

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.10.062

盾构工作井碳排放构成及减碳路径研究

饶倩¹,王鑫²

[1.上海城投公路投资(集团)有限公司,上海市 200335; 2.上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200125]

摘要:结合漕宝路快速路新建工程,采用定额清单分析法,对合川路盾构工作井碳排放量进行核算。通过对碳排放量构成和主要来源的分析,得到了工作井结构按照不同分类模式下的碳排放占比,并提出针对性的减碳路径和方法。研究表明,在建材生产运输和建造阶段,盾构工作井碳排放总量可达到 20 850 t CO₂。按材料、机械和人工分类,各部分碳排放占比约为 87.7%、11.9%和 0.4%。建材生产运输阶段的碳排放量远高于施工阶段的机械能耗和人工碳排放量之和。尽管降水井的质量占比较小,但其对所在分部工程的碳排放计算有较大影响,是碳排放核算需要考虑的因素。接缝止水材料、防水材料的质量占比、碳排放占比均很小,可根据碳排放核算精度要求适当考虑或忽略不计。在基础设施建设方面,可以从低碳建材使用、建材和土方运输机械电动化、鼓励施工机械能源采用生物柴油、提高建筑垃圾资源化管理水平、提高措施项目的周转材料利用率等方面出发,有效降低碳排放。

关键词:盾构工作井;建设期;碳排放构成;减碳路径

中图分类号:U455.43

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2024)10-0276-07

0 引言

2021 年 10 月 24 日,国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案的通知》(国发〔2021〕23 号)(以下简称“行动方案”)。行动方案要求将碳达峰贯穿于经济社会发展全过程和各方面。“碳达峰十大行动”重点任务之一即为重点实施节能降碳增效行动。交通基础设施在建设、运营及养护活动中,需要消耗大量能源、资源,是人类社会生产过程的主要碳排放源头之一。

交通运输部科学研究院研究指出,我国交通运输行业碳排放是仅次于工业、建筑领域的第三大碳排放源^[1]。隧道工程是交通基础设施的重要组成部分,隧道的资源和能源消耗密度明显高于其他基础设施。推动交通基础设施的低碳改造,推进交通基础设施生态建造势在必行。

对于建设工程的碳排放量核算,全生命周期分析方法^[2]得到学界的广泛应用和认可。皮膺海^[3]基于全生命周期理论,借鉴了工程量清单预算定额计价模式,提出了适用地铁盾构施工碳排放测算模型和框架。金海等^[4]运用全生命周期理论,结合 BIM 技术对建筑材料进行辅助统计,对建筑材料的 CO₂ 排放量

进行测算。郭春等^[5]使用数据清单和排放系数评估隧道施工期的碳排放,对不同施工工序和材料能源对碳排放的贡献进行分析。Abolhasani^[6]通过施工现场监测数据,对施工机械的碳排放进行研究。樊婧^[7]提出以城市地下交通基础设施施工周期内的碳排放分析框架,采用定额清单分析的方式对施工阶段的工程碳排放量进行研究。

1 交通基础设施碳排放核算方法

关于交通基础设施碳排放核算,不同分析方法的理论基础均来源于全生命周期分析方法,并在此基础上针对不同的工程类型和特点,延伸出排放系数评估法、定额清单分析法等。

排放系数法是以建筑结构生命周期内各类建筑材料和能源的消耗清单为基础,将建材和能源的消耗量分别乘以对应的碳排放因子并累加,即可得到建筑结构全生命周期碳排放的总和。定额清单分析法借鉴预算定额计价模式,采用工程量清单统计建材和能源消耗,进而得到相应工程的碳排放总量。

特定工程的工程量清单、定额计价等资料,对建设期所采用的主要建材和辅助材料、不同工法所使用的机械设备、不同材料运输方式等能源消耗的差异,均能够相对准确和全面的有所反映。对于市政交通基础设施工程,采用基于工程量清单的定额模式分析法(以下简称“定额清单分析法”),具有一定的合理性

收稿日期:2023-12-21

基金项目:上海城投(集团)有限公司科研项目(CTKY-ZDZX-2022-001)

