

生产建设项目弃土弃渣特性及资源化利用潜力评价

李建明^{1,2,3}, 王志刚¹, 张长伟¹, 刘晨曦¹, 黄金权¹, 张平仓¹

(1.长江科学院水土保持研究所, 武汉 430010;

2.中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100; 3.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 20世纪以来, 我国经济进入了蓬勃发展阶段, 各类建设项目大量开展, 加剧了人、地、资源之间的矛盾。生产建设项目弃土弃渣尤其是土石混合堆弃体不合理处置, 不仅浪费大量的土(石)资源, 还侵占大量土地, 造成环境污染, 甚至导致滑坡、泥石流等灾害。目前, 我国正大力推行生态文明建设, 土壤污染防治行动计划、无废城市建设试点工程等陆续开展, 弃土弃渣资源化利用更是水土保持法的明确要求, 因此开展弃土弃渣特性分析及资源化利用潜力评价具有重要的意义。以现有资料为基础, 预测我国目前已有的弃土弃渣量已接近400亿t; 弃土弃渣的物质组成主要是土、砂和石块, 实现资源化利用的方法、材料更易实现且成本低, 更具资源化利用潜力。目前为止, 针对弃土弃渣的管理和研究主要是从政策方面制定指导意见, 对于实现资源化利用的途径、方法及潜力评价等方面的研究仍较薄弱。研究从弃土弃渣类型、现状、物质组成及利用潜力评价等方面总结分析, 指明以土石混合为主的弃土弃渣实现资源化利用的重要性及可行性, 为生产建设单位及相关行政管理部门切实有效减少弃土弃渣产生及实现资源化再利用提供科学指导。

关键词: 弃土弃渣; 理化特征; 资源化利用; 无废城市

中图分类号: S157.1; F283

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)02-0001-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.02.001

Evaluation of Characteristics and Resource Utilization Potential of Residues in Production and Construction Projects

LI Jianming^{1,2,3}, WANG Zhigang¹, ZHANG Changwei¹,

LIU Chenxi¹, HUANG Jinquan¹, ZHANG Pingcang¹

(1. Soil and Water Conservation Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010;

2. Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences and

Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: The economy of China has been developing very fast since the 20th century, and large numbers of construction projects have been carried out, which have intensified the contradiction among people, land, and resources. Unreasonable disposal and dumping of residues in development construction projects not only wastes a lot of soil and stone resources, but also invades a large amount of land. At this situation, environmental pollution and disasters are usually induced. China is vigorously promoting the construction of ecological civilization at present. The action plan for soil pollution prevention-control and the pilot project of waste free city construction have been carried out successively. The resource utilization of residues is an important content of the soil and water conservation law, so characteristic analysis and evaluation of resource utilization potential are of great significance. Based on the available data, it is predicted that the amount of residues currently available in China is close to 40 billion tons. Because of the material composition of residues are mainly soil, sand and stone, the methods and materials for resource utilization are easier to realize and low in cost, and have the potential for resource utilization. However, so far, the management and research on residues is mainly based on policy guidance. The methods, materials, and potential evaluation of

收稿日期: 2019-08-23

资助项目: 国家自然科学基金项目(41701316); 2019年武汉市水土流失动态监测与生产建设项目监管项目(CKSK2019444/TB); 典型水土保持植物配置模式对消减城市面源污染的功能研究项目(CKSK2017819/TB); 深圳市典型区水土保持措施生态优化技术研究项目(CKSK2017820/TB); 水利部技术示范项目(SF-201709, SF-201806)

第一作者: 李建明(1989—), 男, 工程师, 博士研究生, 主要从事生产建设项目土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: hahaliujianming@126.com

通信作者: 王志刚(1981—), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事土壤地理与土壤侵蚀研究。E-mail: peter.zgwang@gmail.com

residues to achieve resource utilization are still weak. This paper summarized and analyzed the types, material composition, and utilization potential of residues, and further points out the importance and feasibility of residues resource utilization. This research could provide scientific guidance for production and construction units and relevant administrative departments to effectively reduce the occurrence of residues and realize resource utilization.

Keywords: residues; physical and chemical characteristics; resource utilization; no-waste city

经济的迅猛发展导致生产建设项目数量急剧增加,产生大量的弃土弃渣不仅造成土石资源浪费,更压占土地、破坏生态环境,已成为我国现阶段水土流失的主要策源地之一,也是造成生态环境恶化,甚至引发地质灾害的重要来源^[1-2]。从范畴上讲,弃土弃渣属于建筑垃圾的一种,指人们在从事拆迁、建设、装修、修缮等生产活动中产生的渣土、废旧混凝土、砖石及其他废弃物的统称,而建筑垃圾同时又是固体废弃物的一部分,是指在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态的物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品物质^[3-4]。伴随“生态文明建设”“建设资源节约型、环境友好型社会”“区域生态修复”以及最新的“无废城市建设”等理念和举措的推行和落实,实现固体废弃物资源化利用已迫在眉睫^[5-6]。关于固体废弃物及建筑垃圾的处理,以及实现资源化利用的途径和方法目前已有相关研究^[7-8],但弃土弃渣的资源化利用目前研究仍较少。

生产建设项目是按固定资产投资管理形式进行投资并形成固定资产的全过程^[9]。生产建设项目弃土弃渣指在建设和运行过程中,由于扰动、开挖地表而导致的土、石等永久性或者临时性的堆置,下垫面物质组成主要以土、石为主,同时也可能含有少部分基岩风化物,而弃土弃渣是典型代表,是以人类生产建设活动为主要外营力,通过对地表和地下岩土层进行扰动、废弃物堆置等对地表物质形态进行重塑的产物^[10]。由于物质组成简单、资源化利用程度高等特点,从总量上控制弃土弃渣的产生,以及将已产生的弃土弃渣实现资源化利用是践行“无废城市建设”和实现固体废弃物资源化利用的有效途径,不仅能减少污染,改善环境,同时也缓解目前土石资源紧缺的局面^[11]。本文通过调研大量的文献资料,对弃土弃渣的现状、危害进行了分析,根据弃土弃渣来源、类型及物质组成特征,梳理了现阶段弃土弃渣资源化利用的方向,指出实现弃土弃渣资源化利用具有重要的科学意义和指导生产实践的价值,其社会、生态和经济效益显著。

