

文章编号:1671-8844(2006) 05-019-03

堤防工程土石方调配优化模型与应用

於永和¹, 曹生荣²

(1. 广西工学院, 广西 柳州 545006; 2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要:通过对堤防工程土石方施工中土石方调运系统的分析, 找到了该系统的问题所在与求解方法, 建立了堤防工程土石方优化调配的坐标体系、最优化调配模型. 坐标体系以堤防中心线为坐标轴, 堤防的一端为原点, 堤防上任意一点的坐标为该点的桩号减去原点的桩号. 模型考虑了开挖、填筑、采土、弃土等要素, 产生理论上的最优土石方调配方案, 且模型结构简单, 计算方便.

关键词:堤防工程; 土石方; 调配; 优化模型

中图分类号:TV 511 **文献标志码:**A

Opti mal model of earth stone work allocation in embankment engi neering construction and its application

YU Yonghe¹, CAO Shengrong²

(1. Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China; 2. State Key Laboratory
of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract : According to the analysis of earth stone work allocation problem in the construction of embankment engineering, the characteristic and objective of the system are summarized. The coordinate system and the opti mal model for the problem are established. The coordinate system regards one end-point of the embankment as the origin and the central line of embankment as coordinate axis. The coordinate value of any point of embankment is the difference between the stake number of this point and the origin. Works of excavating, filling, discarding, and mining of earth and rock are take into account in the model. The model can produce the opti mal allocation scheme; and it's simple and easy use.

Key words : embankment engineering; earth stone work; allocation; opti mal model

堤防工程的施工过程中, 存在大量土方工程和石方工程的开挖、填筑、密实和调运, 土石方工程占据了工程成本的大部分^[1]. 为此, 广大施工技术人员和有关研究人员在堤防土石方工程量的计算、施工组织优化、施工技术方面展开了一系列的研究工作^[2~4].

然而, 有关堤防工程的土石方优化调运的研究成果不多见, 工程实践中多是通过施工经验进行调配, 效果与效率都有待提高. 与之类似的水电工程、

道路工程方面有较多的研究成果^[5,6]. 堤防工程的土石方调配问题与这些工程有类似之处, 又有自身的特点. 本文从堤防工程设计与施工的实际出发, 建立了堤防工程优化调配的坐标体系、优化调配模型, 本模型产生理论上的最优解, 可供堤防工程设计施工时使用或参考.

1 堤防工程土石方调配分析

在堤防工程的施工过程中, 普遍存在土方、石

收稿日期:2006-08-12

作者简介:於永和(1968-), 男, 广西灌阳人, 高级工程师, 博士, 从事土木工程施工与管理的研究.

基金项目:广西自然科学基金项目资助(桂科自 0481005)

方的开挖、填筑、密实和调运工作.理想情况是将开挖的土石方就近调运至填筑点,以减少调运费用、增加土石方的利用率.如图 1 所示.

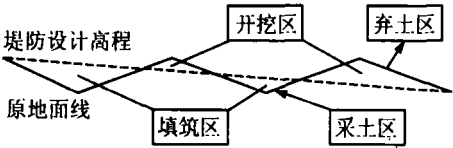


图 1 堤防土石方开挖、填筑示意图

图 1 中的采土区是指当开挖的土石方不能满足填筑区数量要求时开挖土石方的场所.弃土区是指当开挖的土石方超过填筑区数量要求时堆弃土石方的场所.

显然这是一个线性规划问题(运输问题):有多个提供土石方的位置(开挖区),有多个需要土石方的位置(填筑区),合理调运的目的在于使整个堤防工程土石方调运的费用最小,即运量 \times 运距的总和最小.当工程跨度较大或开挖、填筑分布区域较复杂时,通过简单的人工规划很难达到满意的效果,需要借助优化理论寻求理论上的最优解.考虑到该问题是一个线性规划问题,下文建立堤防工程土石方调运的线性规划模型.

2 堤防工程土石方调配最优化模型

在一般情况下,堤防工程的土石方调运都是通过沿堤防的公路或堤防工程区内的简易公路运输.在大型的堤防工程中,通常将左右岸作为不同的标段考虑,如长江重要堤防隐蔽工程.所以,本模型暂不考虑跨河运输的情况,对于存在跨河运输的工程,只需要在本模型的基础上对运距做相应处理即可.

为了便于模型的描述,本文建立如下的坐标体系:设定堤防中心线为坐标轴,堤防的一端为原点,堤防上任意一点的坐标为该点的桩号减去原点的桩号.如图 2 所示.

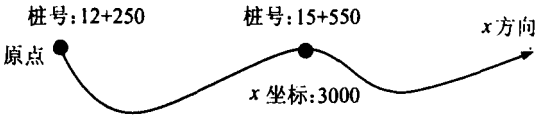


图 2 坐标体系示意图

(1) 系统元素编号

- 开挖区编号 $i = 1, 2, \dots, I$;
- 填筑区编号 $j = 1, 2, \dots, J$;
- 采土区编号 $k = 1, 2, \dots, K$;

弃土区编号 $l = 1, 2, \dots, L$.

(2) 已知变量

当堤防的设计方案确定以后,以下变量是已知的:

- $Q_{kw}(i)$, 第 i 个开挖区的开挖量;
- $x(i)$, 第 i 个开挖区的中心位置,即在上述坐标系中的坐标(下同);
- $Q_{tz}(j)$, 第 j 个填筑区的填筑量;
- $x(j)$, 第 j 个填筑区的中心位置;
- $Q_{ct}(k)$, 第 k 个采土区的储量;
- $x(k)$, 第 k 个采土区的中心位置;
- $Q_{qt}(l)$, 第 l 个弃土区的容量;
- $x(l)$, 第 l 个弃土区的中心位置.

