

文章编号: 1672-0121(2007)05-0027-04

# 重型模锻液压机承载结构的发展

林 峰, 颜永年, 吴任东, 张 磊, 刘海霞, 彭俊斌, 沈锋刚  
(清华大学 机械工程系, 北京 100084)

**摘要:** 介绍了国内外重型模锻液压机从 19 世纪 80 年代始到今天的结构发展历程, 叙述了模锻液压机的承载结构从 20 世纪 60 年代前的非预应力结构, 发展到 70 年代的粗螺栓预应力结构, 再发展到 80 年代后的钢丝缠绕预应力结构等, 各个时期的进步和性能特点。指出独立自主发展我国的重型模锻液压机, 已成为保证国民经济持续发展和国家安全的重要条件之一。

**关键词:** 机械制造; 承载结构; 重型模锻液压机; 综述

中图分类号: TG315.4\*2 文献标识码: A

## 1 前言

重型锻压装备是国家综合实力的一种象征。自从 1893 年世界上第 1 台万吨级(126MN)自由锻水压机在美国建成后, 重型液压机作为大型高强度零件锻造加工基础装备的地位就一直没有动摇。随着飞机的发明和国防对高性能航空器的迫切需求, 高精度、高强度的大型航空锻件的制造成为航空产业的关键。二战期间, 德国秘密研制的 150MN 和 300MN 模锻液压机为德国战机提供了大型整体锻件, 大大提高了德国战斗机的整体性能, 开创了重型模锻液压机的先河。受到德国的启示, 美、苏在战后大力发展各自的重型模锻液压机装备。1950 年美国开始实施“空军重型压机计划(The Air Force Heavy Press Program)”, 由联邦政府出资, 在 Wyman-Gordon 的 Grafton 工厂和 Alcoa 在 Cleveland 的工厂各建造 1 台 315MN 和 450MN 模锻液压机。这几台重型模锻液压机为美国后来的大型客机(如波音 747)、大型运输机(如 C-5A)、战略轰炸机(如 B-1B)和先进战斗机(如 F-22)提供了高质量的关键零部件, 为美国航空工业的发展奠定了坚实的基础。前苏联也在 1959 年后陆续建成 3 台 300MN 模锻水压机和 2 台世界目前最大吨位的 750MN 模锻水压机。俄罗斯上萨而达冶金联合企业的 750MN 模锻液压机锻造了世界上最大民航客机 A380 的起落架(Ti-10V-2Fe-3Al 合金, 4255×568×690mm<sup>3</sup>, 重 3210kg)。法国于 1976 年从前苏联引进了 1 台 650MN 多向模

锻水压机, 安装于法国 AD 公司, 使用至今。AD 公司于 2005 年又由德国的 Sempelkamp 公司建造了 1 台 400MN 模锻液压机。

截至 20 世纪末, 全世界共有万吨以上模锻水压机 30 余台, 美、苏各有 10 余台, 约占总台数和总吨位的 70%左右。美国的 2 台 450MN 模锻水压机、俄罗斯的 2 台 750MN 模锻水压机和法国 1 台 650MN 模锻水压机为世界顶级模锻设备, 其分布状态也印证了世界航空制造业三足鼎立的格局。

重型模锻液压机的巨大压制能力, 相当于将数千辆满载的重型卡车的重量作用于一张书桌的面积上, 因此, 重型模锻液压机的工作过程伴随着巨大的能量聚集、传递和释放, 其建造的要求都处于加工制造、运输安装的极限状态, 难度相当大。其建设成果直接反映了建设者的装备制造水平和工业技术基础。重型模锻液压机作为代替重型自由锻液压机对零件进行整体锻造的先进装备, 最初的设计大量借鉴了传统的自由锻液压机三梁四柱结构形式。而随着模锻液压机吨位的逐渐增大, 其压制吨位达到了自由锻液压机最大吨位的 4~5 倍以上, 传统三梁四柱结构难以满足要求, 新型结构和设计思想在重型模锻液压机上不断涌现, 形成了独特的技术发展路线。

本文通过对目前重要的重型模锻液压机建造及结构特点的分析, 总结出其承载结构的发展规律, 以便在我国的重型模锻液压机设计与制造中形成自己的特色, 形成自主创新的设计指导思想。

