

基于 PAS2050 规范的土地整治碳排放定额测算方法及其应用

张中秋^{1,2}, 劳燕玲^{2,3}, 韦金洪⁴, 胡宝清⁵

(1.北部湾大学 资源与环境学院, 广西 钦州 535011; 2.钦州市国土资源利用与监测重点实验室, 广西 钦州 535011; 3.广西北部湾海洋灾害研究重点实验室, 广西 钦州 535011; 4.北部湾大学 经济管理学院, 广西 钦州 535011; 5.南宁师范大学 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西 南宁 530001)

摘要: [目的] 科学测算土地整治工程过程碳排放, 为实施低碳土地整治, 实现碳达峰和碳中和目标提供科学参考。[方法] 参照国际建筑领域的 PAS2050 规范, 梳理土地整治工程施工过程碳排放机理。以碳排放系数法为基础, 将土地整治工程预算定额转换为碳排放定额, 并按照建筑工程概预算的计算思路, 测算土地整治工程施工的总碳排放量。[结果] ①土地整治工程碳排放定额是以《土地开发整理项目预算定额》中给定的相关预算定额为基础, 运用碳排放系数法计算各个预算定额中所含一定量人力、材料、机械的碳排放量, 继而将预算定额转变成碳排放定额, 从而实现碳排放总量的计算; ②依据 PAS2050 规范, 土地整治工程碳排放的时空边界清晰, 其对象边界、要素边界和碳源类型明确, 并据此测算出案例项目碳排放总量为 194 225.95 kg。[结论] 碳排放定额法在系统、全面、准确测算建筑施工过程碳排放方面具有较强应用前景, 通过编制《土地开发整理项目碳排放定额》标准、开发“土地整治项目碳排放”软件和优化调整定额等方式, 把碳排放定额法应用在土地整治实践之中, 将有利于促进国土综合整治的节能减排。

关键词: 碳排放定额; 土地整治工程; PAS2050 规范; 低碳

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2021)06-0190-11

中图分类号: F301.24, X24

文献参数: 张中秋, 劳燕玲, 韦金洪, 等. 基于 PAS2050 规范的土地整治碳排放定额测算方法及其应用 [J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 190-200. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.026; Zhang Zhongqiu, Lao Yanling, Wei Jinhong, et al. Carbon emission quota estimation method and application for land consolidation project according to PAS2050 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 190-200.

Carbon Emission Quota Estimation Method and Application for Land Consolidation Project According to PAS2050

Zhang Zhongqiu^{1,2}, Lao Yanling^{2,3}, Wei Jinhong⁴, Hu Baoqing⁵

(1.College of Resources and Environment, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011,

China; 2.Qinzhou Key Laboratory of Land Resources Use and Monitor, Beibu Gulf University,

Qinzhou, Guangxi 535011, China; 3.Guangxi Key Laboratory of Marine Disaster in the Beibu Gulf,

Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011, China; 4.School of Economics and Management, Beibu

Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011, China; 5.Key Laboratory of Environmental Evolution and Resources

Utilization in Beibu Gulf Under Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530001, China)

Abstract: [Objective] The carbon emissions in the process of land consolidation projects was scientifically measured, in order to provide support for the implementation of low-carbon land use and the realization of carbon peaking and carbon neutralization goals. [Methods] The carbon emission mechanism in the construction process of land consolidation project was analyzed according to specification of PAS2050 in the field of international architecture. Based on the carbon emission coefficient method, the budget quota of land consolidation project was converted into carbon emission quota, and the total carbon emission of the land consolidation

收稿日期: 2021-04-28

修回日期: 2021-07-03

资助项目: 国家自然科学基金项目“北部湾海陆过渡带生态环境演化机理及其情景模拟研究”(41966007); 广西哲学社会科学项目(20CGL004); 广西教育厅高校科研项目(20KY0001)

第一作者: 张中秋(1989—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士, 信息系统项目管理师(高级), 主要从事土地利用与国土综合整治研究。Email: 773972555@qq.com。

通讯作者: 劳燕玲(1974—), 女(汉族), 广西壮族自治区灵山县人, 博士, 教授, 主要从事国土空间规划研究。Email: laoyanling768@163.com。

project was measured and calculated according to the idea of construction project budget. [Results] ① The carbon emission quota of land consolidation project was based on the relevant budget quota given in the budget quota of land development and consolidation project. The carbon emission coefficient method was used to calculate the carbon emission of a certain amount of manpower, materials and machinery contained in each budget quota, and then convert it into carbon emission quota, so as to finish the calculation of the total carbon emission. ② According to specification of PAS2050, the space-time boundary, object boundary, element boundary and carbon source type of carbon emission of land consolidation project were clear. Based on these, the total carbon emission of the case would be calculated as 194 225.95 kg. [Conclusion] The carbon emission quota method has a good application prospect in the systematic comprehensive and accurate calculation of carbon emission in the construction process. Through compiling the standard of carbon emission quota of land development and consolidation project, developing the software of carbon emission quota of land consolidation project and optimizing and adjusting quota, the carbon emission quota method is applied in land consolidation practice, which would be beneficial to promoting energy conservation and emission reduction of land consolidation.

Keywords: carbon emission quota; land consolidation project; PAS2050; lower-carbon

2017年中国共产党第十九次全国代表大会报告明确提出,应加快生态文明体制改革,建立健全绿色低碳循环发展的现代化经济体系。2019年住房和城乡建设部发布了《建筑碳排放计算标准》,为绿色低碳发展做出了积极响应。2020年10月党的十九届五中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第14个5年规划和2035年远景目标的建议》中,确立了加快推动绿色低碳发展,促进人与自然和谐共生的发展目标,明确了发展绿色建筑,降低碳排放强度等将成为“十四五”时期的重要工作。土地整治集多种建筑工程措施于一体,是高层次土地利用活动中的重要一环。近年来,国家大规模推进土地整治工程建设,这一典型土地利用活动,对自然界的碳循环必然产生显著影响^[1]。因此,量化土地整治碳排放不仅是国内外研究热点,也是推动区域低碳土地利用及社会可持续发展的关键。土地整治是新时期生态文明中一个重要的哲学命题,也是指导中国国土综合整治与生态修复的最重要范式,学者们对土地整治碳排放进行了大量研究,国外学者以土地利用碳排放为出发点^[2-3],对土地整治的土壤固碳情况^[4-5]、能源消耗碳排放影响情况^[6-7]、碳排放盈亏与生态补偿^[8]、碳排放的资源环境负担及碳足迹等^[9]方面进行了探究,国内学者关注了宏观省域层面土地整治碳效应情况^[10-11]、微观项目层面土地整治碳排放情况^[12-13]、理论层面土地整治碳效应机理^[14]以及实践层面低碳土地整治优化路径^[15-16]。

