

# 基于 LabVIEW 的直驱式液压调平系统设计

杨海清, 钟家硕

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310000)

**摘要:** 传统的起竖平台上, 液压支腿的供给油箱通常和起竖油箱共用一个公共油箱, 这样不仅仅增加了管路布局的难度, 而且增大了出现故障的几率, 为解决此问题, 笔者设计了一种基于 LabVIEW 的直驱式液压调平系统; 利用 LabVIEW 生成的控制软件对该设备的各个传感器参数进行采集和分析, 并输出控制信号给到伺服驱动器实现调平, 而且增加了高度调节的功能, 可以在不同的离地高度进行平台的调平; 并对方案进行实际验证, 运行的结果表明方案可行, 管路简单, 减少能耗, 而且保障了调平的时间不增加, 甚至有一定程度缩短, 可以保持在 50 s 以内, 精度也可以达到要求为  $\pm 0.2^\circ$  以内。

**关键词:** LabVIEW; 直驱式液压; 自动调平

## Design of Direct Drive Hydraulic Leveling System Based on LabVIEW

Yang Haiqing, Zhong Jiashuo

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** On the traditional vertical platform, the supply tank of the hydraulic leg usually shares a common fuel tank with the vertical fuel tank, which not only increases the difficulty of the pipeline layout, but also increases the probability of failure. To solve this problem, The author designed a direct-drive hydraulic leveling system based on LabVIEW. The control software generated by LabVIEW is used to collect and analyze the various sensor parameters of the device, and output control signals to the servo driver for leveling, and the height adjustment function is added, and the platform can be leveled at different ground heights. The actual verification of the scheme shows that the scheme is feasible, the pipeline is simple, the energy consumption is reduced, and the time for leveling is not increased or even shortened to a certain extent, and the precision can also meet the requirements.

**Keywords:** LabVIEW; direct drive hydraulic; automatic leveling

## 0 引言

在传统的导弹发射平台上, 应用的是机械支腿, 依靠人力手摇调节支腿高度, 同时观测水平仪来达到最终调平的目的, 其不仅费时费力, 而且操作起来较为困难, 人为手动调节支腿无法有效地控制调节量, 因此出现了液压支腿, 依靠减压阀和三位四通电磁阀来精确控制油缸行程, 同时结合传感器的反馈参数来达到调平目的<sup>[1-2]</sup>。这种方法相对于机械支腿有了很大程度的提升, 包括时间和操作上, 但是此时的液压支腿的供给油箱是和起竖的油箱连接在一起, 造成管路复杂的问题, 容易因为管路问题而影响最后的起竖<sup>[3-4]</sup>。故本设计采用了基于 LabVIEW 的直驱式液压调平系统, 其不仅解决了管路复杂的问题, 而且操作界面简单直观, 调平时间依然较短, 精度也可以得到保障, 而且在一定程度上起到了节能的作用<sup>[5-6]</sup>。

LabVIEW 是基于虚拟仪器而产生的一种新的开发环境, 是一种由流程图取代程序代码的图形化的编程语言, 更加贴近于技术人员、科学家和工程师所熟悉的术语、图标和概念。其相对于其他的编程语言, 具有构建灵活、层次体系清晰, 功能强大且人机界面友好的优点, 被外界所

广泛的接受。就目前而言, 其广泛地应用于生产测试、研究分析以及过程控制等。所有的 LabVIEW 应用程序包括前面板、流程图以及图标/连接器三部分。前面板主要为用操作界面, 各种直观的图形化元器件可以让操作人员更加清晰明了地指导仪器的各种功能和操作方式, 流程图中包含各种功能的图标, 以及简单的连线连接, 即可实现各种所需功能完成程序开发, 其简单的编写方式大大缩短了用户的学习时间, 加快了开发速度<sup>[7-8]</sup>。

