

# 重大装备研发成果转化为生产力的理论与实践

张晓鲁

(中国电力投资集团公司,北京 100033)

**[摘要]** 从发电企业的科技研发与工程应用特点着手,阐述了重大装备研发成果转化为生产力的理论分析和组织方法。作者面对广泛存在的科技研发到成果应用旷日持久、难以推进的普遍问题,推行“用户主导,产学研联合”,“以示范工程的商业化实施为导向、以工程项目管理的责任体系为前提、集中全国的优势力量联合攻关,形成企业负责,研究机构支撑”的重大装备研发管理思路,探索了“研发与推广同步”的成果推广模式。用2个案例阐述了这种科研管理方法取得的成效,其中“超超临界燃煤发电技术”在电力发展中得到广泛应用,成为我国新建大型燃煤电厂的首选技术;“火电机组空冷系统研发与工程示范”项目解决了我国北方地区发电厂的节水问题。笔者还剖析了在科研成果所有权和成果认定过程中存在的问题,并提出了相应建议。

**[关键词]** 研发;重大装备;产学研联合;成果转化;管理

**[中图分类号]** TM711 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2011)08-0050-05

## 1 前言

重大装备主要指技术集成度高、投资巨大、建设周期长的整套大型设备,通常用于电力、化工、石油、航空等技术与资金密集型行业,对技术的先进性、成熟性和可靠性要求较为严格。由于重大装备是我国基础型和支柱型产业的重要生产装备,其技术水平代表了这些行业的整体科技水平,通过新型重大装备的研发与应用可以有效提升国家整体科技能力和技术水平。但由于重大装备研发的经济责任重、技术攻关难度大、集成度高,研发工作难以依靠科研单位独立完成,需要国家的重点支持和大型企业的全力实施,采用开放、包容的组织方式,集中全国的优势科研力量,通过强有力的组织和协调,推动各方共同合作、相互竞争,从而合理整合、调动各项科技资源,高效、优质地完成技术研发与推广应用。

电力行业是装备型行业,电力行业科技水平的提升必须与电站装备制造行业的技术携手共进。一个电站从规划到投产往往需要8年甚至更长的时间,投资数十亿元,而且电站运行必须满足电网对电力可靠性的

的要求。所有电站的投资方都将保证电站的安全稳定运行作为首要要求,一种技术一旦定型,在没有新的安全可靠的技术替代之前,将会沿用相当长的时间。为了应对激烈的市场竞争,降低电站造价、提高运行可靠性、满足不断提高的环保、节能要求,是发电企业追求的技术发展目标。为了实现此目标,要求发电企业和设备制造企业共同推进电站装备的技术进步。由于电站的投资风险巨大,发电企业在采用新技术时会对技术的成熟性与可靠性提出较为苛刻的要求,而制造企业则因无力承担技术创新失败的经济责任,对独立进行开创性的技术创新动力不足。如果电站装备的技术进步不能满足国民经济发展对电力快速发展的要求,电力行业不得不长期沿用低效、高污染的发电机组,产业结构无法得到调整,造成的资源严重消耗、污染快速增加等后果将在今后几十年内难以消除,甚至将使我国富煤、缺水的北方地区难以建设火电机组。

我国一次能源以煤为主的特点,决定了以燃煤发电为主的发电格局,燃煤发电量占全国总发电量的80%以上。为了满足电力大发展和结构调整对新型燃煤发电技术的需求,并使研究成果迅速转化

**[收稿日期]** 2011-05-25

**[作者简介]** 张晓鲁(1952—),女,山东掖县人,教授级高级工程师,从事发电工程和科技管理研究;E-mail:zxlu@epicorp.com.cn

为生产力,中国电力投资集团积极携手电站装备制造行业,主动探索在市场经济体制下的发电行业重大科研项目的组织和推广方法,推行“用户主导,产学研联合攻关”的重大装备研发管理机制,提出“以示范工程的商业化实施为导向、以工程项目管理的责任体系为前提、集中全国的优势力量联合攻关,形成企业负责,研究机构支撑”的管理思路,探索“研发与推广同步”的成果推广模式,丰富了“产学研联合”的内涵。采用上述方法,完成了“超超临界燃煤发电技术研发和应用”和“火电机组空冷系统的研发与工程示范”两项国家重大科技攻关项目<sup>[1,2]</sup>,取得了较好的成效。

