

基于准备工作模拟的混凝土坝仓面排序方法

杜志达, 郭 雯

(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116023)

摘要: 仓面排序对混凝土坝施工模拟具有重要影响, 如何确定优化的仓面排序方案始终是模拟中的一项重要研究课题。现根据施工过程中仓面排序方案的实际确定过程, 对仓面施工工序进行了详细分析, 通过对仓面准备工作进行模拟来确定仓面排序方案的方法, 并编写了相应的模拟计算程序。选择工程示例对其仓面准备工作进行了模拟, 得到了可行的动态、随机的仓面排序方案。研究表明, 通过对仓面准备工作进行模拟来确定仓面排序方案的方法, 能够使混凝土坝施工模拟更加符合工程实际。

关键词: 混凝土坝; 施工模拟; 仓面排序; 施工准备

中图分类号: TV 544 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0182-05

Study on Concreting Sequencing Methods for Concrete Dam Based on the Simulation of Preparatory Work

DU Zhida, GUO Wen

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract: Concreting sequencing method has important significance on the simulation of concrete dam construction, and how to determine the optimized concreting sequencing method is always an important research topic in the simulation of concrete dam construction. Based on the practical concreting sequencing process during the dam construction, the concreting construction procedure was analyzed, and the concreting sequencing method was determined based on the simulation of preparatory work and the corresponding calculation program was developed. The model was used to simulate the preparatory work of concrete dam for a project example to obtain the feasible, dynamic, and stochastic concreting sequencing method. The results suggested the concreting sequencing method based on simulation of preparatory work can improve the simulation of the concrete dam construction.

Key words: concrete dam; construction simulation; concreting sequencing; preparatory work

混凝土坝是水电工程中的一种常见坝型, 对于大型的混凝土坝工程来说, 其施工组织非常复杂。由人工进行施工组织设计时, 全面细致地考虑所有影响因素比较困难, 一般只能进行有限次的方案比较, 但通常无法保证最终采用的方案是最优的。计算机模拟辅助施工组织设计的优势在于可以充分考虑所涉及的各种复杂影响因素, 实现多次模拟结果的多方案比较, 从而获得优化的施工组织设计方案^[1-3]。目前, 计算机模拟技术作为一种有效的辅助施工组织设计的方法, 已逐渐成为大型水电工程建设中不可或缺的辅助决策手段, 并已成功应用于二滩、三峡、溪洛渡、向家坝、小湾、龙开口等水电工程项目中^[4-9]。

“分仓施工, 分层浇筑”是混凝土坝施工的基本模式, 因此, 仓面作为混凝土坝施工的基本作业单元, 其排序方案的制定就成为施工过程模拟中的一项重要研究课题。有学者

认为, 工程整体的施工进度以及施工的均衡性都会受到仓面排序方案的影响和制约^[10]。在计算机模拟中, 常用的仓面排序方法分为两类, 一类是在模拟之前将坝块进行排序, 在模拟过程中不作或稍作调整, 例如人工指定、优先算法、权重法、目标优化等^[4, 10-12]。由于这类方法的仓面排序方案在模拟之前已经确定, 并在模拟中保持不变, 因此称为仓面排序的静态方法。另一类是在模拟浇筑施工过程中, 依据阶段性模拟结果的相关数据逐步确定仓面排序方案, 例如搜索算法、基于模糊规则的跳仓排序方法等^[13-14]。这类方法的仓面排序方案是在模拟过程中逐步确定的, 并且具有随机性, 因此可以称为仓面排序的动态方法。上述两类仓面排序方法中, 动态方法无疑比静态方法更符合施工实际。传统的混凝土坝施工模拟都假定仓面施工不是控制因素, 模拟的重点是混凝土的运输过程, 仓面施工的具体工序和细节一般不涉

收稿日期: 2013-01-04 修回日期: 2013-04-27 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.031.html>

作者简介: 杜志达(1967-), 男, 内蒙古赤峰人, 教授, 主要从事水电工程施工模拟方面研究。E-mail: duzhida@dlut.edu.cn

通讯作者: 郭雯(1987-), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事混凝土坝施工模拟方面的研究。E-mail: dongyangsx@gmail.com

