浙江省交通运输科技成果推广目录申报表

一、成果概况

成果名称	锚栓连接装配式挡土墙成套技术
成果类型	⊙技术　　○工艺　　○材料　　○产品
专业领域	道路工程
申报单位	浙江省交通规划设计研究院有限公司
联系人及电话	徐健 13588159444；方勇刚 13858126579
推广应用起止时间	2020 年 6 月 ～ 2023 年 5 月
申报单位意见	我单位申请将上述成果列入《浙江省交通运输科技成果推广目录》，并承诺所有关于申请单位与成果的文件、证明、陈述均真实、准确。如有违背，我单位将承担由此产生的一切后果。 申报单位法人代表签字：吴德兴 申报单位公章：浙江省交通规划设计研究院有限公司 3301060227206 2020 年 5 月 15 日
主管部门推荐意见	市交通运输局（委）或厅管厅属单位或省级有关单位意见 公　　章：浙江省交通投资集团有限公司 2020 年 5 月 18 日

二、成果简介（可另附页）

成果简介	为了提高路基支挡结构的品质，依托 2016 年度浙江省交通运输厅科技项目——新型装配式挡土墙开发与标准化设计研究（2016041）的研究，在模型试验、数值分析与理论研究的基础上开发多种新型装配式挡土墙，并形成了本成果——锚栓联接装配式挡土墙成套技术。 一、成果原理 本成果以钢筋混凝土结构的扶壁式、悬臂式挡土墙为基础，先沿路线长度方向将挡土墙拆分为标准长度的挡墙单元，再将挡墙单元拆分为立板、底板、扶臂等构件进行预制；对于悬臂式挡墙，设计时将立板下部厚度增大为楔形，并在突出部位预留带钢套筒的螺栓孔；将底板与立板相连接部位设计为凹槽形，并在连接后与立板上螺栓孔相对应的位置预埋锚栓；对于扶壁式挡墙，在立板、底板、扶臂相连接处分别设置锚栓或锚栓孔；立板、底板、扶臂等构件在预制场（厂）养护成型并运输到工点后进行安装，通过构件上预留的锚栓、锚栓孔及连接件（螺母、垫片及带肋连接角钢等）进行连接并对连接部位浇注混凝土进行保护，随后既可以进行墙后土的回填与压实施工。本成果形成了完整的设计施工指南及相应的设计通用图集。 二、关键技术 1、预制构件间采用锚栓式节点连接。本成果开发有两种锚栓式节点，一种用于装配悬臂式挡墙，将立板下部的厚度增为为楔形，在其突出部位预留带钢套筒的锚栓孔；在底板上（与立板上预留螺栓孔相对应的位置）预埋锚栓，底板和立板装配时，通过锚栓、螺母、垫片等将两者连接并锁紧在一起。另一种用于装配扶壁式挡墙，分别在立板（与底板及与扶壁连接处）和底板（与立板、扶壁连接处）上预埋锚栓，在扶壁上预留带钢套筒的锚栓孔，构件装配式，通过带肋连接角钢、螺母、垫片等连接件将立板、底板和扶壁三者相互连接并锁紧在一起。连接后对连接部位浇注混凝土保护。构件设计时要进行连接件计算与构件间接触应力计算。 2、底板上预留座浆槽，通过结合面座浆工艺消除节点内部间隙，减小结合面局部应力集中，并在吊装时发挥定位、导向作用，在挡土墙受荷后发挥抗剪作用。 3、挡墙立板、底板侧面（与相邻挡墙单元）接触位置设有相互匹配的凸榫结构以传递单元之间作用力，保证其整体性并。 三、工艺流程 锚栓联接装配式挡土墙成套技术的工艺包括设计施工两个阶段。 1、设计阶段 锚栓联接装配式挡土墙设计应以的现行《公路路基设计规范》（JTG D30）（以下简称路基规范），基本主要流程为：资料收集→初定路基边坡支挡方案→荷载计算→挡墙稳定性校核→构件内力计算→构件配筋→节点设计→细部构造设计→附属结构设计等。 （1）收集工程的水文地质报告、线路设计、路基填料性质等资料。 （2）结合工程地形地貌和路线设计，初定路基挡土墙方案和几

何参数。

（3）以公路路基设计规范为依据，确定挡土墙设计所需要的荷载及相应的分项系数。

（4）校核路基挡土墙初步设计方案的稳定性（包括抗滑移稳定性、抗倾覆稳定性、整体稳定性、基底应力等）和沉降变形是否满足规范要求，若不满足要求，则调整初步设计参数重新校核直至满足规范要求为止。

（5）将挡土墙单元化（一般每 2m 长定为一个标准挡土墙单元），分别按悬壁梁法和单向板法计算悬臂式挡土墙和扶壁式挡土墙的各构件的内力。

（6）以《混凝土结构设计规范》（GB50010-010）和路基规范为依据，对各构件进行配筋设计。

（7）节点设计。按拉剪破坏确定锚栓直径和数量，考虑锚栓作用力的影响按偏心压缩模式校核底板与立板间接触面应力。

（8）对锚栓与构件内钢筋的连接、底板座浆槽、挡土墙单元之间的连接方式以及泄水孔（兼作吊装孔）等结构进行细化或加强。

（9）按路基规范要求完成路基挡土墙的附属结构设计。

本成果提供了通用图集可供直接选用。

2、施工阶段

锚栓连接装配式挡土墙施工包括构件预制和现场装配两项分工程。

（1）构件预制一般要求采用钢模在预制场（厂）进行专业化预制养护。

（2）构件预制的工艺流程见图 1。

（3）挡土墙现场安装的工艺流程见图 2 和图 3。

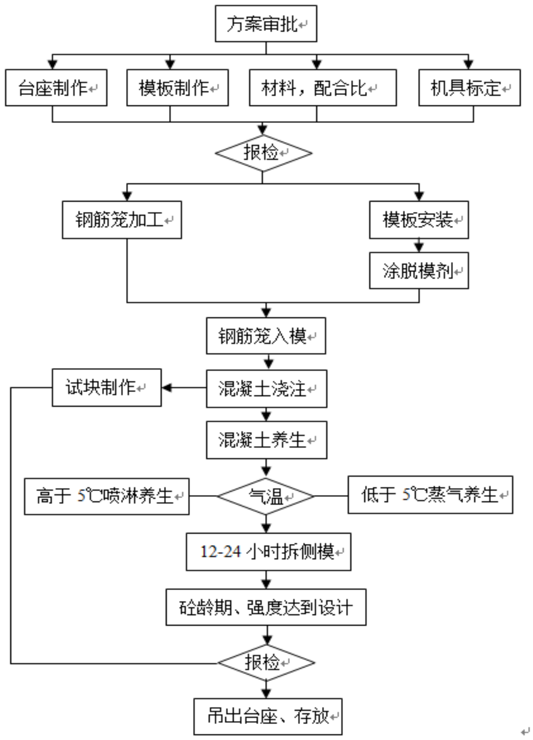


图 1 构件预制工艺流程

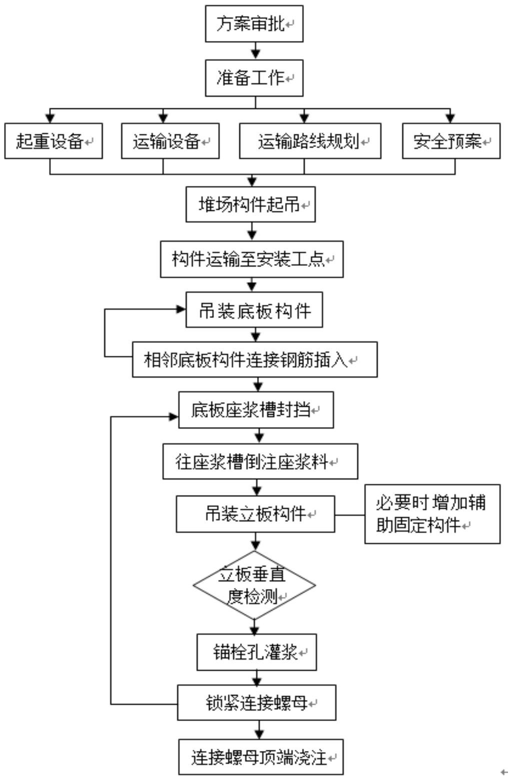


图 2 锚栓连接装配悬臂式挡墙现场安装工艺流程

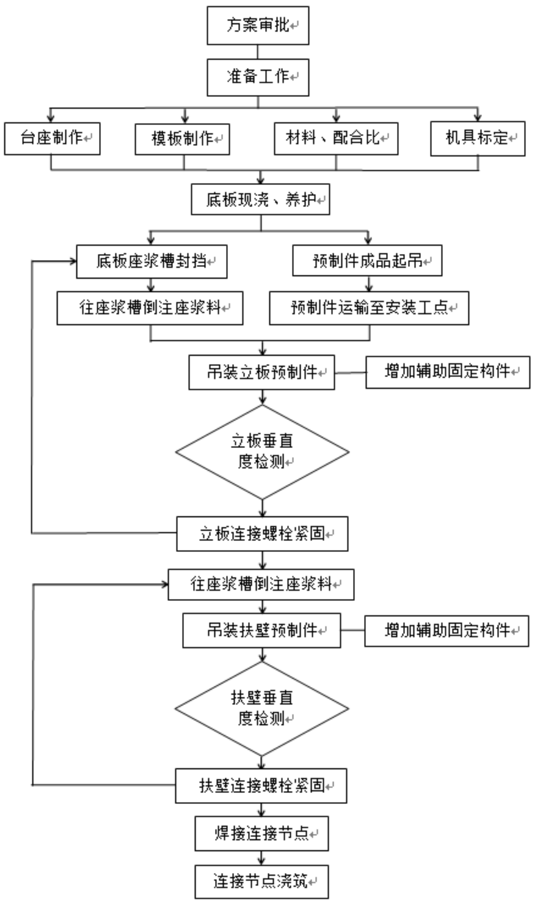


图 3 锚栓连接装配扶式挡墙现场安装工艺流程

	四、技术特点 锚栓连接装配式挡土墙为轻型结构，对地基承载力要求低，构件形状简单，预制方便，可在预制场标准化进行生产，质量可靠；装配式为干式连接，无需辅助支撑，施工安全简便；构件连接后即可承受荷载，挡土墙施工工期短施工效率高，构件安装后可以立即开展后续工序施工。挡土墙外形整洁美观。本成果提供了锚栓连接装配式挡土墙的设计施工方法，并配套有设计通用图集，推广应用方便。 五、适用性分析 本成果适用于需要采用支挡结构收缩坡脚的填方的填方路基，当墙高不大于 5m，可以采用锚栓连接装配悬臂式挡墙，当墙高大于 5m 小于 10m 时可以采用锚栓连接装配扶壁式挡墙，也可以采用两级锚栓连接装配悬臂式挡墙。本成果开发有通用图集，可根据具体工程条件从图集中直接选择合理的墙型。
专利	**专利：螺栓角钢连接装配式扶壁挡土墙** 申请号：201821608066.9，申请日期：2018.9.30，专利类型：实用新型专利，授权号：201821608066.9 简介：一种螺栓角钢连接装配式扶壁挡土墙，包括多个并排设置的挡土墙单元，每个挡土墙单元均包括底板、立板和扶壁，三者均为钢筋混凝土结构，所述底板平放在地基上，底板在规定位置设置凹槽并在凹槽四周预埋竖向螺栓，立板底部和扶壁底部安装在底板凹槽中形成墙体，立板预留多个横向孔洞和预埋多个横向螺栓，扶壁上预留多个横向孔洞。本实用新型的底板、立板和扶壁为钢筋混凝土结构，能够在现场进行装配施工，具有构件单元质量可靠、现场施工简单、施工效率高的优点；在底板和立板两侧设有相邻单元搭接结构，保证相邻底板整体沉降和加强相邻立板抗倾覆稳定性。
软件著作权	
标准规范	
其它已取得的成果	在本成果的研究过程中，通过硕士论文 3 篇，发表学术论文 6 篇，编制了《锚栓连接装配式挡土墙设计通用图》。

三、有关指标（可另附页）

技术指标	1、轻型结构，受力清晰。锚栓连接装配式挡墙以钢筋混凝土悬臂式、扶壁式挡墙为基础进行开发，为轻型支挡结构，挡土墙受力清晰，对地基承载力要求低，材料性能利用充分、材料消耗量少。 2、标准化生产，质量可靠。锚栓连接装配式挡墙的构件采用工

