

文章编号: 1673-3193(2007)04-0291-05

新型液压升船机的设计和研究

李昕涛¹, 王爱玲²

(1. 太原科技大学 机械电子工程学院, 山西 太原 030024; 2. 中北大学 机械工程与自动化学院, 山西 太原 030051)

摘要: 为了改善内陆河流船舶通行坝区的能力和效率, 对国内外的垂直升船机进行了研究, 分析了垂直升船机的现有技术, 提出了全新的液压升船机的设计方法, 采用液压机械手原理, 有效地突破了液压油缸有限行程无法完成大高度升降、长距离运行的技术难题; 采用液压调速控制, 改善了系统低速性能, 实现了大范围内无级调速; 采用动态驱动解析冗余容错技术, 实现了局部故障下的自恢复功能, 提高了设备运行的安全性; 运用液压同步性能的优势, 消除了电气拖动多吊点易偏载的缺陷。

关键词: 液压升船机; 冗余容错; 液压机械手

中图分类号: TH21 **文献标识码:** A

Design and Research of New Hydraulic Ship-Lift Sketch

LI Xin-tao¹, WANG Ai-ling²

(1. School of Mechanical and Electronic Engineering,

Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China;

2. School of Mechanical Engineering and Automatization, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: To improve the capacity and efficiency of the ship passage in a dam area of inland river, based on technology around world about the vertical ship lift, the existing technology of the vertical ship lift using hydraulic manipulator principle is analyzed. A new design method about the hydraulic ship lift, and an effective solving about the hydraulic cylinder limited itinerary technical problems which could not be completed in highly movements and long-distance running are put forward. Low-speed system performance is improved by hydraulic speed controlling, then it realizes the variable speed in large range. With redundant fault-tolerant technology analyzed by dynamic driving, it improves the equipment safety with the resumption in the partial failure functions. Under the hydraulic performance synchronous advantage, the flaws are eliminated which electric driving of multi-suspension cause imbalance.

Key words: hydraulic ship lift; redundant fault-tolerant; hydraulic manipulator

大型垂直升船机在当今世界上有两种具有代表性的机型, 一类是德国吕内堡升船机的带大螺杆保安机构齿轮齿条爬升式机型^[1], 另一类是比利时斯特勒比·蒂厄升船机的钢丝绳卷扬提升式机型. 作为大型系统设备的升船机, 其驱动机构也相应较大, 难以制造安装^[2]. 而现有的液压升船机, 由于液压油缸行程较短, 仅能适用于升降行程较小的水坝.

为了改善内陆河流船舶通行坝区的能力和效率, 根据当前成熟的机器人技术^[3], 提出了一种全新的液压升船机的设计方法, 运用机械手原理, 实现了短行程液压缸完成大高度升降、长距离运行的新型液压升船机. 这种新型液压升船机, 特别是采用了专用的液压升降机械手及其与升船箱连接机构, 由液压升降机械手实现升船机起升和降落, 通过其往复运动, 实现由单个短行程液压缸完成大距离运行的液压升降功能; 由其专用的联接机构灵活组合, 完成升船机局部故障下的自恢复功能, 运用液压成熟同步控

* 收稿日期: 2006-11-08

基金项目: 太原市科技兴市基金项目 (203-24041876)

作者简介: 李昕涛(1973-), 男, 工程师, 硕士. 主要从事机电工程研究.

制技术,改善多吊点同步控制性能,达到垂直升船机同时运输多船舶的功能.

1 系统组成

如图 1 所示,这种升船机包括:由固定在坝体 1 的驱动机构驱动的升船箱 11,与升船箱用钢丝绳经安装在坝体 1 上的定滑轮组 4 连接的配重 3 组成.驱动机构是一种均布在升船箱 11 两侧、套装在与坝体 1 固定的竹节式推进柱 5 上的液压升降机械手 15 及其液压控制系统.

