

网络图优化及在电厂设备检修中的应用

王运民, 李录平, 黄志杰
(长沙理工大学, 湖南 长沙 410076)

摘要: 网络图在电厂设备检修中被广泛应用, 但绘制的网络图如何进行优化, 这一问题却没有真正解决。从分析工期与费用的关系入手, 介绍了网络图优化的方法, 并以电厂给水泵大修为例, 说明网络图优化的具体应用。研究结果表明, 该网络图优化方法用于电厂设备检修, 简便、有效、可行。

关键词: 网络图; 设备检修; 优化

中图分类号: TM621.7 文献标识码: B

1 前言

20 世纪 90 年代以前, 我国电厂设备检修多用横道图来计划和控制工程的进度。横道图虽有直观、简单明了、绘制和应用方便等优点, 但它却不能反映工程的全貌, 也不能反映各项工作之间的相互联系、相互制约的关系; 20 世纪 90 年代以后, 我国许多大电厂逐渐采用网络图来指导设备的检修工作; 但绘制的网络图如何进行优化, 一直是困扰电厂设备检修工作的一个难题。下面从工期与费用的关系对该问题进行探讨。

2 网络图的优化方法

网络图优化的基本思路是, 利用时差, 不断调整网络计划的最初方案, 以寻找并确定工程成本最低的最优工期。因而网络图优化前, 必须清楚工期与费用的关系。

2.1 工期与费用的关系

工程的费用由直接费用和间接费用两部分组成。直接费用是直接用于某项作业的成本费用, 如作业的直接人工费用、直接材料费用、设备费用等; 间接费用是指与整个工程相关的成本费用, 如工程

的各种管理费用、办公费用等。为了缩短工期, 就要增加设备, 增加劳动力、外协加工和紧急订货等。这些都会使直接费用增大。但间接费用则随工期的缩短按比例减少。工程费用与工期的关系如图 1 所示。

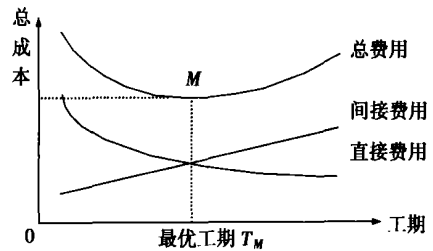


图 1 工期与费用的关系曲线

一般在正常生产施工条件下, 其直接费用最少, 但在以最短时间加速完工的条件下, 其直接费用就多。图 2 为直接费用与时间(工期)的关系。a 点对应的时间为最短时间 T_1 , 对应的费用为极限费用 C_1 ; b 点对应的时间为正常时间 T_2 , 对应的费用为正常费用 C_2 。从正常费用到极限费用一般是非线性变化的, 但实际应用中, 可用直线段 ab 来代替此曲线段。一项作业的作业时间每缩短一天所需要增加的直接费用叫做该作业的直接费用率。直接费用率可由下式计算:

$$R = \frac{C_1 - C_2}{T_2 - T_1}$$

2.2 网络图优化的步骤

(1) 首先确定正常作业时间下和最短作业时间下各项作业的时间及直接费用, 并计算各项作业的直接费用率。

(2) 确定该工程每天的间接费用。

收稿日期: 2003-11-20; 修订日期: 2004-02-24

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(01JJY3022)。

作者简介: 王运民(1960-), 男, 安徽宿州人, 长沙理工大学副教授。

(3) 按正常作业情况绘制优化前的网络图, 并进行网络图的计算, 确定其关键路线。

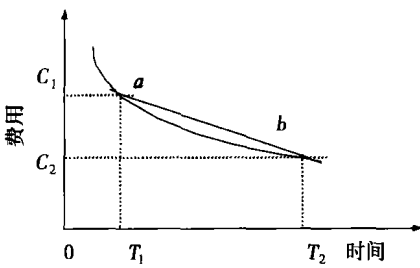


图 2 直接费用与时间的关系

(4) 逐步压缩网络图中

关键路线上直接费用率最小的作业, 每次压缩后, 计算出总工期和总成本。

(5) 选取成本最低的方案作为网络计划的最优方案。

3 网络图优化实例

某电厂 300 MW 机组配置 2 台电动给水泵组和 1 台汽动给水泵组。现以一台电动给水泵组大修为例进行说明。

3.1 编写电动给水泵组大修项目及费用关系表

根据该电厂给水泵组大修时的工时定额标准、工时费用及材料消耗费用等, 确定电动给水泵组大修时各项作业的正常时间、极限时间以及相关的直接费用, 并计算出各作业的直接费用率, 如表 1 所示。

3.2 绘制电动给水泵组大修工作的网络图

根据表 1 内容绘制出电动给水泵组大修时的网络图, 如图 3 所示。

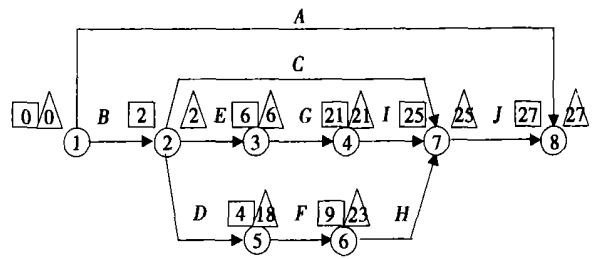


图 3 给水泵组检修网络图

3.3 网络图的计算及关键路线的确定

3.3.1 结点最早开始时间

结点最早开始时间是指从该结点开始的各种作业最早可能开始工作的时刻, 在此时刻之前, 不具备开工条件。

结点最早开始时间应从网络图起始结点开始, 自左向右, 顺着箭线方向逐个计算直至网络图的终点。为了便于计算, 我们把起始结点最早开始时间定为零, 即 $ES(1) = 0$ 。

若结点只有一条箭线进入, 则该箭头结点的最早开始时间等于该箭尾结点的最早开始时间加上作业时间; 若结点有很多条箭线进入, 则应对每一条箭线都进行上述计算后, 取其中最大值为该结点的最早开始时间, 其计算式为:

$$ES(j) = \max[ES(i) + t(i, j)] \quad (i, j = 1, 2, \dots, n; i < j)$$

式中: $ES(j)$ — 箭头结点的最早开始时间;

$ES(i)$ — 箭尾结点的最早开始时间;

$t(i, j)$ — 作业时间。

各结点最早开始时间, 经计算后填入图 3 中的方框内。

表 1 电动给水泵组大修项目及费用关系表

作业代号	结点号		作业名称	正常情况		极限情况		直接费用率 / 元·天 ⁻¹
	<i>i</i>	<i>j</i>		时间/天	直接费用/元	时间/天	直接费用/元	
A	1	8	电动机检修	5	3 300	3	4 050	375
B	1	2	拆除给水泵组外部连接管道	2	2 200	1	2 350	150
C	2	7	液力偶合器及油系统检修	5	4 400	3	5 400	500
D	2	5	前置泵解体	2	1 330	1	1 560	230
E	2	3	主给水泵解体	4	4 430	2	5 380	475
F	5	6	前置泵各部件检修	5	3 960	4	5 400	720
G	3	4	主给水泵各部件检修	15	19 800	11	36 840	4 260
H	6	7	前置泵组装	2	1 320	1	1 530	210
I	4	7	主给水泵组装	4	4 400	2	5 300	450
J	7	8	给水泵组外部管道组装	2	2 640	1	2 950	310
合计					47 780			

3.3.2 结点最迟结束时间

结点最迟结束时间, 是指以该结点为结束点的各作业最迟必须完成工作的时刻。在此时刻若不能完成, 就会影响后续作业按时开工。

结点的最迟结束时间计算, 是从终结点开始, 自右向左, 逆箭线方向进行, 直至网络图的始结点。终结点的最迟结束时间, 就是它的最早开始时间(总工期), 即 $LF(n) = \text{总工期}$ 。

