
双堆点亮清华梦，一甲绽开百拾香——清华大学110周年校庆暨核研院60周年院庆专刊

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/20561.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

双堆点亮清华梦，一甲绽开百拾香——清华大学110周年校庆暨核研院60周年院庆专刊。
2021年，清华大学迎来110周年华诞。清华大学秉持自强不息、厚德载物的校训，坚持顶天、立地、树人的宗旨，开创了中西融汇、古今贯通、文理渗透的办学风格，不断深化教育教学改革创新，为中国乃至世界培养了一大批优秀人才，在社会主义现代化的各项事业中作出了巨大贡献。

与此同时，清华大学核能与新能源技术研究院(简称核研院)也在2020年迎来60周年院庆。核研院自诞生之日起就为国而生，为国而长。60年来，以两弹精神为鼓舞，数十年如一日沉潜砥砺，不慕虚名，踏实前行。在党和国家的领导下，一代代核研院人牢记建堆报国，建堆育人的初心使命，攻坚克难，瞄准国家重大战略需求，坚持核心技术自主创新，取得了一批国内首创、世界先进的重大科技创新成果，并为国家核能发展事业培养了大批学术型人才及工程领军人才。

核研院以核为主要研究特色，聚焦核能科学与工程、核燃料循环与材料、核环境、能源系统分析与气候变化、新能源等领域，覆盖反应堆物理、热工、机械、电气、控制、材料等诸多学科，是跨学科战略性高技术研究院。核研院坚持攻关高温气冷堆示范工程关键技术，如主氦风机的研制、基于TRISO颗粒的球形燃料元件生产技术、关键设备的自主创新等，并推进世界首座具有第四代核能系统特征的模块式高温气冷堆示范电站HTR-PM的建成;发展满足小功率用户需求的小型核反应堆，其中自主研发的一体化自然循环低温供热堆技术NHR200-II已卓有成效;进行核安全评审，对核电及各种发电技术进行环境影响综合评价，为电力行业低碳转型提供技术支撑;发展海水提铀、核能制氢和氢储能技术等。

水木清华百十年，建堆报国任担当，李桃并放虽云盛，只照丹心更向前!。2021年，为迎接清华大学建校110周年校庆，在《清华大学学报(自然科学版)》编辑部的大力支持下，核研院精心组织本专刊，专刊组稿也得到了广大师生的积极响应。本期专刊精选11篇综述和论文，有代表性地报道展示清华大学核研院在技术创新、产业化领域取得的最新重要研究进展。借此机会，祝清华大学及核研院在新的历史时期能取得更辉煌的成就!详细内容请阅读《清华大学学报(自然科学版)》2021年第4期清华大学核能与新能源研究院60周年专刊，识别下文二维码或点击http://jst.tsinghuajournals.com/CN/volumn/volumn_4292.shtml即可浏览全文。

综述

01高温气冷堆关键材料技术发展战略

史力，赵加清，刘兵，李晓伟，雒晓卫，张征明，张平，孙立斌，吴莘馨

在我国核电技术自主化发展过程中，堆本体、燃料组件和蒸发器等主要设备的关键材料自主化是一个重要的基础问题。对于高温气冷堆(high temperature gas-cooled reactor, HTGR)，这些关键材料主要涵盖核燃料、高温金属、核石墨、压力容器材料、高温气冷堆制氢相关材料等。受国内材料研发和制造水平所限，高温气冷堆部分关键材料仍采用国外进口材料。该文针对我国高温气冷堆核能技术所需的关键材料技术开展战略研究，研究关键材料的内容和范围、制造产业链、表征和应用等，提出对高温堆技术发展具有支撑性作用的关键材料体系及其工程化技术，并给出技术发展规划和建议。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/270>)

02海水提铀材料研究进展

刘泽宇，谢忆，王一凡，胡铜洋，叶钢，陈靖

铀资源是核工业发展中不可或缺的重要战略资源，发展海水提铀对于保障核能可持续发展和推进海洋资源综合利用具有重要战略意义。实现海水提铀的工程化从根本上依赖于对海水中碳酸铀酰离子具有高效富集能力且综合性能优良的吸附材料。作为海水提铀的明星材料，偕胺肟功能化聚合物因其对铀特殊的亲和力，一直受到国际国内广泛的关注。近年来，结合电化学、光化学和生物化学等交叉领域的研究进展，高吸附容量、高选择性的海水提铀材料也不断涌现。该文立足海水提铀材料的设计思路和合成策略，介绍了近年来国内外海水提铀材料的研究进展，阐明了目前海水提铀面临的关键问题和挑战，分析了海水提铀工程化的经济性，并对未来发展研究方向进行了展望。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/279>)

