

新型伺服钢支撑在邻近运营地铁区间的深基坑工程应用

李孚昊

(上海隧道工程有限公司, 上海市 200032)

摘要: 钢支撑伺服系统可以有效控制基坑变形和保护周围建构筑物,但在工程实际中,原有的伺服钢支撑系统的油路、供电线、信号线会随基坑深度的加深和设置混凝土围檩而导致安装困难,使得基坑无支撑暴露时间较长,影响伺服支撑的应用效果。此外,地面上的泵站后台也会影响基坑的应急通道。新型伺服钢支撑将油泵集成伺服端,仅需要一根控制总线,即可进行供电和信号传输,能有效解决上述难题。上海市21号线杨高北路站应用新型伺服钢支撑和传统伺服钢支撑,通过对比应用效果,验证新型伺服支撑的可靠性和先进性,并提出了改进思路。

关键词: 深基坑施工;邻近地铁区间保护;集成油泵;总线控制

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)12-0242-05

Application of New Servo Steel Supports in Deep Foundation Pit Projects near Operational Metro Sections

LI Fuhao

(Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The steel support servo system can effectively control the foundation pit deformation and protect the surrounding structures. However, in the engineering practices, the oil circuit, power supply line and signal line of the original servo steel support system will cause installation difficulties as the depth of the foundation pit increases and the concrete purlins are set up, which will make the foundation pit be exposed without support for a relatively long time, and affect the application effect of the servo support. Additionally, the background of the pumping station on the ground can also affect the emergency passage of the foundation pit. The new servo steel support integrates the oil pump into the servo end, requiring only a single control bus for both power supply and signal transmission, which effectively resolves the above challenges. The new servo steel support and the traditional servo steel support are applied in North Yanggao Road Station of Shanghai Metro Line 21. By comparing the application effects, the reliability and advancement of the new servo support are verified, and the improvement ideas are proposed.

Keywords: construction of deep foundation pit; protection near metro sections; integrated oil pump; bus control

0 引言

随着城市轨道交通网络化进程的加速推进,新建地铁站常需与既有线路实现空间衔接^[1]。在运营地铁区间周边进行深大基坑施工作业时,可能引发既有隧道结构体系受力状态改变可能导致轨道交通系统正常运维受阻^[2]。伺服支撑系统是一种控制基坑变形的好方法,具有24 h实时监控、低压自动伺

服、高压自动报警等功能^[3]。在工程应用方面,侯文诗等^[4]在北京某开挖深度20 m的基坑工程中采用伺服系统,验证其对深基坑变形的有效控制,翟杰群等^[5]在某开挖深度为20 m基坑中设置伺服区和未设伺服区,通过对比两个区域的变形效果,验证伺服系统应用效果,但对于深基坑应用场景,传统伺服支撑系统应用效果不佳。在安装阶段,传统的伺服支撑由于需要连接油管、供电线、信号线等多种管路,会随着基坑工程深度加深,安装时间相应延长。此外深基坑往往采用钢-混凝土混合支撑形式,相关管路穿过混凝土围檩也较为复杂,影响安装时间。在应用阶段,基坑工程深度加深,会导致固定在地面的油

收稿日期: 2025-07-23

基金项目: 上海市科委项目“中浅层地下空间承载力综合影响技术研究”(19DZ1200903)

作者简介: 李孚昊(1987—),男,学士,高级工程师,上海隧道工程有限公司轨交分公司副总经理,从事地下施工及管理工作。

泵与伺服千斤顶之间的油管较长,影响伺服支撑加载和卸载速度^[6-7]。

为了扩展伺服支撑的应用场景,更有效利用伺服支撑体系控制基坑变形,本文以某临近运营地铁的深基坑工程伺服支撑施工为例,通过对比传统伺服支撑和新型伺服支撑,验证新型伺服支撑安装便捷性、应用安全可靠,为同类工程提供实践参考。