作者简介:饶倩(1989—),女,硕士,工程师,从事隧道与地下工程建设管理工作。

和准确性。

本文采用定额清单分析法,以漕宝路快速路新建工程的盾构工作井为研究对象,分析其碳排放的主要来源及构成,得到不同分类模式下的碳排放占比,并提出针对性的减碳路径和方法,以推动交通基础设施的低碳改造。

1.1 全生命周期碳排放阶段划分

结合市政交通基础设施工程建设特点,根据全生命周期碳排放理论,将碳排放核算按以下4个阶段划分:建材生产及运输阶段、建造阶段、运行阶段、拆除阶段。

建筑物在与其有关的建材生产及运输、建造及拆除、运行阶段产生的温室气体排放的总和,以CO₂表示^[8],即为建筑全生命周期碳排放。

1.2 建设期碳排放模型及边界

首先,确定需要进行碳排放研究的部分分项工程范围。以初设概算或施工图预算工程量清单为依据,可以得到相对准确、全面的工程量。

然后,以预算定额为基础,根据不同的施工方法、措施项目等内容,确定相应的施工机械及能耗、人工工时等数据。

最后,将计算范围内所涉及的建材生产及运输、建造活动等相关的全部材料及能耗进行统计,并将能源与材料消耗量与二氧化碳排放相对应的系数相乘,即得到量化的建(构)筑物建设期碳排放。

综上,本文提出的碳排放核算模型及流程见图1。

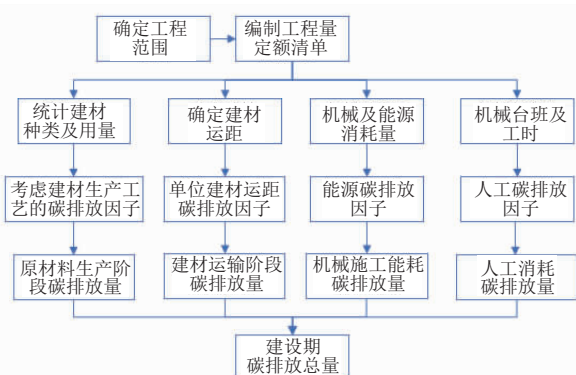


图1 计算模型简图

本文所涉及的碳排放计算边界,考虑了市政交通基础设施在原材料生产和运输、建造过程等相关活动的碳排放。市政交通基础设施的运维管理复杂,设计使用年限较长,各方面影响因素较多,因此,本文暂不探讨运行和拆除阶段的碳排放核算。

2 依托工程概况

漕宝路快速路新建工程西起嘉闵高架立交,东

至漕宝路与桂平路交叉口,途经松江区、闵行区和徐汇区三个行政区,总长约7.18 km。道路等级为城市快速路,双向6车道。快速路主线设计速度60 km/h。

本工程主线隧道盾构段为单管双层圆隧道,盾构直径为15 m,管片厚度为650 mm。盾构段总长约4.20 km,分为东西、两段。盾构段自西向东共设置4座工作井,分别为蒲汇塘工作井、外环1#工作井、外环2#工作井及合川路工作井。

合川路工作井为东段盾构始发井,位于漕宝路、合川路路口。本文以合川路工作井为依托工程进行案例分析。

2.1 工程地质情况

本工程建设场地属滨海平原地貌类型,场地地基土在90 m深度范围内均为第四系松散沉积物,属滨海平原相,地表以下土层主要由饱和粘性土、粉性土及砂土组成。

根据场地土层分布情况,拟建工程沿线主要以正常沉积区为主,局部区段为古河道沉积区,土层分布存在一定变化。根据工程地质性质,由上至下依次发育的土层为:

①₁₋₁层杂填土(Q₄³)、①₁₋₂层素填土(Q₄³)、②₁层褐黄~灰黄色粉质黏土(Q₄³)、②₃层灰色黏质粉土(Q₄³)、③层灰色淤泥质粉质黏土(Q₄²)、③_T层灰色砂质粉土(Q₄²)、④层灰色淤泥质黏土(Q₄²)、④_T层灰色砂质粉土(Q₄²)、⑤₁层灰色粉质黏土(Q₄¹)、⑤_{1T}层灰色砂质粉土(Q₄¹)、⑤₃层灰色粉质黏土(Q₄¹)、⑤₄₋₁层灰绿色粉质黏土(Q₄¹)、⑤₄₋₂层灰绿色砂质粉土(Q₄¹)、⑥₁层暗绿色粉质黏土(Q₃²)、⑥₂层草黄色黏质粉土夹粉质黏土(Q₄¹)、⑦₁层草黄~灰黄色砂质粉土(Q₃²)、⑦_{1T}层草黄~灰黄色黏质粉土与粉质黏土互层(Q₃²)、⑦₂层灰黄~灰色粉砂(Q₃²)、⑧₂₋₂层灰色砂质粉土夹粉质黏土(Q₃²)、⑨层灰色粉砂(Q₃¹)。

合川路工作井围护结构涉及地层为①₁₋₁层杂填土至⑦₂层粉砂。

2.2 支护结构形式

合川路盾构工作井为矩形,平面内净尺寸为21.5 m × 21.0 m。工作井周边整平地标高取+5.3 m,坑底标高-23.22 m,基坑开挖深度28.52 m。结合开挖深度及周边环境情况,基坑工程安全等级、环境保护等级均为一级。

工作井支护结构体系主要包括围护结构、土方支撑及降水、地基加固。

围护结构采用地下连续墙,厚度1.2 m,为叠合

墙形式。工作井地下连续墙长度约 50 m,墙底插入⑦₂层粉砂层。地连墙接缝采用 H 型钢接头。本工程场地⑦₂层为(微)承压水层,且与其下⑧₂₋₂层、⑨层承压水层连通,围护墙无法完全隔断承压水。施工期间需进行降承压水作业,保证基坑安全。

地下连续墙两侧设置槽壁加固。采用 $\Phi 850@600$ 三轴搅拌桩,水泥掺量 20%。

基坑竖向设置 5 道钢筋混凝土支撑,支撑竖向间距 4.9~6.1 m。工作井支撑、围檩布置及参数见表 1。

表 1 工作井支撑、围檩布置及参数表

支撑道数	支撑中心标高 /m	钢筋混凝土支撑截面 / (mm × mm)	钢筋混凝土围檩截面 / (mm × mm)
第 1 道	3.8	800 × 800	2 700 × 1 100
第 2 道	-2.32	1 000 × 1 000	3 000 × 1 500
第 3 道	-7.92	1 000 × 1 000	1 800 × 1 100
第 4 道	-13.12	1 300 × 1 200	2 300 × 1 300

竖向支承体系采用型钢格构柱和立柱桩。格构柱截面尺寸为 610 mm × 610 mm,采用 4L200 × 18 型钢。立柱桩采用 $\Phi 1000$ 钻孔灌注桩,有效桩长 32 m。

坑内加固采用高压旋喷桩,加固形式为裙边 + 抽条。加固深度 20 m,为第二道支撑下至⑤₁层底,裙边宽度 4 m。高压旋喷桩水泥掺量 25%。

本工程基坑存在坑底突涌风险,采用真空管井进行减压降水。井管外径 650 mm,内径 300 mm。滤管为壁厚 4 mm 的钢管。井管外为填滤层滤料,采用粒径均匀的硬质砾砂。

2.3 内部结构形式

工作井内部结构主要包括主体结构和防水材料。

2.3.1 主体结构

工作井主体结构主要由内衬墙、顶底板、框架梁、立柱柱等钢筋混凝土构件组成。工作井内部共分 5 层,包括 2 层设备层、电缆夹层、上层车道、下层车道。

结构接缝主要采用钢板止水带、遇水膨胀橡胶止水条等材料。

2.3.2 防水材料

工作井结构外层采用全包防水(见图 2)。顶板采用聚氨酯涂料、细石混凝土组合防水层。底板采用预铺反贴 1.2 厚高分子自粘胶膜防水卷材。工作井侧墙为地连墙与内衬墙组成的叠合墙结构体系。地墙内侧采用水泥基渗透结晶型防水涂料。

