

预制装配式基坑支护体系的设计与应用研究

姚哨峰 傅国强 徐晓斌 黎剑华 董勤喜*

广州铁路职业技术学院 广东 广州 511300

摘要:随着城市建筑与路桥交通建设向高层化、地下化发展,基坑工程对施工效率、环保性的要求日益提高。传统基坑支护体系存在造价高、不可重复利用、拆除难度大等问题,预制装配式基坑支护体系主要由标准化生产的钢支撑、连接节点和竖向支撑组成,具有受力明确、构造简单、施工质量易控以及可重复利用等优点,兼顾结构性能、施工工期且成本可控,在环保要求越来越高的今天具有广阔的应用前景。本文阐述其设计原理与关键技术,结合工程案例验证其效益,为基坑工程技术升级提供参考。

关键词: 预制装配式; 基坑支护; 设计原理; 施工工艺; 工程应用

1 引言

随着城市建筑与路桥交通建设向高层化、地下化发展,各大城市高层、超高层建筑以及各类地下工程如地下商场、人防工程、地下轨道交通、地下车库和地下市政管线设施等大量涌现,这使得基坑工程的规模和数量不断增加。在地下结构建造的基坑施工过程中,基坑支护结构的科学选择对工程安全和造价影响明显,这一因素与基坑的稳固状态、周边环境的安全保障,以及工程的成本控制和施工进度均存在直接关联。早期, Terzaghi根据理论分析与工程实践经验,提出总应力法来预估基坑工程土方开挖稳定性,特别是Peck通过理论推导提出相应支撑荷载的计算评估方法,该方法在20世纪60年代改进后一直沿用至今。侯学渊通过有限元的模拟计算并结合上海市工程实例,对造成基坑周边地表沉降的各类因素展开了深度剖析,系统总结出坑外地表沉降的规律,并提出了估算方法。然而,传统的基坑支护体系,如常用的钢筋混凝土内支撑或钢内支撑,存在诸多弊端。钢筋混凝土内支撑虽刚度较大,但一次性投入成本高,且拆除困难,难以重复利用;钢内支撑虽安装

相对便捷,但在复杂工况下,其稳定性和变形控制能力有时难以满足要求,且同样存在拆除后难以再次使用的问题。除此之外,由于基坑支护结构通常为临时设置,目前业内常用于拆除内支撑的爆破拆除与机械拆除两种方式均存在明显不足。其中,爆破拆除虽能实现较高的施工效率,但存在较大安全隐患,易对周边环境产生不良影响,且炸药的严格管控及运输环节也存在诸多不便;机械拆除虽安全风险较低,却存在施工进度缓慢、人力与物资消耗量大的问题。基于此,开发一套可循环使用、兼具经济性与高效性且便于施工的装配式基坑支护系统,已成为工程领域亟待解决的问题。基于上述背景,本文对预制装配式基坑支护体系设计原理与关键技术进行详细阐述,通过理论分析及实际工程案例介绍,对其可行性、技术特点及力学性能进行深入研究,旨在为建筑和道路桥梁、轨道交通等项目的基坑工程提供一种更为优化的支护解决方案。

2 预制装配式基坑支护体系的组成与设计

2.1 体系组成

装配式基坑支护系统的核心组成部分包括标准化生产的钢支撑、连接节点及竖向支撑。具体来看,钢支撑与连接节点均通过工厂预制完成,这一方式显著提升了生产效能与构件品质。为保证节点拥有充足刚度以高效传递轴力、剪力和弯矩,其内部专门增设了加劲肋结构。同时,连接节点采用灵活化设计,可与不同走向的水平支撑相衔接,从而适配各类复杂基坑形态中不同角度钢支撑的连接场景。在实际工程应用中,标准化的构件设计,便于在工厂进行大规模生产,同时也方便了施工现场的安装和拆卸。竖向支撑采用竖向钢管柱,与水平撑杆通过特定的连接节点相连,共同构成稳定的支护结构体系。

作者简介: 姚哨峰,男,1990年11月生,河南汝州人,博士研究生,高级工程师职称,研究方向为轨道交通、基坑与边坡工程、土木工程减灾防灾与应急救援,邮箱: ifengfire@163.com

通讯作者: 董勤喜,1967年9月生,工学博士,二级教授,日本工程院外籍院士,主研高性能计算,轨道交通,防灾减灾、智能监控,邮箱: dongqinxi@hainanu.edu.cn

基金项目: 广州铁路职业技术学院新引进人才科研启动项目(编号暂无);隧道工程灾变防控与智能建养国家重点实验室开放基金课题(批准号: TESKL202436);国家自然科学基金面上项目(No.42277130)

