

水利水电工程网络进度计划 标准化系统研发

王仁超¹, 潘菲菲¹, 李仕奇², 陈建友¹

(1. 天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072;

2. 中国水电工程顾问集团昆明勘测设计研究院, 昆明 650051)

[摘要] 水利水电工程网络进度计划是施工组织设计的重要组成部分。针对目前大多数网络进度计划软件在进度计划生成、分析等方面提供的功能有限,使得网络进度计划编制费时、费力,效率不高,且标准化程度不高等问题,本文在分析了水利水电工程网络进度计划标准化内涵的基础上,对网络进度计划标准化的基本内容进行了研究;在此基础上设计开发了水利水电工程网络进度计划标准化系统,详细介绍了网络进度计划辅助生成、分析、评价与审阅,以及成果输出等功能。该系统不仅界面友好、直观可视化,而且提供了强大的计算及优化功能,大大提高了工程人员网络进度计划编制的效率和质量,为网络进度计划快速分析和优化提供了一种新的思路 and 手段。

[关键词] 水利水电工程;网络进度计划;标准化;网络进度计划标准化系统

[中图分类号] TV511 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)01-0129-08

1 前言

水利水电工程网络进度计划是水利水电工程施工组织设计的重要内容。网络进度计划编制质量直接决定设计质量,同时也影响着水利水电工程建设项目的管理、控制等。

20世纪60年代,为提高网络进度计划的编制质量和效率,专家系统成为解决这一问题的有力工具。如卡耐基-梅隆大学Chris Hendrickson研发的专家系统CONSTRUCTION PLANEX,可以进行网络进度计划作业的产生、费用估计等,为进度计划辅助生成提供了一种有效方法^[1];同样是卡耐基-梅隆大学的Navlnchandra于1988年提出了针对基于知识的进度计划产生器GHOST,通过输入作业集并设置逻辑关系从而产生进度计划^[2];剑桥大学的Jonathan Cherneff等将知识系统、数据库技术与计算机辅助设计相结合,设计出进度计划产生系统

BUILDER^[3]。

然而在解决大型复杂系统问题时,专家系统暴露出一定的局限性,尤其是知识库的建立依赖于专家知识的获取,而知识获取往往很难做到全面,而且某些知识即使获取了也很难表达。因此,20世纪90年代以来,基于案例推理的人工智能方法得到了广泛的研究,同时在知识表达方面,也出现了类似案例的表达方法。如斯坦福大学的集成设施工程中心于1994年通过建立施工方法模型来产生进度计划,开发了MOCA系统,大大减少进度计划编制时间,提高了进度计划编制效率^[4];英属哥伦比亚大学Nicola J Chevallier等应用模板和规则产生进度计划草图^[5,6];Dzeng等人于2004年提出了利用作业模板生成进度计划,应用于道路、桥梁工程^[7],该作者还于2005年提出了进度计划辅助审阅系统,用来解决进度计划审阅人员受经验及主观判断对审阅结果的影响^[8];韩国Han-Guk Ryu等于2007年通过

[收稿日期] 2013-03-11

[作者简介] 王仁超,1963年出生,男,山东龙口市人,教授,主要研究方向为大型工程系统分析,项目管理及施工仿真;

E-mail: renchao1881@vip.sina.com

对每一工程进行特征设定,采用基于案例推理技术研制出专家系统 CONPLA-CBR^[9]。

进入21世纪,随着信息技术和系统论方面的发展以及设计手段的更新,建筑信息建模(BIM)、三维设计、项目信息模型(PIM)、协同设计等以提高设计质量和效率为目的的新思想和方法也被结合到网络进度计划辅助生成方面。如 Chung-Wei Feng 于2006年将进度计划与多维CAD对象连接,产生合同驱动的进度计划^[10];斯洛文尼亚 Aleš Mrkela 于2010年通过利用简单三维模型查看器、用户特定信息及 BIM 提出了利用 PIM 产生进度计划^[11];立陶宛、波兰、德国等国家也相继研制出相应的系统^[12-14]。国内的王仁超等^[15]和同济大学的薄卫彪^[16]对建筑工程网络进度计划生成进行了研究。以上方法及系统大多针对高层建筑,尚没有针对水利水电工程的进度计划生成进行全面的研究所。

