

基于 SD 及模糊控制的工程项目目标管理

卢 梅, 刘 洋, 金 婷, 孙莹莹

(西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安 710055)

摘 要:针对影响工程项目三大目标实现的各项因素,建立了系统动力学模型,并提出了模糊控制方法在目标控制中的应用. 论文以进度变化为例,借助 VENSIM 软件对该进度变化对工程项目目标的影响进行了动态模拟,同时利用模糊控制方法对该动态变化的影响因素进行调整与控制,结果表明,该方法对提升工程项目目标管理有一定的作用.

关键词:工程项目;目标管理;系统动力学;模糊控制

中图分类号:TU201

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2012)03-0400-06

近几十年来,国内外工程项目管理理论和实践普遍提出和运用了进度,质量,成本三大目标的控制理论. 在国内施工项目管理中虽然对项目运用了进度,质量,成本三要素的目标管理,但几乎都是相互独立和割裂的,不能达到项目管理的总体目标最优^[1]. 最近几年,一些学者对工程项目三大目标之间的相互作用关系进行了分析^[2]. ATKINSON R. 提出了在工程项目管理中,工期、成本和质量三者中任何一个的变化都会影响其它两个目标的实现^[3]. 一些学者对工程项目进行了集成化管理的研究^[4]. 还有从工程项目三大目标系统的特征出发,探索性地给出了三大目标控制的数学模型及其计算机实现的具体思路^[5]. RODRIGUES A, BOWERS J. 提出了系统内部各要素之间的相互作用和相互影响构成的因果反馈回路支配着项目的动态性特征^[6]. 以上有些学者虽然把三大目标和影响它们的因素看作是一个系统,但没有考虑三大目标在其影响因素的动态变化下是怎样的动态变化关系. 本文基于系统动力学方法对工程项目三大目标及其影响因素进行动态分析,并借助模糊控制方法对工程项目三大目标及其影响因素的动态变化进行控制.

1 系统动力学和模糊控制的相关理论

1.1 系统动力学的相关理论

系统动力学(System Dynamics-SD)是美国麻省理工学院(M. I. T)的福瑞斯特(Jay W. Forrester)教授于 20 世纪 50 年代中期提出的一种系统仿真方法,主要是用来分析研究信息反馈系统的学科. 所谓“反馈”就是指系统内同一单元或同一子块,其输出与输入之间的关系. 反馈系统要受系统本身的历史行为的影响,把历史行为的后果回授给系统本身,以影响未来的行为^[7].

1.2 模糊控制的相关理论

模糊控制是由英国工程师马丹尼在 1974 年提出并首先运用在蒸汽机和锅炉控制上. 其主要是在控制方法上应用模糊数学的理论来模拟人的思维方法,使对无法用精确数学模型表示的控制对象进行成功的控制. 该方法避开了用数学的方式来描述系统的状态方程和传递函数,转而对人们关于某个控制问题的成功与失败的经验进行加工,总结出经验,进而从中提炼出规则进行控制^[8].

2 工程项目目标控制系统的系统动力学模型的构建

根据工程项目的特点,可以得出影响工程项目质量,进度,成本的因素主要有施工速度、工序间

收稿日期:2011-07-11 修改稿日期:2012-05-03

基金项目:陕西省重点学科建设专项资金资助项目;陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项项目(2009ZDKG-66);陕西省教育厅专项科研项目(09JZ008),陕西省教育厅专项科研计划项目(09JK129).

作者简介:卢 梅(1971-),女,新疆乌鲁木齐人,博士,副教授,主要从事工程项目管理、结构工程等教学研究工作.

的影响关系,劳动生产率、工作强度、疲劳程度、剩余时间,施工机械、材料、劳动力的影响等.其中任何一个影响因素发生变化,都会对工程项目的三大目标产生较大的影响.例如:如果实际工程进度落后于计划进度,必然引起进度压力,现实中一般是通过加大工人工作强度来实现.这种方法虽然能够顺利达到加快工程进度的目的,但工作强度过大会增加工人的疲劳度,从而影响工程质量,造成返工,又会导致工程进度进一步的落后^[9].

