

考虑资源切换的多项目关键链进度计划制定与表示

唐绪武, 廖良才

(中国人民解放军国防科学技术大学 信息系统与管理学院, 长沙 410073)

摘要:多个项目的项目进度计划制定过程中,项目之间存在着资源的冲突,瓶颈资源相比在项目内工作间的切换,在项目间的切换通常需要更多的时间,如何科学合理地制定资源调度计划,使得多项目整体的最终完工时间最短,是多项目项目管理面临的一个重要问题。本文在传统单项目关键链计划技术的基础上,将瓶颈资源在并行项目间的切换时间赋予资源缓冲区并使之串联起并行项目,进而在不同切换方案中选取最优。与此同时,对传统的项目进度计划图进行了改进,提出了时间轴关键链项目进度计划图的概念,使得关键链项目计划与控制有了更加便捷直观的体现。

关键词:多项目关键链;资源切换;资源缓冲区;时间轴

中图分类号:C935 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2012)11-0154-04

Goldratt 博士于 1986 年提出约束理论^[1](Theory of Constraint, TOC),强调对不确定性的系统分析。而 1997 年《关键链》^[2]一书的出版将 TOC 技术应用到了项目管理领域,产生了关键链项目管理(Critical Chain Project Management)这一新方法。该方法不仅包含了约束理论用以解决项目工序间资源受限问题,还考虑了基于学生综合症、帕金森定律以及墨菲定律等人的因素在内,使得项目进度计划的制定达到一个新的层次高度。因此关键链管理自从被提出以来,引起了广泛的反响,被认为是项目管理领域自发明关键路径法(CPM)和计划评审技术(PERT)以来最重要的进展之一。

随着社会的不断进步,在关键链项目管理思想逐渐在管理领域推广开来的过程中,实践的需求又对关键链项目管理的发展提出了新的要求。传统的关键链项目管理的思想和方法主要是建立在单项目的项目计划与控制的过程中,然而在竞争越来越激烈、资源限制日趋明显的今天,项目组织通常面临的是多个项目同时运行的情况,然而资源是有限的,资源所形成的瓶颈不仅在单个项目中制约着项目的进展,而且成为了项目组织在并行的多项目形成的项目集中能否高绩效完工的关键因素。因此,多项目背景下的关键链项目管理已是现代项目管理发展的必然,实践的需求使得对它的研究在不断的深入过程中。其中,文献[3]对项目活动持续时间不断变化的多资源约束、

多项目运行问题进行了论述,并且给出了基于不同优先规则下的四种动态模型,同时给出了模型间的相互关系和目标函数,以此来缩减项目活动最早开工时间和迟延时间。Leach^[4]认为应该找出多个项目共享的关键资源作为约束因素,从而对不同优先权的项目进行不同的管理。而林晶晶等人^[5]则提出关键链在单项目和多项目环境下应有区别,并探讨了多项目环境下基于工序优先级的关键链方法,且通过案例验证了所提出方法解决项目间资源冲突的有效性。文献[6]中首先确定而来多项目的“瓶颈”段的瓶颈缓冲,进而确定对后续项目的影响,并通过缓冲检测图、进度计划图等手段进行进度的适时控制。

研究关键链的学者们从各自独特的视角,充分运用约束理论对多项目的关键链问题进行了探究,并提出了许多有着很高价值的模型和算法。然而,对于瓶颈资源在项目间的切换问题,以往的文献中并未过多涉及,但其实用价值使得其研究意义不可被忽视。因此,本文将进一步研究约束理论在多项目管理中的应用,并考虑资源在项目间的切换成本以及切换时间这一要素,对多项目的关键链识别问题进行探究。研究过程中,本文拟在多项目关键链项目管理分析的基础上,给关键链进度计划中的资源缓冲区赋值,即资源在项目间的切换时间,进而对多项目的关键链进行识别并进行关键链网络图的重新规划,最后给出相应的算例对研究的成果进行验证。

