

# 工期约束下的电网工程建设项目 计划制定与控制研究

李阿勇

(北京科技大学东凌经济管理学院,北京 100083)

**[摘要]** 针对电网工程建设项目计划制定和控制问题,讨论了在工期有限制条件下,力求资源均衡地消耗问题.在传统资源均衡优化方法的基础上,提出了合理使用细菌觅食算法解决资源均衡优化问题的方法,并设计了相应的算法过程.实例模拟计算表明,利用细菌觅食算法可求得均衡性更优化的施工过程.

**[关键词]** 项目需求计划,电网工程项目,细菌觅食算法

**[中图分类号]**F224 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1672-1292(2016)01-0089-04

## Research on Planning and Control of Power Grid Project Construction Project Under the Constraint of Time Limit

Li Ayong

(Donlinks School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** For power grid construction project plan formulation and control problem, the paper discusses the in-time limit for a project with constraints, and strives to resources balanced consumption problem. On the basis of the traditional resource leveling optimization method, the paper puts forward the reasonable using bacterial foraging algorithm solving the resource balance optimization problems, and designs the corresponding algorithm process, and examples of simulation calculation show that bacterial foraging algorithm can be used to calculate the equilibrium optimization construction process.

**Key words:** project demand plan, power grid project, BFOA

欧美等发达国家在资源优化技术上一直处于领先.在资源优化管理技术上,1957年美国首先建立了生产与库存控制协会(APICS),传播生产与库存控制原理与信息的信息,并提出了物料需求计划(MRP)<sup>[1]</sup>.其后在MRP基础上提出并发展了制造资源计划(MRPII)<sup>[2]</sup>,从全局的角度出发,把企业各种资源与产、供、销、财各个环节实行合理有效的计划、组织、控制和调整,连续均衡地进行生产,最大限度降低各种物料的库存.在项目物流管理中可借鉴这一理论.20世纪70年代开始,一些发达国家以上述的概念原理为指导,结合计算机技术、管理科学、运筹学等学科理论,逐渐形成了系统的资源管理理论,研究方向包括资源限制进度计划安排和工期—资源同步优化两个方面.

工期和资源的限制是进度计划安排的主要矛盾,如何在合同工期和资源限制条件下科学安排进度计划,是工程项目管理的最根本目标,也是项目管理人员经常面临的问题<sup>[3]</sup>.现已提出的解决该类问题的方法很多,有整数规划、分枝定界等解析法,也有以ACTIM方法为代表的启发式方法<sup>[4-6]</sup>.

制定施工进度计划是施工组织设计工作的重要组成部分,是施工现场活动中的时空表现.编制施工进度计划是根据施工中的施工方案和工程开展程序安排工地上的所有工程项目的时空.Clough和Sears对制定施工进度计划进行了定义<sup>[7]</sup>:“为了完成既定目标而制定的可操作的付诸实践的行动方案”.通过施工进度计划可以确定各个施工项目主要工程的工种,可以明确准备工作和工程的施工期限及开竣工日期,从而确定施工现场所需要的劳动力、材料和施工机具等的数量和调度,并可以确定现场临时设施的数

量、水电供应数量等。因此,施工进度计划的编制以及准确性对于工程建设项目是否能按期交付、能否充分发挥其投资效益,具有重要的作用。正确的施工进度技术是降低工程成本的保证。

## 1 基于细菌觅食算法的施工资源优化方法

项目计划安排通常是以工期最短为目标而进行,但某些时候由于工程资源限制以及施工强度均衡考虑,项目计划安排还应在既定施工期限内达到资源均衡化。由于资源均衡本身概念较为抽象,因此需给出描述资源均衡的指标。通常而言,评判资源均衡情况其实质就是评判资源偏离程度,统计上对于偏离程度的度量指标通常包括方差、离差、极差等概念,因此对于资源均衡程度的度量也用这些指标来描述,具体指标定义及涵义如下:

(1)不均衡系数:

$$V = R_{\max} / R_m, \quad (1)$$

式中,  $R_{\max}$  表示施工工期内资源强度的最大值;  $R_m$  表示施工工期内资源强度的平均值。

(2)方差:

$$\sigma^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [R(t) - R_m]^2 dt, \quad (2)$$