网络进度计划编制的主流软件如 P3e/c、Project 等还提供了网络进度计划分析、优化等功能,尤其 P3e/c 软件提供了较为强大的工程控制、调整以及与费用等关联功能。但是,这些软件多没有或仅提供部分辅助生成网络进度计划功能,尽管已有众多工程网络进度计划编制经验,但在新项目创建时,大多还需要从头开始,编制费时、费力且效率不高。另外,在网络计划分析方面也仅提供常规的分析和优化功能,对于作业工期关键性指标、风险等方面的研究不够完善。再者,随着目前三维设计、协同设计、BIM 的普及和推广,将这些成果与网络进度计划有效地相结合,可以降低网络进度计划编制工作量,提高编制效率和质量,这些方法的实现也依赖于一套标准化的理论和方法。而目前水利水电行业尚未形成这样的标准化体系和相应的标准。

基于以上分析,在探讨水利水电工程网络进度计划标准化内涵的基础上,对网络进度计划标准化的基本内容进行了研究,在此基础上开发了水利水电工程网络进度计划标准化系统(SHAPS),该系统界面友好、直观可视化,而且能够实现网络进度计划的辅助生成、分析、评价与审阅,及成果输出,大大提高了网络进度计划编制和分析的质量和效率。

2 网络进度计划标准化内容研究

水利水电工程网络进度计划标准化定义为:根据水利水电工程网络进度计划的特点,以网络计划技术为基础,对水利水电工程网络进度计划中的项

目划分、逻辑关系确立以及网络进度计划的分析、评价等按照国家和行业有关标准进行标准化处理,以便使网络计划编制、分析与评价等编制成果达到统一和重用。具体而言,网络进度计划的标准化包括:网络进度计划生成标准化、网络进度计划分析标准化、网络计划评价与审阅以及网络进度计划结果输出的标准化,其关系如图1所示。

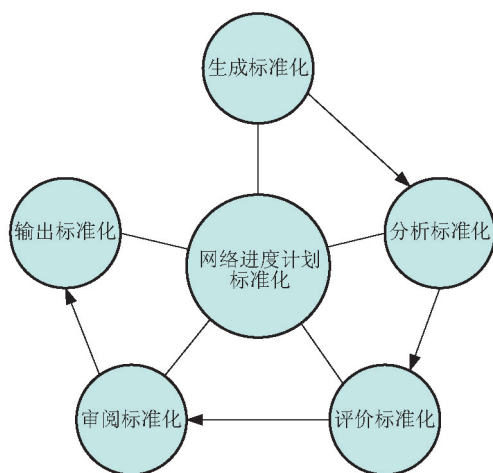


图1 网络进度计划标准化内容

Fig. 1 Basic content of network schedule standardization

2.1 网络进度计划生成标准化

运用网络计划技术编制工程进度计划的基础性工作包括:项目划分、逻辑关系确定和各个作业(活动、工序)资源的配置。这些工作的标准化是网络进度编制标准化的前提工作,属于网络计划编制初期阶段工作。

2.2 网络进度计划分析标准化

1)对于常规的网络时间参数计算和关键路径分析,考虑常见的逻辑关系类型和工作时间约束、工作类型和工期分布类型,借鉴国家和行业标准,形成了标准的网络计划时间参数和关键路径计算方法。

2)对于网络进度计划工期风险分析,结合目前常见分析方法,如模糊进度计划分析、随机型进度计划仿真分析方法以及有关研究结果,提出了一套网络进度计划标准化分析过程,如基于时间分布的 Monte-Carlo 仿真分析方法、基于因素的 Monte-Carlo 仿真分析方法、基于工期可控性的 Monte-Carlo 仿真分析方法等,指出了这些方法适用条件和需要参数等,形成标准化的分析过程和分析方法。

