



装配式L形挡墙在某护岸工程中的应用

汤丽燕, 顾宽海, 牟云彤

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要:近年来,水运、水利工作中常用的现浇混凝土挡墙形式越来越难以满足行业高节能性、环保性、经济性的要求,装配式护岸结构逐渐被关注,但在水运、水利工程中的实际应用经验尚不足。结合某护岸工程装配式L形挡墙实施实例,归纳总结了装配式护岸在工程应用中的重难点,并从工程建设条件、护岸结构选型、构件拆分与连接、构件制作、吊运安装等设计和施工中的关键技术等方面进行分析研究,形成一套较完整的装配式L形护岸设计施工技术要点,为装配式护岸在类似工程的推广应用提供可参考的解决思路。

关键词:装配式; L形护岸; 构件拆分与连接; 吊运安装

中图分类号: U 656.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0022-06

Application of prefabricated L-shaped retaining walls in a revetment project

TANG Liyan, GU Kuanhai, MOU Yuntong

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: In recent years, the cast-in-place concrete retaining walls commonly used in water transport and water conservancy engineering have encountered increasing difficulties in satisfying the demanding requirements of energy saving, environmental protection, and economy of the industry. Meanwhile, the prefabricated revetment structure has gradually attracted attention, but it lacks practical application in water transport and water conservancy engineering. Accordingly, via analyzing a practical example of prefabricated L-shaped retaining walls in a revetment project, the paper summarizes some key and difficult points in the engineering application of prefabricated revetment structures. In addition, it probes into the key technologies in the design and construction, such as engineering construction conditions, revetment structure selection, splitting and connection of members, member fabrication, and lift installation. With these efforts, it formulates a complete set of knowledge on the key technical points of the design and construction of prefabricated L-shaped revetments, proffering references for the application of prefabricated revetments in similar projects.

Keywords: prefabricated; L-shaped retaining walls; splitting and connection of members; lift installation

装配式技术是指把传统建造方式中的大量现场浇筑混凝土的工作转移到工厂进行,在工厂加工制作好构件,运输至工程施工现场,通过可靠的连接方式在现场装配安装的建造方式^[1]。装配式技术在建筑、市政行业的发展较早,工艺成熟,且应用较广,陆续出台了《城市道路—装配式挡

土墙》《装配式混凝土结构设计规程》等规范、标准、图集,在传统水运、水利行业应用并不广泛。

随着近年来国家高度重视装配式技术,大力发展战略环保、可持续发展的新产业,装配式技术在水运、水利等领域逐步得到推广应用,越来越受到重视与关注。顾宽海等^[2]提出一种适合内

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 汤丽燕 (1979—), 女, 高级工程师, 从事总图及水工结构设计。

河航道护岸工程的装配式低桩承台护岸结构;邹恒等^[3]介绍了生态河道护岸工程建设的先进理念和发展趋势,提出了适应发展要求的装配式护岸方案。目前对装配式L形护岸研究较少,本文重点介绍装配式L形挡墙在某护岸工程中的应用实例,就如何结构选型、构件拆分与连接、工艺流程、构件制作、吊运安装等设计、施工要点展开论述,以期为装配式护岸设计提供思路和方法。

1 工程概况

霞湾港护岸工程贯通霞湾港河流域,南起临江路,北至建设北路,总长3.74 km,通过设置4个景观坝将河道常水位控制为5级(图1)。铜霞路以北段为新建护岸,分为直立式+斜坡式复合断面和斜坡式断面2种形式,总长4 848 m。其中,直立式+斜坡式复合断面形式护岸总长4 034 m,斜坡式护岸长814 m,采用自然软质生态护岸,草坡入水。铜霞路以南段护岸现状情况良好,保持原结构设计,整理岸坡总长约2 315 m。



图1 霞湾港护岸工程平面 (单位: m)

该工程具有以下特点:

1) 地质条件较差且复杂。工程区域土层为杂填土、淤泥、淤泥质黏土、粉质黏土等。杂填土

主要为建筑垃圾、生活垃圾、混凝土块、风化岩块和碎石,在场地内广泛分布;淤泥、淤泥质黏土含大量有机质,地质条件较差,地基承载力较低。

2) 石材资源匮乏。为了保护生态环境,当地政府已禁止对湘江进行开采,场地及其周边砂石厂均已废弃,工程所需的天然建筑材料全部外购。本地区缺乏石料,当地石料多来源于江西一带。

