

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.07.015

# 立体车库过放能量回收系统研究\*

季 鹏

(三江学院 机械与电气工程学院,江苏 南京 210012)

**摘要:**针对立体车库的过放冲击动能问题,借鉴蓄能器在吸能减振领域的应用,提出并设计了一种立体车库过放能量回收液压系统。对该能量回收液压系统的工作原理进行了分析,计算确定了蓄能器的充液压力,利用 AMESim 搭建了能量回收系统的仿真模型,进行了能量回收的性能仿真;分析了过放速度、活塞直径、蓄能器充液压力和蓄能器气囊容积对过放能量回收液压系统动态性能的影响规律。研究表明:当过放速度增大时,一定条件下需增加吸能缸行程或增大缸径;活塞直径增大,升降板减速时间和气囊动态压力减小;蓄能器充液压力增大,升降板减速时间和气囊压力增量减小;减压阀对蓄能器的能量回收影响不明显。

**关键词:**立体车库;过放;能量回收;动态性能;AMESim

中图分类号:TH137.9;U491.7<sup>+</sup>1

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)07-0736-04

## Energy recovery system for over discharge of stereo garage

Ji Peng

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Sanjiang University, Nanjing 210012, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of over discharge impact kinetic energy of stereo garage, perfect applications of accumulator in fields of energy absorption and vibration reduction was referred, an energy recovery system for over discharge of stereo garage was proposed and designed. The working principle of the hydraulic system of energy recovery was given and studied. The filling pressure of accumulator was calculate and determined. The energy recovery system simulation model was built based on AMESim. The performance of energy recovery was simulated. The influence of over discharge velocity, piston diameter, accumulator filling pressure and accumulator gasbag volume on dynamic performance of over discharge energy recovery hydraulic system was analyzed. The research results show that when over discharge velocity increases, the stroke and diameter of energy cylinder should be increased under certain conditions. With increase of piston diameter, deceleration time of lifting plate and gasbag dynamic pressure decrease. When accumulator filling pressure increases, deceleration time of lifting plate and gasbag pressure increment decrease. Reducing valve has no obvious effect on energy recovery of accumulator.

**Key words:** stereo garage; over discharge; energy recovery; dynamic performance; AMESim

## 0 引 言

目前,越来越多的城市涌现出形式多样的立体车库,立体车库实现了最大量存储车辆<sup>[1-2]</sup>。随着节能减排的提倡,有关立体车库的能耗效率研究也得到重视。刘日等<sup>[3]</sup>针对立体车库车辆存取能耗高的缺陷,利用 SVM 支持向量机对车辆停留时间范围进行了预

测,将车辆质量、车辆停留时间范围和车位能耗作为特征,对立体车库车位进行了分区分配;左为恒等<sup>[4]</sup>应用排队论方法对巷道堆垛式立体车库进行了建模,采用调度堆垛机数量和运行速度相结合的新调度策略,提高了立体车库的存放效率。

目前,立体车库大多采用液压系统实现台车(载车)的升降来存取车<sup>[5-6]</sup>,然而在提升和下放过程中,升降系统误动作会引发台车过卷和过放现象。李文华

收稿日期:2018-01-17

基金项目:江苏省高等学校自然科学研究面上项目(KZ2017033)

作者简介:季鹏(1982-),男,江苏宿迁人,实验师,主要从事数字化设计与制造方面的研究。E-mail:a1114135683@126.com

等<sup>[7]</sup>提出了过卷缓冲装置的液压系统,降低了被提升装置在终点的振动幅度,达到了提升系统过卷保护的目;王其松<sup>[8]</sup>设计了一种立体车库过放液压缓冲系统,通过液压缓冲系统对下放的冲击动能进行了缓冲减震。查阅国内外较多文献,发现缺乏立体车库台车过放冲击能量吸收再利用方面的研究。但在其他工程领域一般采用液压吸能或电能转化原理吸收能量,如采用高支架降柱泄压能量的回收和车辆液压储能传动能量的转化<sup>[9-10]</sup>,及轨道振动能量的回收<sup>[11]</sup>。

