

网络进度计划自动生成方法综述

王仁超, 杨雪, 荆珑, 潘菲菲

(天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 网络进度计划以其提高工效、缩短工期、降低成本的优势成为工程建设领域不可或缺的重要技术,但网络计划的编制是一项知识密集的工作,需要耗费大量的精力和时间,另外,网络进度计划的应用过程中也存在项目划分不合理,逻辑关系不明确,项目编码混乱等问题,为了更好地利用网络图的优势同时克服网络计划编制困难的缺陷,越来越多的研究者致力于网络计划的自动生成。笔者针对国内外该领域的有关研究,分析了网络进度计划自动生成的必要性,对目前各种自动生成方法的适用情况、操作流程、发展情况等作了详细的分析,最后探讨了这些模型和方法存在的问题以及今后的研究方向。

关键词: 工程项目; 进度计划; 网络计划; 自动生成

中图分类号: TP271

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)01-0138-09

Summary on auto-generation method of network schedule

WANG Renchao, YANG Xue, JING Long, PAN Feifei

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Network schedule is an indispensable vital technology with its advantage of improving work efficiency, shortening duration and reducing cost in the field of project construction. However, the development of the network schedule is a knowledge-intensive work and needs large quantity time and effort. Besides, problems also exist in the application of network schedule, For example, unreasonable project demarcation, inexplicit logical relationships between activities and disordered project coding. In order to make better use of the advantages of the network schedule and contemporarily avoid the disadvantages in construction schedule generation process, more and more researchers dedicated to the automatic generation of network schedule. This paper described the development of the automatic generation of network schedule both inland and abroad, analyzed its necessity and provided the detailed analysis about the schedule generation methods on three aspects such as application area, operational processes and its development. In the end, the advantages and disadvantages of the various methods are refined, the prospect of automatic construction schedule generation was demonstrated.

Key words: project; schedule; network schedule; automatic generation

0 引言

网络进度计划从工程的整体出发,统筹安排,明确反映了施工过程中所有工序之间的逻辑关系;同时突出了关键工序,标识出其它各工序的灵活机动时间,进而使整个施工过程达到缩短工期、提高工效、降低成本的效果。从20世纪60年代中期华罗庚教授引进网络计划技术,30多年来,网络计划技术在我国各行各业得到了广泛的引用。但是,网络计划的应用过程中,也存在不少问题,诸如编制的网

络计划项目划分不合理,逻辑关系不明确,项目编码混乱等等。对于大型工程项目,由于编制网络进度计划需要统筹考虑各项工作工艺过程,整合项目各个专业施工方法、设备以及资源投入等,使得网络进度计划编制工程成为知识密集型工作,即使是专业计划编制人员,编制合理、可靠的网络进度计划也是相当费力费时的^[1]。

另一方面,目前世界上流行的网络进度计划软件,如P3、Project等并没有提供相应的辅助生成工具和生成方法。自20世纪80年代以来,包括美国

收稿日期:2012-10-12; 修回日期:2012-10-23

作者简介:王仁超(1963-),男,山东龙口人,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向:大型工程系统分析、项目管理及计算机仿真。

通讯作者:杨雪(1986-),女,山东德州人,硕士研究生,研究方向:项目管理、计算机仿真,主要从事工程管理、施工可视化方面的研究。

麻省理工学院工程中心、韩国昌原国立大学^[2]以及建筑与经济研究所^[3-5]、德国的魏玛包豪斯大学等都开展了网络进度计划辅助生成方法。本文针对国内外该领域有关研究,分析了网络进度计划自动生成的必要性,对目前有关的研究方法和模型进行了综合评述,探讨了这些模型和方法存在的问题以及今后的研究方向。

1 网络进度计划自动生成的必要性分析

20 世纪 50 年代提出的网络进度计划方法使工程进度计划制定、分析具备了严密的数学基础和步骤。随着计算机技术发展,在计算机上编制网络进度计划的软件诸如 P3、Project 等也日臻成熟。这些软件的普及和应用,极大地推动了网络进度计划在工程等领域的应用,在工程建设领域,从初始的进度计划编制,到实施阶段的工程进度控制和调整,都离不开网络进度计划方法和软件。另外,随着信息技术的发展,以网络进度计划技术为基础的工程建设管理信息系统成为工程建设管理、控制的主要平台^[6-8],这些平台充分利用了网络进度计划技术强大的分析、调整以及统一编码(工作分解结构 WBS、成本分解结构 CBS、产品分解结构 PBS、资源分解结构 RBS、组织分解结构 OBS)功能,使得建立的信息系统能够充分反映工程建设过程中各种资源、产品、费用、组织责任与时间进度之间的关系。

以上分析说明:网络进度计划技术已成为工程建设领域不可或缺的重要技术。但是网络进度计划技术作用的发挥依赖于编制的网络进度计划的可行性、合理性和周密。目前,大多数流行的网络进度计划软件都不支持网络进度计划的自动生成^[9-10],在网络进度计划的编制时,编制人往往需要从头做起,即从项目划分开始,依次计算各项工作的工程量、估计各项活动的历时、确定逻辑关系、分析计算和调整等。由于项目划分、历时估计和逻辑关系确定牵涉工程设计不同专业和方面,要求编制人充分了解相关知识,这样才能编制出合理的进度计划。另一方面,形成网络进度计划的过程也相当耗时。即便如此,由于网络进度计划编制是依靠个人的经验形成的,在将网络进度计划技术应用于工程建设管理信息系统平台时,也会存在编码不统一等问题,尤其实行建设招标投标机制以来,很多大型工程项目往往由多个承包商承建,各自编写的进度计划往往在编码、项目划分等方面不统一,造成管理信息平台信