3) 施工工期紧张。根据总体工程进度计划安排,护岸工期紧张,汛期可施工。工程区域4—9月为汛期,大洪水主要发生在4—7月,汛期较长。霞湾港中段规划河道深槽位置贴近原有河道,汛期老河道水位较高且周边水系复杂,需充分考虑护岸结构汛期施工的便捷性和可行性。

4) 环保性、经济性要求高。本工程是重污染工业区综合整治的示范项目,要求设计、施工尽量采用新工艺、新技术,减少对周边环境的二次污染,以满足建设过程的绿色、环保、节能要求。同时要求护岸建设充分利用周边已有预制场地、设备等资源,节约工程投资。

2 设计方案

2.1 结构方案选择

根据平面布置可知,部分河段用地紧张且河道水流流速较大,常见的草皮自然软性护坡不能适用,传统的直立式护岸虽能解决用地紧张的问题,但难以满足景观需求。为实现更好的景观效果,该类河段护岸选用直立式+斜坡式复合断面形式。直立式护岸包括重力式、衡重式、悬臂式、扶壁式挡土墙等多种常用结构形式,如何选择适宜的结构形式是本工程关键内容之一。重力式护岸可分为传统护岸结构和新型生态护岸结构。传统护岸结构采用混凝土或浆砌块石现场建造,但该工程附近缺少石材资源,不宜采用块石重力式挡墙;而混凝土重力式挡墙的混凝土耗费量较大,不符合绿色节能、双碳要求。新型生态护岸结构包含格宾网、生态砌块结构、生态箱体等形式,

适合流速小或挡墙高度不高的护岸工程，不适用于本工程。L形悬臂式和扶壁式挡土墙由断面较小的墙面板和底板等部位组成，属于轻型钢筋混凝土结构，悬臂式挡土墙在8 m以下高度应用较多，高度大于8 m的挡土墙多采用扶壁式结构。本工程挡墙高1.75~4.25 m，最终选用L形悬臂式挡墙结构。

根据工程特点、难点及结构选型，护岸工程若采用传统现浇混凝土挡墙，现场施工工期长、工序多、施工量大、成本较高、施工效率受工地现场天气影响大、施工期环保性较差，不符合本工程工期紧张、环保要求高等要求。若采用装配式护岸结构，可有效减少工期、缩减成本、减少对周边环境的污染。因此，根据施工现场条件、工期及环境保护要求，综合考虑结构耐久性、资源充分利用，本工程尽可能采用装配式L形护岸结构，通过合理可行的拆分与连接满足结构安全和施工安装要求。

护岸工程设计方案：河道两侧护岸采用直立式+斜坡式复合断面，直立式结构采用装配式L形挡墙。设计挡墙顶高程为39.8~43.0 m，河底高程38.0~41.4 m，挡墙后设宽度不小于1 m的平台，与后方道路以1:3坡度衔接。装配式L形挡墙高为1.75~3.25 m，立板厚0.30 m，底板宽1.75~3.25 m，底板高0.30 m(图2)。挡墙高度和底板宽度均以0.25 m为模数递增，挡墙标准块之间以凹凸榫槽连接(图3)。

