

# CK150T 型整体复合胀形装置液压系统开发\*

徐明<sup>①</sup> 李长江<sup>①</sup> 林顺洪<sup>①</sup> 朱虹<sup>②</sup> 郭大江<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>重庆科技学院机械与动力工程学院,重庆 401331;<sup>②</sup>重庆科技学院学生处,重庆 401331)

**摘要:**根据一种驱动桥壳整体复合胀形的新加工工艺及其胀形装置,介绍了管坯变形的载荷需求,详细分析了管坯变形两次更换中芯缸的作业工序。然后,结合胀形成形的功能需求,使用合理的调速、调压、同步、平衡、缓冲和方向控制等液压回路,设计了复合胀形液压系统,系统拥有能耗低、发热量少、冲击小、稳定性好和运动精度高等特点。系统运行是左右水平缸和中芯缸I、II、III共同作用,使九连杆机构做复合联动,再结合外模约束,进行加热开槽管坯的第一、二、三次胀形成形,得到驱动桥壳半成品。

**关键词:**液压系统;驱动桥壳;复合胀形装置;中芯缸

**中图分类号:**TH137 **文献标识码:**B

**DOI:**10.19287/j.cnki.1005-2402.2020.07.028

## Development of hydraulic system for CK150T integral compound bulging device

XU Ming<sup>①</sup>, LI Changjiang<sup>①</sup>, LIN Shunhong<sup>①</sup>, ZHU Hong<sup>②</sup>, GUO Dajiang<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>College of Mechanical and Power Engineering, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 401331, CHN;<sup>②</sup>Students' Affairs Office, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing 401331, CHN)

**Abstract:** According to a new processing technology and bulging device for driving axle housing integral compound bulging, the load requirement of tube blank deformation is introduced, and the operation procedure of replacing the central hydraulic cylinder twice for tube blank deformation is analyzed in detail. Then, combined with the functional requirements of bulging deformation, a compound bulging hydraulic system is designed by using reasonable hydraulic loops such as speed regulation, pressure regulation, synchronization, balance, buffer and direction control. The system features low energy consumption, less heat generation, small impact, good stability and high motion accuracy. The operation of system is the combined action of left and right horizontal cylinders and central hydraulic cylinder I, II and III, the nine-bar linkage mechanism performs compound linkage. Then combined with outer mold constraints, the first, second and third bulging deformation of the heating slotted tube blank was carried out, and the semi-finished driving axle housing was obtained.

**Keywords:** hydraulic system; driving axle housing; compound bulging device; central hydraulic cylinder

驱动桥壳是车辆重要零部件,起到支承驱动车辆的主减速器、差速器和半轴等,并固定左、右驱动轮的轴向相对位置,以及承受汽车载荷传递给车轮等作用。除应具备制造成本低,便于拆装、调整、维修和保养等优点外,在动载荷条件下,还要求其具有足够的强度、刚度和疲劳寿命<sup>[1]</sup>。

王春涛等<sup>[2]</sup>,提出了一种汽车驱动桥壳复杂结构整体复合胀形的新加工工艺,可以实现开槽加热管坯的连续胀形成形,其核心装备是整体复合多次胀形装置<sup>[3]</sup>,如图1所示(第一次成形开始状态)。

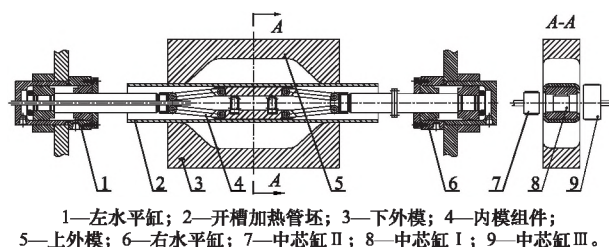


图1 整体复合胀形装置

根据胀形成形的功能需求,讨论了管坯变形的载荷需求,详细分析管坯变形两次更换中芯缸的作业工

\* 重庆科技学院校内科研重点基金项目:汽车桥壳胀形成型技术研究(CK2016Z06)

序,开发出复合胀形液压系统,并介绍了其工作原理和系统特点。该技术相关的关键工艺、装备及液压系统,已获得国家授权发明专利(专利号:CN20131024660 7.3、CN201320355685.2)和实用新型专利(专利号:CN201220488863.4)保护。

