



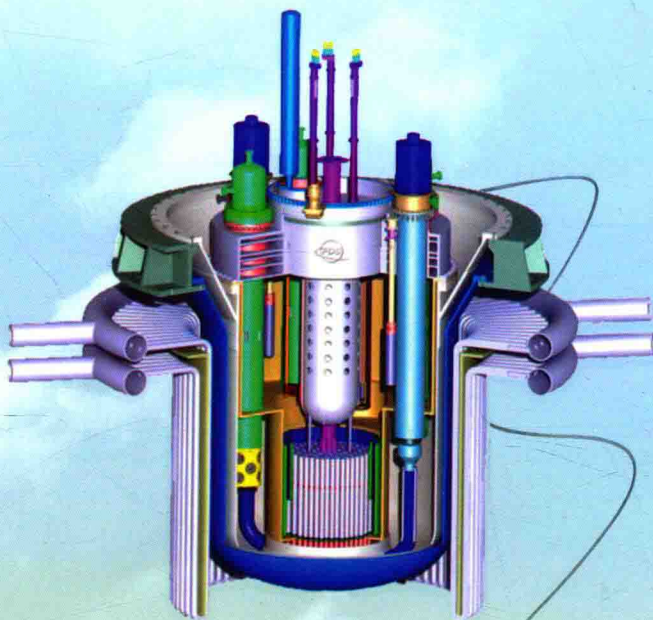
中国科协学会学术部 编

革新核能概念

新

观点新学说学术沙龙文集

101



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

新观点新学说学术沙龙文集

革新核能概念

中国科协学会学术部 编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

革新核能概念 / 中国科协学会学术部编. —北京: 中国科学技术出版社, 2017.5
(中国科协新观点新学说学术沙龙文集)

ISBN 978-7-5046-7470-8

I. ①革… II. ①中… III. ①核能—文集 IV. ①TL-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 083302 号

选题策划 赵 晖

责任编辑 夏凤金

责任校对 杨京华

责任印制 张建农

出 版 中国科学技术出版社

发 行 科学普及出版社发行部

地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮 编 100081

发行电话 010-62103130

传 真 010-62179148

投稿电话 010-63582180

网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm × 1092mm 1/16

字 数 148 千字

印 张 7.5

版 次 2017 年 7 月第 1 版

印 次 2017 年 7 月第 1 次印刷

印 刷 北京长宁印刷有限公司

书 号 ISBN 978-7-5046-7470-8

定 价 18.00 元

凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换。

倡导自由探究

鼓励学术争鸣

活跃学术氛围

促进原始创新

序 言

纵观世界核能的发展历程，从早期的费米堆等第一代反应堆，到商业化、标准化的第二代反应堆，再到第三代堆、第四代堆以及外中子源驱动的次临界堆、聚变堆等革新核能系统，每一个概念的提出与推广都伴随着历史的经验与教训，核能的发展史也是核能系统概念的革新史。

中国是当今核能发展最快的国家之一，核能的清洁高效使之成为中国能源结构调整的重要手段。根据 2012 年国务院通过的《核电安全规划（2011—2020 年）》《核电中长期发展规划（2011—2020 年）》，到 2020 年规划装机容量达到 5800 万千瓦，在建 3000 万千瓦。截至 2015 年 10 月，中国大陆已有 26 台核电机组投入商业运营，在建核电机组 25 台，在建规模世界第一。

2015 年 9 月，在中国科协学会学术部的支持下，中国科学院核能安全技术研究所·FDS 团队与中国科学院中子输运理论与辐射安全重点实验室共同承办了中国科协第 101 期新观点新学说学术沙龙，我有幸和国家核电技术公司专家委员会专家林诚格老师共同主持本期沙龙。本次沙龙以“革新核能概念”为主题，组织了多学科、多领域的专家共同探讨核能利用的新方法、新概念、新装置，探讨核能系统发展的现状和未来趋势，对我国及世界的核能概念进行开放性、创新性、前瞻性的思考和研讨。沙龙邀请了来自能源政策、核能科学、核能工程以及社会管理等研究领域专家，发言涉及我国核能形势、内陆核电、最新核能安全标准、高温气冷堆、空间核动力、沸水堆新概念、聚变堆新概念以及其他革新反应堆的研发与推广等。