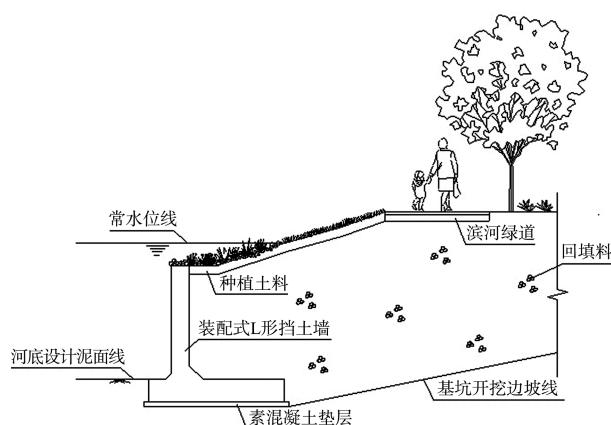


图2 装配式L形挡墙护岸断面

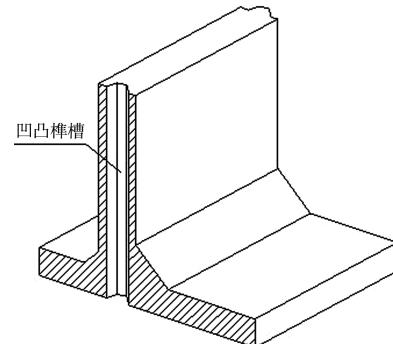


图3 标准块

2.2 构件拆分与连接

装配式结构受工厂制作条件、运输方式、运输条件等限制，为满足各种限制条件，需对预制构件进行拆分，并考虑结构的安全性和稳定性等问题^[4]。

根据现有预制厂的位置，无法通过河道将预制构件运输至现场，只能采用陆路运输。运输线路上的城市桥梁净空均高于4.5 m，满足要求。结合现场预制厂的制作能力和条件，可采用L形整体预制，减少装配环节和连接节点，提高施工效率和质量。

根据相关规范要求，钢筋混凝土挡墙分段长度不宜大于20 m，对于软土地基的挡土墙，其分段长度还应适当缩短。根据吊运安装能力、施工便道等条件分析，分段长度取12 m。由于工程现场施工道路路况较差且离河道有一定距离，若一次性整体预制，吊运、安装均很困难。为此，需对纵向长度进行拆分，使每个预制构件总质量控制在12 t左右。经过构件质量验算比选，每个预制构件纵向长度控制在2.5~3.0 m，每段挡墙由4~5个标准块拼装而成，构件质量验算比选见表1。

表1 预制构件标准块质量验算比选

挡墙型号	标准块质量/t				
	1.0 m	2.0 m	2.5 m	3.0 m	4.0 m
A ₁	3	5	6	8	10
A ₂	3	6	7	9	12
A ₃	3	7	8	10	13
A ₄	3	7	8	10	13
A ₅	4	8	10	12	16
A ₆	4	9	11	13	18
A ₇	5	10	12	14	19

