

doi:10.11835/j.issn.1000.582X.2024.12.004

# 山地城市工程建设土石方资源化利用研究

朱丽丽<sup>1,3</sup>, 张海龙<sup>2</sup>, 黄凯<sup>1,3</sup>, 张力<sup>2</sup>, 王鸥羽<sup>1,3</sup>

(1. 重庆市勘测院, 重庆 400021; 2. 重庆市北碚区规划和自然资源局, 重庆 400711; 3. 自然资源部智能城市时空信息与装备工程技术创新中心, 重庆 401120)

**摘要:**为合理利用和科学消纳工程建设弃方, 实现自然资本的保值增值, 基于三维地理信息环境, 将 GIS 技术、勘察信息大数据引入到山地城市工程建设土石方管理中, 提出了科学的工程建设弃方处置方法; 采用实地观察法、文献调查法、访谈调查法等方法, 提出了土石方资源化利用途径及方法, 实现了将传统工程产生的土石方弃方资源化利用, 变“废”为宝。并以重庆市北碚区为例, 在国土空间规划编制中, 开展了土石方资源化利用专项规划探索实践, 对土石方资源化分类和价值效益进行分析, 结合矿坑生态修复进行存储场地选址规划, 发挥国土空间规划对项目落地的指导约束和保障作用, 实现土石方资源集约高效利用。

**关键词:**土石方; 资源化利用; 山地城市; 生态修复

中图分类号: U412

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2024)12-035-10

## Resource utilization of earth and stone volumes for engineering construction in mountainous cities

ZHU Lili<sup>1,3</sup>, ZHANG Hailong<sup>2</sup>, HUANG Kai<sup>1,3</sup>, ZHANG Li<sup>2</sup>, WANG Oyu<sup>1,3</sup>

(1. Chongqing Survey Institute, Chongqing 400021, P. R. China; 2. Chongqing Planning and Natural Resources Bureau of Beibei District, Chongqing 400711, P. R. China; 3. Technology Innovation Center for Spatio-temporal Information and Equipment of Intelligent City, Ministry of Natural Resources, Chongqing 401120, P. R. China)

**Abstract:** To facilitate the sustainable use and effective absorption of earth and stone byproducts from engineering construction projects, and to enhance the preservation and appreciation of natural resources, this study integrates GIS technology and survey big data into the management of earth and stone volumes for engineering construction in mountainous cities within a three-dimensional geographic information framework. A scientific method is proposed for managing these materials in abandoned construction areas. Through field observations, literature review and interviews, this paper explores methods to turn these “waste” materials into valuable resources. Using Chongqing’s Beibei District as a case study within territorial spatial planning, we investigate specialized resource utilization strategies for earth and stone byproducts, analyzing classification, value, and potential benefits. The study also addresses site selection for storage, incorporating ecological restoration of mined areas to maximize spatial planning’s role in guiding, restricting and guaranteeing the implementation of the project. This approach promotes the intensive and efficient use of earth and stone resources.

**Keywords:** earth and stone byproducts; resource utilization; mountainous cities; ecological restoration

收稿日期: 2024-06-14

作者简介: 朱丽丽(1981—), 女, 正高级工程师, 主要从事市政设计及咨询方向研究, (E-mail) 573529216@qq.com。

重庆作为典型山地城市,地貌以丘陵、山地为主,在对原始地形改造开挖时,多余土石方被视为渣土,其处置方式以外运和回填为主,既产生扬尘导致污染,又导致资源严重浪费、破坏及占用土地等问题<sup>[1-2]</sup>。根据测算,2022年重庆市中心城区场地、道路、轨道、隧道等项目建设弃方量约1.13亿方,其中,可分离出表土量约700万方、砂石约3 200万方。因此,亟需转变观念、创新方式、改进管理,促进形成“从源头分类剥离、过程分类运输、末端分类处置和利用”的全产业链,推动高水平管理的市场平衡格局,充分依托大数据、智能化等信息手段,把握土石方的挖填规模、区域、种类、价值等,推进节约集约、绿色低碳发展。

以土石方资源,即工程建设弃方,为研究对象,总结了目前山地城市弃土消纳与土石方处置方面存在的问题,以重庆市北碚区土石方资源化利用专项规划为例,依托矿坑生态修复<sup>[3-5]</sup>、资源分类利用<sup>[6]</sup>等方式,研究了土石方资源分类和资源化利用及经济效益测算的方法,并结合废弃矿坑修复<sup>[7]</sup>,探索了矿坑复垦后生态地票<sup>[8]</sup>的价值实现。

