

施工项目资金流的逐时段逆向调节演算模型

晋良海^{1,2}, 李佳忻^{1,2}, 罗兆英^{1,2}

(1. 三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002;
2. 水电工程施工与管理湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 由于施工项目资金供给量具有时变特征, 针对如何确定供需平衡点问题, 引入资金供给量、资金需求量、资金存储量等概念, 提出一种逐时段逆向调节演算模型。根据资金系统初始状态的临界条件调整论域, 从最末时段逆向推求各时段资金供给量与资金存储量, 考虑施工项目的人、材、机施工计划以及施工单位的支付意愿, 实现资金供给过程优化的目标, 开发施工项目资金流的逆向调节演算算法。实例表明, 通过本模型调节后的资金供给量峰值显著降低, 峰值出现时间点可以根据决策准则提前或后移, 可以实时量化对比资金需求量与资金供给量差异, 研究成果能为项目资金流计划、控制、调整优化等管理决策活动提供参考依据。

关键词: 资金流; 供需曲线; 时间价值; 逆向调节演算

中图分类号: TV9 文献标识码: A 文章编号: 1674-4969(2018)06-0583-09

引言

施工项目管理是将人、材、机投入到工序中, 以形成工程实体, 通过资金流动来实现价值增值。寻求合理的、较优的资金流控制运用方式, 优化资金库调蓄方案, 是项目资金调度的关键问题。当资金流入量超过资金流出量时, 将部分资金暂时存储起来, 待资金流出需求增大时再逐渐投入使用。入库资金经资金库调蓄后, 其流量的变化情况与资金库特性、资金使用方式、施工进度计划以及资金保证标准等有关, 导致资金供需平衡点难以确定。

工程施工项目资金流的控制与优化引起了相关学者的普遍关注。在考虑时间对非关键路径造成的干扰下, 朱南海等^[1]利用 PRC 网络, 融合资

金流与工期风险, 以消除或减轻由于非关键活动的不确定性引起的项目完工风险; 李果等^[2]采用回归分析测试从三峡工程中选取多个单位工程的 S 曲线, 提出了适用范围广、计算精度高的 S 曲线模型; 刘东海等^[3]建立了耦合投资-工期风险目标的进度综合优化模型; Chao L C.等^[4]认为将神经网络模型的初步估计和后续估计组合, 可以在项目开始或中间产生准确的 S 曲线, 用于基于计划的施工期间项目控制; Kun-Chi Wang 等^[5]使用三维建筑信息模型 (Building Information Modeling, BIM), 将 BIM 采集处理的大量数据整合到 S 曲线, 从而达到控制成本的目的; Pajares J.等^[6]结合赢得值法 (EVM) 和项目风险管理控制和监测, 提出了一种用于描述成本控制指数和计划控

收稿日期: 2018-06-06; 修回日期: 2018-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51878385); 水电工程施工与管理湖北省重点实验室(三峡大学)开放基金资助(2016KSD13); 教育部产学合作协同育人项目(201702145002)

作者简介: 晋良海(1973-), 男, 博士, 副教授, 主要从事安全工效学、建设项目运筹研究。E-mail: 16405495@qq.com

李佳忻(1995-), 男, 硕士, 研究方向: 工程管理。E-mail: lijiaxin@ctgu.edu.cn

制指数的新指标;为改进和完善挣值分析法,乔立红等^[7]将挣值分析法应用于项目费用与进度综合监测过程中,改善了以往在项目管理中的单因素监控方面的不足,同时在项目成本成分中增加了质量成本因素;Alexander Maravas等^[8]提出了一种包含模糊持续时间和成本项目的现金流量计算方法。

尽管在资金流优化与控制方面已有诸多研究成果,但资金流优化与控制效果并不理想,且大多研究求取确定性最优解^[9-12],无法解决资金供需平衡的问题。于是,本文通过对资金流逐时段调节演算,考虑资金的时间价值,从最末时段向最初时段推求各个时段的资金供给量与资金需求量,调整资金投入时间与数量,实现施工项目资金流逐时段逆向调节优化,对施工项目资金的优化配置具有一定的参考价值。

