和方便。现列举其中的一些实验结果作原理性介绍, 同时也提供初步判断其真实性和可行性的素材。实验方案之一, 基本上是用镍阴极、镍或铂阳极, 在含有碳酸钾的水溶液中电解。结果如发生了相干反应, 则输出的热功率要比输入用于发热的电功率大, 这样就会有功率或过能输出, 其数值决定于实验状态和参数等, 从小于 1 倍直到超过几十倍不等。电解提供了氢原子和钾离子。一对钾离子可成为能相干吸收氢原子能量的“能穴”, 促使过程发生。然后, 还可以找到分数氢产物, 例如 $H(1/2)$ 等; 并已被证明为分数量子能级状态的氢。世界上有一批实验室已取得了有过能的结果, 主要的有美国的黑光功率公司。因释放的能量中含有称为极紫外的光, 故把这一过程又称为黑光功率过程 (BlightLight Process)。公司也因此原因, 而改取了此名。其它还有如 BNL、MIT、INEL 和 PSU 等单位, 它们中都已有人取得了正面结果。我国也有单位已通过实验和理论证实了存在分数氢; 相对基态氢而言, 也称负态氢。

二、概念更新

1913 年波尔创立了原子模型, 以后薛定谔等在解氢原子问题的方程时, 用了无限空间的边界条件, 即对理想的孤立状态, 在氢原子的能谱或称光谱公式中, 得到了包括 $n=1, 2, 3, \dots$ 等的整量子状态数。20 世纪末, 米尔斯等人扩展了氢量子能级的范围^[1]。由于采用了从马克斯威尔方程推导出的边界条件^[2], 在氢原子能谱公式中还包括了 $n=1/2, 1/3, 1/4, \dots$ 等分数量子状态数, 因而能说明氢原子低

于基态($n=1$)的分数量子能级状态的现象。这种量子状态的氢原子简称为分数氢。在这一理论基础上,给出了相应的计算值, $n=1$ 时氢原子的电子结合能为13.6电子伏; $n=1/2, 1/3, 1/4$ 和 $1/5$ 时相应为54.4, 122.4, 217.7和340.1电子伏。能级间转变时释放出相应的能量差值,从 $n=1$ 到 $n=1/2$ 时为40.8电子伏,往下依次为68.0, 95.3和122.4电子伏。可以求出与能量差值相应的谱线波长分别为303.9, 182.4, 130.1和101.3埃米。这些数据表明,如果氢原子由基态向分数量子能级转变时,每次都能释放出几十电子伏的能量,超过了处于基态的氢能释放的能量。是否存在,并能实现这种转变呢?可以从客观中去发现,或者用实验方法去验证。如果获得证实,不但可以提供一种可持续发展的新型氢能源,同时还会开辟出一个新的领域。

三、自然界提供的启示和验证

氢是自然界中最丰富的元素,在宇宙空间中,应该存在不同状态的氢。有可能从中发现分数氢及其转变。客观存在的中子星就是氢的轨道电子塌缩进原子核形成的。它是超新星演变结果之一。太阳发射的谱线中同样有分数氢能级间转变的谱线。太阳发射软X射线,这是天文上常用语。在光谱上紫外区和X光区是相接的。为了说明没有热核聚变时也有向分数氢的转变,可引用星际空间暗物质发射谱线的定量数据。1968年鲍叶尔首次发表了从星际暗物质发出软X射线测量结果的文章,1990年又和拉鲍夫一起发表了观察极紫外本底能谱的文章^[3]。他们把称为瞬时入射谱仪的仪器用火箭发射入太空,来测量和记录星际空间暗物质发射的极紫外本底。获得的大量数据中包括了一组有7个计数峰值的结果。记录了它们谱线的波长、计数、计数误差、本底、本底误差等。其中第4、6、7这3个峰值的波长分别为297.7、178.1和98.7埃米,和上一节计算值中303.9、182.4和101.3埃米的波长基本上一致。相应为氢原子分数量子能级间转变时放出能量差值相对应的波长,即从 $n=1$ 到 $1/2$ 、 $1/2$ 到 $1/3$ 、 $1/4$ 到 $1/5$ 转变时放出的能量的相对谱线波长。由波长可以算出相应的能量,也就是测量到的星际空间暗物质发射的极紫外光子的能量分别为41.7、69.6、125.6电子伏。在稀薄的星际空间它们自然地发生着,其进行速度和发生概率并不很大,但如能掌握其运行规律,对发生条件进行优化,则有实际应用的可能。

四、相干反应产生过能及相应产物

在自然界中客观存在氢原子向分数量子能级

的转变,但它们有发生的条件。在地球上是否有可能实现的办法呢?是否有走向实用的可能性呢?实际上,已经有了一些实现的办法,而且看到了良好的前景。但要商用,还有一定的工作要做,才能给出满意的回答。可行方法之一,就是相干反应,也有称催化反应的。

1. 相干产生过能 按照初步的理论启示,要发生这种相干反应,除了要满足文献[2]中所述边界条件中相应的物理过程外,还要和能使氢原子发生相干、起“能穴”作用的元素或离子相接触,发生能量相干吸收氢原子的能量,迫使其外层电子向分数量子能级转变,使氢原子中的力达到新的平衡,释放出过能或过功率。原子氢的势能为27.2电子伏。例如一对一价的钾离子,当其分别向二价和钾原子转变时,就有可能和氢原子发生能量相干,使氢释放能量,并形成分数氢。在文献[4]中就给出了一批产生过能实验之一的有关资料,得出的输出热功率和输入用于欧姆加热电功率之比达13.6,在输入功率中有一部分用于电解水等,所以输出功率与输入功率之比为5.2。可以看到,需要有一定的功率输入来启动相干反应,得到的功率输出除补偿输入功率外,还会有超出的部分,称为过功率或过能。目前已有的初期实验的结果已验证了这一点。

