

# 机场多种土的方格土方计算及土方最优调配

李光元

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘要:**针对机场土方工程的现状,考虑了机场中不同土沿水平和竖向分布时,土方量的计算方法;并改变以往以调运量为目标的土方调运方法,以工期或土方工程的造价为目标,建立了不同土混合调运的数学模型,提出了求解方法。

**关键词:**机场;土方工程;线性规划

**中图分类号:**V351.11   **文献标识码:**A   **文章编号:**1009-3516(2001)05-0011-03

机场土方一般采用平均工作标高法进行方格土方计算,以往的机场方格土方计算中,对飞行场土质的平面分布和竖向分布未作分析。在实际工程中,飞行场土质经常是多种多样的,尤其沿竖向变化是较常见的,在这种情况下土方工程量受不同土质的影响较大。由于不同土的定额造价不同,因而只有把不同土质区分开来,才能正确地确定工程造价,从而以造价为目标进行土方优化调运。此外,施工机械在不同土质条件下,施工能力不同,对工期也会产生影响。

## 1 不同土质分布的简化

### 1.1 土质平面分布的处理方法

一般情况下,不同土沿平面分布是不规则的。但是,在作土方计算时,可以把土方的平面分布规则化。即把土的平面分布同坐标方格统一起来,给每一个方格标上土的分类号。如果一个方格中沿平面方向有多种土,可按占方格面积最大的土编号。

### 1.2 土质沿竖向分布的处理方法

在机场工程中,一般挖方深度在数米到十几米,沿竖向分布的土质种类一般在三种以内,可以设上面两层土的厚度为 $H_\alpha, H_\beta$ ,以下都视作一种土。即使沿竖向分布的土质种类超过三种,往往在实际挖方范围内,第四、五层的面积很小,没有必要单独考虑。这样可以在每一个方格上标上三个厚度值 $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma$ ,分别表示面层为 $\alpha$ 类土;中层为 $\beta$ 类土;下层为 $\gamma$ 类土。

## 2 方格土方计算

飞行场中各方格点的计算工作标高是指需要填挖的高度,可以表示为 $v_k = h_k - z_k (k = 1, \dots, N)$ 。当 $v_k < 0$ 时是挖方,当 $v_k > 0$ 时是填方。其中 $z_k$ 表示 $k$ 点的天然标高, $h_k$ 表示 $k$ 点的设计表面标高, $N$ 是场区方格点总数。

在挖方区,根据计算工作标高可以确定应开挖到的土层,根据开挖到土层的性质确定预留量;在填方区压实量按除去腐植土以后的面层土的性质求解。压实量和预留量公式形式相同, $u_k = d \times (K \times r_{dk} - r_k) \div r_k$ 。其中 $r_{dk}$ 是最大干容重, $r_k$ 是天然容重, $K$ 是压实度, $d$ 是压路机有效压实深度。

这样可以求得每一个方格点的实际工作标高为 $v_k = h_k - z_k + u_k (k = 1, \dots, N)$ 。当 $v_k < 0$ 时是挖方,当 $v_k > 0$ 时是填方。

根据每一个方格点的四个工作标高值与  $H_a, H_b, H_c$  的关系, 可以求得每一个方格中各类土的土方量。在每一个方格中有 3 个挖方量和 1 个填方量值。

### 3 土方最优调配

#### 3.1 基于经济目标的土方最优调配

##### 3.1.1 目标函数

当以工程造价为目标时, 目标函数要考虑各个工序的费用。设有以下变量:

$x(i, j, k)$  表示从  $i$  方格到  $j$  方格的第  $k$  种土的工程量;  $p(i, j, k)$  表示从  $i$  方格到  $j$  方格的操作权, 包括挖、压、运三个步骤;  $w_f(k, m_1)$  表示用  $m_1$  种机械挖  $k$  种土的单位费用;  $y_f(i, j, m_2)$  表示用  $m_2$  机械运  $k$  种土的单位费用;  $y_f(k, m_3)$  表示用  $m_3$  机械压  $k$  种土的单位费用。