## 1 山地城市弃土消纳现状问题

### 1.1 弃土消纳现状问题分析

现有工程项目土石方多被视为渣土进行混合填埋,消纳方式粗放单一。目前,建设项目土石方消纳难已经成为制约项目建设进度的重大问题<sup>[9-10]</sup>。究其原因,主要是弃土规模大,对消纳用地规模和交通运输条件要求高,难以找到合适的消纳场;同时,调配距离远,导致弃土成本增加;此外,由各级政府、管委会、投资平台公司各自统筹其管理区域内土石方,导致跨区域处置弃土难度增大,使土石方资源难以有效流通和分类利用。

据初步统计,重庆市中心城区土石方年平均消纳填埋量约4 300万方,仅工程运输处置费就高达30亿元。各项目为节约工程运输成本,未对产生的弃土采取就地分离、分类运输等有效措施,采取不定点处置,甚至“倒野渣”等方式。在运输弃土过程中,还存在冒装洒漏、扬尘污染、环境噪声等问题,而且大型载重运输车辆容易出现超限、超载等现象,运输安全问题不容忽视。

### 1.2 土石方资源化利用现状

工程填土是土石方再利用的重要方式。目前,重庆市多数建设项目以挖方为主,总体上以供应(挖余)为主,缺乏土石方资源需求(填缺),土石方供需市场体系不完善。现有土石方处置基于以行政区划为界线的城市管理运行模式,形成了管委会、园区、平台公司各自统筹管理权属区域内土石方的机制,但各区、各部门间缺乏统一协同管理,挖填供需无法及时有效统筹,市场分割、信息不对称问题突出,尤其跨区域土石方统筹协调难度大。同时,缺乏土石方资源分类标准,制约了土石方资源的有效利用。目前,重庆市土石方资源综合利用率仅约45%,资源利用方式粗放,多以自然堆放和填埋的方式处置,余方多成弃渣、垃圾,缺乏分类综合利用,造成极大的资源浪费,甚至产生破坏生态、诱发滑坡等次生灾害。

综上,若能对土石方规模进行预测摸底,结合项目建设时序将弃土科学规划;对土石方资源明确分类,在弃土源头减量,并分类处置;建立智能化交易平台,突破行政区划统筹调配运输,能够高效地解决工程弃土处置问题,合理利用土石方资源,形成科学有效的土石方资源化利用系统。

## 2 山地城市土石方资源化利用规划方法

### 2.1 基于GIS技术的土石方规模测算

GIS技术可对空间环境资源进行快速重复分析测试<sup>[1]</sup>。针对山地城市工程建设土石方规模大的实际问题,在土石方专项规划中,利用GIS技术开展土石方填挖分析<sup>[11]</sup>,将规划场地采取与道路交叉口标高齐平原则,形成较为规则的城市规划面域,将该面域与原始地形面域进行叠加比较,通过城市规划正负零标高与原始地面高差对比,体现填方区域和挖方区域,测算土方填挖空间,摸底规划区域土石方规模。工作流程如图1所示。

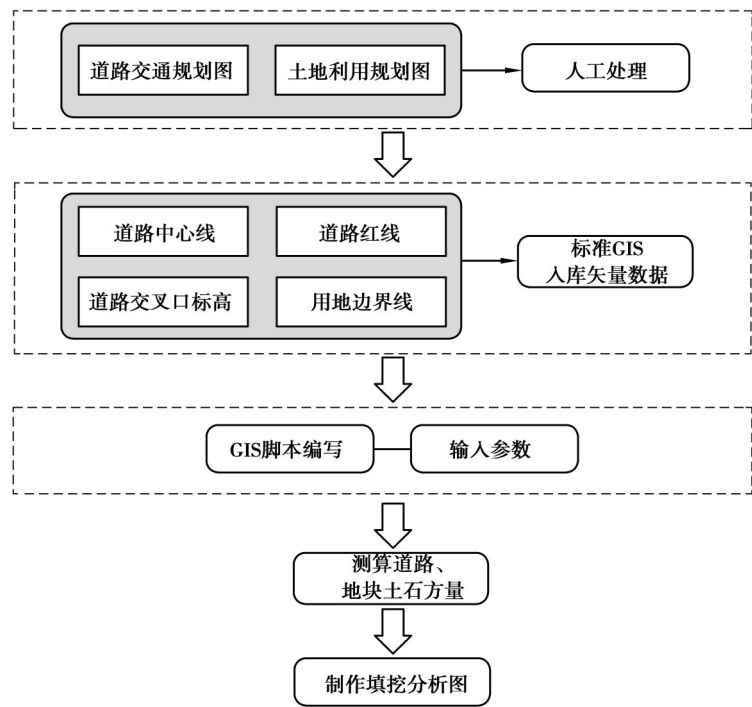


图 1 基于 GIS 技术的土石方测算流程

Fig. 1 The process of earthwork calculation based on GIS technology

2.2 基于勘察数据库的土石方分类

土石方资源分类需以地质勘察资料为基础,通过建立城市级的勘察数据库,对区域现状进行测绘及地质调查,依据相关标准及文件,确定区域内岩、土层分布范围及厚度,具体工作流程如图 2 所示。