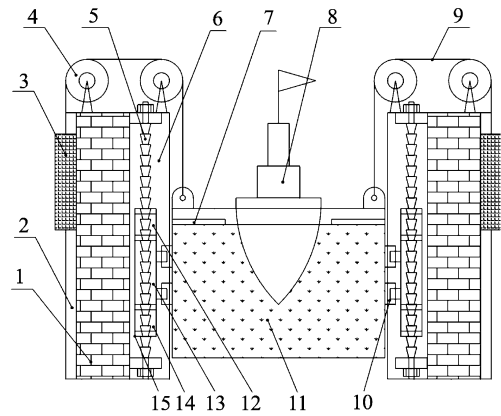
1.1 总体结构

如图 1 所示,坝体 1 内侧开设多个安装液压机械手和竹节式推进柱的几字形槽口 6,在坝体 1 的外侧开设多个配重防风槽 2.升船机坝体采用几字型结构,增加升船机抵抗地震的能力,并增强了定滑轮组支撑结构的强度.采用两组定滑轮组,降低了升船机土木建筑结构单点受力现象,从而降低了对坝体设计强度的要求;为节约配重,可在水箱上增设动滑轮组;在坝体的外侧开设多个配重防风槽,防止风载对升船机运行的影响.液压升降机械手的个数随实际情况相应变化,如随升船机的吨位、速率、安全系数等而相应改变.

1.2 驱动机构

驱动机构是一种均布在升船箱两侧,套装在与坝体固定的竹节式推进柱上的液压升降机械手及其液压控制系统.

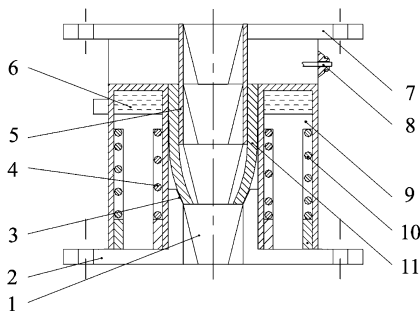
如图 1 所示,液压升降机械手由上部夹持自锁段 12,中部升降段 13,下部夹持自锁段 14 组成.上部夹持自锁段如图 2 所示,由中心可通过竹节式推进柱 1 的法兰盘 2 与中部升降段的法兰盘 1 连接,下部夹持自锁段由法兰盘 7 与中部升降段的法兰盘 7 连接,整体套装在竹节式推进柱 1 上.上、下部夹持自锁段是由置于法兰盘 2 上的约束斜面 3 接触的夹持钳体 11,置于夹持钳体内并与法兰盘 2 连接的导向项管 5,置于法兰盘 2 上,并由内圈弹簧 4,外圈弹簧 10,活塞 9 以及油缸 6 组成.



1- 升船机坝体; 2- 防风槽; 3- 配重; 4- 定滑轮组; 5- 推进柱; 6- 几字形槽口; 7- 几何网格浮生生物; 8- 船体; 9- 钢丝绳; 10- 弧型(或 V 型)连接; 11- 升船箱; 12,13,14- 上、中、下自锁段; 15- 液压升降机械手

图 1 新型液压升船机系统示意图

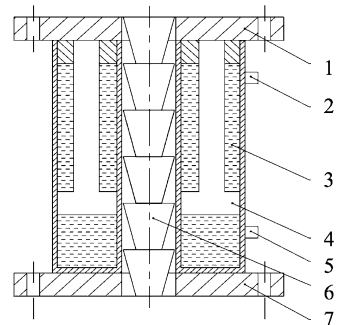
Fig. 1 System of new hydraulic ship-lift



1- 推进柱; 2- 法兰盘联结; 3- 约束斜面; 4- 内圈弹簧; 5- 导向项圈; 6- 液压缸; 7- 法兰盘联结; 8- 称重传感器; 9- 活塞; 10- 外圈弹簧; 11- 夹持钳体

图 2 夹持自锁段结构示意图

Fig. 2 Skeleton of gripper self-locked structure



1- 法兰盘; 2- 上油嘴; 3- 起升液压缸; 4- 活塞; 5- 下油嘴; 6- 推进柱; 7- 法兰盘

图 3 中部升降段结构示意图

Fig. 3 Skeleton of central movement structure

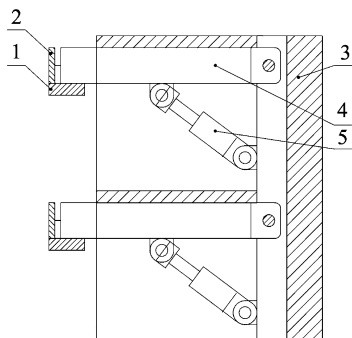
中部升降段^[4]由与上、下部夹持自锁段连接,中心可通过竹节式推进柱 6 的中部法兰盘和设置在法兰盘间的升降液压缸 3 组成,升降液压缸上部设有上油嘴 2,下部设有下油嘴 5,活塞 4 与中部法兰盘 1.7 连接.