1 弃土弃渣类型及危害

1.1 弃土弃渣现状及类型划分

根据水利部、中国科学院和中国工程院联合开展

的“中国水土流失与生态安全综合科学考察”资料,“十五”期间我国建设项目总数为 7.6 万多个,占地面积超过 552 hm²,产生弃土弃渣总量为 92.1 亿 t。按照项目类别划分,公路项目弃土弃渣达到 42.4 亿 t,占总量的 46.1%,露采矿工程和水利水电工程弃土弃渣分别占总量的 20.7%和 18.7%,以上 3 类项目产生弃土弃渣占总量超过 85%^[12]。康玲玲等^[13]统计分析认为,我国“十五”“十一五”“十二五”以及“十三五开始 2 年”的生产建设项目数量呈显著增长趋势。本文以“十五”到“十三五开始 2 年”的年平均审批项目数及“十五”(92.1 亿 t)“十一五”(100.2 亿 t)的弃土弃渣量作为预测“十二五”“十三五”的弃土弃渣总量,预测“十二五”“十三五”的弃土弃渣总量分别为 105.1,106.0 亿 t,总量增加,但增长率呈逐年递减变化(图 1)。

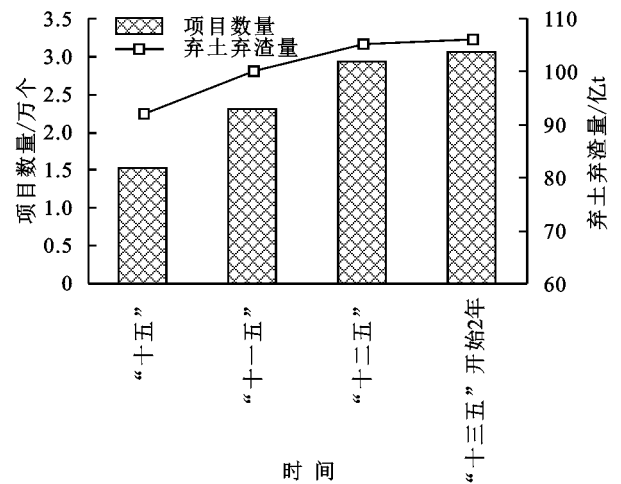


图 1 生产建设项目数量统计及弃土弃渣量预测

不同项目类别由于施工工艺、流程、组成特点等差异,产生的弃土弃渣类型和数量差别也较大,对不同类型项目产生的弃土弃渣类型、数量及特征进行阐述(表 1),结果表明,生产建设项目产生的弃土弃渣按照物质组成来说,主要包括弃土、弃渣 2 种类型,且大部分都是土石混合,单纯的弃土在河道工程中较为常见,纯粹的弃渣往往出现在采矿工程的尾矿库或煤矸石堆。

由表 1 及统计资料表明,露天矿项目的土石方量通常都在几亿立方米,核电站、水电站、机场、公路、铁路项目的土石方量一般在 $1.0 \times 10^7 \sim 2.0 \times 10^7$ m³,火电站、井采矿等项目土石方量一般在数百万立方米,房地产项目只有几万立方米^[1]。已有资料^[23]表明,地铁开挖产生土方约 5.7 万 m³/km,修建山区高速公路弃渣量可高达 3.4 万 m³/km。在采矿项目中,排土场、排矸场、废石场等占

项目总面积超过 40%，排土场占 20%，尾矿场占 13%，矿井、废石场和矸石场占地 5%，因地表下沉和塌陷而变成废弃地占 3%，而直接用于采矿工程的土地面积占 59%^[24]。综合分析可知，点型项目中露天矿项目的土石

方量最大，产生的弃土弃渣量也最大，而在线型工程中，公路项目的弃土弃渣量占比较大，这与“十五”期间露采矿弃土弃渣占总比的 20.7%、公路工程弃土弃渣占 46.1%的结论^[25-27]一致。

表 1 不同类型工程弃土弃渣特征及数量

项目类型	项目名称	项目概况	弃土弃渣类型	数量
公路铁路工程	怀集至阳江港高速公路怀集至郁南段 ^[14]	路线全长 159.94 km,公路等级 I 级	弃土、弃渣、建筑垃圾	工程总挖方 1 898.99 万 m ³ ,总填方 1 829.51 万 m ³ ,借方 112.74 万 m ³ ,弃方 182.22 万 m ³
	宝天高速公路 ^[15]	某标段线路长 9.74 km	弃土、弃渣	路基清表 28 012 m ³ ,路基挖土方 116 141 m ³ ,挖石方 167 579 m ³
	新建和顺至邢台铁路 ^[16]	线路全长 139.50 km	弃土、弃渣	总挖方 1 231.50 万 m ³ ,填方 860.40 万 m ³ ,借方 66.60 万 m ³ ,弃方 437.70 万 m ³
煤矿开采	神府东胜矿区 ^[17]	含煤面积 31 172 km ² ,包括井采矿和露采矿	弃土、弃渣、煤矸石	至 2004 年,矿区堆积松散弃土弃渣达到约 1 391 万 m ³
城镇开发	城镇开发 ^[18]	深圳市每年至少有 300 个在建工程项目	弃土	弃土量超过 1 500 万 m ³
线路/管道工程	杭州市第二水源地千岛湖配水工程 ^[19]	线路长 111.72 km,隧洞占比 90%以上	弃土、弃渣	开挖土石方总量 1 003.24 万 m ³ ,填筑量为 254.66 万 m ³ ,挖方中 206.20 万 m ³ 加工制成的混凝土粗细骨料直接用于本工程,最终产生弃方 542.38 万 m ³ ,弃方中有 98%是石方
	南水北调中线工程邢石界—冀京界 ^[20]	全长 290.39 km	弃土、弃渣	土石方开挖量 10 962.40 万 m ³ (自然方),填筑量为 2 321.40 万 m ³ (压实方),弃方 11 444 万 m ³ (松方)
	杨林塘航道整治工程 ^[21]	航道疏浚 27.71 km,新建护岸 55 km	弃土、疏浚土方	总开挖土方 889.25 万 m ³ ,本工程用土 162.58 万 m ³ ,外部建设用土 482 万 m ³ ,河道回填 20.95 万 m ³ ,最终剩余弃土 253.26 万 m ³
	西气东输管道陕西段 ^[22]	管道全长 346.02 km,开凿隧洞 11 座,修建公路 70 km	弃土、弃渣	弃土弃渣 51.74 万 t

