

# 三维大型复杂光弹性模型制造工艺

## ——1万2千吨锻造水压机箱式活动横梁光弹性模型制造经验

王小明 左美森 卢晓春

(机械工程系)

### 摘 要

本文以实例叙述了大型复杂三维光弹性模型制造过程中的技术难点和工艺方法。

**关键词:** 复杂光弹模型; 蜡模制造工艺; 树脂模; 加工参数

我们机械系和建工系共同承担了上海重型机器厂的我国第一台12 000吨锻造水压机替换活动横梁中要求进行的活动横梁光弹性模型三维应力分析的任务。其中模型制造成为问题的关键环节,模型的质量直接影响实验的精度。这种大型复杂构件的光弹性模型,制造工艺复杂、工艺要求高、难度大。没有现成的完整工艺可以借用。

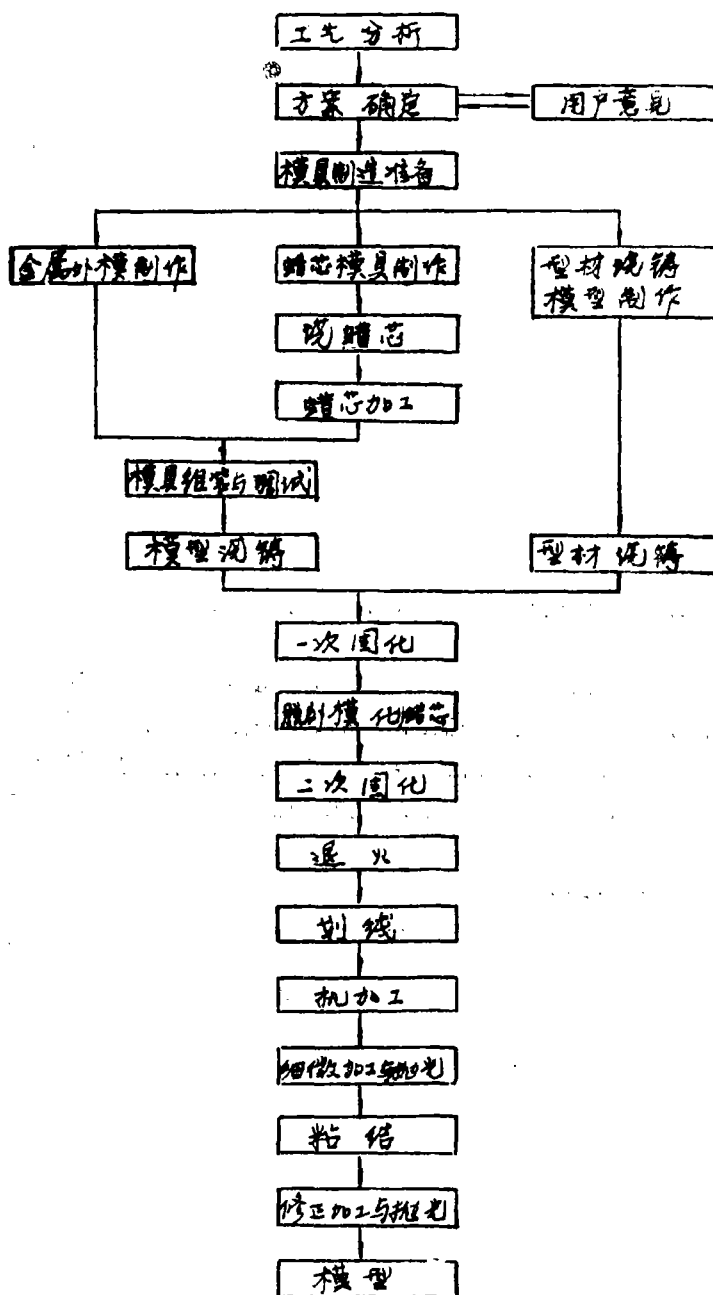
## 1 工艺分析及方案的确定

活动横梁为箱式结构,模型外型尺寸大。缩小20倍后,长、宽、高还有 $420 \times 260 \times 150$ (如图一)。内腔纵横筋板交错,分布有26个空腔。外型型面复杂,四个导柱孔圆弧壁厚只有7 mm,而悬伸量却达50 mm。模型的尺寸精度和位置精度都要求很高。