针对立体车库过放能量耗散,缺乏再利用的不足,借鉴蓄能器在能量回收方面的应用<sup>[12-15]</sup>,本研究将设计立体车库过放能量回收液压系统,进行能量回收性能仿真研究。

## 1 立体车库过放能量回收液压系统

在立体车库升降板下降过程中,吸能减振结构吸收升降板的过放能量。

立体车库过放能量回收液压系统原理图如图1所示。

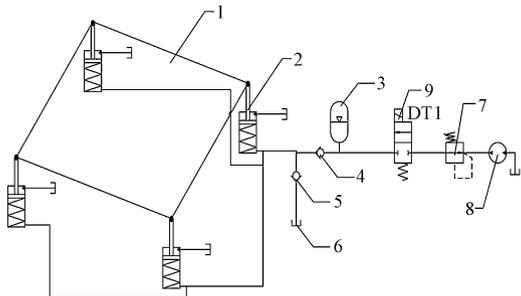


图1 过放能量回收液压系统原理图

1—吸能减振结构;2—吸能液压缸;3—蓄能器;4—充液单向阀;5—补油单向阀;6—油箱;7—减压阀;8—液压马达;9—电磁开关阀

其工作原理为:在发生升降板过放时,升降板快速撞击吸能减振结构,由于吸能减振结构下安有可压缩吸能液压缸,吸能液压缸无杆腔压力瞬时增大,当达到蓄能器的充液压力后,吸能液压缸的油液充入蓄能器,从而使蓄能器储存油液;当蓄能器达到一定压力后,设置电磁开关阀开启,通过减压阀为液压马达提供能量。

## 2 蓄能器充液压力确定

该立体车库过放能量回收液压系统关键参数为蓄能器的充液压力值,该压力值可根据能量守恒定律确定,则升降板冲击能量动能 $E$ 为:

$$E = \frac{1}{2} M v_0^2 \quad (1)$$

式中: $M$ —升降板总质量,kg,暂取2 000 kg; $v_0$ —升降板过放速度 m/s,暂取3.0 m/s。

因此计算得: $E = 6\,000$  J,该能量直接通过4个吸能液压缸消耗,则单个吸能缸吸收能量值为1 500 J。该能量由蓄能器和无杆腔弹簧吸收,其中大部分能量由蓄能器吸收转化(小部分由弹簧吸收)。

根据能量转换原理,升降板动能满足:

$$E_0 = \bar{p} x \times \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2)$$

式中: $\bar{p}$ —吸能缸平均压力,N; $x$ —吸能缸最大行程,m,暂取1.0 m。

吸能缸无杆腔通过单向阀与蓄能器直接连接,吸能过程中无杆腔平均压力值大于蓄能器的充液压力值 $p_0$ ,因此充液压力值 $p_0$ 为:

$$p_0 \geq \frac{4}{\pi} \times \frac{E_0}{x D^2} \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中: $D$ —吸能缸活塞直径,m,暂取活塞直径为50 mm; $x$ —活塞最大行程, $x = 1.0$  m。

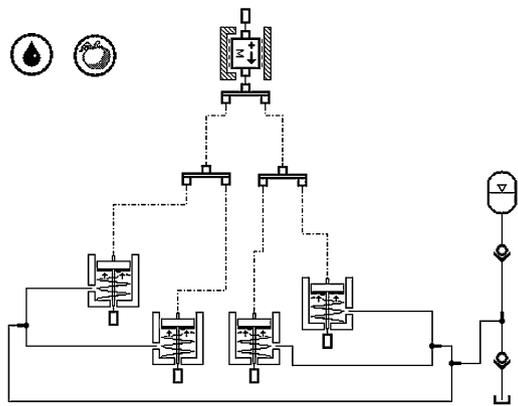
则由式(3)可确定蓄能器充液压力最小值 $p_0 \approx 0.76$  MPa,若取4倍的安全系数,则蓄能器充液压力可暂取3.0 MPa。

