

# 自升式海洋石油平台液压升降系统解析

刘政<sup>1</sup> 祁兴<sup>1</sup> 沈心瑞<sup>1</sup> 曲少锋<sup>1</sup> 侯志峰<sup>2</sup>

1. 中国石油集团海洋工程有限公司钻井分公司; 2. 北京捷杰西石油设备有限公司天津分公司

**摘要:** 海洋石油平台是海上石油生产和加工的主要生产设备, 其升降系统的主要功能是通过液压缸的伸缩来实现平台的升降。液压缸根据工作压力可分为低压缸、中压缸和高压缸。中压缸和高压缸的工作压力分别为3.5MPa和16MPa, 而低压缸和中压缸则分别为5MPa和8MPa。另外, 由于自升式平台作业环境比较恶劣, 受外界条件的影响很大, 所以需要在其升降过程中提供稳定可靠的动力。升降系统将平台升到指定位置, 并使之平稳地停住; 然后将其下降到指定位置, 并使之平稳地停止。升降系统的主要功能是将平台提升到指定高度后, 保持其稳定地停住; 然后在平台下降时提供足够的动力使其平稳下降。

**关键词:** 自升式海洋平台; 液压; 升降系统

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.01.120

海洋石油平台是由液压升降系统提供升降动力, 由液压缸带动连杆机构完成平台升降。由于海洋石油平台的工况环境比较复杂, 其对液压升降系统的要求也非常高, 其安全性和可靠性尤为重要。本文对海洋石油平台液压升降系统的组成、工作原理以及特点进行了分析, 并从功能、结构设计等方面对海洋石油平台液压升降系统进行了详细的阐述。

## 一、升降系统的组成

升降系统由两个相互连接的液压缸组成, 通过一套液压泵站提供动力, 使得两个液压缸实现同步伸缩。其中一个液压缸的作用是将平台升起到指定高度, 另外一个液压缸则是使平台在降落时保持稳定。升降系统的主要组成部分包括: (1) 升降系统的动力站, 一般位于平台甲板上, 负责向平台提供升降所需的动力。(2) 液压站, 主要用于控制升降系统的速度以及调节负载, 也可以用于监测平台的位置。由于升降系统需要长时间升降, 因此液压站内部的油箱一般都非常大。(3) 控制站, 其主要作用是通过检测液压泵和马达的压力、流量以及电流等参数来控制液压缸和泵站的运行。控制站与液压缸之间也有一定的距离, 以便于检测。

### (一) 液压站

液压站是整个升降系统的核心, 其内部设置了大量的传感器, 用于监测升降系统的工作状态。其功能包括: (1) 两个液压缸升降时, 液压站能够提供足够大的压力; (2) 检测到两个液压缸之间有连接时, 液压站会向液压缸传递压力; (3) 当检测到两个液压缸不同步时, 液压站会调节泵站来调整两个液压缸之间的距离。液压站通常采用四柱式, 由四个立柱和两根立柱之间的连接杆组成。这四根立柱之间用螺栓连接在一起,

通过螺栓来调整立柱和立柱之间的距离。

### (二) 控制站

控制站包括: ①计算机主机, 用于存储和处理所有的检测参数; ②显示器, 显示平台当前的位置、速度以及相关参数; ③接口卡, 用于连接计算机和控制站, 将检测到的数据传输到计算机中; ④检测传感器, 用于对液压系统和泵站进行监控; ⑤程序软件, 用于对所有检测参数进行设置; ⑥控制软件, 用于对液压系统和泵站进行控制。需要注意的是, 在液压升降系统中, 控制站的位置是固定的, 所以当升降系统出现故障时, 需要将升降系统完全移除甲板才能进行检查。在操作过程中应注意以下几点: ①一旦检测到液压泵出现故障时, 必须及时切断动力站的动力; ②要对所有液压系统和泵站进行检查, 必要时需要进行紧急卸压操作。

## 二、液压缸的种类

液压缸的种类繁多, 按用途可分为以下几种:

(1) 起重装置液压缸是用于起重和安装设备的液压缸。其工作原理是通过缸筒与缸盖之间的螺纹把活塞杆伸出缸筒, 并通过导向套、活塞杆和支承套等零部件组成的连杆机构带动活塞运动。起重装置液压缸主要用于起重设备。其工作原理是将工作人员或其他设备提升到规定的高度, 然后通过行程开关或机械连锁关闭或打开油口, 使液压泵供出的油液在重力作用下进入相应的工作腔。其中, 工作腔又分为上、下两个部分: 上端是一个密封腔, 用于防止被提升设备中的杂质污染油液; 下端是一个容积较大的工作腔, 用于存放被提升设备中的液体。(2) 升降装置液压缸是用于升降设备和固定设备之间连接, 它将平台升到一定高度后固定下来。其工作原理是在两端各安装一个油口, 用来连接和密封。另外, 升降装置液压缸还可以安装在平台的上部或者下部, 使其形成一个整体。它由缸筒、活塞、活塞杆和油口组成。在缸筒内装有活塞杆, 活塞杆上装有抓斗, 当抓斗抓住物料时, 通过油口与油管相连。

