

岸边集装箱起重机挂舱保护装置的设计

张燕敏 王 健

大连重工·起重集团有限公司设计研究院 大连 116013

文章编号: 1001-0785 (2012) 07-0024-04

0 概述

挂舱保护装置是近几年提出需要设置的一项保护措施。它主要因 2 种情况发生时起作用: 1) 当空吊具或满载吊具从舱内滑道高速起升出舱过程中, 发生吊具、集装箱与滑道卡住; 2) 当吊具起吊甲板上的集装箱而该集装箱与下层集装箱之间的锁销尚未打开。该装置必须是瞬时的在任何超载或过电流限制动作之前就动作, 并且应是在电控室可持续复位的, 而不需要维修人员去调节或复位挂舱保护设备的装置。

在岸边集装箱起重机(以下简称岸桥)工作过程中, 如果未设置挂舱保护装置, 则当突然发生挂舱时, 超载载荷将对结构和机构等造成很大的损伤, 且在挂舱期间绳的拉力也会不同, 钢丝绳抗断裂安全系数将在挂舱条件下大大地降低。液压系统因其易于实现过载保护且具有体积小、质量轻、结构紧凑、工作平稳、液压元件能自行润滑、使用寿命长等优点成为挂舱保护装置的首选。因此, 挂舱保护装置应包括液压缸及其支持的主起升滑轮; 液压缸驱动滑轮运动, 能吸收挂舱时的能量。

1 功能与结构

为了从发生挂舱至最终停车期间, 能迅速释放挂舱载荷, 由岸桥整机布置图(见图 1)及主起升钢丝绳缠绕示意图(见图 2)分析可知, 一般是通过在主梁尾部起升改向滑轮处设 4 只单独动作的防挂舱液压缸, 一旦挂舱, 将大量释放液压缸内高压油, 直至与岸桥结构、机构等所能承受的载荷平衡。事故排除后通过司机室内按钮操作复位。

1.1 挂舱保护液压系统功能及组成

1) 液压系统的功能

液压系统主要的功用有: 岸桥正常工作时液

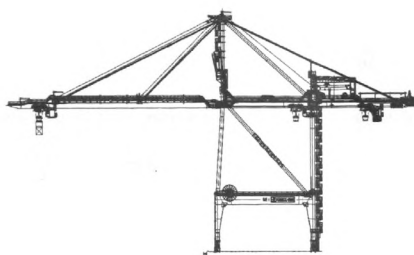


图 1 岸桥整机布置图

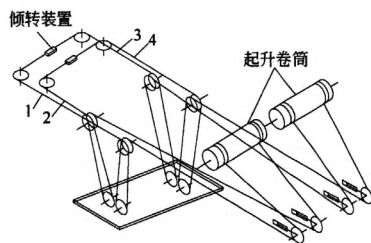


图 2 主起升钢丝绳缠绕示意图

压缸的支撑作用; 岸桥正常工作时保证液压缸活塞杆在某需要位置(含该位置允许公差范围); 挂舱事故发生时液压缸活塞杆迅速缩回的对钢丝绳长度补偿作用; 挂舱事故发生时压力继电器的报警及同时输送信号, 立即停止起升电机、切断电源作用。

2) 挂舱保护液压系统组成

如图 3 所示, 液压系统包括监测元件、控制元件、执行元件和动力元件。

① 监测元件: 包括 4 只压力继电器, 分别安装于 4 个挂舱保护集成阀块上, 直接、实时地监控液压缸无杆腔中的油压, 并在事故发生时报警及输送信号, 立即停止起升电机、切断电源作用。

② 控制元件: 包括挂舱保护集成阀组挂舱保

《起重运输机械》 2012 (7)

护集成阀组,由1只主阀、1只先导阀、1只节流阀、1只溢流阀及3个阻尼孔组成,其固定在液压缸处阀块上。主阀(及先导)阀采用插装阀,平时关闭,挂仓事故发生时依靠液压缸无杆腔中压力油打开而排油;其流量很大,便于当挂仓事故发生时活塞杆的迅速缩回。

