

国家自然科学基金资助项目

重复性项目调度 理论与方法研究

Repetitive Project Scheduling
Theory and Methods

张立辉 邹鑫 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

国家

重复性项目调度 理论与方法研究

Repetitive Project Scheduling
Theory and Methods

张立辉 邹鑫 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

近几十年来,随着高速公路、铁路、隧道、高层建筑等重复性工程项目的快速发展,传统的以关键路线法、计划评审技术为代表的借助网络进行项目调度的方法逐渐暴露出许多不足。一种新的项目计划和调度工具——重复性项目调度方法在欧美工程管理领域得到越来越多的应用并成为工程管理领域的研究热点。

在本书中,作者提出一种新的确定控制路线的方法,揭示了重复性项目总工期的决定因素,研究了将重复性项目调度模型转化为网络调度模型的方法,并对重复性项目调度过程中的一些经典问题及其算法进行了详尽阐述。本书中提出的理论和优化方法对于科学合理地降低成本、缩短工期、节约资源,从而建设节约型社会具有重要的理论和现实意义。

本书适合于从事项目计划与调度相关研究的人员阅读使用,并可作为高校项目管理专业相关的学习参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

重复性项目调度理论与方法研究/张立辉,邹鑫著. —北京:中国电力出版社,2012.6

ISBN 978-7-5123-3214-0

I. ①重… II. ①张… ②邹… III. ①重复性-建筑工程-工程施工-项目管理 IV. ①TU71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 137177 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 9 印张 154 千字

定价 22.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

项目计划与调度是工程项目管理中的重要内容。自 20 世纪 50 年代以来,传统的以关键路线法(Critical Path Method, CPM)、计划评审技术(Plan Evaluation and Review Technique, PERT)为代表的借助网络进行项目调度的方法,在项目管理中得到广泛的应用。对美国 400 家最大建筑商的调查显示,1965 年在项目管理中使用 CPM 和 PERT 的比例为 47%,1970 年达到 80%,1990 年达到 92.6%。但是同时,CPM 和 PERT 在应用中也存在很多不足,1998 年对美国通用承包商协会(Associated General Contractors of America)成员的调查显示,项目计划与调度方法是项目管理中最需要改进和完善的技术。

重复性项目领域就正是项目计划和调度技术亟须改进的领域之一。重复性项目是指在工程的每个单元各个子工序不断重复进行的项目,如高速公路、管道工程、铁道工程、隧道工程、高层建筑等。近几十年来,随着高速公路、铁路、隧道、高层建筑等重复性工程项目的快速发展,一种新的项目计划和调度工具——重复性项目调度方法(Repetitive Project Scheduling Method, RSM)在欧美工程管理领域得到越来越多的应用并成为工程管理领域的研究热点。这是一种完全不同于 CPM 等网络调度模型的新方法,它以时间—距离的二维图直观地表示出工程项目在时间和空间上的进展以便于计划人员和项目经理的使用。

伴随着中国经济的快速发展和城市化进程的加快,各种重复性工程项目如雨后春笋,遍地开花。高速公路、高速铁路、各个城市的地铁和城市快轨、高层建筑等大量的重复性工程项目正在兴建或筹划。以高速公路为例,根据《交通运输“十二五”发展规划》,“十二五”末,我国公路网总里程将达到 450 万 km,较“十一五”末增长 220 万 km,其中高速公路总里程达到 10.8 万 km,较“十一五”末增长 4.3 万 km;二级及以上公路里程达到 65 万 km,较“十一五”末增

长 20 万 km；农村公路总里程达到 390 万 km，较“十一五”末增长 210 万 km。此外，“十二五”期间全国铁路运营里程也将由现在的 9.1 万 km 增加到 12 万 km 左右。这些重复性工程项目大多属于基础设施建设，投资大、工期长。例如，京津城际铁路建设期 3 年，总投资额 133.24 亿元，平均每公里投资 1.16 亿元；京沪高铁建设期 3 年，总投资额高达 2209.4 亿元，平均每公里投资 1.68 亿元；北京地铁平均每公里投资 4 亿~6 亿元；高速公路每公里投资也都在几百万元到几千万元。因此，工程项目计划和调度的优化尤显必要，一种适合于重复性工程项目特点的计划和调度工具在我国将大有用武之地。