### (一) 液压缸

自升式海洋石油平台液压升降系统可分为单点式和多点式两种形式, 目前国内自升式平台主要采用单点式升降系统, 其原理是由1个或多个液压缸来控制液压缸的升降动作, 从而实现平台的升降功能。单点式液压缸具有结构简单、工作可靠、易于制造、维修方便等优点, 但其缺点是行程较小, 一般为30~150m。多点式液压缸在单点式的基础上增加了多个控制阀组, 其主要优点是可实现大行程、高速度、大流量的升降动作, 但其缺点是结构复杂, 制造成本高。自升式海洋石油平台液压升降系统一般采用双泵多缸和单泵单缸两种形式。双

泵多油口液压缸用于起升和下降过程中的控制，由2个液压泵和2个单向阀组成，其原理是通过2个单向阀实现单口液压缸的上下行程控制；单泵单缸液压缸用于起升和下降过程中的控制。虽然双泵单缸系统结构简单、工作可靠、维修方便等优点，但其缺点是行程较小，一般为30~150m；单泵双缸系统的结构相对复杂，行程也比双泵单缸系统长，一般为100~200m。目前国内自升式海洋石油平台上常用的双泵多点液压缸主要有双泵单阀液压缸和双泵单阀液压缸两种形式。其中双泵双阀液压缸的特点是行程大、动作速度快、工作可靠；双泵单阀液压缸的特点是行程短、速度慢、工作可靠。

### （二）升降装置

升降装置液压缸用于升降平台，可将平台提升至规定的高度。升降装置液压缸一般由缸筒、活塞、活塞杆和密封圈等组成，立式油缸。这种升降装置的油缸安装在一个垂直的底座上，底座上装有支撑座，该支撑座与油缸固定连接，并通过油管与油缸相连接。这种升降装置具有较高的稳定性，但结构较为复杂。这种升降装置的油缸安装在一个水平的底座上，其底面与地面接触。在底座上装有支撑座，支撑座与水平放置的缸筒相连，并通过油管与平台上的油管相连接。液压系统是将升降装置提升到一定高度后固定在平台上的设备和设备之间连接起来的系统。

### 三、动力

自升式海洋石油平台的升降系统中，液压系统通常由主泵、辅助泵、溢流阀、电磁阀、压力开关、传感器及液压管路组成。其中，主泵提供升降所需的动力；辅助泵提供升降系统的动力；溢流阀是系统压力的调节阀；压力开关则用于检测升降系统所需动力，以便及时启动或停止升降。主泵为整个升降系统提供动力，由柴油机带动，通过中间齿轮来实现与辅助泵的连接。在平台下降时，辅助泵通过溢流阀向主泵提供压力油，从而驱动液压缸伸缩。辅助泵供油。在自升式海洋石油平台的升降过程中，辅助泵对主泵起到压力缓冲、保压的作用。当主泵供油时，辅助泵会将压力油引入液压缸内，以减少液压缸和主泵之间的压力波动。溢流阀用于控制系统压力，保证其在工作时不超过规定的上限值。如果主泵供油流量超过其上限值，则辅助泵会将流量返回到主泵处；如果主泵供油流量小于其下限值，则辅助泵会将流量返回到主泵。如果系统压力超过设定值时，则会启动紧急停机装置来控制液压缸伸缩。

#### （一）主泵

主泵为整个升降系统提供动力。主泵的转速一般根据工作环境来决定。如果升降系统为常压环境，则主泵的转速不会太高；如果升降系统为负压环境，则主泵的转速会较高。主泵的转速高低直接影响其供油量，所以在设计时要根据作业环境来确定主泵的转速。一般来说，在-15℃~30℃的低温环境中，主泵的供油量可达额定供油量的80%~85%；在30℃~60℃的高温环境中，主泵的供油量可达额定供油量的75%~90%。为了保证主