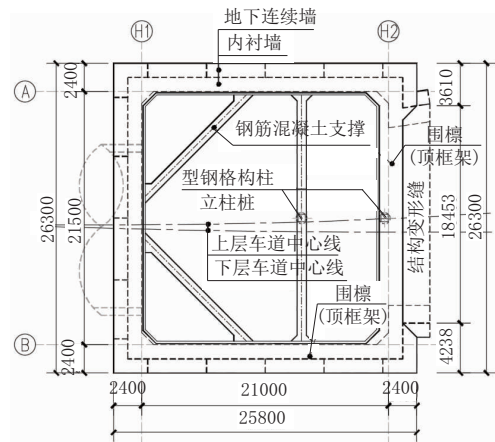


图 2 工作井支护及内部结构平面图(单位:mm)

3 碳排放核算及分析

3.1 建筑材料构成

依据国家现行标准要求,碳排放核算所选主要建筑材料的总重量不应低于建筑中所耗建材总重量的 95%^[8]。对于采用工程量清单进行碳排放分析的项目,所统计的建材总量相对准确,能够达到国家标准相关要求。

通过对工程所有人工、材料和机械使用情况进行统计,并对其占比进行分析,得到相应的材料、机械累计占比和单项占比情况。

目前,相对于民用建筑碳排放研究成果而言,国内关于市政基础设施碳排放的研究成果较少。市政基础设施建造中,所采用的建材类型及种类繁多、施工机械等也具有一定的特殊性,因此,有必要进行深入研究。

为提高碳排放核算成果的全面性,本文研究中考虑了盾构工作井工程量概算清单所涉及的全部主材(混凝土、钢筋和钢材、水泥加固材料、防水材料)及大部分辅材(预埋铁件、接缝材料等)。建筑施工措施所采用的周转材料不考虑,如混凝土模板、脚手架、临时钢支撑等。

本工程建材种类及重量统计情况见表 2。

由表 2 中数据分析可知:

(1)所有建材中,混凝土(C35、C30 和 C25)总重占比 66.5%,护壁泥浆重量占比约 16.4%,水泥用量占比 12.0%,钢筋和其他钢材重量占比 4.89%。以上 4 类建材总重量占比已达到 99.8%。

(2)降水井、接缝止水材料(包括遇水膨胀橡胶、钢板止水带)、防水材料(沥青卷材、涂料、油毡)等材料重量合计占比仅 2.2%。

(3)从建材用量角度考虑,碳排放计算需要计入

表2 建材种类及用量统计

序号	材料名称	规格	材料用量/kg	重量占比/%
1	混凝土	C35	26 408 379	58.5
2	混凝土	C30	3 505 361	7.76
3	混凝土	C25	98 638	0.22
4	护壁泥浆	—	7 405 662	16.4
5	水泥	42.5级	5 424 400	12.0
6	钢筋	HRB400/HPB300	2 162 737	4.79
7	钢材	Q235B/Q355B	43 669	0.10
8	降水井	650	77 073	0.17
9	接缝止水材料	遇水膨胀橡胶	9 741	0.022
11	接缝止水材料	钢板止水带	3 316	0.007
12	防水沥青卷材	1.2厚/4.0厚	3 063	0.007
10	防水涂料	聚氨酯涂抹	6 121	0.014
13	防水油毡	—	1 149	0.003
14	合计		45 149 309	100

的建材主要为混凝土、护壁泥浆、水泥、钢筋和其他钢材。降水井、防水材料等建材用量占比不大,根据碳排放核算精度要求,适当考虑即可。

3.2 碳排放源占比分析

将建设期所用到的建筑材料用量与相应的碳排放因子相乘,可得到建筑材料碳排放总量。将施工机械能耗与碳排放因子相乘,可得到施工过程中机械能耗所产生的碳排放。

盾构工作井等采用明挖法施工的地下结构,在市政工程概算文件中通常划分为四个分部工程,包括围护结构、土方支撑及降水、内部结构和地基加固。各分部工程再按工料机(人工、材料、机械能耗)进行分类,对工作井碳排放构成进行分析。