1.2 弃土弃渣的危害

从弃土弃渣总量来看，由于利用率低，总量呈不断增加趋势，如若不及时加以控制，将产生严重的危害，不仅容易造成水土流失、滑坡、泥石流等灾害，更重要的是占用大量土地，减少优质土地资源面积，加剧人地矛盾。

弃土弃渣的危害主要体现为：(1) 占用现有土地面积，且弃土弃渣中的有毒有害物质会降低土壤质量，造成污染；(2) 形成大气污染，弃土弃渣在粉碎时形成的粉尘受风力作用进入大气，且新堆置的弃土弃渣如未采取苫盖等措施也会造成大气污染，同时也是造成雾霾的原因之一；(3) 淤积河道，影响行洪，污染水源。弃土弃渣往往堆置在沟谷或河道边缘，在降雨时形成严重的水土流失，容易淤积河道并影响行洪，且弃土弃渣中的有毒有害物质进入水体后，容易污染水质；(4) 破坏市容、恶化城市环境卫生。由于城镇建设需要大量的土石方，建设结束后产生的弃土弃渣没有严格的监管监控措施，随意堆置的弃土弃渣不仅影响市容市貌，且生活及建筑垃圾与弃土弃渣混合堆积，形成大大小小的垃圾场，恶化城市环境卫生，与城市文明发展极不协调，影响城市形象^[28]。而由生产建设项目造成的弃土弃渣是引起区域生态环境的主要原因之一，更是矿区水土流失及地质灾害的主要策源地，针对该方面已开展较多相关研究^[29-30]。对弃渣场防护，众多学者^[31]以具体实例进行了详细的设计，确保弃渣场的安全，其防治原则包括预防为主、综合

治理的原则，稳定可靠、避免地质灾害发生的原则，保护环境、维护景观协调美观的原则，而防治思路总体包括拦挡工程设计、弃渣堆置设计、排水工程设计、渣面设计 4 部分。

2 弃土弃渣理化性质特征

弃土弃渣属于典型的人为塑造地貌单元，其物质来源为土壤及其母质经过“开挖—运输—倾倒—压实”等机械扰动形成，没有明显土壤层次结构^[32]。工程建设过程中开挖和倾倒是弃土弃渣产生和堆置的主要动力，并形成了典型的工程堆积体，也是目前最常见的弃土弃渣类型，堆积体的特征体现在下垫面组成以土石混合为主，坡度 27°~36°占 80%，坡长分布在 2~8 m，细粒土含量<2%，块石和土壤结构分选作用明显^[33-35]。

2.1 弃土弃渣的物理特性

不同类型生产建设项目由于占用土地类型、挖掘方式及深度等不同，产生的弃土弃渣类型有所差异，既可能是只有土壤、砾石的单一物质，也可能是土石混合介质。笔者统计分析了相关的文献资料见表 2。

以神府东胜煤田采矿工程为例，弃土弃渣类型包括弃土体和弃渣体。弃土体与原地貌在物质组成方面较相近，砂砾占比最大，但弃土体砾石含量(2~20 mm)是原地貌的 8.8 倍；弃渣体与原地貌相比，砂砾含量有所减少，但砾石含量占比可达 45%~69%，远大于原地貌的 0.81%，从容重及孔隙度方面比较，弃

渣体的容重大、孔隙度小,弃土体容重小、孔隙度大,含水量弃土弃渣体均小于原地貌。公路工程中,弃渣体的容重跨度较大,同时受含水率影响,容重为 1.1~2.2 g/cm³,以陕西宝鸡至甘肃牛背梁高速公路为例,弃土弃渣体的砂砾含量大于自然坡面,但容重(1.11, 1.36 g/cm³)比自然坡面(1.27, 1.42 g/cm³)减少 4.23%~12.60%^[36]。弃土弃渣体新堆弃的容重较堆积年限长的容重大,堆积 2 年以上的平均容重较新堆弃的减少 8.33%^[37-38]。而在水利水电工程中,以金安桥水电站为例,同样发现弃土弃渣的容重(1.31~1.48 g/cm³)较原地貌下(0.82~1.11 g/cm³)大,但孔

隙度较小,在粒径组成方面,弃土弃渣粗颗粒含量较原地貌大^[39]。以上各类别弃土弃渣与原地貌相比容重差异显著,体现在弃土弃渣中砾石、块石含量小,则容重会小于原地貌,砾石、块石含量大,导致弃土弃渣的容重远大于原地貌,容重的大小主要受弃土弃渣中砾石和块石含量的影响。

综上所述,不同类型生产建设项目的弃土弃渣体与原地貌在物质组成方面有较大区别,砂砾含量和砾石、块石含量是影响容重大小的主要因素,且采矿工程的砾石含量较其他项目的高。弃土弃渣随着堆积年限的延长,容重逐渐减小趋于原地貌。

