

项目支付进度

庞南生◎著

协同优化模型及方法

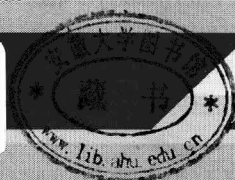
Project Payment Scheduling
Collaborative Optimization Models and Methods

项目支付进度

庞南生◎著

协同优化模型及方法

Project Payment Schedule
Collaborative Optimization



内容提要

项目支付进度问题是项目调度的一个重要的研究前沿,它是研究在考虑资金时间价值因素后,以实现承包商和业主双方经济利益最大化为目标的项目调度问题。随着项目规模化、复杂化和系统化的趋势,工期短、计划鲁棒性高、资源均衡、成本低、双方收益大和共赢等日渐成为项目调度追求的目标,而传统的项目计划和调度方法由于忽视项目内外部动态因素对进度安排的影响,致使调度计划在项目实践中适应性差,难以满足多目标管理的要求。本书协同考虑了双方财务收益与资源配置和鲁棒性要求对项目支付进度的影响,系统研究了资源均衡下和基于鲁棒调度的支付进度多目标协同优化问题。

本书是作者多年从事项目优化调度研究的最新成果,也汲取了国外的最新资料。本书可供从事项目管理领域的项目管理人员、研究人员以及高等院校项目管理等相关专业的师生参考。

责任编辑:张筱茶

图书在版编目(CIP)数据

项目支付进度协同优化模型及方法/庞南生著. —北京:
知识产权出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-5130-1722-0

I. ①项… II. ①庞… III. ①项目管理—支付方式—研究 IV. ①F224.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 273363 号

项目支付进度协同优化模型及方法

XIANGMU ZHIFU JINDU XIETONG YOUHUA MOXING JI FANGFA

庞南生 著

出版发行: 知识产权出版社

社 址: 北京市海淀区马甸南村 1 号

网 址: <http://www.ipph.cn>

发行电话: 010-82000860 转 8101/8102

责编电话: 010-82000860 转 8180

印 刷: 知识产权出版社电子制印中心

开 本: 787mm×1092mm 1/16

版 次: 2013 年 1 月第 1 版

字 数: 158 千字

ISBN 978-7-5130-1722-0/F·572 (4568)

邮 编: 100088

邮 箱: hjb@cnipr.com

传 真: 010-82005070/82000893

责编邮箱: baina319@163.com

经 销: 新华书店及相关销售网点

印 张: 10

印 次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 引 言	1
1.2 研究现状分析	3
1.2.1 资源均衡问题的研究	3
1.2.2 项目支付进度问题的研究	8
1.2.3 项目鲁棒调度的研究	14
1.2.4 研究现状的评述	15
1.3 主要研究内容	16
第2章 活动多模式下均衡优化	18
2.1 引 言	18
2.2 研究的基本假设	19
2.3 多模式约束关系分析	20
2.3.1 活动约束关系	20
2.3.2 资源配置关系	22
2.4 均衡优化模型	22
2.5 有记忆的模拟退火算法求解	24
2.5.1 概 述	24
2.5.2 算法描述	24
2.6 算 例	26
2.7 小 结	29
第3章 非常规资源分布均衡优化分析	30
3.1 引 言	30
3.2 非常规资源分布的描述	31



3.3	活动约束关系分析	32
3.4	均衡优化模型	33
3.5	带返回随机搜索的模拟退火算法求解	35
3.5.1	概 述	35
3.5.2	算法描述	35
3.6	算 例	36
3.7	小 结	38
第4章	资源分时段与活动平移并行的均衡优化	39
4.1	引 言	39
4.2	资源均衡优化的动态并行调整策略	40
4.3	动态并行调整策略下的限制条件	41
4.4	均衡优化模型	43
4.5	随机多次寻优算法求解	45
4.5.1	概 述	45
4.5.2	算法描述	45
4.6	算 例	46
4.6.1	优化策略的性能测试和评价分析	47
4.6.2	实例对比	48
4.7	小 结	50
第5章	广义时序下均衡优化	52
5.1	引 言	52
5.2	模型描述和基本假设	54
5.2.1	模型描述	54
5.2.2	基本假设	55
5.3	带有最小时距的广义时序分析	56
5.3.1	时间窗计算分析	56
5.3.2	约束关系分析	57
5.4	带有最小最大时距的广义时序分析	58
5.4.1	最小最大时距的表示	58
5.4.2	约束关系及其等效转换分析	59

