

# 基于线性规划的耕作层土壤剥离利用空间配置方法研究

赵华甫<sup>1,2</sup> 高鹏<sup>1</sup> 范树印<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100035;  
3. 国土资源部土地整治中心, 北京 100035)

**摘要:** 以广西壮族自治区宾阳县为例, 以待剥离土壤空间分布及回覆利用优先级分析为基础, 以村庄为单位划定供需圈, 探讨基于线性规划的耕作层土壤剥离利用空间配置方法。结果表明, 宾阳县理论可剥离耕作层土壤  $2.40 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 整治需求  $1.85 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 耕作层土壤供给远小于需求, 并且在空间上分布不均衡; 依据覆土效益优先的原则, 确定回覆区优先级, 提出剥离耕作层土壤空间配置方案, 即城乡建设用地增减挂钩利用  $5.2352 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、土地开发复垦利用  $1.446637 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、旱改水利用  $3.32738 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、高标准基本农田建设利用  $1.042804 \times 10^6 \text{ m}^3$ ; 利用供需圈及线性规划模型将宾阳县划分为7个供需圈, 剥离土壤按回覆优先级从高到低逐步利用, 加权平均运距为5369 m, 回覆效益良好, 经济成本可接受。以村为单位划定供需圈、线性规划优化土壤剥离利用空间配置的方法, 可以优化利用方式、缩短运输距离, 进而提高效益与效率, 可为其他区域实施耕作层剥离利用工作提供方法借鉴。

**关键词:** 耕地保护; 耕作层土壤; 空间配置; 线性规划; 宾阳县

中图分类号: F301.23; O211.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2018)06-0176-08

## Spatial Configuration Method of Stripping and Reuse in Plow Layer Soil Based on Linear Programming

ZHAO Huafu<sup>1,2</sup> GAO Peng<sup>1</sup> FAN Shuyin<sup>3</sup>

(1. College of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China  
2. Key Laboratory of Land Renovation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China  
3. Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

**Abstract:** The state explicitly fully carried out the work of stripping the plow layer soil of cultivated land under construction, but the current research is rare about plow layer to strip and the soil resource space configure methods and empirical research, which is difficult to support the configure of plow layer soil-stripping and reuse. Based on the analysis of the spatial distribution of stripped soil supply-demand and the priority of replying, the supply-demand circles was delineated by the village, the spatial configure scheme of soil stripping and reuse was optimized by linear programming, and Binyang County, Guangxi Province was chosen as research area. The results showed that the plow layer soil of Binyang theoretical strippable was  $2.40 \times 10^6 \text{ m}^3$ , and the remediation demand was  $1.85 \times 10^7 \text{ m}^3$ . The supply of plow layer soil was far less than the demand and distributed unevenly in space. Based on the principle of priority of covering benefit, the priorities of the reply area were determined, and the allocation plan of the stripping plow layer soil was put forward. According to the plan,  $5.2352 \times 10^4 \text{ m}^3$  soil would be used to urban and rural construction land reallocation projects,  $1.446637 \times 10^6 \text{ m}^3$  soil would be used to land reclamation and development projects,  $3.32738 \times 10^5 \text{ m}^3$  soil would be used to cropping system of the rotation of upland crop and rice projects,  $1.042804 \times 10^6 \text{ m}^3$  soil would be used to high standard basic farmland construction projects. Binyang County was divided into seven supply-demand circles by using the supply-demand circle and linear programming model. The stripped soil was gradually used from high to low according to the priority of replying, the weighted average distance was 5369 m, the recovery benefit was good and the economic cost was acceptable. The village as a unit of supply-demand circles, linear programming optimization of soil-stripping space configure method can optimize the use of ways, and

收稿日期: 2017-12-14 修回日期: 2018-02-01

基金项目: 国土资源部土地整治中心咨询项目(2017-19)和国家重点研发计划项目(2017YFD0800305)

作者简介: 赵华甫(1978—),男,副教授,主要从事土地评价和利用规划研究, E-mail: huafuzhao@163.com

shorten the transport distance, thereby enhancing the benefit and efficiency and providing reference for the implementation of plow layer soil-stripping and reusing in other regions.

**Key words:** cultivated land protection; plow layer soil; spatial allocation; linear programming; Binyang County

## 0 引言

耕作层是耕地的精华,耕作层土壤是农业生产发展的前提条件,是粮食生产的根本保障<sup>[1]</sup>。每形成1cm耕作层土壤大约需要100~400a的时间,在一些地域条件差的地区可能需要的时间更长,是在短期内不可再生的农业生产要素和宝贵资源<sup>[2]</sup>。建设占用耕地耕作层土壤剥离利用是保护土壤资源与土壤基因库的有效手段,能够延续耕地耕作层的土壤肥力,快速提升改良耕地质量,对有效促进耕地质量、数量、生态建设具有重大意义。

