

DOI: 10.7667/PSPC150685

基于 CIM 的电网规划管理决策辅助系统

罗庆¹, 吴良良², 寿挺², 朱铁铭², 黄民翔¹

(1. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 国网浙江杭州市萧山区供电公司, 浙江 杭州 311201)

摘要: 针对电网规划所面临的多部门、多层级的低效收资, 设计并编程实现了基于 CIM 的电网规划管理决策辅助系统。该系统以基于 CIM 模型的数据库设计为底层基础, 构建的数据库定期由 GIS 系统、EMS 系统和外部导入进行更新, 实现数据共享。功能层面主要分为评估分析模块、规划研究模块以及数据发布模块。评估分析模块主要支持对现状电网供电能力和运行水平的评估工作; 规划研究模块主要支持规划设计中的辅助决策工作和规划评价工作; 数据发布模块主要支持上述两个模块中数据的发布查询功能。以某地区局部电网为例, 验证了该系统的高效实用性以及对电网规划工作良好的指导意义。

关键词: 数据库; 评估分析; 决策; 电网规划; 数据发布

Decision support system for power grid planning and management based on CIM

LUO Qing¹, WU Liangliang², SHOU Ting², ZHU Tieming², HUANG Minxiang¹

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. State Grid Zhejiang Hangzhou Xiaoshan Power Supply Company, Hangzhou 311201, China)

Abstract: To cope with the inefficient data collection of the power grid planning in multisectors and multilevels, the power grid planning and management decision support system based on CIM is designed and programmed. The database based on CIM model is designed as the underlying basis in the system, the database is regularly updated by the GIS system, marketing system and external introduction, and the data sharing is realized. The functional level is divided into evaluation and analysis module, planning module and data publishing module. Evaluation and analysis module mainly supports the evaluation of power supply capacity and operation level of power grid status; planning module mainly supports the auxiliary decision work and evaluation of the planning and design work; and data publishing module mainly supports the query function of the data issued in the above two modules. The system is verified to be reasonable and high efficient to the power grid planning work in a local distribution network.

Key words: database; evaluation and analysis; decision-making; power grid planning; data publishing

0 引言

2010年, 国家电网公司提出建设五大体系(大规划、大建设、大运行、大检修、大营销), 旨在围绕相关主要业务领域, 推进管理体制和工作机制创新, 实现企业管理向集中精益方式转变。

“大规划”是“五大”体系的重要组成部分, 也是电网安全的第一道防线^[1-2]。然而, 随着现代电网规模越来越大, 电网结构日益复杂, 加上规划工作本身的不确定性因素大, 规划项目管控所涉及的部门多、领域广, 致使传统的规划方法在新形势、新要求下已经不能满足现代电网规划的要求^[3-6]。以

实现“大规划”为目标, 现阶段下电网规划所需解决的重点问题有:

(1) 没有实现信息的有效共享与更新, 每次开展规划工作都需要进行大规模的重复收资劳动, 工作量大、效率低。

(2) 对电网规划方案的优劣缺乏明确的衡量标准且没有相应的动态跟踪评价机制, 使得规划的实用性、适用性受到影响。

(3) 缺乏对电网规划方案实施效果和程度的量化分析, 无法明确电网规划后方案的优劣。

(4) 对电网规划项目的建设和动态管控要求缺乏全面性的认识和理解。

(5) 对现状电网和规划电网还停留在定性和单一方面的定量分析上, 没有形成统一的评价指标体系。

(6) 对影响电网规划建设的主要因素分析还停留在主观的判断上, 没有进行深入的挖掘和定量分析, 无法具体指导城市电网建设。

目前, 已有许多学者对电网规划辅助系统进行了充分的研究分析。文献[7]结合 SE-DEA 模型及交叉概率模型的优点并建立了一套合理的电网规划综合评判体系; 文献[8]提出了一种 DEA 和 AHP 相融合的方法, 既能考虑客观的数据也能体现决策者的主观判断; 文献[9]将 GIS 技术、计算机技术、电力规划领域等最新研究成果引入电网规划, 可使规划结果可视化, 决策智能化。

