

水利水电工程施工土石方调配方法及其应用

宋凤莲^{1a}, 刘 全^{1b}, 邬 志²

(1. 武汉大学 a. 动力与机械学院; b. 水利水电学院, 武汉 430072;
2. 中国水电工程顾问集团公司华东勘测设计研究院, 杭州 310014)

摘要:水利水电工程施工土石方调配受其空间、时间和数量的限制,是影响工程成本的重要因素之一。通过分析工程土石方在开挖、转运、加工、利用等过程中的施工进度与其类型和数量平衡的关系以及开挖、填筑与空间关系的协调性,建立了土石方调配初始条件和边界条件表达方式,建立了小时段、大数量、高精度的动态调配仿真模型,提出土石方的生产、加工、利用、系统调度及其相关关系的数学模型,实现了水电工程土石方施工的调配及其动态控制。结合工程实例的应用分析,验证了模型的可靠性与实用性。可广泛应用于水利水电工程的土石方调配方案制定与施工现场管理中,具有较重要的理论意义和工程实践价值。

关键词:土石方施工;系统分析;土石方调配;施工管理

中图分类号:TV551 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-1683(2012)01-0145-05

Method and Its Application of Earth-rock Allocation for Water Conservancy and Hydropower Construction Project

SONG Feng-lian^{1a}, LIU Quan^{1b}, WU Zhi²

(1. Wuhan University a. College of Power and Mechanical Engineering;
b. College of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan 430072, China;
2. Hydrochina Huadong Engineering Corporation, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The earth-rock allocation is limited by the space, time and quantity of the water conservancy and hydropower construction projects, and it is one of the important factors affecting the project cost. Based on the analysis of the relationship between the construction progress during the periods of the excavation, transport, processing, and effective utilization of the earth-rock and the type and quantity of the earth-rock, and the coordination among the excavation, filling, and spatial distribution of the earth-rock, the initial and boundary conditions for the earth-rock allocation model are proposed. Then, a dynamic allocation simulation model is developed with small time-period, large quantity, and high precision, and a mathematical model is established to simulate the production, processing, utilization, systematic scheduling of the earth-rock, which can realize the allocation and dynamic control of the earth-rock for the water conservancy and hydropower construction projects. These models are applied to a practical engineering project, which shows that the models are reliable and practicable. Consequently, the method can be used widely in the establishment of the earth-rock allocation plan and in the construction site management for the water conservancy and hydropower construction projects, and it has a significant theoretical and practical value.

Key words: earth-rock construction; systematic analysis; earth-rock allocation; construction management

水利水电工程一般具有施工场地集中、工期长、工程量大,特别是土建工程量大,包括土石方开挖与填筑、地下洞室开挖与出渣、砂石料的加工与存储运输、混凝土生产与浇筑等多类工程,施工土石方存储与运输计划复杂的特征,直接影响工程施工布置、规划、交通与运输成本,是工程施工管理研究的热点和难点。通常,土石方调运问题具有线性规划特

征,以单纯形法及其相关分析方法解决工程中的土石方调运问题^[1-2],该方法较为简单,易于实现,应用广泛。随着计算方法与求解模型研究的深入,土石方平衡计算从仅考虑总量到其特性、特征上的均衡^[3-5];根据其料性和中转场数量引入匹配矩阵,解决多点多源土石方调配问题^[6-8]。随着学科知识的融合与发展,Petri 网络引入到工程道路网络描述中,运

收稿日期:2012-01-13 修回日期:2012-02-20 网络出版时间:2012-02-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20120228.0839.002.html>

作者简介:宋凤莲(1966-),女,湖北新洲人,高级工程师,主要从事工程机械设备管理研究。E-mail:Fls755@126.com

用仿真模型及方法优选施工机械设备的配置,较好地反映了施工系统状态的动态变化情况^[9-10]。土石方的运输是在道路网络上发生的,可将运输流视为网络流,以解决其运输求解困难^[11]。同时,土石方施工受相关的随机因素影响,可以通过系统仿真较好地反映土石方开挖施工过程^[12],通过施工过程的质量控制、系统仿真检验网络进度计划可靠性和施工机械配置的合理性^[13-14]。