耕作层土壤剥离再利用不是一次简单的土方转运,而是耕作层土壤资源在空间上的重新配置。科学的空间配置对优化土壤供需、节约工程成本至关重要,可以有效提高效益或降低成本,实现综合效益最大化。然而,当前多数学者对耕作层剥离利用的关注点集中在政策措施<sup>[3-5]</sup>、工程技术<sup>[6-8]</sup>、模式研究<sup>[9-11]</sup>、成本效益<sup>[12-14]</sup>等方面,对耕作层土壤空间配置相关研究<sup>[15-17]</sup>尚处于起步阶段,存在精度不高、实用性差等局限性,研究落后于社会实践。相关学者研究表明,在耕作层剥离利用工程中,运输费用的支出约占工程总成本的60%~70%<sup>[3,18-21]</sup>,其效益与建设占用耕地耕作层土壤回覆利用类型密切相关<sup>[14,21-22]</sup>。基于此,本文提出基于线性规划的耕作层土壤剥离利用空间配置方法,旨在改进根据耕地耕作层土壤剥离量、回覆区土壤需求量人为平衡的主观性,促进耕作层土壤剥离后的回覆利用方案更加经济、布局更为优化,也为科学、合理地指导耕作层剥离利用工作提供方法借鉴。

## 1 研究区概况及数据处理

### 1.1 研究区概况与数据来源

宾阳县位于广西壮族自治区中部偏南,东经108°32′~109°15′,北纬22°54′~23°37′,地势南高北低,土地总面积为230831hm<sup>2</sup>。其中农用地99320hm<sup>2</sup>,耕地质量等别6~11等,粮食作物播种面积6.8×10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup>。宾阳县东北部主要为平原地区,地势平坦,是主要的建设和农业集中区,而西南部则主要为山区,以林地为主。

本研究所采用数据主要来源于宾阳县土地利用现状(2015年)、2006—2020年土地利用总体规划

(2015年调整)、土地整治规划(2016—2020年)等图件数据以及文本数据。

### 1.2 土壤供需的空间分析

#### 1.2.1 剥离供给土壤空间分析

本文将宾阳县土地利用现状图与土地利用总体规划中有条件建设区相叠加,提取规划期拟建设占用的耕地,确定剥离土壤的空间地理位置。由于广西耕地资源稀缺,为了保护珍贵耕作层土壤资源,坚持应剥尽剥、经济及技术可行性的耕作层剥离原则,对规划内建设占用的适宜耕种的耕作层土壤在符合经济及技术可行的原则下予以全部剥离。参考相关学者研究成果<sup>[5-8,11,23-29]</sup>,结合广西已实施剥离项目实践及宾阳县实际,耕地耕作层土壤剥离区应满足的条件涉及面积、坡度、交通便利情况等。本文将单个地块面积大于667m<sup>2</sup>、离公路或机耕道距离小于2000m以及坡度小于25°界定为剥离区,剥离厚度根据耕地类型不同而不同,其中水田剥离厚度为30cm、旱地剥离厚度为20cm。从空间分布来看(图1和表1),受土地类型结构、地形条件及经济发展等综合影响,宾阳县土壤剥离区域主要分布在县域的中部和东部,如中部的宾州镇、大桥镇、古辣镇和东部的黎塘镇、王灵镇、和吉镇。南部的露圩镇与甘棠镇剥离区域的面积相对较小且分布较为零散;只有零星剥离区域分布在县域西南部的陈平乡和思陇镇。

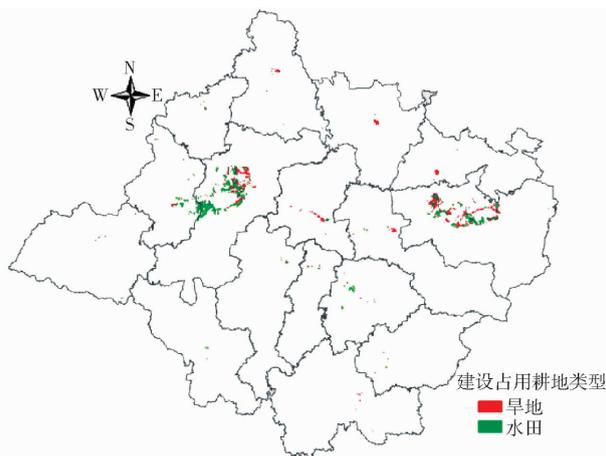


图1 宾阳县剥离耕地类型及空间分布

Fig.1 Stripped cultivated land type and spatial distribution of Binyang County

#### 1.2.2 土壤回覆需求空间分析

覆土区选择是以土地整治规划(2016—2020

年)为底图,在整治规划图中剔除与土地利用总体规划、重点工程建设规划、城市建设规划等相冲突的部分。参考相关学者研究成果<sup>[11,14-17,20,30]</sup>,结合广西已实施剥离利用项目实践及宾阳县实际情况,筛选并删除不满足以下条件的区域:单块地块面积过小且零散分布、离公路或机耕道距离小于2 000 m以及坡度大于25°。根据土地整治类型将回覆区划分为城乡建设用地增减挂钩区、土地开发复垦区、早改水项目区以及高标准基本农田建设区。根据分区不同,确定不同覆土厚度标准。其中城乡建设用地增减挂钩区与土地开发复垦项目区回覆厚度为20 cm、早改水和高标准基本农田建设项目区回覆厚度为8 cm。由图2和表1可知,宾阳县覆土需求主

要分布在县域的中部和东部地区,集中在黎塘镇、洋桥镇、和吉镇、王灵镇、大桥镇、中华镇以及宾州镇;南部的露圩镇、甘棠镇次之;只有少量回覆区需求分布在县域西部的新桥镇、陈平乡和思陇镇。这与剥离区的分布有一定的相似,主要原因是县域东北部地势平坦,土壤质量较好,土地整治规划集中在东北部,对非农用地进行土地开发复垦,高标准基本农田建设,可以提高农地等别和农田连片度,有利于建成集中连片的高标准基本农田<sup>[31]</sup>,方便进行大田生产以及机械化作业,进一步增加作物产量、提升农民收入水平;而西南部为宾阳县的森林保护区,以林地为主,农田分布零散,地块小、坡度大、道路通达度低,此时应优先考虑森林的生态价值,不宜开展大范围整治工作。

