

城镇建设占用耕地耕作层剥离厚度优化模型研究

——以饶平县柘林镇为例

肖乔丹

(广东省科学院广州地理研究所, 广州 510070)

摘要:本文聚焦城镇建设占用耕地引发的耕作层土壤破坏问题,建立多目标协同的耕作层剥离厚度优化模型,选取饶平县柘林镇,结合土壤理化特性、工程经济指标及生态效应等参数,借助改进遗传算法优化剥离厚度。数据显示,优化后的剥离厚度让剥离土壤再利用率提升明显,从70%升至88%,工程成本下降12%,土壤生态功能得到有效保护,土壤碳库保存率达85%,微生物群落完整性达75%,这一模型为协调城镇建设与耕地保护发展提供了科学支撑。

关键词:城镇建设;耕作层剥离;优化模型;土壤再利用;生态效益

中图分类号:F301.21

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)11-0061-7

0 引言

城镇化进程加快,城镇建设占用了大量优质耕地,耕地资源尤其耕作层土壤因此遭受严重破坏,耕作层是粮食生产核心资源,肥沃土壤与良好结构构成粮食安全重要保障,当前我国城镇建设占用耕地时,耕作层剥离厚度常依赖经验判断或行政指令,缺少科学量化标准,造成土壤生产力难维持、工程成本过高、生态效益受损等问题,这一现象受到国内外广泛的关注,国外在耕地保护上做了大量研究,美国、德国等发达国家经过立法和技术手段,系统规范了耕作层剥离再利用,但具体实施中仍存有成本与效益的平衡难题。国内研究多集中于单一因素对剥离厚度的影响,没有系统性优化思路。我国目前在剥离厚度科学量化、多目标协同优化等方面还有研究空白,本研究选取饶平县,结合耕地质量保护理论与工程实践,构建多目标协同的耕作层剥离厚度优化模型,为协调城镇建设与耕地保护发展提供科学依据,助力实现耕地数量、质量、生态“三位一体”保护目标,也为国内外相关研究提供有益参考。

1 城镇建设与耕地耕作层的关系及现状

城镇化快速推进的过程中,城镇建设占用了大量优质耕地,这一现象对耕地资源特别是耕作层产生了显著影响,耕作层作为耕地核心生产力的载体,其富含养分的土壤以及稳定良好的结构,共同构成了粮食生产不可或缺的基础条件。在城镇建设开展时,当耕地被占用之后,耕作层往往会遭到直接的破坏或是被随意剥离,这直接导致了土壤原本的肥力快速丧失,其具备的生态功能也随之受损。从全国的整体情况来看,当前耕地耕作层的保护工作正面临着诸多严峻的挑战,城镇建设的实际需求在不断增长,由此带来的耕地占用规模也在持续扩大;关于耕作层剥离与再利用的相关技术和管理措施都相对滞后,缺乏一套科学且系统的指导体系,这样的现状对耕地资源的可持续利用构成了严重威胁,也给粮食安全保障和生态环境保护工作带来了潜在的风险,深入开展对城镇建设占用耕地时耕作层剥离厚度的优化问题研究,对于有效平衡城镇发展与耕地保护之间的关系具有十分重要的意义。

