

项目管理软件 AHP 嵌套——网络结构及其特性与功能的研究^{*}

任世贤

贵州省电子计算机软件开发中心, 贵阳 550002

摘要 由嵌套结构生成器和网络计划生成器构成的 AHP 嵌套——网络结构凝固了项目管理软件的核心技术, 它集中体现了网络计划技术基础理论和项目管理软件开发理论的精髓. 通过对 BANT 嵌套结构生成器与 P3 编码结构、BANT 网络计划生成器与 P3 网络计划生成器功能的比较, 通过 BANT 嵌套—网络结构与 P3 编码/横道图组合结构的比较, 得到项目管理软件的嵌套——网络结构应该具备的基本特性与功能以及它必须是一个有机整体结构的结论.

关键词 AHP 嵌套—网络结构 AHP 嵌套结构生成器 网络计划生成器 网络结构单元 网络相容辨识

国内外的单、双代号网络计划技术具有逆向计算程序, 本文称为传统网络. 传统网络数学模型(CPM 算法)存在系统结构不相容的缺陷和错误^[1,2]. BANT 网络是任世贤针对传统网络的这一缺陷和错误而设计的新型计划方法, 没有逆向计算程序是 BANT 网络数学模型的鲜明特点. BANT 网络计划技术获得 2000 年国家自然科学基金以《没有逆向反演的网络计划技术》立项资助(项目批准号为 79960006); 《BANT 网络计划技术——没有逆向计算程序的网络计划技术》获得国家自然科学基金研究成果专著出版基金资助(项目批准号为 70124010)并出版^[3]. 项目管理软件是以网络计划技术为理论支撑的, 以单、双代号网络为支撑者称为传统项目管理软件; 以 BANT 网络为支撑者称为 BANT 项目管理软件. 《BANT 网络计划技术软件》(简称: BANT2.0 软件)和《BANT-BCWP1.0 项目管理软件》(简称: BANT-BCWP1.0 软件)都具有自主知识产权, 其软著登记号分别为 2006SR16222 和 2007SR15792, 二者也都是自主创新商业版软件. BANT 网络的研究成果指出, 肯

定型和非肯定型网络各种计划类型之间具有层次结构特性: 简单网络(或基本网络)位于最底层; 基本网络具有的结构和功能上层都具有; 下层网络具有的结构和功能上层网络具有, 上层网络具有的结构和功能下层网络不具有. 此特性称为网络层次结构特性, 该特性具体表现为网络结构符号(或绘图符号)之间的层次结构特性^[4]. BANT-2.0 软件是以基本网络的绘图符号作为时标网络的符号载体开发的网络计划技术软件; BANT-BCWP1.0 软件是在 BANT2.0 软件的基础上, 以搭接网络的绘图符号作为时标网络的符号载体并应用赢得值法升版开发的, 因此, 根据网络层次结构特性 BANT-BCWP1.0 软件是 BANT 项目管理软件的开发平台.

BANT-BCWP1.0 软件具有基本网络和搭接网络的两种计划类型, 这是一个具有 AHP 嵌套—网络结构的项目管理软件, 它凝结了 BANT 项目管理软件的核心技术. 美国 Primavera 公司的 P3 (Primavera Project Planner)软件(简称美国 P3 软件)是传统项目管理软件的优秀代表. 在 2007 年里, 美

2007-11-01 收稿, 2007-12-28 收修改稿

^{*} 国家自然科学基金资助项目(批准号: 70671032)

E-mail: bantren@yahoo.com.cn

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

国 Primavera 公司在全球公开发布并销售最新 Primavera 6.0 软件(简称美国 P6 软件), 美国 P6 软件于 2007 年 7 月 1 日在中国市场正式发布^[5]. 鉴于美国 P6 软件是在美国 P3 软件的基础上进行功能扩展的^[6]. 其核心技术并没有任何改变, 因此, 本文用美国 P3 软件与 BANT-BCWP1.0 软件进行比较来研究项目管理软件 AHP 嵌套—网络结构及其功能.

1 项目管理软件的嵌套结构生成器及其相容辨识功能

工作结构分解即 WBS(work breakdown structure)是一种在项目全范围内分解和定义各层次工作的方法^[7,8]. 如何应用 WBS 方法将系统(项目)分解为子系统(子项目), BANT 项目管理软件和传统项目管理软件的方法(例如美国 P3 软件)是不相同的. 应当指出的是, 本文对二者的分析和比较, 仅限于其特性和功能.

