

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.04.030

考虑入仓口因素的碾压混凝土坝仓面 施工仿真研究

杜志达,王奉金,刘运鹤

(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116024)

摘要: 基于仓面施工作业流程,将整个仓面施工系统分为拌合装料子系统、车辆运输子系统和仓面浇筑子系统,通过混凝土的流转关联各个子系统;同时,详细研究了不同方式的自卸汽车入仓流程,将车辆运输子系统分为自卸汽车运输模块和出入仓模块,仓面浇筑子系统分为条带浇筑模块和入仓口浇筑模块,突出了入仓口的特殊性;最后,采用离散事件仿真方法,建立了考虑入仓口因素的仓面施工仿真模型,并通过 Flexsim 仿真软件实现了其施工过程的模拟。仿真结果表明,入仓口因素是仓面施工中不可忽视的因素。

关键词: 碾压混凝土坝;入仓口;施工仿真

中图分类号: TV642.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)04-0172-04

Construction Simulation of RCC Dam Considering Storehouse-entrance Factor

DU Zhida, WANG Fengjin, LIU Yunhu

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China)

Abstract: Based on the storehouse surface construction operation process, the whole storehouse surface construction system is divided into mixing and loading subsystem, transportation subsystem and storehouse surface construction subsystem, and each subsystem is connected through the flow of concrete. At the same time, the different entrance methods are analyzed in detail, and the transportation subsystem is divided into transportation module and entry-exit module, the storehouse surface construction subsystem is divided into a belt construction module and entry construction module, which highlights the particularity of storehouse entrance. Finally, a storehouse surface construction simulation model considering entrance factor is established using discrete event method, and its construction process is realized by Flexsim. Simulation result shows that the storehouse-entrance cannot be neglected in construction.

Keywords: RCC dams; storehouse-entrance; construction simulation

大坝施工是一项浩大的系统工程,涉及多种机械、工艺复杂、不确定因素众多,通过人工方法编制施工组织设计比较困难^[1]。计算机仿真技术可以非常细致、全面地研究施工中遇到的具体问题,并且能够通过改变仿真参数获得多个对比方案,因而受到越来越多学者的重视。早在20世纪70年代,国外学者 Bassgen^[2]便结合混凝土坝施工过程首次提出了对混凝土浇筑过程进行模拟, Halpin^[3]在计算机模拟中采用了循环控制网络技术, Kamat 和 Mar-

tinze 通过记录仿真过程中每个实体各时段的动作状态,实现了施工运输过程的三维动态可视化^[4]。国内,天津大学朱光熙教授^[5]最早对二滩水电站双曲拱坝进行施工模拟,之后又有众多学者发展了大坝施工仿真技术,赵春菊等^[6-7]建立了仓面作业系统仿真模型,并研究了混凝土生产、运输及仓面作业系统间的耦合关系,燕乔等^[8]基于 Visual Studio 平台开发了混凝土拱坝施工仿真系统,钟登华等^[9-11]提出在大坝仿真模型中结合实时监控技术来动态监

控仓面信息并更新仿真参数,王仁超等^[12]提出了基于 BIM 与 IFC 的混凝土坝施工仿真建模方法,杜志达等^[13]研究仓面施工中考虑了施工机械相互影响。

碾压混凝土坝施工简化了温控措施,适合大面积机械化操作,能够缩短工期、降低成本,已经成为目前大型水利工程中的主要坝型,众多学者对其施工过程从不同角度进行了相应的研究,但当前研究大多集中在对大坝的整体浇筑模拟,很少涉及仓面施工,在少数进行仓面施工模拟的研究中,都没有考虑入仓口因素的影响。入仓口是在大坝仓面施工不可忽略的影响因素,其不仅影响到自卸汽车进出仓面的效率,“封仓施工”还会占用较长的工期。因此,本文在建立仿真模型时考虑了入仓口因素,研究其对仓面施工工期、机械效率等的影响。

