基于存贮论和线性规划法的燃煤贮备和使用策略

陈鹏[1],杨敬佩[1],高建强[2]
(1. 安徽能源集团公司淮北国安电力有限公司,安徽 淮北 235000; 2. 华北电力大学 研究生院, 河北 保定 071000)

摘　要:基于存贮论建立供货能力有限、不允许缺货的燃煤贮备模型,从而获取燃煤最佳订购策略。通过建立目标线性方程和约束条件方程对燃煤配比进行分析,找到最优燃煤使用策略,保证单位燃煤使用成本最低。以安徽能源集团公司淮北国安电力有限公司第 1 季度的燃煤采购情况为研究对象,将燃煤贮备和使用结合在一起进行综合分析,从而达到经济贮备、使用燃煤的目的。

关键词:燃煤贮备;燃煤使用;存贮论;线性规划;模型;经济
中图分类号:TM 621.2　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1674 - 1951(2017)06 - 0025 - 03

0　引言

火电厂要维持生产和燃料的供应稳定,必须要有一定的燃料贮备,而且存贮量要保持在合理水平。存贮量太少,会因满足不了生产的需要而造成发电损失;存贮量太多,不仅占用大量的流动资金,而且增加了存贮燃煤挥发分的损耗。存贮论[1]是研究在各种条件下如何确定合理的燃煤库存量和订货策略,即在燃煤库存量下降到什么水平时应当订货补充,订货的批量是多少,以保证燃煤贮备费用最低。

火电厂燃煤采取多渠道供应,燃煤种类大多数情况下超过 3 种。在对燃煤配比进行线性规划后,如果在 5 种煤中选 3 种进行配比,可以产生多达 10 种的燃煤配比结果。在已知的 10 种燃煤配比结果中,依然不知道怎样选择、决策。但根据现有燃煤的配比结构和已有的存煤量,使用线性规划法[1]对燃煤配比再一次进行规划,可以对燃煤的使用进行有效的决策,然后与燃料贮备决策有机结合,以提高企业的总体运营效益。

1　燃煤贮备模型

1.1　影响燃煤存贮的因素

研究燃煤存贮问题时,需要分析燃煤的需求和供货条件两方面的因素。火电厂的负荷存在季节性因素,燃煤的需求也随季节的变化而变化。为了方便建模,这里认定同一季节燃煤的消耗率相同,只需要分季节制定订购策略,然后按照燃煤的需求按一定周期以一定批量分批订货。由于电力生产不允许缺货,并且要有一定量的最低燃煤贮量[2],所以要提前制定订货策略,并充分考虑市场因素,避免由于市场供应不足而引起生产损失。

1.2　基于存贮论建模

燃煤贮备以最低燃煤贮量 Q_0 为基准,库存量 S 随时间的变化如图 1 所示。因供货能力有限,货物需提前 t_0 时间开始订货,并在到期后以固定的供货率 A 送达,直到交齐全部订货量 Q。显然,供货率 A 必定大于需求率 $R = D/91.25$(D 为 1 个季度燃煤总需求量;91.25 为 1 个季度的天数),否则必定长期缺货。

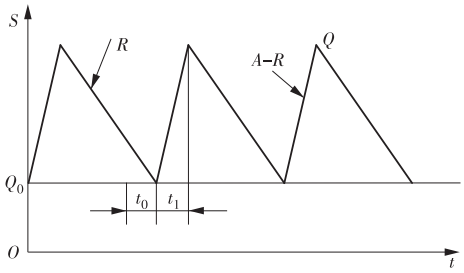

图 1　库存量 S 随时间的动态变化

由图 1 可以看出,进货时长 $t_1 = Q/A$,最大库存量 $= (A - R)t_1 = (A - R)Q/A$,平均库存量 $= (A - R)Q/(2A)$,此时 1 个季度总费用 F_1 为

$$F_1 = C_0\frac{D}{Q} + C_g D + C_v\frac{(A - R)Q}{2A} + Q_0 C_v,$$

式中:C_0 为每次订货的运输费用;C_g 为每吨货物的单价;C_v 为每吨货物由于挥发分损失的费用。

由 $\frac{dF_1}{dQ} = 0$ 可求得:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AC_0D}{C_v(A - R)}},$$

$$t^* = \frac{Q^*}{R} = \sqrt{\frac{2AC_0D}{C_vR^2(A - R)}},$$

收稿日期:2017 - 05 - 04;**修回日期**:2017 - 05 - 31

$$F^* = C_g D + C_v Q_0 + \sqrt{\frac{2C_0 C_v (A-R)D}{A}},$$

$$F^* = F_1^* + F_2^* + F_3^* + F_4^*,$$

式中：F_1^*，F_2^*，F_3^*，F_4^* 为最佳订货策略下的各个季度费用；t^* 为最佳订货周期；Q^* 为最佳订货批量；F^* 为最佳订货策略下的年费用。