5.4.3 时间窗计算分析	61
5.5 资源非常规配置的分析	62
5.5.1 资源非常规分布模式的选择	62
5.5.2 单位时段资源需求量的计算	63
5.6 均衡优化模型	64
5.7 算 例	66
5.7.1 基本数据	66
5.7.2 优化计算求解	69
5.8 小 结	74
第 6 章 资源均衡下的支付进度协同优化	75
6.1 引 言	75
6.2 研究的假设条件和模型定义	76
6.2.1 假设条件	76
6.2.2 模型定义	77
6.3 基于承包商和业主方角度的支付进度优化模型	78
6.3.1 承包商角度	78
6.3.2 业主角度	81
6.3.3 实例分析	82
6.4 基于承包商与业主收益的支付进度协同优化模型	87
6.4.1 协同优化原理	87
6.4.2 协同优化模型	88
6.4.3 实例分析	91
6.5 资源均衡下的支付进度协同优化模型	94
6.5.1 协同优化原理	94
6.5.2 协同优化模型	95
6.5.3 实例分析	100
6.6 不同支付方式的支付进度协同优化模型	103
6.6.1 不同支付方式及其净现值计算	103
6.6.2 不同支付方式的协同优化模型	105
6.6.3 不同支付方式的实例分析	109



6.6.4 支付方式的选择	110
6.7 小 结	116
第7章 多目标资源受限项目鲁棒调度方法	117
7.1 引 言	117
7.2 多目标资源受限鲁棒项目调度模型的构建	118
7.3 鲁棒串行生成机制的设计	120
7.4 改进的 SA 算法	121
7.5 算 例	122
7.5.1 模型求解	123
7.5.2 应用讨论	125
7.6 小 结	126
第8章 基于鲁棒调度的支付进度协同优化	127
8.1 引 言	127
8.2 基于 RSMRCPSPP 协同优化模型的构建	128
8.2.1 问题描述	128
8.2.2 基于 RSMRCPSPP 协同优化模型	129
8.3 多模式资源受限项目鲁棒调度的实现	130
8.3.1 鲁棒调度的机动时间设计	130
8.3.2 多模式资源受限项目鲁棒调度的算法	131
8.4 PP 支付模式下承包商和业主收益的协同分析	133
8.4.1 承包商和业主财务收益的计算	133
8.4.2 双方利益的协同原则	134
8.4.3 基于满意度约束的目标贴近度协同方法	134
8.5 多目标协同优化算法	136
8.6 算 例	137
8.6.1 优化结果	139
8.6.2 讨论分析	140
8.7 小 结	142
参考文献	144

第1章 绪 论

1.1 引 言

在建设项目的资金系统中，特别是重大建设项目，项目资金动辄百亿千亿元，资金的流入流出量大、频次高和时点多，而且投资方和承包方在利益上又是冲突的，因此如何恰当处理双方的利益冲突至关重要。如果处置不当有可能会给投资方造成重大额外的投资支出和经济损失，现行的做法是全凭项目参与方的经验和智慧处置，没有统一的规则，明智的投资方将会兼顾双方的利益，不仅要控制好投资支出，避免投资超计划和浪费，同时也会谨慎考虑和处理好项目承包方的经济利益，避免项目承包方在经济上亏损。相反的，若投资方只顾己方利益，而忽视对方利益，将各种不利的支付条件转嫁给承包方承担，将不利于项目顺利进行，承包方必将通过偷工减料、以次充好等降低质量标准的手段来寻求补偿自己的损失，最终受到损失的还是投资方，甚至两败俱伤。据统计，在项目建设中，由于经济纠纷而引起的合同纠纷占 85% 以上，产生这种纠纷的一个主要原因是合同双方在项目实施前就双方的利益要求未能在双方共同接受的标准基础上取得一致，而实施前又未能准确预测出以后的对各自的影响，从而为将来的纠纷埋下了隐患。在工程实践中，而此类经济纠纷问题在项目建设中又屡见不鲜，严重影响了建设项目的建设管理水平的提高和投资效益的提高。这也暴露了在建设项目投资支付进度管理中存在的诸多缺陷，同时也提出了在建设项目中亟待研究和解决的一些重大问题。其中最为重要的是在建设项目实施前如何制定出和执行双方均能接受的双赢的利益方案，彻底消除经济纠纷的根源，彻底解决双方利益分配问题。这也是本书研究建设项目投资支付进度和分配管理问题的根本目的，其研究的实际价值显著。



