

核电站建设项目进度模糊遗传优化控制研究

付孝泉, 邹树梁^①

(南华大学 核能经济管理与研究中心, 湖南 衡阳 421001)

[摘要] 文章针对核电建设项目进度控制的不确定性特点,运用模糊规划理论构建了核电进度计划的模糊目标及模糊约束的模糊集成模型,然后应用遗传算法解决了进度计划动态优化调整问题,并以某核电站建设进度计划为例,较好的实现了工期、成本的协调优化,创造了较好的经济价值,为核电站项目管理提供了应用前景。

[关键词] 核电项目; 模糊规划; 遗传算法; 进度控制。

[中图分类号] TM 623 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2010)05-0010-04

核电工程进度管理体系一般分为五级或六级,逐级渐进明细,分别对设计、采购、施工、安装、调试等各环节的进度进行编排和管理。其中,设计进度管理体系通常分为设计二级进度、设计三级进度和文件出版清单(ED)计划。在整个核电工程进度管理体系中与设计进度密切相关的有一级里程碑进度、二级建造进度及二级采购进度,一级里程碑进度是业主关键里程碑,定义了主要厂房从安全分析报告、环评报告-土建施工-机电安装-调试-投入商业运行等一系列关键节点,这些关键节点在整个建设期内一般不能调整,否则将产生严重的合同后果。二级里程碑是在一级进度的指导下对建造、采购、设计进行的详细实施控制点,分为建造二级进度、设计二级进度和采购二级进度。其中,建造二级进度是指导设计二级进度及采购二级进度编制的依据,它反映了整个工程各厂房从前期施工准备到投入商业运行所有阶段的开始结束时间及关键节点,在编制设计二级进度和采购二级进度时,根据这些关键节点倒排出图纸交付日期和设备交付日期。三级进度计划按照类别分为设计、采购、土建、安装、调试三级进度计划,是各承包商编制三级以下各级计划的纲领性计划,对各承包商应起到承上启下的作用;四级、五级进度计划是在三级进度计划下的具体实施,因此,如何有效地实现工期进度优化调整控制,许多核电建设精英开展了具有成效的理论与经验探讨与实践^[1~3],对于实现核电建设的良好运行具有非常重要的作用。

由于一个核电建设工程项目的投资、进度和质量之间存在着既对立又统一的关系,如何正确分析、处理三者之间的关系,以达到项目最佳经济效益的目的。马瀛在总结巴基斯坦恰希玛核电站二期工程实践经验的基础上,分析费用与进

度的关联性,建立数学模型,并提出一整套合理、可行的建立并实施的方法^[4]。后来又有许多学者针对项目工期、费用与质量三者之间的综合优化进行了研究,当前研究的重点在于工期、费用两者之间的优化^[5~11]。由于工期、费用等指标均存在着一定的不确定性,一般采用随机规划或模糊规划求解。随机规划需事先知道其概率统计特征,因而其使用受到一定限制,而模糊规划借助隶属度函数却能较好地描述其参变量的不确定性问题^[12~13]。原先各种求解模糊规划的方法实际上是将模糊规划转换为清晰的数学规划,然后计算求解的间接计算方法。然而,将模糊规划转化为清晰的数学规划,依赖于模糊系数的隶属函数(或可能性分布)的复杂程度,一些特殊的情况下,这种转化是可行的,但即使是模糊线性规划转化后的清晰的规划有时也是非线性的;较复杂的情况下,这种转化往往是不可行的,因而难以获得全局最优解。此外,即使实现了模糊系统的集成,经典的优化理论也不一定能得到系统的全局最优解,由于遗传算法是基于生存+检测群体搜索算法,具有较好的全局优化机理,适合于解决模糊系统的全局优化问题^[14~15]。因此,对于在资源受限的核电项目工期进度模糊规划问题,可将其设置为模糊目标和模糊约束的集结函数,实现模糊系统的集成,再应用遗传算法对其进行迭代优化求解,这对于解决核电项目工期进度优化控制问题具有重要的现实意义与应用前景。