1 仿真建模与实现方法

1.1 仿真框架

仓面施工各主要关键活动如图 1 所示。在全面分析碾压混凝土坝仓面施工各项工艺流程基础上,将其划分为拌合装料系统、混凝土运输系统和仓面作业系统。考虑自卸汽车出入仓和入仓口与其它部位浇筑工艺的差别,依据离散事件系统仿真原理构建仿真模型,利用 Flexsim 仿真软件模拟施工过程,并对仿真结果进行灵敏度分析。

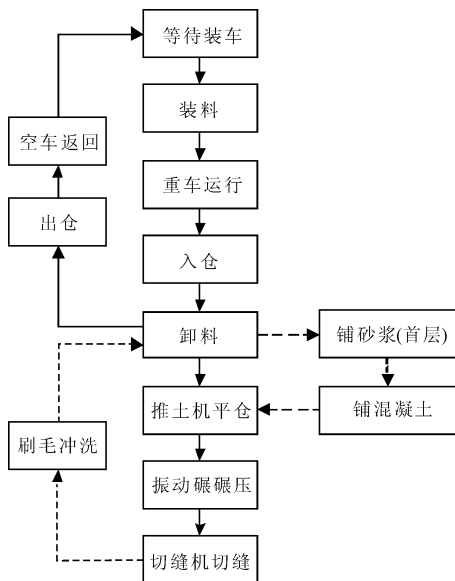


图 1 仓面施工流程图

1.2 模型约束及规则

系统的运行离不开一定的规则和约束,建立仓面施工系统需满足如下条件。

(1) 层间间隔约束。连续上升铺筑的碾压混凝土的层间间隔时间应该控制在直接铺筑允许的时间

内,直接铺筑允许时间一般取混凝土初凝时间,因此在施工中,要保证层间间隔时间小于混凝土初凝时间。

(2) 上坝汽车数限制。因此仓面内所能进入的自卸汽车数量必须小于限定值,当仓面内自卸汽车数量达到限定值后,新到达的自卸汽车需在入仓口处等待。

(3) 排队机制。运输机械在装料、出入仓过程中遵循先到先服务、重车优先原则;当有多个排队系统时,机械设备选择最短的队伍排队。

(4) 条带浇筑规则。仓面施工按事先确定好的条带顺序进行浇筑。对于第一条带,可供卸料的摊铺前沿较短,施工开始后,自卸汽车将 2~3 车混凝土卸到第一条带,推土机沿条带方向进行摊铺,形成摊铺前沿,自卸汽车将混凝土卸到新的摊铺前沿上,第一条带摊铺完成后开始碾压作业。从第二条带开始,摊铺前沿方向变为沿条带长度方向,可供自卸汽车卸料的空间变大,施工工序变为流水施工。封仓阶段,入仓口处可供卸料、摊铺和碾压作业的空间较小,自卸汽车、推土机和振动碾只能顺序依次施工,直至入仓口处最终浇筑完毕。

1.3 参数确定

系统内各施工机械的运行存在一定的随机性,同时由于各机械间的相互影响,其服务时间具有不确定性,相关学者对其进行了研究,本文结合于雪峰的研究和以往经验^[14-15],确定各项活动服务时间服从如下分布:

(1) 自卸汽车装料时间:

$$T_{\text{load}} = e^{\bar{x} + \sigma \times \sqrt{-2\ln(\mu_2)} \times \cos(2\pi\mu_1)} \quad (1)$$

式中: \bar{x} 和 σ 分别取值 4.51 和 0.48, μ_1, μ_2 为 $[0, 1]$ 均匀分布的随机变量。

(2) 车辆运行时间:

$$T_i = \frac{L}{V_{ij}} + t_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2 \quad (2)$$