## 1 直驱式液压调平方案设计

### 1.1 直驱式液压调平系统基本设计思路

常见的支撑方式有刚性支撑、半刚性支撑和弹性支撑三种, 其中刚性支撑是指支腿全部为刚性构件, 平台上的载荷全部通过刚性支腿直接传递到地面, 其主要包括有三点支撑、四点支撑及六点支撑 3 种支撑方式。半刚性支撑是指设备的工作平台用前轮和后千斤顶支撑于地面, 形成所谓的前弹性、后刚性的支撑。使用这种支撑, 起竖平台由行军状态转换为战斗状态时, 后面的两个千斤顶下降, 着地后将全车抬起, 后轮逐步减少负载, 到一定值后停止。弹性支撑是指起竖平台用前后车轮支撑于地面, 起竖时的载荷通过前、后车轮传递给地面。车体上的悬挂可以锁死, 只有车胎的弹性支撑。也可以不锁住, 由轮胎和悬挂的弹性串联支撑。由上述三种支撑方式可知, 三种支撑方式中刚性支撑方式的刚性最好, 所以精度也最高, 稳定性最好,

收稿日期: 2019-08-07; 修回日期: 2019-08-27。

作者简介: 杨海清(1971-), 男, 浙江温岭人, 研究生, 副教授, 主要从事智能检测技术方向的研究。

本实验台采用刚性支撑方式。

由于调平平台自身存在挠度变形、耦合等因素, 且严格意义上来说实际的平台调平系统存在很强的非线性特性。为了提高平台的刚性减小挠度变形, 采用的方法大多数是增加平台的支撑腿数量。但此方法引入了一个新的问题——静不定问题, 这将导致平台可能在调平时并非四条支撑腿都接触在地面, 致使平台不稳发生倾覆现象; 不仅如此, 支撑腿数量的增多还将使控制变得复杂; 支撑腿数量越少, 调平越容易实现, 但三点支撑方式与平台的矩形结构不匹配, 且容易倾覆; 六点支撑平台可以适应较重负载情况和负载分布不均匀的情况, 但调平过程复杂。四点支撑方式可以适应大多数情况, 且结构对称, 稳定性好, 综合考虑, 本项目选取四点支撑方式。

四点支撑完全利用液压支腿来完成, 同时在平台中线安装了两个倾角传感器, 水平传感器的精度和安装位置将直接影响调平的时间和精度, 故本设计采用了具有 0~10 V 输出的 SRH220DR/180/180/A2/5/D/A 和 STT280/20/P5 倾角传感器, 经过信号调节之后直接与控制器相连, 将左右方向的倾角信号  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  以及前后方向的倾角信号  $\beta$  反馈到控制器。而且在油箱处装有压力传感器, 可以观测油箱内外腔的压力。其次在每个支腿上装有位移传感器, 可以在每次实验是观察支腿伸缩状况。本设计可以充分观察在调平过程中各点参数的变化情况, 方便进行后续的调节和完善。设备的基本设计要求为调平的时间确保在 1 min 中内, 精度在  $\pm 0.2^\circ$  以内。

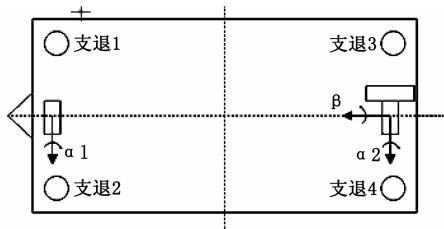


图 1 起竖结构传感器安装与支撑结构

### 1.2 调平控制原理设计

调平过程是基于 LabVIEW 软件的数据采集和设备控制作用下, 多个电机同时运行, 控制液压缸伸缩, 以保证快速完成。首先依靠调平油缸的压力反馈, 我们可以快速完成第一阶段, 即四条支腿完全落地, 支撑整个平台, 当每个支腿都完全落地时, 无杆腔压力会增大, 有杆腔的压力会减小。其次, 根据设置的调平高度以及此时反馈的倾角参数, 我们根据最长伸出支腿可以计算得出达到指定的高度每个液压支腿还需要伸出的长度, 此时就可以完成第二阶段, 虽然经过计算达到的距离应该时可以完全调平的, 但是在运行过程中会产生叠加误差, 故需要进行后续微调。然后就是依照第二阶段结束后反馈的左右倾角  $\alpha$ , 对与前后边进行左右调平, 此时应该保持最长伸出支腿不动进行调节, 有利于简单方便的进行调节。最后就是依据前后倾角  $\beta$  进行前后调平, 完成整体调平。通过对目标装置的分析,