	业化生产，可采用流水线生产、自动化养护，不受季节气候影响，施工条件好，质量可靠。 3、构件形状简单，预制方便。组成挡土墙的预制构件均为板状结构，模具简单，混凝土入模拆模方便，产品质量可控。 4、干式连接，安装时无需辅助支撑，施工安全简便。本成果挡土墙的构件件采用预留锚栓连接，为干式节点，装配连接简单且调整方便，螺母锁紧后即可承受荷载，安装时无需辅助支撑措施，施工安全有保障，安装时效率高。 5、构件连接后即可承受荷载，挡土墙施工工期短施工效率高，构件安装后可以立即开展后续工序施工。 6、挡土墙外形整洁美观。工厂化生产的构件外观整齐，挡墙预制立板外侧还可以采用清水混凝土工艺具有当地特色的花纹，创建工程景观。 7、本成果结构体系成熟完整，推广应用前景好。本成果提供了锚栓连接装配式挡土墙的设计施工指南，并提供了相应的设计通用图集，可以直接选用标准设计图纸。
经济指标	构件采用钢模在预制厂工业化生产和标准化养护，可以节省大量模板，减少钢筋、混凝土等材料消耗与浪费；在现场安装时采用机械化作业，作业效率高，可减少大量的人工成本；挡墙墙面光洁美观，可减少墙面美化作业，最终锚栓连接装配式挡墙的综合成本较现浇结构降低 15%以上。
可采取的推广应用措施	1、对接建筑工业化与品质工程建设的要求，组织业主、设计、施工和监理单位到已完成项目进行实地考察，充分了解本成果的优势。 2、将现有设计施工指南和通用图集进行细化出版，使设计有依据有参考、施工有指导、质量检验有标准。 3、利用本单位作为龙头设计院的优势，选择合适的工程工点进一步推广应用。
申报单位及其推广能力简介	浙江省交通规划设计研究院有限公司是集公路和水运规划、咨询、勘察（测）、设计、科研、设计施工总承包及建筑、市政设计和工程试验检测等功能于一体的科技型单位，拥有“九甲四乙一丙”勘察设计总承包资质、试验检测资质和外经贸权以及商务部对外援助成套项目资质，承担国家发改委委托投资咨询评估任务，并通过质量、环境和职业健康安全管理体系认证。为中国优秀勘察设计院，交通运输部优秀设计单位，浙江省高新技术企业。公司的主营业务为公路水运规划、勘察与设计，承担了省内外大量的公路设计任务，具备本成果推广应用的基本条件与优势。
推广应用实例	（详细说明应用单位信息、应用工程信息、应用规模、时间、地点、经济社会效益分析、综合评价等） **应用实例 1：31 省道北延绍兴至萧山段工程** 2016 年绍兴市柯桥区建设集团有限公司在建设浙江省 31 省道北延绍兴至萧山段工程绍兴县及萧山段工程时，考虑到大部分路段位于平原水网区，地基承载力低、环境保护要求高，先后在大源互通区 C

	匝道和D匝道、后诸互通A匝道三个位置采用锚栓连接装配式挡土墙进行路基支挡，既解决了材料短缺、地基承力不足的问题，又加快了工程进度、保证了路基结构稳定性，节约工程投资200多万元，获得了显著的经济效益、社会效益。应用结果表明该成果具有质量可靠、施工便捷、外形美观等优点，是提高工程品质的有效途径。 **应用实例 2：长春至深圳高速公路（G25）浙江建德至金华段工程** 2018 年浙江省临金高速公路有限公司在建设长春至深圳高速公路（G25）浙江建德至金华段工程时，在第 3 标段先后采用本成中的锚栓连接装配悬壁式挡土墙（GK0+457.5-GK0+492.5）和扶壁式挡土墙（K2455+580-K2455+650）进行路基支挡墙，有效解决材料短缺问题、最大限度工程建设对自然环境的破坏，保证了路基挡土墙的质量和路基结构稳定性，为打造“生态之路、旅游之路、文化之路、文明之路”创造了条件。 **应用实例 3：G60 沪昆高速公路金华互通至浙赣界段改扩建工程** 该工程整体项目起点顺接一期拓宽工程终点，即金华互通拓宽结束点。路线沿现有的杭金衢高速公路线位，经金华市（婺城区 22.212km、兰溪市 13.440km）、衢州市（龙游县 24.560km、衢江区 18.540km、柯城区 16.360km、常山县 41.684km），终于浙赣省界主线收费站，路线全长约 136.796km。设计采用交通运输部颁发的《公路工程技术标准》(JTG B01-2014)规定的双向八车道高速公路标准设计。 该工程具有工期紧、施工用地紧张、新老路基差异沉降大等多方面困难，为此项目业主浙江省交通投资集团有限公司杭金衢分公司在项目路基支挡结构中大量采用了锚栓连接装配式挡土墙，共 54000 延米长，有效的解决了拓宽工程的实际问题。

成果登记	登 记 号	
	批准日期	

科 学 技 术 成 果 鉴 定 证 书

浙交鉴字[2019] 01 号

成 果 名 称：新型装配式挡土墙开发与标准化设计研究

完 成 单 位：浙江省交通规划设计研究院有限公司

湖南科技大学

浙江交工金筑建设有限公司

浙江省交工集团股份有限公司

绍兴市柯桥区交通投资有限公司

鉴 定 形 式：会 议 鉴 定

组织鉴定单位：浙 江 省 交 通 运 输 厅（盖章）

鉴 定 日 期：2019 年 1 月 12 日

鉴定批准日期：2019 年 2 月 10 日

国家科学技术委员会

一九九四年制

简要技术说明及主要技术性能指标
本项目以路基挡墙标准化、工厂化、装配化为目标，以装配悬臂式、扶臂式挡土墙为重点，分析了挡土墙装配化的基本要求与关键问题，设计了多种装配连接方式；通过室内外模型试验、数值模拟和理论分析等多种方法研究了不同连接方式装配式挡墙的可行性、破坏模式与静动力学特性，开发了多种形式的装配式挡墙，并进行了工程应用，结合依托工程建设，对装配式挡墙的施工工艺和质量控制要点进行了系统分析，编制装配式挡土墙设计通用图，形成了装配式挡墙设计施工指南。 1、以悬臂式、扶臂式钢筋混凝土挡土墙为挡土墙装配化的基本墙型，结合挡土墙荷载特性与施工要求，提出了挡土墙装配化的基本原则与流程。 2、设计了焊接装配、螺栓角钢装配、锚栓装配三种节点连接方式，给出了相应的设计方法，并结合依托工程条件，设计了单级装配悬臂式挡土墙、两级装配悬臂式挡墙和装配扶臂式挡墙，形成了装配式挡土墙预制、养护、运输、装配施工工艺流程，并通过室内试验验证了上述装配式挡墙结构设计与施工工艺的可行性。 3、分别基于室内模型试验和数值分析，开展了不同连接方式的装配式挡墙承载特性试验，获得了焊接装配、螺栓角钢装配、锚栓装配以及整体浇注式挡墙的承载能力发展规律和节点破坏形式，为装配式挡墙节点选型提供了依据。 4、完成了大型多级装配式挡土墙模型试验，获得了在墙顶超载作用下多级装配式挡土墙的变形和土压力发展规律以及挡土墙的失稳破坏模式。 5、基于 FLAC3D 对两级装配悬臂式挡土墙和加筋土挡墙的动静力学特性进行数值分析，获得了均布荷载、车辆荷载以及地震荷载下两级装配式挡土墙的应力应变响应规律，并讨论上下级墙间距、上级墙埋深、墙背填料强度等参数对挡土墙稳定性的影响。 6、分别基于极限平衡理论与岩土塑性极限理论，提出了多级装配式挡墙稳定性分析方法和支挡后路基边坡稳定性分析的上限法。 7、分别在 330 国道（第 4 标段）、31 省道（第 1、2 标段）、建金高速（第 3 标段）进行装配式挡墙工程应用与现场监测，并结合依托工程实施工对装配式挡墙施工工艺进行了总结分析，对装配式挡墙预制、养护、运输、吊装等施工过程中可能遇问题进行了归纳并给出相应的解决措施。 8、结合浙江省公路建设实际条件，编制了装配式挡墙通用图，初步形成了装配式挡墙设计施工指南。

推　广　应　用　前　景　与　措　施
课题研究以“安全可靠、经济节约、技术创新、生态环保、和谐自然”为目标，基于建筑工业化发展的前景，对公路挡土墙装配化的实现方法、结构特点、变形失稳规律与设计方法、建造技术等开展了系统性的研究，并编制装配式挡墙通用图和设计施工指南。随着我国公路、铁路、水利、市政工程的不断发展，挡土墙还将大量使用，而环境保护意识在不断深入、工程建设用工人工费用在不断攀升，将原本笨重的挡土墙标准化、预制化、装配化对减少石料开采，保护环境，降低施工难度，保障施工质量有重要意义。本课题研究力求方案创新，并且该方案具备较好的技术经济比较优势，推广前景好。 （1）系统性的研究了装配式挡墙结构特性、失稳机理、设计方法和建造技术，可为今后装配式挡墙的应用提供理论指导与实践方法； （2）依托实体工程建设，对装配式挡墙的施工工艺、细部构要求、质量控制方法进行总结与分析，为今后相关工程的建设提供了方法； （3）编制了《装配式挡墙设计通用图》和设计与施工技术指南，具有广阔的推广应用前景。

主 要 技 术 文 件 目 录 及 来 源

鉴 定 委 员 会 专 家 测 试 报 告
   测试组长：__________签字　成员：________、________、________、 ________ ____________年_________月_________日

鉴 定 意 见

浙江省交通运输厅于2019年1月12日在杭州主持召开了《新型装配式挡土墙开发与标准化设计研究》（项目编号2016041）项目成果鉴定会。鉴定委员会（名单附后）听取了项目组工作报告、研究报告、查新报告、用户报告和专项审计报告，审阅了有关技术资料，经讨论，形成鉴定意见如下：

一、提交鉴定的技术资料齐全、规范，符合鉴定要求。

二、项目通过模型试验、数值模拟和理论分析等多种方法，对装配式悬臂及扶臂式挡土墙设计与施工的关键问题进行了研究，提出了多种装配连接方式，研究了不同连接方式装配式挡墙的可行性、破坏模式与静动力学特性，并结合依托工程，对装配式挡墙的施工工艺和质量控制要点进行了系统分析，编制了装配式挡土墙的设计通用图，形成了装配式挡墙的设计施工指南。

三、项目研究的主要创新点：

1、构建了路基挡土墙装配化的基本原则与流程，提出了焊接装配、螺栓角钢装配、锚栓装配三种新型节点连接方式。

2、通过模型试验和数值分析，获得了不同连接节点装配式挡墙的承载能力发展规律和节点破坏模式，多级装配式挡土墙静动响应规律及其稳定性影响因素，提出了多级装配式挡墙稳定性分析方法。

四、项目预算总经费60万元，其中省财政科技补助经费34万元。根据浙江恒惠会计师事务所有限公司（浙恒惠专审字〔2018〕第449号）出具的审计报告，项目经费实际支出58.98万元，其中省财政科技补助经费支出33.05万元，结余经费0.95万元用于项目鉴定支出，经费使用基本合理。

鉴定委员会认为项目研究已完成了项目合同书规定的各项任务，研究成果具有显著的社会和经济效益，总体上达到国际先进水平。

建议做好技术的推广应用。

鉴定委员会主任委员

2019 年 1 月 12 日

主　持　鉴　定　单　位　意　见

同意鉴定意见

主管领导签字：______（盖章）

2019 年 2 月 10 日

组　织　鉴　定　单　位　意　见

同意鉴定意见

主管领导签字：______（盖章）

2019 年 2 月 10 日

科　技　成　果　完　成　单　位　情　况

序号	完成单位名称		邮政编码	所在省市代码	详细通信地址	隶属省部	单位属性
1	浙江省交通规划设计研究院有限公司		310006	33	杭州市西湖区余杭塘路 928 号	浙江省	企业
2	湖南科技大学		411201	43	湘潭市雨湖区桃园路 2 号	湖南省	事业
3	浙江交工金筑建设有限公司		310051	33	杭州市滨江区钱江大厦	浙江省	企业
4	浙江省交工集团股份有限公司		310051	33	杭州市滨江区钱江大厦	浙江省	企业
5	绍兴市柯桥区交通投资有限公司		312030	33	绍兴市柯桥区齐贤镇高泽居委会 1 幢	浙江省	企业
6							
7							
8							

注：1. 完成单位序号超过 8 个可加附页。其顺序必须与鉴定证书封面上的顺序完全一致。

2. 完成单位名称必须填写全称，不得简化，与单位公章完全一致，并填入完成单位名称的第一栏中，其下属机构名称则填入第二栏中。

3. 所在省市代码由组织鉴定单位按省、自治区、直辖市和国务院部门及其它机构名称代码填写。

4. 详细通信地址要写明省（自治区、直辖市）、市（地区）、县（区）、街道和门牌号码。

5. 隶属省部是指本单位的行政关系隶属于哪一个省、自治区、直辖市或国务院部门主管。并将其名称填入表中。如果本单位有地方/部门双重隶属关系，请按主要的隶属关系填写。

6. 单位属性是指本单位在　1. 独立科研机构　2. 大专院校　3. 工矿企业　4. 集体或个体企业　5. 其他　五类性质中属于哪一类，并在栏中选填 1. 2. 3. 4. 5. 即可。

主 要 研 制 人 员 名 单

序号	姓　　名	性别	出生年月	技术职称	文化程度	工　作　单　位	对成果创造性贡献
1	徐　健	男	1979.03	副高级	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	项目负责
2	刘　泽	男	1975.08	副高级	研究生	湖南科技大学	技术负责
3	陈建荣	男	1966.01	正高级	研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	总体策划
4	刘向阳	男	1976.05	副高级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	方案审核
5	舒亚明	男	1968.08	中　级	大专	绍兴市柯桥区交通投资有限公司	技术研究
6	楼华锋	男	1982.10	副高级	研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	结构设计
7	叶水标	男	1961.01	副高级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	经济分析
8	王　钦	男	1982.09	中级	大专	绍兴市柯桥区交通投资有限公司	现场协调
9	栗海军	男	1979.08	副高级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	施工技术
10	孙洪月	男	1991.02	中　级	研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	结构设计
11	黄汉江	男	1978.05	副高级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	施工组织
12	方勇刚	男	1978.10	副高级	研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	景观设计
13	高建科	男	1982.07	副高级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	施工组织
14	林　晨	女	1984.04	副高级	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	结构设计
15	曹海涛	男	1975.05	副高级	本科	浙江省交通规划设计研究院有限公司	方案设计
16	梁诚玉	女	1978.10	副高级	研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	结构设计
17	阳东陵	男	1974.12	副高级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	施工组织
18	晏江驰	男	1986.02	中级	研究生	浙江省交通规划设计研究院有限公司	结构设计

