



基于低碳理念的船闸闸室结构选型

徐 红, 马育斌, 陈 丹

(四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017)

摘要: 针对船闸闸室结构形式对碳排放的影响问题, 建立船闸建设期的碳排放计算模型, 计算并分析其在建筑材料生产、运输和施工 3 个阶段的碳排放量。得出结论: 闸室结构选型时宜优选钢筋混凝土结构, 墙体较高且两侧均有回填时优选整体式结构并优选低碳混凝土材料。

关键词: 船闸; 碳排放模型; 闸室结构选型

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S1-0048-04

Structural selection of ship lock chamber based on low carbon concept

XU Hong, MA Yu-bin, CHEN Dan

(Sichuan Communication Surveying & Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China)

Abstract: Regarding the influence of lock chamber structure on carbon emission, the carbon emission calculation model of lock construction period is established to calculate and analyze its carbon emission in the three stages of building materials production, transportation and construction. It is concluded that the reinforced concrete structure should be preferred in the selection of the gate chamber structure, and the integral structure and the low-carbon concrete material are preferred when the wall is high and both sides are backfilled.

Keywords: ship lock; carbon emission model; selection of gate chamber structure

“十四五”期, 交通运输进入加快建设交通强国、推动交通运输高质量发展的新阶段, 更是提升交通运输绿色发展水平、降低二氧化碳排放强度、服务国家碳达峰碳中和目标、加快形成绿色低碳运输方式的关键期, 同时也是我国生态文明建设进入以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型的关键期。船闸工程作为重要的交通基础设施之一, 其建设对能源、资源的消耗也是生态文明建设中不可忽视的一个方面。闸室结构作为船闸的重要组成部分, 其对能源的消耗在整个船闸工程中占比较高, 本文通过建立船闸建设期的碳排放计算模型, 对山区河流中典型闸室结构形式的碳排放进行对比分析, 找出闸室结构碳排放的主要影响因素,

提出了适应山区河流特定条件的低碳型结构形式。

1 船闸工程建设期碳排放计算模型

船闸工程的能耗可分为建设能耗(包括建筑材料生产、运输和施工能耗)、使用能耗和拆除能耗。能耗过程即为碳排放过程, 为此, 其碳排放量也可分为建设、使用和拆除 3 个阶段的碳排放量。而建设阶段的碳排放量计算难度大、占比高的特点明显, 更是助力行业各方有针对性地开展低碳把控、积极推进绿色低碳船闸实施的强力支撑。

1.1 建设阶段

目前, 不少专家学者针对船闸工程的绿色低碳评价指标体系、节能减排措施等进行了相关研究, 王小峰^[1]的船闸工程绿色低碳评价指标体系及实证

收稿日期: 2022-06-13

作者简介: 徐红(1982—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口、航道工程设计及研究。

分析, 王晓青等^[2]的船闸工程节能减排措施综述等; 但针对船闸工程碳排放计算方法的研究较少, 更无统一的计算标准。笔者参考 GB/T 2589—2020《综合能耗计算通则》, 以船闸建设时的建筑材料消耗量和机械能源消耗量作为基础, 以此构建碳排放计算模型后计算建设阶段的碳排放量为:

$$C_j = C_1 + C_2 + C_3 \tag{1}$$

式中: C_j 为船闸工程建设阶段的碳排放总量 (kg); C_1 为船闸工程建设所需建筑材料生产时的碳排放量 (kg); C_2 为船闸工程建设所需建筑材料运输时的碳排放量 (kg); C_3 为施工机械施工时产生的碳排放量 (kg)。

1.2 生产建筑材料

船闸工程建设所需建筑材料在生产时的碳排放量与材料的种类和数量紧密相关, 其碳排放量为^[3]:

$$C_1 = \sum_{i=1}^n M_i R_{1i} \tag{2}$$

式中: n 为船闸工程建设所需建筑材料的种类; M_i 为第 i 种建筑材料用量; R_{1i} 为第 i 种建筑材料生产时的单位碳排放量。

1.3 运输建筑材料

船闸工程建设所需建筑材料大多需从生产所在地运至工程现场, 在这个过程中运输设备产生的碳排放定义为建筑材料的运输碳排放:

$$C_2 = \sum_{i=1}^n M_i R_{2i} L_i \tag{3}$$

式中: R_{2i} 为第 i 种建筑材料的运输单位碳排放量 (kg); L_i 为第 i 种建筑材料的运输距离 (km)。

1.4 施工机械

船闸工程的现场施工需要挖土机、起重机、装载机、汽车、船舶等设备, 这些设备主要消耗的能源为油品、水和电, 将其产生的碳排放定义为施工阶段产生的碳排放, 其总量为:

$$C_3 = \sum_j Q_j \gamma_j \tag{4}$$

式中: m 为船闸工程建设时的施工机械种类; Q_j 为第 j 种机械的能耗; γ_j 为第 j 种机械能耗的单

位碳排放量。

2 材料、能源清单及碳排放因子

闸室结构涉及的主要材料、能源清单及碳排放因子^[4-5]如下: 汽油 2.925 1 kg/kg, 柴油 3.095 9 kg/kg, 煤油 3.017 9 kg/kg, 电 0.801 kg/(kW·h), 水泥 800 kg/t, 水 0.194 kg/t, 碎石 3.12 kg/t, 砂 3.984 kg/t, 钢筋 2 kg/kg。