3)对于常规的网络进度计划优化分析,需要明确其分析过程和分析方法。

2.3 网络进度计划评价标准化

在经过网络进度计划分析后,需要对编制的网络进度计划进行评价,即对网络进度计划总工期(完工风险)及其各作业的持续时间的的评价。目前的网络进度计划评价方法主要有理论评价方法和经验评价方法。理论评价方法包括模糊评价、随机风险评价、施工仿真评价;经验评价方法主要是基于工程类比的评价。网络进度计划评价标准化即是对网络进度计划评价方法和评价过程的标准化。

2.4 网络进度计划审阅标准化

编制人员编制的网络进度计划,到最终确定,往往需要经过有关的责任(专业)工程师或咨询工程师的审阅。本文提出了网络进度计划痕迹管理概念,通过形成网络进度计划编制信息,如采用的案例和模板以及采用这些案例和模板时考虑的工程特征、主要影响工程进度计划可行性的项目修改以及修改原因等,形成网络进度计划编制的痕迹信息,审阅工程师通过查阅这些痕迹信息,然后对网络进度计划进行审阅。

2.5 网络进度计划输出标准化

网络进度计划输出标准化是指网络进度计划输出的形式和内容的标准化。目前国内外进度计划软件繁多,不同软件进度计划输出形式也不尽相同。另外随着新技术和各种工程软件的发展,网络进度计划与这些软件结合,形成新的进度计划表现

和表达形式,有利于网络进度计划分析、评价以及在工程建设过程中的实施。为此,本文结合国内外软件特点、国内工程管理人员习惯和目前进度计划编制常用软件,提出了工程网络进度计划输出标准化,包括输出报告的标准化(借助P3e/c软件)、网络图和横道图的AutoCAD输出,以及相应报表等标准化输出。

3 网络进度计划标准化系统SHAPS

3.1 系统总体设计

基于网络进度计划标准化内容,本文针对大型水利水电工程网络进度计划生成过程中知识组织与运用以及工程进度风险评价等问题,综合运用人工智能、知识工程、风险分析、计算机模拟、三维协同设计等有关思想、理论和方法,开展基于多源知识(专家经验、工程案例、进度模板与模块、工程三维模型等知识源)的网络进度计划辅助生成机理研究,以及综合考虑风险因素、风险因素发生时间、计划编制中影响进度的关键资源配置、工程控制中管理者的风险应对措施、行为等条件下的进度风险评价理论和方法,在Microsoft Visual Studio平台下开发水利水电工程网络进度计划标准化系统SHAPS,该系统共划分为5大模块,分别为网络进度计划辅助生成、辅助分析、辅助评价、可视化及成果输出。系统总体结构如图2所示。

