



## 优化土石方调配模型在某工程中的应用

陈海斌<sup>1,2</sup>

(1. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120;  
2. 上海航道工程总承包有限责任公司, 上海 200120)

**摘要:** 如何根据实际情况得出经济、有效的最优调配方案, 是土石方工程的一个重要课题。舟山某工程主要包含开山工程、围堤工程及陆域形成工程, 其中工程石料用量全部取自开山工程。依据线性规划理论, 提出适用于该工程的土石方调配计算的基本思路, 建立土石方调配优化模型并最终得出优化结果, 最后分析各重要参数对调配结果的影响, 以期对今后土石方调配工程有一定的借鉴作用。

**关键词:** 土石方; 优化; 调配模型; 敏感性分析

中图分类号: TU 504

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0225-05

### Application of optimized earth-rock deployment model on project

CHEN Hai-bin

(1. Shanghai Waterway Engineering Design Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China;  
2. Shanghai Waterway Engineering General Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** In earth-rock works, it is an important subject to obtain the economic and effective optimal results according to the practical situation of earth-rock allocations. The project mainly includes the mountain excavation project, embankment project and land formation project, the stones of embankment project and land formation project are taken from all the mountains engineering. On the basis of the theory of linear programming, this paper proposes an optimized earthwork computation method that is appropriate for the project, establishes the earth-rock deployment optimization model, and then obtains the optimization results. Finally, a sensitivity analysis based on the developed method is conducted which may serve as reference for further application of this method on other projects.

**Key words:** earth-rock; optimization; deployment model; sensitivity analysis

在众多土石坝、矿山、陆域回填等工程项目中, 土石方调配作为其中的一项重要内容, 对于工程成本、进度及质量控制等方面都有显著影响<sup>[1]</sup>。根据各类土工工程的不同特点, 可将土工工程分为4类, 即土石坝工程、路堤工程、场平工程和地下工程<sup>[2]</sup>。虽然, 研究以上4种工程类型土石方调配问题所采用的基本原理与方法一致, 但针对不同土工工程, 选择合理的研究方法并建立与之相对应的优化调配模型, 可减少许多不必要的工作量, 增加模型的实用性和便捷性。

舟山某工程主要包含开山工程、围堤工程及

陆域形成工程, 其中石料全部取自开山工程。本文依据线性规划理论, 提出适用于该工程的土石方调配计算的基本思路, 建立土石方调配优化模型并最终得出优化结果, 最后分析各重要参数对调配结果的影响, 以期对今后土石方调配项目有一定的借鉴作用。

### 1 某工程土石方调配优化模型

#### 1.1 简易调配模型

采用线性规划理论建立简易土石方调配数学模型, 基本思路为: 把整个场地划分为 $m$ 个挖方

收稿日期: 2012-10-24

作者简介: 陈海斌(1978—), 男, 工程师, 从事围海造地、环保疏浚等水运工程的施工和研究。

区 $A_1, A_2, \dots, A_m$ , 其挖方量相应为 $a_1, a_2, \dots, a_m$ ; 有 $n$ 个填方区 $B_1, B_2, \dots, B_n$ , 其填方量相应为 $b_1, b_2, \dots, b_n$ ; 并假定挖填方平衡, 即:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (1)$$

从 $A_i$ 到 $B_j$ 的平均运输价格为 $C_{ij}$ , 调配的土方量为 $X_{ij}$ , 土方调配问题的数学模型可以用式(2)表达, 求一组 $X_{ij}$ 值, 使目标函数 $Z$ (调配总价)为最小值

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

其中:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i & i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j & j = 1, 2, \dots, n \\ X_{ij} \geq 0 & i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

根据式(2), 建立土石方调配简易模型, 输入本工程的相关参数, 可计算得出土石方调配方案。但是, 由于简易模型中考虑的因素较少, 采用就近调运的原则得出的解不一定是最优解, 从而无法获得与工程实际情况符合较好的调配结果。土石方调配的最终结果与工程的施工组织设计方案(包含工程量、施工要求、施工道路、主要的约束条件等)、工程总进度计划、可用土和弃土的比例系数、松散系数、以及由施工技术水平和施工机械配套设备影响的运输单价都有着密切的关系。

