

基于 DSM 的型号研制项目过程建模*

Modeling of Model Development Project Based on Dependency Structure Matrix

西北工业大学管理学院 郭云涛 白思俊 张静文

[摘要] 通过分析型号研制项目活动之间的关系,建立了基于 DSM 的型号研制项目过程结构化模型,给出了具体实现项目过程的 DSM 方法,包括活动分解、耦合活动集的认识和耦合活动集的解耦方法,实现了型号研制项目过程的优化重组,最后,通过一个实例说明了该建模方法的实用性和有效性。

关键词: 型号研制项目 依赖结构矩阵(DSM) 耦合 项目管理

[ABSTRACT] By analyzing the relations between activities of the model development project, a structure model based on DSM for the model development project process is described. Methods based on Dependency Structure Matrix(DSM) to realize the project process are presented, including activity-decomposing, identification of the sets of optimal re-engineering of model development project is realized. Finally, an illustrative example is presented to demonstrate the practicability and effectiveness of this method.

Keywords: Model development project Dependency structure matrix(DSM) Coupling Project management

型号项目研制是一项复杂的系统工程,规模庞大,包含的功能系统多达几十个甚至上百个,这些功能系统一般由分布在不同地理位置的参研单位负责研制,配套协作要求高,需要各参研单位部门以及不同专业背景人员高度协作配合。型号项目研制不仅采用大量新技术、新工艺、新材料,需要多学科知识与技术的高度集成与融合,而且存在许多技术、工艺瓶颈,需要反复试验才能获得有效的数据信息。研制过程中存在的大量不确定性和风险,加大了型号项目管理的难度和复杂性,活动任务之间数据信息的高度依赖性和数据信息的不确定性与反复性,使得研制过程中很

多活动任务不能一次成功,需要反复多次,造成了活动任务间的反馈与耦合。型号项目研制过程不仅包含的活动任务多(少则上百个,多则成千上万个),而且关系复杂,活动任务间关系不仅有串行、并行关系,而且还存在大量反馈与耦合关系。

传统的项目计划方法 PERT/CPM、甘特图都能清楚地显示各活动之间的相互关系,也适用于合理安排活动执行的顺序,但它们对项目活动提出了严格的要求:不能交叠执行且各自独立,而且它们无法清楚地描绘出前后活动之间的信息流,也无法解决型号研制项目中常见的耦合、回路等问题^[1-4]。

依赖结构矩阵(Dependency Structure Matrix,DSM)是 Steward^[5]提出的一种用矩阵来反应活动之间关系(信息流)的方阵,通过矩阵的行和列可以清晰地描述项目活动之间的信息流关系,可以弥补传统项目计划方法把重点放在项目 workflow 而不是信息流的缺陷^[6-9]。

从过程和系统的观点可以将项目看成是一系列过程系统的集合。项目过程系统的构成要素是活动,活动承担某项具体的业务,涉及资源的输入、输出、人员的参与等。本课题通过分析项目过程中活动间的关系,应用 DSM 建立型号研制项目过程的结构化模型,并通过基于矩阵的算法分析,协调各活动间的关系,对项目过程进行优化与重组,最后,通过一个实例说明该建模方法的实用性。

1 型号研制项目过程中活动间的关系

型号研制项目过程中活动之间的关系一般有串行、并行关系(如图 1 所示)和耦合与反馈关系(如表 1 所示)^[10]。如果完成活动 B 需要活动 A 的输出,则称活动 B 依赖于活动 A。串行关系并不是说后面的活动只能在前面的活动完成后开始,通常,后面的活动在获得前面活动输出的一部分信息后就可以开始,但是一般只能在前面的活动完成之后才能完成。耦合关系的存在是由于研制过程中不断有新信息出现,例如发现了错误、输入有变化或补充了新的要求等。实际的型号研制项目过程系统往往是上述几种关系交织在一起构成了过程系统的结构。

* 国家自然科学基金项目(70702026);西北工业大学人文社科与管理振兴基金项目(RW200704);西北工业大学科技创新基金项目(2008KJ02035)。

