

Study on Procedural Impartiality Index System of Power Dispatching

Cairong Mu¹, Honghui Kuang², Zengqiang Miao¹, Shaoqing Guo², Li Xiong¹, Deliang Zhang²

¹Guangxi Power Grid Dispatching Control Center, Nanning Guangxi

²Qingdakeyue Corporation, Beijing

Email: kuanghonghui@263.net

Received: Jan. 15th, 2015; accepted: Jan. 27th, 2015; published: Feb. 2nd, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Openness, fairness and justice are the basic requirements of electric power dispatching. Currently attention is paid only to the completion rate of the annual power generation plan. However, this index just reflects the completion results of the plan; differentiation in the implementation can't be revealed. This paper puts forward the procedural evaluation concept, follows the principle of "comprehensive" "refined" "quantitative" and dissects the business processes of electric power dispatching. According to the characteristics of business process, index is refined and the impartiality index system is built. Finally, based on the actual data of Guangxi power grid, the application benefit of the index system is verified.

Keywords

Operation Impartiality, Power Dispatching, Index System

过程化调度公平性评价指标研究

牟才荣¹, 匡洪辉², 苗增强¹, 郭少青², 熊莉¹, 张德亮²

¹广西电网公司电力调度控制中心, 广西 南宁

²北京清大科越科技有限公司, 北京

Email: kuanghonghui@263.net

收稿日期：2015年1月15日；录用日期：2015年1月27日；发布日期：2015年2月2日

摘要

公开、公平、公正是我国电力调度的基本要求。当前“三公”调度评价主要关注年度发电计划完成率。然而该指标仅反映计划完成结果，不能反映执行过程的差异性，因此无法有效规范电力调度行为。为此，本文提出过程化评估理念，遵循“全面、精炼、易量化”的原则，全面剖析电力调度业务流程，根据业务流程自身特点提炼指标，构建了过程化调度公平性评价指标体系。最后基于广西电网实际数据，验证本指标体系的应用效益。

关键词

调度公平性，调度业务，指标体系

1. 引言

电力公平、公正、公开调度(简称“三公调度”)要求在满足电力系统安全、稳定的前提下，按照公平、透明的原则，平等对待各市场主体。“三公调度”是电力调度的基本原则，是保证电力市场有序开展的重要前提。对电力调度机构而言，规范自身行为，体现调度业务公平性，是其避免质疑，顺利开展电力调度工作的基本要求，具有十分重要的意义。

当前“三公”调度实际执行，主要考察各发电厂发电计划完成情况，一般要求发电序位相同的电厂其计划完成率偏差不超过3%[1]。为了揭示发电计划完成率之间的差距，文献[2][3]借鉴经济性中洛伦兹曲线和基尼系数等理论，定义了发电计划完成率偏差评价指标。文献[4]在此基础上利用华北电网实际数据对比了基尼指数和标准方差两种方法在反映发电计划完成率偏差上的差异。文献[5]通过分析合同完成率和合同电量差异，构造了基于修正加权变异系数的合同电量完成情况评价指标。然而从电力调度实践情况看，各级调度机构均能保证个发电厂年度发电计划完成率基本一致，满足“三公调度”中完成率偏差不超过3%的考核要求。为反映完成率相同情况下，发电企业效益上的差异，文献[6]提出了考虑煤价波动影响的计划完成率均衡度指标。但实际上由于电力调度与电厂购煤没有直接联系，各电厂电煤来源复杂、购煤价格相差较大等原因，该指标只能用于分析发电企业的效益差异，而不适合用于评价电力调度业务的公平性。

可以发现，当前对调度公平性的评价从内容上主要围绕年度计划完成率展开的，而该指标仅反映计划完成的结果，没有深入整个电力调度流程，反映电力调度过程的差异性；从方法上，无论基尼系数还是标准差，实际上均反映数据的分散程度，而不能反映数据的变化范围，定位公平性影响最大的个体。为此，本文提出了过程化调度公平性评估理念，遵循“全面、精炼、易量化”的原则，深入分析电力调度业务流程，将其划分为检修计划、发电计划、实时调度三个评估环节。根据业务流程自身特点提炼其公平性评价关键指标，同时从标准差、峰谷差率、TOP/BOTTOM 排行三个角度出发分析指标，构建过程化调度公平性评估指标体系。最后基于广西电网实际数据，验证本文所提出评估指标体系的应用效益。