### 1 设计要求

根据生产使用要求,开发的液压系统不仅要求功能齐全、性能可靠、动力强劲,而且力求简单、适用,自动化程度高,节约人工成本,降低劳动强度。

#### 1.1 已知参数及载荷需求

胀形对象是开槽管坯,材料为 Q345,管坯长度为 1 730 mm,截面尺寸 170 mm×160 mm(长边上开槽长度 1 000 mm,宽度 30 mm),壁厚为 16 mm;开槽管坯温度为 600 ℃。

针对开槽管坯的变形过程,采用有限元法进行分析,建立开槽管坯的整体有限元模型(如图 2 所示),经数值计算,得到管坯变形所需载荷。



图2 整体有限元模型

随着上下内模沿 Z 轴正负向变形的增大,所需外力逐渐变化,外载荷总体趋势是随变形量增大而增大,最大值出现在最后合模稳压成形阶段。同理,数值计算出加热和未加热的壁厚 16 mm、22 mm 和 25 mm 开槽管坯所需胀形力,对应最大胀形力见表 1 所示。

表 1 最大胀形力参数表

开槽管坯壁厚/mm	加热到 600 ℃ 最大胀形力/kN	未加热最大胀形力/kN
16	348	1 160
22	464	1 856
25	580	2 088

以下内容按管坯壁厚为 16 mm 进行设计,其高度方向变形从 170 mm 增加到 388 mm,宽度方向基本不变,在最后合模阶段最大胀形力为 348 kN,设计液压系统时,考虑安全系数、附加载荷以及计算误差等因素,内模组件设计最大承载 1 500 kN,可满足加热管坯壁厚达 25 mm 变形要求。为了使管坯变形过程更加稳定,有效地控制变形速度极为重要,即控制内模块运动速度,设计上下内模运动速度 ≤ 10 mm/s。

#### 1.2 主要作业工序

驱动桥壳半成品是通过左右水平缸与中芯缸共同

作用于内模组件,再利用外模辅助胀形而成。

其中,工作模式以中芯缸的运动为主,左右水平缸辅助运动为辅,即管坯每一次变形过程的中芯缸以恒定速度工作,使上下内模保持稳定的运动速度,而左右水平缸根据上下内模位置,实时改变流量,其活塞杆作变速运动,以匹配稳定的管坯变形过程。变形过程中,各油缸出力主要取决于管坯变形所产生的负载,液压系统需要提供相应的输出能力。管坯变形经历了两次更换中芯缸工作,对应每次成形完成内模组件状态(如图 3 所示)和主要参数(如表 2 所示)。

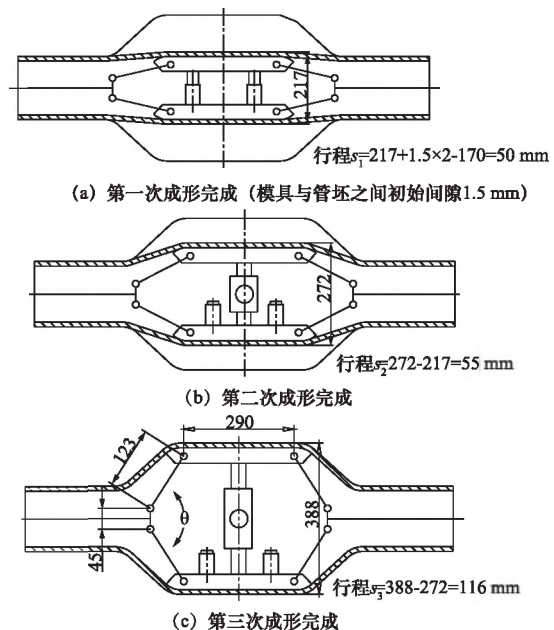


图3 内模组件状态简图

表 2 成形状态参数表

第 n 次成形完成	中芯缸行程增量 Δs/mm		左/右水平缸工作行程增量 Δs'/mm		连杆与水平轴线夹角 θ/2/(°)
	单侧	双侧	单侧	双侧	
初始状态	0	0	0	0	4.66
第一次成形	25	50	4.68	9.36	16.53
第二次成形	27.5	55	11.98	23.96	30.54
第三次成形	58	116	81.26	162.52	78.43
合计	110.5	221	97.92	195.84	—

左水平缸除胀形成形工作行程外,还有内模组件伸入/退出行程 2 200 mm,左水平缸总行程 2 297.92 mm,行程取 2 300 mm。右水平缸行程取 100 mm。

