

SHUILI SHUIDIAN GONGCHENG
SHIGONG FANGZHEN YU
TUSHIFANG PINGHENG

水利水电工程施工仿真 与土石方平衡

申明亮 刘少林 陈 伟 倪锦初 黄学才 陈 钢 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利水电工程施工仿真 与土石方平衡

申明亮 刘少林 陈伟 倪锦初 黄学才 陈钢 编著

本书共分两篇。第一篇为土石方平衡，主要介绍土石方平衡的基本概念、土石方平衡的计算方法、土石方平衡的优化设计等。第二篇为水利水电工程施工仿真，主要介绍水利水电工程施工仿真的基本概念、水利水电工程施工仿真的建模方法、水利水电工程施工仿真的求解方法等。

章	节	页
第1章	土石方平衡概述	1
第2章	土石方平衡的计算	10
第3章	土石方平衡的优化设计	25
第4章	水利水电工程施工仿真概述	35
第5章	水利水电工程施工仿真的建模	45
第6章	水利水电工程施工仿真的求解	60
第7章	土石方平衡与施工仿真的应用	75



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书反映了目前水利水电工程施工过程仿真与土石方平衡调配的最新研究动态,包括水利水电工程施工过程仿真与料物平衡规划两部分。第一部分为水利水电工程施工过程仿真,主要内容为施工过程仿真的基本理论、方法,以及仿真技术在混凝土坝、当地材料坝与地下厂房施工过程中的应用;第二部分为料物平衡规划技术,包括系统规划技术,及在场地规划、料场规划、当地材料筑坝、渠道与堤防工程施工中的料物平衡问题解决的理论与具体方法。

本书可供水利水电工程施工组织设计的工程技术人员使用,亦可供相关专业大学本科及研究生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

水利水电工程施工仿真与土石方平衡/申明亮等编著.
北京:中国水利水电出版社,2007
ISBN 978-7-5084-4134-4

I. 水... II. 申... III. ①水利工程—工程施工—计算机仿真②水力发电工程—工程施工—计算机仿真
③水利工程 工程施工 物料平衡④水力发电工程—工程施工—物料平衡 IV. TV5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 124105 号

书 名	水利水电工程施工仿真与土石方平衡
作 者	申明亮 刘少林 陈伟 倪锦初 黄学才 陈钢 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 10.5 印张 249 千字
版 次	2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

施工过程仿真与土石方平衡调配是当今水利水电工程施工组织科学研究的主要内容与方向，随着新技术、新设备、新材料在工程中的大量应用，不断给施工组织设计与管理带来了新的研究课题。同时，随着仿真技术、土石方平衡调配技术研究的深入发展，利用计算机技术进行施工方案的生成及比选优化已在大型工程中不断得到成功应用，对加快工程进度、保证工程质量、节省工程投资等都有重要的意义。本书就是在这种实践背景下写作完成的，书中所涉及的研究成果已在三峡、水布垭、龙滩、向家坝、公伯峡等工程中得到实际应用，并取得了较好的社会与经济效益。

本书由申明亮、刘少林、陈伟、倪锦初、黄学才、陈钢等编写完成，主要内容包括水利水电施工过程仿真与料物平衡规划两部分。第一部分为水利水电施工过程仿真，主要内容为施工过程仿真的基本理论、方法，以及仿真技术在混凝土坝、当地材料坝与地下厂房施工过程中的应用；第二部分为料物平衡规划技术，包括系统规划技术，以及在场址规划、料场规划、当地材料筑坝、渠道与堤防工程施工中的料物平衡问题。

本书出版首先感谢左兼金、袁光裕两位导师，他们严谨治学、默默奉献的精神是我们永远学习的榜样。感谢长江水利委员会长江水电规划勘测设计研究院程卫民、刘百兴、宛明，中水顾问集团公司中南勘测设计研究院王忠耀、文杰、龚德红、苏军安，中水顾问集团公司西北勘测设计研究院冀培民、李富红、春光魁，中水顾问集团公司贵阳勘测设计研究院文亚豪、张晋秋，黄河勘测规划设计有限公司刘维新、田耕、熊建清，北京国电水利电力工程有限公司陈惠民、贾富生，中水北方勘测设计有限公司孙富行，葛洲坝集团公司文德钧、邢德勇、周厚贵，中国水利水电第四工程局王争鸣，中国水利水电第