2.2 连接节点设计

连接节点是预制装配式基坑支护体系的关键部位，其性能直接影响整个体系的稳定性和承载能力。设计连接节点多采用柱筒式结构，该节点包含连接钢管、若干水平外伸短臂及若干竖向外伸短臂。其中，水平外伸短臂与竖向外伸短臂均与连接钢管外部固定相连，水平外伸短臂的作用是与预制水平撑杆相接，竖向外伸短臂则用于连接竖向钢管柱，而预制水平撑杆与竖向钢管柱之间的连接均借助柱筒式节点实现。在节点设计过程中，通过详细的力学分析，可以确定各部分尺寸和构造细节。例如，连接钢管的管径和壁厚根据所承受的最大荷载进行设计计算，以确保其具有足够的强度和稳定性；经过了反复的优化和验证可以确定水平外伸短臂和竖向外伸短臂的长度、截面尺寸以及与连接钢管的连接方式。为进一步提高节点的承载能力和可靠性，在节点内部可设置加劲肋，布置方式和尺寸同样经过精心设计，以有效增强节点在传递轴力、剪力和弯矩时性能。

2.3 设计原则与方法

在预制装配式基坑支护体系的设计过程中，遵循了严格的原则和方法。首先，充分考虑基坑的工程地质条件、周边环境以及施工工艺等因素，确保支护体系的设计方案切实可行且安全可靠。例如，对于地质条件复杂、地下水位较高的基坑，在设计钢支撑的布置和选型时，充分考虑了土体的侧压力、水压力以及可能出现的渗透破坏等因素，采取相应的加强措施。在钢支撑的设计方面，根据基坑的形状、尺寸以及所承受的荷载大小，合理确定钢支撑的截面形式和尺寸。采用结构力学和材料力学的方法，对钢支撑进行内力计算和强度、稳定性验算。对于受压钢支撑，按照压杆稳定理论进行设计，确保其在承受较大压力时不会发生失稳破坏。同时，考虑到施工过程中的各种不利因素，如施工荷载的不确定性、安装误差等，在设计中适当增加了一定的安全储备。

连接节点的设计则基于详细的节点受力分析，采用有限元分析软件对节点在各种荷载工况下的受力情况进行模拟，优化节点的几何形状和构造细节，确保节点在传递荷载时的可靠性和有效性。此外，在设计过程中，还充分考虑了节点的施工便捷性，使节点的组装和拆卸操作简单易行，能够满足施工现场高效施工的要求。竖向支撑的设计同样依据其受力特点和基坑的整体稳定性要求进行。竖向支撑不仅要承受来自水平钢支撑传递的竖向荷载，还要抵抗土体的侧压力和可能出现的不均匀沉降等不利影响。因此，在设计竖向支撑的截面尺寸、

材料强度以及与基础的连接方式时，综合考虑了多种因素，以确保竖向支撑能够为整个支护体系提供稳定可靠的竖向支撑力。

3 工程实例应用与效果

上海市某机场改建工程的基坑工程位于机场运营的一号、二号跑道之间，T0、T3、T4垂直联络滑行道以南，且上跨南进场路T1、T2主线地道。地上建筑部分为S1地上6层、S2地上5层，地下1层混凝土框架结构建筑面积为573237平方米，其中地上建筑面积517513平方米，地下建筑面积55724平方米，还包括固定登机桥建筑面积47885平方米，总计621123平方米。某单体基坑工程长156m、宽46m，最大深度为10.6m。场地地质条件较为复杂见图1所示，上部主要为杂填土、粉质黏土，下部为粉土、砂土等。地下水位较高，对基坑支护和施工带来了一定的挑战。周边环境复杂，临近既有建筑物和城市主干道，对基坑变形控制要求严格。根据工程特点和要求，采用了本文开发的预制装配式基坑支护体系，预制水平撑杆构件采用长7m、8m或10m的标准长度直杆，所有钢管构件的截面均为直径500mm、壁厚20mm的圆管。在施工过程中，首先进行地下连续墙的施工，确保基坑的止水和围护功能。然后，按照设计方案，在工厂预制钢支撑和连接节点，并运输至施工现场进行组装。在基坑开挖过程中，严格按照设计的分步开挖方案进行操作，每完成一层开挖，立即安装相应的钢支撑，确保基坑在施工过程中的稳定性。在支撑安装过程中，注重对支撑的垂直度和节点连接质量的控制。采用高精度测量仪器对支撑的安装位置和垂直度进行测量和调整，确保支撑能够准确地承受荷载。同时，对节点连接部位进行严格的质量检查，确保螺栓拧紧力矩符合设计要求，加劲肋焊接牢固，以保证节点的连接可靠性。

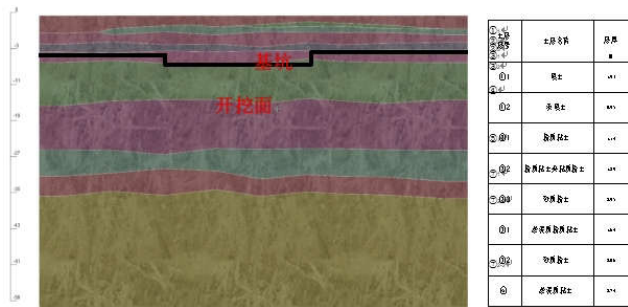


图1 场地地质条件示意图

在基坑施工过程中，对基坑的变形、支撑轴力以及周边环境等进行了全面的监测。监测结果表明，基坑的变形得到了有效的控制，地表沉降和基坑桩身水平侧移均在设计允许范围内。支撑轴力的变化也符合预期，

