

多维停电计划智能管控系统关键技术研究及实现

朱军飞¹,徐 民¹,周佳陈¹,刘 锋²,孙啸天²,兰萱丽²

(1. 国网湖南省电力有限公司,长沙 410000;

2. 北京清能互联科技有限公司,北京 100084)

Research and implementation of key technologies of intelligent control system for multi-dimension power outage plan

ZHU Junfei¹, XU Min¹, ZHOU Jiachen², LIU Feng², SUN Xiaotian², LAN Xuanli²

(1. State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd., Changsha 410000, China;

2. Beijing TsIntergy Technology Co., Ltd., Beijing 100084, China)

摘要:为了克服传统停电计划管控模式下存在的多部门协调难、多任务结合难、重复停电的问题,提出了多维停电计划智能管控系统的总体设计方案。首先,提出了多维停电计划数据池的概念,建立了停电计划管控规则库,然后在此基础上通过构建切合实际需求的计划优化算法模型实现自动开展多周期的停电计划智能优化编排,包含年度停电计划智能优化和月度停电计划滚动修编,并通过停电计划执行闭环管控来保证停电计划的执行刚性。在此基础上提出了多维停电计划智能管控系统的基本架构和功能方案,将设计方案落地。算例表明所设计的方案有效、可行。

关键词:停电计划管控;数据池;规则库;智能优化;基本架构

Abstract: In order to overcome the problems of multi-department coordination, multi-task combination, and repeated power outages in the traditional power outage management and control mode, an overall design scheme for a multi-dimensional power outage plan intelligent management and control system is proposed. Firstly, the concept of multi-dimensional blackout plan data pool is proposed, and the blackout plan management and control rule base is established. Based on this, intelligent optimization of multi-cycle blackout plans is automatically carried out by constructing a plan optimization algorithm model that meets the actual needs, including annual blackout plans intelligent optimization and rolling revision of the monthly power outage plan, and through the closed-loop management of the power outage plan to ensure the rigidity of the power outage plan. On this basis, the basic architecture and functional plan of the multi-dimensional power outage plan intelligent management and control system are proposed, and the design plan is implemented. The calculation example shows that the designed scheme is effective and feasible.

Key words: blackout plan control; data pool; rule base; intelligent optimization; basic architecture

0 引言

电力系统发、输、变、配、用实时平衡的特点给电网运行带来巨大的复杂性,要求电力调度部门预估未来电力供需水平、电网运行情况、设备运行状态以及电网运行中可能的波动情况,提前安排电网发、输、变、配各个环节的停电计划和运行方式,根据负荷的变化和电网的故障情况,灵活安排发电机组、输电线路、变电设备、配电设备等协调运行,确保电力实时平衡和电能质量。因此,电网设备停电计划安排的合理性、停电计划执行的完成率直接影

响电力系统的安全性、可靠性和经济性^[1-3],同时会对后续调度决策过程产生深远影响。特别是近年来,随着电力市场化改革加速^[4-5],电网设备停电检修计划直接影响电力市场运行情况,市场成员对电网设备停电计划管理提出了更高的要求。

随着电网高速发展,设备老旧及家族性缺陷不断,电网停电需求总量大,而全年的有效停电窗口期短,各级电网面临停电需求大与停电窗口期短、电网与人员承载力弱的矛盾。传统电网停电计划的决策方式较为粗放,主要是相关单位和相关部门通过开会沟通或者电话沟通为主,存在多部门协调难、多任务结合难的情况,引发重复停电、停电时间长和停电计划完成率较低等问题。

针对停电计划管理,国内学者已进行了大量研究。文献[6]研究了输变电设备停电检修智能优化编排的若干关键问题,并相应设计了实现系统;文献

收稿日期:2020-02-28;修回日期:2020-04-09

基金项目:国网湖南省电力有限公司技改项目(SGHND K00DWJS1900323)

This work is supported by Technical Transformation Project of State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd. (No.SGHNDK00DWJS1900323)

[7]提出了电力市场中协调不同发电机组检修计划的编制模型和求解方法,并设计了电力市场发电机组检修计划编制系统功能架构;文献[8]建立了以检修成本费用最低和期望缺供电量最小为目标的输电网检修计划多目标优化模型,并提出一种交互式多目标决策方法进行求解;文献[9]在分析传统检修计划编制工程中存在的问题的基础上,提出了一种通过图形操作辅助编制电网检修计划的设计方案。以上文献大多侧重于研究电力系统某一环节的停电计划管控,对电力系统发、输、变、配等环节的耦合性没有给予足够重视,也没有充分考虑电网公司的实际业务情况,导致所提方案落地性不强。