十四工程局李跃平，三峡大学李建林等同志对笔者研究工作的支持与帮助。

感谢武汉大学水利水电学院、水资源与水电工程科学国家重点实验室的领导及同事。

感谢三峡大学湖北省水电工程施工与管理重点实验室为作者提供的相关研究课题。

感谢水利学会施工专业委员会系统工程专门委员会。

感谢武汉大学水利水电学院肖宜老师，武汉大学研究生曹生荣、陈立华、张春燕、钟俊等，他们不仅参加了本书所涉及的研究工作，在书稿整理中也付出了辛勤的劳动。

本书可供水利水电施工组织设计的工程技术人员使用，亦可供相关专业本科及研究生参考使用。

由于笔者水平有限，加之本书所涉及的仿真技术、料物平衡规划技术正处于迅速发展阶段，书中内容难免有不妥之处，望读者不吝指正。

编 者

2006年12月

目 录

前言

第一篇 施工仿真技术

第一章 仿真技术概述	1
第一节 概述	1
第二节 计算机模拟技术在水利水电工程中的应用	2
第三节 发展动态与方向	4
第四节 专用软件简介	5
第二章 计算机模拟的原理与方法	7
第一节 计算机系统模拟的原理	7
第二节 计算机模拟的一般过程	8
第三节 模拟方法	10
第三章 水利水电工程施工过程仿真	15
第一节 施工仿真的理论基础与特点	15
第二节 建模要求的数据	15
第三节 方案分析	18
第四节 模拟结果输出与后处理	21
第五节 坝体填筑施工的三维动画	25
第四章 混凝土及碾压混凝土坝施工仿真	29
第一节 混凝土施工系统仿真分析	29
第二节 大坝混凝土浇筑控制条件分析	30
第三节 碾压混凝土坝仓面原始数据生成	35
第四节 模拟模型的构造	38
第五节 仿真结果分析	43
第五章 当地材料坝施工仿真	45
第一节 当地材料坝施工特点及仿真要求	45
第二节 大坝填筑系统分析	45
第三节 当地材料坝施工过程模拟	46
第四节 二维图形动态上升的实现	55
第六章 地下厂房施工仿真	58

第一节	引言	58
第二节	仿真系统分析	59
第三节	模拟方法	60
第四节	模型中的参数与成果分析	62

第二篇 料物平衡规划

第七章	土石方平衡问题概述	69
第一节	土石方平衡的意义与影响因素	69
第二节	常见的土石方平衡问题	71
第三节	解决土石方平衡问题的常用方法	72
第四节	解决土石方平衡问题的主要步骤	72
第八章	系统规划技术	74
第一节	系统规划技术概论	74
第二节	用线性规划安排混凝土生产	76
第三节	动态规划与砂石料生产	81
第四节	整数规划在枢纽布置中的应用	85
第五节	机械化施工中的排队问题	87
第六节	大系统理论及其应用	93
第九章	场地规划中的土石方平衡问题	102
第一节	施工场地选择	102
第二节	施工场地区域规划	103
第三节	施工场地土石方平衡设计	107
第四节	挖填平衡模型分析	111
第五节	坝区开挖弃渣与施工营地建设中的土石方调配	116
第十章	料场规划问题	122
第一节	面板堆石坝施工料场规划	122
第二节	混凝土坝施工料场规划	128
第十一章	当地材料筑坝中的土石方平衡问题	134
第一节	概述	134
第二节	料物调配的原则和方法	135
第三节	技术路线与措施	139
第四节	调配过程模拟	142
第五节	土石方调配与道路运输强度的联合优化	146
第十二章	渠道与堤防工程土石方平衡	152
第一节	问题特点	152
第二节	问题求解方法分析	152