参加本次沙龙的既有核能领域的资深专家，也有富有激情的年轻学者，大家围绕社会关注的核能发展问题展开激烈探讨，既丰富了研究视角又激发了学术灵感，还提出来一些值得思考的见解：核能发展，特别是能源战略、安全评价、以

及核电厂运行等方面，需要引入更独立的第三方评价机构；随着新能源技术的进步，核能领域需要提出革新概念以适应社会发展的需要；核电站安全标准的不断演进，革新核能需要采用最先进的安全技术和安全标准，同时也要在经济性上取得突破；核能的发展离不开公众的支持，应重视公众接受以及科普教育的研究，还要积极推进新媒体在核能科普领域起到重要作用。

根据中国科协学会学术部的要求，我们对所有专家的发言和讨论内容进行了整理，并经专家确认后出版本次沙龙文集。

吴宜灿

2015年10月

目 录

核能发展趋势.....	吴宜灿 (2)
尽快启动内陆核电建设.....	俞健国 (4)
核安全发展趋势与最新国际核电安全标准.....	林诚格 (32)
从高温气冷堆看核能研究的困难.....	雷奕安 (45)
空间核动力.....	赵守智 (56)
沸水堆新概念.....	杜铭海 (63)
Z 箍缩聚变 - 裂变混合能源堆的研究进展.....	王 真 (79)
革新反应堆研发与推广中存在的问题与面临的挑战.....	房 超 (82)
专家简介.....	(97)
部分媒体报道.....	(106)

主题一：

核能发展专题

时 间：

2015年9月7日上午

地 点：

合肥

主持人：

吴宜灿 中国科学院核能安全技术研究所所长，研究员

吴宜灿：

首先，我代表革新核能概念学术沙龙承办单位中国科学院核能安全技术研究所，对大家来参加会议表示最诚挚的欢迎，这是中国科协第101期新观点新学说学术沙龙，这个学术沙龙跟我们以前的学术会议不太一样，有自己很鲜明的特色。

核能发展趋势

◎ 吴宜灿

中国科学院核安全所（以下简称核安全所）今年已经组织各种学术会议六七次了，我们非常重视这次会议，虽然会议规模不是很大，我们第一句话想强调就是在座的都是专家，这里没有领导，我们申办、承办这次会议的时候，也是特别看重沙龙的这种特点，回归科学的本质，科学的本质就是批判，否则就不是科学，就是要发现问题，解决基本问题，这是我的理解。

核安全所成立的时间比较短，只有三年多，是从以前的中科院等离子体物理研究所分出来的，还合并了中国科学技术大学一些核专业实验室。这是一个新创建的联合单元，是新的研究所，所以我们希望也有新的氛围、新的形式，希望有所不同，总在追求不同的有价值的东西。我们希望核安全所的定位，第一是基础科学研究，第二是高端人才培养，第三是成为核电站、核设施或核机构相应的技术支持单位，并且希望将来成为这方面的第三方评价机构。我们在各种文化氛围和形式上也在营造一个自由的、开放的、公平的学术氛围。这次咱们不讨论很专业的具体技术问题，而是希望有革新、有完全不同的看法和角度。

为什么要去这么讨论这个事？我们的核能发展形势整体是好的，但也有很多现实问题。一个是中国的能源形势，大家已经看到的，面临各种各样的减排压力，这不需要过多解释，能源需求是很紧迫的，另外环境保护压力也是很大。

