

## 【工程勘测设计】

# 基于 LINGO 线性规划的土方调配设计

郑文魁<sup>1</sup> 巫昌斌<sup>1</sup> 刘德辉<sup>2</sup>

(1. 中国安能集团第二工程局有限公司 厦门分公司 福建 厦门 361021;

2. 中国人民解放军四川省广安市岳池县人民武装部 四川 广安 638300)

**摘 要:** 土方调配设计常采用线性规划方法,以达到缩短工期和降低成本的目的。当挖填区数量较多时,利用 LINGO 线性规划软件进行土方调配设计,操作简单,结果准确。以某大型土方场平工程为例,介绍了基于 LINGO 线性规划软件的土方调配设计方法,其应用情况良好,有效缩短了工期,降低了成本,取得显著效果。LINGO 是交互式的线性规划和通用优化求解器,可用于求解线性规划及非线性规划问题,其功能强大,代码简单,操作方便,值得推广应用。

**关键词:** 场平工程;土方调配;线性规划;LINGO

中图分类号: TV541 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1000-1379.2020.S2.057

线性规划是运筹学中研究较早、发展较快、应用广泛、方法较成熟的一个重要分支,其可辅助人们合理安排资源,在一定条件下使项目的经济效果最好。一般地,把求线性目标函数在线性约束条件下的最大值或最小值问题,统称为线性规划问题。对于大型场平工程,可采用线性规划方法进行土方调配设计,确定施工区域内挖填区土方的调配方向和数量,以达到缩短工期、降低成本的目的<sup>[1]</sup>。本文以某大型土方场平工程为例,介绍基于 LINGO 线性规划软件的土方调配设计的原理及方法,该方法既避免了烦琐的求解过程,又保证了求解的准确性和可靠性。

## 1 工程概况

某场平项目位于江西省抚州市,场平面积 313 338.3 m<sup>2</sup>,项目区有山丘、水库、农田,山坡地表生长有乔木、灌木、杂草,原始地面高程 38~61 m,坡度为 3%~5%,场地平整后高程为 44.0~49.6 m。如图 1 所示,一区挖方主要用于该区域内回填,剩余土方用于填筑二区和三区,所有表面清理的渣料堆置于 1#弃渣场及 2#弃渣场。综合考虑场内土方平衡,经计算,场平工程主要工程量为:弃渣倒运 90 845.1 m<sup>3</sup>,土方开挖 455 119.8 m<sup>3</sup>,土方填筑 449 609.1 m<sup>3</sup>。

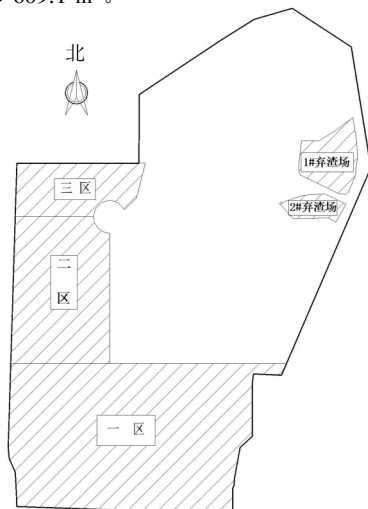


图 1 场平区域示意

## 2 土方调配设计

### 2.1 土方调配数学模型<sup>[2]</sup>

设土方工程划分为  $m$  个挖方区  $W_1, W_2, \dots, W_m$ , 其相应的挖方量为  $a_1, a_2, \dots, a_m$ ; 有  $n$  个填方区  $T_1, T_2, \dots, T_n$ , 其相应填方量为  $b_1, b_2, \dots, b_n$ ; 用  $x_{ij}$  表示由挖方区  $i$  到填方区  $j$  的土方调配数。由土方挖填平衡可知,  $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ 。从  $W_i$  到  $T_j$  的价格系数(这里指平均运距)为  $c_{ij}$ , 一般地,从  $W_i$  到  $T_j$  的价格系数为  $c_{ij}$ 。于是,土方调配问题可以用数学模型来表达,求一组  $x_{ij}$  的值,使如下目标函数值最小:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

约束条件为

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ x_{ij} &\geq 0 \end{aligned}$$

根据约束条件和上述公式,可以得出未知量有  $m \times n$  个,独立方程有  $m+n-1$  个,故该方程有无穷多组解,其中使目标函数值  $Z$  值为最小的一组解即为所求解。