第三节 渠道施工规划的原则	153
第四节 渠道施工土石方平衡	153
第五节 道路与堤防工程中的土石方平衡	156
参考文献	157

第一篇 施工仿真技术

第一章 仿真技术概述

第一节 概 述

所谓计算机仿真是指通过对所研究系统的概化和抽象,抽取其中基本要素的关键参数,建立与现实系统相对应的模拟模型,并借用计算机技术编制程序,对该模型进行模拟,以模仿实际系统的运行过程,观察系统状态变量随时间变化的动态规律性,通过数据采集和统计分析,得到被模拟系统参数的统计特性,为实际系统的设计与运行提供依据。其中,模拟模型是对实际系统的一种抽象、本质的描述,它是在一定假设条件下对系统的简化,包含了反映各主要因素之间的逻辑关系和数学关系,并对实际系统具有代表性。

计算机仿真(Simulation)概念起源于20世纪40年代,由控制论创始人之一冯·诺依曼最先提出,它是利用电子计算机对所研究系统的结构、功能以及参与系统运行的人的活动行为进行模仿的过程,故通常又称为模拟。

由于受计算机技术的局限,早期的计算机模拟主要表现为利用 Monte Carlo 方法求解随机过程问题,应用范围也只限于控制工程等少数领域。

20世纪60年代,计算机模拟技术得到较大发展,突出表现在模拟语言 SIMSCRIPT 和 GPSS 的开发应用,以及权威刊物 SIMULATION 的出版,应用领域也有所扩展。

近10年来,随着计算机软硬件技术的突飞猛进,计算机模拟技术也得到迅速发展,它与管理信息系统、决策支持系统、人工智能、计算机图形学以及各专业领域的专门知识相结合,极大地丰富、完善了自身内容,形成当今技术发展的一个热点,其应用范围也普及到人类科学研究的各个领域。

就其实质而言,水利水电工程施工仿真目的是对施工方案可行性(如施工强度是否合理、机械效率能否保证、形象面貌能否实现等)和经济性(如机械利用率是否合理、各种效益能否及时发挥)在施工过程预演的基础上通过统计手段进行的系统分析。

水利水电工程施工计算机仿真的主要目的有以下几个方面:

- (1) 施工方案的比选。
- (2) 各方案的总工期以及各个时段的形象进度分析计算。
- (3) 施工机械的生产率与承担的施工部位、工程量计算。



(4) 月、年施工强度的统计分析。

(5) 影响施工进度的主要因素分析。

水利水电工程施工仿真技术分类主要有两种途径：①对不同的施工对象，如混凝土重力坝施工仿真、碾压混凝土坝施工仿真、面板堆石坝施工仿真等，其间区别主要在不同坝型的施工要求不同，即仿真的边界条件不同；②对不同的施工机械组合方案，如缆机、门塔机、塔带机、真空溜槽（管）等浇筑仿真以及 TBM 施工仿真等，其间区别主要反映在仿真计算模型的建立与参数选取不同。

第二节 计算机模拟技术在水利水电工程中的应用

水利水电工程是一项复杂的系统工程，一般工程规模较大，技术和自然条件复杂，在设计和施工过程中，又常常受到许多因素的影响，致使工程设计和施工组织设计任务繁重，施工具有较大的风险性。而计算机仿真可以模拟十分复杂的情况，由于所建立的是数字模型，可以方便地进行修改，具有经济、可靠、安全、灵活、可重复使用的优点。通过对实际系统的模拟，可以增进对实际工程的了解，获得一些有参考价值的参数，从而为施工组织设计提供依据，并减轻了设计人员的计算强度，缩短方案制定时间。正是基于这些优点，计算机仿真技术在水利水电工程中应用越来越广泛。

在国外，将计算机模拟技术应用于混凝土工程施工中，始于 20 世纪 70 年代初。1973 年第十一届国际大坝会议上，D. H. Bassgen 首先结合混凝土重力坝施工提出了混凝土浇筑过程模拟。在满足施工浇筑系统实际存在的各项条件和施工准则的情况下，利用计算机模拟技术，针对缆机浇筑进行了浇筑模拟计算，给出了缆机在模拟浇筑中的效率、浇筑强度等特性，基本反映出缆机在混凝土坝浇筑过程中的工作情况。D. W. Halpin 于 1973 年将计算机模拟与循环控制网络结合起来，对建筑工程混凝土运输进行模拟。其后，计算机模拟技术逐步广泛应用于水电工程和建筑工程的混凝土施工中。