### 1.2 优化模型建立

采用线性规划模型<sup>[3]</sup>, 考虑料场优化选择及施工费用最小, 以经济指标作为目标函数, 并加入简易模型中未予以考虑的诸多因素, 将各种施工约束因素量化为线性规划模型的约束条件, 最后借助计算机程序, 通过求解大规模线性规划模型的方法得出优化方案。

#### 1.2.1 目标函数及说明

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{d=1}^{T_j} x_{ijkd} (M + E_k), \forall i, \forall j, \forall k \quad (3)$$

其中:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{d=1}^{T_j} X_{ijkd} \leq Q_{ik}, \forall i, \forall k$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p X_{ijkd} \leq R_{id}, \forall i, d = 1 \sim T$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p X_{ijkd} \leq S_{jd}, \forall i, d = 1 \sim T_j$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{d=1}^{T_j} X_{ijkd} \geq D_{jk}, \forall j, \forall k,$$

$$X_{ijkd} \geq 0, \forall i, \forall j, \forall k, \forall d$$

1) 在各受料区( $j=1 \sim n$ )的施工期间( $d=1 \sim T_j$ )内, 所有由各料场( $i=1 \sim m$ )运至各地( $j=1 \sim n$ )的各种土石方材料( $k=1 \sim p$ )的数量( $X_{ijkd}$ ), 乘以其成本(运输成本+开采成本)即为总成本, 此式主要为求得在各约束条件下的总成本的最小值;

2) 所有从第 $i$ 料场供应的第 $k$ 种土石方材料加起来之和不大于它的最大蕴藏量;

3) 在第 $d$ 个施工工期内, 从 $i$ 料场供应的土石方材料之和不大于料场的最大产量;

4) 在第 $d$ 个施工工期内, 供应给第 $j$ 个受料场的土石方材料之和不大于受料场的最大消耗量;

5) 各个料场( $i=1 \sim m$ )所供应的土石方材料( $k=1 \sim p$ )之和不小于受料区的土石方需求量;

6) 决策变量定义为大于0的实数。

#### 1.2.2 数学模型计算框图

优化模型计算框图见图1。

#### 1.2.3 基础条件

该工程有1#~7#共7个料场, 总方量约545万 $m^3$ ; 受料区主要分为回填区和围堤区, 其划分见图2。

##### 1) 料场情况。

各料场的石料规格和强度指标不尽相同, 但根据工程本阶段的实际情况, 目前只考虑一种石料规格, 各料场的预计工程量见表1。

表1 料场石料分布

料场编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	合计
工程量(实方)/万 $m^3$	175	28.2	61.7	36.1	188.1	54	2	545

##### 2) 受料区情况。

本项目的受料区包含回填和围堤两部分。其中,  $W_1 \sim W_4$ 和 $E_1 \sim E_3$ 为回填区,  $WX, WZ, WD$ 为围堤区, 各工段石料需求见表2。