如图 3c 所示,连杆长度 123 mm,上下内模初始位置偏量 10 mm,当连杆与水平轴线垂直时,上下内模双侧最大行程为 226 mm。为了实现管坯成形,将所需总行程 221 mm,分配到三组中芯缸,中芯缸 I 的行程 50 mm;

中芯缸Ⅱ的行程 55 mm;中芯缸Ⅲ的行程 116 mm。

## 2 液压系统设计

### 2.1 总体设计及主要技术参数

该液压系统总体设计方案(如表 3 所示),主要使用负载敏感控制变量泵容积节流联合调速工作模式,其核心执行机构均有位移、速度、压力反馈,与液压回路形成高精度闭环控制。执行机构中的同步运行油缸,选用桥式比例调速同步回路或比例电磁换向阀控制回路与机械连接同步相结合,实现高精度同步运行。结合电气自动控制程序控制,能实现点动、半自动、全自动控制。系统具有结构紧凑,高速响应,动态调整,抗偏载能力强,精度高等特点。系统主要技术参数如表 4 所示。

表 3 总体设计方案表

执行机构	使用方案
合模机构	活塞油缸(两支)+桥式比例调速同步回路+双泵供油+导向柱机械同步
内模组件水平移动机构	活塞油缸+双泵供油
内模组件同步主胀形机构	活塞油缸(四支分步工作)+桥式比例调速同步回路+单泵供油+九连杆机构机械同步
内模组件同步辅助胀形机构	活塞油缸(两支)+比例电磁换向阀同步控制回路+单泵供油+九连杆机构机械同步
脱模机构	活塞油缸(两支)+电磁换向阀+单泵供油

表 4 主要技术参数

名称	技术参数
胀形中芯缸公称压力/工作压力/MPa	120/80
内模组件最大承载/合模力/kN	1 500
内模组件双侧最大行程/mm	226
胀形中芯缸最大速度/(mm/s)	10
合模油缸最大行程 mm	1 000
合模油缸快进最大速度/(mm/s)	200
液压系统公称压力/工作压力/MPa	16/11.5
左右水平缸最大承载/kN	260
左水平缸最大行程/mm	2 300
左水平缸快进最大速度/(mm/s)	150
右水平缸最大行程/mm	100
左右水平缸工进最大速度/(mm/s)	22.8

### 2.2 工作原理

根据系统设计要求,使用合理的调速(增速、减速、快速)、调压(增压、保压、卸荷)、同步、平衡、缓冲和方向控制等液压回路,同时考虑节省能源、减少发热、减小冲

击、运动精度等问题,结合必要的液压元件和辅助油路,开发出 CK150T 型整体复合胀形装置液压系统(如图 4 所示),采用开式液压系统,主要由油源模块、控制模块、执行机构及辅件等组成<sup>[4]</sup>。其中油源模块包括油箱、电动机、变量泵+定量泵、冷却器、空滤器、滤油器和控制阀等;控制模块包括桥式比例调速同步回路<sup>[4]</sup>、增压控制回路<sup>[4-5]</sup>、梭阀网络负载敏感反馈油路<sup>[6-7]</sup>、双溢流阀组<sup>[6]</sup>、中芯缸降温油路、Y 型三位四通比例电磁换向阀组和液压锁<sup>[6-8]</sup>等;执行机构包括中芯缸、左右水平缸、外模合模缸和脱模顶缸等。

液压系统工作原理详见动作循环图表(如表 5 所示),表中带 \* 表示开关量,其余为比例调节模拟量,无级调速控制;⊕根据工况需要执行动作;⊙半成品取出后换向复位。主要动作流程如下:

(1)系统启动:利用电气自动控制系统空载启动主电动机驱动变量泵 1 和 2,采用负载敏感控制限压式变量泵<sup>[9]</sup>启动,将压力和流量反馈给变量泵,进行恒功率、压力切断和压力补偿控制<sup>[10]</sup>,再利用先导比例溢流阀 6 和 7 安全保护油路,并实现系统精确调压<sup>[4,11-12]</sup>。辅助电动机驱动小定量泵 3,溢流阀 8 稳压。

(2)上、下外模合模。取料机械手夹持开槽管坯伸到下外模上方,对位、下行、定位、夹紧,取料机械手上行、退出。采用桥式比例调速同步回路 38 和液压机机架上的四根导向柱机械连接同步,再根据合模油缸 46、47 位移和速度反馈信号,程序控制实时调节同步回路 38 中的比例调速阀,合模油缸高精度同步运行,对上外模进行加速、快速下行、减速控制,直到上、下外模合模完成,其中快速下行采用变量泵 1 和 2 双泵供油。