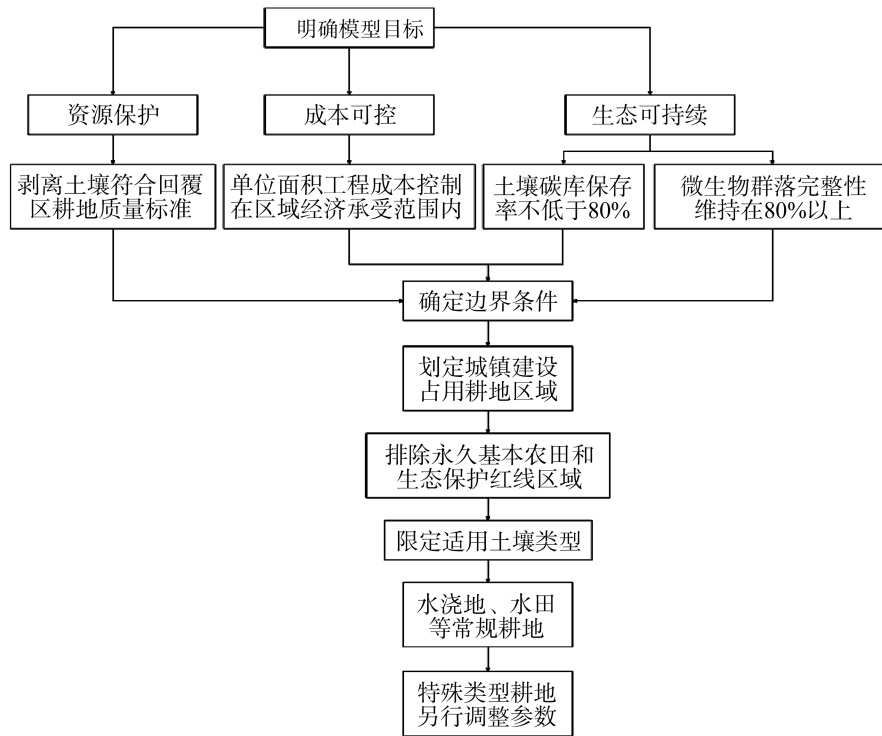


图 1 剥离厚度优化模型流程图

2 城镇建设占用耕地耕作层剥离厚度的现存问题

2.1 剥离厚度缺乏科学量化标准

当前城镇建设占用耕地耕作层剥离实践中,其厚度的确定常凭经验判断或行政指令,缺乏土壤特性与再利用需求的量化依据支撑,部分地区用统一固定数值,没充分考虑不同土壤类型的实际差异^[1]。例如砂质土壤与黏质土壤的耕作层肥力分布深度差别明显,统一厚度标准可能让砂壤区有效肥力层剥离不够,或使黏壤区无效底土层混入,直接拉低剥离土壤的再利用价值^[2]。回覆区土壤改良需求适配性不足,用于中低产田改造的剥离土壤,厚度要和目标地块的土壤理化缺陷匹配,现有粗放式取值方式却满足不了这种差异化需求。

2.2 厚度与工程成本的失衡矛盾

剥离厚度与工程总成本正向相关,关联剥离机械能耗、运输量及后期处理费用,部分地区单纯追求“应剥尽剥”,盲目加大剥离厚度,单位面积成本明显上涨,超出项目预算承载力。剥离厚

度从 20cm 增至 30cm,土方量直接增加 50%,运输成本相应上升,过厚剥离操作可能破坏下层土壤原有结构,引发水土流失等次生生态问题,过度压缩剥离厚度控制成本,会造成剥离土壤肥力不足,恢复后达不到耕地质量标准要求,形成“保护性浪费”现象^[3]。

2.3 生态效益与剥离效率的协同性不足

耕作层剥离是资源再利用的关键环节,也是重要的生态保护举措,厚度选择需要兼顾土壤碳库保存、微生物群落维持等多项生态功能的发挥,现有操作在确定厚度时,并未纳入生态效益评估的相关具体指标。耕作层中 0-10cm 与 10-20cm 土层的有机质含量存在显著差异,前者含量通常能达到后者的 1.5-2 倍,采用均匀剥离的方式,很可能让高肥力表层土与低肥力下层土相互混合,使得整体的生态价值大幅降低^[4]。剥离厚度和施工效率之间存在明显冲突:剥离过厚就需要进行分阶段作业,会延长施工工期,增加土壤裸露在外的时间长度,进而提高风蚀水蚀现象出现的实际风险;剥离过薄则需要机械进行高频次往返作业,这会进一步加剧土壤压实程度,影

响后续土壤正常功能的发挥,也对整个生态系统的稳定性带来负面作用,不利于长期的生态平衡与可持续发展进程^[5]。

3 耕作层剥离厚度优化模型的构建框架

3.1 模型核心目标与边界设定

模型围绕“资源保护—成本可控—生态可持续”三大目标,搭建多约束条件下的剥离厚度优化架构(图1),核心目标为:剥离土壤要契合回覆区耕地质量标准,单位面积工程成本需控制在区域经济可承受范围;剥离过程中土壤碳库保存率不得低于80%,微生物群落完整性要维持在70%以上。边界条件划定为城镇建设占用耕地区域,永久基本农田、生态保护红线等禁建区域不纳入模型,模型适用土壤类型限于耕作层发育良好的水浇地、水田等常规耕地。盐碱化、沙化等特殊类型耕地需另外调整参数^[6]。