## 2 重型液压机承载结构的沿革

### 2.1 20 世纪 30~60 年代——非预应力结构

收稿日期: 2007-07-01

作者简介: 林 峰(1966-), 男, 博士, 副教授, 从事压力加工工程的教学与研究

1938年~1944年为了满足航空飞行器对整体零件的需求,德国建造了2台150MN和1台300MN水压机。图1所示的是安装于斯列曼(Schloemann)公司的300MN模锻水压机。

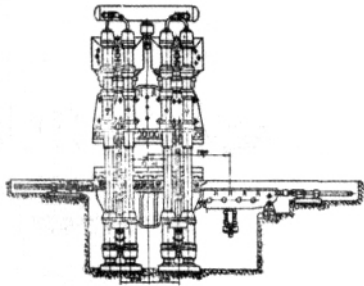


图1 Schloemann的300MN模锻水压机

二战结束后,美国拆走了德国的150MN模锻水压机并实施“空军重型压机计划”。在Cleveland的Alcoa公司安装了由梅斯塔(Mesta)公司设计制造的450MN模锻水压机和犹纳切曼公司制造的315MN模锻水压机。图2所示为梅斯塔450MN模锻水压机。

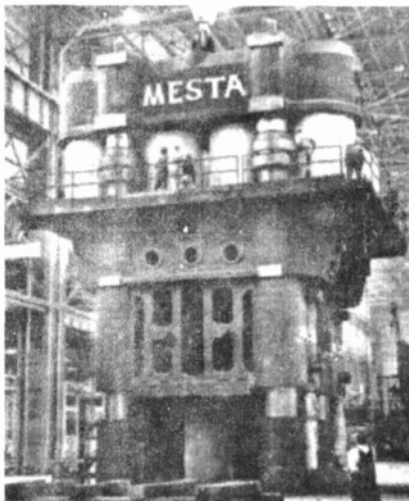


图2 美国梅斯塔450MN模锻水压机

上述水压机结构本质上沿袭了自由锻水压机的“三梁四柱”结构,其特点是大量采用重型铸锻件——铸造的三梁,锻造的重型立柱。因而受制于当时铸造和锻造的生产能力,液压机的吨位难以扩大。为了降低制造风险,而降低许用应力,压机结构笨重,性价比低。此外,三梁四柱结构的刚性较差,不能很好满足模锻的精度要求。重型铸造横梁的巨大弹性压缩和偏转致使模锻件厚度超差。如:梅斯塔450MN压机横梁的挠度达每米0.6mm。水压机使用经验证明整体铸件、铸件组合件或铸焊结构的疲劳寿命不高。梅斯塔的上、下横梁500万次就破坏,立柱和缸200万次就破坏。因此,将自由锻水压机的三梁四柱结构用于巨大载荷的模锻水压机存在着很大风险。

与梅斯塔公司同时实施“空军重型压机计划”的美国列维建设公司(Loewy Construction Company),为Wyman Gordon锻造公司设计制造另一台

450MN和315MN模锻水压机时,则采用了厚钢板的非预应力结构。与梅斯塔公司不同,其巨大的上梁、动梁均为厚板叠板结构,取消了原铸造结构。巨大的叠板立柱与铸造的小梁(约250t)通过“T”型钩头形成三个牌坊,组成三牌坊承载机架。该设计突破了自由锻水压机的三梁四柱传统模式。如图3所示。