近年来,随着国土空间概念在中国的普及与推广,国内学者关注重点开始转向对国土综合整治、国土空间生态修复的理论与实践等方面进行探索。但目前而言,该命题从总体来看依然处于实践远超前于

相关理论研究的状态。现阶段实施土地整治的工具性较强,实践中项目实施的碳效应尚未得到足够重视,这将不利于国土综合整治碳效应的研究。现有研究揭示了土地整治存在碳效应现象,并能通过项目所耗能源与工料量,结合碳排放系数法进行排放量测算,但也存在一些不足:①建筑领域的碳排放研究趋于成熟,土地整治碳排放研究缺乏与建筑领域碳排放的交叉融合;②土地整治项目工程过程的碳效应机理研究有待深入,土地整治项目碳排放的时间边界、空间边界(场地边界)、要素边界等尚未严格界定;③土地整治碳排放规范化、标准化、通用化的测算方式有待开发;④测算方式采用以项目工料消耗总量为基础的比较粗略的估算,且忽略所耗人工的碳排放计算,各典型工程、各阶段碳排放测算的系统性、精准性和完整性都有较高的提升潜力。鉴于此,本文试图从学科交叉视角出发,参照建筑领域 PAS2050 规范的碳排放计算模式,梳理土地整治工程过程碳排放机制,运用碳排放系数法,以土地整治项目工程定额为单元,测算土地整治工程定额碳排放量,并据此以典型项目为例进行实证分析,以推动土地整治碳排放测算向更规范化、标准化、通用化阶段发展,为低碳土地整治提供参考借鉴。

1 材料与方 法

1.1 土地整治工程碳排放定额内涵

土地整治工程碳排放定额是结合建筑工程自身特点,参照工程概预算定额的模式而提出。由于概预算定额的存在,使建筑工程造价变得更规范化、标准化和精确化。能否参照该模式,将其运用到建筑工程碳排放测算领域,是建筑工程碳排放定额概念提出的基本出发点。据此,本文认为土地整治工程碳排放定

额是以分项工程、分部工程、单位工程和单项工程的概预算定额为基本单元,在合理的施工组织、资源使用和生产技术条件下,完成一定量工作或产品所耗人力、机械、材料的碳排放量。工程碳排放定额是土地整治项目施工过程中碳排放量计算的基础资料,是项目施工碳排放量测算的一种依据。

土地整治工程碳排放定额的具体计算过程为以《土地开发整理项目预算定额》中给定的相关预算定额为基础,运用碳排放系数法计算各个预算定额中所

含一定量人力、材料、机械的碳排放量,继而将预算定额转变成碳排放定额(表 1),结合各定额工程量,从而实现项目碳排放总量的计算。由于碳排放定额基本囊括了项目工程施工全过程各类资源、能源投入量等信息,能够比较全面、系统地体现项目工程施工阶段的碳源类型及其相应数量。因此,碳排放定额能够保证全面、系统、准确的计算项目施工中的碳排放量。这种方法在土地整治的节能减排、绿色评估、循环经济评价等方面具有广阔的应用空间。

表 1 土地整治工程碳排放定额计算原理

项目预算定额(40005,中孔底板)			项目碳排放定额(T40005,中孔底板)			
类别	定额耗用	数量	碳排放系数	碳排放量	碳源投入	碳源类型
人	甲类工/工日	R_1	X_1	$R_1 \cdot X_1$	甲类工	人
	乙类工/工日	R_2	X_2	$R_2 \cdot X_2$	乙类工	
材	水泥/kg	C_1	X_3	$C_1 \cdot X_3$	水泥	材
	砂/kg	C_2	X_4	$C_2 \cdot X_4$	砂	
	石/kg	C_3	X_5	$C_3 \cdot X_5$	石	
	铁件/kg	C_4	X_6	$C_4 \cdot X_6$	铁件	
	水/m ³	C_5	X_7	$C_5 \cdot X_7$	水	
	∴	∴	∴	∴	∴	
机	单斗挖掘机/台班	J_1	X_8	$J_1 \cdot X_8$	单斗挖掘机	机
	履带式拖拉机/台班	J_2	X_9	$J_2 \cdot X_9$	履带式拖拉机	
	自行式平地机/台班	J_3	X_{10}	$J_3 \cdot X_{10}$	自行式平地机	
	混凝土搅拌机/台班	J_4	X_{11}	$J_4 \cdot X_{11}$	混凝土搅拌机	
	蛙式打夯机/台班	J_5	X_{12}	$J_5 \cdot X_{12}$	蛙式打夯机	
	自卸汽车/台班	J_6	X_{13}	$J_6 \cdot X_{13}$	自卸汽车	
	插入式振捣器/台班	J_7	X_{14}	$J_7 \cdot X_{14}$	插入式振捣器	
	∴	∴	∴	∴	∴	

1.2 PAS2050 规范的土地整治工程碳排放机理

国际上已经形成了通用的碳排放核实标准,比较权威的有 2004 年 GHG 议定书,2006 年 ISO14064 标准和 2008 年 PAS2050,其中 PAS2050 是英国标准协会发布的基于产品生命周期核算碳排放的方法体系^[17]。前两种标准体系适用对象主要是企业单位,PAS2050 规范更适用于产品和具体项目,其具体流程体系包括碳排放目标设定、确定边界、划分碳源和碳排放计算方法 4 个内容。土地整治项目中的土地平整工程、田间道路工程、灌溉与排水工程和农田防护与生态环境保护工程的建设与施工过程是各工程产品从无到有或是从一种老旧状态改造为另一种全新状况的物化过程,相当于产品生产过程。因此土地整治项目工程是一种特殊的产品,具备应用 PAS2050 规范的条件,适用于产品生命周期的碳排放测算范围。