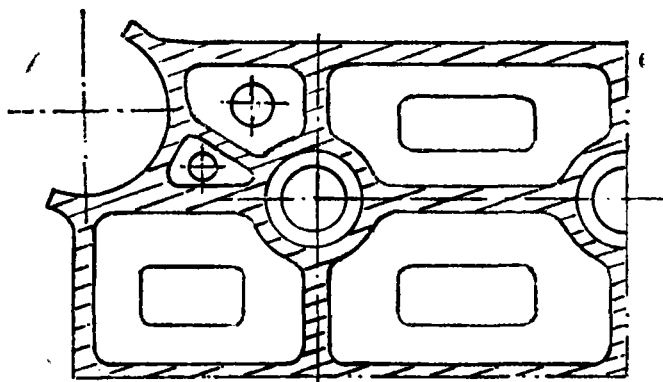
活动横梁是整体铸钢件。模型若采用型材加工之后粘结而成,这样与原型结构差异大,并且铸造圆角不易模拟制作。这种方法虽然简便,显然是不宜采用的。若用整体浇铸方法制造光模,模具的设计与制造复杂,并且有多种方法。若采用蜡模,型芯多,不易定位,保证不了装配精度。并且由于型芯尺寸大,浮力也相应的大,在浇铸中型芯会被上浮或者是变形错位。若采用全金属模,结构十分复杂,模具制造周期长,成本高。为不延误水压机的装机时间,整个模型制造要求在六周左右的时间内完成。

经调研论证和同上重厂的有关部门协商,我们采用了金属外模,蜡模芯,整体浇铸,外型加工到尺寸,很少的次要部分用型材加工成型后粘结的工艺方案,取得了令人满意的效果。工艺过程框图如图二。

——本文于1991年10月4日收到



图一 水压机活动横梁光弹性模型制造工艺过程框图



图二 四分之一的活动箱式横梁的剖视图

## 2 浇铸模具和蜡芯的选材与制作

金属外模的周边采用 0.5mm 白铁皮围出外型的基本轮廓,并放足余量(通常在10mm左右)。底座用10mm 左右的钢板加工而成,白铁皮的外腔和蜡芯准确安装在底座上。

为了克服蜡芯尺寸大、浮力大的问题,蜡芯可以采用尼龙棒料或者其它型材等作为骨架,既增加了蜡芯强度,又能使蜡芯安装方便,保证尺寸要求。由于采用尼龙骨架的蜡芯,解决了环氧树脂固化时,因收缩变形产生内应力,造成模型开裂的技术难题。这是制造环氧树脂模型中的一个关键。另外应当注意到蜡和骨架材料的结合强度问题,我们采用的是增大结合面积,布置阻滞孔等多种技术措施,获得了良好的收效。

通常是用按一定比例配置好的蜡料经蜡枪压力注射到木模中的方法制得蜡芯。这种方法要求制作相当数量的木模,要很长的制作周期。而我们为了缩短制作周期,省去了繁杂的浇蜡模具的制造过程,采用常压敞开式浇铸。浇蜡模用白铁皮围出外形轮廓尺寸即成。如果采用严格控制浇蜡温度;在蜡芯上部放足够的加工余量;补加热料或者局部加热并渐冷等措施,就能有效地防止蜡芯产生缩孔,并将缩孔控制在上部的留量中产生。这种方法浇铸的蜡芯经检查组织均匀细密,符合要求。但是特别值得注意的是要严格防止产生遍布整个蜡芯基体的细微缩孔,否则经加工之后,蜡芯表面出现细微凹坑,影响环氧树脂模型内腔的表面质量。通常内腔不易加工,从而可能造成环氧树脂模型报废。