收稿日期:2012-08-18

作者简介:唐绪武(1989—),男,山东济南人,国防科学技术大学信息系统与管理学院管理科学与工程硕士研究生,研究方向:系统优化与系统集成技术。

1 多项目关键链束的识别

根据 TOC(Theory Of Constraint)约束理论,资源的有限成为了影响组织绩效以及项目完工时间的制约因素,成为制约项目进展的瓶颈。针对这一问题,单项目背景下的关键链项目计划与控制方法通常依据约束理论,以 50% 的完工概率估计每一道工序的时间,将单个工序的不确定因素统一放在项目缓冲区考虑。在项目的关键链被识别后,即将其作为项目进度管理的重点,通过项目缓冲区(PB, Project Buffer)、汇入缓冲区(FB, Feeding Buffer)以及资源缓冲区(RB, Resource Buffer)的监控和管理来降低项目延期的风险并保证项目的顺利进行。

在多项项目环境下,由于并行项目中同样存在着资源的约束,因此在项目间也存在着项目集的瓶颈。而项目集的关键链在文献[6]中被定义为关键链束:在多项项目环境下,考虑项目间约束资源后的得到的一组新的关键链。因此,多项目关键链的识别即是关键链束的识别,本文将在单项目关键链识别方法的基础上,考虑瓶颈资源在项目间的切换时间,并将此时间值赋予资源缓冲区来对多项项目的关键链束进行识别。

1.1 单项目各自关键链以及项目间瓶颈资源的确定

假设某项目组织有 n 个项目在同一时间段内需要进行实施,并且存在项目间资源约束的瓶颈工序都在各项目的初始关键链上。

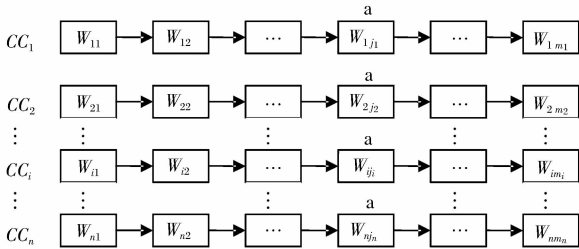


图1 各项目初始关键链以及瓶颈资源的确定

其中,第 i 个项目为 $P_i \in \{P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n\}$, P_i 中包含 m_i 个工序,其中第 i 个工序为 $W_{ij} \in \{W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{ij}, \dots, W_{im_i}\}$, 如图 1 所示,根据约束理论求得各个项目各自的关键链,并确定瓶颈资源 a 位于工序 W_{ij_1} 上。其中工序的完工时间以 50% 的完工概率估算,缓冲区的大小为链上工序被剪掉的安全时间总和的一半^[7],即

$$t_{PB_i} = \frac{1}{2} \sum_{j \in CC_i} \sigma_j \cdot \sigma_{ij} = t_m - t_o \quad (1)$$

其中, PB_i 为项目 P_i 关键链 CC_i 中的项目缓冲区, t_m 为关键链上某工序活动以完工概率为 90% 估计的持

续时间, t_o 为关键链上某工序活动以完工概率为 50% 估计的持续时间。

1.2 加入资源缓冲区连接并行项目

由于瓶颈资源 a 的存在,使得项目工序 W_{1j_1} 、 W_{2j_2} 、 $\dots$ 、 W_{ij_i} 、 $\dots$ 、 W_{nj_n} 不能同时进行,因而资源 a 的使用在多个并行项目之间必须形成先后顺序。同时,通常由于地理分布等因素,资源在项目间的切换往往需要一定的时间,因此,本文欲将此因素即资源在项目间的切换时间赋值到资源缓冲区中并用资源缓冲区连接并行项目。如图 2, RB_{12} 表示瓶颈资源由项目 P_1 切换到项目 P_2 的资源缓冲区,其大小为资源 a 由 W_{1j_1} 切换到 W_{2j_2} 所用时间,依此类推。

