

【工业】【能源】永远的未来技术

2015-03-01 02:59:00

原文网址：<http://blog.udn.com/MengyuanWang/108908708>

我高一那年，有一位清华的教授到台中来演讲，讲题是核融合（Nuclear Fusion，大陆叫核聚变）。当时Princeton university正在筹建西方的第一座大型Tokamak核融合反应器TFTR（Tokamak Fusion Test Reactor）。Tokamak原本是苏联的设计，亦即在一个环面形的容器内，靠高强度磁场来制约极高温的电浆（Plasma，大陆称为等离子体）；电浆内的氢同位素原子核在温度够高时，便能跨越电磁排斥力而融合成氦，并释放出大量的能量。那位教授不但把物理和工程的综合过程描述得极为生动引人，而且一再强调在30年内核融合电廠就必然会商业化，从而一举解决人类的能源需求问题。十五岁的小伙子很容易上当，尤其是当演讲人自己也相信那些鬼话的时候，所以我基于错误的讯息做了两个重大的人生决定：第一个是舍数学而做物理；第二个是舍台大而上清华。

当然，30年早已过去了，TFTR从1982年起到1997年运行了15年，根本就没有解决核融合电廠的真正技术难题，这个烫手山芋被丢给了下一代的International Tokamak Experimental Reactor（ITER，将于今年开始组装，预计2027年开始运作）。与30多年前相比，现在最乐观的核融合研究估计（只算诚实的）是还要至少50年才有可能实用化，也就是进度倒退了20年。以这个趋势来算，到50年后的2065年，进度会再倒退30年，所以届时搞核融合的主管应该会给出“再过80年”的估计了。这虽然是个笑话，却是很有可能会真正发生的，因为前面提到的“核融合电廠的真正技术难题”是怎样处理核融合產生的中子：人类至今所有的机械靠的都是电磁作用，而中子却是真正全电中性的，不像原子一样有带负电的电子包围带正电的核子，所以我们对中子的路径完全无法控制，唯一的选择是要不要遮挡它。目前所有的Tokamak设计靠的都是 $D+T \rightarrow He+n$ 的反应，其中D是Deuterium（氘，多含一个中子的重氢），T是Tritium（氚，多含两个中子的超重氢），He是Helium（氦），而n是Neutron（中子）；因为这是唯一一个其所需温度没有超过人造磁场控制能力的反应。但是中子比氢轻四倍，所以它带出的动能也就多四倍，亦即核融合反应產生的80%能量是由中子带走。既然我们要发电，就必须在Tokamak外面吸收这些中子，那么Tokamak的内壁就必须对中子“透明”，所以负责维持真空的内壁再加上吸热的水管（產生磁场的线圈可以做在水管之外，但是仍将承受部分中子辐射）将在完全没有屏障的情形下，长期承受比核裂变反应器高出好几个数量级的中子轰击，其结果是这些物质必然会弱化而需要定期替换，但是在这个过程中它们也会得到放射性。也就是核裂变电廠只须要换燃料棒，而核融合电廠却须要定期把整个带有放射性的反应器拆掉重装；即使在技术上有可能做到，它的价格和风险都将远超人类所能承受的极限。所谓的ITER和现有的下一代设计都对这个问题束手无策，搞核融合的人的态度基本上是船到桥头自然直；可是这艘船在30年前就已经撞桥沉没，30年来拼命加大引擎，那么不但再度撞桥是必然的，其后果也只能更为惨烈。