03能源互联网推动下的氢能发展

曹军文，郑云，张文强，于波

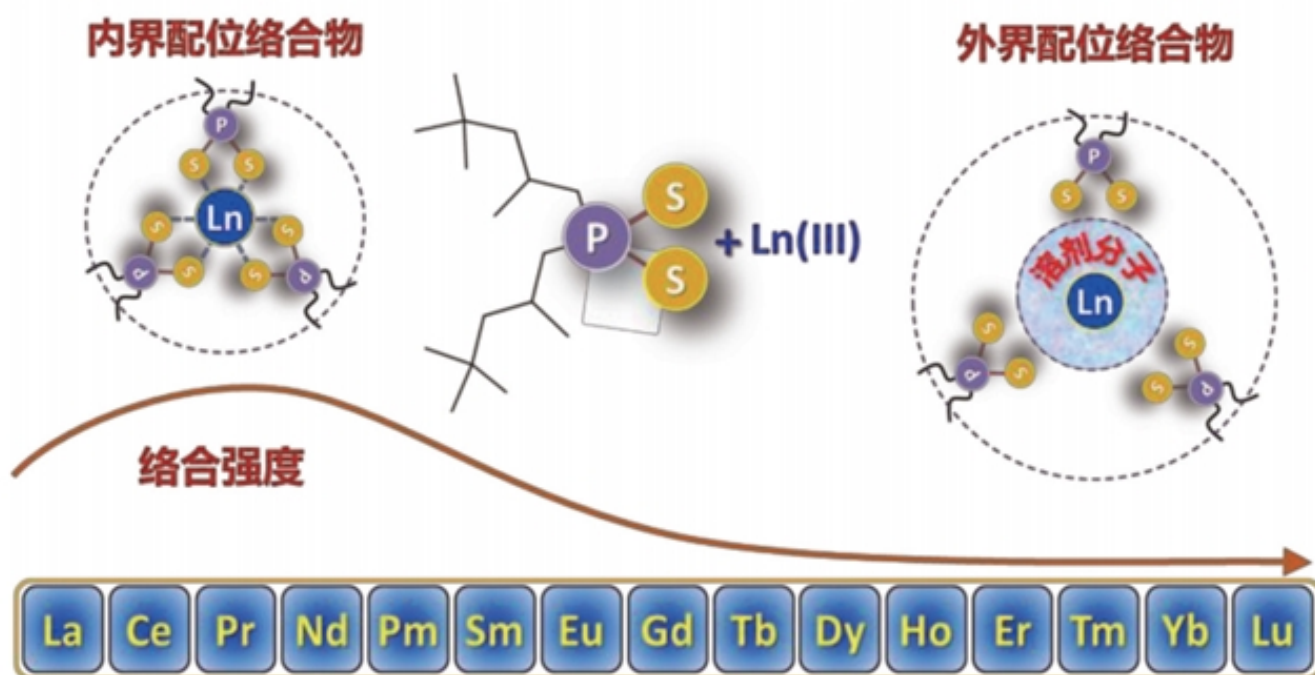
随着当前以化石燃料为主的能源体系资源消耗和环境污染问题日益严重，能源结构转型已经成为世界能源体系发展的重要趋势。能源互联网是以信息传递为基础，以可再生能源和核能为主要一次能源供体，以电能为核心，以储能技术为媒介的新型能源体系，具有智能化、清洁化、操作灵活化等优点，是未来能源结构发展的理想形式。氢能具有热值高、无污染、可再生、长周期储存和远距离运输等优点，能够实现可再生能源-电能-氢能的多样化转换，可作为能量储存、传递和转换媒介在能源互联网构建中发挥重要作用。该文从能源互联网的概念出发，阐述了氢能在能源互联网中的重要地位，并结合清华大学核能与新能源技术研究院(简称核研院)在核能制氢方面的研究成果，综述了氢能和氢储能技术在能源互联网体系下的关键技术的发展现状，并对氢储能技术的未来发展做出展望。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/302>)

04先进核燃料循环中基于二硫代次膦酸配体的三价镧钪分离研究：从基础化学到流程开发

严强，徐超，陈靖



三价镧系与锕系离子具有极其接近的电荷密度、离子半径和物理化学性质，它们的分离是先进核燃料循环领域的关键挑战之一，同时也是世界性的难题。该文综述了20多年来二硫代次膦酸配体在三价镧钪离子分离方面的研究和应用进展，其中重点介绍了清华大学在该领域的研究工作。最后，对未来的研究方向进行了展望。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/312>)

