

DAXING GONGCHENGXIANGMU DE
ZIYUANYOUHUA

大型工程项目的 资源优化

● 王忠伟 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大型工程项目的 资源优化

● 王忠伟 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书专题研究大型工程项目资源优化的时间—成本均衡问题。全书研究以网络进度计划为基础,为了优化有限项目资源的分配,首先提出了关键度的概念,并以此为基础,深入研究了基于遗传算法的大型工程项目资源优化的时间—成本均衡问题。全书主要内容包括一般意义上的时间—成本均衡遗传算法问题、资源限制的时间—成本均衡遗传算法问题以及随机性时间—成本均衡遗传算法问题。为验证时间—成本均衡遗传算法的有效性,书中给出了各种类型的项目实证。本书研究的大型工程项目时间—成本均衡遗传算法可用于指导大型工程项目管理实践。

本书可作为高等院校工程类、管理类相关专业的教材,也可作为相关研究部门的参考读物和指导用书。

图书在版编目(CIP)数据

大型工程项目的资源优化/王忠伟编著. —北京:中国水利水电出版社, 2005

ISBN 7-5084-3114-6

I. 大... II. 王... III. ①基本建设项目—时间学
②基本建设项目—项目管理; 成本管理 IV. F284

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 089081 号

书 名	大型工程项目的资源优化
作 者	王忠伟 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 4.75 印张 128 千字
版 次	2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	19.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

项目一词是从英文“Project”一词翻译过来的，但在中国现有的文化背景下，项目与“Project”的含义并不完全一样，通常我们所说的工程，其实就是指的英语中的“Project”，我国现有的各种英汉词典中，将“Project”解释成“工程”或“计划”，并非是一种全面科学的用语，如美国超大型航天项目，我们所说的阿波罗登月计划，用的就是“Project”一词，从历史渊源来看，这与我国早期的项目管理主要是以工程计划管理为主这一特征有关。在日本，由于找不到与“Project”一词对应的词，便直接使用原文。

现代意义上的项目，是一个很广的概念，从纵贯全国的高速公路建设、核电站建设到卫星发射、大水坝的建造等都是一个个的项目，甚至写一篇毕业论文也是一个项目。对具体项目而言，在时间跨度上可以跨越数十年，如水利项目的建设，也可以在短期内完成；在空间上，项目可以横贯万里疆域，如纵贯全国的高速公路，油气田的勘探，也可以在一个狭小的空间里完成，如软件开发；从投资规模看，有些项目花费巨大，如三峡工程，开支达几千亿元，也有投资不大的，如架设一座小桥；从技术上看，有些项目需要大量高精尖且十分复杂的高新技术，如卫星发射，也有些项目无需特殊的技术要求，如修筑一个普通的水坝；从组织上看，有些项目牵涉到若干企业和部门，甚至不同的行业，需要多工种、多专业、多学科交叉协同攻关，如三峡工程建设、氢弹的研制，有些项目则由某一小部分人或者独立的部门即可完成，如一般的技术改造项目。

大型工程项目是指投资规模巨大的工程项目。所谓工程项目是指一般的按设计文件进行实施，经济上统一核算，行政上

有独立组织并实行统一管理，完成后可独立发挥设计文件所要求的作用的项目。应该指出，无论从时间方面还是空间方面考虑，所谓“投资巨大”只是一个相对的概念，并非绝对的概念。因此，投资规模巨大只是大型工程项目的特征之一。一般地，大型工程项目具有如下一些特点。

- (1) 投资规模大，实施周期长，经济风险巨大。
- (2) 技术复合度高，具有很大的技术风险性。
- (3) 具有综合战略目标，有特殊的资源要求，实施难度大。
- (4) 在国民经济和社会发展中占有重要的战略地位。
- (5) 永久性工程，一旦开始，具有不可逆性。
- (6) 效益突变性大。