由于水电工程施工土石方运输系统分析与控制的复杂性,通常以典型时段代替一般时段,以静态边界条件代替多变的施工系统条件,增大了初始条件和边界条件处理工作量,使小时段、大数量、高精度的分析计算难以实现。同时,施工进度决定了施工土石方生产和匹配,施工进度。本文将施工进度系统、土石方加工、存储与处理系统和系统配置结合起来,建立相应的系统模型定量分析施工土石方的调配和动态控制系统仿真方法,为工程土石方平衡优化和施工道路网络总布置优化提供条件和技术支撑。

1 土石方施工系统分析

水电工程土石方施工一般分为工程开挖、加工和转存、工程填筑以及相关运输道路系统,决定着其物流的配置和系统效率。

① 土石方开挖。水利水电工程施工开挖部位的土石方一般以土石方类型和土石方量等参数的元组构成,即某个开挖部位的土石方可用式(1)表达。

$$M = \{ T \ Q \ S \ P \}$$
 (1)

式中: T —开挖土石方类型; Q —开挖土石方量; S —土石方开挖的时间; P —土石方开挖部位的空间。

② 土石方加工。施工过程中部分土石方加工或者处理后利用,加工也可以视为土石方类型的转换过程。如:混凝土骨料的加工,可使用开挖的骨料毛料经砂石料加工厂得到混凝土骨料和一部分加工弃料。由于加工后的土石方特性发生变化,不再具有土石方类型相容性。因此,土石方加工处理可用式(2)表达。

$$F = \left\{ \begin{Bmatrix} t_{in} & t_{out} \\ q_{in} & q_{out} \end{Bmatrix} \ Q \ S \ P \right\}$$
 (2)

式中: t_{in} —土石方加工厂的可接受料性,即可以运入中转场的土石方类型; t_{out} —土石方加工厂的输出料性,即中转场转出的土石方类型; q_{in} —土石方加工厂输入日最高强度,即每日可以运入中转场的最高强度; q_{out} —土石方加工厂输出日最高强度,即每日可以转出中转场的最高强度。

③ 土石方的存储与中转。土石方存储与中转场的输入和输出料性相同,即转入和转出的土石方类型相同。因此,类似土石方加工处理的数学表达,如式(3)所示。

$$F_T = \left\{ \begin{Bmatrix} t_{in} & t_{out} \\ q_{in} & q_{out} \end{Bmatrix} \ Q \ S \ P \right\}$$
 (3)

$$st, t_{in} = t_{out}$$

式中: Q —存储或中转场的当前储量。

④ 渣场和料场。渣场、料场和土石方供应点可以看作是仅有输入或者输出的土石方加工厂。渣场只接受土石方,而料场只产出土石方。因此,渣场为简化的土石方加工厂来描述,如式(4)所示。

$$F_D = \left\{ \begin{Bmatrix} t_{in} & \emptyset \\ q_{in} & \emptyset \end{Bmatrix} \ Q \ S \ P \right\}$$
 (4)

式中: \emptyset —空值,渣场无输出土石方; Q —渣场的堆渣量。

相应的,料场和土石方供应点简化的土石方加工厂来描述,如式(5)所示。

$$F_S = \left\{ \begin{Bmatrix} \emptyset & t_{out} \\ \emptyset & q_{out} \end{Bmatrix} \ Q \ S \ P \right\}$$
 (5)

式中: Q —料场的有效储量。

2 土石方施工调度的计算方法

2.1 土石方调度的计算方法

对于特定的施工土石方运输周期 S_0 , 存在土石方产出和消耗。满足供需平衡时,可以建立供需关系,确定土石方的流向;对于多余的产出,如果中转场可接受,即可转入中转场,确定土石方流向;如果中转场不接受,则运往弃渣场作弃料处理;对于无法满足的需求,如果中转场可供,则由中转场转出,确定土石方回收流向;如果中转场无供给,则应由料场开采供给。土石方施工与调度关系见图 1。

