

大数据背景下发电集团煤电机组优化运行方法研究

分析目前煤电机组优化运行的方法及存在问题。然后,以提高机组经济效益为目标,提出效益比的计算方法,并利用大数据技术,建立效益比与负荷率关系模型,同时,通过该模型,计算每台机组的最优效益比。最后利用该模型及电量分配算法,实现多机组的电量调度分配,达到效益比高的机组多发电的目标。通过数据实验表明,该模型可以有效实现多机组协调优化运行。并且,该模型的建立,对于下一步煤电机组发电量预测及煤电机组淘汰关停,提供了有效的数据支撑,对发电集团有一定的指导和参考意义。

王 韬/国电南京自动化股份有限公司

0 引言

随着电力市场改革和能源互联网的发展,对于煤电机组来说,如何在能源竞争中处于优势地位,保持机组的持续优化运行至关重要。目前,关于机组优化运行的方法,主要是围绕机组煤耗率^[1-16]最小为目标函数,建立一些函数关系,但该种模型的建立,需要考虑的因素比较多,如锅炉、汽轮机等设备的运行效率,并且对于各种设备逐渐老化,效率变低的情况,也不能实时调整函数适应外界环境的变化。在实际的生产过程中,并非负荷率越高,煤耗就越低,建模存在一定的局限性。同时,对于多机组负荷分配的问题,主要也是依托煤耗率作为负荷分配的依据,其主要方法:动态规划法^[3-5]、微增率法^[6-8]、粒子群法^[9-11]、遗传算法^[12-13]和数据分析挖掘法^[14-15]等算法,通过函数方式建立模型,但是不同函数约束条件不同,同样也存在,设备老化等外在环境的变化,

导致煤耗曲线偏离设计曲线的问题。

针对机组最优运行状态和多机组负荷分配的问题,本文提出利用大数据技术,从效益比的角度,建立实时的效益比—负荷率模型,获取机组在不同负荷率情况下的效益比的变化情况,实现机组在最大效益比情况下的优化运行,同时,利用该模型,以效益比高的机组多发电为目标,实现多机组的最优经济调度^[17],称之为效益比计算法。

1 大数据技术与优化运行

关于电力行业大数据^[18-21]的采集、存储等技术方式,在文献[22]都有提到,通过SAP系统建立数据中心的方法,方便数据分析,值得借鉴。而对于如何利用大数据实现煤电机组的优化运行,本文引进一种评述标准:效益比(Benefit Ratio)。把效益比的计算公式定义为

$$B_r = G_i / G_c \quad (1)$$

式中, B_r 为效益比; G_i 为煤电机组发电收入(以下简称收入); G_c 为煤电机组发电成本(以下简称成本)。

在火电企业中,煤炭成本占比较高,因此把煤炭成本记作成本,其对应的收入主要来自发电收入,把发电收入记作收入。

1.1 收入

收入如式(2)所示

$$G_i = E_q E_p \quad (2)$$

式中, G_i 为煤电机组发电收入; E_q 为发电量; E_p 为电价。



王 韬/工程师

关键词/Keywords

效益比·
负荷率·
大数据·
煤电机组·
优化运行·
电量分配·

从式(2)可以看出,电价对收入有一定的影响,为了避免电价的波动对建模的影响,增强模型的可用性,所以用发电量数据 E_q 记为收入。

1.2 成本

成本如式(3)所示

$$G_c = C_q C_p \quad (3)$$

式中, G_c 为煤电机组发电成本; C_q 为煤量; C_p 为煤价。

从式(3)可以看出,煤价成本有一定的影响,为了避免煤价的波动对建模的影响,增强模型的可用性,所以用发电标准煤量 C_q 记为成本,同时,尽量使发电量数据和发电标准煤量数据保持在同一级别的单位中,使效益比数值维持在0~10区间之内。

