

# 使用液压拉伸器时螺柱预紧力回弹分析

杨 涛,张延亭,陈志忠,张伟,李新才,陶文辉

(七一一研究所, 上海 201108)

**摘 要:** 大缸径柴油机通过液压拉伸器拧紧螺母时, 施加到螺柱上的预紧力有一定量的回弹量, 最终预紧力小于设计值, 其差值是设计过程中确定液压拉伸器施加油压大小的重要参考因素。分别采用有限元分析和试验测试的方法对该差值作了对比分析。分析表明: 回弹量均为设计值的 10%, 设计时应予以充分重视。

**关键词:** 液压拉伸器; 预紧力; 回弹量

**中图分类号:** TH131.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)01-0035-02

## Analysis of the Reduction of Bolt Pre-tightening Force When Using the Hydraulic Stretcher

Yang Tao, Zhang Yanting, Chen Zhizhong, Zhang Wei, Li Xincan, Tao Wenhui

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

**Abstract:** The final pre-tightening force on the bolt is smaller than the design value, as when the nut is tightened using the Hydraulic Stretcher, there is reduction of bolt pre-tightening force. In the design procedure, the value difference is an important reference in determining the oil pressure applied by the hydraulic stretcher. The methods of the finite element analysis and testing were adopted to study the value difference. The results show that the reduction reaches 10% of the designed value, and should be paid attention to.

**Keywords:** hydraulic stretcher; pre-tightening force; reduction

## 0 引 言

船用大缸径柴油机一般通过液压拉伸器旋紧重要连接件的螺母, 具体过程是: 首先将螺柱的一端旋入机体, 然后将螺柱另外一端装上螺母, 通过液压拉伸器将螺柱拉长, 在螺柱拉伸力达到设计值后, 旋紧螺母; 然后, 卸掉液压拉伸器油压, 在螺柱内部拉伸力的作用下, 螺柱拉紧螺母, 压紧被连接零件。由于螺母及被连接零件在液压拉伸器卸掉油压的过程中会产生一定的回弹变形, 将释放螺柱的部分拉力, 使螺柱最终的预紧力小于设计值。如果将螺柱预紧力设计值与最终值的差值定义为预紧力的回弹量, 为了使螺柱预紧力达到设计值, 有必要对螺柱预紧力的回弹量进行研究。本文通过有限

元分析及试验测试相结合研究预紧力回弹量的大小。

## 1 预紧力回弹分析方法

为了研究螺柱预紧力回弹量的大小, 以某柴油机现有的主轴承螺柱为研究对象, 考虑到试验测试的方便, 采用现有的主轴承盖, 并增加一段垫板, 使其高度与机体主轴承螺孔高度一致, 螺柱两端与螺母相连, 下端的螺柱通过液压拉伸器施加拉力, 如图 1 所示。

首先通过有限元分析模拟液压拉伸器拧紧螺母的过程。将分析过程分为两步, 第一步模拟液压拉伸器拉长螺柱的过程, 第二步模拟卸掉液压拉伸器油压的过程, 通过两个载荷状态螺柱应变差计算得

到螺柱预紧力的回弹量。在有限元分析之后，通过液压拉伸器拧紧螺母试验测量螺柱杆身应变变化<sup>[1]</sup>，计算得到实测回弹量。

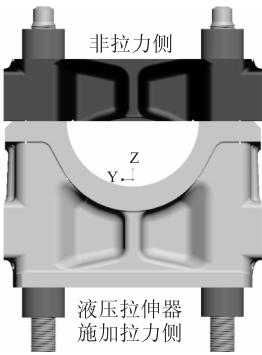


图 1 螺柱连接模型

2 预紧力回弹有限元分析

由于分析对象具有对称性，采用一半模型进行有限元分析，螺纹采用了精确的螺牙模型，在螺柱及螺母的接触面上划分较细的网格，以保证良好的接触关系，其他接触面也划分相对较细的网格，对轴承盖非接触面部位划分较粗的网格，如图 2 所示。采用 ABAQUS 软件进行计算<sup>[2]</sup>。

