

# 船舶气囊下水过程结构应力变化的测试与分析

马 剑, 钱少明, 胡夏夏

(浙江工业大学 之江学院, 杭州 310024)

**摘 要:** 为研究船舶重力式气囊下水过程对船体结构应力的影响, 采用动态应变仪对某 21,500t 散货船在下水过程中的船底及上甲板应力变化分别进行了测试, 测试点布置在船中附近, 设置同步信号进行采集; 同时, 用倾角仪对下水过程中船体纵向角度的变化进行了记录; 测试结果表明: 该船舶在气囊下水过程中, 发生了艉落现象, 船体局部出现应力较大区域. 采取局部结构加强、延伸船台长度、改变船台坡度及船台改造成半潜等措施可以提高大吨位船舶气囊下水的安全性.

**关键词:** 船舶; 气囊; 船舶下水; 应力测试; 应力分析

**中图分类号:** U671.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982 (2008) 03-0016-03

## Measurement and analysis of the stress change of the structure during the ship launching by using gasbag

MA Jian, QIAN Shao-min, HU Xia-xia

(Zhijiang College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310024, China.)

**Abstract:** In order to study the effect on the ship structure during the ship launching by using gasbag, the test has been carried out to investigate the stress change of upper deck and bilge near the midship of 21500 t bulk cargo ship using dynamic strain gauge. The test results were collected by setting in-phase signal and the change of longitudinal obliquity was memorized by goniometer at the same time. The test results indicate that stern's decline accident happened during the launching by using gasbag, the higher stresses were occurred in the part area of the ship. Measurements such as strengthening the part structures, extending the length of slipway under water, changing the grade of slipway, altering the slipway into the semi-submerged slipway should be taken to enhance the security during the high tonnage ship launching by using gasbag.

**Key words:** ship; gasbag; ship launching; stress test; stress analysis

### 0 引言

近年来, 船舶气囊下水工艺技术凭借其投资少、见效快等优点在民营造船企业被迅速推广, 目前它主要是依靠实践经验的积累, 随着下水船舶吨位的增加, 发生结构受损的几率也在增大; 尽管 2 万吨左右的船舶多次成功地利用气囊下水, 但缺乏理论的依据和试验的数据证明其安全性; 为了减少风险, 优化气囊下水工艺, 改善船舶结构性能, 探讨船舶气囊下水过程中船体结构不利应力的形成机理及演化规律, 从而提出有效的预防措施十分必要.

船舶气囊下水工艺技术是 20 世纪八十年代开始

应用并逐渐推广的<sup>[1-3]</sup>, 目前大多船厂对气囊下水的计算仍沿用常规静水计算的方法, 将船体处理为刚性体, 以重力与浮力对首支点的力矩作为判断船体起浮的依据. 随着船舶吨位和长度的增加, 艉机型船在艉浮前易产生“艉下垂”现象, 造成船底结构由于少数气囊支撑而局部受损<sup>[4]</sup>. 由于静水计算方法引入过多的简化, 加上气囊的变形等因素, 使得实际下水时船舶的运动状态与计算值之间存在较大误差, 不能较准确地预测上述现象, 因此需要通过测试手段修正理论计算, 从而提出更科学的计算方法, 以适应现代船舶建造质量和对安全控制高标准的要求<sup>[5,6]</sup>.

收稿日期: 2007-07-23; 修回日期: 2007-08-24

基金项目: 浙江省科技厅社会发展重大科技项目 (2006C13094)

作者简介: 马剑 (1972-), 男, 硕士, 讲师. 研究方向: 船舶 CAD 及计算流体力学的数值模拟.