1.1 BANT-BCWP1.0 软件的 AHP 嵌套结构

层次分析法(analytial hierarchy process, AHP)是 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的一种定性与定量相结合的系统分析方法. 把一个复杂问题分解成各个组成因素, 并按支配关系形成有序的递阶层次结构. 同一层次中的元素被认为是彼此独立的, 这是 AHP 的鲜明特性^[9,10], 本文将 AHP 的递阶层次结构称为 AHP 层次结构(参见图 1), 图 1 来自文献 10].

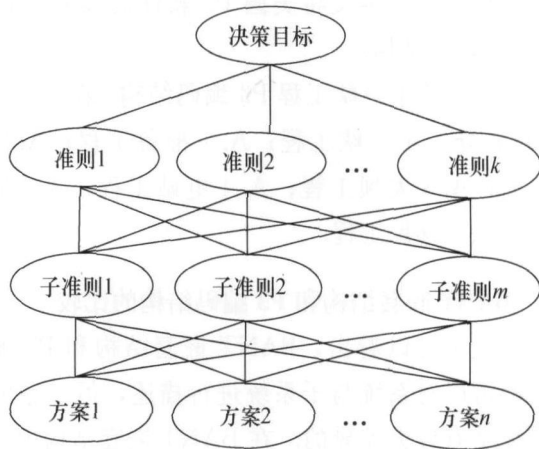


图 1 AHP 层次结构

图 2 中所示的是 BANT-BCWP1.0 软件贯穿始终的操作界面, 左边的部分称为嵌套结构系统域. 在该嵌套结构系统域中, 上层子系统中的一个元素(工作, 活动)和下层一个子系统之间的联系称为嵌套结构单元. 项目所包含的上层子项目与下层子项目之间由嵌套结构单元构成的整体联系是一个嵌套结构系统, 它表达和揭示了系统与子系统的关系, 并具有这样的层次特性: 总项目处于系统的顶层; 上层子项目包含了下层子项目及其相关的全部嵌套结构单元; 下层子项目不包含上层子项目及其相关的嵌套结构单元. 显然, 该嵌套结构系统是应具有上下支配关系的递阶层次结构, 因此, 本文将它命名为 AHP 嵌套结构, 简称嵌套结构, 并将 BANT-BCWP1.0 软件的 AHP 嵌套结构表示为 BANT 嵌套结构.

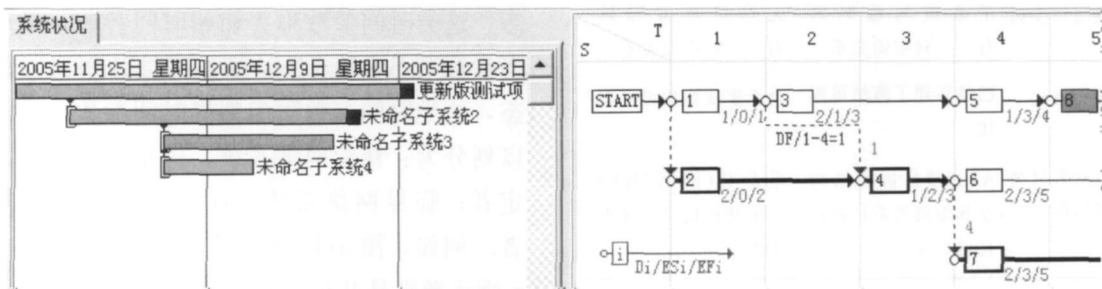


图 2 BANT-BCWP1.0 软件的嵌套结构系统域和网络计划域

1.2 传统项目管理软件的 WBS 编码结构

WBS 编码结构(简称编码结构)是传统项目管理软件表达系统与子系统关系的方法, 它由两个部分组成: 一是 WBS 结构, 这是对项目结构的分解结

果; 二是 WBS 编码, 这是对 WBS 结构的编码结果. 美国 P3 软件将工作结构分解应用在项目管理软件的开发上, 也即用 WBS 方法将项目分解为元素组与子元素组并对之编码来实现不同层次元素组

的组织和管理, 本文将美国 P3 软件的编码结构表示为 P3 编码结构.