##### 3) 施工区域道路。

根据施工场地内的料场及各工作面的区域分布, 可将施工区域道路大致分为 $L_1 \sim L_{11}$ , 各道路长度见表3。

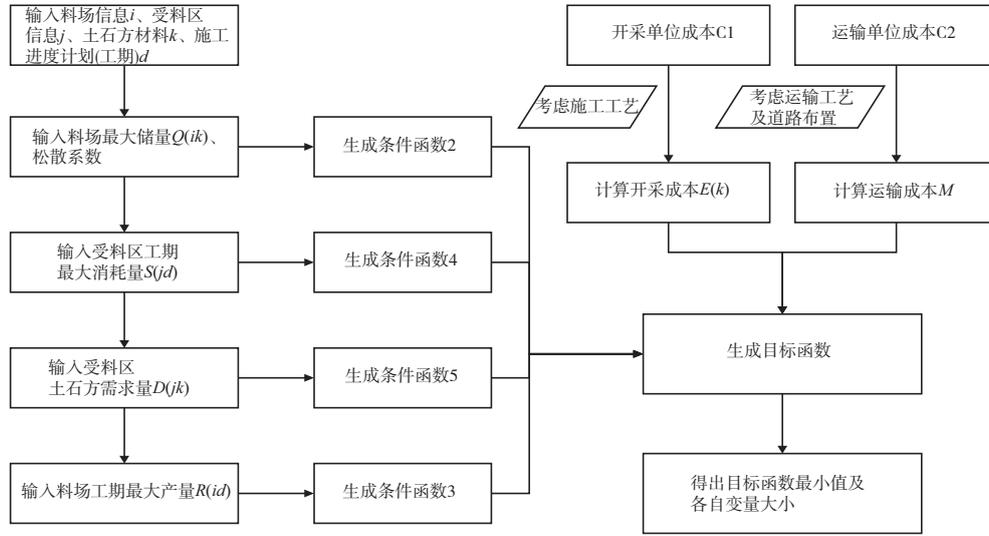


图1 优化模型计算框图

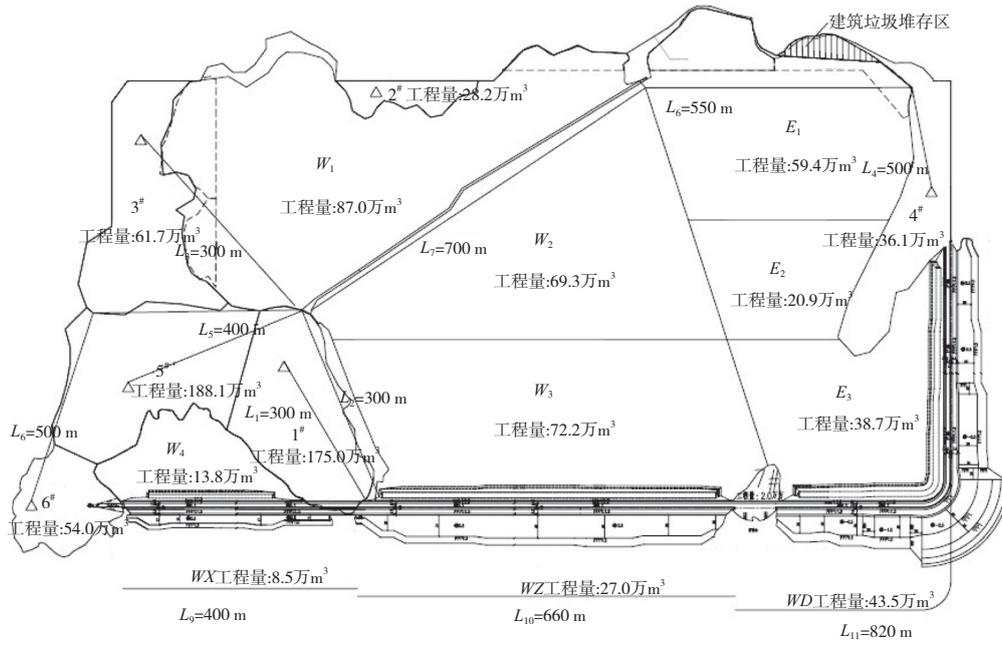


图2 工程平面布置

表2 受料区石料需求

受料区编号	代表部分	工程量(虚方)/万m <sup>3</sup>
W <sub>1</sub>	回填西1区	87.0
W <sub>2</sub>	回填西2区	69.3
W <sub>3</sub>	回填西3区	72.2
W <sub>4</sub>	回填西4区	13.8
E <sub>1</sub>	回填东1区	59.4
E <sub>2</sub>	回填东2区	20.9
E <sub>3</sub>	回填东3区	38.7
WX	围堤西段	8.5
WZ	围堤中段	27.0
WD	围堤东段	43.5

表3 施工区域道路

道路编号	隶属区域	长度/m
L <sub>1</sub>	料场	300
L <sub>2</sub>	料场	300
L <sub>3</sub>	料场	300
L <sub>4</sub>	料场	500
L <sub>5</sub>	料场	400
L <sub>6</sub>	料场	500
L <sub>7</sub>	受料区(回填)	700
L <sub>8</sub>	受料区(回填)	550
L <sub>9</sub>	受料区(围堤)	400
L <sub>10</sub>	受料区(围堤)	660
L <sub>11</sub>	受料区(围堤)	820

根据现场区域划分及表3的统计,如1#的石料运输至WD段,运输道路应为 $L_1+L_{10}+L_{11}=1\ 780\text{ m}$ ,依次类推。根据工程实际情况,运输单价考虑3个档次,即1 km以内、1~2 km和大于2 km。