19	娄伟栋	男	1981.09	中级	本科	绍兴市柯桥区交通投资有限公司	现场协调
20	陈秀平	男	1976.03	副高级	本科	绍兴市柯桥区交通投资有限公司	技术研究
21	黄天棋	男	1992.12	其他	研究生	湖南科技大学	现场监测
22	郑克如	男	1976.08	副高级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	施工方案
23	朱荣忠	男	1966.03	副高级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	施工方案
24	陈　辉	女	1986.01	中级	本科	浙江交工集团股份有限公司	现场协调
25	蒋梅东	男	1992.06	其他	研究生	湖南科技大学	试验研究
26	王　强	男	1990.03	初级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	现场施工
27	史克友	男	1990.08	其他	研究生	湖南科技大学	试验研究
28	郭恒威	男	1991.07	初级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	现场施工
29	何　砜	男	1996.03	其他	研究生	湖南科技大学	数值分析
30	方潞帆	男	1991.01	初级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	现场施工
31	尹冰杰	男	1991.05	初级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	现场施工
32	刘方方	女	1986.08	中级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	现场协调
33	张　诚	男	1984.07	中级	本科	浙江交工金筑交通建设有限公司	现场协调

鉴 定 委 员 会 名 单

序号	鉴定会职务	姓 名	工 作 单 位	所学专业	现从事专业	职称职务	签 名
1	主任委员	王振民	浙江省公路学会	公路工程	公路工程	教授级高工	王振民
2	委员	任 忠	浙江省交通运输厅	土木工程	公路工程	教授级高工	任忠
3	委员	王泽林	浙江省交通厅工程质量监督局	公路工程	公路工程	教授级高工	王泽林
4	委员	陈永辉	河海大学	公路工程	公路工程	教授级高工	陈永辉
5	委员	孙章校	浙江公路水运咨询公司	公路工程	公路工程	教授级高工	孙章校
6	委员	唐锡军	浙江交通职业技术学院	科技管理	科技管理	副书记	唐锡军
7	委员	何爱群	浙江天平会计师事务所	财会	财会	高级会计师	何爱群

科　技　成　果　登　记　表

<table>
<tr><td colspan="2">成果名称</td><td colspan="6">新型装配式挡土墙开发与标准化设计研究</td></tr>
<tr><td colspan="2">研究起始时间</td><td colspan="3">2016.1</td><td>研究终止时间</td><td colspan="2">2018.10</td></tr>
<tr><td rowspan="6">成果第一完成单位</td><td>单位名称</td><td colspan="6">浙江省交通规划设计研究院有限公司</td></tr>
<tr><td>隶属省部</td><td>代码</td><td>933</td><td>名称</td><td colspan="3">浙江省</td></tr>
<tr><td>所在地区</td><td>代码</td><td></td><td>名称</td><td></td><td rowspan="2">单位属性
(3)</td><td rowspan="2">1. 独立科研机构　2. 大专院校　3. 工矿企业　4. 集体个体　5. 其他</td></tr>
<tr><td>联系人</td><td colspan="4">徐健</td></tr>
<tr><td>邮政编码</td><td colspan="2">310006</td><td>联系电话</td><td colspan="3">13588159444</td></tr>
<tr><td>通信地址</td><td colspan="6">杭州市西湖区余杭塘路928号浙江省交通规划设计研究院有限公司</td></tr>
<tr><td colspan="2">鉴定日期</td><td colspan="3">2019.1.12</td><td>鉴定批准日期</td><td colspan="2">2019.1.20</td></tr>
<tr><td colspan="2">组织鉴定单位名称</td><td colspan="6">浙江省交通运输厅</td></tr>
<tr><td colspan="2">成果有无密级</td><td>(0)</td><td colspan="2">0—无 1—有</td><td>密级</td><td>( )</td><td>1—机密　2—秘密　3—绝密</td></tr>
<tr><td colspan="2">成果水平</td><td>(2)</td><td colspan="5">1—国际领先　2—国际先进　3—国内领先　4—国内先进</td></tr>
<tr><td colspan="2">任务来源</td><td>(2)</td><td colspan="5">1—国家计划　2—省部计划　3—计划外</td></tr>
<tr><td colspan="2">应用行业大类</td><td>(05)</td><td colspan="5">01—农、林、牧、渔、水利　02—工业　03—地质普查和勘探业　04—建筑业　05—交通运输、邮电通讯业　06—商业、饮食、物资供销和仓储业　07—房地产、公用事业、居民和服务业　08—卫生、体育、社会、福利业　09—教育、文化、艺术、广播和电视业　10—科学研究和综合技术服务业　11—金融、保险业　12—其他行业</td></tr>
<tr><td colspan="2">应用情况</td><td>(1)</td><td colspan="5">1—已应用　2—未应用原因 A 无接产单位 B 缺乏资金 C 技术不配套 D 工业性实验前成果 E 其它</td></tr>
<tr><td colspan="2">转让范围</td><td>(2)</td><td colspan="5">1—允许出口　2—限国内转让　3—不转让</td></tr>
<tr><td colspan="4">科研投资（万元）</td><td colspan="4">应用投资（万元）</td></tr>
<tr><td colspan="2">国家投资</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">国家投资</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">地方、部门投资</td><td colspan="2">34</td><td colspan="2">地方、部门投资</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">其他单位投资</td><td colspan="2">24.98</td><td colspan="2">其他单位投资</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">合　计</td><td colspan="2">58.98</td><td colspan="2">合　计</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="8">本年度经济效益（万元或万美元）</td></tr>
<tr><td>新增产值</td><td colspan="2"></td><td>新增利税</td><td></td><td>其中创收外汇</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

（附页）

承 诺 书

本单位（或个人）承诺：

1、本鉴定证书中所填写的各栏目内容真实、准确。

2、提供鉴定的技术文件和资料真实、可靠，技术（或理论）成果事实存在。

3、提供鉴定的实物（样品）与所提供鉴定的技术文件和资料一致，并事实存在。

4、本成果的知识产权或商业秘密明晰完整，归属本单位（或个人）所有，未剽窃他人成果、未侵犯他人的知识产权或商业秘密。

若发生与上述承诺相违背的事实，由本单位（或个人）承担全部法律责任。

完成单位（盖印）

（或个人）签字：

2019 年 02 月 10 日

证书号第9034881号

实用新型专利证书

实用新型名称：螺栓角钢连接装配式扶壁挡土墙

发　明　人：方勇刚；徐健；陈建荣；余茂科；吕俊平；徐志敏

专　利　号：ZL 2018 2 1608066.9

专利申请日：2018年09月30日

专 利 权 人：浙江省交通规划设计研究院有限公司

地　　　址：311612 浙江省杭州市西湖区环城西路89号

授权公告日：2019年07月02日　　　授权公告号：CN 209053120 U

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法经过初步审查，决定授予专利权，颁发实用新型专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

申长雨

国家知识产权局

2019年07月02日

其他事项参见背面

科研成果应用证明

成果名称	新型装配式挡土墙开发与标准化设计研究		
应用单位	浙江建金高速公路工程建设指挥部		
应用时间	2018	产生的效益	/
联 系 人	徐志敏	联系电话	13884331779

应用情况说明：

长春至深圳高速公路（G25）浙江建德至金华段是国家高速公路“7918”网中“纵三”线长春至深圳高速公路（G25）的重要组成部分，项目北起杭新景高速公路杨村桥，沿线经过建德、兰溪、金东三个市（区），终点接杭金衢高速公路，与金丽温高速公路的二仙桥枢纽组合成复式枢纽。项目路线主要位于浙西中低山与浙中盆地交接地带，地貌主要为中低山丘陵、垄岗残丘及山间（前）斜地、河谷冲积平原等，主线全线设置桥梁 15781.7m/42 座（含互通主线桥），设隧道 16948m/9 座；枢纽互通 2 处、一般互通 4 处。项目需要进行支挡防护的路段较多，若采用传统浆砌挡土墙或片石混凝土挡墙，不仅施工难度大，工人劳动强度高，会造成施工质量难以得到保证，而且需要大量开采石料，对当地原有地形地貌和自然植被会造成较大的破坏。

为了贯彻落实交通运输行业“四个交通”框架要求，建设美丽浙江、创造美好生活，打造生态之路、旅游之路、文化之路、文明之路，解决石料材料短缺问题、最大限度工程建设对自然环境的破坏、提高路基支挡结构的质量、保证工程建设的工期，采用了《新型装配式挡土墙开发与标准化设计研究》课题的研究成果，在第 3 标段采用了装配扶臂式挡土墙进行路基支挡，该挡墙高达 8m，由标准长度的挡墙单元组合而成，每个挡墙单元均由底板、立板和扶臂等构件组成，构件间采用螺栓角钢连接方式进行装配。该科研成果的采用，既有效解决材料短缺问题、少占农田、节约工程投资，而且加快了工程进度、保证了路基结构稳定性，获得了显著的经济效益、社会效益。

科研成果应用证明

成果名称	新型装配式挡土墙开发与标准化设计研究		
应用单位	浙江大舜公路建设有限公司		
应用时间	2018	产生的效益	/
联 系 人	陈月海	联系电话	13004623378

应用情况说明：

31 省道北延绍兴至萧山段工程绍兴县及萧山段为绍兴市国省道和区域干线公路布局结构“五纵”之一，连接绍兴市区与杭州市萧山区，是绍兴市的纵向交通大动脉，也是我省重要的风景旅游线路。本项目起点为 31 省道绍兴市段终点，总体走向为南北向，终点为萧山党益线，路线全长 7.7667km，其中绍兴县段长约 5.59 km，萧山段长约 2.077 km。技术标准采用《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）规定的设计速度 80km/h 的一级公路，采用双向六车道标准设计，同时兼顾城市道路功能，两侧设 7.0m 慢车道。绍兴县段 1564m/5 座，设大源互通 1 座；萧山段 160.0m/3 座。该项目大部分路段位于平原水网区，为减少耕地占用，保证路基的稳定性，挡土墙是路基工程的主要结构物。若采用传统浆砌挡土墙或片石混凝土挡墙，不仅沿线石料来源非常有限，石料的开采也必将破坏沿线生态景观，对江南风光造成不可估量的损害；而且路基多位于软土地基上，地基承载力难以满足笨重的重力式挡土墙对地基的要求；采用轻型化、标准化、低耗费、高质量的装配式挡土墙是解决上述疑难的首选方案。

为了解决石料材料短缺问题、最大限度工程建设对自然环境的破坏、提高路基支挡结构的质量、保证工程建设的工期，采用了《新型装配式挡土墙开发与标准化设计研究》课题的研究成果，第 2 标段利用装配式挡土墙进行路基支挡。该科研成果的采用，既有效解决材料短缺问题、节约工程投资 200 多万元，而且加快了工程进度、保证了路基结构稳定性，获得了显著的经济效益、社会效益。

Hans Journal of Civil Engineering 土木工程, 2018, 7(3), 350-357
Published Online May 2018 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/hjce
https://doi.org/10.12677/hjce.2018.73040

Hans汉斯

Research on Design and Construction Technology of Assembly Retaining Wall Based on Anchor Bolt Connection

Jian Xu[1], Ze Liu[2], Tianqi Huang[2], Fan He[2]

[1]Zhejiang Kuwait Engineering Consulting Co. Ltd., Hangzhou Zhejiang
[2]School of Civil Engineer, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan
Email: 05098225@163.com, csuzeliu@163.com

Received: Apr. 19th, 2018; accepted: May 7th, 2018; published: May 14th, 2018

Abstract

The connection node is the key to the design of the assembly retaining wall. On the basis of comparison and analysis of the advantages and disadvantages of different joints, an assembly retaining wall with anchor bolt connection is proposed. The wall unit consists of a prefabricated vertical plate and a prefabricated bottom plate, and several anchor bolts are reserved on the floor, and the same number of anchor holes is reserved at the bottom of the vertical plate, removing the gap between the vertical plate and the floor by the slurry technology, and the vertical plate and bottom plate are connected by bolts, nuts, and gaskets. The design calculation method and construction technology of the wall are given, and the engineering application is carried out, which can provide reference for the design and construction of similar projects.