表 2 不同工程类型弃土弃渣物质组成与理化性质特征

项目类型	项目名称	弃土弃渣类型	弃土弃渣物质组成	理化特征
矿产资源开发	神府东胜煤田 ^[40-41]	弃土体	黏粒:粉粒:砂粒:砾石=1:16:602:47	容重 1.22 g/cm ³ ,孔隙度 53.73%,含水量 8.85%
		沙多石少弃渣体	黏粒:粉粒:砂粒:砾石=1:19:667:563	容重 1.73 g/cm ³ ,孔隙度 34.86%,含水量 9.02%
		沙少石多弃渣体	黏粒:粉粒:砂粒:砾石=1:24:588:1387	容重 1.90 g/cm ³ ,孔隙度 28.25%,含水量 8.47%
		摆荒地—原地貌	黏粒:粉粒:砂粒:砾石=1:17:56:0.6	容重 1.33 g/cm ³ ,孔隙度 49.76%,含水量 12.12%
公路工程	重庆市矿产资源开发 ^[32,42]	弃渣	砾石(>2 mm):砂粒+粉粒+黏粒=1:1.6	平均紧实度(1.86 g/cm ³)远大于原状土壤(1.27 g/cm ³),渗透性(0.28~26.03 mm/min)高于原状土壤(0.73~6.22 mm/min)
		某高速公路 ^[43]	泥岩弃渣	最大干密度 2.23 g/cm ³ ,最佳含水量 6.70%
		厦蓉高速公路贵州境水口(桂黔界)至都匀段 ^[44]	属于粗粒土中的砾类土,细粒含量少	容重 1.47~2.15 g/cm ³ 含水量 1.30%~5.60%
		陕西宝鸡至甘肃牛背梁高速公路 ^[36]	黏粒:粉粒:砂粒=1:3.2:1.5	容重 1.10~1.36 g/cm ³ ,含水率 8.06%~13.12%
水利水电工程	金安桥水电站 ^[39]	弃土弃渣	<0.25 mm:0.25~1 mm:1~3 mm:3~5 mm:>5 mm=1:2.4:2.7:2.2:15.4	容重 1.31~1.48 g/cm ³ ,总孔隙度 50.20%~57.46%
		重庆市北碚区十里温泉城项目 ^[38]	弃土是黄壤,弃渣主要是碎石	容重 1.26 g/cm ³ ,碎石含量 51.47%,自然含水量 4.84%
		堆置 3 年弃渣场		容重 1.46 g/cm ³ ,碎石含量 84.53%,自然含水量 8.12%
		堆置 1 年弃渣场		
城镇建设工程	荆江河段黏性弃土 ^[45]	弃土	0.002~0.05 mm 的占 92%,固化材料需要添加一定量粗骨料	淤泥土样活性较差,固化材料中需添加一定量的碱性激发剂
		杭州市第二水源地千岛湖配水工程 ^[19]	灰岩、石英砂岩、火山碎屑岩、粉细砂岩	
		杨林塘航道整治工程 ^[21]	黏土占 70%,30%为淤泥质土	
		重庆市紫色土丘陵区弃渣体 ^[37]	<0.075 mm:0.075~2 mm:2~20 mm:20~60 mm=1:2.2:5.4:0.8	平均容重 1.43 g/cm ³ ,平均含水量 11.26%
		堆弃 2 年弃渣体		
		堆弃 7 个月弃渣体	<0.075 mm:0.075~2 mm:2~20 mm:20~60 mm=1:4.6:6.3:2.0	平均容重 1.43 g/cm ³ ,平均含水量 8.26%
		堆弃<7 个月弃渣体	<0.075 mm:0.075~2 mm:2~20 mm:20~60 mm=1:1.4:5.5:0.3	平均容重 1.56 g/cm ³ ,平均含水量 2.37%

2.2 弃土弃渣的化学特性

弃土弃渣在物质组成、污染物组成及其产生的危害方面均较简单,资源化利用的工艺、材料也更加容易实现。笔者统计已有文献资料,对弃土弃渣养分和污染物成分进行了梳理。根据土地利用分类,高速公路等形成的弃土弃渣由于挖方所涉及到的均是自然坡面,土地利用类型主要为耕地、园地、林地、草地、商服用地、工矿仓储用地、住宅用地等,物质成分是土和石混合物,但与自然坡面土壤相比,所含的养分有差异^[46]。田红卫等^[36]研究表明,高速公路弃渣场的有机质、全氮含量远小于自然坡面,而弃渣场速效磷含量均高于自然坡面,弃渣场全磷含量与自然坡面较接近,弃渣场速效钾含量低于自然坡面;陶双成等^[47]研

究表明,高速公路弃土弃渣堆放一段时间后表土的全氮、有机质含量稍低于棉地和稻田土,使用表土进行临时用地恢复、种植植被具有良好的效果;张仕艳等^[39]研究发现,弃土弃渣的有机质含量远小于原地貌,全氮及速效钾含量也比原地貌低,弃渣场等重塑地貌由于砾石含量高,导致土壤容重、粒径较大,总孔隙度和毛管孔隙度较小,土壤保水保肥能力差,不利于植物生长繁殖,可以通过基质改良,增加植被覆盖,进而改善土壤的理化性质,提高土壤肥力质量。王笑峰等^[48]研究 5 种工矿废弃地的理化性质,表明矿区废弃地的有机质、全氮、全磷、速效氮、速效磷等养分严重缺失,也是导致保水保肥能力降低,影响植被恢复的主要原因。

2.3 弃土弃渣的污染物特性

由于弃土弃渣自身所含的污染元素较少,其污染物主要受人类活动的影响。平学惠等^[49]发现,靠近矿区隧道弃渣的铁、总锰、镍和铍污染比较严重;王笑峰等^[48]研究也得出,Hg 是造成矿区废弃地污染的主要重金属元素。城镇工业遗留污染用地的弃土弃渣则主要是受到硫磷污染^[50];城镇由于人居集中,弃土弃渣受生活垃圾污染严重,导致重金属含量远高于自然土壤。靳琪等^[51]研究表明,生活垃圾中的重金属主要包括 As、Hg、Pb、Cd、Cr、Cu、Zn 和 Ni,其中 Cd 和 Hg 超标率高且毒性大,也是造成城镇弃土弃渣污染的重要原因,需要重点关注。弃土弃渣污染还受农业固体废弃物污染物影响,已有研究^[52]表明,农业固废主要包括塑料地膜、农作物秸秆和畜禽粪便,主要污染物包括氨、硫化物、甲烷等有害气体,以及有机污染物等。