1 工程概况

上海地铁 21 号线杨高北路站周围环境复杂,西为杨高北路跨线桥,南侧为运营中 12 号线金杨区间地铁隧道,其结构边线距离基坑结构外边线为 31.6 m,如图 1 所示。



图 1 拟建杨高北路车站与 21 号线地铁区间的平面位置关系

杨高北路地铁车站长度 170 m(内净),标准段宽度 21.6 m(内净),地下四层双柱三跨混凝土箱形结构。主体基坑采用明挖顺作法施工,南端头井深度为 30.1 m,共设八道支撑,第一、三、五道为混凝土支撑;第二道支撑为 $\phi 609(t=16\text{ mm})$ 钢支撑;其余为 $\phi 800(t=20\text{ mm})$ 钢支撑,此外第二、四、六道钢支撑采用伺服支撑形式,基坑横剖面图如图 2 所示。12 号线地铁与基坑位置关系如图 3 所示。

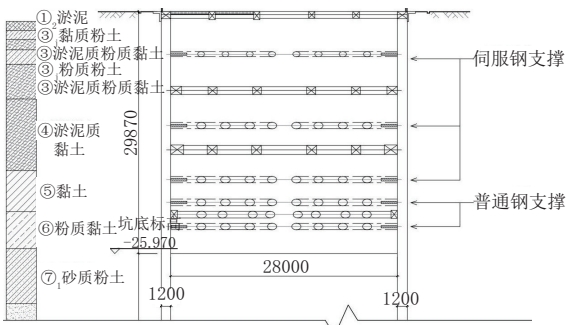


图 2 杨高北路站地铁车站横剖面(单位:mm)

2 工程面临的问题

根据分层开挖步骤,将南端头井第 2 层土方开挖过程的无支撑暴露时间进行统计,并细化为土方开

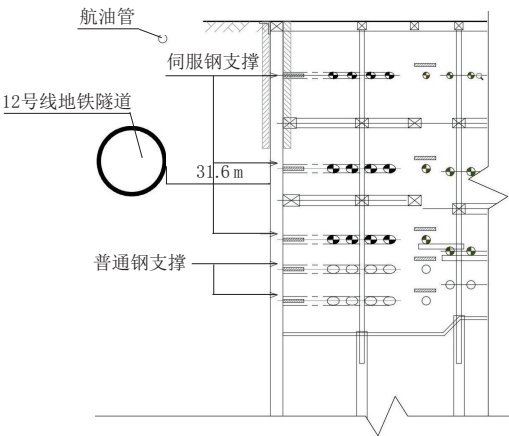


图 3 12 号线地铁与基坑位置关系图

挖时间、支撑安装时间、伺服配置时间见表 1。

表 1 第 2 层土方开挖中的基坑无支撑暴露时间

施工内容	完成时间	无支撑暴露时间/h			
		土方开挖	支撑安装	伺服配置	总计
开挖至标高-5.26 m,形成第 2 道支撑	2023-08-11	10	2	2	14

根据以往经验,随着基坑开挖深度加深,单层土方开挖开挖时间和伺服系统的配置时间边长,而支撑安装时间基本不变。由此可预测南端头井后续支撑开挖时间和伺服配置时间将会在第 2 道支撑的基础上继续变长,最终导致基坑无支撑暴露时间的延长。过长的无支撑暴露时间将会影响基坑开挖的安全性,在无支撑的间隔期间内基坑变形增大,影响伺服支撑控制变形的效果,而累计的基坑变形,最终影响临近的地铁区间^[8]。因此,需要找到一个更好方法,减少基坑的无支撑暴露时间^[9]。

杨高北路原设计伺服支撑共计 64 根,为了更好控制基坑变形,实际使用 75 根,但是这也带来一个新的问题。车站基坑西侧便道为 3 m,东侧便道为 11 m。基坑开挖深度深,周围环境复杂,风险较大,需在基坑四周保留 2.5 m 空间作为应急抢险通道。传统伺服头需要配备安放在基坑周围地面上的泵站,泵站会占用应急抢险的通道^[10]。当开挖深度小于 10 m 时,投入的伺服支撑数量较少,仅需要少量的泵站,可通过合理场布留出抢险通道,但开挖深度超过 10 m 后,原有空间不能满足泵站存放要求。