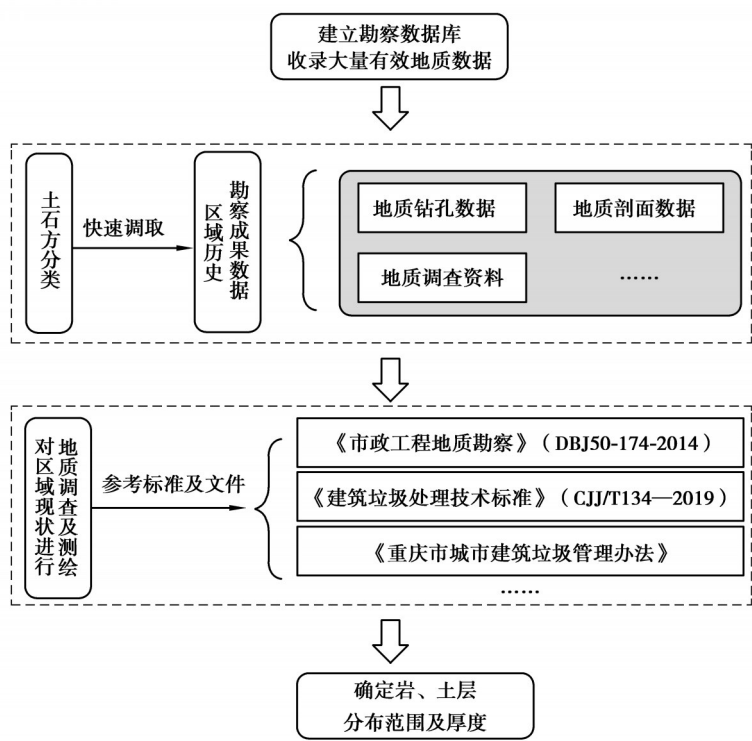


图 2 基于勘察数据库的土石方分类工作流程

Fig. 2 Workflow of earthwork classification based on survey database

2.3 土石方资源化利用途径

2.3.1 工程建设土石方资源化利用途径

根据重庆市《中心城区建筑垃圾专项治理规划(2021—2035)》,工程渣土的资源化利用产品主要有:再生烧结砖、再生陶土粒、回填土、种植土、再生水稳材料。在“无废城市”建设背景下,基于勘察信息大数据,采用实地观察法、文献调查法、访谈调查法等方法,进一步开展土石方资源化利用途径研究<sup>[12-13]</sup>。

工程建设产生的弃方物质成分按地层岩性,可分为表土及土石混合料,如图 3 所示。

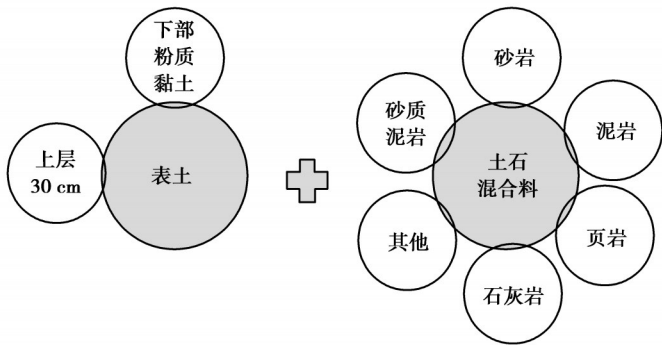


图 3 工程建设弃方物质组成

Fig. 3 Composition of abandoned materials in engineering construction

整理对北碚区农业农村委员会相关专家、西南大学土壤学专家、建材加工企业、施工单位等的访谈调研结果可知,工程建设土石方可通过土壤改良、基质培肥、机械加工等方式直接利用或制成再生产品,实现资源化利用,并得到各类土石方资源单价。具体资源化利用方式如表 1 所示。