建设项目支付进度管理是研究在建设项目建设期内如何合理地安排项目支付进度以使建设项目收益最大化,而这种收益最大化的受益方包含投资方和承包方等其他项目参与主体,并且与项目的投资方与其他参与方现金流入和流出系统有关,其研究的核心内容包括支付次数、支付量、支付比例、支付时间和支付事件以及与之相联系的活动执行模式和事件实现时间等安排,而确定建设项目投资支付进度安排又受到众多因素的影响,包括项目的合同类型、支付方式(按月支付、按阶段支付等)、承包方的实施成本和资源的使用状态、业主的预期收益以及项目的截止期限等。因此建设项目投资支付进度所研究的对象(或问题)是一类由众多关联因素交织形成的复杂系统,利益冲突性强是这类系统的突出特征。对这类复杂的复合系统进行项目支付进度安排管理研究是一项具有挑战性的工作,也是当前国际上项目投资支付管理科学研究的前沿性课题。

对建设项目支付进度问题的研究方法和目标,即在对构成建设项目参与方现金流系统的分析基础上,运用现代决策技术、优化理论分析方法以及计算机科学技术,探寻双方协调的支付进度支付决策模式、支付结构和支付决策支持系统,以便制定出科学的融合的项目参与方共同受益的支付进度。在建设项目投资管理中,建立和执行建设项目合同双方认可的项目支付进度安排将尤为重要,它将有利的从根源解决建设项目参与方的利益冲突问题,有利于维护双方的利益,实现双赢和多赢;也将促进投资方和承包方在建设项目实施过程中的通力合作和配合,扫除双方在合作中利益冲突上的障碍,避免合同纠纷的发生,特别是经济纠纷的发生对建设项目实施带来的危害,促进建设项目“和谐”进行,提高项目建设管理水平,实现工程技术与社会经济最佳协调与可持续发展,这无疑是个理论和学术意义重大、应用前景广阔的课题。

在建设项目支付进度安排中,投资方和承包方的现金流内容是不同的,不同的支付进度安排将对双方的项目收益产生重大影响,因而是投资方和承包方所共同关心的一个问题。在支付进度安排方面,项目投资方和承包方的偏好是不同的。承包方则希望尽可能早地被支付,而且希望早期的支付量应尽可能地大,最理想的情形是在项目的一开始便收到全部的支付。在许多实际情形中,因承包方严重地依赖投资方的支付以支持项目后续活动的进行,如果不能及时

获得支付,有可能造成项目停工,甚至导致承包方破产。与承包方相反,投资方则总是希望支付被安排得尽可能地晚,同时被安排在早期支付的支付量尽可能地小,最理想的情形是在全部项目完成后才对承包商进行一次支付。这样,投资方不仅可以最大限度地降低自己的投入费用,而且也可以激励承包商尽早地完成项目。

对项目支付进度的安排,不仅要考虑从财务角度考虑实施双方在项目上的利益平衡,还应该考虑其他因素对进度安排的影响,尤其是要考虑在这种进度安排下的承包商的实施成本,而这种实施成本与某种进度安排下的资源在时间上的分布的合理性有着直接的关系。尽管实施前制定出双方满意的期望的利益分配,但由于不利的资源分布状况会导致承包商额外的实施组织困难和实施成本的增加,因此,对支付进度安排还需要将静态的财务收益与资源的使用状态结合起来进行分析,即需要将双方财务收益与项目的实施成本结合起来综合考虑。