作者所在的课题组长期从事项目计划与调度理论和方法的研究。2010 年作者在美国北卡罗来纳州立大学工业工程系访问期间开始从事 RSM 的研究。两年多来，在这个领域相继提出了新的控制路线确定方法、各类型控制子工序的定义、RSM 与网络调度模型的转化，以及 RSM 的各种经典问题如最短工期、资源均衡、时间费用权衡等问题的求解方法等，这些内容都包括在本书中。本书的主要创新之处主要体现在以下方面：

(1) 提出了一种新的确定控制路线的方法，揭示了重复性项目总工期的决定因素。与国际上已有的方法相比，本书所提出的方法适用性更强，能够适应工程实践中的各种复杂情况，改进了已有方法中的错误之处，确认控制点、控制子工序和控制路线更为准确，能够发现逆控制子工序和点控制子工序，更便于工程的优化。

(2) 定义了三种类型的控制子工序，分别是正控制子工序、逆控制子工序和点控制子工序，并研究了其特性。尤其是其中的逆控制子工序，在重复性项目中是一种常见的子工序，虽然曾被其他研究者发现，但并未引起足够重视。本书不仅首次对其进行定义，研究其存在条件和优化方法，而且初步研究了其在重复性项目调度优化中的应用（最短工期问题）。

(3) 研究了重复性项目调度模型向网络模型的转化方法。以前学者提出的转化方法，不能解决重复性调度模型转化为网络模型后的工期一致性和关键路线（控制路线）一致性问题。而本书所提出的方法，由于解决了资源连续性问题，转化之后的网络模型与重复性项目调度模型有着完全相同的项目总工期、关键路线（控制路线）、关键工序（控制子工序）和时差。

(4) 提出了考虑资源连续性的各种调度问题如资源约束下的重复性项目调度问题、资源均衡问题和时间费用权衡问题，并提出了求解的算法。资源连续性 is 重复性项目的一个重要特点，本书区别考虑了工程中资源连续性的各种情况，

所设计的算法能更好地适应工程项目的需求。

全书共分为 7 章。第 1 章介绍了重复性项目调度理论与方法兴起的背景和基本内容。第 2 章和第 3 章属于重复性项目调度的基础理论部分, 其中第 2 章研究了重复性项目中控制路线的确定方法, 第 3 章研究了将重复性项目调度模型转化为网络模型的方法。第 4 章~第 7 章研究重复性项目调度过程中的一些经典问题及其算法, 依次是最短工期问题、资源约束下的重复性项目调度问题、资源均衡问题和时间—费用权衡问题。

在本书即将出版之际, 首先感谢美国北卡罗来纳州立大学的方述诚教授和 Elmaghraby 教授提供的许多非常宝贵的学术指导和研究条件。其次, 本书很多内容是我与我的研究生邹鑫一起研究取得的。最后, 特别感谢课题组乞建勋教授, 他对我们的研究方向和研究思路做了极其重要的指导, 也要感谢课题组其他成员, 如李星梅博士及研究生苏志雄、阚芝南、陈心路、苏义拉、孟宪威、潘楚云等, 他们都直接或间接地为本书作出了贡献。感谢国家自然科学基金委对本书出版的资助。

由于作者水平有限, 书中难免有疏漏之处, 恳请专家学者批评指正。

作 者

2012 年 6 月

前言

➡ 第 1 章 重复性项目调度概述 / 1

- 1.1 项目管理与项目调度方法 / 1
- 1.2 重复性项目的定义及主要特点 / 3
- 1.3 重复性项目调度方法的兴起 / 3
- 1.4 重复性项目调度方法的研究意义 / 6
- 1.5 重复性项目调度方法的研究现状 / 7
- 1.6 重复性项目调度方法中工序的类型 / 10
- 1.7 重复性项目调度方法解决的主要问题 / 12

➡ 第 2 章 重复性项目调度中控制路线的确定 / 13

- 2.1 概述 / 13
- 2.2 重复性项目调度方法中确定控制路线的图示方法 / 15
- 2.3 通过阶跃函数确定控制路线的方法 / 24
- 2.4 本章小结 / 31