3.2.1 各分部工程碳排放构成

盾构工作井按围护结构、土方支撑及降水、内部结构和地基加固进行划分,各分部工程的碳排放构成见表3。

由表3数据可知:

(1)盾构工作井各分部工程中的建材碳排放均占主导地位。各分部工程中,材料部分碳排放占比约为78.0%~97.1%。根据之前的分析,各分部工程的混凝土、水泥和钢筋重量已占到建材总重的83.3%,而混凝土和钢筋本身的碳排放因子也较大。因此,建材碳排放建筑工程中总是占有相当比重。

(2)施工机械和人工碳排放量远小于建材碳排放占比。各分部工程中,机械施工所产生的碳排放占

表3 盾构工作井各分部工程的碳排放构成

分部工程		材料	机械	人工	小计
围护结构	碳排放量 CO ₂ e/kg	8 359 073	1 157 920	38 947	9 555 939
	占比/%	87.5	12.1	0.4	100.0
土方支撑及降水	碳排放量 CO ₂ e/kg	1 741 154	477 781	14 397	2 233 332
	占比/%	78.0	21.4	0.6	100.0
内部结构	碳排放量 CO ₂ e/kg	4 219 825	108 126	17 622	4 345 574
	占比/%	97.1	2.5	0.4	100.0
地基加固	碳排放量 CO ₂ e/kg	3 969 150	735 778	7 966	4 712 895
	占比/%	84.2	15.6	0.2	100.0
合计	碳排放量 CO ₂ e/kg	18 289 202	2 479 606	78 933	20 847 741
	占比/%	87.7	11.9	0.4	100.0

比约为2.5%~21.4%。地下连续墙、三轴搅拌桩、高压旋喷桩等施工需要用到较多的大型施工机械,如液压挖掘机、履带式铣槽机、三轴搅拌机、高压旋喷桩机等。土方开挖涉及大量的土方外运、降水等能耗。因此,围护结构、土方支撑及降水、地基加固部分的机械碳排放远大于内部结构施工碳排放。

(3)综合各分部工程进行分析,材料、机械和人工各部分碳排放占比依次为87.7%、11.9%和0.4%。碳排放主要构成仍为建材碳排放。

根据之前的分析可知,工作井地连墙混凝土方量约6 732 m³,所需泥浆方量与之相同。泥浆比重按1.1考虑,重量约7 405.7 t,质量占比达到本工程的16.4%。从材料质量角度考虑,其碳排放是不可忽略的。

3.2.2 地连墙成槽及护壁泥浆

表4为护壁泥浆和成槽过程的碳排放量统计表。

由表4数据可知:

(1)地连墙施工需结合成槽深度的不同,选择适用的施工机械。深度45 m以内,可采用液压抓斗成槽;深度60 m以内,可采用铣槽机成槽;深度70 m以内,则采用履带式套铣方式成槽。

(2)随成槽深度增大,护壁泥浆施工的机械能耗碳排放占比逐步增大,而材料碳排放占比则相对减小。本工程实例中,45 m以内、60 m以内、70 m以内范围机械成槽的碳排放占比依次为57.9%、90.3%和97.5%。相应的材料碳排放占比依次为40.4%、9.5%和2.0%。

(3)总体而言,护壁泥浆及成槽施工的材料、机械和人工碳排放占比分别为15.8%、83.5%和0.7%。

表4 地连墙成槽和护壁泥浆的碳排放构成

序号	分部分项工程	材料	机械	人工	合计	
1	液压抓斗成槽(45 m以内)护壁泥浆(4 713 m ³)	碳排放量 CO ₂ e/kg	109 770	157 444	4 549	271 764
		占比 /%	40.4	57.9	1.7	100
2	铣槽机成槽(60 m以内)护壁泥浆(1 346 m ³)	碳排放量 CO ₂ e/kg	34 000	322 200	652	356 853
		占比 /%	9.5	90.3	0.2	100
3	履带式套铣成槽(70 m以内)护壁泥浆(673 m ³)	碳排放量 CO ₂ e/kg	6 413	312 696	1 556	320 666
		占比 /%	2.0	97.5	0.5	100
4	合计	碳排放量 CO ₂ e/kg	150 183	792 341	6 758	949 282
		占比 /%	15.8	83.5	0.7	100