过放能量回收阶段,活塞杆受到的作用力为压力,由经验公式可进一步确定活塞杆直径 $d = 0.7D = 35$  mm。

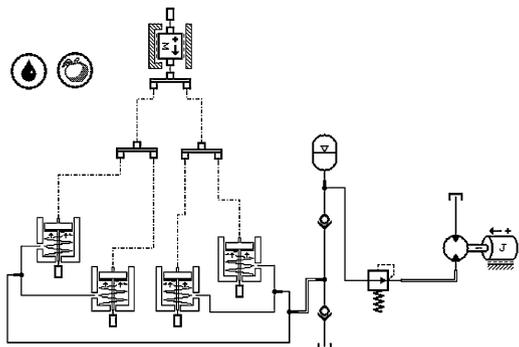
## 3 过放能量回收液压系统建模

在AMESIM软件中,搭建立体车库过放能量回收液压系统仿真模型,如图2所示。

仿真其他参数表如表1所示(仿真时间0.5 s,步长0.001 s)。



(a) 减压阀不工作的系统仿真模型



(b) 减压阀工作的系统仿真模型

图 2 立体车库过放能量回收液压系统仿真模型

表 1 仿真其他参数

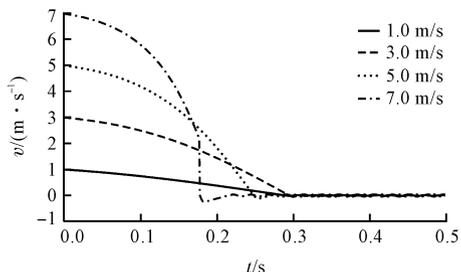
参数名称/单位	数值
油液密度 $\rho / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	850
油液弹性模型 $\beta / \text{MPa}$	1 700
升降板质量 $M / \text{kg}$	2 000
吸能缸活塞直径 $D / \text{mm}$	50
活塞杆直径 $d / \text{mm}$	35
活塞行程 $l / \text{m}$	1.0
弹簧刚度 $K / (\text{N} \cdot \text{mm}^{-1})$	1.0
弹簧预紧力 $F_0 / \text{N}$	20
蓄能器充气压力 $p_0 / \text{MPa}$	3.0
蓄能器气囊容积 $V / \text{L}$	10
减压阀开启压力 $p_1 / \text{MPa}$	3.0

## 4 系统仿真及结果分析

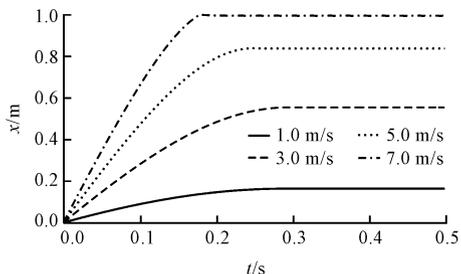
### 4.1 减压阀不工作时的系统仿真分析

其他参数不变,本研究分别对过放速度为 1 m/s、3 m/s、5 m/s、7 m/s 的能量回收系统进行仿真,所得过放速度对能量回收系统的影响图如图 3 所示。

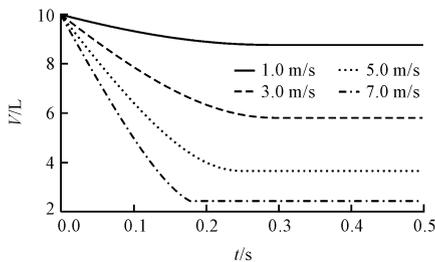
从图 3 可看出:随过放速度的增大(即冲击动能的增加),升降板位移、蓄能器气囊压力及容积增大,当过放速