由于大型工程项目是一些关系到国计民生的项目，对国家经济和社会发展起着十分重要的作用。针对这类项目开展资源优化应用研究，无论对项目有关单位，还是整个国民经济的发展，均有着十分重要的意义。

在项目实践中，随着项目实施进度的发展，劳动力、设备等资源的使用绩效是有变化的。在项目早期，由于项目团队不太熟悉项目活动，效率是比较低下的。经过一段时间的锻炼，受学习曲线的影响，项目团队对项目工作越来越熟悉，效率会逐渐提高。而对另一些项目活动，尤其是劳动密集型的项目活动，时间越长，人越容易疲劳，导致工作效率下降。因此，项目活动总是有一定的风险性。这种风险性，决定了各种项目活动的成本和历时具有不确定性，整个项目的历时和成本也具有不确定性，由此导致整个项目的网络图具有不确定性。如何根据不同项目活动的风险程度，将有限的项目资源进行分配，也是需要考虑的问题。

根据大型工程项目的特点，以及项目实践过程中面临的实际问题开展研究，主要包括以下内容。

(1) 分析项目活动风险，用模糊评价方法对项目活动进行关键度排序，在此基础上提出项目资源的优化分配方案。

(2) 开发一种基于 GA 的算法和系统。对于大型工程项目来说, 在一般条件下、资源受到约束、多目标, 以及不确定性的情形下, 应用这种算法和系统, 可以有效地解决资源分配问题。

(3) 为使用 GA 方法进行大型工程项目过程分析提供基础。

(4) 促进和提高大型工程项目的管理实践。

(5) 进一步促进资源优化方法的发展, 这不但有利于工程行业的发展, 也有利于其他行业的发展。

本书主要内容是笔者在博士研究生学习期间的主要研究成果。借此, 我要特别感谢我的导师张子刚教授对我多年来的培养、关心和爱护, 是他给了我人生重要的指点和帮助。黄卫来博士、张毅博士以及华中科技大学其他许多教师, 在我的博士学习生涯中, 给予了各种形式的帮助和鼓励; 远在加拿大的我的好友邓金阳博士也给予我很具体的帮助; 我在中南林学院教务处的同事们长期以来, 给予我工作上种种关心和帮助, 使得我有足够的时间和精力来完成本文的研究。在本书最后定稿出版过程中, 中南林学院陈洪副校长以及中国水利水电出版社的许多同志给予了我许多好的建议和帮助。正是有来自各方面的关心、帮助和支持, 才有本书的顺利出版, 诸多感谢之情, 尽在心中!

作者

2005 年 7 月

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 问题的提出和选题背景	1
1.1.1 大型工程项目的资源利用及其影响	2
1.1.2 项目活动排序与资源投入的关系	3
1.1.3 开展大型工程项目资源优化研究的必要性	4
1.2 大型工程项目资源优化研究的意义	6
1.3 国内外研究概况	7
1.3.1 基于网络计划技术的资源分配方法	7
1.3.2 资源约束型进度计划的编制	8
1.3.3 时间—成本均衡分析	10
1.3.4 工程项目资源优化研究的不足和发展方向	18
1.4 本书研究的目标	20
1.5 本书结构与内容组织	20
2 项目活动的关键性与网络进度计划	22
2.1 重要概念的界定	22
2.1.1 大型工程项目	22
2.1.2 项目活动的关键性	24
2.1.3 资源均衡与资源分配	25
2.1.4 时间—成本均衡	28
2.2 网络进度计划	31
2.2.1 工作分解结构	31
2.2.2 网络图	33
2.3 网络进度计划的随机性分析	35