本文提出一套基于 CIM(Common Information Model)模型的电网规划管理辅助系统, 并编程实现。将该系统应用于实际规划工作中可以实现: 高效共享数据以避免多部门多层级的低效收资, 提供新用户接入的科学决策流程以加强用户和公司的纵向贯通, 提供网架优化建议以更好的统筹配电网发展, 全面评价规划成效以增强规划成果的反馈力度。

1 系统架构

1.1 总体设计

系统从总体架构上分为四个层次, 分别为基于 CIM 数据库层、通用组件层、业务服务层和用户表现层, 各层之间相互分离, 以便于系统的灵活扩展, 其总体架构如图 1 所示。



图 1 电网规划管理决策辅助系统总体架构图

Fig. 1 Structure of the grid planning and management decision support system

(1) 基于 CIM 数据库层: 即在底层建立的基于 CIM 建模思想的规划数据库, 它是整个数据管理和共享的基础。

(2) 通用组件层: 为业务服务层的基础, 它是在系统各功能模块的基础上, 通过抽取类似功能来构建通用组件, 如数据连接、数据管理等模块。为避免重复开发, 可将其抽取出来作为通用组件, 供其他应用模块调用, 以便在业务变更时通过修改特定组件就可满足全部系统修改的要求。

(3) 业务服务层: 是为规划研究、管理、评审、决策等工作提供各种专业功能服务的中间层。它可划分为数据发布、规划研究两大应用功能模块, 可提供各类数据的发布展示、电源接入评估、负荷变化评估、规划评价等服务。

(4) 用户表现层: 是规划数据管理系统模块的最高层, 可为用户提供各种应用工作的平台。本平台的用户可分为领导、系统管理员、一般用户(规划工作人员)三类。

1.2 数据库设计

数据库设计是电网规划管理决策系统各具体功能的基础^[10-12], 电网规划工作中所需的基础数据可分为如下七类。

(1) 社会经济资源数据: 包括按年份和地区的发展情况、能源资源情况等能反映社会经济以及电力资源整体状况的数据, 如 GDP(分产业), 人口数、行政面积、可再生能源装机总量。

(2) 基础地理数据: 包括构成地理、地貌必须的元素, 以及各类站点及设备地理坐标等。基础地理数据是系统的基础, 其余各类数据必须直接或间接与空间数据关联, 如 10 kV 设备地理信息(GIS), 35 kV 及以上设备地理信息平台(PMIS)。

(3) 电网数据中包含了电网设备指标、电网结构指标、电网可靠性指标和规模指标。具体数据包括:

① 线路数据。110 kV、35 kV 线路情况(线路条数, 总长度, 运行年限)、10 kV 线路情况(架空/电缆线路条数, 运行年限, 总长度等)。

② 变电设备数据。35 kV 及以上变电站(座数, 主变台数, 变电容量, 间隔使用率, 运行年限, 无功补偿), 10 kV 配变设备情况(公用/专用配变台数/容量, 运行年限)。

③ 电厂规模数据。并网电厂容量装机。

④ 可靠性指标数据。用户平均停电频率、用户平均停电时间、供电可靠率、高压设备(架空线路、电缆、变压器、断路器)故障率、电压合格率。

(4) 运行数据主要是指负荷和电量数据, 最大负荷、年负荷曲线、日负荷曲线、全社会用电量都具

备空间属性。具体数据包括：用电量及用电构成，最大负荷，典型年/日负荷曲线；变电所主变实时负荷，年最大负荷；10 kV 主干线路实时负荷，年最大负荷，配变负载率。

(5) 典型设备参数数据

常见型号主变/架空线/电缆线阻抗参数。

(6) 工程数据包括规划项目储备数据库，电网规划到投资计划的全过程数据。工程数据通过运维单位与空间数据相关联。具体数据包括：电源规划工程方案，变电站规划工程，方案线路规划工程方案，用户/负荷新装工程。

(7) 财务数据指投资分析、输电价计算、上网电价计算等经济性分析所涉及的基础参数数据。其中的各种工程造价、上网电价等电价信息需要与空间数据关联。具体数据包括：110 kV/35 kV/20 kV 及以下新建/扩建/改造变电站，新建架空线路，新建电缆线路，新建开关站，新建箱式变电站，新建配电室/环网柜的单位造价。