(3)内模组件装入开槽管坯,左水平缸对内模组件进行加速、快速右移、减速控制,与右水平缸对位紧固连接,其中快速右移采用变量泵 1 和 2 双泵供油。

(4)中芯缸Ⅰ作业完成第一次成形(如图 3a 所示)。

采用桥式比例调速同步回路 37 和九连杆机构机械连接同步,再根据中芯缸Ⅰ(44 和 45)位移和速度反馈信号,实时调节比例调速阀,两支中芯缸Ⅰ高精度同步对称运行,中芯缸Ⅰ为主运动承载。再根据左右水平缸位移和速度反馈信号,实时控制输入换向阀 11YA 和 15YA 比例信号,结合九连杆机构机械连接同步,左右水平缸的高精度同步对称运行,左右水平缸辅运动承载,九连杆机构做复合联动。

(5)中芯缸Ⅱ作业完成第二次成形(如图 3b 所示)。第一次成形完成开槽管坯将凸起一定高度,胀形机械手Ⅰ将固连其上的中芯缸Ⅱ(51)从开槽一侧装入上下内模中。

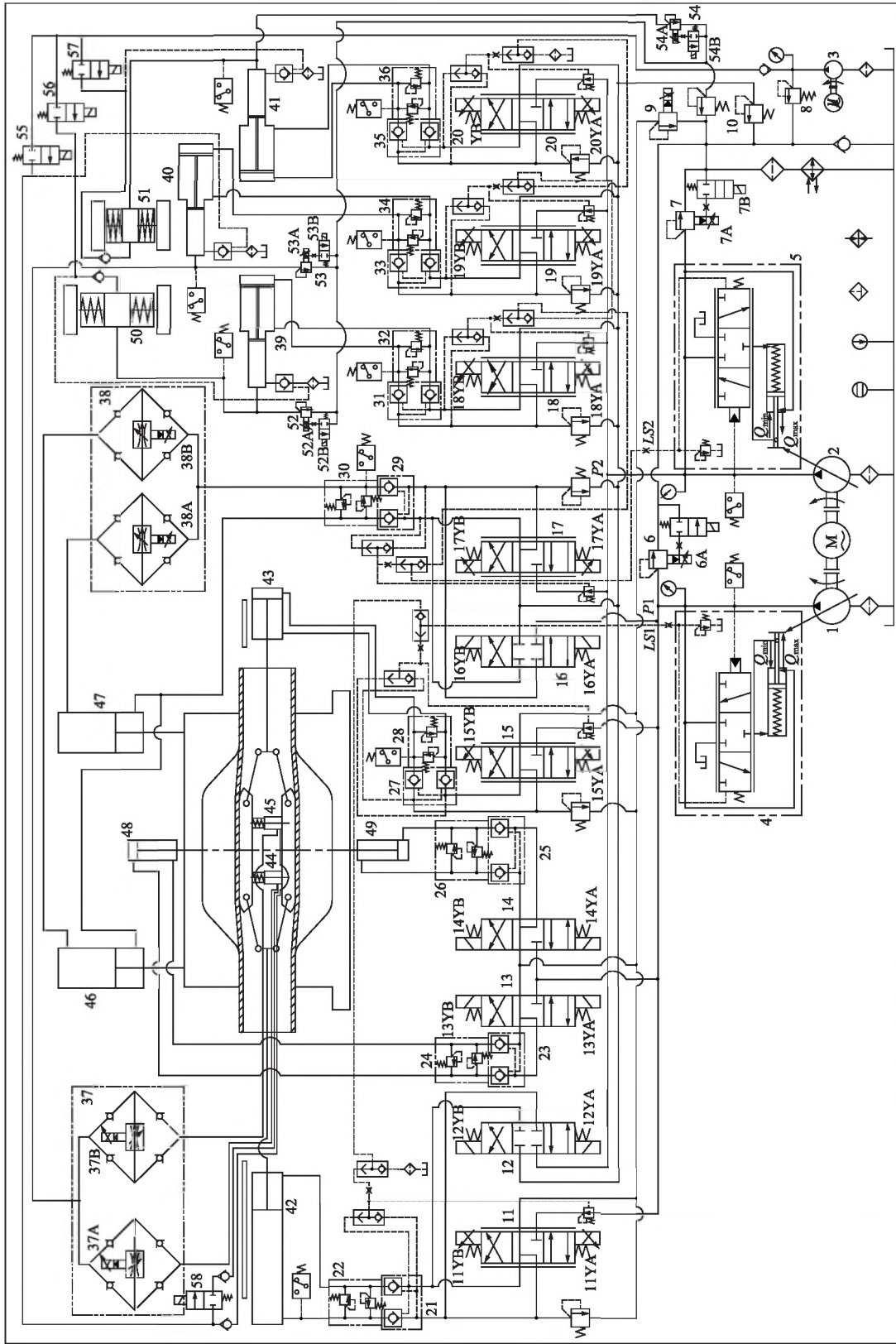


图4 CK150T型整体复合膨胀装置液压系统原理图

1、2—变量泵；3—小定量泵；4、5—负载敏感控制系统；6、7—先导比例溢流阀；8、10、22、24、26、28、30、32、34、36—溢流阀；9、52-54—电控溢流阀；11-20—三位四通电磁换向阀；21、23、25、27、29、31、33、35—单向阀；37、38—新式比例调速同步回路；39—单作用增压缸I；40—单作用增压缸II；41—单作用增压缸III；42—左水平缸；43—右水平缸；44、45—中芯缸I；46、47—合模油缸；48—上脱模缸；49—下脱模缸；50—中芯缸II；51—中芯缸III；52-54—液锁。

表 5 系统动作循环图表

动作名称		电磁铁													
		11YA	11YB	12YA	12YB	13YA	13YB	14YA	14YB	15YA	15YB	16YA	16YB	17YA	17YB
启动															
上、下外模合模	慢速													+	
	快速											+		+	
内模组件装入开槽管坯	慢速	+													
	快速	+		+											
第一次成形		+									+			+	
第二次成形		+									+			+	
第三次成形		+									+			+	
内模组件退出	慢速		+									+			
	快速		+		+										
上、下外模脱模	慢速					+								+	