表 1 土石方资源利用方式

Table 1 Utilization method of earthwork resources

地层岩性	土石方资源利用方式
耕植土(表层 30 cm)	天然优质种植土
粉质黏土	通过人工干预,施用有机肥等,亦可作为种植土(该类土沟谷区域一般可达 2~5 m,一般坡地可达 0.5~1.0 m)
砂质泥岩	路基填料,制作渣土砖等
砂岩	特殊路基处理、片石挡墙、制再生砂石料、机制碎石、条石
泥岩	软岩,可用于制砖等
页岩	软岩,可用于制砖等
石灰岩	制作级配碎石、水稳层集料、机制砂、部分沥青面层集料、透水混凝土、透水砖、路缘石等
其他(建筑垃圾、生活垃圾等)	消纳场填埋或者无害化处理

2.3.2 临时用地复垦及生态修复土方资源调配

工程项目施工占压原有地表、植被等用于临时用地,导致原有土地功能及生产能力丧失。为使土地资源持续开发利用,需依托生态学基础理论原理、生态经济学理念、生态修复及土地复垦技术,对临时用地实施恢复治理<sup>[7]</sup>。将原有多多样性、多层次化综合类型的生态系统,有效恢复至可利用状态,尽可能以最小投入,实现生态效益最大化。

用于复垦临时用地的土壤多是通过整合土方资源后的外运土。如图 4 所示,开展土地复垦各项技术工作需实施表土剥离和回覆作业,并将外运土纳入至土方资源平衡分析中,结合复垦区域范围表土实际情况及复垦方向,对所剥离表土实施统一调配及调运处理,充分考虑暂存损耗及运输损耗情况,有效维持供求平衡,实现土石方资源充分化利用。

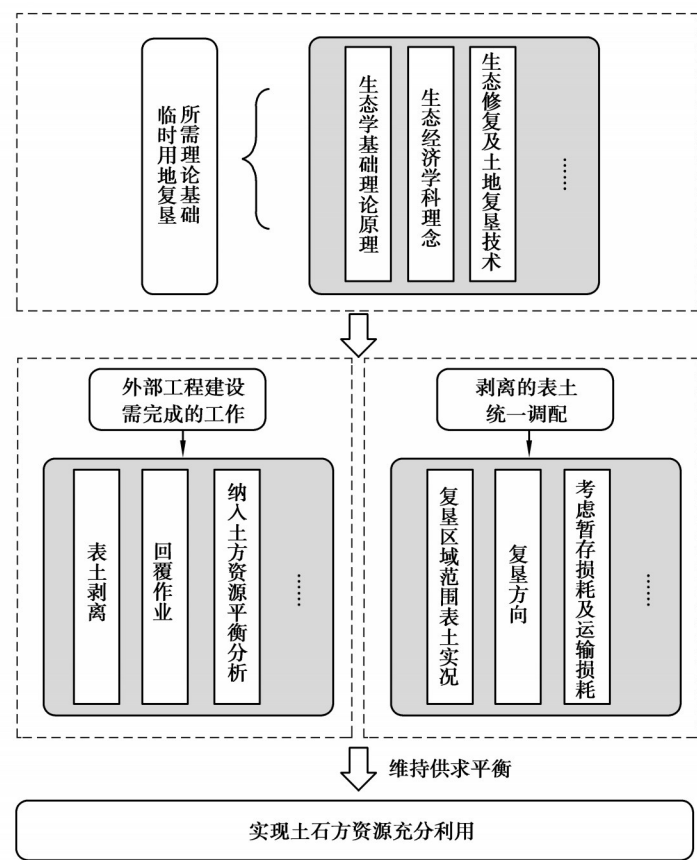


图4 临时用地复垦工作流程

Fig. 4 Temporary land reclamation workflow

2.4 生态视角下的土方选址布局规划

山地城市利用工程建设土石方资源进行矿山生态修复已有部分探索 and 实践经验。在此基础上,将不可资源化利用的土石方收纳场地布局规划与矿山生态修复创新结合。

2.4.1 规划引领,矿山土地综合修复利用

针对废弃矿坑,考虑土地利用总体规划、土地整治规划、周边现状地类和地块自身条件等因素,将收纳场选址与矿山生态修复深度融合。对适宜作为弃土收纳场的矿山进行科学生态回填,按照“生态优先、实事求是、农户自愿、宜耕则耕、宜林则林、宜草则草”的原则实施复垦,可产生生态地票进行市场交易。

2.4.2 矿山消纳工程弃土,保障项目资金

自2018年废弃矿山修复工作开展以来,重庆市规划和自然资源局指导中心城区探索“工程弃土→矿坑客土”转化模式,结合区内废弃矿山修复客土与建设项目工程弃土消纳需求,化解“建设工程弃土堆放难”和“矿山修复优质土缺”两方面问题。同时,通过有偿弃渣,解决矿山修复工程费用、农民土地租金、修复后管护资金等问题,保障项目资金。