表1 宾阳县土壤剥离供给-回覆需求数量分布

Tab.1 Soil stripping supply-demand quantity distribution of Binyang County

m<sup>3</sup>

乡镇名称	宾州镇	陈平乡	大桥镇	甘棠镇	古辣镇	和吉镇	黎塘镇	露圩镇
剥离土方量	1 242 797	12 648	28 596	13 210	121 798	20 130	940 902	15 955
回覆土方量	1 198 016	15 844	2 664 312	406 430	112 446	4 191 635	3 312 500	132 203
乡镇名称	思陇镇	王灵镇	武陵镇	新桥镇	新圩镇	洋桥镇	中华镇	邹圩镇
剥离土方量	19 954	27 684	31 653	377 539	21 184	5 936	31 054	26 249
回覆土方量	72 842	591 185	742 883	42 264	5 713	2 927 085	1 092 487	977 611

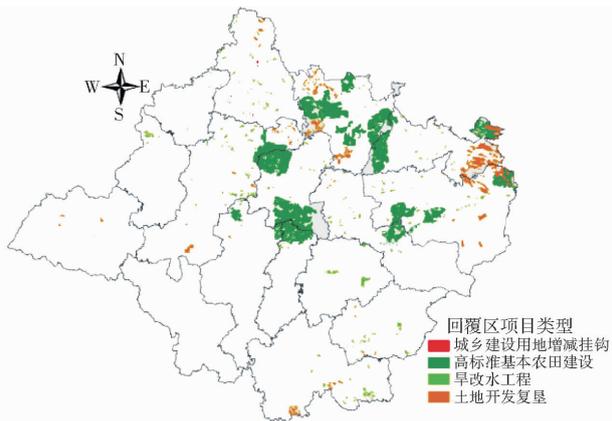


图2 宾阳县回覆类型及空间分布

Fig.2 Reply type and spatial distribution of Binyang County

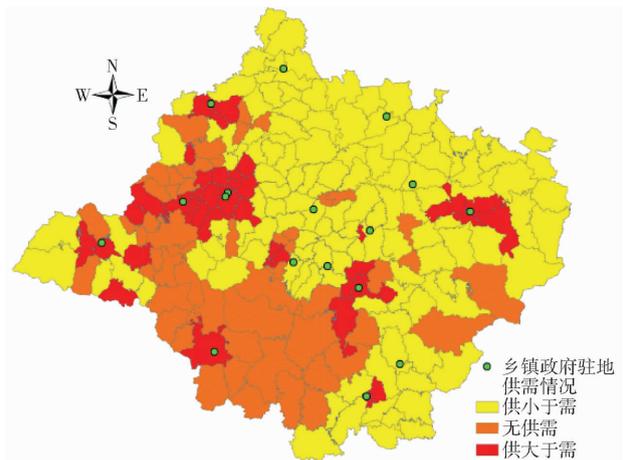


图3 村土壤供需平衡分析

Fig.3 Soil supply-demand balance by village

### 1.2.3 行政村间土壤供需平衡分析

耕作层剥离区和回覆区虽然在空间上具有一定的耦合性,但多数地区的土壤供需在数量上并不平衡。本文以村为单位,统计了村庄耕作层土壤剥离供给与回覆利用需求的情况。从空间分布上来看(图3),土方量供给大于需求的村庄均出现在宾州镇等10个乡镇的周边,宾州镇尤为突出,而其他村庄土方量供给小于需求,土方量供需在空间上错位问题突出。这是由于随着经济的发展,乡镇及附近大量的耕地需转化为建设用地<sup>[32]</sup>,而乡镇原非农业建设用地区多、耕地少,导致土壤数量剥离供给大于回覆需求,剥离土壤自身难以消化;随着村庄与乡镇间距

离的增加,存量和规划的建设用地逐渐减少,且未来发展会加剧这一情况,耕地为主要的土地利用类型,根据宾阳县整治规划,需要进行开发和整治的耕地数量大、潜力高,需要回覆大量的耕作层土壤以提升质量,从而使有关区域耕作层土壤数量供不应求。

## 2 研究思路与方法

### 2.1 耕作层剥离利用模型的构建

#### 2.1.1 回覆利用优先级的确定

根据土地整治类型将回覆区划分为城乡建设用地增减挂钩区、土地开发复垦区、早改水项目区以及

高标准基本农田建设区4类。其中,城乡建设用地增减挂钩项目虽然单个地块面积较小,分布比较零星,但是立地条件差,开垦耕地质量要求高,且与建设用地指标相挂钩,土地开垦后效益明显,是回覆利用的首选区域;土地开发复垦区立地条件差,回覆耕地等级提升效果显著,且经过筛选后地块面积较大、连片度较高,所需土方量大,优先级别高;旱地立地条件较好、地块空间连片度较高,所需土方量较大,便于施工和运输,结合旱改水工程,回覆后耕地等别提升较为明显,耕地生产能力提高较为显著,优先级别较高;高标准基本农田建设区虽然田块连片分布、面积大、道路通达度高,但是整体土壤肥力高、土层厚,土方需求量较小且与建设占用的耕地土壤肥力差异不大,回覆后提升效果不明显,优先级别最低,只有当土方量充足时才用于高标准基本农田建设。综上,覆土区回覆优先级别从高到低依次为城乡建设用地增减挂钩、土地开发复垦、旱改水项目、高标准基本农田建设。

