

# 基于系统可靠性的工程质量量化研究

蒋红妍, 杨 森, 曹一鹏

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 随着信息技术的发展及其在项目管理中的广泛应用, 工程各项目标的量化这项基础工作尤为重要, 其中工程质量目标的量化更值得关注. 在分析施工质量量化已有研究的基础上, 考虑了项目进展中实际存在的“学生综合症”现象, 提出了单项工作质量水平的量化指数; 进而根据工作网络系统可靠性理论, 建立了工程项目质量水平的客观衡量方法, 克服了工作权重系数确定的主观性; 最后, 结合一个工程项目实例验证了此方法的有效性与实用性.

**关键词:** 工程质量; 量化; 学生综合症; 系统可靠性; 质量水平指数

**中图分类号:** TU311.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2014)01-0034-04

工程项目质量是一个综合性的概念, 它不同于一般工业产品的质量, 具有非连续性、分散性、流动性、生产过程综合性强、涉及面广、影响因素多等特点, 对工程质量量化是质量管理的重要环节. 影响工程质量量化的因素是多方面的, 然而, 管理者经常忽略“学生综合症”这一现象对工程质量的影响.

“学生综合症”是指在日常生活和工作中存在这样如下现象: 人们在完成一件事时, 通常会比预期时间长, 或者总是在最后时限到期时才匆匆完成<sup>[1]</sup>. 传统的工程项目管理在处理多种并行工作活动时, 总是依据“尽早开始”原则; 但是提前开工只是提前占用大量资源, 并非可以提前完成工作. 事实上, 在工程项目的进展过程中, “学生综合症”是客观存在着: 工程管理人员在估算工作持续时间时, 总会自觉或不自觉的留有一部分安全裕量; 与此同时, 在处理多种并行工作活动时, 总是采用“尽晚开始”的原则, 总是拖延到能够允许最迟完成的期限, 最后为了赶工期而匆匆完成工程项目, 往往工程质量受到严重影响.

工程项目施工包含一系列相互关联、相互制约的工作, 工作质量是直接影响工程项目整体质量的基础. 一项工作的质量与其持续时间长短有密切关系. 一般认为, 如果工作持续时间过短, 工作质量不易得到保证; 而随着工作持续时间的延长, 工作质量水平会有一定的提高. 同时, 在项目管理实例中还存在着如下现象: 越是工期急迫、条件艰难的项目, 反而越是能按时完成; 越是工期宽松的项目, 通常却很少提前完成. 这恰是由于在项目中存在大量的隐藏裕量, 因此很容易出现“学生综合症”, 并由此导致工作拖拉、成本浪费、质量低下等问题.

本文针对工程施工质量量化已有研究的不足, 基于项目进展中实际存在的“学生综合症”现象, 提出了单项工作质量水平的量化指数; 以此为基础, 根据工作网络系统可靠性理论, 建立了工程项目质量水平的衡量方法.

## 1 传统质量量化方法及其分析

现阶段关于项目质量水平的已见报道研究中, 阮宏博<sup>[2]</sup>指出不同的资源使用模式会对工程质量产生影响, 但并未对质量的量化提出具体方法; 周艳<sup>[3]</sup>认为工程质量与具体工作的施工组织方式有关, 并用专家估计法对不同组织方式下的工程质量进行了评分, 但这种量化方法过于依赖专家的经验 and 主观判断; 高明<sup>[4]</sup>用质量满意度概念来对质量进行量化, 用灰数来表示质量满意度的模糊性; 刘晓峰、陈通<sup>[5]</sup>在原有相似工程的数据上, 通过利用 SPSS 软件对工程质量进行了回归分析, 建立了工程质量对工程成本和工期的方程, 但也只是一种宏观的判断; Badu 和 Sursh<sup>[6]</sup>采用 0-1 之间的连续数值来表示工程项目中某项工作的完成质量, 整个工程的质量则是各项工作质量水平的函数; El-Rayes<sup>[7]</sup>提出了根据工作对项目整体质量的影响程度设定质量因子, 并运用函数来解决质量的量化, 但人的主观因素较多, 量化函数不够理想.