3 北碚区土石方资源化利用规划案例

3.1 项目概况

为进一步加强自然资源管理利用,重庆市北碚区规划和自然资源局以《关于加强主城区自然山水保护严格控制建设项目土石方大填大挖的通知》(渝规资〔2020〕383)、《重庆市“十四五”大宗固体废弃物综合利用实施方案》(渝发改规范〔2022〕3号)等相关文件为指导,开展北碚区土石方资源化利用国土空间专项规划。

该专项规划项目基于三维地理信息环境,对北碚区未实施用地范围内土石方产生量进行预测,结合其他省市经验,摒弃传统“一填了之”思维,通过对土石方资源分类、市场化交易后再利用,可大幅降低填埋量,促进渣土的分类、智能和精准利用,解决北碚区全域弃土场消纳及布局问题,实现北碚区土石方资源化利用分类和土石方资源综合效益测算。

### 3.2 数据分析方法

三维地理信息环境,即区别于传统二维地理数据,是进一步包含了高度和深度的三维空间,可真实、立体模拟现实环境,实现对建筑、道路、水系等要素的三维可视化。利用三维地理信息平台开展工作,图5为北碚区某区域的平台截图示意,在该环境中可提供更丰富、更准确的地理信息。



图5 三维地理信息平台截图示意

Fig. 5 3D geographic information platform screenshot

基于此,进一步利用GIS技术细化工作。首先,结合所收集资料,通过人工智能解译及现状初勘校核,去除北碚各片区已建成道路和地块,获得待计算的未建设区域,共计约30.5 km<sup>2</sup>,梳理得到土石方本底情况。

### 3.3 土石方本底

测算范围为重庆市北碚区未实施用地(指已法定化详细规划用地中,结合遥感影像解译,扣除已建区域和已出让区域),面积30.5 km<sup>2</sup>,共计8个街道镇,包括童家溪镇、蔡家岗街道、歇马街道、施家梁镇、龙凤桥街道、北温泉街道、东阳街道和澄江镇。弃土场选址规划布局范围为重庆北碚区全域范围,辖区面积755 km<sup>2</sup>。

基于现状地形资料、控规路网、控规用地等多类数据,采用GIS技术开展数据处理。对北碚区8个片区道路交通规划图、土地利用规划图进行人工处理,将道路中心线、道路红线、道路交叉口标高、用地边界线处理为标准的GIS入库矢量数据,对区城镇开发边界范围内未实施道路及场地土石方规模进行初步测算分析。

开展GIS脚本编写,输入规划路网、规划用地、现状地形数据和参数,以道路交叉口齐平建设的方式,初步测算出未建设道路和地块土石方量(该测算不包含道路及场地边坡),并基于GIS开展挖填分析制图。

未实施道路共计10.2 km<sup>2</sup>(道路长度约322 km)、未实施地块共计20.3 km<sup>2</sup>。经测算,截至2035年,北碚8个片区未实施区域填方为10 786万方,挖方为19 618万方,需要弃方8 832万方。其中,未实施地块挖方15 526万方,填方6 547万方,净挖方8 979万方;实施道路挖方4 092万方,填方4 239万方,净填方147万方,详细情况如表2所示。

表2 北碚片区土石方量汇总表

Table 2 Summary table of earthwork volume in Beibei District

万方

名称	面积/km <sup>2</sup>	道路			场地			合计		
		挖方	填方	净挖/填	挖方	填方	净挖/填	挖	填	净挖/填
童家溪镇	22.88	340	-216	124	2 014	-118	1 896	2 354	-334	2 020
蔡家岗街道	45.84	1 388	-1 615	-227	5 125	-2 287	2 838	6 513	-3 902	2 611
歇马街道	57.44	841	-577	264	3 572	-1 483	2 089	4 413	-2 060	2 353
施家梁镇	17.60	315	-958	-643	2 112	-1 261	851	2 427	-2 219	208
龙凤桥街道	31.85	70	-68	2	281	-183	98	351	-251	100
北温泉街道	19.74	419	-281	138	758	-612	146	1 177	-893	284
东阳街道	46.98	177	-145	32	—	—	—	177	-145	32
澄江镇	69.60	542	-379	163	1 664	-603	967	2 206	-982	1 224
合计	—	4 092	-4 239	-147	15 526	-6 547	8 885	19 618	-10 786	8 832

3.4 选址规划布局

基于三维地理信息环境,利用其丰富的DEM、DTM、DOM等地形数据,形成高度可视化的地形三维图,进一步开展坡度、坡向、高程、流域等基础信息分析;利用GIS技术采集、储存北碚区现有存储场地以及拟建场地(低洼区域)数据,分析其与周边环境关系,初步判断场地建设适宜性、景观协调性,辅助决策。