在电网规划阶段，上述七类数据在时间尺度、应用范围上存在明显差异，如表 1 所示。

表 1 基础数据表

Table 1 Table of basic data

数据类型	时间尺度	主要应用范围
(1)(2)	规划基准年及前 5 年	地区发展概述、负荷预测
(3)(4)(5)	规划基准年	电网现状分析、负荷预测
(6)	计划执行年及后 5 年	网架规划
(7)	计划执行年	投资估算

1.3 基于 CIM 的公用信息模型

本文建立基于 CIM 的公用信息模型，CIM 能解决应用程序之间通信的语义问题，通过公用信息模型，各个应用程序之间的通信就有了共同的词汇语法。

建立公用信息模型，电力企业在进行电网规划过程中，可以将原来用大量的点对点方式实现的应用集成(如图 2 所示)转变为 N 点的应用集成，现有系统只需要定制满足公用信息模型标准的适配器，通过符合 CIM 规范的 ESB(企业服务总线)总线即可与其他系统集成(如图 3 所示)，减少了重复性工作，提升了工作效率。

ESB 是一种中间件软件，是应用程序之间通信技术的最新发展，并已经成为 SOA 架构必不可少的基础组成部分。ESB 主要完成以下五种功能：

- (1) 服务之间的消息路由；

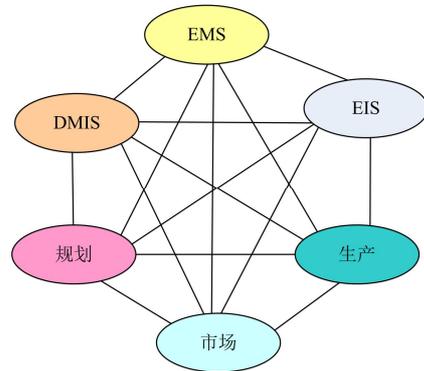


图 2 点对点集成

Fig. 2 Peer-to-peer connections

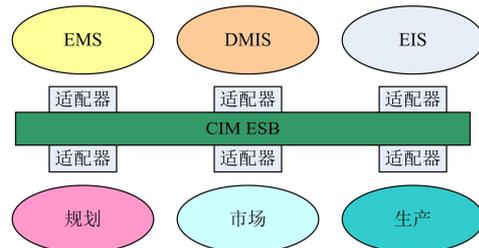


图 3 基于 CIM ESB 的 N 点集成

Fig. 3 N points connection based on CIM ESB

- (2) 请求者和服务之间的传输协议转换；
- (3) 请求者和服务之间的消息格式转换；
- (4) 处理各种来自不同业务的事件；
- (5) 保证服务质量(安全、可靠和交互处理)。

2 系统具体功能

电网规划管理决策系统实现基于 CIM 的规划模型的扩展，构建规划模型的对象设计，在 CIM 模型基础上完成底层数据库设计，功能层面主要分为评估分析模块、规划研究模块以及数据发布模块。评估分析模块主要支持对现状电网供电能力和运行水平的评估工作，规划研究模块主要支持规划设计中的辅助决策工作和规划评价工作；数据发布模块主要支持上述两个模块中数据的发布查询功能，便于可视化。其系统结构如图 4 所示，三大模块的具体功能如图 5 所示。

2.1 评估分析

评估分析主要是对电力规划的各项基础数据进行整理挖掘，给出相应的年度信息统计，主要包括运行水平和供电能力两个方面，以便对现状电网进行薄弱环节分析从而可以为规划提供基础和决策依据^[13-14]。