式中: T_i 表示车辆 i 的运输时间; L 表示道路的长度; V_{ij} 表示车辆运行速度, $j = 1$ 表示空车运行速度, $j = 2$ 表示重车运行速度; t_{ij} 表示随机扰动时间。

(3) 卸料作业服务时间:

$$T_{\text{unload}} = e^{\bar{x} + \sigma \times \sqrt{-2\ln(\mu_2)} \times \cos(2\pi\mu_1)} \quad (3)$$

式中: \bar{x} 和 σ 取值为 3.79 和 0.28, μ_1, μ_2 为 $[0, 1]$ 均匀分布的随机变量。

(4) 摊铺作业时间:

$$T = \bar{x} + \sigma \sqrt{-2\ln(\mu_2)} \times \cos(2\pi\mu_1) \quad (4)$$

式中: \bar{x} 和 σ 分别取值为 197.77 和 51.23, μ_1, μ_2 为

[0,1] 均匀分布的随机变量。

1.4 仿真实现

仓面施工系统属于离散事件系统,其系统状态不是连续变化,只在离散的时间点上发生改变,本文选择 Flexsim 仿真软件模拟施工过程。

(1) 模型抽象。仓面施工系统中包含自卸汽车、摊铺机等移动机械,也包括拌合楼、仓面等固定场景,在 Flexsim 模型中将它们抽象为实体,以临时实体代替自卸汽车、混凝土等在各子系统之间流转的实体,以发生器、处理器表示拌合楼、推土机、振动碾等始终存在于各子系统之间的固定实体。

(2) 活动联系。模型中的实体确定之后需要建立它们之间的联系,各实体间通过中间端口、输入端口和输出端口建立联系,用来描述系统内各项活动之间的逻辑关系和先后顺序,以及用于临时实体在固定实体之间的寻径和信息传递。

(3) 事件触发。活动的开始和结束都由事件触发,并引发新的事件。在模型中活动的开始主要通过两种方式实现,一种是系统达到某种判断条件,开始执行下一个活动;另一种是系统某项活动执行完后,触发处理器的“trigger”事件,并执行相应的操作。

(4) 活动实现。处理器实体可以按照给定的时间,对进入其中临时进行处理,处理完成后释放临时实体。处理器的处理时间参数, Flexsim 提供了多种可供选择的函数模型,同时支持读取全局表中的处理时间。

2 工程实例

2.1 仓面信息

某碾压混凝土坝矩形施工仓面,仓面高度 3 m,浇筑层厚 30 cm,沿坝轴线方向长度 55 m,垂直于坝轴线方向长度 110 m,浇筑过程中分为 7 个条带,第 1 条带宽 8 m,其余条带宽 17 m。拌合楼距离入仓口 1 km,配备 2 台铭牌产量 360 m³/h 的拌合楼,2 台推土机,4 台振动碾,行驶速度 1 m/s,碾压时先无振碾压 2 遍,再有振碾压 4 遍,再无振碾压 2 遍,20 台自卸汽车,单位运输方量 6 m³,重车行驶速度 35 km/h,轻车行驶速度 42 km/h,采用跨越桥式、缺口+钢桥和临仓缺口 3 种入仓方式对其进行模拟。

