

# 装配式悬臂挡土墙设计和施工关键技术研究

伍洋洋

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘要:** 为克服传统悬臂式挡土墙施工周期长、质量控制难、对社会环境影响大等弊端,本文系统地探讨了预制装配式悬臂挡土墙在设计和施工中的关键技术,包括挡土墙预制构件的优化和连接方式、生产模具和吊装工艺、构件的运输与安装、拼缝的处理等,形成了一整套用以指导预制装配式悬臂挡土墙设计和施工的成果,并应用于浙江省嘉兴市市区快速路环线工程,通过实践证明该技术具有施工快、质量高、效益好等显著优点,为后续相关工程建设提供参考和借鉴。

**关键词:** 装配式悬臂挡土墙;构件设计;连接方式;生产工艺;吊装工艺

**中图分类号:** TU476+.4

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)07-0290-04

## 0 引言

城市交通的拥堵、土地资源的稀缺及环境污染的加剧等问题已在城市化加速发展的过程中引起了社会方方面面的关注。在市政交通领域,城市道路是城市运转的主要动脉,常常成为城市建设中各方矛盾的聚焦点。在这一形势下,运用多年来城市化发展的硕果,推动城市道路预制装配式技术的优化,以缓解紧张的土地资源、改善城市环境、建设友好环境,这将成为我国大型城市可持续建设发展目标下的一大趋势。

汤丽艳等<sup>[1]</sup>分析了水利行业装配式混凝土挡墙的环保性和经济性,从构件的拆分、连接、施工等方面展开研究,形成了一套完整的装配式L型挡墙技术策略;刘步景和赵坤禹<sup>[2]</sup>对比了装配式挡墙和现浇挡墙,表明装配式挡墙具有成本低、环保性能好、资源节约、施工周期短等显著优点;宗霏等<sup>[3]</sup>提出装配式技术是有效解决市政桥梁建设中工期、环保、交通组织等问题的有效方法,并从桥梁立柱、盖梁、小箱梁预制等方面探究了桥梁全装配技术的应用;许飞等<sup>[4]</sup>利用ABAQUS软件对小型管廊进行力学分析,提出了8种小型管廊的标准断面,为预制拼装混凝土小型综合管廊的工程应用提供了参考。

收稿日期: 2023-07-07

作者简介: 伍洋洋(1991—),男,硕士,工程师,从事道路交通相关工作。

## 1 装配式悬臂挡土墙设计的关键技术

### 1.1 墙型的基本分类

设计荷载是影响挡墙的尺寸与结构配筋的主要因素,故将设计荷载作为墙型分类的依据。根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)<sup>[5]</sup>与《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)<sup>[6]</sup>,预制装配式悬臂挡土墙的设计荷载和普通挡土墙一致,按性质分为永久荷载(土压力、挡土墙自重等)、可变荷载(汽车荷载、行人荷载)与偶然荷载(地震力、车辆撞击荷载等)。其中,车辆撞击荷载及汽车荷载对挡土墙尺寸的计算结果影响最大,导致车行道侧挡土墙与人行道侧挡土墙的尺寸及结构配筋等方面均有较大差别,且导致适用的挡土墙结构拆分及连接方式也有较大的区别,故本研究中把墙型分为人行道侧挡土墙及车行道侧挡土墙两大类。

### 1.2 挡墙构件的优化设计

为发挥预制拼装悬臂式挡土墙工期快、质量高、用地省、施工便捷等优势,扩大其实际工程应用范围,需合理对挡土墙进行拆分,提高挡土墙的应用场景,避免一个项目一套模板。为此,在常规挡土墙基础上做了如下优化:

(1)取消挡土墙面板背坡;

(2)尽量统一墙趾板、踵板的尺寸,使得上下级挡土墙之间底板能够通用,并进一步减少底板型号种类;

(3)尽量统一面板、底板的厚度;

- (4)尽量统一加腋梁的尺寸;  
(5)统一泄水孔构造的位置。

### 1.3 挡墙构建的连接方式

根据预制装配式悬臂挡土墙的结构以及构件特点,连接方式主要包括竖向连接和水平连接,竖向连接主要指预制面板与预制底板之间的连接,水平连接是指相邻的预制面板之间以及相邻的预制底板之间的连接。

预制面板与底板之间的竖向连接可采用承插式或组合式,如图1所示。承插式是在面板上设置凸起,底板预留孔洞,预留洞口尺寸稍大于面板凸起尺寸,使面板结构能够插入底板结构,并在面板墙趾侧设置腋角,增大其抗弯抗剪能力,同时腋角也可作为施工时的临时支撑,无需额外设置临时支撑。承插式施工简便,但承受车辆荷载的能力较差,故适用于墙高小于3.0 m、受力简单的人行道侧挡土墙。组合式是将承插连接方式与螺栓连接方式组合,在面板墙脚处设置螺栓孔,并在预制底板对应位置预埋螺栓,安装预制面板后通过承插连接和螺栓连接共同作用,实现结构整体连接。组合式适用范围较广,但对预制精度的要求较高,故应严格要求预埋螺杆及预制孔洞的制作精度。