3 不同闸室结构的碳排放算例

闸室供过闸船舶安全停泊、升降和通过, 是船闸工程的重要组成部分。以山区河流上的已建部分船闸为例, 闸室所涉及的土石方工程量以及混凝土、钢筋等材料用量在整个船闸工程中的占比均较大, 其碳排放量对整个船闸工程的碳排放影响最大。以渠江风洞子船闸为例, 对比分析不同闸室结构形式的碳排放。

3.1 工程概况

渠江风洞子航运枢纽工程位于四川省达州市渠县境内, 枢纽正常蓄水位 243.00 m, 相应库容 1.79 亿 m³, 电站装机容量 75 MW, 通航建筑物为Ⅲ级船闸, 有效尺度 200 m×23 m×4.2 m (长×宽×门槛水深), 通行 1 000 吨级船舶, 闸室长 180 m^[6]。

3.2 不同结构形式的闸室碳排放计算

风洞子船闸水位差 13 m, 闸墙顶高程根据防洪标准确定, 岩面线与闸墙顶高差约 30 m, 内外闸墙的墙后均回填至墙顶。综合闸墙边界条件、墙高、墙身功能性布置以及输水系统的布置需求, 选择分离式结构和整体式结构进行比选。

3.2.1 结构拟定

两种结构形式的闸墙墙底均置于中风化泥质粉砂岩, 闸墙墙顶根据布置需求顶宽确定为 4m, 整体式结构的输水系统采用闸底长廊道侧支孔出水的输水形式; 分离式结构采用闸墙长廊道闸底横支廊道支孔出水的输水形式, 见图 1。两种结构的主要工程量见表 1。

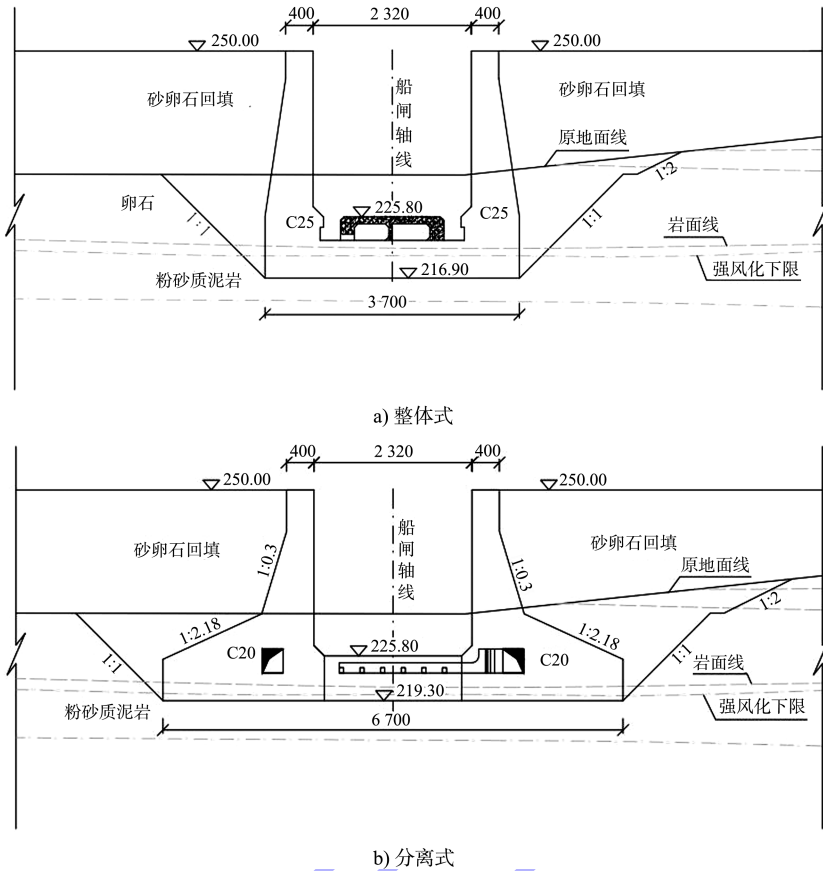


图 1 闸室（高程：m；尺寸：cm）

表 1 工程量统计					
结构形式	混凝土/ 万 m³	钢筋/ t	土方开挖/ 万 m³	石方开挖/ 万 m³	土方回填/ 万 m³
整体式	9.745 9	4 984	11.494 1	3.332 2	26.942 4
分离式	13.885 9	350	17.133 1	2.687 0	28.094 4