同时,根据建设时序对地形数据进行更新维护。例如,北碚区段遂渝二线铁路和襄渝铁路等工程施工时序不同,对周边既有弃土场使用需求不同,依据建设时序,按就近原则科学合理分配弃土场,并动态掌握北碚区建设过程中地形、地貌变化情况,及时收集弃土场使用情况。

3.4.1 现有存储场规划布局

北碚区内可利用的现有场地分为两类:一是现状矿坑,有现状矿坑45处,经过核查筛选,仅有18处在地形、权属、合规性、落地性上均符合要求,可用于弃土消纳,预计消纳弃土量1310万方,主要分布于中梁山。二是34处既有弃土场,主要来源于区内铁路项目已选定弃土场,其中,仅7处通过北碚区规划和自然资源局协调核查权属明确、合规可用,可容纳弃土量165万方,主要分布于遂渝二线铁路和襄渝铁路附近。

3.4.2 新选场址规划布局

利用三维地理信息环境,在平台中开展全域消纳场场址初筛,选择地势较低洼区域,考虑地块用地性质,叠加本底要素、规划成果、管控要素等信息,通过模拟、踏勘、测算,明确消纳场容土量、地块权属,完善土石方消纳场布局,最终新选场址19处,可容纳量2054万方,主要分布于静观镇、歇马街道、施家梁镇和澄江镇。综上,北碚区内选择场址总容量为3529万方,可吸纳区内外土石方资源。

3.5 土石方资源化利用

3.5.1 地质概况

北碚区规划未实施区域宏观上属构造剥蚀浅丘地貌,总体较平缓,整体呈沟谷相间形态,沟谷一般宽缓。地表出露的地层由新至老依次为:第四系覆土,侏罗系中统下沙溪庙组、新田沟组、中下统自流井组及下统珍珠冲组及低山区三叠系须家河组地层;矿坑一般位于岩溶槽谷区域,地层主要为嘉陵江组,岩性为灰岩,地形较平缓。主要存在地层岩性为:填土(建筑垃圾)、耕植土、粉质黏土、砂岩、砂质泥岩、泥岩、页岩、灰岩等8类,如图6所示。

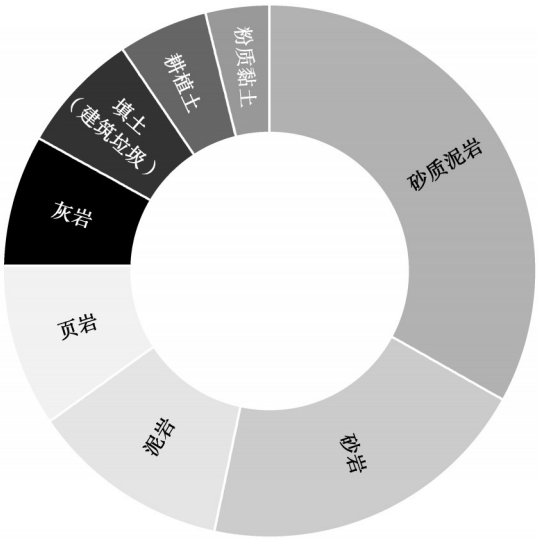


图6 北碚区未实施用地区域土石方资源分类

Fig.6 Classification of earthwork resources of non-implemented land use areas in Beibei District

