

建筑废弃物产量估算与预测

——以重庆市为例

□ 李红霞 李 言 郎 宏

[摘 要] 随着建筑业中拆除、新建项目增多，如何高效处理建筑垃圾成为我国当前迫切需要解决的问题。其中预测建筑废弃物产量起着至关重要的作用，是促进建筑垃圾综合利用的基础。本文对建筑废弃物的估算及预测方法进行比选，选用单位建筑面积估算法对重庆市建筑废弃物产量进行计算，采用灰色GM（1，1）模型对未来5年的建筑废弃物产生量进行预测，为政府合理布局建筑废弃物相关产业提供参考。

[关键词] 建筑废弃物；产量估算；年产量；灰色GM（1，1）模型

随着建筑工程项目逐渐增多，建筑废弃物的数量也在快速增长，约占据城市垃圾总量的70%^[1]。据统计，我国在2017年产生建筑垃圾总量为15.93亿t，在2018年达到17.04亿t^[2]，其总产量还在持续增长，每年以10%的速度递增^[3]。城市建筑废弃物产量的大幅提升，对废弃物收运和处理的需求增加。政府对其管理工作也十分重视，党的十九大报告明确指出，我国将全面推进资源节约和循环利用，特别是关于加强固体废弃物的处置及资源化利用。而加强建筑垃圾综合治理，离不开建筑废弃物产量的准确预测，这是制定完善管理方法的重要依据。

相较于建筑垃圾产生量的快速增长，我国建筑废弃物的利用率不足5%^[4]。建筑废弃物处理行业发展报告中指出，我国建筑废弃物处理能力远低于欧美、日韩国家的处理水平，100万t以上的生产线只有70多条，建筑废弃物重复利用量不到1亿t。精确的估算并预测城市产量是增加建筑垃圾处理厂的重要依据，对提高建筑废弃物的利用率有着积极作用，因此估算并预测现有城市建筑废弃物产量十分有必要。

1 建筑废弃物产量估算

本文主要关注可以重复利用的建筑废弃物，不考虑市政工程中的工程槽土，研究房屋建筑工程中的建筑垃圾以及进入建筑废弃物资源化的产业中，统一规划建筑废弃物、集中处理的部分，这里将其定义为即新建、装修、拆除过程产生的建筑废弃物。

1.1 估算方法的选择

研究估算方法目的是结合现有城市具体特征，以找出适合的估算方法，为后续的产量预测做准备。估算方法的选择至关重要，直接决定预测结果的准确性和有效性。目前，估算建筑废弃物产量的方法主要有现场调研法、单位产量法、材料流分析法、系统建模法等^[5]。为了选择合适的方法对重庆市历史产量进行估算，本文从重庆市自身的特点以及估算方法对预测结果准确度影响多方面考虑，对这几种方法的内涵、优劣势进行简要介绍。

现场调研法，是根据现有资料收集历史产量数据，汇总并估算产量，其操作简单，原理便于理解，结果易于统计，但数据的准确性有待考证。单位产量法利用产废系数，结合定量面积得到建筑垃圾产生量，依据不完整、不精确的信息估算产量，其缺点是不能明确表现建筑废弃物的来源。材料流分析法，以原材料为研究对象，根据建设项目中的用途进行分析，能直观表达各内部因素的相互作用关系，但需要较多的原始数据，对原始假设的要求高。系统建模法，能够准确、细致地量化系统中的要素，提高估算精度，但需要大量的稳定性数据，界定要素间的联系难度大。

近年来建设开发项目持续增多，建筑垃圾产量逐年递增。加上历年建筑废弃物年产量数据缺失，预测产量难度加大。重庆作为我国最大的城市之一，产量数据远

[基金项目] 重庆科技学院研究生科技创新资助项目（编号：YKJCX2020622）研究成果。

[作者简介] 李红霞，重庆科技学院建筑工程学院，硕士研究生。

李 言，重庆科技学院建筑工程学院，硕士研究生。

郎 宏，重庆科技学院建筑工程学院，硕士研究生。

远大于其他城市，很难准确收集城市的建筑垃圾产量。而单位产量法适用于数据不完全、数据基础大的研究，因此选用单位面积产量估算方法对历史产量进行估算^[6]。

1.2 数据来源

本文以重庆市为研究对象，结合历史数据对建筑废弃物进行产量估算。数据的跨度主要选取重庆市2002年至2020年的历史产量，其原因在于，2000年后重庆经济发展迅速，建筑垃圾产量变化速度快，更加符合未来产量的增长趋势。查找数据来源于《重庆统计年鉴》《中国统计年鉴》。