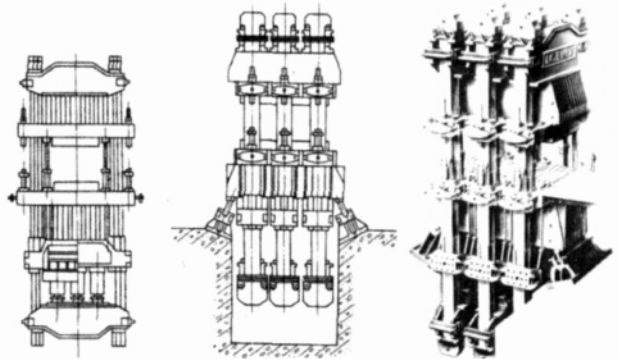


图3 安装于Wyman-Gordon公司Grafton工厂的450MN模锻水压机

在美国实施“空军重型压机计划”的同时,前苏联通过对从德国缴获的300MN模锻水压机和美国、欧洲其他国家重型模锻水压机研究,认为西方的任何一种模锻水压机结构形式都不适用,满足不了高精度模锻件的要求,而且超过了当时苏联的重型机械加工制造能力。20世纪60年代,前苏联开始建造300MN和750MN模锻水压机,其最大的特点是将铸造结构的小梁也改为叠板,从而形成6块200mm厚的立柱,间隔夹在7块180mm厚的小梁钢板中,用多根直径100mm的螺栓紧固成整体(框架)。在数字分析技术尚不发达的时代,这种设计是十分大胆的。按此种设计,前苏联共建造了两台非预应力结构的750MN重型模锻水压机(图4)。迄今仍是世界上公称吨位最大的模锻水压机。

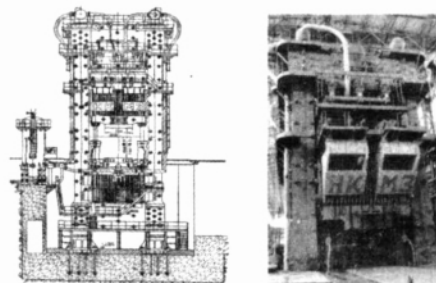


图4 前苏联的750MN模锻水压机

与美国Wayman-Gordon公司的450MN压机相比,前苏联的750MN水压机重型铸件的比例又进一步降低,仅为整机质量的7%,而钢板则占到65%。该压机总高34.7m,自重26,000万t。分别安装在古比雪夫(萨玛拉)铝厂和乌拉尔上萨而达冶金生产联合厂( )。该压机的投产,标志着非预应力结

构模锻液压机达到全盛时期。

另外,德国奥托福克斯(Otto-Fuchs)公司于1964年建造的单缸叠板300MN压机也是模锻压机中十分成功的典型,见图5。

对非预应力重型模锻液压机来说,一条清晰的技术路线演变过程可由图6来描述。

## 2.2 20世纪70年代—粗螺栓预应力结构

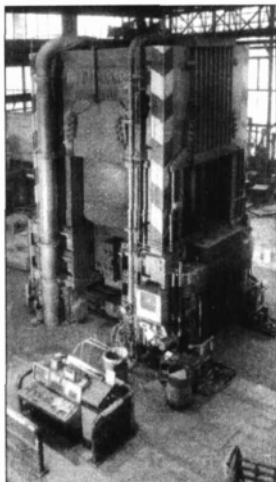


图5 德国 Otto-Fuchs 公司  
300MN 叠板结构液压机

德国斯列曼公司 300MN 和美国梅斯塔 450MN 液压机

沿袭重型自由锻液压机三梁四柱结构

大量采用重型铸件、锻件



美国 Wyman Gordan 公司 450MN 液压机

大大减少了重型铸件和锻件,采用钢板叠板,

首次突破自由锻压机结构模式。



俄罗斯 2 台 750MN 液压机

进一步减少重型铸件,仅为整机重量的 7%,

达到更高的可靠性

图6 非预应力结构由大型铸造结构向叠板结构演变的过程

前述非预应力结构,无论形式如何改变,上、下梁总要承受巨大的弯矩,立柱承受巨大的拉弯联合作用。无论“T”型钩头,还是用螺栓夹固形成的叠板框架,大量的应力集中源难以避免。要进一步提高可靠性,就必须采用预应力结构才能改变这一状况。

液压机的承载机架为一“O”型,可将其沿中央垂直对称面剖分,形成两个对称的“C”型,再用水平的预紧螺栓,在上下端将两个“C”型预紧成一个整体,即构成所谓“C”型框架结构。“C”型框架结构是一种以粗螺栓为预紧件的预应力结构,它部分地克服了非预应力结构在上下梁上的弯曲应力。