在第一阶段平台落地之后, 根据不同的路面状况会产生共 4 种不同的情况, 分别为四个支腿其中某个为最长伸出腿即标准支腿, 然后依据标准支腿进行后续的调节, 这样我们可以减少各个支撑腿调节至水平所需要的伸缩距离, 还可以避免出现设备超调的现象。在第二阶段完成之后反馈倾角也有 4 种状态, 分别为前端左偏或者右偏, 后端左偏或者右偏。第三阶段完成之后也有两种工况, 即前高后低或者前低后高。以下就列举以支腿 1 为最长支腿的 8 种工况, 其处理流程见图 2。我们可以看到对于不同的工况, 每个支腿都有其独特的运行轨迹。其中, 在第二阶段的处理过程中, 我们选择让油缸 2 和油缸 4 的调节同时动作以完成倾角  $\alpha_1$  和倾角  $\alpha_2$  的调平, 之后在第三阶段的调节过程中让油缸 3 和油缸 4 同时动作完成  $\beta$  角的调平, 这样处理的好处是可以充分缩短调平所需时间, 而且调节过程变得清晰明了, 避免了编程的复杂。

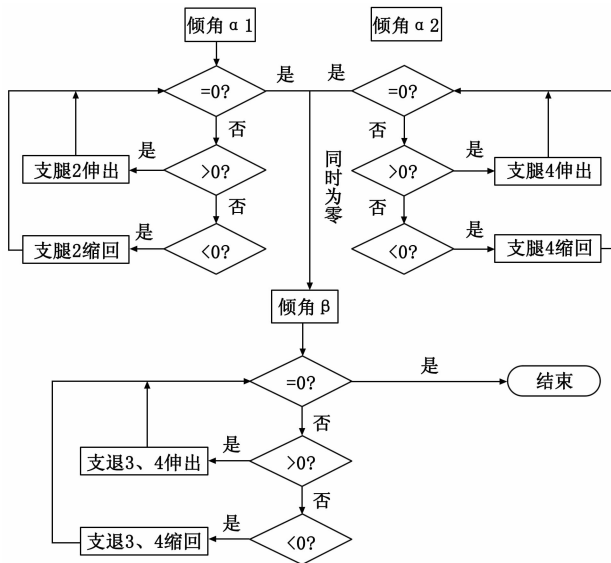


图 2 倾角调平流程

### 2 自动调平控制电路设计

调平系统控制电路原理见图 3。根据调平系统设计原理并结合平台的特点, 闭环自动调平系统主要由 NI 的数据采集模块和控制模块、控制信号的输出以及伺服驱动单元组成。其中采集模块采集的数据主要包括两个倾角传感器, 四个油缸共八个压力传感器以及四个支腿上的位移传感器, 其中压力传感器用于测试油缸内外腔的压力, 用于测试支腿着地情况, 避免出现调节完毕三腿支撑的状况或者有虚腿的情况。数据处理的设备主要有装有 LabVIEW 的的计算机构成, 用来获取各个传感器的输出信号, 并通过程序加以处理编辑, 转换成所需要的控制信号, 输出给伺服驱动器, 控制电机转速, 让液压支腿伸缩以达到调平目标。本设计还额外增加了可以在不同的离地高度进行调节的功能, 这样不仅可以适应各种路况, 而且还可以缩短调平时间, 可以充分应用到各种野外的特殊环境, 应用范围广泛。在基本的控制电路设计的基础上, 我们还增加了急停和报警