(1) 土地整治工程碳排放目标设定。通过碳排放定额这种方式,形成一套规范化、准确化、通用化的

土地整治项目工程过程碳排放计算体系,构建类似于工程概预算的项目碳排放自动化测算数据库系统,为施工工艺改进、节能减排优化等提供技术支持。

(2) 土地整治工程碳排放核算时空边界。土地整治项目工程的产品生产过程是依据批复的工程设计图纸,在特定的场地条件和范围内,通过一系列建筑建造活动,将投入到项目施工中的各种人力资源、材料资源、机械台班能源等在时间和空间上进行有序组织的物化过程。产品生产过程由于消耗资源能源,继而产生了碳排放。测算碳排放的时间边界界定为:以施工单位进驻现场或建筑建材进驻现场(先到者)为时间起始边界,以项目工程竣工验收合格之日为终止边界。测算碳排放的场地边界界定为:以土地整治项目规模边界红线范围内为场地边界,即为碳排放测算的空间范围。测算碳排放的要素边界界定为:工程施工中所耗的人力、材料和机械,其中人力包括甲类工和乙类工等,材料主要包括水、粗砂、卵石、卡扣件、

组合钢模板、板枋材、水泥、铁钉、铁件、预埋铁件、电焊条、型钢、纯混凝土 C15 和砌筑砂浆 M7.5 等,机械主要包括单斗挖掘机、履带式拖拉机、自行式平地机、混凝土搅拌机、蛙式打夯机、自卸汽车、插入式振捣器、电焊机 and 无头三犁犁等。测算碳排放的对象边界

界定为:以碳排放定额为基本计算对象和单元,进而由各个碳排放定额汇总成分部工程碳排放,再逐级汇总到单位工程和单项工程碳排放量,即为对象边界分碳排放定额、单位工程碳排放和单项工程碳排放 3 个层次(图 1)。

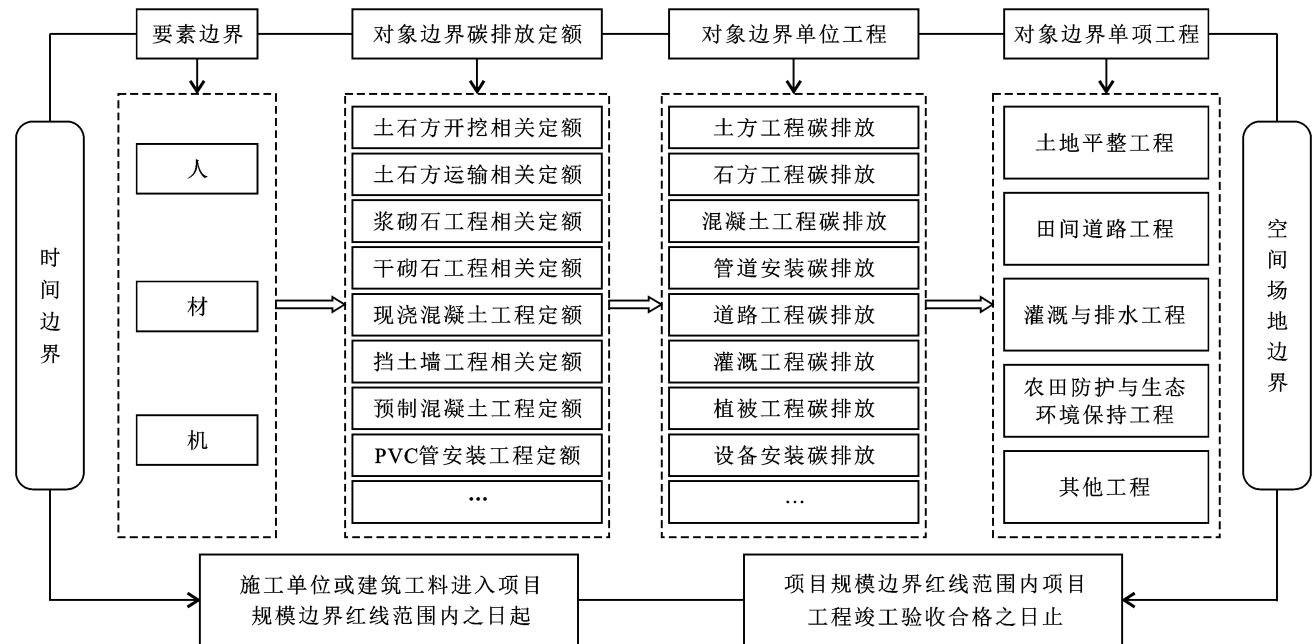


图 1 基于 PAS2050 规范土地整治工程碳排放边界

(3) 土地整治项目工程碳源分类。项目建筑建造过程中,不断消耗大量的人工、建筑材料和施工机械,因此这 3 个主要要素构成了项目工程碳源类型。如果想要精准测算项目工程建筑建造阶段碳排放量,那么首要条件是必须明确各种类型碳源的具体耗量。然而,在《土地开发整理项目预算定额》中恰恰给定了每个定额中人工、材料、机械的消耗量(即为定额工程量清单),这为土地整治项目工程依据各类型碳源消耗量测算项目总碳排放提供便利条件。以界定的碳排放要素边界为基础,形成要素碳源类型,即为人工要素碳源、材料要素碳源和机械台班要素碳源。土地整治项目工程碳源分 4 个层级,分别为:以各要素碳源为基础,结合工程工作内容,各要素以一定数量组合和工作内容匹配形成各种定额碳源类型,例如以推松、运送、卸除、拖平、空回为工作内容的推土机推土碳排放定额,以运料、拌合、摊铺、找平、洒水、碾压为工作内容的泥结碎石路面碳排放定额等。以各碳排放定额为基础,结合工程用途与功能,各碳排放定额以一定数量组合和功能叠加形成各单位工程和单项工程碳源类型。以单位、单项工程为基础,由不同单位工程和单项工程相互组合叠加形成单个土地整治

项目碳源(图 2)。

(4) 土地整治工程碳排放计算方法。依据《IPCC 国家温室气体清单指南(2006 年)》,碳排放的测算方法主要有实测法、物料衡算法和排放系数法,在学术界中应用最多的是排放系数法。本文以碳排放系数法为基本计算方法,即为碳排放量等于碳源消耗量乘相应的碳排放系数。