Keywords

Retaining Wall, Assembly, Anchor Bolt Connection, Construction Technology

基于锚栓联接的装配式挡墙设计与施工工艺研究

徐　健[1]，刘　泽[2]，黄天棋[2]，何　砜[2]

[1]浙江省科威工程咨询有限公司，浙江 杭州
[2]湖南科技大学土木工程学院，湖南 湘潭
Email: 05098225@163.com, csuzeliu@163.com

收稿日期：2018年4月19日；录用日期：2018年5月7日；发布日期：2018年5月14日

文章引用：徐健，刘泽，黄天棋，何砜. 基于锚栓联接的装配式挡墙设计与施工工艺研究[J]. 土木工程，2018，7(3): 350-357. DOI: 10.12677/hjce.2018.73040

摘 要

联接节点是装配式挡土墙设计的关键。在对比分析不同联接节点优缺点的基础上，提出了一种预留锚栓联接的装配式挡土墙。挡墙单元由预制立板和底板组成，在底板上预留锚栓，在立板底部预留锚栓孔，通过座浆消除立板与底板间间隙，通过锚栓、螺母、垫片将立板和底板联接在一起。给出了挡土墙的设计计算方法与施工工艺，并进行了工程应用，可为类似工程的设计与建造提供参考。

关键词

挡土墙，装配化，锚栓联接，施工工艺

1. 引言

挡土墙是公路、铁路、市政、水利等行业建设中的常见结构，主要用于抵抗墙后土压力，维护墙后工程结构的稳定性。尽管目前已发展有各种形式的支挡结构，但工程中仍以浆砌片石(块石)重力挡土墙的应用最为广泛。这种挡墙具有取材方便、工艺简单、适用范围宽等优点，但也存在材料消耗量大、机械化程度低等不足，使得施工时工人劳动强度高、效率低、后期病害多。随着环保意识的不断发展、劳动力成本的不断攀升，这种挡墙越来越不能满足现代工程建设的需要。

预制化、装配化是提高工程结构施工质量和效率、降低现场施工人员劳动强度的重要途径。对于常为线性工程的挡土墙而言，量大结构简单，具有装配化的基础与前景。因此，许多工程技术人员与学者也尝试将其进行预制化、装配化。赵御祺提出双曲和锥面薄壳形装配式钢筋混凝土挡土墙[1]。曾向荣在北京城市铁路设计中采用预制装配式钢筋混凝土挡土墙作为路基支挡结构，缩短了挡土墙施工中立模、现浇、养护等施工工序所需的时间[2]。张程宏、纪文利等也分析了装配式挡土墙的设计特点[3] [4]；段铁铮进一步讨论了装配式挡土墙标准化及系列化的必要性[5]。中国市政工程西南设计研究院编制了《城市道路-装配式挡土墙》设计图集[6]。张国栋对装配式挡土墙设计中的碰撞力和分段长度进行了初步分析[7]。这些研究对挡土墙的预制装配化起到了很好的促进作用。本文结合目前工程中的实际问题，在讨论挡土墙预制装配化基本思路与关键问题的基础上，提出了一种预留锚栓联接的装配式挡土墙，并进行了工程应用，可为类似工程的设计与建造提供参考。

2. 挡土墙装配化的关键问题

挡土墙的预制装配化是指在将挡土墙拆分为构件的基础上，通过专用模具进行工厂化预制生产、标准化养护，达到强度后运输到施工现场后进行拼装后形成挡土墙。由于悬臂式挡墙、扶臂挡墙属轻型结构，对地基承载力要求低，二是由钢筋混凝土构成，便于低成本预制生产。现有的装配式挡土墙主要是以悬臂式挡墙或扶臂挡墙为基本墙型，先沿挡土墙纵向(路线方向)将挡墙划分为一个个标准长度的挡墙单元，再将挡墙单元拆分为立板、底板、肋板等构件进行预制、养护，然后将构件运输到现场进行拼装成型。

当以悬臂式挡墙或扶臂挡墙为基本墙型进行装配化设计时，如何将拆分后的构件可靠地连接起来是

挡土墙装配化的核心。在钢筋混凝土构件连接方面目前已发展有多种方法，如焊接、螺栓联接、榫接、灌浆套筒连接等。由于悬臂式或扶臂式挡墙为受弯剪构件，且一般在立板与底板相交处拆分，连接位置的弯矩、剪力均为结构受力最大的位置，为保证连接的可靠性，现有装配式挡土墙构件联接方式主有以下几种方式[6] [8] [9]：

1) 预留钢筋(板)焊接法。构件时预制时将连接部位的钢筋预埋在挡墙立板或底板中，现场装配时通过焊接将预留钢筋连接起来，然后对连接部位进行二次浇注。

2) 预留钢筋现浇法。采用这种方式联接的挡土墙一般立板预制、底板现浇。在立板预制时将立板中抗弯受拉钢筋预留出足够的长度，在底板现浇时将预留钢筋以圆弧过渡方式伸入到后趾底板中。

3) 叠合板法。这种联接方式挡土墙的底板一般也是现浇，面板和扶壁板则采用预制双面叠合板组成。施工时，先现浇底板，待其达到强度要求后采用辅助支撑将预制叠合板拼装在一起，然后往叠合板内浇注内芯混凝土，最终形成完整的挡土墙。

由于挡土墙施工现场环境比较恶劣，机械化程度低，工人劳动强度高，使得实际工程中上述几个装配方法存在以下问题：方式 1)中的焊接质量难以得到保证，且存在后浇带，挡墙拼装后不同立即回填压墙后填土；方式 2)的底板多采用现浇甚至要分两次浇注，拼装后还需对底板进行养护，工期较长，且现场养护条件差，质量得不到保证；方式 3)需要使用大量辅助支撑构件，内芯混凝土也需现浇，且两层叠合板间空间狭小，当立板高度较大时，混凝土浇注质量得不到保证。因此设计合理的构件连接方式是挡土墙装配化的关键。在综合比较与试验研究的基础上，笔者提出了预埋锚栓联接法。

3. 锚栓联接装配式挡土墙

3.1. 锚栓联接装配式挡土墙的结构特点

以悬臂式挡墙为基础进行构件拆分。构件包括标准长度的底板和立板两部分，在底板上预留若干个锚栓，立板下部加粗并预留与锚栓数量、间距相同的锚栓孔，底板和立板的结构见图 1。当立板底板构件在预制场进行标准化预制、养护成型并运输到施工现场后，先将底板定位到工点，将立板垂直吊起缓慢降下，使底板上的锚栓插入立板上的锚栓孔内，再通过螺母、垫片等连接件将立板和底板锁定在一起形成挡土墙(见图 2)。除此之外，为了保证结构的整体性，底板在路基横断面方向上呈凹形，即在与立板底面接触位置，立板厚度比其它部位稍小，主要作用一是可以利用前趾板顶面高于立板底面的特点，使前趾板能发挥一定的抗剪作用，二是装配时可先在底板凹槽内灌入一层水泥浆，再吊装立板，以消除底板和立板之间的间隙，避免装配后地下水进入接合面，使锚栓产生锈蚀。底板在路线方向上呈台阶状，使相邻底板相互叠合，再通过连接螺栓、钢筋类的构件连接成一个整体，同时立板两侧面设计为凹凸结构，使相邻立板单元装配后能相互嵌合，提高挡土墙的整体性。

3.2. 装配式挡土墙的设计方法

装配式挡土墙设计方法与普通挡土墙设计基本相同。设计流程是先按普通挡土墙进行尺寸拟定、土压力计算、校核挡土墙的抗滑移、抗倾覆稳定性以及基底应力，再将挡墙拆分为构件，完成配筋设计，然后考虑如何将相邻构件联接在一起，进行节点设计，最后完成挡土墙的细部结构设计与图纸绘制。土压力计算一般采用库仑土压力理论。稳定性校核要求与方法在挡土墙设计的相关规范上都有明确的要求，这里不再赘述。配筋设计一般也是根据构件内力特点按《钢筋混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)进行设计即可。因此设计的关键点在于连接锚栓的设计计算。

根据悬臂式挡墙的结构特点，可建立如图 3 所示的锚栓分析模型。不考虑立板自重的影响，连接位置的弯矩和剪力主要来自立板后的土压力。

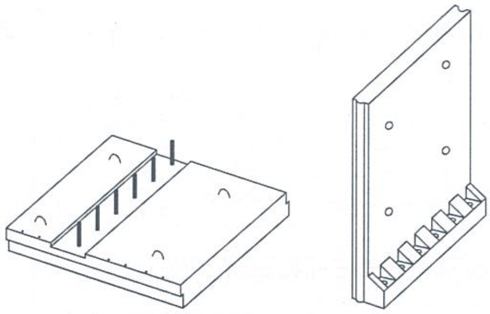


Figure 1. Structure diagram of the plate and baseboard
图 1. 底板与立板构件结构示意图

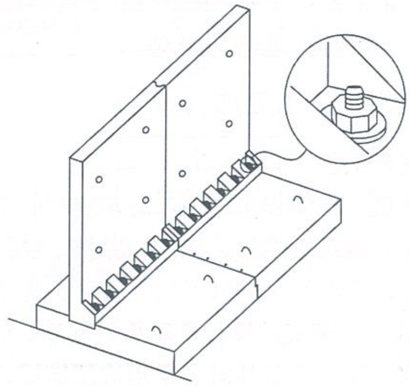


Figure 2. Retaining wall after assembling
图 2. 拼装后的挡土墙

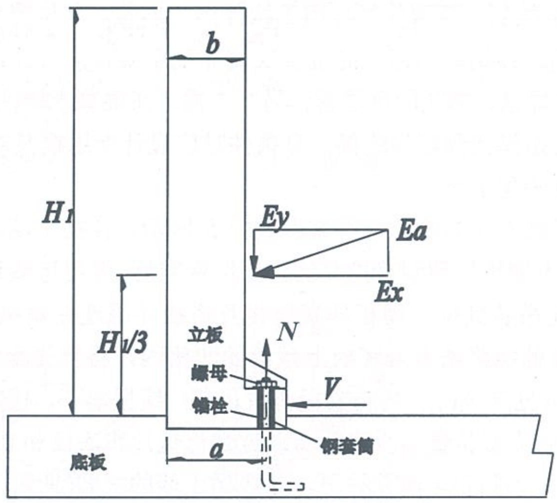


Figure 3. Calculation model of the anchor bolt
图 3. 锚栓计算模型

联接处的弯矩 M 和剪力 V 分别为：

$$M = \frac{1}{3} E_x H_1 - E_y b \tag{1}$$

$$V = E_x \tag{2}$$

锚栓将受到拉力 N 和剪力 V 的共同作用，相应荷载下所需要的锚栓数量为：

$$n_N = \frac{4M}{\pi a d^2 f_t^b} \tag{3}$$

$$n_V = \frac{4E_x}{\pi d^2 f_v^b} \tag{4}$$

则挡墙单元长度内需要布置的锚栓数由式(5)确定。

$$n = \max\left(n_N, n_V\right) \tag{5}$$

上述式中，E_x 为挡墙单元长度内的土压力水平分量；E_y 为挡墙单元长度内的土压力竖向分量；H_1 为挡墙单元立板顶面到底板顶面的距离；b 为立板宽度；a 为锚栓距立板外侧的距离；d 为锚栓直径；f_t^b 为锚栓抗拉强度设计值；f_v^b 为锚栓抗剪强度设计值。

3.3. 锚栓联接装配式挡土墙的施工工艺

一、挡土墙构件预制生产工艺

装配式挡土墙的构件预制生产流程见图 4。与常规预制钢筋混凝土结构的生产流程基本相同，包括诸如原材料计算、钢筋加工、混凝土搅拌、浇注、养护、脱模等工序，各工序的质量控制也可以按常规预制钢筋混凝土结构的标准，但在施工时以下几个问题还是要重点关注。

1) 模板工程。模板是决定装配式挡墙构件质量的基础。装配式挡墙的构件一般比较大，生产时量也比较大，模板一般都要采用钢模，有条件时应采用液压钢模。在钢模加工时要充分注意混凝土浇注时可能造成模板变形，使预制出来的构件尺寸偏差比较大，因而加工钢模的钢板不宜太薄，对于长大的平面部位，应采用肋板加固以提高模板的刚度。

2) 预留件的定位控制。预留件往往用于构件间的连接，其位置直接影响到构件在现场拼装是否能顺利进行。因此，在构件预制时预留件的位置控制非常重要。一方面，在钢筋加工时要控制预留件的尺寸与位置，保证预留件焊接、绑扎的可靠性；另一方面，在混凝土浇注时要对预留件的位置进行反复核对，避免因混凝土流动与振捣使预留件跑偏。有条件时应设计专用模具对预留件进行定位控制。

二、挡土墙现场装配工艺

锚栓联接装配式挡土墙的装配工艺流程如图 5 所示。在挡土墙拼装前应完成基底开挖，必要时要对地基进行处理。待挡土墙构件预制养护并达到出厂标准后，采用运输设备将其运输到工点现场(见图 5(a))。先将若干块底板单元吊装到位，使相邻底板相互搭接并用连接短钢筋插入到底板两侧的连接孔内(见图 5(b))；再用木条制作的挡浆条卡入底板上预留的凹槽内，将预先配制好的水泥浆(宜用高强座浆料配制)倒入底板预留凹槽内(见图 5(c))；再将立板垂直吊起，缓慢落下，使底板下锚栓插入立板底部预留的锚栓孔内(见图 5(d))；检查立板位置与垂直度后通过螺母垫片将底板和立板锁紧(见图 5(e))；最后用水泥砂浆将立板下部的凹槽(锚栓顶部)填满并抹平，完成挡土墙的拼装(见图 5(f))，随后可进行墙后土的回填与压实施工。

