

300 MN 模锻水压机侧推力研究^①

李范坤 钟 掘

(中南工业大学机械工程系, 长沙 410083)

摘 要 从运动变形干涉这一新的角度揭示了水压机侧推力的产生机理和变化规律, 分析了 300 MN 模锻水压机在各种典型载荷工况下侧推力的变化规律, 以系统的观点, 在完成大量现场测试和有限元分析计算的基础上, 运用动力学分解与合成, 确定了 300 MN 模锻水压机在各种典型载荷工况下侧推力的大小和方向。

关键词 水压机 侧推力 侧推力增量 运动变形干涉 分解与合成

水压机的侧推力直接影响水压机的强度、刚度和工作精度。到目前为止, 国内对于中小型水压机侧推力的研究进行了不少工作, 取得了较大进展^[1], 而对于大型水压机所做的工作未见任何公开报导。国外, 对于大型水压机的研究开发均作为技术秘密未予公开。因此, 对大型水压机侧推力的产生机理、变化规律及其计算方法进行研究, 无疑对于合理使用水压机, 充分挖掘设备潜力以及研制大型水压机设备具有重要意义。

目前, 国内解决大型水压机侧推力分析计算问题, 大多采用两种方法, 一种是套用中小型水压机侧推力的计算公式^[1]作粗略计算; 另一种是通过测试立柱上某些特征点的应力、应变, 然后对立柱进行力学计算, 以测试结果为基础, 推算出侧推力。由于大型水压机结构形式的复杂和特殊性, 这两种方法都往往无法得出正确的结果。

本文作者把水压机当作一个整体来看待, 综合考虑了水压机各部份、各结构特点对侧推力的影响, 在建立水压机整体结构模型的基础上, 通过测试某些特征点的应力、应变和位移, 经过不同力学模型下的多次有限元试算分析, 准确确定水压机的力学模型, 从而确定其侧推力。

1 侧推力的产生机理

侧推力是由于水压机机架受载后, 立柱发生弯曲变形与动梁干涉产生的。工作过程中机架、立柱运动变形干涉是导致侧推力的唯一原因。导致机架与立柱变形干涉及影响干涉程度的因素很多, 如锻压力的大小和作用点位置, 锻压力通过下垫块传递至固定横梁上后的分布, 上、下横梁的结构, 立柱与上、下横梁的联接, 立柱与活动横梁的配合情况以及立柱的结构, 活动横梁的工作引程等。无论是中心加载还是偏心加载, 只要机架与立柱运动变形发生干涉就会导致侧推力, 侧推力的大小和方向将随其干涉状态的改变而改变。

2 300 MN 模锻水压机结构特点

300 MN 模锻水压机本体是八柱立式上横梁设置工作缸的结构, 每两个立柱分别通过上联接段的上下螺母和下联接段的上下螺母, 与上横梁和固定横梁、下横梁实现热装联结, 构成水压机横向的刚性框架。四个框架的上横梁分成两组, 成对地以热装螺钉和键连成整体。框架的上、下部分别通过活动横梁和固定横梁

① 国家“871”工程资助课题 收稿日期: 1994-12-08; 修回日期: 1995-02-21

将四个横向框架在纵向联系起来,使水压机整体由具有一共同的活动横梁和固定横梁的两台四柱立式水压机构成。

作为立柱安装基准的导套孔先装配一弹性导套,再装金属导套(也是由两半组成)与立柱配合。目的在于,当产生偏心载荷时,弹性套即可缓冲活动横梁倾斜时对立柱受力的影响。孔与立柱间的间隙在任何方向不得大于 0.5 mm。在水压机固定横梁上设置了多层垫板,垫板上为下模座,这样使得锻压力通过垫块传至固定横梁的力的分布尽可能趋向均匀,从而减小锻压力对侧推力的影响。