二 不确定环境下核电建设进度模糊集成建模及优化求解

(一) 构建核电建设进度计划模型

不妨设核电建设施工三级进度计划分为 n 个关键工序节点,每个关键工序节点进度周期为 T ,可调节系数分别为 β

[收稿日期] 2010-10-08

[基金项目] 湖南省社科基金重大招标项目资助(编号:2010DA02)

[作者简介] 付孝泉(1977-),男,湖北石首人,南华大学核能经济与管理研究中心讲师。

^①南华大学教授,博士生导师。

(β 为三角模糊数), 每个进度计划的成本为 c (c 为三角模糊数), 总成本为 C (C 为三角模糊数), 则在成本受限条件下的模糊目标与模糊约束模型分别为式 (1)、式 (2)

$$m \inf(T) = \beta_1 T_1 + \beta_2 T_2 + \dots + \beta_{n-1} T_{n-1} + \beta_n T_n \quad (1)$$

$$s \begin{cases} g(T) = \tilde{c}_1 T_1 + \tilde{c}_2 T_2 + \dots + \tilde{c}_{n-1} T_{n-1} + \tilde{c}_n T_n \leq C \\ T_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (2)$$

由于各参数均为三角模糊数, 不妨设 $\tilde{A} = (M_{\min}, M, M_{\max})$ 为参数三角模糊数集, $\tilde{A}$ 的 α 截集为:

$$A(\alpha) = [A_L(\alpha), A_R(\alpha)], 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (3)$$

式 (3) 中, $A_L(\alpha) = M_{\min} + (M - M_{\min})\alpha$ 是 α 截集的左端点; $A_R(\alpha) = M_{\max} - (M_{\max} - M)\alpha$ 是 α 截集的右端点。

记 $F_N = \{(M_{\min}, M, M_{\max}) \mid \forall M_{\min} < M < M_{\max}, M_{\min}, M, M_{\max} \in R\}$, 则:

$$(\tilde{A})_\alpha = [(\tilde{A})_\alpha^L, (\tilde{A})_\alpha^R] \quad (4)$$

(二) 核电站建设进度计划的模糊目标与模糊约束的期望值区间设置

1、根据模糊规划理论, 不妨设 X 代表可能采用的全部策略, 模糊目标 $\tilde{G}$ 是论域 X 上的一个模糊集合, 隶属度函数为 $\mu_{\tilde{G}}: X \rightarrow [0, 1]$, 模糊目标反映决策者对目标的某种不确定性要求, $\mu_{\tilde{G}}$ 反映策略 x 相对于目标 G 所能达到的满意程度。模糊约束 $\tilde{C}$ 是对选择策略的一种限制, 表示为策略域 X 上的一个模糊集合, 隶属度函数 $\mu_{\tilde{C}}: X \rightarrow [0, 1]$, 表示 x 符合约束条件的程度。不妨设核电项目建设目标进度计划周期的最小值及最大值分别为

$$\underline{f}_i = F(T) = \sum_{i=1}^n (\beta_i)_a^L T_i \quad (5)$$

$$\bar{f}_i = F(T) = \sum_{i=1}^n (\beta_i)_a^R T_i \quad (6)$$

则目标函数的隶属度函数为:

$$\mu_F = \begin{cases} 1 & F(T) \leq \underline{f}_i \\ 1 - (F(T) - \underline{f}_i) / (\bar{f}_i - \underline{f}_i), & \underline{f}_i < F(T) \leq \bar{f}_i \\ 0 & F(T) > \bar{f}_i \end{cases} \quad (7)$$

2 同理, 不妨设成本约束方程可设置为

$$C_{\min} \leq g(T) = \sum_{i=1}^n (\tilde{c}_i)_a^L T_i \leq C_{\max} \quad (8)$$

则其约束方程的隶属度函数可设为

$$\mu_c = \begin{cases} 1 & g(T) \leq C_{\min} \\ 1 - (g(T) - C_{\min}) / (C_{\max} - C_{\min}), & C_{\min} < g(T) < C_{\max} \\ 0 & g(T) > C_{\max} \end{cases} \quad (9)$$