由上述文献中易知, 工程质量水平尚未有理想的衡量尺度及标准. 实践中多是依靠管理者经验来判断, 不可避免地存在着人为主观因素, 无法保证工程质量目标的客观评定. 因此有必要建立一套有效的质量水平衡量体系, 以更好地反映工程真实的质量水平.

## 2 基于工作网络系统可靠性的工程项目的质量水平指数

### 2.1 学生综合症对工程项目质量的影响

在教学活动中存在着这样一种现象:当教师布置某项作业时,正常情况下一周时间即可完成,但可能会要求学生最迟不超过 10 d 完成该项作业,即在时间估算时,通常会增加一个隐藏裕量,或称为安全裕量。

传统的项目管理方法总是根据“尽早开始”的原则安排工作计划,希望提前开始工作;但提前开始工作并非一定能保证提前完成工作,“尽早开始”与“尽早完工”之间并无确定的因果关系。事实上,一项工作开始时,操作者的工作热情和注意力通常比较集中,并呈上升趋势;但随着时间进展,达到一定峰值后将趋于平缓。可见适当的工作持续时间对项目的质量水平有着重大影响。所以在制定项目进度计划时,充分估算每个工作最恰当的持续时间,从而消除出现“学生综合症”的条件,提高项目的效率和质量。同时,为避免“学生综合症”对工程项目质量的影响,可通过建立绩效管理系统、严格绩效考核机制及薪酬奖励机制等,从制度保障方面来限制“学生综合症”这一不良现象的产生,有助于提高工程项目质量水平。

### 2.2 单项工作的质量水平指数

工程项目的质量取决于一系列相互关联、相互制约的工作的质量,工作质量直接影响着工程项目的整体质量。而在工作投入中,只有人力资源是一种主动性的因素<sup>[10]</sup>。美国组织行为学家坎贝尔认为:个人绩效是由个体行为的工作积极性和工作能力所决定,而工作积极性是由个体行为的方向、幅度和持续期决定的心理过程,这一过程受来自于个体内部的力量及作用于个体的外部力量的综合影响。可见,在能力一定的情况下,工作积极性水平的高低是工人个人绩效的决定因素。受到激励的工人能更充分地使用原材料和设备,通过更有效的工作过程,得到更好更多的满足顾客需要的工作产出。假设每个工人的工作能力相同,则工人工作的持续期是个人绩效的一个关键因素,而工人的个人绩效直接体现在工作质量水平上。因此,工作业持续时间是工作质量水平的一个关键因素。

工作持续时间是指一个工作从施工开始到完成所需要的作业时间,而合理的工作持续时间是确保工程进度计划顺利实施的基础。一般工作质量与作业时间之间呈凸曲线<sup>[8,9]</sup>关系。当工程项目的进度要求紧迫时,工程质量不易得到保证;当进度要求宽松时,工程质量水平就较高。在正常情况下,适当压缩工期,对工程质量影响较小,质量水平下降较慢,而当工期压缩较多时,对工程质量影响较大,质量下降较快。但是由于“学生综合症”等现象的存在,工程质量不会随着工期的增长无限提升,当增加到一定值以后,反而会下降。即在“学生综合症”的影响下,根据西方经济学中的边际效用递减规律<sup>[11]</sup>:随着作业时间的持续,工人作用于工作质量水平上的边际效用逐渐减小。工作质量与作业时间之间的曲线斜率逐渐减小,与自然对数函数图像基本一致。根据以上分析可建立工作质量水平-作业时间的关系图,如图 1 所示。

定义:工作质量水平  $Q_i$  是指工作产品的“一组固有特性满足要求的程度”<sup>[9]</sup>,用 0~1 的连续数值来表征,质量水平越接近 0 表示质量水平越低,越接近 1 表示质量水平越高。