的功能，这样不仅仅可以在可能出现意外的情况下，提前警示操作人员，还可以及时地预防和处理出现的状况，对于突发的危险状况，我们也可以通过急停按钮暂时断开控制电源，使强电部分缺少控制信号，从而停止工作，避免出现更加严重的意外事件。

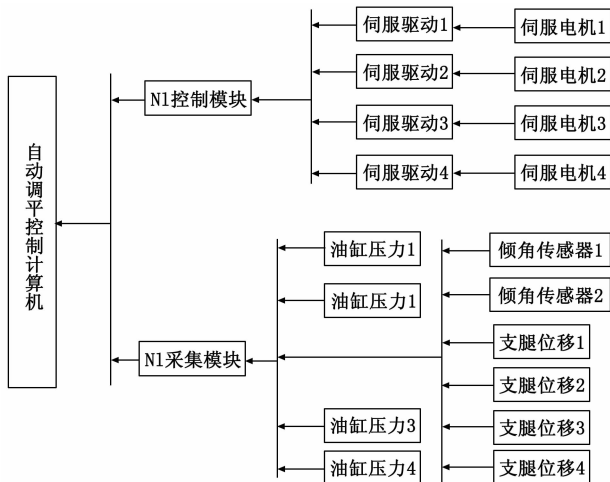


图3 系统控制电路原理

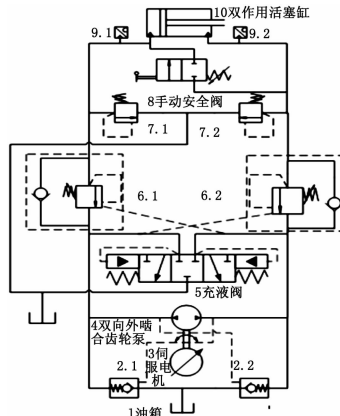
### 3 系统液压回路的设计

调平系统采用四支腿单独泵控 EHA 的方式，主要有伺服电机、双向外啮合和齿轮泵、油箱、吸排阀、平衡阀和溢流阀等组成。液压缸在工作过程中的最大压力为 21 MPa，泵向液压缸提供的流量为 2.85 L/min，若回路中的泄露按液压缸输入流量的 10% 计算，则泵的总流量为 3.17 L/min，考虑泵 0.9 的容积效率，并选择电机同步转速为 2 000 r/min，则泵的排量为 1.76 ml/r。选择钰盟双向齿轮泵，型号为 AMM2N02，转速为 600~4 000 r/min，公称排量为 2 ml/r，额定工作压力为 23 MPa，最高工作压力为 27 MPa，完全满足需求。泵的效率 0.9，电机效率 0.9，则电机功率 1.611 kW，电机选型：SIEMENS 伺服电机型号为 1FL6067-1AC61-0AA1，相应的伺服驱动器选用 6SL3210-5FE12-0UA0。系统额定压力 21 MPa，额定流量 2.85 L/min。泵由伺服电机带动，由溢流阀 7.1、7.2 控制系统安全压力，液控方向阀 5 控制液压缸的伸缩，双向液压锁 6.1、6.2 锁紧液压缸，手动安全阀 8 用于单腿出现故障时的应急伸出。系统工作时，由位移传感器、压力传感器检测液压缸位移以及两腔压力信号，倾角传感器检测平台倾角信号，传送给信号采集控制系统，控制系统输出控制信号给伺服电机，通过控制系统流量大小和方向，控制液压方向阀，精确控制调平实验平台。

### 4 系统软件的设计

#### 4.1 软件界面和模块设计

基于 LabVIEW 的调平软件界面如图 5 和图 6 所示。在界面上我们分为两个模块：一个为显示模块；另一个为操作模块。图 3 为显示模块，我们可以清晰直观地观察到在



- 1. 油箱；2. 吸排阀；3. 伺服电机；4. 双向外啮合齿轮泵；
- 5. 充液阀；6. 平衡阀；7. 溢流阀；8. 手动安全阀；
- 9. 压力传感器；10. 双作用活塞缸。