这说明护壁泥浆及成槽施工的碳排放主要是成槽机械能耗产生的碳排放,材料碳排放占比则相对较少。

(4)本工程地连墙方量约 6 732 m³,其碳排放总量约 8 132 t,其中,护壁泥浆及成槽施工的碳排放总量约 949.3 t,护壁泥浆及成槽施工的碳排放量约为地连墙总碳排放量的 11.6%。从护壁泥浆质量占比和碳排放占比两方面考虑,护壁泥浆及成槽施工的碳排放量均需考虑,不可忽略。

3.2.3 土方支撑和降水

土方支撑和降水作为分部工程,细分为以下 6 个分项工程,各部分碳排放量及占比见表 5。

表5 土方支撑和降水的分项工程碳排放

序号	分项工程	材料标号	工程量	单位	碳排放量 CO ₂ e/kg	占比 /%
1	钢筋混凝土支撑	C35	1 223	m ³	1 476 056	66.1
2	井点降水	—	4	根	457 979	20.5
3	土方开挖填筑	—	17 748	m ³	124 682	5.6
4	格构柱	Q235	14.9	t	70 220	3.1
5	立柱桩	C35	47.1	m ³	53 540	2.4
6	土方运输	—	17 748	m ³	50 855	2.3
7	合计		17 748	m ³	2 233 332	100

由表 5 数据可知:

(1)钢筋混凝土支撑、井点降水的碳排放占比分别为 65.4%和 20.5%,是该分部工程中碳排放主要来源。

(2)土方开挖填筑、土方运输的碳排放占比分别为 5.6%和 2.3%。土方运输约为土方填筑碳排放量的 40%。

(3)工作井平面尺寸较小,立柱及立柱桩等竖向支撑构件较少,其碳排放占比也较小。

3.2.4 质量占比较小的分项工程

根据前述分析可知,降水井、防水材料质量占比

较小。以下对防水材料碳排放量进行核算和分析,确定其具体碳排放量和占比(见表 6)。

表6 质量占比较小的分项工程碳排放构成

序号	分项工程	材料	机械	人工	合计	
1	降水井	碳排放量 CO ₂ e/kg	253 893	201 890	2 197	457 979
		占比 /%	55.4	44.1	0.5	100.0
2	接缝止水材料	碳排放量 CO ₂ e/kg	457	4.2	224	685
		占比 /%	66.7	0.6	32.7	100.0
3	防水材料	碳排放量 CO ₂ e/kg	40 553	66.0	288	40 906
		占比 /%	99.1	0.2	0.7	100.0

由表 6 数据可知:

(1)降水井及降水施工所产生的碳排放总量约 458 t。其中,材料、机械能耗所引起的碳排放占比分别为 55.4%和 44.1%,其余为人工碳排放。土方支撑及降水部分碳排放总量约 2 233 t,降水井约占该分部工程碳排放量的 20.5%,占总碳排放量的 2.2%。尽管其在总碳排放量中的占比较小,但对该分部工程的碳排放计算有较大影响,因此,仍建议考虑对降水井部分引起的碳排放纳入核算范围。

(2)接缝止水材料、防水材料的碳排放量分别为 0.685 t 和 40.9 t,分别占该分部工程碳排放量的 0.02%和 0.9%。以上两者碳排放总量约占工程总碳排放量的 0.2%。结合建材质量占比和碳排放占比两方面共同分析,接缝止水和防水材料的碳排放影响均十分有限,根据碳排放核算精度要求,适当考虑或忽略不计。

