

基于校园扩建项目深基坑钢支撑围护体系性能的研究

胡 昊

上海建工五建集团有限公司, 上海 200333

[摘要]为应对校园扩建工程中深基坑施工风险大、变形控制要求高、开挖土层复杂及周边环境保护要求严等工程难题,本文以上海大学宝山校区扩建四期工程项目为依托,系统研究了深基坑钢支撑围护体系的关键技术及其性能提升措施。项目采用SMW工法桩结合一道水平钢支撑(角部辅以混凝土支撑)的支护体系。研究从钢支撑的压杆稳定性、轴力监测方法、局部弱化原因及预加轴力损失机理入手,分析了单跨及多跨连续压杆的极限承载力计算方法,明确了钢支撑轴力监测的布点、埋设及保护技术,深入探讨了围檩连接不可靠、钢围檩拼装偏差、活络头安装缺陷、受力不同心等局部弱化行为对支撑体系性能的影响。在此基础上,提出了针对性的施工控制与改进措施。工程实践表明,通过精细化施工管理与监测反馈,可有效控制基坑变形,保障周边环境安全,并形成了一套完整的钢支撑围护体系施工技术成果,为类似深基坑工程提供了参考。

[关键词]深基坑; 钢支撑; 围护体系; 轴力监测; 局部弱化; 活络接头

DOI: 10.33142/ect.v4i6.19942

中图分类号: TU723.3

文献标识码: A

Research on the Performance of Steel Support and Enclosure System for Deep Foundation Pit of Campus Expansion Project

HU Hao

Shanghai Construction No. 5 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200333, China

Abstract: In order to address the engineering challenges of high construction risks, high deformation control requirements, complex excavation soil layers, and strict environmental protection requirements for deep foundation pits in campus expansion projects, this paper systematically studies the key technologies and performance improvement measures of deep foundation pit steel support and enclosure systems based on the fourth phase of the Baoshan Campus Expansion Project of Shanghai University. The project adopts a support system that combines SMW method piles with a horizontal steel support (with concrete support at the corners). Starting from the stability of steel supported compression bars, axial force monitoring methods, reasons for local weakening, and the mechanism of pre-added axial force loss, this study analyzes the calculation methods for the ultimate bearing capacity of single span and multi span continuous compression bars, clarifies the layout, burial, and protection techniques for steel supported axial force monitoring, and deeply explores the influence of local weakening behaviors such as unreliable connections of purlins, assembly deviations of steel purlins, installation defects of flexible joints, and uneven stress on the performance of the support system. On this basis, targeted construction control and improvement measures were proposed. Engineering practice has shown that through refined construction management and monitoring feedback, the deformation of foundation pits can be effectively controlled, the safety of the surrounding environment can be guaranteed, and a complete set of steel support and enclosure system construction technology achievements have been formed, providing reference for similar deep foundation pit projects.

Keywords: deep foundation pit; steel support; enclosure system; axial force monitoring; local weakening; flexible connector

近年来,随着高校办学规模扩大与校园基础设施更新,大量改扩建工程在既有校区内实施。上海大学宝山校区扩建四期工程位于校区内部,周边分布既有建筑、道路及水体,基坑施工空间受限、变形控制要求高。基坑开挖深度范围内涉及多种土层,地质条件复杂,施工风险较大。

传统基坑支护中,钢支撑因其自重轻、承载力高、安装拆除方便、可重复利用等优势,在深基坑工程中得到广泛应用。但在实际施工中,钢支撑体系常出现围檩连接不可靠、钢围檩拼装偏差、活络头安装不当、受力中心线不同心等问题,导致预加轴力损失严重、支撑刚度下降,进