由此,将工程项目三大目标及其影响因素看作一个系统,并借助系统动力学方法建立了工程项目目标控制系统的系统动力学模型,如图1所示:

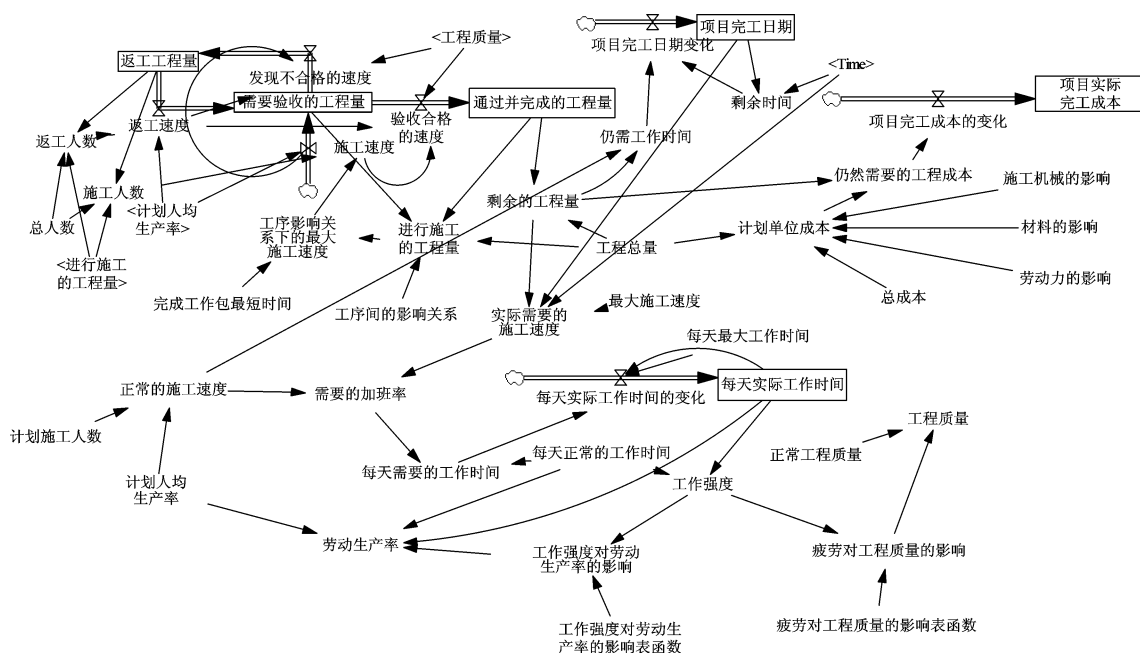


图1 工程项目目标控制系统的系统动力学模型(注释:< >里面的内容为隐藏变量)

Fig. 1 The model of system dynamics for the goal control system in the projects

3 模糊控制在工程项目目标控制中的应用步骤

工程项目目标的影响因素可以分为确定性因素,如计划人均生产率.以及非确定性因素,如工序间的影响关系.对于确定性影响因素可以采用数理统计计算的方法对其进行分析,而对于不确定性影响因素则可以采用模糊控制方法对其进行分析.

由于影响工程项目目标的影响因素较多,鉴于篇幅,本文只针对影响进度目标的其中一个影响因素进行分析.

3.1 确定输入信息量,输出信息,并将其模糊化

为了进行工程进度目标的控制,本文选用两个参数作为输入信息量:工程项目进度偏差 A 和工程项目进度偏差变化率 B . 为了便于分析,在本文中只取一个输出控制量加班时间 C .

通过对一些有项目管理经验的专家进行调研,得出各自的隶属度关系曲线:工程项目进度偏差 A 、工程项目进度偏差变化率 B 、加班时间 C 的隶属度曲线分别如图2~4所示,其中PZ-零,PS-正小,PB-正大.

3.2 模糊控制规则

对于进度变化 A 和 B 的每一个状态,都可以找到一条对应的模糊控制规则,说明加班时间 C 应如何选取. 通过分析,可以得到模糊控制规则如表1所示.

3.3 应用模糊控制算法,求出输入与输出的模糊关系矩阵

根据图2、3、4所示的三个隶属度关系曲线,为了计算方便,将其都转换到区间 $[0,6]$ 内,再把这些模糊隶属度集离散化,得到

表1 表1 加班时间 C 的模糊控制规则

Tab. 1 Fuzzy control rules

A	B		
	PZ	PS	PB
PZ	PZ	PS	PB
PS	PS	PS	PB
PB	PB	PB	PB

在 $[0,6]$ 之间的整数值对这些模糊集的隶属度. 由于表 1 列出的 9 条模糊控制规则都属于“若 A_i 且 B_j 则 C_k ”类型, 即: $R_{ij} = A_i \times B_j \times C_k$, 所以对应每一个 R_{ij} 的计算, 其结果为一个 49 行 7 列的矩阵, 而总的模糊关系矩阵 R 是 9 个 R_{ij} 矩阵对应元素取大的结果.