例如, 关于三峡工程 P3 编码结构(第一、二次)的划分: A 三峡工程; A.1 准备工程; A.2 导流工程; A.3 大坝工程; A.4 电站工程; A.5 航建工程; A.6 移民工程.

1.3 BANT 嵌套结构和 P3 编码结构的比较

从表 1 可以看出, BANT 嵌套结构和 P3 编码结构都可以对系统与子系统进行描述, 但二者的刻画深度是有较大差异的. 在 BANT 嵌套结构中, 系统与子系统都是具有确定的输入和输出及由网络结构单元构成的内态封闭体系, 并且下层子系统与上层子系统之间由嵌套结构单元联系, 这是一种结构性联系. 在 P3 编码结构中, 描述的对象不是系统科学意义上的系统与子系统, 而是元素组与子元素组; 下层元素组与上层子元素组之间的联系是非结构性的. 这两点是 BANT 嵌套结构与 P3 编码结构本质的差异.

表 1 BANT-AHP 嵌套结构和 P3-WBS 编码结构的比较表

编号	比较内容	AHP 项目嵌套结构	WBS 编码结构
1	系统与子系统的刻画深度	是系统科学意义上的系统与子系统的结构性描述	仅是计算机编码意义上对元素组与子元素组的非结构性描述
2	下层子系统与上层子系统的联系方式	通过嵌套结构单元实现下层子系统与上层子系统的联系, 这是一种结构性联系	通过编码的方式建立下层元素组与上层元素组的联系, 这是一种非结构性的联系
3	子系统与编码	子系统与编码具有一一对应的关系	元素组与编码具有一一对应的关系
4	算法可视化	已经实现了算法可视化	尚未实现算法可视化
5	是否具有自动生成功能	AHP 项目嵌套结构及其编码均系计算机自动生成	系人工(依据“WBS 分解结构窗口”)录入生成

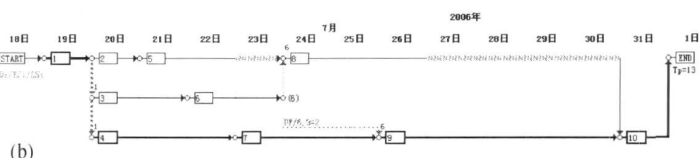
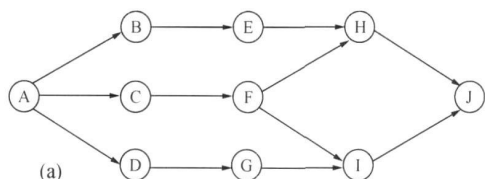


图 3 某工程项目的单代号及 BANT 基本网络计划

1.4 项目管理软件嵌套结构生成器的相容辨识功能

在项目管理软件中, 能够生成 AHP 嵌套结构的模块集称为 AHP 嵌套结构生成器, 简称嵌套结构生成器. 应用之可以将系统分解为系统与子系统, 因此, AHP 嵌套结构是一个还原结构. BANT-BCWP1.0 软件的嵌套结构生成器简称 BANT 嵌套结构生成器, 应用之可以将最底层子系统的信息向上传递至项目的顶层系统, 因此, AHP 嵌套结构同时还是一个涌现结构. BANT-嵌套结构生成器在自下而上传递信息的过程中可以报警, 这种报警功能就是嵌套结构生成器相容辨识功能的一种具体表现(参见第 3.2 节).

2 项目管理软件的网络计划生成器及其相容辨识功能

2.1 相关基本概念

(1) 网络系统. 应用网络计划技术可以实现子系统的编制、规划和控制, 这样的单个子系统称为网络系统结构, 通常简称网络系统. 图 3(a)^[11]和图 4(a)^[12]所示是单代号基本网络系统和单代号搭接网络系统; 图 3(b)和图 4(b)所示是 BANT 基本网络系统和 BANT 搭接网络系统.

(2) 初始网络系统和临界网络系统. 网络计划曲线是由网络系统的时间参数确定的. 最早时态参数(ES/i 和 EF/i)和与之密切相干的时间参数(例如自由时差、计划工期)描述网络计划曲线的初始时态, 这类时间参数称为初始时间参数; 最迟必须时态参数(LS/i 和 LF/i)描述网络计划曲线的临界时态, 这类时间参数称为临界时间参数. 网络系统可以划分为: 初始网络系统, 这是由初始时间参数界定者; 临界网络系统, 这是由临界时间参数界定者. 例如, 图 3(b)所示者是初始基本网络系统, 图 5 所示者则是其对应的临界网络系统.