标准段区域尚可通过优化伺服头至基坑东侧,以此将泵站后台放置于基坑东侧便道上。但端头井区域伺服支撑数量较多,无法通过上述方法避开。

3 方案优化

由表 1 可知,基坑的无支撑暴露时间由土方开

挖、支撑安装和伺服配置3部分组成,其中土方开挖和支撑安装的时间受设备的限制,所以优化伺服配置的时间成为基坑变形的关键。新型伺服支撑安装过程中伺服配置时间较短,施工团队计划将后续的伺服支撑改为新型伺服支撑。

为了解决占用应急通道的问题,施工团队一方面采用了优化伺服头位置方法,标准段区域尚可通过优化伺服头至基坑东侧,以此将泵站后台放置于基坑东侧便道上。但端头井区域伺服支撑数量较多,无法通过上述方法避开。因为新型支撑不需要泵站后台,所以端头井区域的伺服支撑调整为新型伺服支撑。

为了验证新型伺服支撑应用效果,施工团队将南端头井第4道伺服支撑进行试验,为了更好对比,将西侧区域伺服支撑保持为原有的伺服支撑,将东侧区域伺服支撑改为新型伺服支撑。

如图4所示,测斜点CX14反映传统伺服钢支撑区域从开挖到支撑的变形效果,而测斜点CX16反映新型伺服钢支撑区域从开挖到支撑的变形效果。

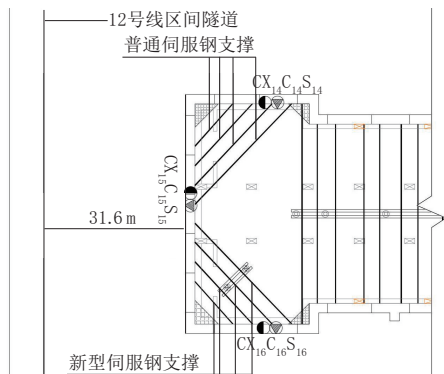


图4 端头井区域新型伺服钢支撑与传统伺服钢支撑布置图

4 新型伺服系统简介

4.1 设备基本原理

如图5所示,新型伺服系统通过嵌入伺服装置内的小型油泵将工作介质输送至集成式阀块。阀块通过双向油路分配将液压油分别导入液压缸的进/出油腔,驱动活塞杆进行往复直线运动,以此完成对伺服头的轴向位移调控。另外阀块配置的专用回流通道可将工作介质导回储油装置,形成闭式液压回路^[11]。

控制系统采用可编程逻辑控制器(PLC)作为核心单元,负责指令解析与信号传输。该装置通过集成化通信接口实现与控制中心的电力供应与数据交互的同步传输,确保整个伺服系统的协调运作^[12]。

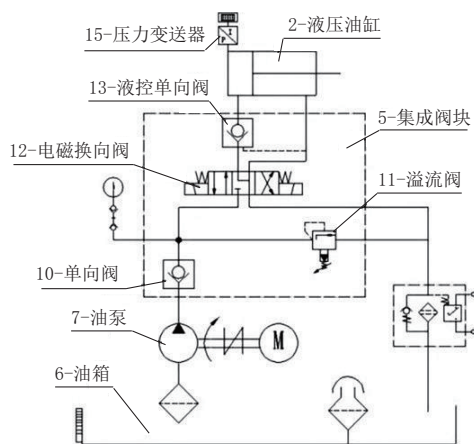


图5 集成式钢支撑轴力伺服支撑头的液压原理图

安全防护方面,活塞杆末端配置的机械锁紧机构采用梯形螺纹副实现刚性锁定(见图6),有效避免因液压系统失效导致的轴力衰减,保证抢修期间基坑变形控制^[13]。



图6 新型伺服支撑头部构造图

4.2 设备优点

从图5可知,在新型伺服支撑构造上,最鲜明的特点是不需要油泵后台,直接将油泵集成于伺服端。由此产生诸多优点:

(1)系统中不需要冗余的油泵后台,由此可避免多余场地占用,优化场地布置,非常适合场地紧张的市政工程项目;

(2)油管位于伺服头内部,不必暴露外部,提高整个系统的安全性,提高挖土作业容错率;

(3)伺服系统响应速度快,可靠性强。油泵与千斤顶油路较短,千斤顶加压和卸压迅速,原伺服系统,伺服支撑到泵站的油路长,由于高压油管采用橡胶材质,具有较强的弹性和波动性,在使用过程中容易发生摆动和振荡,增加管道损坏和破裂的风险。油管内部的压力易衰减,需控制中心控制液压系统对其频繁进行补压,设备需要进行高频率的运转。

(4)管路相对传统伺服支撑较少,无需独立布置液压油管、动力电缆和信息线,安装和损坏抢修时间更短,适用于深基坑。

5 应用和效果

5.1 设备应用

新型伺服钢支撑与传统伺服支撑的应用基本类似,分为安装前准备、支撑吊装、支撑管路连接、安装调试四个环节^[14]。

在安装前准备环节,由于油泵集成于支撑头中,需要检查打开支撑头检查液压系统和安装装置。

支撑本体检查完成后,检查分布式控制系统(见图7),对于电源模块,检查输入电压波动范围,并对接线端子进行拉力测试,观察线缆是否有松动。



图7 分布式控制系统检查

支撑吊装环节,传统支撑和新型支撑操作基本相同。

管路连接环节,新型伺服支撑极大减少工作量。传统伺服支撑需要连接油路和电路,对于本工程的钢混结合支撑体系,在施工混凝土支撑时,需在支撑上设置直径 100 mm 预留孔,便于线缆穿过。而新型伺服支撑仅仅需要连接一路信号总线(见图8),且信号总线线缆直径和刚度不大,因此不需要在混凝土支撑上开孔。但在本环节要注意对分布式控制系统盒进行覆盖防雨。



图8 信号总线连接

安装调试环节,施加轴力应分级缓慢加压,支撑施加压力过程中,当出现钢支撑弯曲、焊点开裂等异常情况时应及时卸除压力,查明原因并采取适当措施后方可继续施加压力。轴力施加完成后需对所有的螺栓进行复紧。

5.2 应用效果

9月4日杨高北路南端头第四层土开始开挖,先开挖西侧,再开挖东侧。9月6日完成西侧普通伺服支撑轴力施加,9月7日完成东侧新型伺服支撑轴力施加。普通伺服支撑区域从开挖到支撑,共历时 18.4 h,新型伺服支撑区域从开挖到支撑,共历时 15.08 h,开挖、支撑安装、轴力施加的时间见表2。

表2 传统伺服支撑和新型伺服支撑各工序时间对比 单位:h

对比项目	开挖	支撑安装	伺服系统安装	轴力施加	总计
传统伺服钢支撑区域	6	8	4	0.4	18.4
新型伺服钢支撑区域	6	8.5	0.5	0.08(约5 min)	15.08

由表2可知,两者主要区别在于伺服系统安装时间和轴力施加时间方面。

而在这个阶段,CX14和CX16的累计测斜变形数据见表3。由此可以判断新型伺服钢支撑相比普通伺服钢支撑可以更好控制基坑变形。

表3 传统伺服支撑和新型伺服支撑单日变形量对比 单位:mm

对比项目	9月4日	9月5日	9月6日	9月7日	开挖支撑累计变形
传统伺服钢支撑区域	0.3	1.2	2	0.5	3.5
新型伺服钢支撑区域	0.3	0.5	1	0.5	2.3

