

基于集对理论标段协调差啮合的施工系统稳定性分析

晋良海^{1,2}, 梁 川¹

(1. 四川大学 水电学院, 四川 成都 610065; 2. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400071)

摘要: 多标段工程项目管理中,经常会遇到衔接标段的控制问题.上一标段的施工输出会直接影响下一标段的施工输入,当输出与输入之间的协调差达不到啮合状态时,会导致整个施工系统的不稳定.考虑标段内及标段间的转移偏差,再应用标段协调差啮合原理,根据集对理论可计算各标段的协调差之间的联系角.最后,根据设定的三角稳定阈值,可判断施工系统的稳定性,为工程管理人员提供科学的过程控制依据.

关 键 词: 衔接标段; 协调差啮合原理; 集对分析; 施工系统; 稳定性

中图分类号: TV51:N945

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2009)01-0091-04

工程建设招标往往把一个工程项目划分为多个标段,施工过程中,质量、进度、投资和安全等任何一个方面出现问题都会给下一个标段施工造成直接或间接影响.工程项目管理是否能保持施工系统的相对稳定性,涉及到对各个标段施工输入输出控制,这就是项目管理中的过程控制.文献[1,2]提出了标段划分的原则;肖文^[3]等列出了各种标段划分方法的优缺点,并定性提出标段划分的合理方法;文献[4]以工程项目由多个子项目组成这一事实为基础,把标段划分问题归结为把 m 个子项目组合分配给 R 个标段这一命题,给出了标段划分的优化数学模型,定性指出标段划分应遵循系统性、项目管理、经济性三个基本原则及标段划分实际操作应考虑的问题;文献[5]基于系统观点定性讨论了公路工程工期、标价与标段合理划分的关系.然而,很少有涉及施工系统稳定性分析的研究.本文基于过程协调差啮合原理和集对理论就施工系统稳定性进行分析,从而为工程决策者提供科学依据.

1 标段协调差啮合分析

项目管理过程控制一般涉及施工系统的进度、投资、质量与安全等因素,上一标段的产出会影响下一标段的产出,本标段自身施工性质也会影响本标段的产出,这是系统的整体协调投入—产出原理的具体体现.也就是参与各个施工标段的承建单位通过包括资金、物力、人力、信息等有形投入和政策、战略、管理、人的能力发挥、教育、科技等无形投入,生产出进度效益、投资控制效益、质量效益和安全效益,同时影响衔接标段的进度效益、投资控制效益、质量效益和安全效益.这正符合过程协调差啮合原理.

假设一个整体的工程建设项目在理想状态下,当工程系统有施工输入 X 时,则该系统就会按照严格的系统定义施工输出 $F(X)$,即: $Y=F(X)$,其中, F 为系统状态转移规律函数.但在实际施工状态中,不会有这种严格的输出.工程系统的实际施工输出不等于 $F(X)$,这是因为工程整体的系统功能是通过各个子系统(施工标段)来实现,是各个施工标段施工作业综合作用的结果.因此,一个整体的水电工程系统的施工输出取决于各个标段的完成情况,以及各个相邻标段之间的结合与协调,任何一个标段的施工偏离了其严格定义上的状态,任何接合点协调出现了偏差或施工环境偏离了其严格定义上的环境,工程系统的实际施工输出就会与严格定义上的 $F(X)$ 产生差别.而且引起这些偏差的因素是随机的,属于不可控因素.

收稿日期: 2008-05-10

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2003CB415202)

作者简介: 晋良海(1973-),男,四川简阳人,工程师,博士,主要从事水电建设项目管理. E-mail: jinlianghai@tom.com

在各个标段施工中,衔接标段是整体工程系统的相关子系统,即上一施工标段的施工输出会影响下一施工标段的施工输出.假设一个整体工程系统分 n 个衔接标段,系统第一个标段的状态转移规律为 $Y_1 = F_1(X)$,其中, F_1 为标段 1 的状态转移规律函数;第二个标段的状态转移规律为 $Y_2 = F_2(X)$,整体工程系统的状态转移规律为