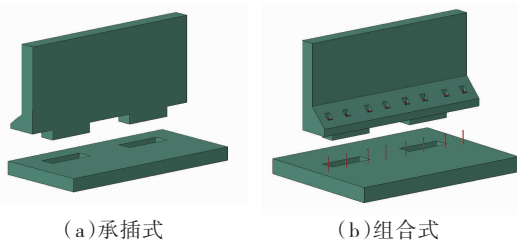


图1 竖向连接方式

相邻的预制面板之间以及相邻的预制底板之间的纵向连接主要通过企口缝或后浇带方式,如图2所示。企口缝是在预制面板(底板)边缘处设置预留孔洞及预埋件,完成螺栓安装后及时回填混凝土保护螺栓,提高连接部位耐久性,该方式既要考虑面板和底板之间螺杆的连接精度,又要考虑面板和面板之间的连接精度,对预制构件的预制精度及施工方面要求较高。后浇带是在预制面板(底板)边缘处设置预留钢筋,在现场通过设置连接钢筋及后浇混凝土完成挡土墙的水平连接,面板后浇带部分的外侧在工厂与预制面板一次成型,可作为后浇带的外侧模板,提高挡墙整体美观度。

### 1.4 墙高过渡

根据对预制拼装挡墙的模式研究结论,预制

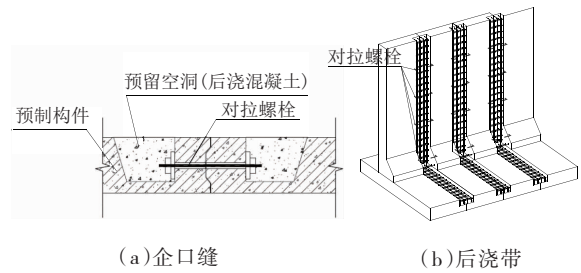


图2 纵向连接方式

面板的高度是固定的,而挡土墙的墙顶标高则需要满足道路纵断要求,二者之间的高差需要通过现浇楔形压顶或防撞护栏来进行过渡。对于每级挡土墙之间的高差设置,从预制面板种类上来讲应尽量增大其高差,以减少预制面板的种类;从过渡压顶(或防撞墙)的高度、混凝土工程量及挡土墙的整体外观角度考虑,则希望尽量减少其高差。建议每级挡土墙高差为25 cm,此时楔形压顶过渡段为25~50 cm。

## 2 装配式悬臂挡土墙生产的关键技术

### 2.1 生产工艺

预制拼装挡土墙构件宜采用流水线生产。钢筋骨架采用定型胎模加工、行车吊装入模。混凝土采用全自动搅拌站集中拌制,再由皮带机输送,下料时模具附着式振动与插入式振捣结合。构件恒温蒸养2~3 h后出模堆放,自然养护。构件验收合格后用吊机装车,半挂平车运输至施工场地。装配式悬臂挡土墙构件生产作业区包括原材料堆放区、构件车间、钢筋车间与成品堆放区。

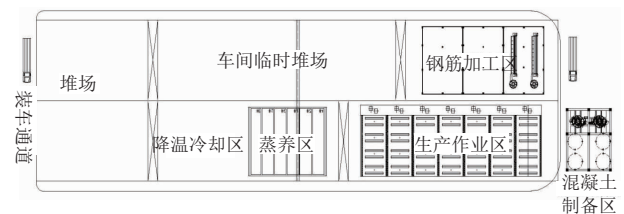


图3 生产作业区总体布置图

### 2.2 混凝土工艺

预制装配式悬臂挡土墙建议采用C40强度等级。构件生产时,优先采用强制式搅拌机搅拌、浇筑;当采用插入式振捣棒振捣时,需严格按照振捣工艺要求操作,确保构件浇筑质量。为进一步保证构件性能,所使用的原材料技术指标均要满足设计标准,并采用高效聚羧酸外加剂,同时满足以下条件:

- (1)水泥采用不低于P.II 42.5硅酸盐水泥;
- (2)采用洁净的中粗砂,细度模数处于2.6~3.0,含泥量<1%;
- (3)碎石需采用5~25 mm连续级配,压碎指标值

应 $<10\%$ 。

混凝土坍落度控制在 $60\sim 80\text{ mm}$ , $1\text{ h}$ 的坍落度损失小,混凝土料应具有粘性,不能够存在离心、分层现象,确保振捣过程中混凝土料的均匀性,保证构件质量。