若结点只有一条箭尾, 该结点的最迟结束时间等于箭头结点的最迟结束时间减去作业时间; 若结点与多条箭尾相联, 则对每一条箭线都按上述办法计算后, 取其中最小值为该结点的最迟结束时间, 其计算公式为:

$$LF(i) = \min[LF(j) - t(i, j)]$$

$$(i, j = n, n-1, \dots, 1; i < j)$$

式中: $LF(i)$ — 箭尾结点的最迟结束时间;

$LF(j)$ — 箭头结点的最迟结束时间;

各结点最迟结束时间, 经计算后填入图 3 中的三角形内。

3.3.3 确定关键路线

将各结点最迟结束时间减去最早开始时间, 即得各结点的时差。把时差为零的结点连接起来, 就得到关键路线。

3.4 网络图的优化

由图 3 和表 1 可看出, 该工程的关键路线为: ①→②→③→④→⑦→⑧, 总工期为 27 天, 直接费用 47 780 元。至于间接费用, 在考虑了管理费用、办公费用以及电动给水泵组停运给电厂造成的经济损失费用后, 确定为 3 800 元/天。所以原始方案的间接费用为 $27 \times 3\,800 = 102\,600$ 元, 其总费用为 $47\,780 + 102\,600 = 150\,380$ 元。

如前所述, 优化过程中, 缩短工期应从关键路线上费用率最低的作业入手。详细计算如下:

(1) 将 B 作业缩短 1 天, 总工期 26 天, 关键路线 ①→②→③→④→⑦→⑧。

直接费用: $47\,780 + 1 \times 150 = 47\,930$ 元

间接费用: $3\,800 \times 26 = 98\,800$ 元

总费用: $47\,930 + 98\,800 = 146\,730$ 元

(2) 将 J 作业缩短 1 天, 总工期 25 天, 关键路线 ①→②→③→④→⑦→⑧。

直接费用: $47\,930 + 1 \times 310 = 48\,240$ 元

间接费用: $3\,800 \times 25 = 95\,000$ 元

总费用: $48\,240 + 95\,000 = 143\,240$ 元

(3) 将 I 作业缩短 2 天, 总工期 23 天, 关键路线 ①→②→③→④→⑦→⑧。

直接费用: $48\,240 + 2 \times 450 = 49\,140$ 元

间接费用: $3\,800 \times 23 = 87\,400$ 元

总费用: $49\,140 + 87\,400 = 136\,540$ 元

(4) 将 E 作业缩短 2 天, 总工期 21 天, 关键路线 ①→②→③→④→⑦→⑧。

直接费用: $49\,140 + 2 \times 475 = 50\,090$ 元

间接费用: $3\,800 \times 21 = 79\,800$ 元

总费用: $50\,090 + 79\,800 = 129\,890$ 元

(5) 将 G 作业缩短 4 天, 总工期 17 天, 关键路线 ①→②→③→④→⑦→⑧。

直接费用: $50\,090 + 4 \times 4\,260 = 67\,130$ 元

间接费用: $3\,800 \times 17 = 64\,600$ 元

总费用: $67\,130 + 64\,600 = 131\,730$ 元

上述各方案计算汇总如表 2 所示。

表 2 网络图优化过程汇总表

方案	工期/天	直接费用/元	间接费用/元	总费用/元
1	27	47 780	102 600	150 380
2	26	47 930	98 800	146 730
3	25	48 240	95 000	143 240
4	23	49 140	87 400	136 540
5	21	50 090	79 800	129 890
6	17	67 130	64 600	131 730

4 结 论

(1) 由表 2 可知, 优化过程中各方案加上原始方案共 6 种, 综合比较可看出, 第 5 种方案为最优方案, 最优工期为 21 天, 总费用为 129 890 元。最优方案与原始方案相比, 工期缩短 6 天, 总费用减少 20 490 元。图 4 为最优方案所对应的网络图。