	快速						+						+	+	
半成品取出								+	⊖						
动作名称		电磁铁													
		18YA	18YB	19YA	19YB	20YA	20YB	6A	6B *	7A	7B *	9A	37A	37B	38A
启动								+		+		+			
上、下外模合模	慢速							+		+	⊕	+		+	
	快速							+		+		+		+	
内模组件装入开槽管坯	慢速							+	⊕	+		+			
	快速							+		+		+			
第一次成形				+				+	⊕	+	⊕	+	+	+	
第二次成形					+	+		+	⊕	+	⊕	+	+	+	
第三次成形		+					+	+	⊕	+	⊕	+	+	+	
内模组件退出	慢速		+					+	⊕	+	⊕	+	+	+	
	快速							+		+		+	+	+	
上、下外模脱模	慢速							+	⊕	+	⊕	+		+	
	快速							+		+		+		+	
半成品取出								+	⊕	+	⊕	+			
动作名称		电磁铁												电动机	
		38B	52A	52B *	53A	53B *	54A	54B *	55 *	56 *	57 *	58 *	/	,1-2	3
启动														+	+
上、下外模合模	慢速	+												+	+
	快速	+												+	+
内模组件装入开槽管坯	慢速													+	+
	快速													+	+
第一次成形		+			+	⊕								+	+
第二次成形		+			+	⊕	+	⊕	+			+		+	+
第三次成形		+	+	⊕	+	⊕	+	⊕	+		+	+		+	+
内模组件退出	慢速		+	⊕	+	⊕			+	+	+	+		+	+
	快速				+	⊕			+			+		+	+
上、下外模脱模	慢速	+												+	+
	快速	+												+	+
半成品取出														+	+

液压油进入带位移反馈的中芯缸Ⅱ(51)主运动承载,左右水平缸再次辅运动承载,九连杆机构机械连接同步做复合联动。

(6)中芯缸Ⅲ作业完成第三次成形(如图3c所示)。第二次成形完成开槽管坯凸起高度更高。胀形机械手Ⅰ将固连其上的中芯缸Ⅱ(51)退出,再用胀形机械手Ⅱ将固连其上的中芯缸Ⅲ(50)从开槽另一侧装入上下内模中。

