

# 中国走出自制重大技术装备困境的一次尝试 ——上海1.2万吨锻造水压机的设计与制造

孙 烈

(中国科学院 自然科学史研究所 北京 100190)

**摘 要** 上海万吨水压机的建成是中国重大技术装备尝试从仿造走向自行设计制造的一个标志。通过对水压机的本体,特别是立柱、横梁和工作缸的技术方案的分析,探讨沈鸿领导研制上海1.2万吨水压机在设计和制造过程中的主要技术困难、技术路线及相关举措。上海万吨水压机的成功表明,模仿、模型与实验等方法的综合运用,以及多层次技术的集成,可以成为中国自制重大技术装备的有效手段。

**关键词** 万吨水压机 自制 重大技术装备 沈鸿 模仿 技术集成

**中图分类号** N092

**文献标识码** A **文章编号** 1000-0224(2011)03-0366-17

## 0 引 言

大型自由锻造液压机是生产曲轴、大型化工容器、轧辊、机器主轴、汽轮机转子、电机护环、高压锅炉汽包和许多军工产品的重要零部件的关键设备。其数量、品种、等级和产量,不仅是一些工厂和行业实力的显示,也被视作一个地区或者一个国家的工业基础和制造能力的标志。因此,包括万吨水压机在内的大型液压机往往被视为重大技术装备,备受重视。

冷战格局形成后,大型液压机的发展受到军备竞赛与重工业发展的带动。苏联更是高度重视重型机械制造业的发展,苏联共产党中央委员会和苏联部长会议曾经要求“推广先进技术,发展各种先进设备的生产,特别是强大的机械压力机和液压机与锻压机的生产”<sup>[1]</sup>。

20世纪50—60年代,苏联技术向中国转移。相应地,中国重大技术装备的来源主要有两种:一是直接从苏联或东欧国家进口,二是测绘仿造或者引进图纸仿造。50年代初期,工业部门与军事部门已考虑到从苏联进口万吨水压机的可能性。而且,中国优先发展

收稿日期:2010-11-02; 修回日期:2011-05-12

作者简介:孙烈,1972年生,湖北仙桃人,中国科学院自然科学史研究所助理研究员,研究方向为技术史。

基金项目:中国机械工程学会科研基金(2006专题);中国科学院知识创新工程项目“中外科学技术比较研究”(项目编号:GZ01-07-01)。

重工业与国防工业,大型水压机自然受到青睐。鉴于当时薄弱的经济与技术实力,特别是与水压机配套的大型钢铁厂和机器厂未建成,决策者采取了相对稳妥的发展策略——以引进苏联或捷克的设备为主,从仿制中小型水压机入手,逐步消化吸收国外重型机器制造技术,最终实现自给。<sup>[2]</sup>

然而,1958年开始的“大跃进”急速改变了预定的发展思路。在八大二次会议上,沈鸿<sup>①</sup>提议在上海自制万吨水压机,毛泽东直接表态支持。会后,中央经济小组决定,派沈鸿到上海主持万吨水压机的工作。由于受到最高领导人的肯定,该项目在随后几年中又得到了刘少奇、周恩来、朱德、陈云等党和国家主要领导人的关注、鼓励和支持,也获得了中央、地方以及相关行业、部门和企业的支持,在经费和资源配给等多方面受到优先照顾。这些因素为上海万吨水压机的研制营造了相对有利的外部环境。<sup>[3]</sup>

本文主要依据国家机械档案馆、江南造船厂档案馆和上海重型机器厂档案馆的资料,并结合沈鸿等编著的具有技术总结性质的《上海12000吨锻造水压机安装手册》和《12000吨锻造水压机》<sup>②</sup>提供的一些信息,考察了这台水压机从技术准备到设计和制造的过程。

## 1 技术准备

1958年秋,沈鸿挑选了技术实力较强的江南造船厂(以下简称“江南厂”)为试制单位。水压机制成后,将成为新建的上海重型机器厂(以下简称“上重厂”)的核心设备。

沈鸿以江南厂的技术力量为主组建了设计班子——上海万吨水压机设计室,沈鸿任总设计师。他还抽调国家经委机械局的林宗棠担当副总设计师,作副手。林宗棠1949年毕业于清华大学机械系,曾在东北工作期间发起组织高速金属切削等技术革新活动,后担任过沈阳第一机床厂第一副厂长、国家经委副处长。江南厂设计科轮机股副股长徐希文也深受沈鸿赏识,任水压机设计室技术组组长。徐毕业于大连工学院,工作后又是在上海交大由苏联教授开设的研究生班进修,参加过苏联万吨轮“西比利采夫”号大修等任务。江南厂的副总工程师邵炳钧也曾短期参加了水压机的设计工作<sup>③</sup>。设计组中的孙锦荣、戴同钧、金竹青、宋大有、陈端阳、杨炳炎、黄绳甫、徐承谷、叶俊德、江宝根等技术人员也来自江南厂。为支援水压机任务,上海机电设计院选派了胡森昌、丁忠尧、陆忠源、夏荣元等人参加进来。在这个充满朝气的团队中,挑大梁的林宗棠32岁,徐希文27岁,其他人多数

① 沈鸿(1906—1998) 中国科学院院士,中国现代工业技术的奠基人和领导者,多项国家重大工程的技术负责人。沈鸿小学肄业,曾在上海作学徒,自学机械、数学和英文,后创办上海利用五金厂。抗日期间,他带着机器和工人到延安参加生产,任陕甘宁边区机器厂总工程师,主持设计制造蒸汽锅炉、薄铝板轧机、炼焦设备、造币机和手术器械等数百台套机器设备及军民用品,受到毛泽东等领导人的赏识。1949年后,沈鸿一直在工业部门任职,除主持研制上海万吨水压机之外,还负责组织研发马鞍山车轮轮毂生产设备、“九套”大型成套设备、葛洲坝水电机组和船闸等多项国家重大工程。主持编写大型工具书《机械工程手册》、《电机工程手册》、《中国大百科全书(机械工程卷)》。曾任中国第三机械工业部部长助理、煤炭部副部长、农业机械部副部长、机械工业部副部长,中国机械工程学会理事长等职,1980年当选中国科学院学部委员。

② 《上海12000吨锻造水压机安装手册》为内部手册,《12000吨锻造水压机》初稿约于1963年完成,因“文革”等原因拖延至1980年,由机械工业出版社正式出版。

③ ③后来因为“03”型潜艇和万吨“东风”轮等重点任务的需要,邵炳钧返回到原工作岗位。rights reserved. ht

都是 30 岁上下,年轻、热情、勤奋、敢干是他们的共同特点。<sup>①</sup>

当时国内装备有水压机并已形成生产能力的有三家龙头企业:沈阳重型机器厂、富拉尔基重型机器厂和太原重型机器厂。1958 年秋,由沈鸿带队,部分设计人员北上调研。在水压机的生产或施工现场,他们一边测绘,一边了解设计、制造和生产中的问题。沈鸿等人还发现了正在安装调试的国内最大的锻压设备——捷克造的 6000 吨水压机,存在润滑系统不完善、水压机压力吨位转换结构不够灵活、水压机的基础存在设计不合理等问题。更重要的是,他们获得了不少水压机的技术资料,其中有苏联的 6000 吨和 10000 吨水压机的总图与部分零件图。表 1 汇集了技术人员在设计过程中常用的一些参考资料(为叙述方便,下文以序号代替对应的资料名称,例如“资料 4”表示《苏联机器制造百科全书》8 卷),囊括了当时所能见到的国内外专业期刊和公开出版物,其中有些是来自苏联和捷克的资料,有些是国内的工厂和设计单位的技术文档。