1 施工项目资金流内涵

施工项目开工前,需要编制包含以货币形式表现的生产费用、成本水平、成本降低率等指标的成本计划。以施工项目组织设计为依据,以项目经理责任目标为出发点,以企业内部定额为依据编制而成的实施性施工成本计划,需要考虑项目的结算方式^[13]。

在施工项目中,工程结算一般分为工程定期结算、工程阶段结算、工程年终结算、工程竣工结算。在建设单位进行结算之前,施工单位用于工程施工的资金需由施工单位垫付,即在工程结算之前,资金压力由施工方承担。

1.1 施工项目资金流基本定义

项目资金流的优化需要考虑资金流出结构问题。根据项目进度计划,可以确定劳动力、材料、设备需求计划,据此可以绘制施工项目资金流出曲线。资金流出曲线可以假设为不变曲线,优化施工项目资金流则只需考虑资金流入曲线。按照实际施工项目中的资金流动情况,将资金需求量、资金供给量、资金存储量定义如下。

定义 1: 施工计划拟定的各时段购买建筑材料、租赁施工设备、运输费用以及工作人员劳务费等各项支出所需的费用之和,称为计划资金需求量,用 CO 表示。

定义 2: 各时段通过收入工程款、公司借款、银行贷款等途径所得到的收入之和,称为资金供给量,用 CI 表示。

定义 3: 各时段资金收入与支出结算后,时段末项目所剩余的资金,称为资金存储量,用 CS 表示。

1.2 项目资金流的过程曲线特点

根据施工进度计划编制施工预算,工程中常用时间-成本累计曲线(S型曲线)表示。S型曲线是按照对应时间点给出的累计成本、工时等指标生成的图形^[14]。根据工程建设过程的一般规律,在施工项目开始时,需要开展观测、试验、研究、施工准备等工作,所需劳动力、建筑材料和施工机械较少,施工进度比较缓慢,因此前期资金需求量较少;随着施工高峰期的到来,需要大量的劳动力、建筑材料和施工机械,施工强度较高,各项费用需求量较大,导致中期资金需求量较大;在施工项目后期,建设速度又逐渐降低,劳动力、建筑材料和施工机械使用量逐渐减小,尤其在水电工程施工项目中,建设后期部分工程投产,提前收益,使得在施工后期资金需求量减小^[15]。所以,S型曲线呈现出首尾较平缓、中期较陡的形状,资金需求曲线则呈钟形分布。

根据项目资金流的过程特点,学者们提出了多种S曲线的方程形式^[16-18]。例如Kenley提出的Logit模型为累计资金流出(也即累计投资额)关于时间的S曲线方程,它既表示了工作的时间进度,又表示了投资完成量。同时,该模型能够模拟各种S曲线形态,并且可以方便地转换为线性方程。

2 逐时段调节演算模型及算法

2.1 模型构建

施工项目中存在诸多风险因素^[19-21],为降低

资金流风险, 对于工程施工项目资金供给量, 建立动态调节演算模型, 可以得到资金供给优化方案。以资金需求量、资金的时间价值和资金供给与资金存储量的差额水平为约束条件, 以资金流入曲线为优化目的, 建立资金流调节演算模型。

计划资金需求量 CO 、资金供给量 CI 和资金存储量 CS 存在以下关系:

$$CS_t = CS_{t-1} + CI_t - CO_t \quad (1)$$

称方程 (1) 为资金流平衡方程, t 为施工时段序号, $t=1,2,3, \dots$, 资金流平衡示意图见图 1。

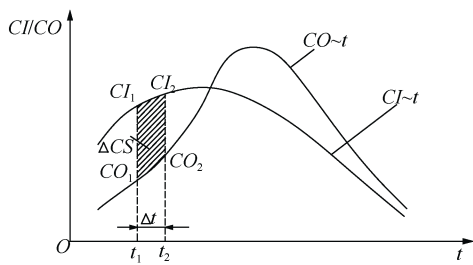


图 1 资金流平衡示意图

注: $\Delta CS = CS_{t1} - CS_{t2}$

由于工程项目时间跨度较大, 实际资金供给需考虑资金的时间价值, 即资金随着时间的推移而发生增值, 计算时段 Δt 的长短按施工预算资金变化程度而定, Δt 时段内资金的时间价值率为 i , 则此时资金流平衡方程为:

$$CS_n = CS_{n-1} \cdot (i+1) + CI_n - CO_n \quad (2)$$

称方程 (2) 为动态资金流平衡方程, t 为施工时段序号, $t=1,2,3, \dots$ 。

资金存储量为:

$$CS = f(a, b, c, CO, CA) \quad (3)$$

式中: a 为人力预算金额; b 为建筑材料预算金额; c 为施工机械预算金额; CA 为资金支付意愿。

资金流供给方程为:

$$\frac{\partial CI}{\partial t} = f(CS) \quad (4)$$

用 Γ 表示论域 Ω 的边界条件, 则在任一论域 Ω 内的 Γ 上均有公式 (3)、公式 (4) 成立。

在资金的调节演算过程中, 初始状态论域为 Ω_0 , 初始状态参量包括资金需求量 CO^0 、资金供给量 CI^0 和资金存储量 CS^0 。从最末时段进行逆向调节演算, 将初始状态参量作为末时段调节演算的边界条件, 逆向推求前面各时段资金需求量、资金供给量、资金存储量。在初始状态参量确定后, 根据初始状态临界条件调整论域为 Ω_1 , 下一演算循环的状态参量为 CO^1 、 CI^1 和 CS^1 。以此类推, 以上一演算循环结果为依据, 设定下一演算循环论域的末时段资金存储量, 直至 $CS^K = CI^K - CO^K$ (其中, K 为演算循环数) 调节演算结束。资金供给方程求解中, 在调节演算时, CO 由施工计划得出, CS^0 初始状态值为 0, 计算时段 Δt , 那么此时在公式 (2) 中有 CS_{n-1} 、 CI_n 两个未知数, 联立公式 (3)、公式 (4), 即可得到全时段 CS 、 CO 、 CI 数据。

2.2 算法实现

算法流程图见图 2。

具体算法如下:

步骤 1: 将工程施工项目划分时段 Δt , 各时

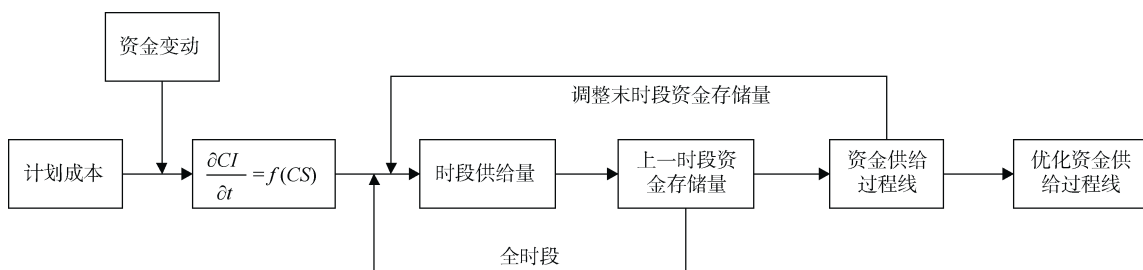


图 2 资金流逆向调节演算逻辑

段长度相同, 根据施工计划确定各时段施工计划成本;

步骤 2: 确定公式 (3) 和公式 (4), 并绘制相应曲线;

步骤 3: 给定初始值, 工程完工时, 资金存储量为 0, 根据资金存储量与资金供给量关系, 确定末时段的资金供给量 CI ;

步骤 4: 根据本时段资金需求量 CO 、资金供给量 CI 、资金存储量 CS , 考虑资金的时间价值, 根据公式 (1) 反推前一时段末资金存储量, 根据公式 (3) 确定本时段资金供给量 CI , 继续反推上一时段资金存储量, 重复以上步骤, 直到反推出所有时段 CI 和 CS ;

步骤 5: 反推得到的最初时段资金供给量与此时段计划资金需求量、资金存储量之和进行比较, 若差值小于预先设定值, 则得到的资金供给曲线为调节演算结果; 反之, 工程完工时, 资金存储量将不为 0, 重新设定末时段资金存储量, 重复步骤 4, 直到最初时段资金供给量与此时段计划资金需求量、资金存储量之和的差值小于预先设定值为止;

步骤 6: 逐时段调节演算结束, 得到资金供给曲线;