③ 执行元件:包括4只液压缸。挂舱保护液压缸安装于主梁尾部,通过活塞杆铰接吊环头与摇臂相连;正常工作时活塞杆伸出一定距离并锁定位置(含该位置允许公差范围),起支撑作用;在事故发生时迅速放油缩回,补偿钢丝绳所需补偿长度。

④ 动力源元件:包括1台变量泵,用于同时兼有挂仓保护及吊具微调的多功能液压系统;如果液压系统仅起挂仓保护功能,则可采用齿轮泵;齿轮泵抗污染能力强、成本低、维护方便,而且非常稳定、耐用。

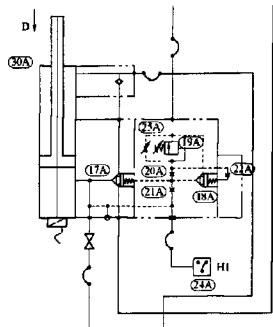


图3 挂舱保护液压原理图

3) 系统液压缸采用 MT4 型的优点

- ① 液压缸支撑点与活塞杆铰接吊环头间的支撑距离选择范围大、便于布置;
 - ② 液压缸支撑距离大大减小,使活塞杆直径及缸径可大大减小,更利于挂仓事故发生时液压缸的迅速排油、缩回,挂仓保护利于实现并效果好;由于缸径及杆径的大大减小,而4只液压缸在液压系统中占有相当高的成本比例,从而大幅度降低了液压缸的制作成本;
 - ③ 因B项中缸径的大大减小,使液压系统中相应控制及动力元件的规格可随之减小,从而降低液压系统成本;
 - ④ 便于选择、调整适当的液压缸支撑距离,
- 《起重运输机械》 2012 (7)

使活塞杆与导向套及密封圈间的摩擦力大大降低,从而可以大大延长液压缸维护时间间隔,减低维护成本;

⑤ 便于实现在1或2个方向上的灵活摆动,避免液压缸承受侧向力。

1.2 工作原理

由图4可知,挂舱保护动作过程为:当发生挂舱保护时,液压缸A、B、C和D动作,驱动钢丝绳,使吊具(或吊具上架)上的a、b、c、d等4点作上升、下降运动。

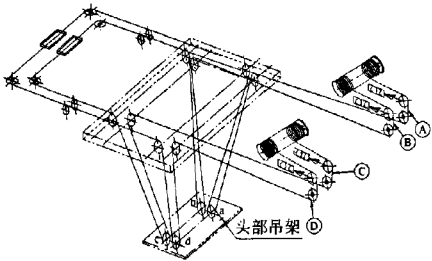


图4 主起升钢丝绳缠绕示意图

岸桥正常工作时,液压缸活塞杆伸出一定距离,并锁定保持在该位置上(含该位置允许公差范围),此阶段液压缸起支撑作用(活塞杆受压)。若挂仓事故发生,液压缸无杆腔内油压力骤升。当油压升至设定压力值时,溢流阀打开,先导阀动作、主阀同时打开,3向联通(即液压缸有杆腔、无杆腔及油箱联通),液压缸无杆腔中的油液被排出,一部分迅速进入有杆腔、其余迅速流回油箱,达到快速排油以使活塞杆迅速缩回之目的。另外,在液压缸无杆腔内压力达到设定压力时,压力继电器首先动作、发讯,由主机原已设定好的联锁控制程序对起升机构断电、起升机构制动器制动。这期间仅持续不到1s时间段,完全为动态过程。由于活塞杆的迅速缩回,及时补偿了由发生挂仓事故报警至起升机构停止运转这段时间内的钢丝绳所需补偿长度,最终起到对机械结构及钢丝绳的保护作用。

节流阀平时关闭,只有当检修液压缸时才手动卸荷以使液压缸活塞杆全部退回。

压力继电器的动作报警点:一般设定在最大起升载荷时液压缸中压力的1.2倍左右,具体值可在现场调试时确定。(对于液压系统仅起挂仓保护

作用情况,其液压系统会更简单,但当挂舱事故发生时其液压动作完全一样,即挂舱保护集成阀组相同。)