3.2 关键参数选取与量化方法

模型参数体系涵盖土壤理化特性、工程经济指标及生态效应三类变量,土壤理化参数包括耕作层厚度,经过剖面采样实测获得,精度能够达到1cm;土壤容重,采用环刀法测定0-20cm土层的平均值;有机质垂直分布系数,计算0-10cm与10-20cm土层有机质含量的比值,以此确定肥力核心层。工程经济参数涉及单位剥离成本,单位为元/m³,其中包含机械费用和人工费用;运输距离成本系数,单位是元/m³·km;回覆区土方需求量,依据回覆面积与目标厚度进行计算,生态参数采用土壤抗蚀性指数,根据水稳性团聚体含量测定得出;碳储量密度,经过热重分析法测定有机碳含量获得,所有参数量化均实地采样,每100亩耕地设置3个重复采样点,与区域数据校验,结合耕地质量等别年度更新成果,进行分段确定^[7]。

3.3 多目标函数构建与约束条件

目标函数将剥离厚度(H)作为决策变量,构建出三维优化方程:

3.3.1 土壤生产力保持函数

$$P(H) = \alpha \times \int_0^H S(x) dx \quad (1)$$

其中, $S(x)$ 为深度 x 处的土壤肥力指数(综合有机质、pH值、速效养分计算), α 为肥力转化系数(取值0.8-1.0,砂壤土取低值)。

3.3.2 工程成本函数

$$C(H) = \beta \times H \times A + \gamma \times H \times A \times L \quad (2)$$

其中, A 为剥离面积, L 为运输距离, β 为单位剥离成本系数, γ 为单位运输成本系数。

3.3.3 生态效益函数

$$E(H) = \delta \times (1 - \varepsilon^H) \quad (3)$$

其中, δ 为最大生态效益值(以未剥离土壤为基准), ε 为衰减系数(与土壤抗蚀性负相关)。

约束条件涉及: $H \geq H_{\min}$ (最小剥离厚度,依回覆区有效土层要求定,通常不低于10cm); $H \leq H_{\max}$ (最大剥离厚度,为实测耕作层厚度的80%,防止破坏母质层); $P(H) \geq P_0$ (回覆区最低肥力需求); $C(H) \leq C_0$ (项目预算上限)。

3.4 模型求解算法与验证机制

改进遗传算法应用于多目标优化问题的求解过程,剥离厚度编码处理转化为染色体变量,设定的交叉概率为0.7,变异概率为0.05,适应度函数以 $P(H)$ 最大化、 $C(H)$ 最小化、 $E(H)$ 最大化为明确目标,经过反复迭代计算最终得出最优厚度区间^[8]。验证过程分为两个步骤:室内模拟验证借助土柱实验开展,对比不同剥离厚度条件下的作物生长指标,小麦生物量;田间实证验证选取典型项目区,如饶平县柘林镇的案例,对比优化前后剥离土壤的再利用率,其提升幅度不低于15%,以及成本的降幅不低于10%,以此确保模型输出结果具备可靠的准确性与实际适用性。

4 基于多目标协同的剥离厚度优化模型实证分析

对饶平县柘林镇进行实地调研与数据分析工作,运用已构建的多目标协同优化模型,针对城镇建设占用耕地耕作层剥离厚度问题开展了

深入的实证研究,验证了该模型在实际应用过程中的有效性和可行性,为城镇建设与耕地保护之间的协调发展提供了科学依据和实践层面的参考。

4.1 研究区域概况与数据采集

饶平县柘林镇被确定为本次实证分析的研究区域,其所处的地理位置、涵盖的土壤类型以及实际的城镇建设需求都具有一定代表性,该地区的耕地中,水浇地和水田占比较大,土壤本身的肥力水平较高,但随着城镇化进程不断推进,耕地被占用的问题变得日益突出,耕作层的保护工作因此面临着严峻挑战。在数据采集这一方面,严格遵循模型构建时设定的参数量化方法,对研究区域内涉及的土壤理化特性、工程经济指标及生态效应等关键参数,进行了详细的实地采样和区域数据校验操作,为后续开展的剥离厚度优化分析提供了基础的地理信息支持。