图4 液压回路设计图

设备运行过程中各个参数的变化状况，包括各个状态的指示灯，以及报警指示灯，这样我们在操作时，可以及时发现各种不同的问题，加以处理解决，防止出现严重后果。图4为操作模块，在界面上可以清晰地看到有调平开关的启停、调平高度的设定以及高度锁定按钮。调平开关的启停是作用于伺服驱动器的励磁，而且只有在锁定调平高度的前提下，我们才能进行下一步的操作，保证了操作的顺序，增加了操作的安全性。在用户设定完成之后，可以通过控制柜上的调平启动按钮，开启自动调平，而且在开始阶段，会询问是否需要记录数据，可以完整地保存一次实验的全部数据，用与分析和留档，而且在右侧进行了油缸压力和支腿位移的变化曲线绘制，可以清晰地看见在实验过程中的所有参数的变化过程。基本满足了用户的所有需求。另外我们还增加了用户管理模块，主要用于对软件编程界面的保护，首先我们可以避免不熟悉的人员擅自修改后台程序，导致出现问题，也可以防止程序的泄露。

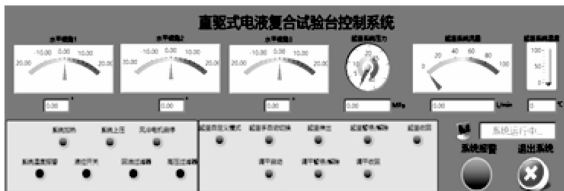


图5 软件界面指示灯显示界面

#### 4.2 软件程序的设计

自动调平系统软件是基于 LabVIEW 组态软件在 Windows 系统下快速构建的，实现了对外部传感器的数据采集和计算处理，同时输出控制信号给到伺服驱动器，控制液压系统工作。当系统软件启动之后，为确保操作系统的安全性，设置了软件的使用权限，用户需要登陆之后才能进行具体操作。其具体的工作流程如图 7 所示。软件在设计过程中，由于是直驱式的液压系统，无法进行小范围调节，不能像阀控一样精准的操控伸缩量，对调平的实现造成了

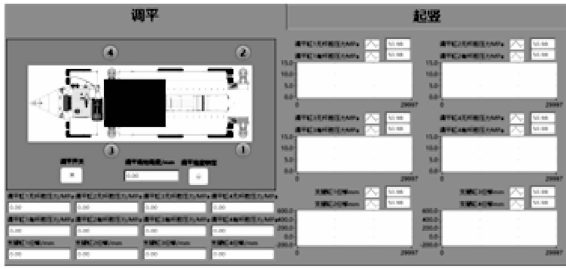


图 6 软件界面调平操作界面

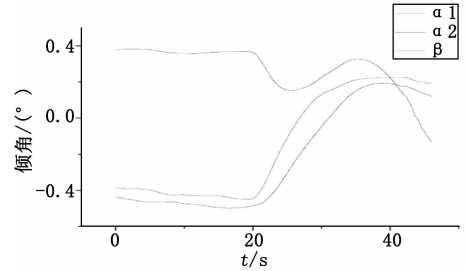


图 8 倾角变化

巨大的困难。所以在设计的过程中, 笔者针对系统特性, 经过反复测试, 获取一个补偿量, 在调平的过程中对于倾角进行补偿, 使得最终测得的数据可以达到目标精度。调节过程为闭环控制, 程序通过采集的传感器数据进行计算分析, 转化成相应的控制信号, 最终将装置调整到水平状态。在软件中还添加了数据记录的功能, 能够准确的记录各个传感器在运行过程中的所有数据, 用于后续的分析计算。鉴于在工作过程中会出现意外的情况, 在软件中还添加了暂停的功能, 可以暂时停止调平过程, 后续如果需要继续或者重新开始都可以, 主要取决于操作员的需求。