### 2.1.2 供需圈模型的确定

根据剥离回覆区的空间位置和可接受成本内的运输距离,大致划分运输车辆作业的区域,构建供需圈。其模型设定具体如下:假设存在  $n$  个土壤剥离村庄,剥离土方量分别为  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ;  $m$  个回覆区,回覆需要土方量分别为  $B_1, B_2, \dots, B_m$ 。从  $A_i$  到  $B_j$  的运输距离为  $P_{ij}$ 。以剥离点为圆心,以一定距离(小于最大运输距离)为半径构建供需圈,当两个以上的供需圈有公共部分时,合并为一个供需圈,共划分为  $q$  个供需圈。当供需圈内出现大量供需距离过大(大于最大运输距离)的情况时,可根据初步供需圈划定情况进行次级划分。每个供需圈都有一定的土壤剥离供给区和回覆需求区,要求某个剥离区土方只向本供需圈的回覆区供应剥离土壤,某回覆区也只接受本供需圈剥离区的土壤。同时结合回覆优先级别,对级别最高(城乡建设用地增减挂钩)优先进行线性规划,当剥离土壤剩余时,对下一级(土地开发复垦)进行线性规划,以此类推。当一个供需圈剥离供给土壤大于需求土壤时,可适当扩大供需圈范围以将附近需求点划定到供需圈范围或者调运至其他附近供需圈,直到供大于需或配置结果的平均运距超过最大运距为止。

### 2.1.3 线性规划模型的确定

线性规划法是一种定量分析的方法,在满足一定约束条件下,可以实现最佳分配、达到最优目标,是合理利用、调配有限资源的有效手段,大量运用在运输与土地利用结构调整方面<sup>[33-35]</sup>。本文中线性模型设定如下:

### 运输模型

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m X_{ij} = A_i \\ \sum_{i=1}^n X_{ij} \leq B_j \\ X_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (1)$$

或

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m X_{ij} \leq A_i \\ \sum_{i=1}^n X_{ij} = B_j \\ X_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (2)$$

### 目标函数

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} X_{ij} \quad (3)$$

### 平均运输距离

$$\bar{z} = \frac{z}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (4)$$

式中  $z$ ——总运输距离

$\bar{z}$ ——平均运输距离

$n$ ——单位供需圈内剥离点个数

$m$ ——单位供需圈内需求点个数

$P_{ij}$ ——剥离点  $i$  到需求点  $j$  的距离

$X_{ij}$ ——剥离点  $i$  向需求点  $j$  运送的土方量

$A_i$ ——剥离点  $i$  的剥离土方量

$B_j$ ——需求点  $j$  的需求土方量

## 2.2 基于线性规划的土壤空间配置

### 2.2.1 耕作层剥离供需圈划定

以村为研究单元,将土壤剥离供给与回覆需求村庄的村委会所在地视为供给需求点,供给与需求村庄村委会之间的距离视为运距。参照文献[8,15-16,20-21,30,36],结合专家意见、广西项目及宾阳县经济条件,拟定平均合理运输距离应小于5 km,不得超过10 km。依据剥离回覆村庄之间的数量与空间关系以及平均运距,确定构建供需圈的合理半径。利用模型将宾阳县划为8个供需圈(图4),其中1~8号供需圈分别有9、1、18、18、13、6、4、1个耕作层剥离土壤供给村庄;16、6、13、25、19、4、11、0个剥离耕作层土壤需求村庄。由于8号供需圈内及附近没有土方需求,且剥离区位于宾阳县西南部,运输距离远,土壤质量差,剥离面积小,回覆到其他利用点费用高且效果不明显,建设占用耕地可以不予剥离。

表2统计了每个供需圈耕作层土壤剥离供给与回覆需求的土方量。其中,仅2号供需圈城乡建设用地增减挂钩所需的土方量大于剥离量;5、6、7号3个供需圈内规划期间没有城乡建设用地增减挂钩用

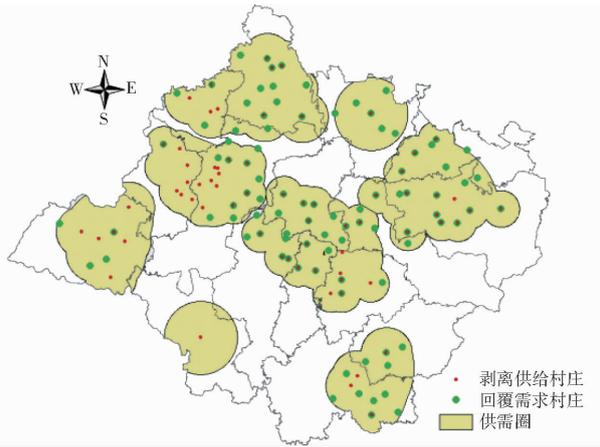


图4 供需圈划定

Fig.4 Supply-demand circle delimitation

地,剥离土壤全部用于土地开发复垦;1号供需圈可将剥离土壤回覆利用到城乡建设用地增减挂钩、土地开发复垦和旱改水工程等方面;4号供需圈还可用于高标准基本农田建设。需要注意的是,3号供需圈的剥离土方量大于总需求量,需扩大3号供需圈的范围将附近需求点纳入到供需圈内,或运送到附近有土方需求的供需圈。根据宾阳县村庄空间分布及供需情况,将六明村、展志村等附近6个村庄纳入到3号供需圈,此时回覆利用时以距离优先。