2.2 仿真结果及分析

2.2.1 入仓口数量对工期的影响

通过控制变量法,改变入仓口数量,分析其对于整体浇筑强度的影响。每种入仓方式仿真 200 次,

取其平均值作为浇筑时间作出工期分布图,如图 2 所示。

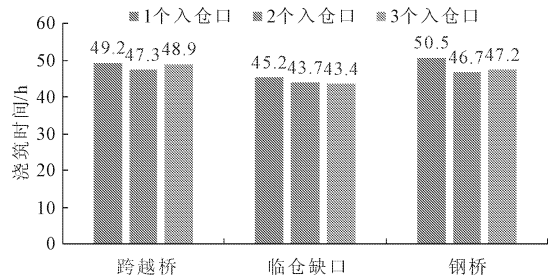


图 2 不同入仓方式浇筑时间对比

从仿真结果可以看出,在该仓面背景和机械配置下,不论自卸汽车何种方式入仓,2 个人仓口都是最佳配置。当只有 1 个人仓口时,出入仓效率降低,但入仓口少,封仓施工时间短,所以总体浇筑时间与 2 个人仓口相比只略微增加,但是缺口加钢桥方式下,填补缺口时需要先补齐模板,这段时间内无法施工,所以总体工期比 2 个人仓口时增加较多。当有 3 个人仓口时,自卸汽车入仓效率几乎没有提高,但是封仓时间增加,所以总工期较 2 个人仓口不降反增。

2.2.2 不同入仓方式下浇筑时间对比

为了研究不同入仓方式浇筑强度的细节,以 2 个人仓口为例,每种方式仿真次数 200 次,选取三种入仓方式下某一次的仿真数据,对其浇筑过程进行分析。分析结果见图 3—图 6。

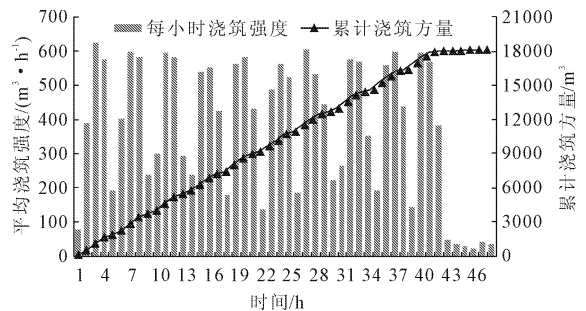


图 3 跨越桥模式下浇筑强度直方图

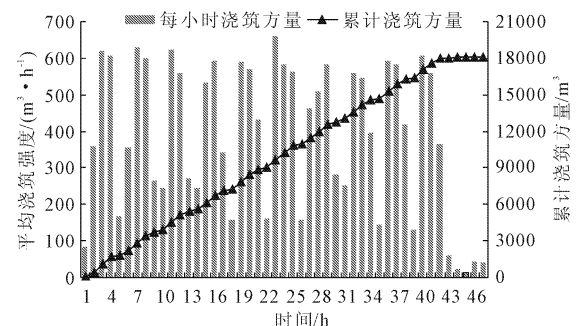


图 4 钢桥模式下浇筑强度直方图

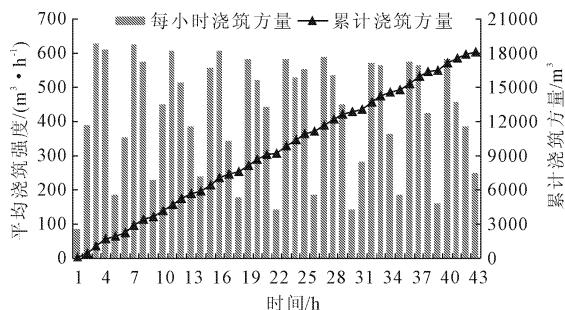


图5 临仓缺口模式下浇筑强度直方图

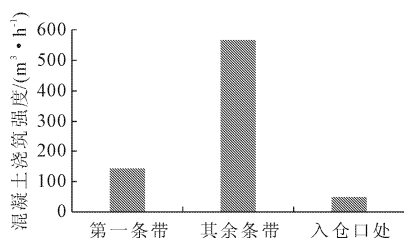


图6 不同入仓方式浇筑时间对比

由仿真结果可以看出,三种浇筑方式下,随着浇筑时间的增加,整体浇筑方量都稳定增加。但是在第1、2种入仓方式下,仓面浇筑后期封仓施工中,混凝土浇筑效率明显下降;在第3种方式下,在上层混凝土的浇筑过程中,缺口随着浇筑层的升高被填补,因此工期较另外两种方式较短。同时,在浇筑强度对比图中可以看到,由于第一条带卸位数量的影响,混凝土的浇筑效率较其它条带低,只有其余条带1/3左右。

