

国家重点基础研究项目“973计划”： 大型燃煤发电机组过程节能的基础研究

——访项目首席科学家杨勇平教授



杨勇平:

(1967-), 山西柳林人, 中共党员, 工学博士, 华北电力大学能源与动力工程学院教授, 博士生导师, 副校长。国家能源专家咨询委员会委员, 科技部工业领域节能减排总体专家组成员, 中国工程热物理学会理事, 中国

能源研究会热力学及工程应用专业委员会副主任委员兼秘书长, 中国高等教育学会工程热物理专业委员会理事, 中国电机工程学会火力发电分会委员兼空冷专委会副主任委员, 北京工程热物理学会理事。

主要从事火电机组节能、电站空冷技术、能量系统分析优化、热经济学、分布式供能系统等方向的研究工作。先后曾主持国家自然科学基金、教育部、北京市自然科学基金等重大项目, 积累了研究和管理科研项目的经验。获得国家电力部科技进步二等奖1项(第二完成人), 北京市科技进步三等奖1项(第二完成人), 授权发明专利3项。撰写著作1部, 发表学术论文100多篇。曾获北京市优秀青年骨干教师、北京市教育创新标兵等称号。

“大型燃煤发电机组过程节能的基础研究”是国家“973计划”项目。该项目由华北电力大学、清华大学、西安交通大学、浙江大学、中科院工程热物理研究所共同承担。日前, 本刊编辑部专访了该项目的首席科学家华北电力大学杨勇平教授。兹将采访情况报导如下:

● 编辑: 杨教授, 请您介绍一下什么叫大型燃煤发电机组的过程节能。它包括哪些环节? 各环节之间有什么关系?

● 杨: 我们的项目是2008年立项的国家“973”项目, 属于节能领域。由于火电机组系统越来越复杂、容量越来越大、参数越来越高, 所以要从全过程的概念研究它的一些基础问题, 特别要研究能耗是怎么形成的, 产生的原因是什么, 这

样才能真正找到节能降耗的一些基本方法和措施。

整个过程包括最初煤进入锅炉的燃烧过程, 燃烧产生蒸汽变成热能的过程, 热能在汽轮机里做功发电的过程, 做过功的蒸汽再在冷凝器里进行冷凝后再回送到锅炉的过程。所以这是一个全过程的概念。这个全过程, 一方面是指整个热力系统内部的过程, 另一方面也把热力系统及其所处的环境作为一个大的广义系统, 因为机组和周围的环境是有关系的, 比如入口, 来的煤是什么样的, 这就是与环境的边界。比如出口电也是另外一个边界, 电要送出去, 而电又不能储存, 因而要根据用户的需求、电网的需求不断地改变负荷。这个边界条件也会对系统产生影响。最后的余热也要通过冷凝设备排给环境, 所以环境温度对系统也会产生影响。

该项目的创新点就是把机组本身和所处的环境作为一个大的广义系统来研究。

● 编辑: 请您介绍一下该项目的背景是什么? 其研究的必要性、紧迫性、立项的依据是什么?

● 杨: 目前, 提高能效、节能减排、应对气候变化是国家乃至全世界面临的非常大的挑战。中国是一个以煤为主要一次能源的国家。煤在我国整个一次能源中占到68%, 而电力系统特别是火力发电又是煤的最大用户, 全国生产一半的煤都用于火力发电了; 电是最主要的二次能源, 而80%的电是由火电也就是用煤发出来的。所以火力发电厂是最主要的一次能源的消费者, 同时也是最重要的二次能源的生产者。由煤引起的环境污染问题非常突出, 全国一半以上的CO₂、SO₂是由电厂排出来的, 1/3以上的NO_x、粉尘也是由电厂排出的。同时电厂也是一个耗水大户, 全国1/4的工业用水是电厂消耗的。所以这个庞大的系统对环境污染、温室气体、一次能源的消耗、二次能源的提供都起着举足轻重的作用。火力发电又耗能又产能, 那么它的节能潜力究竟如何呢? 据国家发改委能源研究所