4. 工程应用

浙江 31 省道北延绍兴至萧山段工程大源互通位于绍兴柯桥区。当地经济发达，环境保护意识强，对工程建设土地占用与开山采石等控制非常严格，而且地势平坦、水系发达、地基承载力较小。为了减少土地占用与工后沉降，保证路基支挡结构的质量，设计采用了锚栓联接装配式挡土墙。挡土墙单元长度为 2 m，每个挡墙单元分别由预制底板与立板组成，墙高 H = 4m，其中立板高 3.58 m，顶厚 0.3 m，底厚

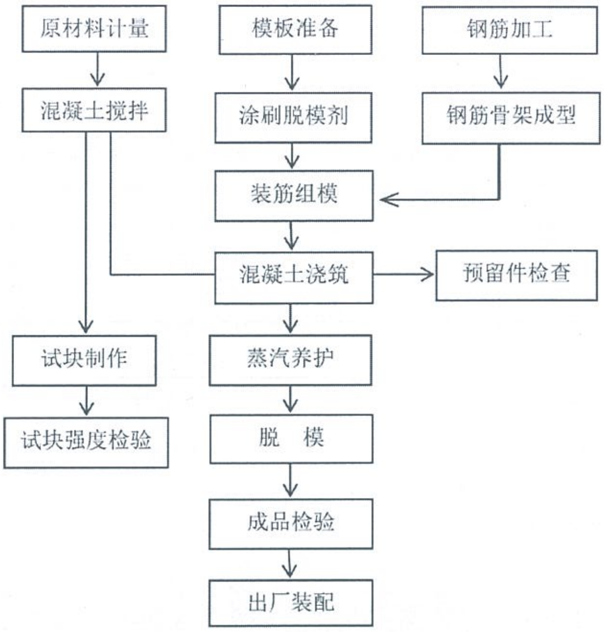


Figure 4. The production process of components
图 4. 构件生产工艺流程

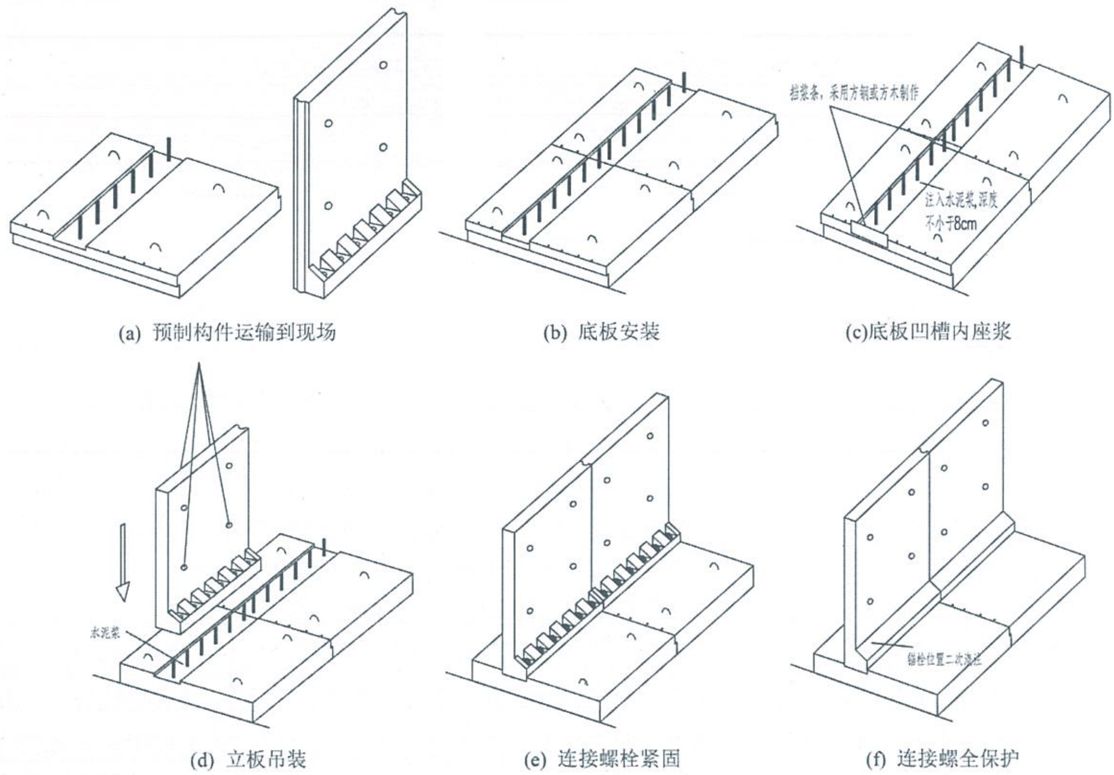
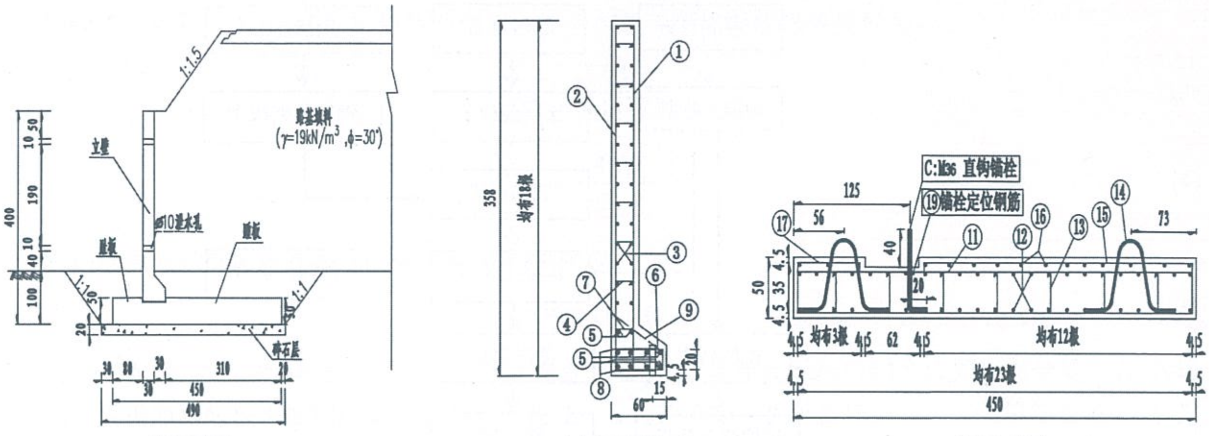


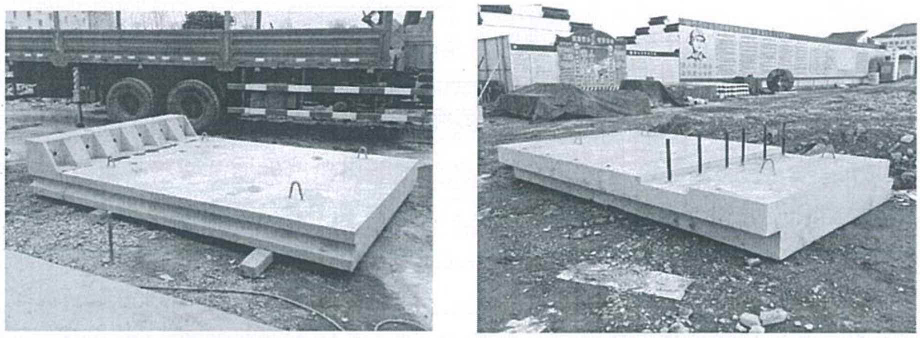
Figure 5. Assembly process of retaining wall
图 5. 挡墙装配工艺

0.6 m；底板长 4.5 m，厚 0.5 m；采用 C30 钢筋混凝土预制而成。图 6 为挡土墙的部分设计图。图 7 为预制后的立板和底板构件。



(a) 横断面图　　(b) 立板配筋图　　(c) 底板配筋图

Figure 6. The design of assembly retaining wall (part)
图 6. 装配式挡墙设计图(部分)



(a) 立板　　(b) 底板

Figure 7. Prefabricated components
图 7. 预制好的构件

5. 结语

标准化、预制化、装配化是工程结构发展重要方向。作为线性工程的挡土墙不仅具有装配化的条件，也容易实现装配化，特别是交通工程、水利工程中，挡土墙的装配化不仅可以有效保证支挡结构的质量，而且现场施工效率高、工人劳动强度低，具有很好的发展前景。本文在对比分析不同联接节点优缺点的基础上，提出了一种预留锚栓联接的装配式挡土墙，分析了锚栓联接装配式挡土墙结构特点、设计计算方法与施工工艺，并进行了工程应用，可为类似工程的设计与建造提供参考。

目前国内外针对装配式挡土墙已经开展了较多的研究，也开发了多种结构形式、多种连接方式的装配式挡土墙。本文提出的这种结构主要特点在于一方面可以进行全装配化，减少现场施工时工作条件差、劳动强度高使施工质量得不到保证的不足，也可以使现场条件进行半预制化(底板现浇、立板预制)，以减少预制件的运输量；另一方面结构没有后浇带，装配式后即可进行墙后填土的施工，无需等待，可有效加快施工进程。但也存在一定的不足，一是预制加工精度要求较高，否则可能使构件连接不顺；二是构件重量比较大，对运输与现场吊装有较高的要求。

基金项目

浙江省交通科技项目(2016041, 2017033)，湖南省自然科学基金(2017JJ2087)。

参考文献

[1] 赵御祺. 悬臂式薄壳挡土墙[J]. 建筑结构, 1981(6): 60-61.
[2] 曾向荣. 部分预制装配式钢筋混凝土挡土墙在城市轨道交通工程中的应用技术[J]. 地铁与轻轨, 2001(4): 24-27.
[3] 张程宏. 装配式挡土墙设计特点及其在市政道路中的应用[J]. 城市道桥与防, 2012(4): 30-32.
[4] 纪文利, 唐广辉. 装配式钢筋混凝土挡土墙的设计与施工[J]. 铁道标准设计, 2003(10): 111-112.
[5] 段铁铮. 装配式挡土墙标准化及系列化问题探讨[J]. 特种结构, 2004, 21(3): 78-81.
[6] 城市道路装配式挡土墙[S]. 国家标准设计, 07MR402.
[7] 张国栋, 蒋陆一, 张玉轻. 装配式挡土墙设计中碰撞力和分段长度浅谈[J]. 市政技术, 2010(2): 31-33.
[8] 孙宝昌. 装配式钢筋混凝土悬臂挡墙[J]. 东北水利水电, 1991(10): 10-15.
[9] 章宏生, 沈振中, 徐力群, 等. 新型装配扶壁式挡土墙的抗震性能研究[J]. 中国农村水利水电, 2017(3): 121-125.

通信时我们对其方式的选择也会受通信距离长度等众多因素的影响，距离较长用光线纤维，反之用聚合物光纤。

3强电对长途光缆通信线路的影响因素

3.1 短期影响

光缆线路一旦出现问题，就会对光缆内部结构产生直接的影响，内部金属组件有着电流流通，出现高温，情况严重的会将光缆外表表层烧坏，信号被减弱，甚至会直接切断通信流通。

3.2 长期影响

光缆通信在上期高压的工作下，会存在着安全隐患问题，光缆长期不对称运行下，强电流会损坏电缆内部结构的金属构件，会导致感应电受损，严重的会有漏电出现。

3.3 干扰影响。

长途电缆在长期不对称的工作状态下，会在光缆的内部产生电动势，有时会有过强电压的产生，干扰光缆通信的信号或者在强电线回路的状态下造成噪音等。对于没有铜线的光缆线路，强电的影响程度是根据光缆外层的绝缘强度决定的。

4长途光缆通信线路的防雷分析

由于光纤材料的不导电性，可以减少电流的影响。为了增加光纤的安全性，通常会加装铠装元件，减少外界因素对光缆的干扰，免受瓦解电磁波对光缆的影响。但是，铠装几乎是金属制品，具有导电性。如果光缆内部电流较大时，或者被雷电击中时，就会产生感应，损坏光缆通信线路。如果光缆自身和被电击时有着过大的电差，就会直接造成光缆线路被炸毁，对光缆线路的影响是不可挽回的。除了这些情况还有工人施工时对线路的损坏，还有施工发生意外也会对光缆元件造成破坏，这些损坏之后形成的弱点就容易被雷电击中。

5 长途光缆防雷与防强电的具体设计

5.1 防雷设计

运用光纤是因为它自身对电的绝缘性可以在具体使用过程中避免电流的冲击，在对一些没有强电磁感地区的防雷线路假设时，要注意设置金属隔层，还需要通过避雷器接地，满足光缆通信线路的防雷要求。在进行长途线路的施工时，一定要保证不同部件之间的连接顺畅，连接的部分要合理安装金属跳线，提高光缆防电防雷的能力，保证不同元件之间的信号传输，以达到最好的防雷设计。

5.2光缆通信线路的防强电措施

光缆通信路线的架设中，是建立在防强电具有安全性的基础上的，路线建设要有一个合理的规划布局，从而提高线路的安全性。在架设的过程中要远离强电线路，如果无法绕开建设的话要采取必要的防强电隔离措施，从而降低安全事故发生的机率。预防措施也是不可少的，对外界介质要进行绝缘处理，这是最好的防强电的方法，提高防电能力。有些情况是长途铺设的电缆接头的金属部件不能与电器件连接，不能进行接地处理，为了增加强度可以用非金属芯或者无金属，通过这种方式进行光缆强度改进。同时要求工作人员要熟悉光缆通信线路架设的防护知识，保护自己在施工工程中不受到伤害。

6.总 结

经过本文对光缆通信线路雷击问题的研究分析，找出被雷击的主要原因，根据自己的研究成果提出可行的解决措施。不同地区的线路架设具有不同的特点，在选择防雷线或者线路架设的时候千万要注意避免金属材料对雷电的诱导。还有一点，在防雷设计的时候要最大可能的把雷电引到离光缆较远的地方，同时也要考虑到对周围环境产生的影响，减少对环境产生的伤害。但是雷电是自然现象，不会因为人为原因就发生变化，因此对防雷措施继续深入研究是必要的，为光缆通信的发展提供有力保障，提高线路的使用年限，减少因为雷电对人类产生的损失，保障通信顺利进行。最后，相信我国光缆通信线路可以取得跨越式的发展。

参考文献

[1] 杨子强．企业计算机网络信息安全管理的重要性 [J]. 中小企业管理与科技（中旬刊），2014.