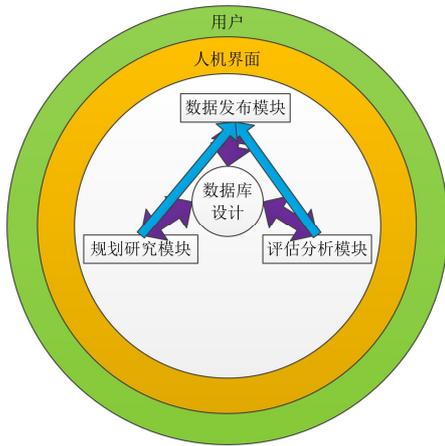


图 4 电网规划管理决策系统结构

Fig. 4 System structure of the grid planning and management

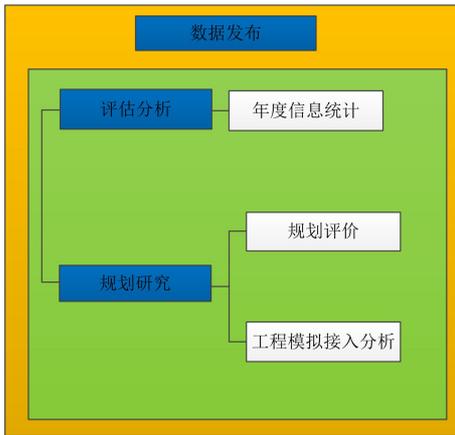


图 5 三大模块功能图

Fig. 5 Function chart of the three modules

根据国家电网公司发布的《配电网运行水平和供电能力评估导则》为主，结合《城市配电网规划设计规范》、《城市配电网技术导则》等依据制定出电网评估指标表，如表 2 所示。

在评估分析阶段，需要导入电网基础数据，通过表 2 中的计算方法计算出相应的指标。针对计算指标，逐项评估电网的运行状况，找出电网的优势与不足之处。

2.2 规划研究

2.2.1 工程模拟接入分析应用

对工程进行合理的接入选择是电网规划中的重要一环，对未来电网建设、布局的优劣起着至关重要的作用^[15]。

该功能利用系统进行工程模拟接入，主要从负载水平，网络损耗，可靠性，经济性四大方面进行计算，分析工程接入之后电网发生的变化，在不同情况下提供给决策者相应的决策依据。

表 2 评估指标表

Table 2 Table of evaluation index

指标	计算方法
装备水平	
线路绝缘化率/%	绝缘线路长度(电缆线长度+架空线绝缘长度)/线路总长度
架空线路绝缘化率/%	架空线绝缘长度/架空线总长度
技术水平	
供电半径超标比例/%	10 kV 线路主干线超标线路条数/线路总条数
装接配变容量偏高的线路比例/%	10 kV 线路装接配变容量大于 12 MVA 的线路条数/线路总条数
负载能力	
110 kV 容载比	110 kV 变电站总变电容量/最大负荷
线路重载比例/%	10 kV 线路负载率超过 70% 的线路条数/10 kV 线路总条数
配变重载比例/%	配变负载率超过 80% 的配变台数/配变总台数
转供能力	
最大负荷下变电站 N-1 通过比例/%	满足 N-1 校验的变电站座数/变电站总座数
线路“N-1”通过率/%	满足 N-1 校验的 10 kV 线路条数/10 kV 线路总条数
与不同变电站联络线路比例/%	含有异站联络线的 10 kV 线路条数/10 kV 线路总条数

2.2.2 规划评价应用

该应用综合考察研究国内外电网规划评价的相关理论方法，结合国家电网公司相关技术导则，分析影响电网规划的主要因素，建立了一套涵盖电网协调性、适应性、经济性、可靠性等方面的电网规划评价指标体系，并采用多属性决策方法进行综合量化评估^[16-17]。图 6 为电网规划评价指标体系的总体框架图。

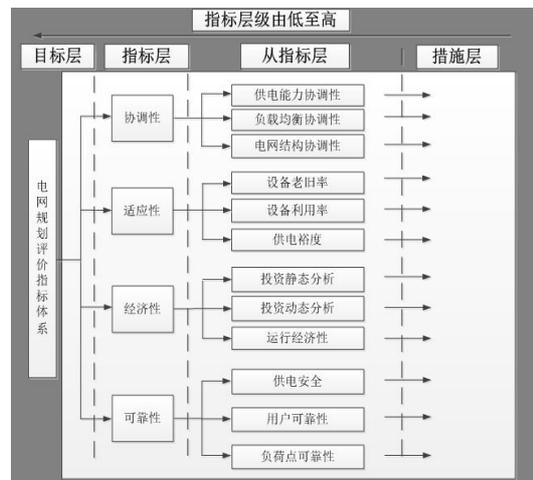


图 6 电网规划评价指标体系

Fig. 6 Evaluation system of grid planning

规划评价体系采用层次分析法(AHP)进行多属性决策, AHP 的基本思想是把一个复杂的问题分解为各个组成因素, 并将这些因素按支配关系分组, 从而形成一个有序的递阶层次结构。本文建立的 AHP 具体模型如下所示:

(1) 构造单层次模型结构, 如图 7 所示, 其中 C 为目标, A_i 为隶属于 C 的 n 个评价元素。

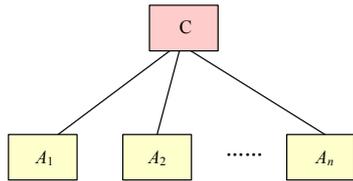


图 7 层次结构图

Fig. 7 Hierarchy chart

(2) 决策者在这个目标意义下对这个元素进行评价, 构造判断矩阵(如式(1)所示)对个元素进行优劣排序。

$$C_k = \{a_{ij}\}_{n \times n} \quad (1)$$

其中, a_{ij} 表示指标 i 和 j 的相对重要程度, 且 a_{ij} 满足:

$$a_{ij} = 1 / a_{ji} \quad (2)$$

2.3 数据发布

数据发布模块是对评估分析模块和规划研究模块中的结果进行可视化发布, 主要以文档和表格的形式呈现。

3 功能展示

本文选取某区域三个供电所所辖供电区域作为案例试点区域, 将“基于 CIM 的电网规划管理辅助系统”应用于试点区域的 2015 年配电网规划并进行案例分析说明。

3.1 数据共享

利用 EMS 系统、GIS 系统的数据接口以及部分外部数据的输入, 将规划基础数据库更新, 作为本次配电网规划的数据基础, 实现了数据的高效共享, 导出试点区域中的部分重要现状数据“10 kV 公用变台账”、“35 kV 公用变台账”、“10 kV 线路公用变台账”作为案例示范分别如表 3、表 4、表 5 所示, (由于数据量较大, 导出台账明细只举例示意)。

3.2 数据挖掘

为了便于查看试点区域的现状电网情况, 本系统实现将数据库中的数据进行自动挖掘计算, 得到相应的指标并导出结果, 列举出其中若干关键指标如表 6 所示。

表 3 110 kV 公用变台账

Table 3 Ledger of 110 kV transformer substation

字段 1: 名称	字段 2: 主变 台数	字段 3: 变电容量 /MW	字段 4: 10 kV 出现 间隔总数	字段 5: 剩余 间隔数	字段 6: 最大负 荷/MW
城东变	2	2×50	24	0	65.34
...

表 4 35 kV 公用变台账

Table 4 Ledger of 35 kV transformer substation

字段 1: 名称	字段 2: 主变 台数	字段 3: 变电容 量/MW	字段 4: 10 kV 出现 间隔总数	字段 5: 剩余间 隔数	字段 6: 最大负荷/ MW
市北变	2	2×20	18	4	29.56
...

表 5 10 kV 线路台账

Table 5 Ledger of 10 kV line

字段 1: 线路 名称	字段 2: 所属 变电站	字段 3: 线路 长度	字段 4: 挂接配变 容量/MVA	字段 5: 最大 电流/A	字段 6: 联络 线路 1	字段 7: 联络 线路 2
宝盛 777 线	通惠 变	12.1	4.5	247.56	绿都 409 线	湘湖 变
...