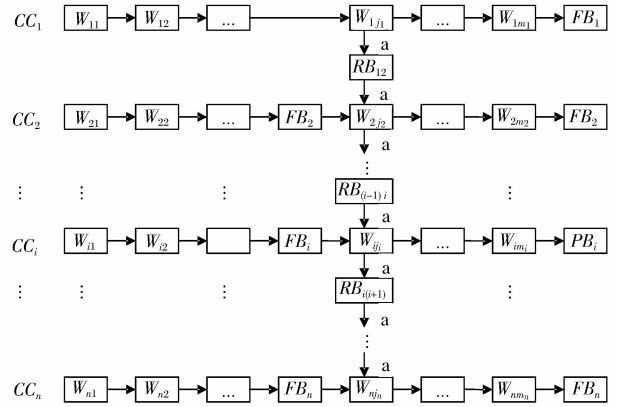


图2 由资源缓冲区连接的并行项目工序图

同时,在图 2 所示的项目工序图中,由于瓶颈资源 a 的存在,根据约束理论, $W_{1j_1} \rightarrow RB_{12} \rightarrow W_{2j_2} \rightarrow \dots \rightarrow RB_{(i-1)i} \rightarrow W_{ij_i} \rightarrow RB_{i(i+1)} \rightarrow \dots \rightarrow W_{nj_n}$ 便形成了并行项目关键链束的一部分,而根据关键链思想,非关键链束工序接入关键链束前形成汇入缓冲区,在图 2 所示的项目排序中即 FB_i ,另在关键链尾端形成项目缓冲区 PB_i ,其值分别为

$$t_{FB_i} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{j_i-1} \sigma_{ij}, t_{PB_i} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{m_i} \sigma_{ij} \quad (2)$$

1.3 计算比较不同切换顺序对应的关键链束总工时

如图 2 所示,瓶颈资源 a 按照 $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow \dots \rightarrow P_i \rightarrow \dots \rightarrow P_n$ 的顺序在项目间进行切换形成一条关键链束,同理,按照其他顺序可形成不同的关键链束,进而形成不同的项目进度计划。

假设 X 为 $\{1, 2, \dots, n\}$ 的任一排序,即 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$, n 个项目形成一个排序 $\{P_X\}$,求得该排序下项目的总工时为

$$T_X = \max\{\theta_1 + t_{W_{x_1j_{x_1+1}}} + \dots + t_{W_{x_1m_{x_1}}} + t_{PB_{x_1}}, \theta_2 + t_{W_{x_2j_{x_2+1}}} + \dots + t_{W_{x_2m_{x_2}}} + t_{PB_{x_2}}, \dots, \theta_i + t_{W_{x_ij_{x_i+1}}} + \dots + t_{W_{x_im_{x_i}}} + t_{PB_{x_i}}, \dots, \theta_n + t_{W_{x_nj_{x_n+1}}} + \dots + t_{W_{x_nm_{x_n}}} + t_{PB_{x_n}}\}$$

$$t_{PB_{x_i}}, \dots, \theta_n + t_{W_{x_n^{j_{x_n+1}}}} + \dots + t_{W_{x_n^{m_{x_n}}}} + t_{PB_{x_n}} \}$$
 (3)

其中,

$$\theta_1 = t_{W_{x_1^1}} + t_{W_{x_2^2}} + \dots + t_{W_{x_1^{j_{x_1}}}} \tag{4}$$

$$\theta_i = \max\{\theta_{i-1} + t_{RB_{x_{i-1}^{x_i}}}, t_{W_{x_i^1}} + t_{W_{x_i^2}} + \dots + t_{FB_{x_i}}\} + t_{W_{x_i^{j_{x_i}}}} + t_{W_{x_i^{m_{x_i}}}} + t_{PB_{x_i}} \tag{5}$$

仅考虑用时最少原则,项目集的关键链束为求得总工时最短的项目切换顺序,所对应工时为:

$$T = \min\{T_X\} \tag{6}$$

2 实例分析

某项目组织在同一时间内有三个项目需要实施,它们分别是项目 A、项目 B 和项目 C。在项目启动后的实施阶段,项目总工期的长短很大程度上决定了项目的成本和绩效。各项目的信息如表 1 所示,在不考虑项目间资源约束的情况下,三个项目在时间上形成并行关系,然而由于瓶颈资源 a 的存在,三个在地理上相隔的项目在瓶颈工序上不得不组成串联关系。按照上一章所述方法,下面对该项目集的进度计划进行分析制定。

表 1 项目信息表

项目	工序	紧后 工序	项目 间 约束 资源	t_m (天) (工序以完工 概率为 90%估计 的持续时间)	t_o (天) (工序以完工 概率为 50%估计 的持续时间)
A	A ₁	A ₂		3	2
	A ₂	A ₃		5	3
	A ₃	A ₄	a	8	5
	A ₄	A ₅		4	3
	A ₅			7	5
B	B ₁	B ₂		6	4
	B ₂	B ₃		4	2
	B ₃	B ₄	a	6	3
	B ₄			5	3
C	C ₁	C ₂		4	3
	C ₂	C ₃		8	5
	C ₃	C ₄	a	2	2
	C ₄	C ₅		7	4
	C ₅			6	4

