

# 基于水沙过程的典型多面源营养物质输移机理与生态防治技术达到国际先进水平

■信息播报

## 全球首家中文国际远程医疗项目开通

日前,依托长江水利委员会长江科学院的三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心“三峡库区磷污染生态防治”创新团队取得重要科技进展,完成的“基于水沙过程的典型多面源营养物质输移机理与生态防治”成果荣获2015年度大禹水利科学技术一等奖。参与完成该成果的还有中国科学院测量与地球物理研究所、武汉大学、清华大学、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所、南开大学等单位。项目主要完成人员有:杨文俊、杜松、洪松、汤显强、张亮、王振华、黄岁樑、吴敏、庄艳华、李健、李青云、曾祥、王兴奎、朱波、潘保柱。

随着社会经济快速发展,多面源营养物质过量排放,导致我国湖泊水体富营养化程度和范围快速增加,严重影响了我国水资源安全利用,形式十分严峻。维护水生态系统健康,控制水体富营养化,已成为

我国民生水利和生态水利建设的重点和难点。针对多面源(农业源、城乡源、水产养殖源)营养物质源汇过程拦截削减的必要性以及残余营养物质汇流造成水华的生态调控需求,本项目通过水文学、泥沙动力学、生态学、环境科学与工程等多学科交叉,采用理论分析、原型观测、室内(外)试验以及数值模拟等技术手段,以水沙为载体,以营养物质迁移转移为主线,通过农业源、城乡源及水产养殖源等多源营养物质输移转化机理研究,研发了源头控制、过程削减的生态防治技术,提出了库湾水体富营养化末端治理的生态调控措施,为水体富营养化控制和管理提供了科学依据和技术支撑。

该项目的创新点为:(1)查明了典型农业源头区沟渠泥沙中磷的易释放形态及其释放规律,提出了泥沙磷释放的评价指标,为量化评价不同来源沟渠

泥沙磷释放潜力提供了标准。抓住了微生物对农业源营养物质去除的关键作用,因地制宜地提出了农业源头区营养物质改良型三格化粪池+复合基质滤床组合处理技术。(2)耦合构建了模拟城郊源营养物质负荷的复杂面源污染模型(CA-AUNPS),解决了城郊源营养物质输出无测算方法、估算困难的问题。改善人工湿地微生物和植物脱氮除磷性能,提出了新型间歇曝气人工垂直潜流湿地和生物填料人工垂直潜流湿地,弥补了传统人工湿地无机氮磷处理效率低的不足。(3)探明了水产养殖区营养物质释放规律,揭示了藻类生长对鱼饵营养盐释放的响应机制,阐明了投饵养殖水体中浮游植物数量和群落结构变化规律,提出了采用放养一定比例的花鲢和鲤鱼的控藻措施。(4)建立了可精确表述藻类时空动态过程的非结构网格三维生态动力学模型,量化了水动力条件和悬沙对藻

类水华的影响,提出了增大下泄流量和增加水体含沙量的抑藻方案,为藻类水华的水文调控提供了依据。该研究在农业源(泥沙)、城郊源、水产养殖源等典型多面源营养物质输移机理与生态防治等领域取得了重大理论突破和技术创新。成果发表三大检索论文117篇,其中SCI收录88篇,EI收录15篇;ISTP收录14篇。出版专著1部。获授权发明专利5项,实用新型专利5项,其中2项专利技术已分别入选科技部和水利部的实用技术重点推广目录,具有十分广阔的推广前景。

该项目经水利部国际合作与科技司组织专家鉴定,总体达到国际先进水平,相关成果已成功应用于重大水利工程、重点饮用水水源地、典型城郊河湖及村镇地区,取得了显著的社会效益、环境效益和生态效益。(杨文俊 王振华 贾海)