1.7 连接.

1.3 连接接手结构

当液压升降机械手少数出现故障时,根据动态驱动解析冗余容错技术,运用无故障的液压升降机械手将升船箱提升至弧型(或 V 型)接手打开和收回所需的足够空间,打开其它弧型(或 V 型)备用接手后,再收回发生故障的液压升降机械手相应的连接接手,升船机可以继续运载船舶运行。

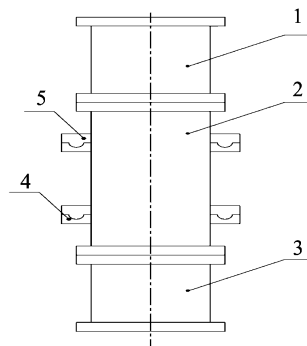
如图 5 所示,液压升降机械手与升船箱的连接接手,是在中部升降段 2 两侧设置弧形或 V 形接手槽 4,在升船箱的对应位置设有由图 4 液压缸 5 驱动的弧形或 V 形连接接手 4。止口 2 是防止升船箱水平窜动的。采用液压缸驱动弧型或 V 型接手的连接方式,当出现机械手故障时可自动脱离故障机械手。



1- 弧型(或 V 型); 2- 止口; 3- 升船箱连接定位板;
4- 弧型(或 V 型)连接手; 5- 连接液压缸

图 4 升船箱与液压升降机械手连接示意图

Fig. 4 Connection skeleton of the ship-lift box with hydraulic lift manipulator



1- 上部夹持自锁段; 2- 中部升降段; 3- 上部夹持自锁段;
4- 弧型(或 V 型)槽; 5- 止口

图 5 液压升降机械手及接手弧型(或 V 型)槽

Fig. 5 Hydraulic lift manipulator and arc chutes

1.4 其他辅助机构

升船箱上放置几何式生物网格覆盖层 7(图 1)。几何网格浮生生物 7 由防水材料织成几何形状,上面种植浮生生物,防止在升船机船箱上升、下降、晃动时,引起水的波动造成机械振动,在船舶驶入(驶出)水箱时,自动打开(收起),防止干扰船舶推进装置正常工作。固定在坝体 1 的竹节式推进柱 5,由定长的推进柱连接而成,推进柱之间采用常规的螺栓连接,实现长度的调节。推进柱一头为螺栓,另一头为螺母,将多个定长的竹节式推进柱首尾连接,达到坝体高度。

配重 3 采用块状金属或沙状粉末,当出现系统故障时可打开配重箱将粉末状配重遗弃进行调重或动态启用备用机械手。

2 运行原理

2.1 升船机运行原理

新型液压升船机采用液压升降机械手、定滑轮组、配重系统,实现升降与安全保护功能,其工作原理整个过程如同人的双手提升重物过程一样,往复运动,实现起吊任务;全自动升船机的液压升降机械手的设置可以均匀布置在水箱两侧,当水箱负载变化时可以灵活增减液压升降机械手,升降途中由于某个液压升降机械手出现故障,可直接脱离故障液压升降机械手,而不影响船舶的通行;在航运高峰期,通过增加液压升降机械手数量,提高运行速度。由于液压同步升降效果好,支持多船舶近距离同时升降,大大提高其通行效率。全自动升船机制动过程采用液压阀控制流量来实现控制制动力矩,制动力矩直接设置在终端。

如图 1 所示,竹节式推进柱通过螺栓连接,固定在坝体上,其数量根据升船机设计要求中的通过量设置,但最少不能少于 4 个^[4],液压升降机械手套装在竹节式推进柱上,将其分别布置于升船箱两侧,每边最少两个液压升降机械手。运行时以升船箱在底部(顶部)为起点,船舶驶进升船箱关闭水箱入口

打开几何网格浮生生物,同时通过称重传感器 8(图 2),检测出液压升降机械手的状态,然后,液压升降机械手往复运动,实现同步起升(下降)任务;到达任务位置后,打开水箱出口,船舶 8 驶出水箱,完成升船机运输任务.

