

# 电网智能规划系统技术

黄平,李晖,韩丰,冯建雷

(国网北京经济技术研究院,北京 100052)

**摘要:**为应对我国电力快速发展形势和智能电网发展要求,提出了构建电网智能规划系统的设想。阐述了智能规划系统架构和基本特征,以及电网规划数据模型标准、应用接口标准和管理体系数据流标准等三类智能规划标准。进一步讨论了未来规划发展的主要方向,总结了智能规划系统的主要支撑技术。在电网规划研究平台建设中初步实践了智能规划系统技术,初步建立了电网规划网架数据模型,构建了贯穿电网规划全流程的功能应用。平台按两级应用部署,能够有效结合规划工作管理和功能技术两方面,有助于统一规划体系建设。

**关键词:**智能规划;数据模型标准;电网规划;电网规划研究平台;分布式计算

**作者简介:**黄平(1984-),男,硕士,工程师,主要研究方向为电网规划设计、电力系统分布式计算等。

**中图分类号:**TM715 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-9529(2012)01-0045-06

**基金项目:**国家电网公司科技项目(SGKJJSKF[2009]784)

## Intelligent Planning System Technology for Power Grid

HUANG Ping, LI Hui, HAN Feng, FENG Jian-Lei

(State Power Economic Research Institute, Beijing 100052, China)

**Abstract:** To meet the demands of rapid development of power system and smart grid technology in China, this paper proposes a scheme of intelligent power grid planning system. Its architecture and basic characteristics are described; its three data model standards are put forward including grid planning data model standard, application interface standard and management data stream standard; the main development orientation of future grid planning is further discussed; supportive technologies for intelligent planning system are summarized. The intelligent planning system has been applied to the preliminary construction stage of grid planning and research platform; the grid planning data model has been established; the function application for the whole procedure of power grid planning has been implemented. The platform is constructed by two layers of application, capable of integrating both planning management and technology effectively.

**Key words:** intelligent planning; data model standard; grid planning; grid planning & research platform; distributed calculation

**Foundation items:** Science and Technology Project of State Grid Corporation of China(SGKJJSKF[2009]784)

## 1 电网规划的现状

目前我国电网规划领域,尤其是输电网规划领域尚无类似能量管理系统(EMS)、配电管理系统(DMS)的成熟应用系统。国内外应用于电网规划方面的计算机技术的实践中,大都侧重于电网规划的某个环节,采用的开发模式、数据模型标准、技术路线等各不相同,在与基建、生产、调度运行等其他流程的有效衔接方面仍难以广泛应用。

传统的规划理念和工作模式已难以适应我国电力快速发展的形势,而现代智能电网技术<sup>[1-2]</sup>

将进一步推动电力、电网规划向标准化、智能化的方向发展。

目前,我国电网规划现状主要存在以下问题:

(1) 人为不确定因素大,数据一致性差

规划中的电网网架及运行状态数据无法通过量测单元获取,实际工作中主要依靠人为设计和预测,但各设计单位的规划思路和预测方法不尽相同,因而在数据一致性上存在差异。

(2) 电网规划相关标准尚未建立

现有各类数据模型标准难以应用于电网规划系统中。电网规划是电力系统建设的第1步,由于规划存在不确定性,规划电网的信息和数据模

型颗粒度没有必要也不可能达到实际电力系统信息模型的细致程度。

(3) 缺乏统一衔接

电网规划不是独立过程,规划数据及结果必须考虑是否能够与后期工程的规划、基建、生产、调度各过程相衔接。

(4) 电网规划业务和数据的组织方式难以适应电网快速发展要求 亟需创新

为此,本文提出了构建电网智能规划系统的设想,给出了智能规划的基本目标、性能特征和主要支撑技术,并在国家电网公司电网规划研究平台的建设中进行了初步探索。

### 2 智能规划系统构架

传统上,电网“智能规划”概念主要出现在两大类研究中。一类是将智能工程理论、优化理论、风险评估理论等理论、方法应用于电网规划问题中,研究实现电网规划的优化核心算法<sup>[3-5]</sup>。这类研究偏理论化,由于缺乏应用开发平台,转化为实际应用较少。另一类是采用计算机技术构建软件系统,开发实现已成熟的相关方法,提高电网规划的准确度和工作效率<sup>[6-8]</sup>。