说一下当下世界核电的情况，现在全世界正在运行的机组有 400 多座，到 2015 年 9 月是 436 座，正在建设的核电机组有 67 座，这个发展规模是非常大的。咱们国家核电中长期规划是到 2020 年 5800 万千瓦在运，在建 3000 万千瓦。各种反应堆加起来差不多 100 座左右。可以看到，规模也是很大的，这是已经确定的。咱们现在在运行的有 26 台，在建的有 25 台。

在 2014 年底国家出台了国家核安全规划，这也是一个很高规格的文件，未

来有很大的投资，在核安全方面要加强，国家非常重视这件事情。习主席在2014年核安全峰会上说：“要使核能事业发展的希望之火永不熄灭，就必须牢牢坚持安全第一原则。”咱们也罗列一下核能面临的问题，一个是核燃料有限的问题，当然观点有很多，有的说从海水来，咱们可以用几千年，无非是经济等原因在影响；第二个是放射性安全，核电站运行的时候都有放射性问题，事故可能会很多；第三个是核废料累积问题，特别是长寿命高效核废料，百万年的半衰期，没有很好的解决办法，这是事实。还有其他问题，如核不扩散，更多是跟技术直接相关，还有跟技术间接相关的，如经济性等，还有很多。

核能要取得很好的发展，一定要找更加先进、更加安全、更加好用的技术形式去解决以上问题，所以我们需要革新的，革新这个概念可大可小，咱们的在运核电是二代加，在建的是三代，我们现在正在研究第四代，当然我们还有第四代以后的更加先进的概念，还有核聚变。希望大家相互启发，找到一个很好的方向去相互创新。

革新我讲的第几代，实际上是从技术成熟度的角度去讲的。从核反应能谱分为热堆、快堆，从冷却剂分有水堆、铅基堆、熔盐堆等。核聚变里头也有很多，如托卡马克，现在我们岛上有一个所叫等离子物理研究所，做托卡马克磁约束聚变的。还有惯性约束，还有冷聚变等，各种各样的很多，这些还在发展之中的核聚变概念或者技术，还没有走到成熟。核裂变二代正在发电、三代正在建设、四代正在研发，这是裂变、聚变的情况。现在有一种趋势，如小型化，像空间反应堆、海洋反应堆，还有工业应用反应堆，还有可以做得很小，桌面、篮球式的反应堆也在发展。核能的运用方式是多种的，只要发挥聪明才智，还是有很大的发展空间的，只不过传统上更多集中到大的核电站发电上。对创新的东西，需要创新的氛围去支持，这里既要文化氛围去支持，也要国家政策各个方面去支持。我们这次沙龙也希望大家相互启发，提出各种各样的方式，促进这个领域的繁荣，这也是我们的一个想法。

尽快启动内陆核电建设

◎ 俞健国

广义来说，从二代到三代，安全性提升也是一个核心，我的观点是：建议尽快启动内陆核电建设。

首先核电还是属于电，这是社会可持续发展所需。人类社会从钻木取火到工业革命，再到我们现在进入的第三次工业革命，电力是人类进步的画笔，描绘出当代社会的繁荣。对于我国的能源结构，我们已经比较熟悉了，化石能源为主导，安徽原来是产煤大省，但现在安徽省两淮煤矿浅层仅剩余 80 多年。另外大家也非常清楚煤电会带来雾霾，我们作为世界第二大经济体，需要思考这样的问题。

从二次能源来看，根据 2014 年电力生产的统计，也能看到我国目前的发电以火电为主。从能源需求的趋势，我们也能看到我们在往中部、西部发展，经济增长比较巨大，中部地区 GDP（国民生产总值）增长率也高于沿海，电力需求也会逐渐旺盛；从世界来看，全世界的核电主要集中在发达地区。美国的核电 69% 是在内陆，欧洲的核电大部分也位于内陆。我们在跟捷克谈的都是内陆核电。我们国家目前核电基本上分布在沿海地区，不管是在建的还是在运的。

