

一种集成式钢支撑轴力伺服支撑头的设计

邓正刚 叶茂 叶帮正 李松

(泸州市龙马潭区长江液压件有限公司 四川 泸州 646000)

摘要:深基坑工程中,采用传统钢支撑轴力伺服设备进行防护,使用液压胶管进行远距离供油。一个液压系统同时向8个伺服支撑头提供油源,造成现场管路排布混乱、轴力数据信号波动、液压系统频繁启动,或者补充轴力不及时造成基坑变形等。本文针对上述问题,对传统伺服设备的整体结构进行重新设计,将液压系统、控制箱和液压缸集成为一体,合理设置液压阀和机械锁。通过以上改进,钢支撑轴力伺服支撑头的使用稳定性和防护基坑变形能力大大提高。

关键词:深基坑工程;钢支撑轴力伺服;液压系统

0 引言

随着科技手段的现代化,人们生活水平不断提高,各种高层建筑和大型地下交通工程不断增多。基坑工程朝着大深度、大面积的方向发展^[1]。随着基坑挖掘深度的不断提高,如何有效控制基坑变形、保护邻近建筑物和管道的安全,成为工程师和技术人员面临的重要课题。由于城市建设环境复杂,对沉降变形有着极高要求,围护桩(或围护墙)加内支撑是最常见、应用最广泛的基坑支护形式。设置内支架可以及时控制挡土桩(或墙体)的横向变形和土壤沉降,这对于确保基坑的整体稳定性和环境安全至关重要^[2]。内部支撑体通常包括混凝土和钢支撑体。钢支撑体结构简单,安装方便,可反复使用;只要满足基坑支撑的受力条件,通常使用钢支撑。

在进行深基坑的挖掘工作过程中,基坑周围的土壤和基坑本身往往随着基坑的卸荷过程而发生位移和张力的变化。这些变化最终会造成基坑表面的沉降、围护结构的横向变形和基坑内的土地隆起^[3]。

针对以上问题,现阶段深基坑工程采用的一套钢支撑轴力伺服设备总体可以分为3个部分,第一部分为钢支撑头(俗称补偿节),第二部分为液压系统,第三部分为控制中心。但现阶段的钢支撑轴力伺服设备在实际使用过程中,存在现场管理秩序混乱、管路横飞的情况。本文设计的集成式钢支撑轴力伺服支撑头包含专用钢套筒、液压缸、机械锁、液压系统和电器控制柜等部件。将上述部件通过合理排布后集成在一起,既可满足现阶段轴力伺服设备的相关功能需求,又可满足施工现场的秩序管理要求。

该设备通过液压缸的活塞杆支撑头与深基坑的侧面接触,主动防御深基坑变形。

1 深基坑轴力支撑系统的研究现状

针对开挖道路上有建筑物深基坑的情况,目前对钢支撑轴力伺服系统的研究状况如下。

张雷等^[4]研究了钢支撑轴力伺服系统在深基坑支护控制中的应用,提出了一种基于PID控制算法的支护控制方法,并进行了现场试验验证。

邓伟等^[5]介绍了钢支撑轴力伺服系统在深基坑支护控制中的应用,并通过现场试验验证了该系统的可靠性和有效性。

赵静等^[6]研究了钢支撑轴力伺服系统在深基坑支护控制中的应用,提出了一种基于模糊控制算法的支护控制方法,并进行了现场试验验证。

朱凯等^[7]介绍了钢支撑轴力伺服系统在深基坑支护控制中的应用,提出了一种基于遗传算法的支护控制方法,并进行了现场试验验证。

徐林等^[8]研究了钢支撑轴力伺服系统在深基坑支护控制中的应用,提出了一种基于神经网络控制算法的支护控制方法,并进行了现场试验验证。

上述研究的深基坑工程轴力支撑是被动防护,采用人工的方式放置固定钢支撑。该类型钢支撑轴力不能自动调节、无监测,往往基坑已经变形后才发现设置的支撑轴力过小。江岩明^[9]研究的钢支撑轴力伺服系统,具备监测和自动调节功能;但不能解决现有设备存在的问题。而基于陈凯忠^[10]研究的数据采集系统设计制造的“集成式钢支撑轴力伺服支撑头”成功解决了现有钢支撑轴力伺服设备存在的问题。