2. 过程化评估理念及电力调度流程分解

2.1. 过程化评估理念

年度计划完成率侧重于对电力调度执行结果的评估。而过程化调度公平性评价则要求深入分析调度业务流程，提炼其关键指标，以反映调度业务流程的公平性。基于该评估理念，本文提出“全面、精炼、

易量化”的过程化评估指标体系构建原则。

全面性原则，是过程化评估的基础，要求全面梳理电力调度的业务流程，做到不遗漏、不缺失，避免评估死角。

精炼性原则，是提炼评价指标、构建指标体系的要求。根据信息分析“二八原则”，电力调度中大量数据信息中仅有 20%对电力调度公平性评价是最有效的。精炼性原则要求针对每一个业务环节，有的放矢提炼关键指标项，避免指标项过多冲淡评价主题，指标项过少弱化评价效果。

易量化原则，是指标体系能够实际应用的保证，要求评估指标的基础数据必须来源可靠，容易获取。

2.2. 调度业务流程划分

当前我国电力调度是一个以年为单位的连续调控过程，时间维度上可划分为年度计划、月度计划、日前计划和实时调度等环节，业务内容上包括检修计划编制、机组停备安排、发电计划编制、实时调度调整等。年度计划主要内容为商定网省间送受电协议，签订电厂发电计划协议，编制机组大修技改计划。月度计划是在年度计划基础上，细化机组检修、停备计划，分解对外送受电计划。日前发电计划，是根据电网实际开机方式安排，综合考虑水电来水情况以及网络约束条件，编制日内 96 点发电计划曲线。实时调度调整，是在实际调度运行过程中，实时调整机组出力，满足电力电量平衡，满足电网安全约束。

需要说明的是，不同网省公司电力调度业务在时间上划分不尽相同，如华北电网每季度需要在年度计划基础上细化，编制其季度发电方式，而云南电网则与水情结合，按照枯期、汛前、汛期、汛后四个阶段对年度计划进行分解，以满足水火电调度优化的需要。但是不同电网公司其电力调度业务则基本一致，结合电力调度公平性评估的实际需要，可划分为开停计划、发电计划、实时调度三个方面。

开停计划，包含机组检修计划编制和停机备用安排，是在综合考虑机组工况，系统负荷，来水情况等信 息的基础上，安排机组的开停方式。发电计划，是在电网开机方式确定的情况下，根据系统负荷预测及外送受电计划，分解年度电量计划，形成机组的日发电计划曲线。实时调度，是根据电网负荷波动和断面约束限制，调整机组的发电计划，满足电力电量平衡要求。一般来说，开停计划是整个电力调度业务流程的最前端，限定了发电能力范围；发电计划，是根据确定的开机方式制定具体的发电计划曲线；而实时调度则是根据实际运行情况调整发电计划，满足实际运行要求。

3. 过程化调度公平性指标体系

3.1. 过程化评价指标体系框架

本文提出的过程化调度公平性评价指标体系如图 1 所示。

依据全面性原则，过程化评估涵盖了开停计划、发电计划和实时调度三个核心调度业务，同时增加后评估维度，评估计划完成结果的公平性。

“三公调度”的核心要求是平等对待各市场主体。因此，针对四个评估维度，按照精炼性原则，需要提炼最能反映调度过程差异的基础指标。分析各发电对象基础指标之间的差异性实际上就反映了调度业务的公平性。

然而需要说明的是当前公平性评估中主要通过标准差来反映该差异，而实际上标准差只能说明数据分散程度，而公平性评估中不仅仅需要表示分散程度，还需要表明数据变化范围、极端对象等因素，为此本文将通过标准差、峰谷差、TOP/BOTTOM 排行等方法全方位的展示发电对象之间差异。

3.2. 开停计划维度

开停计划，是对机组检修和备用方式的安排。机组检修一般是根据机组的运行情况进行协调安排。

而停机备用则是按照全网供需情况进行分配。机组停机备用直接影响其发电负荷，特别对火电机组，启停成本较高，不仅需要考虑其停机备用时间，还需要考虑启停次数。

为此，本文提出平均停机备用时间 T_{res} 和平均启停备用次数 N_{res} 两项指标评估开停计划维度的公平性。两个指标以电厂为单位对全年停机备用安排中火电机组的备用时间和启停次数进行统计，其基础数据可以从生产管理系统中获取。需要特别说明的是，在启停次数统计时，需要剔除机组计划检修停机的启停次数。