福岛核电事故对人们的伤害主要还是在心理上，行业协会在福岛事故之前就已经多次进行了这样深入的研究。福岛核事故在我国是不可能发生的，我国目前满足国际核电建设的最高安全要求，现在的内陆核电采用三代，安全是可控的。在内陆核电选址上，考虑到地震、用水等方面都是满足建厂要求，没有污染问题。从排放角度来讲，内陆放射性排放标准要比沿海还要低一个数量级，下游水质达到饮用水的标准，最近中国工程院、国家能源局也委托做了这方面研究，结论是一致的。

下面介绍一下内陆核电安全性保障，我们认为安全是一种可接受的风险，安

全并不是百分之百。内陆核电安全性我们以芜湖核电为例。芜湖核电离芜湖市 38 千米，离合肥 107 千米，紧靠长江。分布在三个山头上，东边山头上是两台，一共有四台。核电选址要考虑地震地质、工程地质、工程水文等方面。地震方面，已经得到国家地震局的批准，我们现在所用的值是 0.3 克，裕度还是比较大的。附近没有能动断层，现在国家所有的核电厂址都是这么一个要求。

一块核岛坐落在稳定的地基上，我们要对滑坡、泥石流做评价，不允许有这样的情况发生。水文方面，我们是从单个因素和组合因素来考虑，一个考虑是在上游地区的最大可能洪水，这是一个确定的方法；另外一个结合三峡水库、丹江口水库等考虑。在这个基础上加上 0.79 的裕度，也就是芜湖核电及目前国内所有的内陆核电都是干厂址。

极端气象方面，我们要考虑两个纬度的龙卷风，要调查和评估它们对核电技术带来的一些冲击。在外部人为事件方面，在电站 5 ~ 30 千米范围内，对所有移动和固定危险源，包括铁路、机场、航道上一些运输危险源都要进行甄别和计算，确保没有外部的潜在人为事件影响。应该这么说，我们国内所有的核电站，不管是内陆的还是沿海的，都满足这样的条件。

气象塔从 2008 年到现在都在观测，从风速、风向、稳定度来计算大气因子，在正常情况下大气弥散对剂量有影响，我们所有核电厂址用到的因子计算都是比国家核电标准低 1 ~ 2 个两级。

水弥漫方面，长江最小流量是 4629 立方米 / 秒，这个流量还是比较小的。人口分布也是满足的。应急计划方面，要求两个不同方向的应急，我们的厂址对面有一个岛，我们也做过分析，厂址不存在这种应急困难，有一个情况还对芜湖有利，地理位置上完全属于芜湖市，相对行政协调的应急撤离难度没有了。从冷却水的角度，我们现在都用的二次循环，对于长江流量来说还是比较小的。我们所有的核电厂都是按照最严格的标准执行，按照 20 世纪七八十年代从国际上引进的法规来操作，技术安全采用 AP1000，非能动理念大大提高了安全性。

针对我们内陆核电厂址的选择，研究水资源安全应急措施，应该这么理解，就是我们的核电厂实际上是按照设计基准来考虑设计的，在发生事故的情况下所有的废水都会包容在这个反应堆内。为了消除公众的一些疑虑，我们做了应急预案。但是福岛核事故对我们的借鉴意义不大，从事故发生机理上说，这种核事故

在我国内陆核电站是不可能发生的。

我们请研究单位、设计院做了预估，假定发生了最严重的事故，要考虑对环境的影响可控，做到能存储、隔离和处理。地面下有整个安全厂房、辅助厂房，水的滞留区的贮存量是大于核电站产生的废水量的。核电站还有三个储罐，正常运行是在0米以下无直接通室外的接口，这避免了废水泄漏。目前可以将净化废液送出，维持闭式循环处理，我们有这么一个工艺。这是福岛核事故以后采用的一个设施。

