

基于4D CAD的大型桥梁施工进度系统仿真研究

张正峰, 付金强, 吴康新, 张发瑜

(天津大学建筑工程学院, 天津 300072)

[摘要] 随着桥梁建设的发展, 传统横道图与网络图已成为施工管理水平提高的制约因素。将面向对象的复杂工程系统仿真方法与CAD数字建模方法相结合, 将桥梁的3D整体模型和施工进度相链接, 提出了基于4D CAD的桥梁施工进度系统仿真思想, 使施工过程的动态可视化与直观分析优化后的施工进度成为可能。以Visual C++作为仿真平台, 设计编制了桥梁施工进度4D CAD可视化仿真软件。研究成果在某斜拉桥工程施工组织设计中得到成功应用, 验证了基于4D CAD的大型桥梁施工进度可视化仿真方法在斜拉桥施工进度分析与优化方面的实用性和优越性。

[关键词] 施工进度; 系统仿真; 4D CAD; 斜拉桥

[中图分类号] TP391; TV445 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)01-0063-04

1 引言

现代桥梁工程建设是一项综合、复杂的大型生产活动, 随着国民经济的发展, 桥梁工程项目规模不断扩大, 且施工技术含量日益提高, 施工管理的复杂性不言而喻。如何在项目建设过程中合理制定施工计划, 精确掌握施工进度, 科学进行场地布置, 以缩短工期, 降低成本, 提高质量, 已成为施工管理人员的共识。然而, 长期以来我国桥梁建设中一直存在管理思想陈旧、手段落后的问题。施工进度计划是施工管理的核心环节, 如何形象地表达施工进度以及各工序之间的复杂关系, 提高施工和管理效率, 一直是亟待解决的关键问题之一。然而, 我国大多数施工企业, 仍然使用传统的横道图和直方图表示进度和资源计划, 难以清晰地表达其动态的变化过程。对施工进行指导的合理性也随着桥梁建设的发展而备受关注。以往, 施工管理人员更多的是根据经验进行决策, 人为因素造成决策失误、管理不力的现象十分普遍。长期以来, 施工项目管理的科学性、精确性相对落后已成为桥梁施工管理现代化的瓶颈^[1]。

随着计算机技术的飞速发展, 桥梁设计与施工被赋予了新的内涵。但目前, 利用计算机技术对斜拉桥施工进度控制的可视化软件和仿真计算软件, 主要集中在以索力等为控制目标的研究上, 即集中于结构分析领域。而现有的大部分4D CAD软件(schedule simulator, project navigator 2000, VIRCON project, etc.)主要结合access或project等软件^[2], 通过建立相应的数据库实现施工进度的三维演示, 仅将其视为一种可视化工具, 而不作为仿真分析的依据^[3], 即便如此, 它仍然是有效评价施工进度合理性和选择更经济的施工进度的强有力工具^[4,5]。笔者重点研究基于4D CAD的大型桥梁施工组织及施工管理方面的施工全过程可视化仿真与优化问题, 将面向对象的系统仿真技术与4D CAD技术相结合, 提出基于4D CAD的桥梁施工进度系统仿真思想。

2 基于4D CAD的桥梁施工进度系统仿真原理

4D CAD技术将三维CAD模型与施工历时整合, 以三维模型的形式反映桥梁施工进度活动的进行,

[收稿日期] 2004-11-03; **修回日期** 2005-07-28

[作者简介] 张正峰(1963-), 男, 山西五台县人, 天津大学博士研究生

并利用强大的计算能力和高效的图形处理能力,通过空间和时间两方面来仿真桥梁的施工过程。在设计过程中,和传统 CAD 建模不同,4D CAD 的目的主要在于它能有效地解决任意时刻的施工过程可视化的问题。因此,能有效地帮助设计人员深刻理解施工过程中的问题,并能更好地利用专家经验和设计人员的主观分析能力改善施工质量^[6]。