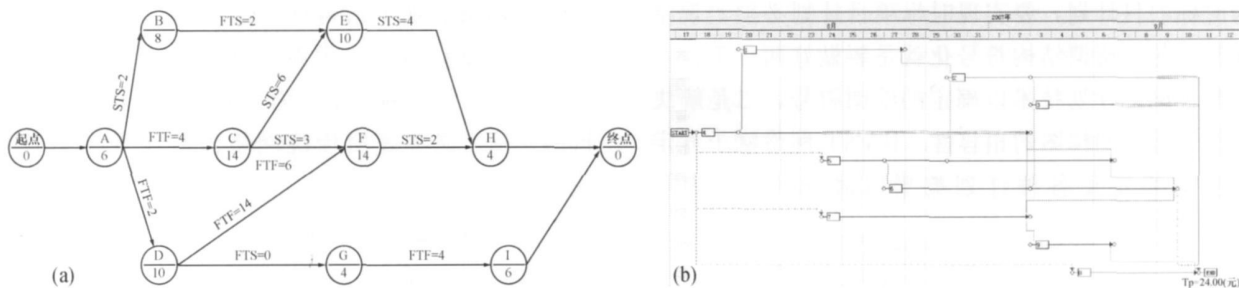


图 4 某工程项目的单代号及 BANT 搭接网络计划

(a) 某工程项目的单代号搭接网络计划；(b) 用 BANT-BCWP1.0 软件绘制图 4(a)所示某工程项目的 BANT 搭接网络计划

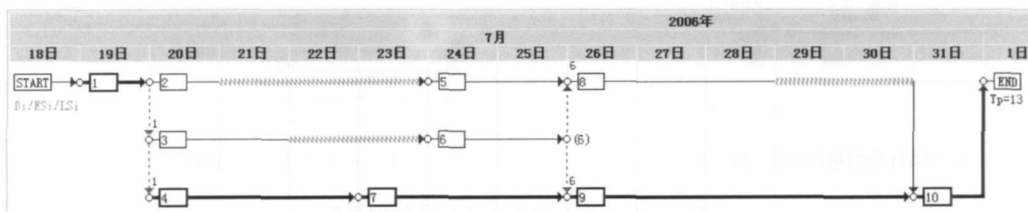


图 5 用 BANT-BCWP1.0 软件绘制的图 3(b)所示某工程项目的 BANT 临界网络计划

(3) 网络结构单元. 在网络系统中, 若元素 i 优先于元素 j , 表示为 $i \ll j$, 称为 $i \ll j$ 元素耦合关联. 这里, i, j 为元素的编号, 且 i 小于 j ; 逻辑关系符号“ \ll ”表示元素 i 和 j 之间的优先次序即先后顺序联系. 在 $i \ll j$ 元素耦合关联中, i 称为前导元素, j 称为继前元素, 且二者之间构成前导、继前元素的元素序列. 应当指出, 这里的 i 和 j 可以是元素集合. 元素耦合关联即是一种“对子”序列结构, 这样的“对子”序列结构称为网络结构单元, $i \ll j$ 称为网络结构单元的结构式, 简称结构

式. 网络结构单元可以划分为列序结构单元和层序结构单元: 两个元素之间的紧前、紧后关系是连续运作的形态, 这样的网络结构单元称为列序结构单元, $i < j$ 为其结构式; 两个元素之间具有逻辑约束(即虚元素)和搭接条件约束者是非连续运作的形态, 这样的网络结构单元称为层序结构单元, $i > j^{[13]}$ (参见图 6)和 $i STS j$ 及 $i STS \& FTF j$ (参见图 7 和图 8)分别为其结构式.

网络结构单元和网络系统结构统称为网络结构.