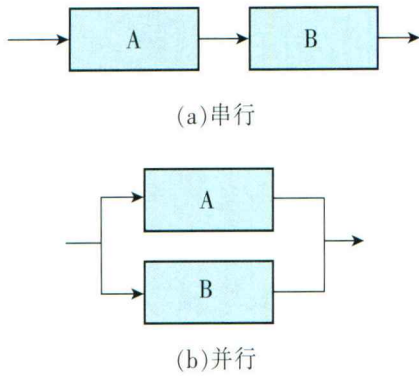


图1 活动间的串行与并行关系
Fig.1 Series and parallel connection between activities

表1 活动间的反馈耦合关系

序号	反馈与耦合关系	说明
(a)		活动由同一参研单位负责, 活动间的耦合关系
(b)		2项活动由不同的参研单位负责, 活动间的反馈关系
(c)		2项活动由不同的参研单位负责, 活动间的耦合关系
(d)		多项活动由不同的参研单位负责, 活动间的反馈关系
(e)		多项活动由不同的参研单位负责, 活动间的耦合关系

2 型号研制项目过程结构化建模

2.1 构建DSM

DSM 是一种用矩阵来反应活动之间关系的方法。它是一个 n 阶方阵, 能反应项目中各活动之间的相互依赖关系, 有利于对复杂项目进行可视化分析。

DSM 中所有活动在行和列中的表示顺序一致, 行中的活动接受信息、列中的活动发出信息。设 A 代表一个 DSM 矩阵, 若 A_{ij} 处有记号 (数字或者符号“x”), 则表示第 j 列对应的活动要发出信息给第 i 行对应的活动; 若 A_{ij} 处是空格, 则表示第 j 列对应的活动不需发出信息给第 i 行对应的活动。对角线以外的元素可以为任意一个数字或 0 到 1 之间的小数, 这些数值能够表示各活动接口间的很多信息, 如迭代的概率、重做工作的百分比、传递数据的数量、下游活动对输入敏感性的变化等。此外, DSM 的对角线上的元素也可用来表示活动完成的时间。

根据型号项目的目标, 采用质量功能展开和工作分解结构等方法把型号项目分解成若干活动任务, 通过查阅历史信息、专家讨论或德尔菲法等途径收集并记录各活动任务的输入/输出信息的去向和来源, 用 $n \times n$ 阶矩阵来描述各活动间的关系和信息传递方式, 构建 DSM。

2.2 活动级别划分

活动级别的划分包括: 端活动的排序与耦合活动集的确定, 目的是使过程中的各活动尽早地进行, 其基本思路是对 DSM 进行行列变换, 以化成下三角矩阵。如果不能化为下三角矩阵, 则使主对角线以上的非零元素尽量靠近主对角线, 以化为三角块矩阵。具体过程如下:

(1) 端活动的排序: 找出所有始端活动, 因为它们不需要任何输入, 可最先进行。将所有始端活动对应的行放置在 DSM 中的上方, 对应的列按相应的次序排在 DSM 中的左方; 找出所有终端活动, 它们不向其他活动提供输出, 因此可以放在最后执行。将它们对应的行放置在 DSM 中的下方, 对应的列按相应的次序排在 DSM 中的右方。在 DSM 中划去所有端活动对应的行和列, 不再考虑它们, 余下的活动集中一般会存在耦合活动集。

(2) 耦合活动集的识别: 耦合活动集是指包含具有相互依赖关系的 2 个或多个活动的集合, 代表了由活动间的信息、资金或实物等依赖关系所构成的回路。耦合活动集的识别方法有多种不同的算法, 如矩阵求幂法、对模糊设计结构矩阵求截集、深度优先和回溯方法、路径搜索法等^[3,8]。

(3) 聚合算法: 识别出一个耦合活动集后, 将其中的多个活动合并为一个整体, 且把各活动对整体之外的其他活动的关系转换成整体对其他活动的关系, 得到新的矩阵。对新的矩阵再进行从(1)~(3)的操作, 直