液压油进入带位移反馈的中芯缸Ⅲ(50)主运动承载,左右水平缸再次辅运动承载,九连杆机构机械连接同步做复合联动,开槽管坯弹塑性变形完成。

(7)内模组件退出和驱动桥壳半成品脱模。左水平缸对内模组件进行加速、快速左移、减速控制,内模组件完全退出。合模油缸对上外模进行加速、快速上行、减速控制,直到上脱模油缸48复位。其中快速运行均采用变量泵1和2双泵供油。

用取料机械手伸到开槽管坯上方,对位、下行、夹持开槽管坯两端,变量泵1输出液压油,将已成形的开槽管坯从下外模型腔中顶出,取料机械手上行、退出,从下外模取出已成形的驱动桥壳半成品。

### 3 液压系统特点

(1)根据工作特性,采用液压传动与PLC控制相结合,系统运行更稳定,自动化程度高,结构紧凑、便于控制与维护,再结合位移、速度和压力反馈进行闭环控制,提高控制精度。

(2)采用限压式变量泵、比例电磁换向阀和梭阀网络反馈油路所组成的负载敏感控制系统,获得了较大的节能、调节效果,能量利用率高,并能稳定快速地传递负载信号,获得极佳压力传递特性,有效提高系统综合性能。

(3)该液压系统采用负载敏感控制变量泵容积节流联合调速工作模式,实现内模组件中九连杆机构做复合联动,满足加热开槽管坯胀形的弹塑性变形需求。

(4)采用双溢流阀组和液压锁技术,使得液压执行机构的工作更可靠、平稳,克服惯性力作用或负载突变带来的液压系统压力冲击现象,起到制动和缓冲作用,并在比例电磁换向阀切换时有效锁紧液压油路,防止出现滑移或回退现象。

(5)按实际工况,液压系统尽量减少压力损失,但系统工作对象是加热的开槽管坯,对中芯缸的工作温度影响较大,且工作压力高,液压油自身冷却油温难以满足要求,所以,液压系统中设计了间歇工作循环液压油冷却回路和油源冷却器。

(6)泵出口利用先导比例溢流阀、压力继电器及压力表对系统进行精确调压保护,控制系统压力。超高压油路及相关液压元件同样利用先导比例溢流阀精确调压和安全保护。

(7)电动机启动时,程控先导比例溢流阀得电无背压,电动机空载启动,启动后程控溢流阀逐渐提高背压,保护和调节系统工作状态。

(8)加热开槽管坯胀形变形过程中,各种影响因素较多,液压系统中充分考虑了相关系数(如:机械效率、容积效率、安全系数),使系统储备有一定的承载余量,以满足较高的工作要求。

### 4 结语

(1)根据一种驱动桥壳整体复合胀形的新加工工艺及其胀形装置,内模组件设计最大承载1500kN,可满足加热管坯壁厚达25mm变形要求。详细分析管坯变形两次更换中芯缸的作业工序,为了实现管坯成形,将上下内模所需总行程221mm,分配到三组中芯缸运行行程中去。

(2)再结合胀形成形的功能需求,使用合理的调速、调压、同步、平衡、缓冲和方向控制等液压回路,设计复合胀形液压系统,主要由油源模块、控制模块、执行机构及辅件等组成,具有能耗低、发热量少、冲击小、运动精度高等特点,满足加热开槽管坯成形需求。

(3)该系统能有效的驱动上、下外模合模,并将内模组件装入加热开槽管坯,再推动左右水平缸和中芯缸Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ共同作用,使九连杆机构做复合联动,再结合外模约束,进行加热开槽管坯的第一、二、三次成形,最后驱动内模组件退出、驱动桥壳半成品脱模和上下外模复位,得到驱动桥壳半成品。

### 参 考 文 献

- [1]周驰,杨彦超,王铁,等.组合工况下自卸车驱动桥壳强度分析[J].汽车技术,2014(8):8-12.
- [2]重庆科技学院,龚仕林.汽车驱动桥整体复合多次胀形工艺:中国,201310246607.3[P].2015-06-10.
- [3]重庆科技学院,龚仕林.汽车驱动桥整体复合多次胀形装置:中国,201320355685.2[P].2013-12-04.
- [4]成大先.机械设计手册五卷.[M].5版.北京:化学工业出版社,2008.
- [5]重庆科技学院,龚仕林.汽车驱动桥整体复合内高压式胀形液压系统:中国,201220488863.4[P].2013-03-06.
- [6]林顺洪,李长江,朱新才,等.CKS-I型全液压瓦斯抽放钻机液压系统的设计[J].机床与液压,2008,36(3):119-121.
- [7]吴晓明.A11VDRS负载敏感变量泵与PVG32比例多路阀组合的设定和调整[J].液压与气动,2014(10):117-120.
- [8]林顺洪,李长江,朱新才,等.大型轧辊轴承座拆装机液压系统设计[J].机床与液压,2007,35(8):140-141.