### 2.3 生产模具

预制拼装悬臂式挡墙的生产模具主要包括底板和面板。底板为等厚平板型构件,为保证施工现场面板的精准安装,需考虑承口内模及螺杆定位的问题,因此对底板上的承口及螺杆在定位方面的精度要求高。对于底板上的承口,采用“倒扣”的方式生产,即采用承口向下的生产方式,将承口内模与模具底座焊接为一个整体,保证承口内模定位的准确性和固定性;对于底板内预埋的螺杆,通过在模具底面开孔的方式进行定位,生产时再将预埋螺杆插入开孔内。

### 2.4 吊装工艺

预制装配式悬臂挡土墙由面板和底板两部分组成,两部分均为板式构件,生产时分别预制。吊点的设计需要考虑生产过程、运输过程及施工安装过程中不同状态下的起吊工况。

为使底板和面板与模具更加贴合,不宜预埋任何凸起件,可采用锻制圆头吊钉,通过圆脚把荷载有效地转移到混凝土上,这种方式具有较高的安全性和载荷能力,如图3所示。同时,起吊时采用鸭嘴扣等专用吊具,可使吊装简单快速、使用方便、安全性高。在施工现场构件吊装完毕后,用混凝土或高强砂浆将半圆凹型套头(俗称“胶波”或“半球胶套”)抹平。

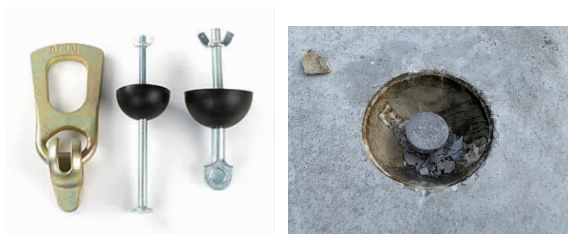


图4 锻制圆头吊钉示意图

## 3 装配式悬臂挡土墙施工的关键技术

### 3.1 碎石垫层施工

在挡土墙基槽开挖完成后,按基底纵轴线结合横断面放线复验,确认位置、标高,并经地基承载力检测合格后,方可进行垫层施工。挡土墙底部设有 $40\text{ cm}$ 厚碎石垫层,碎石分两层填筑夯实。碎石铺筑时应拉线找平,以便控制平整度,垫层顶面平整度控制在 $10\text{ mm}$ 以内,同时构件安装前应做好碎石垫层

的成品保护,以满足预制构件的安装精度。

### 3.2 构建运输

预制构件在预制场进行制作后,采用平板运输车运至安装现场,单车可运输两节段挡土墙构件。立壁采用立式放置运输,两块立壁背靠背放置,以免为现场翻转构件带来不便。立壁底部放置通长方木,使樁头悬空,并通过钢丝绳与平板运输车固定。底板采用水平叠放运输的方式,在底部放置通长方木进行支垫,支垫位置上下对齐。构件运输方式如图5所示。

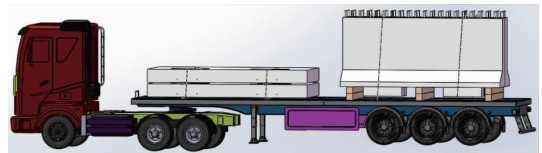


图5 构件运输示意图

根据构件尺寸,最大规格的底板宽为 $2.4\text{ m}$ ,最大规格的立壁放置车上后预留钢筋顶至地面的高度约 $4.4\text{ m}$ ,满足一般道路的通行要求。

### 3.3 构建安装

根据预制挡土墙的构造和重量,采用单机 $50\text{ t}$ 汽车吊或 $80\text{ t}$ 汽车吊和边侧起吊的施工工艺。首先进行底板吊装,再进行立壁吊装。

底板和立壁安装应设置相应控制线,控制线应采用道路边线(挡土墙边线)。挡土墙位于道路曲线段时,采用“以直代曲”的方式,应准确测放相应节段挡土墙的控制线。

底板安装以顶面高差为主要控制项目,即保证底板的安装水平度,以保障砂浆垫层厚度。

立壁安装以垂直度为主要控制项目,立壁垂直度的测量应以外侧面为准;同时应控制立壁樁头与槽口存在间隙,以确保砂浆填充。

### 3.4 拼接缝填充

底板与立壁之间的拼缝间隙需采用C60无收缩砂浆进行填充。根据拼缝所处的位置分为水平拼缝和承插口处拼缝,水平拼缝为底板顶面与立壁底部的水平拼接缝,承插口处拼缝为立壁樁头与底板预留槽口四周及底部的间隙。

