

基于 Matra 位差算法的电站自动化改造模型与进度控制研究

陈松石¹, 范春菊¹, 崔新奇², 邵能灵¹

(1. 上海交通大学电气工程系, 上海 200240; 2. 上海市电力公司超高压输变电公司, 上海 200063)

摘要: 为了对变电站自动化改造的进度进行有效控制, 从变电站自动化改造实际出发, 采用项目过程控制理论, 应用 WBS 分解结构对变电站自动化改造过程进行了逐层分解, 基于 CPM 网络法建立了变电站自动化改造过程的模型, 同时将 Matra 位差算法引入到变电站自动化改造过程的进度控制中。通过在不同情况下对变电站改造过程进行的优化实例表明, 运用 Matra 位差算法可以准确地确定改造过程的关键线路, 从而对变电站自动化改造的工期费用进行控制。

关键词: 变电站自动化改造; Matra 位差算法; CPM 网络法; 关键线路; 进度控制

Modelling and progress control of substation automation retrofit based on Matra potential algorithm

CHEN Song-shi¹, FAN Chun-ju¹, CUI Xin-qi², TAI Neng-ling¹

(1. Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2. EHV Transmission and Transformation Company, Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200063, China)

Abstract: To effectively control the process of substation automation retrofit, work breakdown structure (WBS) is applied to decompose the substation automation retrofit process layer by layer according to the reality of substation automation retrofit and project process control theory. Critical path method (CPM) network method is presented for establishing the model of substation automation retrofit process. Matra potential algorithm is introduced to the progress control of substation automation retrofit process. Through an analysis of two actual examples, it is shown that Matra potential algorithm can accurately determine critical path of the retrofit process and thus control time-cost of the substation automation retrofit.

Key words: substation automation retrofit; Matra potential algorithm; CPM network method; critical path; progress control

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)22-0074-06

0 引言

近年来, 随着国民经济的快速增长, 传统的变电站已经远远不能满足现代电力系统管理模式的需求。因此, 将变电站由常规站改造为综合自动化站已渐渐成为一种趋势^[1]。在变电站自动化改造施工过程中, 施工往往由于种种原因不能按期完工, 但改造工程的如期投产对保证电网的可靠性和安全性意义重大^[2], 可见对变电站自动化改造施工进行进度控制非常重要。

目前国内外关于进度控制的理论与方法在变电站自动化改造过程的应用研究还比较少。在变电站自动化改造施工过程的管理中, 从项目开始一直到结束, 人们侧重研究技术层面的理论和方法, 比如通讯规约、技术改造方案和不同厂家的接口等问题, 而从管理层面的考虑较少。在变电站自动化改造过程的管理中, 能做到对变电站自动化改造项目过程

的进度进行历时估算^[2], 或偶尔应用项目管理方法对变电站一、二次设备的切改工程进行进度管理^[3], 或应用甘特图绘制改造工程进度表^[4], 但是对变电站自动化改造的进度控制的研究较少, 没有一套有效的方法对整个变电站自动化改造过程进行有效的管理。总之, 目前变电站自动化改造施工的进度控制还处于很少应用项目管理理论和方法的阶段。

本文根据变电站自动化改造的实际过程, 应用 WBS 分解结构对改造过程进行了分解, 并建立了改造过程的 CPM 网络模型, 将 Matra 位差算法引入到改造过程关键路线的分析中, 对不考虑费用和考虑费用两种情况下的变电站自动化改造进行了进度控制和优化计算。

1 进度控制相关原理

1.1 工作分解结构 WBS

为了便于项目的管理, 对整个过程实施有效的

控制, 可以将项目过程分解成若干个可控的具体活动。工作分解结构 WBS(Work Breakdown Structure) 是“化繁为简, 化整为零”这一管理思想在项目管理上的具体体现。它将项目划分为可以管理的工作单元, 通过控制这些工作单元的费用和进度, 达到控制整个项目的目的^[5]。图 1 是变电站自动化改造过程的 WBS 整体分解示意图, 从图 1 可以看到, 整个变电站自动化改造过程可以分为四个阶段, 其中每个阶段又可以按照 WBS 分解结构进行进一步的划分。