根据标准块质量验算比选, $A_1 \sim A_5$ 型标准块纵向长度取3.0 m, $A_6 \sim A_7$ 型标准块纵向长度取2.5 m。

为保障装配式护岸结构的整体性, 在拆分合理、可行的前提下, 需要有可靠且施工便捷的连

接方式。目前, 预制构件的连接方式主要有干法、湿法连接两大类, 其中干法连接有凹凸榫槽、螺栓、焊接等方式(图4), 湿法连接有现场后浇筑混凝土、水泥灌浆等方式。

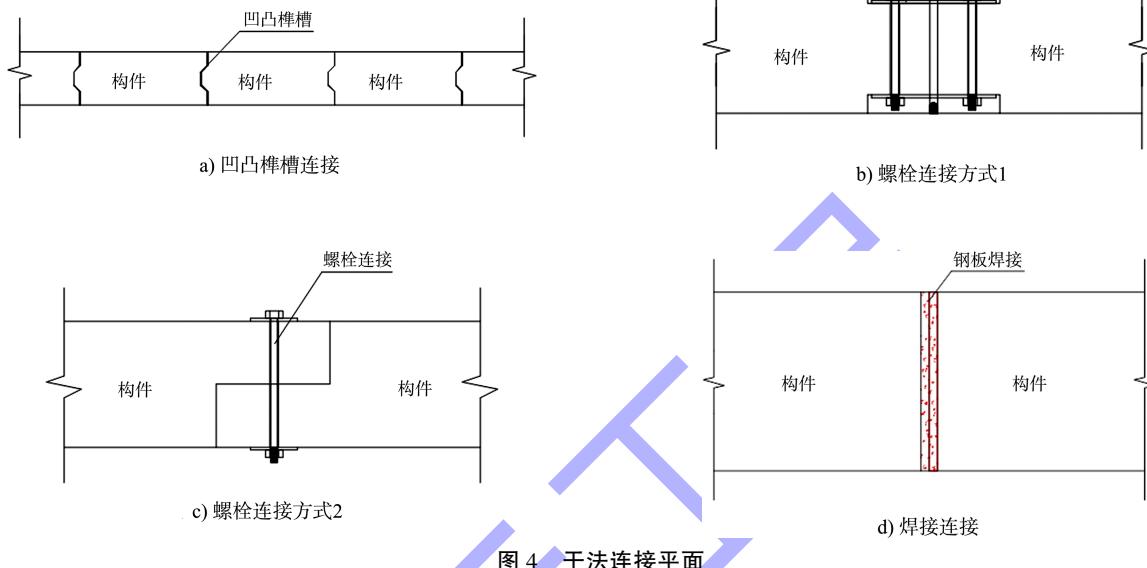


图4 干法连接平面

干法连接具有施工方便、生产效率高、成本低、对环境影响小等优点, 在受力要求不高的情况下, 应用更广泛。不同的干法连接方式各有优缺点, 需进一步分析选用。其中焊接连接不需现场浇筑混凝土, 对环境污染小, 但存在焊缝质量难以控制、抗震性能差等缺点。螺栓连接操作简单、工期短, 但对预制构件精度要求高, 连接处易出现应力集中现象, 应用受到限制^[5-6]。考虑到本工程挡墙常年处于常水位以下, 止水要求不高, 且挡墙拼缝处设土工布防渗漏, 干法连接不会造成接缝处渗漏回填土料。综合以上因素分析, 标准块底板之间以平面相接, 立板之间以凹凸榫槽连接, 使标准块相互嵌合, 保证标准块之间能够

紧密连接, 满足受力要求。

2.3 结构验算

装配式L形挡墙计算取相邻两道结构缝之间的墙体作为结构单元, 进行抗滑、抗倾、地基承载力等计算, 按无水(施工完建期)、正常运用、骤降水位等工况进行计算, 见表2。

表2 装配式L形挡墙计算工况

工况	组合	墙前水位/m	墙后水位/m
1 无水(施工完建期)	基本组合	-	-
2 正常运用	基本组合	41.0	41.0
3 骤降水位	基本组合	40.5	41.0

本工程护岸挡墙高度为1.75~3.25 m, 对高度3.25 m挡墙的计算结果见表3。

表3 装配式L形挡墙计算成果

工况	抗滑稳定安全系数		抗倾稳定安全系数		基底应力			
	计算值	允许值	计算值	允许值	最大值/kPa	最小值/kPa	不均匀系数	不均匀系数允许值
1	1.80	1.20	9.16	1.50	66.00	63.35	1.04	2.00
2	1.81	1.20	1.76	1.50	38.16	35.01	1.09	2.00
3	1.06	1.05	1.69	1.50	53.25	23.38	2.27	2.50

3 施工工艺

3.1 构件制作

预制装配式 L 形挡墙的预制模具是施工环节的关键技术，除了要考虑模具的强度、刚度和自身稳定以承受浇筑过程中的侧压力以及其他荷载可能产生的模板变形、避免造成挡土墙尺寸出现较大偏差外，还要考虑对预制构件质量、生产效率和成本的影响。一般一维板式预制构件采用流动钢台模，三维整体预制构件采用独立钢台模，可以提高模板的周转率，降低成本。

本工程预制装配式 L 形挡墙高度在 4 m 以下，原考虑采用立式整体预制浇筑方式，实践过程中发现采用该方式底板边角振捣有难度，因振捣不充分出现了质量问题，后改用卧式整体浇筑方式解决了该问题。同时，预制工厂为多个工程提供预制构件，场地较紧张，为减少占地、提高效率，将 2 组 L 形预制模具组成 1 套组合模具，一次性浇筑 2 块构件，既充分利用了场地，又提高了预制效率和浇筑质量，双拼 L 形组合模具见图 5。



图 5 双拼 L 形组合式独立钢模

3.2 吊运工艺

工程区域的河道不具备水路运输条件，只能采用陆路运输，设计需要考虑预制构件陆路运输过程中超宽、超高、超重等限制条件，同时要考虑相应的吊具设备。一般陆上吊装采用轮胎吊、履带吊、汽车吊等设备。轮胎吊费用低、效率高，适用于施工便道、场地作业条件好的小构件安装；汽车吊机动性好，但车身较长，转弯半径大，对施工通道的地面要求较高，不能全回转作业；履