及,因此,目前混凝土坝施工模拟中采用的各种仓面排序方法不论是静态的还是动态的,确定仓面排序时都不可能全面考虑仓面施工的影响。事实上,混凝土坝施工过程中,一般在大坝中、下部方量大、结构简单的部位,运输起着控制作用。而在基础块、孔洞结构、闸墩、上部仓面较小的部位,运输不是控制因素,仓面施工控制实际进度,特别是清基、清洗、模板支立、钢筋绑扎等准备工作的施工是主要的控制因素。

本文综合考虑影响仓面排序的各种因素,使其作用于仓面准备工作的模拟过程,提出了以仓面准备工作完成时间作为依据来确定仓面排序方案的方法。在对仓面施工工序进行详细分析的基础上,选择符合条件的坝块,根据仓面准备工作的内容及工程量参数,估算仓面的准备工作完成时间,由该时间序列确定最终的仓面排序方案。根据仓面准备工作完成时间,使确定仓面排序方案的动态排序方法与混凝土坝施工中确定仓面顺序的实际过程相符,从而更加贴近工程实际。

1 混凝土坝施工过程分析

1.1 仓面施工方案

按混凝土的运输入仓方式,大致可以将混凝土坝的仓面施工方案分为自卸汽车直接入仓为主、以吊罐入仓为主两类。以自卸汽车直接入仓为主的施工方案主要用于碾压混凝土仓面的施工,要求仓面排序方案优先安排并仓顺序施工,以缩小相邻坝段的高差,形成大平面,方便施工机械在坝体上的活动。但在坝体的某些特殊部位,碾压混凝土仓面的施工也会存在跳仓的情况,如防汛缺口、灌浆区、坝内孔洞等部位。以吊罐入仓为主的施工方案主要用于常态混凝土仓面的施工,要求仓面排序方案优先安排跳仓施工,因为常态混凝土坝必须支模才能形成横缝,跳仓可以避免横缝拆模等待时间。

与上述两种施工方案相对应,混凝土坝仓面排序具有并仓顺序优先和跳仓优先两种导向。所谓导向,即影响仓面排序方案的大方向,是指导仓面排序的总体要求,也可以理解为仓面排序的理想化方向,见图1。在混凝土坝施工确定仓面排序过程中,首先要满足导向原则,其次还需综合考虑仓面施工的具体工序、施工资源的配备情况,以及其他影响仓面排序的限制条件,如清基处理、灌浆、度汛、相邻坝段高差限制等等。^[11]将导向和实际指导原则加入计算机模拟混凝土坝施工过程的系统模型中,对混凝土坝的仓面排序问题进行计算机模拟,所得到的模拟结果会更加接近工程实际。

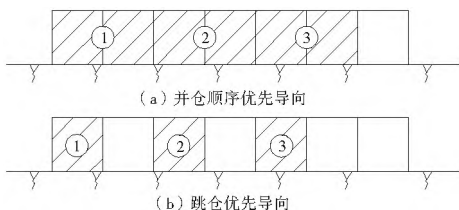


图1 仓面排序的导向

Fig. 1 The guiding of concreting sequencing

在实际工程中,仓面施工都包含两个基本过程,即施工准备过程及浇筑施工过程。施工准备过程包括清洗凿毛、支模(拆模)、绑扎钢筋等工作内容,浇筑施工过程包括仓面混

凝土的浇筑、养护等工作内容。由于这两个过程所需资源相对独立,在实际建设工程项目中会专门组建不同的队伍进行施工,即准备工作队和浇筑工作队,每种队伍的数目根据工程需要设置。其中准备工作队往往不只一个,或者分成若干小组,同时进行几个仓面的准备工作。因此,混凝土坝的施工过程是一个多工序多队伍参与的施工过程。实际施工中,施工人员根据前述由施工方案确定的仓面排序的导向原则和其他限制条件,选择仓面安排各种队伍,按工序要求开展流水施工。