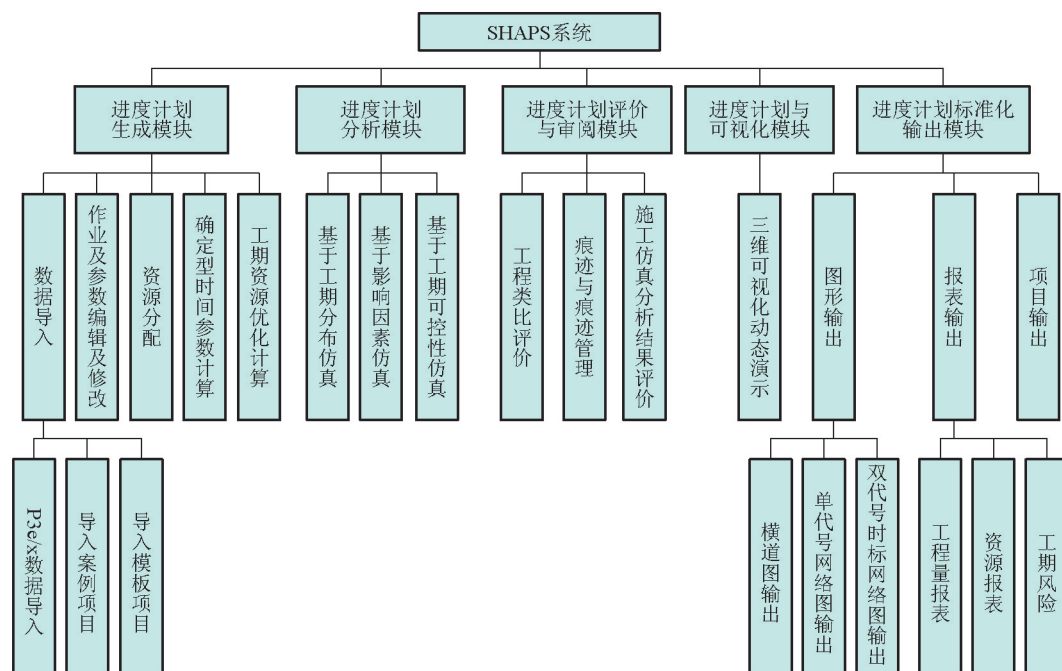


图2 系统总体结构图

Fig. 2 Overall structure of the system SHAPS

系统主界面如图3所示,共包括五个主要区域,分别为:菜单栏、视图工具栏、WBS信息显示区、横道图显示区和工作信息显示与编辑区。其中菜单栏主要包括参数编辑、计算分析与评价、结果输出、模拟与可视化等功能。视图工具栏的主要功能为切换主显示区的显示内容,如单代号视图、双代号视图、资源视图等等。WBS信息显示区用来显示项

目各个工作的工作代码、工作名称、预期开始时间和预期结束时间,用户也可在此区域对工作进行编辑修改。横道图显示区主要用来显示工序间的逻辑关系和工序持续时间。工作信息显示与编辑区主要包括:常用信息、分类码、资源分配、约束条件、逻辑关系和综合单价表资源分配六项内容,用户可在此区域读取项目相关信息并进行修改工作。

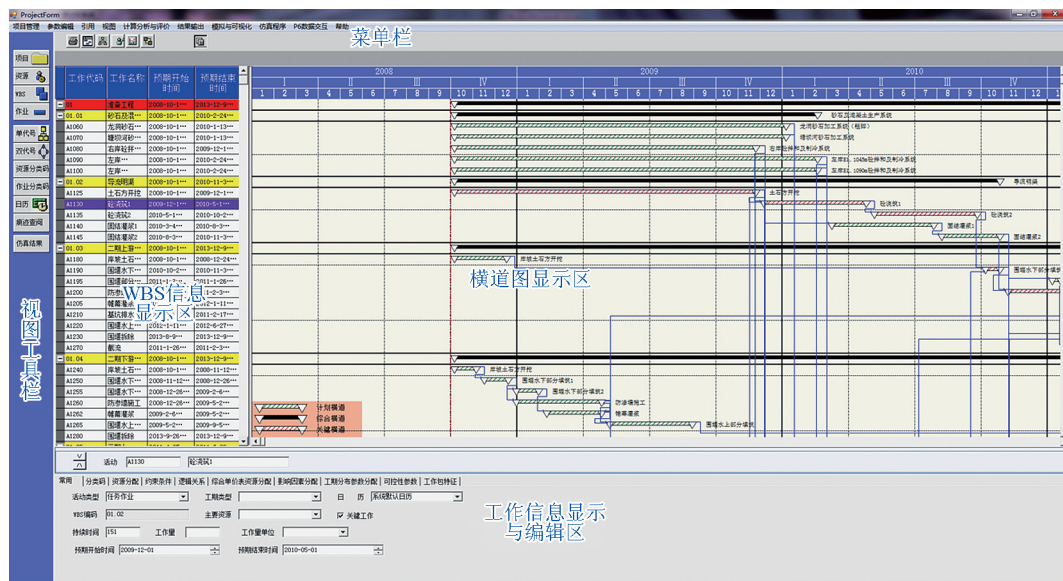


图3 水利水电工程网络进度计划标准化系统主界面

Fig. 3 The main interface of standardization system of network schedule in hydraulic and hydropower engineering