2.2.2 空间配置方案研究——以6号供需圈为例

6号供需圈涉及6个耕作层剥离供给村庄和4个回覆需求村庄,需要配置土壤 38 389 m<sup>3</sup>。由于

表2 供需圈土方供需情况

Tab.2 Supply-demand situation of different soil supply-demand circles

m<sup>3</sup>

供需圈名称	剥离量	需求量				总需求量
		城乡建设用地增减挂钩	土地开发复垦	旱改水工程	高标准基本农田建设	
1号	46 527	46324	129	116 382	682 831	845 666
2号	5 936	9200	508 056	5 099	5 519 852	6 042 206
3号	1 524 565	0	96 573	140 210	392 388	629 169
4号	268 620	92	28 594	156 126	7 592 674	7 777 487
5号	962 725	0	1 821 565	101 697	4 638 679	6 561 943
6号	38 389	0	72 033	809	0	72 842
7号	27 769	0	182 280	129 451	42 191	367 400

供需圈内没有城乡建设用地增减挂钩项目,且土地开发复垦所需土方量已大于全部剥离量,因此将所有剥离土壤用于土地开发复垦。利用 ArcGIS 软件计算供给点与需求点之间的距离,将剥离再利用信息依据模型转换成 Lingo 语言进行计算。图5为 Lingo 软件运行结果,其中 VOLUME(WH1,V2)表示第1个供给点向第2个需求点运送的土方量,即柳洞村向马岭村运送土方量 9 017 m<sup>3</sup>,以此类推,可得出土方分配方案。最优结果为总运距 8.74 × 10<sup>7</sup> m,每立方米平均运距为 2 276 m,具体调配方案如图6和表3所示。

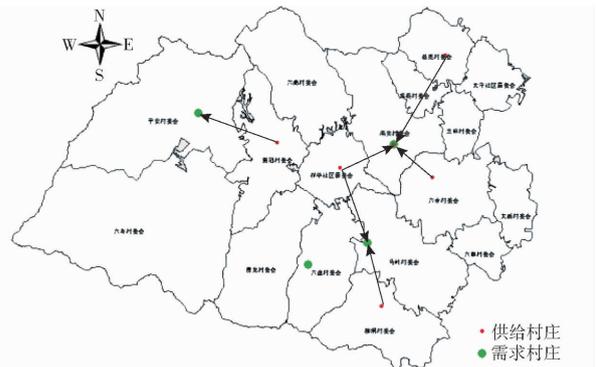


图6 6号供需圈土方调配图

Fig.6 Soil allocate of the sixth supply-demand circle

```

Global optimal solution found.
Objective value:                0.8735722E+08
Infeasibilities:                0.0000000
Total solver iterations:        7
VOLUME ( WH1, V1)              0.0000000    727.0000
VOLUME ( WH1, V2)              0.0000000    9017.0000
VOLUME ( WH1, V3)              0.0000000    4516.0000
VOLUME ( WH1, V4)              0.0000000    7642.0000
VOLUME ( WH2, V1)              0.0000000    3020.0000
VOLUME ( WH2, V2)              0.0000000    756.0000
VOLUME ( WH2, V3)              14911.0000    0.0000000
VOLUME ( WH2, V4)              0.0000000    6468.0000
VOLUME ( WH3, V1)              0.0000000    842.0000
VOLUME ( WH3, V2)              2112.0000    0.0000000
VOLUME ( WH3, V3)              7473.0000    0.0000000
VOLUME ( WH3, V4)              0.0000000    2732.0000
VOLUME ( WH4, V1)              0.0000000    4786.0000
VOLUME ( WH4, V2)              0.0000000    3050.0000
VOLUME ( WH4, V3)              1191.0000    0.0000000
VOLUME ( WH4, V4)              0.0000000    6693.0000
VOLUME ( WH5, V1)              0.0000000    1583.0000
VOLUME ( WH5, V2)              0.0000000    1917.0000
VOLUME ( WH5, V3)              0.0000000    2032.0000
VOLUME ( WH5, V4)              1661.0000    0.0000000
VOLUME ( WH6, V1)              0.0000000    4777.0000
VOLUME ( WH6, V2)              0.0000000    2980.0000
VOLUME ( WH6, V3)              2024.0000    0.0000000
VOLUME ( WH6, V4)              0.0000000    4906.0000
    
```

图5 Lingo 运行结果

Fig.5 Lingo program running results

3 空间配置结果及分析

通过分析土壤供需土方量空间分布及利用优先级的基础上,以村庄为单位划定供需圈,将村委会之间的距离设为运距,借助 Lingo 软件进行线性规划,优化土壤剥离和回覆利用的空间配置方案。

本文设计剥离耕作层土壤共 2.874 531 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>,剥离面积 1.091 × 10<sup>7</sup> m<sup>2</sup> (水田 7.05 × 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>,旱地 3.86 × 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>),耕作层土壤剥离利用共涉及村庄 158 个。其中仅涉及剥离的村庄 64 个,仅涉及利用的村庄 89 个,既涉及剥离又有利用的村庄 5 个。构建 7 个耕作层剥离利用供需圈进行回覆利用,除

表3 6号供需圈调配土方量及运距

Tab.3 Earthwork deployment and transport distance of the sixth supply-demand circle