(三) 核电项目建设进度计划的模糊集成模型构建
基于模糊规划理论, 一般地, 如果模糊目标和模糊约束

都定义在策略空间中并具有相同的重要性, 则模糊决策 $\tilde{D}$ 将由模糊目标和模糊约束的交集构成, 即且相应的极大化策略模型为

$$\max \mu_{\tilde{D}}(T) = \max_{x \in T} \min \{ \mu_{\tilde{G}}(T), \mu_{\tilde{C}}(T) \} \quad (10)$$

当模糊目标和模糊约束具有不同的重要性时, Bellman 和 Zadeh 给出了凸模糊决策 $\mu_{\tilde{D}}^\omega(x)$ 的定义, 即

$$\max \mu_{\tilde{D}}(T) = p \mu_{\tilde{G}}(T) + q \mu_{\tilde{C}}(T) \quad (11)$$

且 $p + q = 1, p \geq 0, q \geq 0$ 其中, p, q 分别为对应的模糊目标和模糊约束的重要系数。

(四) 核电项目建设进度计划的模糊集成模型优化求解
模糊集成模型系一复杂非线性系统问题, 涉及的参数较多, 需对其进行全局求解。经典的优化算法易陷入局部最优

点, 难以解决其全局优化问题。遗传进化算法根据生物进化原理, 基于群体寻优策略, 经过选择、交叉、变异、插入、迁移算子的迭代计算, 可求得最优解。

鉴于遗传算法优点, 本文以模糊目标与模糊约束集成函数作为目标函数, 根据最大隶属度函数法则, 则满足模糊成本约束要求的工期目标隶属度函数最大化作为目标函数, 将其设置成适应度函数, 应用遗传算法可较好的解决模糊集成优化问题。

$$ObjV(T) = \mu_{\tilde{D}}(T) = p \mu_{\tilde{G}}(T) + q \mu_{\tilde{C}}(T) = \text{fitness}(T) \quad (12)$$

三 核电站建设项目进度优化控制实例分析

以我国某核电建设项目为例, 应用层次分析法构建该核电建设项目主要关键工序, 经综合分析其相关工序工期可控参数区间及成本约束均为三角模糊数, 工序工期调节范围可根据国际国内经验获得 (见表 1), 总投资成本受限三角模糊数为 [580 640 700], 则其在总投资成本受限条件下的工期目标方程为式 (13) 及式 (14) 所示。

表 1 核电项目某施工段工序工期、成本调节系数表

		第一工序	第二工序	第三工序	第四工序	第五工序	第六工序
工期调节系数	A	0.7832	0.4265	0.4656	0.1442	0.4721	0.6064
	B	1.2438	1.0676	1.6274	1.2645	0.9154	1.5619
	C	1.7045	1.7086	2.7892	2.3847	1.3586	2.5175
成本调节系数	A	6.5561	4.2009	3.5849	4.6160	7.9993	6.5025
	B	10.8459	8.1454	8.9214	11.1862	11.0316	10.6328
	C	15.1357	12.0899	14.2579	17.7565	14.0638	14.7631
工期最值	$M_{\min}$	9	13	10	8	9	7
工期最值	$m_{\max}$	15	16	13	11	13	10

$$m \text{ in} F(T) = \beta_1 T_1 + \beta_2 T_2 + \dots \beta_5 T_5 + \beta_6 T_6 \tag{13}$$

$$s \begin{cases} g(T) = \tilde{c}_1 T_1 + \tilde{c}_2 T_2 + \dots + \tilde{c}_5 T_5 + \tilde{c}_6 T_6 \leq \tilde{C} \\ T_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, 6) \end{cases} \tag{14}$$

应用上述方法构建进度计划的模糊目标与模糊约束隶属度函数, 再根据模糊目标与模糊约束的重要性等级构建其相应的系统集成模型。不妨假设其重要性相同时, 则其系统集成模型可由其交集构成。则在不同的可能性水平下, 根据系统集成模型, 设计其适应度函数, 应用遗传算法可求得最优满意度工期解 (见表 2) 及不同可能性水平下的核电工期迭代优化求解图 (见图 1 图 2)。