带吊具有转弯半径小、起重性能好等优点，无须打支腿即可进行吊装，节约时间，可以在吊起构件的同时行走，延长吊装距离，可以在泥泞、松软的地面吊装，对场地要求较低。由于本工程现场河道两侧没有硬化的通道、地面条件较差，场地较狭窄，且工期紧张，因此采用对场地条件适应性强的履带吊进行吊运。

施工初期采用 20 t 履带吊进行试验，工作半径为 12~16 m，发现效率较低，主要原因是本工程河道自身宽度虽仅有 8 m，可加上河道斜坡的距离，吊机在河岸要一次性吊运两岸预制构件，20 t 履带吊吊幅难以满足。经调试后最终选用 50 t 履带吊，满足同步吊运河道两侧构件的要求，减少了一侧临时道路的工程量。经核算，适当提高吊机型号提高了施工效率，相对单边吊运经济效果更好。

3.3 安装工艺

为确保施工效果和质量，装配式护岸的施工方法相较于传统现浇混凝土护岸而言，对于安装精度要求更高。为满足安装精度要求，对于垫层平整度采用坐浆施工方法，即在素混凝土垫层达到设计强度后，在每块预制构件底部下的垫层上设置 4 个钢制调平垫块，钢垫块调平后铺设 20 mm 厚水泥砂浆并采用仪器抹平。施工工艺的关键点是垫层找平、底板与垫层之间坐浆和挡墙标准段之间的接缝处理。为了保证施工质量，垫层表面和预制挡墙底板底面需要进行拉毛处理。

具体工艺流程：基础整理→垫层混凝土浇筑→设置钢垫块并调平→铺设 20 mm 厚坐浆层→安装挡土墙（在预制厂浇筑完成并养护至强度达到设计要求后运输至施工现场）→下一块挡土墙施工等。

为满足吊装要求，预制构件需设置吊点，混凝土强度达到设计强度的 75% 后方能吊装。采用立式整体浇筑方式时，在预制构件顶面设置了 4 个吊点。预制方式改为卧式整体浇筑后，需要在预制构件侧面增加 3 个吊点，以便于脱模翻转（图 6）。安装固定后，吊钉位置采用微膨胀砂浆封闭处理^[7]，吊钉不能突出混凝土面。