而影响基坑变形控制效果。因此,有必要结合具体工程,对钢支撑围护体系的性能进行系统研究,找出局部薄弱环节并制定针对性措施,以提升支护体系的安全性与可靠性。

本文以上海大学宝山校区扩建四期工程中的学生宿舍楼基坑为研究对象,从压杆稳定性、轴力监测、局部弱化机理等方面开展研究,形成可供同类项目借鉴的施工技术成果。

1 工程概况

1.1 基坑概况

本工程位于上海大学宝山校区内(上大路 99 号和南陈路 333 号)。学生宿舍楼 1 分为两个小基坑:左侧基坑面积约 769m²,延长约 119m;右侧基坑面积约 732m²,延长约 116m。基坑普遍区开挖深度 3.95m,局部落深贴边处开挖深度 5.45~6.95m。底板厚 200mm,垫层厚 100mm,底板顶相对标高+0.100m。宿舍楼 1 基坑采用 SMW 工法桩+一道水平钢支撑体系,角部采用混凝土支撑加强。

学生宿舍楼 2 基坑面积约 1775m²,延长约 193m,普遍区开挖深度 4.35m(局部 4.75m),局部落深贴边处开挖深度 5.85~6.25m。宿舍楼 2 基坑采用 SMW 工法桩+一道水平支撑体系,对撑采用钢管支撑,角撑采用钢筋混凝土支撑。

1.2 周边环境

本工程东至桃浦河、西至汇丰路、南至南大路、北至锦秋路。学生宿舍楼 1 北侧和西侧与北外环路相距约 2.5m,南侧与既有建筑相距约 20~23m,东侧为绿化地。学生宿舍楼 2 北侧与道路相距约 12.5m,南侧与既有宿舍楼相距约 27m,西侧与道路相距约 5m,东侧与泮池南路相距约 5~9m,基坑与明塘相距约 17.2~21.5m。宿舍楼 1 基坑北侧、宿舍楼 2 基坑西侧环境保护等级为二级,其余侧为三级。

1.3 地质水文概况

场地位于长江三角洲入海口东南前缘,属滨海平原地貌。拟建场地位于宝山区上大路、南陈路,根据《岩土工程勘察规范》(DGJ08-37-2012),属滨海平原地貌类型,地貌形态单一。开挖深度范围内分布不同土层,土层变化大,开挖条件复杂。

2 钢支撑围护体系构造与力学原理

2.1 支撑体系构造

本工程钢支撑体系由 SMW 工法桩、冠梁(或钢围檩)、钢管支撑、活络接头及托盘等构件组成。钢管支撑采用 $\phi 609\text{mm}$ 、 $t=14\text{mm}$ 、Q235 钢管,通过法兰连接标准段、

短接段及固定端。活络接头长度可调,用于填塞支撑与围护结构间的缝隙并施加预加轴力。钢围檩采用双拼工字钢,安装在围护结构内侧表面,起分散应力和连接作用。

2.2 力学原理

钢支撑主要承受轴向压力。实际压杆的承载力受初弯曲、初偏心、立柱竖向位移、材料不均匀性等因素影响。对单跨压杆,当长细比大于或等于界限值 101.8 时,可采用欧拉公式计算弹性屈曲临界荷载;当长细比小于界限值时,应按钢结构设计规范方法计算极限承载力。本工程中角撑为典型单跨压杆,跨度 $6\sqrt{2}\text{m}$,计算得极限承载力为 5053kN。

对于两跨及多跨连续钢支撑,等跨度且满足欧拉公式适用条件时,可按单跨欧拉公式计算临界荷载;不等跨度时,采用修正公式计算。为安全起见,本工程纵向支撑极限承载力取 4889kN。

3 关键施工技术

3.1 施工总体流程

钢支撑施工遵循“先撑后挖、分层开挖”原则,主要流程为:基坑开挖至支撑设计标高以下 0.5m 左右→测量放线、安装钢围檩(或利用冠梁)→现场拼装钢管支撑(含活络接头)→吊装就位→施加预加轴力并锁定→继续开挖至坑底→浇筑底板及主体结构→拆除支撑。