300 MN 模锻水压机本体结构上述复杂和特殊性,使其侧推力呈现出与中小型水压机截然不同的特点。

3 典型载荷工况下的侧推力分析

对于 300 MN 模锻水压机,假定各立柱导套与立柱间隙均匀(实测和有限元计算表明这种假定不影响结果的工程实用性^[2]),下面分中载、横偏载、纵偏载、斜偏载四种情况分别讨论。根据结构对称和反对称性原理,各种工况下均可取结构的四分之一进行分析计算。

3.1 中载

中载情况下作用于动梁的侧推力情况如图 1、2 所示 并且根据对称性原理有:

横向 $T_{1sh} = T_{2sh} = \dots = T_{8sh}$

$$T_{1xh} = T_{2xh} = \dots = T_{8xh}$$

纵向 $T_{1sz} = T_{7sz} = T_{8sz} = T_{2sz}$

$$T_{1xz} = T_{7xz} = T_{8xz} = T_{2xz}$$

$$T_{3sz} = T_{4sz} = T_{5sz} = T_{6sz}$$

$$T_{3xz} = T_{4xz} = T_{5xz} = T_{6xz}$$

$$T_h = 0, \quad T_z = 0$$

3.2 横偏载

如果同步补偿系统能够完全同步补偿,那么侧推力只是作用在下模座上的锻压力偏心导致立柱变形与动梁干涉相对中载改变所致,此时侧推力值相对中载时有所变化。实际上经常

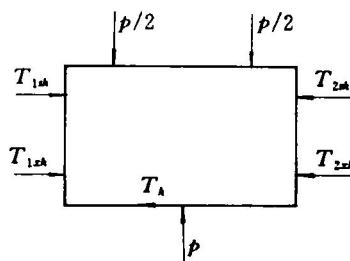


图1 中载时动梁横向侧推力作用示意图

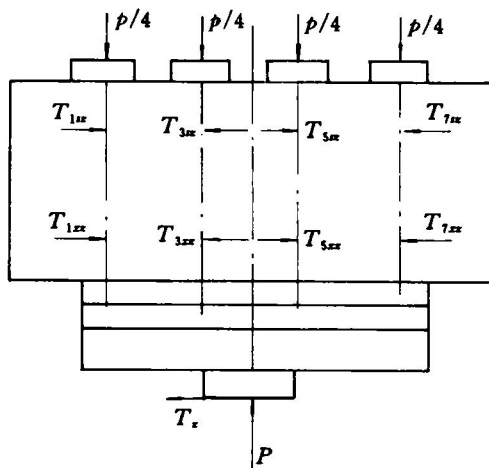


图2 中载时动梁纵向侧推力作用示意图

出现同步补偿系统不可能实现完全补偿,这样动梁将产生偏转,两部分综合作用将使:

$$T_{1sh} \uparrow, T_{2sh} \downarrow, T_{1xh} \downarrow, T_{2xh} \uparrow$$

T_{1sh} 、 T_{2xh} 分别由它们的中载值增至各自的最大值, T_{2sh} 、 T_{1xh} 分别由它们的中载值减至零后改变方向。横偏时动梁横向侧推力增量作用如图 3 所示。

3.3 纵偏载

分析同上,同步补偿系统不仅不可能完全同步补偿,而且事实上存在同步控制的死区。载荷偏心和动梁偏转的综合作用 将使:

$$T_{1sz} \uparrow, T_{3sz} \downarrow, T_{1xz} \downarrow, T_{3xz} \uparrow$$

$$T_{5sz} \uparrow, T_{7sz} \downarrow, T_{5xz} \downarrow, T_{7xz} \uparrow$$

T_{1sz} 、 T_{3xz} 、 T_{5sz} 、 T_{7xz} 分别由它们的中载值增至各自的最大值。

T_{1xz} 、 T_{3sz} 、 T_{5xz} 、 T_{7sz} 分别由它们的中载值

减至零后改变方向。

此时横向侧推力将与中心载荷时相同。纵偏时动梁纵向侧推力增量作用如图4所示。

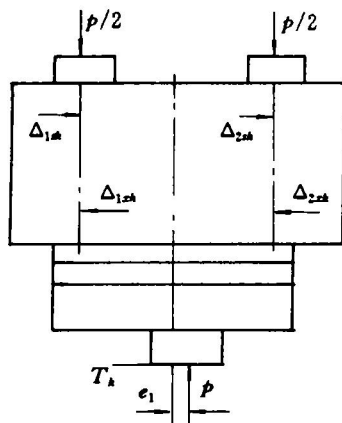


图3 横偏载时动梁横向侧推力增量作用示意图

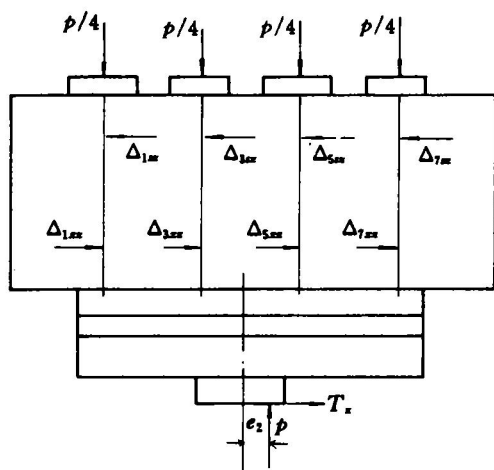


图4 纵偏载时动梁纵向侧推力增量作用示意图

3.4 斜偏载

斜偏时, 横向、纵向侧推力相对中载都将发生变化, 其变化量是横偏载和纵偏载时侧推力增量的叠加。

4 侧推力大小和方向的确定

4.1 确定中载时的侧推力

4.1.1 实测

直接测定中载时侧推力的大小是极其困难的, 为此, 通过对主体框架(上横梁—立柱—固定横梁—下横梁)进行有限元分析、软件试验确定其大小^[1], 而实测可以为有限元计算提供边界条件、载荷条件和软件试验判据^[2]。实测主要是测量立柱、上横梁、下横梁、工作缸、摇杆、垫板上某些特征点的应力、应变和位移。

为了探求同一组中两个上横梁的相关关系, 在水压机Ⅱ、Ⅲ级压力中载、偏载(横偏200 mm、纵偏400 mm)情况下, 对联接螺栓的拉压应力进行了现场测试。结果表明, 所测工况下, 上部螺栓受拉, 往下逐渐过渡到受压(与预紧状况相比), 但其拉压应力很小。因此, 计算时可以设定两个上横梁相互独立, 但连接边界应没有螺栓连接方向的相对位移。

4.1.2 软件试验

在对300 MN水压机进行综合测试的基础上, 经过多项多次试算分析准确建立主体框架的力学模型^[2], 得出300 MN中载情况下的侧推力大小为:

$$T_{ish} = 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 8)$$

$$T_{ixh} = 0$$

$$T_{1sz} = T_{7sz} = 47.9 \times 10^4 \text{ N}$$

$$T_{1xz} = T_{7xz} = 25.3 \times 10^4 \text{ N}$$

$$T_{3sz} = T_{5sz} = 18.7 \times 10^4 \text{ N}$$

$$T_{3xz} = T_{5xz} = 9.2 \times 10^4 \text{ N}$$

其方向如图1、2所示。

通过计算可知, 横向框架刚度较大, 侧推力的影响较小。

4.2 确定偏载时的侧推力增量

偏载时的侧推力增量, 根据动梁平衡方程和位移协调方程即可求得。

偏心加载情况下, 一方面, 动梁受力仍应平衡; 另一方面, 动梁在偏心力矩的作用下, 将以锻件中心作为支点旋转, 上、下有效导向点的水平位移应协调^[2]。又立柱安装基准孔先装配有弹性导套, 可以认为: 上、下有效导向点的水平位移与上、下有效导向点的侧推力大

小成正比。

由此求得偏载时的侧推力增量为:

(1) 横偏(300 MN、 $e_1=200$ mm)

$$\Delta_{ish} = 36.656 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\Delta_{ixh} = 17.323 \times 10^4 \text{ N}$$