同时,为了使数据更有说服力,把发电煤炭数量转换成标准煤数量。其计算方法如下所述。

标准煤具有统一的热值标准。我国规定每千克标准煤的热值为7 000 kcal。因此,不同煤种转化成标准煤的热值方法为

$$E_{cc} = E_{cv} / C_{cv} \quad (4)$$

式中, E_{cc} 为能源折标准煤系数; E_{cv} 为能源实际热值, kcal/kg; C_{cv} 为标准煤热值, 7 000 kcal/kg。

在各种能源折算标准煤之前,首先测算各种能源的实际平均热值,再折算标准煤。平均热值也称平均发热量,是指不同种类或品种的能源实测发热量的加权平均值。计算公式为

$$V_{ac} = \sum (E_{ecv} E_{eq}) / E_t \quad (5)$$

式中, V_{ac} 为平均热值, kcal/kg; E_{ecv} 为每种能源实测低发热量; E_{eq} 为每种能源数量; E_t 为能源总量。

由式(4)和式(5)可知

$$C_q = (V_{ac} / C_{cv}) E_t \quad (6)$$

通过式(6)可以折算出每天的标准煤量,至此成本数据,就已经计算出来了。

1.3 负荷率

关于煤电机组的负荷率的计算方法为

$$P_1 = P_2 / P_3 \quad (7)$$

式中, P_1 为负荷率; P_2 为统计周期内的平均负荷;

P_3 为机组最大负荷。

负荷率是指在统计周期(日、月或年)内的平均负荷与最大负荷之间的百分数;可以用来衡量在规定时间内负荷变动情况,以及考核电气设备的利用程度,也在一定程度上反映了机组的运行效率。

2 负荷率与效益比关系

本文重点研究机组负荷率处于不同状态值时,效益比的变化情况。

煤电机组的运行,不是说负荷率越高,效益比就越大,这两者之间,存在一定的函数关系,可以运用大数据技术,通过大量的每日效益比数据和对应的每日负荷率数据进行拟合研究,可以发现,当机组处于某一负荷率时,效益比处于最优的状态,就可以让该机组处于这一最优运行状态下,以达到效益最大化。从而形成每台机组的优化运行模型,同时,为保证所建模型防止机组老化等因素的影响,需要把每天新的运行数据,实时输入到计算模型的数据中心中,确保每天所得的两者关系模型,都是由最新的大数据集拟合而成。其模型关系如图1和图2所示。

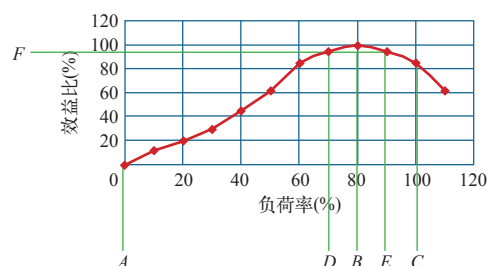


图1 效益比与负荷率关系模型一

假设图1 对应函数

$$y_1 = f_1(x_1) \quad 0 \leq x_1 \leq 100 \quad (8)$$

假设图2 对应函数

$$y_2 = f_2(x_2) \quad 0 \leq x_2 \leq 100 \quad (9)$$

式中, y_1 和 y_2 为对应效益比数据; x_1 和 x_2 为对应负荷率数据。

图1中分成两段上升AB段和下降BC段(负荷率的有效范围是0~100%),对于同一效益比值可能对应两个负荷率值,如F点效益比值,其负荷率

值就分别对应上升段 D 点和下降段 E 点,为了使效率比高的机组多发电,负荷率的值只有在 BC 段中才可以。对于图2只有上升段,一个效益比值对应唯一的一个负荷率数据。但这并不是说该类型的机组所有机组都直接满负荷发电就可以不参与计算,因为可能会出现一种情况:即使是模型二的机组满负荷发电的效益比也比其他机组的效益比低。特别是装机容量小的机组和装机容量大的机组比较时,容易出现这种情况。

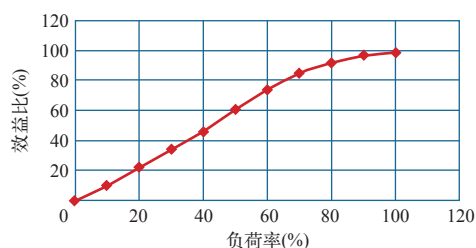


图2 效益比与负荷率关系模型二

3 多机组调优

多机组调优的原则是:使效益比高的机组多发电。在文献[23]提到一种风机机组优化运行的方式,因为单台风机的容量较小,并且风机启动成本较低,这是火电与风电明显不同的地方。当算出每台机组的最佳效益指标时,而对于区域或集团内的机组,如何保持在一种最佳的效益状态下,其过程如下所述。

