

# 300 MN 模锻水压机主分配器阀体优化设计\*

黄长征<sup>1</sup>, 周亮<sup>2</sup>, 谭建平<sup>2</sup>

(1. 韶关学院 信息工程学院, 广东 韶关 512005; 2. 中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:** 300 MN 模锻水压机原主分配器阀体体积较大、阀芯布置不合理、工艺孔多。通过采用凸轮机构式分配阀芯开启方式, 重新布置阀芯位置, 优化设计了阀体内部结构。以阀体体积最小为优化目标, 以阀体强度为主要约束条件, 采用有限元方法, 对阀体主要结构参数进行灵敏度分析, 确定了优化设计变量, 对阀体进行了优化设计。优化后阀体体积和工艺孔数量大幅度减少。

**关键词:** 水压机; 分配器; 阀体; 优化设计; 有限元

**中图分类号:** TG137.8+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2354(2007)05-0024-04

300 MN 模锻水压机是亚洲目前最大的模锻液压机, 主要生产大型航空航天锻件, 是我国国防建设和重型装备工业的重要设备。主分配器是水压机操纵系统的重要组成部分, 用于控制水压机工作缸、提升缸、平衡缸中工作液体的流量及流向, 它的操作性能好坏直接影响到水压机的操纵性能。主分配器阀体是主分配器的关键部件, 其强度和刚度好坏对水压机的正常运行及安全生产产生重要影响。同时原来阀体结构较为复杂, 斜孔和工艺孔多, 体积较大, 材料和加工成本较高。所以在保证阀体强度和生产工艺要求的情况下, 优化阀体内部结构和阀体体积具有非常重要的意义。文中对主分配器阀体进行了优化设计研究。

## 1 优化内部结构

原主分配器阀芯开启属“水控水”控制方式, 采用“机械大扳把+接力器”方式, 阀芯的布置和设计不便。原主分配器阀体结构如图 1 所示。根据生产实际要求, 主分配器阀芯开启改用“油缸+齿轮齿条+凸轮装置+转角位移检测装置”方式, 如图 2 所示。通过油缸驱动齿轮齿条装置, 带动凸轮转动, 推动阀杆升降, 控制阀芯开启度, 从而控制工作液体流量和流向, 最终控制水压机各工作柱塞的动作, 完成水压机各执行机构的动作。应用凸轮开启方式, 可灵活布置阀芯位置, 极为方便地设计阀体内部水路, 减少或避免在阀体内开设斜孔和工艺孔, 大幅度减少阀体体积和重量, 降低设计加工成本。所以在保证分配器阀芯驱动方式、开启图、水路和强度等要求的基础上, 首先优化其内部结构<sup>[1]</sup>。

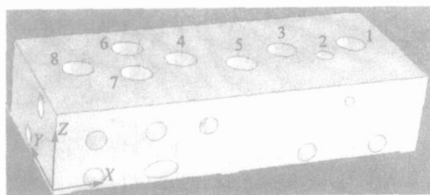


图 1 优化前主分配器阀体

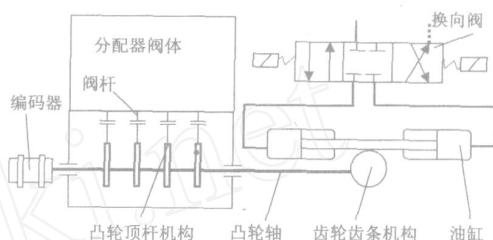


图 2 凸轮式分配器阀芯开启方式

根据功能要求, 重新布置阀芯位置, 各阀芯与水压机管道连接关系保持不变。为便于加工, 尽量将各工艺孔和连接孔设计为直孔, 尽量避免斜孔。各阀芯布置如图 3 所示。优化设计前后阀体的工艺孔和斜孔数量比较如表 1 所示。由表 1 可知优化后阀体的工艺孔和斜孔数量大幅度减少。

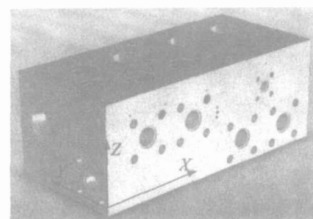


图 3 优化后主分配器阀体

表 1 阀体优化前后工艺孔及斜孔数量对照表

阀体	优化前	优化后	相对变化率
工艺孔数量	8	6	- 25 %
斜孔数量	5	1	- 80 %

## 2 优化阀体体积

### 2.1 建立有限元模型

主分配器阀体有阀芯安装孔、工艺孔、连接法兰安装螺纹孔、阀体安装螺纹孔等。在不影响计算精度的条件下, 为提高计算速度, 建立有限元模型时, 忽略各种安装螺纹孔不予考虑,