### 2.2 土方调配设计方法及步骤

根据工程特点,将场平区域划分为 18 个工作区(见图 2)。其中:挖填区 11 个,编号分别为 1-1、4-1、1-2、2-2、3-2、1-3、2-3、3-3、5、7、10;挖方区 2 个,编号分别为 2-1、3-1;主挖方区 1 个,编号为 4-2;主填方区 4 个,编号分别为 4-3、6、8、9。另外,设置弃渣场 2 个,编号分别为 11、12。根据土方平衡计算结果,各工作区工程量见表 1。

采用线性规划方法进行求解,基于实际运输里程及挖填工程量分别建立价格系数矩阵  $C$ 、挖方量矩阵  $A$ 、填方量矩阵  $B$ ,

收稿日期: 2020-08-20

作者简介: 郑文魁(1982—),男,江西金溪人,高级工程师,主要从事工程项目管理工作

E-mail: wenki2004@yeah.net

通过 LINGO 软件编程<sup>[3-5]</sup>, 进行线性规划求解, 求得使目标函数  $Z$  值最小的最优解, 见表 2。

### 2.3 实施效果

在充分利用既有施工便道的基础上, 综合考虑实际运距对价格系数矩阵  $C$  进行设计, 较传统土方调配设计中采用形心之间直线距离进行土方调配设计结果更为准确。基于土方调配优化计算结果, 编制场平项目实施性施工组织, 于 2014 年 9 月开始施工, 原计划工期 125 d、施工预算成本 923 万元, 按照优化规划方案进行施工组织设计, 实际施工工期 106 d, 平均挖填强度为  $5\,360\text{ m}^3/\text{d}$ , 高峰期强度为  $6\,430\text{ m}^3/\text{d}$ , 投入挖、装、运、推、碾设备共计 23 台套, 现场管理人员 5 人, 作业人员 54 人, 实际施工成本 685 万元, 有效缩短了工期, 降低了成本, 取得显著效果。

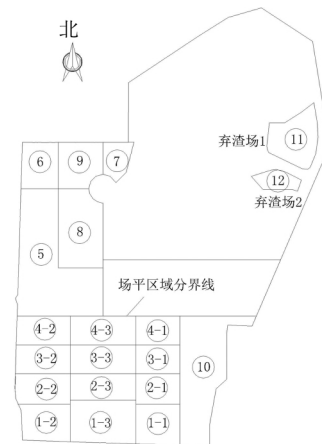


图 2 场平工作区划分

表 1 各工作区工程量

编号	挖方/ $\text{m}^3$	填方/ $\text{m}^3$	高程/ $\text{m}$	面积/ $\text{m}^2$	调配数量/ $\text{m}^3$		弃渣/ $\text{m}^3$
					调出	调入	
1-1	30 042.30	7 601.30	44.000	12 594.0	22 441.0		3 778.2
2-1	76 103.70	0.00	45.500	9 518.0	76 103.7		2 855.4
3-1	56 973.80	0.00	47.000	8 935.2	56 973.8		2 680.6
4-1	23 370.80	1 024.30	48.500	9 053.7	22 346.5		2 716.1
1-2	13 895.3	26 667.0	44.000	12 706.9		12 771.7	3 812.1
2-2	6 127.30	12 461.70	45.500	11 918.5		6 334.4	3 575.6
3-2	6 749.60	5 631.30	47.000	11 144.9	1 118.3		3 343.5
4-2	8 962.70	986.70	48.500	11 096.1	7 976.0		3 328.8
1-3	32 275.90	30 544.40	44.000	20 040.1	1 731.5		6012.0
2-3	16 308.40	23 629.90	45.500	12 274.0		7 321.5	3 682.2
3-3	7 986.00	25 128.40	47.000	13 400.1		17 142.4	4 020.0
4-3	1 661.10	43 735.30	48.500	13 577.9		42 074.2	4 073.4
5	82 089.7	28 502.4	47.000	50 813.3	53 587.3		15 244.0
6	450.7	27 045.9	45.500	12 040.5		26 595.2	3 612.2
7	8 473.0	9 710.4	45.500	6 603.9		1 237.4	1 981.2
8	694.6	87 010.1	47.000	24 094.2		86 315.5	7 228.3
9	6.8	7 3871.1	45.500	13 609.2		73 864.3	4 082.8
10	82 948.1	46 058.9	49.600	38 875.2	36 889.2		11 662.6
11			47.000	15 841.4			2 376.2
12			47.000	5 201.2			780.2
合计	455 119.8	449 609.1		313 338.3	279 167.3	273 656.6	90 845.1