在人工碳排放计算中,本文考虑项目施工实际情况,其主要表现为农村居民在项目工程施工中直接参加劳动工作中由于饮食消费所产生的碳排放。各食品碳排放系数参照安玉发^[18]、罗婷文等^[19]研究成果进行确定。计算公式为:

$$R_i = \sum M_i \cdot N_i \quad (1)$$

式中: R_i 为人工碳排放量; M_i 为第 i 种食品类型日均消耗量; N_i 为第 i 种食品类型的碳排放系数。依据上述食品消费量及其碳排放系数计算人工碳排放量。

在材料碳排放计算中,结合土地整治项目施工中实际耗用的建筑材料和能源消耗种类进行确定,计算公式为:

$$C_i = \sum A_i \cdot B_i \quad (2)$$

式中： C_i 为工料消耗碳排放量； A_i 为第 i 种工料类型消耗量； B_i 为第 i 种工料类型的碳排放系数。各

材料的碳排放系数参照相关文献研究成果进行确定具体统计结果详见表 2。

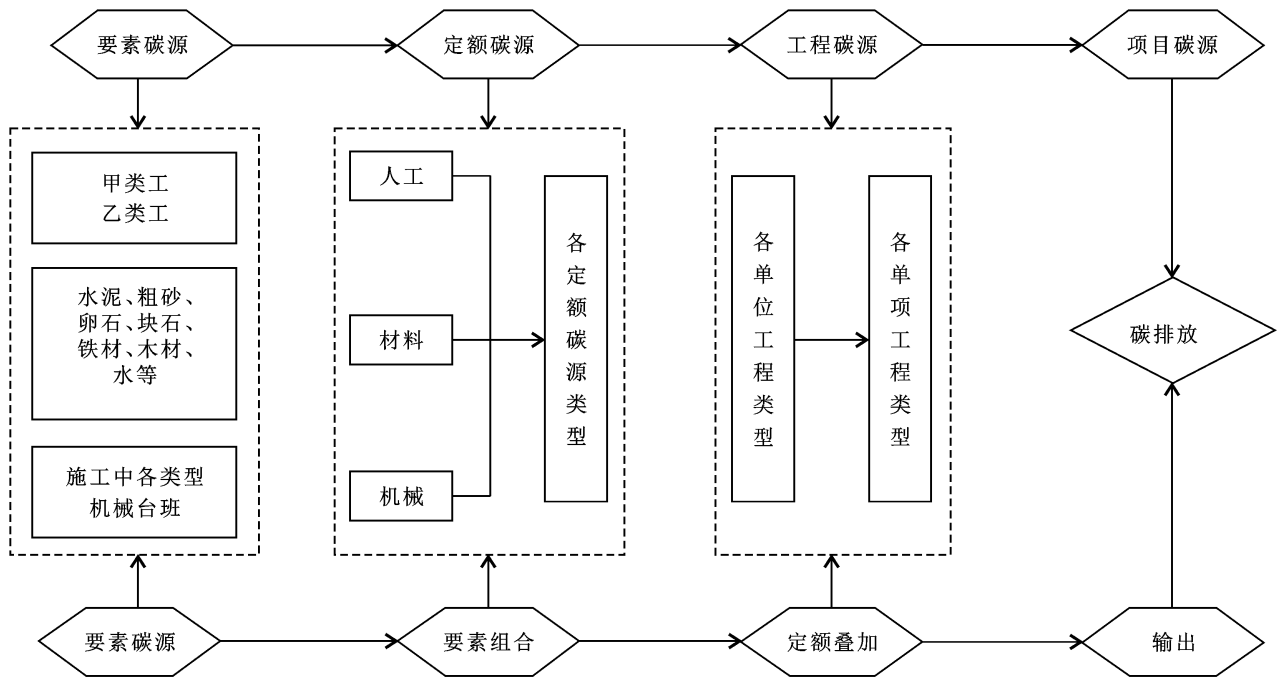


图 2 基于 PAS2050 规范的土地整治项目工程碳源

表 2 土地整治项目建筑材料碳排放系数

材料类型	碳排放系数来源	碳排放系数
水	建筑全生命周期碳排放计算与减排策略研究 ^[20]	0.91 t/t
粗砂	建筑全生命周期碳排放计算与减排策略研究 ^[20] 护岸工程材料综合能耗和碳排放计算及评价 ^[21]	2.213 t/t
卵石	护岸工程材料综合能耗和碳排放计算及评价 ^[21] 护岸材料碳排放及综合能耗推求与评估 ^[22]	3.075 t/t
卡扣件	建筑工程施工阶段的碳排放核算研究 ^[23]	3.744 t/t
组合钢模板	建筑工程施工阶段的碳排放核算研究 ^[23]	3.003 t/t
板枋材	某绿色建筑的全生命周期碳排放研究 ^[24] 水泥生命周期中物化环境状况的研究 ^[25] 中国水泥工业环境负荷分析 ^[26]	0.200 t/t
水泥	水泥生命周期中物化环境状况的研究 ^[25] 中国水泥工业环境负荷分析 ^[26] 中国水泥生产的物质消耗和环境排放分析 ^[27] 水泥行业 CO ₂ 减排议定书 水泥行业 CO ₂ 排放统计与报告标准 绿色奥运建筑评估体系研究 ^[28]	0.795 t/t
铁钉	建筑工程施工阶段的碳排放核算研究 ^[23]	3.55 t/t
铁件	建筑工程施工阶段的碳排放核算研究 ^[23]	3.55 t/t
预埋铁件	建筑工程施工阶段的碳排放核算研究 ^[23]	3.55 t/t
电焊条	IPCC.《GHG Protocol》 ^[29] 绿色奥运建筑评估体系研究 ^[28]	3.55 t/t
型钢	建筑工程施工阶段的碳排放核算研究 ^[23]	3.744 t/t
纯混凝土 C15	基于全生命周期的建筑工程碳排放计算模型 ^[30]	364 kg/m ³
砌筑砂浆 M7.5	建筑工程施工阶段的碳排放核算研究 ^[23]	0.22 t/m ³
砌筑砂浆 M10	建筑工程施工阶段的碳排放核算研究 ^[23]	0.26 t/m ³