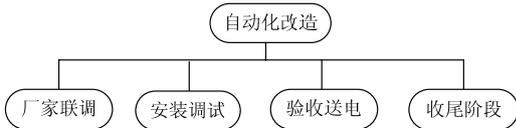


图 1 变电站自动化改造过程的 WBS 分解示意图

Fig.1 WBS decomposing configuration of substation automation retrofit process

1.2 CPM 网络法

CPM 网络法又称“关键线路法”(Critical Path Method, CPM), 是一种网络统筹方法。CPM 网络法分为两大类型: 单代号类型(AON)和双代号类型(AOA)。AON 主要在欧洲流行, 美国、日本和我国多用 AOA^[6]。双代号网络图用箭线表示工作, 节点表示工作间的连接, 一项工作由两个代号代表, 典型的双代号网络图如图 2 所示, 图中 1→2 箭线表示工作 A, 工作名称标注在箭线的上方。每项工作完成所需的时间标注在箭线的下方, 如 A 工作的历时为 D_1 。

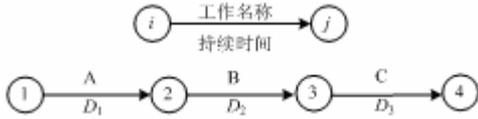


图 2 典型的双代号网络图

Fig.2 Typical activity-on-arrow network diagram

CPM 网络法的使用原理是在众多工作中找出关键工作, 组成一条或多条关键线路, 在施工中优先保障这些关键工作的实现, 通过压缩关键线路的时间缩短整个工程的工期^[7]。

1.3 Matra 位差算法^[8]

Matra 位差算法是通过计算 CPM 网络图中各项工作的时间参数从而确定工程关键线路的网络计划技术。每项工作的时间参数包括持续时间 D , 最早开始时间 ES , 最早结束时间 EF , 最迟开始时间 LS , 最迟结束时间 LF , 总时差 TF 。

1.3.1 工作最早时间 ES 和 EF

计算工作最早时间应以开始节点发出的工作为

基础进行计算, 从网络开始节点发出的工作的最早开始时间规定为零, 如图 3 所示, 假设 1 为开始节点号, 即:

$$ES_{1j} = 0 \quad (1)$$

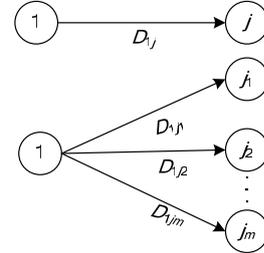


图 3 开始节点最早时间参数示意图

Fig.3 Configuration of start node's earliest time parameter

每项工作的最早完成时间则为:

$$EF_{1j} = ES_{1j} + D_{1j} \quad (j = j_1, j_2, \dots, j_m) \quad (2)$$

式中, D_{1j} 是工作 $1 \rightarrow j$ 的持续时间。

若工作 $i \rightarrow j$ 有多项紧前工作 $h \rightarrow i$ ($h = h_1, h_2, \dots, h_m$), 如图 4 所示。

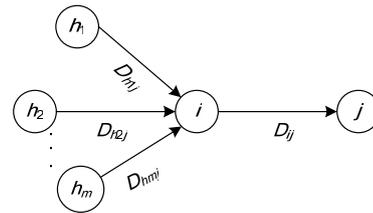


图 4 工作 $i \rightarrow j$ 最早时间参数示意图

Fig.4 Configuration of work $i \rightarrow j$'s earliest time parameter

工作 $i \rightarrow j$ 的最早开始时间 ES_{ij} 等于其各项紧前工作的最早完成时间的最大值, 即:

$$ES_{ij} = \max \{ES_{hi} + D_{hi}\} \quad (3)$$

工作 $i \rightarrow j$ 的最早完成时间等于该工作最早开始时间与其持续时间之和, 即:

$$EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij} \quad (4)$$

计算工期 PD 为各项工作最早完成时间的最大值, 即:

$$PD = \max \{ES_{iN} + D_{iN}\} \quad (5)$$

式中, N 为网络图中最终的节点号。

1.3.2 工作最迟时间 LS 和 LF

计算任一工作的最迟时间必须以与终节点连接的工作为基础, 逆箭头方向进行推算。与终节点相连接的工作其最迟完成时间规定为计算工期, 假设 N 为终节点号, 即:

$$LF_{iN} = PD \quad (6)$$

与终节点 N 相连接的各项工作的最迟开始时间为:

$$LS_{iN} = LF_{iN} - D_{iN} \quad (7)$$

如图 5 所示, 工作 $i \rightarrow j$ 的最迟完成时间等于各紧后工作中最迟开始时间的最小值, 即:

$$LF_{ij} = \min\{LS_{ik}\} = \min\{LF_{jk} - D_{jk}\} \quad (8)$$

工作 $i \rightarrow j$ 的最迟开始时间等于该工作最迟完成时间与其持续时间之差, 即:

$$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij}, \quad (i < j) \quad (9)$$

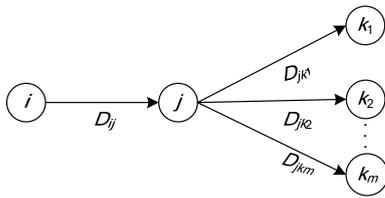


图 5 工作 $i \rightarrow j$ 最迟时间参数示意图

Fig.5 Configuration of work $i \rightarrow j$'s latest time parameter

1.3.3 工作总时差 TF

工作总时差是该工作最迟时间和工作最早时间的差值, 即:

$$TF_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij} \quad (10)$$

或
$$TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij} \quad (11)$$

1.3.4 关键线路的确定

网络计划时间参数计算的目的是求出 CPM 网络图中的关键工作和关键线路。当双代号网络计划的时间参数计算完成后, 将 $TF=0$ 的工作连接起来, 即为关键线路。关键线路一般在图上用粗箭线表示。大型工程的网络计划, 关键线路可有多条。

2 改造过程模型的建立

按照 WBS 工作分解结构, 根据变电站自动化改造的实际过程, 对图 1 的改造过程做进一步分解, 厂家联调部分各工作符号表如表 1 所示, CPM 施工网络图如图 6 所示。

在图 6 中, 虚箭线表示虚工作, 在双代号网络图中, 为了正确反映工作间的逻辑关系, 有时需要引入虚箭线或称虚工作, 使相关的工作联系起来, 使不相关的工作不发生联系。虚箭线不具有任何实际工作的意义, 并且不具有时间值, 它只反映工作间的逻辑连接, 它是为了正确反映工作间的逻辑关系需要人为加上的^[7]。

安装调试部分各工作符号表如表 2 所示, CPM 施工网络图如图 7 所示。

表 1 厂家联调部分工作符号表

Tab.1 Work symbol table of manufacturer joint debugging

工作名称	符号	工作内容	紧前工作
1→2	A	新设备是否到位	无
2→3	B	落实资金状况	A
2→4	C	后勤保障	A
4→3	K	虚作业	C
3→5	D	确立联调时间	B、C
5→8	E	通知厂家按时到达	D
5→6	F	拆箱检查设备	D
6→9	G	调试未通信的设备	F
7→9	H	调试其他设备	F
6→8	I	通知厂家解决问题	F、E
8→9	J	确定能否开始安装	E、I