步骤 7: 若企业所承接水利工程施工项目数量有所改变, 需调整资金存储量与资金供给量关系后再进行资金调节演算;

步骤 8: 完成所有时段资金调节演算后, 绘制优化资金供给曲线与计划资金需求曲线, 以对比调节演算后的资金供给量与计划资金需求量的差异。

2.3 模型分析

在确定公式 (3) 时, 需要考虑工程规模, 以及人、材、机的计划量等因素。对于公式 (4), 资金存储量随着资金供给量的增加而增加, 且增长速度为单调递增函数。资金流逐时段调节演算模型初始状态值设定为工程完工时资金存储量为 0。经过逆向逐时段的调节演算之后, 对于任意时

段的资金供给量与资金存储量均有公式 (4) 的函数关系成立。

完成所有时段的资金调节演算之后, 可得到优化资金过程线, 并且可与计划资金过程线形成对照。将两条曲线进行对比可发现, 调节演算后的优化资金过程线峰值出现时间提前, 且峰值出现后优化资金供给量总是小于计划资金需求量。

当 a, b, c, CO, CA 中任一要素发生变化时, 原定的公式 (3)、公式 (4) 失去时效性, 不能有效反映施工单位此时的实际状况。对此, 需调整公式 (3)、公式 (4) 函数关系, 重新调节演算各时段资金供给量。当施工单位资金支付意愿增强, 再次调节演算之后的资金过程线较陡。反之亦然。由此可见, 本模型具有动态性。

3 工程案例

糯扎渡水电站位于澜沧江下游普洱市思茅区和澜沧县交界处, 是澜沧江下游水电核心工程。以糯扎渡水电站的 9 条引水道工程项目为对象, 对其资金流进行调节演算。本项目计划工期为 1 年, 各月计划成本见表, 假设建筑材料单价、机械台班费、劳务费等支出价格不随时间改变, 存款月利率为 2.3‰。

表 1 计划成本支出表

月份	计划成本 (万元)
1	305
2	610
3	915
4	1281
5	1830
6	2532
7	2532
8	2196
9	1678
10	1159
11	702
12	305

绘制计划资金需求曲线, 如图 3 所示。

计划成本峰值出现在 6、7 月份, 为 2532 万

元, 折合为现值为 2497.34 万元, 总成本现值为 15802.23 万元。

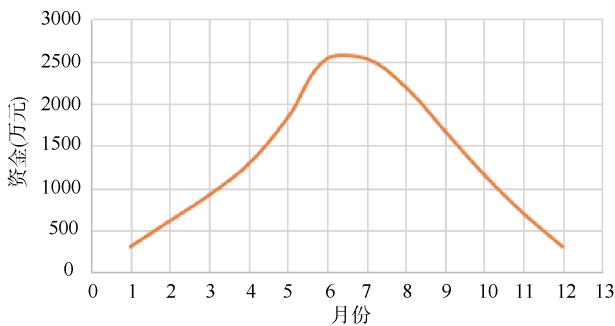


图3 计划资金需求曲线

本工程实例 CI 、 CO 均为离散型变量, 公式 (4) 可简化为 $CI = f(CS)$ 。为保证本施工项目能正常施工, 确定公式 (3) 和 $CI = f(CS)$ 关系曲线, 具体数据关系见表 2。

表2 CI 与 CS 关系

资金存储量 (万元)	资金供给量 (万元)
90	150
240	480
450	820
790	1160
1310	1460
2040	1670
2890	1830
3540	1920