2.2 液压升降机械手运行原理

2.2.1 上升过程

在升船机上升过程设备运行步骤:①上部夹持自锁段松开;②中部升降段上升至行程;③上部夹持自锁段夹紧;④下部夹持自锁段松开;⑤中部升降段复位;⑥下部夹持自锁段夹紧.

2.2.2 起吊到位

升船机起吊到位设备运行步骤:①上部夹持自锁段夹紧;②下部夹持自锁段夹紧.

2.2.3 下降过程

在升船机下降过程设备运行步骤:①下部夹持自锁段松开;②中部升降段下降至行程;③下部夹持自锁段夹紧;④上部夹持自锁段松开;⑤中部升降段复位;⑥上部夹持自锁段夹紧.

上、下部夹持自锁段结构如图 2 所示.其工作原理如下:通过内圈弹簧 4 和外圈弹簧 10 压力,使活塞 9 向上运动,引起法兰盘 2 相对向上运动,通过其上的圆锥斜面 3 约束,使夹持钳体 11 向内夹紧,通过竹节式推进柱 1 的棱台实现受力支撑.当掉电或液压系统出现故障时,夹持钳体实现自动夹紧,进而防止产生衍生灾害.当活塞 9 受液压力向下运动时,通过与法兰盘 2 连接的导向项圈 5 向下运动,推动夹持钳体 11 向外张开,实现夹持打开.

中部升降段结构如图 3 所示,其工作原理与一般的液压升降机械结构相同(如千斤顶),它与夹持自锁段配合使用.当上油嘴 2 接通时,液压缸 3 内的活塞 4 受液压力向下运动;反之,下油嘴 5 接通时,受液压力推动活塞 4 向上运动,进而带动相应得夹持自锁段运动.中部升降段长度应满足竹节式吊具的行程控制要求,从而保证起升、下降过程时夹持部分的准确性、可靠性.液压控制系统,可采用常规的液压位置控制方式,实现闭环控制.

2.3 液压系统原理

液压原理以下降过程为例:电磁换向阀 7 的 1YA 失电,上部夹持油缸 1 向 B 运动,夹紧吊具;当达到额定压力下,压力继电器 4 输出信号,允许电磁换向阀 8 的 2YA 得电,升降油缸 2 下降;当下降到位时,压力继电器 5 输出信号,电磁换向阀 9 的 4YA 失电,下部夹持油缸 3 向 F 运动,夹紧吊具;当达到额定压力时,压力继电器 6 输出信号,允许电磁换向阀 7 的 1YA 得电,上部夹持油缸 1 向 A 运动,松开夹持钳体,压力继电器 4 复位输出信号,允许电磁换向阀 8 的 3YA 得电,升降油缸 2 复位,完成一个工作循环.液压原理图中节流阀 10,11,12 防干扰回路,防止保压时间过短,从而影响夹紧力;节流阀 11、溢流阀 13 和变量泵 19 构成容积节流调速回路,实现速度平稳,较好的调速性能,可实现大范围无级调速;蓄能器 14,压力表 15,压力继电器 16,溢流阀 17,单向阀 18,滤油器 20,电磁阀 21 实现用蓄能器保压由溢流阀卸荷的卸荷回路,以提高效率.图 6 中给出的是单个液压升降机械手运行的液压原理,当多个液压升降机械手运行时,仅需按常规的液压同步控制方式,实现同步控制^[5-7].

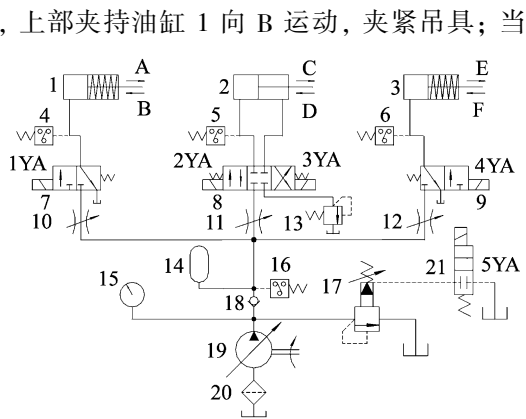


图 6 液压原理图

Fig. 6 Hydraulic diagram

电气控制台包括通常采用的各种保护及联锁:行程限位信号、超重保护信号、上升、下降联锁、液压站监控信号等,各种电器控制系统:启动按钮、停止按钮、紧停按钮等,以及计算机 PC 控制系统和 PLC 控制系统.当起吊吨位不同时,选取数量不同或吨位不同的液压升降液压机机械手,便于灵活更改电气控制模式:液压升降机械手与升船箱连接接手的驱动液压缸.采用常规的液压控制系统.