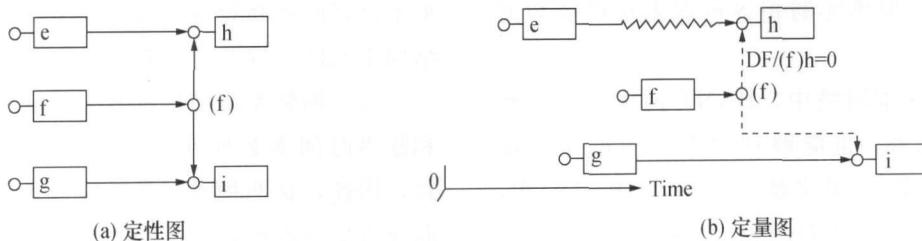


图 6 关于结构单元 $i > j$ 计算的图解图

2.2 BANT网络计划生成器及其相容辨识功能

2.2.1 BANT网络计划生成器

在图 2 所示的 BANT-BCWP1.0 软件贯穿始终的操作界面中, 右边的部分称为网络计划域. 在网络计划域中, 用户可以编制子项目(或子子项目)的网络计划, 这是一

个从定性相容辨识到定量相容辨识的过程(参见文献[2]). 在 BANT-BCWP1.0 软件中, 能够生成网络计划的模块集称为 BANT 网络计划生成器, 应用之可以编制 BANT 定性项目计划和定量项目计划(参见图 3(b)和图 4(b)). 定量项目计划通常又称

为时标项目计划, 要实现时标项目计划必须实现结构符号化. 所谓结构符号化就是要做好两件事: 一是赋予网络计划技术以确定的绘图符号, 二是解决结构符号之间构图的相容性. BANT 网络赋予肯定型和非肯定型各种计划类型以时标网络, 表明

BANT 网络实现了结构符号化(参见文献[3, 4]); 传统网络没有自身绘图符号体系的完善的时标网络, 单、双代号网络至今尚无时标搭接网络就是雄辩的一例, 这些表明传统网络没有实现结构符号化.

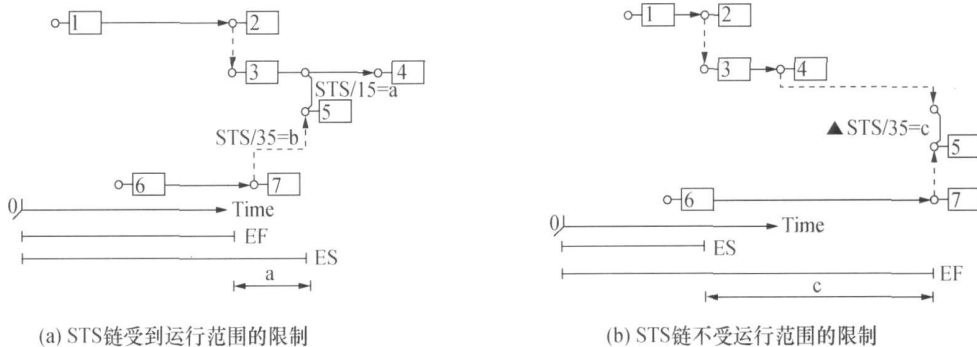


图 7 关于 STS 约束条件计算的图解图

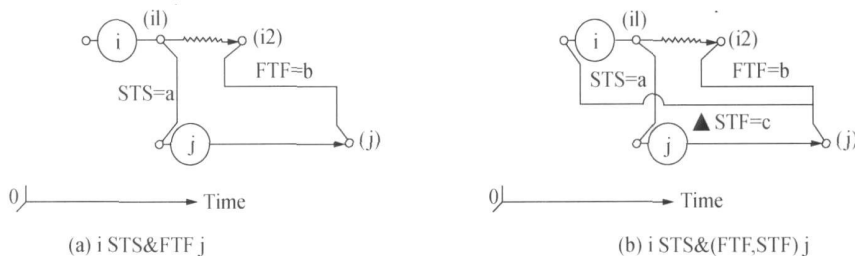


图 8 关于搭接组合结构单元计算的图解图

图中的黑色三角形标定者表示计算后发生改变的输入时间参数

2.2.2 BANT 网络计划生成器的相容辨识功能

(1) 网络结构单元的相容辨识. 在具有约束条件的网络结构单元(例如搭接结构单元和时限结构单元)中, 网络结构单元的相容辨识表现得极为突出和明显.

实例 1: 在基本网络中, BANT 网络计划生成器能够计算虚元素, 也能够判识图 6 中的垂直虚元素和水平虚元素(参见文献[13]). 在图 6(b)中, 用 BANT 时标网络方式对 BANT 网络关于结构单元 $i \rightarrow j$ 进行定量诠释, 这样的工具称为图解图.