表 1 万吨水压机设计组搜集的部分参考资料

序号	资 料	年份
1	Б. В. Розанов,《Гидравлические прессы》,Машгиз	1959
2	Ernst Müller,《Hydraulische Schmiedepressen und Kraftwasseranlagen》,Springer-Verlag Berlin	1952
3	米海耶夫,《水压机设备》机械工业出版社	1957
4	斯托罗热夫等,《苏联机器制造百科全书》8 卷 11 章,《水压机》机械工业出版社	1955
5	Т. Я. Недоповз, Т. К. Броник, Исследование мамжетных уплотнений,《Расчет иконструирование кузнечно-прессовых машин》,книга 2 ,Машгиз	1960
6	Б. А. Морозов, В. П. Артоюхов,《Новая резьба тяжело нагруженных крупных соединений》, Вестник Машиностроения ,№6	1961
7	米海耶夫,《高液压密封装置的新结构》机械工业出版社	1958
8	Т. М. Бастер,《飞机液压传动与附件》国防工业出版社	1964
9	鲁茨等著,《冶金工厂设备简明润滑手册》,重工业出版社	1956
10	徐康友,《滚压加工》机械工业出版社	1960
11	R. M. L. Elkan and J. T. Lewis, Modern Forging Presses and Their Control, “Journal of the Iron and Steel Institute”, No2	1956
12	М. Ф. Бокштейн, Н. А. Забугина,《Исследование напряжений в рупногабаритных прессах с применением моделей из пластмасс》, Вестник Машиностроения ,№1	1959
13	А. И. Зимица,《Гидравлические прессы ( Исследования и элементы расчета)》, Машгиз	1953
14	M. D. Stone,《Large Hydraulic forging Presses》, Transactions of the ASME July, Vol. 70 ,№5	1948
15	J. A. Sanderson and J. G. Frish,《A review of the Application and Design of Heavy Forging Presses》, Journal of the Iron and Steel Institute, Vol. 161	1949
16	Х. А. Винокурский,《Расчет коллон гидравлических прессов》, Машгиз	1950
17	Л. Д. Гольман,《Современные конструкции гидравлических прессов》, Труд резервиздат	1957
18	В. А. Михеев, В. М. Ям, Б. И. Поляков,《Модернизация гидропрессового оборудования》, Машгиз	1961
19	水压机整机及零部件图纸	
20	其他国内外出版物	

在设计室刚成立不久,就有人主张走仿造的路线——直接照搬国外的设计<sup>[4]</sup>。然而,北上调研之后,大家心里对技术上存在的困难认识得更加清楚,主要技术瓶颈归于以下三个方面:

(1) 现有的中小型加工设备无法满足常规的制造大型水压机的技术方案,必须有针对性的突破。国外制造同类机器,大型机床、大型热处理炉、大型起重机等设施要先齐备,可是这些基础条件当时在上海尚不具备。

(2) 必须在材料选用方面有所突破,否则按常规方案将无法实现制造。水压机立柱与横梁的选材尤为突出。国外大型水压机的立柱都是整体锻造,上海当时尚未装备大水压机,立柱的用材只能考虑铸钢。横梁的外形巨大,部分零件的重量可达数百吨,上海虽有不少中小钢铁厂,但是都没有生产大型铸锻件的设备和厂房,最大铸件能力只有十几吨,再大就不能确保其机械性能。

(3) 缺少一手的数据和经验。大型水压机零部件达上万个,技术环节多而复杂;而且许多零部件在工作中承受大负荷、高温和高压,技术性能要求较高。所获资料和调研结果缺少大量关键性的技术细节。

总之,当时的工业基础和技术条件决定了直接照搬照抄现成的技术方案看似简单,实为一条死路。在沈鸿看来,现实条件决定了自制万吨水压机不可能一蹴而就。<sup>[5]</sup>为了慎重起见,他们前后做了两台模型机、一台 1200 吨和一台 120 吨的试验水压机,按照这样的排序,上海万吨水压机可被看作是设计组完成的第五台水压机。

## 2 设计

万吨机的设计不等同于对试验机的等比例放大,即便是相同的部件,在材料、结构和等方面也会有很大的差别。1959 年底取得两台试验机的成功后,万吨机的设计工作正式启动。

设计中,总设计师沈鸿抓全面工作,把握大方向,同时负责总体设计、水压机基础设计和安装工艺的设计。副总设计师林宗棠兼任设计组组长,协助沈鸿抓全面工作;同时,还负责总体设计、下横梁设计、制造工艺、水压机测试和试验等具体的技术任务。徐希文在设计组中任副组长和技术组组长,承担具体的设计任务也最多,主要负责总体设计、上横梁和活动横梁设计、液压阀的设计、超重运输车辆设计、水压机测试和试验等。林、徐二人专业基础好、懂外语的特长在设计中都得到了发挥。其他技术人员也有明确的分工:孙锦荣负责立柱的设计;宋大有、戴同钧和金竹青负责焊接工艺设计和焊接试验;陈端阳主攻热处理;叶俊德、黄绳甫和徐承谷承担水压机电气设备及控制的设计;丁忠尧、江宝根参与设计主阀和液压系统;杨炳炎、陆忠源和夏荣元等主要负责设计辅助部件;胡森昌参与立柱实验和部分总体设计;几位女技术人员主要负责绘图和一些辅助性工作。<sup>①</sup>

水压机一般由本体、动力系统与液压控制系统三大部分组成。本体即水压机主机,一般包括机架、液压缸、运动及导向装置以及其他辅助装置。立柱与横梁是构成水压机本体

的最基本的几个大件。本体通常都被视为水压机的主题,而上海万吨水压机的本体也是最能体现设计思路和技术特色的部分。

### 2.1 本体结构的设计

确定本体的结构是一台水压机全部设计的重要基础。从当时国外已装备的大型锻造水压机的结构设计来看,几乎都采用立式三横梁四立柱式。在多数参考资料中,设计分析与数据计算也多以立式三横梁四立柱结构为例。因此,对上海水压机设计人员来说,采用这种结构(图1)进行设计不仅具有技术上的合理性,还可以充分利用搜集到的资料和考察结果,从而在一定程度上降低设计难度。

采用同样结构的机架,并不意味着设计就可以照抄。特别是分段焊接立柱和“整体焊接式”横梁一度成为困扰这台水压机设计最大的难题。设计人员根据理论计算并结合实验,初定以钢板代用材料和焊接为主的技术方案(表2)。经反复斟酌,沈鸿赞同了这样