法国和日本竞标ITER之后，法国出价最高而获胜，日本则得到一系列的安慰奖。地点选在法国东南部的乡下，但是距离度假胜地French Riviera只有一步之遥。

既然核融合是未来的技术，而且永远都会是未来技术，那么要解决能源问题，就必须开发更先进的核裂变技术。我从十几年前就对高温气冷堆情有独钟，所以后来很高兴看到中共在这个项目上持续投资，到2012年已经正式在山东石岛湾核电站开建世界第一座商业化的高温气冷反应堆。不过今天我将专注在永远的未来技术上，所以以后有空再详谈这事。现在我只想指出，几年前南非还没有放弃高温气冷堆，西方的核电专家在列举它的优点时，经常会提到它的工作温度在摄氏1000度左右，刚好是对水进行电离分解效率最高的温度，所以在高温气冷堆发电站有热有电，最适合建设氢气厂，而用氢气来替代汽油、柴油、天然气和煤等化石燃料的“氢气经济”（“Hydrogen Economy”）则是某些人心中解决能源供应、大气污染和全球暖化的一举多得方案。氢气燃烧之后只产生水，因此是完全零污染的。此外氢气不像化石燃料一样需要效率一般在40%左右的热机（Heat Engine），而可以通过燃料电池以极高的效率转化为电能。全球第一个根据这个构想而开始生产的商业化产品是Toyota的Mirai氢气动力车，2014年十一月在洛杉矶车展正式公开，同年十二月15日在日本开始销售，预计2015年只出产700辆，但是Toyota认为它会是下一代的技术主力，前途不可限量，所以还特别请了日本总理安倍晋三做代言人，对其重视的程度不言而喻。

Toyota的这个商业战略赌注，有很明显的脉络可循：Toyota在1995年的东京车展公开了世界第一辆商业化的混合动力车辆Prius，1997年开始正式销售，此后18年Prius不但占有全球混合动力车辆销售量的一半以上，对Toyota的品牌价值也有极大的贡献，帮助它一举超越VW和GM成为世界第一大汽车生产商。不过到现在每个稍有规模的全球性汽车公司都已经有了自己的混合动力技术，而Toyota却很明显的在近年减低了对这方面的投资，以致当所有的竞争对手都已采用更先进的锂电池，2015年的Prius基本型仍然在用镍氢电池。从Toyota的角度来看，混合动力车辆的技术已经成熟普及，市场也趋于饱和，与其杀价血战，不如早对手一步，另辟新战场。这个思路和Nintendo一样：在Wii那一代，Nintendo避开绘图马力的竞赛，靠着独创的遥控器走偏锋而战胜了更强大的对手们；几年之后，下一代的Wii U仍然是靠与众不同的人机界面来吸引顾客。不过就如Nintendo的Wii U远不如Wii那么成功，Toyota的Mirai只怕也走上了歪路。

为什么我不看好氢气动力车呢？这主要是因为氢气经济不是一件新鲜事，一百年前就有一种交通工具大量使用氢气，只不过不是用来作燃料；我说的就是飞艇（Zeppelin）。后来这个氢气经济戛然而止，原因当然是1937年的兴登堡号大爆炸。做过化学实验的人或许记得，氢气是一种极易燃、极易爆的气体，汽油和天然气和它比起来，几乎像开水一样的稳定安全。飞艇用的氢气完全是由专业人员操作的，飞艇也没有出车祸的危险，结果还是不能解决安全问题。而鼓吹新氢气经济的人所想像的是把载着氢气筒的汽车交到16岁的毛头小伙子和90岁的老太太手里，让他们满

街跑；与此同时，氢气管道必须从生產廠房一路埋到大街小巷的各个加油站。其结果必然是车祸衝擊到燃料箱就有剧烈爆炸，道路施工错挖管线就会连环气爆；哪个现代社会会愿意花大錢来换装一个使人口死亡率成倍增加的危險技术呢？燃料电池是个很有前途的新科技，但是它必须使用碳基燃料，例如甲醇（Methanol）或乙醇（Ethanol）；这有几个原因：1）它们远比氢气安全；2）它们可以从生物废料（Bio-waste）直接生產，而氢气必须靠电能來產生，全循环的效率低；3）它们的输送和储存都远比氢气便宜。所以虽然使用甲醇和乙醇的燃料电池技术还不成熟，最终必然还是它们才有可能（但不一定会）胜出。氢气经济又贵又危險，就如核融合发电一樣，也只是永远的未来技术。

16 条留言

winvicta

2015-03-01 00:00:00

有关于氢的储存与运输,作者只着眼于 physical storage, 但是忽略了 chemical storage, 以及 nanoscale 的, 介于 physical 与 chemical 之间的 molecular storage.