在机械台班碳排放的计算中,机械碳排放是由于其所消耗的油料等化石能源而产生碳排放。在土地整治项目中,机械台班所消耗的油料主要是柴油和汽油两种。

机械台班碳排放测算采取平均值方式进行,具体

$$J_c = \sum \left[Op_i \times NCV_i \times \frac{1}{1\ 000} \times \left(Cf_i \times \frac{1}{1\ 000} \times \frac{12}{44} + Mf_i \times \frac{1}{1\ 000} \times \frac{12}{16} \right) \right] \quad (3)$$

式中: J_c 为机械台班的碳排放总量(t); Op_i 为第 i 种能源的消耗量(t); NCV_i 为能源净发热值,该值为 43.0 TJ/Gg; Cf_i 为缺省 CO_2 排放系数,其中汽油为 69 300 kg/TJ,柴油为 74 100 kg/TJ; Mf_i 为缺省 CH_4 排放系数,其中汽油为 25 kg/TJ,柴油为 3.9 kg/TJ。 NCV_i, Cf_i, Mf_i 均采用 IPCC 指南 2007 年的给定值。

在定额单位碳排放计算中,由于土地整治项目工程包含多个工程定额,每个定额里包含了人、材、机等用量清单。以《土地开发整理项目预算定额》中各个定额的人、材、机用量清单为基础,结合上述人、材、机要素碳排放计算结果,将三者各自的碳排放量进行汇总,即可计算各定额的单位碳排放量。计算公式为:

$$D_i = \sum (R_i \times R_t + C_i \times C_t + J_i \times J_t) \quad (4)$$

式中: D_i 为定额单位碳排放量; R_t, C_t, J_t 分别为人工碳排放量、工料碳排放量和机械台班碳排放量; R_i, C_i, J_i 分别为定额中所包含的人工数量、工料数量和机械台班数量。

在项目的总碳排放量计算中,每个项目都是由众多定额以一定量组合而成,测算出各个定额的单位碳排放量后,再乘以该定额的数量,即可得出土地整治项目中该定额的碳排放总量。将项目中所有定额的碳排放总量进行求和即可得出土地整治项目的碳排放总量。计算公式为:

$$X_i = \sum (D_{ii} \cdot D_{ii}) \quad (5)$$

式中: X_i 为项目总碳排放量; D_{ii} 为第 i 个定额碳排放量; D_{ii} 为第 i 个定额工程量。

2 结果与分析

2.1 案例项目概况

本文以“南宁市横县马岭至良圻二级公路段临时用地土地复垦项目”为例,测算该项目工程施工过程碳排放总量。该项目复垦规模 0.41 hm^2 , 占用土地利用类型为耕地,破坏类型属于轻度压占,主体工程为交通项目,主要单项工程为土壤重构工程、植被重建工程和配套工程。项目所耗人工、材料、机械台班等相关数据均是从土地开发整理项目造价(营改增)

过程为:①依据土地整治项目工程设计与预算数据,统计单项目消耗柴油、汽油和机械台班总量。②运用碳排放系数法,依据柴油、汽油碳排放系数计算项目机械总碳排放量。最后,用机械碳排放总量除以机械台班总量得到单位机械台班碳排放量。

软件原始工程量清单中导出,所有项目数据均经过国土部门核实批准,数据具有较强的可信度。该项目所耗人工总量为 147.64 工日,所耗汽油总量为 321.15 kg,所耗柴油总量为 1 354.01 kg,所耗机械台班总量为 37.89 台班。

2.2 人工工日碳排放结果

按上述公式,考虑项目施工实际情况,人工其主要表现为农村居民在项目工程施工中直接参加劳动工作中由于饮食消费所产生的碳排放。本项目实施时间是 2018 年,施工中人工饮食消费无法精确获取,本次计算饮食消费明细按 2019 年《广西统计年鉴》“2018 年农村居民人均消费主要食品统计”中的食品品类确定。计算出人工平均单日碳排放量为 0.295 1 kg。其具体情况详见表 3。

表 3 人工饮食消费碳排放

食品类型	年消耗量/kg	日均消耗量/kg	碳排放系数	日碳排放量/kg
粮食	154.010 0	0.421 9	0.326 8	0.137 9
蔬菜	77.610 0	0.212 6	0.027 4	0.005 8
肉类	33.610 0	0.092 1	1.045 5	0.096 3
水产品	7.290 0	0.020 0	0.506 0	0.010 1
蛋类	4.630 0	0.012 7	1.262 1	0.016 0
奶类	2.560 0	0.007 0	0.455 1	0.003 2
水果	27.320 0	0.074 8	0.049 8	0.003 7
食用植物油	6.610 0	0.018 1	1.158 8	0.021 0
食糖	1.040 0	0.002 8	0.396 5	0.001 1
合计	—	—	—	0.295 1

2.3 机械台班碳排放计算

按上述公式,计算本项目消耗汽油碳排放量为 261.7 kg,消耗柴油碳排放量为 1 178.8 kg,单位机械台班汽油碳排放量为 6.9 kg,单位机械台班柴油碳排放量为 31.1 kg,单位机械台班碳排放量为 38 kg。