综合分析可知,弃土弃渣资源化利用的潜力相较于其他固体废弃物而言,具有简单、高效、经济成本低等特点。同时,由于弃土弃渣的物质及污染物较单一,通过合理有效的手段就能去除弃土弃渣中的有毒有害物质,通过土壤改良、基质培肥、机械粉碎等手段均能有效实现弃土弃渣资源化利用的目的。因此,从物质组成、养分和污染物成分分析,弃土弃渣资源化利用是可行的。

3 弃土弃渣资源化利用潜力及其评价

现阶段,关于固体废弃物资源化利用方面已有较多研究,但主要集中在工业固体废弃物^[53]、建筑废弃物^[8]、农业固体废弃物^[54]和生活垃圾^[55]等方面,而针

对土石混合弃土弃渣资源化利用的研究较少,笔者对已有的相关文献进行了梳理见表 3。

由分析可知,不同类型生产建设项目的弃土弃渣的主要利用方向包括有:(1)作为混凝土骨料,直接用于工程建设;(2)弃渣中的石方粉碎后的石粉经处理后形成的混凝土砌块砖作为新型墙材;(3)将弃土弃渣回填到矿坑并覆表土增加耕地或林地资源,目前大部分生产建设项目弃渣场的利用途径亦是如此;(4)河道清淤的淤泥干化后用于复耕,对于城镇中的弃土弃渣可用于营造微地形,作为景观绿化用地;(5)弃土可用于制作空心砖或者烧制砖瓦,用于建筑材料使用,符合国家“禁实推新”政策^[19];(6)将弃土弃渣与自然土壤混合作为植物生长的基质,也可通过土壤改良剂进行客土改良恢复后重新使用。

现阶段,针对弃土弃渣资源化利用方面需要注意的是:随着人口的不断增长,土地面积在逐渐减少,表土作为绿化用土,是稀缺资源,因此,生产建设项目在开始土建工程之前,需要进行表土剥离,堆置在指定的场所,并做好防护措施,作为后期绿化覆土,或用于区域内其他工程,该举措能够使表土得到最大限度的利用,也符合水土保持法和新修订的《生产建设项目水土流失防治标准》(GB/T 50434—2018)^[56]对表土保护的要求。工程弃渣风化程度越彻底,养分含量、pH 及抗旱保墒能力越适合植物生长,但堆弃时间短暂的工程弃渣的养分含量一般比较贫乏,可以通过添加改良剂或者肥料使其满足植物生长对养分的需求^[57],常见的弃渣改良剂包括客土改良、保水剂、稀土、黏结剂、动物粪便、菌肥、城市淤泥等^[58]。

表 3 弃土弃渣资源化利用现状

项目类型	弃土弃渣类别	利用方式	说明
水利工程 ^[19-21]	石方、石粉、弃土弃渣、淤泥	(1)混凝土骨料;(2)石粉制作成混凝土砌块作新型墙材;(3)矿坑及矿山绿化;(4)恢复成耕地或者林地;(5)河道淤泥干化处理后与弃土用于复耕或回填材料	将弃土弃渣作为矿坑及矿山绿化需要考虑运距、成本等因素;弃土弃渣混合堆积时将弃土覆盖在弃石上作为表土层,并添加腐殖质作为土壤改良剂
公路工程 ^[14-15,59]	弃渣(石头为主)、弃土	(1)硬质岩石直接作为路堤填料,软岩用于路基填筑;(2)破碎后的岩石作为沿线挡墙和排水沟的石方或者水泥混凝土骨料;(3)弃土中的表土存放作为后期绿化覆土;(4)土方和石方用于营造微地形;(5)弃渣场经过土壤改良后恢复耕地	公路工程在隧道开挖中产生大量的弃土和弃渣,需要将其分离后再利用;弃渣场的资源化利用首先需要保证弃渣场安全稳定,再进行利用
城镇建设 ^[28,52-53,60-62]	弃土、弃渣	(1)隧道的弃土需要脱水干化,作为路基填料;(2)制作空心砖;(3)轨道交通工程弃土弃渣作为再生骨料或注浆材料;(4)用于城市周边砂石坑的土地恢复;(5)烧制砖瓦、生产新型墙体材料;(6)用于城市公园微地貌营造	城市地下空间开发的弃土属于高含水塑性土,需要添加胶凝剂或石灰等碱性改良剂,适宜用于客土改良的粒径是<2.2~10 mm 粒径弃渣占 40%,10~20、20~40 mm 粒径弃渣占 60%的比例

弃土弃渣资源化利用不仅需要考虑利用途径方面,不同生产建设项目应根据项目实际情况,如在山区公路建设中,土石方调运量大,会导致造价高昂,土石方优化一方面需从数量上考虑,而机械的合理组合和调配运距的合理确定是制约土石方综合利用的一个重要方面^[63]。根据了解铁路项目路基的土石方调配费用可占铁路工程造价的 10%~30%。对土石方调配,黎天胜等^[64]提出了双层规划模型及算法研究,

可以有效解决土石方调配问题上层决策者和施工企业的矛盾,其调配结果在考虑土地利用、生态环境影响的同时能够实现土石方调配系统的最优化,同时满足降低工程建设成本和保护沿线生态环境的双目标。表土作为弃土弃渣资源化利用的典型代表,由于不含污染物,有机质及养分含量充足,是植被生长的良好基质,且可以不需要经过复杂的处理工艺能被直接利用,针对其已有相关研究:王剑等^[65]以广东省清云高

速为例,提出公路项目表土资源的保护和利用需要考虑综合成本和效益;陶双成等^[47]提出表土是典型的乡土植物资源种子库和营养养分涵养库,对维持区域物种多样性和种群密度起到重要作用,且表土中的营养养分和团粒结构也是恢复临时用地复耕、复垦功能的重要部分;对弃土弃渣资源化利用的前提是不产生二次污染,亟需开发和推广先进成熟的技术,通过固废资源化利用制备出高技术含量、高品质、高性能的产品,促进绿色制造、绿色理念的发展和提升^[66]。