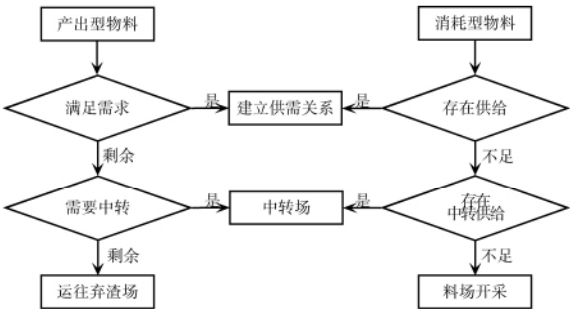


图 1 土石方施工调度关系

Fig. 1 Diagram of the earth-rock construction and allocation

对于特定的土石方运输时段 S_0 , 其土石方生产可以用式(6)表示。

$$M|_{S_0} = \left\{ \begin{Bmatrix} t_{m_1} & q_{m_1} & s_0 & p_{m_1} \\ & \dots & & \\ t_{m_i} & q_{m_i} & s_0 & p_{m_i} \\ & \dots & & \\ t_{m_n} & q_{m_n} & s_0 & p_{m_n} \end{Bmatrix} \right\}$$
 (6)

对应土石方的加工可以表示为:

$$F|_{S_0} = \left\{ \begin{Bmatrix} \begin{Bmatrix} t_{in} & t_{out} \\ q_{in} & q_{out} \end{Bmatrix} & Q & S_0 & P \\ & \dots & & \\ \begin{Bmatrix} t_{in} & t_{out} \\ q_{in} & q_{out} \end{Bmatrix} & Q & S_0 & P \end{Bmatrix} \right\}$$
 (7)

针对特定的土石方类型 t_0 , 其总量 A 可用式(8)表示。

$$A = \sum_{i=1}^n \left\{ \begin{Bmatrix} t_{m_1} & q_{m_1} & s_0 & p_{m_1} \\ & \dots & & \\ t_{m_i} & q_{m_i} & s_0 & p_{m_i} \\ & \dots & & \\ t_{m_n} & q_{m_n} & s_0 & p_{m_n} \end{Bmatrix} \right\} \begin{cases} q_{m_i} > 0 \\ t_{m_i} \leq t_0 \end{cases}$$
 (8)

消耗土石方总量 B 可用式(9)表示。

B = \sum_{j=1}^n \left\{ \begin{matrix} t_{m_1} & q_{m_1} & s_0 & p_{m_1} \\ & \dots & & \\ t_{m_j} & q_{m_j} & s_0 & p_{m_j} \\ & \dots & & \\ t_{m_n} & q_{m_n} & s_0 & p_{m_n} \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} q_{m_j} < 0 \\ t_{m_j} = t_0 \end{matrix} \right. \quad (9)

对于需求任务 m_i , 供需平衡的必要条件为式(10)。
 $A = B > 0 \quad (S = s_0, T = t_0)$ (10)
则可得土石方调配的表达式(11)。

\left\{ \begin{matrix} t_{m_i} & q_{m_i} & s_0 & p_{m_i} \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} q_{m_i} > 0 \\ t_{m_i} \leq t_0 \end{matrix} \right. \quad (11)

\rightarrow \left\{ \begin{matrix} t_{m_j} & q_{m_j} & s_0 & p_{m_j} \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} q_{m_j} < 0 \\ t_{m_j} = t_0 \end{matrix} \right.

对于供大于求 $A > B$, 可先满足 B 的需求部分, 剩余部分 $A - B$ 根据中转场情况进行选择。中转场选择的必要条件如式(12)所示。

F|_{s_0|t_0} = \left\{ \left\{ \begin{matrix} t_{in} & t_{out} \\ q_{in} & q_{out} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} Q & S_0 & P \end{matrix} \right\}_{f_1} \dots \left\{ \begin{matrix} t_{in} & t_{out} \\ q_{in} & q_{out} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} Q & S_0 & P \end{matrix} \right\}_{f_n} \quad (12)

= \left\{ \left\{ \begin{matrix} t_{in} & t_{out} \\ q_{in} & q_{out} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} Q & S_0 & P \end{matrix} \right\}_{f_1} \quad st. \left\{ \begin{matrix} t_0 \leq t_{in} \\ Q \geq (A - B) \end{matrix} \right.

式中: $t_0 \leq t_{in}$ — 土石方的种类相容性条件; $Q \geq (A - B)$ 为中转场容量限制。

当满足式(12)时, 土石方调运的表达式(13)。

\left\{ \begin{matrix} t_{m_i} & q_{m_i} & s_0 & p_{m_i} \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} q_{m_i} > 0 \\ t_{m_i} \leq t_0 \end{matrix} \right. \quad (13)

\rightarrow \left\{ \left\{ \begin{matrix} t_{in} & t_{out} \\ q_{in} & q_{out} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} Q & S_0 & P \end{matrix} \right\}_{f_i} \left\{ \begin{matrix} t_0 \leq t_{in} \\ Q > (A - B) \end{matrix} \right.