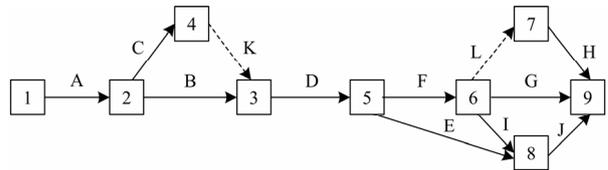


图 6 厂家联调部分 CPM 施工网络图

Fig.6 CPM construction network diagram of manufacturer joint debugging

表 2 安装调试部分工作符号表

Tab.2 Work symbol table of installing and debugging

工作名称	符号	工作内容	紧前工作
9→10	K	联调到安装	无
10→11	L	安装前准备	K
10→12	M	打开电缆通道	K
12→11	N	虚作业	M
11→15	O	敷设电缆	N、L
11→13	P	拆除旧设备	N、L
13→14	Q	安装新设备	P
15→14	R	接线	O
14→16	S	调试	R、Q
14→17	T	验收	R、Q
17→16	U	虚作业	T

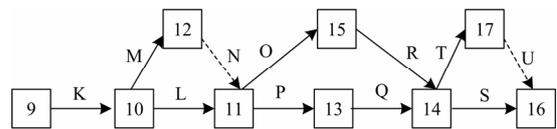


图 7 安装调试部分 CPM 施工网络图

Fig.7 CPM construction network diagram of installing and debugging

验收、收尾部分工作符号表如表 3 所示, 变电站自动化改造整个过程的 CPM 施工网络图如图 8 所示。

表 3 验收、收尾部分工作符号表

Tab.3 Work symbol table of acceptance checking and ending

工作名称	符号	工作内容	紧前工作
16→18	V	验收送电	S、U
18→19	W	收尾	V

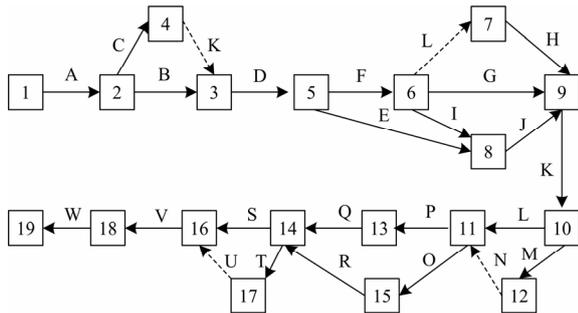


图 8 变电站自动化改造 CPM 施工网络图

Fig.8 CPM construction network diagram of substation automation retrofit

了关键线路的 CPM 施工网络图如图 10 所示。

表 4 改造过程各项工作的时间参数表

Tab.4 Time parameter table of work in retrofit process

工作	ES	EF	LS	LF	TF
1→2*	0	13	0	13	0
2→3*	13	28	13	28	0
3→5*	28	38	28	38	0
5→6*	38	46	38	46	0
6→9*	46	61	46	61	0
6→8*	46	49	46	49	0
8→9*	49	61	49	61	0
9→10*	61	63	61	63	0
10→11*	63	78	63	78	0
11→15*	78	163	78	163	0
15→14*	163	233	163	233	0
14→16*	233	283	233	283	0
16→18*	283	286	283	289	0
18→19*	286	291	286	291	0

3 改造过程关键线路的确定

按照工作时间估算方法^[4], 对上海市 220 kV 港口变电站自动化改造进行历时估算, 带有工作历时的 CPM 施工网络图如图 9 所示, 其中箭头上方是工作名称, 箭头下方是完成工作所需要的时间, 单位是天, 其中虚工作的时间为零。

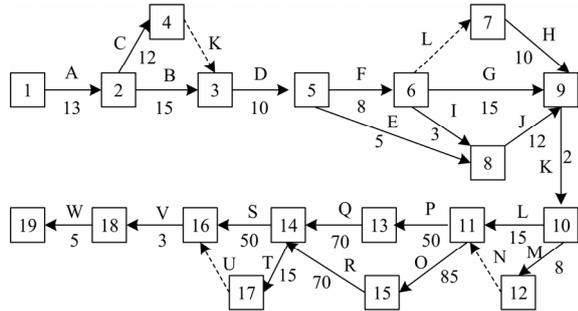


图 9 带工作历时的变电站自动化改造 CPM 施工网络图

Fig.9 CPM construction network diagram of substation automation retrofit with time duration