设某项工作的作业时间为  $t_i$ 。随着工作时间的波动,该工作质量水平  $q_i$  在最长工作持续时间  $t_{il}$  对应的工作质量的基础上降低(假设在最长持续时间情况下工作质量水平为 1)。

图中  $Q_{is}$  表示工作最短持续时间对应的工作质量水平,  $Q_{il}$  表示工作最长持续时间对应的工作质量水平。

根据工作质量水平-作业时间关系图建立关系模型:

$$Q_i = \ln(a_i t_i + b_i) \quad t_{is} \leq t_i \leq t_{il} \quad (1)$$

式中:  $a_i = (e - e^{q_{il}})/(t_{il} - t_{is})$ ,  $b_i = (e^{q_{il}} \times t_{il} - e \times t_{is})/(t_{il} - t_{is})$ ;  $q_i$  为工作  $i$  的质量水平;  $e$  为自然常数;  $t_{is}$  为工作最短持续时间;  $t_{il}$  为工作最长持续时间。

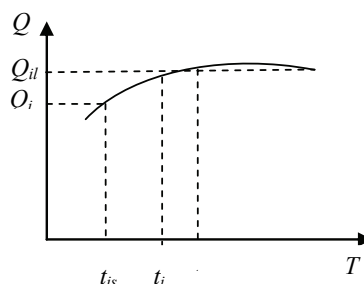


图1 工作质量水平-作业时间关系图  
Fig.1 Activity quality levels vs. time graph

2.3 基于工作网络系统可靠性的工程项目的质量水平

整个工程项目的质量水平  $Q$  取决于各工作的质量水平  $Q_i$ 。根据工作网络系统可靠性理论, 工程项目的质量水平  $Q$  可以由工作  $i$  的质量水平指数  $Q_i$ , 参照混连系统可靠性算法得到, 即将其定义为如下的网络可靠性算法:

$$Q = \prod_{i=0}^n Q_i \tag{2}$$

式中:  $Q$  为工程项目质量水平;  $Q_i$  为工作  $i$  的质量水平指数。对于各网络节点  $i$ , 有如下网络参数:

设  $Q_j^{in}$  表示工作  $i$  的第  $j$  个紧前工作的质量水平指数, 则工作  $i$  的网络输出质量水平指数为:

$$Q_i^{out} = [1 - \prod_{j=1}^n (1 - Q_j^{in})] \times Q_i \tag{3}$$

式中:  $Q_j^{in}$  为工作  $i$  的第  $j$  个紧前工作质量水平指数;  $Q_j^{out}$  为工作  $i$  的紧后工作质量水平指数;  $i=1, Q_i^{in}=0$ 。

对于整个网络, 初始输入的质量水平指数  $Q_o^{in}$  即为  $Q_o^{in}$ , 而输出的就是整个网络的质量水平指数, 即

$$Q = \prod_{i=0}^n Q_i = Q_n^{out} \quad Q_i \in [0,1] \tag{4}$$

式中:  $Q_n^{out}$  为工作  $n$  的紧后工作的质量水平指数。

3 算例

案例项目共包括 8 项工作, 各项工作的逻辑关系如图 3 所示。项目管理要求质量水平应为 0.7。表 1 为各项工作的相关参数与数据。

表 1 中  $t_{is}$ ,  $t_i$ ,  $t_{il}$  通过分包商的投标报价得到的,  $q_{il}$  则考虑同类工程的历史经验数据, 根据专家打分法得到 (假设各工作在正常持续时间  $t_i$  下完工的质量水平指数为 1)。根据公式 (1) 和表 1 中的数据求得单项工作的质量水平, 如表 2。