➡ 第 3 章 重复性项目调度模型与网络模型的转化 / 32

- 3.1 研究现状分析 / 32
- 3.2 重复性项目调度方法转化为网络模型的方法 / 33
- 3.3 重复性项目调度方法中控制路线与网络模型中关键路线之间的比较分析 / 37

3.4 工序关键性比较分析 / 42

3.5 时差分析 / 43

3.6 本章小结 / 45

第4章 重复性项目中的最短工期问题 / 46

4.1 重复性项目中工作连续性和资源恒定性约束定义 / 46

4.2 重复性项目最短工期问题综述 / 47

4.3 通过逆控制子工序求最短工期的遗传算法 / 50

4.4 算例分析 / 58

4.5 本章小结 / 60

第5章 资源约束下的重复性项目调度问题 / 61

5.1 研究现状分析 / 61

5.2 重复性项目 RCPSP 问题的模型 / 65

5.3 求解重复性项目 RCPSP 问题的改进遗传算法 / 67

5.4 实例分析 / 71

5.5 本章小结 / 79

第6章 重复性项目中的资源均衡问题 / 80

6.1 资源均衡问题研究综述 / 80

6.2 整数规划求解重复性项目调度方法中资源均衡问题 / 85

6.3 遗传算法求解重复性项目调度方法中的资源均衡问题 / 96

6.4 本章小结 / 101

第7章 重复性项目的时间—费用权衡 / 102

7.1 研究现状分析 / 102

7.2 考虑资源连续性的重复性项目时间—费用权衡 / 104

7.3 考虑软逻辑关系的重复性项目时间—费用权衡 / 116

7.4 本章小结 / 127

参考文献 / 128

重复性项目调度概述

1.1 项目管理与项目调度方法

从古代万里长城的修建,到现代国家体育场“鸟巢”的竣工;从古巴比伦空中花园,到阿波罗登月计划,可以说项目管理技术贯穿着人类历史发展的进程。项目管理是指在一定资源约束条件下,通过计划、控制、组织、激励和领导等各种管理职能来协调各种资源分配,以期更好地完成既定的各种目标的过程。对于任何一个待建项目,无论是实体的高层住宅建设项目,还是虚拟的软件开发项目,均需要人力、物力、财力、时间和信息等资源的项目配合,同时无论是业主还是施工方、开发商,都希望在有限的资源条件下,通过合理地安排施工计划或开发进度,按期或提前促成目标的实现,这正是所有项目调度方法所要解决的根本问题。

项目调度方法中最核心也最常用的是网络计划技术。它是 20 世纪 50 年代末在美国产生和发展起来的一种关于生产组织和管理的现代化方法,是现代管理科学总结出的一种比较有效的管理手段。它通过网络图来体现整个项目的施工进度安排和各个工序之间的项目联系,然后计算时间参数、找出关键路线和关键工序,并在此基础上通过调整非关键工序的时间参数来进一步改进施工方案,以便对工期、费用和资源等进行优化(乞建勋等, 2010)。网络计划技术中应用较早且最具代表性的是关键路线法 CPM 和 PERT。

CPM 是美国杜邦化学公司的 M.R. Walker 和雷明顿—兰德公司的 J.E. Kelly 共同开发的项目管理技术。对于一个项目而言, CPM 将其表示为含有一个开始节点和一个结束节点,所有工序按施工工艺进行排列的网络图,只有项目网络中最长路线上的所有工序全部完成之后,整个项目才能结束,这条最长路线就叫关

键路线 (Critical Path), 处于关键路线上的工序就叫关键工序 (Critical Activity)。在项目管理中, CPM 的基本思想就是在一个庞大的网络图中找出关键路线, 并对各关键工序优先安排资源, 压缩工期; 而对非关键工序, 在不影响完工时间的基础上, 抽出适当的资源用在关键工序上, 以达到缩短总工期的目的。1956 年, 美国杜邦化学公司在 Louisville 维修计划工作中首次使用 CPM, 使停工时间从原来的 125 小时减少到了 78 小时。CPM 适用于有很多作业而且必须按时完成的项目, 并且会随着项目的进展不断更新, 它采用单一的工期估计方法, 其中时间被视为一定的或确定的。CPM 使得网络计划成为一门真正的技术, 它的出现标志着人们对网络计划进行科学研究的开始。