法国 AD 公司 650MN 模锻水压机采用了这种结构,见图7。机架由前后左右四组 C 型叠板结构,中间夹十字形梁,用拉杆在上下两端水平预紧组成整体框架。框架的上下梁有水平方向的预紧,可以部分消除梁上的弯曲应力,而在压机的主承载方向(垂直方向)没有预紧力保护,工作载荷完全由立柱承

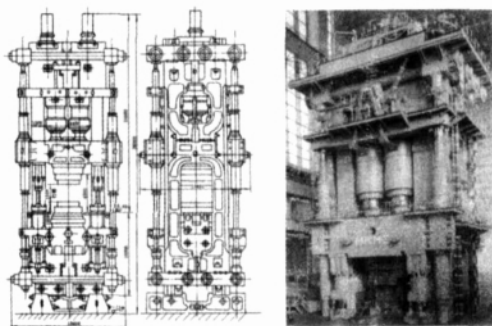


图7 法国 AD 公司 650MN 多向模锻水压机  
受。由于立柱无预应力保护,需承受拉应力。

粗螺栓预应力结构中,螺栓数量少,直径大,性能难以提高。一般设计许用应力为 100MPa~150MPa。

## 2.3 20世纪80年代——钢丝缠绕预应力结构

粗螺栓预紧的重型承载机架仍有许多可靠性方面的问题值得探讨,以法国 AD 公司 650MN 模锻压机为例,可清楚看出:

(1) 立柱仍然承受巨大的拉-弯联合作用载荷,预紧力对改善立柱受力状态没有直接的作用;

(2) 立柱与上、下梁间的过渡区是应力集中区,虽可进行结构优化和表面强化,但可靠性的隐患仍然十分巨大;

(3) 十字梁与“C”型机架间的配合导致许多应力集中源,且大大增加了重型加工的难度。

针对上述问题,重型模锻液压机一直在谋求一种全面的、可靠的预应力保护结构。而重型预应力钢丝缠绕结构逐渐展现出其优势。

1981年,在当时机械部重矿局领导下,清华大学与中国第二重型机器厂合作,开展了650MN预应力钢丝缠绕结构多向模锻液压机的研制,制造了10MN生产样机。并获得过原机械工业部科技进步二等奖。所谓预应力钢丝缠绕结构是用高强度钢丝将半圆形的上下梁和立柱捆绑缠绕在一起,钢丝在缠绕时被施加以预先设计好的拉力,从而在上下梁和立柱上产生预压应力。钢丝逐圈逐层缠绕,预应力随之不断累加,最终产生超出液压机公称吨位的预应力,将梁与立柱“捆扎”成牢固的承载框架。预应力钢丝缠绕结构中立柱和上下梁都处于巨大预紧力的保护之下,即使在满载荷工作时也都处于压应力状态。钢丝由于截面积小,强度极高,其许用应力可达800MPa,且制造简单、质量可靠性高。

650MN项目后因国民经济调整而下马,但预应力钢丝缠绕技术却没有停止发展。在清华大学的推动下,预应力钢丝缠绕技术在冷热等静压机、重型板料成形液压机、重型陶瓷砖成形液压机、重型模锻液压机、重型钢管挤压机和自由锻液压机等重型液

机上得到广泛应用。累积生产了 1,500 多台套, 获得过多项行业和国家科技进步奖。

图 8 所示是中国最大的 400MN 换热器板片成形液压机; 图 9 所示是已完成设计的 350MN 模锻液压机及其 1:3.8 模型样机; 图 10 所示是正在实施的世界上的大型钢管 360MN/150MN 垂直挤压-开坯液压机机组。这些重型液压机代表了我国在重型液压机设计制造上的最新成就, 也预示着预应力钢丝缠绕结构在重型液压机上的应用潜力。

