

# 一体化检修计划优化管理系统的研究及实现

谢丽荣<sup>1</sup>, 杨乐勇<sup>1</sup>, 吴炳祥<sup>1</sup>, 罗亚洲<sup>2</sup>

(1. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061; 2. 华北电网公司电力调度通信中心, 北京 100001)

**摘 要:**提出一体化检修计划优化管理系统。该系统对检修计划进行评估、优化、基态、静态、暂态和动态多维度一体化安全校核, 通过基于电网运行经验专家库、评估指标分析、静态暂态动态校核等进行全过程检修计划优化辅助决策。检修计划优化调整贯穿整个编制过程。实现了年度、月度、日前多周期及各周期多时段的检修计划优化管理, 通过对电网日前及多未来模型的本地存储管理, 在计划优化校核过程中自动匹配应用当前及未来多个网络模型。

**关键词:**检修计划优化调整; 负荷供应充裕度; 发电容量损失; 安全校核; 多模型应用

**中图分类号:** TM73

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2012)01-0001-04

电网规模化发展后, 电网设备达到相当规模的水平, 设备种类千差万别, 各类设备的运行环境和运行情况差异也较大, 其生命周期和检修周期不尽相同。另外, 电网在迅速发展过程中存在大量基建和技改的需要, 为了保证电网按时、保质、保量的完成建设工作, 电网运行过程中需要多次、不定性的进行设备停电和方式调整以配合基建和技改工作, 加大了电网运行方式安排和电网调整控制的难度。目前的检修计划管理办法对检修计划执行方式下的电网是否满足供电安全和供电质量要求缺乏定量化的分析手段, 无法快速捕捉各种检修方案下可能存在的静态、动态和暂态安全潜在风险, 难以对检修计划进行优化分析和安排。针对上述情况, 结合考虑各类因素, 提出了一体化检修计划优化管理系统的研究。梳理各类设备检修计划工作需求, 充分考虑未来发展的需要, 合理采纳目前国内外在检修管理、优化等领域的经验和新技术, 合理、科学地安排年度、月度及日检修计划。

## 1 系统方案

该系统主要实现对检修计划进行评估、优化、基态、静态、暂态和动态多维度一体化安全校核, 实现了基于电网运行经验专家库、评估指标分析、静态暂态动态校核的全过程检修计划优化辅助决策, 校核检修计划的可行性安排。检修计划优化调整贯穿整个编制过程, 实现了年度、月度、日前多周期及各周期多时段的检修计划优化管理, 通过对电网日前及多未来模型的本地存储管理, 在计划优化校核过程中自动匹配应用当前及未来多个电网模型。一体化检修计划优化管理系统是一项非常复杂的系

统工程, 需要从其他系统接入电网模型、负荷预测数据、检修申请等信息, 达到整合数据资源, 实现检修计划优化管理的目标, 提高电网设备检修安排水平。

系统总体结构如图 1 所示, 主要包括检修计划制定模块、检修计划申请审批模块、人机界面和管理平台模块等组成。检修计划制定模块完成年、月、日检修计划的制定、安全校核及优化, 检修申请审批模块实现检修计划网络申请和发布、检修计划的审批流转和统计, 人机界面和管理平台模块为工作人员提供友好的人机界面、管理其他模块的运行。

根据电力系统实际运行需求, 检修计划编制周期分为年度、月度、日前 3 类。

年度检修计划编制结果用于指导运行单位申报月度检修申请, 运行单位在申报月度检修计划时, 可以选择已经批准的年度检修计划, 自动重用检修工期和检修内容等信息, 如果时间调整, 则表示原年度检修计划需要变更。如果申报月度检修计划时没有选择年度检修计划, 则表示检修申请在年度计划中未考虑, 为新增检修申请。在月度检修计划中, 保留对应年度检修计划的检修单号。