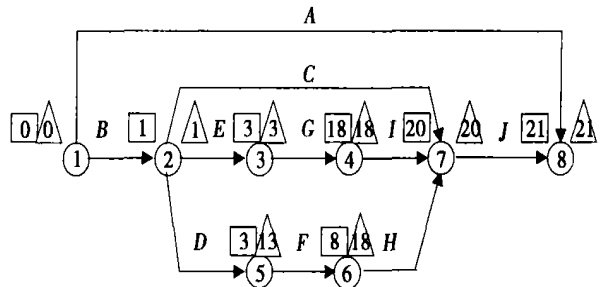


图 4 给水泵组检修优化后的网络图

(2) 本例计算编有通用的计算机程序。计算时, 输入各结点编号、各项作业时间、费用、作业数和

结点数, 计算机就能自动计算各项作业的直接费用率、各节点的最早开始时间和最迟结束时间, 确定关键路线, 并自动从关键路线上费用率最低的作业入手进行优化, 直至确定最优方案。若检修过程中情况发生了变化, 可修改相关的输入数据重新计算, 以确保网络计划始终按最优的方向进行。

(3) 虽然以给水泵检修为例说明网络图的优化问题, 但若是其它设备的检修, 同样可采用此原理进

行计算和优化。特别是电厂汽轮机、锅炉、发电机等大型设备检修时, 网络图优化技术会带来更为显著的经济效益。

参考文献:

[1] 郭丙然. 火电厂计算机分析[M] . 北京: 水利电力出版社, 1991.
 [2] 山西省电力工业局. 汽轮机设备检修[M] . 北京: 中国电力出版社 1997.

(上接第 394 页)

变量, 故此为混合优化问题。由于没有现成的优化算法程序适合该优化问题的求解, 我们用 C 语言编制了适于不同容量锅炉的通用求解程序。物性参数都是温度的单值函数, 根据物性参数的原始数据, 用三次样条差值法拟合出了物性参数和温度间的函数, 即 $h = f(t)$, $\lambda = f(t)$, $\rho = f(t)$, $\gamma = f(t)$, $P_r = f(t)$, 由主函数直接调用就可求出某一温度下的物性参数的具体值。为便于已知变量的输入, 在编程时把它们做成了头文件^[3~4]。程序流程如图 3 所示。

5 计算实例与分析

利用已经建立的优化数学模型和求解程序, 对型号为 WNS4-0.7-YC 的燃油锅炉对流管束进行了优化。选取经济性参数 $K_F = 20\%$, $C_u = 2.0$ 元/kg, $H_y = 2200$ h/a, $C_i = 0.65$ 元/(kWh), $C_A = 200$ 元/m²。计算结果如表 1 所示。

表 1 优化结果

	优化前	优化后
第一对流管束内径 d_{11}/m	0.045	0.045
第一对流管束根数 $n_1/$ 根	80	65
第二对流管束内径 d_{12}/m	0.045	0.045
第二对流管束根数 $n_2/$ 根	48	111
第一对流管束进口烟温 $t_{11}/^{\circ}C$	920	863
第一对流管束出口烟温 $t_{21}/^{\circ}C$	285	256
第二对流管束出口烟温 $t_{31}/^{\circ}C$	215	192
年运行总费用 $J/$ 万元	139.05	136.02

由表 1 可知, 在不改变管子直径情况下, 排烟温度明显降低, 年运行费用节省了 3.03 万元; 排烟温度降低了近 23 °C。通过优化, 降低了排烟温度, 节约了能源, 减少了年运行费用。

6 结 论

(1) 建立的优化数学模型能成功地对燃油烟管蒸汽锅炉进行热力设计优化, 为排烟温度、管子根数和直径的合理选择提供帮助, 避免了反复计算。

(2) 本文编制的优化模型的求解程序实用有效, 使用方便。

(3) 该优化数学模型和求解程序可以指导其他型式的燃油(气)锅炉的热力设计优化。

参考文献:

[1] 赵钦新, 惠世恩. 燃油燃气锅炉[M] . 西安: 西安交通大学出版社, 2000.
 [2] 沈幼庭. 热力系统及设备最优化[M] . 北京: 机械工业出版社, 1985.
 [3] 任开隆, 杨奇峰. 微机实用数值计算——算法程序[M] . 北京: 电子工业出版社, 1996
 [4] 袁 琪. 锅炉热力计算的计算机算法[J] . 工业锅炉, 2002(5): 175-225.