实例 2: 在图 7 中, BANT 网络计划生成器在计算结构单元 i STS j 时, 表示 STS 约束条件的绘图符号 STS 链只能在 $0 < STS \leq D/i$ 的范围内运行(参见图 7(a)).

实例 3: 在搭接网络的计算中, 文献[1, 2] 揭示了搭接组合结构单元中输入的搭接约束条件通常

都发生了改变(参见图 8). BANT 网络计划生成器除解决了具有 STS 约束条件的结构单元的计算域外(参见图 7), 还解决了搭接组合结构单元计算后约束条件之间的相容性, 从这个意义上讲它具有网络结构单元的相容辨识功能.

(2) 网络系统结构的相容辨识. 初始时间参数和临界时间参数所定量描述的都是同一个工程项目, 因此, 这两种时间参数及其所界定的网络计划曲线也应具有相容性. BANT 网络计划生成器在解决了网络结构单元关于概念(网络逻辑)、图(网络曲线模型)与数(网络数学模型)的同一性的基础上, 解决了初始时间参数与临界时间参数、初始网络计划曲线与临界网络计划的相容性(参见图 5). 从这个意义上讲它具有网络系统结构的相容辨识功能.

BANT 网络计划生成器能够采用与用户互动的方式, 完成自动生成虚元素、自动消除赘联系、自

动消除回路和进行虚矢不能倒向、矢杆拉长操作识别等网络结构单元的逻辑关系的相容性构图(参见实例 1),也能够自动完成网络结构单元和网络系统的网络要素时间参数的相容性构图(参见实例 2 和实例 3 及图 5)。在此可视化的构图过程中,前者称为定性相容辨识,后者称为定量相容辨识,统称为网络相容辨识。

2.3 美国 P3 软件的网络计划生成器及其相容辨识功能

在美国 P3 软件中,能够生成网络计划的模块

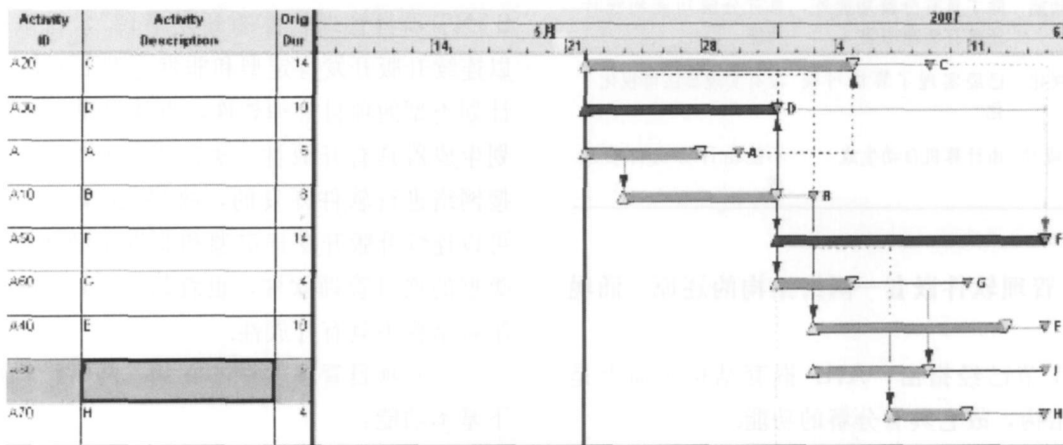


图 9 用美国 P3 软件绘制的图 4(a) 所示某工程项目的横道图搭接网络计划

例如,由于 P3 网络计划生成器既不能计算虚元素,也不能判别图 6 中的垂直虚元素和水平虚元素,因此,在图 3(a)中,当计算元素 e 的最迟时态参数时就发生了错误(参见文献[1]);由于对 STS 约束条件没有计算域的限制(参见图 7(b)),故 P3 网络计划生成器的计算结果可能导致工期的突破(这是美国 P3 软件产生负总时差的原因之一);在计算图 8 所示搭接组合结构单元时,不能解决搭接组合约束条件及元素持续时间之间的相容性,表明 P3 网络计划生成器没有定量相容辨识功能(参见文献[2])。

3 嵌套—网络结构的功能

在图 2 所示的 BANT-BCWP1.0 软件贯穿始终的操作界面中,嵌套结构系统中被选中的每一个子系统(子项目)和网络计划域中当前显示的网络计划具有一一对应的关系,这种关系将两个域地中的两