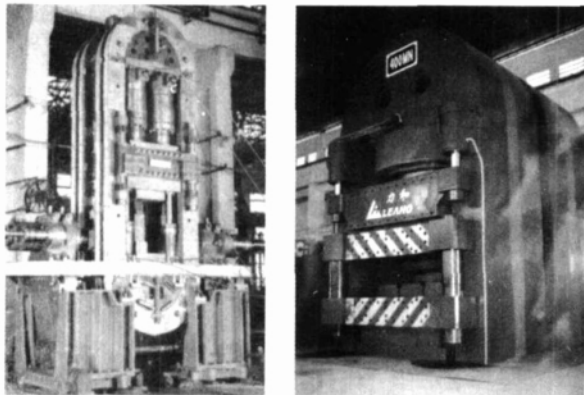


图 8 400MN 预应力钢丝缠绕板料成形压机

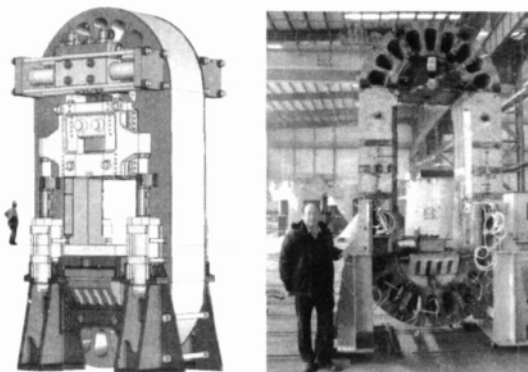


图 9 350MN 模锻液压机设计及其 1:3.8 模型样机

### 3 总结

总结重型模锻液压机结构的发展历程, 并与自由锻液压机的发展进行比较可以发现, 无论是重型模锻液压机, 还是重型自由锻液压机, 都是由非预应力结构向预应力结构发展, 最终都汇集到钢丝缠绕预应力结构。由于自由锻液压机的建造数量多, 很早就开始应用粗螺栓预应力结构。但

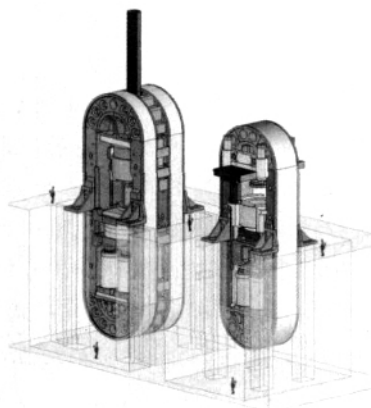


图 10 360MN/150MN 挤压-制坯液压机系统图

由于粗螺栓的制造难度大、造价高、可靠性较差、运输困难等一系列因素, 特别是大量疲劳断裂的事实, 迫使工程界采用可靠性和强度更高的、造价更低和运输方便的细螺栓预应力结构, 即用多根细螺栓代替单根粗螺栓的预应力结构。图 11 为德国 Pahnke 公司的细螺栓自由锻液压机的照片。

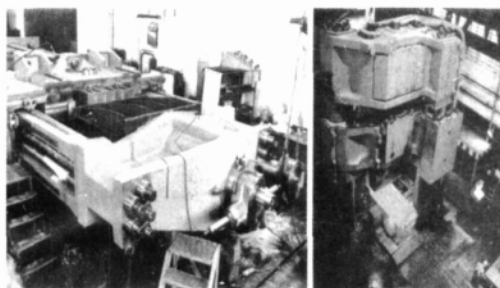


图 11 德国 Pahnke 公司多根细螺栓预紧及其制造的 550MN 自由锻压机

粗-细螺栓的发展证明, 要充分发挥材料潜力, 提高可靠性和可制造性, 应大大减小预应力结构中预紧件(如螺栓、预应力钢丝)的截面尺寸, 因而钢丝的采用逐渐为工程界重视。

当前, 我国国民经济正在高速发展, 各行各业以及国防建设均需要大量的装备, 特别是重型装备。但凡是涉及国家核心竞争力的装备, 国外对我们或是技术封锁或是索要天价。为此, 独立自主发展我国装备制造业已成为保证我国经济持续发展和国家安全的急迫任务。

重型锻压设备包括了用于航空、汽车、重石化、武器关键件的重型(100MN~800MN)精密模锻/挤压设备和重型金属(钛合金等)板料冲压成形和液压成形设备(100MN~150MN), 以及电站和舰用关键件的自由锻(60MN~150MN)液压机。最典型的零件为飞机起落架、发动机涡轮盘、大型飞机机身的框和梁、重型发电机护环和主轴、超临界锅炉的重型火管、海洋平台节点、石油开采的高压防喷器等等。