在已有研究的基础上,兼顾电网现有停电业务流程,通过对停电计划制定及执行关键技术的研究,提出了多维停电计划智能管控平台的总体设计方案,研发了多维停电计划智能管控系统,可以强化调度业务一体化运作,规范设备停电计划流程,提升调度计划管理水平,提高电网设备利用效率,保证电网安全、可靠、经济运行。

1 电网设备停电计划管控问题的再认识

1.1 电网设备停电计划特点分析

电网设备停电计划按时间属性分为年度停电计划、月度停电计划、周停电计划和日前停电计划。年度停电计划是停电工作开展的基础,月度停电计划在年度停电计划的基础上编制,周停电计划和日前停电计划是对年度、月度停电计划的平衡细化和具体安排,侧重于实际执行层面。本文主要研究年度停电计划和月度停电计划制定及管控。

不同电网设备以不同电压等级接入电网,停电计划管控方式也有所差异。由于220 kV及以上主网设备停电对电网拓扑结构改动较大,直接影响电网潮流分布,本文主要研究省级电网电力调度控制中心管辖的220 kV及以上主网设备的停电计划制定及管控。电网设备停电计划管理遵循下级服从上级、局部服从整体的原则,110 kV及以下电网设备停电计划在主网设备停电计划的基础上编排制定。

1.2 对开发多维停电计划智能管控系统的要求

研制开发多维停电计划智能管控系统,需要从理论研究和实用化角度考虑以下问题:① 如何打造一个电网设备状态全面感知、停电管理业务在线协同的数字化停电计划平台;② 如何掌握全省各专业项目的停电需求总体情况,为制定最优的年度和月度停电计划提供重要依据;③ 如何使制定的停电计划能够保证停电操作的安全性和电网供电

的可靠性;④ 当多项目的停电需求出现交叉重叠而超出电网、人员承载力时,如何进行优化排序;⑤ 如何实现停电计划全流程闭环管控,减少计划变更率,提高停电计划完成率。

2 多维停电计划智能管控关键技术

多维停电计划智能管控系统与电网现有的业务系统进行集成,构建多维停电计划数据池,开展年度停电计划智能优化编制与月度停电计划智能滚动修编,并对停电计划实施全过程闭环管控,确保停电计划刚性执行,提高停电计划完成率。

2.1 多维停电计划数据池

一般来说,引发停电需求的各专业项目包括基建、杆迁、大修、技改、例试、消缺等,涉及的停电主设备包括主变、线路、母线、机组、电抗、断路器等。每个项目的停电计划可能分多阶段实施,且每个停电阶段对应不同的停电主设备,每个停电主设备对应一个停电窗口,因此在优化过程中以停电主设备为基本优化对象。

停电项目的基本信息包括:项目名称、项目编号、项目单位、项目负责人、主要停电设备、项目计划停电起始时间、项目计划停电终止时间、项目目前状态等。以上基本信息根据停电项目的性质,归属于不同的业务部分负责,储存于电网公司不同的业务系统中,导致在传统停电计划管控模式下,不同部门协调效率低下,不同停电任务衔接较为困难。多维停电计划数据池便是将各专业的下年度或者下月度项目和规划项目的停电需求汇集起来,建立停电计划数据库,将各类停电信息进行统一管控,掌握全省停电需求总体情况,为年度和月度停电计划优化算法提供数据源。

2.2 停电计划管控规则库

停电计划的编排制定须遵循特定的规则,主要包括以下约束^[10]:

(1) 区域每日最大检修设备数量约束

考虑到电网承载力,同一区域内每天停电主设备数量不能超过电网安全裕度,对此设定了区域停电主设备的数量上限。

(2) 连续检修约束

停电主设备及停电项目在起止时间这一连续的时间段内都是检修状态。

(3) 安全性约束

安全性约束包括检修同时约束和检修互斥约束。电网主设备中,考虑到电力系统运行的安全性和可靠性,一些设备必须满足同时停电或不可同时

停电的要求,即检修同时约束和检修互斥约束。

(4) 项目周期约束

对于停电项目,所安排的停电计划须与项目周期及项目工期吻合。在进行年度和月度停电计划编排时,须保证主设备停电周期不跨年。

(5) 时序性约束

对于某些停电项目或停电主设备,在编排停电计划时,须考虑他们之间的时序耦合性。

(6) 停电主设备优先级约束

停电主设备优先级由高到低包括:“不可调整”、“尽量不调整”、“可优化”3类。开展停电计划优化编制时,需要依据停电主设备的优先级进行排序,优先级高的主设备优先安排停电,优先级低的主设备停电时间和工期可优先调整。停电主设备的优先级主要依据停电项目的优先级制定。基本排序为基建项目和杆迁项目相关主设备优先级为“不可调整”,大修项目、技改项目、例试项目和消缺项目相关主设备根据实际情况设定优先级为“尽量不调整”或“可优化”。

(7) 主设备停电次数约束

每个电网主设备,每年只能安排一次停电。

(8) 保电约束

迎峰度冬(1月和2月)、迎峰度夏(7月和8月)、重要节假日及其他特殊时间段不安排停电检修项目。

2.3 停电计划智能优化与滚动修编建模

停电计划优化问题具有多目标、多约束的特点,本文基于对停电规则库的约束分析,精细化建模,高效求解,解决了停电计划编排过于复杂,工作量大等问题。停电计划排程优化模型的优化目标为:在满足停电计划管控规则库中各项约束的前提下,以现有的停电窗口,尽可能多的安排停电计划且保证每日停电设备数量相对均衡。

目标函数如下

$$\max \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_p} C_i^p \beta_{i,t} \quad (1)$$

式中: $\beta_{i,t}$ 为项目检修状态变量; T 为总时段; N_p 为项目总数; N_e 为设备总数。

约束条件如式(2)至式(13)所示。

(1) 区域每日最大检修设备数量约束

设定线路、主变停电设备的数量上限。

$$\sum_{i=1}^{N_1} \alpha_{i,T_0} \leq D_{T_0} \quad (2)$$

式中: $\alpha_{i,t}$ 为设备检修状态变量; D_{T_0} 为第 T_0 天检修设备数量上限; N_1 为该区域的设备总数。

$$0 \leq \gamma_{E,t} + \lambda_{E,t} \leq 1 \quad (3)$$

式中: $\gamma_{E,t}$ 为设备的检修动作变量; $\lambda_{E,t}$ 为设备的运行动作变量。

(2) 连续检修约束

设备在申报的检修起止时间这一连续的时间段内都是检修状态。

$$-T_0 \gamma_{E,t} + \sum_{t=1}^{T_0-1} \alpha_{i,t} \geq 0 \quad (4)$$

项目在申报的检修起止时间这一连续的时间段内都是检修状态。

$$-T_0 \gamma_{P,t} + \sum_{t=1}^{T_0-1} \beta_{i,t} \geq 0 \quad (5)$$

(3) 安全性约束

同一个约束中同一天检修状态变量之和小于等于1(一个检修互斥集对应一个约束)。

$$\alpha_{i_1,T_0} + \alpha_{i_2,T_0} \leq 1 \quad (6)$$

(4) 项目周期约束

如果设备属于项目,则设备的起止时间要在项目的开始、结束时间范围内。

$$\gamma_{E,t} \leq \sum_{t=1}^{N-M} \gamma_{P,t} \leq 1 \quad (7)$$

式中: M 为项目持续检修时间; N 为设备持续检修时间。

(5) 时序性约束

一个约束集合内有多个项目的情况。 ii 表示当前项目, $ii-1$ 表示前序项目,且排序为 $ii-1$ 的主设备停电间隙时长为 M ,那么当 $t-M \geq 1$ 时

$$\gamma_{P_{ii},t} \leq \sum_{t=1}^{M-1} \gamma_{P_{ii-1},t} \leq 1 \quad (8)$$

$$t-M < 1 \quad (9)$$

$$\gamma_{P_{ii},t} = 0 \quad (10)$$

(6) 停电主设备优先级约束

如果设备是可优化设备,分2种排序方式,一种是只要前序设备开始了,后续设备即可开始;另一种是前序设备检修结束后,后续设备检修才可开始。

(7) 主设备停电次数约束

相应主设备 i 的不重复停电限制可表达如下

$$\sum_{t=1}^T \gamma_{E,t} \leq 1 \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^T \lambda_{E,t} \leq 1 \quad (12)$$