$$Y = F(X) = F_2(Y_1) = F_2(F_1(X)) \quad (1)$$

假设整体工程系统的输入为严格定义的 X ,但由于系统本身的协调误差,标段 1 的输出出现偏差,状态转移规律不是严格定义的 F_1 ,而是变化以后的 F'_1 ,即: $Y'_1 = F'_1(X)$,其中, F'_1 为变化后的标段 1 状态转移规律函数.而标段 2 的施工状态、施工情况、状态转移规律等都是保持严格定义的,那么在标段 2,

$$Y' = F_2(Y'_1) = F_2(F'_1(X)) \quad (2)$$

$$Y - Y' = F(X) - F_2(Y'_1) = F_2(F_1(X)) - F_2(F'_1(X)) \quad (3)$$

这里, $Y - Y'$ 就是整体工程系统标段 1 的误差在系统最终输出中的影响.在不考虑系统外部环境变化因素对系统的输出影响下,这个数值主要取决于系统实际状态转移 F'_1 与定义的 F_1 的偏差.

如果标段 2 中考虑本标段系统自身或外部环境影响而造成的协调偏差,其状态转移规律为 F'_2 ,则

$$Y - Y' = F_2(F_1(X)) - F'_2(F'_1(X)) \quad (4)$$

$$\text{第 1 标段的偏差为} \quad \Delta Y_1 = Y_1 - Y'_1 = F_1(X) - F'_1(X) \quad (5)$$

它在标段 2 中造成的偏差为

$$[Y - Y'] - [F_2(F_1(X)) - F_2(F'_1(X))] = F_2(F'_1(X)) - F'_2(F'_1(X)) \quad (6)$$

施工系统进行到第 i 标段时的某项控制指标的偏差为

$$\Delta Y_i = [F_i(F_{i-1}(X)) - F'_i(F'_{i-1}(X))] + [F_i(F'_{i-1}(X)) - F'_i(F'_{i-1}(X))], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

目前,工程施工管理的四大控制为质量、安全、投资和进度, ΔY_i 分别代表了这 4 项控制指标的第 i 标段输出偏差,用百分率分别表示为 $\Delta Y_i^q\%$, $\Delta Y_i^s\%$, $\Delta Y_i^t\%$, $\Delta Y_i^p\%$.可见,第 i 标段的偏差影响可分成两部分,即自身状态转移规律出现偏差和上一标段状态转移规律出现偏差所造成的输入偏差.对于某个标段来说,要严格控制其质量、安全、投资和进度等指标,既要控制本标段的施工系统状态,又要控制与之衔接的上一标段的施工系统状态.实际上,在施工控制中更注重过程控制,即应更注重控制第 i 标段输出偏差,因为工程项目的施工期一般比普通产品生产周期长.故判断施工进行到第 i 标段时是否处于稳定状态,就显得极为重要.

如果将每一标段在标准施工状态下的质量、安全、投资和进度等指标与实际施工状态下的这些指标之差定义为本标段的协调差,则衔接标段间符合过程协调差啮合原理.由于系统本身状态的偏差以及外部环境的影响,使系统的状态转移规律出现偏差,以至每一个阶段都出现协调差,这个协调差的大小取决于本阶段的状态转移规律偏差和与之衔接的上阶段的协调差;系统每一个阶段、过程的协调差最终都会以一定的形式反映到系统的最终输出结果上^[6].

2 基于集对理论的施工系统稳定性分析

集对理论中用同异反联系度表达式来描述各种不确定性,即 $\mu = a + bi + cj$,其中: a, b, c 分别为两个集合在某一问题下的同一度、差异度和对立度.在标段协调差啮合的施工系统中,确定性和不确定性是相互联系、相互影响、相互制约的,共处于一个统一体中.当用集对理论来研究解决不同的具体问题时,方法也各异.几何模型法的基本思路是把关于两个集合的联系度转换成两个集合的联系角,即把每一个集合作为一个“矢量”,称为集合矢.集合矢的长度按一定的规则来设定,由此给出研究对象的几何模型^[7].但一般来说,联系度 μ 中有 a, b, c 三个基本参量,先把 μ 中的同一度 a 转换成两个集合的联系角 ($\alpha = (1-a) \times 180^\circ$),再考虑 $j = -1, i$ 在 $[-1, 1]$ 区间取值时, b 与 c 对 a 的影响,考察在这种情况下联系角以及整个集合模型的变化情况,在此基础上作进一步的分析研究^[8].一般地,施工系统输出只有两种可能:合格与不合格,于是可以取 $i = 0, j = -1$.