2 现有钢支撑轴力伺服设备存在的问题

支撑轴力由支撑头中的液压缸提供，液压系统向液压缸提供高压油。现有设备采用一个液压系统同时向多个支撑头提供油源，液压系统离支撑头的最长距离可达50m；高压油管长度过剩可能会导致管道的波动和摆动，增加管道损坏和破裂的风险。此外，过长的高压油管还可能会在运行过程中产生压力损失，影响设备的正常运行，并使得现场堆放管理混乱（图1），可能会导致设备受到损坏或者被污染，影响其正常使用。堆放混乱也可能会增加设备的维护难度和维修成本。同时由于钢支撑轴力伺服设备涉及高压油管的使用，如果油管出现泄漏或者破裂，可能会导致严重的安全事故，如火灾或者爆炸^[6]。



图1 液压缸现场图

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，对设备的安全性和可靠性造成影响。油管内部的压力容易衰减，需要控制中心控制液压系统对其频繁进行补压，增加了控制液压系统的能耗。同时，设备需要进行高频率的运转，油温容易升高，这不仅会增加能耗和油泵的损坏风险，还可能会导致油泵损坏和无法及时补油，影响

设备的正常运转。一旦多个支撑头同时需要补压，可能会存在某一个支撑头无法及时补油的情况，进而导致基坑存在变形的风险。

伺服装置通过检测压力变送器的信号来实现准确的伺服动作。如果将压力变送器放置在液压缸上，可以获得更准确的检测信号。然而，由于支撑头和控制中心之间的距离较远，压力变送器的信号输出屏蔽线会很长（超过5m），需要进行定制。如果选择普通压力变送器（输出屏蔽线为5m），则必须将压力变送器安装在长距离高压油管的后面。然而，高压油管具有弹性变形的特性，检测信号会存在波动和差异，从而导致控制中心发出的命令存在一定延迟。这可能会导致监测数据与实际数据存在一定差异，进而增加基坑变形的风险。此外，高压油管为橡胶管，具有弹性和波动性较强的特性，控制中心需要频繁地检测压力衰减并对其进行补压，导致能源浪费，甚至油泵损坏、无法及时补充液压油。

3 集成式轴力伺服支撑头的设计方案

针对传统轴力伺服支撑头所存在的不足，对其结构进行优化，将所有部件进行集成化设计。重新设计后集成式轴力伺服支撑头的外形图如图2所示。

以基本参数：额定压力 $P=31.5\text{MPa}$ ，额定轴力 $F=4000\text{kN}$ ，行程 $S\geq 150\text{mm}$ 为例。集成式轴力伺服支撑头通过液压系统和电控系统实现对钢支撑的轴力控制，从而实现对深基坑的支撑控制。具体工作原理如下：液压系统通过油泵将液压油送入集成阀块中，进而将液压油分配到液压缸的两个工作油口中，使液压缸的活塞产生推拉作用，从而实现对钢支撑的轴向控制。

集成阀块的回油口将液压油回收到油箱中，实现油液循环。电控系统中的PLC控制器负责指令动作和数据传输，通过接口将电源和数据合并传输，从而实现集成式轴力伺服支撑头的控制。液压缸活塞杆上的锁紧块通过梯形螺纹实现机械锁紧，以防止因液压缸或液压系统故障引起的轴力损失导致基坑变形。钢套筒通过有限元分析保证能够承受4000kN的负载，并起到防护作用，保护集成在内部的零部件。