\* 收稿日期: 2006-09-04; 修订日期: 2006-10-19

基金项目: 国防科工委资助项目(科工计字 2000(589))

作者简介: 黄长征(1970-), 男, 湖南耒阳人, 博士研究生, 广东韶关学院信息工程学院讲师, 主要从事机电液集成控制理论与技术应用研究。

只考虑工艺孔和阀芯安装孔。

阀体有限元模型实体单元采用 solid92 单元。阀体实体模型较复杂,求解规模大。阀体孔系纵横交错,不便于采用扫描或映射方式划分单元网格,所以采用自由方式划分单元网格。采用自下而上的建模方法建立有限元模型,选择合适的精度划分单元网格。

阀体通过螺栓与支架固定。将有限元模型中阀体和支架相连接的底面分成几个面,然后约束这些面的所有自由度。外部管道的连接也会对阀体形成一定的约束,因阀体的法兰主要集中在阀体出水侧,所以在阀体出水侧  $y$  方向施加约束。

阀体所荷载荷主要有:(1) 阀芯内水的压力;(2) 阀芯开启与关闭时的液压冲击;(3) 水压机工作时产生的动载荷。

阀芯内的水来自于泵站,泵站的额定压力为 32 MPa,阀体载荷主要来自阀芯内高压水的压力。工作最高压力为 45 MPa。提升缸、工作缸及平衡缸工作时因阀芯突然开启,会引起液压冲击,液压冲击为:

$$p = c v \quad (1)$$

式中:  $\rho$ ——流体密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$v$ ——管中液体原来流速,  $\text{m/s}$ ;

$c$ ——冲击波传播速度,  $\text{m/s}$ , 对于水,  $c = 1425 \text{ m/s}$ 。

水压机的运行参数如表 2 所示。

表 2 水压机运行参数及液压冲击

	行程速度 $v_1/(\text{mm/s})$	液压冲击 /MPa
空程	150	10.0
加压	0 ~ 30	13.3
回程	150	14.4

水压机各缸尺寸如表 3 所示。

表 3 水压机各缸尺寸表

	工作缸	提升缸	平衡缸
直径 $d_1/\text{mm}$	1 030	480	400
数量 $n$	8	4	4

进入液压缸的水流总流量:

$$Q = n v_1 d_1^2 / 4 \quad (2)$$

忽略系统泄漏,管道液体流速为:

$$v_2 = \frac{4Q}{d_2^2} \quad (3)$$

式中:  $d_2$ ——管道内径。

由式(1)~式(3)即得水压机各工况下的液压冲击,如表 2 所示。但液压系统压力由负载决定,所以实际运行时液压缸内的压力不会突然增大到最大压力,即在最大压力下不会出现最大液压冲击。图 4~图 6 分别是提升缸、平衡缸和工作缸实测压力曲线图。从图 4 可知,提升缸工作压力为 15 MPa,在提升动作之初出现液压冲击,其压力为 23 MPa,若因故障活动横梁提升不上去时,则各提升缸压力与泵站的相同,均为 32 MPa。由图 5 可知,平衡缸压力为 30 MPa,受液压冲击影响比较小,其压力为 32 MPa。工作缸压力随加工件的变形抗力而变化,在高速压制时压力不会太高,只有当压制速度接近于零时压力才能增长到最大值。工件变形是一个连续过程,加压时不会出现大的液压冲击,其最大压力取三级压力 45 MPa。