根据集合几何模型法基本思路,两个联系角的和小于 180° ,它们就可以按照两个衔接标段的施工系统

输出的折算单位长度组成三角形,认为它们处于稳定状态,反之就不稳定.因此,可以利用集对理论的几何模型法来判断施工系统的稳定状态.当考虑第 $i-1$ 标段与第 i 标段的啮合稳定性, $\Delta Y_i^Q\%$, $\Delta Y_i^S\%$, $\Delta Y_i^I\%$, $\Delta Y_i^D\%$ 分别代表第 i 标段施工输出的质量、安全、投资和工期百分率协调差,于是,第 i 标段施工输出的总协调差为:

$$\Delta Y_i^T\% = \Delta Y_i^Q\% + \Delta Y_i^S\% + \Delta Y_i^I\% + \Delta Y_i^D\% \quad (8)$$

同理,第 $i-1$ 标段施工输出的总协调差为:

$$\Delta Y_{i-1}^T\% = \Delta Y_{i-1}^Q\% + \Delta Y_{i-1}^S\% + \Delta Y_{i-1}^I\% + \Delta Y_{i-1}^D\% \quad (9)$$

把第 i 标段施工输出和第 $i-1$ 标段施工输出看成两个集合——一个集对,则它们的同异反联系度为:

$$\begin{cases} \mu_i = (1 - \Delta Y_i^T\%) + \Delta Y_i^T\%j \\ \mu_{i-1} = (1 - \Delta Y_{i-1}^T\%) + \Delta Y_{i-1}^T\%j \end{cases} \quad (10)$$

计算得它们的联系角为

$$\begin{cases} \alpha_i = \Delta Y_i^T\% \times 180^\circ \\ \alpha_{i-1} = \Delta Y_{i-1}^T\% \times 180^\circ \end{cases} \quad (11)$$

当 $\alpha_i + \alpha_{i-1} \leq 180^\circ$, 第 $i-1$ 标段与第 i 标段的协调差不会使施工系统失去稳定性;当 $\alpha_i + \alpha_{i-1} > 180^\circ$, 第 $i-1$ 标段与第 i 标段的协调差会使施工系统失去稳定性.

3 工程算例

十堰鄂坪水利枢纽位于湖北竹溪县境内,水库总库容 2.96 亿 m^3 ,装机容量 $2 \times 38 \text{ MW}$. 其面板堆石坝工程划分为 3 个衔接标段:坝基处理、坝体回填和面板浇筑.经统计,3 个标段过程控制指标见表 1.

表 1 某面板堆石坝工程过程控制指标

Tab. 1 Process control index of one CFRD project

标段	控制指标				协调差
	$1 - \Delta Y_i^Q\%$	$1 - \Delta Y_i^S\%$	$1 - \Delta Y_i^I\%$	$1 - \Delta Y_i^D\%$	
坝基处理	100%	95.6%	80.5%	85.7%	2.3%
坝体回填	100%	97.5%	83.6%	87.5%	6.1%
面板浇筑	95.5%	98.5%	92.5%	88.6%	3.5%

注:重叠影响协调差不累加入下一衔接标段的协调差;非重叠影响协调差直接累加至下一衔接标段的协调差.

由(9)式得 $\Delta Y_1^T\% = 38.4\%$, $\Delta Y_2^T\% = 38.0\%$, 由(11)式得 $\alpha_1 = 69.12^\circ$, $\alpha_2 = 68.4^\circ$, 于是有 $\alpha_1 + \alpha_2 = 137.52^\circ < 180^\circ$. 据此,可认为当坝体回填完成时工程施工系统综合指标 $\Delta Y_i^T\%$ (包括质量、安全、投资和进度)能构成一个稳定的系统.同理可得其余标段的施工系统稳定分析结果(见表 2).

计算结果表明,当施工进行到坝体回填时,项目管理能保持施工系统处于稳定状态.但是, $\alpha_1 + \alpha_2$ 值较大,下一标段面板浇筑的控制偏差余地较小,所以要严格控制协调差,特别要注意重叠影响协调差的控制.而重叠影响协调差的主要因素是施工单位的自控能力,故须施工单位加强施工管理.