4 弃土弃渣资源化利用的意义、必要性及建议

土石混合弃土弃渣是实现废弃物资源化利用的重要来源,深入探索弃土弃渣资源化利用的方向、技术、手段,制定弃土弃渣资源化利用的相关规范、准则是解决当前弃土弃渣量大、且有逐步增大趋势问题的有效途径;也是符合当前经济快速发展,推行可持续发展、落实生态文明建设的重要举措具有重要的意义。

弃土弃渣资源化利用不仅符合相关法律、标准的要求,也是推进“无废城市”建设,实现“无废社会”的重要措施之一,其必要性显著,包括 5 个方面:

(1)符合水土保持法的相关要求。该法第 28 条关于弃渣场设置提出生产建设项目在建设活动中废弃的砂、石、土、矸石、尾矿、废渣等首先应当综合利用,无法利用的需要放置在水土保持方案确定的专门存放地,即弃渣场处^[67],这要求建设单位在生产建设活动中,需要合理规划工期及安排施工工艺,尽可能减少土石方挖填、工程产生的弃土弃渣在项目区内部调配,减少最终产生的弃土弃渣量,从源头上实现弃土弃渣的产生。

(2)符合新修订的《生产建设项目水土流失防治标准》(GB/T 50434—2018)^[56]的要求。该标准对水土流失防治 6 项指标进行了修订,将原来标准中的拦渣率指标修改为渣土防护率指标(工程临时与永久堆渣所采取防护措施的比例),新增了表土保护率指标(工程占地范围内的表土采取保护措施的比例),而保留了原标准中的扰动土地整治率、土壤流失控制比、林草植被恢复率和林草覆盖率。新标准对扰动土资源的保护及利用提出新的要求,更加重视工程建设中弃土弃渣尤其是表土的利用,对生产建设单位对弃土弃渣资源化利用提出更高的要求。

(3)为建设工程提供砂石料来源。近些年,为了河道行洪安全及排除洪涝灾害的风险,各地针对河道非法采砂开展整治工作,天然砂石料资源紧缺,而充分利用已有的弃土弃渣体,利用高新技术、新材料、新工艺、新方法将弃土弃渣经处理后作为可利用的资

源,实现资源再利用是解决目前砂石料紧缺局面的有效途径^[68]。

(4)遵循“无废城市”建设理念的先行举措。实现弃土弃渣资源化利用是落实建立“无废城市”的具体要求,是实现社会、经济、生态可持续发展的有效措施。通过建立无废城市,能有效改善由于弃土弃渣处理不当带来的生态环境破坏,弃土弃渣是固体废弃物的重要组成部分,解决弃土弃渣的再利用问题也是进一步完善能源结构和经济发展的重要举措^[5]。

(5)促进区域生态修复。现阶段长江经济带的发展不仅涉及经济、政治、文化等方面,而且提出了更高的要求,要实现绿色、健康的可持续发展,涉及到政治、经济、生态、环境各方面。长江大保护行动的落实是落实长江流域生态修复的重要举措,而开展长江流域非法采砂、整治非法码头行动,长江流域沿江化工企业搬迁改造升级的具体措施已取得相关进展。以上专项行动均扰动地表,产生弃土弃渣,需要对弃土弃渣进行资源化利用,避免产生二次危害^[6];同时也为矿区生态修复提供科学指导,矿区作为生产建设项目的典型代表,除了占地面积广、地表扰动强烈等特点外,产生大量的弃土弃渣是其另一个重要特征。现阶段,我国各大矿区的生态恢复已逐步开展,但由于建设单位的生态意识薄弱,缺乏专业的技术团队,对矿区弃土弃渣的利用仍处于较低水平。实现矿区弃土弃渣资源化利用已迫在眉睫,2019 年 4 月 25 日,自然资源部办公厅印发了《关于开展长江经济带废弃露天矿山生态修复工作的通知》,发布了《长江经济带废弃露天矿山生态修复工作方案》,该方案为现阶段开展矿区弃土弃渣资源化利用提供了科学指导,具有重要的指导价值^[69]。

目前,弃土弃渣资源化的研究已成为研究的热点与难点,需要不同研究领域的研究者开展大量的研究。且弃土弃渣作为固体废弃物的重要组成部分,对弃土弃渣资源化利用也亟需开展深入研究,缓解生态环境压力,最大限度将废弃物经处理后转化为可利用的再生资源,实现健康绿色的可持续发展道路。而实现弃土弃渣资源化利用需要政府层面从政策上制定切实可行的指导意见,规范生产建设项目严格按照相关规范减少弃土弃渣的产生,确需有弃土弃渣的项目在工程立项(可研、初设、施工图)设计阶段需要对土石方工程进行优化设计,减少土石方量的同时注重生态环保效益,对于确需废弃的土石资源,可以通过建立渣土调配中心,最大限度完成内部调配,减少土石方的外运^[70-72]。

5 结论

(1)根据“十五”“十一五”生产建设项目的弃土弃

渣量和“十五”到“十二五”以及“十三五前2年”生产建设项目的审批数,预测“十二五”至今我国的弃土弃渣量每5年的产生量均超过100亿t。弃土弃渣由于缺乏有效监管,容易造成占用土地、大气污染、淤积河道并影响行洪、破坏市容并恶化城市环境卫生等方面的危害。但同时,大量的弃土弃渣也为实现废弃物资源化利用提供了原材料。

(2)在不同类型生产建设项目中,公路、采矿等是造成弃土弃渣的典型代表,在防治水土流失及水土保持监管中需要有针对性地进行有效治理及监管,防止产生严重的水土流失危害。

(3)生产建设项目的弃土弃渣与原地貌在物质组成方面区别较大,砂砾含量及容重均较大,但随着堆积年限的延长,容重逐渐减小趋于原始地貌。弃土弃渣资源化利用的潜力相较于其他固体废弃物而言,具有简单、高效、经济成本低等特点,实现弃土弃渣资源化利用是可行的。