1989 年，L. E. Bernold 在循环控制网络中考虑实体存储和故障延迟的问题，重点研究了汽车排队限额与混凝土施工系统生产率之间的关系，以混凝土坝施工为例，模拟出不同排队长度限额水平下混凝土施工的生产能力。

我国在水电工程混凝土施工中应用计算机仿真技术始于 20 世纪 80 年代初。当时钱学森教授在全国范围内开展系统工程技术的推广工作，水利水电系统的教学、科研、设计、生产部门的有关科研人员结合工程实际与行业特点，在排队理论（Queueing Theory）的指导下，对施工过程的机械配套进行研究，从而开辟了我国水利水电工程施工过程模拟研究的领域。

从 20 世纪 80 年代起，随着水利水电工程建设与计算机技术的发展，水利水电工程施工计算机仿真技术得到迅速发展，取得了大量应用成果。

1984 年，天津大学朱光照对二滩水电站双曲拱坝混凝土分块柱状浇筑进行了计算机模拟，通过对二滩水电站 15 个方案的模拟计算检验，计算成果符合一般施工规律，初步证明计算机模拟在水利工程中的应用总体上是成功的。

1985 年，武汉水利电力学院袁光裕、左兼金、史精生等人对鲁布革高土石坝施工挖、



运、填过程及机械配套进行了计算机模拟研究，得出了每一坝块各种填筑料的装运费用、高差停工费、施工天数、高差要求的施工天数、填筑进度安排、装运机械的空闲率、利用率等参数。

1986年，武汉水利电力学院袁光裕、刘则邹等根据福建坑口水电站的碾压混凝土坝施工条件，建立了碾压混凝土坝施工过程的模拟模型，对坑口水电站碾压混凝土坝施工过程进行了动态模拟。

1988年，天津大学朱光照和孙锡衡等用系统方法分析三峡二期工程混凝土柱状浇筑施工过程，认为混凝土施工是一个复杂大系统，将混凝土拌和、运输、入仓、平仓振捣四个环节分解成两个子系统，一是混凝土运输系统，一是混凝土浇筑系统。通过两个系统的相互配合进行模拟，以满足大坝混凝土浇筑工期和施工机械达到一定的效率为目的，寻求各阶段最优配套组合。

1990年，河海大学使用模拟专业语言 GPSS，分别对三峡二期工程大坝混凝土在通仓浇筑和柱状浇筑方式下的施工过程进行了模拟，得出了大坝施工工期、混凝土浇筑月强度、起重机数量及利用率、汽车数量及利用率等参数指标，并验证了通仓浇筑和柱状浇筑在技术上的可行性。

1991年，武汉水利电力学院袁光裕、晏新春等结合三峡工程泄洪坝段混凝土通仓浇筑的施工方式，建立了施工过程模拟的整体模型，从国内施工水平出发，考虑到坝段分区、机械故障率、运输车辆在塔机前的排队限额等因素，通过模拟计算，得出了混凝土施工强度、月不均衡系数、机械费用、施工工期等指标，结果符合一般施工规律。

1996年，武汉水利电力大学申明亮、谢红忠等与长江水利委员会长江勘测规划设计研究院合作对三峡二期工程大坝施工进行了实时动态仿真。针对大坝的结构特点，提出了以坝块为考察对象的思想，运用面向对象的方法来表达大坝方面的有关数据，并由此得出了各坝段的原始数据；针对高架门机、塔带机、缆机等不同浇筑机械提出了相应的模拟模型，分析了各自的运行特征和应该考虑的问题；编制的施工仿真程序可以完成工程开工后任意时段的仿真，能够再现大坝浇筑过程。该成果的最大特点是能够动态直观地反映每一浇筑块的跳仓过程，为施工现场管理服务。

1997年，长江三峡开发总公司戴会超等运用可视化和三维计算机图形技术，对三峡工程大江截流进行了三维施工仿真，得出了截流水力学参数，确定各分区抛投材料的类型、重量、尺寸等，反映出了大江截流各个阶段的形象，并采用动画技术对整个施工过程进行了模拟，从而加强了对整个工程的宏观认识和调控能力。