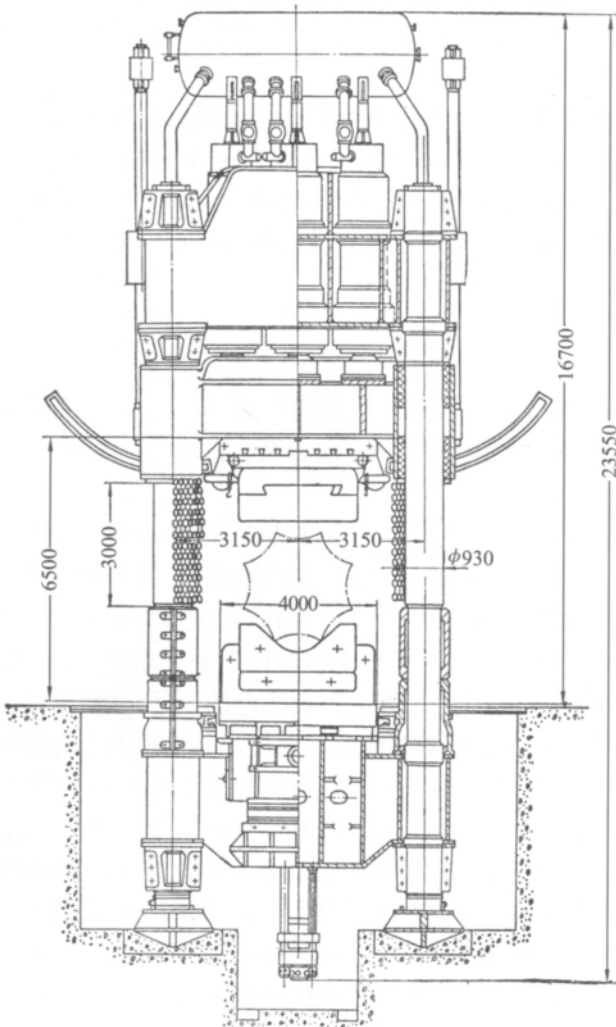


图1 上海12000吨水压机结构图<sup>[6]</sup>

的技术路线:

由于上海目前缺少重型铸锻和加工能力,这台水压机的制造不能按照世界通常的方法,而必须具有自己独特的结构。<sup>①</sup>

本体的设计受到了厂房高度变更的影响。上海水压机的设计与厂房的设计同时进行。在本体的初步设计完成后,厂房的高度却要缩减。降低厂房高度在当时看来实属“多快好省”之举。“大跃进”时期,各地基建工程遍地开花。在资源非常有限的条件下,厂房的设计与施工普遍追求“简易快速,加快建设”。于是,厂房按钢结构结合钢结构建造,高度定为 35.6 米,行车轨道则从 24 米高被调整到 20 米高,降低了 4 米之多。厂房和行车高度的降低,必然要导致水压机的高度随之降低。相应的,四根立柱与三个横梁的高度也要缩减。在当时看来,这样的变更毫无疑问是利大于弊的。然而事实上,由此给水压机的设计造成了始料不及的不利影响。

表 2 上海 12000 吨水压机主要参数<sup>1)</sup>

1	水压机类型	自由锻造水压机
2	公称能力	三级: 4000 / 8000 / 12000 吨
3	本体结构	立式, 四立柱, 三横梁, 六工作缸
4	高压水	纯水式(添加乳化剂), 高压蓄势水泵站
5	可锻钢锭重量	普通钢和低合金钢( $\sigma_b \approx 50$ 公斤/毫米 <sup>2</sup> ) 约 150 吨左右, 最大 250 吨 中合金钢( $\sigma_b \approx 80$ 公斤/毫米 <sup>2</sup> , 合金元素 3%—5.5% 左右) 约 80 吨, 最大 120 吨 高合金钢( $\sigma_b \approx 100$ 公斤/毫米 <sup>2</sup> ) 约 30 吨左右
6	年产锻件能力	30000—50000 吨
7	工作液体压力	350 公斤/厘米 <sup>2</sup>
8	立柱	四柱式, 滑动部分 $\Phi 930/400$ 毫米
9	工作缸	六缸, 柱塞 $\Phi 880$ 毫米, 行程 3 米
10	提升缸	四个, 每个 215 吨, 共 860 吨, 柱塞 $\Phi 280$ 毫米, 行程 3 米
11	平衡缸	两个, 每个 165 吨, 共 330 吨, 柱塞 $\Phi 245$ 毫米, 行程 3 米
12	工具提升机构	两个, 提升重量 5 吨
13	立柱中心距	6.3 × 3.2 米, 上梁宽 3.59 米
14	工作台面至动梁间距	6.5 米
15	活动横梁最大行程	3 米
16	工作台	三块, 共 4 × 12 米
17	工作台移送缸	两个, 左右各一个, 每个 300 吨, 柱塞 $\Phi 320$ 毫米, 行程 4 米
18	工作台移送距离	左右各可移动 6 米(2 + 4 米)
19	工作台制动缸	两个
20	顶出器	一个, 300 吨, 行程 1.5 米, 顶出台面 800 毫米

续表 2

21	最大允许锻造偏心距	12000 吨时约 250 毫米, 8000 吨时约 400 毫米, 4000 吨时约 700 毫米
22	空心筒体锻造	用 8000 吨压力时, 心轴支架中心最大间距 9 米
23	工作速度	锻压速度约 100 毫米/秒; 空程下降及提升速度约 250 毫米/秒 工作台移送及顶出速度约 200 毫米/秒
24	锻压次数	12000 吨时约 5—6 次/分, 每次压程 275 毫米, 提升 400 毫米
25	快锻次数	4000 吨时约 20 次/分, 每次压程 50 毫米, 提升 100 毫米
26	主机轮廓尺寸	总高度 23.65 米(地上 16.7 米, 地下 6.95 米) 总长度 33.6 米 宽度 8.585 米
27	主机总重量	2213 吨

1) 采自上海万吨水压机设计室《上海 12000 吨锻造水压机安装手册》, 1961 年 12 月, 江南造船厂档案馆。表中 5、6 项为设计指标, 实际生产情况与此略有出入。

## 2.2 立柱的设计

水压机的立柱是整个水压机最重要的部件之一。立柱不但要连接三个横梁, 构成本体的封闭框架; 同时, 还要兼具活动横梁的导向功能。上海万吨水压机立柱的设计在吸收、借鉴其他水压机的同时, 也形成了自身“短粗”的特点。

立柱设计的难度之一, 就是要使其能够承受大而复杂多变的载荷。关于解决偏心载荷和立柱的导向功能, 在国外文献中不难找到, 特别是资料 13 和 15 中有比较详细的对比分析。设计人员注意到了上述文献, 他们的分析及图例均是从中直接摘录来的。( [6], 1—10 页)

上海水压机的立柱选用了锥套式结构, 该结构最大的优点在于可以消除下部的应力集中。设计人员之所以如此看重这一因素, 源于设计组在前期考察时了解到的一则情况。一重厂水压机车间苏联造 1250 吨水压机因设计缺陷, 应力集中造成立柱特别容易断裂。