如果满足(13)条件土石方仍有剩余, 则逐步降低土石方的等级并排序, 寻找可能匹配或者中转场, 直至最后降低为弃渣, 转向弃渣场。

对于供小于求 $A < B$ 的情况, 优先考虑利用 A 的产出, 不足部分由中转场补充; 如果仍无法满足, 可开采料场。与式(13)情况类似, 中转调出土石方满足需求表达式(14)。

\left\{ \left\{ \begin{matrix} t_{in} & t_{out} \\ q_{in} & q_{out} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} Q & S_0 & P \end{matrix} \right\}_{f_i} \left\{ \begin{matrix} t_0 \leq t_{out} \\ Q > (B - A) \end{matrix} \right. \quad (14)

\rightarrow \left\{ \begin{matrix} t_{m_i} & q_{m_i} & s_0 & p_{m_i} \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} q_{m_i} < 0 \\ t_{m_i} \leq t_0 \end{matrix} \right.

2.2 土石方施工的主要工程特征参数

① 施工项目的重要性。施工项目的重要次序决定其土石方生产和需求的调配。在仿真模型中使用施工项目的优先级来描述, 优先级高的项目优先配置土石方施工的资源。

② 土石方计量。在工程施工中土石方计量可分为: 自然方、松方和压实方等多种。在土石方调度仿真模型中, 可以利用参数说明方式处理土石方计量之间的转换关系。

③ 施工标段资源的分划。大型水电工程一般分为多个标段施工, 标段之间一般不存在直接的土石方调运, 约束了土石方的中转场、渣场和加工资源的选择范围。在模型中使用施工资源分组的方法处理施工标段资源的分划, 以说明标段施工资源的约束。

④ 运距与运输成本分析。在考虑上述约束的基础上,

水电工程土石方的调度与控制, 一般以运距为评价指标。运距可以通过模型中的空间参数 P 计算, 即运距向量 D 如式(15)所示。

D = D\{p_i \quad p_j\} = \{L \quad Z\}^T \quad (15)

式中: $L - P_i$ 和 P_j 之间的施工道路水平距离; $Z - P_i$ 和 P_j 之间的施工道路高差。

对于备选方案的运距可以使用运距向量描述, 将运距向量作为运距优化的指标。运输成本 V 一般可以使用土石方的运距与量的乘积测度, 即:

V = Dq \quad (16)

3 实例分析

某混凝土拱坝工程设计工期 12 a, 土石方开挖总量约 5 000 万 m^3 , 混凝土浇筑总量约 1 300 万 m^3 。工程选择了 4 个人工砂石料系统、6 个混凝土系统、6 个弃渣场、2 个中转场和 1 个石料场, 施工现场土石方的调度与调配复杂。现选择左岸导流洞施工标段为分析对象, 通过施工仿真分析场内土石方的合理调度, 确定土石方调运总量、土石方直接利用量、土石方运输总成本等。其工程量与进度信息如见 1, 其中“1 号、2 号、3 号导流洞混凝土浇筑”项目总料量为负值, 说明该项为回填项目。

表 1 左岸导流洞工程量与进度安排

Table 1 The engineering quantity and schedule of the earth-rock construction of the diversion tunnel at the left bank

项目名称	总料量/ m^3	开始时间	完成时间
1 号、2 号、3 号导流洞出口土方明挖	688 500	2001-1-1	2002-1-1
1 号、2 号、3 号导流洞出口土方明挖	27 600	2000-11-1	2001-2-1
1 号、2 号、3 号导流洞洞挖	1 682 400	2000-11-1	2002-5-1
1 号、2 号、3 号导流洞混凝土浇筑	-482 100	2001-11-1	2003-8-1
1 号、2 号、3 号导流洞进口土方明挖	688 500	2001-1-1	2002-1-1
1 号、2 号、3 号导流洞进口土方明挖	27 600	2000-11-1	2001-2-1

该标段有人工砂石料加工系统 X、混凝土生产系统 X、弃渣场 H、弃渣场 X、弃渣场 A 和石料场 N。根据场地规划要求, 需要优先填筑弃渣场 X, 随后填筑弃渣场 A。调运平衡周期为月。根据仿真计算, 2000 年 11 月土石方调配如图 2 所示; 2001 年 11 月土石方调配如图 3 所示; 2002 年 4 月土石方调配如图 4 所示; 土石方量如表 2 所示。