1.3 估算模型的建立

1.3.1 新建施工废弃物年产量估算

大多新建施工废弃物的产废系数为0.055t/m²，但该系数的使用年份已久，已不适用于当前的情况。住房和城乡建设部发布《关于推进建筑垃圾减量化的指导意见》中明确指出，到2025年末，实现新建建筑施工现场建筑垃圾排放量每万平方米不高于300t。加上重庆市的丘陵山地特征，施工技术与其他地区存在明显差异，产生的新建建筑的建筑废弃物较少。本文拟用住房和城乡建设部和国家市场监督管理总局发布的《绿色建筑评价标准手册》中0.04t/m²作为计算新建施工废弃物产量的基数，并通过《重庆统计年鉴》《中国统计年鉴》，查找相关的施工建筑面积，估算2002年至2020年的施工废弃物产生量。

1.3.2 装修废弃物年产量估算

装修废弃物产量估算给学者们提供了丰富的借鉴方法。如建筑装修废弃物可按照居民住宅类和公共建筑类按照单位产量法分别计算，还可利用居民户数与单位户数装修垃圾产生量乘积求总产量。由于重庆市尚无准确的住宅及公共建筑面积的数据，查找单位户数装修垃圾产生量缺乏可靠的理论支撑，本文拟用建筑年装修面积按房屋竣工面积的10%计算，单位装修面积建筑废弃物年产生量为0.1t/m²[6]。

1.3.3 拆除废弃物年产量估算

拆除废弃物建筑结构主要类型分为钢筋混凝土结构、砖木结构、砖混结构。目前，重庆市拆除废弃物的主要建筑结构以砖混结构居多。参考相关学者的研究，将拆除废弃物分为不同的结构类型：钢筋混凝土结构、砖木结构、砖混结构。根据测算不同类型的结构，将拆除的产废系数定为1.337t/m²，拆除面积参考清华大学建筑节能中心的研究，城镇拆除建筑面积约占竣工建筑面积比达23%，拟城镇拆除建筑面积约占竣工建筑面积比

定为20%^[7]。

建筑废弃物总量为新建、装修、拆除之和。从2002年的1655.14万t增加到2020年的5422.41万t，平均年增长率为13.47%。其中拆除建筑废弃物类产量占比最高，是重庆市建筑废弃物的主要组成部分。历年重庆市建筑废弃物产量，如表1所示。

表1 2001年至2020年重庆市建筑废弃物年产量估算表			
年份	新建建筑废弃物年产量（万t）	旧建筑拆除废弃物年产量（万t）	装修废弃物年产量（万t）
2002	348.30	1259.74	47.11
2003	390.16	1320.85	49.40
2004	407.38	1381.83	51.68
2005	428.90	1378.50	51.55
2006	460.90	1419.70	53.09
2007	554.67	1537.72	57.51
2008	624.76	1734.17	64.85
2009	659.03	1998.32	74.73
2010	779.58	2217.28	82.92
2011	879.05	2403.81	89.90
2012	1050.79	3102.33	116.02
2013	1195.38	3273.06	122.40
2014	1315.48	3426.90	128.16
2015	1312.06	3621.29	135.43
2016	1283.09	3677.18	137.52
2017	1328.43	3596.04	134.48
2018	1405.60	3684.80	137.80
2019	1462.31	3641.53	136.18
2020	1524.90	3757.00	140.50

2 建筑废弃物产量预测模型

2.1 预测模型的选择

目前，预测建筑废弃物的主要方法有BP神经网络预测模型、多元回归分析法、灰色预测、系统动力学预测、ARIMA模型预测法等。为了选择合适的方法对重庆市建筑废弃物预测产量，下面对几种预测方法进行简要介绍。

BP神经网络预测模型通过误差逆传播算法，调整误差权值和阈值，实现对未来趋势的预测需要大量稳定性的数据，计算复杂。回归分析预测模型运用大量数据，利用数理统计方法建立自变量与因变量的关系。建立回归方程式进行预测，能准确计量因素之间的相关程度与回归拟合程度。灰色GM（1，1）模型，通过已知信息运用灰微分方程寻找系统演化规律，其建模过程简单，所需数据量小，样本要求低，对数据要求高，但预测效