集称为 P3 网络计划生成器,应用之可以编制项目计划(参见图 9)。P3 网络计划生成器以单代号网络作为计算工具,以横道图作为项目计划的主要表达形式。单代号绘图符号在 Time 轴上的投影为一点,而使单代号网络丧失了时标网络的功能;横道图没有计算功能,它是依靠单代号网络的计算结果定位的。由于单代号网络没有时标网络和表达与计算虚元素的功能,再加上横道图没有计算功能,故 P3 网络计划生成器没有定量相容辨识功能,其定性相容辨识功能则是非常弱的。

种不同结构体系联系在一起,称为 AHP 嵌套—网络结构,简称嵌套—网络结构。

3.1 BANT-BCWP1.0 软件与美国 P3 软件功能的比较

在美国 P3 软件的项目计划中,横道图是其主要的表达方式,它是依靠单代号网络计算的时间参数定位的。美国 P3 软件将 WBS 编码结构及其项目计划进行组合用以实现系统与子系统的规划和控制,这是一种非结构性组合结构,本文用 P3 编码/横道图组合结构表示之。BANT 嵌套—网络结构的功能集中体现了 BANT-BCWP1.0 软件的总体功能, P3 编码/横道图组合结构的功能则集中体现了美国 P3 软件的总体功能,因此,本文用 BANT 嵌套—网络结构功能和 P3 编码/横道图组合结构功能分别表示之。

表 2 表明, BANT-BCWP1.0 软件与美国 P3 软件功能具体表现为 BANT 嵌套—网络结构功能与

P3 编码/横道图组合结构功能的比较.

表 2 BANT 嵌套—网络结构功能与 P3 编码/横道图组合结构功能的比较

编号	比较内容	BANT 嵌套—网络结构功能	P3 项目编码/横道图组合结构功能
1	组成部分	由 AHP 项目嵌结构生成器和 BANT 网络计划生成器构成	由 WBS 项目编码结构部分和项目计划部分组成
2	组成部分之间的联系	AHP 项目嵌结构生成器和 BANT 网络计划生成器构成一个有机的结构体	P3-WBS 项目编码结构与项目计划(横道图和网络计划)没有形成有机的结构体
3	具有的功能	除了具有分解功能外,还具有涌现功能	具有分解功能和统计功能
4	算法可视化	已经实现了算法可视化	没有实现算法可视化
5	自动生成功能	由计算机自动生成	不能由计算机自动生成

3.2 项目管理软件嵌套—网络结构的还原—涌现功能

第 1.1 节已经指出, AHP 嵌套结构本质上是一个还原结构, 故它具有分解的功能.

在图 2 所示的 BANT 嵌套—网络结构中, 通过嵌套结构单元来实现 AHP 嵌套结构的下层子系统与上层子系统的联系, 这种结构性联系建立了嵌套—网络结构自上而下的信息通道. 凭借此信息通道, BANT-BCWP1.0 软件不仅可以获得(建立)统计功能(例如对项目的人力和物力资源等进行统计), 还可以获得其他的功能——例如报警功能: 当下层子系统的工期被突破后, BANT 嵌套结构生成器可以报警, 并且对受影响的相关子系统做出准确的指示(限于篇幅, 不再给出相关的软件操作图片). 凭借嵌套—网络结构的信息通道可以建立的这些功能, 从理论上讲都是嵌套—网络结构涌现功能的体现. 因此, 项目管理软件嵌套—网络结构所具有的分解功能和涌现功能统称为嵌套—网络结构的还原—涌现功能, 简称还原—涌现功能(例如 BANT 还原—涌现功能).

4 结论

(1) 嵌套—网络结构是由嵌套结构生成器和网络计划生成器构成的一个有机的整体结构. 嵌套—

网络结构凝固了项目管理软件的核心技术, 它集中体现了网络计划技术基础理论和项目管理软件开发理论的精髓. 在项目管理软件的嵌套—网络结构中, 根据网络层次结构特性(参见文献[4]), 网络计划生成器通常只用简单网络(或基本网络)计划类型来实现(进行)计算机编程. 嵌套—网络结构是 BANT-BCWP1.0 软件独具有有的, 美国 P3 软件没有嵌套—网络结构.