3.1 层级排序

根据式(8)和式(9)计算所有机组的最大效益比数据,然后按照机组最优运行状态效益比由高到低排序。把每个效益比命名为一个层级,其层级顺序由高到低依次为1、2、3、 $\dots$ 、 i 。各台机组最优效益比下发电量记作 N_i 。在每个层级下最优效益比值大于等于该层级效益比值的所有机组,在最优效益比时的电量值累加值,记作 P_i 。

3.2 计算层级电量浮动区域

在负荷率不大于100%的情况下,对于模型一,会分别对应两个负荷率数据,根据式(10),计算不同负荷率下所对应的电量数据与最优效益值时的电量数据比较,就会形成一个电

量浮动区间 $[E_{i,j,1}, E_{i,j,2}]$ (第 i 层级第 j 个机组形成的电量浮动区间)。对于模型二, $E_{i,j,2}$ 所对应的值是零,因为模型二在效益高的时候,负荷率最大。同一效益比下的所有机组浮动区间累加,形成这一区间汇总的浮动数据 $[F_{i,1}, F_{i,2}]$,即

$$E_m = 24U_l U_{lr} \quad (10)$$

式中, E_m 为发电量; U_l 为机组负荷; U_{lr} 为机组负荷率。

3.3 差值 E_{pd} 计算

如果 $D_{eq} \geq (P_i + P_{i+1})/2$, $E_{pd} = D_{eq} - P_{i+1}$; 如果 $D_{eq} < (P_i + P_{i+1})/2$, $E_{pd} = D_{eq} - P_i$ 。

差值判断: ①判断 E_{pd} 是否在 i 层级这个级别的浮动区间 $[F_{i,1}, F_{i,2}]$ 之内; ②判断 E_{pd} 是否在 $i+1$ 层级这个级别的浮动区间 $[F_{i+1,1}, F_{i+1,2}]$ 之内; ③判断 D_{eq} 是否小于 i 层级这个级别的所有机组日度最大累计发电量; ④判断 D_{eq} 是否小于或等于 $i+1$ 层级这个级别的所有机组日度最大累计发电量。

对于满足上述条件任何一种情况时,把该层级所对应的机组集合记为 Z 。

如果是①、②两种情况,可以直接分配,如果是③、④两种情况,还需要继续在第 $i+1$ 层级找到 i 层级这个级别对应的这些机组 Z 所形成的浮动区间 $[M_{i,1}, M_{i,2}]$ (注意:这个区域和前面提到的区间 $[F_{i,1}, F_{i,2}]$ 不同, $[F_{i,1}, F_{i,2}]$ 对应的是第 i 层级下所有机组所形成的区间)。直到满足条件 E_{pd} 在区间 $[M_{i,1}, M_{i,2}]$ 为止。如果是①、②情况,区间 $[M_{i,1}, M_{i,2}]$ 和 $[F_{i,1}, F_{i,2}]$ 相同。

3.4 电量分配

各台电量按照电量差百分比的方式计算。如果 $E_{pd} \leq 0$, $Q_{i,j} = (E_{pd}/M_{i,1})Z_{i,j,1}$; 如果 $E_{pd} > 0$, $Q_{i,j} = (E_{pd}/M_{i,2})Z_{i,j,2}$ 。

$Z_{i,j,1}$ 为在机组集合 Z 内第 i 层级第 j 台机组的最小浮动电量; $Z_{i,j,2}$ 为在机组集合 Z 内第 i 层级第 j 台机组的最大浮动电量; $Q_{i,j}$ 为第 i 层级第 j 台机组实际参与调控的浮动电量。 Q_j 为

$$Q_j = N_j + Q_{i,j} \quad (11)$$

式中, Q_j 为第 j 台机组的最终发电量; N_j 为第 j 台机组的最高效益比发电量; $Q_{i,j}$ 为第 i 层级第 j 台机组实

际参与调控的浮动电量。

说明：如果调度电量 D_{eq} 小于第一层级的 P_i （正常情况下第一层级只有一个机组），按照调度电量计算机组的负荷率，然后计算效益比，效益比最高的为发电机组。如果是调度电量 D_{eq} 大于