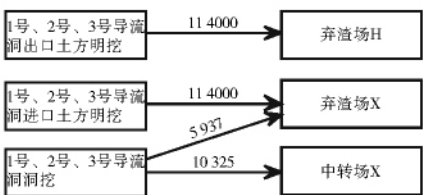


图 2 2000 年 11 月土石方调配图
Fig. 2 Diagram of the earth-rock allocation in Nov 2000

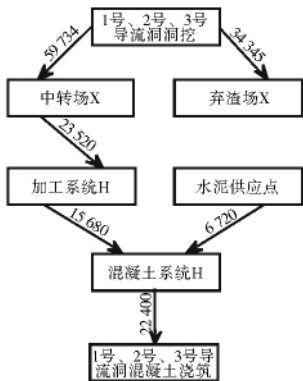


图 3 2001 年 11 月土石方调配图

Fig. 3 Diagram of the earth-rock allocation in Nov 2001

注:水泥供应点 6 720 为水泥,混凝土系统 H 为 22 400 混凝土

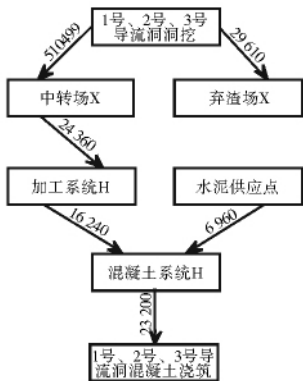


图 4 2002 年 4 月土石方调配图

Fig. 4 Diagram of the earth-rock allocation in Apr 2002

注:水泥供应点 6960 为水泥,混凝土系统 H 为 23200 混凝土

表 2 左岸导流洞的土石方转换系数

Table 2 The earth-rock conversion coefficients of the diversion tunnel at the left bank

名称	名称	比例
土料处理	土料	1.0
	弃土料	1.0
导流洞进出口	导流洞进出口石方明挖料	1.0
	石方明挖可用料	0.373
石方明挖转换	弃石料	0.627
1 号、2 号、3 号导流洞洞挖转换	1 号、2 号、3 号导流洞洞挖料	1.0
	洞挖可用料	0.633
	弃石料	0.364
其它混凝土生产	其它混凝土	1.0
	其他混凝土骨料组	0.7
	混凝土水泥	0.3

从图中可以看出,2000 年 11 月工程施工以开挖为主,开挖可用料运至中转场 X,弃料运往对应距离较近的弃渣场。

2001 年 11 月“1 号、2 号、3 号导流洞混凝土浇筑”开始,混凝土系统 H 投产,料来自加工系统 H,毛料来自中转场 X。导流洞的开挖料可以直接利用。2002 年 4 月弃渣场 X 达到设计填渣高程(见图 5),开挖弃渣转向弃渣场 A。

根据现场道路布置情况(运距)和配置的机械能耗定额,土石方的单位施工成本如图 6 所示,统计数据如表 4 所示。

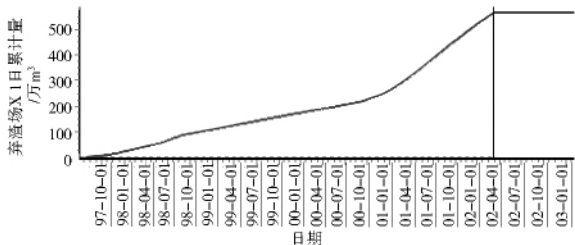


图 5 弃渣场 X 堆存累计图

Fig. 5 The cumulative stockpiling at the abandoned dreg site X

表 3 左岸导流洞土石方量

Table 3 The earth-rock quantity of the diversion tunnel at the left bank

项目名称	土方	混凝土	石方洞挖	石方明挖	直接利用量
1 号、2 号、3 号导流洞进口土方明挖	2.76				
1 号、2 号、3 号导流洞出口土方明挖	2.76				
1 号、2 号、3 号导流洞进口石方明挖				68.85	
1 号、2 号、3 号导流洞出口石方明挖				68.85	5.62
1 号、2 号、3 号导流洞洞挖			168.24		
1 号、2 号、3 号导流洞混凝土浇筑		48.21			5.62