	六盘村		马岭村		南关村		平安村		供给量/m <sup>3</sup>
	土方量/m <sup>3</sup>	运距/m							
柳洞村	0	3 206	9 017	2 479	0	6 176	0	10 121	9 017
六合村	0	5 767	0	3 503	14 911	1 928	0	9 215	14 911
祥华社区	0	3 879	2 112	3 037	7 473	2 218	0	5 769	9 585
南关村	0	5 605	0	3 869	1 191	0	0	7 512	1 191
黄冠村	0	4 786	0	5 120	0	4 416	1 661	3 203	1 661
益宪村	0	9 522	0	7 725	2 024	3 926	0	9 651	2 024
需求量/m <sup>3</sup>	710		15 943		25 599		30 590		

3号供需圈土方量供给大于需求外,其余供需圈剥离土壤均能实现内部利用。基于线性规划的耕作层土壤剥离利用空间配置结果见表4。其中,城乡建设用地增减挂钩项目利用 $5.2352 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,占需求量的94.13%;土地开发复垦利用 $1.446637 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,占需求量的53.40%;旱改水利用 $3.32738 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,占需求量的51.21%;高标准基本农田建设利用 $1.042804 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,占需求量的5.53%。在运输距

离方面,7号供需圈平均运距最小为769m,主要是因为剥离量较少,且大部分土壤用于本村土地整治项目,只有少量土壤需要运输至其他村庄利用;3号供需圈运距最大为6388m,是由于需剥离耕地集中分布在宾阳县城附近,剥离规模大,而周边土地整治项目少,在合理区域内供给超出需求,造成剥离土壤利用时运距过大。按土方量加权平均计算,平均运距5369m,经济成本可接受。

表4 供需圈土壤配置结果

Tab.4 Soil configuration results of supply-demand circles

供需圈名称	剥离土方量/ m <sup>3</sup>	利用土方量/m <sup>3</sup>				平均运距/m
		城乡建设用地增减挂钩	土地开发复垦	旱改水工程	高标准基本农田建设	
1号	46 527	46 324	129	74	0	4 048
2号	5 936	5 936	0	0	0	1 738
3号	1 524 565	0	389 031	176 538	958 996	6 388
4号	268 620	92	28 594	156 126	83 808	2 392
5号	962 725	0	962 725	0	0	4 930
6号	38 389	0	38 389	0	0	2 276
7号	27 769	0	27 769	0	0	769
合计	2 874 531	52 352	1 446 637	332 738	1 042 804	5 369

## 4 讨论

通过建立线性规划模型,借助相关软件支持,进行快捷方便编制运输方案,具有较强的科学性和可操作性,减少了主观上的随意性与盲目性,消除了传统的依靠人员编制剥离土壤利用方案时所需的大量计算工作。同时,通过引入线性规划进行科学合理的指导,在保证回覆效益的同时,缩短工期,达到降低运输成本,节省人力资源,优化配置方案的目的。可以弥补现有方法存在的局限性,为国家全面推进建设占用耕地耕作层剥离利用政策提供了耕作层土壤剥离利用空间配置方法借鉴。

然而,受制于当前数据精度和剥离土壤数量偏少的限制,本研究中仍存在不足:①本研究未考虑剥离区与回覆利用区土壤类型、土壤肥力状况与土壤表层质地的空间匹配性。②受建设项目用地规模

小,剥离耕地耕作层土壤厚度仅20~30cm,单位项目的耕作层土壤总剥离量少的限制,在线性规划模型建模中难以规划出运输方案。③本文所提出的土壤剥离和回覆利用区以宾阳县相关土地利用总体规划 and 土地整治规划为基础界定,偏重于理论层面进行剥离利用空间优化配置方法研究,需要结合更多项目实践,对有关剥离厚度、回覆厚度、合理运距等进行厘定,并对方案进行优化。④耕作层土壤剥离利用空间配置未考虑城市建设中园林绿化等城市利用土壤类型,造成个别供需圈运距过长,如3号供需圈。以上,仍然需要结合实践加以深化研究,为耕作层剥离再利用方案编制和项目实践提供更扎实的科学支撑。

## 5 结论

(1)宾阳县耕作层土壤剥离量总体上小于回覆

利用需求量,并且在空间上分布不均衡。宾阳县理论耕作层土壤剥离量为  $2.40 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,而回覆利用需求量为  $1.85 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,土壤剥离供给量仅为回覆利用需求量的 15.89%,且剥离利用涉及的 158 个村均出现不同程度的供需失衡。

(2)通过案例分析,模型应用结果良好。利用供需圈及线性配置模型的土壤空间配置结果如下:城乡建设用地增减挂钩利用  $5.2352 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,占需求量的 94.13%;土地开发复垦利用  $1.446637 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,占需求量的 53.40%;旱改水利用  $3.32738 \times$

$10^5 \text{ m}^3$ ,占需求量的 51.21%;高标准基本农田建设利用  $1.042804 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,占需求量的 5.53%。剥离耕作层土壤能够优先用于回覆效益高的整治区域,有效发挥其作用、体现其价值。

(3)制定的土壤供需配置方案综合效益较高。本研究将宾阳县划分为 7 个供需圈,除 3 号平衡圈外,其他剥离圈剥离土壤均能按回覆优先级从高到低逐步在本供需圈内消化,回覆效益良好;最大运距为 6388 m,最小运距仅为 769 m,根据专家经验,剥离土壤在运距 5 km 左右的回覆利用是经济成本可接受的。