月度检修计划编制结果用于指导运行单位申报日前检修申请, 运行单位在申报日前检修计划时, 可以选择已经批准的月度检修计划, 自动重用检修工期和检修内容等信息, 如果时间调整, 则表示原月度检修计划需要变更。如果申报日前检修计划时没有选择月度检修计划, 则表示检修申请在月度计划中未考虑, 为新增临时检修申请。

由于年度、月度和日前检修需要分别申请, 因此年度检修计划不直接用于月度检修计划编制, 月度检修计划也不直接进入日前检修计划编制。

## 2 检修计划编制流程设计

针对不同的检修计划编制周期, 总体业务流程

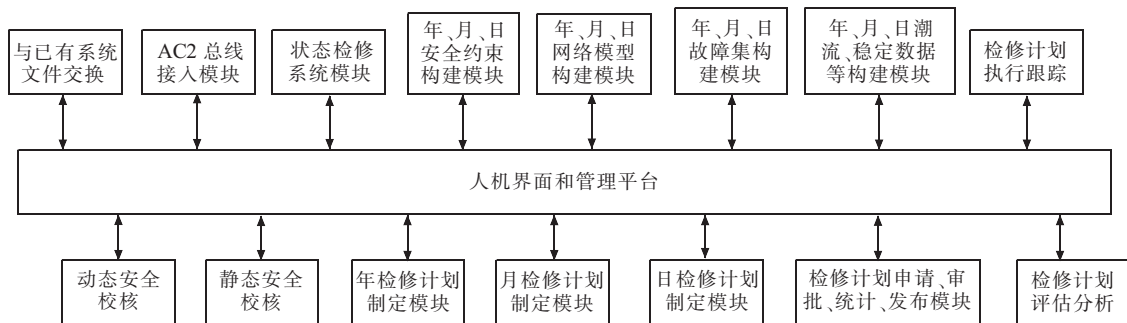


图 1 系统总体结构示意图

大致相同,检修计划制定流程如图 2。

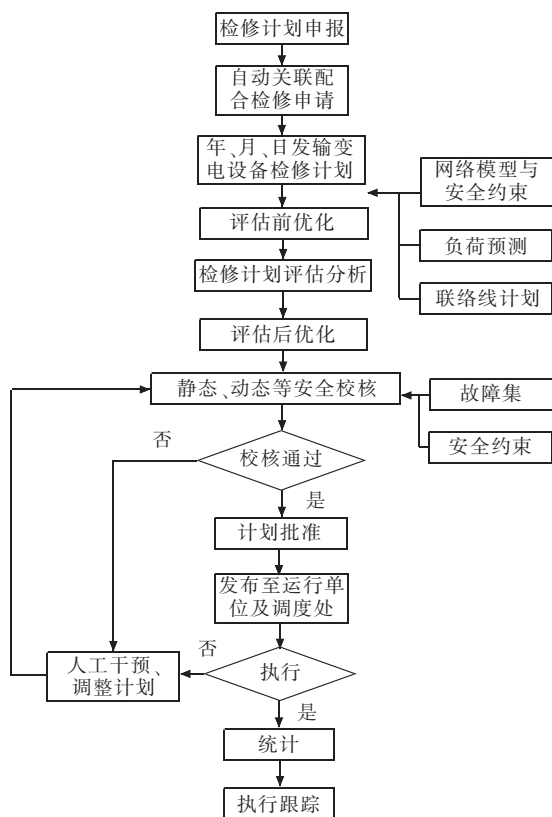


图 2 检修计划制定流程

## 2.1 数据准备

(1) 检修计划、状态检修信息输入。检修申请信息、输变电设备状态检修信息能输入系统。在检修申请中,检修主体的选择范围包括机组、线路、变压器、开关、电容电抗器。检修申请的内容包括:检修编号、设备名称(检修主体名称)、对应月度检修计划单号(新增检修申请编号为空)、检修开始时间、检修工期、最早开始时间、最迟结束时间、检修影响容量等。