本文提出的智能规划系统不是单纯的着眼于局部问题的算法研究和实现,而是结合数据信息、智能规划标准和支撑技术三大类要素,实现管理、工程应用、研究开发一体化交互的智能系统,具有信息化、标准化、智能化的基本特征,整体架构如图1所示。

该智能规划系统中智能规划标准是关键,为电网规划涉及各类关系对象进行标准建模,保证各类开发应用的无缝集成,为电网规划理论成果转化和功能实现提供标准的开发平台。同时智能规划标准也是保证与智能电网各系统衔接的基础。

智能规划系统为管理部门、工程应用单位和研究开发单位3类规划设计业务主要参与者提供了一体化交互平台;为管理部门提供权威的信息服务和标准的数据流管理体系,保证数据的有效性;为工程应用部门提供成熟的功能应用,以取代、提升现有的电网规划的各项实际工作;为研究开发单位提供标准开发平台,实现各类成果的转换和集成,同时研究改进智能规划相关标准,形成电网规划新模式。

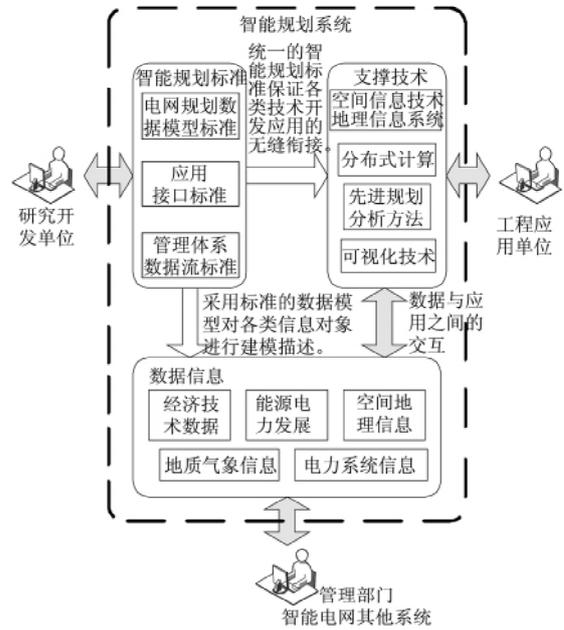


图1 电网智能规划系统架构

### 3 基本特征

#### 3.1 信息化

电网规划涉及的信息领域不仅包括电力系统核心领域,而且包括国民经济发展、能源资源分布、地理地质等相关领域,例如,经济性是电网规划的首要目标之一。

电网规划需要考虑国民经济发展情况、设备造价水平、工程建设费用、电网维护经营、土地价值等经济信息;能源电力信息是电力、电网规划的前提和重要边界条件;附有空间信息的站址和输电走廊的选择是电网规划设计的重要环节;地质、气象信息将为导线、杆塔设备选型工作提供依据。电网规划信息的有效组织意味着结合电力系统专业深度和与其他专业的广度。

相对于智能电网技术中采用高级量测技术(Advanced Metering Infrastructure,简称AMI)对电网设备物理信息的采集、建模和分析,电网规划涉及信息领域更广,需要考虑的因素繁多,时间维度更长。同时,由于电网规划的不确定性,导致描述规划电网的数据模型粒度较粗。

智能规划系统具有开放性、信息化的特点,具备充分的数据和庞大的设备架构体系,信息高度融合集中。在此基础上实现可视化功能,形成先进的人机决策系统。

#### 3.2 标准化

标准化致力于解决电网规划交互性问题。电网规划是一个技术和管理紧密结合的过程,决定了规划工作的强交互性。电网规划的研究对象既有现状存在的电网,也有未来规划的虚拟电网,意味着对电网的整体描述既需要生产调度环节的采集数据,也需要由规划技术人员预测评估数据。因此,与智能电网中侧重于设备运行状态信息采集的交互性特点不同,智能规划系统的交互性包含了人—人之间和人—物之间两个方面。智能规划标准共包括3类标准。

### (1) 电网规划数据模型标准

是智能规划系统的核心,用于对多水平年时态的电网规划网架等重要对象的描述,支撑电气计算、详细负荷预测、工程项目管理等主要规划业务流程。

目前,调度自动化系统广泛采用的 IEC 61968 和 IEC 61970 标准分别描述了 DMS 和 EMS 的数据模型和应用接口<sup>[9-11]</sup>,但难以直接应用于智能规划系统中。这是因为电网规划业务需要保障时态一致性和版本一致性。