息的不协调等问题。

因此,网络进度计划自动生成技术的应用有助于在以下方面发挥作用:

(1) 提高网络进度计划的合理性。以知识、CAD 图形和工程案例、模板为基础的网络进度计划辅助生成技术,由于在项目划分、历时估计和逻辑关系确定方面的辅助,可以使编制的网络进度计划更为合理^[11]。

(2) 提高网络进度计划编制效率。以知识、CAD 图形和工程案例、模板为基础的网络进度计划辅助生成技术,由于在项目划分、历时估计和逻辑关系确定方面的辅助,可以大大减轻网络进度计划编制人员的工作量。例如,在利用基于案例和模板的网络计划辅助生成技术时,网络进度计划编制人员的主要工作变为分析项目的工程特征,只要输入项目的工程特征,系统就可以筛选出案例库或模板库中最相近的案例工程或模板,生成一个初始网络进度计划^[12]。

(3) 提高网络进度计划编制的统一性。以知识、CAD 图形和工程案例、模板为基础的网络进度计划辅助生成技术,由于在项目划分、历时估计和逻辑关系确定方面的辅助,可以使不同承包商在形成网络进度计划编码(工作分解结构 WBS、成本分解结构 CBS、产品分解结构 PBS、资源分解结构 RBS、组织分解结构 OBS)方面形成统一的编码体系,便于将编制的网络进度计划应用于工程建设管理信息系统^[13-14]。

2 自动生成进度计划的方法

2.1 基于知识的进度计划

知识系统产生于 20 世纪 80 年代,它包含问题领域中的大量事实和相关知识,最基本的知识系统由数据文件或数据库组成。专家系统(expert system)是根据人们在某一领域内的知识、经验和技能而建立的解决问题和做决策的计算机软件系统,出现于 20 世纪 70 年代。基于知识的专家系统(knowledge-based expertsystem, KBES)是广泛应用专门知识以人类专家的水平来解决问题的计算机软件系统,是人工智能的一个分支,它能对复杂问题给出专家水平的结果^[15-16]。制定进度计划需要考虑大量的约束条件,如工作面、机械设备、劳动力、工作方法、工作效率、成本等,是一项知识密集的工作,利用 KBES 知识库来存储生成进度计划所需要的大量知识,可以简化知识的输入过程,为施工进度计划的自动生成创造了条件。图 1 展示了一个基于知识系

统的进度安排模型^[17]。

专家系统由知识库、规则库和推理机三大模块组成。知识库用来存放专家知识,知识库是专家系统质量是否优越的关键所在,即知识库中知识的质量和数量决定着专家系统的质量水平。常见的知识表示方法有状态空间法、产生式规则、谓词逻辑表示法、特性表表示法、框架表示法和电影脚本等^[18]。在网络计划自动生成中,产生式规则、框架表示法和面向对象的表示方法比较常见,小型的知识系统可以应用一种表示方法,但是在大型专家系统中,为了更方便的表示知识,往往采用几种表示方法结合的方式,OPAL 和 SIPE 系统^[19]就是应用多种知识表示方法结合的例子。

产生式规则是使用最广泛的一种知识表示方法,其基本形式为: if 条件 then 动作(或结论),这种表示方式接近于人的思维,自然、简洁、易于理解,规则相对独立,但也存在工作效率不高,求解复杂问题时容易引起组合爆炸,不能表达结构关系的知识等缺点^[20]。框架表示法是用来描述典型情景的一种数据结构,它由描述各个方面的槽所组成,每个槽有自己的名字并且可以填入相应的说明。框架推理主要通过框架匹配与填槽实现。框架表示法突出特点是善于表示结构性知识,能把知识的内部结构关系及知识之间的联系表示出来,另外,框架具有的继承性,使其减少了知识的冗余,但是在多重继承时可能产生属性描述的多义性,框架表示法的缺陷是不善于表示过程性知识。面向对象的框架表示法可以很自然地描述对象的各种特征,是最常见的知识表示方法^[21],用面向对象的方法表示的知识系统中,对象的静态属性就是对象具有知识,而对知识的处理方法和操作就是该对象所具有行为,因此,一个从客观世界抽象出来的对象可表示为: <对象> ::= (ID, DS, MS, MI), 其中: ID 是对象的标识符,即对象名; DS 是对象的数据结构,描述对象的静态属性; MS 是对象的方法。目前面向对象的表示方法已经在航天^[22]、军事^[23]、农业^[24]、机械制造^[25]和冶金^[26]等领域都有所涉及。此外,作为框架表示法的一种扩展,可以利用特征图来表示知识,将项目分解成一项项单独的工作和工作之间的约束,利用包含元素、特征等的特征图来表示工作和对应的约束,其中,约束看作是具有特定状态的对象,工作则描述成一系列的先决条件和结果,这样根据特征逻辑,可以很轻易的得到特征流程图。

