

## 单向顺序阀控折臂吊伸缩液压系统顺序伸出稳定性分析

张永超<sup>1</sup> 王浩<sup>1</sup> 柳宝磊<sup>2</sup> 张晋<sup>2</sup>

1 江苏宏昌天马物流装备有限公司, 江苏 扬州 225002

2 燕山大学机械工程学院, 河北 秦皇岛 066004

[摘要] 文章针对 HCZ910 折臂吊的顺序伸缩液压控制系统的组成和特点进行分析, 并建立整个液压系统的 AMEsim 仿真模型, 在额定流量下对不同负载下的折臂吊吊臂伸出顺序进行仿真分析。通过仿真结果对单向顺序阀控顺序伸缩液压系统的伸出稳定性进行研究。

[关键词] 折臂式随车起重机; AMEsim; 顺序伸缩。

DOI: 10.33142/ec.v3i6.2099

中图分类号: TD355.3

文献标识码: A

### Stability Analysis of Sequence Extension of Telescopic Hydraulic System of One-way Sequential Valve Controlled Folding Arm Crane

ZHANG Yongchao<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>1</sup>, LIU Baolei<sup>2</sup>, ZHANG Jin<sup>2</sup>

1 Jiangsu Hongchang Tianma Logistics Equipment Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225002, China

2 School of Mechanical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei, 066004, China

**Abstract:** This paper analyzes the composition and characteristics of the sequential telescopic hydraulic control system of hcz910 folding boom crane, establishes the AMEsim simulation model of the whole hydraulic system, and simulates and analyzes the boom extending sequence of the folding boom crane under different loads under the rated flow rate. Through the simulation results, the extending stability of the sequential telescopic hydraulic system controlled by one-way sequence valve is studied.

**Keywords:** folding arm truck-mounted crane; AMEsim; sequential expansion and contraction

#### 引言

随车起重机在 20 世纪四五十年代诞生于欧洲。目前世界知名的生产企业, 欧洲的有瑞典的 HIAB, 意大利的 FASSI、FERRARI、HEILA, 奥地利的 PALFINGER, 德国的 TIRRE 等; 亚洲有日本的加藤、多田野、尤尼克、古河美洲有 GROVE 等。这些随车起重机企业逐渐形成了功能多元化、品种系列化、机电液控制一体化的产品体系, 具有系列全、力矩大、功能多、操作简单、安全性能高等特点<sup>[1]</sup>, 国内随车起重机行业的起步相对较晚, 且发展也不快, 只是在近几年才有了长足的发展, 与国外相关产品相比, 还有较大的差距。生产厂家主要有山西省长治清华厂、河北省石家庄煤机厂、牡丹江专用汽车制造有限公司、中联重科浦沅分公司、徐工随车起重机有限公司、三一帕尔菲特特种车辆装备有限公司等。

目前, 国内外诸多学者针对随车起重机展开了不同方面的研究并取得了不同的成果, Sagirli<sup>[2]</sup>等人对起重机的运动学和动力学问题进行了研究, Nasser 和 Shama<sup>[3]</sup>运用有限元法分析某起重机箱型伸缩臂的承载能力, Milomir<sup>[4]</sup>等人本着减轻起重机吊臂的自身重量为目标, 对五边形梯形和等截面形式的起重机的伸缩臂进行了结构优化设计, 并通过了试验验证。李传龙<sup>[5]</sup>研究了船用起重机吊臂模型, 对吊臂在船上工作复杂工况进行了有限元分析, 进行动力学模态分析, 分析吊臂的固有振型, 通过与原有实验数据进行对比, 证明有限元模型分析的正确性。桓耀辉<sup>[6]</sup>对汽车起重机的吊臂模型进行了分析研究, 运用 ANSYS 的 APDL 语言对 ANSYS 进行二次开发, 实现吊臂数据的有限元分析参数化。降低分析过程的工作量, 提高了工作效率。张帅<sup>[7]</sup>对起重机进行动力学仿真, 完成了起重机模型运动学分析的参数化, 并应用 CREO 对起重机模型进行动力学仿真。建立微分方程, 运用 MATLAB 求解方程, 完成起重机中低高幅度作业分析。赵释迦<sup>[8]</sup>等以大吨位折臂式随车起重机的起升机构液压系统为研究对象, 设计一种新型的负载敏感平衡回路替换掉普通平衡阀, 理论分析出新型液压系统平衡回路可减少泵的输出压力, 提高整个系统的功率利用率。