科技日报讯(记者李颖)11月7日,由中日医院与美国华人医师网络医院联合开展的中美华人医师远程医疗合作项目在北京正式启动。

作为全球首家中文国际远程医疗项目,该项目旨在整合在美执业的华人医师与中国的执业医师资源,使用汉语语言为中美华人提供远程医疗帮助,建立国际化远程医疗和远程培训平台。

“相比移动健康这一泛化的概念,远程医疗是一种职业行为,有很强的专业性,需要一系列的规范和流程来实现。”中日医院院长王辰在启动仪式上表示,该合作项目的启动,标志着远程医疗的国际化进程进入新阶段。

王辰指出,当前,远程医疗正在成为医疗行业的新业态,在未来很有可能成为医疗工作中的主流业态之一。远程医疗具有专业性,中日医院作为国家卫生计生委远程医疗管理与培训中心,有能力、有义务探索远程医疗的模式与机制,建立远程医疗的规范与标准,本次与美国华人医师网络医院开展合作,既是在跨国远程医疗运行机制与模式方面一次有益的创新性探索,也希望能够为中美两国医疗界,特别是华人医师之间的学术交流与合作,搭建一个高品质、高层次、高效率的远程网络平台。远程医疗合作项目不仅将让中国患者通过远程网络享受到美国医学专家的医疗咨询,而且也为希望获得国内医生帮助的在美华人提供了与中国医院和医生进行交流的便捷途径。“该项目启动后,不仅是中国患者向海外寻求医疗帮助的平台,也是海外华人向中国寻求医疗帮助的方便途径。未来,该项目还可以为享有国际医疗保险的旅居中美的人群提供顺畅、便利的全球一体化远程医疗协同保障。”

根据计划,美国华人医师网络医院与中日医院之间将分别设立远程会诊室,建立双方对等的远程医疗平台,为中国百姓提供优质的医疗帮助,将美国先进的医学思想和最新诊疗技术引进中国,为中国患者提供“第二观点”的诊疗建议或医学咨询。在中国,患者只需拨打免费咨询电话即可预约美国华人医师进行远程交流,同样在美国和加拿大的华人患者也只需拨打电话,即可接通美国华人医师网络医院呼叫中心,预约到中国的执业医师,开展远程医学咨询。当中国患者通过咨询确认需要医疗照护时,还可以转入中日医院现有的千余家远程医疗合作医院接受远程会诊,并获得美国华人医师的远程指导。遇到特殊病例需要联合会诊者,平台会邀请更多的世界知名医师提供诊疗建议。

同时,合作还能够通过远程病例讨论、远程查房、远程培训等方式,提升中国医师的诊疗水平。

# 华能2000吨/天级全热回收两段式干煤粉加压气化技术



气联合循环(IGCC)发电装置,取得了良好的运行效果,获中国石油和化学工业联合科技进步一等奖。

上世纪90年代初,为填补大型气流床气化技术的空白,课题负责人许世森博士带领课题组开展了大量的煤气化基础研究和气流床气化关键技术研究,并对国外多种成功的水煤浆气化技术和干煤粉加压气化技术进行了充分研究。在这些前端研究工作的基础上,结合中国煤制多变的特征,许世森博士把研究方向锁定在难度系数更大,但煤种适应性更强、节能和环保性能更优越的干煤粉加压气化上,创造性的引入了化学激冷的原理,提出了两段式干煤粉加压气化技术。

国家科技部“九五”攻关至“十二五”863计划,对两段式干煤粉加压气化技术进行了支持。在这些科技支撑计划的资助下,华能清能院开展了煤气化机理研究、小型热态试验研究、中试研究、工业放大研究和特殊煤种的气化研究,建立了中国14种典型煤种气化动力学特征数据库,对含盖低灰量至高灰量、低灰熔点至高灰熔点多个煤种进行了中试装置的试烧,对中试规模向大型工业规模放大进行了充分研究,成功的建成了投煤量2000吨/天级两段式干煤粉加压气化工业装置。通过装置建设和长期运行,两段式干煤粉加压气化技术形成了以下特征:

- 1.利用化学反应吸热的原理实现高温合气激冷,冷煤气效率高,氧耗低,设备尺寸大幅度减小。采

取两段式干煤粉分级气化工艺,通过一段气化产生的高温煤气与二段投入的煤粉和蒸汽反应,使冷煤气效率提高了1-3个百分点,比氧耗减少10%-15%。高温煤气冷却所需的激冷气循环量也大幅度降低,与采用国外同类技术的设备相比,投煤量2000吨/天级干煤粉加压气化技术,激冷气循环量减少了10-15万Nm<sup>3</sup>/h,降低了装置自身电耗。煤气冷却器尺寸减小30%以上,高温高压灰过滤器直径从6.55米减小的4.6米,气化装置的造价降低20%-30%。

- 2.建成了我国首套2000吨/天级具有自主知识产权的全热回收干煤粉加压气化装置,装置热效率率。该技术成功的打破了国外全热回收干煤粉加压气化技术的垄断,实现干煤粉加压气化全热回收,热效率可达96%以上,较好的煤炭的高效转化。以投煤量2000吨/天工业装置为例,每小时可副产中压蒸汽130-140吨,可产生经济效益约1.3亿元/年。
- 3.掌握干煤粉加压气化基本原理,为变参数工艺设计提供技术支持。建立了煤粉在高温、高压和高升温速率条件下气化反应特性数据库,开发了加压气流床气化炉内流场及温度场预测模型、灰渣渣渣和渣渣传热模型、高温高压多组分合气的辐射传热模型,建立了粉煤气化炉炉膛的传热计算方法。
- 4.解决了大型干煤粉加压气化装置运行的关键问题。干煤粉加压气化技术形成的问题是气化炉温度的控制,华能清能院核心问题,开发了大量关键技术。如,发明了高温高压高浓相条件下炉内间接测

温装置,解决了加压气化炉高温(1400-1700℃)炉温实时监测的难题;发明了多支路上出料干煤粉加压机相送料技术,解决了干煤粉加压机输送系统对煤粉水分的适应性差、易堵塞、系统复杂等难题;开发了干煤粉加压机气化的协调控制策略及控制系统,解决了干煤粉加压机多变量复杂系统的协调控制及稳定运行问题。

- 5.实现了大型干煤粉加压机设计、制造国产化。开发了超大型斜口空间组对、大焊深不规则焊口自动焊接、气化炉壁水冷壁大面积镍基合金堆焊和自动焊接的水冷壁排管等气化炉制造、安装新工艺,解决了大型气化炉制造难题。

装置投产之后,中国石油和化学工业联合组织了鉴定委员会对该装置进行了现场考核和技术鉴定,谢克昌院士担任了鉴定委员会主任,通过鉴定,鉴定委员会一致认为:该项技术具有自主知识产权、指标先进、应用性强,与国外同类技术相比,能耗和工程造价低,达到了国际先进水平。该成果对我国清洁煤转化产业具有重要的意义。

课题负责人许世森博士长期从事干煤粉加压气化和整体煤气化联合循环发电(IGCC)研究,是两段式干煤粉加压气化技术的主要发明人。课题组通过多年的研究开发,涵盖干煤粉加压气化全部关键技术,共取得专利30余项,或省部级奖励10余项,其中,两段式干煤粉加压气化技术获中国优秀专利奖和中国国际工业博览会创新奖。(王新华)

## “煤层气富集高产区形成机理、评价方法与高效开发技术”荣获中国石油和化学工业联合会科技进步一等奖

煤层气是我国重要的非常规天然气资源,资源量达36.81万亿立方米,与陆上常规天然气资源相当,但煤层气资源探明率低、产量低,产业发展缓慢。为此,2008年,国家科技部设立了973项目“高丰度煤层气富集机理及提高采收率基础研究”。项目组织中国科学院天然气股份有限公司勘探开发研究院(第一承担单位)、中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司、中煤科工集团西安研究院有限公司3所研究机构,中国石油大学(北京)、中国矿业大学(北京)、中国地质大学(北京)、中国矿业大学4所高校,中国石油煤层气有限责任公司、中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司2个产业部门共210余人组成的“产-学-研-用”一体化联合攻关队伍,历经五年攻关(2009-2013),在煤层气勘探开发理论与技术方法上取得重大创新。