的统计,在6大高耗能行业(包括电力、冶金、石化、有色、建材等)中,电力行业的节能潜力排在第1位。据预测,到2010年,电力行业的节能潜力将占到48%;到2020年,电力行业的节能潜力在6大高耗能行业中所占比重要超过50%。所以它不光是用能大户、产能大户,同时也是节能潜力最大户。因此研究电力行业的节能减排对我国的节能减排具有非常重要的意义。而且它的放大系数比较大,也就是说用量比较大。比如全国火力发电的煤耗,2008年是349g/kWh,如果将其降到339g/kWh,那么它形成全国的节能潜力是3000万吨标煤。50万吨以上的煤矿就属于大型煤矿,3000万吨标煤相当于60个这样的大型煤矿。我国“十一五”期间每年的节能任务是1.2亿吨标煤,那么节能3000万吨标煤能占到全年节能任务的1/4,这个意义是很大的。

我国近几年来,每年的供电煤耗在下降,其中高效率、高参数的大型机组替代落后的小机组所做出的贡献是非常大的。另外,通过技术改造(包括加强管理),使得煤耗得到了很大程度的下降。尽管如此,我国与世界先进水平相比,还有比较大的差距,还有30~40g/kWh煤耗下降的潜力。这里既有技术方面的问题,也有管理上的问题,又有结构调整方面的问题。我们的“973”项目,就是在机理、基础方面,从系统、全过程、全工况的角度研究降低火电机组的煤耗问题,提高它的效率。

● 编辑:请您介绍一下该项目研究中面临的科学技术问题以及具体的研究课题。

● 杨:这个项目列了3个科学问题。

第1个科学问题是大型燃煤发电机组全工况能耗的时空分布规律与节能诊断方法。其含义是:能耗在空间是怎么分布的,锅炉、汽轮机、回热器等环节的损失是多少,要量化,不仅要从能量量的角度,还要从能量质的角度、能量品质的角度来研究。同时还要研究能耗的时间分布。一般来说,机组工作在设计工况、满负荷时的效率最高,但是现在我们的机组大部分要承担调峰任务,都要在变工况下运行。比如60万kW的机组只能在40万kW或30万kW负荷下运行,因此此时机组的效率要下降、煤耗要升高。由此可见,必须研究能耗的时间分布。时空分布规律是该项目最基础的一个科学问题。

第2个科学问题是要研究热力机组本身的流动传热问题,包括一些多尺度的问题。重点研究其

燃烧过程、传热过程、流动过程等能量损失的机理,也就是能耗产生的原因究竟是什么。第1个科学问题是解决能耗产生的部位(地点)和时间问题,第2个科学问题是研究能耗产生的原因。第3个科学问题是研究热力系统与外部环境之间的相互作用以及相互作用的规律和机理。只有知道了此规律,才能进一步总结出节能降耗的措施。

针对这3个科学问题,我们确定了5个课题。第1个课题是研究整个机组能耗的时空分布规律。这就是第1个科学问题。该课题由华北电力大学承担。

第2个课题是研究燃烧过程中的一些测试技术、测试方法,燃烧的内部机理。这是第2个科学问题的一部分。燃烧过程是煤从化学能转化成热能的核心环节。从能量品质的角度来看,该过程是能量品质贬值最剧烈的一个环节。所以把燃烧过程专门作为一个课题进行研究。该课题由浙江大学承担。

第3个课题是研究机组,包括汽轮机、锅炉和辅助系统之间变工况的特性。就是研究在变工况时怎样才能使它下降的效率最小,始终维持在一个比较好的状态下运行。以前的一些研究主要集中在单一的汽轮机变工况或锅炉变工况的研究,现在要将它们都包括在一起,研究整个机组变工况的特性。该课题由西安交通大学和华中科技大学承担。

第4个课题的重点是空冷机组。比如在北方地区,有煤但缺水,火电厂是耗水大户,若采用普通的湿冷方式则耗水太多,只能采用空冷技术,用空气直接冷却。采用空冷技术,其节水非常显著,耗水量只有湿冷技术的1/3,即节水率可达2/3。但在节水的同时也带来一些负面影响,如效率要下降。因为空冷效果肯定不如水冷效果好,空冷机组的煤耗要增加,每kWh的煤耗要比湿冷机组多20g以上,而且对外部环境也更加敏感。比如外部环境的温度改变、风向改变,都会影响空冷机组的效率。所以要专门研究空冷机组的能耗形成机理,解决如何降低能耗的问题。该课题由华北电力大学和中科院工程热物理研究所承担。

第5个课题主要研究超(超)临界机组。超(超)临界有一个临界点,它实际上是一个不稳定区域。当机组不断变工况运行时,就会频繁穿越临界点。该区域称近临界区域或跨临界区域。当穿越