吊臂伸缩机构是随车起重机的重要机构之一, 目前折臂吊的吊臂伸缩机制主要分为同时伸缩、顺序伸缩、独立伸

缩、组合伸缩这四种机制，目前国内中小吨位五节折臂吊的吊臂伸缩主要是由两个油缸作为执行元件来控制的。第一个油缸伸缩仅带动第二节臂的伸缩；第二个油缸伸缩通过钢丝绳排同时带动第三、四、五节臂整体伸缩。中大吨位折臂吊的吊臂一般多于五节，如采用双伸缩缸加绳排的结构，会使整个伸缩机构重量过大，严重影响起重机的起重性能<sup>[9-11]</sup>。所以在中大吨位折臂吊产品中顺序伸缩较其他伸缩方式具有很大优势。吊臂顺序伸缩的控制方式一般有三种，依靠两个油缸面积差控制伸缩顺序，即先伸油缸面积要比后伸的大，先缩油缸的面积比后缩的大。由于受吊臂内油缸体积的限制，实际上两个油缸截面不会相差很大，因而不能完全保障完全按顺序伸缩，可能出现乱动现象；单向顺序阀控制原理是在两个油缸伸缩油路之间分别增加 2 个单向顺序阀，通过调整两个油缸的开启压差来控制先后顺序。单向顺序阀压差越大，顺序开启的可靠性越好，同时压力损失也越大，两个油缸可以设计成相同规格，而且内部结构比较简单，单向顺序阀直接安装在管路上，结构较紧凑；机械触碰控制是目前较为先进的控制方式，在国外应用非常广泛，国内目前暂无较为可靠的产品面世。本文通过对企业现有的折臂吊产品所使用的单向顺序阀控吊臂伸缩液压控制系统进行仿真分析得到顺序阀调定压力对吊臂伸出顺序的影响规律。

### 1 顺序伸缩原理分析

单向顺序阀控折臂式随车起重机顺序伸缩液压系统液压原理图如下图所示：

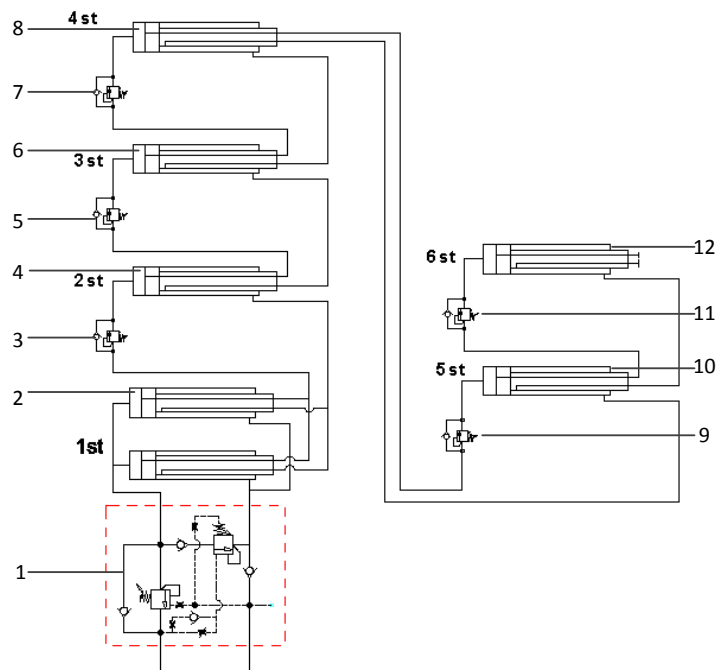


图 1 液压原理图

1 差动平衡阀、2 一级液压缸、3 一级单向顺序阀、4 二级液压缸、5 二级单向顺序阀、6 三级液压缸、7 三级单向顺序阀、8 四级液压缸、9 四级单向顺序阀、10 五级液压缸、11 五级单向顺序阀、12 六级液压缸