果情况不稳定。系统动力学预测，主要运用系统动力学分析因素间的潜在关系，探索各变量对系统的影响，可直观体现系统的内在联系，所需数据量小，但建立模型内部的内在联系难度大。ARIMA模型将预测对象视为一个随机序列，用数学模型近似描述这个序列，该模型简单，但时序数据要求高。

本文主要研究重庆市未来5年的建筑废弃物存量，需要选取适合短期预测的模型，针对重庆市现有与产量相关的资料较少、存在不确定因素多等特点，决定采用灰色预测理论预测模型。该模型的适用范围广泛，预测精度可准确验证，若发现数据拟合度不高，还可及时修改模型，其计算量过程也相对容易。

2.2 灰色GM（1，1）模型预测结果

- （1）离散原始时间序列 $X^{(0)}$ 为由表1新建、拆除、装修之和。
- （2） $X^{(0)}$ 原始数据进行一次累加得 $X^{(1)}$ 。
- （3）原始数据进行光滑性检验，该原始数列符合光滑性检验，该数列可用于灰色GM（1，1）模型。
- （4）生成的紧邻均值生成序列 $Z^{(1)}$ 。
- （5）构建灰色GM（1，1）模型，计算参数化简计算，最终还原式为
$$\hat{x}^{(0)}(k+1)=1860.433101e^{0.0670847k} \quad (式1)$$

由此，公式反推重庆市2002至2020年建筑废弃物产量，通过灰色GM（1，1）模型的验证公式计算均方差比 $C=0.31<0.35$ ，模型精度符合要求。计算小误差概率 $P=1$ ，查阅相关资料，该模型精度等级为“优”。

（6）根据灰色GM（1，1）模型，对重庆市2021至2025年的建筑废弃物年产量进行预测，预测结果分别为y1=（6882.36，7117.12，7359.90，7870.57，8139.04）万t。预测结果表明，重庆建筑废弃物年产量依然持续增长，但增长速度逐步趋于平缓。

2.3 小结

针对重庆市建筑废弃物产量统计偏差大、数据不全面的现象，运用灰色系统理论建立了灰色GM（1，1）模

型，对重庆市未来5年建筑废弃物产量进行预测。通过所建立的预测模型表明，重庆市未来5年的建筑废弃物年产量会继续增加，政府对建筑废弃物资源化综合利用的研究工作仍需进行合理的安排和规划。

3 结论

本文通过建立建筑废弃物产量估算模型，得到重庆市2002年至2020年建筑废弃物年产量数据，以灰色系统理论为载体，建立灰色GM（1，1）预测模型。经过分析测算该预测模型精度等级为优秀，能够合理地反映重庆市建筑废弃物产量的变化趋势，由此用来预测重庆市未来5年内建筑废弃物的产量。

灰色GM（1，1）模型虽然不需要大量样本，但研究发现，样本数量越多，其预测模型的精度越高。由于灰色GM（1，1）模型适用于短期数据的预测，若进行长时间的预测，该模型会造成较大误差，精度等级低。在实际预测过程中，政府或者企业需要不断对数据模型进行修正，使预测结果更加准确，从而有效反映建筑垃圾的产量及产量变化趋势。

[参考文献]

[1]马猛亮,董事尔,张爱荣.基于案例分析的建筑垃圾资源化处理研究[J].科技促进发展,2019,15(4):401–407.
[2]吴伟东,陈欣.基于系统动力学与博弈思想的建筑垃圾预测与管控研究[J].科技促进发展,2020,16(11):1458–1467.
[3]国家发展改革委.中国资源综合利用年度报告[J].中国经贸导刊,2014(30):49–56.
[4]马彩云,刘远贵,徐林,等.基于灰色预测模型的福建省建筑废弃物产量预测[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2019,35(5):545–550.
[5]胡鸣明,彭峰,向鹏成.建筑废弃物产量预测及资源化处理厂选址布局优化:以重庆市主城为例[J].环境工程,2020,38(1):122–127.
[6]王红娜.西安市建筑废弃物资源化利用研究[D].西安:长安大学,2014.
[7]袁剑,曾现来,陈明.基于灰色系统理论的济南市建筑废物产量预测[J].中国环境科学,2020,40(9):3894–3902.