临界点的时候，很多热稳性都是一个不稳定的状态。对此，应对水蒸汽进行研究，因为是用水蒸汽发电的。因而要研究水蒸汽在临界点的热稳性。现在世界上还没有针对工程应用的既准确又简化的模型，所以要在机理上进行探索。同时还要研究在锅炉里的两相流，特别是在临界区域流动的不稳定性问题，因为它会对锅炉的安全性产生影响。该课题由清华大学和西安交通大学承担。

整个项目是由6家单位共同承担研究的，应该说是集中了国内该领域的最强队伍。



杨勇平教授（左一）与曾副总理（右一）合影

● 编辑：据您估计，在这个项目的研究中可能会有哪些突破点，会遇到哪些困难？

● 杨：这个项目的确是一个非常大的挑战，因为火力发电是一个非常老的技术，想要突破和创新也就非常难。但是该项目最终能够得到专家的认可，原因是科学问题提炼得非常好，而且最终的目标非常明确。我们分为两个层面，一个是在理论方面要有所突破，最终要形成几个理论：①火电机组能耗的时空分布理论。不是研究一个点，而是研究全工况；不是研究一个部件，而是全过程。该理论如果研究得好，不仅是对火力发电具有指导意义，而且对其它能量转化过程的节能降耗也有一定的指导意义。②针对第2个课题，对燃烧过程形成理论。对燃烧过程进行模拟，同时结合一些先进的测试理论，进行跨学科的研究，比如应用光学、射线、声学的技术，用交叉的方法，把燃烧的状态客观、准确地揭示出来。由于现在很多燃烧的量非常难测，比如煤的成分在线很难测，炉膛里煤粉浓度分布、温度分布都很难测，但最终要把这些难测的量可视化。③形成大型机组变工况的一些理论。特别要弄清楚汽轮机与锅炉以及辅助系统之间的互相耦合、互相作用的情况，就要揭示这个机理。④对大型空冷机组进行研究。现在我国已有60万

kW的空冷机组，但是100万kW的空冷机组还没有，国外也没有。从60万kW到100万kW，不是一个简单的放大；在放大的过程中尚有许多未认识的机理，所以要进行研究。⑤对超（超）临界工值，特别是要对在跨临界区域工值的热稳性进行研究，最后提出一种针对超（超）临界水蒸气参数的既快速又准确的测试方法。

在技术层面，要形成若干项关键技术：①节能潜力的诊断技术。通过模拟、测试，对实际运行数据的分析，可以知道机组在某一时段的节能潜力有多大，这些节能潜力如何分布。②对燃烧形成若干测试技术。比如对煤粉浓度的测量技术、对炉膛温度分布的测量技术，最终还要开发一些测试仪器。③运行的优化技术。应用该技术指挥运行人员进行操作，使得在每个工况点的机组都能按照设定方案高效运行。④大型空冷机组的设计和运行技术。特别是100万kW机组的设计、运行技术。⑤在认识了超（超）临界机组工值热稳性的基础上编制一些相关软件。

最终，通过理论的积累和技术的应用，使煤耗在现有基础上，特别对运行的机组，要平均降低煤耗10g。对火电厂的节能降耗做实实在在的贡献。

● 编辑：再请您介绍一下这个领域目前国内外的研究状况和发展趋势。

● 杨：整体来看，目前国内外火力发电的效率在逐步提高，参数也越来越高。我国100万kW超（超）临界机组已投运十几台，技术经济指标也处于世界的领先地位。华能玉环电厂煤耗已经到了280g/kWh，实际运行也不到300g/kWh，效率在45%左右，这在世界上已经是先进水平了。现在世界上最先进的机组是丹麦、日本等国的机组。但在丹麦，因为是用海水冷却，浓度低，所以最高效率也就是47%。所以我国最先进的水平与世界先进水平相差不大。但是我国有一些特殊的情况：①火电机组要在频繁的变工况下运行，而且要担任调峰任务。特别是近几年，装机容量增加非常快，出现了供大于求的情况，火电机组更要参与调峰。以后，风力发电等增长非常快的情况下，火电机组更要不断参与调峰，而且很多是生物的调峰。因为风力发电是一种不稳定、间歇性的能源，所以火电机组在电力系统中的角色就发生了变化，不得不适应可再生能源或外部负荷的变化所带来的影响。②我国有煤的地方往往缺水，因而不得不采用空冷