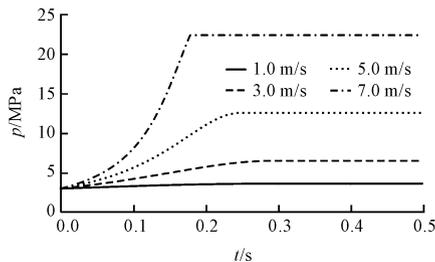
(a) 过放速度对升降板速度的影响



(b) 过放速度对升降板位移的影响



(c) 过放速度对蓄能器气囊容积的影响

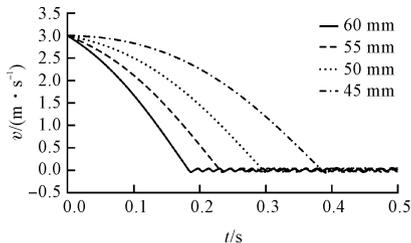


(d) 过放速度对蓄能器气囊压力的影响

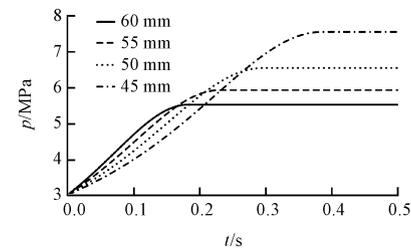
图 3 过放速度对能量回收系统的影响效果图

度达到 7.0 m/s 时,升降板位移达到 1.0 m/s,即吸能缸完全缩回。缩回过程存在撞缸现象,因此增大过放速度时,需增大吸能容量,可增加吸能缸行程或增大缸径等。

其他参数不变,本文分别对活塞直径为 60 mm、55 mm、50 mm、45 mm 的能量回收系统进行仿真,得到活塞直径对能量回收系统的影响图如图 4 所示。



(a) 活塞直径对升降板速度的影响



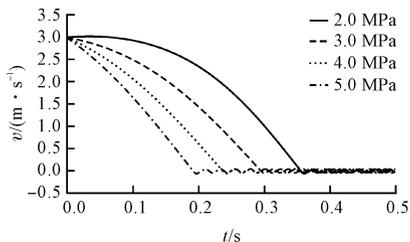
(b) 活塞直径对蓄能器气囊压力的影响

图 4 活塞直径对能量回收系统的影响效果图

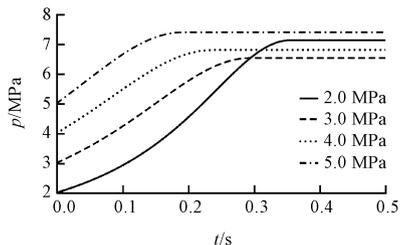
从图 4 可看出:随活塞直径增大,升降板减速时间缩短,气囊压力降低。

其他参数不变,分别对蓄能器充液压力为 2.0 MPa、3.0 MPa、4.0 MPa、5.0 MPa 的能量回收系统进行仿真,得到蓄能器充液压力对能量回收系统的影响图如图 5 所示。