3.2 系统功能实现

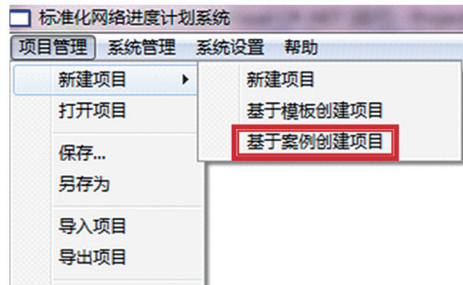
3.2.1 网络进度计划辅助生成

系统提供基于模板和基于案例创建项目两种进度计划辅助生产方法,如图4a所示,其中基于模板创建项目的过程与基于案例创建项目的方法类似,这里详细叙述基于案例创建项目的实现过程。基于案例创建项目方法允许用户通过“行业类别”、“工程类别”、“项目类别”及“进度计划类别”四大类别进行案例的初步筛选,然后运用模糊聚类分析方法计算其相似度并选择与拟建项目相似度最高的案例作为拟建项目进度计划的基础,如图4b所示。但是,检索到的项目直接应用于拟建项目的情况少之又少,所以还需要对案例进行修改。案例修改过程中,例如“作业持续时间”、“作业类型”、“资源量”等信息的修改,都会保留到痕迹管理系统中,用作

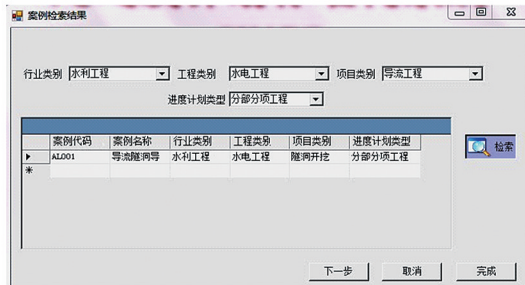
进度计划审阅的依据。修改后的案例可直接进行进度计划分析、评价等,也可以作为新案例存储在数据库中,基于案例创建的工程项目进度计划如图4c所示。该系统通过案例和模板辅助生成水利水电工程网络进度计划,可以有效地提高网络进度计划编制质量,降低工作人员的编制工作强度,提高工作效率。

3.2.2 网络进度计划辅助分析

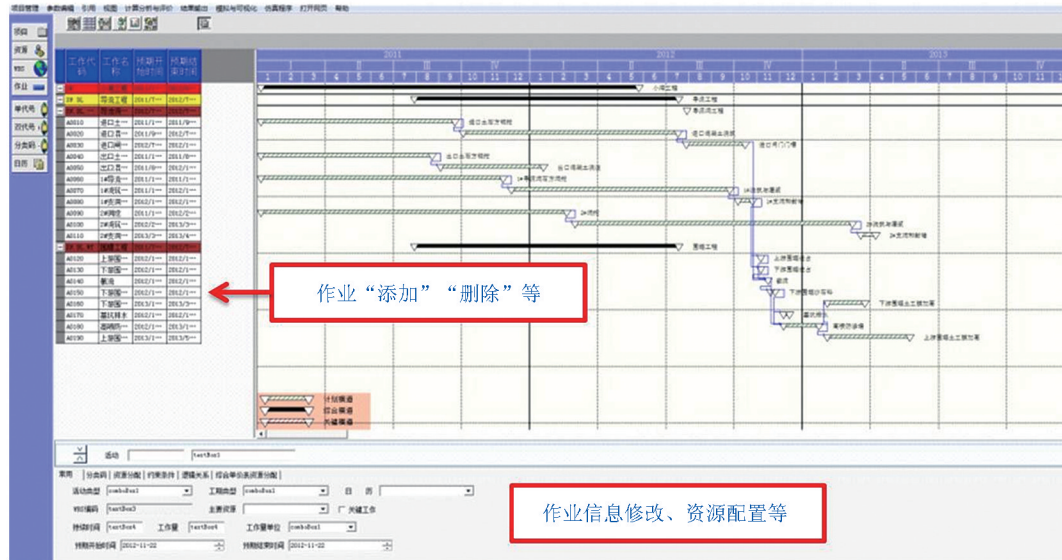
系统能够计算加入日历的时间参数,进行资源均衡计算以及工期的压缩优化,其中资源均衡计算又分为工期固定资源均衡和有限制资源均衡两种方法,如图5a所示。以“工期固定资源均衡”优化计算为例,资源均衡计算前资源直方图如图5b所示,均衡后结果如图5c所示。