本文利用测试手段对某 21,500t 散货船在利用气囊下水过程中的船底结构应力及其产生的原因进行了分析,并提出了有利于改善结构性能的工艺措施。

## 1 船台参数

船厂靠河,下水船舶总长 167.5m,水线长 161.2m,垂线间长 158.0m,型宽 23.0m,型深 12.8m,自重约 610t。其船台主要参数及下水潮位如图 1 所示。

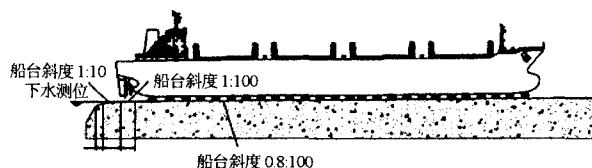


图 1 船台参数

## 2 测试部分

### 2.1 测试系统组成

整个测试系统具体组成如图 2 所示。

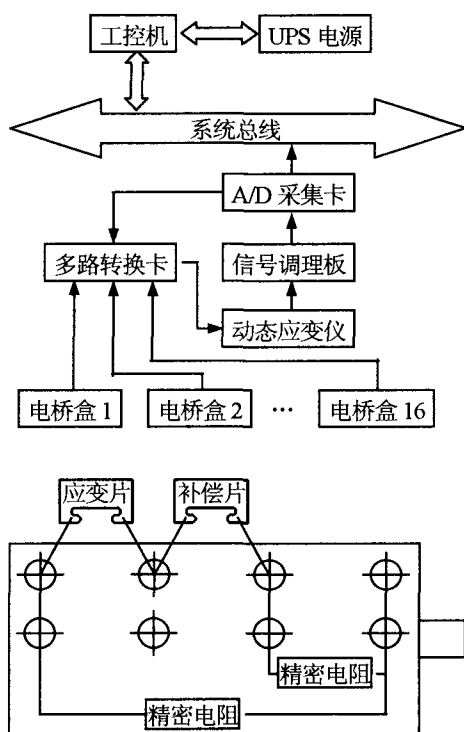


图 2 测试系统组成

1) 桥盒 YE29003。由于传输线路较长,在 10m~30m 之间,配接专用电桥盒 YE29003 以提高测量精度。采用 1/4 桥测量,配置补偿片,桥盒内电阻为 120Ω精密电阻。

2) 多路模拟量转换卡 PCLD788。由 16 路输入和 1 路输出构成,最大切换时间 6μs。通道的切换由多数字

量输出 PCLD734 控制。

3) 动态应变仪 YE3817。它是一种数显式直流拱桥高性能多通道信号放大器,可测量毫伏级交、直流电压。测量时,拱桥电压 DC6V,放大倍数 2K,衰减频率 1kHz,标定 1000μs 时显示电压 6V。正式开始之前按平衡按钮,让所有通道平衡,观察各通道显示值,如果显示值偏大,检查线路连接及应变片粘贴是否牢固。当船舶下水时,切断该船舶与外部的电源连接,此时采用 UPS 供电,须再做一次平衡。