国外设计资料为确定立柱的尺寸提供了依据与参照。资料 4 的作者推荐“极大型水压机(10000—20000 吨)的机柱, 内孔直径达 300—700 公厘”。设计人员对比资料 1、4 和 16 时发现, 国外设计的中心尺寸与外径之比(内外径比)在 20%—30% 之间, 而且中心孔径不超过 250 毫米, 如表 3 所示。

表 3 几台锻造水压机的立柱数据

水压机的吨位 (T)	立柱直径 (mm)	最小外径 (mm)	中心孔径 (mm)	中心孔与外径之比	选用材料	拉伸应力 (kg/cm <sup>2</sup> )	合成应力 (kg/cm <sup>2</sup> )
[上海] 12000	930	910	400	0.43	铸钢 20MnV	610	1430[1]
[美] 12600	865	—	—	—	—	570	—
[捷] 12000	905	900	250	0.28	锻钢	455	—
[德] 10000	810	810	150	0.19	碳钢( $\sigma_b \geq 50$ )	528	—
[捷] 6000	705	700	175	0.25	碳钢( $\sigma_b = 50 \sim 60$ )	420	—
[苏] 6000	680	680	175	0.26	碳钢 40	446	1630[4]
[捷] 3000	500	—	—	—	—	约 420 以上	—
[苏] 3000	520	510	180	0.35	碳钢 40	530	2100[16]

但是,设计人员作了大胆尝试,将上海水压机内外径比增加到了 43%,远超出其他的水压机。如此考虑,主要是针对上海的材料供给情况。因为,消耗相同重量的材料,这样做可以获得更大的外径和更高的强度,利于材料的选择和使用。

在强度计算时,设计人员至少参考了 7 种模型与方法。经过比较,最后用罗扎诺夫(Розанов)在资料 1 中的计算方法([6] 45—50 页)。这种方法虽然计算起来相对繁杂,但是考虑的因素比较全面,更接近实际的工作状况。经过验算,该水压机的立柱内外径分别被确定为:外径 930 毫米和内径 400 毫米。与其他同级水压机的立柱相比,明显要粗壮一些。

立柱的纵向尺寸受到了厂房高度的影响。资料 4 中有四柱式锻造水压机的若干设计参数,将上海水压机的相关参数与之并列对照,如表 4 所示(表中[上海]系指上海万吨水压机)。对比可知,上海万吨水压机的横向尺寸,如立柱中心距大致符合资料 4 的数据;而纵向尺寸基本上是比照 10000 吨水压机的参数来设计的,显得略微低矮一些。

表 4 上海水压机与推荐资料的部分参数比照

资料来源	公称压力 (T)	最大行程 (cm)	工作台面至动梁间距 (cm)	立柱中心距 (cm)
资料 4	6000	2600	5000	5000 × 2600
	8000	2800	6000	5500 × 2800
	10000	3000	6500	6000 × 3200
	15000	3200	7000	6600 × 3500
[上海]	12000	3000	6500	6300 × 3200

立柱的尺寸设计对水压机的整体以及横梁的设计影响很大。除去活动横梁的工作行程、工作台与上下砧的高度及工件的预留空间外,立柱的上下横梁相应部位的设计高度值分别只有 2.4 米与 2.5 米,应力集中现象比较明显。

设计的立柱长 17.69 米,重约 80 吨。设计时,反复推敲了选材和工艺路线。国外一般选用中碳钢或中碳合金钢的大型钢锭(约 200 吨左右),用大型水压机整体锻造为立柱毛坯。此方案材料性能最好,工艺路线简单,国外大型水压机的设计一般首选此方案。但是,这个方法需用约 200 吨重的钢锭在万吨水压机上锻制,上海根本没有选用此方案的可能性,只能放弃。

设计人员受到东北 6000 吨水压机的启发,决定用焊接法拼接制造大立柱,主要的难点在于合理划分大立柱,使各部分既利于焊接操作,又能保证整体的机械性能。最初,沈鸿提出顺着立柱的纵向进行划分和拼接,将锻成扇形断面的长条钢,焊接成一个空心圆柱(图 2)。这种所谓“组筷式”划分方法据说源于沈鸿受到手中的一把筷子的启发<sup>[7]</sup>。此法虽是奇思妙想,但在工程上并不取巧,其最大问题在于不利于焊接操作,焊接质量也难于保证。另外,锻造长条钢需要东北的

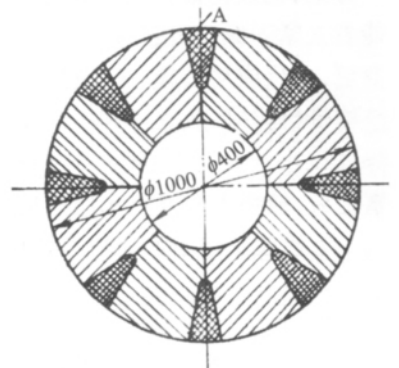


图 2 锻-焊立柱结构示意图



厂家协作,成本高,周期长。

用锻焊法遇到困难后,设计组多方打听,找到了来华的民主德国冶金专家孔歇尔(von Wolfgang Küntscher und Hanns)。1958至1959年,孔歇尔作为冶金部钢铁研究院顾问,指导上海锅炉厂使用代用材料生产高压容器。<sup>①</sup>据沈鸿回忆:

有一个德国人说,铸钢和锻钢没有本质上的区别,如果铸钢质量好就不比锻钢差;如果锻钢的质量不好,还不如铸钢。水压机柱子可以分段拼焊起来,这是德国人孔歇尔的意见。<sup>②</sup>

孔歇尔建议采用20MnV铸钢作水压机立柱的材料,以“分段拼焊”的方法制造整根立柱(图3)。1959年在上海召开全国焊接会议期间,刘鼎向沈鸿介绍了哈尔滨坦克厂用拼焊工艺制造炮塔的经验,随后还从工厂派人去上海进行指导<sup>[8]</sup>。

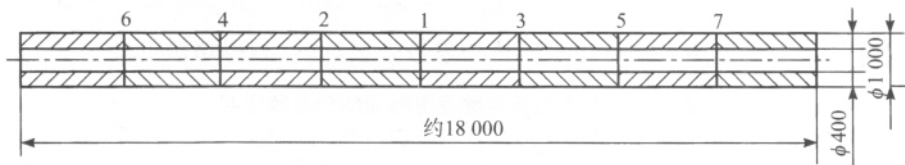


图3 铸-焊立柱结构示意图

经两台试验水压机验证,选用20MnV铸钢在技术上是可行的,并且铸焊法比锻焊法对设备的要求低,成本也低。于是,用铸焊结合“以小拼大”的方法脱颖而出。

### 2.3 横梁的设计

水压机的三个横梁是指上横梁、活动横梁和下横梁。设计的难点同样在于材料的选择和结构。大型水压机横梁一般都以铸钢为材料,每个横梁的重量都在100—200吨以上,下横梁甚至达到300吨以上。这样超大的构件,很难使用整体浇筑的方法来制造。国外一般都设计为“铸钢组合式”的结构,先分块铸造,再用大螺栓实现机械组合。

上海万吨水压机的三个横梁最初考虑的也是组合式方案。参照资料3等<sup>[9]</sup>,设计人员将下横梁设计为7块铸钢件,用螺栓连接后,总重将达到惊人的540吨。若选取此方案,不仅难以克服制造问题,而且也会面临运输和安装等困难。