基于知识系统的方法能够借鉴专家知识,生成

合理的进度计划,指导工程项目施工基于知识的进度计划自动生成系统既有助于生成新的施工进度,又为进度自动调整和控制提供了基础。

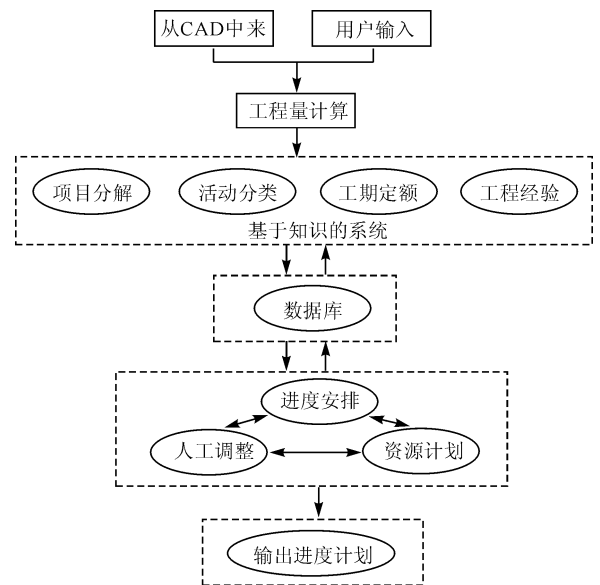


图1 施工进度自动安排系统模型

2.2 基于模块的进度计划

一些项目由于风险分散的需要、工作面的限制、承包商平均工作量的限制以及财政能力的限制,经常由多个承包商负责。很多项目包含类似的工作,但每个承包商在不同的时间,不同的位置以类似的工作完成各自的子项目,即承包商上都有自己的进度计划,活动的名称、细节等情况也不一样,这样就给管理者进行有效的管理增加了难度。基于模块的进度计划以标准化的方法解决了这一难题,每个承包商都采取标准的模块生成进度计划,不但会减少进度计划生成的时间和错误的产生,还能为管理者进行进度整合等提供方便^[27]。

标准化的模块研究起源30年前,产生了许多模块化的进度系统,如 BUILDER 和 GHOST 等,此后,研究者又致力于将模块整合到施工项目的设计阶段,通过一些接口来实现知识的重新利用,这些系统基本用的是 CPM 法和 PERT 技术做计划分析。目前出现的基于模块(Module-based)的研究主要分两种,一种是基于建筑物的构件模块产生进度计划,每个构件都同一个小知识库关联,知识库由该构件的施工作业、作业分解结构以及逻辑关系等规划设计阶段所必须的知识构成^[28]。另一种是利用活动网络模块(即工艺模块)产生进度计划,活动网络模块类似于常见的子网络,包含模块名称、活动、逻辑关系、重复次数、单元断面和单元方向等属性。每项

活动都包含标准代码、计数器、名称、活动类型、活动工期、预计的参照工期、关联的支付项目以及子活动,其中,标准代码是活动的唯一标识,计数器是同一等级活动的唯一标识。项目活动可以分为 4 种类型:普通活动,如开挖、填筑等;重复性活动,如多孔桥的桥墩施工;循环活动,如公路工程的分段施工;合并类活动,此类活动需要很多模块,但是表现为一个整体活动,例如交通标识系统。网络计划自动生成是将作业按层次分解成若干施工单元,每个施工单元都至少和一个网络模块(网络模块描述了施工单元的施工方法)关联,选择合适的网络模块进行修改编辑(如改变循环次数)后,将这些模块链接起来,再加上一些非模块化的活动,便可生成完整的进度计划^[29]。

利用模块化的方法不仅可以进行进度计划辅助生成(Network Builder Assistant, NBA)——包括生成部分项目的进度计划和整个项目的进度计划,还可以进行进度计划评价(Network Review Assistant, NRA)以及进度控制(Network Control Assistant, NCA)。

2.3 基于案例推理的进度计划

受基于模板思想的启发,研究者们提出利用以前案例自动生成进度计划的研究的方法,基于案例推理的进度计划(Case - Based Reasoning, CBR), CBR 模拟人类推理活动中“回忆”的认知能力,利用以前的经验,即案例进行推理,得到新的进度计划。CBR 方法构建知识库时无须提炼该领域所有的问题,只需组织案例,比起专家系统更简单实用。

近 10 年的研究偏向于 CBR 生成进度计划,其流程图如图 2 所示。

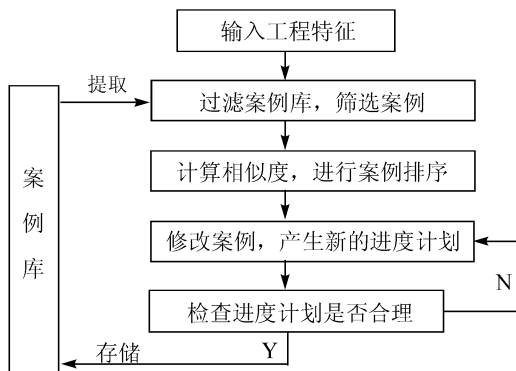


图 2 CBR 辅助生成进度计划

(1)交互输入工程特征。工程特征要选择可以区分各项工程的典型特征,如项目开始结束时间、地形地质情况、天气状况、施工方法等,工程的特征一

般由专家给出。构建 CBR 系统时要注意给出一般特征的同时最大化用户定制的能力,即用户可以增加删除相应的特征也可以进行修改,这样才能适用于各种项目进度计划的生成。