即设计不同的可能性水平, 即取得不同的 α 截集时分别进行优化求解。为解释问题的方便, 不妨设 $\alpha = [0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0]$ 时, 分别按以下步骤求解。

Step1: 采用实数编码, 划分子代种群与子代数目, 生成初始种群。

Chrom = crtp(SUBPOP* NND, FehHDR);

Step2 设计适应度函数: ObjV = evalfis(Chrom, out-

fismat) + p(chrom);
Step3 进行选择、交叉、变异, 优化种群个体
% 从种群中选择个体
SelCh = select(SEL_F, Chrom, FithV, GGAP, SUBPOP);
% 重新组合选择的个体
SelCh= recomb(XOV_F, SelCh, XOVR, SUBPOP);
% 变异
SelCh= mutate(MUT_F, SelCh, FehHDR, [MUTR], SUBPOP);
Step4 引入插入策略和迁移策略, 进行迭代计算, 求出最优解
% 插入个体
[Chrom, ObjV] = reins(Chrom, SelCh, SUBPOP, [1:INSR], ObjV, ObjVOff);
% 迁移个体
[Chrom, ObjV] = migrate(Chrom, SUBPOP, [MIGR, 1, 0], ObjV);

表 2 核电项目某施工段不同可能性水平下最佳工序工期表

a	工期	第一工序	第二工序	第三工序	第四工序	第五工序	第六工序
0.1		12 9020	15. 5246	11. 5796	8 1837	10. 2948	7 8426
0.2		12 5533	15. 2167	11 3216	9 3450	12 1136	7 5080
0.3		9 1793	14. 5431	11. 5719	10 1321	10. 0130	7 1399
0.4		10 0595	13. 7757	12 2459	8 0552	10. 8325	8 6634
0.5		9 2870	14. 1513	10 0000	8 0000	11. 3190	7 3020
0.6		9 2055	13. 2892	10 0000	9 1765	9. 0060	7 0378
0.7		9 0000	13. 0000	10 0000	8 0000	9. 0000	7 0000
0.8		9 0000	13. 0000	10 0000	8 0000	9. 0000	7 0000
0.9		9 0000	13. 0000	10 0000	8 0000	9. 0000	7 0000
1.0		9 0000	13. 0000	10 0000	8 0000	9. 0000	7 0000