[2] 张克明．建筑电气强电部分设计的相关问题及应对策略 [J]. 工程技术：全文版，2017（3）：00002.

[3] 林凌．长途光缆传输线路设计与施工探究 [J]. 工程技术：引文版，2016（11）：00056~00057.

[4] 张继锋、韩建华．长途光缆通信线路的防雷设计 [J]. 电子世界，2017（6）：161.

[5] 柳叶彬，宋学健．光缆通信线路遭遇雷击机理及其防雷对策 [J]. 数字通信世界，2016（8）

[6] 李景梅．企业计算机网络信息安全管理的重要性 [J]. 电子技术与软件工程，2014.

[7] 戴双庆．企业计算机网络信息安全管理的重要性研究 [J]. 网络安全技术与应用，2015.

装配式挡土墙设计与施工的关键问题研究

徐健[1] 刘泽[2] 黄天棋[2] 陈丽[2]

1. 浙江省科威工程咨询有限公司 浙江 杭州 310007

2. 湖南科技大学土木工程学院 湖南 湘潭 411201

摘 要： 预制装配化是提高工程结构施工质量和效率的重要途径，但目前挡土墙的预制装配化发展比较慢。在讨论挡土墙预制装配化的优点与可行性基础上，对挡土墙预制装配化设计与施工中的墙型选择、构件连接、单元连接、模板工程、预留件定位控制、运输路径选择与吊装位置等关键问题进行了分析，并给出了问题常用解决方法，为今后挡土墙的装配化设计与施工提供了参考。

关键词： 挡土墙 装配化 关键问题

DOI：10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201806076

Research on the key problems of the design and construction of the assembled retaining wall

XU Jian[1] LIU Ze[2] HUANG Tianqi[2] CHEN Li[2]

1. Zhejiang Kuwait Engineering Consulting Co. Ltd. Hunan Hangzhou, 310007, China;

2.School of civil engineer, Hunan University of Science and Technology, Hunan Xiangtan, 411201, China

Abstract: Prefabricated assembly is an important way to improve the construction quality and efficiency of the engineering structure, but the development of the precast assembly of retaining wall is slow. After discussion the advantages of retaining wall prefabricated and feasibility, some key problems in the process of design and construction of prefabricated retaining wall, such as Wall type selection, component connection, unit connection, template engineering, reservation control of reserved parts, transportation path selection and hoisting position are analyzed, and the methods used to solve the problem are given. It provides a reference for the assembly design and construction of the retaining wall in the future.

Key words: retaining wall; prefabricated construction; design; construction; key problems

正文：

1 引言

挡土墙是公路、铁路、水利、市政等工程领域常见的构筑物，主要用于抵抗墙后的土压力、维护墙后土体与工程结构的稳定性。随着工程建设与研究的不断发展，目前已发展有重力挡土墙、悬臂式挡土墙、桩板式挡土墙、锚杆式挡墙、加筋土挡土墙等许多结构形式等，这些挡土墙各有优缺点与适用条件。因取材方便、工艺简单等优点，工程中重力挡土墙的应用最为广泛，但重力挡土墙存在材料消耗量大、机械化程度低等不足，使得施工时工人劳动强度高、效率低、后期病害多。随着环境保护意识的不断深入与劳动力成本的不断攀升，重力式挡土墙的缺点越来越被突现。

预制化、装配化是现代工程建设的发展方向，是提高工程结构施工质量和效率、降低现场施工人员劳动强度的重要途径。对于挡土墙而言，许多工程技术人员与学者也尝试进行预制化、装配化。石中柱、张文清对预制钢筋混凝土折板挡土墙的设计与施工进行了相关研究[1]。赵御祺结合乌拉尔地区装配式挡土墙的工程经验，提出双曲和锥面薄壳形装配式钢筋混凝土挡土墙[2]。曾向荣在北京城市铁路设计中采用预制装配式钢筋混凝土挡土墙作为路基支挡结构，缩短了挡土墙施工中立模、现浇、养护等施工工序所需的时间[3]。丁录胜为了减小冻土地区基础及墙后填土冻融循环作用对挡土墙的破坏，设计了一种装配式挡土墙[4]。张国栋对装配式挡土墙设计中的碰撞力和分段长度进行了初步分析[5]。中国市政工程西南设计研究院编制了《城市道路-装配式挡土墙》设计图集[6]。这些研究对挡土墙的预制装配化起到了很好的促进作用。本文在讨论挡土墙预制装配化的优点与必要性基础上，对挡土墙预制装配化中设计与施工的关键问题进行了分析，为今后类似工程提供了参考。

2 挡土墙预制装配化的优点

挡土墙的预制装配化是指通过专用模具进行对挡墙构件工厂化预制生产、标准化养护，达到强度后运输到施工现场后进行装配成型，实现挡土墙构件设计标准化、生产工艺标准化、现场施工机械化。与现浇注结构相比，当需求量比较大时装配式挡土墙不仅具有质量保证，同时具有良好的经济性。在公路、铁路、市政、水利等行业，挡土墙往往都是线性工程，不仅需要量大，而且结构形单一，具备预制装配化的基础。现有的工程应用也表明，装配式挡土墙具有良好的经济性。

与传统的现场砌筑或浇注的挡土墙相比，预制装配式挡土墙具有以下优点：

1、质量有保障。挡土墙在工厂或预制场进行标准化预制生产、养护，从钢笼加工、混凝土搅拌、浇注、振捣、到养护、拆模全过程都可以进行标准化管理，有效保障挡土墙构件的质量，解决现场工人劳动环境差、养护设施不足的缺点。

2、材料利用充分、消耗量少。一方面，在质量可以得到保障的前提下，挡土墙的截面设计可以更合理，使挡土墙的体积减小；另一方面，集中生产时混凝土等材料的跑冒滴漏现象可以得到管控，减少不必要的浪费。同时还能节省大量的支架模板等材料的消耗量。

3、现场施工简单、工人劳动强度低。预制养护后的挡土墙构件通过吊装、运输到施工现场即可以进行装配，实现机械化作业，工人劳动强度低，相应一线工人的数量也可以减少。

4、施工不受季节气候的影响，工效高。挡土墙构件在预制厂集中生产，不受外界气候的影响。在现场装配后即可以开展墙后土的回填、碾压作业，可以有效缩短现浇挡土墙所需的立模、养护时间，便于现场施工进度控制。在大批量生产时，在工效得到大幅提高的同时，工程造价得到降低。

3 装配式挡土墙的设计的关键问题分析

3.1 基本墙型选择

结构安全可靠、构件简单轻巧是装配式挡土墙设计应当满足的基本要求。结构安全可靠主要是要求挡土墙装配后安全可靠，不仅要满足抗滑移、抗倾覆稳定性与墙身强度要求，还要保证构件间连接部位的可靠性；构件简单轻巧是要求组成挡土墙的构件形状简单，便于模板加工与混凝土的振捣密实，还要使构件重量得到控制。如果重量过大，不仅预制后吊装困难，要求有大吨位的起重机与运输车辆，而且对运输道路与现场吊装位置地基承载力都有较高的要求。为了满足这两个基本要求，装配式挡墙基本上都是以悬臂式挡墙和扶壁式挡墙具有作用机理清晰、属轻型结构、对地基承载力要求低；结构简单，易于拆分构件化；以钢筋混凝土为主要材料，材料强度可控等优点。因此，现有的装配式化挡土墙研究与工程大都以这两种结构为基础，

若以悬臂式挡墙或扶臂挡墙为基本墙型，其装配化的思路为：先沿挡墙长度方向（路线方向）将挡墙划分为一个个标准长度的挡墙单元，再对挡墙单元进行全预制或部分预制；全预制是将挡墙单元拆分为立板、底板、肋板等构件分别预制（图1），部分预制一般只预制立板、肋板，底板则采用现浇；然后将预制养护好的构件运输到现场进行拼装。挡墙全预制时所有构件均标准化预制，构件质量与施工工期均有保障，但要求预制厂有足够的存放场所，而且构件运输量较大，尤其是挡墙底板一般厚度较大，单个构件重量大，对运输与现场吊装的要求较高。部分预制相对全预制而言，底板为现浇，可以降低全预制挡土墙预制厂场地占用以及运输、安装难度，但由于底板现浇后需要养护，工期较全预制长但较全现浇挡土墙短。

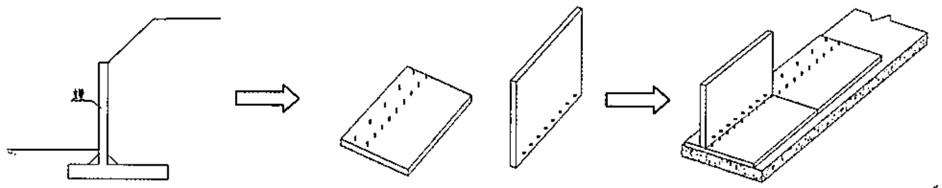

（a）悬壁式挡墙　　(b) 构件拆分与预制　　(c)现场装配

图1 挡土墙构件化

3.2 构件间的连接

如何将拆分后的构件可靠地连接起来是挡土墙装配化的核心。目前挡土墙构件联接方式主有以下几种方式：

（1）预留钢筋（板）焊接法。构件时预制时将连接部位的钢筋预埋在挡墙立板或底中，现场装配时通过焊接或灌浆套筒将预留钢筋连接起来，然后对连接部位进行二次浇注。

在中国市政工程西南设计研究院编制的《城市道路-装配式挡土墙》设计图集中，以扶壁式挡墙基本墙型进行预制设计，挡土墙由现浇底板、顶制面板、现浇帽石等三部分组成，预制面板的肋部预留连接钢板，基础分两次现浇：第一次浇筑0.3m厚，在顶部预埋钢板，用于同面板上的预留钢板焊结；待第一次浇注部分强度达到要求后，吊装并采用电焊将面板上与底板上的预留钢板连接在一起，然后对底板进行二浇注完成挡土墙施工。

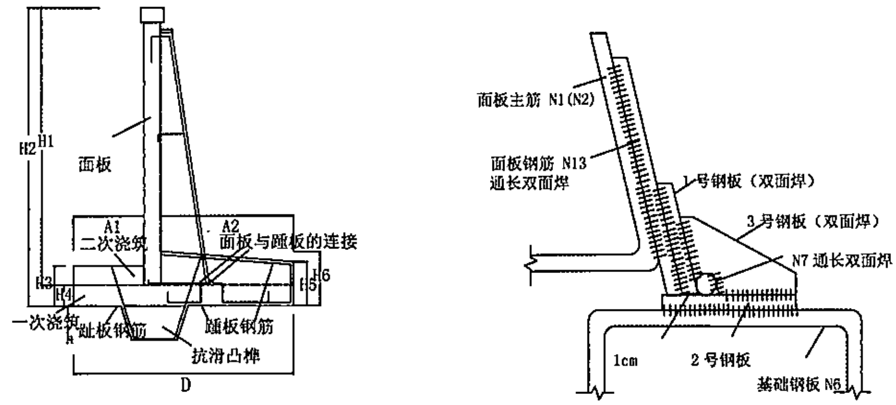


图2预留钢筋（板）焊接法

（2）预留钢筋现浇法。文献[7]将悬臂式挡土墙拆分为预制立板、现浇前趾底板、后趾地板和墙顶4部组成，并在立板预制时将其抗弯受拉钢筋预留出足够的长度，待到后趾底板浇注时将这部分钢筋以圆弧过渡方式伸入到后趾底板中。在设计时，立板抗弯受拉钢以圆弧方式过滤到底板中，既要满足过滤区立板和后趾底板抗弯强度要求，还要满足钢筋对混凝土冲切及沿钢筋弯曲部分混凝土抗拉强度要求。

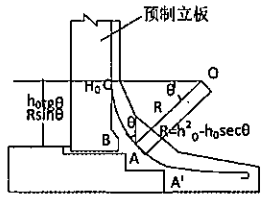


图3预留钢筋现浇法

（3）叠合板法。文献[8]结合宿迁市马陵河整治工程建设，以扶壁式挡土墙为基础，将其分解为底板、面板和扶壁等构件，底板现浇，面板和扶壁板则采用预制双面叠合混凝土板组成。施工时，在现浇底板采用输助支撑将预制叠合板拼装在一起，然后往叠合板内浇注内芯混凝土最终形成完整的挡土墙。文献[9]还对这种挡土墙进行了有限元分析，认为这种结构新老混凝土间的剪应力、拼接缝处面板拉应力等都可以满足工程需要。