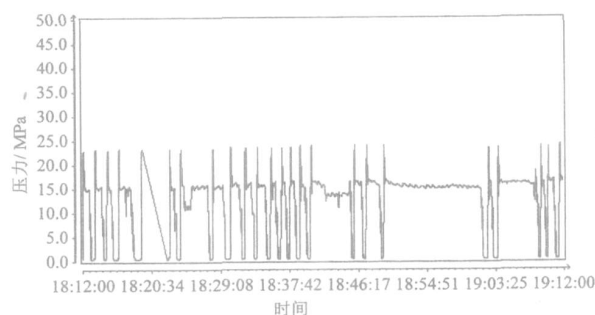


图 4 提升缸实测压力曲线图

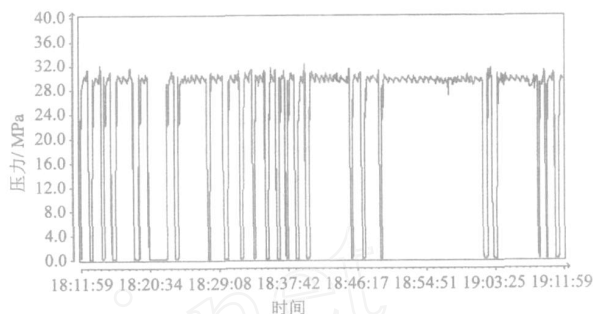


图 5 平衡缸实测压力曲线图

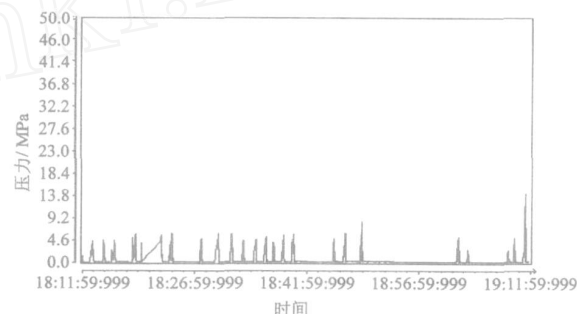


图 6 工作缸实测压力曲线图

水压机动载荷有振动、水击、机械配合部分间隙过大引起的撞击,以及操作机钳杆转动给与水压机的动载等。对阀体造成影响的主要是液压冲击。冷铁锻造或低温锻造时,以及模锻工艺中突然靠模时都会在工作缸中产生液体压力激增的水击现象。该水压机因压制速度慢,所以动载荷不予考虑。

综上所述,给阀体有限元模型施加的载荷是:直接与泵站相连的各个腔施加与泵站来水相同的压力 32 MPa,与提升缸和平衡缸相连的各个腔施加 32 MPa 压力,与工作缸相连的各个腔施加变压器变压后的最大压力 45 MPa。

## 2.2 分析优化变量的灵敏度

影响阀体优化设计的变量很多,为减少计算工作量、提高设计效率,优化设计时只考虑灵敏度较大的设计变量,不考虑灵敏度较小的设计变量。所以必须进行优化变量的灵敏度分析,求得阀体体积随某一变量的改变程度,找出对阀体体积影响较大的优化变量。

根据现场要求,优化设计的初始设计变量及其取值范围如表 4 所示。各优化变量的坐标系如图 3 所示。阀体设计主要考虑其应力大小,所以选取阀体所受应力作为状态变量。阀体材料为 35 钢,屈服极限  $\sigma_s$  为 244 MPa,安全系数取 1.8,则许用应力为 135.6 MPa,状态变量  $m$  取 135.6 MPa。

采用参数化语言 APDL 编程,建立阀体优化模型,然后进

行灵敏度分析,得各初始设计变量灵敏度如图 7 和图 8 所示。由图 7 和图 8 可知,灵敏度相对较大的变量是  $c, f, g, \text{six}_x, \text{eight}_x$ ,其余的较小。因此,在阀体体积最小优化设计时以这 5 个变量作为优化设计变量,其余变量忽略不计。

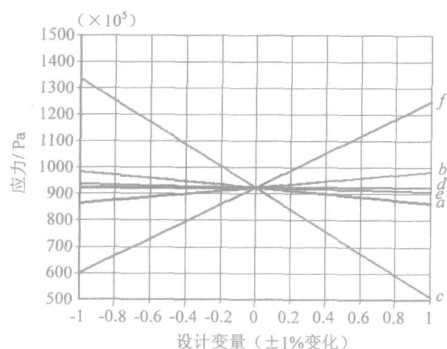


图 7 初始设计变量灵敏度曲线(1)

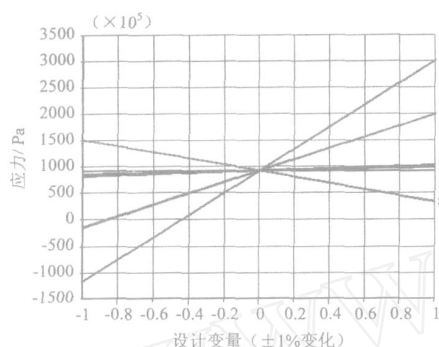


图 8 初始设计变量灵敏度曲线(2)