(8) 保电约束

保电约束按区域划分,某区域在某个保电时段内所有设备检修状态变量之和为零

$$\sum_{t=m}^n \sum_{i=1}^{N_1} \alpha_{i,t} = 0 \quad (13)$$

式中: m 为保电时段起始时间; n 为保电时段终止时间。

2.4 停电计划执行闭环管控

传统停电计划管控模式下,由于业务系统不健全,未开展周期性考核评价、各相关单位沟通不畅等原因,存在停电计划多变及完成率低的情况。因此须强化停电计划全生命周期管理,包括计划上报、审批、发布、执行、变更、评价、总结等流程的管理,并跟踪每个环节的执行情况,强化全过程闭环管控。

(1) 停电计划执行全周期管理

基本思路为业务流程标准化、信息化,即省级电网电力调度控制中心密切关注计划批复、操作准备、开工许可、竣工汇报以及复役操作等重要环节,将以上业务环节在多维停电计划智能管控系统中实时显示,并提前梳理相关停电主设备,督促停电项目相关单位收集资料、填报相关手续,确保停电检修工作的正常流程。

(2) 停电计划周期性报送机制

每周对停电计划信息(实施进度、重点问题等)进行汇报,每月对各单位当月的停电计划执行情况进行评价,每季度对年度任务进度、专项工作开展情况和人员电网承载力等信息进行分析,每年总结年度停电计划执行率,为持续改进停电计划管理工作提供抓手。

3 多维停电计划智能管控系统体系结构

3.1 系统基本架构

系统是采用java开发的分布式应用系统,多层架构。多层中主要包括接入层、逻辑层和存储层。处理外部系统来的请求,将必要的数据变更保存到存储系统或者根据一定的规则查询数据,然后对外部系统进行响应,返回响应结果。在3层之外还有公共的基础设施保证系统的开发及运行。

系统由各种业务组件构成,根据请求调用相应的业务组件,使整个系统耦合度低、模块化强,能够保证应用服务逻辑的一致性和稳定性、结构的开放性、功能的可扩展性和可维护性、开发的可并行性,同时采用开源的框架,兼顾了经济性。

3.2 系统的功能框架

多维停电计划智能管控系统按照功能划分,结构如图1所示。

(1) 系统管理

系统管理功能模块主要用于用户管理。一方面,管理用户信息,包括停电计划项目所属项目单位及项目负责人的基本信息;另一方面,根据不同用户的角色,授予不同的系统操作权限。

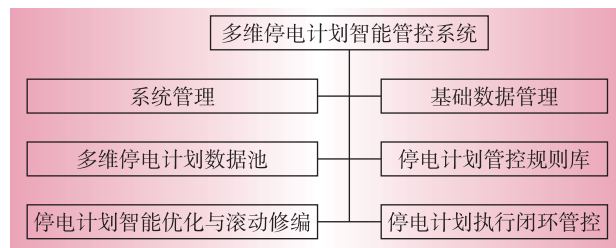


图1 系统功能结构

Fig. 1 System function structure

(2) 基础数据管理

从电网公司的常用业务系统中(包括生产管理系统、办公管理系统、调度自动化系统等)调取相关基础数据,包括模型数据、运行数据、实时数据等,用于停电计划管控。

(3) 多维停电计划数据池

多维停电计划数据池采用关系型数据库与大数据融合技术,实现停电计划大数据采集、处理、存储、计算等。由停电项目相关单位在系统申报年度停电计划或月度停电计划。系统支持对停电项目方初次提交的停电计划提出优化建议,经调整后可再次提交,从而提高停电计划审批通过率。

(4) 停电计划管控规则库

依据停电计划管控指导意见、停电计划相关规程、相关政府出台文件和专家经验等,建设停电计划管控规则库。系统运维人员可根据实际情况自主设定停电计划管控规则用于优化算法中。

(5) 停电计划智能优化与滚动修编

系统对多维停电计划数据池中的停电项目进行优化,审批通过的停电计划会自动发送给项目单位。基于时间、地域、设备类型、项目类型、停电类别等多维度,系统支持对优化后的停电计划通过甘特图、雷达图、地理接线图等多种图形化辅助编排手段进行展示,方便工作人员辨识停电区域均衡性和供电可靠性。