在分析、计算和试验的基础上,设计人员大胆采用了“整体焊接式”的结构。按照这一方案,钢板将被直接焊接为横梁整体,而不再分块组合。不仅制造工艺将大大简化,还能省去紧固螺栓等连接件,节约原材料,减轻横梁自重。此方案无疑将是一次重大的设计变更,一旦成功实施,三个横梁和水压机本体都将为之改变。同时,设计人员也注意到新结构带给焊接、热处理和机加工等后续制造环节的压力。在综合考量了江南厂的焊接优势,“以小干大”的机械加工方法的可行性,以及整个水压机的工程进度、性能和造价等因素之后,最终上海万吨水压机的三个横梁都采用了“整体焊接式”的方案。

下横梁是整个水压机本体的底座,也是三个横梁中体积最大的一个,长度可达10米

① 一机部技术司《关于统筹安排解决电站设备用钢立足于国内于采用“拼代”方法解决电站设备大型铸锻件等的意见》,1959年,国家机械档案馆,全宗号221,目录号10,案卷号75,第3页。

② 1965年,沈鸿副部长讲话(记录摘要),1965年,国家机械档案馆,全宗号221,目录号6,案卷号58,第9页。

左右。下横梁不仅要承受水压机的全部压力,一般还附设移动式工作台和顶出器等装置,其内部应力变化情况复杂,设计难度很大。

根据国外经验,横梁多为中空的箱型结构,内部按照一定的规律排布大小不等的筋板,以提高刚度,减少应力集中。上海水压机吸纳了国外资料中的有关设计规范。设计人员为梁体选择了简单、常见的两端悬伸的箱形结构。

横梁有 4 个直孔分别对应 4 根立柱,这 4 个孔称之为柱套。为了确保横梁有足够的强度和刚度,柱套和横梁的高度都不宜太小。因此,高度是下横梁尺寸设计的一处关键。苏联的斯托罗热夫的著作建议下横梁的高度应是机柱(立柱)直径的 2.5—3.5 倍<sup>[10]</sup>,大型水压机因受力大,这个比值有时达到 4 倍左右。根据这台水压机 930 毫米的立柱直径,下横梁柱套的高度应在 2.3 米至 3.7 米之间。但是,由于这台水压机的整体高度受限,下横梁柱套的设计高度仅 2.4 米,远远低于其他万吨级水压机柱套的高度,见表 5。

表 5 几台大型锻造水压机下横梁主要尺寸比较

制造厂家	吨位 (T)	梁体长度 L	台面宽度 B	立柱直径 $d$	梁体高度 $H$	柱套高度 $h$	$h/d$	$H/h$
上海江南造船厂	12000	10000	4000	930	3200	2400	3.45	1.33
捷克列宁工厂	12000	10000	4000	900	3400	3000	3.85	1.13
德国液压机制造公司	15000	10000	4000	850	3500	3500	4.12	1.00
德国施洛迈恩公司	15000	—	4000	—	3400	3250	—	1.05
美国联合工程公司	12600	—	—	860	3250	3250	3.78	1.00
德国液压机制造公司	10000	10000	4000	810	3200	3200	3.95	1.00

为了适当增大下横梁的高度,梁体被设计成“不等高”型,中段高度达到了 3.2 米。即便如此,与其他同级水压机相比,下横梁的高度仍不算突出。强度和刚度的计算表明,“不等高”的设计虽然改善了横梁整体的力学性能,但是由于中部比两侧的柱套高出 0.8 米,导致中部到柱套之间的过渡显得过陡,在过渡区会不可避免地存在应力集中区域。此处的隐患只好留至制造环节再想办法解决。

上横梁、活动横梁与下横梁有相似之处,因各自功能不同,设计也不尽一致。上横梁连接立柱上端,主要承受锻压时的全部反作用力。此外,上横梁还要安装工作缸,工作缸的大小、数量及受力位置的分布等因素在上横梁设计时,也应一并考虑。

上海万吨水压机上横梁的设计参考了德国建造的 10000 吨水压机和捷克的 12000 吨水压机的设计,但是它们之间的差别也很大。在表 6 中,上海万吨水压机上横梁柱套的设计高度为 2.5 米,而梁体的高度为 3.9 米,高度差达到 1.4 米。另两台水压机的高度差分别为 0.95 米和 0.85 米。由此不难判断,上海水压机上横梁从柱套至中段会出现比较突出的应力集中问题。

上横梁过高实属不得已而为之,目的在于满足梁体强度和刚度的要求。这台水压机有 6 个工作缸,每个缸都要在上横梁内部占据一个大孔隙,再加上设计所需的其他较大的孔隙,如此多的孔隙很容易导致横梁的性能下降。其次,受所选材料的限制,横梁的上下底板过于单薄,厚度仅有 120 毫米。在柱套高度、内部结构和材料机械性能都一时难以提高的情况下,增大上横梁高度是改善性能的最有效的手段,但也由此造成了上横梁和柱

套的过渡角度太陡,应力过于集中的问题。技术人员只好采取在过渡部位加焊三角形加强筋板、堆焊增大过渡圆角、开孔平衡应力分布,以及对焊缝冷作硬化,提高表面硬度等多种补救措施。

表 6 水压机上横梁主要尺寸示例(毫米)

吨位 (T)	工作缸数 上梁总宽度	有效断面宽度 (总宽-开孔)	柱套高度 ( $h$ )	中段高度 ( $H$ )	立柱螺 纹直径 ( $d$ )	$h/d$	$H/h$	壁 厚		
								下底板	上底板	旁板
[上海]12000	六 缸 ( $6 \times 2000$ 吨) 3590	1000	2500	3900	950	2.63	1.56	120	120	120
[捷克]12000	三 缸 (中缸 8000 吨) 4000	1600	2750	3700	约 930	2.95	1.33	200	200	120
[德国]10000	三 缸 ( $3 \times 3300$ 吨) 3000	1390	2500	3350	约 840	2.97	1.34	160	240	120

设计者除了关注上横梁的整体性能,许多细节的设计也煞费苦心。例如,由于工作缸较多,加强筋板的形状和位置的设计非常不易,既要考虑到工作缸支承面的刚度均匀分布,又要照顾到焊接操作的简便易行。

活动横梁是水压机的大件中,唯一作大行程运动的部件。上海万吨水压机活动横梁的筋板布置不尽合理,这与一次设计变更有关。活动横梁最初的设计比照了 12 缸的 1200 吨实验水压机,设置筋板也是按 12 个柱塞支承面区域来考虑的。万吨机改为 6 缸是在活动横梁的毛坯做好之后,重做一个 100 多吨的毛坯将会造成很大的经济损失。权衡之后,设计人员打算就在这个毛坯上做些修改,但是筋板的布置已经无法彻底改变。这就导致了部分筋板不在柱塞支承面受力的中心,横梁的强度和刚度都受到削弱。此外,由于该水压机的活动横梁要连接 6 个柱塞,横梁的大开孔较多,这也造成活动横梁的性能降低。