2. 分数量子能级状态氢原子的实验测量 在发生相干反应产生过能的同时,应该有分数量子能级的氢原子出现。当采用电解时,它们首先可能在吸氢的镍阴极表面上找到,也能测量出来。理论计算表明 $n=1/2$ 的分数氢原子中的电子结合能为54.4电子伏。实验中用了X射线光电子谱仪去测量阴极表面层中各电子的能谱分布。在靠近54.4电子伏处有计数峰值,在其半高度上的全宽度为5.1电子伏,其中心点位于54.6电子伏处,和理论值相当接近。并且还进行了排除一切其它可能出现此峰的实验^[4]。得到了实验室中也能存在分数氢的结果。

3. 如无相干反应,则既无过能也无分数氢 同时进行了对比实验。在其它条件完全相同时,仅用碳酸钠代替碳酸钾。在此条件下的钠离子不发生能量相干,测不到过能和分数氢。在文献[4]中也给出了同时进行的对比实验结果,证实了能量相干的重要性。

4. 过程具有可持续性 大部分实验都进行了一段时间,也有相当长时间且中间有间断的。例如莫斯科动力工程研究所的实验连续正常运行了3个月,然后设备解体重装,仍能继续正常运行。这对能否发展成商用,有很好的肯定作用。

五、对商用前景的展望

世界上对分数氢的研究和可能应用的开发已

月球氦-3与未来的新能源 ${}^3\text{He}$ on the Moon and Future New Energy

邓柏权¹ 彭利林¹ 王 龙²

(核工业西南物理研究院¹; 成都 432 信箱 610041; 中科院物理所² 北京 603 信箱)

一、一种更安全、更高效率的聚变能源

当前,世界范围内聚变研究主要集中在氘-氚反应,因为它比较容易点火,然而这种反应释放能量的 80% 是由中子携带,因而将导致反应堆的结构部件严重损伤,同时诱发结构材料产生大量放射性,给环境安全、维修、更换部件带来一定困难。

于是,人们开始探索所谓先进燃料聚变,研究得比较多的是 D-He 反应。它基本上不产生中子,仅仅由于 D-D 副反应产生大约 1%~5% (与燃料混合比有关) 的中子功率,可以大大减轻材料的辐射损伤和降低感生放射性的水平,不会产生高放射性水平的核废料。由于中子壁负载降低到 $\leq 0.1\text{MW/m}^2$, 聚变堆中最容易损坏的部件第一壁的寿命可以大大延长,甚至于无需更换。

有相当进展。美国的黑光功率公司对分数氢进行了更为全面的开发,在大量工作的基础上,对其前景提出了极为乐观的看法。在 2000 年 11 月 26~28 日召开的全球变暖和能源政策的国际会议上,米尔斯代表公司所作报告中,披露了公司开发出一种新型氢化学过程来产生功率、等离子体和新的化合物;开发了高功率密度、高温的氢相干装置;正致力于在较低温度下产生光和等离子体用于光的应用和直接转化为电能。这种装置的功率密度与大多数发电厂设备相当,可以避免再用汽轮机等热机;可以用于从手提式家用电器到替代动力厂的发电装置。专家们认为,通过化学过程来产生能量,可以把氢原子的电子降到更低的能级轨道上,释放出更多的能量,比普通氢燃烧放出的能量大许多倍。这一技术有很多优点。从能量平衡角度看,可以允许从水中电解出氢作为燃料源,向大气排放氧气;可以避免用化石燃料等产生的污染,不产生温室气体和有害废物;设计的商用运行成本要比其它能源的低。当然,上述优点须得到实践的证实,才会得到广泛认可。

这种反应释放的 18.3MeV 能量全部由反应产物高能带电粒子携带,可利用反静电加速器的原理直接转换为电能,效率可高达 70%~80%;也可以用固体整流天线将回旋辐射功率直接转换成电能,效率可以高达 80%。

由于不必用包层来生产氦及慢化聚变中子取能,低的感生放射性和后热使得包层冷却系统和屏蔽大大简化,安装、维修、拆换部件更容易,可接近性好。另外由于包层变薄、磁体可以更靠近等离子体、耦合性能好,因此产生与原来同样的磁场而耗电量却少得多。

这种堆芯的重要特点是它的固有安全性,不会有放射性泄漏问题。因为聚变反应燃料 ${}^3\text{He}$ 和 D 都是惰性气体或稳定同位素,不像氚具有 β^- 放射性;而且氦容易渗透不锈钢等金属堆结构材料,造成环境安全问题。正是由于它的安全性好、低放射性、包

在进行了长期的多种探索的基础上,我们认为以分数氢的转变为基础的新型氢能源,是传统氢能源和氢热核聚变能源间较为容易实现的、能释放较大能量的新型氢能源,符合联合国对新能源经常提出的可获得性、可用性和可接受性的要求。我国也应及早研究,大力扶植和开发这项可持续发展的新型能源。

参考文献

- [1] Mills R. L., The Grand Unified Theory of Classical Quantum Mechanics, January, (2000), BlackLight Power, Inc., Cranbury, New Jersey, Distributed by Amazon.com
- [2] Haus H. A., On the radiation from Point Charges, American Journal of Physics, 54, (1986), pp. 1126-1129
- [3] Labov S. E., Bowyer S., Spectral Observations of the Extreme Ultraviolet Background, The Astrophysical Journal, 371, (1991), pp. 810-819
- [4] Mills R. L., Good W., Fractional Quantum Energy Level of Hydrogen, Fusion Technology, Vol. 28, No. 4, November, (1995), pp. 1697-1719

(责任编辑 王宏章)