3.5.2 资源现状及利用方式

根据地层岩性,结合对北碚区土石方利用及政策咨询及调研,可参照表1土石方资源利用方式,对图6中8类土石方资源进行资源化利用。

3.5.3 资源化利用效益测算

土石方资源分类后,对可利用的土石方资源按图 7 所列费用项目进行直接经济价值测算。

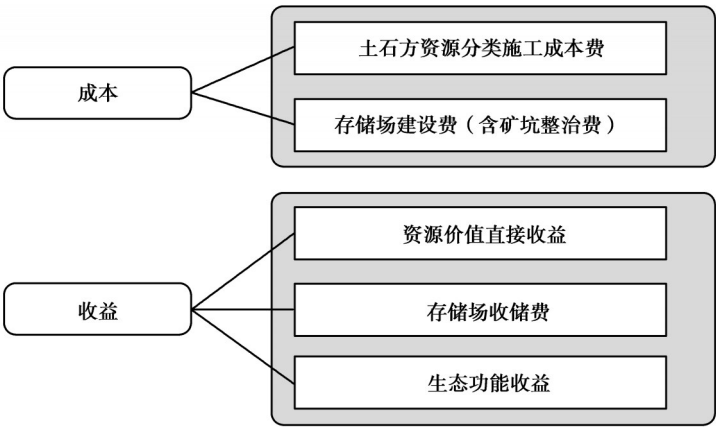


图 7 土石方资源化利用费用类别

Fig. 7 Cost categories for the utilization of earthwork resources

根据市场调研土石方相关成本,将北碚区未建设区域工程弃土 8 832 万方按照表 1 进行资源化利用分类,各类土石方数量如表 3 所示。

表 3 北碚区未建设区域土石方量分类数据

Table 3 Classification data of earthwork volume in areas not yet constructed in Beibei District		
序号	地层岩性	数量 $V_i$ /万方
1	耕植土(表层 30 cm)	501
2	粉质黏土(下层土)	82
3	砂质泥岩	5 843
4	砂岩	2 393
5	其他(建筑垃圾、生活垃圾等)	14

按照访谈调研结果取得的各类土石方资源单价,可计算得到“资源价值直接收益”,计算过程如式(1)所示。

资源价值直接收益= $\sum_{i=1}^5 V_i \times D_i=501 \times 20+82 \times 20+5843 \times 5+2\,393 \times 10-14 \times 70=63\,790.41$ (万元), (1)

式中: $D_i$ 为对应土石方资源单价。

北碚区未建设区域工程弃土资源化利用的其他成本及收益测算详见表 4~7。

表 4 土石方资源分类施工成本测算表

Table 4 Cost classification of earth and stone volumes				
类别	单位/万方	单价/(元·m <sup>-3</sup> )	合价/万元	单价来源
土石方资源分类施工成本费	8 832	3	-26 496	市场询价

表 5 存储场建设费(含矿坑整治费)测算表

Table 5 Storage yard construction cost (including mine renovation cost)				
类别	单位/km <sup>2</sup>	单价/(万元·km <sup>-2</sup> )	合价/万元	单价来源
新选弃土场	1.24	4 500	-5 508	暂估
矿坑生态修复费用	1.18	4 500	-5 322	访谈调研
铁路曾用弃土场	0.16	4 500	-705	暂估
小计	2.56	4 500	-11 535	—

表 6 存储场收储费测算表  
Table 6 Storage yard collection and storage cost

类别	单位/万方	单价/(元·m <sup>-3</sup> )	合价/万元	单价来源
新选 19 个弃土场	2 054	20	41 080	市场询价
18 个矿坑	1 310	20	26 200	
7 个铁路曾用弃土场	165	20	3 300	
小计	3 529	20	70 580	—

表 7 生态功能收益测算表  
Table 7 Ecological function income

类别	单位/km <sup>2</sup>	单价/(万元·km <sup>-2</sup> )	合价/万元	单价来源
耕地产粮	2.28	407	19 387	按 20 a 产粮收益计算
进出平衡指标	1.41	4 500	6 345	耕地进出平衡指标交易价格
地票	0.97	30 000	29 160	耕地地票交易价格
生态地票	0.74	7 500	5 515	生态地票交易价格
小计	—	—	60 407	—

经测算,未建设区域工程弃土采用资源化利用方式,需支出弃土场建设成本约 1.15 亿元、土石方分类成本约 2.65 亿元,收入资源化利用直接收益约 6.38 亿元、存储场收渣费约 7.06 亿元、存储场生态功能收益 6.04 亿元,合计净收益约为 15.68 亿元(见图 8)。

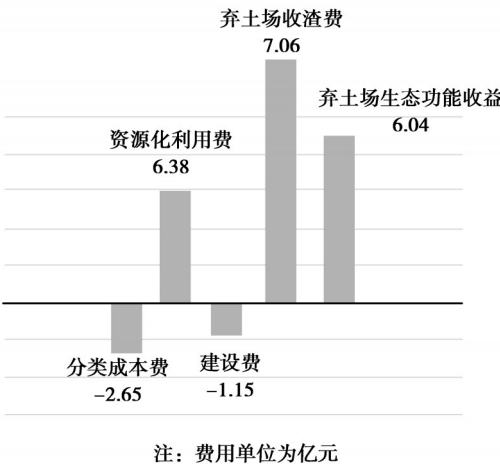


图 8 土石方资源化综合利用经济分析

Fig. 8 Economic analysis of comprehensive utilization of earthwork resources

3.6 效益分析

3.6.1 综合利用生态效益

土石方资源化利用通过存储场和矿坑生态修复或复垦,可新增耕地进出平衡指标约 1.41 km<sup>2</sup>,产生地票面积 0.972 km<sup>2</sup>,产生生态地票面积约 0.735 km<sup>2</sup>。落实深化自然资源部“两统一”职责,助力实现“双碳”目标。