4)施工进度计划。

由于本工程受外部因素影响较大,实际的施工进度安排与原定总进度计划有一些出入,这点

也将在优化模型中进行调整。表4为施工总进度计划节选。

5)其他。

本模型中还考虑了其他因素,如不同的施工工艺和挖运设备将产生不同的施工费用,料场的山体方量开挖后存在一定的松散系数等。本工程暂不设置临时堆场,即二次运输费用为零。

表4 施工总进度计划节选

任务名称	工程量	工期	开始时间	完成时间	前置任务
山体爆破开挖		542工作日	2009年12月1日	2011年5月26日	
炸药库岸设计与建设		182工作日	2009年12月1日	2010年5月31日	
组织炸药库及运输道路设计、审查	1项	60工作日	2009年12月1日	2010年1月29日	
炸药库及运输道路建设、验收	1项	122工作日	2010年1月30日	2010年5月31日	7
施工设备停放场建设	1项	60工作日	2010年3月17日	2010年5月15日	4
1#爆区施工	1 743 945m <sup>3</sup>	180工作日	2010年6月1日	2010年11月27日	8
2#爆区施工	323 346 m <sup>3</sup>	60工作日	2011年3月28日	2011年5月26日	14
3#爆区施工	614 051 m <sup>3</sup>	90工作日	2010年11月2日	2011年2月25日	15
4#爆区施工	524 094 m <sup>3</sup>	60工作日	2010年6月1日	2010年7月30日	8
5#爆区施工	1 873 949 m <sup>3</sup>	120工作日	2010年11月28日	2011年3月27日	10
6#爆区施工	456 823 m <sup>3</sup>	120工作日	2010年7月31日	2010年11月27日	13
7#爆区施工	33 300 m <sup>3</sup>	30工作日	2011年3月26日	2011年3月27日	12
水抛堤心石		90工作日	2010年6月13日	2010年9月10日	
陆抛堤心石(至2.5 m)		142工作日	2010年6月2日	2010年10月21日	
抛石镇脚		55工作日	2010年8月12日	2010年10月5日	
陆抛堤心石(2.5~5.3 m)		75工作日	2010年9月12日	2010年11月25日	
回填		308工作日	2010年7月18日	2011年5月21日	

2 优化结果及影响因素和敏感性分析

通过模型计算机试算,得出模型最优化结果见表5。

对各主要影响参数进行不同取值,得出调配结果(图3~6)。

由图3~6可知,松散系数主要根据工程区域的岩石特性来确定,调配结果与松散系数成线性反

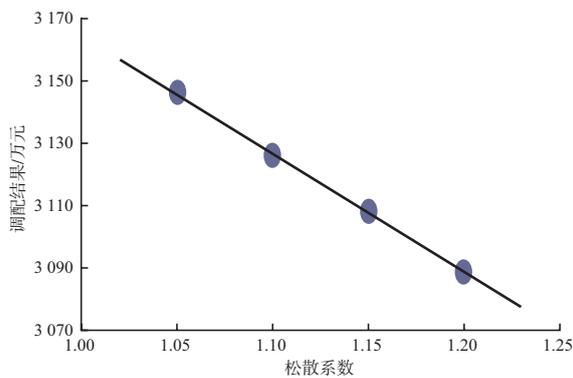


图3 松散系数对调配结果的影响

表5 优化结果

工期单位	料场	受料区	运输量(虚方)/万m <sup>3</sup>
第1月	1#	W <sub>1</sub>	5.000
第1月	5#	W <sub>1</sub>	5.000
第1月	6#	WX	5.000
第2月	1#	W <sub>1</sub>	5.260
第2月	1#	WZ	9.474
第2月	5#	W <sub>1</sub>	10.000
第2月	6#	W <sub>1</sub>	1.500
第2月	6#	WX	3.500
第3月	1#	W <sub>1</sub>	5.000
第3月	1#	WZ	10.000
第3月	5#	W <sub>1</sub>	10.000
第3月	5#	W <sub>2</sub>	5.000
第3月	6#	W <sub>1</sub>	5.000
⋮	⋮	⋮	⋮
第12月	3#	W <sub>3</sub>	10.000
第13月	2#	E <sub>2</sub>	5.000
第13月	2#	E <sub>3</sub>	5.000
第13月	4#	E <sub>3</sub>	10.000
第14月	4#	E <sub>3</sub>	10.000
第14月	5#	E <sub>3</sub>	3.760