4) 模拟信号调理板 PCLD8115。在该板上直接制作低通滤波器或分压电路。

5) 高精度模/数采集卡 PCL816。该卡具有 16 路分辨率,采样速率可达 100K/S。同时该板卡也具备 16 路数字量输入/输出。

### 2.2 测点布置

船底应力的测试点位于 105#肋位外底板内侧,甲板处应力的测试点位于 105#肋位上甲板处,应变片顺船长方向布置。具体布置如图 3 所示。

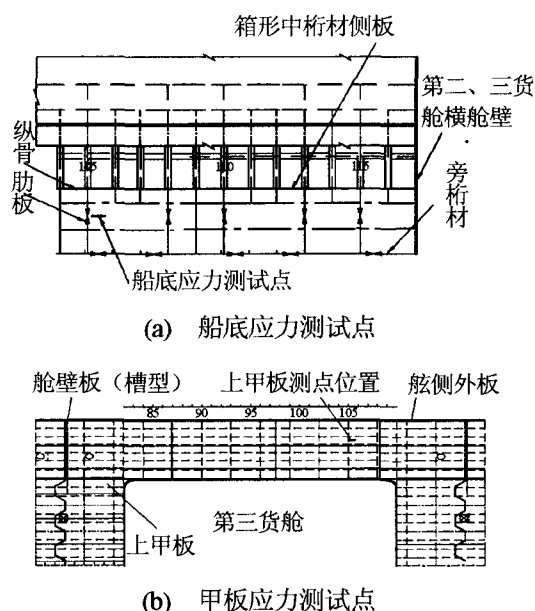


图 3 船底及甲板应力测试点

## 3 结果与讨论

设置同步信号,以船舶下水的实际时间统一所有测试的结果。

### 3.1 甲板应力测试结果

由图 4 可以看出,在下水时刻 11:26:07 以前,上甲板测点应力值恒定为约 5MPa,船舶置于气囊上呈微中垂状态;在下水时刻为 11:26:08~11:26:33 阶段,测点处应力由压缩转变为拉伸并迅速增大到约 53MPa,此时船舶处于中拱状态,且向水域移动了约 72m;在

下水时刻 11:26:33~11:26:47 阶段, 船舶由中拱迅速转化为中垂状态, 此时, 由于浮力大多集中在船艏, 浮力矩较大, 使测点处的最大压缩应力达到约 40MPa; 下水 11:26:47~11:27:00 阶段, 船舶逐渐起浮, 由于船艏浮力向船艏分散使船舶中垂状态减弱; 至 11:27:00 后船舶全浮, 船舶在自重和浮力的作用下处于中垂状态, 测点应力值约为 15MPa。

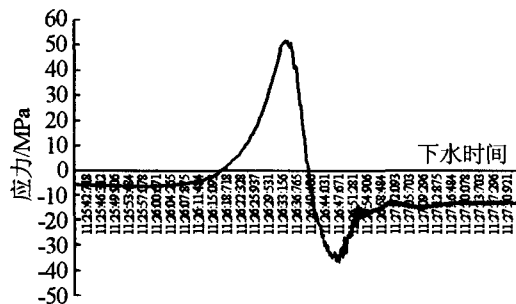


图4 105#肋位上甲板应力随下水时间的变化

### 3.2 船底应力测试结果

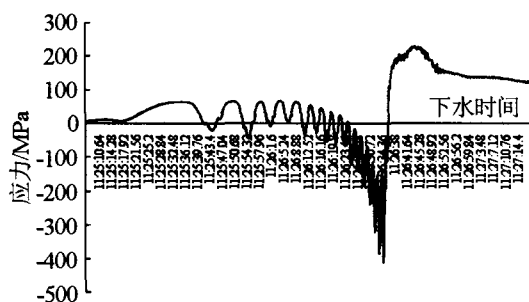


图5 105#肋位上船底应力随下水时间的变化

由图5 船底应力测试结果可以看出:

1) 在 11:26:08 以前, 船体搁置在上加速向水域移动, 在重力的作用下自由变形, 测点处以拉伸应力为主, 应力的随气囊滚过该测点的位置有规律地增大, 船底支撑气囊数目未变, 气囊尚未入水; 在船舶下水时间 11:26:08~11:26:33, 部分气囊滚入水中, 船底支撑气囊数量的随船体的下滑而减少, 105#肋位的船底应力由拉伸应力转变为压缩应力并呈现出有规律地增大, 到 11:26:33 时仅有少数气囊支撑, 此时应力达到最大值约为 400MPa; 在下水时间 11:26:35 左右, 测点处附近在较短的时间内由压缩应力转变为拉伸应力, 表明测点处已无气囊支撑, 105#肋位横截面已移出船台, 船体仅受自身重量, 浮力及首部少数气囊支撑而平衡; 在下水时间为 11:26:35~11:27:00 阶段, 起初由于船艏入水后浮力较为集中, 船体梁在艏部集中的浮力、自重及艏部气囊反力的作用下平衡, 测点处拉伸应力较大约为 250MPa, 随后, 约在下水时