绘制 $CI = f(CS)$ 关系曲线, 如图 4 所示。

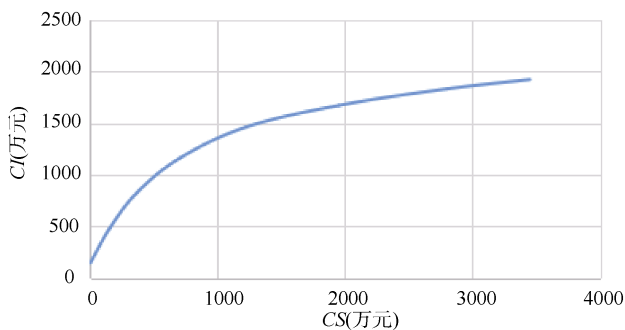


图4 $CI = f(CS)$ 曲线

在 $CI = f(CS)$ 关系曲线中, 资金存储量随着资金供给量的增加而增加, 且资金供给量较小时,

资金存储量增加速度较缓, 资金供给量较大时, 资金存储量增加速度加快。

12 月份末资金存储量初始状态值为 0 万元, 由图 4 可知相应的资金供给量为 90 万元。按公式 (1) 推算 11 月底资金存储量, 考虑资金时间价值, 得到 11 月末资金存储量。根据图 4 可得到 11 月份的资金供给量, 以此类推, 得到各时段的资金供给量与资金存储量。1 月份资金供给量为 1241.00 万元, 资金存储量为 882.67 万元。此时, 1 月资金供给量与资金需求量的差值不等于资金存储量, 需重新设定最末时段资金存储量进行演算。多次演算后确定末时段资金存储量为 100.33 万元。具体调节演算结果见表 3。

表3 资金流调节演算结果表

月份	资金需求量 (万元)	资金供给量 (万元)	资金存储量 (万元)
1	305	1223.30	918.24
2	610	1650.57	1960.81
3	915	1805.48	2855.62
4	1281	1899.93	3480.86
5	1830	1928.17	3586.67
6	2532	1829.22	2892.14
7	2532	1665.22	2032.02
8	2196	1463.85	1304.11
9	1678	1163.77	793.05
10	1159	819.92	455.57
11	702	487.03	242.00
12	305	162.83	100.33

绘制优化资金供给曲线和计划资金需求曲线, 如图 5 所示。

优化后资金供给量峰值出现在 5 月份, 为 1928.17 万元, 折合现值为 1906.15 万元。相对资金需求量峰值现值降低 591.19 万元, 占资金需求量的 23.6%。

项目开工前, 施工单位有一笔资金注入, 施工单位支付意愿大幅提高, 施工单位资金弹性增加, 按公式 (3) \ 公式 (4) 确定的函数关系失去时效性, 需重新拟定 $CI = f(CS)$ 关系曲线进行二次调节演算。

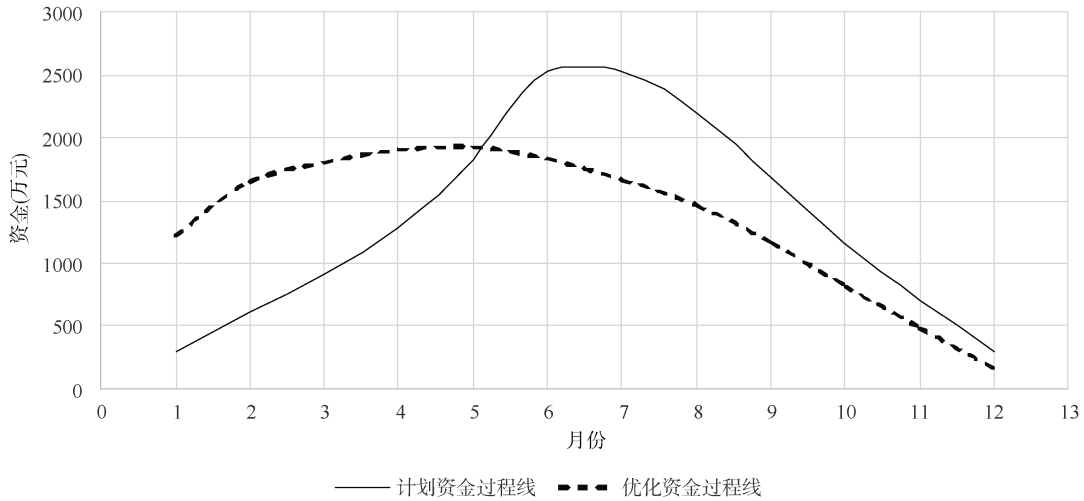


图5 优化资金供给曲线和计划资金需求曲线

具体数据关系见表4。

绘制 $CI = f(CS)$ 关系曲线, 如图6所示。

表4 CI 与 CS 关系

资金存储量 (万元)	资金供给量 (万元)
0	122
100	300
300	600
540	900
850	1220
1280	1520
1800	1830
2500	2130