该吊臂伸缩液压控制系统由伸缩液压缸、单向顺序阀、差动平衡阀、管路这几部分组成，当吊臂伸出时，油液从差动平衡阀的左侧油口向系统供油，油液进入第一节臂的无杆腔，并通过第一节臂的活塞杆中心的芯管进入到第二节臂前的单向顺序阀，单向顺序阀开启需要一定的油液压力，此时油液推动第一节臂活塞杆伸出，第二节臂与第一节臂的活塞杆固定连接，第一节臂带着后面的节臂一起伸出，同时有杆腔的油液流经差动平衡阀回到液压缸的有杆腔进而提升吊臂的伸出速度，此时油压达不到单向顺序阀的开启压力，剩余节臂无法伸出，当第一节臂伸出完成后油液压力迅速上升，当油液压力到达单向顺序阀开启压力后，单向顺序阀打开，油液进入到第二节臂无杆腔推动第二节臂活塞杆伸出，第三节臂与第二节臂活塞杆固定连接，同时油液经过第二节臂活塞杆的芯管到达第三节臂前的单向顺序阀，剩余节臂伸出时以此类推。当吊臂缩回时油液从差动平衡阀右侧进口进入到液压缸的有杆腔，由于液压缸芯管的存在，此时油液会通

过液压缸的芯管到达所有节臂的有杆腔，第二节臂固定连接在第一节臂的活塞杆上（后面节臂以此类推），后面节臂就相当于前一节臂的负载，这就导致了第一节臂的负载最大，最后一节臂的负载最小，驱动每一节臂缩回的压力也就不同，负载越大压力越大，负载越小压力越小。所以吊臂缩回时最后一节臂先缩回，剩余节臂依次缩回。

从原理上我们可以看出，实现吊臂顺序伸出的关键就是单向顺序阀的开启压力，如果单向阀的开启压力设定合理的话，所有的吊臂就会按照一定的顺序实现伸出动作，如果单向顺序阀的开启压力不合理就会导致某一吊臂伸出过程中，下一节臂前的单向顺序阀打开导致两节臂同时伸出，或者后一节臂比前一节臂先伸出的情况。

## 2 液压系统仿真分析

AMESim 软件是基于功率键合图开发的适于机电液系统的仿真软件，在 AMESim 平台上，用户可以对机械、液压、控制、气压等多个领域进行系统或元件的稳态或动态特性研究，该软件已经在机电液一体化仿真领域得到了广泛应用，并取得了良好效果。本文通过在 AMESim 软件中对整个液压系统中的单向顺序阀、差动平衡阀进行建模仿真得到其流量压损特性曲线；建立整个液压系统的 AMESim 仿真模型，对不同单向顺序阀调定压力下液压缸的伸出顺序进行仿真分析。

### 2.1 AMESim 仿真模型

为了得到吊臂的伸出顺序在 AMESim 中搭建液压控制系统的整体模型并将参数带入进行仿真计算，搭建整体 AMESim 模型如下图所示。将平衡阀原理进行分解在折臂吊伸出时，平衡阀的作用是使液压缸形成差动回路加速液压缸的伸出，仿真使用单向阀和减压阀形成差动回路。使用液阻库中管路模型来仿真折臂吊中的管路损失。下图为在 AMESim 软件中搭建的液压系统模型图：

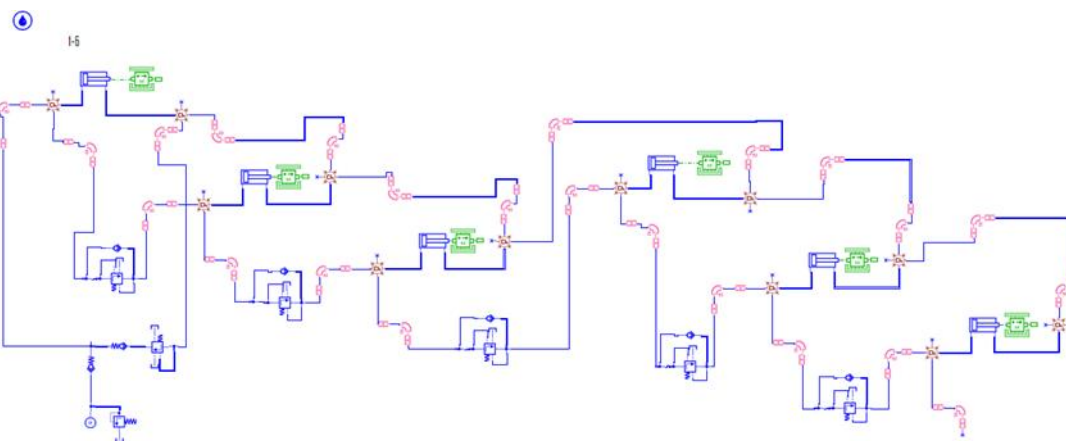


图 2 液压系统仿真模型

将 AMESim 液压元件库中液压缸外接一个带有质量的活动块来模拟真实的液压缸，将单向阀和顺序阀用管路并联连接来模拟真实的单向顺序阀，并用管路的阻尼来模拟管路系统的压损情况，最终得到上面的液压原理模型。