1998年，武汉水利电力大学申明亮、张学清等与湖南澧水公司合作，对江垭工程碾压混凝土坝施工过程进行了模拟，该成果在碾压混凝土坝施工模拟的数据描述、图形显示与现场管理报表制订等方面取得了较大进展。

1998年，天津大学的别社安等采用动态随机循环网络模拟方法对堆石坝施工进行了模拟，得出了堆石坝施工工期，并进行了施工机械的配套仿真。

1999年，天津大学建筑工程学院考虑了随机因素对龙滩水电站碾压混凝土重力坝施工过程的影响，建立了随机模拟模型，通过理论分析模拟了降雨对施工过程的影响，给出了龙滩工程不同施工组织措施下大坝筑坝动态过程，不同自然环境因素影响下的大坝浇筑



施工过程、月浇筑强度、机械的利用率，以及各个控制高程的达到时间及概率等。

2000年，武汉水利电力大学肖焕雄、胡志根等对小湾拱坝的混凝土浇筑和坝肩坝基开挖进行仿真，得到了各坝块的浇筑顺序以及开挖块的开挖顺序，并确定了工程完工工期，进行了相应施工机械的配套研究，得到各月的浇筑和开挖强度、机械的利用率，并进行了多方案的优选，从而为小湾高拱坝快速施工方案的决策提供了依据和参考。

2001年，武汉水利电力大学申明亮、曹生荣等对水布垭混凝土面板堆石坝中的料物调配问题进行仿真研究，利用系统分析方法，提出了料物调配平衡模型，对料物调配平衡系统中开挖部位、填筑分区、料场、中转场、弃渣场各个因素的特征和开挖、填筑、开采、中转、弃渣各个环节之间的相互关系进行了抽象与概化，确定了定性分析与定量计算相结合的研究路线。在此基础上，编制了料物调配平衡的模拟分析软件，通过该软件的计算，产生了经济合理的调配方案，该方案已运用于水布垭工程的施工组织设计中，产生了良好的经济效益。

2002年，武汉大学申明亮、徐建华等与国家电力公司西北勘测设计院春光魁等对黄河公伯峡面板堆石坝坝施工过程进行了模拟，开发了具有一定通用性的土石方平衡、坝体施工过程模拟计算与动态图形显示的工作软件，同时包含了为设计、施工及现场管理服务的工程规范、参考文献、图片等资料。

2002年，武汉大学水利水电学院申明亮、徐帆等与国家电力公司中南勘测设计院石青春、李勇刚等对红水河龙滩水电站碾压混凝土坝施工过程进行了模拟。取得的成果充分考虑了碾压混凝土与常态组合、多种机械组合以及不同坝段（挡水、泄洪、发电）的施工特性，并且在结果可视化、统计报表实用化等方面取得较大进展。

2003年，武汉大学水利水电学院申明亮、陈立华等与国家电力公司中南勘测设计院盛乐民、苏军安等对向家坝水电站常态混凝土通仓浇筑、设一条纵缝、设两条纵缝及碾压混凝土坝等施工方案在多种设备组合下的施工过程进行了模拟，所取得的成果为向家坝水电站施工方案的优选提供了可靠的依据。2004~2005年，又结合有关方面审查意见，利用仿真技术对摆塔式缆机在向家坝工程中应用可能性、汛前下闸发电可能性等进行了专题研究，有关成果全部应用于工程实践，为业主进行决策提供了科学依据。

此外，结合近年来水利水电工程项目开发的大好形势，有关建设单位、设计院与大专院校联合就仿真技术在水利水电工程中的应用开展了广泛而深入的研究，取得大量的研究成果，极大地提高了水利水电工程施工科研、设计与施工现场管理水平。

第三节 发展动态与方向

从应用的角度来看，施工进度模拟在中国水利水电工程中的应用受到计算机技术与水利水电工程施工技术发展的影响，主要经历了三个阶段。第一个阶段是探索阶段，时间为20世纪80年代，当时的研究工作以理论研究为主，在与工程对象结合的基础上，主要侧重于模拟理论与水利水电工程结合的研究，所取得的成果主要是在DOS系统下开发的模拟计算程序，并且大都只用于学术探讨与交流，距实际工程需要还有较大差距。第二个阶段为20世纪90年代的发展阶段，当时水利水电工程建设体制正在进行重大改革，模拟技