1.2 实际仓面排序的确定

混凝土坝施工现场情况非常复杂,工作量变化比较大,受环境因素影响也比较大。流水施工是一种非常理想的情况,流水施工的节奏经常会被打乱。为了最大限度地避免窝工现象,必须随时对预定的不同工序工作队之间的衔接关系进行调整。混凝土坝施工的实际仓面排序就是根据前一阶段和当前施工进度情况,在对流水计划进行不断调整的过程中确定的。其中,对仓面排序影响最大的是不同准备队伍实际完成仓面准备工作的时间。根据导向原则和其他限制条件,安排不同准备队伍在不同仓面进行准备工作后,最先完成准备工作的仓面将会优先安排浇筑。所以,在多工序多队伍的施工过程中,根据准备工作完成时间来确定仓面排序方案才是符合工程实际的。

以跳仓优先导向为例来说明这个问题,见图1(b)。如果准备队伍只有一个,则图中编号所示的计划顺序就会是仓面浇筑的实际排序;如果准备队伍有三个,则会安排1、2、3号仓面同时进行仓面准备工作。由于各仓面的准备工作完成时间是由准备队伍的工作效率、准备工作的工程量、环境风险因素等共同决定的,因此实际完成时间具有随机性。如此一来,根据各仓面准备工作完成时间确定的仓面排序就有6种可能方案,实际施工中不会只按计划顺序浇筑。

2 根据仓面准备工作确定仓面排序的模拟方法

2.1 坝块选择的导向原则

坝块选择的导向原则是施工组织人员对仓面排序问题理想化的主观意愿表示,是仓面排序的大方向,贯穿整个仓面排序过程。如前所述,依据不同的仓面施工方案,导向原则分为并仓顺序优先和跳仓优先两种。并仓顺序优先导向可以是指定个数的若干个相邻坝段的坝块作为一仓进行浇筑,也可以通过拌合楼拌合能力、混凝土运输过程、浇筑的层间间隔时间等数据进行模拟,计算出允许浇筑的最大仓面面积,从而确定一个仓面所包含的并仓坝段个数。跳仓优先导向的跳仓并不是只有“隔一仓浇一仓”的规则跳仓一种方式,而是包括本仓与上一仓不相邻(包括左、右、下三个方向)的所有方式。实际施工中,跳仓排序结果随机多样,涵盖了“隔一仓浇一仓”的规则跳仓方式。并仓顺序优先导向在模拟处理中的并仓比较复杂,但在仓面排序上采用顺序原则,所以相对简单。而对于跳仓优先,因为仓面排序结果存在随机变化的特点,因此在模拟处理上比并仓顺序优先导向远为复杂。

在这里,以跳仓优先导向原则为例,对导向原则在坝块

选择时的作用进行说明, 见图 2。假设工程中采用以吊罐入仓为主的施工方案, 将跳仓优先作为仓面排序的导向原则, 准备工作队伍数量为 2, 浇筑施工队伍数量为 1。当前, 一支准备工作队伍正在 1/4 进行作业, 为另一支准备工作队伍选择坝块, 可选的已浇坝块的上部坝块有 1'、°、»、¼、½、¿。由于受导向原则限制, 备选坝块的左、右、下 3 个方向不能存在刚刚完成浇筑或正在浇筑的仓面, 因此 1'、°、» 均为不符合导向原则的坝块, 而 ¼、½、¿ 符合跳仓优先的导向原则。

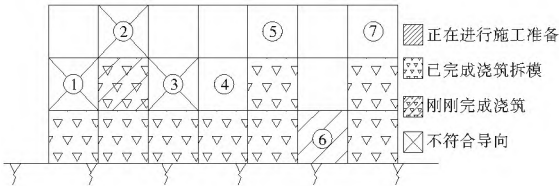


图 2 坝块施工排序示意图

Fig. 2 Schematic diagram of concreting sequencing

2.2 坝块选择的其他限制条件

在选择坝块进行仓面准备工作时, 除导向原则外, 还须满足其他限制条件^[15]。

(1) 选择高程较低的仓面优先浇筑, 尽量使坝体高程平齐上升, 形成大平面。

(2) 按照坝体浇筑的总体推进方向进行选择, 备选坝块应在已浇坝块的附近。这一限制条件指明了坝体施工顺序的大方向, 但在实际工程中, 由于施工方案及环境因素的影响, 有时并不严格遵守该原则。同时, 在不同施工阶段, 推进方向会有所不同。