3.3 单元间的连接

挡土墙的分段长度一般为10-20m，可由若干个挡墙单元拼装而成。由考虑运输、吊装设备的能力，目前挡墙单元的长度一般为1.5m-2m。如何解决单元之间连接，使挡墙单元拼装后能形成一个整体是装配式挡墙设计需要考虑的关键问题之一，尤其是在工程地基存在不均匀变形或变形量大的场合。

若挡土墙底板采用现浇结构，挡墙分段长度内底板为一整体，单元间的连接主要是相邻面板构件的连接，连接可以比较简单，可以平面相接，也可以将相邻面板侧面设计凹凸结构，使相邻面板相互嵌合。面板长度宜比标准单元长度小1~2cm，以防止因面板加工误差造成安装困难。若挡土墙为全预制结构，单元间的连接对挡土墙整体性的影响比较大，不仅面板间应当考虑如何连接，底板间也应考虑合理的连接方式。解决的方法主要有：一是将底板与面板错开安装，使一块面板构件跨两板底板构件，即直接利用底板、面板自身将分段内的各单元构件连接在一起。这样连接强度高，但会造成分段长度内挡墙两端各需要预制一个半宽的面板，使模板种类增加，且挡墙单元加工精度要高，否则会因积累误差造成挡墙构件无法安装。二是将底板断面形状设计为台阶状，使相邻底板相互叠合，再通过连接螺栓、钢筋类的构件连接成一个整体，连接强度将比前者小，但可以减小模量种类，构件加工误差的累积效应也较前者小。三是在底板预留连接钢筋，挡墙单元拼装后进行二次浇注，连接效果比较好，使存在后浇带，挡墙拼装后不能马上进行墙后填土作业。

4 装配式挡土墙施工中的关键问题分析

4.1 预制中的关键问题

高质量的预制生产是挡土墙装配化的目的也是现场施工能否顺利进行的前提。装配式挡土墙的构件预制生产流程见图4。构件预制流程的中各个环节都可能对挡墙质量造成影响，但装配式挡墙构件的生产工艺与其它预制混凝土构件的生产基本相同，诸如原材料计算、钢筋加工、混凝土搅拌、浇注、养护、脱模等工序质量的控制要求也没有特殊性，但在施工时以下几个问题还是要加以控制。

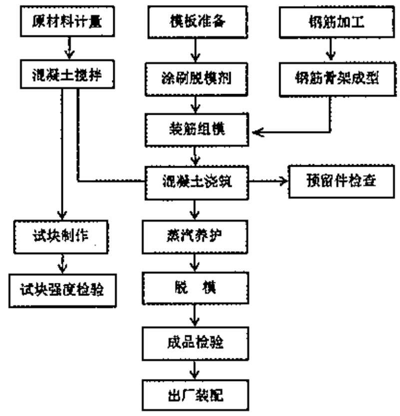


图4 构件生产工艺流程

1、模板工程。混凝土需要在模具中成型，因此模板是决定装配式挡墙构件质量的基础。装配式挡墙的构件一般比较大，生产时量也比较大，模板一般都要采用钢模，有条件时应采用液压钢模。在钢模加工时要充分注意混凝土浇注时可能造成模板变形，使预制出来的构件尺寸偏差比较大，因而加工钢模的钢板不宜太薄，对于长大的平面部位，应采用肋板加固以提高模板的刚度。

2、预留件的定位控制。预留件往往用于构件间的连接，其位置直接影响到构件在现场拼装是否能顺利进行。因此，在构件预制时预留件的位置控制非常重要。一方面，在钢筋加工时要控制预留件的尺寸与位置，保证预留件焊接、绑扎的可靠性；另一方面，在混凝土浇注时要对预留件的位置进行反复构对，避免因混凝土流动与振捣使预留件跑偏。有条件时应设计专用模具对预留件进行定位控制。

4.2 吊装时的关键问题

装配式挡墙一般在工厂或预制场集中预制，合格后再运输到施工现场装配成型。因此，运输吊装是实现挡土墙装配化的最终环节。与常规道路运输与工程吊装相比，装配式挡墙运输与吊装时的关键问题主要有运输路径确定、现场吊装位置选择等。

1、运输路径确定。工程建设时，材料设备一般都是通过施工便道进入施工现场。施工便道条件差，而装配式挡墙构件一般重量

比较大，对道路要求比较高。要充分分析预制厂与施工现场之间的道路交通条件（如交通管制、桥涵限高限载、道路拐弯半径、便道承载力等）设计合理的运输路径，并选择合适的运输车辆以保证构件能顺利运输到现场。

2、现场吊装位置。施工现场条件比较差，尤其是挡土墙施工工点往往地形高差大，起重设备可能需要在没有完成支挡防护的陡坡坡顶进行作业，或是在软弱地基吊装，易造成起重设备的支脚下陷，引起设备侧翻。因此，构件现场吊装时要采取有效措施确保施工人员与设备的安全。

5 结语

标准化、预制化、装配化是工程结构发展重要方向。作为现线工程的挡土墙不仅具有装配化的条件，也容易实现装配化，特别是交通工程、水利工程中，挡土墙的装配化不仅可以有效保证支挡结构的质量，而且现场施工效率高、工人劳动强度低，具有很好的发展前景。本文对装配式挡土墙在设计与施工中的一些关键问题进行初步探讨，以期对今后相关工程的设计与施工有所帮助。

参考文献

[1] 石中柱、张文清. 预制钢筋混凝土折板挡土墙的设计与施工[J]. 市政技术, 1982.

[2] 赵御祺. 悬臂式薄壳挡土墙[J]. 建筑结构, 1981, (6): 60-61.

[3] 曾向荣. 部分预制装配式钢筋混凝土挡土墙在城市轨道交通工程中的应用技术[J]. 地铁与轻轨, 2001, (4): 24-27.

[4] 丁录胜. 冻土地区拼装式挡土墙设计[J]. 路基工程 2008, (2):189-191.

[5] 张国栋, 蒋陆一, 张玉轻. 装配式挡土墙设计中碰撞力和分段长度浅谈[J]. 市政技术, 2010, (2):31-33.

[6] 城市道路装配式挡土墙. 国家标准设计, 07MR402.

[7] 孙宝昌. 装配式钢筋混凝土悬臂挡墙[J]. 东北水利水电, 1991, (10): 10-15.

[8] 章宏生, 沈振中, 徐力群, 等. 新型装配扶壁式挡土墙的抗震性能研究[J]. 中国农村水利水电. 2017, (3):121-125.

[9] 叶兴成, 刘益志, 章宏生. 新型装配扶壁式挡土墙结构设计与施工工艺[J]. 江苏水利, 2017, (5):38-40.

作者简介：徐健，1979.03-，高级工程师，要从事高速公路咨询、设计与科研。

基金项目:浙江省交通科技项目（2016041，2017033）,湖南省自然科学基金（2017JJ2087）

（上接第102页）

块状岩类裂隙水（基岩裂隙水）埋深较大，主要赋存于强风化及中风化岩石风化裂隙中，其透水性和富水性与岩石受裂隙发育程度成正比，储水量较贫乏，地下水补给来源主要由地势较高处渗流补给，以向低处渗流和地下水开采作为它的主要排泄途径，地下水迳流地质条件差，水位水量受季节性影响较小，地下水动态变化较小。

场区及其附近地下水开采量较少，未形成区域水位降落漏斗，地下水补给、径流、排泄条件及地下水动态保持天然状态。

根据水样分析，地下水对混凝土结构弱腐蚀；对钢筋混凝土结构中的钢筋微腐蚀；对钢结构有微腐蚀。水文地质条件简单，对工程建设影响较小。

6 工程地质条件

本区岩土层主要由第四系地层和人工填土层及基底的石英二长岩构成，据换流站场区钻探资料，在50m深度内，根据土的地质成因、物理力学性质和岩石的风化程度等特征，岩土层自上而下划分为10个层次，人工填土层：①素填土，棕黄色、灰棕色，主要分布于场地西侧，由粉质粘土、砂质粘性土和粒径20~400mm占10~30%的碎石、块石等堆填而成，欠压实，层厚0.20~4.21m。第四系全新统冲洪积层：主要分布于场地西侧，②粉质粘土，灰黄色、灰白色，可塑，中压缩性，层厚1.42~5.65m，地基承载力特征值f_{ak}=150kPa；③淤泥质土，褐灰色，局部分布呈透镜层，流塑，高压缩性，层厚1.40~1.98m，地基承载力特征值f_{ak}=75kPa；④细砂，灰白色，局部分布呈透镜层，饱和，松散，层厚0.86~1.42m，地基承载力特征值f_{ak}=130kPa。第四系全新统坡积层：主要分布于场地东侧，⑤粉质粘土，灰褐色、灰黄色，可塑，中压缩性，层厚1.00~3.50m，地基承载力特征值f_{ak}=170kPa。第四系全新统残积层：⑥砂质粘性土，灰黄色、棕灰白色，可塑~硬塑，中~低压缩性，层位分布稳定，层厚1.40~8.10m，地基承载力特征值f_{ak}=230kPa。基底岩石：⑦全风化石英二长岩，棕灰黄色、褐黄色，原岩矿物除少量石英外已基本风化为粘土矿物，岩芯呈土状，层位分布稳定，层厚0.79~7.13m，地基承载力特征值f_{ak}=350kPa；⑧强风化石英二长岩，棕灰色、褐棕色、浅灰色，部分组分风化为粘土矿物，岩芯呈土状、碎屑状、碎块状，层位分布稳定，层厚1.17~16.86m，地基承载力特征值f_{ak}=850kPa；⑨中风化石英二长岩，棕灰色、浅灰色，斑状结构，块状构造，岩石裂隙发育，岩芯较破碎，部分呈块状及短柱状，层位分布稳定，层厚1.60~6.85m，岩石试样饱和单轴抗压强度平均值为37.7~52.2MPa；⑩微风化石英二长岩，灰斑白色、青灰色，斑状结构、块状构造，矿物成分以石英、斜长石及钾长石为主，岩芯较完整，呈中长柱状及部分短柱状，偶见岩石节理裂隙，部分裂隙面见有铁锰质渲染，岩石坚硬，层位分布稳定，未揭穿，揭露厚度3.60~5.15m，岩石试样饱和单轴抗压强度74.0~131.6MPa。

第①层为松散填土层，土质不均匀；第③层为流塑状高压缩性淤泥质土层；第④层细砂为松散的饱和砂土层，具有饱和砂土震动液化和渗流液化的较高势态，利用标准贯入试验对饱和砂土层进行地震液化判别，验算结果为可液化砂土，在遭受地震时具有饱和砂土地震液化现象，液化指数I_{LE}=1.70~2.19，液化等级为轻微液化；上述土层工程力学性质较差；基底岩层第⑨层中风化石英二长岩和第⑩层微风化石英二长岩，工程力学性质较好，力学强度高；其它岩土层的工程力学性质、层位分布、埋深及厚度变化较大，岩土体工程地质特征复杂程度中等，工程地质条件中等，对工程建设施工有较大影响。

7 人类工程活动对地质环境的影响

换流站场区位于丘陵坡地前缘及山凹谷地过渡地带，工程建设之前，自然地貌保持良好，地表植被茂盛，水土流失现象不明显。工程建设期间，需要平整场地、修筑道路、开挖山体等，在丘陵坡地东侧挖方区一带，由于挖土使地表植被及原土体结构遭受破坏，易形成的不稳定斜坡，若不采取措施加以防护，在强降雨和坡面岩土体充水软化及岩土体自重等共同作用下，则易产生边坡崩塌；在场区西侧填方区一带及修筑道路两侧，形成填土边坡，最高边坡高度为6.5m，若没有采取可靠措施加以防护，在工程荷载和雨水冲刷作用下，有可能引起填土边坡崩塌及水土流失。场区各岩土层在水平及垂直方向分布的不均匀性，工程力学性质变化较大，特别是对于采用浅基础建筑物，由于地基可压缩层厚度变化及其不均匀性，可能产生不均匀沉降及建筑地基变形和地面沉降。人类工程活动对地质环境的影响中等。

8 结论

根据对广东省南澳县隆东换流站建设用地及其周围地质环境条件的调查，对影响地质环境的各类主要因素及其基本特征进行分析，广东省南澳县隆东换流站场区地形地貌条件中等，水文地质条件简单，工程地质条件中等，地质构造条件简单，区域地壳基本稳定，气象水文、地震等自然灾害对工程建设有较大影响，人类工程活动对地质环境的改变程度中等，地质环境条件复杂程度为中等级别。

◆国家新闻出版广电总局认定的首批学术期刊
◆中国科技论文统计源期刊（中国科技核心期刊）
◆中国学术期刊（光盘版）全文收录期刊
◆中国核心期刊（遴选）数据库全文收录期刊

ISSN1001-523X
CN 11-2178/TU
5
2020
第47卷第5期
VOL.47 NO.5

建筑技术开发

BUILDING TECHNOLOGY DEVELOPMENT

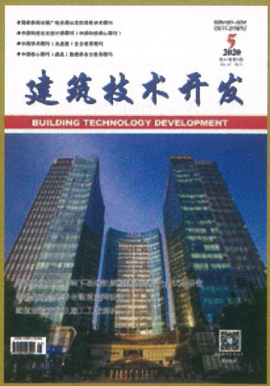
周边地块开挖影响下某地铁盾构隧道结构安全状态研究

适老化理念的养老建筑空间设计

隧道超前支护及施工工艺解析

ISSN 1001-523X
05>
9 771001 523201

建筑技术开发杂志
官方微信



建筑技术开发

1974年创刊（半月刊）

第47卷第5期（总第431期）　2020年3月15日出版

中国科技论文统计、核心期刊
华北地区优秀期刊
北京市优秀科技期刊

主　　管：北京建工集团有限责任公司
主　　办：北京建工集团有限责任公司
出　　版：《建筑技术》杂志社有限责任公司
主　　编：徐家和
编　　辑：张晗暄　李善祥　张淑凤　孙丽娟