术的研究主要侧重于应用方法论方面,适应不同层次、不同建设侧面与不同建设阶段的要求开发应用软件,同时在专用软件的引进与改进(如汉化)、适用于现场施工的软件开发(如信息管理、报表定制与传输)等开发进行了大量的工作,所取得的研究成果偏重于进度方面的专题论证(如工期、发电时间、主要机械使用特性等)。21世纪是施工仿真技术发展的第三阶段,即成熟推广阶段,这一阶段的主要特征是结合了三大坝型与地下厂房施工技术的推广,开发了具有可视化、智能化、网络化、通用化、与国内外施工技术发展及建设体制相结合的各种成果,所取得的研究成果大都与工程项目密切结合,直接应用于工程设计决策并辅助现场管理工作。

在研究过程中,主要形成了两种主要流派:①在对排队论研究成果的基础上,通过对机械运行系统的模拟,得出某一机械配套施工方案的运行特征,从而把握其对应的施工特征,优化机械配套方案;②从施工组织设计的思路出发,面向被施工的对象模拟其施工要求,从而提出对机械配套的要求。

结合水利水电工程发展的特点,当前施工进度模拟研究的热点主要集中于4种工程对象,分别是碾压混凝土坝、面板堆石坝、高拱坝和地下厂房施工过程。

在研究方法上,研究成果与现场施工结合、与专业软件结合;在信息处理上,在原来单纯进度模拟的基础上,较多地考虑了现场管理、方案优化的内容;在结果应用方面则借助于各种成熟的专业软件,如P3(Primavera Project Planner)等。

第四节 专用软件简介

由于水利水电工程本身的特点,在水利水电工程进度模拟方面使用的软件核心部分大都是自行开发的,而在结果的后处理与现场管理方面则主要有借助于以下几种专用软件。

一、P3 软件

P3软件(Primavera Project Planner)是当前土木水利工程中应用较为广泛的项目管理软件,其主要功能在进度控制方面,同时具有一定的费用分析功能。在输入各项目的工期、最早开始时间、项目间逻辑关系等基本数据后经过进度计算得出该项目的关键线路以及非关键项目的自由时差,通过控制、管理资源及资源平衡得出较为合理的施工进度,并在实际施工过程中进行动态跟踪,适时更新进度。对整个项目过程中的时间进度、资源和费用进行计划安排,包括:建立工程目标和工作范围(WBS结构, Work Brakedown Structure)、建立作业代码和作业分类码、确定每个作业的工作时间(包括计划工期和作业日历)、确定每个作业的资源量、建立项目间的逻辑关系、费用预算等,经过进度计算中得出工程完工日期最长的连续的作业路径或自由时差为零的作业线路,即关键线路。在工程实际施工中,实际进度总是与计划进度有一定出入,需对实际工程进展进行跟踪,控制的目的是将实际进度与计划进度相比较,分析和评估当前施工的执行情况,并根据当前施工的实际情况及目前时间坐标提出新的关键线路,为确定工程新计划提出可行性的依据和建议。

二、Open Plan

Open Plan 3.0 是美国 WST 公司(Welcome Software Technology Corporation)于

1987年推出的工具管理软件，具有功能齐全、效率高、灵活实用和易于操作等特点。该软件包括核心程序与外围程序两部分，核心程序可以进行时间分析和资源动态分析，进行计算分析并画进度图，而外围程序则主要用来进行报表处理，它可以根据用户要求产生出20多种格式的图表与报告，例如，工作项目汇总表、逻辑关系报表、工程进度报告、资源分配报告、成本进度报告、进度计划的横道图与网络图、资源动态曲线与成本控制曲线等。它是在DOS系统下开发的软件，主要使用了Dbase数据库技术，因此前后处理与图形显示、报表生成功能要逊于其他Windows平台下的软件，目前已不多用。