(2)过滤案例库,计算相似度,进行案例排序^[30]。相应的过滤知识存储在案例知识管理集中,可以运用启发式搜索算法对案例库进行初步筛选,然后通过计算相似度查看新旧案例的匹配程度,按照相似性得分对案例进行排序。相似度的计算根据数字特征和特征的权重,采用 K - 邻近计算法计算,分为结构相似度和内容相似度两部分^[1]。

$$\text{sim}_T(s,p) = 1 - \frac{(af(A) - b.f(B) - c.f(C))}{\sum [f(A) + f(B) + f(C)]} \quad (1)$$

式中: $\text{sim}_T(s,p)$ 为结构相似性; s,p 分别代表案例库中的案例和新的项目; A 为新问题与存储案例中都包含的特征的数目; B 为存储案例超过新项目的特征的数目; C 为新的项目超过存储案例的特征的数目; $f(A), f(B), f(C)$ 为结构深度; a, b, c 为权重系数。

$$\text{sim}_H(s,p) = \sum_{i=1}^n w_i (1 - |s_i - p_i|) \quad (2)$$

式中: $\text{sim}_H(s,p)$ 为内容相似性,即同一特征的相似度; s_i 为案例库中案例的特征值; p_i 为新项目的特征值; w_i 为权重。

(3)修改案例。为了使挑选出的案例与新建工程达到最佳匹配,需要对挑选出来的案例进行调整,基于专家给出的约束或者是网络计划的一些基本原则^[31],进行活动的生成和删除以及逻辑关系的生成和删除。例如两栋楼的楼层数不同时删掉或者添加相应的楼层数,一个工程采用钢筋混凝土框架法而另一个工程采用预应力混凝土框架法时就需要添加一个方法,而将旧的方法所对应的活动删掉。

在进行案例调整时可以采用自下而上的方法,即从微观信息入手,不一样的地方予以修改和替换,这样才能达到最佳匹配。

(4)存储案例,更新案例库。将调试好的新的进度计划存储到案例库,更新案例库。

如表 1 所示, CBR 方法辅助生成进度计划有独特的优势, FASTrak - APT^[32] 和 CONPLA - CBR 系统都是应用这种方法的例子,前者适用于可以被划分为独立部分的产品,例如公寓的建设以及锅炉的生产,但是在实际的施工过程中是不适用的; CONPLA - CBR 系统更加注重了通用性并且大大提高了

用户的定制能力,用户可以更加方便的增删和修改所选案例的属性以及相应的属性值。

表1 CBR方法同其他方法的比较

	Rule-based方法需要建立许多规则,并且规则
VS Rule-based	改变时很难修改整个系统
	CBR更好地利用过去经验,而且有基于人类直觉的简单的修改机制
VS Database	Database检索数据时需要管理员的定制查询
	CBR方法不仅可以根据工程特征检索,还可以根据用户特定的需求检索
VS Module-based	Module-based方法生成进度计划时需指出模板间的关联关系
	CBR方法不能进行案例的组合

2.4 可视化辅助生成进度计划

近几年开始出现基于4D-CAD的进度计划,作为一种辅助生成进度计划的工具,概括的讲,4D-CAD是一种代表时间和空间的媒介,是一个过程的图形仿真类型。许多研究在项目规划中都曾涉及过4D-CAD的概念,例如Dawood等人提出了虚拟施工场地来辅助生成进度计划^[33],Chau等人提出了4D场地管理模型(4DSMM)辅助施工管理^[34],Wang等也进行了应用4D-CAD技术分配工作空间和资源的研究^[35-36]。

研发者将3D-CAD同进度表联系起来开发了第一代可视化4D-CAD,在一定程度上实现了施工可视化。它可以帮助解释项目文件使得项目进度更容易解读,并且允许用户检查施工中可能存在的问题诸如进度冲突等,还能在项目施工之前评价不同的施工方案。四维可视化技术提供了向项目参与者传达时空信息的有效方法,通过观察所模拟的施工顺序帮助项目参与者考虑丢掉的细节,施工计划的可视化使得项目团队检测施工方案和解决办法时更具有创造性^[37]。但是,可视化4D-CAD也有其不完善的地方,例如,一开始就需要一个完整的3D模型,创建该模型需要投入大量的时间和精力;如果对三维模型或者进度表进行了修改,用户就需要对所有的活动和相应的CAD元素重新进行链接;另外,3D模型和进度信息来自不同的应用,用户不能交互的生成进度计划。为了克服这些不足,又研发了第二代协作4D-CAD^[38-39],它是一个综合工具,允许各个设计者互相配合进行进度计划的生成和调整。限制可视化的因素主要是生成动画的基础信息的分离,即由AutoCAD产生的图表信息以及由进度计划软件产生的进度信息是分别产生的,协作4D-CAD