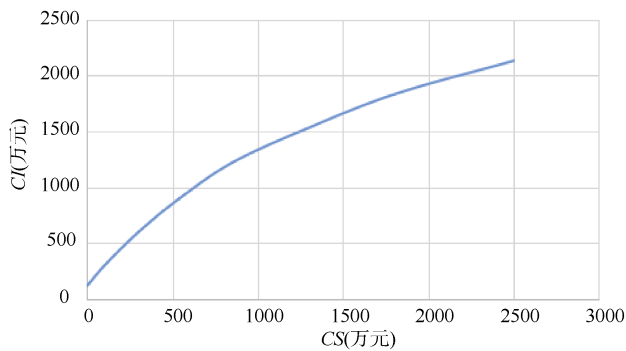


图6 $CI = f(CS)$ 关系曲线

按照第一次调节演算步骤再次进行调节演算, 得到的再次资金流调节演算结果如表5所示。绘制二次优化资金供给曲线和计划资金需求

曲线, 如图7所示。

优化后资金供给量峰值出现在5月份, 为2267.45万元, 折合现值为2241.55万元。相对计划成本峰值现值降低255.79万元。资金总供给现值为15814.02万元, 将两次调节演算得出的资金需求量曲线、优化资金供给曲线以及二次优化资金供给曲线绘制在同一张图上, 见图8。

表5 资金流调节演算结果表

月份	资金需求量 (万元)	资金供给量 (万元)	资金存储量 (万元)
1	305	543.15	238.09
2	610	1197.13	825.65
3	915	1747.99	1660.36
4	1281	2131.77	2514.71
5	1830	2267.47	2957.58
6	2532	2143.59	2575.97
7	2532	1899.36	1949.25
8	2196	1548.58	1305.89
9	1678	1180.61	811.68
10	1159	779.55	433.87
11	702	446.20	179.42
12	305	137.34	12.12

对比两次优化后得到的资金供给曲线, 可得: 一次优化资金过程线峰值相对再次优化资金过程线低335.402万元, 一次优化资金过程线峰值出现之前, 前5个月的总投资现值8445.28万元,