“

那些技术极不成熟、增加费用和重量，而且对输送完全无解。

我的论点不是技术上不可能，而是经济上不可能。经济上的考量又包括效费比和风险。核融合和氢气动力都在这两方面输得一塌糊涂。

twinkleus

2015-03-01 00:00:00

我认为如果能进一步解决快速充电和储能进一步小型化，电动汽车是最适合大众使用。

“

不过开长途车还是一个问题。

我自己开混合动力车将近十年，非常喜欢它的节能成果。我觉得在可见的未来，混合动力车还将是减碳技术的主流。

twinkleus

2015-03-01 00:00:00

短期内，电动车还只能在城里开开。我相信大约8至10年，电动车就可以连续开超过5个小时，而且可以很方便地充电，像手机一样。那时你可以用它开长途了。

“

希望如此吧。电池充电速度慢是电极的问题，现有的新设计都还很成熟，还有很大的研发空间。

jlee

2015-03-03 00:00:00

短期内 个人以为提高醇类与汽油的比例的汽车 才是最可行的商业方案 氢气只适合做为发电 (意即版主所言 专业的使用)非基础用电

“ 可是连潜艇的AIP（绝气推进系统），德国Siemens的燃料电池都不敢用氢。。。

在民用上，氢必须靠电能产生，全生命循环的效率很低，所以零售上真没有经济价值。电本身就是很容易传送的能量，只有储存是个麻烦。用氢来储能，以备尖峰用电时发电，或许是可行的。但是行业内忙着忽悠大众，搞氢汽车，在那方面反而没什么动静。

访客恩

2015-03-23 00:00:00

版主您好！经常阅读版主BLOG，收获良多，先在此致谢！

想给版主看一则消息，关于青岛首列氢能源动车，不知这种能源动车，是否会如版主所说有行驶上的安全疑虑？抑或技术上能有所突破而控制得宜？

访客恩

2015-03-23 00:00:00

www.guancha.cn/Industry/2015_03_22_313101.shtml

忘记附上连结！

“

这篇文章我看了，觉得这个技术构想没有氢动力汽车那么糟糕（主要是氢的储藏和传输限制在专业人员的手中），但是在经济上仍然是没有前途的。氢必须用电离来生产，然后在应用时再由燃料电池转换为电能；这两个步骤的效率都比内燃机高得多，但是仍然不是100%，所以氢动力列车和电动列车相比，先天上就是画蛇添足，而这还没有考虑到氢在储藏和传输上的费用和风险。

twinkleus

2015-04-09 00:00:00

东方超环（EAST）超导托卡马克2012年物理实验顺利结束。在长达四个多月的实验期间，科学家们利用低杂波和离子回旋射频波，实现多种模式的高约束等离子体、长脉冲高约束放电，自主创新能力得到较大提高、获得多项重大成果，创造了两项托卡马克运行的世界记录：获得超过400秒的两千万度高参数偏滤器等离子体；获得稳定重复超过30秒的高约束等离子体放电。这分别是国际上最长时间的高温偏滤器等离子体放电、最长时间的高约束等离子体放电，标志着我国在稳态高约束等离子体研究方面走在国际前列。

高参数、高约束模式偏滤器等离子体是未来聚变托卡马克放电的最基本的运行方式。我国参加的最大国际科学合作项目——国际热核聚变实验堆（ITER）首要目标是实现400秒的高约束等离子体，但实现该科学目标尚面临众多科学和技术（物理和工程）上的挑战。目前，国际上大部分托卡马克的偏滤器等离子体持续时间均在20秒以下，欧盟和日本科学家曾获得最长为60秒的高参数偏滤器等离子体。本次实验，我国科学家针对未来ITER 400秒高参数运行的一些关键科学技术问题，如等离子体精确控制、全超导磁体安全运行、有效加热与驱动、等离子体与壁材料相互作用等，开展了全面的实验研究，通过集成创新，实现了411秒、中心等离子体密度约 $2 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ 、中心电子温度大于两千万度的高温等离子体。