表 1 各工作的相关参数与数据

Tab.1 The relevant parameters and data of the work

| 工作 | $t_{is}/d$ | $t_i/d$ | $t_{il}/d$ | $q_{il}$ |
|----|------------|---------|------------|----------|
| A  | 23         | 30      | 34         | 0.923 3  |
| B  | 21         | 28      | 31         | 0.913 3  |
| C  | 20         | 26      | 33         | 0.915 6  |
| D  | 15         | 22      | 29         | 0.888 9  |
| E  | 16         | 21      | 27         | 0.870 0  |
| F  | 22         | 28      | 35         | 0.903 3  |
| G  | 21         | 21      | 28         | 0.898 9  |
| H  | 25         | 25      | 30         | 0.878 9  |

表 2 各工作的质量水平

Tab.2 The quality level of the activity

| 工作 | $t_{is}/d$ | $t_i/d$ | $t_{il}/d$ | $q_{il}$ | $a_i$   | $b_i$   | $Q_i$   |
|----|------------|---------|------------|----------|---------|---------|---------|
| A  | 23         | 30      | 34         | 0.923 3  | 0.007 3 | 2.097 9 | 0.840 2 |
| B  | 21         | 28      | 31         | 0.913 3  | 0.008 3 | 2.018 5 | 0.811 3 |
| C  | 20         | 26      | 33         | 0.915 6  | 0.006 3 | 2.159 8 | 0.843 1 |
| D  | 15         | 22      | 29         | 0.888 9  | 0.006 3 | 2.126 2 | 0.817 4 |
| E  | 16         | 21      | 27         | 0.870 0  | 0.008 4 | 1.904 9 | 0.733 0 |
| F  | 22         | 28      | 35         | 0.903 3  | 0.006 5 | 2.043 7 | 0.800 1 |
| G  | 21         | 21      | 28         | 0.898 9  | 0.012 2 | 1.672 8 | 0.657 0 |
| H  | 25         | 25      | 30         | 0.878 9  | 0.017 9 | 0.858 1 | 0.266 7 |

利用表 2 中的数据和公式 (3):  $Q_i^{out} = [1 - \prod_{j=1}^n (1 - Q_j^{in})] Q_i$ , 求得该项目的工程质量水平为 0.807 9,

表明该工程项目的质量水平符合项目要求。

可以看到, 在计算过程中, 只需知道各工作在最长作业持续时间下的质量水平, 即可计算出项目的整体质量水平; 避免了确定各工作权重系数这项主观性较强的工作, 在实践中更为快捷、方便、准确, 且更具有实用性。

4 结语

本文根据项目进展中实际存在的“学生综合症”现象, 提出了单项工作质量水平的量化指数, 并基于工作网络系统可靠性理论, 建立了工程项目质量水平的衡量方法。该法对单项工作质量水平指数, 考虑“学

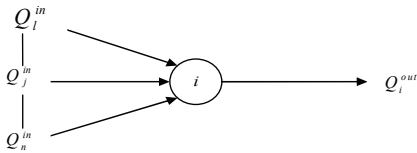


图 2 网络质量水平指数计算示意图  
Fig.2 The calculation graph of the index of the network quality level

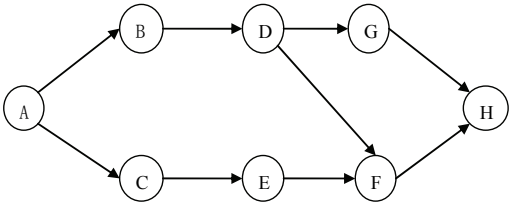


图 3 某工程项目的单代号网络计划图  
Fig.3 Activity-on-node network of a project

生综合症”的影响以及边际效用递减规律,以自然对数函数给出工作质量水平-作业持续时间关系图,比以往的线性函数更加贴合工程实际;进而基于工作网络系统可靠性理论计算整个工程项目的质量水平,无需确定每个节点对整个网络的重要性系数即加权系数,避免了专家经验的主观内容,更为自然且准确;并结合实例验证了模型的有效性与合理性。