3.2 钢支撑拼装与安装

根据基坑宽度计算支撑构件组合,采用法兰螺栓连接。活络接头初始长度缩至最短。支撑吊装就位后,采用液压千斤顶支顶活络接头活动端,使其伸长填塞缝隙并施加预加轴力(一般为 300~500kN)。施加完毕后锁定活络接头,撤除千斤顶。支撑拆除时逆向操作,先加载分担轴力,解除锁定,缩回活络接头,留出空隙后吊出。

3.3 钢支撑轴力监测

3.3.1 测点布置

支撑内力测点选择在受力较大、起主要控制作用的断面。地下一层基坑设计为一道水平支撑,混凝土支撑每点设置 4 个钢筋计,钢管支撑每点设置 2 个表面应变计。

3.3.2 埋设方法

钢支撑表面应变计在支撑同一截面两侧分别焊接,应变计应与支撑轴线保持平行。焊接前先将安装杆固定在钢支座上,确定位置后将钢支座焊接在钢支撑上,冷却后安装应变计。应变计必须在施加预加轴力前安装完毕。

3.3.3 数据计算

采用便携式振弦读数仪测取频率,按下式计算支撑内力:

$$N = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{j\epsilon} (f_{ji}^2 - f_{j0}^2) \right] E_s A$$

式中： N —钢支撑内力（kN）； A —钢支撑截面积（mm²）； E_s —钢弹性模量（kN/mm²）； $K_{j\epsilon}$ —第 j 个表面应变计标定系数（10⁻⁶/Hz²）； f_{ji} —第 j 个表面应变计监测频率（Hz）； f_{j0} —第 j 个表面应变安装后的初始频率（Hz）。

3.3.4 测点保护与补救

监测位置需有牌子和保护装备，方便被看到，每天进行巡查。如果被破坏，一定要抓紧重新布置并且找到最开始的数据，确保其不间断。测斜孔有泥浆进入需要流动水清洗。

3.4 局部弱化原因分析与处理

3.4.1 围护桩表面质量问题

围护桩外侧发生凹凸不平的情况，使钢围檩不能和它紧密贴合，导致不均匀受力，应力在一点，使提前施加的轴力消散。解决办法：提前对桩外表修理，若缺陷较大，可以采用强度较高的灌浆料使表面平整；钢围檩后面有空档出必须使用钢质材料塞住或者细骨料混凝土塞满。

3.4.2 钢围檩刚度与连接问题

基坑组合钢围檩刚度不满足设计要求或者纵向搭接部位连接可靠性不足，容易发生变形。解决办法：选取刚度符合设计要求的型钢，以高强螺栓或者焊接进行连接并保证其连接强度，其次要在围护桩和围檩之间设置一定的

措施或相应构造以满足相应的抗剪要求。

3.4.3 接触不紧密与受力不均匀

钢围檩与钢支撑之间接触位置粗糙、不平整，产生了接触和受力不均匀现象。解决方式：保证托盘竖向钢板横平竖直；安装期间对支撑的轴线和围檩进行调整，确保其垂直，采用钢楔使其严丝合缝并平整角度，静止使用木材等其他偏软材质。

3.4.4 轴力计截面突变问题

现在拥有的计截面直径较细仅有 150mm~300mm，使得粗钢支撑端部因此产生凹陷现象，使其轴力降低。解决办法：采用粗细合适的轴力计或在端部增加一个板进行加强，使该位置不被顶凹。

3.4.5 提前施加轴力方式不正确

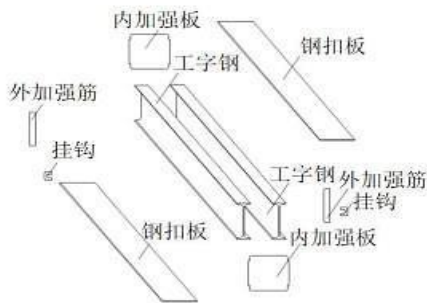
同时进行轴力施加、没有在施工现场使用液压表进行校准检验，容易产生轴力施加过少或者法兰错位现象。解决办法：分级并慢慢施加轴力，保证轴力施加不会忽大忽小，每级施加轴力时间保证在 2~3min；必须在施工现场对施加轴力器械进行标定。