2.4 碳排放定额计算

定额内容依照《土地开发整理项目预算定额》规定的人、材、机含量,本项目涉及的具体定额由预算软件中导出,各定额碳排放计算结果详见表 4。

表 4 案例项目碳排放定额

定额编号	序号	项目名称	单位	数量	碳排放系数	碳排放量/kg
[T10032]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	甲类工	工日	1.80	0.30	0.53
	a ₂	乙类工	工日	35.10	0.30	10.36
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	0.00	0.00	0.00
		小计	—	—	—	10.89
[T10043]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	甲类工	工日	0.60	0.30	0.18
	a ₂	乙类工	工日	11.40	0.30	3.36
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	—	—	—
	c ₁	履带式拖拉机功率(59 kW)	台班	1.20	38.00	45.60
	c ₂	无头三铧犁	台班	1.20	38.00	45.60
	小计	—	—	—	94.74	
[T10207]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	甲类工	工日	0.09	0.30	0.03
	a ₂	乙类工	工日	1.45	0.30	0.43
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	—	—	—
	c ₁	单斗挖掘机油动斗容 0.5 m ³	台班	0.27	38.00	10.34
	c ₂	推土机功率(59 kW)	台班	0.21	38.00	8.08
	c ₃	自卸汽车柴油型载重量 5 t	台班	1.31	38.00	49.74
	小计	—	—	—	68.60	
[T10304]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	乙类工	工日	0.20	0.30	0.06
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	—	—	—
	c ₁	推土机功率(40~55 kW)	台班	0.85	38.00	32.30
	小计	—	—	—	32.36	
[T10306]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	乙类工	工日	0.24	0.30	0.07
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	—	—	—
	c ₁	推土机功率(40~55 kW)	台班	0.88	38.00	33.44
	小计	—	—	—	33.51	
[T10307]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	乙类工	工日	0.32	0.30	0.09
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	—	—	—
	c ₁	推土机功率(40~55 kW)	台班	1.05	38.00	39.82
	小计	—	—	—	39.92	
[T10330]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	乙类工	工日	0.20	0.30	0.06
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	—	—	—
	c ₁	自行式平地机功率(118 kW)	台班	0.10	38.00	3.80
	小计	—	—	—	3.86	
[T10334]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	甲类工	工日	1.30	0.30	0.38
	a ₂	乙类工	工日	25.10	0.30	7.41
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	—	—	—
	c ₁	蛙式打夯机功率(2.8 kW)	台班	2.20	38.00	83.60
	小计	—	—	—	91.39	

续表 4:

定额编号	序号	项目名称	单位	数量	碳排放系数	碳排放量/kg
[T20286]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	甲类工	工日	0.10	0.30	0.03
	a ₂	乙类工	工日	2.50	0.30	0.74
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	—	—	—
	c ₁	单斗挖掘机机动斗容 1 m ³	台班	0.60	38.00	22.80
	c ₂	推土机功率(59 kW)	台班	0.30	38.00	11.40
	c ₃	自卸汽车汽油型载重量 3.5 t	台班	6.80	38.00	258.40
		小计	—	—	—	293.37
[T30055]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	甲类工	工日	5.70	0.30	1.68
	a ₂	乙类工	工日	107.70	0.30	31.78
	b	材料	m ³	—	—	—
	b ₁	砌筑砂浆 M7.5, 水泥 32.5	m ³	16.00	0.22	3.52
	c	机械	台班	—	—	—
	小计	—	—	—	36.98	
[T30065]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	甲类工	工日	0.60	0.30	0.18
	a ₂	乙类工	工日	10.60	0.30	3.13
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	b ₁	砌筑砂浆 M10, 水泥 32.5	m ³	2.10	0.26	0.55
	c	机械	台班	0.00	0.00	0.00
	小计	—	—	—	3.85	
[T40005]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	甲类工	工日	26.30	0.30	7.76
	a ₂	乙类工	工日	61.30	0.30	18.09
	b	材料	kg/m ³	—	—	—
	b ₁	板枋材	m ³	0.23	0.20	0.05
	b ₂	组合钢模板	kg	17.95	3 003.00	53 903.85
	b ₃	型钢	kg	13.11	3 744.00	49 083.84
	b ₄	卡扣件	kg	14.90	3 744.00	55 785.60
	b ₅	铁件	kg	20.00	3 550.00	71 000.00
	b ₆	预埋铁件	kg	34.45	3 550.00	122 297.50
	b ₇	电焊条	kg	0.69	3 550.00	2 449.50
	b ₈	铁钉	kg	1.93	3 550.00	6 851.50
	b ₉	纯混凝土 C15, I 级配, 粒径 20, 水泥 32.5, 水灰比 0.65	m ³	103.00	364.00	37 492.00
	b ₁₀	水	m ³	100.00	910.00	91 000.00
	c	机械	台班	—	—	0.00
	c ₁	插入式振捣器(2.2 kW)	台班	4.60	38.00	174.80
c ₂	电焊机直流(30 kVA)	台班	1.64	38.00	62.32	
c ₃	风水(砂)枪耗风量(2~6 m ³ /min)	台班	2.59	38.00	98.42	
	小计	—	—	—	490 225.23	
[T90030]	a	人工	工日	—	0.30	—
	a ₁	乙类工	工日	2.63	0.30	0.77
	b	材料	kg	0.00	0.00	0.00
	c	机械	台班	0.00	0.00	0.00
	小计	—	—	—	0.77	

从上述计算结果来看,不同工程定额中包含的人工、材料和机械数量各不相同,因此各工程定额碳排放量差别较大。案例项目中共涉及 13 个工程定额,其中定额[T40005]中所耗人工、材料、机械台班量较大,是案例项目中碳排放量最大的定额。定额[T90030]中所耗人工、材料、机械台班量较少,是案例项目中碳排放量最小的定额。

2.5 项目总碳排放结果

依据上述公式,汇总计算项目总碳排放量,结果详见表 5。由表 5 结果可知,案例项目中碳排放的对象边界主要包括土壤重构工程、植被重建工程和配套工程,以土壤重构工程和配套工程碳排放为主,其碳排放量分别为 139.532 和 54.693 t。案例项目施工阶段碳排放总量为 194.225 t,其碳排放对象边界土壤重构工程的贡献率为 71.84%。

表 5 案例项目碳排放总量

单项工程	定额	定额碳排放量/kg	工程量	碳排放量/kg
	T10304	32.36	135	4 368.6
	T10306	33.51	720	24 127.2
	T10307	39.92	1 064.5	42 494.8
	T10207	68.60	209.5	14 371.7
土壤重构工程	T10330	3.86	4054	15 648.4
	T10043	94.74	0.360 4	34.144 3
	T20286	293.37	15	4 400.6
	T20286	293.37	99.12	29 078.8
	T20286	293.37	17.07	5 007.8
植被重建工程	T90030	0.77	0.405 4	0.3
	T10032	10.89	10.56	115.0
	T10334	91.39	1.58	144.4
配套工程	T40005	38 305.81	1.41	54 011.2
	T30055	36.98	7.04	260.3
	T30065	3.85	42.23	162.6
合计				194 225.9

3 讨论

土地利用碳排放和土地整治碳排放已取得了较好的科学研究成果,如何将这些已有的成果更好的应用到实践中,是一个亟需突破的技术,特别是在低碳土地整治方面。受建筑工程预算的启发,以土地开发整理项目预算定额为基础,进行碳排放定额计算,继而汇总成项目总碳排放,这种方式可实现碳排放快速、便捷、准确的测算。在具体实际应用中,政府机构应把土地整治项目碳排放纳入项目管理,可以依据财政部和国土资源部 2012 年编制的《土地开发整理项目预算定额标准》,编写《土地开发整理项目碳排放定