表 4 初始设计变量表

变量	变量说明	取值范围 / m
$a$	1,3,5,7 阀 $y$ 轴坐标	0.560 ~ 0.620
$b$	4 阀和 5 阀连接工艺孔 $x$ 坐标	0.620 ~ 0.680
$c$	4 阀和 5 阀连接工艺孔 $y$ 坐标	0.365 ~ 0.380
$d$	2 阀和回水孔连接工艺孔 $x$ 坐标	0.900 ~ 0.950
$e$	2 阀和回水孔连接工艺孔 $y$ 坐标	0.150 ~ 0.300
$f$	阀体长度	1.500 ~ 2.000
$g$	阀体宽度	0.750 ~ 0.850
$h$	2,4,8 阀 $y$ 坐标	0.200 ~ 0.220
$\text{five}_x$	5 阀 $x$ 坐标	0.600 ~ 0.700
$\text{six}_x$	6 阀 $x$ 坐标	0.150 ~ 0.190
$\text{six}_y$	6 阀 $y$ 坐标	0.270 ~ 0.300
$\text{seven}_x$	7 阀 $x$ 坐标	0.260 ~ 0.290
$\text{eight}_x$	8 阀 $x$ 坐标	0.420 ~ 0.440

### 2.3 优化阀体体积

以变量  $c, f, g, \text{six}_x, \text{eight}_x$  为优化设计变量,其取值范围如表 4 所示。以满足阀体强度要求为主要约束条件,以阀体体积最小作为优化目标进行优化设计。采用 ANSYS 软件的 APDL 参数化语言进行编程建模,定义目标函数,生成阀体优化设计模型。求解运算得各优化设计变量优化值,最后圆整得设计变量优化值如表 5 所示,优化后的阀体如图 3 所示<sup>[2~5]</sup>。

表 5 优化后变量值

变量	$c$	$f$	$g$	$\text{six}_x$	$\text{eight}_x$
数值 / m	0.370	1.660	0.780	0.160	0.430

### 2.4 阀体优化效果

建立优化前后的两个阀体有限元模型,施加载荷并求解,

得到两个阀体在各种工况下的最大应力、应变,以及优化前后阀体体积变化(如表 6 所示)。优化前后阀体在受最大载荷三级压力状态下所受等效应力如图 9 和图 10 所示。

表 6 阀体优化前后性能比较表

工况	力学性能	优化前	优化后	相对变化值 / %
二级压力	应力 / MPa	121	127	5.0
	应变 (×10 <sup>-4</sup> )	5.8	6.1	5.2
三级压力	应力 / MPa	130	132	1.5
	应变 (×10 <sup>-4</sup> )	6.3	6.3	0
提升	应力 / MPa	121	131	8.3
	应变 (×10 <sup>-4</sup> )	5.8	6.3	8.6
空程	应力 / MPa	121	128	5.8
	应变 (×10 <sup>-4</sup> )	5.8	6.1	5.2
质量 / kg		7 300	5 400	26

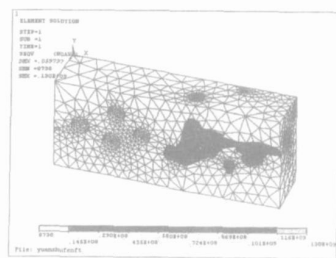


图 9 阀体优化前三级压力下等效应力图

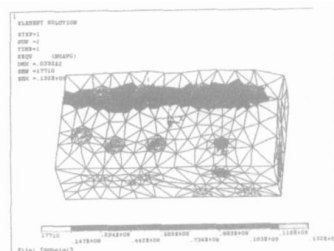


图 10 阀体优化后三级压力下等效应力图

由表 6 可看出,阀体优化后质量大幅度减少,减少幅度为 26%。最大应力、最大应变增加极小,最大相对变化量为 8.3%,但都满足性能要求。因此优化效果非常显著。

## 3 结论

(1) 采用凸轮驱动分配阀芯开启方式,优化设计了主分配器阀体的内部结构。

(2) 应用有限元方法,以阀体体积最小为优化目标,以阀体强度为约束条件,分析了阀体主要结构参数对阀体体积影响的灵敏度,确定了优化变量,并进行了优化设计。优化前后阀体的力学性能和体积比较分析表明,阀体体积、工艺孔数量大幅度减少,同时阀体在各种工况下所受最大应力和应变增加极小。

(3) 工程应用表明,优化后的主分配器工作稳定可靠。该方法为同类零部件的优化设计提供了参考。

### 参考文献

- [1] 俞新陆. 液压机[M]. 北京:机械工业出版社,1982:96-98.
- [2] Wang Liangsheng, Basu Prodyot K, Leiva Juan Pablo. Automobile body reinforcement by finite element optimization[J]. Finite

# 基于分层有向图的装配顺序规划方法\*

欧阳君涛,李原,张开富,刘平

(西北工业大学 现代设计与集成制造技术教育部重点实验室,陕西 西安 710072)