(a) 基于案例创建项目



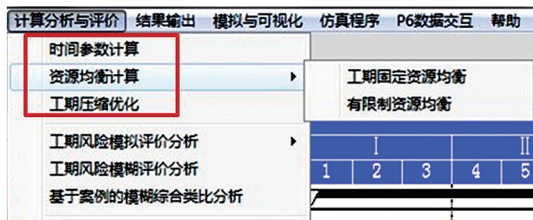
(b) 模糊聚类分析方法检索工程案例界面



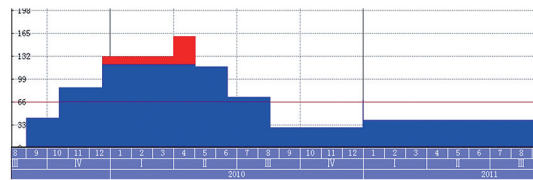
(c) 基于案例创建的工程项目进度计划界面

图4 基于案例辅助生成进度计划

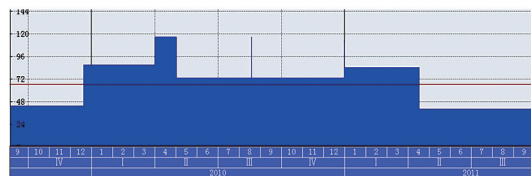
Fig. 4 Aided generation of network schedule based on cases



(a) 进度计划计算分析菜单



(b) 资源均衡前资源直方图



(c) 资源均衡后资源直方图

图5 网络进度计划辅助分析

Fig. 5 Aided analysis of network schedule

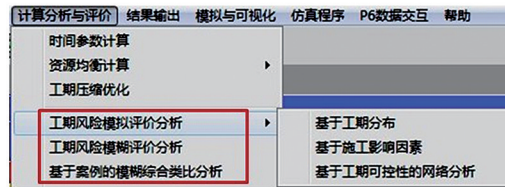
3.2.3 网络进度计划辅助评价

辅助评价模块主要分为工期风险模拟评价分

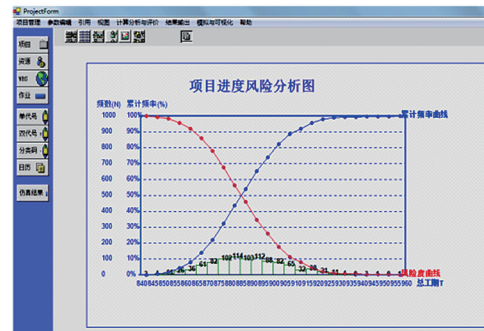
析、工期风险模糊评价分析和基于案例的模糊综合
类比分析,其中工期风险模拟评价分析包括基于工

期分布的评价分析、基于施工影响因素的评价分析和基于工期可控性的评价分析,如图 6a 所示。图 6b 为总工期风险评价分析结果,说明模拟 1 000 次、工期为 885 天的次数为 114 次。图 6c 为基于案例的模糊综合类比分析计算界面,图 6d 为相应的模糊预测