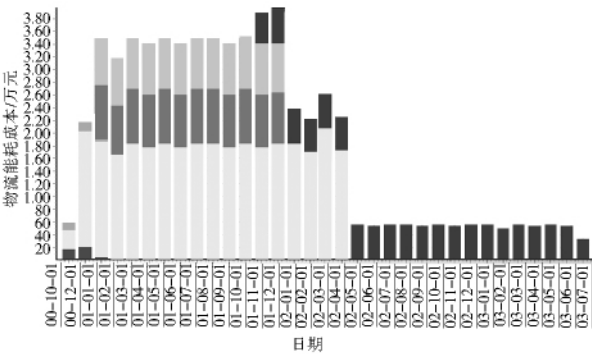


图 6 左岸导流洞土石方的单位施工成本

Fig. 6 The unit cost of earth-rock construction of the diversion tunnel at the left bank

表 4 左岸导流洞土石方施工成本

Table 4 The total cost of the earth-rock construction of the diversion tunnel at the left bank

任务名称	土石方成本
1 号、2 号、3 号导流洞进口土方明挖	29.3
1 号、2 号、3 号导流洞混凝土浇筑	1 110.7
1 号、2 号、3 号导流洞出口土方明挖	41.0
1 号、2 号、3 号导流洞进口石方明挖	975.9
1 号、2 号、3 号导流洞出口石方明挖	1 005.8
1 号、2 号、3 号导流洞洞挖	3 096.6

4 结论

本文通过对水利水电工程施工进度、土石方加工、存储与处理系统和物料系统配置的系统分析,构建其系统调配的数学模型,较好地解决了施工过程中的土石方调配的初始条件和边界条件处理工作,实现小时段、高精度的分析计算土石方生产和匹配,以及在给定交通道路条件下土石方施工成本和料场(堆场)储量等评价信息,为工程土石方平衡优化和施工道路布置优化提供重要的参考。

参考文献(References):

[1] 曹丽华,王泽良.单纯形法用于港口工程土石方物流[J].物流科技,2002,25(89):52-55. (CAO Li-hua,WANG Ze-liang. The Application of the Simplex Method to the Physical Distribution of Earthwork in Port Project[J]. Logistics Management,2002,25(89):52-55. (in Chinese))

[2] 许应成,王理,夏国平,等.土石方开挖数学模型和仿真系统的设计与研究[J].计算机工程与应用,2009,45(30):214-219. (XU Ying-cheng,WANG Li,XIA Guo-ping,et al. Design and Research of Mathematical Model and Simulation System for Earth-rock Excavation[J]. Computer Engineering and Applications,2009,45(30):214-219. (in Chinese))

[3] GOKTEPE,A. BURAK;LAV,A. HILMI. Method for Optimizing Earthwork Considering Soil Properties in the Geometric Design of Highways [J]. Journal of Surveying Engineering,2004,130(4):183-190.

[4] AMMAR,MOHAMMAD A. ,ELDOSOUKY,ADEL I. ,JARAD,FAYEZ A. Optimization of Earthwork Allocation with Multiple Soil Types[J]. AEJ-Alexandria Engineering Journal,2003,(42)1:111-123.

[5] CHAN,WAH-HO,LU,MING. Materials Handling System Simulation in Precast Viaduct Construction: Modeling,Analysis,and Implementation [J]. Journal of Construction Engineering and Management,2008,134(4):300-310.

[6] 吴唤群,王壮志,向和平,等.考虑施工次序与土质问题的土石方调运的网络模型算法[J].系统工程,2003,21(6):16-18. (WU Huan-qun,WANG Zhuang-zhi,XIANG He-ping,et al. A Network Model Algorithm for Earthwork Allocation and

Transport Considering . the Construction Order and Soil Quality[J]. Systems Engineering,2003,21(6):16-18 (in Chinese))

[7] TAKAKUWA,SOEMON. A Practical Module-based Simulation Model for Transportation-inventory Systems[C]. Winter Simulation Conference Proceedings,1998(2):1239-1246.