因此,一个能够综合考虑双方收益的和协调的支付进度优化决策模型,无论在理论上还是实践上都具有较高的价值。

作者通过检索和收集到现有的成果来看,对项目现金流优化问题的研究虽然已取得了不少进展,但从研究成果看,迄今为止,从考虑资源均衡角度以及从双方联合的角度出发,还未有人进行广义时序多模式非常规资源配置下对于项目合同双方来说“平等”项目支付进度安排的研究。目前存在的主要问题是研究对象和研究方向带有一定的孤立性和局限性,理论与应用上也还未取得大的突破。所以,从国内外的研究现状来看,本书的研究应该属于一种原创性的应用研究内容,同时也是当今在建设项目投资管理中十分需要的实用性研究内容。

1.2 研究现状分析

1.2.1 资源均衡问题的研究

资源均衡优化是解决项目网络计划中资源供需矛盾和实现资源均衡利用的



一种行之有效的方法，它对于提高资源利用率、降低项目临时设施费和保障资源组织供应等有着重要的实际意义。

对资源均衡问题的研究，由于其在理论上和实践中具有重要意义，一直以来受到国内外学者的广泛关注，并从不同角度提出了许多均衡方法，其中包括各类启发式方法（含各类智能算法）和解析法。

如，Sou - Sen Leu^[1]利用遗传算法寻优多种资源均衡的最优或接近最优组合，并开发了一种施工项目资源均衡的决策支持系统（DSS），施工项目规划人员可以用该系统通过“假设”测试进行案例分析。

K. Neumann^[2]研究了非常规目标函数下活动受最小最大时距限制的资源受限项目调度问题，特别是对资源均衡和净现值的问题进行了研究。

M. Bandelloni^[3]提出了一种新的基于非序列动态规划资源均衡的优化方法，该方法只检查远少于大量可行序列的可行时间子集，减小了问题复杂性，并与伯吉斯和基勒布瑞的启发式算法解决方案进行了比较，而且对中小型问题可以得到精确解。

Mohammed A.^[4]对 Harris 提出的用于资源均衡且基于关键路径法的最小距法进行了改进，该方法是通过移动前后的资源柱状图统计矩的变化来判断的。在此方法中，活动处于同一时段工序，第一个选中要被移动的活动取决于其自由时差值（S）和其资源率值（R）。这样，计算改进系数只需要确定活动被移动的长度。所有剩余活动按照活动移动后更新的柱状图重复这个过程，大大减少了计算量，使每个序列中迭代步数等于其非关键活动的数目 n ，而在传统方法中是 $n!$ 。

K. Neumann^[5]提出了项目活动间带最小最大时距的不同类型项目资源均衡问题的多项式启发式算法，而以往算法只有不涉及最大时距和资源受限的资源均衡问题的伪多项式启发式算法。该算法对资源不受限和资源有明确限制的问题都可以使用，而且实验性能分析表明，该算法在合理的计算时间内大约能解决上限为 500 个活动和五种资源的问题。

D. Savin^[6]提出了一种资源均衡的神经网络权矩阵计算方法，该方法通过对出现在资源均衡问题规划的矩阵结构性能做 0 - 1 二次优化，提高了使用权重函数表达式的技术效率，并对神经网络权矩阵的成本矩阵模板贡献和二次优

化约束函数进行了规定。

J. Constr. Engrg^[7]开发了多启发式局部优化模型和模拟退火局部优化混合模型为资源均衡问题的解决方法。

Leif Sunde^[8]提出了一种基于净现值（NPV）新的启发式均衡方法，该方法可以最大限度地提高项目的净效益，同时消除了资源的需求高峰。

Savin D.^[9]讨论了一种工程资源均衡的神经网络模型，该模型是将资源均衡问题的一个扩展的拉格朗日乘子优化公式映射到一个离散时间 Hopfield 网络上推导出来的，该神经网络模型由两个主要模块组成，包括一个离散时间 Hopfield 网络块，以及扩展的拉格朗日乘子优化的拉格朗日调整控制块，用于计算新的神经网络权值。

Kartam N.^[10]研究了一种使用人工神经网络（ANN）求解资源均衡问题的新方法，资源均衡人工神经网络（RLANN）区别于传统启发式算法和资源均衡优化技术，结合了 Hopfield 网络和基于竞争的人工神经网络的优点。该 RLANN 通用方案适用于提供关键路径法（CPM）网络，任何形式的箭头或优先关系图表。该方案包括两个层次，输入层和竞争层，人工节点矩阵充分链接。RLANN 内部解决机制是基于控制每日资源使用率的运动方程和竞争战略。运动方程控制活动在调度限制内移动，竞争过程发现活动取得最优结果的最佳位置。