3.1 液压系统原理

图3为集成式钢支撑轴力伺服支撑头的液压原理

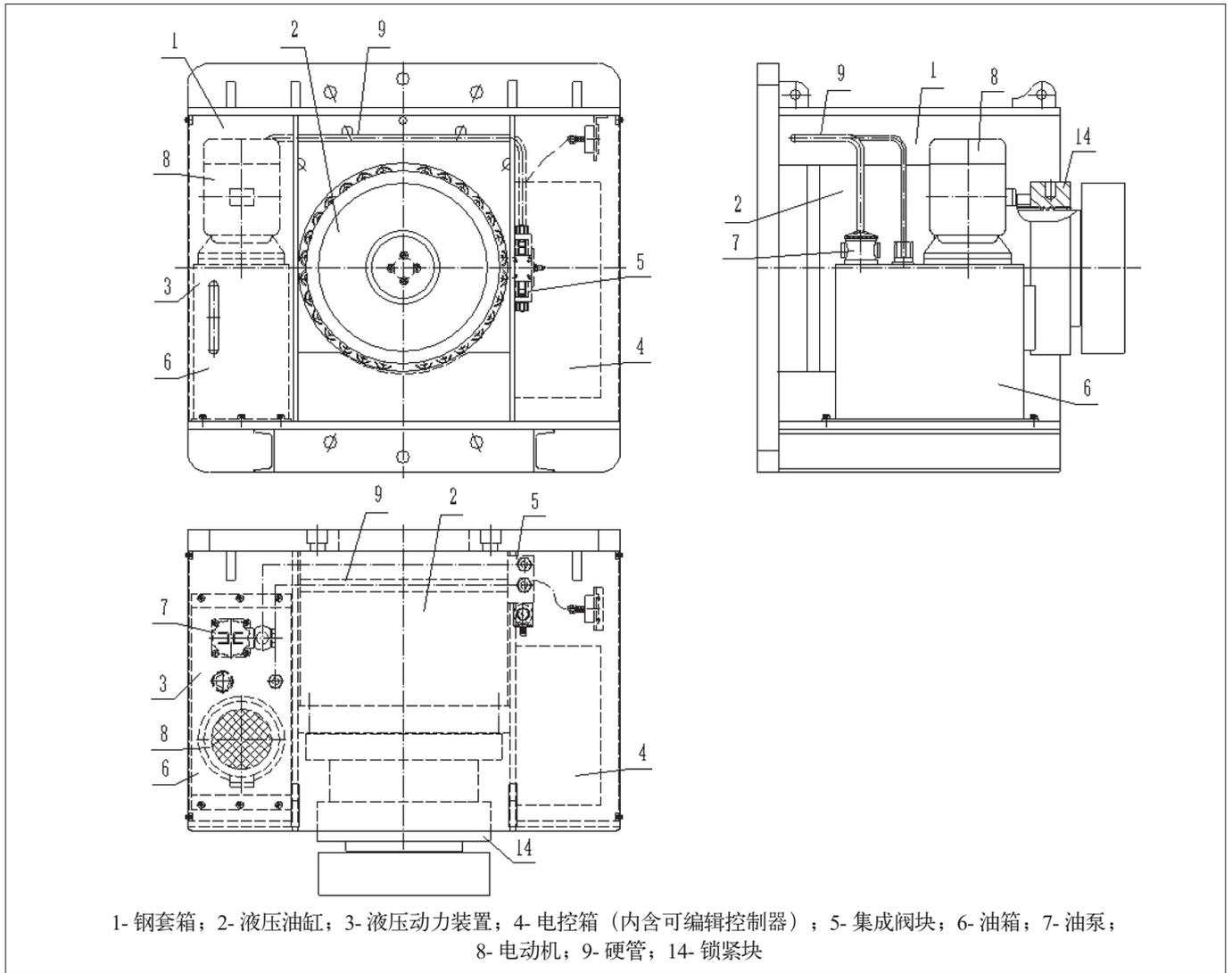


图2 集成式轴力伺服支撑头的设计方案图

图。其液压原理是通过液压系统来控制支撑头的伸缩和锁定，从而实现钢支撑的轴向力传递和支撑作用^[10,11]。

液压系统包括液压源、控制阀和执行器3部分。液压源提供高压油液，控制阀通过对液压油的控制来调节执行器的动作。执行器是支撑头，它通过液压缸来实现伸缩和锁定操作。

当需要对支撑头进行伸缩时，控制阀打开、油液进入液压缸的伸缩腔，使得支撑头伸出或缩回。当支撑头达到所需长度时，控制阀关闭、油液进入液压缸，使得支撑头停止伸缩。此时，执行器通过自锁机构锁定支撑头的位置，从而传递轴向力。当需要解除支撑头的锁定时，控制阀开启液压缸的解锁腔，使得支撑头能够再次伸缩。

3.2 液压系统设计

根据钢支撑螺纹孔数量推算，采用螺栓连接伺服支撑头和钢支撑以及吊入预定位置的时间大约为20min。根据该数值并结合相关参数，确定液压系统的电动机功率为1.5kW，油泵排量为1.9mL/r。钢支撑轴向力伺服支撑头主要承受静态载荷和冲击载荷，执行机构具有单次动作、持续时间短、重复动作等特点。为满足上述性能要求，该类设备采用定量泵开式液压系统。