- 1.首次揭示了含气量与渗透率优势叠合煤层气富集高产区形成机制,创建了基于产能分析的富集高产区评价方法,形成了多信息融合的地球物理目标识别技术,实现了煤层气富集高产区的有效预测。
- (1)煤层气选区是煤层气开发的关键,前人选区的主要依据是静态的以含气量为主的地质因素,但开发实践表明这种资源富集区并不一定高产。项目以资源条件和开采条件优势叠合对煤层气产量的控制为研究重点,首次提出含气量和渗透率优势叠合煤层气富集高产区形成机制,以此为基础,揭示了三种煤层气富集高产区形成模式。
- (2)项目改变了过去煤层气选区以地质因素人为赋权打评分价的方法,由地质选区转到开发选区,由简单地质因素定性评价转到基于产能预测的定量评价。采用层次分析法和主成分分析法优选出七个相对独立评价指标,创建了中低开程度地区灰色关联预测模型,高开程度地区人工神经网络产能预测模型,形成了系统的煤层气富集高产区优选评价体系和软件平台。

(3)煤层气富集高产区的地球物理目标预测一直是一个难题。项目以沁水盆地南部寺河矿区为剖区,首次创造性地建立了井下原位测试方法和围压下各向异性物理模拟方法,建立了煤含气量与地震属性关系。首次采用D-S(Dempster-Shafer)证据理论信息融合方法,预测出煤层气的资源条件。将AVA分析的裂缝密度与地应力值信息直接融合,预测煤层气的开采条件。最终将煤层气资源条件与开采条件进行融合,预测煤层气富集高产区有利勘探开发目标。

- 2.首次采用产能核算的方式揭示了开发过程中煤层气渗透率变化规律和压力传播规律,创建了高煤阶煤层气阶段控压排采方法,创新了煤层气井网优化设计方法和煤层裂缝导流能力评价方法,实现了煤层气井的高效开发。
- (1)煤层气排采过程中,随着流体压力和地应力的变化,煤层气渗透率发生动态变化。项目通过有效应力效应和基质收缩效应在煤层气开发过程中对煤层气渗透率变化的阶段性控制作用研究,首次采用产能核算的方式揭示了不同排采阶段的煤层气渗透率变化规律和压力传播规律,为维持开发过程中煤的高渗稳产奠定了理论基础。
- (2)煤层气开发是一个“排水-降压-解吸-采气”过程,以前由于对排采压力控制认识不足,难以找到最优的降压速度,导致煤层气产量偏低。基于项目研究成果煤层气储层动态变化规律,结合开发过程中的现场排采测试,创建了高煤阶煤层气阶段控压排采方法,实现了对产水量、井底流压、套压、煤粉量的控制,有效解决了干泵、应力闭合、煤粉堵塞、井壁失稳和产量波动问题,提高了煤层气产量。
- (3)煤层气开发井网优化建立在井间干

扰机理基础上,而动态井间干扰规律研究基本为空白,不同地质条件下井网的优化设计难度大。项目在煤层气开发过程中压力传播规律及产气特征研究的基础上,首次将井间干扰分为井间压力干扰和解吸区干扰,划分了干扰发展的单相水生产、解吸区形成和扩展、全区解吸三个阶段,建立了井间干扰的量化评价指标,创建了井网优化设计方法和流程,既节约了成本又取得了较好的排采效果。