## 2 科技发展规划方法

### 2.1 规划注意事项

我国的基础研究和重大创新研究落后于发达国家,这是国情,也是科技规划的现实资源。为了推进我国科技水平快速跨入国际先进行列,在制定科技规划时,应分析国际发达国家技术发展的现状、趋势,敢于瞄准国际最先进的技术水平组织联合攻关,实现跨越式发展。为了解决科研成果转化为生产力的问题,避免科研和生产“两张皮”,科技规划作为国家产业规划的先导,必须与国家产业发展规划相结合,并适当领先于产业发展规划,重点研究工程建设或生产经营中最急需、能够产生巨大效益的技术需求。在确定技术研发路线时,科技规划除强调原始创新外,还应注重引进和自主创新相结合,将整合集成国际资源与自主研究相结合。科技规划还要对科研项目计划进行周密安排,指导每年的科技项目研发计划。

2000年,我国仅掌握300 MW、600 MW亚临界火电机组的制造技术,国产超临界机组的开发刚刚起步,而在德国、丹麦和日本已开始有超超临界机组投入运行。应敏锐地看到,这是燃煤发电技术发展的主流趋势。若等待国产超临界机组完成研发与工程示范后再开始组织超超临界机组的研发,将会拉大与国际先进水平的差距,同时也会对我国“十五”、“十一五”期间发电装备技术水平造成很大影响。在对国际国内两种资源与两个市场进行调查分析的基础上,在制定“十五”电力科技发展规划时,提出了“瞄准国际最先进水平进行攻关,研发超超临界燃煤发电技术,为电力行业的升级换代提供先进、可靠、高效、环保的发电装备,实现跨越式发展”

的攻关目标,得到了国家科技部的支持,项目被列入“十五”国家“863”计划。为了加快技术研发步伐,我们在详细分析了国际上超超临界机组用钢现状和国内外耐热钢材生产情况的基础上,确定了适合我国国情的研发技术路线,组织制造、设计、研究等单位联合攻关<sup>[3]</sup>。

### 2.2 系统、全面地做好项目计划

为了保证项目计划的周密制定和顺利实施,在制定项目计划之前,需要进行广泛的调查与研究,采用“引进来、走出去”的方式,对国内外的技术进展及资源情况进行调研,了解国际上的技术前沿和难点,了解国内已经具备的科技资源。在制定项目计划的过程中,还应该组织投资方、设计院、建设单位和运营单位的专家广泛参与,评估技术创新点的风险,取得共识。当出现争议时,需要尽快召开更大范围的技术论证或专题研究,通过深化研究的过程达到统一认识,避免因争议的无限扩大而造成决策者踌躇不前,贻误技术发展的最佳时机。项目计划还要作好经济技术分析,深入分析、论证新技术的经济承受力和技术成熟度。并且为了化解首台、首套设备存在的风险,项目计划需要系统梳理好技术创新点和成熟技术集成的实施步骤,分步骤、分项目、长周期完成基础知识的不断积累和科研成果的不断完善,规划好整套重大装备的研发路线图。

在制定“空冷发电技术”项目计划的初期,调研了国内外所有的空冷系统设计、制造企业、设计院的技术实力。国际上,大型空冷系统的设计制造技术已经集中到了两家跨国企业,他们采用EPC工程总承包的商业模式攫取超额利润。针对国内工程急需上马、而两家跨国企业均拒绝转让技术的实际情况,我们决定以通辽电厂1台60万kW机组为示范工程,自主开发空冷系统设计计算软件,组织设计、制造单位共同进行研究与开发,通过实验研究确定设计计算软件各边界条件,解决了空冷元件设计与制造、空冷岛大管道设计和空冷平台结构设计与制造问题。在首台机组示范成功后,再安排进行霍林河两台60万kW机组空冷系统的开发,解决多台空冷岛空气热回流影响等问题。通过两个电站项目的实践,完成了大型火电机组直接空冷技术的自主研发与工程示范,进而在全国推广。