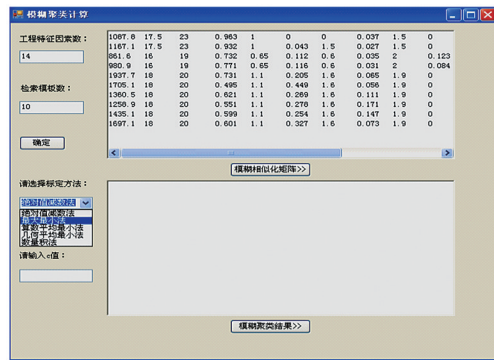
结果。该模块通过基于 Monte Carlo 网络计划仿真、基于施工影响因素的网络计划仿真和基于工期可控性的网络计划仿真方法,为工程人员提供了多种辅助评价进度计划的手段和方法。



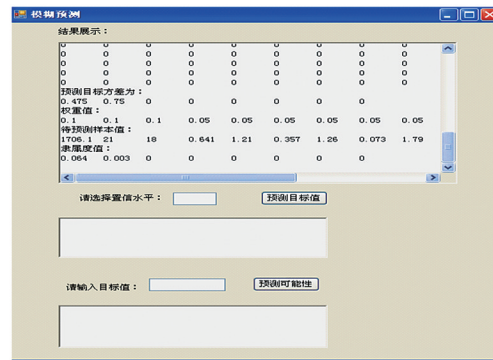
(a) 进度计划评价分析菜单



(b) 总工期风险评价分析



(c) 基于案例的模糊聚类计算界面



(d) 模糊聚类预测结果分析界面

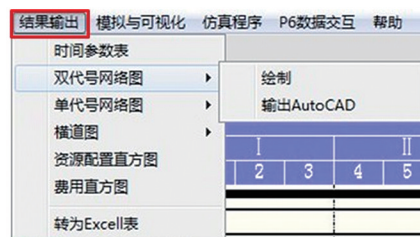
图 6 网络进度计划辅助评价

Fig. 6 Aided assessment of network schedule

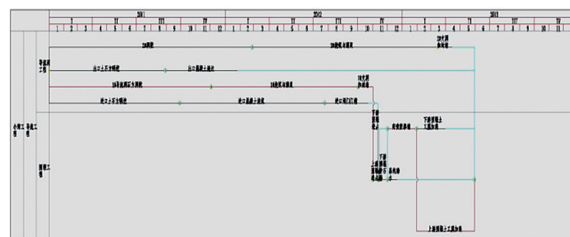
3.2.4 网络进度计划标准化输出

根据实际工程需要,系统能够输出多种成果图

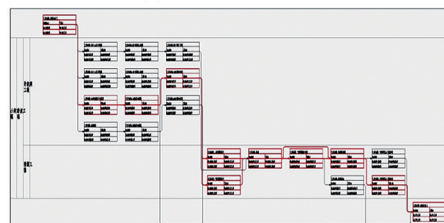
表,主要包括三种网络图输出模式:双代号时标网络图、单代号网络图和横道图,如图 7 所示。



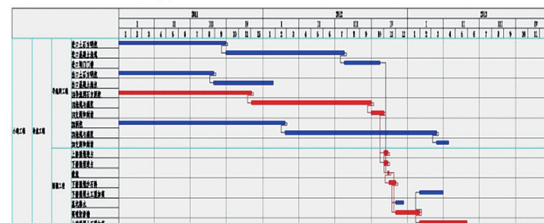
(a) 结果输出菜单



(b) 双代号时标网络图输出



(c) 单代号网络图输出



(d) 横道图输出

图 7 网络进度计划标准化输出

Fig. 7 Standardized output of network schedule

该模块与 NavisWorks、施工仿真技术、AutoCAD、P3e/c 等结合,为网络进度计划输入、输出提供了快捷、标准的途径,有利于提高网络进度计划输出质量和效率。

与传统的 P3e/c 软件相比,该系统的主要优越之处体现在以下两方面:第一,系统能够基于已有案例和模板快速生成工程项目初始进度计划,避免了重复、冗杂且依赖经验的编制过程;第二,提供了更加强大的网络进度计划计算及优化功能,如绘制双代号网络图、资源和工期均衡优化、风险分析和评价、仿真与可视化等。