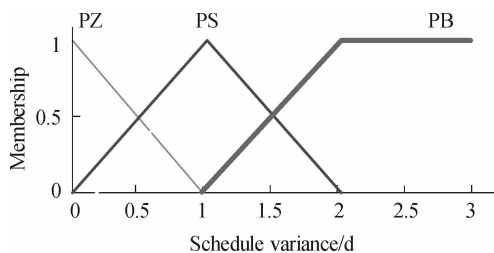


图 2 进度偏差 A 的隶属度曲线

Fig. 2 Deviation of the progress membership degree curve A

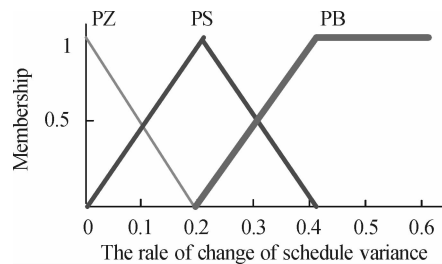


图 3 进度偏差变化率 B 的隶属度曲线

Fig. 3 The progress error change rate of membership degree curve B

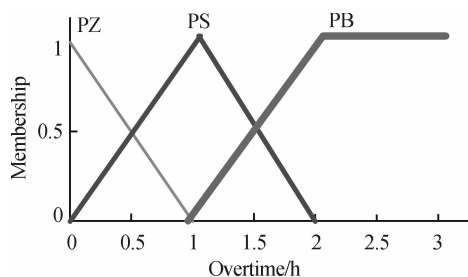


图 4 加班时间 C 的隶属度曲线

Fig. 4 The membership degree curve of overtime C

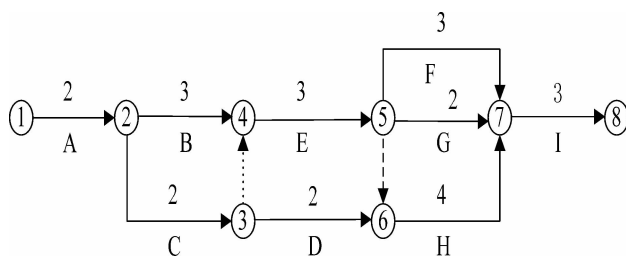


图 5 工程项目的双代号网络计划图(单位:周)

Fig. 5 On-arrow network(unit: Week)

3.4 用模糊决策做出响应表

通过计算, 可以得出加班时间 C 的响应表如表 2 所示:

在控制过程中, 可以根据实测的 A, B 的值与表中行与列的值对照, 则可以查出所需控制量 C , 从而达到控制的目的.

4 SD 与模糊控制相结合在工程项目目标管理中的应用

借助已建立的工程项目三大目标及其影响因素的系统动力学模型, 以及通过计算得出的模糊控制表, 分析工程项目中的一个工作在进度落后时, 采取加班策略对工程项目的完工日期、完工质量和实际完工成本的影响变化关系.

(1) 案例背景

某建筑施工企业承接了某工程项目, 编制了该工程项目的双代号网络计划如图 5 所示, 其持续时间和预算费用如表 3. 工程项目施工进行到第 13 周末时, 工作 I 完成了 4 d 的工程量, 比计划少完成了 3 d 的工程量(进度落后了 3 d). 如图 6 所示:

表 3 各项工作完成的工程量及其成本费用情况

Tab. 3 Completed work and costs

Task name	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Duration/Week	2	3	2	2	3	3	2	4	3
Estimated costs/ 10^2 Yuan	1 800	2 300	1 700	1 900	2 200	2 100	1 580	3 750	1 482
Actual costs/ 10^2 Yuan	1 800	2 300	1 700	1 900	2 200	2 100	1 580	3 750	282

表 2 加班时间 C 的响应表

Tab. 2 Table C in response to overtime/h

A	B						
	0	1	2	3	4	5	6
0	0.3	1.5	2	3.5	4.7	4.7	4.7
1	1.5	1.5	2	3.5	4.5	4.5	4.5
2	2	2	2	3.5	4.7	4.7	4.7
3	3.5	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5
4	4.7	4.5	4.7	4.5	4.7	4.7	4.7
5	4.7	4.5	4.7	4.5	4.7	4.7	4.7
6	4.7	4.5	4.7	4.5	4.7	4.7	4.7

从图 6 可以看出,工作 I 延误了 3 d,这 3 d 是在关键线路上,故将使工期延长 3 d.