El - Rayes Khaled^[11]提出了两种创新的资源均衡指标，直接测量和最大限度地减少施工生产率和成本的资源波动负面影响。第一项指标量化资源总量，在低需求时期暂时解除，在后一阶段高需求时期重新使用。第二项指标调整由不良资源波动引起的闲置和非生产性资源闲置时间。这两个新的指标被纳入优化模型，能得到资源使用率产生最大效益的最优和最符合实际的进度安排。该模型和指标优于现有指标，能消除不良资源波动和资源闲置时间。

Mohammed A.^[12]将改进最小距法的应用由单资源均衡推广到多资源均衡，提出了适用于均衡多资源的两种启发式方法：多资源序列均衡和混合资源均衡，并通过相同的例子对比说明使用传统最小矩法的两种多资源均衡方法，结果表明应用改进最小距法与传统最小矩法的结果相同，在某些情况下，甚至优于传统方法。



Willy^[13-15]等对近年来出现的各类算法分类、模型、特点和不足作了详细的综述分析。

谢洁锐等^[16]提出了有限资源均衡问题的神经网络解决方法,应用增广置位矩阵,描述了资源均衡的神经网络表示方法,使得神经元的输出和问题的解彼此对应起来,在时间和资源约束下利用多种技巧构造网络的能量函数,使其能量最小值对应于资源最均衡的状态,并提出了基于“权值状态发生器”的离散 Hopfield 与模拟退火算法 (DHNN-SA) 融合的镶嵌式混合结构,提高了网络的优化质量,设计了资源优化神经网络的模拟程序。

乞建勋^[17]提出了资源熵的概念并利用熵函数建立工程项目管理的资源均衡优化模型,并针对传统解决方法的不足使用粒子群算法对模型进行求解。

褚春超^[18]针对现有资源均衡模型的不足,提出一种改进的资源均衡模型,即选择资源过度分配最严重的时段作为优先调整时段;在调整工序时不但考虑工序的时间属性,还综合考虑其经济属性和施工属性;在确定可调整量时,全面考虑工序的限定和制约因素,摒除其中的虚假时差成分。

牛东晓等^[19]针对普通遗传算法用于施工网络计划优化的缺点,通过种群划分与极值搜索,建立了网络计划优化的极值种群改进遗传算法模型,有效地避免了陷入局部极值点。应用证明,该算法与普通遗传算法相比,具有优化速度快、求解精度高、全局寻优能力强等优点,尤其适合于大型复杂工程网络的优化计算。

李星梅等^[20]在已有时差概念分析的基础上,提出了三个新时差概念,给出了同一工序不同时差关系,提出了标值算法,算出了不同工序时差传递量。对资源均衡优化问题的初始方案进行研究,给出了随机时标网络图的绘制方式,使网络技术的应用更具灵活性和实用性。在时差传递性的基础上,进一步对有资源限制的资源均衡优化方案进行研究,提出了基于赋值算法的优化调整方式。

王祖和^[21]针对各种资源的量纲不同,重要程度也不同,以及使用方差作为衡量标准不合理性,以权重方差作为衡量资源均衡效果的数量指标,提出了一种多资源均衡的权重优选法。

张连营^[22]利用 GA 群体搜索策略和信息遗传的特点,及其在组合优化中

表现出其他传统方法所不能比拟的性能,将 GA 应用于工程项目的资源优化中,对资源平衡和资源有限问题进行综合优化,避免了繁琐的推断过程,同时还能得到除最优解外的几个次最优的解决方案。

宋洋等^[23]针对考虑资金时间价值因素的多资源均衡优化问题,构造了不考虑资金时间价值的多资源均衡优化模型,以及在考虑资金利息的情况下,建立了资源资金的优化模型,并通过综合上述两种模型,提出了考虑资金时间价值因素的多资源均衡优化数学模型,并使用改进的遗传算法进行了优化分析。