PERT 在 1958 年美国海军武器部制订“北极星”导弹计划时获得了首次应用并取得成功, 同时它使原先估计的研制北极星潜艇的时间缩短了两年。同 CPM 一样, PERT 是利用网络分析制订计划以及对计划给予评价的技术。它能协调整个计划的各个工序, 合理安排资源, 加速计划的完成。相较于 CPM 单一的工期估计方法, PERT 则采用基于概率的不确定性的工期估计。从 1959 年起, PERT 被广泛应用于各种大规模工业项目中。1961 年, 美国国防部和美国国家航空航天局规定: 凡承制军用品, 必须采用 PERT 来进行计划和控制, 这引起了世界各国普遍的重视。

随着电子计算机技术的突飞猛进, 边缘学科不断发展, 网络计划技术应用领域的不断扩宽, 又有多种网络计划技术应运而生。主要有图示评审技术 (Graphical Evaluation and Review Technique, GERT)、风险评审技术 (Venture Evaluation and Review Technique, VERT)、决策网络计划技术 (Decision Critical Path Method, DCPM) 和基于约束理论 (Theory of Constraint, TOC) 的关键链管理 (Critical Chain Method, CCM) 等一大批现代计划管理方法。对于某一具体的项目而言, 应该采用哪种项目调度方法, 主要考虑如下几个因素:

(1) 项目的规模大小。明显的, 小规模的项目应采用简单的调度方法进行计划和管理, 达到节约成本和缩短工期的目的。

(2) 项目的复杂程度。大规模的项目并不一定就代表项目越复杂。项目的复杂性越强, 意味着计划和控制的难度越大, 此时就应运用较复杂的调度方法进行管理。

(3) 项目的紧急程度。在项目急需进行, 特别是在开始阶段, 需要对各项工作发布指示, 以便尽早开始工作, 此时如果所选用的调度方法需要很长时间去编制进度计划, 就会延误时间, 造成经济损失。



(4) 项目的掌控程度。如果项目在开始阶段所掌握的信息量不足,相关细节不够明确,那么 CPM 和 PERT 就无法使用。

(5) 有无相应的技术和设备支持。

此外,根据不同的情况,还应考虑客户的需求和用于调度计划上的预算等因素。

1.2 重复性项目的定义及主要特点

项目一词最早于 20 个世纪 50 年代在汉语中出现,是指在一定约束条件下(主要是限定时间、限定资源),具有明确目标的一次性任务。无论何种项目,都是在有限的资源约束下,拥有自己明确的目标和目的,并在专门建立的临时组织机构指挥下,完成其不可逆的独特性建设过程。无论项目的规模大小与投资多少,每一个项目都有自己的生命周期,即包括项目启动、项目计划、项目实施和项目收尾四个阶段(宋伟等,2006)。项目侧重于过程,是一个动态的概念,例如我们可以把一条高速公路的建设过程视为项目,但不可以把高速公路本身称为项目。

重复性项目是指在建设工程的每个活动单元,各个子工序不断重复进行的项目。如高层住宅建设项目,其活动单元为一个楼层的建设活动,若干个活动单元重复进行,最终完成整栋楼房的建设工程。按照项目重复进行的特点,重复性项目主要分为两类:① 由于项目单元在某一地理位置上重复进行,使得项目成为整体,如多层住宅、摩天大楼等,则这类重复性项目被称为多单元重复项目。② 由于项目沿着单位几何位置上的重复连续进行,使得项目具有重复性,如高速公路、管道铺设,则这类重复性项目被称为线性连续项目。

重复性项目的特点主要有:① 由多个相似的活动单元组成;② 沿着线性的路径或者空间进行施工;③ 各子工序之间通常具有较强的逻辑顺序;④ 保持工序的连续性对项目正常施工十分重要。

1.3 重复性项目调度方法的兴起

进入 20 世纪以后,随着信息时代的来临和高新技术产业的飞速发展并成为支柱产业,管理技术的日新月异,管理人员针对项目的不同特点选择合理的管理方法成为使项目顺利进行的关键。CPM 作为一种确定性网络,通过各个工序之间的相互联系安排进度计划,计算工序的时间参数找出关键路线和关键工序,然后分析研究项目工期、费用和资源的项目关系,以此为依据调整非关键工序的时