时态一致性是指规划数据在电网未来演变过程中保持一致性,要求不仅仅将当前时间断面的电网作为设计对象,而应将整个网架演变过程作为设计目标。

版本一致性是指不同规划版本之间的规划网架数据的一致性。电网规划业务流程具有反复论证、滚动更新的特点,应采用基准电网作为版本管理组织主线,如图2所示,其中基准网架是指在电网现状的基础上叠加规划电网形成的多水平年时态的网架数据。

另一方面,电网规划数据模型的侧重点也有不同。与调度运行阶段相比,更注重工程建设经济性和投资方面数据模型的描述。

### (2) 应用接口标准

主要用于各类功能应用模块之间的接口建设,解决不同软件应用研发单位以及与其他系统的交互问题。电网规划主要功能应用包括电源建设序列和负荷预测、电力电量平衡计算、电气计算等;其他系统包括生产系统(PMS)、调度自动化系统(DAS)等。应用接口标准是实现智能规划系统内部统一、与外部有效衔接的基础。

### (3) 管理体系数据流标准

用于各类规划数据采集流程和标准化组织,

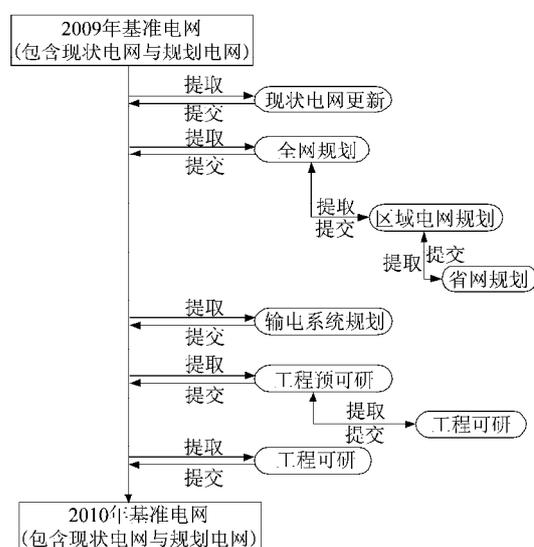


图2 规划版本管理主流程

以尽量减少人为因素的影响,保证数据的有效性和一致性。尽管电网规划相关管理规定不断更新,仍较难满足智能规划系统的数据质量要求,直接影响规划成果的可行性。

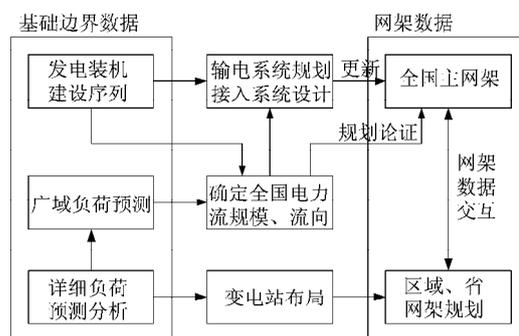


图3 电网规划数据流示意图

如图3所示,电网规划工作流程本质上是从装机、负荷等边界数据到规划网架数据的数据流。数据流标准主要包含基础边界数据管理和网架数据交互两个方面。其中,装机序列和负荷预测等基础边界数据流是自下而上的,而规划网架数据则存在上下层级的交互。管理体系数据流标准将细致描述各规划单位和机构在数据流中的职能,完成顶层设计。

### 3.3 智能化

在具备信息化和标准化特征之后,规划系统能够初步对规划技术人员进行辅助,大大提高规划的科学性、一致性和集约化程度。应用智能化则是智能规划系统的成熟阶段。届时,电网规划研究将主要向3个方向发展:

(1) 为规划技术、管理人员提供标准化的应用平台;

(2) 为科研人员和开发单位提供标准化的功能开发平台,加快各类研究成果的实际应用转化,取代现有的电网规划的各项实际工作;

(3) 不断适应智能电网发展和规划思路转变,更新、升级智能规划三大标准。电网规划的理念、方法、流程机制都将达到一个更高层次。

## 4 主要支撑技术

### 4.1 空间信息技术和地理信息系统

在传统电网运行管理过程中,由于技术人员主要关注网架拓扑结构和设备运行状态,地理信息没有受到很大关注。随着电网向智能化方向发展,地理信息系统在电力系统规划、设计、生产管理领域展现出巨大潜力。