2.1 单项目各自关键链以及项目间瓶颈资源的确定

首先确定了各项目的初始关键链,并确定瓶颈工序 A₃、B₃ 和 C₃,三个工序在资源 a 的使用上发生冲突,成为项目集的瓶颈。

2.2 加入资源缓冲区连接并行项目

由于地理上的分布,资源 a 在三个项目间的切换形成耗时,将这个时间值(单位为天)赋予到资源缓冲

区中,结果如下:

$$t_{RB_{AB}} = t_{RB_{BA}} = 1, t_{RB_{AC}} = t_{RB_{CA}} = 2, t_{RB_{BC}} = t_{RB_{CB}} = 1 \tag{7}$$

这样瓶颈资源 a 在项目间形成 6 种切换顺序,对应着 6 种项目集进度计划,按不同的顺序分别对项目集的进度计划进行进度图的编排。图 3 表示资源切换以 A→C→B 的顺序为例的进度计划图。图中横轴为时间轴,以天为单位时间间隔,起始时间为项目启动时间,这里表示为 0。纵轴则分为项目和资源两部分,借鉴甘特图的表示方法分别对项目的进度编排以及资源的使用方面进行直观的图示描述。本文借鉴传统的项目进度计划编制方法包括甘特图、计划评审技术以及项目网络图,并结合关键链管理的理论与方法,提出了一种新的多项目进度计划编制方法——时间轴。时间轴是以时间为横轴以项目工序和资源使用为纵轴的一种关键链项目进度编制方法。下面将结合实例在文中对时间轴方法进行进一步的阐释。

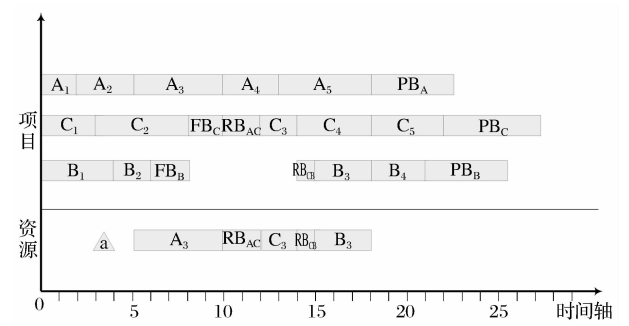


图 3 资源切换以 A→C→B 的顺序为例的时间轴项目进度计划图

2.3 计算比较不同切换顺序对应的关键链束总工时

在图 3 中,项目集的完工工时很直观的被表现出来,其数学计算即为公式 3、4、5 中所示步骤。再分别对其他 5 种资源切换顺序进行求解,其结果如表 2 所示。

表 2 不同资源切换顺序下项目总工时结果表

瓶颈资源 a 在 项目间切换顺序	ABC	ACB	BAC	BCA	CAB	CBA
该顺序对应的 总工期(天)	30.5	26.5	31.5	31.5	30.5	32.5

从表 2 中易知,当瓶颈资源 a 在项目间的切换顺序为 A→C→B 时,项目集的总工期最短,为 26.5 天。

在确定了最优方案的基础上,下一步将进一步对进度计划图进行优化,即对时间轴进行进一步的编排。

2.4 规划进度计划图

图 4 即在图 3 的基础上,对原时间轴进行了调

整。由于资源缓冲区和汇入缓冲区分别对应不同的资源,因此在时间上可以并联。而由于瓶颈工序的限制,项目 C 和项目 B 的开始时间可以延后,这样为项目的实施提供了更充足的准备时间,更符合了关键链项目的思想。