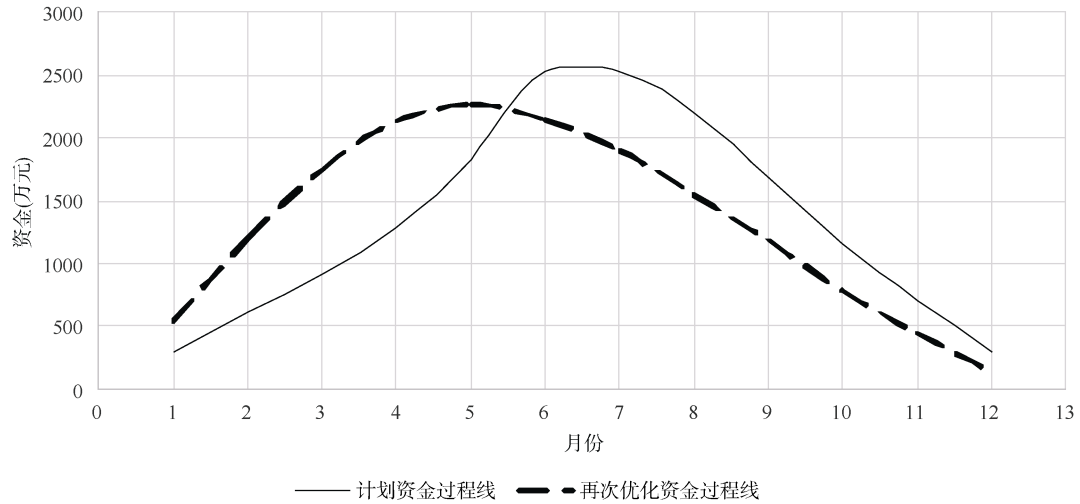


图7 计划资金需求曲线与二次优化资金供给曲线

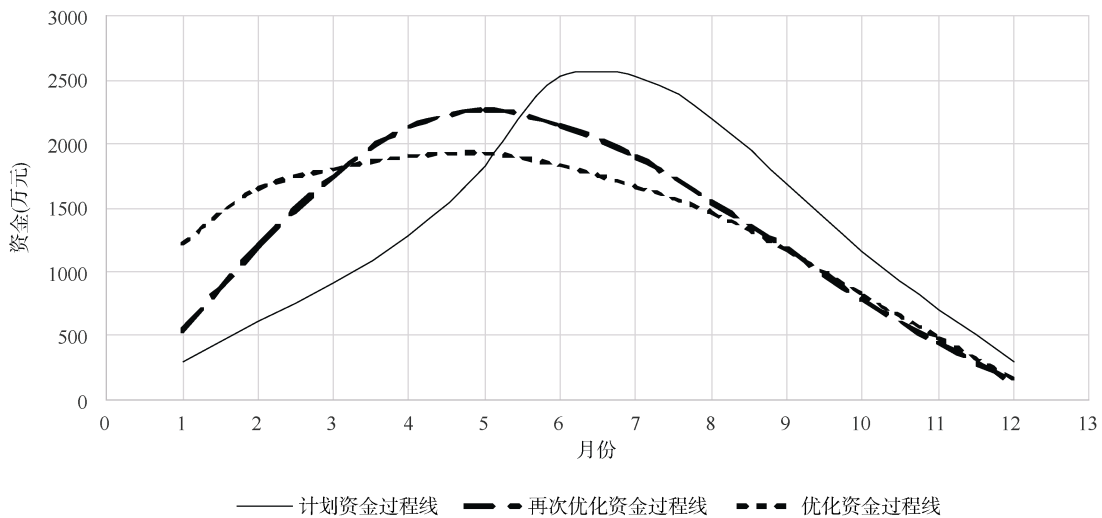


图8 一次优化资金供给曲线、二次优化资金供给曲线与计划资金需求曲线

二次优化资金过程线峰值出现之前,前5个月的总投资现值 7823.37 万元,即二次优化资金过程前5个月投资现值减少 621.91 万元。

二次优化后的资金供给量曲线对资金支付意愿要求较高,相对于一次优化资金供给曲线峰值有所升高,但峰值出现时间推后,前期资金压力小。可知,工程量确定的情况下,施工单位支付意愿较高时,宜选择二次优化的资金供给方案,支付意愿较低时,宜选择一次优化的资金供给方案。

4 结论

对资金需求量、资金供给量、资金存储量进行定义,分析了资金流曲线特点。在此基础上,考虑资金的时间价值,对施工项目资金流进行逐时段逆向调节演算,可得到以下结论。

(1) 在本调节演算模型中,将施工项目划分为不同时段,根据进度计划确定各时段施工成本,设定初始状态参量,根据确定的资金存储方程、资金供给方程以及资金平衡方程,从最末时段逆

向调节演算各时段资金供给量和资金存储量, 以此演算结果为基础, 确定下一演算循环初始参量, 直至所有时段均有资金供给量与资金需求量的差值等于资金存储量。

(2) 通过本调节演算模型推求资金供给量, 能有效降低资金供给量的峰值, 达到“削峰填谷”的作用, 同时使得资金供给量峰值提前出现。当调节演算后的资金供给量曲线出现峰值之后, 资金供给量总是小于资金需求量, 直至完工。建立的资金调节演算模型具有适应条件动态变化的特征: 当施工项目资金情况出现变化时, 适当调整资金存储量与资金供给量关系曲线, 即可继续进行资金的调节演算。值得注意的是, 逐时段调节演算模型存在多个优化方案, 决策者需根据自身情况选择优化方案。