空间信息技术的应用和地理信息系统的建立<sup>[12]</sup>,对实际运行电网的描述将大大丰富,为规划工作提供充足的地理、地质、气象信息。同时地理信息系统为智能规划系统提供了功能实现平台,为智能化选址选线、输电走廊设计、设备选型提供基础。

### 4.2 分布式计算

分布式计算技术是指通过网络组织空间分布的计算资源完成统一计算任务的计算技术<sup>[13]</sup>,包括现在得到广泛关注和研究的网格计算和云计算。电网规划管理特点以及电力市场改革和运行意味着能源电力规划需要保证统一性和完整性,同时各单位既需要在市场竞争中保持相对独立性。这使得分布式计算在智能规划系统中具有良好应用前景。

以电网规划电气计算为例,长期以来,对电网边界的处理主要采用电网边界等值为恒功率节点的方式。在这种处理方式下,公司范围内规划中 220 kV 及以下规划网架情况往往难以得到及时更新。同时在网省公司规划中,只能对本地区网架规划情况进行精确描述,而难以获取其他地区网架数据。随着全国电网结构不断加强,地区之间联系更加密切,这种处理方式必然导致安全计算校核结果存在不可忽视的偏差。

电力系统分布式计算近年来取得了众多研究成果<sup>[14,15]</sup>,为电网规划平台的分布式应用提供了理论基础。在保证数据有效性的基础上,采用分

布式计算技术能够在适应电力体制改革的同时,有效提高规划的科学性。

### 4.3 先进的规划分析方法

电网规划分析计算主要包括负荷预测、电力电量平衡计算、电力流设计、电气计算、经济性计算,以及规划网架形成优化算法和风险评估算法等。

目前,虽然在规划研究方面取得了大量理论研究成果,但实际规划工作的计算分析技术手段依然变化不大,应用潜力存在很大的挖掘空间。例如,在负荷预测技术方面具有大量成果和系统建设经验,可将研究范围深入至 220 kV 及以下变电站进行详细分析;在电网规划数据模型标准的基础上,进一步开发、引进先进电气计算软件,在规划领域普遍实现电磁暂态计算功能;采用风险分析方法评估规划方案等。各类先进的规划分析方法及其实用化是智能规划系统实现智能化特征的主要手段。

### 4.4 可视化技术

作为智能电网核心技术之一<sup>[16]</sup>,可视化技术也是智能规划系统的关键技术之一,主要应用于 2 个方面:

#### (1) 规划网架的可视化展示

采用可视化技术实现图形和数据的结合,实现各类信息的数字化、可视化,包括电气计算结果、地理地质信息、经济分析情况等。为规划决策提供更加精确的地理接线图和站内电气图,辅助规划人员实现方案设计,缩短决策周期,快速应对电网发展形势。

#### (2) 各类功能指标的可视化展示

在可视化平台上展示电网发展评估指标、规划网架运行风险指标等,为现状电网发展质量和未来规划电网安全性、经济性进行评估和预警。

## 5 初步应用

在国家电网公司电网规划研究平台的建设中,初步应用电网智能规划系统技术<sup>[11,17]</sup>。平台为开放式、多用户系统,按总部、网省公司两级应用设计,数据存储采用 Oracle 商用数据库,在地理信息系统基础上基于 B/S (Browser/Server) 和 C/S (Client/Server) 架构实现。

平台采用规范化原则进行数据库设计,初步建立了电网规划网架数据模型。模型按照由核心

到外围逐步建设的顺序完成数据组织,具备良好的可拓展性。

电网规划工作遵循统一规划、分级管理的原则,根据传统规划思路和电网规划内容深度规定,电网规划必须具备电网现状分析、电力需求预测分析、电源建设布局、电力电量平衡、电网方案设计、电气计算、建设规模分析、经济性分析等主要内容。因此,平台功能设计贯穿了规划的所有流程,保证了平台的实用性,同时将技术应用功能和管理功能相结合。功能应用框架如图4所示,其中规划任务管理、工程管理、报告辅助编制和电气化铁路牵引站管理模块为管理功能模块。