2.2.3 不同浇筑部位自卸汽车利用率对比

自卸汽车的配置是仓面施工组织的重要环节,合理配置自卸汽车数量,能够提高仓面浇筑效率和各机械利用率。接下来以2个跨越桥入仓方式为例,研究不同自卸汽车数量下的施工进度和机械效率。结果见图7、图8。

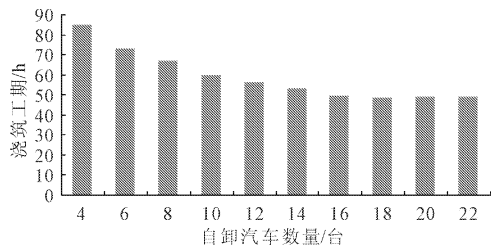


图7 不同汽车数量下浇筑时间对比

从仿真结果可以看出,纵向上,随着自卸汽车数量的增加,其利用率呈逐渐下降的状态,尤其是缺口部位,利用率下降较快,整体工期也逐渐缩短,但当自卸汽车数量达到16台时,混凝土入仓效率不再是制约仓面施工效率的主要因素,即使自卸汽车数量

增加工期也不再缩短。横向上,可以看出入仓口和第一条带浇筑时,自卸汽车利用率明显较低,尤其缺口处,汽车数量达到14台后,其利用率不足0.15。

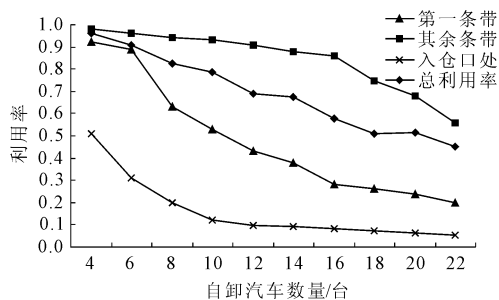


图8 不同部位自卸汽车利用率对比

3 结论

由上文分析可知,仓面浇筑封仓阶段,由于入仓口处面积狭小,机械作业效率低,会成为制约整体施工效率的重要因素,因此施工封仓阶段可以减少自卸汽车数量,节约资源;其次,自卸汽车不同入仓方式下,封仓施工采取的工艺不同,浇筑效率也存在差异。总的来说,入仓口处形成的缺口越小,浇筑效率越高。最后,不同入仓口数量下,自卸汽车进出入仓口效率差异,封仓施工的时间不同,导致总体浇筑效率的差异,应根据具体仓面确定合理入仓口数量。

最终结果表明,自卸汽车不同入仓方式对于对于仓面施工效率存在显著影响,传统的施工仿真中忽略入仓口因素是不合适的,实际施工中应根据不同仓面施工状态选择合适的入仓方式和入仓口数量。

参考文献:

[1] 邵相伟,杜志达.考虑入仓因素的碾压混凝土重力坝施工模拟研究[J].水利技术监督,2017,25(4):90-93.
 [2] Bassgen D H. New ideas for more rapid and economical construction of concrete dams [C]//11th International Congress on Large Dams, 1973.
 [3] Halpin D W, Cyclone I C. Method for modeling job site process[J]. Journal of the Construction Division, 1977, 103(3):489-499.
 [4] R K V, C M J. Visualizing simulated construction operations in 3D[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2001, 15(4):329-337.
 [5] 朱光熙.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.