1.3 结构布置

目前挂舱保护装置的布置形式主要有摆线式(见图5)和平行式(见图6)。这2种布置形式的比较对照见表1。

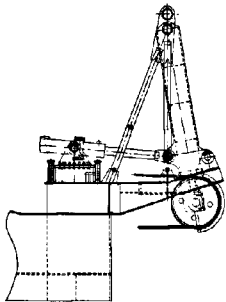


图5 摆线式挂舱保护装置布置

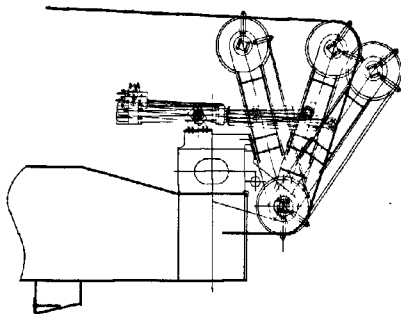


图6 平行式挂舱保护装置布置

表1 挂舱布置形式比较表

布置形式	对液压缸力影响	对液压缸行程影响
摆线式	$F_g = 2rF_s$ 式中: F_s 为液压缸力, F_s 为钢丝绳拉力, r 为杠杆比 (1.25 ~ 1.33)	$S \approx \Delta L_s / 2r$ $\approx \Delta L_s / (2.5 \sim 2.66)$ 式中: S 为液压缸行程, ΔL_s 为钢丝绳行程
平行式	$F_g = rF_s$ 式中: F_s 为液压缸力, F_s 为钢丝绳拉力, r 为杠杆比 (2)	$S \approx \Delta L_s / r \approx \Delta L_s / 2$ 式中: S 为液压缸行程, ΔL_s 为钢丝绳行程

2 分析计算

当起重机司机从箱格中起升集装箱时,由于箱格导向中的不规则而钩住集装箱,此时起升卷筒必须在极短的时间内停止。在集装箱被挂住时,对有绳索牵引式小车的集装箱起重机,有相当长的起升绳。因为绳从前大梁端走向小车,从小车到吊具,然后回到小车,从那里回到起升卷筒,后者位于大梁的后端,此钢丝绳长度将在大约130 ~ 250 m 之间。

集装箱在箱格中被卡住,引起起升卷筒突然停止,并导致起升钢丝绳被拉长。

$$\Delta l = Fl / (AE)$$

式中: Δl 为钢丝绳的伸长量, cm; F 为绳中的拉力, N; l 为总的绳长, cm; A 为钢丝绳横截面的净面积, cm^2 ; E 为弹性模量。

起升钢丝绳一般抗断裂的安全系数大约为6,这意味着当相当大的钢丝绳长度被突然停止而拉伸时,绳的伸长量 Δl 也相当大。

若为集中挂舱,所有4根钢丝绳都将超载。若为偏心挂舱,则只有2根钢丝绳超载,这些钢丝绳必须在同样行程下使卷筒停止。在偏心挂舱的条件下绳中的超载将是集中超载的2倍。

如果起重机司机想快速(弱磁速度)起升空吊具,而吊具卡在箱格内,则钢丝绳的超载将更高,这是因为电机速度更快,制动时间将更长。

2.1 工况

该机的工况为:全速状态,小车带空集装箱,偏心挂舱,起升电机全速运行直至断电,钢丝绳拉力达到起升载荷的1.1倍时电机断电,钢丝绳拉力达到起升载荷的1.25倍时系统显示挂舱,电机开关动作时间忽略,绳长为船舷高度时的绳长等。

2.2 计算

1) 行程1(从挂舱开始至压力继电器动作)
 ΔL_1 (m)

$$\Delta L_1 = \pi DN_m \Delta t / (60i) \tag{1}$$

式中: Δt 为从挂舱开始至载荷传感器动作所需时间。

2) 行程2(从压力继电器动作至起升电机断电)

$$\Delta L_2 = \pi DN_m \Delta t_1 / (60i) \tag{2}$$

如果吊具的一角发生挂舱,起升钢丝绳将对

主起升电机产生 1 个制动力矩, 其中 1 根绳由液压装置驱动, 驱动力 $F_d = 1.25 F_1$; 剩余 3 根绳承担吊具质量, 绳拉力为 $F_r = 3 F_1$ 。绳拉力对电机产生的制动力矩 T_s 可表示为