额标准》。依据“土地开发整理造价软件”,开发“土地整治项目碳排放软件^[31]”。碳排放定额方法的使用,为低碳土地整治和土地整治项目节能减排奠定了重要基础。

从 1999 年土地整理首次写入土地管理法,到 2006 年国土资源部首次提出土地整治概念,再到 2019 年自然资源部要求开展国土综合整治与生态修复,中国土地整治经历了“土地整理、土地整治、国土综合整治”三段式发展历程。从土地整治到国土综合整治与生态修复,是土地整治项目由点到面的推广与集聚,是开展土地整治工程由量变到质变的发展与迭代过程。改革开放以来,中国土地整治实践步伐远超理论研究,特别是有关土地整治、整理和复垦碳排放的研究相对较少。

在中国知网中以土地整治、整理、复垦和碳为关键词进行检索发现,2011—2020 年期刊年均发文量为 8 篇,远低于土地利用碳排放的发文量(166 篇)。另外,以建筑和碳排放为关键词进行检索,2011—2020 年期刊年均发文量为 610 篇,是土地利用碳排放方向发文量的 3.7 倍,是土地整治碳排放方向发文量的 76 倍。建筑领域的碳排放相关研究中,基于不同情境的碳排放模拟与优化研究^[32]为土地整治碳排放提供了很好的参照。以此为思路,探究土地整治碳排放以及不同减排政策下的碳排放情景模也得到了实证^[33]。本文基于 PAS2050 规范对土地整治工程碳排放框架和碳排放定额法进行了初步探究,适用该方法的定额应均来源于《土地开发整理项目预算定额标准》,案例项目计算中,用于碳排放计算的工程定额均来源于项目的工程量清单。然而实践中部分工程设计存在使用超出标准定额的情况,因此对超标定额以及更深、更广层次的预算定额转碳排放定额还需后续进一步细化。另外,按照国家“十四五”减排目标和各行业减排计划,对土地整治碳排放定额进行不同情境的设置与模拟,并据此提出国土综合整治与生态修复建设工程的碳排放框架及其优化减排路径也是今后研究的重点。

现阶段,中国土地整治正在向国土综合整治转型发展,围绕国土综合整治的路径、方法、政策等相关研究成为当前学术界的研究热点。学者们虽然呼吁国土综合整治需要继续从基础理论、技术方法、工程技术、技术标准等方面进行创新研究^[34],综合整治和生态修复要以生态文明建设为核心,以绿色、低碳、循环发展为主要方式开展全域“外部性”治理^[35],且开展国土综合整治与生态修复有助于碳中和等^[36]。然而,在节能减排、绿色低碳发展的大氛围下,围绕低碳

开展土地整治、国土综合整治的基础理论研究和工程技术方法研究的文献却相对较少。“采取工程技术措施”是土地整治任何发展阶段中所必备的内容^[37],以土地整治工程碳排放研究为基础,借鉴建筑领域的PAS2050规范对基础理论进行完善,通过工程预算方式对工程过程碳排放测算方法进行技术创新,这将为探究国土综合整治碳排放效应和进一步提升生态碳汇能力奠定重要基础。同时,碳排放定额也成为优化低碳土地整治的重要突破口,根据研究分析可提出以下对策:一是鉴于含有水泥的定额碳排放量较高,可适当调整田间道路工程设计标准,用高标准的泥结石路代替水泥硬化路,降低水泥消耗。二是对机械台班相关定额进行修订,当前阶段,新能源汽车已经得到普及推广,将定额中以耗油为主的机械台班修订为以耗电为主的机械台班,并要求土地整治施工中逐渐以工程电车代替油车,降低油料消耗。三是压缩土地整治工程的时间边界,丰富空间场地的土地覆被,通过缩短工期、增加防护林等生态型土地覆被和碳足迹设计实现土地整治时空边界内的碳中和。

4 结论

(1) 土地整治工程碳排放定额是以《土地开发整理项目预算定额标准》中给定的相关预算定额为基础,运用碳排放系数法计算各个预算定额中所含一定量人力、材料、机械的碳排放量,继而将预算定额转变成碳排放定额,从而实现项目碳排放总量的计算。

(2) 依据PAS2050规范,土地整治工程碳排放的时空边界清晰,对象边界包括人工、材料和机械,要素边界包括定额、单位工程和单项工程3类逐级汇总,碳源包括要素、定额、单位/单项工程和项目碳源4类逐级汇总。

(3) 以碳排放定额为基础,测算出案例项目的土壤重构工程、植被重建工程和配套工程的碳排放量分别为139 532.13,0.31和54 693.51 kg,项目总碳排放量为194 225.95 kg。

(4) 碳排放定额法在系统、全面、准确测算建筑施工过程碳排放方面具有较强应用前景,通过调整优化定额等方式,可有效促进国土综合整治的节能减排效益。

[参 考 文 献]