如下图2所示为广西一台300 MW机组全年开停计划，其中状态取值为1表示停机状态，状态取值为0表示运行状态。取值为1且线条颜色为红色部分表示计划检修，绿色部分表示停机备用。全年共安排该机组停机备用45天，在8月20号计划检修完毕机组复备后，根据电网供需情况继续安排停机备用14天。这14天需要计入停机备用天数，但是由于该次启停是为了配合计划检修，则不应计入启停备用次数，故该机组全年启停备用次数为3次。

3.3. 发电计划维度

在评价发电计划公平性上，需要注意相同负荷率情况下，不同计划曲线形状，对机组运行效益影响不同。特别对于火电机组，调峰深度增加、出力调整次数增加均会对其效益产生不利影响。本文提出调峰深度及出力调整次数指标评价发电计划编制的公平性。

(1) 调峰深度

机组调峰深度越大，运行工况偏离额定工况，运行效率降低。为此需要计算电厂调峰深度以评估发电计划的公平性，电厂调峰深度计算公式如下：

$$D_{peak} = \frac{\sum_{i=1}^{N_T} P_i^{min}}{N_T P^{rate}} \quad (1)$$

如式(1)所示， D_{peak} 为电厂平均调峰深度， N_T 为统计天数， P_i^{min} 为第 i 天电厂日发电计划曲线最小出力， P^{rate} 为电厂所开机组的额定容量之和。调峰深度所需数据可从发电计划系统及生产管理系统中获取。

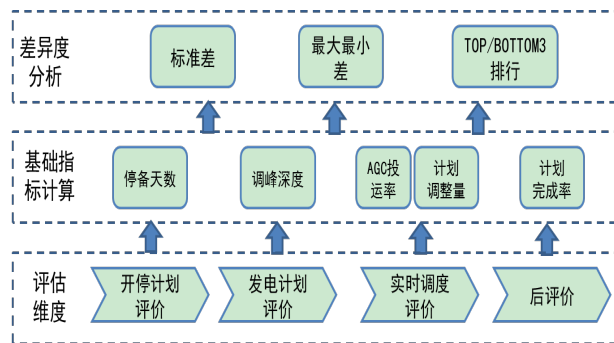


Figure 1. Frame of procedural impartiality index system of power dispatching

图 1. 过程化调度公平性评价指标体系框架图

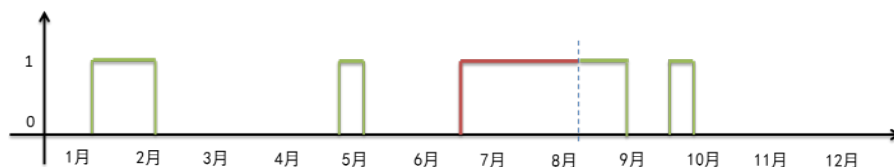


Figure 2. Reserve schedule of thermal power generation unit

图 2. 机组停机备用计划图

(2) 出力调整次数

火电机组出力频繁调整，会极大的影响机组的运行效率。机组出力调节次数作为发电计划制定的一个重要约束条件被广泛应用采纳。

电厂出力调整次数指标 N_{sch} 等于其日前发电计划曲线出力单向调整的次数之和。所谓单向调整是指相对于上一点出力变化与之前一次变化方向相同则视为出力是单向调整。如图 3 所示为广西电网一条实际的 300 MW 火电机组的日前计划曲线，每一个箭头即指示出该机组出力调整的一次，该曲线条件下该机组出力调整次数为 4 次。当统计多日出力调整次数时，只需将每一天的出力调整次数累加即可，所需数据可以从发电计划系统中获取。

3.4. 实时调度维度

实时调度中调度员需要根据系统实际负荷对机组发电计划进行调整，同时还需要决定机组的 AGC 运行状态。为保证实时调度的公平性，一方面需要公平的调用机组 AGC 服务辅助，保证其参与有偿辅助服务的公平性，另一方面需要公平分配负荷预测差额，提高机组实际负荷率与计划曲线的逼近程度。