4D CAD 仿真系统主要包含四部分:三维模型可视化子系统(包括建筑物、地形等)、进度仿真子系统、数据共享子系统和 4D 演示子系统,另外还有一个扩展模块——设计结果可视化(包括图像、图表和文档输出和显示)。在设计过程中,4D CAD 仿真系统充分利用了 CAD 平台,并结合专家系统辅助设计人员实现施工进度计划。首先,根据设计的内容和要求确定所要解决的问题,在 CAD 中建立相应的桥梁三维模型,再根据施工进度仿真的要求,利用 VBA 获取桥梁模型几何形状参数和其他属性,并赋予 ID 存入数据库,以便与进度仿

真结果相连接;三维地形模型采用 TIN (triangulated irregular network) 模型建立^[7],再与三维建筑物模型进行匹配,进而得到施工场景。同时利用 VC++ 开发的施工进度仿真子系统对施工工序历时进行模拟,将仿真结果导入数据库中,由数据共享数据库将仿真结果与桥梁 3D 模型进行整合,使之带有时间属性,动态调用数据库,则可生成施工动态效果。通过对 4D 成果的分析、反馈,得到最优的施工方案,包括优化后的机械设备数量、施工历时、最短路径和均衡后的施工资源强度等。其具体流程如图 1 所示。

通过 4D 演示,我们可以掌握施工工序和它们之间错综复杂的关系,因此,如果发现问题,则必须进行必要的反馈分析,从而使施工进度更加合理。以 4D 模型作为交互的基础,可以对不同的施工方案和工序的先后顺序的优劣进行有效的估计和比较。并可由此对施工方案做出相应的调整。

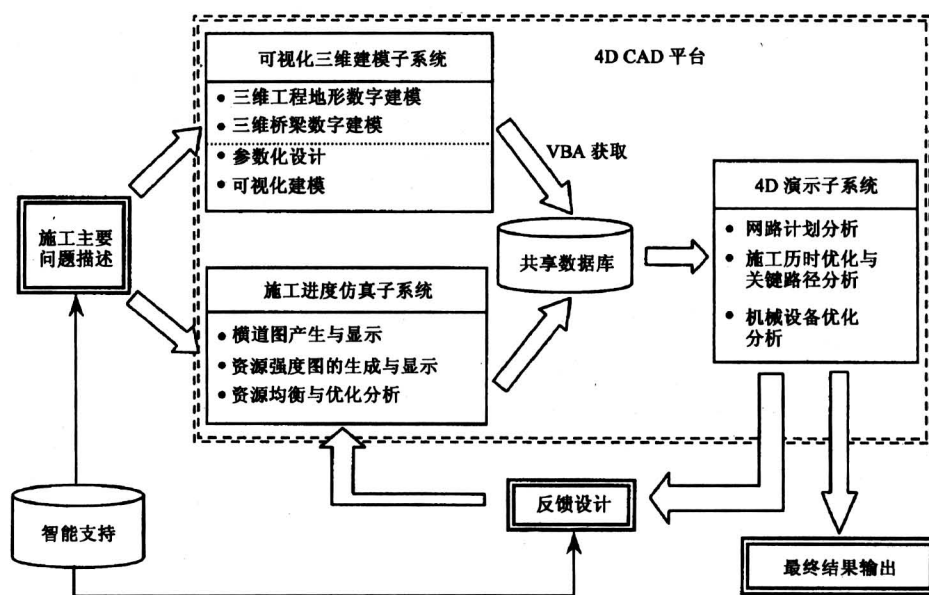


图 1 基于 4D CAD 的工程施工仿真过程

Fig.1 Process of 4D CAD to project construction

3 施工进度仿真及其 4D 演示的实现

3.1 大型桥梁施工进度仿真

施工进度的准确是基于 4D CAD 施工进度仿真的前提,因此获得合理的施工工期就成为整个 4D 仿真的基础。结合文献 [8] 提出的全过程动态仿真技术,将桥梁的施工组成部分作为 CPM 网络模