综合来看,在上海万吨水压机的设计中,立柱、横梁的独特结构与选材取得了突破。由于立柱与横梁等主要部件都采用焊接方案<sup>①</sup>,全焊结构成为这台大机器重要的技术特征。新结构的提出与江南厂的生产特点也有一定联系。近代以来,焊接成为制造舰船的一种重要手段,而船厂一般都拥有一批技术水平较高的焊接专业人员。1947 年江南厂曾采用全部焊接的方式制造了排水量为 3255 吨的“伯先”号钢质海轮<sup>[11]</sup>;1956 年该厂也曾按苏联标准成功制造了艇身为全焊结构的 03 型鱼雷潜艇;1958 年建成全焊结构的 8930 吨“和平 28 号”海轮。受到造船的启发,造船厂的技术人员和技术工人在横梁设计时萌生了全焊的想法。

### 3 制造

进入到制造阶段后,江南厂以生产一线的人员为主力,成立了万吨水压机工作大队,机械加工、焊接、热处理、起重运输等多工种加入,技术方面仍由林宗棠和徐希文负责,重要的焊接、机械加工、起重运输等工种则由唐应斌、袁章根、袁斌海和魏茂利等经验丰富的技师分别负责。

大型零部件的制造,事关上海万吨水压机的成败,立柱和横梁的加工更是全部制造环节中的重中之重。立柱与横梁的加工采用的主要技术手段是电渣焊接技术和“蚂蚁啃骨头”的机械加工技术。

#### 3.1 电渣焊接技术的运用

万吨水压机的几个大件的焊接操作归纳起来大致有三个特点:

第一是难度大。焊缝普遍存在厚、长、结构复杂的情况。焊缝厚度一般在 8 厘米至 0.3 米之间,个别处厚达 0.6 米;长度一般为 1.5 至 4 米,而下横梁盖板的一处焊缝就长达 10 米;立柱接头处是由环形断面组成,横梁因全部是由钢板拼接,空间狭窄,丁字形和十字形接头密布;而且由于都是大件(例如下横梁重达 260 吨),焊接中工件翻身十分困难。

第二是质量要求高。立柱、横梁和工作缸是水压机本体的主要部件,绝大多数的焊缝和接头都需要承受很大的力,因此要求焊缝必须全部焊透;再者因焊缝多,需控制好结构变形,例如 18 米立柱的中心偏差须控制在 20 毫米以内。

第三个是工作量大。以焊接长度来衡量,仅横梁和立柱的焊缝总长加起来就有 1300 米左右( [6], 154 页),全部工件的焊接总量占水压机全部制造工作量的 30% [12]。

焊接这些又厚又长的焊缝,当时常用的电弧焊接,无论是手工焊,还是半自动焊或自动焊,不仅工艺难度极大,而且质量不易保证、效率低下,难以胜任。水压机设计组提出选用新的焊接方法——电渣焊接。

电渣焊接(也称熔渣焊)技术源于苏联<sup>[13]</sup>,是乌克兰科学院巴顿焊接研究所<sup>①</sup>于 20 世纪 40 年代末的一项重要发明<sup>[14]</sup>。电渣焊接技术具备的最大优点是可焊工件的厚度很大,而且效率也很高。此项新技术的出现,使得大断面的焊接成为可能,这就为利用焊接制造大型构件提供了有利条件。

中国于 20 世纪 50 年代中期开始从苏联引进这项新技术,在焊接设备、材料和工艺等几方面尚未完全掌握。虽然国内已有几家单位开展了电渣焊接的研究,但是成功的实例都是针对某一个零部件,材料和工艺相对单一。对水压机制造者来说,掌握并熟练运用电渣焊工艺具有挑战性。制造“全焊结构”的大型水压机,不仅工作量大,而且材料不同,焊缝复杂,工艺差别大,如此情况即便在苏联也未见先例。

江南造船厂当时只有 2 台苏联的电渣焊机,技术人员希望能够添购几台焊机,但是随着中苏关系日趋紧张,靠进口已几乎不可能。江南厂决定,拆其中一台进行测绘、仿造,共仿了 7 台。该厂设备动力科的技术人员有针对性地改造了 EAC-1000 型自动焊机的机头

部分,使送丝机构和夹持机构更适合横梁长缝焊接和立柱大截面环缝焊接的需要。焊接材料的选择也只能立足于国产,经过不同焊丝和焊剂的比较试验,选定了上海焊条厂的H10Mn2焊丝和“上焊-102”焊剂。

下横梁是水压机一个最大的部件,全重260吨,需由大小不等的100多块钢板拼成,焊缝种类很多,既有平焊缝、直焊缝,也有斜焊缝,经常相互交叉,非常复杂。特别是横梁的盖板下面有4条10米长的筋板,中间又有不少横隔板。这样的结构和焊缝只能用熔嘴电渣焊的方法来焊接。即便如此,如果这四条10米焊缝不能同时焊接同时到头,整个结构的焊接应力就会过大,会产生变形,甚至崩裂。

立柱和工作缸等铸钢件的焊接也有相似的情况发生。四根立柱每根分作8—11段,每段是直径为0.95米、重约10吨的空心圆柱,然后用丝极电渣焊逐段焊接在一起。每根立柱的接头为7—10个,焊接后18米内的中心偏差不得超过20毫米。分段的数量偏多显然不利于控制焊接质量,但是对提供铸钢件的上钢三厂来说,10吨的重量已经接近该厂技术能力的极限,难以保证更大钢锭的质量。

焊接质量是“全焊结构”能否成功的关键。宋大有、唐应斌等人从实验入手,并在生产中总结经验,逐步掌握了电渣焊的工艺措施与焊接规范。部分的实验和试生产在制造1200吨水压机时就已经开始,随着工作的不断深入,许多问题已超出文献所及。为此,沈鸿称赞焊接研究室有“许多创造”( [5] 5页)。其中最具代表性的成果有:长缝与丁字形角接缝的熔嘴电渣焊工艺、熔嘴的尺寸与形状的选择、双丝与三丝的电渣焊机机头、环缝焊丝电渣焊工艺、特大轧焊与铸焊零件的变形控制、熔嘴的定位与绝缘、冷却成型板及其支撑装置、环缝电渣焊的切割与收尾技术,以及正火一回火的热处理等。为了确保质量,焊接试验室引进超声探伤技术。技术人员还自制了“江南I型”超声探测仪,并摸索出了一套适用的超声波探伤的使用规范,再配合理化取样检验等技术手段,确保检测结果准确可靠。

在确保质量的同时,焊接工艺的设计还需巧妙地照顾工人的操作。尤其是焊接横梁时,焊工需要进入到梁体内腔操作,工作既辛苦又危险。技术人员在横梁的上下盖板上的适当位置割开一些工艺孔。孔的部位很有讲究,根据计算结果,受力较大的部位不能开孔,避免降低横梁的强度。

“全焊结构”的大件注定要使用“超常”的热处理手段,必须要建成“超常”的热处理炉。炉子首先要大,能容纳10米长、8米宽、重260吨的下横梁,也能让18米长的立柱整根放入。其次,炉子的性能须满足工艺要求,升温、均温、保温、冷却等各个步骤必须按设定好的时长,而且每个厚大的零件都应均匀受热。一个流程下来的连续作业时间少则20—30小时,多则上百小时。