Waigaoqiao Second-stage Engineering Project. The relationship between fin central-point operating temperature and fin width and thickness has been deduced after a theoretical analysis and investigation. On the basis of analyzing the unfavorable consequences of using fins with an excessive width a problem-solving scheme involving the adoption of built-up welded fins was adopted, which can meet both the quality and project time-schedule requirements. **Key words:** boiler, water wall fin.

少油点火与水平浓淡燃烧器相结合在一台 600 MW 机组锅炉上的应用 = **Low Oil Consumption-based Ignition in Combination with a Rich/lean Combustion Burner as Applied on a 600 MW Boiler** [刊, 汉] / JIANG Jia-ren, QIN Ming, WU Shao-hua, et al (College of Energy & Power Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(4). — 424 ~ 426.

In an effort to reduce oil consumption during the startup of a pulverized coal-fired boiler a louver structured horizontal rich/lean combustion-based pulverized-coal burner in combination with a low oil consumption for ignition has been used on a 600 MW boiler. The design and tests in connection with the above scheme are described. As opposed to their traditional location in a lower primary-air port, the small oil guns for ignition are mounted in a secondary-air port in close proximity to the lower primary-air port. By taking advantage of the special features of horizontal rich/lean combustion, the small oil gun flame is made by all means possible to plunge toward the rich-combustion side of pulverized coal-air stream to achieve a complete mixing. Tests indicate the above technique is conducive to a reliable ignition of pulverized coal and stable combustion, attaining a significant oil-savings effect. Moreover, as each small oil gun has been provided with a special flame detector and incorporated into a furnace safeguard supervisory system (FSSS), a safe and reliable operation of the boiler is fully guaranteed. **Key words:** 600 MW boiler, ignition based on a low consumption of oil, small oil gun, louver structured horizontal rich/lean combustion-based pulverized coal burner.

有机酸废水煤浆在工业锅炉上的应用 = **Organic Acid Waste and Coal-water Slurry Used as Fuel in Industrial Boilers** [刊, 汉] / XIE Yong-gang, ZHAO Xiang, SUN Fen-mei, et al (Thermal Energy Engineering Institute under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(4). — 427 ~ 428.

A 20t/h chain grate steam boiler has been retrofitted to operate on organic acid waste and coal-water slurry. Clear and lucid, the coal-water slurry assumes a orange-yellow color. The retrofitted boiler features a reliable and continuous stable operation. The retrofitting makes it possible to both properly dispose the waste liquid and utilize its heating value, achieving a full utilization of energy. **Key words:** coal-water slurry, organic acid waste liquid, boiler retrofit, organic acid waste and coal-water slurry.

网络图优化及在电厂设备检修中的应用 = **Network Chart Optimization and Its Application in the Maintenance and Repair of Power Plant Equipment** [刊, 汉] / WANG Yun-min, LI Lu-ping, HUANG Zhi-jie (Changsha University of Science & Technology, Changsha, China, Post Code: 410076) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(4). — 429 ~ 432.

Network chart optimization is widely used in the maintenance and repair of power plant equipment. However, the issue of how to optimize a prepared network chart remains unsolved. The authors have, by studying the relationship between project completion date and costs, introduced a method for optimizing network chart. Furthermore, with the overhaul of power plant feedwater pumps serving as an example, some explanations are given concerning the specific application of network chart optimization. The results of this application indicate that the optimization method used for the overhaul of power plant equipment proves to be simple, effective and feasible. **Key words:** network chart, equipment maintenance and repair, optimization.