在基坑开挖过程中,支撑轴力逐渐增大,但始终处于安全范围内。通过对监测数据的分析,进一步验证了预制装配式基坑支护体系在实际工程中的可行性和有效性。该体系能够适应复杂的地质条件和周边环境,有效地保证基坑的稳定性和周边环境的安全。同时,在施工过程中,由于采用预制装配式结构,施工速度明显加快,减少了施工对周边环境的影响,取得了良好的经济效益和社会效益。

上海市某区域会展中心商业综合体基坑深度10m,面积5000m²,采用400mm×400mm的预制混凝土方桩(桩长15m)和装配式钢支撑(H400×400)构建预制装配式基坑支护体系,节点为螺栓-焊接复合连接,同步设置深层搅拌桩止水帷幕。效率方面,施工周期45天,较传统灌注桩缩短30天;成本上综合造价降低15%(构件重复利用节约材料费占比60%);环保方面,噪声降至70分贝以下,粉尘排放减少60%,建筑垃圾减少500吨,取得了很好的效果。该案例中发现预制装配式基坑支护体系在效率、成本、环保方面优势显著,非常适合用于基坑支护这种临时性工程,但其在超深基坑(>20m)、高腐蚀性地质中的适用性需进一步研究。未来应结合新型材料(如纤维增强复合材料)与智能监测技术,推动标准化与智能化发展。

4 结论与讨论

针对传统基坑支护体系造价高、不可重复利用、拆除难度大等问题,本文介绍了主要由标准化生产的钢支撑、连接节点和竖向支撑组成的预制装配式基坑支护体系,主要结论有:(1)该体系由标准化生产的钢支撑、连接节点和竖向支撑组成,具有受力明确、构造简单、施工质量易控以及可重复利用等优点,克服了传统基坑支护体系的诸多弊端。(2)工程实例应用结果表明,该预制装配式基坑支护体系能够适应复杂的地质条件和周边环境,确保基坑的稳定性和周边环境的安全,同时提高了施工速度,减少了对周边环境的影响,具有良好的经济效益和社会效益。

尽管预制装配式基坑支护体系具有较多优点,但仍存在需要进一步完善和研究的方向:(1)进一步优化体系设计,提高构件的标准化和通用性程度,降低生产

成本,以促进该体系在更广泛的工程领域中的应用。例如,通过建立更加完善的构件标准化数据库,实现不同工程之间构件的快速选型和组合。(2)深入研究连接节点在复杂受力条件下的长期性能和可靠性,开发更加可靠、便捷的连接技术和节点构造。可通过开展长期的节点性能试验,结合数值模拟分析,建立节点性能的长期预测模型。(3)针对不同地质条件和复杂周边环境,开展更多的工程应用研究,积累丰富的工程经验,完善该体系的设计和施工技术规范。例如,针对软土地基、岩石地基等不同地质条件,分别制定相应的设计和施工指导方案。(4)结合智能化监测传感技术和物联网技术,实现对基坑支护体系在施工和使用过程中的实时监测和智能预警,提高基坑工程的安全性和可靠性。

参考文献

- [1]陈品章,夏高响,夏伟,等.带撑双排桩支护结构在深厚软土基坑中的应用[J].水运工程,2023,(08):170-175.
- [2]黄鸿超.预应力鱼腹梁装配式钢支撑在基坑围护支撑体系中的应用[J].建筑技术开发,2018,045(008):14-15.
- [3]王淦,刘永超,张建新,等.深厚软土地区倾斜桩组合支护基坑稳定性研究[J].地下空间与工程学报,2024,20(2):556-565.
- [4]齐道正,高路恒,王炳监.装配式深基坑桩墙复合围护结构施工关键技术研究[J].新型建筑材料,2023,50(11):153-155.
- [5]曹春利,孙志娟,刘继良,初明进.低剪跨比的榀卯连接装配整体式剪力墙受力性能数值分析[J].工程力学,2021(1):110-118.
- [6]徐靖峰.基坑工程结合预制装配式支护体系的技术应用[J].建筑工程技术与设计,2017,10(5):186-187.
- [7]朱苗苗,王宏俊,刘海峰.装配式深基坑桩-梁-墙-锚杆预应力围护结构施工关键技术研究[J].科学技术创新,2024(11):133-136.
- [8]赵洪林,魏海朋,高勇.装配式支护结构在深基坑工程中的应用[J].智能建筑与工程机械,2025,7(1):11-13.
- [9]张明聚,郭雪源,马栋,等.基坑工程装配式钢管混凝土内支撑体系设计方法[J].北京工业大学学报,2016,42(12):9-12.