

发电站规划建设优化问题研究

王 昕

(中国华电集团公司 华电煤业集团有限公司 北京 100031)

摘要:以发电站的改扩建优化设计为工程背景,通过 Lingo、Mathematic、Matlab 等数值计算软件建立总装机量计算模型和装机顺序优化模型。以最少投资为原则建立目标函数,采用整数规划的思想,将整数规划问题转化为一般规划问题,继而采用趋势分析法,对用电需求进行预测,同时结合供电需求量和发电量两大约束条件,优化了建造顺序和建造时间。结果表明:第一阶段,扩建原有旧火电站,在项目开始即扩建 2 台单机容量为 10 kW 的发电机组;第二阶段,新建水电站,在第 1.6 a 和第 2.7 a,各建设 1 台单机容量为 25 kW 的发电机组;第三阶段,新建火电站,在第 3.8 a,第 5.7 a,第 7.3 a,第 8.8 a 各建设 1 台单机容量为 30 kW 的发电机组。优化设计为发电站的改扩建规划提供了可靠的指导依据。

关键词:发电站;改扩建;优化设计;规划建设;预测

中图分类号:S611

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2013)04-0112-04

Optimal design of power stations on extension and reconstruction

WANG Xin

(Huadian Coal Industry Group Co., Ltd., China Huaneng Group Co., Ltd., Beijing 100031, China)

Abstract: Taking the extension and reconstruction of power station as research objects, the numerical calculation model of total installed capacity and optimization model of installed sequential are established through Lingo, Mathematic, Matlab and other softwares. In principle the investment is minimum, establish the objective function. Translate the integer programming problem into general programming problem through integer programming ideas. Evaluate the power demand using trend analysis. Optimize the construction sequence and construction time based on the power generating capacity and demand capacity. The results of numerical studies show that, in the first stage, extend the original power plant, install two generating units whose capacity are 10 kW at the beginning of expansion project. In the second stage, build new stations. In the 1.6 year and 2.7 year, separately build a generator sets whose capacity are 25 kW. In the third stage, build new power plants. In the 3.8 year, 5.7 year, 7.3 year and 8.8 year, separately build a generator sets whose capacity are 30 kW. The optimal design for the renovation and expansion of power station provide a reliable guidance.

Key words: power station; extension and reconstruction; optimal design; planning and construction; prediction

收稿日期:2013-06-07 责任编辑:孙淑君

作者简介:王昕(1981—),男,山东昌邑人,工程师,硕士,从事生产技术管理工作。E-mail: wxbegin@163.com。

引用格式:王昕.发电站规划建设优化问题研究[J].洁净煤技术,2013,19(4):112-115,121.

0 引言

随着科学技术的发展,电已经深入到千家万户,越来越受到民众的关注^[1-5]。电站的建设也成为了国民生活中的一个重要问题,如何合理的安排有限资源,有效节约建设资金,降低发电厂运行成本,最大限度地提高经济效益已成为学术研究的重要课题^[6-7]。刘星等^[8]提出资本结构决策受多种因素影响的观点,认为企业资本结构决策是综合资金成本。孙焕纯^[9]提出人工智能代数解法求解线性目标规划和线性规划问题。

在现实生活中,核电、太阳能、热能等新兴能源备受关注,但在某些经济落后、地域限制、资源匮乏的地区,火力发电站和水利发电站仍起着主导作用。经济的发展带动电力的需要,在满足技术要求

的前提下,对发电站的规划成为至关重要的研究课题^[10-11]。因此,在理论分析的基础上,结合实际工程概况,对原有火电站,新建火电站,水电站等提出合理改扩建优化建设方案具有重要意义。

1 问题提出

某地区在制定十年电力发展规划时遇到这样一个问题:根据电力需求预测得知,该地区在 10 a 后发电装机容量需要增加 180 万 kW,那时的年发电量需要增加 100 亿 kWh。根据调查和讨论,电力规划的备选技术方案有 3 个:扩建原有火电站,但最多只能再安装 5 台 10 万 kW 发电机组;新建水电站,但最多只能安装 4 台 25 万 kW 发电机组;或再新建一个火电站,最多只能安装 4 台 30 万 kW 发电机组。通过调研和计算,获得有关参数,见表 1。

