

编者按：美国当地时间2015年7月28日，在电气与电子工程师协会电力与能源协会（简称IEEE PES）2015年年会上举行了隆重的顾毓琇电机工程奖颁奖典礼，清华大学电机系教授张伯明获此殊荣。

中国电机工程学会理事长郑宝森和IEEE PES主席Miroslav M. Begovic共同为张伯明教授颁奖，以表彰其在中国电力系统控制中心能量管理系统（EMS）技术研究和工程应用中做出的杰出贡献。为了让行业内外的大众读者深入了解张伯明教授的科研历程，本刊对张教授进行了专访。

持之以恒为电网创造智慧“大脑”

——专访2015年顾毓琇电机工程奖获得者张伯明



人物简介

张伯明，1948年生，山西霍州人，清华大学电机系教授，博士生导师，IEEE Fellow。长期从事电网调度自动化的教学、科研、开发和工程应用工作，多年来持续推动电网能量管理系统的推广应用，发明多项引领调度自动化技术发展方向的关键技术。曾获国家科技进步二等奖、国家技术发明奖二等奖、北京市科学技术奖一等奖、“中国高等学校十大科技进展”。还曾获光华科技基金一等奖和何梁何利科学与技术进步奖。2013年获得中国电机工程学会颁发的首届中国电机工程杰出贡献奖。曾兼任中国电机工程学会理事、CIGRE中国国家委员会执委、控制中心国际论坛执委。

记者：首先，祝贺您荣获顾毓琇电机工程奖。顾毓琇电机工程奖是中国电力行业第一个国际工程奖，在业界享有盛誉，您对获得该奖感受如何？

张教授：这个奖每年只颁发给一个人，范围是整个电机工程领域，确实极其珍贵。这个奖以前大多颁发给我的前辈，这次颁发给我，确实没有想到。非常感谢中国电机工程学会和IEEE

PES给了我这么高的荣誉。

记者：本次顾毓琇电机工程奖主要是奖励您在中国电力系统控制中心能量管理系统（EMS）技术研究和工程应用中做出的杰出贡献。您可否简单介绍一下关于EMS的研究情况？

张教授：EMS，即能量管理系统，可以比作电网控制中心的“大脑”，可通过计算机系统，帮助调度人员调控电网，避免

发生事故，确保电网的安全、稳定、经济运行。EMS的发展在世界上已有40多年的历史，在中国也有20多年的历史。

1988年末，我刚从英国做访问学者归来就在导师的推荐下一头扎入东北电网调度中心，夜以继日地开发EMS高级应用软件。

1986年，我国从国外引进了4个调度自动化系统，分别用于

华北、华东、东北和华中等4个大区电网，这就是我们这代人熟知的四大网引进工程。这在我国电网调度自动化发展历史上是一个里程碑事件，也给我提供了一个千载难逢施展才能的机会。

如果说调度自动化系统的作用是电网运行的调度指挥司令部，那么EMS应用软件就是这个司令部中的大脑。但是，限于当时的财力，没有引进EMS应用软件，需要立足国内自行开发。尽管如今中国的调度自动化系统及EMS已经全部实现了国产化，但在20多年前，这一领域在国内基本属于空白，没有资料可供参考，国外技术资料也对中国保密。

记者：那在研究的过程中一定也遇到过很多困难吧？

张教授：现在看起来很小的问题，在当时却是难以逾越的鸿沟。我从国外引进的自动化系统平台数据库的说明文档入手，在字里行间找答案，分析国外的EMS到底是怎么做出来的，一心要将自己的算法嵌入到引进的调度自动化系统平台中，开发出我国的EMS应用软件。

从无到有的过程肯定是很困难的。在东北电网调度中心没日没夜地干，为了查出一个软件错误，经常熬夜到通宵，夜间冷，就将装计算机的包装箱拆了当被盖。

记者：EMS软件的开发用了多长时间？

张教授：花了大概不到两年

的时间。1990年5月，状态估计等EMS高级应用软件在东北电网成功投入在线运行，我有幸成为率先在我国大区电网成功开发并投入运行EMS高级应用软件的人，并因此获得了1992年国家科技进步奖二等奖。这是四大电网引进工程后在该领域首个获国家科技奖的EMS应用软件项目。