通常要求蜡料软化温度尽可能高(大于40~50℃),收缩率尽可能小,流动性好,有一定的强度和韧性差,机加工性能好。我们在石蜡中按一定的比例加入了硬脂酸、地蜡等。

蜡芯的毛坯采用机加工和钳工修整的方法来达到其尺寸精度和形状位置精度的要求。机械加工可以有车、铣、刨、钻、镗等。刀具要求锐利,切削用量适宜,粗、精加工分开。具体的刀具几何角度和切削用量见表一、表二。手工修整常常可以用电烙铁的成形烙头去熔化加工;用成形刀具手工推刮。刀具的前角与后角均以零度为宜。这样可以方便地控制切削深

度, 获得光洁平滑的加工表面。

车削加工的切削用量和刀具几何角度

表一

| 内 容 |     | 切削速度<br>(米/秒) | 切削深度<br>(毫米)  | 走刀量<br>(毫米/转) | 主前角<br>(度) | 主后角<br>(度) | 刀倾角<br>(度) | 主偏角<br>(度) | 副偏角<br>(度) | 副后角<br>(度) | 刀头圆弧<br>(毫米) |
|-----|-----|---------------|---------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 粗车  | 切蜡芯 | 0.3~1.5       | 0.5~1.0       | 0.08~<br>0.16 | 25         | 12~14      | 10         | 80         | 6          | 8~12       | 1            |
|     | 切光模 | 0.6~2.1       | 1~2           | 0.1~0.2       | 15         | 8~12       | 15         | 70         | 10         | 8~12       | 1            |
| 精车  | 切蜡芯 | 0.5~1.8       | 0.02~<br>0.05 | 0.02~<br>0.04 | >25        | 10~12      | 0          | 20         | 2~4        | 5~10       | 3~5          |
|     | 切光模 | 1.0~2.5       | 0.02~<br>0.05 | 0.02~<br>0.06 | >15        | 5~10       | 0          | 30         | 10         | 5~10       | 3~5          |

刨削加工的切削用量和刀具几何角度

表二

| 内 容 |     | 切削速度<br>(米/秒) | 切削深度<br>(毫米) | 走刀量<br>毫米/行程) | 主前角<br>(度) | 主后角<br>(度) | 刀倾角<br>(度) | 主偏角<br>(度) | 副偏角<br>(度) | 副后角<br>(度) | 刀头圆弧<br>(毫米) |
|-----|-----|---------------|--------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 粗刨  | 刨蜡芯 | 0.2~0.8       | 0.4~1.2      | 0.1~0.4       | 20         | 8~10       | 25         | 70         | 10         | 8~10       | 1            |
|     | 刨光模 | 0.3~0.1       | 0.8~1.5      | 0.1~0.5       | 15         | 8~10       | 20         | 70         | 10         | 8~10       | 1            |
| 精刨  | 刨蜡芯 | 0.25~<br>0.9  | 0.05~<br>0.3 | 0.08~0.1      | 20         | 8~10       | 0          | 30         | 10         | 8~10       | 8~10         |
|     | 刨光模 | 0.5~1.2       | 0.1~<br>0.15 | 0.08~0.1      | 15         | 8~10       | 0          | 30         | 10         | 8~10       | 8~10         |

蜡芯有尼龙骨架之后, 就可以用螺纹联结等一般的联结方法, 将蜡芯装配在底座上, 经过调整和修配能达到很高的装配精度, 由此而大大提高模型的质量。

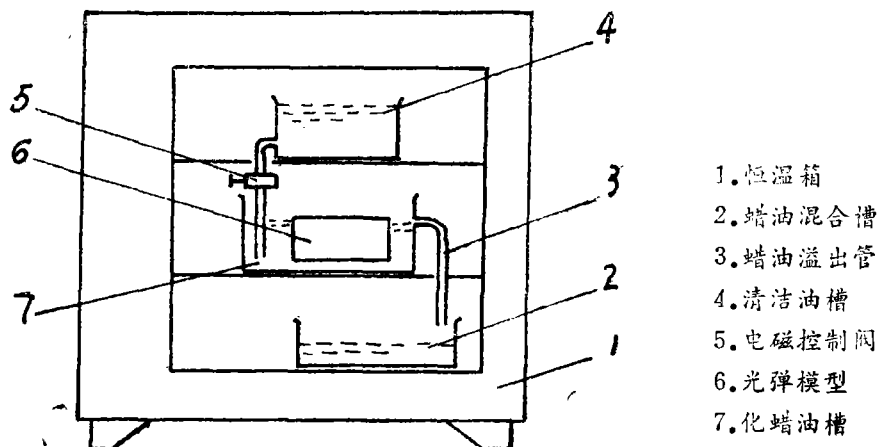
另外, 为了提高模型蜡芯的装配精度, 应尽可能采用蜡芯在加工前装配成整体, 而后进行加工, 并制作好与加工余量相同形状和尺寸的定位模板, 以便在单件蜡芯加工后, 依靠定位模板作为装配蜡芯的定位基准。