最后一个层级所有机组的最优效益比值下的 P_i ，且小于所有机组最大电量累计值，直接按照电量算法计算分配即可，如果大于所有机组最大电量累计值，就只能扩充装机容量。

整个电量分配算法流程如图3所示。

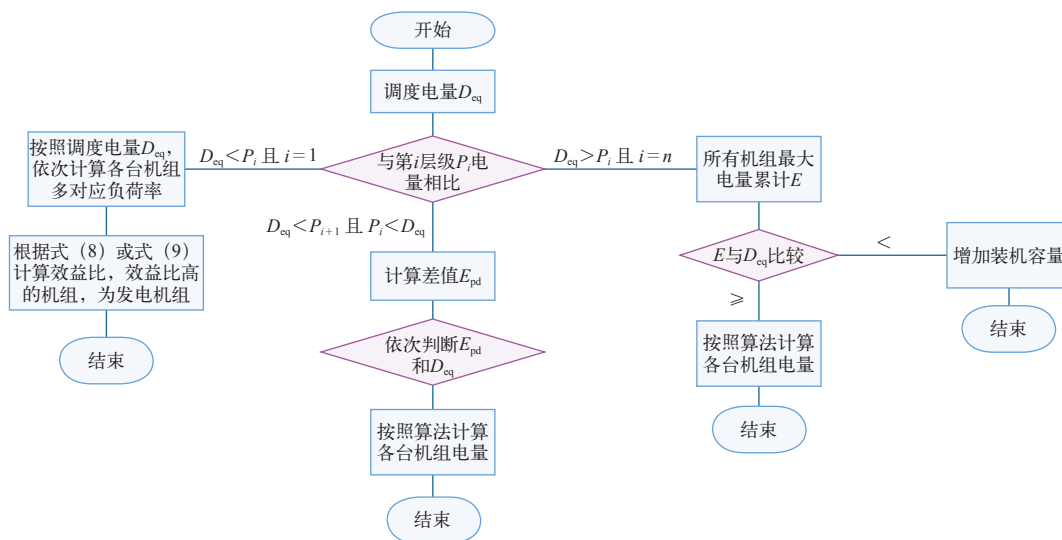


图3 电量调度分配流程图

采用这种方式的主要目的就是让效益比高的机组多发电量，从而提高机组的整体效益。

4 数据验证

关于每台机组的效益比模型计算方法，主要是利用大数据的技术，进行数据分析拟合的过程，这里就不再讲述其过程。

而对于在已知模型的情况下，机组如何优化运行的计算方法，其过程如下。

4.1 机组指标数据

假设有十台机组参与电量调度，其机组主要信息如表1所示。

4.2 电量计算

根据每台机组的模型，分别计算每台机组在不同效益比下的电量浮动区间，如表2所示。

4.3 调度电量匹配与计算

假设调度电量为 5 000，按照效益比由高到低的顺序比较，可以发现，到表2中第5层级，机组累计发电量就开始超过5 000。

表1 机组基本信息表

序号	机组编号	效益比(%)	模型	最高效益比发电量/万kW·h	装机容量/万kW	每台日度最大发电量/万kW·h
1	1 [#]	1.3	模型一	1 300	60	1 440
2	2 [#]	1.2	模型二	1 200	50	1 200
3	3 [#]	1.15	模型一	1 150	60	1 440
4	4 [#]	1.1	模型一	1 100	60	1 440
5	5 [#]	1.05	模型二	1 060	50	1 200
6	6 [#]	1	模型一	1 000	50	1 200
7	7 [#]	0.95	模型一	960	50	1 200
8	8 [#]	0.9	模型一	900	50	1 200
9	9 [#]	0.88	模型一	880	45	1 080
10	10 [#]	0.85	模型一	860	45	1 080