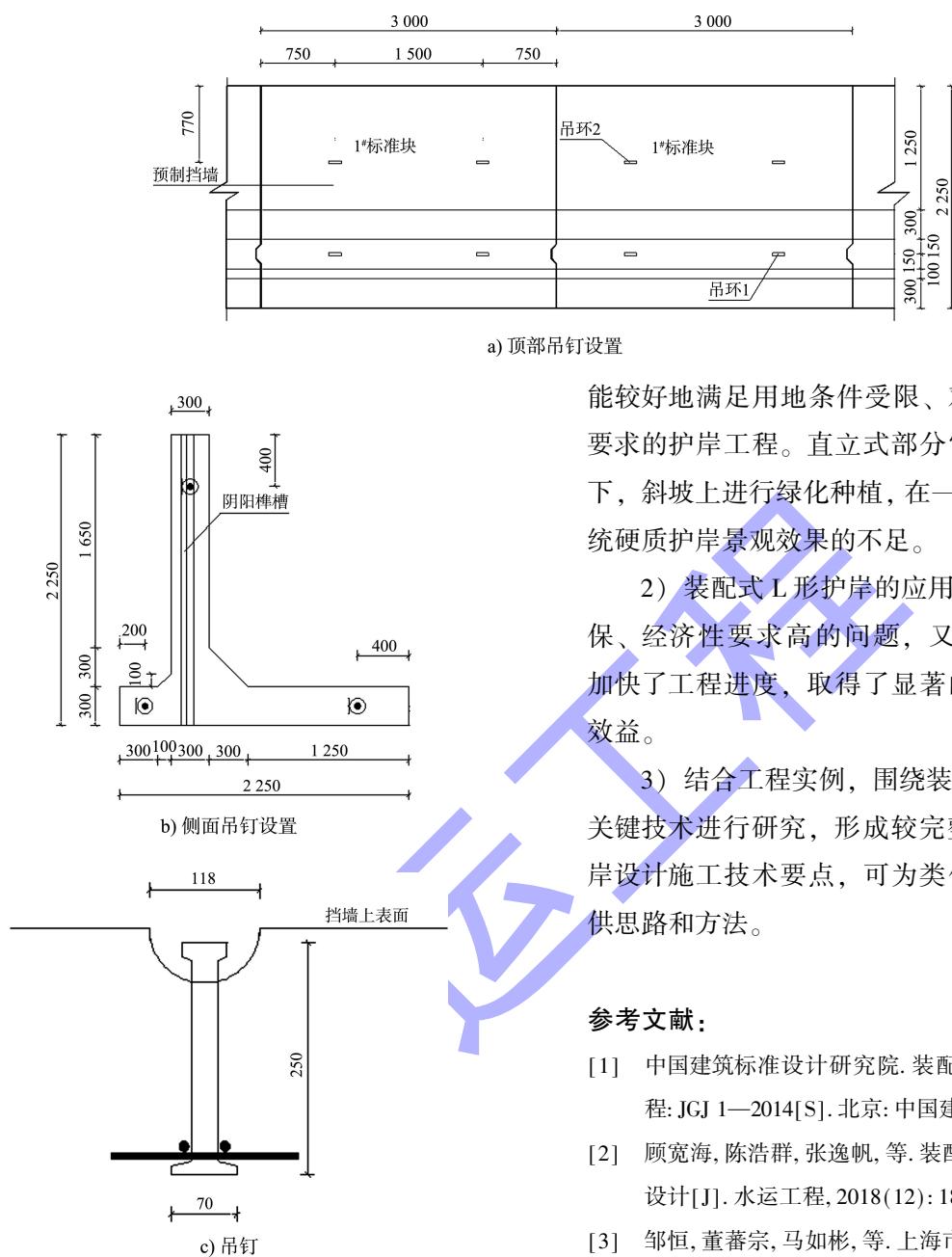


图6 卧式整体浇筑 (单位: mm)

3.4 实施效果

本工程装配式L形护岸施工过程较顺利, 在工厂内完成制作、养护后通过陆路运输至施工区域, 采用履带吊吊装, 减少了对工程区域的交通影响, 减少了施工现场废水、噪声、粉尘污染等。具有施工快捷、绿色低碳、节约工期、施工质量好、费用控制好等优点。

4 结论

1) 提出的直立式+斜坡式复合断面结构形式

能较好地满足用地条件受限、对景观效果有一定要求的护岸工程。直立式部分常年位于常水位以下, 斜坡上进行绿化种植, 在一定程度上弥补了传统硬质护岸景观效果的不足。

2) 装配式L形护岸的应用有效解决了工程环保、经济性要求高的问题, 又保障了施工质量, 加快了工程进度, 取得了显著的经济效益和社会效益。

3) 结合工程实例, 围绕装配式L形护岸建设关键技术进行研究, 形成较完整的装配式L形护岸设计施工技术要点, 可为类似工程推广应用提供思路和方法。

参考文献:

- [1] 中国建筑标准设计研究院. 装配式混凝土结构技术规程: JGJ 1—2014[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] 顾宽海, 陈浩群, 张逸帆, 等. 装配式低桩承台护岸结构设计[J]. 水运工程, 2018(12): 186-192.
- [3] 邹恒, 董蕃宗, 马如彬, 等. 上海市内河装配式护岸设计研究[J]. 城市道桥与防洪, 2022(4): 108-111.
- [4] 顾宽海, 汪涛, 陈明阳, 等. 装配重力式混凝土护岸结构的设计及施工[J]. 水运工程, 2021(6): 6-12, 19.
- [5] 王慧婷, 高延安, 刘鑫. 装配式混凝土节点连接及性能综述[C]//中国建筑学会. 2021年工业建筑学术交流会论文集(下册). 北京: 工业建筑杂志社, 2021: 1028-1039, 1140.
- [6] 刘景涛, 王亮, 丁平, 等. 预制装配式挡土墙施工关键技术研究[J]. 城市道桥与防洪, 2019(7): 201-204.
- [7] 梁诚玉, 程伟述. 装配式挡土墙的设计与施工探析[J]. 交通世界, 2021(29): 40-42.

(本文编辑 王传瑜)