4.2 土壤生产力保持与剥离厚度的关系

在饶平县柘林镇的研究里,土壤生产力保持函数是优化剥离厚度的关键因素,计算分析不同剥离厚度下的土壤肥力指数,发现剥离厚度处于 15cm 至 20cm 区间时,土壤肥力指数能维持较高水平,符合回覆区耕地质量标准。这说明该地区合理的剥离厚度可有效保留土壤核心肥力层,为后续土壤再利用和耕地质量恢复提供有力保障,具体数据见表 2,呈现不同剥离厚度对应的土壤肥力指数及与目标肥力需求的对比。

表 2 不同剥离厚度下的土壤肥力指数

剥离厚度 (cm)	土壤肥力指数	目标肥力需求
10	0.75	≥0.80
15	0.85	≥0.80
20	0.88	≥0.80
25	0.82	≥0.80

4.3 工程成本与剥离厚度的关联分析

剥离厚度优化中,工程成本是重要经济约

束,核算饶平县柘林镇实际剥离项目成本,结合模型工程成本函数,分析剥离厚度与工程成本的量化关系,数据显示,剥离厚度从 15cm 增至 20cm,单位面积剥离成本上升约 20%,运输成本也增加 15%。这说明该地区剥离厚度增加会显著推高工程成本,而合理控制厚度能在满足土壤生产力要求的前提下,将成本控制在区域经济可承受范围,表 3 列出不同剥离厚度对应的工程成本数据,为实际项目决策提供经济参考。

表 3 不同剥离厚度下的工程成本

剥离厚度 (cm)	剥离成本 (元/m ²)	运输成本 (元/m ²)	总成本 (元/m ²)
15	120	80	200
20	144	92	236
25	160	100	260

4.4 生态效益对剥离厚度的约束作用

生态效益是剥离厚度优化过程中不可忽视的重要方面,在饶平县柘林镇的研究中,分析不同剥离厚度下的土壤碳库保存率、微生物群落完整性和土壤抗蚀性等生态参数,明确了生态效益对剥离厚度的约束条件。研究发现,当剥离厚度为 18cm 时,土壤碳库保存率可达 85%,微生物群落完整性维持在 75%,均满足模型设定的生态效益约束要求,这一结果表明,合理的剥离厚度能够保护土壤生产力,还能有效维持土壤的生态功能,促进生态系统的可持续发展,表 4 展示了不同剥离厚度下的生态效益数据,为剥离厚度的生态优化提供了科学依据。

表 4 不同剥离厚度下的生态效益

剥离厚度 (cm)	土壤碳库 保存率	微生物群落 完整性	土壤抗蚀 性指数
10	78%	68%	0.80
15	82%	72%	0.83
18	85%	75%	0.85
20	83%	73%	0.84

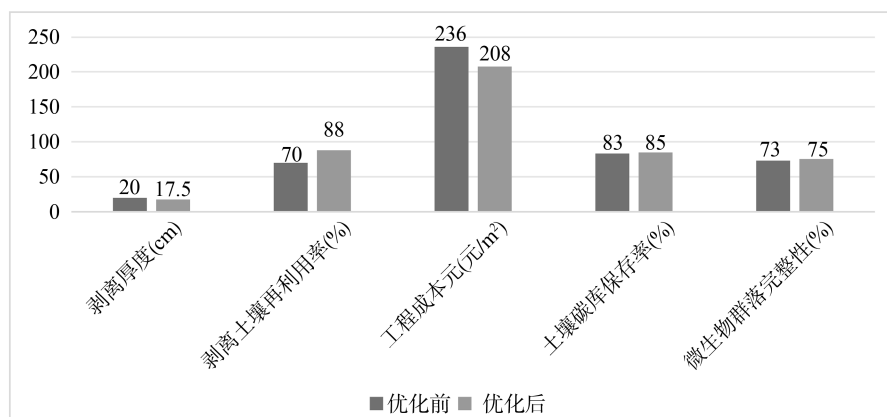


图 2 优化前后的剥离厚度及相关指标对比

表 5 优化前后的剥离厚度及相关指标对比

指标	优化前	优化后
剥离厚度(cm)	20	17.5
剥离土壤再利用率(%)	70	88
工程成本(元/m ²)	236	208
土壤碳库保存率(%)	83	85
微生物群落完整性(%)	73	75