- (4)压裂增产是煤层气开发的重要手段,但对压裂裂缝导流能力缺乏有效的评价方法。项目利用支撑剂粒径组合法、煤粉液替实验和大型压裂物理模拟等创新性实验,在定量评价支撑剂粒径、闭合应力、支撑剂嵌入、煤粉、压裂液、多裂缝对裂缝导流能力的影响基础上,建立了六因素耦合的煤层气裂缝导流能力评价方法,形成了软件平台,开发了配套的高效支撑剂压裂技术,在沁水和鄂尔多斯盆地现场实施效果明显。
- 3.项目实施促进了煤层气的产业化、商业化、规模化发展

项目实施过程中,在国内外发表论文251篇,其中SCI收录52篇,EI收录66篇,出版专著13部。通过技术创新,申请国家专利15项,其中发明专利11项;获软件著作权6项。创新性成果2011年开始在沁水盆地南部和鄂尔多斯盆地东缘等煤层气试验区推广应用,指导了我国煤层气区的勘探开发,取得了良好的应用效果;基于煤层气富集高产区形成机理和模式的指导,在沁水盆地南部和鄂尔多斯盆地东缘进行有利区优选,实现了煤层气勘探开发的突破,新增探明地质储量1898亿立方米;井网优化方法和高效支撑剂压裂技术在沁水盆地南部和鄂尔多斯盆地东缘煤层气区块现场实施增产效果明显。理论与技术创新提升了我国煤层气领域的研发能力,促进了煤层气的产业化、商业化、规模化发展。(姜林 洪峰)

## “系列规格撬装式天然气液化装置技术”项目获中国制冷学会技术发明特等奖

在2015年11月17日成都举行的“2015中国制冷学会学术年会”颁奖仪式上,由中国科学院理化技术研究所低温与制冷工程研究中心完成的“系列规格撬装式天然气液化装置技术”项目获得第七届中国制冷学会技术发明特等奖,该项目也是设置技术发明奖以来唯一的一个特等奖。

作为最清洁的化石能源,天然气在我国一次能源结构中的比重远低于世界平均水平。为此,我国能源发展战略行动计划(2014-2020年)将大力发展天然气作为能源发展规划的重要战略方针。加快发展天然气,对我国优化能源结构、降低污染物及温室气体排放,促进社会可持续发展具有重要意义。

我国存在储量巨大的非常规偏散天然气资源,其产地偏远而分散,传统的固定式液化工厂及管网集输模式不适合。由于缺乏合适的集输方式,此类气源大都直接放空或燃烧,一方面造成了宝贵的能源浪费,另一方面增加了温室气体排放。发展针对此类偏散天然气集输的小型撬装液化装置,既可满足我国天然气开发的迫切需求,又避免了排放或燃烧带来的环境污染;此外,小型撬装液化装置还可以用于管输天然气的再分配及车用天然气加气站等,具有显著的社会和经济效益。

该获奖项目成果推广前,仅有少数机构开展小型撬装式天然气液化装置技术研究,但均处于试验阶段,能耗较高,尚无产业推广;至该项目后期,领域内部分单位开展了相关技术研究,但大都借鉴国外常规集中液化工厂的混合制冷剂工艺流程或空分装置的氮气膨胀流程工艺,能耗较高,建设周期长,且难以稳定运行,不适于零散气源特点。

针对上述问题,在“国家科技重大专项”、“863计划”、“国家自然科学基金”重大项目等持续支持下,由中国科学院理化技术研究所刘剑峰、公茂琼、孙兆虎、董学强、周远、沈俊、邹鑫、陈高飞和程建伟等组成的研发团队经过近十年努力:1)发明了普冷级油润滑压

缩机驱动的低混制冷剂液化流程技术,获得了优化的流程结构和混合制冷剂配比,具有高效率、高可靠性和低成本等特点;2)发明了高效紧凑的多股流换热器技术,获得了优化的流道和两相流均配结构,显著降低了换热器高度,提高了换热效率,使其更适用于整体撬装运输;3)发明了润滑油与混合制冷剂的深度分离技术,集成离心分离、挡板变向及多孔介质过滤等多种分离效应,低成本的解决了压缩机润滑油与制冷剂分离问题,提高了系统可靠性;4)创建了一系列适应项目需求的、低成本的专有生产工艺和技术装备,大幅降低了设备生产周期和现场施工周期,提高了生产效率。