3.3 主要的碳排放因子

表 7、表 8 为部分主要材料用量和施工机械能耗用量及碳排放因子。

4 针对性减碳路径和方法

交通基础设施的减碳路径可从低碳建材使用、

表7 部分主要材料用量及碳排放因子

材料名称	规格	单位	碳排放因子	数据来源
预拌水下混凝土	C35 P12	m ³	323	文献[9]
预拌抗渗混凝土 (非泵送型)	C35 P12	m ³	293	文献[9]
水泥	42.5级	t	864	文献[9]
膨润土	—	kg	0.041	文献[9]
热轧带肋钢筋	Φ36~40(HRB400)	t	3163	文献[9]
热轧型钢	Q235B	kg	3.75	文献[8]

表8 部分施工机械能耗及碳排放因子

机械设备	单位	碳排放因子	能源类型	数据来源
履带式液压抓斗成槽机	台班	723	柴油	文献[9]
交流弧焊机 32 kV·A	台班	78.14	电能	文献[7、8]
双重管旋喷桩机	台班	150.5	柴油	自行测算
电瓶车 45 t	台班	619.7	电能	自行测算
15 t履带式起重机	台班	91.4	柴油	文献[7、8]
电动空压机 6 m ³ /min	台班	174	电能	文献[7、8]
中型货车运输 8 t	台班	129.3	柴油	文献[9]

注:1.表中碳排放因子根据电能、柴油碳排放因子换算为相应的台班碳排放因子。

2.电能碳排放因子 CO_{2e} 为 0.809 5/kWh,柴油 CO_{2e} 为 3.096/kg^[3];每台班为 8 h。

降低钢材用量、提高回收利用率、提高周转材料周转率等方面出发,降低此类工程建设碳排放。

4.1 建筑材料碳减排

根据前文分析可知,工作井结构采用的主要建材为混凝土、水泥、钢筋、钢材、降水井、接缝止水材料和防水材料等。

4.1.1 混凝土和水泥

提高低碳水泥的利用率。与传统硅酸盐水泥相比,水化硅酸镁系胶凝材料具有明显的低碳特性。有研究表明,利用硅酸镁作为组成成分生产的水泥,平均每吨水泥生产 CO₂ 排放量约 0.5 t^[10]。普通硅酸盐水泥每吨的碳排放量(市场平均)约 0.864 t。

本工程围护墙、围檩及支撑、主体结构均为钢筋混凝土结构,混凝土方量合计约 1.3 万 m³。按通常混凝土配比计算,混凝土中所含水泥原材料约 5 100 t。三轴水泥土搅拌桩、高压旋喷桩等地基加固使用了大量的水泥。根据地基加固方量和掺入比进行计算,本工程需要消耗水泥约 5 424 t。考虑普通硅酸盐水泥全部替换为硅酸镁系胶凝材料,水泥材料的减碳率可达到 42%。仅水泥材料一项的减碳量可达到

3 940 t,约占本工程中碳排放量的 18.9%。

4.1.2 矿物掺合料

合理利用复合掺合料也是混凝土低碳化应用和发展的重要途径。采用精细研磨的工业废料制得复合矿物掺合料,如矿渣、粉煤灰、石灰石等,可以降低成本,节约能源,同时提高混凝土性能,符合国家的可持续发展战略。

4.2 施工机械减碳减排

(1)建材、土方运输机械电动化。目前,建材、土方运输车量大多采用柴油发动机。柴油等化石能源碳排放量较高,且属于不可再生资源。运输机械电动化替代,可有效降低材料运输方面的碳排放。

(2)鼓励施工机械能源采用生物柴油。生物基燃料性能与石油基燃料相近,但其全生命周期碳排放大幅降低^[11]。上海是中国首个规模化、市场化推广使用 B5 车用柴油的城市,2021 年 2 月,上海市发改委印发了《上海市支持餐厨废弃油脂制生物柴油推广应用管理办法》^[12],在上海市加油站推广应用生物柴油 B5。以生物质为原料生产替代燃料的技术,将为实现基础设施建设的低碳发展提供重要帮助。除此而外,甲烷、氢气、醇类等可再生能源产品也将逐步显现其低碳化优势。

4.3 其他碳减排路径

4.3.1 建筑垃圾资源化

提高建筑垃圾资源化管理水平,通过混凝土、砖瓦类再生处理,沥青类再生处理、再生产品应用、其他再生处理(包括废金属、废木材、废塑料、废玻璃、废橡胶)技术的应用,最大程度的减小堆填和填埋处理工程量,提高建筑垃圾资源化管理水平,也是有效降低基础设施建设碳减排的路径之一。