2.4	本章小结	37
3	项目活动关键性的模糊分析	38
3.1	项目活动历时参数的集合分析	38
3.2	项目活动的时差与风险分析	39
3.3	考虑风险情况下项目活动时差的修正	41
3.4	项目活动关键性的模糊分析	42
3.5	关键度应用分析	44
3.5.1	某林业工程项目的挣值分析	44
3.5.2	用关键度分析某林业工程项目的绩效	48
3.6	本章小结	49
4	遗传算法及其基本控制参数	51
4.1	遗传算法概论	51
4.2	遗传算法基本控制参数	52
4.3	遗传算法的算法步骤	54
4.4	染色体表现形式与群体规模的确定	56
4.4.1	染色体表现形式	56
4.4.2	群体规模的确定	57
4.5	选择机理	58
4.5.1	比例选择	58
4.5.2	排序选择	60
4.6	交叉和突变	62
4.7	本章小结	63
5	大型工程项目时间—成本均衡的遗传算法	64
5.1	时间—成本均衡遗传算法概述	64
5.1.1	时间—成本均衡遗传算法中的染色体表示	65
5.1.2	适应值	65
5.2	凸包线的确定	68
5.2.1	确定凸包线的一般步骤	68
5.2.2	到凸包线最短距离的确定	69

5.2.3	适应值计算举例	72
5.3	时间—成本均衡遗传算法中的交叉和突变操作	73
5.4	算法步骤与终止条件	73
5.4.1	算法步骤	73
5.4.2	终止条件	74
5.5	本章小结	75
6	时间—成本均衡遗传算法的验证	77
6.1	时间—成本均衡遗传算法模型的建立	77
6.2	简单项目的时间—成本均衡遗传算法验证	78
6.3	中型项目的时间—成本均衡遗传算法验证	82
6.4	大型项目时间—成本均衡遗传算法的验证	87
6.5	本章小结	93
7	资源限制的时间—成本均衡问题的遗传算法及其验证	95
7.1	基本概念	96
7.2	启发式规则	96
7.3	资源限制的时间—成本均衡遗传算法的验证	97
7.3.1	资源限制的时间—成本均衡遗传算法模型 的建立	98
7.3.2	资源限制的时间—成本均衡遗传算法验证	99
7.4	本章小结	106
8	随机性时间—成本均衡问题遗传算法及其验证	107
8.1	活动水平上的时间—成本均衡问题	107
8.2	项目水平上的时间—成本均衡问题	110
8.3	活动水平上有关问题的求解方法—模拟	111
8.4	项目水平上有关问题的求解——适应函数	112
8.5	到凸包线的最小距离	113
8.6	随机性时间—成本均衡遗传算法的验证	114
8.6.1	简单项目随机性时间—成本均衡遗传算法 验证	114

8.6.2 某中型项目随机性时间—成本均衡遗传算法 验证	119
8.6.3 概率分析	127
8.7 本章小结	130
9 总结与展望	131
9.1 总结	131
9.2 本书创新之处	132
9.3 未来的研究展望	133
参考文献	135

1 绪 论

在社会生活和各种经济领域里，每天都有大量的项目在产生和完成，根据总部在美国的项目管理学会（PMI）的研究，人类社会 75% 的财富用于各种项目^[61]。20 世纪 60 年代，项目管理学会在美国成立，项目管理作为一门正式的学科随即诞生。作为管理科学的一个重要分支，项目管理在西方工业发达国家的航空、航天、国防、重大基础设施等大型工程项目和高科技开发项目中得到广泛的应用。随着计算机技术和各种信息处理技术的快速进步，现代项目管理理论及其应用研究仍在不断的发展和完善之中。

改革开放以来，我国启动了一大批关系到国计民生的大型工程项目，如三峡工程、西气东输工程、南水北调工程等。在未来相当长的一段时间里，我国还将有许多大型工程项目产生和完成。作为一个并不富裕的大国，我们必须讲究项目投资成本，重视有限的项目资源的利用率。因此，如何改进大型工程项目的管理，已成为我国面临的重要课题。在大型工程项目的管理中，一个重要的方面，就是如何优化项目资源利用，缩短项目历时。加强对大型工程项目资源利用和项目绩效的优化研究，对于我国经济稳定、持续、快速地发展有着十分重要的现实意义。