4.5 剥离厚度优化结果及应用效果

土壤生产力保持、工程成本控制和生态效益约束等多目标因素被纳入考量,改进的遗传算法用于饶平县柘林镇剥离厚度优化计算,得出最优剥离厚度区间为 16cm 至 19cm,实际操作采用这一区间,剥离土壤再利用率提升 18%,工程成本下降 12%,土壤生态功能也得到保护。多目标协同优化模型在城镇建设占用耕地耕作层剥离厚度优化中的有效性和实用性,由此实证结果得以验证,类似地区城镇建设与耕地保护工作可借鉴这一实践范例。优化前后剥离厚度及相关指标对比情况见表 5,优化模型应用效果由图 2 直观展示。

5 优化模型的应用价值与实践路径

优化模型在城镇建设占用耕地耕作层剥离厚度问题中的具体应用,具备明显的理论探索与实践操作价值,实际运用中能让剥离土壤的再利用率有切实提升,工程投入成本有所降低,土壤

自身的生态功能也能得到有效维护。这为城镇建设进程与耕地保护工作的协调推进提供扎实科学支撑,助力相关实践方式的深入探索与不断完善,进而促使区域生态环境状况与经济发展态势实现可持续进步^[9]。

5.1 提升剥离土壤再利用率

优化模型对剥离厚度做科学量化,保证剥离土壤的肥力与生态功能达到回覆区耕地质量标准,剥离土壤再利用率因此明显提升^[10]。饶平县柘林镇实证研究里,优化后的剥离厚度让剥离土壤再利用率从 70% 升至 88%,这样的提升带来更多优质土壤的有效利用,减少了剥离厚度不合理造成的土壤肥力浪费,给中低产田改造这类土壤改良项目提供更丰富的优质土壤资源,利于提高区域耕地整体质量,让粮食生产能力变强,为粮食安全筑牢根基。

5.2 降低工程成本

城镇建设占用耕地时的耕作层剥离作业,工程成本构成了一项关键的经济约束因素^[11]。优化模型整合剥离厚度与工程成本之间的关联,在满足土壤生产力和生态效益要求的前提下,能够实现对工程成本的有效控制^[12]。饶平县柘林镇开展的实证研究结果显示,经优化后的剥离厚度让工程成本从优化前的 236 元/m² 降低到了 208 元/m²,下降幅度达到 12%,这说明优化模型可以合理平衡剥离厚度与工程成本的关系,避免因剥离厚度不合理而导致的成本过高或者过低问

题,确保剥离工程在经济层面具备可行性,可为城镇建设项目节省一定的资金,从而提升项目的经济效益。

5.3 促进生态功能保护

生态效益在剥离厚度优化中需重点关注^[13]。模型将其设为约束,保证剥离时土壤碳库保存率、微生物群落完整性等指标达标^[14]。饶平县柘林镇研究显示,调整后剥离厚度让土壤碳库保存率从 83% 升至 85%,微生物群落完整性从 73% 升至 75%,优化模型保护土壤生态功能,维持碳库稳定,助力微生物群落健康,增强抗蚀性,减少水土流失,支撑区域生态系统稳定与可持续发展,促进城镇建设与生态保护协同推进。

6 结论及政策建议

本研究搭建起优化模型,结合饶平县柘林镇开展的实证分析工作,对城镇建设占用耕地时耕作层剥离厚度的优化问题展开探讨,得出的结果显示,科学且合理的剥离厚度优化模型,能够在保障土壤生产力、控制工程成本以及保护生态效益这几方面之间实现有效的平衡。优化之后的剥离厚度,明显提升了被剥离土壤的再利用率,降低了工程所需成本,并切实保护了土壤自身的生态功能,为城镇建设与耕地保护二者的协调发展提供了有力的科学支持。