3.3 液压系统的功能

钢支撑轴向力伺服机构通常被称为包含高压液压缸的平衡接头。高压液压缸可调节钢支架的轴向力；液压缸由三位电磁四通阀控制。为了保持持续压力和液压缸输出功率的稳定，每个液压缸都配备了液压单向控制阀。

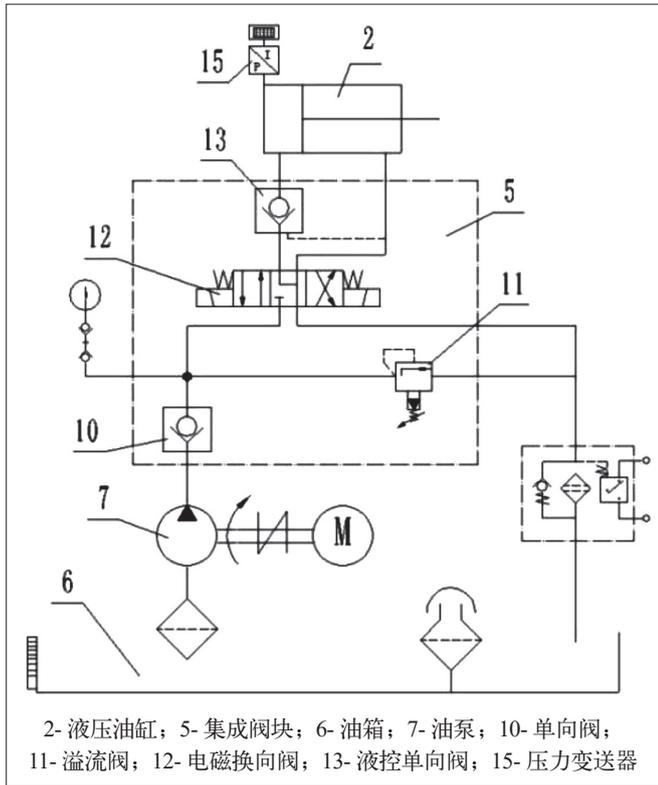


图3 集成式钢支撑轴力伺服支撑头的液压原理图

调整钢支架轴向力的常见操作方法：首先，用液压缸将钢支架的轴向力调整到设定值的80%，暂停观察30min，然后加载到100%。最后，通过调整连锁机构，实现螺母的自动连锁。

3.4 轴力控制回路

轴力控制回路配有液压泵、直排阀、四通电磁阀、单次液压控制阀、液压缸等部件，并配有高精度压力传感器、压力表等配件。

油泵单向出口阀能够避免调节阀回动时的液压冲击，保证液压泵的稳定运行。PLC通过液压缸上压力传感器发送的信号，确定液压缸是否已到达指定点。达到设定值后，管道用三位四通电磁换向阀关闭；如果液压缸的推力低于最低设定压力，则打开三位四通电磁换向阀来执行补偿作用。液压单向控制阀为液压缸提供长期保护，降低泵站启动和停止频率，延长泵阀等部件的使用寿命。