三、Project

Project通常指微软公司的Microsoft Project软件，是一个功能强大的项目管理软件，它可以处理进度表、时间、资源、费用及任务等内容。在项目实施过程中，Project具有项目跟踪预测能力，能跟踪项目的实际开始日期、结束日期、作业的实际成本、计算工程完成的百分数、实际成本百分数，预测完工日期与最终成本。根据预测进度分析，为决策者在修订进度计划、制定新的计划控制目标服务。它可管理面向多个项目的资源，生成直观的报告和图表，方便地在建设各方（业主、设计、监理、承包商等）之间传递信息。Project软件还有两个特点：①它能够与其他计算机高级语言接口，可以用程序控制；②它能够面向不同的数据格式，便于进行数据的二次处理。因此，在当前开发的各种进度模拟软件中，多用其进行进度计划的表示。

此外，在进度控制中，还有Timebar及国内梦龙公司开发的项目管理软件PERT等。

可视化技术已成为施工过程仿真必不可少的内容，因而，在进行仿真技术研究中，还要用到其他相关的专业软件，例如，用AutoCAD进行三维模型的生成、工程量计算；用3DMAX、绘声绘影进行三维动画制作；用GIS系统进行交互式动画的生成；用GEOPAK进行施工场地规划、施工工厂设计等。



第二章 计算机模拟的原理与方法

第一节 计算机系统模拟的原理

一、系统模拟的概念

系统模拟是指利用计算机来运行模拟模型,模仿实际系统的运行状态及随时间变化的过程,并通过对模拟运行过程的观察和统计,得到被模拟系统的输出参数和基本特性,以此来估计和推断实际系统的真实参数和真实性能,这个过程被称为系统模拟。在实际工程中,系统分类的方法很多,其中最主要的一种分类方法是按系统中起主导作用的状态的变化是否连续分为连续系统和离散系统两种。从系统模拟的角度考虑,不同类型的系统,其模拟的方法及特点也有所不同。

连续系统的模拟是指对那些系统随时间连续变化(包括由于数据采集在离散时间上进行的,因此数据是非连续的)的系统建立其数学模型,并将它放在计算机上进行试验。这类系统的数学模型包括:连续模型(如微分方程等)、离散时间模型(如差分方程等)和连续-离散混合模型,其基本特点是能用一组方程来描述。

离散事件模拟是指对那些系统状态只在一些时间点上由于某种随机事件的驱动而发生变化的系统建立其数学模型。模拟过程中,通常用某一时刻的系统状态表示在某一时段内的状态,系统状态的变化发生在离散时刻,呈状态突变。因此在离散事件的模拟过程中,无须详细描述两个离散事件之间所发生的动态过程,只需抓住各事件发生的时间,并按时间发生的顺序记载各时间点上系统状态,即可掌握系统的动态变化过程。这种系统的状态量是由于事件的驱动而发生变化的,在两个事件之间状态量保持不变也即是离散变化的,所以称之为离散系统。这类系统的数学模型一般很难用数学方程来描述,通常使用流程图和网络图来描述。

在研究水利水电施工系统模拟时,所关心的是各施工对象在各时间点上的状态变化,如高程、机械、服务对象、累计完成方量等,而这些变量都可以被当作随时间呈非连续的跳跃式的变化,因此,水利水电施工系统的模拟,大都可看作离散事件的模拟。

二、离散系统模拟的基本概念

1. 实体与主导实体

一个系统内部的对象称为实体,如坝块、浇筑机械等,某个实体状态的改变直接影响整个系统状态的改变,这样的实体称为主导实体,如卸料的重车运行的罐车。

2. 属性

属性指系统内实体的属性,如浇筑块的几何形状、混凝土量、空间位置坐标等。



3. 状态

状态是由系统状态变量构成，来描述在不同的时间点上系统实体、属性，如浇筑机械的三种状态（空闲、工作、检修）。

4. 事件

事件指系统状态发生变化的瞬间事变，如系统属性值的改变、实体状态的改变、一项活动的开始或结束。

5. 时钟

在模拟进行中，用来跟踪模拟时间的当前值，并把模拟时间从一个值推进到下一个值的变量，采用面向事件（对象）模拟机制，对模拟系统设置一个总时钟（模拟施工日历）和对系统的每个实体（如浇筑机械）设置一个子时钟。