刻为 11:26:35 时, 船体起浮, 船底艏部集中的浮力逐渐沿船长方向分散, 测点处拉伸应力也减少; 在 11:27:00 后船舶完全入水, 船体处于自由中垂状态; 船底总纵弯曲应力约为 100MPa。

2) 从船底测点处应力变化可知, 其最大值已超过许用应力, 必须采取加强措施, 或对下水方案进行进一步改进。

### 3.3 纵向倾角测试

为了进一步研究船舶在下水过程中的纵向角度变化, 以便对船舶是否发生艏落作出判断, 采用倾角仪对纵向角度进行测量, 倾角仪安装于第三货舱约 80#肋位内底板纵中剖面处, 从图6 可以看出: 滑行开始阶段, 下水船舶纵向角度变化不大, 约为 0.3°, 约为气囊初始高度及船台倾角; 当下水时间约为 11:26:33 时 (船舶已滑行约 72m), 船舶纵向角度由 0.3°突然增加到 2.8°; 在 11:26:47~11:27:00 阶段, 浮力矩的增加使船舶纵向倾角变回到 1.2°, 随后在 11:27:00 时刻后, 在船长方向上船体自身重量、浮力及波浪等因素的作用下纵摇并自由平衡, 纵倾角约为 1°。

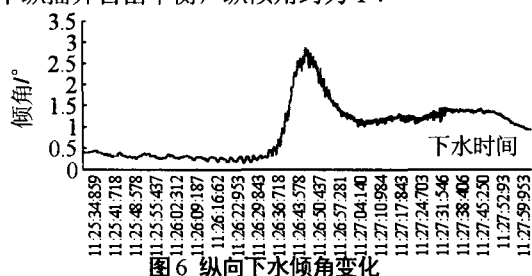


图6 纵向下水倾角变化

## 4 结论

通过对该船 105#肋位上甲板和船底应力的测试分析及下水船舶纵向角度的测量, 可以得到如下结论:

1) 该船在下水过程中发生艏落现象, 而之前预测的“艏下垂”现象并不明显; 发生艏落时, 局部结构可能因船台末端少数气囊的支撑发生了永久性变形;

2) 在船舶气囊下水过程中, 船舶结构应力的变化主要取决于船舶下水重量、重心的纵向位置、潮位的高低、船台及气囊下水的工艺等因素。当下水潮位一定时, 下水船舶的重心纵向位置过前会造成艏浮时艏部气囊反力值过大, 而纵向位置过后又会造成滑行过程中船台末端反力值过大, 甚至出现弯折。另一方面, 当其他因素一定时, 船台的坡度和水下延伸长度也会影响气囊下水过程中船体的应力变化, 延长船台在水中的长度, 增加艏浮前支撑船体的气囊总数, 使船底集中应力分散, 有利于改善船体结构性能; 至于这些因数的改变对船体结构性能的改善程度有待进一步计算论证;

(下转第 12 页)

B&W 公司的船舶中速机产品最具有代表性, 其产品分为 L16/24、L21/31、L27/38 三大系列, 总的功率覆盖范围为 450kW~2,970kW, 主要用于三大主力船型—油轮、集装箱船以及散货船的电站辅机, 基本满足了三大主力船型的市场需求, 市场销售情况良好。

#### 5) 转让及扩散生产

国外, 许多大企业柴油机以许可证贸易方式转让生产, 世界三大柴油机企业产量近 80% 是由许可证买方生产。近年来, MAN B&W 公司通过向日本、韩国、

中国的柴油机生产厂转让生产许可证, 其产品得到了迅速发展。目前, 我国远洋船用中速机 70% 直接进口国外原装机, 其余 30% 几乎是采用国外许可证技术制造的产品, 技术依赖于国外, 没有知识产权。2003 年至 2006 年我国部分船用柴油机企业产量见表 1 所示。目前, 镇江中船设备有限公司年生产能力为 200 台~300 台; 陕西柴油机厂年生产能力为 150 台~200 台; 新中动力机厂年生产能力为 80 台~100 台; 安庆船用柴油机厂年生产能力为 100 台~150 台。