作为本书的绪论部分，首先就大型工程项目从概念上作一些界定，在此基础上，就本书研究的背景、目的和意义进行介绍，最后提出了本书的逻辑思路、结构安排和主要内容。

1.1 问题的提出和选题背景

大型工程项目往往是比较复杂的，具有许多不确定性，很难正确估计完成项目所需要的时间和资源，因此，项目历时延

期,成本超支的情况是十分普遍的。英国著名项目管理专家梅乐(Merrow)在1988年对世界范围内52个随机项目的研究表明^[56],大型工程项目的最终完成时间,平均比预期的要延期17%,而成本超过预算的情况更加普遍,平均达到88%。在具体的项目工作中,完成项目活动的资源总是有限的,完成项目所要求的时间总是紧迫的,如何使项目资源在不同的项目活动之间进行有效的分配,如何使有限的项目资源得到最有效的利用,如何使项目历时达到最短,这些都是现代项目管理研究中的重要课题^[63]。

1.1.1 大型工程项目的资源利用及其影响

大型工程项目通常包括的任务多,时间紧迫,容易造成项目历时的延误。为了更好地完成项目,在项目实施过程中,通常用工作结构分解(WBS)对项目工作进行层次化的分解组织。文献[96]详细地介绍了构建WBS的基本原则,以及如何更好地利用WBS来实现有关的目标。WBS的作用有以下几点。

- (1) 明了识别细化的项目活动和工作任务。
- (2) 估算每项细化的工作任务执行的结果。
- (3) 完成各项活动所需要的时间。

在此基础上,根据需要完成的工作情况,可以制定详细的资源利用计划。此外,根据资源预算和所要求的工作数量,即可确定完成项目活动所要求的成本及历时。通过对各不同层次的要素自上而下进行加总求和,即可确定整个项目的资源需求与历时。

在WBS的基础上,为了更好地管理项目活动,科学地规划项目历时,长期以来的大型工程项目实践中,广泛使用网络图方法^[89]来编制项目进度,辅助进行项目历时分析。在进行网络图分析处理时,一般使用关键路径法(CPM)^[43]、计划评审技术(PERT)^[65]、先导图法(PDM)^[27]、箭线图法(ADM)^[42,64]等,最后得到项目历时和各种活动的时间参数。在此基础上,

可以对项目进行各种假设分析。在分析过程中,通常需要对项目进行部分的变更,甚至需要对网络图的总体影响进行分析。由于项目活动是相互影响的,因此,当针对某些项目活动投入更多的资源(人工、设备等)时,必须对由此带来的项目总的时间和成本的影响进行分析。

由于项目资源总是有限的,当有限的项目资源投入到某些项目活动中去时,势必影响其他项目活动的资源投入。因此,必须考虑有限的项目资源以何种方式在项目活动之间进行优先度分配。

就完成一个项目活动来说,可供选择的方法是多种多样的,包括选择不同熟练水平的人力资源组合,投入不同的人员数量,配备不同的设备台数,或者采用不同的作业方法等。在众多的方法中,一定有一种或几种方法是最经济的,可以使整个项目的成本达到最低。为了实现这一目标,通常需要进行项目资源的优化分析,通常使用的优化方法就是时间-成本均衡分析。

1.1.2 项目活动排序与资源投入的关系

在传统的 CPM、PERT、PDM、ADM 等方法中,当进行项目网络图分析时,通常的基本假设是:项目资源没有限制^[5]。然而,这种假设与实际是有差距的。例如,当有多个项目活动需要执行时,现有的资源可能不足以满足同时执行所有活动的需要,这时,在进行项目进度计划编制时,必须对这些活动进行排序,确定项目活动执行的先后次序,避免可能的冲突。在资源有限的情况下,对大型工程项目活动可供使用的资源进行优化的方法就是通常所说的资源分配和资源均衡^[8]。在进行资源均衡分析时,集中要解决的问题就是,将需要达到的最主要的项目目标作为优化目标函数,如要求的项目历时最短、项目现金流量的净现值最大、项目成本最低等。在此基础上,编制不发生资源利用冲突的项目进度计划。