3.6.2 综合利用经济效益

通过开展土石方资源综合利用,充分挖掘土石方潜在价值,减少弃方规模,北碚区土石方资源化利用净收益约 15.68 亿元,可促进全面节约和高效利用资源,树立节约集约循环利用的资源观,形成高效循环经济运行模式,进一步节约工程建设资金。

### 3.6.3 综合利用社会效益

创新了土石方运营管理模式,从整体生态系统管控和治理的角度,对过去工程渣土“一填了之、无序分散”的土方处置模式进行改革创新,通过建立区级平台公司,对全域土石方资源进行统一管理,将实现资源有效利用、信息共享、公开交易、集中管理的目标。

带动了产业发展,土石方资源通过分类、市场化交易后再利用,或制成再生产品投入市场,具有迫切市场需求以及广阔市场前景。北碚区目前已有2家大型资源化利用处理厂,但原料均以建筑垃圾为主。北碚区协同发力,出台政策支持土石方资源化利用再生产品的生产和应用。有效激励上述企业以土石方资源为原料开展资源化利用工作;并出台相关政策吸引更多资源化企业落户,孵化并带动大批新型企业,促进循环经济,进一步创造新的就业岗位,拉动企业创业创新发展。

## 4 结 论

1)工程建设土石方规模大,笔者通过整合三维地理信息环境,利用GIS技术、勘察信息大数据,将工程建设弃方科学分类、资源化利用,正向促进自然生态发展,同时联合经济效益、社会效益多方提升,为北碚区未建设区域土石方资源化利用创造经济效益约15.68亿元。为工程建设土石方资源化利用提供科学依据。

2)为土石方资源化利用是极为复杂的系统工程,基于三维地理信息环境,成功将勘察信息大数据成果以及GIS技术应用于实际工程建设土石方变废为宝,实现工程建设弃土保值增值,为日后衍生土石方资源化利用相关新技术、新工艺提供全新思路及理论支撑手段。

## 参考文献

- [1] 熊桂开,朱丽丽,薛梅. GIS-BIM技术在山地城市路网优化设计中的应用[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2017, 36(4): 91-96.  
Xiong G K, Zhu L L, Xue M. Application of GIS-BIM technology in the optimization design of road network in mountainous city[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2017, 36(4): 91-96. (in Chinese)
- [2] 韩玲,姚红云. 城市交通与土地利用互动关系研究综述[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2012, 31(S1): 589-593, 664.  
Han L, Yao H Y. Review on the interactive relationship between urban traffic and land use[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2012, 31(S1): 589-593, 664. (in Chinese)
- [3] 高文文. 废弃露天矿坑再利用模式研究及实证[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.  
Gao W W. Research and empirical study on the reuse patterns of abandoned open pits[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2017. (in Chinese)
- [4] 赵延存,汪寿林,张治. 黄河羊曲水电站工程建设生态修复措施研究[J]. 智能城市, 2020, 6(13): 116-117.  
Zhao Y C, Wang S L, Zhang Z. Study on ecological restoration measures of Yangqu hydropower station on the Yellow River[J]. Intelligent City, 2020, 6(13): 116-117. (in Chinese)
- [5] Wang C X, Liu Y X, Yu J R. Coordinative enhancement of ecological security and the aesthetic viewing service in the ecological restoration of mining landscapes[J]. Land Degradation & Development, 2023, 34(13): 3881-3895.
- [6] 史丽秀,关午军,朱燕辉. 近自然·巧因借: 2022北京冬奥会及冬残奥会延庆赛区总体生态修复规划设计[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(2): 11-15.  
Shi L X, Guan W J, Zhu Y H. Close to nature · good at depending and borrowing: overall ecological restoration planning and design of Yanqing competition zone of the Olympic and Paralympic winter games Beijing 2022[J]. Urban Architecture Space, 2022, 29(2): 11-15. (in Chinese)
- [7] 张东,唐子颖. 南京汤山矿坑公园生态修复与景观设计[J]. 中国园林, 2019, 35(11): 5-12.  
Zhang D, Tang Z Y. Ecological restoration and landscape design of the quarry park in Tangshan of Nanjing[J]. Chinese Landscape Architecture, 2019, 35(11): 5-12. (in Chinese)
- [8] 刘燕,杨庆媛. 地票制度下贫困地区土地生态功能的拓展: 以重庆的实践为例[J]. 中国土地, 2020(12): 36-38.  
Liu Y, Yang Q Y. Expansion of land ecological function in poverty-stricken areas under the land ticket system: a case study of Chongqing[J]. China Land, 2020(12): 36-38. (in Chinese)