上海重型机器厂专门组建了大炉子设计小组,负责加热炉的设计与工程实施。设计人员从多个方案中选择了两种简易的整体单拱式燃煤热处理炉,一种容积大,一种则更长,分别用于横梁和立柱的热处理。

由于没有专用的起重、运输设备,只好临时采取特殊措施运送大件进出炉子。在所有大件中,最难于处理的是体积和重量最大的下横梁。为此,徐希文巧妙地设计了一台300吨重载平板轨道车,直接用横梁本身作车体,用工厂闲置的轴承和轮盘做轮子,实际使用

时,技术人员一边监测轴承温度,一边实施冷却和润滑。经计算和实测,每个轴承的性能都被用到了极限。

水压机本体的各大件基本上都按照预定的工艺要求,完成了焊后的热处理。这一耗时耗工的“大活”也出现了几次小意外。活动横梁和上横梁进炉后,恰逢雨季,炉温上不去,梁体个别部位的质量受到影响;处理下横梁时,出现了鼓风机与抽风机的故障,升温速度过慢,整个热处理时间达 200 个小时。

### 3.2 “蚂蚁啃骨头”机械加工方法的运用

机械切削加工是制造万吨水压机中重要的环节,也是所耗工时最多的工艺过程。与焊接过程相似,上海万吨水压机的“全焊结构”的设计也给切削加工带来了极大的困难。

首先,焊后的零件尺寸过大,没有现成的机床设备能够满足加工的需求。焊接后的立柱长近 18 米,重 80 吨,而下横梁的最大长度有 10 米,重达 260 吨。这样的零件均超出既有机床的加工能力,普通的工装夹具、量具和辅助工具也都不再适用。

其次,质量要求高,技术难度大。其中,横梁大平面在 6 米长度内的最大不平度仅 0.4 毫米,要求机床导轨面的最大水平误差不得超过每米 0.05 毫米;横梁立柱孔的上下端面的中心距误差不得超过每米 0.10 毫米,要求加工设备的直线度不得超过每米 0.05 毫米;立柱端面与中心线严格垂直,偏心跳动小于 0.05 毫米;立柱滑动部分的表面质量接近于镜面加工的要求<sup>①</sup>( [6] 227、231 页)。

加工立柱须有大机床。上重厂虽然新进口了一台捷克的 15 米大车床,但是仍不够立柱的长度。技术人员对它进行了接长改装,用一个自制的 3.5 米长的底座安放尾顶针,可以实现车削和滚压加工。可是,这台机床毕竟不是为生产水压机而购买的,它没有加工立柱螺纹所必须的丝杠,只能靠齿条走刀来切削螺纹,而精度则依赖于操作工的能力。另外,滚压器缺少压力调节装置,进刀量也只能凭经验近似调节。在这样的条件下,袁章根小心翼翼地完成了万吨水压机四根立柱的加工,共用时 98 天。( [6] 234 页)

三个横梁的加工问题更突出。由于根本找不到合适的大型机床,技术人员只好采取“蚂蚁啃骨头”的机械加工方法。所谓“蚂蚁啃骨头”,简单地说就是用小机床加工大零件<sup>[15]</sup>。

合适的小机床是“蚂蚁啃骨头”的基础。针对加工中的两大难点——横梁的大平面和高精度立柱孔,技术人员专门设计了移动式的牛头铣床与直径 300 毫米的活动镗杆等简易机床。移动铣床是加工横梁的几个大平面的主要设备,可以被放置在横梁的表面,而无须考虑工件的装夹等问题。活动镗杆又称“土镗排”,使用时直接插入横梁的立柱孔中,加工三个横梁的 12 个高精度的立柱孔及柱套的上下端面。另外,技术人员还制作了一些简易设备和刀具,解决工作缸柱塞和活动横梁柱塞的加工困难。

相比于特大精密机床,小机床的门槛虽低,但用好却非常不易。小机床具有灵活、便捷的优势,但也存在效率低下、质量不易控制的缺点。如何让小机床扬长避短是实施“蚂蚁啃骨头”的关键。两种简易机床的机身刚度都不高,很容易引起震颤或摆动,影响加工质量,被工人们形容为“油条机床”。技术人员一面设法调整机床,一面制定更合理的切

削规范。加工时只好采取牺牲速度确保质量的思路,降低铣刀的进刀速度。尽管单部机床的加工速度与加工质量不可兼得,多部机床同时使用却能够提高效率。这种所谓“蚂蚁群”的方式在加工中也得到了运用。借助于表面足够大的横梁,3部机床可以被搬到横梁上同时开工;镗削立柱孔时,每个横梁的4个孔也各置一部镗杆,齐头并进。因为几部镗杆之间不会联动或自动校正,所以加工过程中需要反复测量和校正才能将镗杆调整到位。仅下横梁孔在最后的精镗工序之前,袁章根等人就爬上爬下地测量了两千余次,而完成下横梁的平面加工则共用了17天时间。( [6] 229页) 当时的一份汇报描述了这些问题:

上、动、下梁立柱孔,主工作缸孔及各小缸孔的镗削利用土镗排进行加工。这种镗排本身也有很多缺陷,本身的加工不够理想,存在一些较大的高度差和锥度差。……镗孔的关键是须保证在镗削前中心距测量的正确性,以及镗削过程中镗排的稳定。在下梁精镗前的一次校正中,我们共花了九天九夜的时间进行调整。<sup>①</sup>

加工方法打破了常规,实施非常不易。整个制造过程用了两年多的时间,各主要零部件的质量都符合设计要求。1962年6月,安装好的1.2万吨锻造水压机在上海重型机器厂试车成功<sup>②</sup>。

## 4 结 论

“全焊结构”的本体设计、小设备加工大零件的制造方法是上海万吨水压机最突出的技术特征。塑造它们的技术路线可概括为,综合运用模仿、模型与实验等方法,有效地集成高、中、低多层次的技术。

在这里,模仿不是指设计者对自然的模拟(imitation of nature),而是对相关技术或产品的仿效、复制。相对于原创,模仿意味着对参照对象的复制、继承或延续,而不是否定、断裂或飞跃。作为一种类型多样、用途广泛的机器设备,水压机本身并不是中国人原创,在此意义上,具有实用价值的上海万吨水压机可算作一次成功的模仿。

然而,单纯以模仿来作概括,并不能抓住这台机器主要的技术特征。不论是从设计思路,还是从制造的技术方案来考量,这台大机器都不是单纯的仿制品。在结构、材料、工艺等多个技术环节,技术人员针对特有的难题,分析了已知技术方案的优劣,并且以模型与实验为依据,进行改进甚至创造。在自制过程中,这种技术路线得以逐步明确。

首先,尽可能地搜集信息,解决设计初期面临的主要问题。在技术准备阶段,沈鸿有意识地强调消化吸收的作用。他的团队以涸泽而渔的气势,最大限度地获取了可能得到的信息,并且多是当时国内最新的资料,有些在国外也不算落伍。这些资料与现场考察都对最终的设计结果产生了积极的影响。在此意义上可以说,上海万吨水压机的设计建立在借鉴和参考其他水压机设计思路的基础之上。在占有资料的同时,设计人员非常注重