部分公众认为我们可以不用核电，可以用清洁能源，如太阳能、风能。太阳能发电成本高，不能持续稳定，水电目前主要在西南部，另外目前国家的水电也基本上开发得差不多，风电成本高，也是不稳定，利用起来还有赖于储能技术的发展以及成本。从负荷角度看，当初为什么把核电站放在沿海？目前随着长江经济带的开发需要这样的负荷，内陆核电是不是比较好的选择，这是需要思考的。

林诚格：

我讲几个观点。第一个观点，内陆核电这个命题是不是伪命题，因为如果在内陆建设是不安全的，在沿海建也是不安全的，沿海人口密度和工业发展规模，以及如果产生核污染海洋会造成全世界的问题的这些情况，说明它的问题的严重性也不亚于内陆。所以不论建在内陆还是沿海，都要解决核电安全问题。针对内陆核电安全问题，全世界的核电国家从没有提出过，国际涉核机构也从没有提出过，只提一个问题，核电安全。第二个观点，世界上发生过三次严重的核事故，每一次事故之后我们都会总结经验教训，解决问题，不断往前发展，最近一次的福岛核事故又给了我们教训。在这三次教训里，我们提出许多核安全问题，但没有一个问题是在内陆建核电站的问题。福岛核事故以后国际上召开那么多会议，列了很多要改进的课题，没有一个是针对内陆核电安全的，所以提出来这个内陆核电安全命题非常滑稽的。

雷奕安：

能建的话，哪一年建成？

俞健国：

不知道，还没有立项。

雷奕安：

如果能建的话希望哪一年建成？

俞健国：

8 年差不多。

雷奕安：

AP1000 寿命是 60 年，一般会延 20 年，那就要工作到 2103 年，21 世纪海平面要上升 0.8 ~ 2 米，不知道这个有没有考虑？

俞健国：

海平面上涨的数字要核实，包括说到海啸，我们所有的沿海核电厂都考虑到了海啸。内陆离海岸线 200 多千米，影响肯定没有那么大，影响不需要算。

杜铭海：

海面标高跟这个有关系。

俞健国：

国际上通常会考虑，有冰就要考虑融冰，如果有水库也需要考虑，降雨水因子也要考虑。

雷奕安：

还有一个问题，说是全球有 400 多个运营堆，还要考虑有多少堆已经关掉了，日本、德国的很多反应堆已经关掉了，是不是应该说一下这个问题。

房超：

说一下我的观点，刚才跟俞老师也讨论了，如果内陆核电发展，一定是解决两方面的问题，一个是业界本身，另一个是公众的问题。在业界本身方面，我总结一个核心问题，内陆核电形成不了废水排放，刚才讲了很多方法，我非常高兴已经做了这么多。公众的疑虑也可以解决，涉及的资金并不多。如果把这两个问题都解决了，内陆核电发展会比较好。

杜铭海：

内陆核电的建设是一个沟通问题，也是一个利益问题，关键是利益分配。我一直在跟踪国内外各种反核观点，没看到有什么像样的理论或实践依据。咱们讲实质性问题。我和林总一样，一辈子在堆上工作，有切实的体会，最不应该支持核能了。但中国在能源和环境两个方面，不发展核电，无路可走。我从1964年就在反应堆上工作，说老实话有很多问题。内陆核电的建设，关键是怎么解决老百姓的思想问题，不是技术问题。

吴洁：

无论是内陆还是沿海兴建核电都要考虑本国国情，比如有的国家沿海核电不多，其中一个原因是富人居住在这些沿海地区，好像国内也发生过类似的情况。此外，发展什么样的堆型也是我们要考虑的，反应堆小型化也许是将来核电发展的趋势，有利于公众接受和智能电网的发展。2015年5月我们在日本开ICONE23会议的时候，美国人讲他们要发展第五代堆，其实第五代堆很可能就是小型化的。