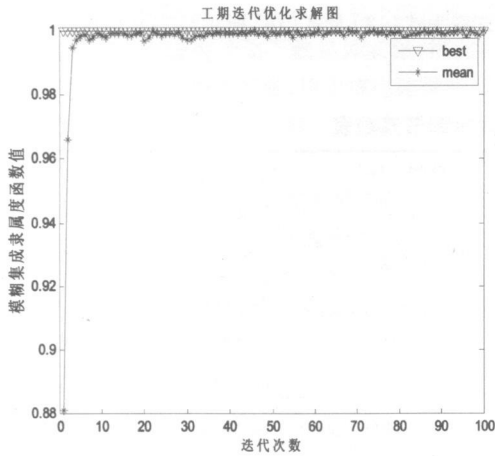


图 1 可能性水平为 0.5 时的迭代优化图

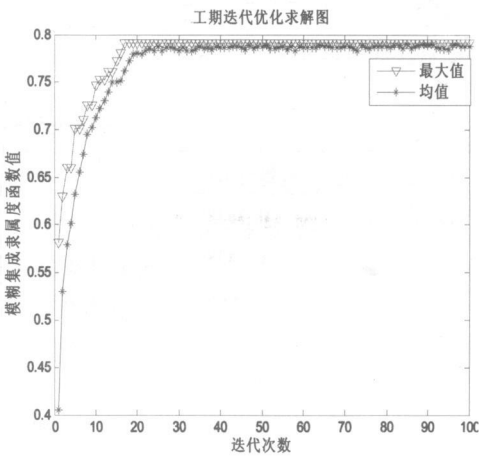


图 2 可能性水平为 0.8 时的迭代优化图

四 结束语

核电站项目建设由于其技术要求高、质量要求严、建设工期长、管理要求规范,但缺少可指导性的工期调整操作方案,鉴于此,本文针对核电建设项目进度控制的不确定性特点,应用模糊规划理论构建了核电进度计划的模糊目标及模糊约束模型,根据核电站进度目标及成本约束的相对重要性实现了模糊目标与模糊约束的系统集成,然后应用遗传算法解决了进度、成本的协调优化问题,并进行实例分析,证明了这一方法的科学性,这不仅为核电项目建设创造了较好的经济价值,而且还为其它工程项目管理进度优化控制提供了重要的参考价值与应用前景。

[参考文献]

- [1] 于 蕾, 张 静. EPC模式下核电工程建安三级进度计划实施和控制探讨[J]. 企业经营管理, 2010(15): 261-262
- [2] 顾 军. 泰山三期(重水堆)核电工程调试计划管理和进度控制[J]. 核动力工程, 2003, 23(3): 216-230
- [3] 石亮民, 马立民, 范 凯. 核电工程建设进度控制的关键路径分析[J]. 核动力工程, 2005, 26(5): 514-518
- [4] 马 瀛. 工程项目管理中费用与进度关联性分析方法[J]. 核动力工程, 2008, 29(3): 124-128
- [5] A J G Babu N. Suresh Project management with time cost and quality considerations[J]. European Journal of Operational Research, 1996, 88(2): 320-327
- [6] Do Ba Khang Yin Mon Myint Time cost and quality trade-off in project management a case study[J]. International Journal of Project Management 1999, 17(4): 105-114
- [7] J Abeil E Allouche D Ardit M Hayman HOTO-NET II a computer-based monitoring system applied to project management[J]. Automation in Construction, 2003, 12(5): 603-616
- [8] 王 健, 刘尔烈, 骆 刚. 工程项目管理中工期-成本-质量综合均衡优化[J]. 系统工程学报, 2004, 19(2): 148-153
- [9] 高兴夫, 胡程顺, 钟登华. 工程项目管理的工期-费用-质量综合优化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 19(2): 112-117
- [10] 陈建华, 林 鸣, 马士华. 基于过程管理的工程项目多目标综合动态调控机理模型[J]. 中国管理科学, 2005, 13(5): 93-99
- [11] 张 杰, 李 原, 张开富, 杨海成. 项目管理中进度调整的模糊动态规划方法[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(8): 1258-1262
- [12] Tang J Wang D. Fung R Y. K (1998). Model and method based on GA for non-linear programming problems with fuzzy objective and resources Int J of System Science, 1998, 29(8): 907-913.
- [13] Masatoshi Sakawa Ichiro Nishizaki Yoshio Umura Interactive fuzzy programming for multi-level linear programming Problems with fuzzy parameters Fuzzy Sets and Systems 2000, 109 3-19.
- [14] J G Qi G R Burns D K Harrison The application of parallel multipopulation genetic algorithms to dynamic job-shop scheduling[J]. Int J Adv Manuf Technol 2000, 16 609-615.
- [15] 杨恒辉, 戴 韧, 陈康民. 遗传算法中参数选取及其在数据全局寻优中的应用[J]. 计算机与现代化, 2003, (90): 1-4

Fuzzy Genetic Optimization Control Research for Construction Schedule of Nuclear Power Plant Project

FU Xiao-quan, ZOU Shu-liang

(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract This article constructed integrated model of fuzzy target and the fuzzy restraint fuzzy for nuclear power plant schedule plan by uncertainty characteristic the application fuzzy plan theory, then, it solved dynamic optimization adjustment problem of schedule plan by genetic algorithm, and took some nuclear power station construction schedule plan as the example, which can be better carried out for time and cost coordinated optimization. It has created good economic value and provided application prospect for nuclear power station project management

Key words nuclear power plant project fuzzy program; genetic algorithm; schedule control