型节点,如实例中的 10[#] 桩基 a 等,再将 CPM 模型节点细化为 CYCLONE 模型,该层主要面向具体施工的各个环节,如在桥梁主梁施工中采用的悬臂现浇等方法中的预埋件安装、混凝土浇筑等活动,形成分层次的模型结构,充分发挥两种模型的优点,以达到进行桥梁施工进度仿真的目的。

通过仿真可得到的 CPM 网络各节点的施工工期,经过资源均衡优化后,存入数据库,表 1 为存

入数据库的施工进度表及其定义。

表 1 施工进度表及其定义

Table 1 Construction schedule variables and their functionality

列名	描述
ObjId	主键, 标示工序, 与形体属性数据库中的 Id 号相对应
ObjName	单项任务的名称
ObjStart	单项任务的开工日期
ObjDuration	单项任务的持续时间

3.2 4D 演示的实现

利用进度仿真得到工程系统的动态信息, 结合三维数据模型, 构造时空数字模型。工程系统作为离散系统进行仿真, 获得的仿真信息也是离散的, 可以按天、周、旬、月或季为单位显示。根据仿真进度, 对应建筑物几何形状及其属性等, 生成工程施工系统各环节某一动态变化单元 i 对应的图元任意时刻 t 的面貌 $v_i(t)$, 则 t 时刻的工程整体面貌可表示为 $V(t) = \sum_{i=1}^n v_i(t)$, n 为总的图元数。其中, $v_i(t) = f_i(X_i, Y_i, Z_i, t)$, 表示在动态施工过程中, 包括时间信息的 i 图元的几何形状, 它随时间的变化而变化。把工程施工任意时刻的整体面貌存入图形库, 在演示时, 按时间顺序读取图库中的整体面貌信息, 不断更新绘图变量和属性变量赋值, 同时不断刷新屏幕显示。在程序设计过程中, 在系统定时器中设置一个计数器, 建立计数器与时间之间的对应关系 (例如: 计数器每增加 1, 就相当于时间增加 5 天)。这样, 各工序的开始时间、持续时间、完成时间就相当于一个计数器数值。每当接受一个新消息时, 就可判断在当前计数器数值下, 桥梁施工需要的各种活动, 强制重绘图形, 实现与网络计算逻辑、时间一致性。这样就实现了桥梁工程施工过程的 4D 演示, 具体流程如图 2 所示。

4 工程实例

4.1 工程概况

某公路大桥为 3 塔 4 跨双索面预应力混凝土斜拉桥, 双边箱预应力混凝土主梁全长 767.1 m, 中塔高 123.25 m, 边塔高 75.78 m, 中塔与边塔之间距离为 300 m, 桥面宽 32.8 m。两岸引桥长分别为 220 m 和 243 m。施工方法采取落地支架现浇与前支点挂篮悬臂浇筑相结合, 其中边跨现浇、中

跨悬浇。

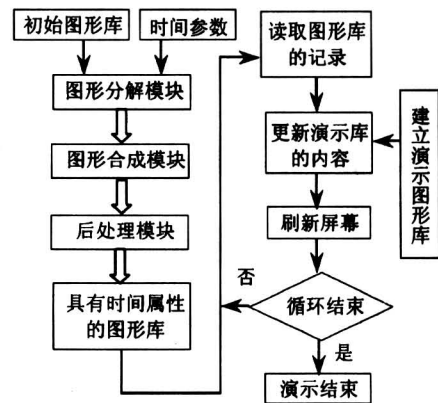


图 2 桥梁工程施工系统的 4D 演示流程图

Fig.2 4D demo flow chart for bridge construction

4.2 仿真计算结果

4.2.1 关键路线 10# 桩基 a, 9# 桩基 b, 9# 承台 b, 9# 塔座 b, 9# 下塔柱 b1, 9# 下塔柱 b2, 9# 横梁 1, 9# 横梁 2, 9# 上塔柱 a、主梁中塔段、合拢 1、其他项目施工、完工。可见, 确保 9# 塔柱各工序的工期是按期完成该斜拉桥施工的关键。