创建3D模型构件,在同一平台上将构件同相应的活动链接,并提供活动的持续时间和紧前紧后关系。用户可以尝试多种备选方案并且可以立即看到施工规划改变后的影响。

尽管在4D-CAD方面有很多研究,但是在建筑工程施工行业应用并不是很普遍,针对现有的4D-CAD技术不能集成和发布空间和非空间的信息的缺点^[40],研究者进行了结合GIS的研究。为了实现4D模型的操控,3D模型和进度计划都在GIS里开发,常用的商业工具生成的模型以及Project生成的进度计划都能应用在提出的方法中。基于GIS的研究克服了现有的CAD技术不能管理数据的缺陷,利用GIS的数据库管理能力来维护和更新施工资源数据库。3D模型部分在GIS中以数据图层的形式予以保存,代表每个活动的图层的数量取决于进度计划的详细程度。GIS能够识别各种各样的CAD文件格式而无需进行转换,另外GIS还包括一个CAD-GIS双向转换器,这些都为数据共享提供了方便。三维模型不同元素的属性储存在与元素相应的每个图层的图层属性表中,图层属性表的每一行代表这一图层的一个要素,每一列代表这一要素的值。自动生成进度计划需要将3D元素和进度表中的活动链接起来,首先将ID字段手动添加到每一个组建的进度表和图层属性表中,然后通过ID字段实现两者的自动链接。由于施工的实际情况,活动与3D元素的链接并不是只是一对一,还有多对一的情况。另外并不是每一个活动都有与之链接的3D元素,例如清理和平整施工现场、场地标识以及混凝土养护等。该研究实现了进度的可视化和查询功能,可以帮助更好的理解施工进度计划以及实现施工进度调整和控制^[41]。这一研究的优势在于,在进度评价阶段如果建立的三维模型不符合预期的工期,在GIS里可以直接进行编辑,不需要对所有的活动和相应的CAD元素进行反复的解连接与链接。

4D-CAD辅助生成进度计划关键是提取CAD中的有用信息,CAD包含的基本都是空间信息,并无施工工艺还有资源的组织关系,基于这样的不足,研究者们又进行了多维度(Multi-Dimensional, MD)CAD模型的研究^[42-43],MD CAD模型包含项目规划和管理所需要的多方面的施工信息,建筑物关键的特性由MDCAD的属性来表示,包含几何特征(坐标,方位,几何关系等)和施工内容(组织关系,资源等)等。MD CAD模型包含了生成进度计划所需的足量的有用信息,为进度计划自动生成起

到很好的辅助作用。

2.5 建筑信息模型辅助生成进度计划

建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)是美国乔治亚技术学院(Georgia Tech College)建筑与计算机专业查克·伊斯曼(Chuck Eastman)博士于1975年前提出的:“建筑信息模型综合了所有的几何模型信息、功能要求和构件性能,将一个建筑项目整个生命周期内的所有信息整合到一个单独的建筑模型中,而且还包括施工进度、建造过程、维护管理等的过程信息”^[44]。近几年开始出现基于BIM的网络进度计划,BIM是一种设施的物理和功能特性的数字表示,作为一种共享的知识资源,在整个生命周期内为决策提供可靠的信息。在设计阶段应用BIM结合相应的软件可以直接进行建筑、结构、设备等设计,可以由2D图纸自动生成3D模型并且在各设计部门间实现模型数据的共享以避免数据的重复录入,还可以利用模型数据进行虚拟建造以完善施工进度计划,同时进行进度计划安全性的自动检查^[45-46]。

BIM具有以下五大优点:可视化,协调性,模拟性,优化性和可出图性。BIM的出现给建筑行业带来如下几个变化^[47]:①回归3D,人类发明了用2D的方式来表达三维的建筑物,使建筑业设计与施工分开带来了近一百年建筑业的发展,但是对于一个特定的3D实物,需要用多个2D视图来表示,这必然导致冗余甚至是错误,BIM的出现让建设项目的施工运营全部回归建筑物的本来面目。②协调融合,BIM作为一个平台促进了设计师、承包商、业主和社会之间的协调,减少了错误的产生,避免了不必要的浪费。③4D/5D的出现,所有与施工有关的活动都是和时间相关的,即都是4D的,研究者们进一步将工程量造价或资源信息等加入,实现了5D以及更多维度的BIM。④虚拟现实,即使图纸完全正确,施工或运营现场也还可能产生错误,BIM应用带来的第四个变化就是可以进行可视化仿真,通过观察虚拟的施工过程发现问题,进一步修正完善进度计划。另外还加快了工业化进程以及促进了产业链的发展。

4D-CAD软件可以半自动的生成进度计划,但是生成的结果仅仅是一系列有序的活动,并没有涉及工期和资源,BIM在提供可视化表示的同时解决了时间和空间的问题,可以反映资源和工艺关系,但是很大部分的BIM模型都起源于4D-CAD,实际的工艺并不包含在BIM里,例如混凝土养护等^[48-49]。

由于缺少用户特定的数据以及本身复杂的结构,许多建筑公司认为设计BIM模型花费的时间比其获得的优势要多,所以BIM并没有普及。研究者进一步探索,又提出了基于项目信息模型(Project Information Model, PIM)生成进度计划的方法。PIM包含资源、工艺技术、规范、施工要素和活动等,工艺技术和规范都需要同资源进行链接,即工艺技术不仅仅展示了施工是如何组织的,还将各种资源联系在一起。创建PIM时所有的要素都储存在相互关联的数据库里,工艺技术和资源分别存储在不同的表格里。

创建BIM的过程每个公司是不同的,但基本遵循以下几个步骤:①定义公司雇员经常执行的活动;②找出每个活动是如何融入到施工工艺技术中的,并基于此填写工艺记录表;③工艺表填完以后,为每个活动创建规范,包括持续时间、所需资源以及活动是如何执行的;④定义成功完成工艺所需要的所有的资源,并为每个资源制定规范;⑤填写链接表,将工艺和BIM中的模型元素进行链接。