- [1] 严慈,侯兰功.基于灰色理论的陕西省土地利用变化及其碳排放研究[J].西安理工大学学报,2021,37(1):25-31.
- [2] Houghton R A, House J I, Pongratz J, et al. Carbon emissions from land use and land-cover change [J]. *Biogeosciences*, 2012,9(12):5125-5142.
- [3] Goh C S, Junginger M, Potter L, et al. Identifying key factors for mobilising under-utilised low carbon land resources: A case study on Kalimantan [J]. *Land Use Policy*, 2018,70:198-211.
- [4] Dong Yuhong, Liu Shiliang, Wang Jun, et al. Assessment of risk and carbon sequestration function of land consolidation based on landscape pattern [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017,33(7):246-253.
- [5] Chartin C, Evrard O, Salvador B S, et al. Quantifying and modelling the impact of land consolidation and field borders on soil redistribution in agricultural landscapes (1954—2009) [J]. *Catena*, 2013,110(1):184-195.
- [6] Polat H, Manavbasi I. Determining the effects of land consolidation on fuel consumption and carbon dioxide emissions in rural area [J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2012,18(2):157-165.
- [7] Hiironen J, Riekkinen K. Agricultural impacts and profitability of land consolidations [J]. *Land Use Policy*, 2016,55:309-317.
- [8] Tan Meng, Huang Xianjin, Zhong Taiyang, et al. Impacts of land consolidation on soil organic carbon content [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011,27(8):324-329.
- [9] Hammond G P, Li B. Environmental and resource burdens associated with world biofuel production out to 2050: Footprint components from carbon emissions and land use to waste arisings and water consumption [J]. *Global Change Biology Bioenergy*, 2016,8(5):894-908.
- [10] 张中秋,胡宝清,韦金洪.广西土地整治碳排放影响因素及脱钩效益分析:基于LMDI模型[J].生态经济,2020,36(1):47-55.
- [11] 刘建,李月臣,曾暄,等.县域土地利用变化的碳排放效应:以山西省洪洞县为例[J].水土保持通报,2015,35(1):262-266.
- [12] 程韵琦.土地整治项目碳效应测算及决策优化研究[D].江西 南昌:江西财经大学,2020.
- [13] 郭晓辉,顿耀龙,薄广涛,等.平原区土地整理项目的碳排放效应研究:以河北省巨鹿县土地整理项目为例[J].水土保持研究,2015,22(3):241-246.
- [14] 费罗成,吴次芳,程久苗.农村土地整理的碳效应及其政策响应[J].资源科学,2017,39(11):2073-2082.
- [15] 钟学斌,喻光明,何国松,等.土地整理过程中碳量损失与生态补偿优化设计[J].生态学杂志,2006,25(3):303-308.
- [16] 洪士林,王艳华,阮月远,等.基于生态文明视角的农村土地整治实践路径探讨[J].北方农业学报,2016,44(6):127-130.
- [17] 吴淑艺.基于工程量清单的建筑工程碳排放研究[D].福建 福州:福建农林大学,2017.

- [18] 安玉发,彭科,包娟.居民食品消费碳排放测算及其因素分解研究[J].农业技术经济,2014(3):74-82.
- [19] 罗婷文,欧阳志云,王效科,等.北京城市化进程中家庭食物碳排放动态[J].生态学报,2005,25(12):3252-3258.
- [20] 刘娜.建筑全生命周期碳排放计算与减排策略研究[D].河北 石家庄:石家庄铁道大学,2014.
- [21] 黎礼刚,李凌云,周紧东,等.护岸工程材料综合能耗和碳排放计算及评价[J].人民长江,2012,43(7):50-55.
- [22] 李艳红.护岸材料碳排放及综合能耗推求与评估[J].水利规划与设计,2017(5):94-97.
- [23] 陈康海.建筑工程施工阶段的碳排放核算研究[D].广东 广州:广东工业大学,2014.
- [24] 贾珍.某绿色建筑的全生命周期碳排放研究[J].建设科技,2016(17):78-81.
- [25] 龚志起,张智慧.水泥生命周期中物化环境状况的研究[J].土木工程学报,2004,37(5):86-91.
- [26] 吴红,崔素萍,王志宏.中国水泥工业环境负荷分析[J].中国建材科技,2006(3):50-54.
- [27] 陈超,胡聃,文秋霞,等.中国水泥生产的物质消耗和环境排放分析[J].安徽农业科学,2007(28):8986-8989.
- [28] 江亿,秦佑国,朱颖心.绿色奥运建筑评估体系研究[J].中国住宅设施,2004(5):9-14.
- [29] Paustian K, Ravindranath N H, Amstel A V. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. International Panel on Climate Change, 2006.
- [30] 李静,刘燕.基于全生命周期的建筑工程碳排放计算模型[J].工程管理学报,2015,29(4):12-16.
- [31] 张中秋.土地整治项目碳排放系统:中国,SR0306433 [P]:2021-02-26.
- [32] 王克,刘芳名,尹明健,等.1.5 °C 温升目标下中国碳排放路径研究[J].气候变化研究进展,2021,17(1):7-17.
- [33] 李茹茹,赵华甫,吴克宁,等.农村土地整治项目 CO₂ 排放及减排政策下的情景模拟[J].水土保持通报,2016,36(6):177-183.
- [34] 高世昌,杜亚敏.国土综合整治对科技创新的需求与对策[J].中国土地,2020(11):37-39.
- [35] 王威,胡业翠.改革开放以来中国国土整治历程回顾与新构想[J].自然资源学报,2020,35(1):53-67.
- [36] 郭义强.生态保护修复有助于碳中和[J].资源与人居环境,2021(4):52-53.
- [37] 何梅,方勇.新时期国土综合整治规划体系初探[J].中国土地,2021(3):30-32.

(上接第 189 页)

- [28] 师春香,姜立鹏,朱智,等.基于 CLDAS 2.0 驱动数据的中国区域土壤湿度模拟与评估[J].江苏农业科学,2018,46(4):231-236.
- [29] Cheng Meilin, Zhong Lei, Ma Yaoming, et al. A study on the assessment of multi-source satellite soil moisture products and reanalysis data for the Tibetan Plateau [J]. Remote Sensing, 2019,11(10):1-18.
- [30] Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. The ERA5 global reanalysis [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020,146(730):1999-2049.
- [31] Muñoz S J, Dutra, E, Agustí P, et al. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications [J]. Earth System Science Data, 2021, <https://doi.org/10.5194/essd-2021-82>.
- [32] Rodell M, Houser P R, Jambor U, et al. The global land data assimilation system [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2004,85(3):381-394.
- [33] 王文,汪小菊,王鹏. GLDAS 月降水数据在中国区的适用性评估[J].水科学进展,2014,25(6):4-13.
- [34] He Jie, Yang Kun, Tang Wengjun, et al. The first high-resolution meteorological forcing dataset for land process studies over China [J]. Science Data, 2020,7(1):1-11.
- [35] 刘川,余晔,解晋,等.多套土壤温湿度资料在青藏高原的适用性[J].高原气象,2015,34(3):653-665.
- [36] Taylor K E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram [J]. Journal of Geophysical Research (Atmospheres), 2001, 106 (7): 7183-7192.
- [37] 宋海清,李云鹏,师春香,等.内蒙古地区下垫面变化对土壤湿度数值模拟的影响[J].大气科学,2016,40(6):1165-1181.