间参数来达到优化既定目标的目的。

制订一个重复性项目调度计划的关键在于：考虑工作人员工作连续性的前提下，确定任一活动单元的可动子工序和不可动子工序，即控制子工序和非控制子工序。而 CPM 在调度重复性项目时就显示出其不精确性 (Stradal and Cacha 1982; Chrzanowski and Johnston 1986; Cole 1991; Suhail and Neale 1994; Harris 1996)，这是由 CPM 的空间局限性造成的 (Bafna 1991; Harmelink 1995)，主要表现在以下几个方面：

(1) CPM 网络图难以表现资源的连续性使用 (Harris and Ioannou 1998)。CPM 网络图中各工序具有明显的界限，如果使用 CPM 网络图编制重复性项目计划，就必须把连续的工序分成多个彼此独立的子工序，不适于表达工序的连续性。例如，图 1-1 为某小区房屋建设项目的 CPM 网络图。从图中可以看出，该小区由三栋结构相同的房屋构成，每栋房屋的施工工序都相同。这个重复性项目中的工序存在两种约束关系：第一种约束关系是同一单元中因项目自身施工工艺决定的子工序先后施工顺序，例如第一栋房屋的子工序 B 必须在子工序 A 结束后才能开始。第二种约束关系是受资源限制引起的同一工作在不同单元施工的先后顺序，例如三栋房子的子工序 A 都由同一组人员完成 (简称 A 小组)，A 小组完成第一栋房子的子工序 A 后，紧接着进行第二栋房子的子工序 A，最后进行第三栋房子的子工序 A。在重复性项目的工作连续性要求下，这三个子工序之间应该没

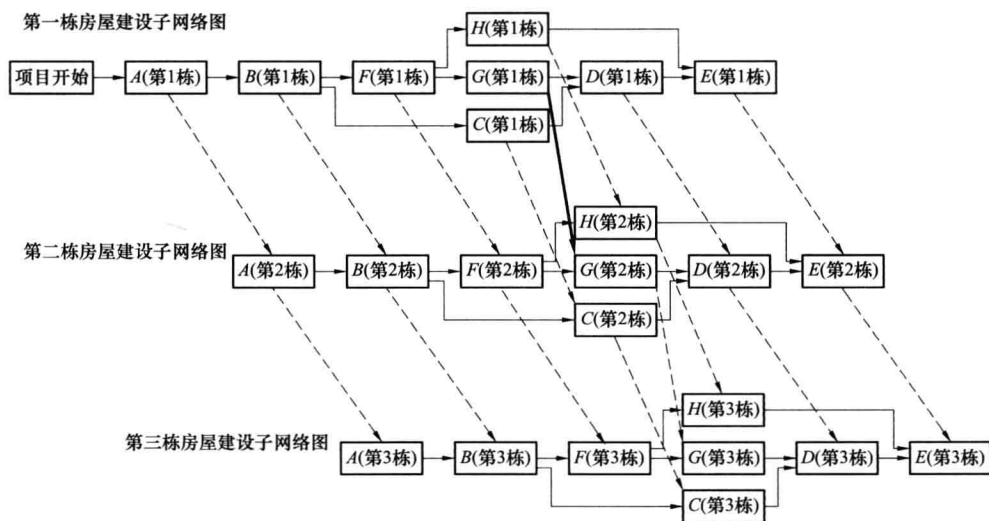


图 1-1 某小区房屋建设的 CPM 网络图

有时间间隔,是一个连续施工的过程。但在 CPM 网络图中, A 工序就被分成了三个独立的子工序。CPM 网络图能高效率地表示第一种约束关系,但难以同时保证第二种约束关系中的连续性。

(2) CPM 网络图不能表示工序之间在距离上的约束 (Kallantzis and Lambropoulos 2004)。CPM 作为一维的时间网络图,工序之间的所有约束关系必须全部转化为时间约束。例如,某一重复性项目中子工序 A 先于子工序 B 施工,并且它们之间必须间隔 10m 才能对彼此施工不产生影响。假如子工序 A 既定的施工速率为 5m/d,那么 CPM 网络图就只能将子工序 A 与子工序 B 的距离约束转化为子工序 A 开始 2d 后子工序 B 才能开始的时间约束。