(2) 负荷预测信息输入。负荷预测系统的负荷预测信息(包括系统负荷预测和母线负荷预测)能输入系统。

(3) 联络线计划数据的输入。联络线计划数据能够输入系统。

(4) 当前或未来电网模型输入。当前或未来电网模型能输入系统,结合实际基建投产信息,并可人工调整。

以上信息均能自动保存至数据库,在计划编制时根据时间筛选出编制日期的检修计划,然后自动匹配相应时间的电网模型、方式数据、系统负荷预测、母线负荷预测、联络线计划,构建潮流计算数据,并启动检修计划预评估与优化计算。

## 2.2 检修计划评估与优化

对于提交来的检修计划,首先进行评估前的优化,过滤掉一些明显不满足安全性的问题,然后进行基于负荷供应充裕度和等效发电容量损失的安全评估,根据安全评估结果进一步优化,并给出优化辅助决策,调整检修计划或者负荷指标,在此基础上进行安全校核。日前检修计划编制优化空间较小,因此只在月、年等周期进行优化分析。

## 2.3 安全校核

通过初始检修计划制定发电计划后,进行静态、动态、暂态的全维度多时段的安全校核,并输出校核结果,为检修计划制定和运行提供建议。安全校核的数据由典型方式数据、稳定数据构建模块自动生成,可人工干预。

## 2.4 审批发布及执行跟踪

检修计划通过安全校核后,需要提交到调度业务数字支撑系统审批,审批通过后的检修计划需要在一体化检修计划优化管理系统中备案,在检修计划执行完成后,同样要将实际执行信息由调度业务数字支撑系统提交到一体化检修计划优化管理系统备案。另外,该系统还能够为其他系统以电子文档的形式发布已经确定的检修计划。

# 3 关键技术研究

## 3.1 检修计划评估分析

一体化检修计划优化管理系统的主要就是在保障设备安全的情况下,合理组织电网输变电检修和发电设备检修,充分保障用电需求。通过对设

备检修计划进行优化调整,尽可能提高电网输电能力,提高发电可用容量。

母线负荷供应充裕度<sup>[1]</sup>反映检修对母线负荷需求供应能力和供电可靠性的影响,评价在设定的检修计划模式下,各母线负荷需求供应的充足程度。对母线负荷供应充裕度的评估落实到每一个母线负荷节点上。母线负荷供应充裕度计算分时段进行。已知基态潮流下,在每一时段考虑相应的待评估的检修计划,根据支路有功对负荷有功的灵敏度<sup>[2,3]</sup>,计算在支路热稳定限值下母线负荷裕度。如日检修计划的母线负荷供应充裕度评估可以分24个时间点进行,即每小时评估一个断面。

电力系统实际运行中,发输电设备检修有可能造成实际可用发电能力<sup>[4]</sup>的降低。等效发电容量损失衡量由于发电或输电设备检修,而造成实际可用发电能力降低。等效发电容量损失是综合考虑发电、输电检修和负荷需求的一个综合指标。对等效发电容量损失进行评估,可避免在负荷高峰时段检修以及同一输电通道上多个输电设备同时检修,同时鼓励发、输电设备同时检修。

发电容量损失的计算分时段进行。如日检修计划编制中的发电容量损失评估,可以分24个时段进行,得到24个等效发电容量损失值,通过比较每个时段检修计划的变化,分析得到每个检修计划所引起的等效发电容量损失的变化。