根据四个条件判断，可知条件③符合调度方式，所以参与调度优化的机组是层级四的四台机组，且差额为250，由此可以计算这四台机组的电量浮动区间如图4所示。

根据式(11)，每台机组的发电量为：1[#]机组电量为 $[(5\ 000 - 4\ 750)/290] \times 120 + 1\ 300 \approx 1\ 403.45$ ；2[#]机组电量为 $[(5\ 000 - 4\ 750)/290] \times 0 + 1\ 200 = 1\ 200$ ；3[#]机组电量为 $[(5\ 000 - 4\ 750)/290] \times 80 +$

表2 机组电量浮动区间表

层级	效益比	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]	浮动区间 [F ₁ , F ₂]
1	1.3	[0,0]										[0,0]
2	1.2	[-20,20]	[0,0]									[-20,20]
3	1.15	[-40,40]	[-10,0]	[0,0]								[-50,40]
4	1.1	[-60,60]	[-20,0]	[-20,20]	[0,0]							[-100,80]
5	1.05	[-80,80]	[-30,0]	[-40,40]	[-30,30]	[0,0]						[-180,150]
6	1	[-100,100]	[-40,0]	[-60,60]	[-60,60]	[-10,0]	[0,0]					[-270,220]
7	0.95	[-120,120]	[-50,0]	[-80,80]	[-80,80]	[-20,0]	[-20,20]	[0,0]				[-370,300]
8	0.9	[-140,140]	[-60,0]	[-90,90]	[-100,100]	[-30,0]	[-40,40]	[-20,20]	[0,0]			[-480,390]
9	0.88	[-160,140]	[-70,0]	[-100,100]	[-120,120]	[-40,0]	[-60,60]	[-40,40]	[-30,30]	[0,0]		[-620,490]
10	0.85	[-180,140]	[-80,0]	[-110,110]	[-140,140]	[-60,0]	[-70,70]	[-60,60]	[-50,50]	[-20,20]	[0,0]	[-770,590]

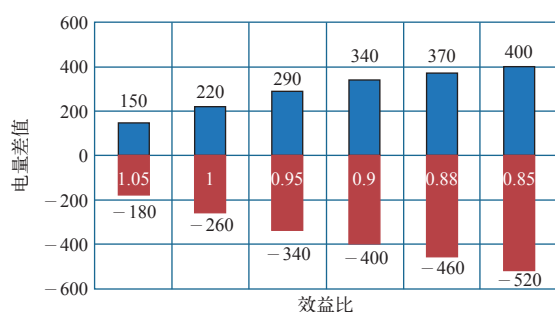


图4 调度机组电量浮动区间[M₁,M₂]图

1 150 ≈ 1 218.97; 4[#]机组电量为[(5 000 - 4 750)/290] × 90 + 1 100 ≈ 1 177.59。

5 结束语

本文只是从效益的角度,研究了效益比和负荷率的关系,此种关系模型的建立,相对于平均电量调度方式,至少提高10%的经济效益,同时,该方式还可以实现以下几种作用。

1) 为实现机组的最优化运行提供了数据支撑的依据,同时也可以科学实现多机组的电量调度。

2) 为下一步煤电机组发电量数据预测奠定了基础。比如使机组处于最好效率比运行时,就可以预测出该机组的发电量。同时,结合风电机组的风功率预测^[24],可以有效实现煤电和风电机组的电量预测,为下一步的能源互联网的发展奠定基础。