(2) 项目管理软件的嵌套—网络结构应具有开放性. 该开放性具体表现为网络计划生成器的开放性. 在前言中已经述及: “BANT-BCWP1.0 软件是 BANT 项目管理软件的开发平台”, 在该平台上可以连续升版开发肯定型和非肯定型 BANT 网络各种计划类型的项目管理软件, 也就是说 BANT 网络计划生成器具有开放性. 美国 P3 软件是直接按照搭接网络进行软件开发的, 故(依据美国 P3 软件)不可以连续升版开发肯定型和非肯定型网络各种计划类型的项目管理软件, 也就是说, P3 编码/横道图组合结构不具有开放性.

(3) 项目管理软件的嵌套—网络结构应具有以下基本功能:

(i) 分解—涌现功能. 嵌套—网络结构应能将项目分解为子项目、将子项目分解为子子项目即实现系统与子系统的分解, 并且还能够同时将每一个子系统分解为工作级的网络计划, 这样的功能称为系统分解功能; 嵌套—网络结构应能将下层子系统的信息向上层子系统传递直至项目的顶层, 这样的功能称为系统涌现功能; 向下运行的系统分解功能和向上运行的系统涌现功能都是通过嵌套结构生成器和网络计划生成器同步实现的. 系统分解功能和系统涌现功能都是嵌套—网络结构必须具有的, 因此, 本文将嵌套—网络结构应具有的这两种功能称为分解—涌现功能. BANT 嵌套—网络结构具有分解—涌现功能, 而 P3 编码/横道图组合结构只具有分解功能而不具有涌现功能.

(ii) 可视化功能. BANT 嵌套—网络结构的可视化具体表现为 BANT 嵌套结构生成器和 BANT 网络计划生成器的可视化及其可视化界面的一一对应关系. P3 编码结构没有实现算法可视化, 而横道图自身不具有计算功能和传统网络没有实现结构符号化, 故 P3 网络计划生成器不可能

实现算法可视化, 因此, P3 编码结构和 P3 网络计划生成器之间不具有可视化界面的一一对应关系, 这也就是说 P3 编码/横道图组合结构没有可视化功能。

(iii) 相容辨识功能. BANT 嵌套—网络结构的相容辨识功能主要体现为嵌套结构生成器和网络计划生成器所具有的相容辨识功能, 例如 BANT 嵌套结构生成器具有工期突破的报警功能和 BANT 网络计划生成器具有相容辨识功能. P3 编码/横道图组合结构不具有相容辨识功能。

参 考 文 献

- 1 任世贤. CPM 算法逆向计算程序错误的原因. 系统工程理论与实践, 1999, 19(7): 45—51
- 2 任世贤. 网络系统运行过程机理的研究. 中国科学基金, 2001, 15(2): 88—94
- 3 任世贤. BANT 网络计划技术——没有逆向计算程序的网络计划技术. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2003
- 4 任世贤. 网络层次结构理论及其在 BANT 项目管理软件开发中的应用. 中国系统工程学会决策科学专业委员会编. 决策科学理论与创新. 贵阳, 2007. 北京: 海洋出版社, 2007, 9—18
- 5 上海普华科技发展有限公司. Primavera 6.0 版本正式发布. <http://www.p3china.com/news/gongsixinwen/200707/773.html> [2007—11—6]
- 6 上海普华科技发展有限公司. Primavera 6.0 新功能详情表. <http://www.p3china.com/news/gongsixinwen/200707/773.html> [2007—11—6]
- 7 中华人民共和国国家标准. 建设工程项目管理规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006, 5—6
- 8 王祖和等编著. 现代工程项目管理. 北京: 电子工业出版社, 2007, 57—63
- 9 王莲芬、许树柏. 层次分析法引论. 北京: 中国人民大学出版社, 1990
- 10 孙宏才, 田平. 网络层次分析法(ANP)与层次分析法(AHP). 中国系统工程学会决策科学专业委员会编. 决策科学理论与方法. 苏州, 2001. 北京: 海洋出版社, 2001, 3—8
- 11 林知炎, 潘宝根编. 网络计划技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987
- 12 中国建筑学会建筑统筹管理分会. 工程网络计划技术规程教程. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000, 48—58
- 13 任世贤. 论虚元素. 系统工程理论与实践, 1999, 19(1): 69—78