表 1 电力规划备选技术方案参数

备选方案	工程特点	工程投资		单机容量/ 万 kW	允许装机 台数	资本回收 因子	年运行成本/ (百万元·亿 kWh ⁻¹)	负荷 因子
		前期工程投资/ 百万元	单机设备投资/ 百万元					
1	扩建旧火电站	—	21	10	5	0.103	4.11	0.66
2	新建水电站	504	70	25	4	0.0578	2.28	0.4
3	新建火电站	240	65	30	4	0.103	3.65	0.7

注:负荷因子为全年满功率运行天数与全年总天数之比。原有火电站平均全年满功率运行天数为 241 d,水电站和新建火电站应分别为 146 d 和 255 d,而全年 365 d。资本回收因子根据:火电站的回收年限取 15 a,年利息率为 0.06;水电站的回收年限取 30 a,年利息率为 0.04

2 模型建立与求解

本文中“经济效果最优”为电站每台机器还完贷款时总费用最小。

2.1 总装机量模型

采用整数规划思想,设扩建火电站、新建水电站、新建火电站分别表示为在第 i 年建设该类机组 $x(i)$ 、 $y(i)$ 、 $z(i)$,其中 i 为 1~10。此时的费用包括年运行成本和投资成本,投资成本包括基本建设投资和设备投资成本。

1) 运行成本

扩建火电站、新建水电站、新建火电站在还款年限中的所有运行成本分别为 G_1 、 G_2 、 G_3 ,同时,其在还款年限中的总运行费用分别为 b_1 、 b_2 、 b_3 ,(单

位:百万元)

$$\begin{cases} G_1 = \sum_{i=1}^{10} x(i) \times b_1 \\ G_2 = \sum_{i=1}^{10} y(i) \times b_2 \\ G_3 = \sum_{i=1}^{10} z(i) \times b_3 \end{cases} \quad (1)$$

求得: $b_1 = 356.58$ $b_2 = 599.18$ $b_3 = 1005.21$

2) 投资成本

扩建火电站、新建水电站、新建火电站在还款年限中的等额分付资金分别为 T_1 、 T_2 、 T_3 ,单机设备还款资金分别为 b_4 、 b_5 、 b_7 ,同时,新建水电站和火电站前期工程投资的还款资金分别为 b_6 、 b_8 (单位:百万元)

$$\begin{cases} T_1 = \sum_1^{10} x(i) \times b_4 \\ T_2 = \sum_1^{10} y(i) \times b_5 + b_6 \\ T_3 = \sum_1^{10} z(i) \times b_7 + b_8 \end{cases} \quad (2)$$

其中, $b_4 = 32.45$, $b_5 = 121.38$, $b_6 = 873.94$, $b_7 = 100.43$, $b_8 = 380.70$

3) 目标函数

由式(1) (2)可知,目标函数只与 $\sum_1^{10} x(i)$, $\sum_1^{10} y(i)$, $\sum_1^{10} z(i)$ 有关,故该整数规划也可简化为一般规划问题。

扩建火电站、新建水电站、新建火电站安装机组的数量分别为 $N_1 = \sum_1^{10} x(i)$, $N_2 = \sum_1^{10} y(i)$, $N_3 = \sum_1^{10} z(i)$, 单机年度发电量分别为 J, K, L , 由此,总支出费用 U 为

$$U = (G_1 + T_1) + (G_2 + T_2) + (G_3 + T_3) \quad (3)$$

约束条件

$$\begin{cases} JN_1 + KN_2 + LN_3 \geq 1000000 \\ 10N_1 + 25N_2 + 30N_3 \geq 180 \\ N_1 \leq 5 \\ N_2 \leq 4 \\ N_3 \leq 4 \end{cases}$$