4 结语

针对目前多数网络进度计划软件在进度计划生成、分析和评价等方面提供的功能有限,导致网络进度计划编制费时、费力,效率不高,且标准化程度不高等问题,本文在分析水利水电工程网络进度计划标准化内涵的基础上,对网络进度计划标准化的基本内容进行了研究,在此基础上研制开发了水利水电工程网络进度计划标准化系统 SHAPS,实现了网络进度计划的辅助生成、分析、评价、审阅,以及成果输出等。该系统不仅界面友好、直观可视化,而且提供了强大的计算及优化功能,大大提高了工程人员网络进度计划编制的效率和质量,为网络进度计划快速编制和分析提供了一种新的思路和手段。

参考文献

- [1] Chris Hendrickson, Carlos Zozaya-Gorostiza. Expert system for construction planning [J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 1987, 1(4): 253-269.
- [2] Navlnchandra D, Sriram D. GHOST: Project network generator [J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 1988, 2(3): 239-254.
- [3] Jonathan Cherneff, Robert Logcher. Integrating cad with construction schedule generation [J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 1991, 5(1): 64-84.
- [4] Martin Fisher, Florian Aalami, Michele O'Brien Evans. Model-based constructability analysis: The MOCA system [R]. California: Stanford University (CIFE), 1994.
- [5] Nicola J Chevallier, Alan D Russell. Automated schedule generation [J]. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1998, 25(6): 1059-1077.
- [6] Nicola J Chevallier, Alan D Russell. Developing a draft schedule using templates and rules [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2001, 127(5): 391-398.
- [7] 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): 5-14.
- [8] 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.
- [9] Han-Guk Ryu, Hyun-Soo Lee, Moonseo Parkyu. Construction planning method using case-based reasoning(CONPLA-CBR) [J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2007, 21(6): 410-422.
- [10] Chung-Wei Feng, Yi-Jao Chen. Using MD cad objects to automatically generate a contract-driven schedule [C]//2006 Proceedings of the 23rd International Symposium on Robotics and Automation in Construction. Japan: Tokyo, 2006: 740-745.
- [11] Aleš Mrkela, Danijel Rebolj. Automated construction schedule creation using project information model [EB/OL]. 2010, <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2009-1-03.pdf>.
- [12] Laura Tupenaite, Loreta Kanapeckiene, Jurga Naimaviciene. Knowledge management model for construction projects [C]. Latvia: Riga, 2008: 313-320.
- [13] Janusz Kulejewski. Planning of construction schedule with flexible constraints [C]//The 10th modern building materials, structures and techniques international conference. Lithuania: Vilnius, 2010: 442-445.
- [14] Eva Mikulakova, Markus König, Eike Tauscher, et al. Knowledge-based schedule generation and evaluation [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2010, 24(4): 389-403.
- [15] 王仁超, 郝伟峰. 工程项目中网络进度计划编制标准化研究 [J]. *价值工程*, 2012(11): 71-72.
- [16] 薄卫彪. 建设项目进度计划智能安排研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.

Development of network schedule standardization system in hydraulic and hydropower engineering

Wang Renchao¹, Pan Feifei¹, Li Shiqi², Chen Jianyou¹

(1.State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. HydroChina Kunming Engineering Corporation, Kunming 650051, China)

[Abstract] Network schedule is an important part in construction organization and design in hydraulic and hydropower engineering. As most network schedule software provided limited functionality in schedule generation and analysis, leading to network schedule generation is time-consuming, laborious, inefficient, and low degree of standardization. Based on analysis of connotation of network standardization in hydraulic and hydropower engineering, this paper discussed the basic content of the network schedule standardization, developed the standardization system of network schedule in hydraulic and hydropower engineering, and introduced functions as network schedule aided generation, analysis, evaluation and review, as well as the output of results in detail. The system interface is friendly and intuitive visualization, and provides powerful computing and optimization capabilities, greatly improving the efficiency and quality of the preparation of the network schedule to engineering staffs, and provides a new way and means in quickly generating, analyzing and optimizing the network schedule.

[Key words] hydraulic and hydropower engineering; network schedule; standardization; SHAPS