3 应用性能分析

这种新型液压升船机与传统升船机技术应用于实际中的优势比较见表 1.

表 1 应用性能比较表

Tab.1 Comparison of application performance

性能 \ 类型	新型液压升船机	传统升船机技术
升降机械结构	直线往复运动结构简单, 液压缸做直线运动	直线往复运动结构复杂, 需通过机械机构(如齿轮齿条机构或钢丝卷筒机构), 将电动机输出的旋转运动转变为直线运动
无级调速范围	大, 液压调速比可达 100 以上, 采用伺服控制可达 400 以上	小, 电气调速比 20
过载保护	优, 液压传动系统可以用安全阀简单的实现过载保护, 而且过载后能自动继续运转, 不需重新启动	一般, 电气传动或机械传动过载保护装置比较复杂, 而且过载结束后常需重新启动
抗冲击能力	较强, 由于升船箱内的水会产生波动冲击, 进而带来传动机构的冲击, 而液压系统可以用溢流阀、蓄能器等来吸收冲击使系统运行速度平稳, 故抗冲击能力较强	较差, 采用齿轮齿条传动, 由于升船箱内的水带来的负载冲击, 产生齿轮齿条啮合机械振动, 易诱发故障; 采用钢丝卷筒机构传动, 易引起升船箱水平摆动, 需增加导向装置, 降低运行效率
同步性能	好, 采用液压方法保证同步, 可实现速度同步或位置同步	一般, 需增加平衡机构, 采用刚性的构件使执行元件建立刚性运动联系实现同步, 由于升船箱水位波动, 带来的负载差别较大, 会因偏载造成卡死现象
低速力矩	大而稳定	不易获得稳定低速, 电气传动需另加减速机
功率质量比	大	小
自恢复能力	强, 少数升降机构故障可继续运行	弱, 仅能完成一个工作周期

4 结 论

这种新型液压升船机, 由液压升降机械手实现升船机起升和降落, 具有结构简单, 故障率低, 设备运行安全、可靠, 灵活性强, 局部故障下有自恢复功能, 运行效率高等优点, 特别是采用了专用的液压升降机械手以及与升船箱的连接机构, 通过其往复运动, 实现了由单个短行程液压缸完成大距离运行的液压升降功能, 可灵活组合, 完成升船机运输船舶的任务, 对改善内陆河流船舶通行坝区的能力和效率, 有着积极的现实和参考意义.

参考文献:

[1] Heymann H J, Siebke J, Schleder H P, et al. A new shiplift in Niederfinow[J]. Stahlbau, 2001, 70(1): 19-25.

[2] Shi Duanwei, Wu Qingming, Zhang Zhiqiang. Structure analysis of locking mechanism of gear-rack typed ship-lift[J]. Whhan University Journal of Natural Sciences, 2006, 11(3): 631-636.

[3] 陈恳, 杨向东, 刘莉, 等. 机器人技术与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[4] 李昕涛, 王爱玲. 中小型电站新型起重设备的探索[J]. 机电产品开发与创新, 2005, 18(1): 44-46.
Li Xintao, Wang Ailing. A new hydraulic crane in the middle and small scale power plant[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2005, 18(1): 44-46. (in Chinese)

[5] Shibata, Satoru, Yamamoto, et al. A synchronous mutual position control for vertical pneumatic servo system[J]. JSME International Journal, Series C: Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, 2006, 49(1): 197-204.

[6] Travis W, Rich B, Greg S, et al. Optimization and experimental verification of a variable ratio flow divider valve[J]. International Journal of Fluid Power, 2005, 6(3): 45-53.

[7] Ni Jing, Xiang Zhanqin, Pan Xiaohong, et al. Synchronization modeling and control for two cylinder electro-hydraulic elevating systems[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(2): 81-86.