表 6 试点区域现状电网指标表

Table 6 Index table of the pilot regional power grid

导出指标	数值
供电可靠率 RS3/%	99.957
10 kV 线路轻载比例/%	22.15
110 kV 容载比	1.84
10 kV 线路重载比例/%	18.24
10 kV 线路平均负载率/%	50.75
10 kV 线路满足 N-1 比例/%	43.97
110 kV 主变满足 N-1 比例/%	25
10 kV 线路联络率/%	73.94
与不同变电站联络线路比例/%	33.74

通过以上指标, 对试点区域的现状电网进行分析, 发现该区域的薄弱环节便于在规划时作为重点进行改善, 如 10 kV 线路平均负载率偏高, 10 kV 线路联络率偏低等。

3.3 新增负荷接入

该区域计划2014年接入新增用户: A 科技有限公司, 预计报装容量为10 000 kVA, 根据报装容量, 确定供电电压等级为10 kV, 上级电源为110 kV 变电站; 根据用户点所在位置以及供电区域明晰, 近

电源点等原则,初步确认该用户的接入点从以下三个变电站中选取:万安变、鸿达变、新街变;变电站的相关指标如表7所示。

表7 各变电站相关指标

Table 7 Related index of each substation

变电站	10 kV 剩余 出线间隔	主变平均 负载率/%	变电站 N-1 通过情况
鸿达变	2	62.56	是
万安变	4	59.67	是
新街变	0	70.54	否

根据表中信息,综合考虑变电站的负载率,转供能力以及出线间隔剩余情况,最终确定从万安变出双回路给该用户供电。

3.4 规划成效评价

在完成2015年配电网规划之后,利用系统对规划成效进行评估,表8为各评价指标现状以及规划后的具体值。

表8 规划成效评估表

Table 8 Evaluation table of planning effectiveness

评价对象	规划前	规划后
综合评分	83.65	108.17
协调性	96.37	101.81
供电能力协调性	97.81	101.09
高中压变电容量协调性	98.08	100.96
高中压线路输配电容量协调性	97.42	101.29
...
适应性	74.35	112.83
设备老旧率	81.3	109.35
110 kV 主变老旧率	82.95	108.53
35 kV 主变老旧率	98.4	100.8
...
经济性	97.26	101.37
运行经济性	97.26	101.37
110 kV 线路平均线损率	98.6	100.7
35 kV 线路平均线损率	95.25	102.38
可靠性	76.26	111.87
供电安全	64.38	117.81
110 kV 主变 N-1 通过率	15.79	142.11
35 kV 主变 N-1 通过率	100	100
...

表8可以直观的反应出试点区域各方面的规划成效,便于对规划工作进行总结和完善,为后续的规划积累经验。

4 总结

实践表明,电网规划管理决策系统实现了基于CIM的规划模型的扩展和实现,构建了规划模型的对象设计,完成了评估分析、规划研究及数据发布的功能开发。

同时本文创新性建立了基于系统模拟接入的工程辅助决策体系,该体系包含高压变电站N-1通过增加率、负载平均水平降低率以及网络损耗减少率三个指标,并基于定性排序与定量标度结合的二元对比定权法获取三个指标重要性权重。

此外,建立基于CIM和SVG进行图模一体的规划模型和图形,创新的将CIM的Planning包应用到实际的规划建模,并实用的将图形信息融入到模型中,并以SVG的形式展现。

参考文献

- [1] 王锡凡. 电力系统规划基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
- [2] 黄慧, 顾波. 改进遗传算法在电网规划中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(22): 64-67.
HUANG Hui, GU Bo. Application of improved genetic algorithm in the network planning[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(22): 64-67.
- [3] 曹智平, 周力行, 张艳萍, 等. 基于供电可靠性的微电网规划[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 10-15.
CAO Zhiping, ZHOU Lixing, ZHANG Yanping, et al. Micro-grid planning based on supply reliability[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(14): 10-15.
- [4] 魏刚, 范雪峰, 张中丹, 等. 风电和光伏发展对甘肃电网规划协调性的影响及对策建议[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(24): 135-141.
WEI Gang, FAN Xuefeng, ZHANG Zhongdan, et al. Influence of wind power and photovoltaics' development on Gansu power grid planning coordination and suggestions[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(24): 135-141.
- [5] 李芳, 陈勇, 张松树, 等. 大电网统一数据库建设相关技术研究[J]. 电网技术, 2013, 37(2): 417-424.
LI Fang, CHEN Yong, ZHANG Songshu, et al. Research on construction of unified database of large-scale power grid[J]. Power System Technology, 2013, 37(2): 417-424.
- [6] 张建华, 曾博, 张玉莹, 等. 主动配电网规划关键问题与研究展望[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 13-23.
ZHANG Jianhua, ZENG Bo, ZHANG Yuying, et al. Key