6. 事件子程序

一个事件子程序对应于一种类型的事件，它在相应事件发生时，处理该事件，更新系统状态。

7. 信息处理子程序

信息处理子程序负责对信息进行加工，在模拟过程中，负责按一定的格式传递、存储、输出信息。

8. 主程序

主程序用来控制系统的模拟活动，并确定下次事件，传递控制各事件子程序以更新系统的状态。

第二节 计算机模拟的一般过程

一、计算机系统模拟步骤

计算机系统模拟一般包括建模、模型试验和结果分析三个阶段，共有以下十个步骤。

1. 问题的阐述

问题的提出是系统分析研究的第一步，所提出的问题必须是清楚明白的，必要时可以对问题进行重复陈述。问题一般由决策者提出，或者是在获得决策者对问题的同意的情况下由系统分析人员提出。

2. 系统分析与描述

在这一步中首先要给出系统的详细定义，明确系统的构成、边界、环境和约束。其次是根据问题确定系统的目标，以及目标能否实现的衡量标准。同时对解决问题的途径，可能的花费、预期的效益进行分析。

3. 建立系统的数学模型

根据系统分析的结果，确定系统中的变量，依据变量间的相互关系以及约束条件，将它们用数学的形式描述出来，并确定其中的参数，即构成系统的数学模型。所建立的数学模型必须是对系统与研究目的有关的基本特性的抽象，即利用数学模型所描述的变量及作用关系必须接近于真实系统。同时，数学模型的复杂度应当适中，模型过于简单，可能无法真实完整地反映系统的内在机制；而模型过于复杂，可能会降低模型的效率同时又增加



了不必要的计算过程。

4. 数据收集

构造数学模型和收集所需数据之间是相互影响的，当模型的复杂程度改变时，所需的数据元素也将改变。数据收集包括收集与系统的输入输出有关的数据以及反映系统各部分之间关系的数据。

5. 建立系统的仿真模型

仿真模型是指能够在计算机上实现并运行的模型。建立系统的仿真模型过程包括：根据系统的数学模型，确定仿真模型的模块结构，确定各个模块的输入输出接口，确定模型和数据的存储方式，选择编制模型的程序设计语言等。程序设计语言包括通用语言和专用仿真语言。

6. 模型验证

模型的验证需要回答下述问题，即系统模型（包括对系统组成成分、系统结构以及参数值的假设、抽象和简化）是否准确地由仿真模型或计算机程序表示出来。验证与仿真模型及计算机程序有关，将复杂的系统模型转换成可执行的计算机程序不是容易的事，必须经过一定工作量的调试，若输入参数以及模型的逻辑结构在程序中是正确表达的，则模型验证通过。

7. 模型确认

确认是确定模型是否精确地代表实际系统，是把模型及其特性与现实系统及其特性进行比较的全过程。对模型的确认工作往往是通过模型的校正来完成的，比较模型和实际系统的特性是一个迭代过程，同时应用两者之间的差异，以对系统和模型获得透彻的理解，从而达到改进模型的目的。这个过程重复进行直到认为模型足够准确为止。

8. 实验设计

仿真实验设计就是确定需要进行的仿真实验的方案。方案的选择与系统分析设计的目的以及模型可能的执行情况有关，同时也与计算机的计算能力及对仿真结果的分析能力有关。通常仿真实验设计涉及到的内容包括初始化周期的长度、仿真运行时间、每次运行的重复次数等。

9. 仿真运行研究

仿真运行就是将系统的仿真模型放在计算机上执行计算。在运行过程中了解模型对各种不同的输入数据及各种不同的仿真机制的输出响应情况，通过观察获得所需要的实验数据，从而预测系统的实际运行规律。模型的仿真运行是一个动态过程，需要进行反复的运行实验。

10. 仿真结果分析

对仿真结果进行分析的目的是确定仿真实验中所得到的信息是否合理和充分，是否满足系统的目标要求，同时将仿真结果分析整理成报告，确定比较系统不同方案的准则、实验结果和数据的评价标准及问题可能的解，为系统方案的最终决策提供辅助支持。

二、水利水电工程施工过程系统模拟步骤

结合工程实际，在水利水电工程施工过程仿真中，其具体的仿真过程是将施工技术与计算机技术相结合、将仿真理论分析与工程施工经验相结合、将仿真技术人员与工程