基于PIM自动生成进度计划是通过交互的数据结构以及基于本体论的文件^[49],将BIM信息导入到PIM中,3D模型导入到PIM的临时数据库并提取工艺技术,将PIM所包含的用户特定信息同三维模型自动链接,这样特定的技术、资源、费用和人力就被分配到三维模型上,因为每项活动都有其对应的资源并且所有资源都是同规范相联系的,这样就有了施工顺序和各项活动的工期。再结合企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)中可用的资源信息,就能看到现有资源同所需资源的对比情况了,检查施工进度以后,规划者可以依据各自不同情况重新分配资源,最后将资源分配以及进度重新储存到ERP系统和BIM实现资源共享^[50]。

3 结语

网络计划的成功编制需要大量的信息储备,尤其是对于大型的建设项目更是如此,为了简化网络计划的编制过程同时使编制的网络进度计划更加合理可行,研究者们进行了一系列自动生成进度计划方法的研究,并取得了显著的成果,但这些方法又有不同的优势和不足,因此进行进一步研究要做的工作就有所不同。

(1)基于知识的进度计划出现时间较早,专家系统的出现进一步推动了基于知识自动生成进度计划的发展,知识库将大量的领域知识储存起来,大大

简化了输入过程。在此方法中,知识的组织结构是关键,不精确和不确定的知识表达和推理经常用模糊逻辑使其变得简单,大多数的规划调度系统都包含大量的启发性知识,规则和框架是表达启发式知识较好的结构,基于规则的专家系统以其知识的明确性和规则间相对独立性的优势,在很多进度系统中取得了成功,但是当需要复杂的求解过程以及领域深层知识的时候,该方法就失效了。针对不同知识表示方法的特点,同时应用多种表达方法是基于知识生成进度计划的必然趋势。

(2) 基于模块和基于案例的方法,两者在一定程度上是相似的,都是利用一个“模板”来辅助生成进度计划。不同的是模块只是某个部分的模板,比如说外墙施工方法的模板、混凝土坝坝段浇筑模板等,而案例指的是整个项目或某项相对独立的工程。利用模块生成进度计划需要另外创建 WBS 编码、逻辑关系,需要进行资源配置等,在这个意义上说,利用案例生成进度计划更省时省力。但是,若要使案例库的案例与新建工程达到更高程度的匹配,首先,要有足够的案例;其次要修改案例,动态案例库可以方便地修改案例,不失为一种好方法,利用动态案例法修改案例是替换掉案例中相似度不高的部分,这种动态替换实际用到的是模块法的思想。

(3) 基于 4D - CAD 和 PIM 的方法都可以实现施工过程动态仿真,规划设计者可以通过观看施工模拟过程预知施工过程中不合理的地方,及时对进度计划做出调整。另外, BIM 提供了一个交互协作的平台,实现了进度计划的实时调控,避免了因信息交流不及时带来的损失。在进度计划自动生成研究中,应该综合考虑各种方法的优缺点,依据项目的实际情况,选择一种或几种合适的生成方法。目前的进度计划生成系统只是考虑了建筑物各部分之间的物理约束以及施工活动之间的逻辑关系约束,但在实际施工的过程中因为工作面不够、资源有限等因素影响工程项目进度的情况也时有发生。基于 PIM 的方法虽然考虑了资源的约束,但也仅仅是展示了需求和供应的对比关系,调整还需要通过人工来完成。考虑工作空间约束和人力约束能避免因为等时或“等人”带来的工期延误,保证施工项目的按时完成,进度计划自动生成系统在这个方面还有很大的发展空间。所以,在今后网络进度计划自动生成的研究中,还需要进一步将工作空间约束、生产力约束和资源约束等限制条件考虑在内。虽然基于 BIM 的方法能实现施工过程提前可视化,但是一些临时

建筑物以及一些细部构造的施工并不包含在内,例如脚手架的安装与拆除等,这些施工过程如果安排不合理也会对施工过程甚至工期产生影响,在今后的研究中,这也是需要考虑的一个方面。

在知识表达方面,命题逻辑表示方法在严密性、通用性、自然性和模块性方面都有较突出的优势;本体论是共享概念模型明确的说明,侧重于表示各部分之间有紧密关系的整体,鉴于工程项目各部分之间的紧密联系,用命题逻辑或本体论的思想来表达实体之间的关系有一定的优势。当前造成信息管理平台不协调的一个很重要的因素就是各部门的项目信息在表示的时候没有遵循统一的标准,不同部门之间项目划分的标准不同或者工作的编码不同都会给信息管理带来很大的难度,编码不统一也会影响案例以及知识的检索,所以在网络进度计划进一步研究中,建立统一的标准是研究的一个重点,如何将统一的项目划分、编码标准跟 BIM 结合也是需要进一步研究的一个方向。

另外,目前进度计划自动生成的研究主要针对的是一些比较小而且施工方法简单的工程项目,如基础设施建设、高层建筑建设等,但是对于大型的建设项目如水利水电工程和火电厂等,包含的单位工程较多并且施工方法相差较多,自动生成进度计划还需要进一步研究。伴随自动生成技术进一步发展,有望在通用项目的自动生成系统方面有一定进展。

参考文献:

- [1] Eva Mikulakova, Markus König, Eike Tauscher, et al, Knowledge - based schedule generation and evaluation [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2010(24):389 - 403.
- [2] Han - Guk Ryu, Hyun-Soo Lee, Moonseo Park, et al. Construction planning method using case-based reasoning (CONPLA - CBR) [J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2007,21(6):411 - 422.
- [3] Bonsang Koo. A constraint ontology and classification mechanism for automatic inference of the role and status of activities in CPM based schedules [J]. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2006,10(6):389 - 397.
- [4] Bonsang Koo, Martin Fischer. Formalizing construction sequencing constraints for rapid generation of schedule alternatives [R]. Center for Integrated Facility Engineering, standford University, 2003.
- [5] Bonsang Koo, Martin Fischer. A Formal Identification and Re - sequencing Process for Rapid Generation of Sequencing Alternatives in CPM Schedules [R]. Center for Inte-

- grated Facility Engineering, Stanford University, 2003.
- [6] 汪明理,毕文铮,李天凤. 水利水电工程建设管理信息系统研究[J]. 中国水利,2005(1):55-58.
- [7] 康永,沈向明,吴威. 构建在 P3e/c 和 EXP 软件之上的工程建设管理信息系统[J]. 电力系统自动化,2005,29(15):96-99.
- [8] 吉章伟,王福田. 铁路建设工程项目管理信息系统[J]. 中国铁道科学,2006,27(6):109-112.
- [9] Chevallier N, Russell A D. Automated schedule generation [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 1998, 25(6):1059-1077.
- [10] Héctor Muñoz - Avila, Kalyan Gupta, David W Aha, et al. Knowledge Based Project Panning [C] // IJCAI2001 Workshop Knowledge Management and Organizational Memories, Seattle, 2001. 8.
- [11] Charles Elkan, Russell Greiner. Building large knowledge-based systems: Representation and inference in the cyc project: D. B. Lenat and R. V. Guha [J]. Artificial Intelligence, 1993, 61(1):41-52.
- [12] Laura Tupenaite, Loreta Kanapeckiene, Jurga Naimaviciene [C] // The 6th International Conference "Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat06)", Riga, Latvia, 2006:25-28.
- [13] Rodriguez De Paz S, Bajo J F, Corchado J M. Mathematical model for dynamic case based planning [J]. International Journal of Computer Mathematics, 2009, 86:1719-1730.
- [14] Luong Duc Long, ArioOhsato. A genetic algorithm - based method for scheduling repetitive construction projects [J]. Automation in Construction, 2009 (18):499-511.
- [15] AriyoshiMiyaji, John Kunz. CONPAS: Application of Knowledge - Based System to Construction Planning [R]. Center Integrated Facility Engineering, Stanford University, 1994.
- [16] Hendrickson C, Zozaya - Gorostiza C, Rehak D, et al. Expert system for construction planning [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 1987, 1(4):253-269.
- [17] 胡文发,何新华. 基于知识系统的施工进度自动安排 [J]. 同济大学学报, 2005, 33(7):980-984.
- [18] 刘建炜,燕路峰. 知识表示方法比较 [J]. 计算机系应用, 2010, 20(3):242-246.
- [19] Sarma V V S. Knowledge-based approaches for scheduling problems: A Survey [J]. IEEE, 1991, 3(2):160-171.
- [20] 刘晓慧,面向对象的知识表示方法研究 [J]. 电脑学习, 2010(1):135-137.
- [21] Eike Tauscher, Eva Mikulakova, Markus König, et al. Generating construction schedules with case-based reasoning support [J]. American Society of Civil Engineers (ASCE) Workshop, 2007, Pittsburgh, 2007, 6(3):1-8.
- [22] 张开兵,范跃华. 航天器故障诊断专家系统面向对象知识表示的研究 [J]. 开发研究与设计技术, 2007, 19(3):187-189.
- [23] 范跃华,张开兵. 武器故障诊断专家系统中面向对象知识表示 [J]. 西安工业大学报, 2008, 28(2):168-171.
- [24] 彭琳,杨林楠,张丽莲. 基于面向对象知识表示的农业专家系统的设计 [J]. 农机化研究, 2007(2):166-196.
- [25] 于萍,吴业福. 面向对象知识表示在起重机专家系统中的应用 [J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(11):204-210.
- [26] 杨长辉,蒋鹏,许洪斌. 面向对象知识表示方法在冲裁模 KBE 专家系统中的应用 [J]. 机床与液压, 2007, 35(4):31-33.
- [27] Dzung R J, Tserng H P, Wang W C. Automating Schedule Review for Expressway Construction [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2005, 131(1):127-136.
- [28] Jonathan Cherneff, Robert Logcher, Sriram D, et al. Integrating CAD with construction - schedule generation [J]. Journal of computing in civil engineering, 1991, 5:64-84.
- [29] Dzung R J, Wang W C, Tserng H P. Module-based construction schedule administration for public infrastructure agencies [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2004, 130(1):1-21.
- [30] Edmund K Burke, Sanja petrovic, Rong Qu. Casebased Heuristic Selection for Timetabling Problems [J]. Journal of Scheduling, 2006, 9:99-113.
- [31] 黎杰,李力,邓林. 网络计划编制系统中网络图的自动生成 [J]. 运筹与管理, 1997, 6(2):60-64.
- [32] Lee K J, Kim H W, Lee J K, et al. Case and constraint - based apartment construction project planning system: FASTrak - APT [C] // Proceedings of the Ninth Innovative Applications of Artificial Intelligence, Providence, Rhode Island, U. S. A., 1997.
- [33] Dawood N, Akinsola A, Hobbs B. Development of automated communication of system for managing site information using internet technology [J]. Automation in Construction, 2002, 11(5):557-572.
- [34] Chau K W, Ansen M, Zhang J P. 4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development [J]. Automation in Construction, 2005, 14(4):512-524.
- [35] Wang H J, Zhang J P, Chau K W. 4D dynamic management for construction planning and resource utilization [J]. Automation in Construction, 2004, 13(5):575-589.
- [36] Tantisevi K, Akinci B. Transformation of a 4D product