## 参 考 文 献

- 张超,乔敏,郇文聚,等.耕地数量、质量、生态三位一体综合监管体系研究[J/OL].农业机械学报,2017,48(1):1-6. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170101&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170101&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.001.
- ZHANG Chao, QIAO Min, YUN Wenju, et al. Trinity comprehensive regulatory system about quantity, quality and ecology of cultivated land[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(1):1-6. (in Chinese)
- 李天杰.土壤地理学[M].北京:高等教育出版社,2004:79-95.
- 杨利民.表土剥离当善用“有形之手”[J].中国土地,2015(5):23-25.
- 宋子秋.浅谈实施耕作层土壤剥离再利用问题[J].中国土地,2017(3):43-44.
- 张涛,陈东伟.关于耕作层土壤剥离与利用的思考[J].中国土地,2016(12):53-54.
- 董雪.吉林省黑土区村庄表土剥离技术集成方案[D].长春:吉林农业大学,2012.  
DONG Xue, The integration project of topsoil stripping on black soil region in Jilin Province village[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- 余敦,袁胜国.江西省建设占用耕地表土剥离的技术探讨[J].中国农业资源与区划,2016,37(8):47-51.  
YU Dun, YUAN Shengguo. Discussion on the arable and topsoil stripping by construction occupation in Jiangxi Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2016, 37(8):47-51. (in Chinese)
- 林爱文,胡艳荣,胡立峰.三峡库区土地整理“移土培肥工程”设计研究——以兴山县峡口镇为例[J].水土保持研究,2008,15(4):126-129.  
LIN Aiwen, HU Yanrong, HU Lifeng. Study on design of soil transfer and muck increase project in Three Gorges Reservoir—a case in Xiakou Town of Xingshan County[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(4):126-129. (in Chinese)
- 薛山.我国建设占用耕作层剥离与利用模式研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014.  
XUE Shan. Study on the tillage layer stripping and utilization of building occupants in China[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2014. (in Chinese)
- 程从坤.耕作层土壤剥离再利用模式研究——以安徽省为例[J].安徽农业科学,2014,42(23):8017-8019.  
CHENG Congkun. Study on the patterns of arable layer topsoil stripping and reuse—a case study of Anhui Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2014, 42(23):8017-8019. (in Chinese)
- 窦森,董雪,董娟娟,等.松辽平原表土剥离技术体系——以吉林省松原市为例[J].吉林农业大学学报,2014,36(2):127-133.  
DOU Sen, DONG Xue, DONG Lijuan, et al. Technical system of topsoil stripping of Songliao Plain—taking Songyuan City as an example[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2014, 36(2):127-133. (in Chinese)
- 韩春丽.基于选择试验模型的表土剥离利用效益非市场价值评估[D].杭州:浙江大学,2014.  
HAN Chunli. Estimation of non-market value of topsoil stripping based on choice experiment model: a case study of Yuyao, Zhejiang Province[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. (in Chinese)
- 刘雪冉,赵艳玲,李建华,等.表土剥离对土地整治项目收益的影响研究[J].资源开发与市场,2012,28(11):1025-1027,1058.  
LIU Xueran, ZHAO Yanling, LI Jianhua, et al. Study on impact of surface soil stripping to land remediation projects[J]. Resource Development & Market, 2012, 28(11):1025-1027, 1058. (in Chinese)
- 蔡琳婷,胡鑫,周维禄.三峡水库重庆库区移土培肥的效益分析——以云阳县为例[J].西南农业大学学报:社会科学版,2009,7(3):10-13.  
CAI Linting, HU Xin, ZHOU Weilu. Benefit analysis for the soil transfer and muck increase project in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing—a case study of Yunyang County[J]. Journal of Southwest Agricultural University: Social Science Edition, 2009, 7(3):10-13. (in Chinese)
- 黄希垚.基于污染风险评价的耕地表土剥离与再利用布局研究[D].福州:福建农林大学,2013.  
HUANG Xiyao. Study on the topsoil stripping and reusing arrangement of cropland based on pollution risk assessment[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013. (in Chinese)
- 陈艳华,黄资金,林依标.丘陵山区耕作层剥离再利用空间配置方法[J].农业工程学报,2015,31(22):267-275.  
CHEN Yanhua, HUANG Zijing, LIN Yibiao. Spatial configuration method about plow layer stripping and reusing in hilly region[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(22):267-275. (in Chinese)
- 张喜英.县域表土剥离再利用供需平衡研究[D].北京:中国地质大学(北京),2017.