(3) CPM 网络图是一维图,无法表示项目的进度位置(Kallantzis et al. 2007)。CPM 网络图无法在空间上形象地描述项目的进展情形,即除了工序关系、时间参数以外,CPM 无法表示“空间位置”这一重复性项目的重要参数。对于项目经理而言,需要了解某一时刻项目建设到哪一位置,以便更好地执行计划,完成既定目标。CPM 不能表示二维形式,因而无法满足管理者视觉形象化的需求,不利于理解和交流。

(4) CPM 网络图难于更新,不适应重复性项目进度多变的特点 (Yamín and Harmelink 2001)。利用 CPM 网络图能很快地寻找关键路线,制定工期。但是,一旦某些工序的完工日期超出计划,必须重新计算节点参数和确定关键路线,工作量比较大。而建设项目的施工过程中受到各种因素的影响,外部因素(如天气等)和内部因素(如资源、人员、费用和管理等)都可能造成建设项目工作效率的变化,从而影响到项目计划的实施。频繁的变动需要更加便于更新的计划手段。

因此,研究者们在为重复性项目设计一个行之有效的调度方法而进行了多次探索,包括平衡线法 (Line of Balance, LOB) (Lumsden 1968; Carr and Meyer 1974; Arditi and Albulak 1986)、纵向生产法 (Vertical Production Method, VPM) (O'Brien 1975)、线性调度法 (Linear Scheduling Method, LSM) (Johnston 1981; Chrzanowski and Johnston 1986; Vorster and Parvin 1990; Vorster et al. 1992)、重复项目模型 (Repetitive Project Modeling, RPM) (Reda 1990)、重复性结构 (Repetitive Construction, REPCON) (Russell 1990)、重复性项目调度方法 (Repetitive Scheduling Method, RSM) (Harris 1996) 等。其中:LOB 方法提出较早,是发展到现在的重复性项目调度方法的基础;LSM 方法是线形项目采用较广泛的计划方法,Johnston 在 1981 年提出将其应用于建筑行业。上述方法用于重

复性项目的进度编制时具有十分显著的优势,能很好地在时间和空间位置的二维坐标上描述重复性项目的施工进展情况,突显了空间位置上计划和控制项目进度的实际要求。

1.4 重复性项目调度方法的研究意义

1.4.1 理论研究价值

RSM 是适应重复性项目特点而发展起来的,具有其他项目计划方法不可替代的优势,主要体现在:

(1) RSM 在二维坐标中同时表示项目的时间进度和空间进度,相对于 CPM 只能表示时间进度而言,更便于项目的执行与控制。

(2) 在重复性项目中,出于成本、管理等方面的需要,经常会要求保持资源的连续性,这在 CPM 方法中难以表示和实现,而 RSM 却可以直观地做到。

(3) 在重复性项目中,为了避免不同工序之间的互相干扰等各种原因,常常会在前后工序之间设置距离上的约束。在 CPM 中,空间上的约束无法表示,必须首先根据其工作效率转化为时间约束,然后通过时间表示。一旦该工序的工作效率发生改变,则约束需要重新计算和设置。而在 RSM 中,可以直接设置空间上的约束,简便而且直观。

(4) 重复性项目往往涉及多个单元,RSM 中每个单元的一个子工序就对应着网络中的一个工序,因此一个涉及到多个单元的重复性项目会对应一个庞大的网络计划。当其中某个工序或约束变化时,整个网络计划需要重新调整。而在 RSM 中,计划的变化与更新更为直观、简便。

RSM 是一种新的项目计划和调度方法,不能简单地将 CPM 等网络计划模型的理论和算法应用于 RSM。因此,研究和完善 RSM 方法,是对项目计划和调度方法的发展,具有重要的理论研究价值。

1.4.2 应用价值

重复性项目涵盖面广,种类多,许多工程如铁路、隧道、高速公路等项目,具有投资大、工期长的特点。例如,京津城际铁路建设期 3 年,总投资额 133.24 亿元,平均每公里投资 1.16 亿元;京沪高铁建设期 3 年,总投资额高达 2209.4 亿元,平均每公里投资 1.68 亿元。高速公路每公里投资也都在几百万元到几千万元。而且这些工程很多都属于基本建设工程,工程的优化对于节约社会资源具有重大意义。我国目前重复性项目很多仍然在沿用 CPM 的计划方法,对 RSM 的研究也还停留在“流水施工”、“线性工程”这样的认识上,缺乏科学的理论指导。本书