(3) 相邻坝段高差限制。在实际工程中, 确实存在因某种项目要求, 需要对某些坝段进行集中浇筑的情况, 但是必须保证其与左右相邻坝段的高差限制, 若超出限值, 必须先进行相邻坝段的浇筑后, 方可继续浇筑该坝段。

(4) 有灌浆、度汛等要求的坝块滞后浇筑。对于此类坝块所组成的仓面, 在模拟程序中将其仓面开始时间延长至灌浆、度汛结束之后。

(5) 有特殊要求的坝块优先浇筑。可为此类仓面坝块赋予优先权, 使其仓面开始时间在同等条件下得到较早的时间值, 以实现优先浇筑的目的。

以上选择坝块进行仓面准备工作的限制条件共同作用影响着仓面排序方案的确定。在图 2 所示实例中, 经过上述限制条件的进一步筛选, 最终将会选择 ¼ 作为进行仓面准备工作的坝块。在实际工程中, 造成仓面排序方案不确定的原因是人为因素和环境因素对施工过程的影响。在模拟过程中, 可以通过赋予准备工作队伍工作效率某种随机特性的方式来体现上述因素对模拟结果的影响, 因此, 最终的仓面排序方案具有随机性。

2.3 确定仓面排序的基本流程

(1) 由仓面施工方案确定仓面排序的导向(并仓顺序优先或跳仓优先)。

(2) 按照导向原则, 选出符合条件的若干备选坝块。

(3) 根据坝块选择的其他限制条件对备选坝块进行综合筛选与考量。若仍存在备选坝块, 则按坝体浇筑推进方向依

次选取; 若不存在符合各项限制条件的备选坝块, 则模拟系统时间顺延至出现可选坝块的时点, 选择坝块进行仓面准备工作。

(4) 根据准备工作队伍数量及状态、准备工作时间计算参数、坝块混凝土工程量等数据模拟各坝块的准备工作完成时间, 分别记入各准备工作队伍的时间序列。

(5) 从各准备工作队伍的时间序列中选出最早完成准备工作的坝块作为将要进行浇筑施工的仓面, 从而达到确定仓面施工排序方案的目的。

仓面排序的基本流程见图 3。

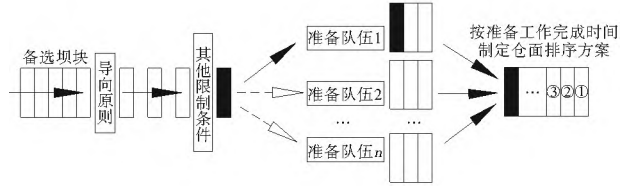


图 3 仓面排序的基本流程

Fig. 3 The basic workflow of concreting sequencing

3 模拟程序的编写

通过对以上问题的研究和分析, 采用 Visual Basic 语言进行了混凝土坝施工模拟系统的程序设计, 模拟的系统模型见图 4^[15]。

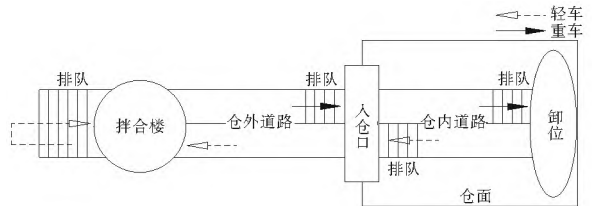


图 4 混凝土坝施工模拟的系统模型

Fig. 4 The simulation model of the concrete dam construction

为了确定仓面浇筑顺序, 首先对各仓面的准备工作时间进行模拟, 再以阶段性的模拟结果逐步确定最终的仓面排序方案。仓面浇筑排序程序设计流程见图 5。