其中, $J=57840$, $K=87600$, $L=183600$

LINGO 软件求解得:

$$\begin{cases} N_1 = 2 \\ N_2 = 2 \\ N_3 = 4 \\ U = 7886.461 \end{cases}$$

得到扩建火电站、新建水电站、新建火电站机组的数量分别为 2, 2, 4, 同时得出 3 类机组的建造顺序与时间无关。

2.2 装机顺序优化模型

选用电量趋势分析的预测方法,根据电力增长需求变化确定建造顺序。全国从 1981—2000 年的电力装机和发电量见表 2。根据拟合曲线所反映的负荷本身的增长趋势,预测未来某时刻的负荷预测值。

表 2 1981—2000 年全国电力发电量

年份	装机容量/万 kW		百分比/%		发电量/亿 kWh	
	水电	火电	水电	火电	水电	火电
1981	2193	4720	31.7	68.3	656	2437
1982	2296	4940	31.7	68.3	744	2533
1983	2416	5228	31.6	68.4	864	2651
1984	2560	5452	32.0	68.0	868	2902
1985	2641	6064	30.3	69.7	924	3183
1986	2754	6628	29.4	70.6	945	3551
1987	3019	7271	29.3	70.7	1002	3971
1988	3270	8280	28.3	71.7	1092	4359
1989	3458	9206	27.3	72.7	1185	4662
1990	3605	10184	26.1	73.9	1263	4950
1991	3788	11359	25.0	75.0	1248	5527
1992	4068	12585	24.4	75.6	1315	6227
1993	4489	13802	24.5	75.5	1516	6868
1994	4906	14874	24.5	74.4	1668	7470
1995	5218	16294	24.0	75.0	1868	8074
1996	5558	17886	23.5	75.6	1869	8781
1997	5973	19241	23.5	75.6	1946	9252
1998	6507	20988	23.5	75.7	2043	9388
1999	7297	22343	24.4	74.8	2129	10047
2000	7935	23754	24.9	74.4	2431	11079

由表 2 可知,需电量的增长趋势表现为指数增长,现阶段需电量计算为

$$TR = a_0(1 + \alpha)^n \quad (4)$$

式中, TR 为现阶段的需电量,亿 kWh; a_0 为原来的电力需求量,亿 kWh; α 为年平均需求增长率; n 为年限,即第几年。整理变型,得

$$\log_{10}\left(\frac{TR}{a_0}\right) = n \times \log_{10}(1 + \alpha) \quad (5)$$

利用 Mathematica 软件^[12-13]求解,

$$\log_{10}(1 + \alpha) = 0.0349565$$

求得 $\begin{cases} \alpha = 8.3818351\% \approx 8.38\% \\ a_0 = 80.8747 \approx 80.87 \end{cases}$ 如图 1 所示。

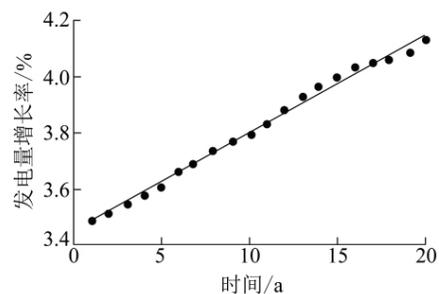


图 1 1981—2000 年全国发电量拟合曲线

图1 中性关系符合良好,得到电力增长量的函数为

$$TR = 80.87 \times (1 + 8.38\%)^n \quad (6)$$

利用 Matlab 软件^[14-15]拟合未来 10 a 用电量需求预测曲线,如图 2 所示。

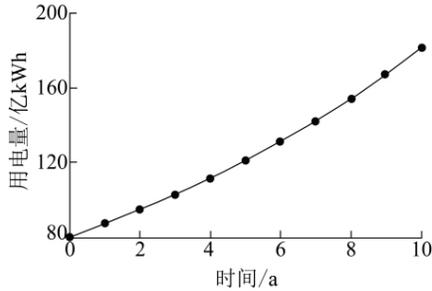


图2 未来 10 a 用电量需求预测

由图 2 可知,用户对用电的年需求量为指数上升的增函数曲线,而电的供应量是一个分段的函数模式。

$$\begin{cases} TR = a_0(1 + \alpha)^n & \text{预测用电需求量} \\ W_T = \begin{cases} a_0 + J \\ a_0 + J + K \\ a_0 + J + K + L \end{cases} & \text{拟电供应量} \end{cases} \quad (7)$$