**摘要:** 航空产品装配结构复杂,装配单元繁多,其装配顺序规划的难度较大。基于割集法对航空产品进行规划易产生图爆炸现象,因此,采用分层有向图表示装配模型,提出一种将装配模型逐层拆解,逐步规划,组合形成产品装配顺序的方法。并以某型机翼为实例予以应用验证。

**关键词:** 分层有向图;分离面;装配顺序规划

**中图分类号:** TB391.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2354(2007)05-0027-03

飞机作为一种复杂产品,机体由几万甚至几十万个零件组成,设计人员采用大量的分离面,将飞机分割为许多部件、段件和组件<sup>[1]</sup>。因此,其装配单元繁多,装配结构复杂。如果对此类产品基于传统图模型进行装配顺序规划,因后续割集数量随着零件数量的增加,指数爆炸式地增长,将产生大量无用的装配顺序,且规划难度大,效率低。

为降低装配顺序规划的难度,提高规划效率,提出一种基于分层有向图模型的装配顺序规划方法。首先,基于分离面的研究,结合层次模型和有向图模型的特点建立更符合工程实际的分层有向图模型;其次,利用产品层次化、模块化的特点,将结构复杂的产品模型逐层拆解成结构简单的局部有向图模型,并对局部有向图进行图搜索,形成局部装配顺序;最后,基于层次关系组合局部装配顺序,生成产品装配顺序。

## 1 基于分层有向图的装配建模

### 1.1 分离面

飞机相邻单元之间的对接处或结合面称为分离面,分离面可分为两大类:设计分离面和工艺分离面。设计分离面与工艺分离面是飞机产品进行装配单元划分的重要依据。设计人员

采用大量的设计分离面和工艺分离面,将整机划分为许多部件、段件和组件,从而满足使用功能、生产、维护修理、运输方便等方面的需要<sup>[1]</sup>。

### 1.2 分层有向图

在分层有向图模型中,首先利用分离面将复杂装配体分解成多个子装配单元,形成飞机结构分解树,之后对每一层的装配单元加载装配定位关系信息,建立表达装配定位关系的有向图<sup>[2]</sup>。其结构如图1所示。

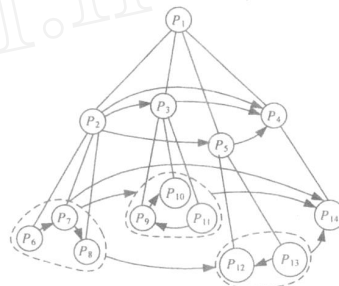


图1 分层有向图

分层有向图模型包含装配体的层次信息和装配关系信息,结合层次模型和有向图模型的优点,与其他装配模型相比,该

Elements in Analysis and Design, 2004, 40(8): 879-893.

- [3] 田树军,李利,冯毅. 基于计算智能的液压集成块优化设计[J]. 中国机械工程, 2003, 14(17): 1492-1495.
- [4] 王友渔,梅江平,黄田,等. 高速并联机械手的静动态特性预估与优化设计[J]. 机械设计, 2006, 23(7): 22-24.
- [5] 周俊峰,谭建平. 基于有限元的激光板厚测量系统C形框架结构设计[J]. 中国机械工程, 2006, 17(12): 1217-1220.

### Optimization design on valve-body of main distributor in the 300 MN mould forging hydraulic press

HUANG Chang-zheng<sup>1</sup>, ZHOU Liang<sup>2</sup>, TAN Jian-ping<sup>2</sup>

(1. College of Information Engineering, Shaoguang Institute, Shaoguang 512005, China; 2. School of Electro-Mechanical Engineering, Central-south University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** The original volume of main distributor valve-body of 300 MN mould forging hydraulic press was rather big,

unreasonable in valve-core arrangement and excessive in technological holes. BY means of adopting the cam mechanism typed opening mode of distribution valve-core, the position of valve-core was rearranged and the inner structure of valve-body was optimally designed. Taking the minimum volume of valve-body as the optimization target, the strength of valve-body as the main restraint condition and adopting the finite element method, the sensitivity analysis was carried out on the main structural parameters of valve-body. The optimal designing variables were determined, and the optimization design on valve-body was carried out. The volume and the number of technological holes of valve-body were reduced to a large extent.

**Key words:** hydraulic press; distributor; valve-body; optimization design; finite element

Fig 10 Tab 6 Ref 5

"Jixie Sheji" 6508

\* 收稿日期:2006-09-04;修订日期:2006-12-29

基金项目:航空863CIMS资助项目(2006AA04Z137);国家科技支撑计划资助项目(2006BAF01A03)

作者简介:欧阳君涛(1981-),男,河南洛阳人,西北工业大学机电学院硕士研究生,主要研究方向:虚拟装配、CAD/CAM。