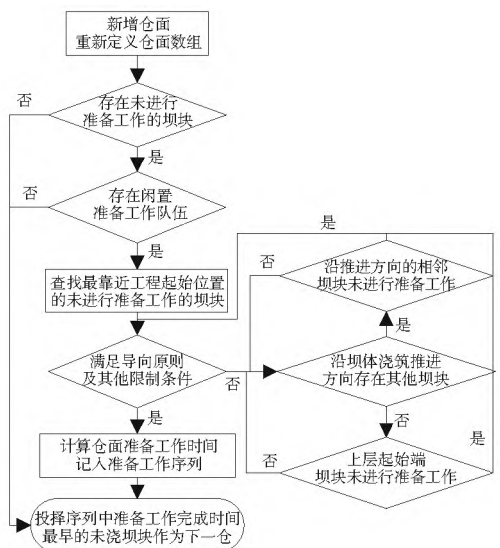


图 5 仓面浇筑排序程序设计流程

Fig. 5 The flow chart of programming design of concreting sequencing

进行仓面准备工作时间模拟时,需要准备相关的详细信息,包括:各坝块的清洗凿毛面积、支立模板面积、钢筋用量等工程量数据,以及仓面准备工作队伍的数量。对于清基处理、支(拆)模板、绑扎钢筋等作工作效率值及其所具备的随机特性,本文以 σ 较小的正态分布处理。此外,各准备工作内容之间还存在着搭接关系,这种搭接关系本身也具备某种随机特性。在模拟过程中,仓面准备工作时间最终是由工程量、各项工作的实际工作效率以及搭接关系共同决定的,由于其中的工作效率和工作搭接关系都具备随机特性,因此最终的模拟结果也具备随机性。

模拟得出各坝块的准备工作完成时间,分别记入各准备工作队伍的时间序列,记录的内容包括坝块编号和准备工作完成时间。模拟系统完成上一仓面的浇筑模拟后,从各准备工作队伍的时间序列中找出准备工作完成时间最早的未浇坝块,作为将要进行浇筑模拟的仓面,从而达到制定动态、随机的仓面排序方案的目的。

4 仓面排序示例

某水利枢纽建设工程为一等大(\bar{N})型工程,主要建筑物包括挡水坝、溢流坝、坝后式厂房、开关站等。坝顶高程269.50 m,最大坝高94.50 m,坝顶全长1 068.00 m,坝体共分为58个坝段。本次模拟选择该工程河床坝段的基础坝块作为模拟对象,其中共含有13个坝段,各坝块相邻且高程相差不大,采用以吊罐入仓为主的施工方案,将跳仓优先作为仓面排序的导向。准备队伍为2个,浇筑队伍为1个。在给出了各坝块的清洗凿毛面积、支立模板面积、钢筋用量,以及仓面准备工作队伍工作效率及工序搭接关系的概率分布函数等参数后,可以对该工程进行仓面排序方案的模拟。

图6为运行程序得到的三次不同的模拟结果,数字序号表示仓面浇筑的模拟顺序。

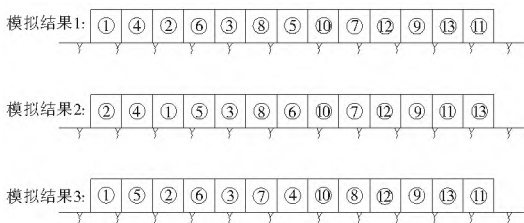


图6 其中三次模拟结果

Fig. 6 Three simulation results

由模拟结果可以看出,通过对仓面准备工作模拟确定的仓面排序方案符合实际工程中的仓面排序要求,并且具备动态、随机性。可用于对混凝土坝施工过程的多种仓面排序方案的模拟,从而实现多次模拟结果的多方案比较,以获得优化的施工组织设计方案。使用本文模拟程序对实际工程进行模拟,得到的结果与实际相符^[15]。模拟过程中,考虑仓面准备工作的工程进度模拟结果发生了明显变化,说明仓面施工对于工程进度同样具有控制作用,因此,采用基于准备工作模拟的混凝土坝仓面排序方法所得到的模拟结果更加符合工程实际。