研究的最短工期问题、时间—费用权衡问题、资源均衡问题等，都是重复性项目调度中的典型问题，这些优化方法应用于工程实践中能产生很好的管理效益，对于科学合理地降低成本、缩短工期、节约资源从而建设节约型社会具有巨大的价值。

1.5 重复性项目调度方法的研究现状

学者们对重复性项目的研究持续了几十年，至今已诞生了众多重复性项目调度方法。总的来说根据重复性项目的不同分类可以将重复性项目调度方法分为两大类：① 以调度多单元重复项目为主，代表方法为 LOB；② 以调度线性连续项目为主，代表方法为 LSM。LOB 方法的核心是累积目标图，即实际完成进度与计划完成进度的对比。LSM 方法是以时间和位置为坐标的图形表示法，工序的定位依赖于计划的时间和生产效率，这种方法是真正意义上的线性(Johnston 1981)。此外，LSM 方法有很大的吸引力还在于施工信息易于从图中获得(Vorster et al. 1992)。

1.5.1 LOB 方法

1.5.1.1 LOB 方法的产生和基本内容

LOB 方法产生于 20 世纪 40 年代，由美国 Goodyear 公司首先提出并使用；50 年代初美国海军部用于监控物品实际运输量与计划运输量之间的误差，效果良好，并有了进一步的发展；80 年代，芬兰建筑企业将其大量运用到建筑业中。LOB 方法由四个要素组成：

- (1) 累积目标图，表示计划累积完成的情况。
- (2) 程序图，描述生产计划对各活动提前期的要求，有的文献也称单位网络图。
- (3) 程序进程图，表示每个关键控制点的实际生产状况。
- (4) 平衡线，实际进程与目标进程的比较线。

例如，某产品的装配生产线的 LOB 图如图 1-2 所示，图的上半部分为产品装配过程的程序图，左下部分为累积目标图，右下部分为程序进程图。装配程序图中，依据要求的交货期限与数量，拟定生产计划后，将制造过程中重要活动的控制点，由交货期向前倒算，绘制出各活动（或称关键控制点）之间的时间关系。按照图中所示，零件 1 应于运送前 4 个月完成，外购零件 2 与零件 3 应分别于三个月及两个月前全部采购抵达，零件 2 在 3 个月前应开始完成组件 4，零件 1 与 3 也应于一个月前再与组件 4 完成活动 5（总装配并检验），装配程序图中的最后的