表 2 各工作区土方调配量

工作区	土方调配量																		$\text{m}^3$
	1-1	2-1	3-1	4-1	1-2	2-2	3-2	4-2	1-3	2-3	3-3	4-3	5	6	7	8	9	10	
1-1	7 601								22 076										
2-1						6 409					25 128	40 777	2 868						
3-1																27 885	28 399		
4-1				1 024									22 064						
1-2					13 727														
2-2						6 053													
3-2							5 631	987										50	
4-2													3 570		1 340	3 944	0		
1-3					12 940				8 468	10 477									
2-3										13 153		2 958							
3-3																		7 889	
4-3																		1 641	
5														26 601		54 495			
6														445					
7															8 370				
8																686			
9																			
10																		35 885	46 059

$$C = \begin{bmatrix} 48 & 164 & 289 & 319 & 360 & 376 & 404 & 466 & 198 & 252 & 288 & 364 & 584 & 893 & 923 & 699 & 857 & 586 \\ 207 & 0 & 79 & 260 & 345 & 252 & 327 & 404 & 278 & 253 & 229 & 306 & 521 & 834 & 866 & 645 & 779 & 547 \\ 296 & 79 & 0 & 170 & 513 & 425 & 434 & 486 & 357 & 268 & 170 & 220 & 416 & 741 & 745 & 458 & 633 & 227 \\ 452 & 75 & 346 & 63 & 640 & 565 & 484 & 334 & 440 & 360 & 263 & 172 & 359 & 628 & 674 & 448 & 629 & 175 \\ 417 & 414 & 493 & 531 & 58 & 89 & 195 & 252 & 204 & 179 & 273 & 359 & 498 & 796 & 864 & 617 & 774 & 595 \\ 378 & 306 & 322 & 399 & 112 & 54 & 84 & 159 & 177 & 121 & 190 & 251 & 426 & 676 & 735 & 517 & 685 & 570 \\ 462 & 423 & 341 & 398 & 193 & 131 & 70 & 108 & 273 & 199 & 214 & 208 & 446 & 642 & 667 & 437 & 595 & 595 \\ 529 & 507 & 430 & 294 & 269 & 194 & 115 & 68 & 347 & 244 & 191 & 166 & 278 & 566 & 581 & 353 & 529 & 510 \\ 97 & 133 & 207 & 283 & 174 & 215 & 252 & 315 & 86 & 120 & 172 & 243 & 536 & 828 & 875 & 620 & 790 & 575 \\ 151 & 97 & 127 & 187 & 217 & 155 & 203 & 247 & 130 & 86 & 104 & 168 & 518 & 778 & 709 & 487 & 671 & 308 \\ 218 & 136 & 85 & 118 & 282 & 223 & 212 & 172 & 196 & 124 & 85 & 99 & 387 & 641 & 623 & 402 & 557 & 249 \\ 252 & 156 & 84 & 52 & 394 & 286 & 213 & 175 & 244 & 161 & 110 & 85 & 275 & 564 & 578 & 340 & 506 & 241 \\ 580 & 492 & 390 & 280 & 427 & 398 & 283 & 164 & 405 & 318 & 283 & 206 & 142 & 309 & 473 & 153 & 358 & 553 \\ 839 & 736 & 665 & 552 & 799 & 737 & 667 & 516 & 766 & 678 & 625 & 497 & 300 & 45 & 276 & 208 & 145 & 814 \\ 896 & 775 & 714 & 555 & 790 & 696 & 609 & 531 & 790 & 706 & 650 & 520 & 327 & 204 & 46 & 206 & 101 & 718 \\ 580 & 490 & 420 & 288 & 482 & 370 & 300 & 216 & 465 & 375 & 335 & 218 & 228 & 275 & 363 & 94 & 283 & 545 \\ 871 & 736 & 635 & 508 & 736 & 630 & 563 & 480 & 734 & 646 & 638 & 475 & 179 & 105 & 103 & 175 & 0 & 755 \\ 440 & 339 & 169 & 202 & 603 & 497 & 422 & 403 & 493 & 405 & 314 & 316 & 465 & 787 & 801 & 537 & 695 & 110 \end{bmatrix}$$