在装配好的模具的型腔内各表面根据模具材料涂上适当的脱模剂, 或者是各型芯在脱模剂中浸泡少许待干之后小心组装。这是极为重要的一环。其直接影响模型的整体质量和表面质量。

### 3 模型的浇铸与加工

按一定比例配置的环氧树脂热料经浇口浇入模具内, 一次固化之后, 脱去金属外模, 即可在以甘油为主的混合油中油溶化蜡。溶化的蜡料质轻, 浮在油上面。为了防止石蜡过热在模型内腔上侧面上形成块结物, 最好在油槽中补加清油的油料, 让蜡油混合物自动溢出。如图三。蜡芯化尽之后取出尼龙骨架让光弹模型在清洁的油料进行二次固化, 经退火就可以机

机械切削加工了。



图三 化蜡装置示意图

机械加工通常有车、铣、刨、镗、钻、磨和钳工锯、锉、抛光等。机械加工前要先进行找正和划线。切削刀具要求锋利。粗精加工分开，按先粗后精、先主后次、先基面后其它的原则合理安排加工顺序。在切削加工中为防止切削热灼伤光弹模的表面，要选择合理的切削用量，切削深度和进给量要尽量的小，精加工时切削速度可比粗加工稍大。具体的刀具几何角度和切削用量见表一、表二。工件毛坯的夹紧力一定要适中，严防光弹模变形。一般要求刀具具有足够的刚度，防止产生振动，影响加工质量。由于环氧树脂固化后，尽管为改善其切削加工性能在其成份中按一定比例加入了添加剂，但其脆性还是较大，刀具切入和切出工件时极易产生崩边、开裂的现象，要合理的安排吃刀和退刀方向。如铣平面，可先竖直方向进刀，切深后再横纵方向进刀。在切削加工时应注意采用切削油强制冷却，或者用压力为2—4 kg/cm<sup>2</sup> 的空气冷却，效果也很好。为了防止产生时间边缘效应，不宜用肥皂水冷却。

完成机加工之后，对于一些加工不到的型面可以由钳工手工修锉完成。最后进行抛光，提高模型表面的光洁度。

经检验合格之后的模型即可进行后续的光弹应力分析了。

### 参 考 文 献

- 〔1〕 赵清澄·光测力学·上海：上海科学技术出版社，1982
- 〔2〕 〔英〕A.柯斯克，G.罗伯逊著，王燮山等译·光弹性应力分析·上海：上海科学技术出版社，1979
- 〔3〕 天津大学材力教研室光弹组·光弹性原理及测试技术·北京：科学出版社，1980
- 〔4〕 张如一，陆耀楨·实验应力分析·北京：机械工业出版社，1981
- 〔5〕 M.M.Frocht·光测弹性力学（I、II中译本）·北京：科学出版社，1964、

1966

〔6〕大连工学院数理力学系光测组·光弹性实验·北京：国防工业出版社，1978

## Manufacturing Engineering of Large Complicated Model of Three—dimensional Photoelasticity

Wang Xiaoming

Zuo Meisen

Lu Xiaochun

### Abstract

From a practical example, the article describes the technical farrier and the technological method in the process of manufacture of large complicated model of three-dimensional photoelasticity.

**Key words:** the complicated model of photoelasticity, manufacturing engineering of wax model, model of the epoxy resin, the working parameter