根据 Matra 位差算法计算图 9 中改造施工网络图各项工作的时间参数, 其中关键工作的时间参数计算结果如表 4 所示。

表中标有“*”的工作为关键工作, 表内的时间参数单位是天。计算工期 PD 为各项工作最早完成时间的最大值, $PD = \max\{EF_{iN}\} = 291$ 天。

用加粗的箭头表示网络图中的关键线路, 确定

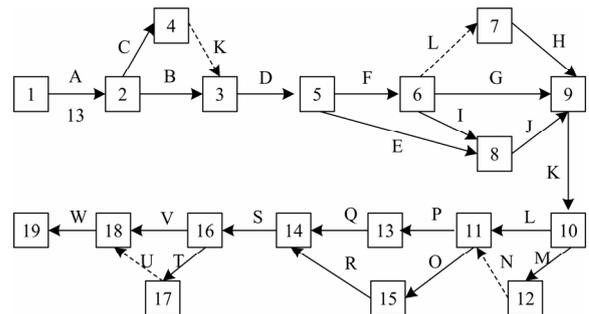


图 10 确定关键线路后的变电站自动化改造 CPM 施工网络图

Fig.10 CPM construction network diagram of substation automation retrofit with critical path

4 改造过程的进度控制

找出变电站自动化改造施工网络图的关键线路后, 就得到了改造过程的计算工期。当改造过程的计算工期超过了规定的(合同的)工期或者虽然符合要求但有优化的需求时, 就需要进行改造过程的进度控制, 以满足规定工期的要求。

在进行变电站改造过程进度控制时, 可以分为两类, 一类是不考虑费用而直接进行工期进度的压缩控制, 另一类就是在考虑费用经济性的条件下进行的工期进度优化, 下面就根据改造过程的实际对两种情况分别进行较为详细的分析。

4.1 不考虑费用情况下的进度控制

在不考虑费用情况下直接进行的工期进度的压

缩控制，主要是向关键线路要时间，就是必须缩短关键线路的持续时间。以表 4 为例，220 kV 港口站改造过程的计算工期 PD 为 291 天，如果规定工期为 275 天，则根据变电站改造的现场实际，需要对工作 5→6、6→9、6→8、7→9、8→9 进行工期压缩，进行压缩前的关键线路图如图 11 所示。

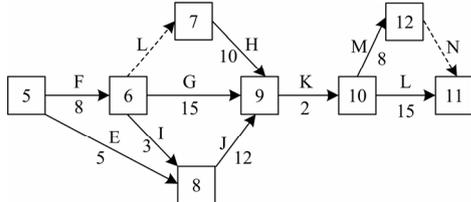


图 11 进行压缩前的关键线路图

Fig.11 Critical path diagram before compressing

将计算工期与指令工期进行比较，求得需要缩短的时间为 16 天。由于关键线路中线路 6→9 和 6→8→9 并列，因此若对其进行工期压缩时，应两条线路同时进行压缩，可以将工作 6→9 和 8→9 压缩 6 天，将工作 10→11 压缩 10 天，原关键线路的计算工期减少到 275 天，但此时出现了新的关键线路，如图 12 所示。

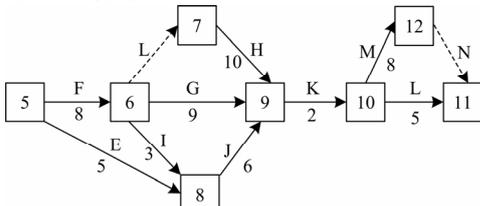


图 12 进行首次压缩后新的关键线路图

Fig.12 New critical path diagram after first compressing

进行首次压缩后新的关键路线计算工期 $PD = \max\{EF_{iN}\} = 279$ 天，比规定工期仍多 4 天，新的计算工期不符合规定工期的要求，按上述步骤再次压缩关键线路。将工作 7→9 压缩 1 天，将工作 10→12 压缩 3 天，此时改造过程的关键线路图如图 13 所示。