- and process model to generate motion of mobile cranes[J]. Automation in Construction, 2009, 18(4): 458-468.
- [37] Vineet R Kamat, Julio C Matinez. 3D Visualization of Simulated Construction Operations [C] // Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, Orlando, Florida, 2000.
- [38] Kathleen McKinney, Tennifer Kim, Martin Fischer. Interactive 4D - CAD [J]. Computing in Civil Engineering, 1996, 20: 381-389.
- [39] W Zhou, D Heesom, P Georgakis, et al, An interactive approach to collaborative 4D construction planning [J]. Journal of Information Technology in Construction, 2009 (14): 30-47.
- [40] Bansl V K, Mahesh Pal. Generating, Evaluating and Visualizing Construction Schedule with Geographic Information Systems [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2008, 22(4): 233-243.
- [41] Bansal V K, Mahesh Pal. Construction schedule review in GIS with a navigable 3D animation of project activities [J]. International Journal of Project Management, 2009, 27: 532-542.
- [42] Feng Chungwei, Chen Yijao, Huang Jiunru. Using the MD CAD model to develop the time - cost integrated schedule for construction projects [J]. Automation in Construction, 2009, 19(3): 347-356.
- [43] Feng C W, Chen Y J. Using MD CAD Objects to Automatically Generate A Contract - Driven Schedule [C] // Proceedings of the 23rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Tokyo, Japan, 2006.
- [44] Edward Goldberg H. The building information model is BIM the future for AEC design? [J]. CADalyst, 2004, 21(11): 56-58.
- [45] Succar B. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders [J]. Automation in Construction, 2009 13(3): 357-375.
- [46] Hu Zhenzhong, Zhang Jianping, Deng Ziyin. Construction process simulation and safety analysis based on Building information model and 4D technology [J]. Journal of Tsinghua Science and Technology, 2008, 13(1): 266-272.
- [47] 何关培, 李刚. BIM 应用将给建筑业带来什么变化 [J]. 中国信息建设, 2010(2): 10-18.
- [48] Tulke J, Nour M, Beucke K. Decomposition of BIM objects for scheduling and 4D simulation [EB/OL] [2012-09-19]. <http://www.docin.com/p-484324377.html>.
- [49] 邓志鸿, 唐世渭, 张铭, 等. Ontology 研究综述 [J]. 北京大学学报, 2002, 38(5): 731-740.
- [50] AlesMrkela, Danije Rebolj. Automated construction schedule creation using project information model [EB/OL]. <http://itc.scinret/data/works/att/w78> [2009-01-03], 2010.

(上接第 137 页)

清澈未见浑浊物, 此时上游库水位在 2 046 m 高程, 上下游水头差约 50 m, 渗流量约 160 mL/min, 之后该部位渗流量逐渐减小, 5 月 28 日测得渗流量为 84 mL/min。为保证在高水位情况下河床灌浆廊道的正常运行, 在 6 月份通过廊道衬砌混凝土内预埋的灌浆钢管对结构缝进行了聚氨酯材料灌浆, 灌浆结束至今未再发现渗水现象, 结构缝运行正常。

4 结 语

毛尔盖工程河床廊道结构缝结构设计在以往类似工程的基础上进行了改进、加强, 从目前运行情况来看, 基本达到了预期的目的。但在设计、施工过程中也暴露了一些亟待解决的问题:

(1) 高鼻子的铜片止水, 在廊道顶拱弯折成圆弧必须分段进行焊接, 分段越多加工难度越小, 但出现搭接质量问题的几率就越大; 目前国内已经有一次成型的加工工艺, 但工期长、造价高, 需要专门定制。在后续工程设计、施工过程中可以对制作工艺

或其它替代止水型式进行研究。

(2) 结构缝止水结构的施工空间小, 工艺要求高, 在目前的施工方式、施工工期限制下, 很难做到精细化施工, 在后续工程施工过程中可以安排专项施工措施、专业技术人员, 精细化施工, 提高止水结构的可靠性。

参考文献:

- [1] 郑培溪, 赵静, 崔会东, 等. 碛磬大坝坝基廊道结构缝渗漏原因分析及处理效果 [J]. 水电自动化与大坝监测, 2012, 36(2): 72-76.
- [2] 尤士介, 袁长海, 王林, 等. 瀑布沟水电站坝基廊道结构缝渗水处理 [J]. 人民长江, 2011, 42(24): 38-40.
- [3] 朱俊高, 张富有. 毛尔盖水电站心墙堆石坝静力有限元应力应变分析研究 [R]. 南京: 河海大学, 2009.
- [4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 水工建筑物止水带技术规范, DL/T 5215-2005 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.