集成上述创新成果的“系列规格撬装式天然气液化装置技术”,采用模块化设计,实现了设备的高度集成,结构紧凑,适合车载、移动方便,装置生产周期缩短50%以上,现场施工周期缩短70%以上;采用普冷领域成熟的单级油润滑压缩机,效率和可靠性高,运行过程中不需要补充工质,免维护周期长,系统初投资降低30%以上,能耗降低30%以上;自动化程度高,启停迅速;全风冷结构,自带仪表盘,接电即可,无需其他公用工程;按照Ex-dllBT4防爆等级设计,多重保护措施,确保设备安全。经现场实测,全厂能耗小于0.35kWh/Nm<sup>3</sup>,折合消耗10.9%天然气液化剩余的89.1%,与国内外数十万至百万方/天规模的固定式装置单位能耗相当。

该项目创建了小型撬装式天然气液化成套装置技术体系,核心技术拥有已授权发明专利12项和已公开专利申请3项,并建立了完整的实施技术。2011年3月,由中国科学院组织了该项目“日处理万方级可移动式煤层气液化装置技术”科技成果鉴定会,由13位两院院士及其他6位领域内专家组成的鉴定委员会对该项目的研发成果给出了很高的评价。鉴定委员会一致通过该项目的鉴定,认为:“该项目实现了重大技术创新,在混合工

质、低压流程、冷箱技术一体化方面拥有自主知识产权,达到国际领先水平。”

2012年5月,以注册资本5000万元成立中科睿凌江苏低温设备有限公司;2012年8月,以注册资本1250万元成立中科睿凌(北京)低温设备有限公司。上述两家公司(统称中科睿凌)专门实施该项目成果的工业化规模生产和销售,并以中国科学院理化技术研究所为依托进行技术发展和完善。中科睿凌已投资建设完成了近3万平方米的办公楼及厂房,开发了5000Nm<sup>3</sup>/d、10000 Nm<sup>3</sup>/d、20000 Nm<sup>3</sup>/d、30000 Nm<sup>3</sup>/d、50000 Nm<sup>3</sup>/d、100000 Nm<sup>3</sup>/d等一系列标准规格的高效、低成本可移动式天然气液化装置,基本覆盖了当前偏散天然气资源开发的市场需求,实现了此类天然气液化采集技术的突破。

该项目产业化以来凭借领先的技术指标和优势的成本控制迅速占领了国内30%的市场份额。截止2014年底,在产业化实施短短一年时间内,中科睿凌实现销售收入过亿元,已向陕西和胜利石化有限公司、山西省新能源发展集团有限公司、濮阳市聚能气技术服务有限公司、中油化油气技术服务有限公司等单位提供多套装置,在山西、陕西和内蒙古多地顺利达产运行,得到了业内和用户的广泛好评,并已和多家企业建立了合作意向,将立足重点区域实现产业基地和流通渠道建设。该项目产品已在国内相关应用领域确立了应有的地位,并在积极进行国际市场推广。美、泰等国家的相关企业已与中科睿凌进行了多次洽谈,相关合作正在推进中。未来中科睿凌将继续稳步扩大产业化规模。

该技术发明的应用,实现了偏散天然气源的低成本液化回收,避免了因排放或燃烧带来的环境污染,具有显著的经济效益和重大的社会意义。目前,应用本技术发明生产的撬装液化装置已有近10套实现了现场应用,日处理量超30万方,每年回收天然气过亿方,减少碳排放超6万吨。(王新华)



项目研发团队

内蒙古鄂尔多斯偏散天然气井口气液化装置