徐哲等^[24]研究了基于网络计划活动的时间、费用是随机分布,且活动持续时间上费用分配(时间-费用模型)非均匀分布的工期固定-单资源(投资资金)均衡优化问题。对时间和费用具有不确定性的网络计划进行 Monte - Carlo 仿真以及仿真输出的统计分析,获得了 n 次仿真输出结果的代表性样本。以代表性样本的仿真输出数据构造一个确定性网络计划,并根据实际情况假定该确定性网络计划各活动持续时间上费用的分配服从 Weibull 分布,由此在整个周期内迭加得到一个多峰的 Weibull 时间-费用模型。最后通过采用启发式的“削峰填谷法”对呈现“高峰”和“低谷”落差很大的,具有很强的不均衡性 Weibull 时间-费用模型进行均衡优化,得到了一个较为均衡的投资强度分布。

郭海滨等^[25]针对工序可间断的单资源均衡模型,通过引入多资源的条件和风险时差的概念,对该模型加以改进。并使改进后的模型在求解多资源均衡问题的同时,可以为某些选定的工序预留出一定的时差,避免了因资源均衡过程对这些时差的过度利用而增加工期风险。

王为新等^[26]针对单项目资源均衡优化在实际应用中的不足,提出了多项目资源均衡优化的概念,建立了多项目资源均衡问题模型,并设计了一种遗传算法,在算法中有效地利用了网络计划图的拓扑排序,减少了遗传操作过程中非法个体的修复计算量,加快了算法的收敛速度。

王凯等^[27]为解决多个项目并行情况下的资源均衡问题,引入了一种适合求解并行项目资源均衡问题的数学模型,该模型可以有效地将并行多项目资源均衡问题转化为单项目资源均衡问题,并提出了一种改进型的人工免疫算法,该算法通过引入自适应高变异算子与遗传操作的混合模式,能够根据抗体的亲



和度调整变异步长，来达到以较快速度完成给定范围搜索的目的。

李向等^[28]从多任务的资源优化问题出发，对资源受限的多任务调度问题及其资源均衡优化问题进行了研究，将资源受限的多任务调度问题与资源均衡优化相结合进行均衡优化，提出了一种基于改进遗传算法的求解方法，很好地解决了多任务调度问题并使资源分布更为均衡。

郭海滨等^[29]提出了一种新型的工序可间断的单资源均衡模型，并在模型中引入一些工序间断率、间断延期率等无量纲变量来处理工序可间断的情况。这些变量使得模型中各工序间的时间约束关系在求解过程中能自动得到满足，避免不可行解的出现。该模型具有可兼容不可间断资源均衡模型的功能，并可以处理特殊工序不可间断的要求。

林志荣等^[30]以凝聚函数为目标函数给出了网络计划中资源均衡优化的数学模型，设计了相应的遗传算法，提出了一种从“资源占用峰值区”往两则强制的修复算子。

陈志勇等^[31]将微粒群算法运用到工程项目管理的资源均衡优化问题，定义了以活动的实际开始时间作为微粒坐标的微粒群，建立了资源方差与活动实际开始时间直接联系的评价函数，通过微粒群在飞行中位置的进化过程来搜索对应于最优方案的活动实际开始时间。

然而，以往传统的均衡优化研究是在诸多前提条件和孤立条件下进行的，或是局限于活动单模式、活动间只受严格无延迟的完成 - 开始时序关系约束，或是局限于资源常规配置等一些简单执行情况，而这些情况与活动的实际活动多模式、活动间广义约束关系以及资源多种配置模式并不完全相符，因而，使得传统的均衡算法并不能适应和处理复杂的资源均衡问题，在应用上存在较大局限性。

1.2.2 项目支付进度问题的研究

项目支付进度的研究起源于现金流优化问题，对现金流优化的进度计划问题的研究，迄今为止已经取得了很大的发展。现金流优化问题的研究^[32]可划分为：不考虑资源约束和资金约束的支付进度计划问题、资源约束下的现金流优化问题和时间 - 费用交换的现金流优化问题。

Russell A H.^[33]首先提出了现金流优化问题,即如何合理地安排各个活动的开始时间和节点实现时间,使整个项目的净现值最优。

在 Russell A H. 研究的基础上,国外一些学者又先后对此问题展开了一系列研究工作。如,Grinold^[34]对 A. Russell 的模型进行了改进,提出了包含项目工期约束的改进模型,并利用互补松弛性质,设计了两种算法,分别求解固定工期约束和任意工期约束下的问题。