设借土区  $l$  个位于  $(x_l, y_l)$ , 每个借土区可借土方  $q(i, k)$ ; 设弃土区  $q$  个位于  $(x_q, y_q)$ , 每个弃土区可弃土方  $c(i, k)$ ;  $xl(i, j, k)$  是从第  $i$  个借土区到第  $j$  个方格的  $k$  种土方量;  $xq(i, j, k)$  是从第  $i$  个方格到  $j$  个弃土区的  $k$  种土方量;  $Tnum, Wnum$  表示填方区方格数和挖方区方格数;  $Snum$  场区土种类数。

方格土方运距为  $L_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ ; 借土运距为  $LJ_{ij} = \sqrt{(x_l - x_j)^2 + (y_l - y_j)^2}$ ;

弃土运距为  $LQ_{ij} = \sqrt{(x_q - x_j)^2 + (y_q - y_j)^2}$ 。

把换土计入借土和弃土中, 目标函数即土方总造价是:

$$Z_t = \sum_{j=1}^{Tnum} \sum_{i=1}^{Wnum} \sum_{k=1}^{Snum} p(i, j, k) \times x(i, j, k) + \sum_{j=1}^{Tnum} \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^{Snum} pl(i, j, k) \times xl(i, j, k) + \sum_{i=1}^{Wnum} \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^{Snum} pq(i, j, k) \times xq(i, j, k) \quad (1)$$

中, 第一项是场区内工作量造价, 第二项是借土工作量造价, 第三项是弃土工作量造价。如果选取  $x, xl, xq$  为变量, 则目标函数是一个线性函数。上式中有

$$p(i, j, k) = w_f(k, m_1) + y_f(i, j, m_2) \times L_{ij} + y_f(k, m_3); \quad pl(i, j, k) = w_f(k, m_1) + y_f(i, j, m_2) \times LJ_{ij} + y_f(k, m_3);$$

$$pq(i, j, k) = w_f(k, m_1) + y_f(i, j, m_2) \times LQ_{ij} + y_f(k, m_3)。$$

##### 3.1.2 约束条件

$$1) \text{ 所有填入方格 } j \text{ 的土应为 } t(j)。 \sum_{i=1}^{Wnum} \sum_{k=1}^{Snum} x(i, j, k) \times a(k) + \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^{Snum} xl(i, j, k) \times a(k) = t(j)$$

$$2) \text{ 所有从方格 } i \text{ 挖出的土应为 } w(i, k)。 \sum_{j=1}^{Tnum} x(i, j, k) + \sum_{j=1}^q xq(i, j, k) = w(i, k)$$

$$3) \text{ 所有从借土区 } i \text{ 借出的土应小于或等于 } q(i, k)。 \sum_{j=1}^{Tnum} xl(i, j, k) \leq q(i, k)$$

$$4) \text{ 所有填入弃土区 } j \text{ 的土应小于或等于 } c(j, k)。 \sum_{i=1}^{Wnum} xq(i, j, k) \leq c(j, k)$$

其中  $a(k)$  表示  $k$  类土单位体积可以压缩成  $a(k)$ ,  $t(j)$  表示  $j$  区填方量。

#### 3.2 基于工期目标的土方调配

有时工期是工程的一个重要目标。可以采用相似原理建立数学模型。

##### 3.2.1 目标函数

设有以下变量:  $p(i, j, k)$  表示从  $i$  方格到  $j$  方格的操作权, 包括挖、压、运三个步骤;  $w_t(k, m_1)$  表示用  $m_1$  种机械挖  $k$  种土的单位时间;  $y_t(i, j, m_2)$  表示用  $m_2$  机械运  $k$  种土的单位时间;  $y_t(k, m_3)$  表示用  $m_3$  机械压  $k$  种土的单位时间; 其余变量的含义与 3.1.1 含义相同; 把换土计入借土和弃土中, 目标函数即土方工程总施工时间是

$$Z_t = \sum_{j=1}^{Tnum} \sum_{i=1}^{Wnum} \sum_{k=1}^{Snum} p(i, j, k) \times x(i, j, k) + \sum_{j=1}^{Tnum} \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^{Snum} pl(i, j, k) \times xl(i, j, k) + \sum_{i=1}^{Wnum} \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^{Snum} pq(i, j, k) \times xq(i, j, k)$$