杜铭海：

第五代核能的发明权应该属于王炳华。

吴洁：

革新核能，比如合金冷却的小型反应堆，可以把对水资源污染的风险降到最低，我们要加大对这些先进核能系统的研发，在小型堆的设计研发过程中投入新

的安全设计理念，希望国内的研发机构还有设计单位加强安全设计理念，从核电项目的源头确保安全，着手研究网络攻击造成的核电安全问题。

杜铭海：

三代核电是美国人炒起来的，这样分“代”不科学。国际原子能机构就不主张这样的分代。现在世界上很少讲了，倒是中国人还在坚持，说非“三代”核电不建，2.99代也不行啊，有点“莫名其妙”。还有核能“三步走”的提法，也有点过时了，这是什么时候的事啊？要有新思维。核能发展不能走老路，要研究新形势。有人说要进入“核能时代”了，但现实不是这样，现在核能的前景不乐观，世界核能机构对形势的估计，对西欧就不乐观，法国和德国现在复兴的不是核能。这个问题相当严重，我们这几年少建40台核电机组。我们目前实际上是举棋不定，想要很快搞上去也不现实。

赵志祥：

核能可持续发展有四个问题，一个是资源提高的问题，一个是运行安全的问题，一个是产生的放射性废物如何妥善处置的问题，一个是公众接受度问题。公众接受度是一个是政治、社会、心理多种因素综合的问题，技术问题是可以从技术层面加以解决的，这个我就不说了，但是社会、政治、心理方面的问题就不能简单地靠技术来解释说明。我赞成发展内陆核电，我也同意刚才说的内陆核电安全问题实际上是一个伪命题这个说法，既然是伪命题为什么还会提出“十二五”期间不发展内陆核电？这有社会和政治的原因，比如如果发展内陆核电，你怎么来保证内陆水源不污染，这是底线。如果长江水系、芜湖被污染了，哪怕只有一个星期也绝对是不可接受的，这就是政治问题。核电出了问题，不管多远都有影响，这是心理上的影响。俞总的报告非常有说服力，但这是对专家来说的，如果这样去说服公众，我觉得还差一点。一定告诉老百姓和政府最坏的情况是什么。比如最坏情况下水源不会被污染，国土不会像切尔诺贝利那样几万平方千米永久性无法使用。

林诚格：

我个人看法，各种能源都有其优点和弱点，所以讨论核能发展的时候，一定要考虑再生能源的发展情况。中国的能源结构中多种能源协同发展。作为煤碳资源这样丰富的中国，煤耗低的还可以发展，再生能源肯定是要大发展。在水电、光电、太阳能方面，我们投入的很多，所以核能跟这些能源必须协同发展，未来15~20年是各种能源技术发展相互竞争的关键时刻，核能用现有的系统大概能够在15年内有市场，15年以后核能方面要有创新，因为光伏发电、风能发电、聚变、储能技术将会大规模发展，所以要应付15年和20年后各种能源的发展。现在为什么还有15年和20年的时间？因为还没有达到有效的规模。我们看德国，现在德国的光伏发电、风力发电已经占了全部能源的40%，发电成本比中国同样的光伏发电平均贵三倍，但是产生的效能高，我们的一度电产生效能低，所以经济上仍然有竞争。我接触了一些可再生能源研究，中国在储能基础上做了大规模的工作。如果能使用太阳能、风能等可再生能源不就非常好吗？在15~20年中，核能还只能靠第三代，因为它已经成熟了，发电效率高、持续时间长、可利用能力高，可以解决当前的问题。长远来看，如果没有更大的创新或者聚变的出现，我认为核能的竞争前途并不是那么光明。

杜铭海：

近期（30年以内），发展核电还是现代轻水堆核电技术。这是美国现任能源部长在2003年得出的结论。现在美国和世界上还没有任何迹象能推翻这个结论。我非常关心这个问题，本来我想说的一句话就是，因为福岛核事故我们少建了40台机组，压得老核电人喘不过气，现在新的核电人也关心这个问题。

林诚格：

解决了。今天不是讨论这个问题，我只回答你一句话，所有的技术问题已经解决。

杜铭海：

王炳华说“不影响下面的问题”就是这个意思。