2 燃煤使用模型

2.1 影响燃煤使用的因素

火电厂一般采取2～3种燃煤进行混合燃烧，但煤场贮备的燃煤往往超过3种，并且各种类型燃煤的存贮量都是不确定的，为配比燃烧带来一定的困难。只有了解这些制约因素，才能对已有的贮备燃煤进行规划，提高燃煤使用的经济性[3]。

2.2 线性规划法建模

燃煤的使用规划是将已有燃煤贮备进行建模，通过建立目标线性方程和约束条件方程进行分析，找到最优使用策略，保证单位燃煤使用成本最低。

假设燃煤贮备仓有 n 种燃煤，选取 m 种燃煤进行混合，设定燃煤的存贮量为 $b_i(i=1,2,\cdots,n)$。选取接近额定低位发热量和挥发分的 $n-1$ 种燃煤配比策略作为条件约束，设定 x_i 为燃煤配比策略的混合燃煤量，$a_{i,j}(j=1,2,\cdots,m)$ 为各燃煤配比系数。

基于线性规划法的燃煤使用模型如下。

目标线性方程：

$$f = \Sigma C_i x_i,$$

约束条件方程：

$$\begin{cases} \Sigma a_{i,j} x_i \leqslant b_i \\ \Sigma x_i < \Sigma b_i - Q_0 \\ x_i > 0 \\ C_1 < C_2 < \cdots < C_n \end{cases},$$

式中：f 为单位燃煤使用成本；i 为燃煤配比策略的种类；C_i 为各配比策略下的燃煤价格。

3 燃煤贮备实例分析

将安徽能源集团公司淮北国安电力有限公司第1季度的燃煤采购情况作为研究对象，假设第1季度 $D=360\,000$ t，$C_1=680$ 元/t，$C_0=50$ 万元，$C_2=0.05$ 元/t，$A=10\,000$ t/d，$R=3\,945.2$ t/d。

通过存贮论建模公式可求得：最佳订货批量 $Q^*=109\,000$ t，最佳订货周期 $t^*=28$ d。

上述公式中，需要计算的数据只是定量值，实际计算时，需要通过大数据分析和试验分析找到真实值，再代入式中进行计算。

4 燃煤使用实例分析

该公司现有燃煤供应主要有国企和私企两种渠道[4]，国企包括淮北矿业集团邹庄矿、朔里矿、朱庄矿等，私企包括能源科技、淮北弘润等。选取2017年3月煤场存煤情况作为配煤依据（见表1），经过燃煤配比[5]分析后的3种优选配比策略见表2。

燃煤的使用一般坚持最经济性原则，根据优选的3种燃煤配比策略的结果，按配比后单位燃煤价格由低向高的顺序进行策略选择。假设 $Q_0=5\,000$ t，根据表1、表2中的数据进行线性规划。

目标线性方程：

$$\min f = 681.8x_1 + 682.9x_2 + 699.6x_3。$$

约束条件方程：

$$\begin{cases} 0.120\,171x_2 \leqslant 1\,000 \\ 0.191\,226x_1 \leqslant 2\,000 \\ 0.524\,412x_1 + 0.565\,723x_2 + \\ \qquad 0.580\,194x_3 \leqslant 8\,000 \\ 0.285\,842x_3 \leqslant 6\,000 \\ 0.284\,362x_1 + 0.314\,107x_2 + \\ \qquad 0.133\,964x_3 \leqslant 5\,000 \\ x_1 + x_2 + x_3 = 22\,000 - 5\,000 \\ x_1 \geqslant 0, x_2 \geqslant 0, x_3 \geqslant 0 \end{cases}。$$

经计算分析可知，当 $x_1=10\,458.8$ t，$x_2=4\,446.2$ t，$x_3=0$ t 时，满足上述最经济要求，此时能源科技煤泥剩余465.7 t，朔里矿煤泥剩余6 000.0 t，朱庄矿煤泥剩余629.4 t，总的燃煤剩余量为7 095.1 t，大于5 000 t，符合燃煤最低剩余量的要求。再通过逆向

表1 煤场存煤情况

来煤公司	低位热值/(kJ·kg^{-1})	挥发分/%	固定碳/%	煤价/(元·t^{-1})	存贮量/t
能源科技	11 823.5	13.73	31.05	600	1 000
淮北弘润	15 009.7	16.02	38.12	630	2 000
邹庄矿	20 226.4	26.44	40.61	710	8 000
朔里矿	16 952.4	11.24	43.68	680	6 000
朱庄矿	20 636.7	10.80	54.08	720	5 000
标准煤	19 345.5	20.00	51.35		