(2) 纵偏(300 MN、 $e_2=400$ mm)

$$\Delta_{1xz} = \Delta_{7xz} = 17.358 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\Delta_{1zz} = \Delta_{7zz} = 37.017 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\Delta_{3zz} = \Delta_{5zz} = 36.255 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\Delta_{3xz} = \Delta_{5xz} = 17.232 \times 10^4 \text{ N}$$

(3) 斜偏(300 MN、 $e_1=200$ mm、 $e_2=400$ mm)

斜偏时的侧推力增量等于相应的横偏和纵偏情况下侧推力增量之和。

确定了上述三类偏载时侧推力增量后, 各类偏载情况下的侧推力即可求得。

5 结论

通过上述分析计算, 可得出如下结论:

(1) 侧推力是由于水压机机架受载后, 立柱与动梁之间运动变形干涉产生的。立柱的弯曲, 动梁的偏转等都会导致立柱与动梁干涉。即使在中载情况下。由于有效导向间隙大小不适应, 也将导致侧推力。因此, 并非所有水压机在中载情况下都不存在侧推力。而偏心加载工况下水压机框架必定承受侧推力作用, 对于有两个以上立柱的水压机, 不同位置的立柱上的侧推力大小和方向不同。

(2) 300 MN 模锻水压机在 300 MN 锻压力中心加载情况下, 横向侧推力可忽略, 纵向侧推力较大, 并且两端立柱侧推力比中间立柱的侧推力大得多, 上有效导向点的侧推力近似为下有效导向点侧推力的两倍, 其最大值比极限纵偏载情况下的纵向侧推力增量还要大。

(3) 300 MN 模锻水压机原设计各立柱与动梁的配合方式相同, 事实上, 机架横向刚度

比纵向刚度大得多, 沿纵向中间立柱与两端位置之立柱变形不一致。这样设计, 不可避免导致中载时产生侧推力, 不利水压机整体能力的充分发挥和水压机可靠工作。

(4) 相同工况下, 侧推力与工作负荷成线性变化, 最大侧推力虽与偏心距不成线性变化, 但随偏心距的增大而增大。因此, III 级压力下应尽量减少偏心距, 无法减小偏心距的情况下, 应尽量减少锻压力。

文中各符号意义如下:

P — 锻压力

$T_{1sh}, T_{2sh} \cdots T_{8sh}$ — 中载时立柱对活动横梁在上接触点的横向侧推力

$T_{1xh}, T_{2xh} \cdots T_{8xh}$ — 中载时立柱对活动横梁在下接触点的横向侧推力

$T_{1sz}, T_{2sz} \cdots T_{8sz}$ — 中载时立柱对活动横梁在上接触点的纵向侧推力

$T_{1xz}, T_{2xz} \cdots T_{8xz}$ — 中载时立柱对活动横梁在下接触点的纵向侧推力

T_h — 锻件给上模座的横向水平力

T_z — 锻件给上模座的纵向水平力

e_1 — 横向偏心距

e_2 — 纵向偏心距

$\Delta_{1sh}, \Delta_{2sh}$ — 横偏载时立柱对活动横梁在上接触点的横向侧推力增量

$\Delta_{1xh}, \Delta_{2xh}$ — 横偏载时立柱对活动横梁在下接触点的横向侧推力增量

$\Delta_{1sz}, \Delta_{3sz}, \Delta_{5sz}, \Delta_{7sz}$ — 纵偏载时立柱对活动横梁在上接触点的纵向侧推力增量

$\Delta_{1xz}, \Delta_{3xz}, \Delta_{5xz}, \Delta_{7xz}$ — 纵偏载时立柱对活动横梁在下接触点的纵向侧推力增量

↑— 增大, ↓— 减小

参考文献

- 1 俞新陆(主编). 液压机现代设计理论. 北京: 机械工业出版社, 1987, 10: 4—5.
- 2 李范坤, 钟 掘. 中南矿冶学院学报, 1993, 24(3): 384.