Padman R^[35-37]和 D. Smith - Daniels^[31-33]建立了混合线性整数规划模型,以描述项目实施过程中的材料管理对进度计划及现金流的影响。

Baroum S M.^[38]提出了一种基于现金流权重的启发式算法。该算法首先找出具有最大现金流权重的活动,在不违反优先关系和资源约束下尽可能早地安排该活动。

Doersch R H.^[39]和 Patterson J H.^[39]研究了在活动间的逻辑关系约束之外,增加资金约束的现金流优化问题,并考虑了项目工期拖延造成的罚金影响。由于可用资金包括了按照计划在此前获得的支付款,因此资源限量不是先验已知的确定值,而是与进度计划相关的变量。

Buss A H.^[40]和 Rosenblatt M J.^[40]研究了假定活动工期服从均值和方差已知的指数分布的现金流优化问题,开发出了关于活动开始时间延迟量最大化期望的优化算法和启发式算法。

B. De Reyck, W. S. Herroelen.^[41]基于 AoN 网络对带有最大最小时距的资源约束下的现金流最大化问题(RCPSP)进行了研究,并提出了深度优先的分支定界算法解决了 50 个活动的网络问题。

Sepil C, Ortac N.^[42]研究了资源约束下的现金流最大化问题,采用基于活动的启发式算法,对活动安排提出了三种启发式优先权规则,第一规则是净现值最大的活动具有最高优先权,第二规则根据能提供最大净现值来成对地安排活动,第三规则某些活动延迟便于一个净现值较低的活动可安排,给予较高的优先权。

Ulusoy G, Ozdamar L.^[43]对资源约束下的现金流问题研究,考虑了最小化工期和净现值最大化的多目标优化问题,使用了四种启发式规则进行了算例分析。



Icmeli O, Erenguc S S.^[44]对资源约束下的现金流最大化问题,采用基于事件的方法提出了一种分支定界法,在确定初始解时,先不考虑资源约束找出一个最优解,如果满足约束则获得最优解,否则,再增加活动的逻辑关系约束的办法来解决资源冲突。

Sunde L, Lichtenberg S.^[45]研究了资源约束下时间-费用交换的现金流优化问题,并设计了 NPV-CTTO 算法,该算法假定活动费用与持续时间呈线性关系,活动的持续时间与资源需求无关,通过依次检查各个时间段,对没有利用资源的时间段中的活动,压缩其持续时间,并根据 NPV 的变化和资源的利用情况进行调整。

Icmeli O, Erenguc S S.^[46]对资源约束的现金流问题建立了 0-1 规划模型,并尝试设计了禁忌搜索算法 (Tabu-S),禁忌搜索算法是通过一系列解的移动实现全局最优解的一种启发式算法。在禁忌搜索算法中活动的完成时间提前或者拖后一个时间单位定义为解的移动,这样,在由 N 个活动组成的网络中,算法每迭代一步,将会产生解的移动方案最多有 2N 个,对于在最近 t 次迭代中发生的移动方案将被禁止,其余的活动将允许移动。在允许移动集合内选择使评价函数最优的移动,即为最优解。

Zhu D and Padman R.^[47]利用人工神经网络建立了特征参数与启发式方法性能参数的关系,以特征参数作为神经网络的输入参数,以启发式方法的归一化相对性能指标作为输出,并对神经网络进行实例训练,以获取准确网络权重。通过使用资源约束下现金流问题的实例进行测试,结果表明准确率达到 90%。

Elmaghraby, S E.^[48]研究了活动持续时间不确定性的网络现金流优化问题,并考虑了在大型项目中当贴现率不再是常数的情况。

Erenguc S S.^[49]研究了活动持续时间在压缩情况下的现金流优化问题。假设每个活动有若干个可能的活动持续时间,将活动的时间-费用交换曲线离散化,对应不同的现金流出,现金流入在节点上发生,并以双代号网络为基础建立了混合整数规划模型和进行了实例测试。

Yang K K, and Tay L C.^[50]对资源约束下的现金流问题启发式算法的启发式规则进行了研究,先根据确定性规则为活动分配优先级,再以优先级为权