对函数二次求导,得到用电需求量的增长速率是逐年增大的。为使投资成本最小,即使发电站发电量与用电需求量两者之差最小,在图中表示为两函数所夹面积最小。为满足此种情况,各发电站的发电量也应逐年递增。由此可以得出电站的修建顺序:先扩建旧的火电站 2 台机组,再新建水电站 2 台机组,最后新建火电站 4 台机组。

根据最小成本原则,解出在哪一年原有的电力供应会出现供不应求的现象,然后在这一年来到之际,增加投入建新的发电站。显然,这样的投资将会使成本最小,故可依据以下平衡关系式解出相应的年份 T_i

$$TR = W \quad (8)$$

由公式(8)解得

$$\begin{cases} n_2 = 1.67 \\ n_3 = 3.13 \end{cases} \quad \text{所以} \begin{cases} T_1 = 0 \\ T_2 = [n_2]_{\text{floor}} = 1 \\ T_3 = [n_3]_{\text{floor}} = 3 \end{cases}$$

即在当年扩建旧火电站之后,在第 1 a 开始建造并使用新建的水电站,第 3 a 建造使用新的火电站,如图 3 所示。

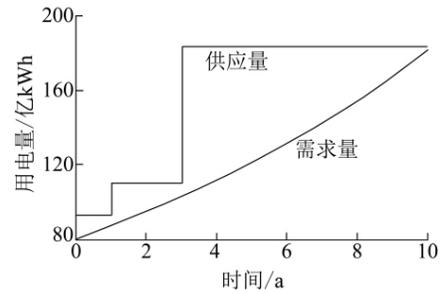


图3 初始设计方案

图 3 虽能满足供电量的需求,但成本并非最小,因此需要使电供应的分段函数更为靠近需求曲线,即 2 个函数与坐标轴围住的面积达到最小。同时,假设 10 a 中的任意时间都可建设发电站,建设后都能立即使用。因此,解出每年电力需求量,并在分段函数上取尽可能小的函数曲线与之对应,求得在 T 年时满足需求量下的最小装机台数。优化后方案见表 3 和如图 4 所示。

表 3 优化后设计方案

使用年份	年份前需求电量	完成装机台数	装机后发电量
0	87.5409	2	92.3327
1.6	91.8765	1	101.0927
2.7	100.39	1	109.8527
3.8	109.693	1	128.2127
5.7	128.838	1	146.5257
7.3	145.426	1	164.9327
8.8	164.107	1	183.2927
10	180.765	0	183.2927

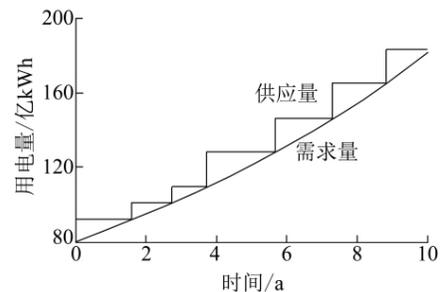


图4 优化后设计方案

由表 3 和图 4 可知,

在第一阶段,扩建原有旧火电站阶段,一开始即扩建 2 台单机容量为 10 kW 的发电机组;

第二阶段,新建水电站阶段,在第 1.6 a 和 2.7 a,各建设 1 台单机容量为 25 kW 的发电机组;

第三阶段,新建火电站阶段,在第 3.8 a,5.7 a,7.3 a,8.8 a 各建设并投入使用 1 台单机容量为 30 kW 的发电机组。

(下转第 121 页)

波动区间小,因此考虑将二号精煤区间改成动力煤灰分区间,即14%~16%。采取这种办法后,有效提高了动力煤的检测效果,但是针对二号精煤的检测效果有所下降,导致出现了几次在线检测合格,但是发运销售不合格的情况。在配煤上位机集控操作界面增加了2种配煤方式选择,分别为精煤和动力煤,根据调运煤炭的品种分别进行选择。采取这个办法后,经过数次采样对比发现,效果很好。