泵能够满足工作要求，一般会在主泵腔内安装一套回油系统。通过该系统将平台下降过程中产生的液压油引入到主泵腔内。为了保证系统能够正常运行，回油系统还需要满足一定的压力要求。因此，在设计时需要将主泵腔内的油压设定为一个定值，当油压超过设定值时，回油系统会把多余的液压油排出系统外；当油压低于设定值时，回油系统会把多余液压油引入到主泵腔内。

#### （二）辅助泵

辅助泵主要用于液压升降系统中的压力缓冲、保压。辅助泵的流量和压力根据升降系统所需的动力来计算，同时也根据辅助泵本身的技术参数来确定。通常情况下，辅助泵采用两台并列布置的方式，即一台工作，另一台备用。两台辅助泵之间通过中间齿轮连接，两个齿轮间的距离可根据实际需要进行调整。通过调节中间齿轮来改变两个齿轮间的距离，就可以满足升降系统所需的压力缓冲和保压需求。如果平台下降过程中出现了特殊情况，需要临时停止升降时，此时主泵停止工作，辅助泵则可立即启动。主泵和辅助泵之间通过中间齿轮连接，当辅助泵供油时，主泵停止工作；当主泵供油流量小于辅助泵所需流量时，则主泵供油。因此，当平台下降过程中需要停止升降时，只需切断与主泵之间的连接即可。当升降系统重新启动后，只要重新接通主、辅助泵之间的连接即可。在平台停止升降后，如果需要继续下降或升起平台时，可以通过控制台上的手动按钮来操作辅助泵供油。

#### （三）溢流阀

在自升式海洋石油平台的升降过程中，由于液压缸伸缩受到了液压系统压力的限制，因此必须保证液压缸在工作时的最高压力不超过一定值。当系统压力超过此值时，溢流阀将开启泄压，以防止系统压力过高而损坏设备或引起火灾等事故。溢流阀一般由阀体、阀座、阀芯及弹簧组成。当升降过程中需要通过溢流阀泄放系统内的压力油时，可以通过在溢流阀壳体上开一个小孔来实现。在自升式海洋石油平台的升降过程中，主要有以下两种工况：1) 正常工作工况：在这种情况下，平台处于上升状态，液压缸在负载的作用下伸缩，同时辅助泵也可提供压力油，故整个升降过程中液压缸和辅助泵均处于工作状态。2) 应急工况：在这种情况下，当平台处于下降状态时，当辅助泵提供的压力油小于主泵提供的压力油时，辅助泵会将压力油引入到主泵中，以减少液压缸和辅助泵之间的压力波动。同时，当平台下降到一定高度时（一般为4m~6m）时，辅助泵会停止向主泵提供压力油。此时液压缸和辅助泵处于备用状态。

### 四、液压系统

液压系统的设计是影响液压升降系统运行性能的关键因素，其主要包括以下几个方面：（1）液压泵的选型和匹配。自升式平台常用的液压泵主要有：交流油泵、变频泵、高压泵等。在自升式平台升降系统中，升降油缸的伸缩速度快、行程大，且多采用高压泵。因此，液压泵的性能直接影响着系统的运行性能。（2）

溢流阀、节流阀、减压阀、安全阀和节流口等元件的选用。溢流阀主要用来控制升降油缸的活塞杆伸出后油缸内压力和活塞杆缩回后油缸内压力之间的平衡,以保证油缸能够平稳地停住;节流阀主要用于控制升降油缸在运行过程中速度,以防止活塞杆伸出过快导致油缸伸缩时速度过快;减压阀主要用来降低液压系统的工作压力,以防止其在升降过程中由于油压过高导致液压系统部件损坏;安全阀主要是在平台升降过程中当升降油缸内压力达到一定值时,安全阀自动打开泄压,从而避免油压过高导致液压系统部件损坏;节流口主要是用来改变液压缸伸缩过程中速度,从而避免压力过大导致液压系统部件损坏;节流口主要用来降低系统压力,以避免液压系统部件损坏。(3)流量和压力调节方式。目前常用的调节方式主要有节流阀控制流量和溢流阀控制压力两种方式。由于升降平台作业环境恶劣,受外界条件的影响很大,因此,为了保证平台升降过程中良好的工作性能和工作环境,升降系统通常采用两种调节方式。其一是通过溢流阀和节流口等元件实现流量和压力的调节。其二是通过设置专门的变量泵实现流量和压力的调节。当然,溢流阀、节流阀等元件也可用于其他设备。