[8] 周厚贵,曹生荣,申明亮.土石方调配研究现状与发展方向[J].土木工程学报,2009,42(2):131-138 (ZHOU Hou-gui,CAO Sheng-rong,SHEN Ming-liang. Current Status of Research on Earth-muck Allocation and Direction of Development[J]. China Civil Engineering Journal,2009,42(2):131-138. (in Chinese))

[9] 舒华英,胡志根,刘全.施工截流运输系统的赋时 Petri 网模型及其仿真实现[J].系统仿真学报,2003,15(11):1501-1505. (SHU Hua-ying,HU Zhi-gen,LIU Quan. A Modeling and Simulation of Construction Closure for Transportation System Based on Timed-Petri Nets[J]. Journal of System Simulation,2003,15(11):1501-1505. (in Chinese))

[10] WAKEFIELD,R. R. Application of Extended Stochastic Petri Nets to Simulation and Modelling of Construction Systems [J]. Civil Engineering and Environmental Systems. 1998,15(1):1-22.

[11] SIMAAN ABOURIZK. Role of Simulation in Construction Engineering and Management [J]. Journal of Construction Engineering and Management,2010,136(10):1140-1153.

[12] 燕乔,杨占宇,陈炎和,等.土石方开挖随机模糊仿真技术研究[J].岩土力学,2005,26(12):2031-2034. (YAN Qiao,YANG Zhan-yu,CHEN Yan-he,et al. Application of Computer Simulation Using Stochastic-fuzziness Artificial Technique in Earth-rock Excavation Project[J]. Rock and Soil Mechanics,2005,26(12):2031-2034. (in Chinese))

[13] 靳鹏,胡志根,刘全.施工过程仿真的网络进度计划优化分析[J].水电能源科学,2006,24(3):43-45. (JIN Peng,HU Zhi-gen,LIU Quan. Analysis of Network Scheduling Optimization Technique Based on Construction simulation[J]. Water Resources and Power,2006,24(3):42-45. (in Chinese))

[14] 钟登华,刘东海,崔博.高心墙堆石坝碾压质量实时监控技术及应用[J].中国科学(技术科学),2011,41(8):1027-1034 (ZHONG Deng-hua,LIU Dong-hai,CUI Bo. Real-time Compaction Quality Monitoring of High Core Rockfill Dam[J]. Sci China (Tech Sci),2011,41(8):1027-1034. (in Chinese))

(上接第 144 页)

[6] 王新军.现行水利工程定额中人工预算单价的缺陷及改进建议[J].水电能源科学,2009,(12):181-183. (WANG Xin-jun. Present Drawbacks of Labor Budget Unit Price and Improvement Suggestions in Present Water Conservancy Project Quota[J]. Water Resources and Power,2009,(12):181-183. (in Chinese))

[7] 罗友兵.浅析高压喷射灌浆造孔的单价分析[J].水利水电工程造价,2005,(4):15-17. (LUO You-bin. The Analysis of High Grouting Making Hole'unit Price Water Conservancy Project Cost[J]. Project Cost Estimate of Hydro-engineering,2005,(4):15-17. (in Chinese))

[8] 黄虹.长江赤心堤应用黏土灌浆技术的单价分析[J].水利水电工程造价,2005,(3):27-29. (HUANG Hong. The Analysis of Yangtze Embankment Application of Cloay and Grouting[J]. Project Cost Estimate of Hydro-engineering,2005,(3):27-29. (in Chinese))

[9] 张庆.沿海风电工程软土地基处理及其造价分析[J].水利水电工程造价,2010,(2):30-32. (ZHANG Qing. The Coastal Wind Election Engineering of Soft Foundation Treatment and the En-

gineering Budget [J]. Project Cost Estimate of Hydro-engineering,2010,(2):30-32. (in Chinese))

[10] 张平朗,秦博,杨艺.岩石锚杆基础工程造价对比分析[J].电力技术,2010,(2):7-9. (ZHANG Ping-lang,QIN Bo,YANG Yi. Comparison and Analysis of Engineering Cost of Rock Bolt Base[J]. Power Technology,2010,(2):7-9. (in Chinese))

[11] 中国水利学会水利水电工程造价管理专业委员会.水利水电工程造价[M].中国计划出版社,2002. (Chinese Hydraulic Engineering Society and Hydraulic Engineering Cost of Management Major Committee. Project Cost Estimate of Hydro-engineering[M]. The Plan of China Publishing House,2002. (in Chinese))

[12] 水利部水利建设经济定额站.水利工程设计概(估)算编制规定[M].郑州:黄河水利出版社,2002. (Ministry of Water Resources Water Construction of Economic Quota Station[M]. Zhengzhou:The Design of Hydraulic Engineering,2002. (in Chinese))