高约束等离子体放电是未来磁约束聚变堆首选的一种先进高效运行方式。从上世纪八十年代以来，世界上众多托卡马克都在探寻各种方式实现高约束放电、并不断尝试延长高约束放电时间。实现长时间高约束放电长期以来一直是国际聚变界追求的目标和挑战极大的前沿课题。目前正在运行的托卡马克的高约束放电时间大都在10秒以下，最长的是日本JT-60U装置（已退役）曾在2003年利用强流中性束加热实现一次28秒的高约束等离子体放电。在本轮EAST实验中，我国科学家另辟新法，利用低杂波与射频波协同效应，在低再循环条件下实现了稳定重复的超过32秒的高约束等离子体放电。我国科学家所用的方法独特、经济、有效，为未来国际热核聚变实验堆（ITER）提供了一条高效实现高约束放电的新途径。

东方超环（EAST）是由国家发改委立项的“九五”国家大科学工程，是由我国科学家独立设计建造的世界首个全超导托卡马克，于2007年建成并开始科学实验。在国家科技部（ITER专项）、国家自然科学基金委、中科院等部门的支持下，东方超环的科学工作者在吸收国外先进科学知识和技术的基础上，不断创新，重大科学实验设备国产化率大于90%，科学实验不断深入，已吸引大批国外科学家来华开展科学实验，并且美国能源部已将EAST列为未来美国磁约束聚变合作的首选装置。自今年2月开始本轮EAST科学实验以来，超过100位的国外科学家来华开展广泛的合作研究。实验中，国内外科学家们围绕高参数长脉冲等离子体相关科学技术问题开展了大量的科学实验，取得了一系列新结果和大量的科学实验数据，为未来更高参数的长脉冲物理实验奠定了很好的科学技术基础。

400秒等离子体运行

稳定重复的长脉冲H-mode运行

www.ipp.cas.cn/.../t20120710_96336.html

这是大陆在2012年做出的一个重要结果，而且EAST所取得的数据是在没有“中性束加热”和“电子回旋加热”的基础上做出的，意思就是这个超出目前国际最好水平20倍的数据，完全是通过微波可控加热完成的！就是说在EAST的辅助加热装置完成后，这个数据还可能大幅度提高。

版主是高能物理的专家，想听一听版主的分析。

“

钱投下去自然有进步，但是这些技术性的指标突破和最终要发电没有关系，因为他们对真正的难关还是无解。这些新闻稿只是用来骗经费的。

我的Motto是“Truth And Logic”，“事实与逻辑”，所以有时会写些文章来批判媒体所刊登的虚伪宣传。现代社会里的虚伪宣传当然是为各式各样的自私特权服务，而他们不怕被揭露辟谣的原因又依其靠山分为几类：有政治靠山的，有经济靠山的，和有专业知识门槛的。这些搞核聚变的属于最后一类。

twinkleus

2015-04-09 00:00:00

那版主认为最难突破的难点有哪些？是否在可见的将来是无法克服的？

chenwj

2015-04-09 00:00:00

请看版主“永远的未来技术”一文。

twinkleus

2015-04-09 00:00:00

我知道版主主要认为中子是一个无法克服的障碍，会导致能量的急剧损失，或导致内壁材料的快速失效及核污染。但是，我也知道大陆不像美国和欧洲一样，在看似无望的基础学科上花大力气。进一步说，中美都是研究过氢弹和中子弹的，对中子的特性是有相当深入的研究，而且这些知识都是这些国家的最高机密之一。同时从公开的资料显示，大陆很多研究氢弹的专家都转入研究可控核聚变项目，所以我希望版主能从上面的信息当中找到一些积极地信息。