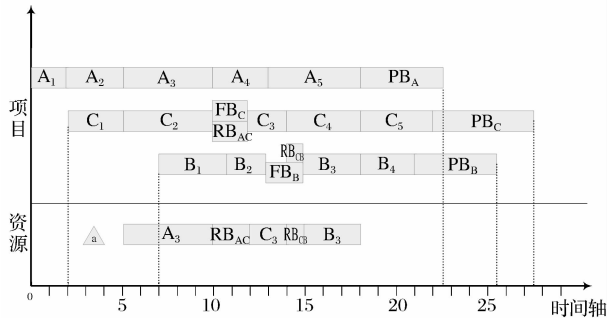


图4 重新规划的时间轴项目进度计划图

在图4的基础上,图5对该项目集的时间轴项目进度计划图做了进一步的优化。首先,关键链束的确定使得项目集的约束更加清晰。其次,将各项目的项目缓冲区按最小单位进行划分,这样在项目进度控制的实施时,可将项目缓冲区的每一个小单元按照项目的实际执行情况进行移动,使得项目进度执行情况的表述更加直观、其控制更加的灵活。

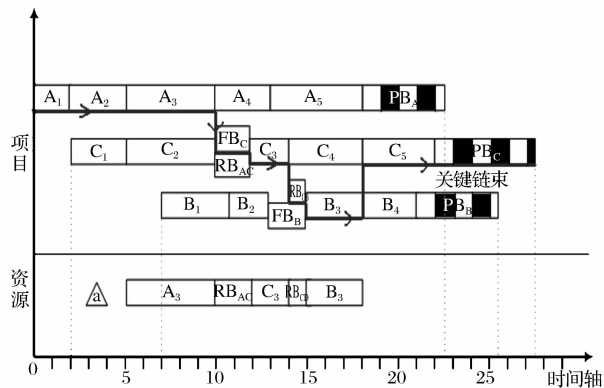


图5 最终优化后的时间轴项目进度计划图

Multi-project Critical Chain Scheduling and Graphic Denotation Considering the Switch of the Resource

TANG Xu-wu, LIAO Liang-cai

(College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The conflicts of resources among projects exist in the process of multi-project scheduling. Compared with switching among the works in one projects, the switching of the bottleneck resources require much more time typically. So how to make reasonable resource scheduling plan in order to guarantee the final completion time of the projects to be the shortest is a significant problem of multi-project management. Based on the traditional scheduling technology of critical chain of single project, this paper will add the switching time of bottleneck resources among parallel projects in resource buffers as bridges to connect the projects and then choose the best one of different switching schemes. At the same time, the article also improves the traditional project schedule planning graphs. Time Axis critical chain project schedule plan is presented to make it more convenient and intuitive of critical chain project scheduling and control.

Key words: multi-project critical chain; switch of resource; resource buffer; Time Axis

3 结论

针对考虑瓶颈资源在并行项目间切换的多项目关键链管理问题,本文初步提出了一种解决方案并对以往的关键链项目进度计划图进行了改进,将瓶颈资源在项目间的切换时间赋予资源缓冲区,使之串联起受瓶颈资源约束的并行项目。该方案使得约束理论在多项目的关键链项目管理中更加清晰,更符合在地理上不同分布的并行项目的实际情况,对实际的多项目项目进度计划的制定具有一定的指导作用。而对传统项目进度计划图的改进,即时间轴项目进度计划图的提出不仅使得项目工序的进展与时间的对应关系更明显直观,并在图中对瓶颈资源的使用进行了体现,同时由于对项目缓冲区的最小单元划分,使得时间轴项目进度计划图在项目进度的监测和控制功能上具有较强的功效。

参考文献

- [1] ELIYAHU GOLDRATT. 目标[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [2] ELIYAHU GOLDRATT. 突破项目管理的瓶颈——关键链(修订本)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [3] AVRAHAM SHTUB, KOMSTANTIN KOGAN. Scheduling projects with variable-intensity activities: The case of dynamic earliness and tardiness costs[J]. European Journal of operational Research, 1999, 118: 65—80.
- [4] LEACH L P. Critical Chain Project Management Improves Project Performance [J]. Project Management Journal, 1999, 30(2): 39—51.
- [5] 林晶晶, 周国华. 基于优先级的关键链多项目管理研究[J]. 科技管理研究, 2009(8): 131—133.
- [6] 郭庆军, 赛秀云. 关键链多项目进度管理分析[J]. 西安工业大学学报, 2007, 27(6): 583—587.
- [7] 钟稳, 廖良才. 多项目进度瓶颈—关键链束[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(25): 6245—6284.
- [8] 雷晓凌, 旺小金. 关键链技术中缓冲确定方法的比较研究[J]. 工业与工程管理, 2007, 12(5): 51—55.