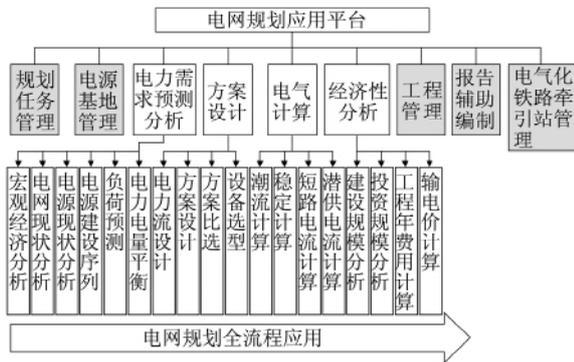


图4 电网规划研究平台功能应用框架

平台应用在总部、网省公司2层部署,应用模式如图5所示。总部设计制定全国电力流,完成主网架初步设计,并下发网省公司。网省公司在主网架初步设计的基础上完成本区域内网架初步设计方案,包括变电站布局、线路走廊等关键部分,并根据本区域实际情况在标准化平台上开展负荷预测工作,上报更新各网省区域内的网架方案和负荷方案。各部门相互配合,最终可形成完整统一的全国电网规划方案。

目前,平台已在国家电网公司“十二五”电网规划工作中初步发挥了作用。电网规划研究平台是对目前电网规划各类应用系统的初步集成和提升,是实现智能规划系统的重要阶段。在此基础上,未来工作将在深入研究、建立各类智能规划标准。

## 6 结语

为应对我国电网快速发展形势和智能电网发展要求,本文提出了构建电网智能规划系统的设

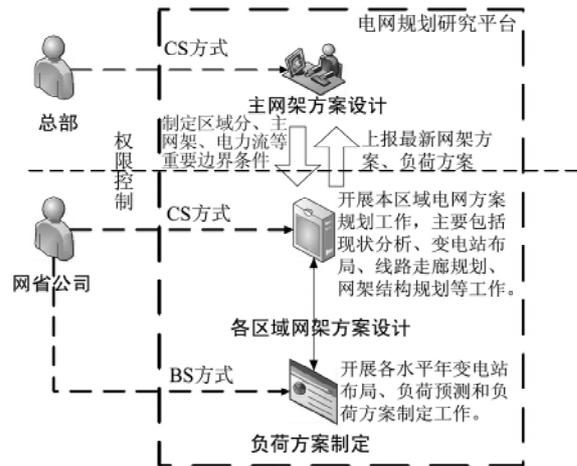


图5 电网规划研究平台应用模式

想,给出了智能规划系统的构架和基本目标。阐述了智能规划系统建设所需的三类主要标准和未来规划发展的主要方向,总结了智能规划系统的主要支撑技术。在电网规划研究平台建设中,初步实践了智能规划系统技术,构建了贯穿电网规划全流程的功能应用,能够有效结合规划工作管理和功能技术两方面。在此基础上,下一步将深入研究、建立各类智能规划标准,形成标准化的电网规划开发平台。

## 参考文献:

- [1] Department of Energy, U. S. Smart Grid System Report [R]. Washington, D. C., U. S. July, 2009.
- [2] Electric Power Research Institute, U. S. Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap [R]. Palo Alto, California. U. S. June, 2009.
- [3] 宋泾舸, 查建中, 陆一平. 智能规划研究综述: 一个面向应用的视角[J]. 智能系统学报, 2007, 2(2): 18-25. SONG Jing-ge, CHA Jian-zhong, LU Yi-ping. Survey on AI planning research an application-oriented perspective [J]. CAAL Transactions on Intelligent Systems, 2007, 2(2): 18-25.
- [4] 丁德路, 姜云飞. 智能规划及其应用的研究[J]. 计算机科学, 2002, 29(2): 100-103. DING De-lu, JIANG Yun-fei. On the intelligent planning and its applications [J]. Computer Science, 2002, 29(2): 100-103.
- [5] 丁伟, 胡兆光. 智能工程理论扩展及其在电网规划中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(16): 15-21. DING Wei, HU Zhao-guang. Intelligent engineering theory expanding and its application in transmission planning [J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(16): 15-21.
- [6] 王成山, 王赛一. 基于空间GIS的城市中压配电网智能规划(一): 辐射接线模式的自动布局[J]. 电力系统自动