为此本文提出计划调整量及 AGC 投入率两项指标评估实时调度的公平性。

(1) 计划调整量

所谓计划调整量，是指在实际调度过程中，调度员调整机组出力以满足负荷预测偏差所造成的电厂实际发电与计划电量之间的偏差。其计算公式如下：

$$Ele_{adj} = Ele_{rea} - Ele_{sch} - Ele_{net} - Ele_{self} \tag{2}$$

如式(2)所示， Ele_{adj} 为电厂实时发电量， Ele_{rea} 为电厂实际发电量， Ele_{sch} 为电厂计划电量， Ele_{net} 为由于网络因素导致的电量偏差， Ele_{self} 为电厂由于机组自身原因导致的电量偏差。计划调整量计算所需数据可以通过生产管理系统、发电计划系统和电能检测系统获取。

需要特别说明， Ele_{net} 、 Ele_{self} 两个数据的取值符号不唯一，可能取正，也可能取负。

(2) AGC 投入率

调度员可根据电网实际需要投退机组 AGC 功能。作为电厂辅助服务重要的补偿途径，AGC 投退对电厂运行效益具有较大影响。

为此本文提出以 AGC 投入率评估实时调度电厂 AGC 功能投退公平性。机组 AGC 投运率计算公式为：

$$\eta_{AGC} = \frac{\sum_{i=1}^{N_C} T_i^{S,AGC}}{\sum_{i=1}^{N_C} T_i^{C,AGC}} \times 100\% \tag{3}$$

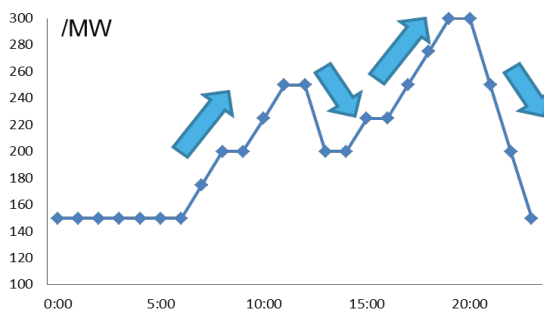


Figure 3. Day-ahead schedule of thermal power generation unit
图 3. 火电机组日前计划曲线

如式(3)所示, 火电厂 AGC 投运率 η_{AGC} 为其所有机组 AGC 投运时间 $T^{S,AGC}$ 与其可投入时间 $T^{C,AGC}$ 的比值, 其中 N_C 为该电厂的机组台数。

3.5. 后评估维度

后评估是从计划完成率角度对调度运行结果进行评估分析。电厂计划完成率计算公式如下:

$$\eta_{sch} = \frac{Ele_{rea}}{Ele_{sch} - Ele_{non}} \times 100\% \quad (4)$$

如式(4)所示, η_{sch} 为电厂的计划完成率, Ele_{rea} 为其年度实际发电量, Ele_{sch} 为年度计划电量, Ele_{non} 为机组非计停造成的电量损失。

3.6. 差异化分析

差异化分析, 是在四个维度基础指标基础上, 从数据分散程度、波动范围、极端对象三个方面分析各发电对象的差异。

(1) 分散程度分析

目前在调度公平性评估研究中对数据分散程度的分析, 主要通过标准方差和基尼系数两种方法。研究表明两种评估方法在评估结果上是一致的。本文以发电计划完成率的标准方差量化其均衡程度, 其计算公式如下:

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (5)$$

如式(5)所示, X_i 为待评估项目每个发电对象的基础指标, \bar{X} 为该基础指标的全网平均值, N 为发电对象总数, δ_x 为该基础指标的数据标准差, 反映了该指标在所有电厂中的均衡度, 即指标数据的分散程度。

(2) 峰谷差率

峰谷差率能够反映数据的波动范围, 其计算公式如下:

$$\gamma_x = \frac{X_{max} - X_{min}}{\bar{X}} \times 100\% \quad (6)$$

如式(8)所示, X_{max} 、 X_{min} 、 \bar{X} 分别为待评估项目所有发电对象基础指标的最大值、最小值和平均值, γ_x 为该评价项目的峰谷差率。