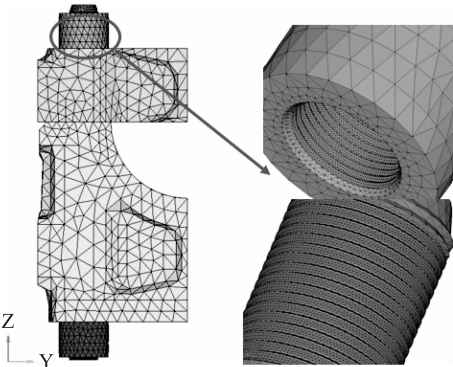


图 2 有限元模型

为了模拟液压拉伸器拧紧螺母的过程，将计算分为两步进行。第一步模拟液压拉伸器施加载荷的过程，在轴承盖及螺柱头部施加设计预紧力，此时螺柱被拉长，轴承盖被压缩，调整下端螺母的位置，使之与轴承盖底面及螺母最上部螺纹接触面重合，以此位置作为第二步中下端螺母的初始位置；第二步模拟卸掉液压拉伸器拉力过程，计算中加入下端轴承盖与螺母及螺柱与螺母的接触关系，释放作用在螺柱及轴承盖上的载荷。计算中考虑了螺牙的塑性变形。

通过计算可以发现，第二步螺柱杆身的应力较第一步变小(如图 3 所示)，说明存在一定的回弹

量；同时在螺柱及螺母上距离轴承盖最近的几个牙上出现了不同程度的塑性变形。

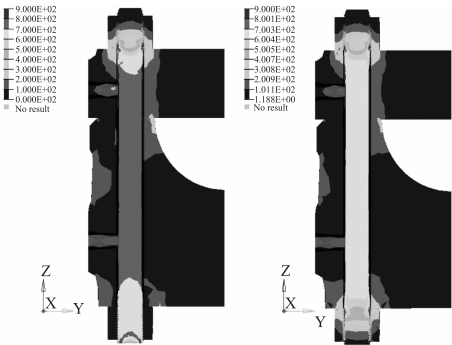


图 3 MISES 应力

将螺柱杆身表面节点沿轴向的应变取出列入表 1，公式(1)表明应变与应力成正比，在单向受力时预紧力与应力成正比，所以螺柱上最终的预紧力比设计值小 7.5%，即回弹量为设计值的 7.5%。

$$\alpha = E\varepsilon \quad F = \sigma S^{[3]} \tag{1}$$

式中： $\sigma$  为应力， $\varepsilon$  为应变， $E$  为弹性模量， $F$  为力， $S$  为横截面积。

表 1 计算结果

| 第一步应变     | 第二步应变     | 回弹应变      | 回弹百分比 |
|-----------|-----------|-----------|-------|
| 0.003 454 | 0.003 196 | 0.000 258 | 7.5%  |

注：回弹应变 = 第一步应变 - 第二步应变，回弹百分比 = 回弹应变 / 第一步应变

3 预紧力回弹试验

在螺柱杆身中部布置测点，粘贴应变片，应变片位置如图 4 所示。应变片的导线通过主轴承盖的横向螺孔引出，连接到应变仪，测量实时应变，图 5 为试验现场照片。试验时液压拉伸器先施加 120 MPa 油压（预紧力设计值对应的油压），然后旋紧螺母卸掉油压，记录整个过程的应变数据。结果见表 2。



图 4 贴片位置

表 1 MTU 2000M92 发动机的维修计划

| 项目        | 使用<br>年限 | 工作小时 (h) |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|----------|----------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |          | 每天       | 250 | 500 | 750 | 1 000 | 1 250 | 1 500 | 1 750 | 2 000 | 2 250 | 2 500 | 2 750 | 3 000 | 3 250 | 3 500 | 3 750 | 4 000 | 4 250 | 4 500 | 4 750 |
| 燃油处理系统    | 1        |          |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 燃油处理系统    | 2        |          |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 发动机机油滤清器  | 2        |          |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 发动机运行     | —        | ×        |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 曲轴箱呼吸器    | —        |          | ×   | ×   | ×   | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     | ×     |
| 曲轴箱呼吸器    | —        |          |     | ×   |     | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     | ×     |
| 离心式机油滤清器  | —        |          |     | ×   |     | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     | ×     |
| 燃油滤清器     | —        |          |     | ×   |     | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     |       | ×     | ×     |
| 气阀传动装置    | —        |          |     |     |     | ×     |       |       |       | ×     |       |       |       | ×     |       |       |       | ×     |       |       | ×     |
| 传动皮带      | 2        |          |     |     |     |       |       |       |       | ×     |       |       |       |       |       |       |       | ×     |       |       | ×     |
| 空滤器       | 3        |          |     |     |     |       |       |       |       | ×     |       |       |       |       |       |       |       | ×     |       |       | ×     |
| 喷油嘴       | —        |          |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | ×     |
| 燃烧室       | —        |          |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | ×     |
| 零件维护      | —        |          |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | ×     |
| 气缸盖       | —        |          |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | ×     |
| 扩大范围的零件维护 | 18       |          |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | ×     |