I 工作在进度落后的情况下,采取加班策略追赶进度时对工程项目的完工日期、完工质量和实际完工成本的影响变化关系进行分析.利用图 1 工程项目目标控制系统的系统动力学模型,借助 VENSIM 软件对其进行模拟分析,并借助模糊控制方法对其影响因素的动态变化进行调整与控制.

(2)模型参数设置

在图 1 工程项目目标控制系统的系统动力学模型中,我们对其模型参数进行设置.剩余的计划完成时间为 17 d,剩余的计划完成成本为 1 200 (百元).

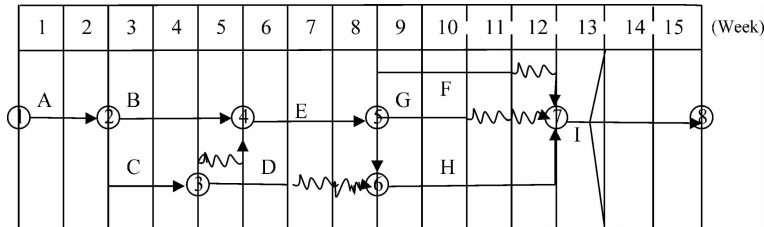


图 6 时标网络图

Fig. 6 Time scale network map

(3)模型的仿真结果分析

当前,该工程项目 I 工作的进度落后 3 d(即 $A = -3$),而且此时经过对进度控制有丰富经验的项目管理人员的咨询,得到此时工程项目进度落后偏差的变化率大约为 0.5(即 $B = 0.5$). 将其数值各自转换到区间 $[0, 6]$ 内,通过查已计算得出的模糊控制决策响应表,可以得出对应的当前的加班量为 4.7(即 $C = 4.7$). 则应选取正大控制,即需要较大的加班,此时,可以利用 VENSIM 软件得到加班对工程项目完工日期、完工的质量以及完工的成本的影响关系曲线及其数值的变化如图 7—9 及表 4 所示:

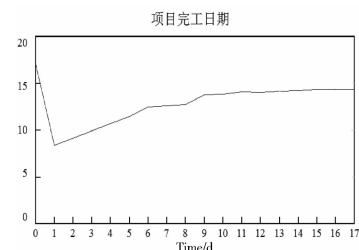


图 7 工程项目完工日期

Fig. 7 Project completion date

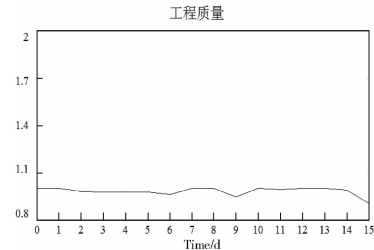


图 8 工程项目完工的质量

Fig. 8 The quality of completed project

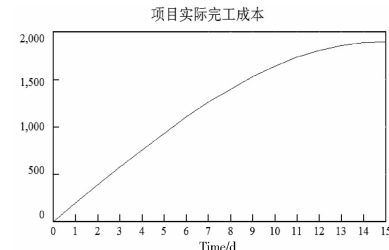


图 9 工程项目实际完工的成本

Fig. 9 The actual cost of the project completion

当工程项目进度落后,采取加班策略时,虽然可以对工程项目的进度追赶起到良好的作用,但是,加班也会导致该工程项目工作质量的下降以及该工程项目成本费用的增加.这样不利于对工程项目综合目标的控制.因此,在加班的过程中,我们要把质量目标的浮动范围控制在 3% 以内,当质量目标超过 3% 时需要在此时重新调整加班量.