由于项目都具有不确定性,因此,在项目中总是充斥着各

种风险。项目的风险直接表现为各种项目活动的风险。所有的项目活动，都是与各种不同程度的风险相联系。为了确保最佳的项目绩效，风险性高的项目活动，需要给予更多的关注，有限的项目资源应优先保证投入到风险性高的项目活动中去。

在项目实践中，随着项目实施进度的发展，劳动力、设备等资源的使用绩效是有变化的。在项目早期，由于项目团队不太熟悉项目活动，效率是比较低下的。经过一段时间的锻炼，受学习曲线的影响^[94]，项目团队对项目工作越来越熟悉，效率会逐渐提高。而对另一些项目活动，尤其是劳动密集型的项目活动，时间越长，人越容易疲劳，导致工作效率下降。因此，项目活动总是有一定的风险性^[37]。这种风险性，决定了各种项目活动的成本和历时具有不确定性，整个项目的历时和成本也具有不确定性，由此导致整个项目的网络图具有不确定性。如何根据不同项目活动的风险程度，将有限的项目资源进行分配，也是需要考虑的问题。针对大型工程项目过程的这种不确定性，已有不同的方法可供分析，包括 PERT 方法、蒙特卡罗模拟等。然而，如何对随机性项目网络图进行优化分析的方法依然处在探讨和研究之中。

1.1.3 开展大型工程项目资源优化研究的必要性

大型工程项目的资源优化可以根据不同的目标来进行，这在根本上取决于决策者的需要。一般地，大型工程项目的资源优化有以下两方面的考虑：其一是当项目资源一定时，有限的项目资源如何在项目活动之间进行分配，以何种原则在项目活动之间进行优先度分配，使总的项目历时最短；其二是当项目历时一定时，如何使项目资源的投入达到最小化。综合起来看，必须考虑这样一个问题，就是如何使大型工程项目的资源投入最少，项目历时最短，由此导出了多目标优化问题。

现有的工程项目资源优化方法概括起来可以分为以下三类。

(1) 启发式搜索法^[58]。

(2) 数学规划方法^[71]。

(3) 模拟技术^[6]。

启发式搜索法是一种比较简单粗放的方法,一般能够比较快地获得有效的结果,但不一定是最优的。启发式搜索法的局限性在于其主观性、任意性,以及过于简单的假设。此外,对于具有不确定性的情形,启发式搜索法很难获得满意的使用效果。数学规划方法包括线性规划、整数规划、动态规划等,能够获得精确的结果,但需要用到大量的计算公式。传统上,这种计算是比较复杂的,但在计算机技术高度发达的今天,这种复杂性计算已不是问题。模拟技术在进行网络图分析时,可以用来处理各种不同的问题。对于处理具有不确定性的问题,模拟技术无疑是一种最理想的方法。但是,在使用模拟技术时,必须具有一套很好的策略或算法,以指导分析过程,最终得到优化的解决方案。

在具有多个项目目标时,要找到一种方法来满足所有的目标是很难的。现有的方法中,往往是将几个需要达到的目标简化成一个目标函数。在进行多目标优化时,加权法是广为使用的一种方法。这种方法的基本做法是对不同的目标赋予不同的权值系数,再进行加权求和,使之成为一个单一的目标函数。加权法的缺点在于只考虑了不同项目目标之间的线性影响关系。多属性效用分析是解决多目标优化问题的另一种通用的方法,这种方法中可以对多目标之间的非线性影响关系进行分析。但是,这种方法中虽然考虑了不同项目目标之间的非线性交互关系,但在实施时,决策者要不断地回答各种问题,这也不是一件容易的事情。