- issues and research prospects of active distribution network planning[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 13-23.
- [7] 高庆敏, 张乾业. 基于 SE-DEA 的交叉效率模型的城市电网规划综合评判决策[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(8): 60-64.
GAO Qingmin, ZHANG Qianye. Comprehensive evaluation and decision-making for urban power system planning using a cross efficiency model based on SE-DEA [J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(8): 60-64.
- [8] 陈奎, 韦晓广, 牛俊萍, 等. 基于 AHP-DEA 模型的电网规划方案综合评判决策[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(21): 40-46.
CHEN Kui, WEI Xiaoguang, NIU Junping, et al. Comprehensive judgment for power system planning alternatives based on AHP-DEA[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(21): 40-46.
- [9] 周鲲鹏, 方仍存, 颜炯, 等. 电网规划智能辅助决策系统的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(3): 77-83.
ZHOU Kunpeng, FANG Rengcun, YAN Jiong, et al. Design and implementation of an intelligent decision-making system for power grid planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(3): 77-83.
- [10] 金小明, 吴鸿亮, 周保荣, 等. 电网规划运行数据库与集成管理平台的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(15): 126-131.
JIN Xiaoming, WU Hongliang, ZHOU Baorong, et al. Design and implementation of integrated database management platform for power grid planning and operation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(15): 126-131.
- [11] 杜旭, 申刚, 刘中胜, 等. 电网规划管理信息系统数据库的研究与实现[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(2): 163-167.
DU Xu, SHEN Gang, LIU Zhongsheng, et al. Research and implementation of the database of grid planning management information system[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2013, 25(2): 163-167.
- [12] 仇卫东, 冯建雷, 黄平. 电网规划基础数据管理分析[J]. 电力建设, 2011, 32(10): 87-90.
QIU Weidong, FENG Jianlei, HUANG Ping. Analysis on basic data management of power grid planning[J]. Electric Power Construction, 2011, 32(10): 87-90.
- [13] 黄雄峰, 翁杰, 张宇娇. 微电网建设规划方案评估与选择[J]. 电工技术学报, 2015, 30(21): 76-81.
HUANG Xiongfeng, WENG Jie, ZHANG Yujiao. Evaluation and Selection of Microgrid Construction Planning Schemes[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(21): 76-81.
- [14] 李金超, 牛东晓, 李金颖, 等. 基于 GRA 与 PCA 的电网发展协调性评估研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 49-53.
LI Jinchao, NIU Dongxiao, LI Jinying, et al. Evaluation of the power grid development coordination based on the GRA and PCA method[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 49-53.
- [15] 蒋程, 刘文霞, 张建华, 等. 含风电接入的发输电系统风险评估[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 260-270.
JIANG Cheng, LIU Wenxia, ZHANG Jianhua, et al. Risk assessment of generation and transmission systems considering wind power penetration[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 260-270.
- [16] 羌丁建, 寿挺, 朱铁铭, 等. 高压配电网规划评价指标体系与综合评价模型[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(21): 52-57.
QIANG Dingjian, SHOU Ting, ZHU Tieming, et al. An evaluation index system and comprehensive evaluation model on high-voltage distribution network planning[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(21): 52-57.
- [17] 李欣然, 李培强, 朱湘有, 等. 基于最优化原理的高压配电网建设规模评估[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(4): 46-50.
LI Xinran, LI Peiqiang, ZHU Xiangyou, et al. Evaluation construction size of district high voltage distribution networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(4): 46-50.

收稿日期: 2015-04-23; 修回日期: 2015-06-17

作者简介:

罗庆(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制、电力市场、电力系统规划; E-mail: luoqing2016@126.com

吴良良(1984-), 男, 助理工程师, 研究方向为电网规划;

寿挺(1982-), 男, 高级工程师, 研究方向为电网规划。

(编辑 张爱琴)