5 结语

本文针对混凝土坝施工模拟过程中的仓面排序问题,详

细分析了仓面的实际施工过程以及在实际工程中仓面排序方案的具体确定过程。通过对仓面施工过程的研究分析,将仓面准备工作完成时间作为确定仓面排序方案的依据,结合施工过程中选择坝块进行仓面准备工作的导向原则及其他限制条件,细化了确定仓面排序方案的基本模拟流程,编写了相关程序。通过对示例及实际工程的模拟,得到了符合工程实际的动态、随机的模拟结果。研究表明,通过对准备工作进行模拟来确定仓面排序的方法是可行的,且更加符合工程实际。在今后进一步的探索与研究中,可考虑将浇筑强度、施工工期等作为优化目标,对符合工程实际的仓面排序方案进行进一步的优化调整。

参考文献(References):

- [1] 孙锡衡,齐东海.水利水电工程施工计算机模拟与程序设计[M].北京:中国水利水电出版社,1997.(SUN Xi heng, QI Dong-hai. Computer Simulation and Programming of Hydropower Construction[M]. Beijing: China Water Power Press, 1997. (in Chinese))
- [2] 钟登华,练继亮,吴康新,等.高混凝土坝施工仿真与实时控制[M].北京:中国水利水电出版社,2008.(ZHONG Deng hua, LIAN Ji liang, WU Kang xin, et al. Simulation and Real-time Control of High Concrete Dam Construction[M]. Beijing: China Water Power Press, 2008. (in Chinese))
- [3] 齐东海.港口工程系统分析方法[M].北京:人民交通出版社,1990.(QI Dong hai. System Analysis Methods of the Port Engineering[M]. Beijing: People's Communications Press, 1990. (in Chinese))
- [4] 朱光照.二滩水电站双曲拱坝混凝土浇筑的计算机模拟[J].系统工程理论与实践,1985,(3):25-32.(ZHU Guang xi. Computer Simulation of the Ertan Hydropower Station Hyperbolic Arch Dam Concreting[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 1985, (3): 25-32. (in Chinese))
- [5] 秦杰,黄承彦,黄达海,等.三峡大坝混凝土施工实时仿真计算[J].大连理工大学学报,2002,(3):359-365.(QIN Jie, HUANG Cheng-yi, HUANG Da hai, et al. Real-time Simulation of the Concrete Construction of the Three Gorges Dam[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2002, (3): 359-365. (in Chinese))
- [6] 钟登华,朱慧蓉,郑家祥.溪洛渡施工总布置三维动态可视化图形仿真研究[J].中国工程科学,2003,(11):65-70,91.(ZHONG Deng hua, ZHU Hui rong, ZHENG Jia xiang. Research on 3D Dynamic Visual Graphic Simulation for Construction Layout of Xiluodu Project[J]. China Engineering Science, 2003, (11): 65-70, 91. (in Chinese))
- [7] 申明亮,陈立华,陈伟.向家坝工程大坝混凝土施工过程动态仿真研究[J].中国工程科学,2004,(6):68-73.(SHEN Ming liang, CHEN Li hua, CHEN Wei. Dynamic Visual Simulation for Concrete Dam Construction Process of the Xiangjiaba Hydro Station[J]. China Engineering Science, 2004, (6): 68-73. (in Chinese))
- [8] 王仁超,石英,李名川.小湾大坝混凝土浇筑施工仿真研究[J].四川大学学报(工程科学版),2004,(4):10-14.(WANG Ren chao, SHI Ying, LI Ming chuan. Study on the Simulation of Arch Dam Construction in Xiaowan Project[J]. Journal of Si