记者：最初的EMS开发取得成功，您又对它的性能进行了哪些完善？

张教授：在1992年开发出国内第一套EMS应用软件并率先在东北电网投入运行以来的20多年里，我和我的团队一方面坚持不懈地致力于对EMS性能的不断改善，扩大推广其应用面，另一方面，积极探索相关的新理论，开发新技术，力争在为电网的安全、稳定、经济运行方面探索出新方法，找到新途径。例如，电网建模的图模库一体化技术、DTS/EMS一体化技术都是我们在那个时期率先研发出来的。

随着电网的不断发展，电网

运行在空间、时间、控制目标三个方面表现出的复杂性日益增加，而传统EMS对电网的调度控制在这三个方面缺乏良好的协调。2003年发生的震惊世界的美加大停电，暴露出了传统EMS在三维协调上存在严重问题，急需改造和发展。

通过长期的研究和反复论证，我和我的团队独创性地提出了“三维协调的新一代电网能量管理系统”的新概念和体系结构，并提出了实现三维协调的有效方法。

记者：三维协调的新一代电网能量管理系统与传统的EMS技术相比其优势体现在哪里？

张教授：空间维度的含义是对各个区域电网进行空间维度的协调。传统的EMS技术通常按照管辖区建立自己的模型，不考虑和相邻电网的协调，这样的电网通常是分离的个体，而不是统一协调的整体。新一代的EMS技术通过软件等技术手段，实现了在全局电网层面的调



1990年，张伯明在东北电网调度中心担任EMS项目完成人

度控制模型的协调统一。

时间维度的含义是实现慢过程的调整和快过程的控制之间的协调。以发电调度控制为例，电力系统运行要求电力供需时刻保持平衡，发电机输出电力要随时根据消耗的电力进行调整。

传统的EMS需要在之前一天估测第二天每个时间段使用的电力，制定出一个以小时为时间段的发电计划，发给各电厂，各电厂再依照这个计划发电，但是实际负荷可能与预测负荷之间存在一定偏差。这样事先做出的计划在实际运行中很容易出现供求不平衡，通常依赖少量能快速改变输出电力的机组和调度员的电话指挥来解决。新一代的EMS包含了一个可以实时监控电力供求的软件，每隔5分钟就对小时级的发电计划和秒级的实时发电控制进行时间维度的协调，自动下达控制命令，调整发电机的输出功率，把不确定性一点一点消化掉，时刻维持供求平衡，既提高发电效益，又保证电能质量。

目标维度的含义是综合考虑安全、电能质量、经济等多个控制目标，经过全面分析后给出调度控制的辅助决策。在电力系统运行出现脆弱情况时，及时给出安全稳定预警信息，进行预防控制；在电力系统运行出现紧急情况时，能够迅速反应，快速给出调度控制决策。

空间、时间、目标三维协调后实施的电力系统调度控制，其

结果更准确、更全面、更及时，从而有效地保证了电网运行的更安全、更稳定 and 更经济。实际上，当前正在发展的智能电网技术，当电网中接入大量可再生能源发电，而要实现全局最优，其核心也还是要通过三维协调，最终才能实现全局协调优化，达到协同的效果。

记者：该系统研发成功后效果如何？

张教授：该项成果已经是将近10年前的成果了，后来，已经被包括江苏、江西、河北、河南、山西和吉林电力调度中心等20多个省级用户，和华北电力调度通信中心等4个网级用户采用，在应用中已经取得了重大的经济效益和社会效益。应用这项技术，一个省级电网每年可以减少电能损失近1亿kWh。