由图 8 和表 4 可以看出,当加班工作进行到第 6 d 时,此时的工程质量为 0.964 907,偏差超出了 3% 的控制范围,因此需要对加班量进行调整.质量下降的原因可能是因为作业人员在加班时疲劳程度的增加或者对一些施工工艺没有留够足够的工艺间歇.本文只考虑作业人员在加班时疲劳程度的增加这一情况,因此,应给予施工作业人员必要的休息时间.而在休息时间期间,工程项目的进度落后偏差会有所增大.但由于前 5 d 的加班作用,此时休息调整后的工程项目的进度落后偏差将小于没有采取加班策略时的进度落后偏差.此时的进度落后偏差通过计算分析,可以得出其落后偏差为 2 d(即 $A = 2$),而工

表 4 项目完工日期、质量、成本

Tab. 4 The actual date, quality and cost of the project completion

Time/d	Completion date/d	Completion of quality	Costs of completion /10 ² Yuan
0	17	1	0
1	8.353 31	1	196.149
2	9.135 4	0.981 214	387.182
3	9.917 48	0.980 131	573.097
4	10.703 7	0.978 783	753.992
5	11.44	0.980 051	928.696
6	12.44	0.964 907	1 103.4
7	12.573 4	1	1 257.75
8	12.719 5	1	1 392.05
9	13.719 5	0.948 019	1 526.35
10	13.834 9	1	1 639.88
11	14.097	0.993 881	1 736.09
12	14.037 3	1	1 807.41
13	14.116 1	1	1 857.1
14	14.205 9	0.989 82	1 885.41
15	14.303	0.904 772	1 892.53
16	14.303		
17	14.303		

程项目的进度偏差变化率为 0.5(即 $B=5$). 将其数值各自转化到区间 $[0, 6]$ 内, 通过查已计算得出的模糊控制决策响应表, 可以得出对应的当前的加班量为 4.7(即 $C=4.7$). 则应选取较大控制, 即需要较大的加班. 此时, 可以利用 VENSIM 软件得到此时再次调整后的加班量对工程项目实际完工日期、工程项目完工的质量及工程项目完工的成本的影响变化关系及其数值变化如图 10; 图 11; 图 12 及表 5 所示. (此时剩余工程量为 16.38 标准单位, 通过计算分析, 前 5 d 加班完成的工程量相当于 6.07 d 完成的工程量, 剩余的时间为 $17-6.07=10.93$, 第 5 d 调整加班时间, 不进行加班, 这样 $10.93-1=9.93$, 表示剩余的工程量在正常施工情况下还需要 9.93 天来完成, 其剩余时间仍然超出计划应该完成的时间, 仍然需要加班追赶. 按照正常的工作, 其每天完成的工程量为 $23/21=1.09$; 其每天需要的成本费用为 $1\ 482/21=70.57$ (百元).)

表 5 项目完工日期、质量、成本

Tab. 5 The actual date, quality and cost of the project completion

Time/d	Completion date/d	Completion of quality	Costs of completion / 10^2 Yuan
0	9.93	1	0
1	7.082 15	1	106.975
2	7.798 87	0.977 387	209.67
3	8.515 58	0.975 468	308.087
4	9.238 7	0.972 965	402.321
5	9.848 41	0.977 871	490.66
6	8.286 69	1	540.305
7	8.137 68	1	572.595
8	7.970 03	1	587.251
9	7.970 03		
10	7.970 03		

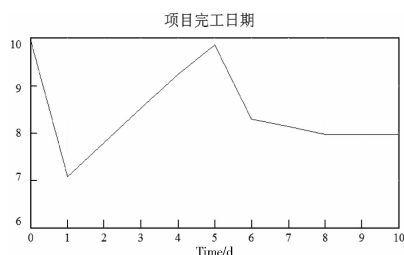


图 10 项目完工日期

Fig. 10 Project completion date

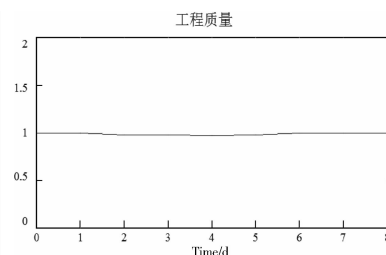


图 11 项目完工的质量

Fig. 11 The quality of completed projects

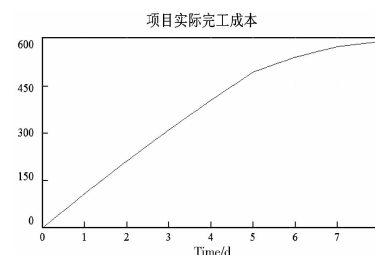


图 12 项目实际完工成本

Fig. 12 The actual cost of the project completion

通过这次调整加班量, 使该工程项目的质量基本上控制 3% 的范围内, 满足质量的要求, 而且经过 14 d, 完成了剩余的工作.