## 3 重大科研项目组织和示范工程

### 3.1 基础研究需要先行

重大科研项目需要不断积累基础知识和专家队

伍,还需要通过各种渠道的宣传使得用户单位、设计部门、制造企业和政府主管部门了解该技术,同意深入开展研究。在制定每个五年科技发展规划时,都确定了重大科研项目,结合专家论证,系统提出每项重大科研项目的基础研究课题。在每年科技项目计划过程中,通过发布《科技项目申报指南》,遴选骨干研究队伍,确定研究目标,储备研究成果。这些基础研究成果用于示范工程的可行性研究,推动工程项目立项。

### 3.2 以示范工程的商业化运营为导向

重大科研项目以示范工程为依托,可以有效加强研发人员的紧迫感,保证技术的成熟度,顺利实现科研成果应用。现行科技管理体制要求立项时先确定示范工程,而一项重大技术研发在未开展研究之前确定示范工程是非常困难的工作。这需要依据大量的前期基础研究和分析论证,制定技术的研发目标和主要技术参数。并且在制定研发目标和技术参数时,还要组织投资、设计、制造、运行等单位 and 权威专家进行广泛而深入的研究和论证,统一各方意见、避免争论,在技术的先进性与实用性方面达成一致,进而制定后续专题研究的内容和主要目标,开展示范工程的可行性研究。并同时研究结果向投资者和政府审批部门进行大量的宣传,同步推动示范工程的审批立项。

在开展“超超临界燃煤发电技术”项目研究之前,通过基础研究,对该技术的主要技术难点进行了系统分析,完成了技术经济比较。同时,组织国内外设备制造厂商与电力企业开展了广泛地技术交流,取得用户和政府主管部门的认同与支持,推动示范工程项目审批立项。首先用一年时间开展“超超临界燃煤发电技术”的“技术选型”研究<sup>[4]</sup>,组织设计、制造、运行等领域的技术权威共同研究、论证技术路线,统一了各方意见。根据确定的技术选型内容,制定后续专题研究的内容和主要目标。同时依据研发目标和技术参数开展示范工程的可行性研究,报政府主管部门审批。这使得研发人员和示范工程管理人员目标一致,保证了研发工作紧密结合示范工程的需要。

### 3.3 用户主导的“产学研”相结合

用户(即工程投资方)首先需要对工程的投资负责,需要协调化解工程建设中的各种风险。因此,用户牵头主导联合攻关工作,在关注技术先进性的同时还会关注研发项目的系统性和技术的成熟度,统筹把握技术和经济指标,同步协调研发进度与工程进度。反之,如果研发工作由研究单位或制造单

位牵头,一方面研究单位和制造单位难以全面了解用户对技术的直接需求,使研发工作的针对性不强,同时用户也因难以了解研发工作的进程和难点,无法协调工程的进度计划与研发工作配合,稍遇到问题就会使整个研发工作停滞甚至偏离原定目标。当然,这种方式对用户方面的技术牵头人要求很高,既要求能够准确把握技术的发展方向,协调各参加单位之间所出现的问题,又要求熟悉工程建设的各个环节,协调示范工程建设和研发工作的内容和进度。

在“超超临界燃煤发电技术”和“空冷发电技术”研发与示范工程建设过程中,统筹协调示范工程建设和研发工作的内容与进度,同时通过协调示范工程建设合同和科研经费匹配,组织设计院、制造单位、运行单位有效参加研发和工程建设,而高校、研究所作为分包单位承担基础理论研究或设计软件的开发,为专题承担单位负责。

### 3.4 组织全国最优秀的专业队伍

我国的科研实力相对较弱且比较分散,对于新型发电技术等重大科研攻关项目需要集中全国的优势科技力量。在“超超临界技术”项目研发中,23个全国最优秀单位分工协作,集中了最优秀的专家队伍,其中包括承担示范工程设计的华东电力设计院、东方、哈尔滨、上海三大动力设备制造企业、热工研究院、东北燃烧中心以及一批高校。

有效的分工协作可以使各单位形成合力。工作分工原则是示范工程的经济责任。将经济责任与科研工作紧密结合可以促使研发单位对成果的成熟性和经济性切实负起责任。

### 3.5 竞争和成果分享

重大科研项目直接面向示范工程,而工程项目往往需要依靠招标确定参建单位。为便于对科研项目进行组织,通过示范工程的招标机制引入了科技竞争。考虑到今后在全国大范围推广应用超超临界技术和满足工程招标的需要,组织三大动力制造企业同时参加研发工作。由哈尔滨锅炉厂牵头三大锅炉厂、东方汽轮机厂牵头三大汽轮机厂对超超临界锅炉、汽轮机分别开展研究,并针对我国电站装备制造企业的实际,提出采用“原型机”的模式,组织大家针对共性和基础性技术难点联合攻关,在研发中形成合力,成果共同分享。例如,三大汽轮机厂共同研究汽轮机的原型机,待设计计算和主要结构难点攻克后,各厂再依据自身技术特点和企业标准进行工艺开发,同时完成了3种不同型式机组的设计开