“

EAST是比ITER小半代的先期实验，他们这次吹嘘的“成就”还是在用磁场约束等离子体的技术细节上。

这些实验并不是完全没有价值的：高温等离子体本身就是一个物理研究的尖端项目，但是这是纯粹的基础科研，也就是为了新知识而研究新知识。它的实际应用或许包括氢弹的改进（我对那方面完全无知），但是绝对不包括发电。所以我的批评只针对核聚变电厂这类的不诚实吹嘘；如果投资方是为了基础科研或者改进氢弹而继续推进这方面的研究，我完全没有负面意见。

南山卧虫

2015-05-06 00:00:00

今天刚看到个新闻：

75天到火星！美国电磁飞船或打破牛顿第三定律

mil.cankaoxiaoxi.com/bd/20150506/769260.shtml

请问这个技术有可能吗？

“

这是不可能的；全文都是假造的。我真是不懂，为什么网络上会有人以纯骗人为乐；浪费自己和大家的时间，摧残社会的集体智慧，只为了看笑话？

南山卧虫

2015-05-07 00:00:00

谢谢指教，这我就放心了，原来还有点怕自己落了昵。

“

下次若看到打破热力学定律、牛顿定律和相对论的，它就是骗人的。

Kopitiam AtKlang

2015-06-05 00:00:00

1)ITER 是International Thermonuclear Experimental Reactor 的缩写。

2) 参考这篇<http://goo.gl/OLMsZS> (聚变能源或成一场空梦：终极能源实验遭遇坎坷)。在20世纪70年代，托卡马克的前途似乎一片光明，有些研究者甚至预言，到20世纪90年代就能建造出聚变核电站来。当时唯一的挑战就是，如何把研究型反应堆放大到实用尺寸，一般而言，托卡马克结构越大，其中的等离子体能达到的温度就越高，核聚变的效率也就越高。

然而问题渐起。等离子体内部能传导电流，受自激电流的影响，等离子体会变得弯拱扭曲，形成剧烈的乱流，这些乱流像鞭子一样抽打等离子体，将其甩出磁笼，冲击装置的外壁。于是，随着等离子体温度升高，必须要有更大的托卡马克来提供额外的空间，同时还要有更强的磁场来约束等离子体。这两者都需要增大线圈中的电流，而更大的电流意味着更高的能耗，结果很清楚：托卡马克越大越强，它就需要更多的能量来维持。

这种正反馈意味着，普通的托卡马克装置永远也无法输出净能量。对此，包括李秀景在内的研究者只知道一种招架方法：超导，即利用有些导体在很低温度下电阻消失因而没有电能损耗的特性。如果托卡马克的电磁铁使用超导材料，只需注入一次电流，它就会一劳永逸地运转下去。这样能耗虽然降低了，但花费却非常巨大，超导体是一种特殊、昂贵的材料，而且为了维持超导状态，必须用液氮一直冷却它们，使之处于非常接近绝对零度的状态。

3) 核终的讨论串提到

核融合真正的问题，也不是在中子的控制问题，把核融合包封性的问题导向中子无法控制是一种误导或是不具论证性的推断，目前电磁核融合是使用离子替代中子，真正的问题在于无法有净能量的输出，一般咸信是包封时间不够久，而破坏电磁包封的主因，来自于不纯物混入电浆，与中子不受控，没有关系。

<https://goo.gl/qEltyC>

“

你不是学物理的，请不要拿一知半解的认知来哄人。我的时间有限，不能一个一个人地教。文章已经写了，补充材料得你自己去找。如果你的基础教育不够，不能理解，那就不该在这里下断言。美国人写文的步调和中国式的不一样，翻成中文很容易被误解。你只凭着一篇翻译过来的科普文，就要来否定有专业教育的人的意见，未免太自不量力。