3.4.6 SW 活络接头构造缺陷

SW 活络接头截面变化大，钢楔块受力较集中，容易由挤压产生形状变化；解决办法：对该构造进行改进，使其与楔块接触区域变大，使用装置对其进行多级锁定；楔块必须保证尺寸相同，并对不满足要求的楔块及时更换。



a) 冠梁与钢围檩



b) 钢围檩体系示意图

图 1 冠梁与钢围檩



a) 钢支撑标准段及短接段



b) 钢支撑各部件

图 2 钢支撑各部件

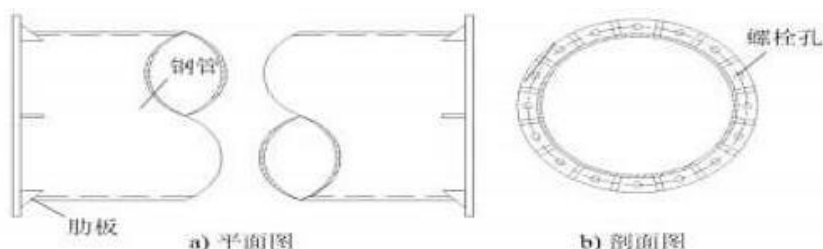


图3 钢管平面及剖面图

4 社会效益

4.1 社会效益

在施工之前组织人员编制环境保护方案,使用精度较高的监测仪器、实时监督控制系统等方式对噪声和扬尘进行管控,确保学校内的教育和学习不被噪声和扬尘干扰。基坑监测确保了保护周边建筑的依据,极大地减少了因环境所造成的影响。以技术创新和精细管控为手段,对深基坑的绿色施工和安全性有极大提升,并为类似学校内扩建的项目提供了较好的案例。

4.2 经济效益

本次课题研究,进一步深化了钢支撑围护体系在深基坑施工中的技术措施,使支撑更稳定,处理了围檩连接可靠性不足,拼装不精准,安装活络头偏心等问题,节约了轴力意外流失的修补支撑和处理基坑变形的费用。确保工期不延误,减少了线管人工费及材料费,该课题研究为相似施工提供了一个优秀案例,确保经济效益良好。

5 结论

以上海大学宝山校区扩建四期工程的施工为依据,针对性地研究了支撑围护体系在深基坑中的施工,进一步了解了压杆(单跨及多跨)的计算承载力方式,以此为依据可以确保支撑设计的准确性。

完善了钢支撑轴力监测技术体系,其中包含了监测点的位置确定、如何埋设、计算方式和相关保护方式,使支

撑工作处于非静态的监督控制状态。

认识到钢支撑部分位置不满足要求的几项主要因素:提前施加轴力方式不正确、钢围檩不满足要求的刚度和不良良好接触、轴力计截面突变、W 活络接头构造缺陷、受力不集中,并针对以上问题提出了有效的解决办法。

通过实际的施工可以证明,使用了上文中的技术措施,控制了基坑变形,保证了绿色施工和环境安全,使该成果可以大范围推广,产生了良好的社会效益。

[参考文献]

- [1]熊智彪.建筑基坑支护[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2]孔德森,吴燕开.基坑支护工程[M].北京:冶金工业出版社,2012.
- [3]王卫东,王建华.深基坑围护结构与主体结构相结合的设计、分析与实例[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4]周波.基坑工程变形及围护结构与土相互作用研究[Z].成都理工大学硕士学位论文,2006.
- [5]李波.钢管支撑承载力分析及其在基坑围护中的应用[M].北京:北京工业大学,2010.
- [6]崔白治.深基坑支撑效应[M].宁夏:宁夏大学学报(自然科学版),2006.

作者简介:胡昊(1996—),男,本科,中级工程师,现就职于上海建工五建集团有限公司,任项目经理。