4.2.2 横道图 由进度仿真子系统所得出的横道图, 特别适合于现场施工管理。

4.2.3 施工全过程 4D 演示 动态调用图形数据库中的图像, 将生成的大量图像, 用相应的软件压缩成 MPEG 或 AVI 格式, 但由于用 AVI 格式演示的效果好于 MPEG 格式, 建立采用 AVI 格式进行演示。

5 结语

通过对基于 4D CAD 的斜拉桥施工系统可视化仿真的研究, 研制开发了斜拉桥施工系统 4D CAD 仿真软件, 为定量分析斜拉桥施工进度及其合理性提供了强有力的工具, 可以较充分、全面地表达斜拉桥施工的复杂情况和过程, 并可获得较有说服力的成果, 有助于提高斜拉桥施工组织设计和施工现场实时管理决策的现代化水平, 对于有效地节约桥梁建设费用有一定的实用价值, 研究成果具有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 张建平, 王洪钧. 建筑施工 4D+ 模型与 4D 项目管理系统的研究 [J], 土木工程学报, 2003, 36 (3): 70~78

- [2] Dawood N, Sriprasert E, etc. Development of an integrated information resource base for 4D/VR construction processes simulation [J]. *Automation in Construction*. 2002, (12): 123~131
- [3] Heesom D, Mahdjoubi L. Trends of 4D CAD applications for construction planning [J]. *Construction Management and Economics*, 2004, 22 (2): 171~182
- [4] Koo B, Fisher M. Feasibility study of 4D CAD in commercial construction [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 2000, 126 (4): 251~260
- [5] Vaughn F. 3D and 4D CAD Modeling on commercial design-build projects [A]. Vanegas, J, Chinowsky, P. *Computing in Civil Engineering Congress 3* [C], Anaheim, California. 1996. 390~396
- [6] Liu D H, Zhong, D H, Zhu H R. Visual computer-aided design and analysis with dynamic Simulation for hydroelectric project construction [A]. *Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering* [C], Tianjin, Cjoma, 2003, 5444, 494~501
- [7] 钟登华, 宋 洋. 基于 GIS 的水利水电工程三维可视化图形仿真方法与应用 [J]. *工程图学学报*, 2004, 25 (1): 52~58
- [8] 钟登华, 李景茹, 刘奎建. 全过程动态仿真技术及其在大型工程施工管理中的应用 [J]. *天津大学学报*, 2003, 36 (3): 347~352

System Simulation for Large-scale Bridge Construction Schedule Based on 4D CAD

Zhang Zhengfeng, Fu Jinqiang, Wu Kangxin, Zhang Fayu

(*School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China*)

[**Abstract**] With the development of bridge construction, none of the traditional approaches, i. e. bar chart and network diagrams, etc., has the capabilities to match the development of construction management. Combined the object-oriented system simulation technology for complex engineering system with the CAD digital modeling technology, the system simulation of bridge construction based upon 4D CAD was presented, which linked a 3D model of a construction project with a project activity schedule element. The dynamic visualization of construction process and intuitive analysis on the optimization of construction schemes were achieved. And the corresponding software of visualization simulating system, based on 4D CAD, for construction of bridges was programmed with visual C++. The successful application of the software to the practical cable-stayed bridge showed the practicality and preponderance of this method.

[**Key words**] construction schedule; system simulation; 4D CAD; cable-stayed bridge

(cont. from p. 62)

The Application of Intellectual Mathematics Models in Supply Chain Management

Bai Yuchao

(*Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China*)

[**Abstract**] The purpose of this paper is to discuss the infection of supply chain management in the IT age, especially the functional disadvantage of supply chain management software named SCM. On the basis of intellectual mathematics, the paper puts forward some concrete development countermeasures for modern logistics business, depending on the methods of intellectual mathematics model. And an example is offered with the SWOT method.

[**Key words**] intellectual mathematics model; supply chain management; SCM; SWOT