$$T_s = gD(F_d + F_r)/(2i) \\ \Delta n_1 = T_s \Delta t_2 / J$$

式中: Δt_2 为从电机断电至制动器动作所需时间。

当制动器动作时, 电机转速 n_1 可表示为

$$n_1 = N_m - \Delta n_1$$

电机减速过程中起升行程为

$$\Delta L_3 = \pi D(N_m + n_1)/(60i\Delta t_2) \quad (3)$$

从制动器开始工作至卷筒最终停止转动, 钢丝绳行程为 ΔL_4

$$T_1 = T_s + 2T \\ \alpha_b = T_1 / J \\ \Delta t_3 = n_1 \times 2\pi / \alpha_b \\ \Delta L_4 = \alpha_b \Delta t_3^2 / 2 \quad (4)$$

钢丝绳伸长量 ΔL_5 :

$$\Delta L_5 = F_d L / (AE) \quad (5) \\ A = f d^2 \pi / 4$$

3) 钢丝绳总行程为 ΔL_s

$$\Delta L_s = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 - \Delta L_5 \quad (6)$$

从载荷传感器动作到卷筒最终停止的挂舱时间为 Δt_s

$$\Delta t_s = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 \quad (7)$$

4) 液压缸行程的选择

挂舱液压缸行程 S 可表示为

$$S = \Delta L_s / 2r \quad (8)$$

在钢丝绳总行程 ΔL_s 理论计算值基础上, 根据式 (8) 计算结果, 适当增加即可。

5) 液压缸的选择及设定

安全、可靠及有效地实现挂舱保护功能的关键点在于液压缸能否在规定时间内迅速排油、缩回所需补偿距离, 液压缸的活塞杆必须保证在 1 s 的时间段内能够缩回约 1 m 甚至以上, 整个过程完全为动态。为此, 要求液压缸必须有足够的强度及回油主管道必须畅通。目前在所有布置中, 均为液压缸所承受的力大则行程小、反之力小则行程大 (杠杆比 1:1, 不推荐); 这主要取决于液压缸与摇臂之间的杠杆比。如果选用的液压缸行

程过大, 则实现快速排油困难且易失稳; 而过小, 则缸径及强度势必加大也不经济。因此, 应选择一相对合适的液压缸就必须经过反复配比;

根据目前国际及国内岸桥的起重量及生产率, 挂舱时液压缸泄压点 (即压力继电器的动作点) 通常设定在 1.2 倍左右最大载荷时所对应的压力、缸径在 $\phi 160 \sim \phi 220$ mm、行程 600 ~ 900 mm、液压缸的额定压力以 25 MPa 为宜, 回油主管道通径不小于 65 mm。

3 结论

挂舱保护的實際效果是关键问题, 通过以上的分析可知, 采用真实挂舱来做试验较极危险, 只能采用模拟的方法。

3.1 挂舱保护系统检测

1) 在正常情况下, 4 根活塞杆应全行程伸出, 设置在其端部的行程开关发出正常信号, 油泵处于停止状态;

2) 倘若某一液压缸因内泄漏而引起活塞杆缩回, 限位开关将发出缩回信号, 令油泵启动向系统补油, 直到各液压缸恢复到正常工作位置;

3) 在排除挂舱故障后, 司机只需按复位按钮, 该系统就能恢复到正常状态。

3.2 挂舱保护装置改善措施

1) 若安装多个制动器, 或在钢丝绳卷筒的凸缘上安装夹钳式制动器 (其反应动作时间约为 0.1 s, 而非 0.3 s), 则制动时间和超越的行程可再进一步减少;

2) 跳闸之后, 电机电流立即反向, 故辅助制动力矩, 挂舱液压缸的行程可大大地减少。

参考文献

- [1] 符敦鉴主编. 岸边集装箱起重机[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2007.
- [2] Ing. J. Verschoof. 起重机设计、使用和保养[M]. 刘宝静. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [3] 杨宇华. 岸边集装箱起重机构造及维护手册[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2007.

作者: 张燕敏

地址: 大连重工起重集团装卸机械设计院

邮编: 116013

收稿日期: 2011-08-08