记者：新一代EMS可谓领先世界，您能举一个典型的应用实例吗？

张教授：这项协调技术合乎电网的客观规律，一个典型的例子就是用在电压控制上。

由于电压的控制只能分区进行，如何给电网分区就成为这项技术的核心所在。世界上无功电压控制技术最好的国家是法国，他们采取的是一种“硬分区”模式，即通过计算将电网分成固定的区域，区域一经划定，就不再改变。而这种技术显然不适合中国，因为我国电网发展很快，电网的布局不断改变，现在划分的固定区域很有可能过

一段时间就不再适用了。

于是，我带领团队大胆提出了“软分区”的概念，实现了自适应软件自动分区，这样就保证了自动电压控制的有效进行。这项“电力系统中基于软分区的电压控制方法”专利在2008年获得了首届北京市发明专利奖二等奖。

记者：新一代EMS的应用情况如何？

张教授：三维协调的新一代电网能量管理系统解决了电网调度和控制中的核心关键问题，不需要改造一次电网，以较小的代价，通过开发智慧“大脑”，下达控制命令，使得电网运行更正常、更可靠、更充裕，增大了电网抗扰动能力。

该成果被评为2007年度“中国高等学校十大科技进展”之一，并荣获了2008年国家技术发明奖二等奖。在国际上被誉为电力系统调度自动化之父的Tomas E. DyLiacco博士高度评价了该项技术：“新一代EMS无疑是当今最新的科技进展，它在中国的实现领先于世界。”

除了法国电力公司等少数欧洲国家的电网，世界上其他国家和地区的电网在这方面基本属于空白。2008年，世界上最大的区域电网——美国PJM电网和清华大学签订合同，引入清华的无功电压控制(AVC)技术。通过三期项目，目前，清华的AVC系统已经在PJM电网挂网运行。

这是我国电网调度自动化



2005年，参加在瑞士召开的电网控制中心国际研讨会期间，张伯明教授与国际上被誉为电网调度自动化之父的Tom DyLiacco博士合影

方面的专利技术首次走出国门。最近，我们和马来西亚电网公司、加拿大的BC Hydro等开展该技术的合作。

记者：您取得了这么多成就，能否谈谈成功的经验？

张教授：我没啥经验，就是踏踏实实持之以恒地做自己愿意做的事情。当自己的科研成果被社会采纳，为社会创造价值时，就会觉得特别愉快，特别骄傲。

记者：您这一代人特别能吃苦，有着浓厚的学习热情，这一定是受了时代和家庭的影响。能谈谈您自幼是在什么样的家庭环境中成长的吗？

张教授：我是知识分子家庭出身，受到家庭影响，从小就喜欢学习。对不熟悉的事情感兴趣。再就是文化大革命的上山下乡，给了我很大的锻炼，对我来说，吃苦不是问题。我们那一代人，由于吃苦太多，所以比较能够适应环境，也容易正确定位自

己，容易知足。心里较少会不平衡，容易做到持之以恒。

记者：您是从学生时代开始就立志要投身电力行业吗？

张教授：应该说是一种机缘巧合吧。我是老三届。1968年，刚刚高中毕业后就到了农村，在辽宁省海城县的一个山沟里当了3年“农民”，但我依然保持着浓厚的学习热情，书本纸笔很少离身。

1971年，辽宁鞍山钢铁公司人员短缺，就从农村抽调部分知识青年回城充实工人队伍，我幸运地成为其中一员，返城到鞍钢发电厂做工人。

进入鞍钢发电厂后，因为随处可见的仪表、器械、线路都是我喜欢的技术。于是，我总是利用工作之余做一些自动化仪表方面的小发明，并自学了部分大学课程。

直至1977年恢复高考，由于从未间断过学习，得以通过优异的成绩考入西南交通大学电力机车专业。

当时的西南交通大学外迁到四川的峨嵋山地区，条件十分艰苦，但我们这代人不怕吃苦，由于“文革”浪费了10年时间，一有上学的机会就格外珍惜。

大学期间，得益于过去常年不间断的刻苦自学，本科课程相当轻松，于是便将大部分的精力用于复习考研上，并于1979年下半年顺利考上了哈尔滨工业大学硕士研究生，这距本科入学仅有一年半的时间。