表 2 协调差啮合稳定性分析

Tab. 2 Stability analysis of bidding poor coordination of the meshing

项目	$\Delta Y_i^T\%$	α_i	$\alpha_i + \alpha_{i-1}$	稳定性判断
坝基处理	38.4%	69.12°	69.12°	稳定
坝体回填	38.0%	68.4°	137.52°	稳定
面板浇筑	26.4%	45.2°	113.6°	稳定

4 结 语

应用协调差啮合原理和集对理论对施工系统稳定性进行分析,可以揭示施工系统中子系统的内在联系,

并能判断施工系统的投入产出是否处于稳定状态. 施工系统可以是多个标段组成的系统,也可以是按项目划分(比如水电工程项目划分为单项工程、单位工程、分部工程、单元工程等)组成的系统. 如果按项目划分组成的施工系统,可以统计各单位层次项目的进度、安全、投资、质量等指标,然后进行集结,再通过各层次的项目协调差计算,判定系统的稳定性.

参 考 文 献:

- [1] 侯作民. 水利水电工程标段划分的原则[J]. 科技情报开发与经济, 2003, 13(4): 203-204. (HOU Zuo-min. The principles of the division of the tender sections of water-conservancy and water-power engineering[J]. **Sci-Tech Information Development & Economy**, 2003, 13(4): 203-204. (in Chinese))
- [2] 李均亮. 合理划分公路工程施工标段[J]. 辽宁交通科技, 2004, (12): 42-43. (LI Jun-liang. Reasonable division of highway engineering construction contract section[J]. **Liaoning Communication Science & Technology**, 2004, (12): 42-43. (in Chinese))
- [3] 肖文, 林鑫亮. 城市生活垃圾填埋场施工标段划分[J]. 中国环保产业 CEPI, 2004, (专题): 16-20. (XIAO Wen, LIN Xin-liang. Demarcation of construction standard stage in hygienic landfills for municipal domestic refuse[J]. **China Environmental Protection Industry CEPI**, 2004, (Special): 16-20. (in Chinese))
- [4] 张利荣. 建设工程标段划分研究[J]. 水利水电技术, 2006, 37(7): 82-84. (ZHANG Li-rong. Study on dividing bid-sections of construction project[J]. **Water Resources and Hydropower Engineering**, 2006, 37(7): 82-84. (in Chinese))
- [5] 刘玲, 范智杰. 对合理工期、合理标价及合理标段的探讨[J]. 交通科技与经济, 2001, 3(4): 32-35. (LIU Ling, FAN Zhi-jie. Discussing the reasonable time limit for a project, marked price and marked road section[J]. **Technology & Economy in Areas of Communications**, 2001, 3(4): 32-35. (in Chinese))
- [6] 姚德民, 李汉铃. 系统工程实用教程[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1997. (YAO De-min, LI Han-ling. Applied System Engineering Teaching Material[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1997. (in Chinese))
- [7] ZHAO Ke-qing. Set Pair Analysis and Its Primary Application[M]. Hanzhou: Zhejiang Science Press, 2000.
- [8] 邵金花, 刘贤赵. 基于集对分析的区域水资源开发利用综合评价[J]. 中国农村水利水电, 2006, (10): 17-23. (SHAO Jin-hua, LIU Xian-zhao. Comprehensive evaluation of regional water resources development and utilization based on set pair analysis[J]. **China Rural Water and Hydropower**, 2006, 10: 17-23. (in Chinese))

Analysis of construction system stability of bidding poor coordination of the meshing based on set pairs analysis

JIN Liang-hai^{1,2}, LIANG Chuan¹

(1. College of Water Resources & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. College of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400071, China)

Abstract: Project manager often confronts the controlling problem of link-bidding in multi-bidding. When construction management's output and input can not be in mesh, the construction management system will lose stability. Considering the problem of control of link-bidding in construction project management, this paper analyses the principle of link-bidding poor coordination of the process of meshing according to inner and outer deviation, figures out the index of construction control based on set pairs analysis, and evaluates the stability of construction system. Scientific decision-making gist can be provided for the manager of construction.

Key words: link-bidding; principle of poor coordination of the process of meshing; set pairs; system of construction; stability