作为轴力控制回路的执行

单元，液压缸采用锻造气缸盖，以确保液压缸在使用中的安全性和可靠性，并将液压缸的压力保持在规定压力的5%以内。所有阀组整体安装在液压缸无杆端，液压缸放置在缸套箱内，确保液压缸有一个安全、清洁的工作环境。

4 试验

本文研发的集成式轴力伺服支撑头装配完成后，按照国家标准《液压传动系统及其元件的通用规则和安全要求》(GB/T 3766-2015)和《液压缸试验方法》(GB/T 15622-2005)的相关要求，进行试验检测，部分检测结果见表1。由表1可知，本文研发的集成式轴力伺服支撑头满足使用要求。

5 应用效果

该产品应用于上海市第14号线武宁路站、南京市10号线王武庄站以及上海市域线(崇明线)高宝路站。对比现阶段钢支撑轴力伺服设备现场排布(图4)和集成式轴力伺服支撑头设备现场排布(图5)，可发现集成式轴力伺服支撑头完全具备现阶段钢支撑轴力伺服设备的所有功能，对基坑有良好的防护作用，同时也解决了现场堆放管理混乱的问题、降低了高压油管高压油爆管的风险。

6 结语

本文设计的集成式轴力伺服支撑头结构紧凑，具备无胶管、响应快、控制精度高等优点，对施工现场秩序管理有强有力的推进作用。其轴力可达4000kN，具备机械锁，在深基坑防护中能有效控制变形量，满足使用要求。

表1 检测结果

序号	检测项目	技术要求	单位	实测值	单项判定
1	内泄漏量	≤ 5.6	mL/min	0.7	
2	内泄漏压力降	轴力施加至设定值31MPa, 24小时后压力降幅≤ 5MPa	MPa	1.5	合格
3	外泄漏试验	各部分不能有外泄漏	mL/min	0	合格
4	机械锁止距离	最大锁止距离≤ 5mm	mm	1	合格
5	伺服系统检测	伺服值启动补压; 设定值停止补压	—	符合要求	合格
6	数据采集	具有数据采集、查询和储存功能	—	符合要求	合格
7	压力控制精度	油压控制偏差≤ 0.1MPa	MPa	0.1	合格
8	行程	≥ 150mm	mm	151	合格