3) 对发电单位而言,还可以根据每台机组的每日最优电量数据,作为争取电量数据的依据。

4) 可以为机组淘汰关停提供数据支撑依据,让数据更有说服力。

5) 为电量区域调度提供一定的参考依据,根据电量需求,依据机组的最优运行状态进行调度。

下一步,还将从燃料的角度分析,研究耗差模型和负荷率的关系,进而对煤电机组如何选取适用本机组的燃煤提供一定的参考依据。

参考文献

- [1] 徐婧, 顾煜炯, 王仲, 等. 基于数据挖掘的煤电机组能效特征指标及其基准值的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2017, 37 (7): 2009-2015.
- [2] Hesamzadeh M R, Galland O, Biggar D R. Short-run economic dispatch with mathematical modelling of the adjustment cost [J]. Electrical Power and Energy Systems, 2014, 9 (18): 9-18.
- [3] 向德军, 陈根军, 顾全, 等. 基于实测煤耗的AGC电厂负荷优化分配 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37 (17): 125-129.
- [4] 范炜, 管晓宏, 何踊跃, 等. 求解具有爬升约束机组调度问题的结构动态规划法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (4): 14-20.
- [5] 赖菲, 王智微, 杨东, 等. 利用启发式方法求解带有爬升约束的火电机组多时段经济调度 [J]. 热力发电, 2013, 42 (5): 15-18.
- [6] 吕素, 黎灿兵, 曹一家, 等. 基于等综合煤耗微

- 增率的火电机组节能发电调度算法 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32 (32): 1-7.
- [7] 李树山, 李刚, 程春田, 等. 动态机组组合与等微增率法相结合的火电机组节能负荷分配方法 [J]. 中国电机工程学报, 2011, 31 (7): 41-47.
- [8] 李刚, 程春田, 曾筠, 等. 改进等微增率算法求解火电负荷分配问题的实用化研究与应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40 (2): 72-76.
- [9] 彭道刚, 赵寒梅, 黄丽, 等. 基于混沌粒子群优化的火电机组负荷分配 [J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2017, 41 (4): 526.
- [10] 王友, 马晓茜, 刘翱. 自动发电控制下的火电厂厂级负荷优化分配 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (14): 103-107.
- [11] 何潜, 王岗, 雷雨, 等. 基于改进粒子群优化算法的火电机组负荷多目标优化 [J]. 电网技术, 2010, 34 (8): 118-122.
- [12] 蔡杰进, 马晓茜. 基于遗传算法的火电机组运行优化 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2006 (4): 101-105.
- [13] 倪敏, 陈彦桥, 刘吉臻, 等. 基于遗传算法的火电机组负荷优化分配方法研究 [J]. 华北电力大学学报, 2006, 33 (5): 64-67.
- [14] 王宁玲, 付鹏, 陈德刚, 等. 大数据分析应用在厂级负荷分配中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35 (1): 68-73.
- [15] 曾德良, 杨婷婷, 程晓, 等. 数据挖掘方法在实时厂级负荷优化分配中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2010, 30 (11): 109-114.
- [16] Khodakhast Esapour, Rasool Hoseinzadeh, Mohammad-Reza Akbari-Zadeh, et al. A new sufficient method based on levy-social spider technique for optimal economic dispatch of thermal power unit [J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2015, 28 (3): 1137-1143.
- [17] Ning Ling Wang, Yong Zhang, Long Fei Zhu, et al. Operation optimization approaches of thermal power units with big data-driven hybrid modeling [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 631-632: 362-366.
- [18] 郝然, 艾芊, 肖斐. 基于多元大数据平台的用电行为分析构架研究 [J]. 电力自动化设备, 2017, 37 (8): 20-27.
- [19] 薛禹胜, 赖业宁. 大能源思维与大数据思维的融合: (一) 大数据与电力大数据 [J]. 电力系统自动化, 2016, 40 (1): 1-8.
- [20] 楼凤丹, 裴旭斌, 王志强, 等. 基于云计算及大数据技术的电力搜索引擎技术研究 [J]. 电网与清洁能源, 2016 (12): 86-92.
- [21] 王伟, 蒋菱, 王峥, 等. 基于向量评估遗传算法的智能电网大数据交易模型研究 [J]. 电网与清洁能源, 2016 (10): 1-8.
- [22] 王韬. SAP商务智能在发电集团中的应用研究 [J]. 电器与能效管理技术, 2017 (16): 66-70.
- [23] 王韬. 能源互联网背景下风力发电关键技术研究 [J]. 电器与能效管理技术, 2017 (17): 67-70, 84.
- [24] 王韬, 冯泽磊. 基于高准确度实时数据库风功率预测模型新方法 [J]. 电气应用, 2016, 35 (16): 38-41.
- (收稿日期: 2017-12-07) **EA**

(收稿日期: 2017-12-07) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告