式中,  $T$  为施工工期;  $R(t)$  为时刻  $t$  的资源强度值。

(3)最大绝对离差:

$$\Delta R = \max\{R(t) - R_m\}, \quad (3)$$

式中,  $R(t)$  为时刻  $t$  的资源强度值。

(4)极差值:

$$\Delta R_{mm} = R_{\max} - R_{\min}, \quad (4)$$

式中,  $R_{\max}$  为资源强度的最大值,  $R_{\min}$  为资源强度的最小值。

在得到均衡程度的度量指标后即可对项目计划资源均衡情况进行评判,对于均衡情况较差的项目计划,需要对其进行调整。传统的调整方法主要有最小方差法和削峰填谷法。这两种方法是传统的手工操作方法,使用起来较为简便,只需结合具体计算出的均衡指标手动对项目计划资源情况进行调整,因此在资源不均衡程度较低时使用具有较好的效果。但当资源均衡程度较差,其资源量和工程涉及过程较多时,这两种方法有许多不足。这两种方法虽然在很多情况下可求得可靠的可行解,但是由于方法过度依赖需解决问题的本身,当问题规模较大或导致资源强度发生变化的随机因素较多时,极易导致求得局部最优解。为解决这两种传统算法对于电网工程建设项目计划资源均衡优化的过度依赖性,本文利用启发式算法进行求解。细菌觅食算法由于其良好的群搜索能力及并行计算能力,在处理这类带有约束条件的优化问题时具有非常好的处理效果。

Passino 通过模拟大肠杆菌觅食过程提出了细菌觅食优化算法(Bacteria Foraging Optimization Algorithm, BFOA)。细菌觅食算法所遵循的生物学原理是模拟人类消化系统内大肠杆菌或粘细菌在觅食过程中,一边感应自身周围的化学物质浓度一边做出远离或趋向于该种物质的智能行为,遵循了最优觅食理论。Berg 等人对细菌觅食算法的收敛性进行了证明,给出了细菌觅食算法的理论基础。细菌觅食算法是一种基于群体的搜索技术,其最大的特点就是有较强的全局搜索能力以及对约束条件的灵活处理方式,故 BFO 搜索性能优于遗传算法。目前,BFOA 算法因具有群体并行、易跳出局部极小等优点,正在成为仿生算法研究领域的又一热点。

考虑到最小方差法和削峰填谷法所使用的均衡指标的单一性,本文在引入细菌觅食算法求解项目计划资源强度均衡问题时,同时考虑 4 种均衡性指标:不均衡系数、方差、最大绝对离差和极差。均衡的目标是使得这四种指标达到最优,但同时要考虑项目计划对于实施时间及总资源强度的要求。另外,对于资源均衡优化来说,目前的优化模型只是从资源强度自身出发,而在实际管理过程中,使用资源日历来协助项目管理人员分配资源,资源平衡应以整理工程资源本身为基础进行事前平衡,即配置资源时就向着资源平衡的目标努力,只有这样才能从根本上解决资源平衡的问题。

建立优化模型如下:

$$\min F = V + \sigma^2 + \Delta R + \Delta R_{mm}, \quad (5)$$

$$\min Q_{\max}/Q_m, \tag{6}$$

$$\text{s.t. } R(t) = \sum_{i=1}^N R_i(t), \tag{7}$$

$$R_i(t) = \begin{cases} R_i & T_s(i) \leq t \leq T_s(i) + T(i) \\ 0 & t < T_s(i) \text{ 或 } t > T_s(i) + T(i) \end{cases}, \tag{8}$$

$$\max \{T_s(i) + T(i)\} \leq T_s(j), \tag{9}$$

$$T_e(i) \leq T_s(i) \leq T_l(i), \tag{10}$$

$$Q_m = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T Q_t, \tag{11}$$

$$t_i - t_j \geq d_j \quad \forall j \in S_i, \tag{12}$$

$$\sum_{i \in A_k} r_{ik} \leq b \quad k = 1, 2, \dots, m, \tag{13}$$

$$t_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n. \tag{14}$$

式中,  $n$  为工序的数量;  $T$  为优化后的工程施工工期;  $Q_m$  为资源每天平均需用量;  $T(i)$  为  $i$  工序的持续时间;  $N$  为工序的总数;  $S_i$  为工序  $i$  的紧前工序集合;  $m$  为不同资源类型的数量;  $j$  为  $i$  工序的紧后工序;  $A_i$  为  $t_i$  时刻进行的工序集合;  $b_k$  为资源  $k$  的总量;  $r_{ik}$  为工序  $i$  需要资源  $k$  的数量;  $R(t)$  为  $t$  时刻的项目计划资源强度值;  $Q_t$  为第  $t$  天的资源需用量;  $Q_{\max}$  为最高峰日期的每天资源总需用量;  $R_i(t)$  为  $i$  工序  $t$  时刻的资源强度值;  $R_m$  为工程的平均资源强度值;  $d_j$  为工序  $j$  的持续时间;  $t_i$  为工序  $i$  的开始时间;  $T_s(i)$  为  $i$  工序实际开工时间;  $T_l(i)$  为  $i$  工序的最迟开工时间;  $T_e(i)$  为  $i$  工序的最早可能开工时间。

结合细菌觅食算法计算过程如下:

(1) 编码方式

本文采用顺序编码方式对模型进行编码。具体编码方式为:假设项目的资源强度为  $q_i$ , 则初始设计方案编码方案为  $q_1, q_2, \dots, q_n$ , 这些编码具体取值代表了资源强度值, 每组编码方案代表单个细菌, 单个细菌的长度为  $t$ 。单个细菌记为:  $\theta^i = [\theta_1^i, \theta_2^i, \dots, \theta_n^i]$ 。

(2) 适应度函数确定

$f(v_k)$  是目标值,  $f_{\max}$  和  $f_{\min}$  分别为当前种群的最大目标值和最小目标值,  $v_k$  为当前种群的第  $k$  个细菌个体,  $g(v_k)$  为适应值函数。则转换方法如下:

$$g(v_k) = \frac{f_{\max} - f(v_k) + \varepsilon}{f_{\max} - f_{\min} + \varepsilon}. \tag{15}$$

## 2 实例分析

某 110 kV 变电站项目计划施工周期为 26 个月, 初始的工期内资源强度分布情况如表 1 所示。

表 1 初始施工强度表

Table 1 Initial construction intensity table

工期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
资源强度(万人)	1.0	1.0	1.2	0.8	2.0	1.9	2.8	5.8	3.0	4.0	2.8	2.0	5.1	3.1	1.9	1.0	2.2	2.8	3.0	1.5	1.3	1.2	1.8	2.0	2.5	1.9

对于混合细菌觅食优化过程采用 Matlab R2013a 编程, 细菌觅食算法参数设置分别为: 种群设置为 100, 趋向性参数为 60, 复制次数为 10, 迁徙次数为 20 次, 游动参数为 0.5, 迁徙概率为 0.15, 总迭代次数约为 5 500 次。采用混合细菌觅食优化算法计算结果如表 2 所示。

表 2 混合细菌觅食法优化后施工强度表

Table 2 The construction intensity of mixed bacteria foraging optimization

工期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
资源强度(万人)	0.9	1.1	1.2	1.0	2.3	2.4	2.0	3.8	2.5	3.5	3.0	2.1	2.6	3.1	2.6	2.0	2.5	2.5	2.3	3.8	1.5	2.3	2.3	2.1	2.5	2.3

最大资源强度及方差对比如表3所示.通过比较可以看出,基于改进的细菌觅食算法得出的施工系统仿真资源均衡优化结果,比通过传统方法(最小方差法和削峰填谷法)所得到的优化结果,更接近最优解.

表3 不同方案下的优化目标比较

Table 3 Comparison of optimization objectives under different scenarios

方案	初始进度计划	最小方差优化	削峰填谷优化	改进细菌觅食优化
最大资源强度(万人/月)	5.8	5.1	4.8	3.8
资源强度方差	38.81	29.51	22.78	16.09

### 3 结论

对项目开发过程而言,物料需求决定了采购过程的实施,而项目进度计划是物料需求计划制定的基础,项目进度计划制定的是否有效以及项目计划是否能够有效实施是电网建设工程项目现场物流管理理论框架中的关键问题之一.针对电网建设工程项目计划制定和控制问题,本文讨论了在有资源限制情况,为求完成计划的最短工期和在工期有限制的条件下,力求资源均衡地消耗问题.本文在传统资源均衡优化方法的基础上,提出了合理使用细菌觅食算法解决资源均衡优化问题的方法,并设计了相应的算法过程.实例模拟计算表明,利用细菌觅食算法可求得均衡性更优化的施工过程.

#### [参考文献](References)

- [1] ANDERSEN H B, GARDE H, ANDERSEN V. MMS: an electronic message management system for emergency response[J]. IEEE transactions on engineering management, 1998, 45(2): 132-140.
- [2] MENG X, SUN M, JONES M. Maturity model for supply chain relationships in construction[J]. Journal of management in engineering, 2011, 27(2): 97-105.
- [3] 刘颖. 大物流工程项目类制造系统及其资源优化配置技术的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2001.  
LIU Y. Research on the manufacturing system of large logistics engineering project and its resource optimization[D]. Chongqing: Chongqing University, 2001. (in Chinese)
- [4] FREELAND J R, MOORE J H. Implications of resource directive allocation models for organizational design[J]. Management science, 1977, 23(10): 1 050-1 059.
- [5] LEU S, CHEN A, YANG C. A GA-based fuzzy optimal model for construction time-cost trade-off[J]. International journal of project management, 2001, 19(1): 47-58.
- [6] LEU Y, RAKES T R, REES L P, et al. Modelling resource allocation in a decentralized organization with an AI-based, goal-directive model[J]. Decision sciences, 1992, 23(5): 1 027-1 049.
- [7] SEARS C. 建筑项目管理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.  
SEARS C. Architecture project administration[M]. Beijing: China Machine Press, 2004. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]