$$A = [30 \ 042 \ 76 \ 104 \ 56 \ 974 \ 23 \ 371 \ 13 \ 895 \ 6 \ 127 \ 6 \ 750 \ 8 \ 963 \ 32 \ 276 \ 16 \ 308 \ 7 \ 986 \ 1 \ 661 \ 82 \ 090 \ 451 \ 8 \ 473 \ 695 \ 7 \ 82 \ 948]$$

$$B = [7 \ 601 \ 0 \ 1 \ 024 \ 26 \ 667 \ 12 \ 462 \ 5 \ 631 \ 987 \ 30 \ 544 \ 23 \ 630 \ 25 \ 128 \ 43 \ 735 \ 28 \ 502 \ 27 \ 046 \ 9 \ 710 \ 87 \ 010 \ 73 \ 871 \ 46 \ 059]$$

出版社: 2008: 41-59.

### 3 结 语

LINGO 是交互式的线性与通用优化求解器,由 LINDO 公司(Lindo System Inc.)推出,可用于求解线性规划及非线性规划问题,其功能强大,代码简单,操作方便。基于 LINGO 线性规划的土方调配设计,能达到有效缩短工期和降低成本的目的,并能使工程技术人员从复杂的数学计算中解脱出来,值得应用推广。

#### 参考文献:

[1] 杜栋,庞庆华.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学

- [2] 郑文魁,徐胜春.“规划求解”在土方调配计算中的应用[J].水利科技与经济,2006,12(10):678-679.
- [3] LINDO 系统公司.LINGO 使用手册[M].芝加哥: LINDO 系统公司芝加哥事务部,2016:321-325.
- [4] Seo 实验室.LINGO 软件使用教程[EB/OL]. [2019-08-07]. <http://www.seotest.cn/jishu/46791.html>.
- [5] 司守奎,孙玺菁.LINGO 软件及应用[M].北京:国防工业出版社,2017:198-201.

【责任编辑 张智民】

(上接第 140 页)

### 4 结 语

(1) 竣工时,堆石体向上游侧位移为 15.15 cm,向下游侧位移为 21.44 cm,正常蓄水后,上游侧堆石体向上游的位移减小至 4.03 cm,下游侧堆石体向下游的位移增大至 29.04 cm。在施工过程中,堆石体竖直向下位移达 72.94 cm,出现在次堆石区约 3/5 坝高处。运行期堆石体竖直向下位移增至 74.86 cm,与之相应的坝顶最大沉降量达 7.93 cm。堆石体变形情况符合一般百米级面板堆石坝变形规律。

(2) 竣工期及运行期堆石体大主应力极值分别为 2.17 MPa 和 3.13 MPa,运行前后堆石体的主应力值无明显增减。运行期堆石体应力水平较竣工期略有增加,最大值约为 0.65,未出现破坏单元,表明堆石体强度满足要求并有一定的安全富裕,坝体具有良好的稳定性。

(3) 运行期面板挠度最大值为 33.02 cm。运行期面板顺坡向最大压应力值为 3.89 MPa,最大顺坡向拉应力值为 6.78 MPa;沿坝轴线最大压应力值为 4.84 MPa,最大拉应力值为

4.45 MPa。面板拉应力区基本位于上游铺盖范围内。

(4) 竣工期面板垂直缝的变形主要发生在一期面板区域,且数值较小;运行期面板垂直缝的变形区域有所增大,变形量也相应增大。位于河床段的面板间垂直缝多处于压紧状态,而岸坡段的面板间垂直缝多处于张开状态。相比于竣工期,运行期面板与趾板间周边缝的张开量及沿面板法向的错动量明显增大,变形较大区域均位于距坝底 1/3 坝高以下。垂直缝和周边缝变形量基本在工程经验值范围内。

#### 参考文献:

- [1] 王柏乐.中国当代土石坝工程[M].北京:中国水利水电出版社,2004:2-4.
- [2] 郇能惠,王君利,米占宽,等.高混凝土面板堆石坝变形安全内涵及其工程应用[J].岩土工程学报,2012,34(2):192-201.
- [3] 陈育民,徐鼎平.FLAC/FLAC3D 基础与工程实例[M].北京:中国水利出版社,2009:1-3.

【责任编辑 张华岩】