参考文献

- [1] 朱南海, 李素红, 孙锡衡. 最优资金流施工进度计划的风险分析[J]. 系统工程学报, 1999, 14(1): 37-44.
- [2] 李 果, 强茂山. 利用 S 曲线模型分析水利工程资金流[J]. 水力发电学报, 2011, 30(4): 241-245.
- [3] 刘东海, 高兴夫, 潘 瑶. 耦合投资-风险目标的水电工程进度模糊综合优化[J]. 天津大学学报, 2008, 41(9): 1109-1115.
- [4] Li-Chung Chao, Ching-Fa Chien. A Model for Updating Project S-curve by Using Neural Networks and Matching Progress[J]. Automation in Construction, 2010, 19(1): 84-91.
- [5] Kun-Chi Wang, Wei-Chih Wang, Han-Hsiang Wang, et al. Applying building information modeling to integrate schedule and cost for establishing construction progress curves[J]. Automation in Construction, 2016, 72, Part 3: 397-410.
- [6] Javier Pajares, Adolfo López-Paredes. An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index[J]. International Journal of Project Management, 2011, 29(5): 615-621.
- [7] 乔立红, 郭广鑫, 杨志兵. 改进的挣值分析法在型号项目管理过程中的应用[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(01): 33-36.
- [8] Alexander Maravas, John-Paris Pantouvakis. Project cash flow analysis in the presence of uncertainty in activity duration and cost[J]. International Journal of Project-Management, 2012, 30(3): 374-384.
- [9] 倪冠群, 徐寅峰, 许晓雯. 工程项目进度-费用优化的占线风险补偿模型[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(12): 141-146.
- [10] 郭 琦, 黄佳祺, 张 扬, 等. 基于改进 AHP 法的国外水电 EPC 项目风险评估研究[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2017, 9(6).
- [11] 张连营, 岳 岩. 工期-成本-质量的模糊均衡优化及其 Pareto 解[J]. 同济大学学报自然科学版, 2013, 41(2): 303-308.
- [12] 关宏艳, 李宗坤, 王 娟, 等. 水利工程模糊多模式工期-成本-质量均衡优化[J]. 水力发电学报, 2015, 34(7): 80-87.
- [13] Mahmoodzadeh A, Zare S. Probabilistic prediction of expected ground condition and construction time and costs in road tunnels[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2016, 8(5): 734-745.
- [14] Kucharavy D, Guio R D. Application of S-shaped curves[J]. Procedia Engineering, 2011, 9: 559-572.
- [15] Lovering J R, Nordhaus T, Yip A. Apples and oranges: Comparing nuclear construction costs across nations, time periods, and technologies[J]. Energy Policy, 2016.
- [16] Jarrah R, Kulkarni D, Connor J T. Cash flow projections for selected TxDoT highway projects[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2007(3): 235-241.
- [17] Cioffi D F. A tool for managing projects: an analytic parameterization of the S-curve [J]. International Journal of Project Management, 2005, 23(3): 215-222.
- [18] Kenley R, Wilson O D. A construction project cash flow model—an idiographic approach[J]. Construction Management and Economics, 1986, (4): 213-232.
- [19] 王 博, 郜军艳, 聂相田, 等. 综合成本-质量-完工风险的水利工程进度优化[J]. 水力发电学报, 2014, 33(2): 267-272.
- [20] Paquin J P, Gauthier C, Morin P P. The downside risk of project portfolios: The impact of capital investment projects and the value of project efficiency and project risk management programmes[J]. International Journal of Project Management, 2016, 34(8): 1460-1470.
- [21] 李卓玉, 唐文哲, 强茂山, 等. 水电开发风险因素研究[J]. 水力发电学报, 2013, 32(1): 293-298.

Reverse Calculation Model Adjusted by Time for Cash Flow of Construction Project

Jin Lianghai^{1,2}, Li Jiabin^{1,2}, Luo Zhaoying^{1,2}

- (1. College of Hydraulic & Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang Hubei 443002, China;
2. Hubei Key Laboratory of Construction and Management in Hydropower Engineering, China Three Gorges University, Yichang Hubei 443002, China)

Abstract: The supply of capital for construction project has time-varying characteristics. To determine the supply and demand balance point, and introduce the concept of capital supply, capital demand and capital storage, a set of time-dependent reverse adjustment calculus model is proposed. According to the initial state of the capital system, the critical conditions of the domain are adjusted, and the money for supply and storage in the period are calculated from the last time to reverse. By considering the people, materials, equipment in construction project, and the willingness to pay by construction units, the reverse adjustment algorithm is developed, and the optimization of money supply process is achieved. It is shown that the peak value of the money supply is decreased obviously, and the time of peak value appearance has moved forward or backward by decision criterion. The difference between the funds demand and supply can be quantified by time. The research results can be used in the project management for capital flow plan, control, adjustment and optimization.

Keywords: cash flow; supply and demand curve; time value; reverse regulation calculation