表 2　优选的 3 种燃煤配比策略

来煤公司(选 3)	配比系数			价格/(元·t^{-1})	热值/(kJ·kg^{-1})	挥发分/%
淮北弘润,邹庄矿,朱庄矿	0.191 226	0.524 412	0.284 362	681.8	19 345.5	20.00
能源科技,邹庄矿,朱庄矿	0.120 171	0.565 723	0.314 107	682.9	19 345.5	20.00
邹庄矿,朔里矿,朱庄矿	0.580 194	0.285 842	0.133 964	699.6	19 345.5	20.00

规划和采购,保证剩余的燃煤最经济使用。

5　燃煤贮备和使用综合分析

燃煤贮备和使用都是动态的且有一定的规律性,只有将两者有机结合,才能达到最大的经济效益。比如,按照燃煤的使用规律,经过最经济使用后,剩余的燃煤可以作为最低燃煤贮量 Q_0,以 Q_0 为基准开始采购燃煤,然后再根据剩余燃煤的种类进行逆向规划,缺哪种就去采购哪种成分特性的燃煤,保证进入炉膛的燃煤的成分特性都为预期设定的值,最终,使得燃煤在炉膛中的燃烧是最经济、最安全的。

6　结论

存贮论和线性规划法都是通过数学方程来进行规划和分析的,最终找出一定条件参数下的最小值,而实现最小值的各个量,即为最佳策略。

但实际应用中有许多不确定因素,如供货率、运输费、损失费、最低燃煤贮量等都是不确定值,需要用加权平均法进行归纳分析,找出合适的值再进行计算;同时,燃煤供应的多样化导致燃煤成分多变,再加上采样、化验存在的误差,对燃煤的线性规划有或多或少的影响,需要及时校验。

只有将两种方法进行结合,才可以实现动态变化中的整体规划,有效提高企业燃煤经营管理的综合效益。

参考文献:

[1]徐绳均. 运筹学及其在电力系统中的应用[M]. 北京:水利电力出版社,1995.

[2]柏柳. 存贮论对企业库存控制策略的启示及应用研究[J]. 物流工程与管理,2011,33(4):76-78.

[3]张艾萍,曹丽华. 火力发电厂经济运行技术及应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,2007.

[4]马云霞. 关于供应链模式下企业库存管理的思考[J]. 重庆科技学院学报(社会科学版),2012,27(10):103-104,120.

[5]霍满臣,赵春元,张东. 电厂燃用煤混煤的数学模型及最佳混煤配比的确定[J]. 东北电力技术,1998,19(11):16-19.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

陈鹏(1982—),男,安徽淮北人,工程师,工学硕士,从事火电厂节能分析和管理方面的研究(E-mail:cup2002@sohu.com)。

(上接第 5 页)

[10]LU B, LI Y, WU X, et al. A review of recent advances in wind turbine condition monitoring and fault diagnosis [C]//Power Electronics and Machines in Wind Applications, 2009:1-7.

[11]POLINDER H, PIJL F, VILDER G J D, et al. Comparison of direct-drive and geared generator concepts for wind turbines[J]. IEEE transactions on energy conversion, 2006,21(3):725-733.

[12]ARNALTE S, BURGOS J C, RODRÍGUEZ-AMENEDO J L. Direct torque control of a doubly-fed induction generator for variable speed wind turbines[J]. Electric power components and systems,2002,30(2):199-216.

[13]SONG D, YANG J, DONG M, et al. Model predictive control with finite control set for variable-speed wind turbines [J]. Energy, 2017(126): 564-572.

[14]CORTINA G, CALAF M. Turbulence upstream of wind turbines: A large-eddy simulation approach to investigate the use of wind lidars[J]. Renewable energy, 2017 (105):354-365.

[15]罗慧强. 风力发电机的流体场和温度场数值分析[D]. 成都:西南交通大学,2012.

[16]成丹凤. 风力发电机冷却系统实验研究及数值模拟[D]. 南京:南京航空航天大学,2013.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

周涛(1965—),男,陕西西安人,华北电力大学国际教育学院副院长,博士生导师,教授,从事核热工水力与安全方面的研究及教学工作(E-mail:zhoutao@ncepu.edu.cn)。

马栋梁(1982—),男,河北保定人,在读博士研究生,从事反应堆热工水力方面的研究(E-mail:madongliang168@163.com)。

陈柏旭(1992—),男,甘肃兰州人,在读硕士研究生,从事反应堆热工水力方面的研究(E-mail:623054362@qq.com)。

齐实(1994—),男,吉林长春人,在读硕士研究生,从事反应堆热工水力方面的研究(E-mail:1093798898@qq.com)。

宋振龙(1966—),男,山东枣庄人,副总经理,工程师,从事电厂生产管理等方面的工作。