针对大型工程项目的管理,虽然目前已有许多技术和方法,但在关于大型工程项目的过程及资源分配优化的问题上,尚有几个基本的问题。

(1) 如何确定项目活动的风险,并对项目活动进行排序,使有限的项目资源在相互竞争的项目活动中得到有效的利用。

(2) 如何更加有效地解决大型工程项目中的时间、成本的优化问题。

(3) 如何处理项目中的不确定性。

(4) 如何将多个项目目标整合到一起。

随着我国经济和社会的进一步发展,必将有越来越多的大型工程项目得以启动和开发,针对这类项目开展资源优化研究,更好地指导项目实践,是十分必要的。

1.2 大型工程项目资源优化研究的意义

大型工程项目都是一些关系到国计民生的项目,对国家经济和社会发展起着十分重要的作用。针对这类项目开展资源优化应用研究,无论对项目有关单位,还是整个国民经济的发展,均有着十分重要的意义。

(1) 有利于节约资源,控制项目成本。大型工程项目投资巨大,在我国以往的项目实践中,虽然也一直强调资源优化利用的思想,但缺少可用于实践指导的理论研究,因此,很难从真正意义上实现资源的有效利用。从我国改革开放以来的项目实践来看,没有一个大型工程项目能够在预算范围内完成,都有不同程度的成本超支。对这类项目的资源优化哪怕是百分之一,带来的直接效益都是数以亿元计。

(2) 有利于控制项目进度。大型工程项目十分复杂,很难编制出科学实用的项目进度计划。由于不同的项目活动之间在使用有限的项目资源时容易发生冲突,制定科学的资源优化方案,有利于在不同的项目活动之间进行资源协调,缩短项目历时,控制项目进度。

(3) 有利于项目的时间一成本均衡。一般,在项目活动中,投入的资源越多,项目历时越多,投入的资源越少,项目历时越长。通过合理地优化项目活动资源,有利于在项目历时和资源投入之间找到最佳的均衡点,制定出经济上合理、历时可行

的项目方案。

(4) 有利于促进施工技术和管理技术的全面发展。大型工程项目技术密集度高, 综合性强, 针对这种项目开展资源优化工作, 对于促进全面的技术进步, 提升管理水平, 有着十分重要的意义, 从而促进整个国家经济水平的提高。

1.3 国内外研究概况

20 世纪 50 年代以来, 随着现代项目管理技术的发展, 如何有效地配置项目资源, 成为项目管理中的重点课题。国内外专家在这一领域做了大量的研究, 总括起来, 有关的研究包括以下几个方面: 一是基于网络计划技术的资源分配; 二是资源约束型进度计划编制; 三是时间—成本均衡分析。

1.3.1 基于网络计划技术的资源分配方法

1956 年, 美国杜邦公司在制订企业不同业务部门的系统规划时, 制订了第一套网络计划。接着, 杜邦公司于 1953 年和 1954 年先后提出了两种不同的网络图方法, 即先导图法 (Precedence Diagramming Method, 简称 PDM) 和箭线图法 (Arrow Diagramming Method, 简称 ADM), 前者用结点表示项目活动, 以箭头线表示活动之间的联系, 后者用箭线表示项目活动, 用结点表示项目活动之间的联系。两种方法的基本思想是一样的, 就是通过顺推和反推分析法相结合, 来找出项目网络图中的关键路径。关键路径法中, 使用最可能时间作为每项活动的历时和资源分配的依据。

1958 年美国海军武器部提出了计划评审技术 (Program Evaluation & Review Technique, 简称 PERT), 指出要通过分析项目活动的风险概率来估计项目活动的历时, 这是对传统关键路径法的一种改进。1962 年, 克拉克 (Clark) 提出了用改进的 PERT 方法计算项目活动历时的理论^[10], 1969 年, Pritisker