4.3.2 提高周转材料利用率

提高措施项目中木模板、脚手架等周转材料的利用率,也是降低碳排放的有效路径之一。

5 结 语

采用定额清单分析法,提出了盾构工作井的碳排放核算方法。通过对合川路盾构工作井碳排放量的核算,分析了工作井结构在不同分类模式下的碳排放占比,并提出针对性的减碳路径和方法。

主要结论如下:

(1)在建材生产运输和建造阶段,盾构工作井碳排放总量可达到 20 850 t。按材料、机械和人工分类,各部分碳排放占比约为 87.7%、11.9%和 0.4%。建材

生产运输阶段的碳排放量远高于施工阶段的机械能耗和人工碳排放量之和。

(2)随成槽深度增大,护壁泥浆施工的机械能耗碳排放占比逐步增大,而材料碳排放占比则相对减小。护壁泥浆及成槽施工的碳排放主要为成槽机械能耗产生,其碳排放量约为地连墙总碳排放量的11.6%。从护壁泥浆质量占比和碳排放占比两方面考虑,护壁泥浆及成槽施工的碳排放量均需考虑,不可忽略。

(3)土方支撑及降水部分碳排放总量约2 233 t,降水井约占该分部工程碳排放量的20.5%,占总碳排放量的2.2%。尽管降水井的质量占比较小,但其对所在分部工程的碳排放计算有较大影响,建议对降水井部分引起的碳排放纳入核算范围。接缝止水材料、防水材料的质量占比、碳排放占比均很小,其对碳排放核算的影响有限,可根据碳排放核算精度要求适当考虑或忽略不计。

(4)建材利用方面,提高水化硅酸镁系等低碳水泥的利用率、合理利用复合掺合料等方式,促进混凝土低碳化应用和发展。施工机械方面,建材、土方运输机械电动化,施工机械能源采用生物柴油等路径,可为实现基础设施建设的低碳发展提供重要帮助。提高建筑垃圾资源化管理水平,提高措施项目的周转材料利用率,也是降低碳排放的有效路径之一。

参考文献:

- [1] 交通运输部综合规划司,交通运输部科学研究院.交通运输碳达峰、碳中和知识解读[M].北京:人民交通出版社,2021.
- [2] DONG Y H, JAILLON L, CHU P, et al. Comparing carbon emissions of precast and cast-in-situ construction methods: A case study of high-rise private building[J]. Construction & building materials, 2015(99): 39-53.
- [3] 皮膺海.盾构隧道施工碳排放测评研究[D].南昌:南昌大学,2016.
- [4] 金海,杨静,李晓辉,等.基于BIM的建筑材料碳排放计量与实例分析[J].水泥技术,2020(2):54-58.
- [5] 郭春,徐建峰,张佳鹏.隧道建设碳排放计算方法及预测模型[J].隧道建设(中英文),2020,40(8):1140-1146.
- [6] ABOLHASANI S, FREY H C, KIM K, et al. Real-world in-use activity, fuel use, and emissions for nonroad construction vehicles: a case study for excavators[J]. Air repair, 2008, 58(8):1033-1046.
- [7] 樊婧.地下交通基础设施施工周期内的碳排放核算分析[J].建筑施工,2018,40(10):1818-1820.
- [8] GB/T 51366—2019,建筑碳排放计算标准[S].
- [9] 黄旭辉.地铁土建工程物化阶段碳排放计量与减排分析[D].广州:华南理工大学,2019.
- [10] 曹兴伟.基于水化硅酸镁系胶凝材料的低碳混凝土发展研究[D].大连:大连理工大学,2016.
- [11] 韩伟,韩恒文,程薇,等.碳中和目标驱动下生物质燃料技术研究进展[J/OL].化工进展. <https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2023-1217>
- [12] 苏思元,顾芷玉.中国生物柴油市场概述及未来发展前景分析[J].生物化工,2023,9(4):220-222.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com