水平拼缝的填充可采用坐浆法,即底板安装完成后,需安装挡浆模板,如图6所示。挡浆模板采用方形泡沫条和 $5\#$ 角钢制作,方形泡沫条采用免钉胶或双面胶固定于底板端部和槽口外沿上方;角钢采用塑料螺栓膨胀管固定在底板两侧(距立壁 $5\text{ cm}$ ),在角钢与底板接触面处粘贴双面胶或填充发泡剂止浆,并在螺栓锁紧后检查密封性。采用连续铺筑砂浆

的方法,并应使浆面略高于垫片。砂浆铺筑完毕后,及时将立壁准确插入底板预留槽口内。

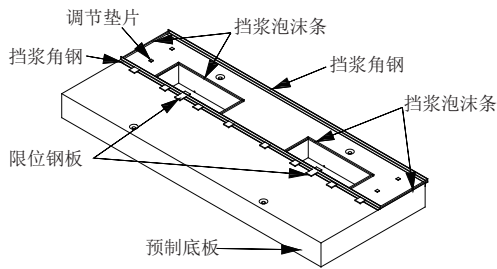


图6 坐浆法施工示意图

承插口处拼缝应采用灌浆法施工,即安装立壁后,在立壁与底板承插口处的空隙灌注砂浆。底板预制时每个预留槽口应埋设有两根注浆管,注浆管底部与槽口底部齐平。浆料采用C60无收缩砂浆,用灌浆机进行灌浆,连续灌注直至立壁与底板填土侧空隙溢出为止,如果不足则需要立即自底板处注浆口注浆补足,如图7所示。

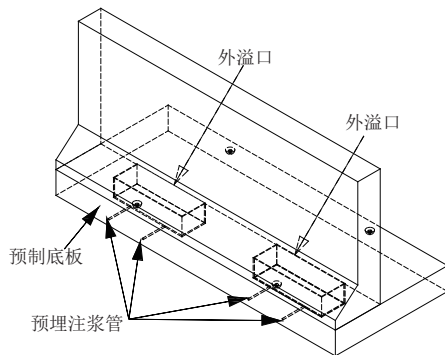


图7 灌浆法施工示意图

#### 4 工程应用

在浙江省嘉兴市市区快速路环线工程中,快速路环线工程(一期)桐乡大道南侧下匝道(22#匝道)毗邻某住宅小区,最近距离距小区围墙仅数米,施工用地极为紧张,且工期较短,故选取该路段作为预制装配式悬臂挡土墙的试验段。

挡土墙面板与底板的连接方式为组合式连接,挡土墙设计高度为1.25~2.75 m,节段宽度为5 m。立壁与底板均为C40钢筋混凝土构件,构件于预制场完成预制后运至施工现场拼装,挡土墙顶标高通过现浇压顶的方法调整。在挡土墙上每隔5 m设置2 cm宽的沉降缝,缝内填塞塑料泡沫板。在挡土墙墙身每隔2.5 m设置一道泄水孔,泄水孔内侧需设置排水棱体。

施工流程主要为:施工准备、吊装预制底板、铺设键槽砂浆垫层、吊装预制面板与螺栓安装。本挡土墙工程全长40 m,施工仅用3 d即完成现场安装工作(不含回填土工序)。工地现场干净整洁,施工效率极高。目前该挡土墙应用良好,表面整齐美观、无开裂痕迹,如图8所示。



图8 施工现场照片

#### 5 结语

预制装配式悬臂挡土墙与常规现浇悬臂式挡土墙相比,具有质量可保证、对环境友好、施工效率高等优点,能够有效提质增效,缩短施工周期,提升环境友好性,应用前景广阔。本文按设计荷载的不同,将墙型分为人行道侧挡土墙及车行道侧挡土墙两大类,并从挡墙预制构件的优化和连接方式、生产模具和吊装工艺、构建的运输与安装、拼缝的处理等方面展开研究,且针对各步骤提出了关键要点和方法建议,为预制装配式悬臂挡土墙的应用和推广提供了切实的技术保障。

#### 参考文献:

- [1] 汤丽燕,顾宽海,牟云彤. 装配式L形挡墙在某护岸工程中的应用[J]. 水运工程, 2023, 5(5): 22-25.
- [2] 刘步景,赵坤禹. 装配式挡墙结构设计及布置原则分析[J]. 中国水运, 2021, 21(10): 84-88.
- [3] 宗霏,黄逸飞,刘杨,等. 桥梁全装配技术在市政工程中的应用研究[J]. 建筑施工, 2022, 44(11): 2689-2692.
- [4] 许飞,汤玉娟,吴书安,等. 预制拼装混凝土小型综合管廊设计研究[J]. 科技通报, 2023, 39(4): 68-71.
- [5] JTG D62—2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [6] JTG D30—2015, 公路路基设计规范[S].