(6) 停电计划执行闭环管控

根据停电计划的业务流程节点属性,信息配置以及下个节点触发条件,系统智能显示当前停电计划流程的状态和对应当前执行节点,实时更新当前工作流状态、当前执行对象、进展阶段和操作日志等数据。在停电计划完成后,系统对停电计划执行情况进行分析和评估,依据管理指标进行考核,提升停电计划管控水平。

4 结束语

研究与设计了多维停电计划智能管控系统,能够提升调度管理的精益化水平,适应电网公司调度

业务一体化运作的要求。该系统已应用于多省电网公司电力调度控制中心,取得显著成效。将不同项目单位的停电计划进行统一管控,有效解决了传统停电计划管控模式下多部门协调难、多任务结合难、重复停电等问题。系统架构先进、操作简便、人机交互友好,在电力调度部门有着广阔的市场应用前景。D

参考文献:

- [1] 高卫恒,王建学,路建明,等. 基于等风险度的输电系统检修计划[J]. 电力系统自动化,2012,36(7):6-11.
GAO Weiheng, WANG Jianxue, LU Jianming, et al. Maintenance schedule of transmission system based on equal risk [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36 (7):6-11.
- [2] 赵登福,段小峰,张磊. 考虑设备状态和系统风险的输电设备检修计划[J]. 西安交通大学学报,2012,46(3): 84-89.
ZHAO Dengfu, DUAN Xiaofeng, ZHANG Lei. Maintenance scheduling of power transmission equipment considering equipment condition and system risk [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2012, 46(3):84-89.
- [3] 丁晓宇. 供电系统检修计划优化[D]. 杭州:浙江大学, 2005.
DING Xiaoyu. Optimization of maintenance plan for power supply system[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
- [4] 王一,马子明,谭跃凯,等. 广东日前电力市场方案设计与市场仿真[J]. 电力需求侧管理,2018,20(1):10-14.
WANG Yi, MA Ziming, TAN Yuekai, et al. Day-ahead power market design and market simulation in Guangdong province [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20 (1):10-14.
- [5] 魏小曼,余昆,陈星莺,等. 基于 Affinity propagation 和 K-means 算法的电力大用户细分方法分析[J]. 电力需求侧管理,2018,20(1):15-19,35.
WEI Xiaoman, YU Kun, CHEN Xingying, et al. Analysis

of power large user segmentation based on Affinity propagation and K-means algorithm [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20(1):15-19, 35.

- [6] 姚晖. 输、变电设备停电检修计划智能编排的研究 [D]. 杭州:浙江大学,2008.
YAO Hui. Research on intelligent arrangement of outage maintenance plan for transmission and substation equipment[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [7] 马晓伟,薛斌,褚云龙,等. 时间窗模式下机组检修计划模型研究与应用[J]. 电气自动化,2018,40(2):76-78,112.
MA Xiaowei, XUE Bing, CHU Yunlong, et al. Research and application of a power unit maintenance schedule model in the time-window mode [J]. Electrical Automation, 2018, 40(2):76-78, 112.
- [8] 刘文颖,谢昶,文晶,等. 交互式输电网检修计划多目标决策方法[J]. 电网技术,2013,37(2):471-476.
LIU Wenying, XIE Chang, WEN Jing, et al. Multi-objective decision-making method for maintenance scheduling of transmission network [J]. Power System Technology, 2013, 37(2):471-476.
- [9] 梁峰,刘文颖,邹品元,等. 基于图形操作的电网检修计划编制方法研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39 (10):104-109.
LIANG Feng, LIU Wenying, ZOU Pinyuan, et al. Compilation method based on graphic operation for grid maintenance scheduling [J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(10):104-109.
- [10] 姚晖,陈峰,牟善科,等. 输变电设备停电检修计划智能编排系统[J]. 能源工程,2008(2):18-23.
YAO Hui, CHEN Feng, MU Shanke, et al. Intelligent scheduling system for outage maintenance plan of power transmission and transformation equipment [J]. Energy Engineering, 2008(2):18-23.

作者简介:

朱军飞(1972),男,湖南永州人,硕士,高级工程师,主要研究方向为电网调度运行管理。

(责任编辑 陈 可)

广告索引

公益广告 (封面)
成都祥和云端节能设备集团有限公司 (封二)
国网浙江综合能源服务有限公司 (封三)

南京国云电力有限公司 (封底)
国网(江苏)电力需求侧管理指导中心有限公司 ... (广01)