西方工业化国家的重型装备经过了数百年的发展, 基础设施和工艺经验远优于我国。为了缩短差距, 我们可以仿效西方的经验来发展我国的重型装备, 但这条道路需耗大量的资金和漫长的时间。他们发展重型装备用了 30 年~50 年, 因而以前的道路, 决不是唯一可行的路线。

中国要发展强大起来, 只能依靠自己, 切忌受制于人。必须建设具有国际一流水平的大型模锻液压机, 有了这个基本的和必要的条件, 我国航空大型锻件生产、汽轮机高温合金锻件生产等的落后状况就一定能在较短的时间内改观, 从而为国防建设和发展国民经济做出贡献。

文章编号: 1672-0121(2007)05-0031-04

# 国产数控冲床及模具现状分析

徐以光

(广州启泰模具工业有限公司, 广东 广州 510320)

**摘要:** 在分析国产数控冲床的发展现状的基础上, 阐述了数控冲床模具的技术水平和生产供应中的问题, 并以启泰公司的做法为例, 提出了解决这些问题的办法。

**关键词:** 机械制造; 生产销售; 模具; 数控冲床; 综述

**中图分类号:** TG385.1      **文献标识码:** A

## 1 前言

最近几年, 国内钣金加工设备需求出现新变化, 数控钣金加工设备呈迅速普及的态势。数控冲床、数控折弯机、数控剪板机、数控激光切割机成为钣金加工的新宠, 而传统的钣金加工设备和工艺已很难满足部分客户对加工精度、成本、效率、交货期等方面的需求。在这一轮设备更新过程中, 数控冲床无疑是领衔主演者。

数控冲床在我国的发展经历了缓慢起步、趋于成熟、快速发展三个阶段。第一台国产数控冲床问世已是 20 多年前的事情了。此后, 随着国内技术扩散和

国外技术引进, 越来越多的生产厂家掌握了数控冲床设计、制造技术, 并转换为产品进入市场。

目前, 国内有能力提供 4 轴及以上数控冲床的企业不少于 8 家, 其中济南捷迈、江都亚威、扬州的杨力和金方圆等, 在产品成熟度、技术先进性、市场占有率等方面处于领先地位, 而其他有能力生产简易数控冲床的企业更如雨后春笋般不断涌现。据不完全统计, 2004 年国内新增数控冲床约 800 台, 其中国产约 380 台, 占 48%; 2005 年新增数控冲床约 950 台, 其中国产约 500 台, 占 53%; 2006 年新增数控冲床约 1100 台, 其中国产约 650 台, 占 59%; 2007 年总体需求继续增长, 而进口设备因免关税难度增大因而数量受到限制, 国产数控冲床预计销售总量约 800 台, 占有率将达到 65%。从需求和供给

收稿日期: 2007-07-02

作者简介: 徐以光, 男, 广州启泰公司销售经理

## 参考文献

- [1] 俞新陆, 编著. 液压机的设计与应用. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [2] 颜永年, 俞新陆. 机械设计中的预应力结构. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [3] [苏]A. .别洛夫, 等著. 靳辅安, 等译. 水压机模锻. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [4] 林 峰, 颜永年, 等. 现代重型模锻液压机的关键技术. 机械工程学报, 2006, 42(3):9-14.

## The Development of Bearing Structure in Heavy Die Forging Hydraulic Press

LIN Feng, YAN Yongnian, WU Rendong, ZHANG Lei, LIU Haixia, PENG Junbin, SHEN Fenggang  
(Dept. of Mechanical Engineering Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The structure developing process of the heavy die forging hydraulic press both at home and abroad from 1880s up to now has been introduced. The advantages and function characteristics of each period in the bearing structure changing process, which is first changed from non-prestressed structure of 1960s to rough bolts prestressed structure of 1970s, then to winding wire prestressed structure of 1980s, have been given in this text. It is pointed out that the design and produce of heavy die forging hydraulic press by ourselves is the important guarantee of our national economy sustained growth and national security.

**Keywords:** Bearing structure; Heavy die forging hydraulic press; General introduction