(3) TOP/BOTTOM 排行

TOP/BOTTOM 排行即最高、最低排行, 是按照指标大小, 对数据样本进行排序, 选取其中最高、最低的几位, 该方法常用于股市中, 以辅助投资者快速定位其中表现最好或最差的股票。

一般TOP/BOTTOM排行中选择对象的个数由样本的数量决定, 当样本数量较大(一般为超过50个)时, 选取前、后5%的个体; 当样本数量较小(低于50个)时, 一般选取前、后3个用于TOP/BOTTOM排行。

4. 算例分析

本文应用广西电网实际数据分析本文所提出的评估方法的实用性。

表1展示了2013年广西中调调管的单机300MW的电厂的计划完成情况。

从表1可以看出, 从电量完成情况来看, 广西电网300MW电厂计划完成率基本一致, 完成率最高与最低之间偏差不超过1%, 且峰谷差率仅为0.85%, 满足当前“三公调度”的考核要求(由于对象个体

较少，不适合采用 TOP/BOTTOM 排行)。

依据本文调度公平性评估的要求，分别统计其停备天数、调峰深度、出力调节次数等指标进行统计，结果如表 2 至表 4。

通过过程化分析，可以发现全年计划偏差 1% 的主要决定因素在于实时调度过程和停备安排方面，来宾电厂的停备天数和启停次数低于其他电厂，同时实时调整中相对计划增加较明显，使其与其他电厂相比电量完成情况更好。

5. 结论

当前调度公平性评价主要围绕电厂年度计划完成率展开，没有深入调度业务流程，规范整个调度业

Table 1. Fulfill proportion of 300 MW power plant in Guangxi power grid
表 1. 广西电网 300 MW 电厂计划完成率

名称	计划/亿千瓦时	实际/亿千瓦时	完成率/%	峰谷差率/%
合山电厂	3.00	3.12	104.25%	0.85%
来宾电厂	6.00	6.26	104.40%	
北海电厂	2.91	3.01	103.52%	
永福电厂	2.91	3.01	103.72%	

Table 2. Reserve schedule of 300MW power plant in Guangxi power grid
表 2. 广西电网 300 MW 电厂停备情况

名称	平均停备天数/台天	平均启停次数/台次
合山电厂	53	5.00
来宾电厂	51	4.25
北海电厂	54	5.50
永福电厂	54	5.50

Table 3. Generation schedule of 300 MW power plant in Guangxi power grid
表 3. 广西电网 300 MW 电厂发电计划

名称	平均调峰深度/%	平均出力调整次数/次
合山电厂	56.3	3.9
来宾电厂	57.3	3.9
北海电厂	56.5	3.8
永福电厂	56.7	3.9

Table 4. Realtime operation of 300 MW power plant in Guangxi power grid
表 4. 广西电网 300 MW 电厂实时调度评估

名称	计划调整量/MWh	AGC 投运率/%
合山电厂	29.2	95.4
来宾电厂	33.1	96.7
北海电厂	27.8	96.3
永福电厂	28.5	95.9

务流程。针对这一问题，本文提出了全过程调度公平性评估理念，将连续的调度业务流程划分为检修计划、发电计划、实时调度和后评估四个环节。按照“全面、精炼、易量化”的指标体系构建原则，对上述四个调度环节提出了 8 项评价指标。广西电网实际数据的算例表明，该指标体系能够准确分析调度业务中的公平性短板，对于规范调度业务工作具有重要作用。

参考文献 (References)

- [1] 柯人观, 黄民翔, 徐辰婧 (2012) 基于信息熵的电力调度公平性指标探讨. *华东电力*, **6**, 1060-1063.
- [2] 戴俊良, 王鹏, 王轩, 等 (2008) 基于基尼系数的电力调度公平性指标探讨. *电力系统自动化*, **2**, 26-29.
- [3] 赵瑞娜 (2011) 电网调度公平性评价指标研究. *华东电力*, **4**, 616-619.
- [4] 曾峰, 王鹏 (2010) 华北区域调度公平性指标分析. *现代电力*, **2**, 78-81.
- [5] 张成刚, 王秀丽 (2009) 基于修正加权变异系数的电力调度公平性指标. *电力技术经济*, **5**, 5-9.
- [6] 魏学好, 胡朝阳, 杨莉 (2012) 对“三公”调度现有评价指标的思考和建议. *电力系统自动化*, **20**, 109-112.