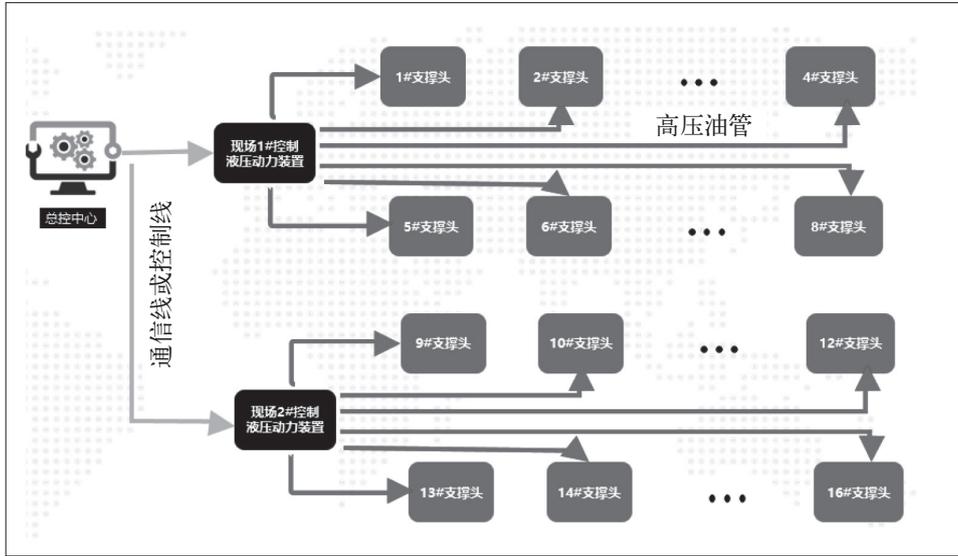


图4 现阶段钢支撑轴力伺服设备现场排布

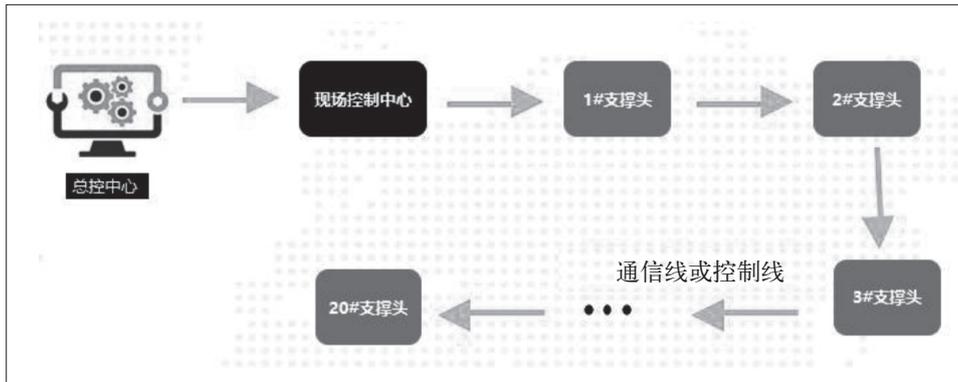


图5 集成式轴力伺服支撑头设备现场排布

参考文献:

[1] 武进广, 王彦霞, 杨有海. 杭州市秋涛路地铁车站深基坑钢支撑轴力监测与分析 [J]. 铁道建筑, 2013(10):51-54.

[2] 郭利娜, 胡斌, 李方成, 等. 武汉地铁深基坑围护结构钢支撑轴力研究 [J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(6):1386-1393.

[3] 彭勇志, 黄洋. 深基坑钢支撑轴力伺服系统施工技术 [J]. 低碳世界, 2016(3):152-153.

[4] 张雷, 陈赛娟, 赵克鹏, 等. 基于钢支撑轴力伺服系统的

深基坑支护控制研究 [J]. 岩土力学, 2016, 37(7):1889-1895.

[5] 邓伟, 王华, 江文刚, 等. 基于钢支撑轴力伺服系统的深基坑支撑控制技术研究 [J]. 深圳大学学报(理工版), 2015, 32(2):121-127.

[6] 赵静, 杨霖, 邓伟, 等. 基于钢支撑轴力伺服系统的深基坑支护控制研究 [J]. 工程勘察, 2014, 42(6):22-26.

[7] 朱凯, 邓伟, 王华, 等. 基于钢支撑轴力伺服系统的深基坑支撑控制技术研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(9):77-81.

[8] 徐林, 李建峰, 王新军, 等. 基于钢支撑轴力伺服系统的深基坑支护控制研究 [J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(5):1135-1141.

[9] 江岩明. 钢支撑轴力伺服系统在深基坑施工中的应用 [J]. 建材与装饰, 2018(52):4-5.

[10] 陆凯忠. 一种钢支撑轴力补偿装置数据采集系统设计 [J]. 绿色建筑, 2022(5):73-76+89.

[11] 曹虹, 孙九春, 吴圣伟. 软土地铁深基坑钢支撑轴力损失研究 [J]. 建筑施工, 2022, 44(12):3026-3029.

作者简介: 邓正刚(1985.06-), 男, 汉族, 四川泸州人, 本科, 工程师, 研究方向: 机械设计; 叶茂(1990.06-), 男, 汉族, 四川泸州人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 机械设计; 叶帮正(1967.11-), 男, 汉族, 四川泸州人, 大专, 助理工程师, 研究方向: 机械设计。