发、制造软件包研制和材料加工性能研究,用于示范工程的投标与建设。

### 3.6 示范工程消缺和成果推广策划

示范工程由于采用了大量研发成果,往往会存在这样、那样的问题。科研攻关不应以示范工程投入运行为终点,还应特别注意缺陷消除工作。由用户牵头也可以对此有所作为<sup>[5]</sup>。示范工程的缺陷处理完成后,为了加快成果的推广,科研项目组织者还应特别注意各种技术与研讨,组织各种形式的展览和讲座进行宣传,使其他投资者、政府主管部门了解该成果,消除疑虑,使新技术得到普遍认可和采用,形成更大的生产力。

## 4 科研成果在推广中持续创新

### 4.1 技术创新与标准制定同步

工程设计和建设需要遵守国家或行业标准,为了迅速推广新的科研成果,必须有相应的国家和行业标准作为支撑。技术创新的成果需要及时用于标准的修(制)订,才能通过设计或制造单位用于工程项目。“超超临界发电”项目计划专门安排对超超临界机组的设计标准进行研究,梳理了现有电站设计规范 1 200 多项,涉及规划、勘测、设计、采购、施工安装、试验、检验、运行、维护等各个过程,将本项目的研究成果纳入规程规范,为后续快速、大范围推广打好基础。

### 4.2 科研合作转为商业合作

在科研项目研发中,为了实现优势互补,可以安排多家单位组成联合体。在示范工程完成后,“研发联合体”可以转变为“商业联合体”,在市场竞争中推广科研成果。在“空冷发电技术”研究中,将承担空冷岛设计技术研发的单位和承担空冷元件制造任务的单位组成联合体,在研发过程中发挥各自优势完成空冷系统的设计制造任务。示范工程结束后,联合体继续发挥其优势推广研发成果,与两个跨国公司开展竞争,获得了多项空冷机组建设项目,形成了我国企业与跨国公司在同一平台上竞争的局面。该项目的实施使国内企业掌握了该项技术,在市场占有率大幅上升的同时,使得空冷岛的造价下降了 30%。

### 4.3 重视工程试验数据,持续开展基础研究

在研发阶段,许多计算软件和结构来自理论分析和试验室数据,这些软件模型的正确性、计算分析的准确性需要得到示范工程测试的实际数据验证和修正。特别在解决示范工程,甚至后续工程缺陷问题时,还需要继续补做基础研究。在“空冷发电技

术”项目采用了联合体按照商业化运做模式,从后续的推广收益中提取科技经费,在示范工程单位的配合下,系统测试示范工程的各项数据,修正设计程序和结构,并且能够继续开展基础研究。因此,示范工程的投产并不代表科研工作的结束,相反,我们在示范工程投产后开展了大量的后续研究,完善了研发成果,使得研发成果比较顺利地获得了大范围的推广。因此,在课题经费安排、科研时间安排方面需要提前计划好,为后续推广打下良好基础。

### 4.4 继续深化研究,赶超国际先进

任何科研项目都有时间和阶段的局限性,特别对于基础研究、原创性薄弱的项目,需要花更大的力气才能赶超国际先进水平。我国的科技立项注重支持原始创新技术,对后续完善科研支持的较少。在重大科研取得初步成果后,企业或国家科技经费应继续支持重大科研项目深入研究,保持研发队伍的稳定性,只有持之以恒的研发才能为赶超世界先进水平奠定基础。

总之,一项重大科研工作必须从一开始就计划好成果推广的商业运作模式,避免先申请研究经费,轰轰烈烈开展研究,到初步见效后就止步不前,而应在商业推广过程中继续加强研究。