工程项目质量水平受到各方面因素的综合影响,但文中仅着重考虑了“学生综合症”这一因素;在计算工作质量水平指数时,除了当前项目数据外,同类项目的历史经验数据更为重要。以上两方面,有待于今后深入研究,使该方法得到进一步的完善。

## 参考文献 References

- [1] 周 严. 如何消除项目中的“学生综合症”[J]. 项目管理技术, 2008, (S1): 208-210.  
ZHOU Yan. How to eliminate the project "Student Syndrome"[J]. Project Management Technology, 2008, (S1): 208-210.
- [2] 杨荣光. 建筑工程项目质量管理分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.  
YANG Rongguang. Construction Project Quality Management Analysis[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2013.
- [3] 沈祥, 钟波涛, 骆汉宾. 建筑工程质量综合评价与信息化平台研究[J]. 土木建筑工程信息技术. 2013, (01): 27-32.  
SHEN Xiang, ZHONG BoTao, LUO HanBin. Construction Quality Assessment and Comprehensive Information Platform[J]. Civil Engineering IT, 2013, (01) :27-32
- [4] 高明. 基于遗传算法的工程项目多目标管理定量分析模型[D]. 天津: 天津大学, 2007.  
GAO Ming. A Quantitative Multi-Objective Management Model Based on Genetic Algorithms in Construction Project[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [5] 刘晓峰, 陈通, 张连营. 基于微粒群算法的工程项目质量、费用和工期综合优化[J]. 土木工程学报, 2006, 39(10):122-126.  
LIU Xiaofeng, CHEN Tong, ZHANG Lianying. Application of PSO to Multiple-objective project optimization[J]. China Civil Engineering Journal, 2006, 39(10):122-126.
- [6] BADU TAWIAH Abraham K, JOBIN Cyriac, GRAHAM Cooks R. Reactions of organic ions at ambient surfaces in a solvent - free environment [ J ]. Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 2012, 23 (5) : 842-849.
- [7] KHALED El-Rayes, KANDIL Amr. Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction[J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 2005, 131(4): 477 - 486.
- [8] ZHAO Rui, LIU Xiaojun. Study on multiple objective optimization method in construction project management[C]//Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007. International Conference on. IEEE, 2007: 5312-5315.
- [9] 赵瑞, 刘晓君, 申金山. 建设项目多目标优化方法研究[J]. 西安建筑科技大学:自然科学版, 2008, 40(6):858-862.  
ZHAO Rui, LIU Xiao-jun, SHEN Jin-shan. Study the Multiple-Objective Method of Construction Project[J]. Xi'an Univ of Arch & Tech: Nature Science Edition, 2008, 40(6):858-862.
- [10] 成思危. 组织行为学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.5  
CHENG Siwei. Organizational Behavior[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.5
- [11] 高鸿业. 西方经济学(微观部分)[M]. 北京: 中国人民大学出版社. 2000:123-146  
GAO Hongye. Western Economics (microscopic section)[M]. Beijing: China Renmin University Press. 2000:123-146.
- [12] 刘雪峰. 建设工程现场施工监理质量控制标准化研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.  
LIU Xuefeng. Study on Standardization of Construction Supervision Quality Control Of Construction Works On Site[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2013.

## Quantitative study on of construction quality based on the system reliability

JIANG Hongyan, YANG Sen, CAO Yipeng

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** For the current development of information technology and its wide application in project management, the quantification of each goal of project is particularly important, especially for the quality goal. In this paper, the deficiency of the existing researches on quantification of the project quality construction is analyzed. Based on the actual existence "student syndrome" phenomenon in the construction project implementation, a quantization index of single activity quality standard is put forward. Then, according to the activity network system reliability theory, a project quality standard measurement is set up, to overcome the subjectivity work of determining the weight coefficient. Finally, the method is exemplified in a case study and the result verifies its feasibility and effectiveness.

**Key words:** Project Quality; quantify; student syndrome; system reliability; quality standard index

(本文编辑: 吴海西)