式中第一项是场区内工作量施工时间, 第二项是借土工作量施工时间, 第三项是弃土工作量施工时间。如果选取  $x, xl, xq$  为变量, 则目标函数是一个线性函数。上式中有

$$p(i, j, k) = w_t(k, m_1) + y_t(i, j, m_2) \times L_{ij} + y_t(k, m_3); \quad pl(i, j, k) = w_t(k, m_1) + y_t(i, j, m_2) \times LJ_{ij} + y_t(k, m_3)$$

$$pq(i, j, k) = w_t(k, m_1) + y_t(i, j, m_2) \times LQ_{ij} + y_t(k, m_3)$$

##### 3.2.2 约束条件

约束条件与 3.1.2 公式相同。

### 3.3 求解方法

分析表明,以上数学模型均是标准的大规模线性规划问题。采用二阶段单纯形法编制了程序,可以实现最优化土方调运。

## 4 算例

由于机场面积大、数据多,本文仅以一组简单数据来说明。机场土方经过方格内部平衡后结果见表 1,其中 3 种土的可压缩系数是 1.2, 1.1, 1.0。

表 1, 表 2 中填方区 B1、B2、B3 的填方量依次为 800 m<sup>3</sup>、600 m<sup>3</sup>、500 m<sup>3</sup>。括号中数值为原状土体积。采用反铲挖掘机挖土, 10 t 压路机压实, 自卸汽车运输。权值是单位造价。通过计算, 其结果见表 2。

表 1 场区土方表

	B1/元	B2/元	B3/元	挖方量/m <sup>3</sup>
挖方区 A1	8.0	9.0	10	500(600)
挖方区 A2	9.0	7.0	9.0	500(550)
挖方区 A3	8.5	11	7.0	500(600)
挖方区 A4	9.5	10	7.0	400(400)

表 2 土方调运结果

	B1	B2	B3	挖方量/m <sup>3</sup>
挖方区 A1	400	100		500(600)
挖方区 A2		500		500(550)
挖方区 A3	400		100	500(600)
挖方区 A4			400	400(400)

## 5 结论

通过以上分析和运算, 可以有如下结论: 1) 以上分析可以处理不同土的土方量计算问题; 2) 可以处理不同土的混合调运问题; 3) 分别以工期和经济目标进行最优调运, 改变过去以工程量为调运目标的方法。

### 参考文献:

- [1] 机场, 国际民用航空公约附件十四[S]. 国际民用航空组织.
- [2] 杨冰. 最优化计算方法及计算机程序[M]. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社. 1993.
- [3] Jaywardane A K W, Price A D F. A new approach for optimizing earth moving operation (part one)[J]. Transport, 1994, (4): 260 - 271.
- [4] Jaywardane A K W, Price A D F. A new approach for optimizing earth moving operation (part two)[J]. Transport, 1994, (4): 271 - 283.
- [5] Smith S D, Osborne J R, Forde M C. Productivity estimation in baker - acter/dump - truck earthmoving operation [J]. Transport, 1995, (2): 125 - 131.

## On the Calculation of Grid Earthwork and the Optimal Allocation of Earthwork in Accordance with Different Earths in Airfield

LI Guang - yuan

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038 China)

**Abstract.** In view of the earthwork in airfields, the author takes into consideration the calculation method for cubic meter of earth when different earths are dispersed horizontally and perpendicularly. In this paper, the former volume - oriented earth allocation and transportation method is changed, a mathematical model for the allocation and transportation of different earths is established, and finally a solution is advanced.

**Key words.** airfield; earthwork; linear planning.