# 发动机缸体堵盖自动压装机的设计\*

刘永<sup>①</sup> 李捷<sup>①</sup> 杨立学<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>湖北汽车工业学院机械工程学院,湖北十堰 442002;<sup>②</sup>东风轻型发动机有限公司技术部,湖北十堰 442003)

**摘要:**为了实现某型号汽车发动机缸体4个表面堵盖的自动上料、涂胶、压装,设计了基于PLC控制的堵盖自动压装机。生产使用表明:该设备性能可靠、压装质量及自动化程度高,能满足缸体柔性自动加工线上的堵盖压装需求。

**关键词:**发动机缸体;堵盖;压装;PLC控制

**中图分类号:**TP23 **文献标识码:**B

**DOI:**10.19287/j.cnki.1005-2402.2020.07.029

## Design on the automatic pressing machine of the engine block plugging cover

LIU Yong<sup>①</sup>, LI Jie<sup>①</sup>, YANG Lixue<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>School of Mechanical Engineering, Hubei University of Automotive Technology, Shiyan 442002, CHN;

<sup>②</sup>Technical Department, Dongfeng Light Engine Co., Ltd., Shiyan 442003, CHN)

**Abstract:** The automatic pressing machine of the engine block plugging cover has been designed based on PLC controlling a type automobile engine block. Using this equipment, the block plugging covers can be automatic feeding and glued. They can be pressed in four surface of the engine block. The equipment has the characters of reliable performance, high pressing quality and high degree of automation. It can meet the feeding demand of the plugging cover for the flexible automatic engine block manufacturing line.

**Keywords:** engine block; plugging cover; pressing; PLC control

水堵盖的压装质量会直接影响到发动机的性能和使用寿命。目前国内市场上的堵盖压装机需要手工上料,且压头位置固定,压装机需要配备翻转机构,缸体经翻转机改变姿态后才能实现堵盖在缸体4个面上的压装。特点为:压头定位精度低、压装质量不易保证,占地面积大、自动化与柔性程度低。

为了保证压装质量、提高生产效率、降低劳动强度,开发设计了发动机缸体堵盖自动压装机。该装设备配置在缸体柔性自动加工线上,能实现堵盖上料、涂胶、压装、缸体工位分度旋转、缸体上料与卸料等动作过程自动完成,压装质量、自动化程度高,能适应多

规格缸体的堵盖在线压装要求。

## 1 压装工艺要求

缸体堵盖压装的要求如图1所示。缸体4个面共9个 $\phi 35$  mm的孔,在加工完成后需要在端面压装堵盖。压装位置分别为后面1处,右侧面3处,前面1处,左侧面4处。在压装之前需要对堵盖圆周面进行涂胶。堵盖为不锈钢冲压件,形状为碗形。孔轴配合要求为 $\phi 35H8/r7$ 的过盈配合,最大过盈量为0.059 mm,配合精度度高,需要压装机的压头驱动部分有较高的定位精度。堵盖压入堵盖孔的深度为 $1\pm 0.5$  mm,

[9]王晨升,姚丽英,苏芳,等.回撒吊车负载敏感液压系统设计及仿真分析[J].液压与气动,2018(6):49-53.

[10]赵斌.连采机截割臂升降液压系统分析及优化[J].液压与气动,2017(5):94-98.

[11]沈建成,程仲文,胡彦军.栅极液压成型专用设备液压系统的设计[J].制造技术与机床,2017(2):57-59.

[12]李伟波.电液伺服阀低温试验台液压系统设计[J].液压与气动,2015(2):95-97.

第一作者:徐明,男,1985年生,主要研究方向为

汽车零部件成形关键技术及装备系统集成研究,已发表论文10篇,获得授权发明专利60件(第一发明人14件),获得授权实用新型专利72件(第一发明人14件)。

(编辑 高扬)

(收稿日期:2019-06-04)

文章编号:20200733

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

\* 湖北省教育厅科学技术研究项目(B2019081)