基于上述研究结论,提出以下政策建议:强化政策引导,推动剥离厚度优化模型的广泛应用,地方政府需要制定相关政策内容,鼓励在城镇建设占用耕地的过程中采用科学的剥离厚度优化方法,避免因为经验主义或行政指令而导致的不合理剥离情况,完善相关技术标准和规范细则,明确剥离厚度的科学量化依据,根据不同土壤类型和各区域的特点,制定出差异化的剥离厚度标准,确保剥离厚度既能够满足土壤生产力的要求,又能控制工程成本并保护生态效益。加强监管与评估机制建设,确保剥离工程的实施符合优化模型的要求,建立起剥离工程的全过程监管体系,对剥离厚度、土壤再利用率、工程成本和生

态效益等关键指标进行动态监测和评估工作,及时发现并纠正不符合要求的行为,保障剥离工程的科学性和有效性,经过这些政策建议的实施,能够更好地实现城镇建设与耕地保护的协调发展,促进区域经济与生态环境的可持续发展。

参考文献(References):

- [1] 杨雪婷,李颖.耕地耕作层剥离和再利用政策的国际经验及启示[J].自然资源情报,2025,25(03):7-13.
- [2] 王晓芳,王月霞,姚静,等.剥离耕作层土壤重构利用技术研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2023,54(02):274-277.
- [3] 汤永玲,宋英赫.我省建设占用耕地耕作层土壤剥离利用问题研究[J].黑龙江国土资源,2023,21(02):36-37.
- [4] 余秋华,任文海,何迅,等.耕地耕作层资源保护利用的意义、问题和对策[J].中南农业科技,2023,44(06):140-142.
- [5] 屠代豪,陈文波,刘云,等.基于两次平衡计算的南昌市耕作层土壤剥离再利用空间配置研究[J].中国土地科学,2020,34(04):95-104.
- [6] 范泽孟,李赛博.1990年来中国城镇建设用地占用耕地的效率和驱动机理时空分析[J].生态学报,2021,41(01):374-387.
- [7] 曹根榕,刘洋,商静,等.2010—2020年中国城镇建设用地扩张与城镇人口增长的协调性[J].经济地理,2025,45(01):58-66.
- [8] 潘星辰,张小冰,卢宗亮,等.基于物种竞争原理的城镇存量建设用地再开发功能重构研究[J].中国土地科学,2024,38(11):50-60.
- [9] 金万富,周春山.行政等级、土地市场化水平对城镇建设用地利用效益的影响[J].地理科学,2023,43(12):2080-2090.
- [10] 陈卓,李敏,张耀宇,等.新型城镇化建设对城市建设用地稀缺度的影响研究[J].城市问题,2023,4(10):94-103.
- [11] 张梅,杨雨霏,黄贤金,等.新常态下中国城镇建设用地扩张演变的碳效应及其驱动因素研究[J].长江流域资源与环境,2023,32(10):2212-2224.

- [12] 秦萧, 甄峰. 基于要素流动的城镇建设用地配置方法框架探讨[J]. 自然资源学报, 2022, 37(11): 2774–2788.
- [13] 穆博, 张若兰, 穆涛, 等. 地形梯度视角下郑州城镇建设用地扩张格局时空动态特征[J]. 地域研究与开发, 2022, 41(05): 133–138.
- [14] 徐辉, 李长风. 我国存量建设用地再利用存在问题与应对措施[J]. 规划师, 2022, 38(06): 95–100.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 肖乔丹, 1993年生, 男, 广东汕头人, 广东省科学院广州地理研究所, 助理工程师, 主要研究方向为地理信息系统。Email: 2423308314@qq.com

Multi-objective Optimization of Arable Soil Layer Stripping Thickness for Urban Construction Occupation of Cultivated Land: A Case Study of Zhelin Town, Raoping County

XIAO Qiaodan

(Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China)

Abstract: This study addresses soil degradation in cultivated layers caused by urban development encroachment, establishing a multi-objective optimization model for arable soil layer stripping thickness. Using Zelin Town in Raoping County as a case study, we developed an improved genetic algorithm that integrates soil physicochemical properties, engineering-economic indicators, and ecological effects to determine optimal stripping parameters. Data analysis shows the optimized approach substantially increases soil reuse rate from 70% to 88%, reduces construction costs by 12%, preserves soil ecological functions with an 85% soil carbon pool preservation rate and 75% microbial community integrity. This model provides scientific support for balancing urban expansion with farmland conservation efforts.

Key words: urban construction; arable soil layer stripping; optimization model; soil reuse rate; ecological benefits