大修期不过长就使得柴油机始终保持一种“年轻状态”，而在大修以后柴油机的性能也可以完全得到恢复。有些柴油机在大修期内故障频发，零件经常需要维修、更换，而在大修后柴油机性能又会有所下降，过长的大修期或许就是其原因之所在。

3 结束语

柴油机大修期的确定是一个很复杂的问题，它牵涉到许多因素。用什么标准作为大修的准绳在当前还没有一致的做法。目前，不同的制造商基于不同的考虑，对各自的产品规定了大修期，因此在许多情况下这些大修期数值不具有可比性。大修期不

是一个孤立的数值，不能简单地据此确定性能的优劣，在许多情况下，大修期定得过短或过长都是不妥当的。进一步对各种影响因素进行探讨，确定出一种相对合理的确定大修期的做法是一项有意义的工作。

参考文献

[1] Marine Engine Selection Guide [R]. Caterpillar Marine Power System, October, 2007.

[2] 康明斯. 船用产品指南, C07R01 [R].

[3] Carsten Kuhn. Maintenance concepts for rail application [R]. MTU Report No. 1. 1996.

(上接第 36 页)

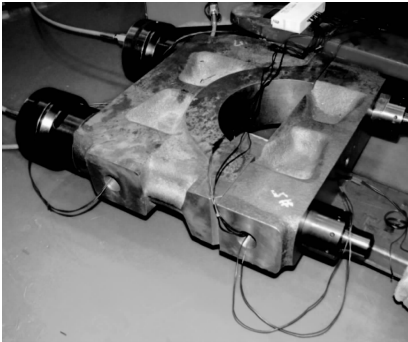


图 5 测试现场

表 2 试验结果

| 编号 | 初始值 | 120 MPa<br>应变 | 最终应变     | 回弹应变     | 回弹<br>百分比 |
|----|-----|---------------|----------|----------|-----------|
| 1  | 0   | 0.003 82      | 0.003 48 | 0.000 34 | 8.9%      |
| 2  | 0   | 0.003 37      | 0.003 01 | 0.000 36 | 10.7%     |
| 3  | 0   | 0.003 45      | 0.003 11 | 0.000 34 | 9.8%      |
| 4  | 0   | 0.003 39      | 0.003 07 | 0.000 32 | 9.4%      |
| 11 | 0   | 0.003 35      | 0.002 97 | 0.000 38 | 11.3%     |
| 12 | 0   | 0.003 3       | 0.002 93 | 0.000 37 | 11.2%     |
| 13 | 0   | 0.003 31      | 0.002 97 | 0.000 34 | 10.3%     |

分比 = 回弹应变 / 120 MPa 应变

从表 2 中可以看出,卸掉液压拉伸器载荷后应变值有一定程度的下降,所有测点的回弹百分比均在 10% 左右,表明本次试验螺柱的预紧力回弹量约为预紧力设计值的 10% 左右,即实际的预紧力只有设计值的 90% 左右。

4 结 论

通过有限元分析模拟液压拉伸器拧紧螺母过程得到的螺柱预紧力回弹量为预紧力设计值的 7.5%;通过试验测量螺柱杆身应变的变化,得到螺柱预紧力回弹量约为预紧力设计值的 10% 左右。计算和实测都证明了采用液压拉伸器拧紧螺母的方法存在不可忽视的回弹现象。由于回弹量比较大,在确定预紧油压时,应考虑螺柱回弹的因素,使螺柱预紧力更准确。

参考文献

[1] 芦晶. 应用全桥法测量 O 型密封环的螺栓预紧力 [J]. 一重技术, 2008.

[2] 蔺海荣. 材料力学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.

注: 最终应变为卸掉液压拉伸器拉力后的应变, 回弹百