(4)总结了目前弃土弃渣资源化利用的途径并对其潜力进行了评价。实现弃土弃渣资源化不仅能够缓解砂石料资源紧缺的局面,同时也符合水土保持法、《生产建设项目水土流失防治标准》的相关要求,符合“无废城市建设”“生态修复”的相关理念,为高效实现弃土弃渣资源化利用,建议各区域成立渣土调配中心。

参考文献:

- [1] 姜德文,田颖超,郝捷,等.生产建设项目水土保持分类与分类管理对策[J].水土保持通报,2015,35(3):116-120.
- [2] Lv J R, Luo H, Xie Y S. Effects of rock fragment content, size and cover on soil erosion dynamics of spoil heaps through multiple rainfall events[J].Catena,2019,172:179-189.
- [3] 李浩,翟宝辉.中国建筑垃圾资源化产业发展研究[J].城市发展研究,2015,22(3):119-124.
- [4] 宁平.固体废物处理与处置[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [5] 杜祥琬,刘晓龙,葛琴,等.通过“无废城市”试点推动固体废物资源化利用,建设“无废社会”战略初探[J].中国工程科学,2017,19(4):119-123.
- [6] 郭熙保,冷成英.长江流域城市经济增长对工业固体废物影响比较研究:以沿江八城市为例[J].湖北社会科学,2016(11):65-72.
- [7] 黄菊文,李光明,王华,等.固体废物资源化利用评价体系及研究方法[J].环境污染与防治,2007,29(1):74-78.
- [8] 刘婷婷,张劼,胡鸣明.建筑废弃物资源化环境效益分析:以重庆为例[J].中国环境科学,2018,38(10):3853-3867.
- [9] 中国水土保持学会水土保持规划设计专业委员会.生产建设项目水土保持设计指南[M].北京:中国水利水电出版社,2011:3.
- [10] 魏玉杰,夏金文,蔡崇法.松散堆积体侵蚀特性研究概述[C].太原:中国水土保持学会,海峡两岸红壤区水土保持学术研讨会,2015:283-288.
- [11] 刘宇,税创新,韩国平.变弃土弃渣为土石资源缓解城市渣土围城困局的思考[J].中国水利,2018(2):38-39.
- [12] 郭索彦,姜德文,赵永军,等.建设项目水土流失现状与综合治理对策[J].中国水土保持科学,2008,6(1):51-56.
- [13] 康玲玲,程复,王云璋.我国近17年生产建设项目的变化情况分析[J].中国水土保持,2019(3):1-3,50.
- [14] 曾巧平.广东省高速公路项目弃土处置模式浅析:以怀集至阳江港高速公路怀集至郁南段为例[J].亚热带水土保持,2018,30(1):49-50,70.
- [15] 王龙飞,黄永军,王迎兵.宝天高速公路弃渣综合利用与弃渣场环境保护研究[C].厦门:2013年全国公路养护技术学术年会,2013:97-104.
- [16] 朱艳玲.山丘区铁路工程弃渣场分类及防护措施[J].安徽农业科学,2012,40(10):6142-6144,6147.
- [17] 王文龙,李占斌,张平仓.神府东胜煤田开发中诱发的环境灾害问题研究[J].生态学杂志,2004,23(1):34-38.
- [18] 曹文昌.城市开发建设项目弃土存放和清运调配管理方案的概论[J].工程建设与设计,2018(22):237-238.
- [19] 许晓平,游启升.长距离输水工程弃渣处置方案研究[J].人民黄河,2017,39(2):90-93.
- [20] 朱海燕.关于南水北调中线工程弃土区土地再利用的问题[J].河北水利水电技术,1999(3):49-50.
- [21] 曾诚.杨林塘航道整治工程土方综合利用研究[J].中国水运.航道科技,2016(4):17-20.
- [22] 付良勇,许小梅.西气东输管道陕西段工程建设中的土壤流失及防治[J].水土保持研究,2005,12(6):153-155.
- [23] 张华明,彭冬水,奚同行.高速公路弃土弃渣防治技术探讨[J].水土保持研究,2005,12(4):235-237.
- [24] 李文银.工矿区水土保持[M].北京:科学出版社,1996.
- [25] 党恬敏,党维勤,孔东莲,等.生产建设项目开展水土保持事中事后监督检查的思考[J].中国水利,2016(2):44-46,50.
- [26] 牛崇桓.《关于加强事中事后监管规范生产建设项目水土保持设施自主验收的通知》解读[J].中国水土保持,2017(12):7-9.
- [27] Gao Y, Yin Y P, Li B, et al. Post-failure behavior analysis of the Shenzhen “12.20” CDW landfill landslide[J].Waste Management,2019,83:171-183.
- [28] Phdnew.合肥市轨道交通工程渣土资源化利用研究与示范项目调研报告[EB/OL].(2015-08-31)[2019-06-06].<https://wenku.baidu.com/view/15dbbf7bb8f67c1cfad6b8c1.html>.
- [29] Bian Z F, Inyang H I, Daniels J L, et al. Environmental issues from coal mining and their solutions[J].Mining Science and Technology,2010,20(2):215-223.
- [30] 徐友宁,何芳,张江华,等.矿山泥石流特点及其防灾减灾对策[J].山地学报,2010,28(4):463-469.
- [31] 李永冠.水土保持中常见弃土(石、渣)场的类型与防治[J].地下水,2016,38(4):96-97,103.