- 化: 28(5): 45-50.
- WANG Cheng-shan, WANG Sai-yi. The intelligent planning of urban mid-voltage distribution network based on spatialgis, Part One: Automatic Routing of Radial Network [J]. Automation of Electric Power Systems: 28(5): 45-50.
- [7] 胡子珩, 刘顺桂, 邱利斌, 等. 深圳电网智能化自动运行短期负荷预测系统[J]. 电网技术, 2005, 29(23): 74-79.
- HU Zi-heng, LIU Shun-gui, QIU Li-bin, et al. An auto-operating intelligent short-term load forecasting system for shenzhen power network [J]. Power System Technology, 2005, 29(23): 74-79.
- [8] 章超, 钟胜, 范丽霞, 等. 扩大华中与西北电网联网规模的可行性研究[J]. 电网技术, 2007, 31(17): 76-80.
- ZHANG Chao, ZHONG Sheng, FAN Li-xia, et al. Feasibility study on enlarging interconnection scale of Central China Power Grid with Northwest China Power Grid [J]. Power System Technology, 2007, 31(17): 76-80.
- [9] IEC 61970. Energy management system application program interface [S]. International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland, 2008.
- [10] IEC 61850. Communication networks and system in substations [S]. International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland, 2008.
- [11] 黄平, 李晖, 韩丰, 等. 基于水平年时态的电网规划网架数据模型设计[J]. 华东电力, 2011, 39(5): 711-715.
- HUANG Ping, LI Hui, HAN Feng, et al. Network data model design for grid planning based on planning year status [J]. East China Electric Power, 2011, 39(5): 711-715.
- [12] 倪建立, 孟令奎, 王宇川, 等. 电力地理信息系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [13] MOHAMMAD Shahidehpour, WANG Yao-yu. Communication and control in electric power system: applications of parallel and distributed processing [M]. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003: 177-232.
- [14] 陈颖, 沈沉, 梅生伟, 等. 基于改进 Jacobian-Free Newton-GMRES(m) 的电力系统分布式潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(9): 5-8.
- CHEN Ying, SHEN Chen, MEI Sheng-wei, et al. Distributed power flow calculation based on an improved Jacobian-Free Newton-GMRES(m) Method [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(9): 5-8.
- [15] 黄平, 沈沉, 陈颖. 多层电力系统的异步迭代分布式潮流计算[J]. 电网技术, 2008, 32(7): 19-24.
- HUANG Ping, SHEN Chen, CHEN Ying. An asynchronous iterative distributed algorithm for unified power flow calculation of vertically integrated power systems [J]. Power System Technology, 2008, 32(7): 19-24.
- [16] 刘俊勇, 沈晓东, 田立峰, 等. 智能电网下可视化技术的展望[J]. 电力自动化设备, 2011, 30(1): 7-13.
- LIU Jun-yong, SHEN Xiao-dong, TIAN Li-feng, et al. Prospects of visualization under smart grid [J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 30(1): 7-13.
- [17] HUANG Ping, LI Hui, HAN Feng, et al. Design and application of grid planning & research platform of State Grid Corporation [J]. AESIEAP 18th Conference of the Electric Power Supply Industry (CEPSI), Taipei, 2010.
- 收稿日期: 2011-08-11  
 本文编辑: 王志胜

## 电力简讯

### 1 000 kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程扩建工程正式投入运行

2011年12月16日,由我国自主研发、设计、制造和建设的,目前世界上运行电压最高、输电能力最强、技术水平最先进的交流输电工程——1 000 kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程扩建工程正式投入运行。

1 000 kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程自2009年1月6日正式投入运行,2011年1月扩建工程开工,10月全面竣工,12月9日完成系统调试和168 h试运行。扩建后,晋东南、南阳、荆门三站均装设两组容量3 000 MVA的特高压变压器,线路装设40%的特高压串联补偿装置,具备稳定输送5 000 MW电力的能力。

依托工程建设,在特高压输电系统的串联补偿、过电压控制、特快速暂态过电压测量与控制、潜供电流、电磁环境、大型复杂电极操作冲击放电特性、大型电力设备抗地震、大电网运行控制技术等方面取得新突破,在世界上率先掌握了特高压大容量输电系统集成技术;立足国内,在世界上首次研制成功了特高压串补、大容量特高压开关、双柱特高压变压器等代表世界最高水平的特高压交流新设备,指标优异、性能稳定,综合国产化率超过90%。

(本刊讯)