### 3.2 多周期多维度检修优化辅助决策

检修优化<sup>[5]</sup>辅助决策包括基于电网运行经验专家库、评估指标分析、静态暂态动态校核的全过程检修计划优化辅助决策。基于电网运行经验专家库的优化辅助决策,根据实际电网运行经验给出检修计划的优化调整建议。例如:检修应与系统负荷配合,在系统负荷较小时进行;检修不应过于集中,应尽量错开;保障500 kV主网、地区电网安全运行等原则。通过基于电网运行经验专家库的优化辅助决策过程,可以过滤掉一些明确不能满足安全性能指标的检修计划,并对其执行时间进行自动调整。基于评估指标分析的优化是根据负荷充裕度评估的结果,如果某一时段的负荷充裕度不足,根据负荷充裕度评估的原理,必定是某一条或几条输电支路的输电功率逼近或超过该支路的热稳定限值造成发电量不能供应到此负荷,称该种支路为母线负荷供应充裕度不足的相关支路。在该时段的检修与该输电支路有一定的相关性,称之为检修对负荷供应充裕度的灵敏度,该灵敏度越大,则检修对此输电支路影响越大,进而对该负荷的供应充裕度影响越大。通过找出对负荷供应充裕度的灵敏度大的检修计划,给出影

响负荷供应充裕度不足的负荷的检修计划,并给出相应的检修计划调整建议。在基态和静态安全校核过程中,通过自动调整机组开停机和发电出力来优化检修计划的安排,若存在不能消除的 $N-1$ 越限且机组不再具备调整能力,则自动计算灵敏度,给出检修计划优化调整信息。暂态动态校核过程中,如果电网存在失稳的情况,会给出调整机群、地区电压调整等辅助决策,例如某一机群增加出力或降低出力对抑制电网失稳有效等。

### 3.3 全维度检修计划安全校核

根据各计算时段系统负荷预测、联络线计划、已安排检修计划和待安排检修计划,自动形成相应时段的网络拓扑和发电计划,进行基态潮流分析和 $N-1$ 安全分析。如果出现基态越限,自动优化调整机组发电或启停来消除越限,若越限无法消除,则自动计算给出越限对检修的灵敏度,给出优化调整信息;基态校核通过后进入 $N-1$ 校核,自动调整机组发电或启停来消除越限,若存在无法消除越限,则自动计算检修计划对越限的灵敏度,给出优化调整辅助决策信息。

在静态安全校核基础上,使用各时段潮流断面,对检修计划进行动态和暂态安全校核,分析可能导致失稳的预想故障及可能失稳的机组和母线组合。

### 3.4 基于多电网模型的检修计划安全分析与优化

电力系统实际运行中,电网设备拓扑关系会随着检修等工作的进行而发生变化。因此,在进行日、月、年各周期的检修计划安全分析和优化时,采用了多种典型电网模型以适应电网拓扑关系的变化。在检修计划的评估分析模块、优化辅助决策模块、静态和动态安全校核模块中都涉及到多电网模型的应用,各个模块采用相同的模型匹配原则,保证各模块模型应用的同一性。

## 4 应用

该系统在某区域电网中得到应用。从调度数字支撑系统获取检修申请,从已有模型拼接系统获取区域电网模型和网络拓扑数据,从负荷预测系统获取系统负荷预测,从计划管理系统获取联络线计划等。通过对基础数据进行整合,构建潮流计算断面,在此基础上进行检修计划安全评估和检修计划安全校核,根据安全评估和校核结果提出优化辅助决策。该系统对该区域电网的检修计划编制工作给出了指导性建议,提高了系统运行的安全性。

## 5 结束语

在对输电设备检修计划和发输电设备配合检修



计划的安全评估分析和优化辅助决策上进行了一体化检修计划优化管理系统的研究,提出了基于负荷供应充裕度和等效发电容量损失的安全评估分析理论和实现方案,并基于安全评估分析结果给出检修计划优化辅助决策,在完成检修计划优化调整后,进行检修计划的静态、动态、暂态安全校核,降低检修计划对电网安全运行的影响,对合理安排和优化电网运行方式提供技术支持,提高电力市场环境下的调度能力,更好地实现资源优化配置。该系统目前在华北电网调度中心取得了很好的效果,通过一体化检修计划优化管理系统的建设,提高了设备检修的计划性及设备检修时间的利用率,增强了设备检修相互之间的配合,在保证电网安全稳定运行的前提下,将电网调整在最优的运行水平。

#### 参考文献:

- [1] 刘升,周京阳,潘毅.基于直流灵敏度法的节点间可用输电能力计算[J].华北电力技术,2008(10):1-6.  
[2] 丁明,罗初田.电力系统可靠性指标的灵敏度分析[J].合肥

工业大学学报,1990,13(3):72-81.