从图 5 可看出:随蓄能器充液压力增大,升降板减速时间缩短,气囊压力增量减小。



(a) 蓄能器充液压力对升降板速度的影响

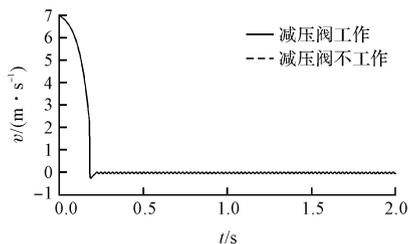


(b) 蓄能器充液压力对气囊压力的影响

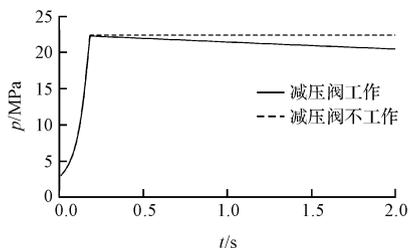
图5 充液压力对能量回收系统的影响效果图

### 4.2 减压阀工作时的系统仿真分析

设置过放速度为 7.0 m/s,其他仿真参数按表 1 输入图 3(b)的仿真模型中,仿真时间为 2 s,得到减压阀对能量回收系统的影响图如图 6 所示。



(a) 有无减压阀工作的升降板速度



(b) 有无减压阀工作的蓄能器气囊压力

图6 减压阀对能量回收系统的影响效果图

从图 6 可看出: 0 ~ 0.18 s 为蓄能器回收升降板过放能量阶段,0.18 s ~ 2.0 s 为蓄能器能量经减压阀释放阶段,显然减压阀的工作状态对蓄能器的能量回收影响较小;升降板过放能量回收是一个比较短暂的过程,而蓄能器能量经减压阀释放需要一定的时间。

## 5 结束语

本研究设计了立体车库过放能量回收液压系统,

计算了蓄能器充液压力,利用 AMESim 搭建了系统仿真模型,进行了能量回收性能仿真,研究了活塞直径、蓄能器充液压力和蓄能器气囊容积对过放能量回收液压系统动态性能的影响规律,主要得出以下结论:

- (1) 增大过放速度时,一定程度需增大吸能容量,须增加吸能缸行程或增大缸径等;
- (2) 活塞直径增大,升降板减速时间缩短,气囊压力降低;
- (3) 蓄能器充液压力增大,升降板减速时间缩短,气囊压力增量减小;
- (4) 过放能量回收持续时间短暂,因而减压阀的工作与否对蓄能器的能量回收影响不明显。

### 参考文献 (References):

- [1] 陈 新,张 南.立体车库的现状与发展趋势[J].起重运输机械,2018(2):65-68.
- [2] 刘琳丽,杜明明,季雨婷,等.立体车库的分类及展望[J].南方农机,2017,48(10):127.
- [3] 刘 日,李建国,王小农.立体车库车位分配建模与仿真[J].江苏大学学报:自然科学版,2018,39(1):19-25.
- [4] 左为恒,江代君.立体车库的排队与效率分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2015,34(4):113-116.
- [5] 戴士杰,李 斌,师占群,等.基于 PLC 控制的液压立体车库的设计[J].机床与液压,2006(1):103-104.
- [6] 智兆华,刘文学,何立洁,等.巷道矩阵式双面立体车库车辆存取装置控制的研究[J].现代制造工程,2011(6):116-119.
- [7] 李文华,张圣孝.立体车库提升系统过卷保护研究[J].测控技术,2017,36(5):124-127.
- [8] 王其松.立体车库过放液压缓冲系统研究[J].液压与气动,2018(7):47-51.
- [9] 仇志强,李永堂,刘志奇,等.大采高支架降柱泄压能量回收特性研究[J].机床与液压,2017,45(5):115-118.
- [10] 张银彩,郭京波,韩彦军.车辆液压储能传动能量转化元件的匹配分析[J].机械设计与制造,2011(10):193-195.
- [11] 袁 泉,杨 俭,袁天辰,等.轨道振动能量回收接口电路的优化设计[J].计算机仿真,2017,34(5):192-196.
- [12] 吴文海,姚明星,孙 磊,等.基于液液协调式挖掘机复合动作能量回收研究[J].液压与气动,2017(9):98-104.
- [13] 叶月影,林添良,任好玲.基于平衡油缸的势能液压式存储和再利用研究[J].液压与气动,2018(1):71-77.
- [14] 任好玲,林添良,叶月影,等.基于平衡油缸的动臂势能回收系统参数设计与试验[J].中国公路学报,2017,30(2):153-158.
- [15] 张茂力,朱海清,费宏伟.基于预估油压的安全阀在线校验技术研究[J].压力容器,2017,34(11):76-80.

[编辑:程 浩]

本文引用格式:

季 鹏.立体车库过放能量回收系统研究[J].机电工程,2019,36(7):736-739.

Ji Peng. Energy recovery system for over discharge of stereo garage[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(7):736-739.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>