### 2.2 材料属性定义

每节液压缸的长度、重量、无杆腔直径、活塞杆径等具体尺寸参数根据实际的液压缸尺寸参数进行设置，这些结构尺寸参数就不一一在此赘述，下面根据实际情况对仿真参数进行设置，下表为具体的参数设置。

表 1 仿真参数设定表

单向顺序阀开启压力 bar	100
溢流阀开启压力 bar	650
仿真时间 s	80
打印间隔	0.1

### 3 仿真结果与分析

#### 3.1 无负载工况下伸出顺序分析

在设置好仿真参数后首先在空载工况下对液压系统进行仿真计算，得到如下液压缸伸出顺序和系统压力变化曲线。

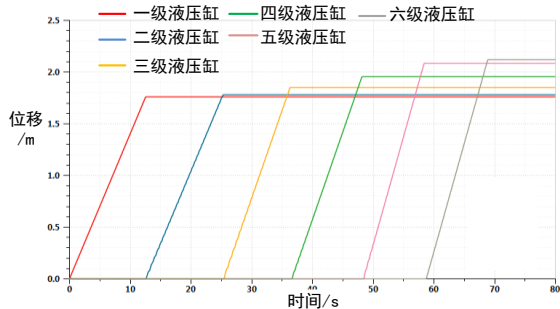


图3 无负载伸出顺序

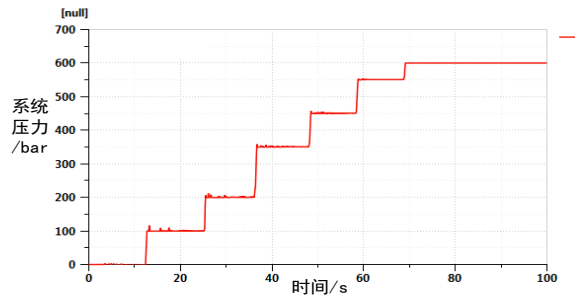


图4 无负载伸出系统压力

从图中可以看出在未加负载的工况下，设置单向顺序阀开启压力为100bar时该液压系统可以实现顺序伸出的功能。从压力图中可以看出压力变化成梯度变化趋势，压力每上升一个梯度就对应某一节缸的伸出，但当最后一个缸伸出时，系统压力已高达550bar的高压。这也是单向顺序阀控顺序伸缩液压系统的弊端，节数越多最后导致系统压力也越大。

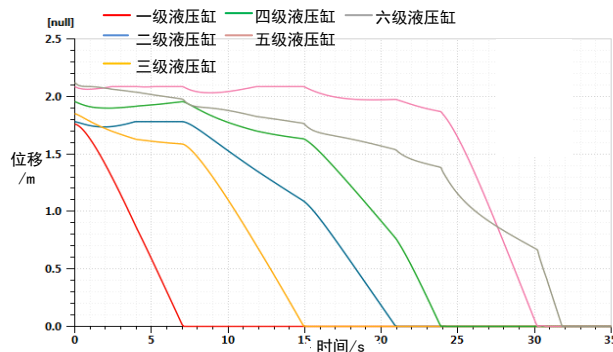


图5 无负载缩回顺序

从液压缸缩回图中可以看出，液压缸的缩回是没有顺序的，缩回情况复杂，存在多节缸同时缩回的情况，缩回速度也不尽相同。所以单向顺序阀控的液压系统无法实现顺序缩回的功能。

#### 3.2 带载工况下伸出顺序分析

折臂吊在进行不同类型作业时带大小不一的载荷进行作业接下来将验证不同载荷和不同仰角工况下的液压系统的伸出情况。在原有系统的基础上分别给系统加上2t、4t的负载，在不改变其他仿真参数的情况下进行仿真，下面是液压缸的伸出曲线图。