- chuan University(Engineering Science), 2004, (4): 10-14. (in Chinese))
- [9] 赵春菊, 周宜红. 龙开口碾压混凝土重力坝施工过程仿真研究[J]. 湖北水力发电, 2008, (S1): 14-20. (ZHAO Chunju, ZHOU Yirong. Simulation Research on Construction Course of Longkaikou Roller Compacted Concrete Gravity Dam[J]. Hubei Water Power, 2008, (Supp. 1): 14-20. (in Chinese))
- [10] 丁世来, 胡志根, 刘全. 大坝混凝土浇筑块排序方法的评价研究[J]. 红水河, 2004, (2): 97-100, 109. (DING Shilai, HU Zhigen, LIU Quan. Study on the Assessment of Sequencing Concrete Grouting Blocks on Dam[J]. Red River, 2004, (2): 97-100, 109. (in Chinese))
- [11] 吴庆鸣, 陈东. 混凝土大坝浇筑安排计算机仿真求解[J]. 人民长江, 2000, (5): 41-43. (WU Qingming, CHEN Dong. Computer Simulation to Solve the Problem about the Concrete Dam Pouring Arrangement[J]. People Yangtze River, 2000, (5): 41-43. (in Chinese))
- [12] 肖文, 吴庆鸣, 巫世晶. 碾压混凝土坝施工分仓跳仓方法研究[J]. 红水河, 2000, (1): 31-34. (XIAO Wen, WU Qingming, WU Shijing. Study on Concreting Sequence Methods about RCC Gravity Dam Construction[J]. Red River, 2000, (1): 31-34. (in Chinese))
- [13] 刘全. 施工导流风险分析与施工过程仿真的可视化研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2003. (LIU Quan. Construction Diversion Risk Analysis and Visual Analysis of Construction Process Simulation[D]. Wuhan: Wuhan University, 2003. (in Chinese))
- [14] 钟登华, 吴康新, 练继亮, 等. 基于模糊规则的大坝混凝土施工跳仓排序研究[J]. 系统仿真学报, 2008, (5): 1099-1102, 1166. (ZHONG Denghua, WU Kangxin, LIAN Jiliang, et al. Research on Concreting Sequencing for Dam Construction Based on Fuzzy Rule[J]. Journal of System Simulation, 2008, (5): 1099-1102, 1166. (in Chinese))
- [15] 郭佳乐, 杜志达. 混凝土坝施工过程仿真研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2011, (6): 116-118, 162. (GUO Jiayue, DU Zhida. Simulation Study on Construction Process of Concrete Dam [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2011, (6): 116-118, 162 (in Chinese))

(上接第 133 页)

- [56] Kim DH, Yoo C, Kim T-W. Application of Spatial EOF and Multivariate Time Series Model for Evaluating Agricultural Drought Vulnerability in Korea[J]. Advances in Water Resources, 2011, 34(3): 340-350.
- [57] Quiring SM, Papakryiakou TN. An Evaluation of Agricultural Drought Indices for the Canadian Prairies[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 118(1-2): 49-62.
- [58] Bannayan M, Sanjani S, Alizadeh A, et al. A Association between Climate Indices, Aridity Index, and Rainfed Crop Yield in Northeast of Iran[J]. Field Crops Research, 2010, 118(2): 105-114.
- [59] Mkhabela M, Bullock P, Gervais M, et al. Assessing Indicators of Agricultural Drought Impacts on Spring Wheat Yield and Quality on the Canadian Prairies[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(3): 399-410.
- [60] Dolling K, Chu P-S, Fujioka F. A Climatological Study of the Keetch/Byram Drought Index and Fire Activity in the Hawaiian Islands[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, 133(1-4): 17-27.
- [61] Ganatsas P, Antonis M, Marianthi T. Development of an Adapted Empirical Drought Index to the Mediterranean Conditions for Use in Forestry[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(2): 241-250.
- [62] Wang L, Qu JJ, Hao X. Forest Fire Detection Using the Normalized Multiband Drought Index (NMDI) with Satellite Measurements[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148(11): 1767-1776.
- [63] Li J, Gou X, Cook ER, et al. Tree-ring Based Drought Reconstruction for the Central Tien Shan Area in Northwest China[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33(7): L07715.
- [64] Li J, Chen F, Cook ER, et al. Drought Reconstruction for North Central China from Tree Rings: The Value of the Palmer Drought Severity Index[J]. International Journal of Climatology, 2007, 27(7): 903-909.
- [65] Stambaugh MC, Guyette RP, McMurphy ER, et al. Drought Duration and Frequency in the U. S. Corn Belt During the Last Millennium (AD 992-2004)[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(2): 154-162.
- [66] Keyantash J, Dracup JA. The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002, 83: 1167-1180.