注:最优结果(即最低成本)为32 610 741元。

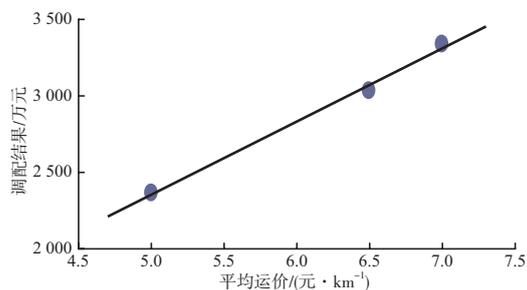
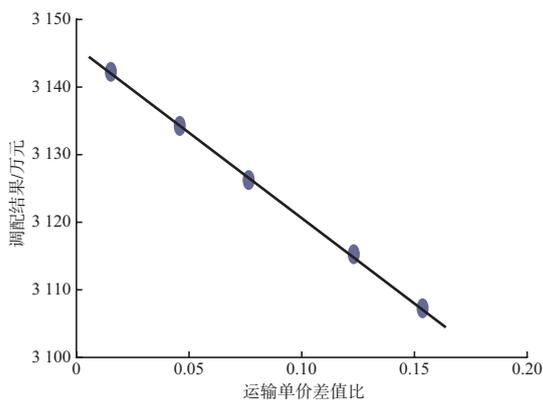
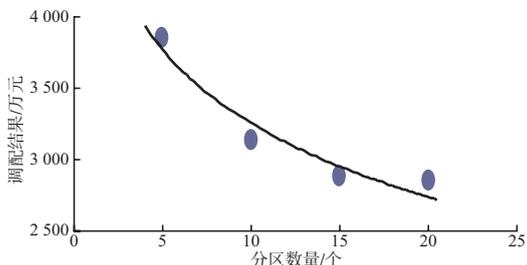


图4 平均运价对调配结果的影响



注：运价差值比指的是相邻两档的运输单价之差与平均运价的比值。

图5 运价差值比对调配结果的影响



注：分区数量指的是土石方调配后的分区（即受料区）的数量。

图6 分区数量对调配结果的影响

比；平均运价和运价差值比由施工技术水平和施工机械配套设备等因素的共同影响，调配结果与平均运价基本成线性正比，与运价差值比成线性

反比；受料场的分区数量受工程进度计划及其他因素制约，调配结果与分区数量约成对数分布，分区数量增大到一定数值时，调配结果趋于稳定。

### 3 结语

1) 本文以线性规划理论为基础，结合舟山某工程建立相应的土石方调配优化模型，该优化模型充分考虑了料场情况、受料区情况、施工区域道路、施工进度计划等因素对实际工程的影响。使用该优化模型进行运算，减少了大量的人工计算量，较好地解决本工程的土石方调配问题。

2) 应用土石方调配优化模型，考虑了松散系数、平均运价、运输单价差值比、分区数量等敏感性因素对土石方调配结果的影响。

3) 土石方优化调配时不能一律将总费用最小作为目标函数，而应综合考虑施工组织设计及其实施过程的影响。事实上，对调配结果有显著影响的松散系数、平均运价、分区数量等参数都是受工程实际情况所制约。因此，只有充分考虑工程的实际情况，确定合理的目标函数和模型参数的取值，才能得到较好的调配结果。

### 参考文献：

- [1] 张超然, 戴会超. 三峡水利枢纽工程建设概况和若干关键技术问题[J]. 水力发电, 1998(1): 18-21.
- [2] 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(2): 137-144.
- [3] 朱洪成, 朱昌坦. 公路工程土石方调配模型研究[J]. 筑路机械与施工工机械化, 2004(3): 54-56.

( 本文编辑 武亚庆 )

## · 消 息 ·

### 南通“一门式”服务加快船型标准化

日前，江苏省南通市船型标准化活动中拆解报废船舶总数突破200艘。

自从船型标准化工作开展以来，南通市船型办启动了长江干线船型标准化工作，制定了《南通市长江干线船型标准化工作指南》、《南通市长江干线船型标准化老旧船舶拆解现场监管工作管理办法》等一系列管理制度，规范船舶的拆改及补贴资金管理工作。

此外，南通市船型办开辟了船型标准化工作“绿色通道”，推行受理、审核、审批“一门式”服务制度和限时服务制度，提高办理船舶拆改报批手续的效率。同时，船型办与财政部门实行联合审批办公合作机制，缩短了资金发放时间。

摘自《中国交通报》