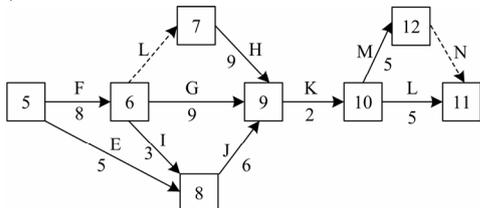


图 13 进行第二次压缩后新的关键线路图

Fig.13 New critical path diagram after second compressing

进行第二次压缩后新的关键路线计算工期 $PD = \max\{EF_{iN}\} = 275$ 天，经过两次压缩，符合规定工期的要求，工期压缩结束。

在 220 kV 港口站改造施工中，采用了上述方法

进行改造的进度控制，使得实际工期比计算工期减少了 16 天，确保了改造工程的如期投产。

4.2 在考虑费用情况下的进度控制

在考虑费用情况下改造项目施工的进度与改造的费用有极其密切的关系。若加快速度，则可缩短工期，但费用将提高；若放慢进度，则工期将延长，费用也将提高。改造工程时间—费用优化，就是通过对改造工程的各项工作的持续时间进行压缩，得出改造工程的总成本，通过比较各种压缩方法的成本，求出最低成本的最优工期。按照工作时间估算方法^[4]，对上海市 220 kV 威武变电站自动化改造进行历时估算，需要对如图 14 所示的 CPM 施工子网络图进行优化控制。图中箭头上方是该项工作的费用率，即工作持续时间每缩短一个时间单位，所增加的费用^[9]。

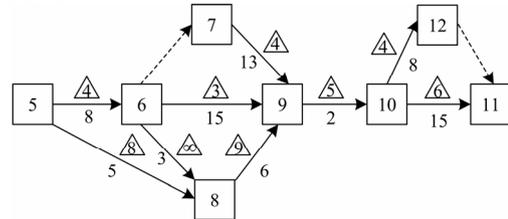


图 14 进行优化前的关键线路图

Fig.14 Critical path diagram before optimizing

改造各项工作在两种工作方式下的数据如表 5 所示，其中时间单位是天，费用单位是万元。表中的 ∞ 表示作业不能再缩短时间，因此其费用变化率为 ∞。对如图 14 所示的子网络图进行进度控制优化前的费用为 582 万元，原计划工期为 40 天，需要将工期压缩为 35 天。

表 5 改造各项工作两种工作方式下的有关数据

Tab.5 Related data of retrofit work under two operation modes

工序	正常方式		加快方式		费用变化率 (万元/天)
	时间	费用	时间	费用	
5→6	8	120	6	128	4
5→8	5	270	3	286	8
6→8	3	25	3	25	∞
6→9	15	100	14	103	3
7→9	13	98	12	102	4
8→9	6	70	3	97	9
9→10	2	50	1	55	5
10→11	15	88	14	94	6
10→12	8	90	7	94	4

为了降低整个改造施工的费用，在进行工期的优化时，首先应该选择费用变化率较低的工作作为压缩的对象^[10]，由于工序 6→9 是关键工作，并且

费用变化率最小,因此首先选择工序 6→9 作为压缩对象,根据表 5,该工序最多只能压缩 1 天,优化后工期变为 39 天,总费用为 $582+3\times 1=585$ 万元,施工的关键路线未变,第一次优化后的关键线路图如图 15 所示。

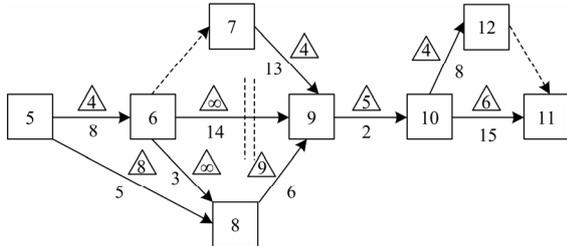


图 15 第一次优化后的关键线路图

Fig.15 Critical path diagram after first optimizing

此时关键线路中工序 5→6 的费用变化率较低,根据表 5,该工序最多只能压缩 2 天,优化后工期变为 37 天,总费用为 $585+4\times 2=593$ 万元,施工的关键路线未变,第二次优化后的关键线路图如图 16 所示。