3) 为满足灰分仪检测所需条件,分别解决了输送带跑偏、输送带表面有水、煤量小等问题。

3 结 语

济三选煤厂采用灰分仪指导生产后,由于灰分仪对灰分监测的及时性、准确性,在保证质量,提高效益方面取得了良好效果,连续多年实现了零投诉、零异议,不仅杜绝了质量事故,更保证了矿井的经济效益;另外通过灰分仪的使用,大大降低了采样人员采样、制样的频度,降低了职工的劳动强度^[8]。

(上接第115页)

3 结 语

以发电站的改扩建优化设计为背景,通过Lingo, Mathematic, Matlab等数值计算软件建立总装机量计算模型和装机顺序优化模型,以最少投资为原则建立目标函数,采用整数规划的思想,将整数规划问题转化为一般规划问题,继而采用趋势分析法,对用电需求进行了预测。结合供电需求量和发电量两大约束条件,优化了建造顺序和建造时间,为发电站的改扩建规划提供了可靠的指导依据。

参考文献:

- [1] 徐润涛. 我国燃气轮机发电站的发展概况及其展望[J]. 燃气轮机技术, 1998, 11(3): 5-10, 17.
- [2] 张爱. 火力发电站信息系统的开发[D]. 保定: 华北电力大学, 2007.
- [3] 虞昉. 浅谈数字化变电站自动化技术[J]. 洁净煤技术, 2005, 11(4): 82-84.
- [4] 王旭, 李现勇. 煤制合成天然气发电系统技术和前景分析[J]. 洁净煤技术, 2010, 16(4): 19-22.
- [5] 李荫重. 96'先进燃煤电站系统技术进展评估年会[J]. 洁净煤技术, 1996, 2(4): 58.

参考文献:

- [1] 王崇军, 王瑞敏, 周广文. 浅谈在线灰分检测仪的作用[J]. 中国煤炭, 2002, 28(3): 49-50.
- [2] 李建业. ZZ-89型灰分仪在中煤马脊梁选煤厂的应用[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(2): 125-126.
- [3] 严广柏. 利用在线灰分仪回控选煤厂工艺参数的应用[J]. 洁净煤技术, 1998, 4(1): 56-57.
- [4] 杨晓慧, 吕建红. 利用在线灰分仪进行分贮与配煤自动化[J]. 洁净煤技术, 2000, 6(4): 25-27.
- [5] 周广文. 浅谈COALSCAN型在线灰分仪的常见故障及排除方法[J]. 煤质技术, 2009(4): 41-42.
- [6] 李书宇. COALSCAN2500型在线灰分仪在柴里选煤厂的应用[J]. 选煤技术, 2000(5): 32-33.
- [7] 周广文. 浅谈在线灰分仪在配制煤生产中的应用[J]. 煤质技术, 2000(6): 17-20.
- [8] 王强, 孔祥伟. 在线灰分仪在华丰煤矿选煤厂的应用[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(5): 14-15.
- [6] 王世昌. 电站锅炉气体不完全燃烧损失对供电煤耗的影响[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(2): 90-94.
- [7] 边炳鑫, 艾淑艳, 吴立新, 等. 火力发电厂最佳配煤指标和配煤方案的确定[J]. 洁净煤技术, 1996, 2(4): 36-38.
- [8] 刘星, 汤亚莉. 用多目标规划法优化企业资本结构[J]. 重庆大学学报, 2002, 25(7): 115-117.
- [9] 孙焕纯. 运筹学中若干线性目标规划和线性规划的人工智能-代数解法[J]. 运筹学报, 2010, 14(4): 101-111, 120.
- [10] 罗玉萍, 王立久. 煤电转化过程的集成与优化研究[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(4): 5-9, 34.
- [11] 薛恺, 李强. 300MW机组发电煤耗影响因素分析[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(1): 98-101.
- [12] 苏金明. 数学软件应用举例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [13] 薛毅. 数学建模基础[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2004.
- [14] 飞思科技产品研发中心. MATLAB7基础与提高[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [15] 宋兆基. Matlab6.5在科学计算中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.