到矩阵为空。

2.3 解耦

解耦的目的是通过改变引起过程反复与迭代活动的耦合以加速过程的进行。将耦合活动分解为较低级的子活动的 DSM 有利于耦合问题的解决。一般采用分裂算法可以实现解耦。

分裂算法是通过分析耦合活动集中活动间的相互依赖程度,来确定耦合活动集的初始迭代次序。确定初始次序的目的是减少由活动耦合所引起的过程的反复、迭代次数,它的确定有利于过程尽快收敛。分裂算法^[8]一般依据以下原则:识别具有最小依赖度的活动(接近始端活动),并将其置于回路中的首位;当多个活动具有相同的输入量时,向后序活动输出量最大的那个活动首先被规划。

通过分析耦合活动的信息依赖程度,即信息关联强度,本课题给出的分裂算法为:设 A 为耦合活动集合,SI_i、SO_i分别为活动 i(i∈A)信息输入和信息输出的关联程度的度量。相应的分裂算法如下:

- (1)对任意一个活动 i∈A,计算 W_i = SI_i / SO_i;
- (2)找出 k ∈ A,使得 W_k = min{W_i} ,如果 k 的个数大于 1,先排列 SI_i 小的活动,后排列 SO_i 大的活动;
- (3)A = A - k,若 A 为空集,结束;
- (4)对所有的 i ∈ A,重新计算 SI_i = SI_i - a_{ik} (a_{ik} 为 A 对应的 DSM 的元素);对所有的 j ∈ A,重新计算 SO_j = SO_j - a_{kj};转(1)。

确定了活动顺序后,就可以找到合适位置开始解耦。例如,图 2 中的 3 个活动形成迭代,假设计算结果是从活动 1 和活动 3 之间断开迭代,如图中双斜线所示。断开活动 1 和活动 3 之间的信息依赖关系,会导致活动 1 因为得不到本来应该从活动 3 处获得的信息,从而无法进行。为了使活动 1 能够进行,需要赋予活动 1 一个假设的初始输入值,设为 e1,此值一般可根据经验或历史数据给出。

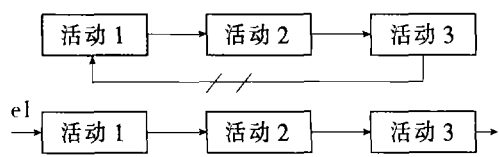


图 2 解耦示例
Fig.2 Decoupling Example

2.4 加强耦合

过程中的迭代分为无意迭代和有意迭代。无意迭

代会导致过程不必要的反复,增加过程的复杂性,是要消除的;而有意迭代则是指为实现或改进目标,过程中的活动有意交互进行。在由活动组成的过程中,并非所有的耦合活动集都是起负作用需要被消除的;相反,其中有些活动的耦合是必要和有益的。如某些活动的性质相似,需要它们之间的密切协作才能提高活动完成的效率,在这种情况下,不仅不能解耦,反而要加强耦合。加强耦合是将多个有耦合或反馈关系的活动视为一个整体,将 2 个或多个活动聚集为单个活动,从而简化 DSM 并减少 DSM 上三角元素并强化它们之间的相互关系,同时把各活动过程中与其他活动的关系转换成整体与它们的关系。实际上,加强耦合也是一种解耦合策略,即:加强有紧密关系的活动之间的耦合,消除过程整体的耦合,使过程的整体结构呈现出并行或串行的结构,提高过程的效率。例如对图 3(a)中由活动 a、b 和 c 构成的迭代采取加强迭代的处理方式。将活动 a、b 和 c 视为一个活动 A,同时,将活动 d 对活动 a 的输出关系转化为活动 d 对活动 A 的输出关系,将活动 c 对活动 e 的输出关系转化为活动 A 对活动 e 的输出关系,结果如图 3(b)所示。加强耦合的活动的的时间或成本等指标需要重新进行调整。由于学习曲线效应,当活动重复时,需要的时间往往会少于第一次进行时所需的时间,并随重复次数的增加而递减。本课题依据学习曲线公式计算重复活动的持续期,计算公式如下:

$$\text{迭代活动的持续期} = \sum_{i=1}^n t_i^b$$

其中, n 为迭代的次数; b = lnδ / ln2, δ 为学习率; t 为活动的持续期。

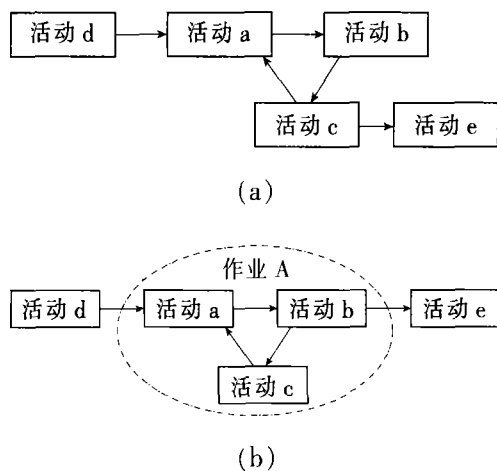


图 3 加强迭代示例
Fig.3 Example of strengthening iteration

3 应用实例

某项目包含 10 个活动,其相关参数如表 2 所示。通过表 2 可得初始 DSM,如表 3 所示。对表 3 进行处理可得到表 4 所示的 DSM。

表 2 项目活动列表

活动编号	活动代号	持续时间/天	后序活动
1	A	60	B,C,D,E
2	B	45	J
3	C	10	F
4	D	20	G,H
5	E	40	H
6	F	18	J
7	G	30	I
8	H	15	E,J
9	I	25	G,J
10	J	35	

表 3 初始 DSM

活动代号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1									
B	1	1								
C	1		1							
D	1			1						
E	1				1			1		
F			1			1				
G				1			1		1	
H				1	1			1		
I							1		1	
J		1				1		1	1	1

从表 4 中可以看出,有 2 对具有迭代关系的活动,分别是活动 E 和活动 H、活动 G 和活动 I。为了消除项目执行过程中的反馈回路,需要对迭代活动进行处理。分别按照解耦和加强耦合的思路进行处理。

(1)按解耦的思路。

将 2 对迭代活动分别采取解开迭代的处理方式。假设活动 E 和活动 H、活动 G 和活动 I 的信息输入和信息输出的数值如表 5 所示。由表 5 可以看出活动 E 比活动 H 的 W 值要小,所以在此耦合关系中活动 E 优先执行;活动 G 比活动 I 的 W 值小,所以在此耦合

表 4 处理后的 DSM

活动代号	A	B	C	D	F	E	H	G	I	J
A	1									
B	1	1								
C	1		1							
D	1			1						
F			1		1					
E	1					1	1			
H				1		1	1			
G				1				1	1	
I								1	1	
J		1			1		1		1	1

表 5 信息输入输出值

活动代号	SI	SO	W(SI/SO)
活动 E	0.4	0.6	0.67
活动 H	0.6	0.5	1.2
活动 G	0.4	0.5	0.8
活动 I	0.8	0.6	1.33

表 6 解耦后的 DSM

活动代号	A	B	C	D	F	E	H	G	I	J
A	1									
B	1	1								
C	1		1							
D	1			1						
F			1		1					
E	1					1				
H				1		1	1			
G				1				1		
I								1	1	
J		1			1		1		1	1

关系中活动 G 优先执行。结果如表 6 所示。

根据表 6,得到的项目双代号网络如图 4 所示。根据图 4 以及表 2,可以确定其关键路径为 A→D→G→I→J,项目周期为 170 天。

(2)按加强耦合的思路。

将 2 对迭代关系的活动均按加强耦合的思路处理。即:集成活动 E 和活动 H 为一个新的活动 E&H;

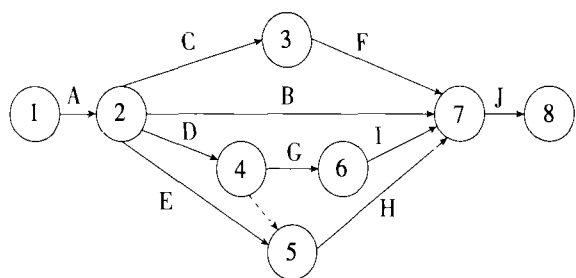


图4 表6的网络图

Fig.4 Network diagram of Table 6

集成活动 G 和活动 I 为一个新的活动 G&I。集成后的 DSM 如表 7 所示。

表7 加强耦合后的 DSM

活动代号	A	B	C	D	F	E&H	G&I	J
A	1							
B	1	1						
C	1		1					
D	1			1				
F			1		1			
E&H	1			1		1		
G&I				1			1	
J		1			1	1	1	1