在哈工大，我每天上课近8小时，上晚自习还要熬到很晚，连轴转地学习也完全不觉得累。那时候真是“玩命”地、“发了疯”地学习，在现在的学生看来，那是不可思议的。

一段时间高强度的学习下来，我进步很快，并于1982年成功考入清华大学攻读博士学位，成为当时全校招收的8名博士生之一。

经过不到3年的学习，1985年6月我博士毕业并留校，1987年他到英国做了1年多的访问学者。

记者：请您谈谈在当前能源革命的背景下，能量管理系统面临哪些挑战。

张教授：大量可再生能源接入电网增加了电网运行的不确定性。为保证安全、经济、连续地给用户提供的质量合格的电力，需要对电力系统的运行进行全面、有效、快速、复杂的调度控制。有大量理论研究和技术开发工作需要我们去完成。

记者：请您简要介绍一下您研究的“973”计划项目——“源网荷协同的智能电网能量管理和运行控制基础研究”的概况，以及项目的完成情况。

张教授：作为首席科学家，我2013年开始承担了科技部的“973”计划项目——“源网荷协同的智能电网能量管理和运行控制基础研究”。这个项目从2013年到2017年持续5年。研究在可再生能源发电和电动汽车等负荷广泛接入电网的情况下，如何对电

网进行能量管理和运行控制,使得电网能够安全经济运行,最终使得源网荷达到协同。我们提出了“分布自治—集中协调”的架构和决策机制,提出了“EMS家族”的概念,通过分布自治实现“源”和“荷”的自律,使它们对电网友好;通过集中协调实现源网荷的协调优化,达到总体协同的效果。目前项目的进展情况非常好,已经取得了不少成果,在国内外也有很大的影响力。

记者:除了项目研究以外,您还编著了《高等电力网络分析》一书,被教育部列为全国研究生推荐教材,并在国内外学术期刊上发表论文300多篇,您是如何统筹安排教育与科研工作并取得双丰收的?您认为这些成绩的取得主要得益于什么?

张教授:教学一直是我的最爱,我在清华大学电机系给研究生上电网分析课程已经有20多年了。我很爱我的学生,我们的互动非常多,和他们的互动使我更年轻。应该说,这门课程对研究生在学期间和将来工作帮助都很大。书中大量融入了我对电网概念和分析方法的理解和体会。看到很多我不熟悉的年轻人,通过我的这本书知道我,和我打招呼,我感到非常欣慰。

至于科研,除了个人努力之外,离不开团队的共同努力以及我国整体科研投入的增加。清华大学也为我们提供了宽松的科研环境,让我们可以根据自己的兴趣、专长,自由地作研究。



与学生们在《高等电力网络分析》课程上的合影



2007年在挪威召开的电网控制中心国际研讨会执委会上

记者:您曾在英国做访问学者,并在CIGRE等国际组织中担任一些职务,在国际交流方面较为活跃,您能否通过自身的经验和感受,给广大电力科技工作者,尤其是青年电力科技工作者一些参与国际交流方面的建议。

张教授:国际交流无疑十分重要。实际上,过去的20多年,我把大部分精力用在了国内EMS的技术进步上,在国际交流方面不能和现在的年轻人比。在科技进步全球化的今天,年轻人应该更多地参加国际学术交流。长江后浪推前浪,一代更比一代强,我希望看到更多的年轻人脱颖而出,成为学科和行业的带头人。

记者:未来您还有什么样的目标?

张教授:我本人的能力和精力都是有限的。随着我国科技事业的发展,我国在电气工程科技领域发展很快,很多方面已经走在国际前列了。除了做好本职工作之外,我本人会把更多的时间和精力用在培养年轻人方面。我培养的研究生,现在有的已经成长为长江学者、国家级教学名师,我对此感到非常欣慰。年轻一代,他们极富创新思维,敢于开拓,精力又十分充沛,我没有理由担心他们,他们一定会做得比我好,做出更多对国家有用的成果,这是我最希望看到的。👉