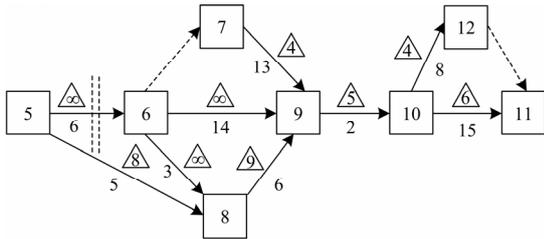


图 16 第二次优化后的关键线路图

Fig.16 Critical path diagram after second optimizing

虽然此时工序 7→9、10→12 的费用变化率较小,但这两个工序并非关键工作,因此对这两个工序的工期进行压缩是无效的,压缩它们会造成等工现象,因此此时选择工序 9→10 压缩,根据表 5,该工序最多只能压缩 1 天,优化后工期变为 36 天,总费用为 $593+5\times 1=598$ 万元,施工的关键路线未变,第三次优化后的关键线路图如图 17 所示。

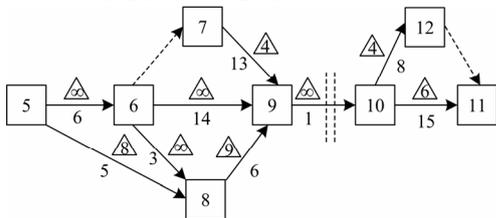


图 17 第三次优化后的关键线路图

Fig.17 Critical path diagram after third optimizing

此时选择工序 10→11 压缩,根据表 5,该工序最多只能压缩 1 天,优化后工期变为 35 天,总费用为 $598+6\times 1=604$ 万元,施工的关键路线未变,第

四次优化后的施工网络图如图 18 所示,至此改造过程的工期优化控制完成。

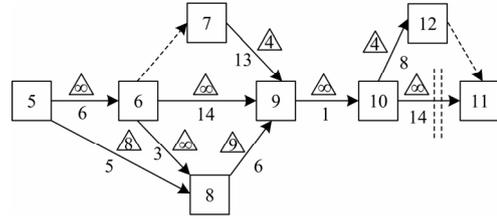


图 18 第四次优化后的关键线路图

Fig.18 Critical path diagram after fourth optimizing

在 220 kV 港口站改造后,上海市又对 220 kV 威武站进行了改造施工,施工中不仅考虑了工期优化的需要,也综合考虑了施工的费用成本,采用上述方法可以在确保工程工期和降低工程成本之间达到平衡,也达到了工期成本的双优化。

5 结语

本文提出将 Matra 位差算法应用与变电站自动化改造的进度控制,该算法以双代号网络图为基础,通过计算网络图中各工作的时间参数,从而确定关键线路。通过对不考虑费用和考虑费用两种情况下的改造进度控制的优化计算可以看到,运用 Matra 位差算法可以准确地确定改造过程的关键线路,从而对变电站自动化改造的工期费用进行优化控制。

参考文献

- [1] 陈翠云,孙俊,金利涛. 常规变电站综合自动化改造中的问题[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2007, 4: 31-33.
CHEN Cui-yun, SUN Jun, JIN Li-tao. Problems in transforming normal power substation into automatization[J]. Journal of Hebei Engineering and Technical College, 2007, 4: 31-33.
- [2] 高红. 变电站综合自动化改造项目过程管理与研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2007.
GAO Hong. Process management and research of the substation integrated automation transformation project[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2007.
- [3] 白鹤举. 工期的集成管理在丰泉 500 kV 变电站系统切换工程中的应用[J]. 华北电力技术, 2007, 6: 34-37.
BAI He-ju. Application of integrated management of project progress schedule in system switching of Fengquan 500 kV substation[J]. North China Electric Power, 2007, 6: 34-37.
- [4] 夏成钢. 项目进度管理在深圳输变电工程中的应用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2007.