开挖第六层土过程中出现了挖机误碰伺服支撑线缆的情况,新型伺服支撑在信号总线断路后,机械锁立即锁定支撑轴力,同时现场的线缆较少,技术人员排查方便,现场值班人员仅仅半小时完成抢修。通过前后对比相对应围护测斜数据,在抢修过程中,基坑变形未发展。

21号线杨高北路基坑整个开挖过程中12号线区间上行线累计最大变形量为-1.30 mm,下行线累计最大变形量为-2.50 mm,均未到达报警值±5.00 mm的80%,并且没有出现单日报警。

6 结 语

新型伺服支撑是对深基坑、钢混组合支撑基坑场景中伺服系统创新优化方案,由于采用油泵集成式设计,仅需利用一根控制总线连接,其支撑安装时间相比传统伺服钢支撑较短,轴力施加速度更快,减少基坑无支撑暴露时间,并且不必设置油管等多余管路,从根源上降低工程中机械设备误碰管路风险,进而提升了系统的稳定性,但新型伺服系统成本高于传统伺服系统,主要源于液压系统的集成,深基坑体系中组合使用,以降低成本。

新型伺服钢支撑虽然相比传统支撑安全性得到提高,但是信号总线串联的模式,易出现误碰信号总线,导致大量伺服头故障的情况,今后改进思路可以考虑利用集成在支撑上的锂电池供电,利用无线进行传导,彻底解放线缆束缚,从根本上避免误触总线而导致伺服故障的事故,提高系统的安全性。

参考文献:

- [1] 孙九春,白廷辉.地铁基坑钢支撑轴力伺服系统设置方式研究[J].地下空间与工程学报,2019,15(增刊1):195-204.
- [2] 会平.自锁式钢支撑轴力伺服系统在邻近运营线路基坑中的应用[J].交通科技与管理,2024,5(8):44-47.
- [3] 邓正刚,叶茂,叶帮正,等.一种集成式钢支撑轴力伺服支撑头的设计[J].中国机械,2023(13):19-23.
- [4] 侯文诗,杨宝森,柳建国,等.轴力伺服型钢组合支撑在临近地铁深大基坑中的应用[J].山西建筑,2020,46(24):52-55.
- [5] 翟杰群,贾坚,谢小林.混凝土支撑伺服系统在某深基坑工程的应用研究[J].建筑结构,2022,52(12):148-152;147.
- [6] 张劭华,孔永钦,瞿新峰.两墙合一深基坑中主动控制技术应用研究[J].建筑机械化,2025,46(5):168-172.
- [7] 洗梓杨,张玉建,吴礼莲,等.地铁车站狭长深基坑支撑体系施工技术[C]//《施工技术》杂志社.2024年全国土木工程施工技术交流会论文集(上册).上海:中国建筑第八工程局有限公司,中建八局总承包建设有限公司,2024:71-76.
- [8] 朱坤伦.伺服钢支撑系统在深基坑施工变形控制中的应用效果研究[J].国防交通工程与技术,2023,21(6):69-73.
- [9] 王哲,吴鹏飞,魏纲,等.伺服钢支撑控制旁侧既有盾构隧道变形试验研究[J].铁道科学与工程学报,2025,22(2):795-806.
- [10] 单正猷.混凝土支撑伺服系统在紧邻城市轨道交通深基坑工程中的应用[J].建设监理,2023(6):103-107.
- [11] 李春超,闫中奎.一种电动伺服控制支撑装置研制及应用[J].内燃机与配件,2024(23):93-95.
- [12] 彭昊,刘显晖,李建强,等.基于PLC的钢支撑智能伺服控制系统设计[J].自动化技术与应用,2025,44(4):53-56;70.
- [13] 何文德,曾献勇,刘悝,等.钢支撑轴向力伺服油缸优化设计[J].机械研究与应用,2024,37(3):94-96;100.
- [14] 高永伟.伺服钢支撑系统“双控法”在邻近地铁隧道深基坑中的变形控制效果分析[J].城市轨道交通研究,2023,26(11):132-137.