由于活动 E&H 和活动 G&I 的执行时间不能简单地将其两者相加，而必须考虑到学习曲线的效应。假设学习率为 0.8、迭代次数为 2，则有：

活动 E&H 的持续时间=40+15+(40+15)×2^{-0.322}=99 天，活动 G&I 的持续时间=30+25+(30+25)×2^{-0.322}=99 天。

根据表 7，可以得到项目的双代号网络图如图 5 所示。根据图 5 以及表 2，可以确定其关键路径为 A→D→G&I→J 和 A→D→E&H→J，项目周期为 214 天。

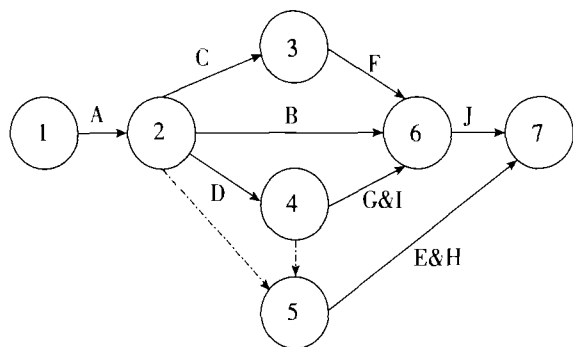


图5 表7的网络图

Fig.5 Network diagram of Table 7

4 结论

通过强调信息依赖，可视化活动间的反馈与迭代，DSM 为型号项目研制计划管理提供了很好的工具，有助于理解研制过程，并促进过程的优化重组、创新与提高。本课题通过对型号研制项目过程的 DSM 建模，使项目过程中各活动间的信息输入/输出关系、每个信息流的起点时刻、终点时刻、持续时间等都清晰可视，便于项目管理控制和方便地处理活动的交叠执行，特别是能够非常方便地解决耦合、反馈等问题，从而提高对项目信息流的利用程度，更加合理安排项目活动执行顺序，优化重组项目过程，缩短项目周期。

参 考 文 献

- [1] Chen C H, Ling S F, Chen W. Project scheduling for collaborative product development using DSM. International Journal of Project Management, 2003, (21): 291-299.
- [2] Maheswari Juma, Varghese K. Project scheduling using dependency structure matrix. International Journal of Project Management, 2005, (23): 223-230.
- [3] 王爱虎,杨曼丽. 复杂产品开发项目系统化管理方法. 工业工程与管理, 2005(3): 7-17.
- [4] 冯国奇, 王成恩. 基于设计结构矩阵的产品设计过程管理. 信息与控制, 2005(4): 470-475.
- [5] Steward D V. The design structure system: a method for managing the design of complex systems. IEEE Trans Eng Manage, 1981, 28(3). 71-74.
- [6] Browning T R. Use of dependency structure matrices for product development cycle time reduction. Proceedings of the 5th ISPE International Conference on Concurrent Engineering Research and Applications. Tokyo, Japan: Tokyo Metropolitan Institute of Technology, 1998: 89-96.
- [7] Cho S H, Eppinger S D. A simulation-based process model for managing complex design projects. IEEE Transactions on Engineering Management, 2005, 52(1): 315-329.
- [8] Browning T R. Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions. IEEE Transactions on Engineering Management, 2001, 48(3): 292-306.
- [9] Danilovic M, Sandkull B. The use of dependence structure matrix and domain mapping matrix in managing uncertainty in multiple project situations. International Journal of Project Management, 2005, 23(3): 193-203.
- [10] Wang W C, Liu J J, Liao T S. Modeling of design iterations through simulation. Automation in Construction, 2006, 15(5): 589-603.

(责编 依然)