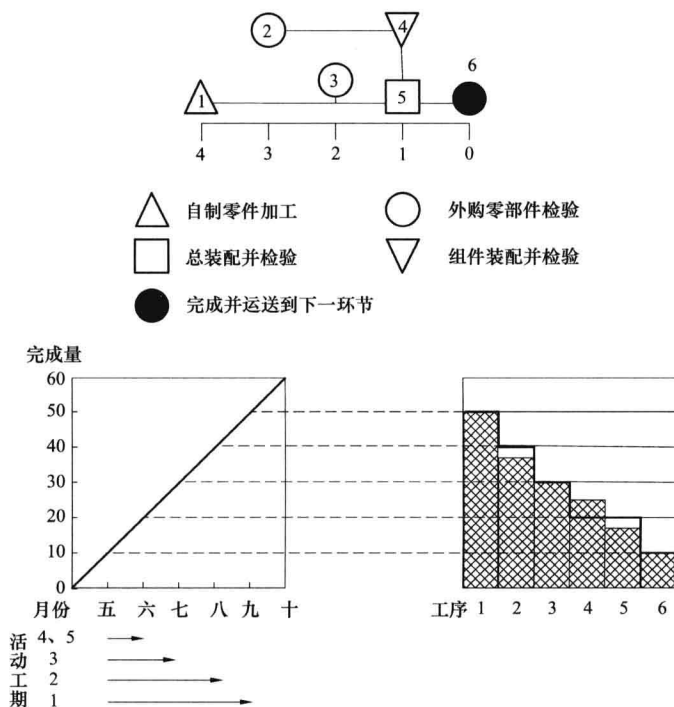


图 1-2 某产品装配生产线 LOB 图

控制点 6 表示的活动是完成并运送，按期交货。因每月交货 10 单位，自 5 月初至 10 月底 6 个月内累积交货为 60 单位，故累积交运数量正好在图上成一直线。即能以此确定每月对进度进行控制与设置各重要活动的完成时间，预定计划生产制造的数量，并可完成平衡线图的另一部分——目标图。依据数量与生产计划图中的进程，算出每一时期（以月、周或日为标准单位均可）应累积完成各项工作的数量，绘制 LOB 中的程序进程图。为了便于理解，我们也可以将零件 2 看成是待完成的活动 2。由图 1-2 所示，零件 2 需提前 3 个月开始运送才能及时完成，考虑从 6 月开始，3 个月后即为 9 月。从 6 月的点开始向 9 月的点画一条直线，再从 9 月的点向进程图画水平线至零件 2 的网格处。从图中可知，6 月需要开始运送 40 个单位的零件 2 以满足计划，再与进程图中的实际运送量相比较。从程序进程图可以看出，活动 1、3、6 的完成是满足计划的，活动 2、5 落后于计划，而活动 4 超前。有了平衡线，管理者的控制重点将落在如何使实际完工量与计划完工量的偏差最小，甚至消除偏差，以保证按时按量完成任务。



1.5.1.2 LOB 技术的相关研究

LOB 技术的优势 (Lumsden 1968; Khisty 1970; Arditi and Albulak 1986) 还包括以下几方面:

(1) 通过累积目标图、程序图和程序进程图追踪人力、物力的位置并对其进行有效利用, 绘制资源直方图。

(2) 确定生产过程是否失衡, 并有能力调整这种失衡的局面。

(3) 准备工作较网络图简单, 尤其是在重复性项目中, 差异更加明显。

(4) 比起复杂的双代号网络, 承包商等更能接受 LOB 图。

Al Sarraj (1990) 提出了将 LOB 相关参数计算自动化的数学方程组。这些方程组可经计算得出项目总工期、人员需要、缓冲区和工序的开始/结束时间。Suhail 和 Neale (1994) 将 CPM 和 LOB 结合, 提出 CPM/LOB 模型, 这一模型有效地利用了两种方法的优点: 用 CPM 计算各重复性子工序的时差, 然后可以在 LOB 图上进行资源的均衡。降低非关键子工序的生产率就延长了工期, 工期的最大延长量为工序可用的机动时间, 这样就达到了资源均衡和工作连续的目的。降低生产率可以通过减少资源量来实现。

在我国, LOB 技术主要应用于高层建筑、道路工程和管道工程中。LOB 技术使项目管理人员高效率地计划与控制项目进度, 使施工活动高效开展并得到有效监控, 它对于重复性项目的现场管理具有重大意义。

1.5.1.3 LOB 技术的不足

自 LOB 技术产生并运用以来, 其对工程项目管理技术起到了极大地推动作用, 但许多学者亦相继指出它的不足之处, 主要有以下三点:

(1) LOB 只能表示简单的项目。LOB 图形只能表示清楚少量的信息, 不能表示稍微复杂的活动, 尤其是用于进度控制方面。用 LOB 技术进行调度时, 要确保同一工作面上不能同时展开多项施工作业, 所以, 在绘制 LOB 图形时, 要尽量避免出现空间冲突的工序。若出现比较复杂的项目, 如工序间的搭接关系较多、工作面先后顺序繁杂等, LOB 图形不易表达, 限制了 LOB 技术的适用范围。

(2) LOB 技术在计算时差和寻找关键路线上没有优势。虽然从 LOB 图上能够计算得到活动的时差, 也能通过一定的方法找出关键活动和关键路线, 但比在 CPM 中复杂得多, 并且采用 LOB 方法的一个弊病是平衡线的误差累积效应。实际的工程项目中, 项目计划人员对施工活动的工作效率估计误差在所难免, 即便单位活动的预计工作或工作效率只存在很小的误差, 在整个项目结束时也往往会产生较大的误差。