通过对工程项目三大目标及其影响因素动态变化的模糊控制, 可以得出以下结论:

- (1) 经过模糊控制的调整, 使该工程项目在追赶进度时, 保证其质量偏差控制在 3% 以内.
- (2) 经过模糊控制的调整, 使其由于采取加班而使项目实际完工的时间按照计划工期来完成.

(3) 经过模糊控制的调整, 其成本增加费用虽然也包括工人增加劳务作业的成本费用、材料费用以及施工机械的费用, 但是根据工程质量的变化对其进行了模糊控制的调整, 从而提高了施工作业人员的施工质量水平, 减少了由于工程质量的降低超出其允许的范围而进行返工所引起的费用等. 但是, 从整体上来看, 由于该工程项目在进度落后, 采取加班策略来追赶进度而导致的实际完工的成本费用增加了 32.2%(即: $(1\ 586.517-1\ 200)/1\ 200=32.2\%$).

5 结 论

(1) 基于 SD 及模糊控制的工程项目目标管理研究是以工程项目目标及其影响因素共同组成的系统进行的分析. 并借助模糊控制方法对其进行有效的动态控制. 弥补了传统项目管理中对各个目标进行独立的、静态的分析与控制.

(2) 通过对工程项目三大目标及其影响因素建立的系统动力学模型进行分析, 得出了在模型中, 任何一个影响因素的变化都会对工程项目三大目标产生变动的影响关系. 并借助模糊控制方法对影响工程项目三大目标的因素的动态变化进行调整与控制, 保证工程项目三大目标最终的合理实现.

参考文献 References

- [1] 陆宁,廖向晖,王巍,等.大型施工项目管理可靠性综合控制的构架研究[J].重庆建筑大学学报,2007,29(2):132-134.
LU Ning, LIAO Xiang-hui, WANG Wei, et al. Comprehensive Control Technique of Reliability in Large Construction Project Management [J]. Journal of Chong qing Jian zhu University, 2007,29(2):132-134.
- [2] 赛云秀.项目三大目标相互作用分析[J].建筑经济,2008(8):73-76.
SAI Yun-xiu. Analyzing the interaction of three major objectives of the project[J]. Construction Economy. 2008(8):73-76.
- [3] ATKINSON R. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria[J]. International Journal of Project Management,1999,17(6):337-342.
- [4] 王延树,成虎.大型施工项目的集成管理[J].东南大学学报:自然科学版,2000,30(4):100-104.
WANG Yan-shu, CHENG Hu. Integrated Management of Construction Project[J]. Journal of Southeast University. :Natural Science Edition, 2000,30(4):100-104
- [5] 苑东亮,徐德龙,李慧民.建筑工程项目目标控制研究[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2010,42(1):100-104.
YUAN Dong-liang, XU De-long, LI Hui-min. Research on construction project target control[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. :Natural Science Edition,2010,42(1):100-104.
- [6] RODRIGUES A,BOWERS J. The role of system dynamics in project management[J]. International Journal of Project Management,1996,14(4):213-220.
- [7] 王其藩.系统动力学[M].北京:清华大学出版社,1998.
WANG Qi-fan. System dynamics[M]. Beijing: Tsinghua University Press,1998.
- [8] 刘林,曹艳平.应用模糊数学[M].2版.西安:陕西科学技术出版社.2008.
LIU Lin, CAO Yan-Ping. Application of Fuzzy Mathematics [M]:2nd ed. . Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press.2008.
- [9] 刘洋,卢梅.基于系统动力学方法的工程项目管理[J].科技管理研究,2011(8):183-186.
LIU Yang,LU Mei. Based on system dynamics method of project management[J], Science and Technology Management Research, 2011(8):183-186.

Objective management in the project based on the SD and fuzzy control

LU Mei, LIU Yang, JIN Ting, SUN Ying-ying

(School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: This paper has established the systems dynamics model for factors affecting the three goals of project management and proposed the application of fuzzy control method in the target control. On the schedule change as an example, the paper has carried on the dynamic simulation for the schedule change to the engineering project goal's influence with the help of VENSIM software, using the fuzzy control method to adjust and control dynamic changes. Results show that this method has a certain effect on the improvement of the project management by objectives.

Key words: construction project; objective management; system dynamics; fuzzy control