(下转第 114 页 continued on page 114)

[6] 谈苏伟, 梁寿愚, 陈宁, 等. 中国南方电网 EMS 前置子系统的工程应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (17): 95-99.
TAN Su-wei, LIANG Shou-yu, CHEN Ning, et al. Engineering application of front-end subsystem in energy management system for China southern power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (17): 95-99.

[7] 谈苏伟, 陈谦昌, 刘国定. 广东省能量管理系统前置机特色[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (10): 53-55.
TAN Su-wei, CHEN Qian-chang, LIU Guo-ding. The characteristic of front-end computer system in EMS for Guangdong provincial dispatching center[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (10): 53-55.

[8] 谈苏伟. 电网调度自动化前置子系统实时数据库的设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2009, 29 (7): 130-133.
TAN Su-wei. Design and implementation of front-end subsystem real-time database for power dispatching automation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29 (7): 130-133.

[9] 辛耀中. 电力系统数据通信协议体系[J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (1): 40-44.
XIN Yao-zhong. Data communication protocol series for power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (1): 40-44.

[10] 谈苏伟, 赵大方, 葛云鹏, 等. 一种按名通信数据接口方案的实现[J]. 江苏电机工程, 2008, 27(6): 59-62.
TAN Su-wei, ZHAO Da-fang, GE Yun-peng, et al.

Realization of the data communication interface plan by object name[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2008, 27 (6): 59-62.

[11] 谈苏伟, 赵云峰, 姜小忠, 等. TASE.2 网络名自动生成和映射的实现[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (增刊): 82-86.
TAN Su-wei, ZHAO Yun-feng, JIANG Xiao-zhong, et al. Automatic generation and mapping of TASE.2 network name[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (S): 82-86.

[12] 谭文恕. 远动的无缝通信系统体系结构[J]. 电网技术, 2001, 25 (8): 7-10.
TAN Wen-shu. Seamless telecontrol communication architecture[J]. Power System Technology, 2001, 25(8): 7-10.

[13] 胡靓, 王倩. 基于 IEC61850 与 IEC61970 的无缝通信体系的研究[J]. 电力系统通信, 2007, 28(182): 15-20.
HU Liang, WANG Qian. Research on seamless communication system based on IEC 61850 and 61970[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2007, 28 (182): 15-20.

收稿日期: 2009-11-11; 修回日期: 2009-12-17

作者简介:

谈苏伟 (1958-), 男, 研究员级高级工程师, 工学硕士, 主要从事电网调度自动化系统研究和开发工作. E-mail: tansuwei@sgepri.sgcc.com.cn

(上接第 79 页 continued from page 79)

XIA Cheng-gang. The application and research of project progress management in construction schedule of Shenzhen electrical power transmission and substation projects[D]. Nanning: Guangxi University, 2007.

[5] Project Management Institute Standards Committee. A guild to the project management body of knowledge[M]. New York: Project Management Institute, 2000.

[6] 王瑞良. 建设项目进度控制[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
WANG Rui-liang. Progress control of construction project[M]. Beijing: China Water Power Press, 1999.

[7] 齐东海, 宋向群. 工程项目进度管理[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2001.
QI Dong-hai, SONG Xiang-qun. Progress management of project[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2001.

[8] 朱永芳. 现代施工组织设计与现代施工管理[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1998.
ZHU Yong-fang. Modern construction management plan and modern construction management[M]. Shanghai:

Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, 1998.

[9] 徐玉凤. 项目进度管理[M]. 北京: 对外经济贸易大学出版社, 2006.
XU Yu-feng. Progress management of project[M]. Beijing: University of International Business and Economics Press, 2006.

[10] 朱宏亮. 项目进度管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
ZHU Hong-liang. Progress management of project[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.

收稿日期: 2009-11-14; 修回日期: 2010-06-03

作者简介:

陈松石 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护及综合自动化; E-mail: husjtu2008@sina.com
范春菊 (1967-), 女, 博士, 副教授, 长期从事人工智能在继电保护及综合自动化中应用的研究及教学工作;
崔新奇 (1974-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事变电站的运行与管理工作的运行与管理工作的。