(4)液压系统管路布置。由于液压升降系统中各个液压元件(如活塞杆、套筒、连接接头等)及管路都比较复杂,且处于高空作业环境中,在保证其安装精度和管路安装质量的同时,必须保证管路布置合理、管路布置紧密和管路布置可靠等要求。为保证液压升降系统工作可靠、平稳、高效和寿命长,同时又能降低维护保养难度和费用,应根据所选液压元件的性能、功能要求以及平台升降作业条件来选择相应的液压元件。由于海洋石油平台使用环境复杂,所以所用液压元件必须具有较好的耐腐蚀性、抗氧化性和较长的使用寿命等性能。

### 五、升降系统控制

升降系统的控制,也就是平台升降过程中的控制,主要是指由液压站来控制液压缸的伸缩速度,进而实现平台的升降。升降系统在工作时,会产生一定的压力,这将使得升降系统的伸缩速度受到一定的限制,一般情况下,其最大伸缩速度不能超过0.5m/s。升降系统在设计时要考虑到以下几个方面:1)由于平台在作业时受到风力、波浪等外力的影响较大,所以要保证平台能够有足够的稳定性;2)在工作过程中会产生大量的热量和噪声,所以要保证平台具有较好的散热和降噪能力;3)液压系统的效率和功率消耗都比较高,所以要保证系统能够提供足够高的功率;4)由于海上作业环境比较恶劣,所以要保证平台能够在各种恶劣环境下稳定可靠地工作。液压系统采用比例压力阀作为控制阀来控制液压缸伸缩速度。液压缸是通过伸缩油缸来实现升降平台动作的。伸缩油缸包括两个部分:一个是由主控制阀控制(也叫作主阀)和控制阀组组成的阀组;另一个是由辅助控制阀组组成的阀组。主控制阀和辅助控制阀组成了主阀组。辅助控制阀组由4个溢流阀和1个单向节流阀组成。其中,1个溢流阀位于油缸下部;3个单向节

流阀位于油缸上部;4个溢流阀位于油缸下部。这些辅助控制阀由油箱中直接取油。当液压系统发生故障时,辅助控制阀会自动关闭。液压系统控制过程分为两个阶段:第一阶段是主控制阀和辅助控制阀组之间的开环控制阶段;第二阶段是主控制阀和辅助控制阀组之间的闭环控制阶段。当升降系统正常工作时,升降系统通过主阀组来实现升降平台动作。液压缸伸缩油缸伸缩时,油缸下部溢流阀和单向节流阀会打开,从而使主阀组中各液压泵都处于工作状态,主阀组中各液压泵的流量被分配到各液压缸中,进而实现各个液压缸的伸缩。此时,辅助控制阀组不工作。当主阀组中某个液压泵发生故障时,辅助控制阀会自动关闭,从而使系统全部停止工作,并发出报警信号。如果发生液压系统故障时没有及时处理导致系统彻底停止工作时,主控制阀会自动打开,使辅助控制阀组正常工作。如果主控制阀组关不住而导致系统重新启动时,辅助控制阀组会自动关闭。当平台升降速度超过设定值时,其速度限制功能也会发挥作用。当升降系统发生故障时会自动发出报警信号;而当升降系统发生故障时可以通过控制主阀组来进行紧急停车和减速操作。另外,主控制阀还可以作为紧急开关使用(此时该开关会处于打开状态),从而避免由于平台突然降落而对人员造成伤害。在自升式海洋石油平台中使用了很液压元件来保证其升降系统的安全和可靠性,并且为了方便以后的维护工作和升级工作也使用了很多的电气元件来保证其升降系统的安全运行。

### 结束语

综上所述,液压升降系统是一种机电液一体化的复杂控制系统,其安全可靠要求非常高,但又是保证作业安全和平台作业效率的关键。由于海洋石油平台在我国海域进行作业,其环境条件较为恶劣,液压系统在工作时需要承受较高的应力、温度及腐蚀等影响因素,因此要求其设计必须合理、可靠,并能够适应恶劣的环境。另外,由于海洋石油平台液压系统一般由多个部件组成,因此在设计和使用过程中需要对其进行详细的分析和研究。

### 参考文献

- [1]杨建平,刘兴邦.海洋自升式井架起升设计[J].机械研究与应用,2012(05):106-108+111.
- [2]李文华,张银东,陈海泉等.自升式海洋石油平台液压升降系统分析[J].液压与气动,2006(08):23-25.
- [3]詹永麒,张锡亮.插销爬杆型液压自升式海洋石油钻井平台PLC控制[C]//中国机械工程学会流体传动与控制分会.第一届全国流体动力及控制工程学术会议论文集(第二卷).第一届全国流体动力及控制工程学术会议论文集(第二卷),2000:111-112.
- [4]孙玉清,姜培元,谭跃等.自升式海洋石油平台液压机构动力学分析[J].大连海事大学学报,1998(01):59-61.