① 万吨水压机工作大队《12000吨锻造水压机目前制造情况》,1960年,江南造船厂档案(未编号)。

② 上海重型机器厂:《12000吨锻造水压机及水泵站配套设备等联动试车说明》,1962年6月22日,上海重型机

对已有的技术成果的消化吸收,有选择地借鉴了国外水压机设计的规范、经验和方法,少走了弯路,较快地跨越了对水压机缺乏系统了解这一障碍。

其次,大胆利用模型与实验的手段,促使技术人员敢于摆脱对仿制的依赖。在自制中,能否创立新的技术方案离不开一手的数据和经验的支撑。在不能用上计算机的年代,纸模型和木模型虽然略显粗糙,却好在因陋就简,直观方便。两台试验机都是真的水压机,通过从设计到使用的完整过程,未来万吨水压机在结构、材料和部分元器件的设计上就有了相对充分的依据。同时,试验机也可检验加工工艺及设备的能力,并为最后制造、安装万吨水压机积累经验。全焊结构的本体设计、小设备加工大零件的制造方法等关键技术莫不来源于此。如果将此前从模型到1200吨和120吨的试验机的设计和制造也包括在内,那么全部的设计工作持续了近3年。在整个过程中,事无巨细,大到功能的选取、材料的选用或结构的设计,小至螺纹的齿形、螺帽的高度或密封圈的形状,几乎所有的设计都建立在大量的实验、严谨的分析和细致的计算的基础之上。这些细节表明,万吨水压机的设计不是简单的技术拼凑,而且通过融会贯通去寻找在已有条件下最适用的技术方案。模型和实验延长了研制的周期,却增加了最终方案的可靠性与可行性,使得掌握核心技术、关键技术成为可能。

第三,最大限度地发挥高、中、低不同层次的技术,以技术集成突破技术瓶颈<sup>[16]</sup>。前文论及的自制水压机所面临的技术瓶颈,最突出的就是缺乏足够的高技术手段。不过,最终的技术路线却不是创造出新的高端技术,而是集成了几种既有技术,以适用性和综合优势取胜。在技术集成中,高、低两类技术的搭配与协调往往成为难点。“蚂蚁啃骨头”的加工技术相对简陋而粗糙,而电渣焊接技术刚从苏联引进,既新颖又先进。这两种不同层次的技术都不是为水压机而发明,它们却在世界上首次被用于制造大型水压机。其创造性不在于单项技术的掌握,而在于二者与其他技术并用后形成的“以小攻大”的方案,最终发挥出了既有工业基础的技术潜力,彻底突破了小设备制造大水压机的藩篱。在制造中,唐应斌、袁章根等能工巧匠也发挥了不可替代的作用。

毋庸讳言,上海万吨水压机的设计和制造都存在不足。比如,横梁设计存在比较严重的应力集中的问题,电渣焊接与“蚂蚁啃骨头”的效率不高,经济性也较差。不过,这些都不是当时最为突出、急需解决的问题。自制万吨水压机的首要目的就是要解决此类重大技术装备“有”或“无”的问题。正因如此,上海这台大机器才会被视为中国装备制造业,乃至中国工业发展史上的一次标志性的成就。

重大技术装备影响国计民生,与工业基础与科技发展休戚相关。在国际竞争中,能否拥有或制造某些技术装备,既是国家发展所需,也是国力的象征。近代以来,中国自制机器设备主要以仿制为主,少有改进与创新。进口和仿制虽能解部分燃眉之急,却难以克服重大技术装备涉及的技术壁垒。

上海万吨水压机是中国尝试从仿制走向创制进程中的一座里程碑。这台大机器的出现固然离不开其独特的时代背景,但是相比于同期的多数工农业建设项目和科研项目所表现出的浮夸与盲目,它的成功又显得相当的另类。其最可宝贵之处与其说是“总路线、大跃进的产物”<sup>[17]</sup>,不如说是沈鸿等人恪守理性而摸索到的一条在较低技术起点下自制重大技术装备的路径。



## 参 考 文 献

- 1 (苏联) 重型机器制造业的当前任务[J]. 王钜明, 黄振华译. 重型机械, 1956, 1: 1.
- 2 孙烈. 20世纪五六十年代中国重型机械技术发展初探[J]. 哈尔滨工业大学(社会科学版), 2006, 8(5): 7—14.
- 3 孙烈, 张柏春. 沈鸿领导研制万吨水压机的社会因素[J]. 中国机械工程学会会刊, 2006, 4: 17—27.
- 4 林宗棠. 一万二千吨水压机制造成功是毛泽东思想的胜利——在实际工作中学习和运用《矛盾论》《实践论》的体会[J]. 哲学研究, 1965, 1: 33.
- 5 沈鸿. 沈鸿论机械科技[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986. 3—6.
- 6 沈鸿. 12000吨锻造水压机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1980. 12.
- 7 李永新, 张忠文. 沈鸿——从布店学徒到技术专家[M]. 北京: 科学普及出版社, 1989. 38.
- 8 吴明远. 勇于实践大胆创新[A]. 李滔, 易辉主编, 刘鼎[C]. 北京: 人民出版社, 2002. 299.
- 9 米海耶夫. 水压机设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 1957. 38.
- 10 斯托罗热夫, 等. 苏联机器制造百科全书[M]. 第8卷. 北京: 机械工业出版社, 1955. XI-32.
- 11 上海社会科学经济研究所. 江南造船厂厂史[M]. 南京: 江苏人民出版社, 1983. 402.
- 12 唐应斌, 宋大有. 12,000吨锻造水压机的焊接生产[J]. 科学通报, 1964, 10: 881.
- 13 巴顿. 机器制造中的焊接技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1959. 466—467.
- 14 方卫民. 谈电渣焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 1958. 1.
- 15 孙烈. “大跃进”时期“蚂蚁啃骨头”的机械加工方法的兴起[M]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2007, 9(6): 6—12.
- 16 孙烈. 上海1.2万吨水压机的创新特征及其影响因素[A]. 王思明, 张柏春. 技术: 历史与遗产[C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010. 417—418.
- 17 沈鸿. 总路线的产物[N]. 解放日报, 1964-09-27.

## A Case Study on China's Self-made Major Technical Equipment: The Design and Manufacturing of Shanghai's 120MN Forging Hydraulic Press

SUN Lie

( Institute for the History of Natural Sciences , CAS , Beijing 100190 , China)

**Abstract** As a successful self-made important machine, Shanghai's 120MN forging hydraulic press has become a prominent landmark for the development of China's industry, which has turned from copying to self-designing and self-manufacturing. Through technical analysis of the design and manufacturing of the body of the machine, especially its columns, beams and cylinders, this paper discusses technical difficulties, lines and measures in the process of the engineering led by Mr. Shen Hong. The case study indicates that the synthetic approach, which combines imitation with model, experiment and technical integration, was effective for manufacturing some major technical equipment independently in China.

**Key words** Shanghai's 120MN forging hydraulic press, self-made, major technical equipment, Shen Hong, imitation, technical integration