(3) 决策变量

决策变量为从各开挖区和采土区调运到各填筑区和弃土区的土石方数量:

$P(m, n) : m = 1, 2, \dots, I, I + 1, \dots, I + K, n = 1, 2, \dots, J, J + 1, \dots, J + L$.

(4) 目标函数

目标函数追求整个工程土石方调运的总费用最低,即:

$$\min F = \sum_{m=1}^{I+K} \sum_{n=1}^{J+L} P(m, n) |x(m) - x(n)|$$
$$m = 1, 2, \dots, I, I + 1, \dots, I + K$$
$$n = 1, 2, \dots, J, J + 1, \dots, J + L$$

(5) 约束条件

开挖区开挖量约束: $\sum_{n=1}^{J+L} P(m, n) = Q_{kw}(i), i = 1, 2, \dots, I$, 即从某一开挖区开挖的土石方量等于调运到各填筑区和弃土区的土石方数量总和.

填筑区填筑量约束: $\sum_{m=1}^{I+K} P(m, n) = Q_{tz}(j), j = 1, 2, \dots, J$, 即从所有开挖区和采土区调运的土石方数量总和等于该填筑区的填筑土石方数量.

采土区采土量约束: $\sum_{n=1}^{J+L} P(m, n) \leq Q_{ct}(k), k = 1, 2, \dots, K$, 即从某一采土区调运到各填筑区的土石方数量总和小于等于该采土区的储量.

弃土区弃土量约束: $\sum_{m=1}^{I+K} P(m, n) \leq Q_{qt}(l), l = 1, 2, \dots, L$, 即从所有开挖区调运的土石方数量总和小于等于该弃土区的容量.

非负约束: $P(m, n) \geq 0, m = 1, 2, \dots, I, I + 1, \dots, I + K, n = 1, 2, \dots, J, J + 1, \dots, J + L$.

3 模型的求解

至此,建立了堤防工程土石方调配的最优化模型.该模型从理论上保证了所产生的解是费用最小的土石方调运方案.该模型为常规的线性规划模型,模型求解的复杂程度取决于问题的规模.

当问题规模较小,即系统元素数量较少时,可以采用表上作业法或者一些求解软件求解,如 MATLAB、EXCEL 的规划求解器等.当问题规模较大时,可以考虑采用常规的单纯型法求解.当问题达到一定规模,单纯型法求解效率不能满足工程实际要求时,可以考虑采用内点法、Wolf 法等其他方法求解模型.如果需要频繁地求解类似问题,可以考虑开发堤防工程土石方调配管理系统,除满足土石方调配要求外,还可进行其他关联功能的开发^[7].

4 工程实例

基于上述模型,经整理后的某堤防施工规划中的土石方工程量如表 1 所示.该工程有 3 个开挖区、2 个填筑区、1 个采土区、1 个弃土区.表 1 中“数量”一列对于开挖区、填筑区、采土区、弃土区分别指相应的开挖量、填筑量、储量、容量.

表 1 某堤防工程基本数据

场所	数量/万 m ³	位置/k m
开挖区 1	20	20
开挖区 2	42	33.6
开挖区 3	12	50
填筑区 1	23.5	25
填筑区 2	35	40.7
采土区	18	120
弃土区	20	10

基于本文所建立的模型和工程实例的数据,建立该堤防工程的土石方调运线性规划模型,并通过单纯型法求解.求解结论如表 2 所示.

从表 2 的求解结论可以看出,开挖区所开挖的土石方已经能够满足填筑区填筑的要求,无需再开发新的弃土区.弃土区的弃土量为 15.5 万 m³,而设计的弃土区为 20 万 m³,在勘测设计阶段可适当降低其规模,以减少费用.同时,表 2 所提供的是本

工程的最优化土石方调运方案,按照这个方案进行调运可使这部分施工费用最小化.

表 2 求解结论

调运起点	调运终点	数量/万 m ³	距离/k m
开挖区 3	填筑区 2	12	9.3
开挖区 2	填筑区 2	23	7.1
开挖区 2	填筑区 1	19	8.6
开挖区 1	填筑区 1	4.5	5
开挖区 1	弃土区	15.5	10

5 结 语

本文从堤防工程土石方调配问题的实际出发,根据堤防工程设计与施工的需要,通过对土石方调配问题的分析,建立了坐标体系和堤防工程土石方调配优化模型.该模型考虑了开挖区、填筑区、采土区、弃土区等相关因素,追求堤防工程中土石方调配费用的最小化.模型为一线性规划模型,模型的建立和求解都不是很复杂,可在堤防工程、道路工程等类型的土石方调配中广泛应用.模型的使用产生理论上的施工费用最小的土石方调配方案,可以为施工组织设计与施工管理提供决策参考依据.

参考文献:

[1] 刘 宁.堤防加固工程施工技术条件与招标导引[M].北京:中国水利水电出版社,2002.

[2] 李雪松,袁 民.用 Microstation Basic 开发的堤防工程量计算插件[J].人民长江,2003,(4):436-442.

[3] 赵坤云,廖鸿志.长江中下游堤防及护岸工程[J].水利水电快报,2001,(10):436-442.

[4] 赵世来,李遵栋,刘洪才.黄河堤防工程土方施工中应注意的几个问题[J].人民黄河,2000,(7):436-442.

[5] 曹生荣,王先甲,申明亮.大型水电工程土石方调配系统分析及其优化调配模型[J].中国工程科学,2003,(7):72-76.

[6] Moreb, Ahmad A. Linear programming model for finding optimal roadway grades that minimize earth-work cost [J]. European Journal of Operational Research, Aug 23, 1996:148-154.

[7] 曹生荣,申明亮,王先甲.通用土石方调配管理系统的研究与实现技术[J].武汉大学学报(工学版),2003,(12):13-17.