地　　址：北京市广莲路1号建工大厦A座9层（100055）
电　　话：010-6392 8687　5842 4499　5842 4949
传　　真：010-6851 2449
E-mail：jzjskftg@126.com

广告总代理：北京鸿业国际文化传媒有限公司
印　刷：北京建筑工业印刷厂
发　行：北京市报刊发行局
邮发代号：82-230
中国标准连续出版物号：ISSN 1001-523X / CN 11-2178/TU
广告发布登记号：京西工商广登字20170160号
定　价：每册15.00元

建筑技术开发　2020年第5期　CONTENTS　目次

建筑结构 Building Structure

建筑设计 Architectural Design

施工技术 Construction Technology

Building Structure

Architectural Design

Construction Technology

Building Management

Municipal Engineering

Engineering and Technology

Building Economy

Roads and Bridges

Safety and Quality

Building Energy Conservation

Foundation and Basement

3D打印在装配式挡墙设计中的应用研究

方勇刚[1]，刘 泽[2]，白 宁[2]

（1.浙江省交通规划设计研究院有限公司，杭州 310011；2.湖南科技大学土木工程学院，湖南湘潭 411201）

［摘 要］构件设计的合理性直接影响装配式结构设计方案的可行性与施工难度。为了检验预制构件设计的合理性，在3D打印新型装配式挡土墙模型的基础上，开展了结构装配验证和方案优化。结果表明，采用3D打印预制构件对装配式结构设计方案进行验证，不仅具有效率高、成本低、节省材料等优点，而且便于对设计方案进行结构优化与施工工艺检验。

［关键词］3D打印；装配式结构；模型验证

［中图分类号］TU 27；TU 364 ［文献标志码］A ［文章编号］1001–523X（2020）05–0015–02

Research on Application of 3D Printing in Design of Assembled Retaining Wall

Fang Yong-gang，Liu Ze，Bai Ning

［Abstract］The rationality of component design directly affects the feasibility and construction difficulty of the design scheme of assembly structure. In order to verify the rationality of prefabricated component design，structural assembly verification and scheme optimization were carried out on the basis of 3D printing of a new type of assembled retaining wall model. The results show that using 3D printing prefabricated components to verify the design scheme of assembly structure not only has the advantages of high efficiency，low cost and material saving，but also facilitates the structural optimization and construction process inspection of the design scheme.

［Keywords］3D printing；assembly structure；model validation

结构装配化是建筑工业化的主要特征之一。随着现代工程建设不断发展，工程结构越来越大型化、复杂化，对构件的要求也越来越高，如何检验构件设计方案是否合理成为装配式结构设计的重要问题。目前检验方法主要有模型试验法和信息模型法2类，前者根据设计图纸，利用钢筋混凝土等建筑材料建造出一个小比例模型，不仅可检验构件的结构设计与材料选择，还可对整个施工工艺进行验证，及时发现构件在制造与装配过程中可能出现的各种问题，但模型制作过程复杂，周期长，成本高；后者利用计算机系统进行三维建模，再进行模拟装配，具有效率高、成本低的优点，但是直观性不足，不能更好地发现在制作加工时可能出现的一些问题。近年来，随着3D打印技术的兴起，利用3D打印技术进行装配式结构辅助设计引起了设计人员的重视并进行了尝试[1–5]，结果表明，采用3D技术进行产品辅助设计时具有效率高、成本低、直观性强、模型体积小精度高、便于展示讲解等诸多优点。

1 3D打印技术的基本原理

3D打印是一种“增材制造”技术[6–8]，按照零件或物体的三维模型数据，通过软件分层离散和数控成型系统，使用激光或紫外光或热熔喷嘴等方法将金属粉末、陶瓷粉末、塑料等材料进行逐层堆积粘结，最终叠加成型，制造出实物模型。其产品成型的基本过程如图1所示，先设计出所需零件的计算机3D模型，然后依据工艺要求，按一定规则将该模型离散为一系列有序的单元，通常在Z轴方向将其按照一定的厚度进行离散（即分层切片），把原来的三维CAD模型变成一系列的层片，再根据每个层片的轮廓信息，输入加工参数，自动生成数控代码；最后由成型机制造出一系列层片并自动将其粘结起来，得到一个3D物理实物物体。

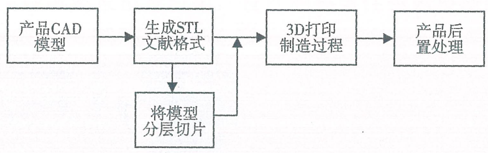


图1 3D打印的基本流程

近年来，3D技术打印在医疗和工业产品设计与定型方面等深受关注，在土木工程中的应用也越来越多，不仅被用于结构设计与构件性能研究，一些国家甚至已经采用3D直接打印桥梁等工程结构用于实体工程。

2 基于3D打印的新型装配式挡墙设计方案验证

2.1 工程背景

受环境保护、资源控制、施工周期以及建筑物工后沉降控制等多种因素的影响，浙江31省道大源互通区路基挡墙拟采用装配式结构，基本思路为：先将悬臂式挡墙按标准长度（2 m）划分为一个个挡墙单元，再将挡墙单元在立板和底板相交处拆分为立板和底板构件，并在底板上预留锚栓、在立板底部预留锚栓孔；在预制场将立板和底板分别预制养护后运输到施工现场，先将底板就位，再将立板吊起使其下部的锚栓孔对准底板上的锚栓然后放下立板，通过联接螺母将两者联接在一起。装配式挡墙的初步设计方案中，设计墙高为4 m，其中立板高3.58 m，顶厚0.3 m，底厚0.6 m；底板长4.5 m，厚0.5 m；采用C30钢筋混凝土预制而成。该装配式挡墙从外观上看比较简单，但连接节点的设计是该方案的难题：将构件间的联接节点设置在结构受力最大的位置，连接结构的受力是否合理，施工便利性如何；单元之间采用何种连接方式才能保证结构的整体性和适宜地基的不均匀沉降。为对这些问题有一个直观的了解，将设计方案变成实物模型显然是最

收稿日期：2019–09–23

基金项目：湖南省自然科学基金项目（2017JJ2087）；浙江省交通科技项目（2016041，2017033）

作者简介：方勇刚（1978—），男，湖北黄梅人，高级工程师，主要研究方向为公路交通设计。

有说服力的，同时有了实物模型也能更好的展示该方案的可行性与优势，有利于方案顺利通过专家的评审。为此，项目组想到利用3D打印打术进行辅助设计。

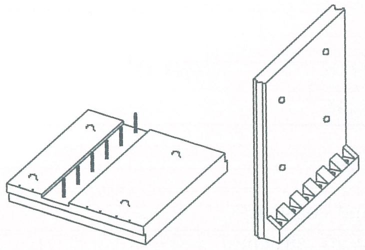
2.2 装配式挡墙3D模型打印

本次研究所采用的3D打印机是北京太尔时代公司所生产的up系列打印机，该打印机以ABS塑料为打印介质，打印速度为10~100 cm^3/h，最大成型尺寸为140 mm×140 mm×135 mm。该打印机设计有配套操作软件up studio，采用可视化操作，可以很方便的将由AutoCAD设计的模型导入并自动进行离散分层。

装配式挡墙3D模型打印的过程如下。

2.2.1 三维模型制作

根据设计图纸，利用CAD按照比例绘制底板、立板的三维模型，如图2所示。



（a） （b）

图2 底板和立板模型示意

（a）底板；（b）立板

2.2.2 打印预制构件

启动up studio软件，载入挡配式挡墙的三维模型，初始化打印机，设置打印参数，模型进行分层处理（该模型被自动划分为303层），随后可进行打印，图3为打印过程。

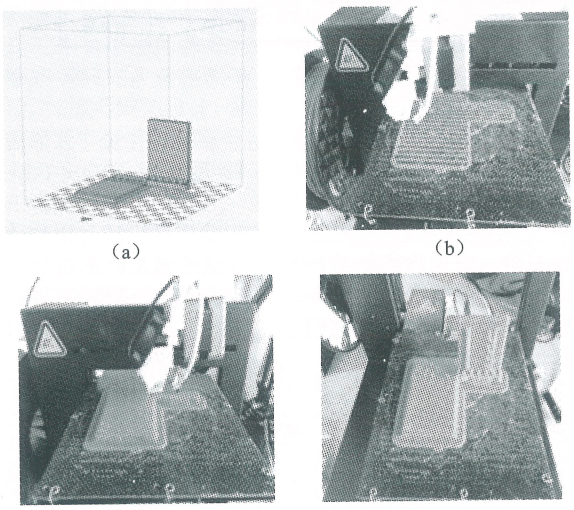


图3 三维模型打印过程

（a）模型建立；（b）开始打印；（c）底板打印；（d）立板打印

2.3 装配式挡墙设计方案验证

打印完成后，从打印机上取下底板和立板的实物模型，再对打印出来的底板模型和立板模型进行细节检查与装配方案检验。从装配验证结果来看，设计方案是可行的，但有些细节还值得进一步优化。

（1）底板和立板接合面宜采取有效措施消除安装后的间隙以避免有害水的侵入。

（2）相邻底板之间宜设计一定的搭接结构以保证挡墙单元之间的整体性。

（3）锚栓和锚栓孔之间的宜有较大的间隙，以防止因施工误差使两者装配困难。

（4）挡土墙临空侧（外侧）可以设计一定的装饰图案进行美化。

结合装配式挡墙的3维模型，项目组开展多次方案讨论，对上述问题提出了相应的解决方案。

3 新型装配式挡土墙的工程应用

经过优化后的装配式挡墙设计方案最终得到评审专家的认可，随后该方案在31省道大源互通区C匝道（CK0+022~CK0+062）和D匝道（DK0+275~DK0+315），后诸互通A匝道（AK0+373~AK0+438）3个位置得到实施。图4~图7分别预制好的立板、底板、挡墙吊装和安装好的挡土墙。

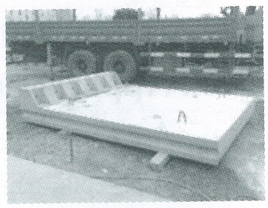


图4 预制好的立板

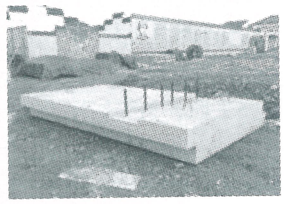


图5 预制好的底板

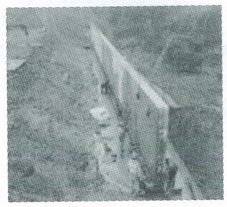


图6 吊装中挡土墙

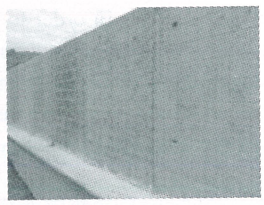


图7 装配好的挡土墙

4 结束语

3D打印技术是正在迅速发展的一项集计算机、数控技术、新材料以及机械技术等学科为一体的先进制造技术。通过分析3D打印技术在装配式结构中的应用，不难发现，3D打印辅助设计在装配式结构设计中有很大的用处，对于装配式结构设计是否合理，通过3D打印技术可以快速打印出装配式构筑的三维实体模型，可快速模拟装配，避免了传统检查方法的一些不足。

参考文献

[1] 刘蔚然 .3D 打印建筑技术的应用 [J]. 科技风，2018，（8）：66–68.
[2] 陶雨濛，张云峰，陈以一，等 .3D 打印技术在土木工程中的应用展望 [J]. 钢结构，2014，29（8）：1–8.
[3] 朱嘉辉 . 探究 3D 打印技术在建筑领域的应用及展望 [J]. 建筑技术开发，2018，45（5）：77–78.
[4] 张武村 .3D 打印技术在土木工程中的应用展望 [J]. 建材与装饰，2017，（27）：136–137.
[5] 宫立鸣，朱彦丰 . 绿色建筑新契机——3D 打印建筑 [J]. 门窗，2016，（8）：57.
[6] 吕鉴涛 .3D 打印原理、技术与应用 [M]. 北京：人民邮电出版社，2017.
[7] 张巨香，于晓伟 .3D 打印技术及其应用 [M]. 北京：国防工业出版社，2016.
[8] 戴朋 . 增材制造技术原理及其在建筑行业的应用研究 [D]. 镇江：江苏大学，2016.
[9] 龙航 . 国外先进 3D 打印技术案例参考 [J]. 杭州科技，2013（5）：53–57.
[10] 葛杰，白洁，杨燕，等 .3D 打印配筋砌体墙承载力试验研究 [J]. 建筑材料学报：1–10
[11] 王建军，刘红梅，倪红军，等 .3D 打印技术在建筑领域的应用现状与展望 [J]. 建筑技术，2019，50（6）：729–732.
[12] 苏有文，李超飞，杨婷惠，等 .3D 打印混凝土技术的建筑工程应用研究 [J]. 建筑技术，2017，48（1）：98–100.