论文

05小型一体化全功率自然循环压水堆NHR200-II技术特点及热力市场应用分析

郝文涛, 张亚军, 杨星团, 郭文利

在减少温室气体排放、缓解空气污染的需求背景下, 减少化石能源消耗、增加核能在一次能源消耗中的占比, 已成为科技界和产业界的共识。清华大学聚焦居民供热、工业蒸汽、海水淡化等需求, 同时兼顾偏远地区发电需要, 自主研发了能够产生1.6MPa饱和蒸汽的小型模块化压水堆NH R200-II。该堆采用一体化布置、全功率自然循环、自稳压、非能动安全的设计理念, 设有中间隔离回路, 可实际消除大规模放射性释放、技术上无需采取场外应急措施, 可贴近城市周边和最终用户建设;同时, 系统设计简化、运行操纵简单、放射性废物量少, 保障了该技术具有经济竞争力。经过试验堆建设和30余年的持续攻关, 该技术已具备示范应用条件。

识别二维码, 可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/322>)

06高温气冷堆示范工程螺旋管式直流蒸汽发生器工程验证试验

李晓伟, 吴莘馨, 张作义, 赵加清, 雒晓卫

研发一种新型蒸汽发生器必须进行一定规模的工程验证试验。清华大学核能与新能源技术研究院在其实验基地建设了高温气冷堆示范工程(HTR-PM)螺旋管式直流蒸汽发生器的工程验证试验回路(engineering test facility for steam generator, ETF-SG)。工程验证试验回路能够模拟HTR-PM运行参数,可对HTR-PM蒸汽发生器一个换热组件进行1:1的工程验证试验。回路设计热功率10MW,氦回路设计压力8MPa,最高设计温度800℃,二回路设计压力18MPa,最高设计温度600℃。在工程验证试验回路上针对高温气冷堆蒸汽发生器完成了几十项热工水力试验,对蒸汽发生器的温度均匀性、堵管后温度分布及其温度展平调节、热工水力瞬态特性、两相流不稳定性等进行了试验研究,验证了HTR-PM螺旋管式直流蒸汽发生器的热工水力和结构设计,并为其调试、运行、低功率及启停工况参数的确定提供了重要数据和参考。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/329>)

07一体化水堆内置式控制棒水压驱动技术研究

薄涵亮，王大中，张作义，姜胜耀，张亚军，秦本科，赵陈儒，刘潜峰，王金海

安全性和经济性满足较小功率用户需求的小型核反应堆为近年来的研究热点，一体化布置水冷反应堆为小型核反应堆的主要堆型之一。核反应堆控制棒驱动机构是反应堆最关键的安全设备，担负着反应堆的启动、功率调节及停堆等重要功能。该文给出一种应用于一体化布置水冷反应堆的内置式控制棒水压驱动技术，包括功率小于50MW的A型和热功率50~300MW的B型2种整体设计方案、部件组成、主要功能和性能等工程研究和应用。为一体化水堆提供了完整的内置式控制棒驱动线，包括其部件组成、联接结构、固定方式和功能；降低了反应堆高度；避免了弹棒事故，增强了反应堆安全性；使一体化布置反应堆更加紧凑、体积小、自然循环能力加强。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/338>)

08高温气冷堆氦气透平压气机和主氦风机研究进展

王捷，王宏，赵钢，杨小勇，叶萍，曲新鹤

具有固有安全特性的模块式高温气冷堆(high temperature gas-cooled reactor, HTGR)具有反应堆出口温度高的特点，可与闭式Brayton循环或Rankine循环耦合，实现高效率的发电。氦气透平压气机和主氦风机分别是与这2种循环耦合的高温气冷堆系统中的关键动力部件，该文针对氦气闭式Brayton循环，分别从稳态与动态特性2个方面揭示其内部循环机理;同时针对循环内核心部件氦气透平压气机，开展2.2MW样机研制与120MW商用氦气透平压气机设计。在主氦风机研制方面，顺利完成了10MW高温气冷堆(HTR-10)主氦风机研制与高温气冷堆示范电站(HTR-PM)主氦风机研制，获得了主氦风机完整的性能数据。为进一步确保HTR-PM项目的顺利推进，搭建了主氦风机综合试验平台，同时测试了2种主氦风机(电磁轴承主氦风机和干气密封主氦风机)的性能。取得的研究成果体现了清华大学核能与新能源技术研究院在自主研发先进核能核心装备技术上取得了重大突破。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/350>)

09流化床-化学气相沉积法制备金属涂层包覆燃料颗粒

杨旭，程心雨，刘荣正，刘兵，邵友林，刘马林

含有Nb、Zr、W等金属包覆层的包覆型燃料颗粒是一种新型的燃料元件形式，在核工业中有重要应用。该文利用流化床化学气相沉积(FB-CVD)法，制备得到了含有金属包覆层的新型包覆颗粒，研究了热态运输与冷态运输2种方式对金属卤化物前驱体的载带，最终成功制备得到了纯相金属Nb与金属Zr包覆层。实验结果表明，金属包覆层可有效提升包覆颗粒整体的力学性能。该文还研究了沉积温度、前驱体运输、包覆层氧化等不同因素对沉积速率的影响。结果表明: CVD制备的金属包覆层可有效提升包覆颗粒整体的压碎强度，但抗氧化性较差，不适用于直接在氧化环境下制备与使用，可作为包覆颗粒的中间涂层。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/361>)