- ZHANG Xiyang. Study on the supply and demand balance of topsoil stripping and recycle in county area [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017. (in Chinese)
- 18 张凤荣, 周建, 徐艳. 黑土区剥离建设占用耕地表土用于农村居民点复垦的技术经济分析 [J]. 土壤通报, 2015, 46(5): 1034 - 1039.
- ZHANG Fengrong, ZHOU Jian, XU Yan. Technological and economic feasibility analysis on the surface soil stripped for rural residential reclamation in mollisol region [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2015, 46(5): 1034 - 1039. (in Chinese)
- 19 高世昌, 陈正, 孙春蕾. 土壤剥离有多贵? ——对若干省份耕作层土壤剥离利用成本调查研究 [J]. 中国土地, 2014(11): 37 - 39.
- 20 刘明松, 帅文波, 陈秀欣. 耕地保护的有益探索——关于福建河南三地耕地耕作层土壤剥离的调查报告 [N]. 中国国土资源报, 2006 - 10 - 26(2).
- 21 王锐, 张孝成, 蒋伟, 等. 建设占用耕地表土剥离的主要实施条件研究——以重庆市三峡库区移土培肥为例 [J]. 河北农业科学, 2011, 15(1): 90 - 91, 106.
- WANG Rui, ZHANG Xiaocheng, JIANG Wei, et al. Implementation conditions of topsoil stripping of farmland used for construction—taking shifting soil and fertility betterment of Three Gorges Reservoir area as example [J]. Journal of Hebei Agricultural Science, 2011, 15(1): 90 - 91, 106. (in Chinese)
- 22 陈光银, 张孝成, 王锐, 等. 表土剥离再利用工程绩效评价——以重庆市三峡库区移土培肥工程为例 [J]. 水土保持通报, 2012, 32(5): 239 - 243.
- CHEN Guangyin, ZHANG Xiaocheng, WANG Rui, et al. Topsoil stripping and reuse project performance evaluation——take shifting soil and fertility betterment of Three Gorges Reservoir area as example [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation 2012, 32(5): 239 - 243. (in Chinese)
- 23 王君楠, 刘斌, 周生路, 等. 基于土壤肥力的江苏省耕作层土壤剥离分区与深度确定 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(5): 257 - 263.
- WANG Junxiao, LIU Bin, ZHOU Shenglu, et al. Determination of peel depth and partition in cultivated soil of Jiangsu Province [J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(5): 257 - 263. (in Chinese)
- 24 张振超, 张琳琳, 王冬梅, 等. 生产建设项目表土保护与利用 [J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(1): 127 - 132.
- 25 王新军, 范达, 崔慧珊, 等. 不同公路占地类型的土壤质量研究 [J]. 公路交通科技, 2011, 28(7): 147 - 151, 158.
- WANG Xinjun, FAN Da, CUI Huishan, et al. Research on soil quality of different land use types in highway construction [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28(7): 147 - 151, 158. (in Chinese)
- 26 刘瑞. 不同类型耕作土壤可剥离厚度研究 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42(24): 8143 - 8144.
- LIU Rui. Study on soil stripped thickness of different types arable land [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2014, 42(24): 8143 - 8144. (in Chinese)
- 27 陈瑶, 徐启荣, 万玉洁, 等. 表土剥离可识别土层的量化指标研究 [J]. 安徽农学通报, 2016, 22(8): 56 - 58, 61.
- CHEN Yao, XU Qirong, WAN Yujie, et al. Quantified indicator of recognizable soil layer in topsoil stripping [J]. Anhui Agricultural Science Bull, 2016, 22(8): 56 - 58, 61. (in Chinese)
- 28 唐园冬, 彭贤伟. 贵州非农业建设占用耕地耕作层剥离利用研究 [J]. 贵州科学, 2015, 33(2): 91 - 96.
- TANG Yuandong, PENG Xianwei. Researching of farmland utilization in surface soil reuse for non-agricultural construction in Guizhou Province [J]. Guizhou Science, 2015, 33(2): 91 - 96. (in Chinese)
- 29 赵琨, 孙凌成, 王侗, 等. 公路建设表土资源保护的识别和量化方法研究 [J]. 交通运输研究, 2016, 2(5): 39 - 45.
- ZHAO Kun, SUN Lingcheng, WANG Chou, et al. Identification and quantification method of topsoil resources protection in highway construction [J]. Transport Research, 2016, 2(5): 39 - 45. (in Chinese)
- 30 陈艳华, 何佳. 丘陵山区耕作层覆土需求优先度评价研究——以福建省光泽县为例 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1414 - 1424.
- CHEN Yanhua, HE Jia. Study on the priority of soil-covering demand of farmland cultivated horizon in hilly areas—a case study in Guangze County of Fujian Province [J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1414 - 1424. (in Chinese)
- 31 杨建宇, 赵龙, 徐凡, 等. 基于耕地连片度的高标准基本农田建设划区 [J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 142 - 148. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170418&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170418&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.04.018.
- YANG Jianyu, ZHAO Long, XU Fan, et al. Zoning of high standard prime farmland construction based on arable lands connectivity [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 142 - 148. (in Chinese)
- 32 赵冬玲, 杜萌, 杨建宇, 等. 基于 CA - Markov 模型的土地利用演化模拟预测研究 [J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 278 - 285. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160339&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160339&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.039.
- ZHAO Dongling, DU Meng, YANG Jianyu, et al. Simulation and forecast study of land use change based on CA - Markov model [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 278 - 285. (in Chinese)
- 33 赵晓洁. 基于线性规划的精河县农用地利用结构分析及优化 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- ZHAO Xiaojie. Analysis and optimization of Jinghe farmland-use structure based on linear programming [D]. Wulumuqi: Xinjiang Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- 34 韩茂松. 基于线性规划的 Z 公司运输成本控制研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- HAN Maosong. Study on control of transportation cost in Z company based on linear programming [D]. Changchun: Jilin University, 2015. (in Chinese)
- 35 张晓滨, 叶艳妹. 基于线性规划运输模型的农地整理权属调整 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 227 - 234.
- ZHANG Xiaobin, YE Yanmei. Land reconfigure in farmland consolidation based on transportation model of linear programming [J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(7): 227 - 234. (in Chinese)
- 36 国土资源部土地整治中心. 区域土地综合整治技术研究 [M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2014: 69 - 99.