技术。空冷技术虽然节约了水,但又多耗了煤,对节能又是一个挑战。③环境问题,要减排,减少SO₂和NO_x的排放量,所以又要为脱硫设施和脱氮设施付出代价,对煤耗又有一些新挑战。④下一步更大的挑战是CO₂的问题。CO₂的量是非常大的,全国1年排放的CO₂近60亿t。在煤里,C是主要成分。C的分子量是12,CO₂的分子量是44,C的比例非常大。如果要将大量的CO₂脱离出来,注入地下或做其它的用途,那么仅仅脱除CO₂所付出的代价就非常高,又使得能耗增加非常多。比如,现在的效率是45%,如果把CO₂考虑在内,那么效率会下降到35%。对应煤耗,现在是349g/kWh,如果考虑CO₂的脱除,那么煤耗会达到400g/kWh以上,甚至到500g/kWh。此煤耗量就相当于以前落后的小机组的煤耗量。对此,世界各国都非常重视在外部环境的制约下,如何进一步提高效率、降低煤耗的问题。

● 编辑: 这个项目的总体目标是什么? 实现目标需要多长时间? 预期有哪些成果? 这些成果将如何推广?

● 杨: 该项目的研究周期是5年,即2009~2014年。项目的总体目标,在理论上是形成整个机组在全工况状态下的能耗时空分布理论,节能降耗的方法。同时要开发一些技术(包括燃烧过程和运行优化方面),在设计、运行环节也都要开发一些关键技术。

本项目与中国华电集团公司和华北电力设计院有密切的合作关系。该项目的理论和技术,这两家单位都可以提供试验条件,比如在他们的机组上运行,在设计阶段和运行阶段这两家都可以采纳我们的研究成果。

● 编辑: 该项目在人才培养方面会有哪些积极的作用?

● 杨: 该项目重点培养博士生和硕士生。6家单位参与的人数有40多人,加上研究生就要超过100人。所以在5年的时间里,要培养几十名博士和硕士。该项目会为电力节能领域培养一批高层次人才,造就一批年轻的学术带头人、学术骨干,比如国家杰出青年基金获得者、长江学者、新世纪优秀人才。这方面都有量化的指标。■

专委会看台

2009电力行业信息化年会在京召开

由中国电机工程学会电力信息化专委会、国网信息通信有限公司主办,中国华能集团公司信息服务中心协办的“2009电力行业信息化年会”于2009年7月16~18日在北京隆重召开。本次年会的主题是“IT支撑发展 智能引领未来”。320余人出席了本次大会,是年会有史以来参会人数最多的一次。会议录用论文182篇,以《电力信息化》杂志增刊的方式编辑出版了论文集和光盘,同时评选出29篇优秀论文在会场上进行张贴展示,并向与会作者进行了颁奖。

中国电机工程学会副秘书长钟鲁文在开幕式的致辞中高度评价了电力信息化专委会和电力行业信息化年会在推广信息技术、搭建学术交流平台所起到的重要作用,并通报了2009年中国电机工程学会第九次全国会员代表大会对电力信息化专委会的表彰。

国网信息通信有限公司总经理刘建明在致辞中指出:随着工业化与信息化的不断融合,信息化对电力行业的支撑作用更加明显,信息化

的深化应用、ICT技术融合、信息安全保障等成为备受关注的议题。

会议组织了4个专题、6个分会场的主题报告和2场专家互动。主题报告包括国务院国资委信息中心主任石治平所作的《发挥信息技术强大威力,为中央企业科学发展提供有力支撑》、国家电网公司信息化工作部副主任王继业所作的《国家电网公司SG186工程实施方法论及其实践》、中国南方电网公司信息中心网信部部长谢文艳所作的《南方电网信息化浅谈》等,还特别邀请了业界专家12人次、获奖论文作者10人次在分会场演讲。

在年会召开前的7月15日,召开了中国电机工程学会电力信息化专委会三届三次工作会议,审议评选出张科等25名老同志荣获“电力信息化特别贡献奖”,并在年会上颁奖。本次年会是以电力信息化专委会名义组织的最后一次会议,为此,专委会制作了“纪念中国电机工程学会电力信息化专委会成立12周年”精品邮票珍藏邮册,特别采集制作了电力信息化专委会成立12周年工作回顾的视频短片《推动电力行业信息化,助力行业新发展》。■