墙背坡比可以提高其整体稳定性。

参考文献:

- [1] 刘斯宏,汪易森. 砂袋加固地基原理及其工程应用[J]. 岩土工程技术,2007(5):221-225.
- [2] 刘斯宏,贾凡,陈笑林,等. 砂袋挡墙振动台模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2018,37(S2):4338-4347.
- [3] Matsuoka H, Liu S H. New earth reinforcement method by soilbags (“Donow”)[J]. Soils and Foundations, 2003,43(6):173-188.
- [4] Matsuoka H, Liu S H, Shimao R, et al. An environment - friendly Earth Reinforcement Method by soilbags (“Donow”)[C]//Proc. of 12th Asia Regional Conf. on Soil Mechanicand Geotechnical Engineering, 2003:501-504.
- [5] 盛涛,肖畅,李水明,等. 砂袋垫层的竖向承载力试验研究[J]. 工业建筑,2018,48(6):96-100,184.
- [6] 杨春山,莫海鸿,魏立新,等. 土工模袋砂界面摩擦特性试验研究[J]. 地下空间与工程学报,2018,14(1):26-32.
- [7] 李伟,李福栋,郎雷. 袋装砂土加固地基并维护地下管道的模型试验研究[J]. 科学技术与工程,2018,18(28):133-142.
- [8] 张力,王红雨,王小东,等. 砂袋砌护农田排水沟道固坡效果监测[J]. 中国农村水利水电,2018(10):205-210.
- [9] 武萍,王胜利,郭阳,等. 生态式土工格栅挡土墙在变电站工程中的应用[J]. 电力勘测设计,2014(4):23-26.
- [10] 刘斯宏,薛向华,樊科伟,等. 砂袋柔性挡墙位移模式及土压力研究[J]. 岩土工程学报,2014,36(12):2267-2273.
- [11] 汪承志,任红卫,吴友仁. 三级加筋挡墙稳定性数值模拟分析[J]. 水利与建筑工程学报,2012,10(4):59-61.
- [12] 张继周,王华敬,刘福胜,等. 挡土墙侧向土压力中外确定标准的对比分析[J]. 水利与建筑工程学报,2017,15(4):48-52.
- [13] 孔维民,王建磊,樊科伟,等. 砂袋挡墙二维模型试验研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2019,41(1):56-59.
- [14] 杨蒙,王建磊,宋迎俊,等. 砂袋挡墙变形特性有限元分析[J]. 长江科学院院报,2019,36(2):106-110,121.
- [15] 刘明志. 高速铁路加筋土挡墙的变形行为与控制研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2014.

(上接第175页)

- [6] 赵春菊,周华维,周宜红. 系统耦合机制在碾压混凝土坝施工仿真中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版),2013(4):458-463.
- [7] 赵春菊,董慧,周宜红. 碾压混凝土坝施工仓面作业系统仿真与优化研究[J]. 水利水电技术,2013,44(1):79-82.
- [8] 燕乔,付艳艳,张钊,等. 混凝土拱坝施工仿真可视化研究与应用[J]. 人民长江,2013,44(20):50-53.
- [9] Zhong D, Li X, Cui B, et al. Technology and application of real - time compaction quality monitoring for earth - rockfill dam construction in deep narrow valley[J]. Automation in Construction, 2018,90:23-38.
- [10] 钟登华,沈子洋,王佳俊,等. 基于实时监控的混凝土坝振捣施工质量动态评价研究[J]. 水利学报,2018,49(7):775-786.
- [11] 钟登华,张元坤,吴斌平,等. 基于实时监控的碾压混凝土坝仓面施工仿真可视化分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2016(5):377-385.
- [12] 王仁超,李宁. 基于BIM与IFC的混凝土坝施工仿真建模方法[J]. 水电能源科学,2013,31(6):131-134.
- [13] 杜志达,郝雪莹. 碾压混凝土坝平层铺筑仓面施工模拟[J]. 长江科学院院报,2014,31(5):102-106.
- [14] 于雪峰,张以晓. 碾压混凝土坝施工坝面作业系统分析与模拟[J]. 黑龙江水专学报,1995(4):9-12.
- [15] 于雪峰,安英浩,孙福德. 碾压混凝土坝施工运输系统随机模拟模型[J]. 黑龙江水专学报,1996(2):10-13.