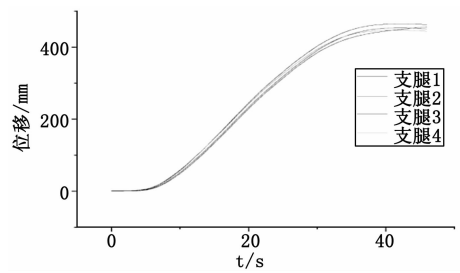


图 9 支腿位移

支腿伸出过程较为平稳, 并没有出现某个支腿大幅落后或者超前的迹象, 运行较为稳定, 安全可靠, 而且在快要结束部分可以明显看到有支腿在进行调节, 以确保倾角精度。

### 6 结论

使用伺服电机控制泵排量和方向的直驱式液压调平系统, 笔者在实际平台运行过程中获取了真实的数据, 验证了该方案的可行性, 足够达到用户指定的指标要求, 不仅仅简化了平台上的管路分布, 减少了故障发生的可能, 而且保障了调平的时间, 有效地提高了调平的效率, 而且在历史方案的基础上增加了高度调节的功能, 可以适应各种不同的路况和环境, 应用范围较广。最大的优点为有效地降低了能耗, 对于现代社会而言, 节能会成为越来越重要的指标。因此本方案也具有广泛的应用前景。

### 参考文献:

[1] 苏娜. 虚拟仪器 LabVIEW 的发展与应用 [J]. 计算机光盘软件与应用, 2013, 131-132.  
 [2] 谢小秦. 车载平台液压控制调平系统的组成及其故障分析 [J]. 科技风, 2018, 149.  
 [3] 彭凯. 基于倾角传感器的旋耕机具调平策略研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.  
 [4] 赵南生, 张加俏, 汪楚森, 等. 一种自动调平运载装置的设计与研究 [J]. 南通大学学报, 2017, 16: 32-38.  
 [5] 王超, 高云国, 乔健. 三点支撑平台的快速调平研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29: 1217-1223.  
 [6] 仇杨. 垂直发射平台快速姿态调平高性能控制策略研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2017.  
 [7] 许嵩. 发射车六点调平系统建模和控制算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.  
 [8] 刘强. 耕整地机械在水田作业中的水平自动调整技术 [J]. 农机使用与维修, 2019 (06): 81-82.

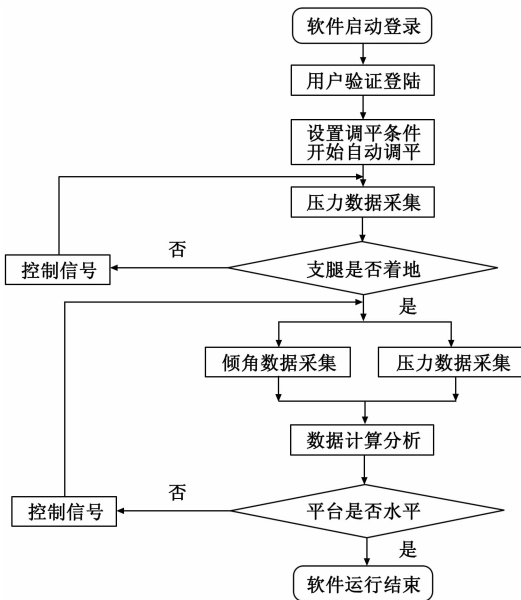


图 7 自动调平程序运行流程

### 5 实验结果分析

对于该起竖平台, 笔者进行了实际运行, 记录了在调平过程中各个传感器反馈的参数, 并进行了绘制, 如图 8 和图 9 所示。

笔者的该次实验验证的是离地高度为 450 mm 的位置进行调平, 从图 1 可见, 前一段部分为支腿伸出到落地之前的过程, 倾角几乎没有发生改变, 等到落地之后由于车体本身倾斜, 角度发生大幅度变化, 等到达指定位置后, 进行微调, 为确保精度, 从图中可见, 精度在 0.2 以内, 调节时间控制在 50 s 以内, 完全符合设计初衷。从图 2 可见,