- [32] 郭宏忠, 江东, 蒋光毅, 等. 生产建设项目弃渣场物理性质变化特征及类型划分[J]. 水土保持应用技术, 2014(6): 32-35.
- [33] 李建明, 牛俊, 王文龙, 等. 不同土质工程堆积体径流产沙差异[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14): 187-194.
- [34] Peng X D, Shi D M, Jiang D, et al. Runoff erosion process on different underlying surfaces from disturbed soils in the Three Gorges Reservoir Area, China[J]. Catena, 2014, 123: 215-224.
- [35] Luo H, Rong Y B, Lv J R, et al. Runoff erosion processes on artificially constructed conically-shaped overburdened stockpiles with different gravel contents: Laboratory experiments with simulated rainfall[J]. Catena, 2019, 175: 93-100.
- [36] 田红卫, 黄志荣, 高照良, 等. 高速公路路域土壤特性分析及其质量评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 59-64.
- [37] 蒋平, 汪三树, 李叶鑫, 等. 紫色丘陵区堆渣体物理性质变化及边坡稳定性分析[J]. 中国水土保持, 2013(1): 27-30.
- [38] 郭宏忠, 蒋光毅, 江东, 等. 生产建设项目弃土弃渣与林地土壤入渗特征分析[J]. 中国水土保持, 2014(7): 51-53.
- [39] 张仕艳, 原海红, 陈奇伯, 等. 水电工程建设对土壤理化性质的影响研究: 以金安桥水电站为例[J]. 亚热带水土保持, 2013, 25(4): 10-13.
- [40] 李建明, 王文龙, 王贞, 等. 神府东胜煤田弃土弃渣体径流产沙过程的野外试验[J]. 应用生态学报, 2013, 24(12): 3537-3545.
- [41] 郭明明, 王文龙, 李建明, 等. 神府矿区弃土弃渣体侵蚀特征及预测[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 1044-1057.
- [42] 谭鹏, 邓卫东. 山区高速公路弃渣体物理力学特性试验研究[J]. 西部交通科技, 2009(12): 11-14.
- [43] 贾长海. 高速公路泥岩弃渣填筑路基施工及其稳定性研究[J]. 科学家, 2017(9): 64-65.
- [44] 谭鹏. 山区高速公路弃土场基本特性及其稳定性分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2010.
- [45] 陶桂兰, 阮健, 江朝华, 等. 荆江河段黏性弃土固化利用研究[J]. 人民长江, 2016, 47(6): 69-72.
- [46] 中华人民共和国自然资源部. 土地利用现状分类(GB/T 21010—2017)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [47] 陶双成, 孔亚平, 王侗. 利用表土进行堆形地貌营造的临时用地恢复方法研究[J]. 公路, 2015(12): 246-249.
- [48] 王笑峰, 蔡体久, 张思冲, 等. 不同类型工矿废弃地基质肥力与重金属污染特征及其评价[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 157-161, 218.
- [49] 平学惠, 吴国华. 隧道弃渣场淋溶水污染分析与防治[J]. 给水排水, 2017, 43(增刊1): 5-8.
- [50] 王军, 匡武. 工业污染用地转为建设用地的处置方案研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(3): 87-90.
- [51] 靳琪, 高红, 岳波, 等. 村镇生活垃圾重金属含量及其来源分析[J]. 环境科学, 2018, 39(9): 4385-4392.
- [52] 尹连庆, 刘静. 农业固废污染物分析与资源化利用的研究[J]. 现代农业科技, 2008(14): 290-291.
- [53] 董发勤, 徐龙华, 彭同江, 等. 工业固体废物资源循环利用矿物学[J]. 地学前缘, 2014, 21(5): 302-312.
- [54] 马骁轩, 蔡红珍, 付鹏, 等. 中国农业固体废弃物秸秆的资源化处置途径分析[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1): 168-174.
- [55] 贾亚娟, 赵敏娟, 夏显力, 等. 农村生活垃圾分类处理模式与建议[J]. 资源科学, 2019, 41(2): 338-351.
- [56] 中华人民共和国水利部. 生产建设项目水土流失防治标准(GB/T 50434—2018)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [57] 陈述悦, 顾卫, 戴泉玉. 工程弃渣用作植物生长基质的研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 129-135.
- [58] 孙永康, 刘寒晓, 张艳, 等. 不同粒径石灰岩弃渣客土改良效果分析[J]. 中国水土保持科学, 2017, 15(3): 114-122.
- [59] 高宇. 隧道弃渣填筑高速公路路基施工与检测技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- [60] 汤渊, 李春杰, 常鸽. 隧道工程弃土弃渣对环境的影响及处置对策[C]. 上海: 中国国际隧道工程研讨会, 2011: 951-954.
- [61] 张增杰, 韩玉花. 城市地下空间开发中的弃土管理和处置对策[J]. 城市环境与城市生态, 2008, 21(4): 22-24.
- [62] 沈微. 浅谈城市建筑废土的处理和利用[J]. 水土保持应用技术, 2009(4): 48-49.
- [63] 陈青, 袁登琼, 何晓琴. 土石方调配中经济运距的确定[J]. 公路交通技术, 2003(4): 99-101, 105.
- [64] 黎天胜, 张杰. 土石方调配问题双层规划模型及算法研究[J]. 铁道工程学报, 2012(4): 108-112.
- [65] 王剑, 王侗, 陈学平, 等. 公路建设表土资源保护利用成本及效益研究: 以广东省清云高速为例[J]. 中国工程咨询, 2019(2): 54-60.
- [66] 徐永模. 固废资源化利用: 需要突破的观念[J]. 混凝土世界, 2018(7): 8-10.
- [67] 姜德文. 弃渣场的水土保持审查与管理[J]. 中国水土保持, 2018(4): 4-7.
- [68] 李飞. 中国骨料行业将向何处去?: “天然砂石资源短缺及其对策”研讨沙龙纪实[J]. 混凝土世界, 2013(9): 46-49.
- [69] 李海东, 高媛赞, 燕守广. 生态保护红线区废弃矿山生态修复监管[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(8): 673-677.
- [70] 王洪光, 程进明. 浅谈土石方测算方法及其在工程中的应用[J]. 现代测绘, 2012, 35(4): 44-47.
- [71] 民进中央. 关于尽快建立城市土石方调配信息化平台的提案[J]. 中国建设信息化, 2018(5): 64-65.
- [72] 周连兄, 包美春, 李丹雄. 北京市生产建设项目土方处理现状及管理对策[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 209-213, 219.