3.2.2 各个阶段碳排放核算

3.2.2.1 生产过程

生产过程中，混凝土的配合比按水:水泥:砂:石=0.38:1:1.11:2.72 考虑。按照式(2)，两种闸室结构的生产碳排放量见表 2。

表 2 生产过程中碳排放量			
名称	碳排放因子/ (kg·t ⁻¹)	碳排放量/t	
		整体式	分离式
水泥	800	35 942.880	51 211.200
水	0.194	3.309	4.714
碎石	3.120	380.394	541.983
砂	3.984	198.798	283.246
钢筋	0.002	9 968.000	700.000
总计	-	46 493.381	52 741.143

3.2.2.2 运输过程

主要考虑运输建材及土石方的运输工具的碳排放数量。本工程均采用公路运输，运输车辆均为 10 t 柴油车，其油耗水平 40 L/(100 km)，能源碳排放因子 3.095 9^[7]，单位换算系数 0.85。钢筋运距取 100 km，混凝土和土石方运距取 25 km。运输过程碳排放量见表 3。

表 3 运输过程碳排放量				
结构形式	碳排放量/t			总计
	混凝土	钢筋	土石方	
整体式	341.953	104.924	637.674	1 084.551
分离式	487.213	7.368	435.479	930.060

3.2.2.3 施工机械

根据 JTS/T 275—2019《内河航运工程船舶机械艘(台)班费用定额》^[8] 查出各施工机械的能耗情况，并计算出各类机械台班的碳排放因子，以此作为碳排放核算的基础。施工机械碳排放量核算结果见表 4。

表 4 施工机械碳排放量

机械名称	台班		单位台班能源数量/kg		碳排放因子/ (kg·台班 ⁻¹)	碳排放/t	
	分离式	整体式	柴油	电		分离式	整体式
潜孔钻机	59	73	—	42.72	34.22	2.018 9	2.498 0
液压反铲	413.5	392	99.34	—	307.55	127.170 6	120.558 3
装载机	283	199	83.44	—	258.32	73.105 1	51.406 1
推土机	337	323	121.5	—	376.15	126.763 2	121.497 0
自卸汽车	4 962	4 348	52.93	—	163.87	813.103 0	712.489 3
混凝土拌合楼	708	497	—	185.86	148.87	105.402 7	73.990 3
对焊电焊机	118	1 678	—	40.96	32.81	3 871.500 0	55.053 4
交流弧焊机	25	356	—	156.45	125.32	3.132 9	44.612 7
钢筋切断机	89	1 271	—	38.21	30.61	2.724 0	38.900 5
钢筋弯曲机	103.5	1 474	—	14.61	11.70	1.211 2	17.249 6
总计	—	—	—	—	—	1 258.503 0	1 238.255 0

3.2.2.4 不同结构闸室

根据表 2~4, 两种结构形式的碳排放量见表 5。

表 5 不同结构碳排放量

结构形式	碳排放量/万 t			合计
	生产	运输	施工	
分离式	5.274 114	0.930 060	0.125 850	5.492 970
整体式	4.649 338	0.108 455	0.123 825	4.881 618

3.3 分析与评价

对于风洞子船闸来说, 整体式闸室结构的碳排放量比分离式减少 1/4~1/3。从碳排放角度看, 本工程闸室结构宜优选整体式。从工程建设期碳排放量在生产、运输、施工的占比来看, 整体式结构为 42.8:1:1.1、分离式结构为 56.7:1:1.4。生产过程中, 整体式和分离式结构中水泥的碳排放分别占到 77%和 95%。也就是说, 建筑材料的生产阶段, 尤其是水泥产生的碳排放占绝对比例, 是建设阶段的重点减排对象。

4 结语

1) 对于山区河流, 由于其独特的地形地质条件, 闸室的结构形式多样。结构选型时优先选择钢筋混凝土结构以减少混凝土的用量。由整体式和分离式结构形式的碳排放计算成果可知, 墙体较高且两侧均有回填时宜优先选择整体式结构。

2) 建设阶段的碳排放量主要为生产、运输和

施工产生的碳排放, 生产阶段占比处于绝对比重。因此, 建筑材料, 尤其是混凝土的生产碳排放是船闸工程的重点减排对象, 在设计过程中宜优先选择低碳混凝土材料。

参考文献:

[1] 王小峰. 船闸工程绿色低碳评价指标体系及实证分析[D]. 南京: 东南大学, 2015.

[2] 王晓青, 张绪进. 船闸工程节能减排措施综述[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(12): 170-171, 174.

[3] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 综合能耗计算通则: GB/T2589—2020 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

[4] 国家发展改革委. 省级温室气体清单编制指南(试行)[R]. 北京: 国家发展改革委, 2011.

[5] 刘玲, 衣军勇, 李敬, 等. 基于 LCA 的绿色混凝土碳排放量评价体系研究[J]. 混凝土, 2021(12): 102-107.

[6] 四川省交通勘察设计院有限公司. 渠江风洞子航运枢纽工程初步设计[R]. 成都: 四川省交通勘察设计院有限公司, 2019.

[7] 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.

[8] 交通运输水运工程造价定额中心, 交通部水运工程定额站. 内河航运工程船舶机械艘(台)班费用定额: JTS/T 275—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.

(本文编辑 武亚庆)