- [3] 邱永生,刘焕志,李扬.区域间可用输电能力计算的灵敏度分析法[J].继电器,2005,33(2):21-25.  
[4] Transmission Transfer Capability. A Reference Document for Calculating and Reporting the Electric Power Transmission Capability of Interconnected Electric Systems[Z]. North American Electric Reliability Council, 1995.  
[5] 舒隽,张粒子,黄弦超.市场环境下中长期发输电协调检修计划优化[J].电力系统自动化,2007,31(2):27-31.

#### 作者简介:

谢丽荣(1980),女,河北冀州人,工程师,从事电力系统安全分析和优化的研究工作;  
杨乐勇(1985),男,江苏南通人,工程师,从事电力系统静态安全校核相关内容的研究;  
吴炳祥(1983),男,福建泉州人,工程师,从事计算机信息处理工作;  
罗亚洲(1978),男,吉林双辽人,本科,从事电力系统生产运行与管理工作。

## Research and Implementation of Integrative Optimal Management System of Outage Schedule

XIE Li-rong<sup>1</sup>, YANG Lei-yong<sup>1</sup>, WU Bing-xiang<sup>1</sup>, LUO Ya-zhou<sup>2</sup>

(1.NARI Technology Development Co.Ltd., Nanjing 210061,China;

2.Power Dispatching and Communication Center of North China Power Grid Corporation, Beijing 100001,China)

**Abstract:** Integrative optimal management system of outage schedule is proposed in this paper. This system provides assessment, optimization, and multi-dimensional and integrative security correction including static, transient and dynamic check of outage schedule. The system realizes whole process outage schedule optimizing assistant operation decision through experience and expertise database, analysis of evaluation index, multi-dimensional security check. Optimization and adjustment of outage schedule exists in the whole process. The system realizes multi period optimization management of daily, monthly and yearly outage schedule. And the system auto-matches day-ahead and multiple future models in the process of check and optimization through local store management of day-ahead and multiple future models.

**Key words:** outage schedule optimal management; load supply adequacy; generation loss; security check; multiple model application

## 未来十大新能源(1)

(1) 太阳能。人类对太阳能的利用有着悠久的历史。我国早在 2000 多年前的战国时期,就知道利用钢制四面镜聚焦太阳光来点火;利用太阳能干燥农副产品。发展到现代,太阳能的利用已日益广泛,它包括太阳能的光热利用,太阳能的光电利用和太阳能的光化学利用等。太阳能的利用有被动式利用(光热转换)和光电转换两种方式。太阳能发电是一种新兴的可再生能源利用方式。

(2) 风能。在自然界中,风是一种可再生、无污染而且储量巨大的能源。随着全球气候变暖和能源危机,各国都在加紧对风力的开发和利用,尽量减少二氧化碳等温室气体的排放,保护人类赖以生存的地球。风能的利用主要是以风能作动力和风力发电两种形式,其中又以风力发电为主。

(3) 水能。水能是一种可再生能源,是清洁能源,是指水体的动能、势能和压力能等能量资源。广义的水能资源包括河流水能、潮汐水能、波浪能、海流能等能量资源;狭义的水能资源指河流的水能资源,是常规能源,一次能源。

(4) 核能。利用核反应炉中核裂变所释放出的热能进行发电的方式。它与火力发电极其相似。只是以核反应炉及蒸汽发生器来代替火力发电的锅炉,以核裂变能代替矿物燃料的化学能。除沸水堆外,其他类型的动力堆都是一回路的冷却剂通过堆心加热,在蒸汽发生器中将热量传给二回路或三回路的水,然后形成蒸汽推动汽轮发电机。