磁场控制等离子体的困难，是可以靠技术和材料的进步来解决的。如果ITER还没有完全解决，下一代也必然会做到。

中子的处理问题是物理困难，这才是工程手段无法解决的。

最后说一句，为了自己面子而在留言栏死鸭子嘴硬纯抬杠的，我会直接删除。我的部落格是为了人口中前0.1%的精英而写的；如果没那个水准，要旁听我不介意，要发言就必须以不打扰正题为前提。

我原来的理解是托卡马克的本身的困难只是等离子体约束上的大量艰巨工程难题。没有想到过中子屏蔽的问题。

但是还是有些不解之处，为何中子屏蔽不能放在超导磁铁及真空腔体内部呢？

我google了一下ITER的设计，似乎目前托卡马克的概念都是把中子俘获吸收材料及gamma屏蔽材料放在腔体里面，是第一层最直接接触到等离子体的设备。中子屏蔽体会有1m厚度以上，俘获中子后会产生大量热量被屏蔽材料中的冷却水管回路吸收热量，将热量带出托卡马克来发电。

长期运行时中子屏蔽材料肯定不可避免会被中子辐照损伤并活化带有放射性，从一些托卡马克的新闻照片来看，那些屏蔽材料都是砖块一样，应该可以较为方便的拆下替换。

本身中子材料应该不贵，所以看起来中子并不是目前最大的问题。

您提到如果为了发电，中子吸收这一步必须放在托卡马克外面，这是为何呢？

“

中子的穿透力很强，这是因为它是电中性的，所以所谓的中子屏蔽，只能靠原子核藉强作用力来与之反应。但是强作用力的距离很短，反应截面很小；反应截面最大的是氢原子核，所以水是很好的中子减速剂。

理论上可以把水管装在磁线圈内部，但是这就有了新的问题：1）磁场必须做得更大更强，但是人造磁场是有极限的；2）内壁或许可以用砖块，但是水管却是承压结构（里面是极高压超临界水）。

仔细想想，中子携带了核聚变反应后的大部分动能，电厂必须把它吸收到水里，所以你看到的那些砖块并不是用来屏蔽中子的，而是用来屏蔽等离子体的。这是因为等离子体遵守波茨曼分布，不论磁场多强，总有一些离子的动能特别高，能够突破电磁障壁。

因此，真正的中子屏蔽其实正是那些水管，问题的核心也就在这些水管，它们不但是承压结构，还承受了全剂量的中子轰击，因此必须经常更换。人类还没有发明能在高放射性环境下，经常更换承压结构的技术。

这些水管是远远不足以屏蔽全部中子辐射的，所以连磁线圈也会需要定期更换，只不过是像水管那么频繁；不过总体来看，仍然是每隔几个月就必须把已受高辐射污染的整个反应堆拆开重建。人类若有这个技术，还是先把车诺比和福岛的反应堆清理一下吧。

正文里的那句话的确写得太简略了，我已更正。

kaling

2015-12-11 00:00:00

网络上每次提到为什么人类要登月时都会提到月球上的氦3,这东西核聚变不是不产生中子么?还是需要的温度太高不具可行性?

“

正是因为氦3聚变不产生中子，所以科幻小说里常常拿开采氦3作为殖民月球的经济动机。

实际上氦3聚变要求的温度比氘-氚聚变高十倍左右，远非目前的技术所能达到的。此外，虽然没有屏蔽中子的难题，但是怎样把聚变产生的热能有效地取出用以发电仍然是个未解的问题。

Terry

2016-09-22 00:00:00

王博士对这个新闻有什么看法？

www.chinanews.com/gn/2016/09-17/8006008.shtml

以我有限的科学水平来理解这新技术好像是把氢以溶液的状态来储存，到车里才把氢重新分解出来用，而不是以高压或低温直接压缩氢来储存。这样的话是不是能解决氢的安全问题？还是说这只是个炒作？

“ 这是一个安全的储存技术，但是密度很低，重量、容积都太大，还不如用电池。
此外，从生产点运输到消费点的问题还是没有解决。

[返回索引页](#)