## 5 处理好科研成果的认定

### 5.1 知识产权共享

对于多个单位参加的重大科研项目,知识产权由参加单位共享,大家可以免费使用有关成果并进行后续开发。在“超超临界发电”项目中,三大动力设备制造厂共享母型汽轮机的设计、材料使用、典型结构处理的成果。这样有利于集中科研力量、经费,共同攻克重点难题,同时结合各制造企业的技术沉淀和厂级标准及其工艺特点,持续开发,形成特色。

### 5.2 个人贡献的认定

在“产学研”研发中,因为目标直接针对示范工程,用户或制造企业要承担工程建设的责任,研究单位或高校往往只能从制造企业或设计院分包研究任务,开展基础研究。由于只分包了部分基础性研究,高校或研究单位人员难以得到奖励证书。许多单位对个人成果认定中往往强调负责人或前三名获奖人员,造成科研单位或高校专家宁愿做小项目而不愿参加重大项目的联合攻关。建议高校或研究单位能够依据有关合同内容,认定个人贡献和技术水平。

## 6 结语

为了将重大装备研发成果迅速转化为生产力,

有效解决我国电力结构调整对燃煤发电技术水平提升的需求,通过探索在市场经济体制下的发电行业重大科研项目的组织和推广方法,并以“超超临界燃煤发电技术研发和应用”和“火电机组空冷系统的研发与工程示范”两项国家重大科技攻关项目为实践,提出并完善了“用户主导、产学研联合攻关”的重大装备研发管理思路与方法,丰富了“产学研联合”的内涵,取得了较好的成效。截至2010年年底,已投入运行的超超临界机组的总容量达5 770万kW,其中1 000 MW和600 MW级机组分别达到33台和38台。我国超超临界机组的发展速度、装机容量和机组数量均跃居世界首位,技术水平居世界前列,极大地改善了火力发电结构。与同容量亚临界机组相比,年节煤800多万t,相当于减排二氧化碳约2 100万t,减排二氧化硫约15万t。2010年年底,采用项目成果技术的空冷机组总装机

容量达1 460万kW,每年可节水约3.2亿 $\text{m}^3$ 。这两项技术成果的研发成功和快速推广为我国发电行业的节能减排和可持续发展做出了突出贡献。

#### 参考文献

- [1] 张晓鲁. “燃煤超超临界发电技术”研究结果简述[R]. 中国超超临界火电机组技术协作网第二届年会,2006.
- [2] 张晓鲁,汪建平,胡振岭. 600 MW火电机组空冷技术的研发与工程示范[R]. 中国电力,2011.
- [3] 张晓鲁. 600 MW超超临界燃煤机组的经济技术性能分析[R]. 清洁高效燃煤发电技术协作网2008年会,2008.
- [4] 张晓鲁. 超超临界燃煤发电技术的研究[C]//中国科协2004年学术年会电力分会场暨中国电机工程学会2004年学术年会论文集,2004.
- [5] 张晓鲁. 关于先进超超临界燃煤技术未来发展目标的思考[C]//科技创新促进中国能源可持续发展—首届“中国工程院、国家能源局能源论坛”论文集,2010.

## Theory and practice of turning R & D results into productive force in major equipment

Zhang Xiaolu

(China Power Investment Corporation, Beijing 100033, China)

**[Abstract]** Starting with the characteristics of technological R & D and project application in power generating companies, this paper expounds on the theoretical analysis and organizational methods of turning R & D results into productive force in major equipment. Faced with the widespread problem that putting R & D results into application is both lengthy and difficult, the author proposes the mechanism of “joint work among industry, college, research institute and user under the user s’ leadership”; puts forth the thought for major equipment R & D management that features “oriented by commercialization of demonstration project, premised on the responsibility system for project management, unite advantageous parties nationwide to make joint efforts with enterprises taking the overall responsibility and research institutes providing support,” and explores the mode to promote R & D results with “R & D and promotion in parallel”. In this paper, two case studies are used to illustrate the effects of such a management mode of scientific researches. “Ultra super-critical coal-fired power generation technology” is widely applied to power development, and has become the priority choice in newly built large coal-fired power plants in China. The project named “R & D and project demonstration of air-cooling system in thermal units” solves the water-saving issue of power plants in northern China. The problems in the ownership of research results, reward application and result ratification were analyzed, and some corresponding suggestions were put forward.

**[Key words]** R & D; major equipment; joint work of industry, college and research institute; transformation of results; management