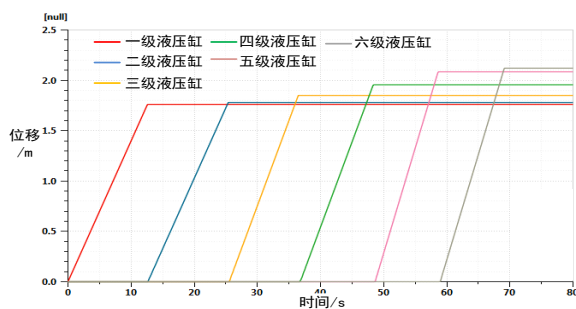


图6 带载2t伸出顺序曲线

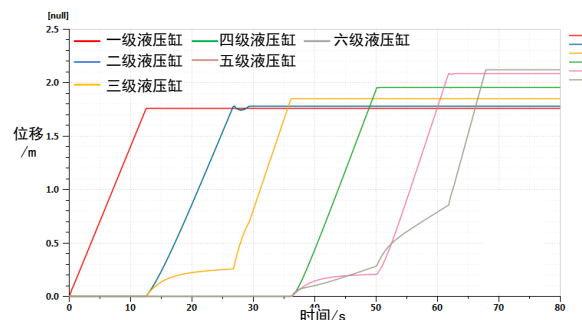


图7 带载4t伸出顺序曲线

从上图中可以看出,在载荷较低的情况下,该液压系统是可以实现顺序伸出功能的,当载荷变大,液压缸的伸出情况就会变得复杂紊乱,该液压系统就无法实现顺序伸出的功能。由此可以看出单向顺序阀控的顺序伸缩液压系统并不稳定,它的顺序伸出功能在不同载荷工况下无法得以保证。

#### 4 结论

通过对单向顺序阀控折臂吊伸缩液压系统顺序伸出稳定性的分析,可以得出如下结论:

单向顺序阀控顺序伸缩液压系统原理简单,控制方式也简单;

单向顺序阀控顺序伸缩液压系统仅靠单向顺序阀不具备顺序缩回的功能,如果要在实现顺序缩回,仍需在该系统中加入其他控制方式,比如面积差方式控制顺序缩回;

单向顺序阀控顺序伸缩液压系统的伸出功能并不稳定,在低载荷工况下该系统的顺序伸出功能可以实现,但当液压系统的的载荷变大时,液压缸的伸出顺序也就不固定了,若想继续保证该系统的稳定性,就要调高单向顺序阀的开启压力,那这样就导致了系统压力的进一步提高。

#### [参考文献]

- [1]Gudkov Yu I,Akhmetiev AN,Korzniakov EP,Redorov V M. Lord lifting capacity of crawler cranes with tower-boom equipment during movement[J].Mechanical Engineering,1998,103(2):24.
- [2]Sagirli Ahmet,Bogoclu Muharrem Erdem,Omurlu Vasfi Emre.Modeling the dynamics and kinematics of a telescopic rotary crane by the bond graph method[J].Nonlinear Dynamics,2003,33(04):337-351.
- [3]Shama MA,Abdel-Nasser YA.Ultimate strength and load carrying capacity of a telescopic crane boom[J].Alexandria Engineering Journal,2002,41(02):181-187.
- [4]Posiadala B,Warys P,Cekus D.The Dynamics of the Forest Crane During the Load Carrying[J]. Int. J. Str. Stab. Dyn,2013,13(07):7-9.
- [5]李传龙.SQ5型船用起重机吊臂有限元分析[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2013.
- [6]桓耀辉.QY50P汽车起重机吊臂系统研究[D].西安:长安大学,2013.
- [7]张帅.折臂式随车起重机参数化动力学仿真分析[D].山西:太原科技大学,2014.
- [8]赵释迦.折臂式随车起重机伸缩臂液压系统节能研究[D].山西:太原科技大学,2017.
- [9]李震,杨春莲.中大吨位汽车起重机的伸缩机构[J].建筑机械,2005(04):90-91.
- [10]齐素然.五节伸缩臂的结构原理[J].机械工程师,2007(11):140-141.
- [11]Deniz Erogul,Fatih Sen.The effect of preharvest gibberellic acid applications on fruit quality of Angelino[J].plums during storage,2016,202(5):111-116.

作者简介:张永超(1984-),男,工程师,技术部长,主要研究方向为起重机的研发。王浩(1984-),男,工程师,技术部长,主要研究方向为起重机试验以及质量控制技术。