表 1 2003 年~2006 年部分船用柴油机企业产量

	2003 年		2004 年		2005 年		2006 年		2006 年比 2005 年增长/%	
	台数	功率×10 <sup>4</sup> /kW	台数	功率×10 <sup>4</sup> /kW	台数	功率×10 <sup>4</sup> /kW	台数	功率×10 <sup>4</sup> /kW	台数	功率
沪东重机	54	55.7	63	70.4	70	84.2	79	108.1	13	28
大连船柴	15	16.2	32	35.9	39	44.1	41	51.4	5	16
宜昌船柴	10	8.9	15	11.6	18	14.4	22	15.6	22	8
陕柴重工	3	0.5	58	14.9	131	35.4	145	42.8	10	21
镇江中船设备	103	9.5	172	16	237	22.8	260	26.9	10	18
安庆船柴	26	2.1	76	6.7	110	9.9	119	10.4	8	5

## 4 结束语

实践证明, 一个国家要在世界造船市场占有一席之地, 强大的国内配套是必需的基础。据悉 2005 年我国柴油机年产量为 1,274,056 台, 同比减少 2.94%; 年销量为 1,272,536 台, 同比减少 2.51%。由于我国船用柴油机产业发展滞后, 船用柴油机生产跟不上造船业的快速发展, 国产柴油机装船比例持续下降, 柴油机国产化率仅为 51%。2007 年上半年我国柴油机产量占世界的 17%, 而船用柴油机装船量仅占世界的 5.4%。可见未来我国船用柴油机具有很大的发展空间和市场前景。

为实现世界造船大国目标, 我国船用大功率柴油机产业应抓住船舶动力装置需求稳步增长的大好机遇。

加强引进技术产品的消化、吸收和改进提高; 加大技术创新的力度, 自主开发形成一批具有自主知识产权的船用柴油机产品, 真正做到国轮国造和自主配套, 总之我国船用大功率柴油机产业发展将面临新的机遇和挑战。

#### 参考文献:

- [1] 金东寒. 船用大功率柴油机价格走势分析及预测[J]. 柴油机, 2007, 29(1): 1-4.
- [2] 上海科学技术情报研究所. 世界制造业重点行业发展动态[Z]. 2007.
- [3] 中国内燃机学会大功率柴油机分会. 中国大功率柴油机发展研究[R]. 1999.

(上接第 18 页)

3) 综上所述, 由于气囊的工作高度, 使下水潮位相对降低, 因此利用气囊下水时, 船舶发生艉落现象的几率较大; 高吨位船舶下水时, 需采取局部结构加强、延伸船台、改变坡度及船台改造成半潜等措施予以改善。

#### 参考文献:

- [1] 涂少波. 船舶气囊下水工艺实践及发展前景[J]. 中国造船, 1997, 138(3): 88-92.
- [2] 黄立身. 船舶气囊上下水应用现状与应改进的问题[J].

- 中国修船, 1997, (3): 15-18.
- [3] 李明忠. 500t 沿海集装箱船气囊下水摩擦力的分析计算[J]. 湖南交通科技, 2001, 27(3): 81-82.
- [4] 高岚虹. 船舶下水的数值模拟和实验研究[D]. 华南理工大学, 2000: 42-44.
- [5] 王嘉丰, 吴学仁. 船舶下水平衡梁受力的测定[J]. 武汉交通科技大学学报, 1997, 21(2): 211-215.
- [6] 叶家玮, 王勇毅, 吴学仁等. 船舶下水的运动、力学参数测试与分析[J]. 武汉交通科技大学学报, 1995, 19(3): 228-232.