10基于螺旋CT的高温气冷堆石墨构件及碳砖缺陷检测方法

刘仁杰，孙跃文，刘锡明，苗积臣，周立业，丛鹏

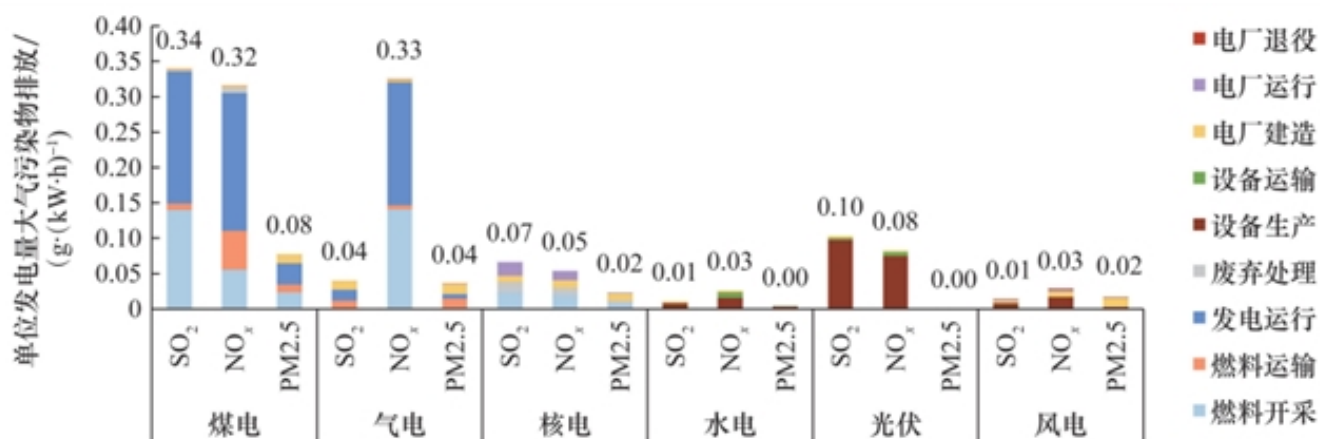
石墨构件和碳砖是构成高温气冷堆(high temperature gas-cooled reactor, HTGR)堆芯及反射层的重要材料，在其生产运输过程中，不可避免会出现缺陷，当使用了有较为严重的缺陷的石墨构件或碳砖进行建设时，将对反应堆造成重大安全隐患。目前传统检测方法主要是基于目视的表面检查，无法检测其内部缺陷。该文提出了一种基于螺旋CT的石墨构件及碳砖检测方案，并采用数值模拟的方式，对大尺寸碳砖模体进行了螺旋CT重建，研究了不同螺距、旋转速度及不同重建算法对重建图像质量的影响。结果表明，螺距对重建图像质量影响较大，在螺距为0.8时可基本满足检测需求;旋转速度对图像质量影响相对较小;在较优参数下，采用CGLS重建算法，最小可检测至 2mm的孔缺陷和宽1mm的缝缺陷。该研究结果对螺旋CT石墨碳砖检测系统及检测方案的设计具有重要参考意义。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/367>)

11中国核电和其他电力技术环境影响综合评价

王彦哲，周胜，王宇，秦旭映，陈福冰，欧训民



核电是清洁的低碳能源，是实现我国2060年碳中和目标的重要技术选择，其放射性排放也是公众关注的焦点。该文通过构建统一的评价边界，采用生命周期评价(life cycle assessment, LCA)方法，分环节定量测算了核电与其他发电技术的单位发电量二氧化碳排放;并基于文献调研，分析和估算了单位发电量的大气污染物(SO₂、NO_x和PM_{2.5})和放射性排放;最后对不同发电方式的二氧化碳、大气污染物和放射性排放的环境影响进行综合评价。研究表明，核电和可再生能源发电可以使单位发电量碳排放降低90%以上，并大幅度减少大气污染物排放，而核电对公众的放射性影响与煤电相当，或低于煤电。因此，应大力加强核电的公众可接受性的科普教育，制定持续稳定的核能中长期发展战略，推动电力系统清洁低碳转型。

识别二维码，可以访问全文

(全文链接请点击<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/Y2021/V61/I4/377>)

《清华大学学报(自然科学版)》由教育部主管，清华大学主办，立足清华，开放办刊，已被国际性文献检索机构EI、CA、MR、INSPEC、ZBL等和国内全国性文献检索机构中文核心期刊要目总览、CSCD、CNKI等收录，投稿网址：<http://jst.tsinghuajournals.com/CN/1000-0054/home.shtml>。

来源：《清华大学学报(自然科学版)》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发