

[研究与设计]

双壳散货船安全到几何^{*}

华玉波 杨 启

(上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院 上海 200030)

[关键词] 双壳散货船; 安全; 双壳结构; 防撞性; 碰撞; 触底

[摘 要] 通过对过去十多年来的散货船安全事故统计进行分析, 介绍了散货船的安全问题并计算了各舱室的进水概率, 重点介绍了散货船的危险因素和需要加强或改造的区域。根据双壳体的一些试验, 分析了双舷侧散货船的安全提升和一些值得商榷的问题并提出了通过改进结构型式解决安全问题的观点。

[中图分类号] U 674. 13+ 4 [文献标识码] A [文章编号] 1001-9855(2005)05-0019-05

Until when can double-hull bulk carrier be safe?

Hua Yubo Yang Qi

Keywords: double-hull bulk carrier; safety; double hull structure; anti-collision; collision; touch ground

Abstract: Through analysis of security accident statistics of bulk carriers in the past ten years, this article introduces the safety problem of bulk carrier, calculates the flooding probability of each compartment and puts emphasis on the dangerous factors of bulk carrier and the area requiring strengthening or modifying. According to the tests to double hull structure, the safe improvement of double side bulk carrier and other problems that need further consideration are present together with opinion of solving safety problem by improving structural configuration.

1 散货船的安全分析

自 20 世纪 80 年代到 90 年代的 20 年里, 散货船发生了太多的海损事故, 共约有 170 条散货船失事和 1 300 余名船员遇难。ACS 公布的《正式安全评估规程》(FSA) 中对不同类型船舶的风险进行了评估, 散货船比其他类型的船舶 (包括油轮) 有着更高的出事风险^[7]。

特别是 90 年代, 散货船失事出现了高峰。在 1991~ 2002 年的 12 年里 808 名船员失去了生命, 143 艘 1 万载重吨以上的散货船灭失。许多散货船沉

没时都装载有高密度的货物。鉴于这种情况, ACS、MO 和其他各机构开始采取一些措施来提高安全性, 这些措施的采取一定程度上改善了这种严峻的形势:

船龄是散货船灭失的一个起作用的因素。1993~ 2002 年间沉没散货船的平均年龄是 20.6 年, 而同期散货船队平均年龄是 14.8 年, 船龄在 15 年及其以上者占了那段时期内灭失散货船的 89.8%^[4]。

而到了 2003 年就只有 4 艘 1 万载重吨以上的散货船被确定全损, 无人伤亡, 所有的损失没有一个是因结构损坏、倾覆或装/卸程序造成的。散货船滞留数量也有所下降。与前面的统计资料相比, 改进的程

* [收稿日期] 2004- 10- 9

[作者简介] 华玉波 (1977. 1-), 男, 汉族, 山东即墨人, 硕士研究生, 主要从事散货船安全研究。

杨 启 (1967. 3-), 男, 汉族, 湖北襄阳人, 副教授, 主要从事散货船安全研究。

度显而易见,这说明安全措施取得了实效。

造成散货船沉没的原因很多, Intercargo 2003 年发布的 Bulk Carrier Casualty Report (代表 1992~2002 年间失事的 10 000 DW T 以上的散货船) 表明, 主要有以下几种情况 (见表 1):

表 1 1993~2002 年散货船灭失的起因

灭失原因	灭失艘数	百分比	灭失原因	灭失艘数	百分比
触底	24	22.02%	消失/未知原因	7	6.42%
结构	18	16.51%	货物装卸	3	2.75%
机械失火/爆炸	15	13.76%	货物着火/爆炸	2	1.83%
碰撞	15	13.76%	倾覆或货物移位	2	1.83%
进水	15	13.76%	与物体碰撞	1	0.92%
机器故障	7	6.42%			

散货船海难中部分是由于潜在的缺陷导致船舶破损。通过分析,许多散货船沉没是由于一舱进水或是一舱进水后横舱壁倒塌造成的,并且大部分的海损出现在最前端货舱 (NO. 1), 而 NO. 1 货舱进水又最容易导致船舶沉没。从 1993 年开始, IACS 就开展了进水状态下 NO. 1 货舱强度的研究,其中包括防止进一步进水的能力和破舱稳性。人们把 NO. 1 货舱进水后的强度和破舱后的稳性作为船舶的第二道防线。

在 90 年代早期,关于散货船安全的调查研究发表了很多,主要发现如下:

- 1) 舷侧板的严重局部腐蚀导致破裂和前端货舱进水;
- 2) 横向槽形舱壁在各种腐蚀情况下缺乏抵抗货舱进水形成的高水头压力而失稳;
- 3) 在用推土机和重型抓斗卸载时可能对舷侧结构产生物理损伤;
- 4) 对双层底和船体梁的过载损伤,尤其在采用高速装载或装载重货时;
- 5) 进行大宗货物装载时对甲板结构的损伤^[1]。

防止单壳散货船进水的首要屏障是:

- 1) 舱口盖和前甲板装置;
- 2) 附有侧肋骨的船侧板^[2]。

艏舱进水最容易导致完全沉没,并且经过评估,

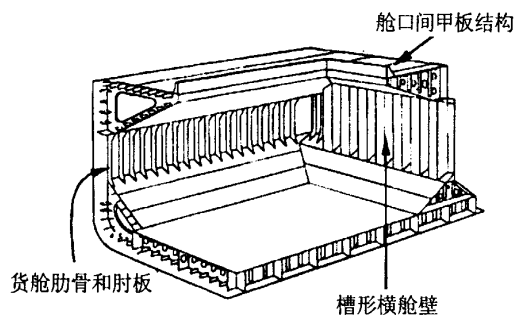


图 1 散货船易破损区域

一号货舱进水占散货船伤亡总数的 40%。船体结构上有三个区域被认为在过去的海损事故中是主要的相关区域,他们是:

- 1) 货舱肋骨和肘板;
- 2) 槽形横舱壁;
- 3) 舱口间甲板结构^[2]。

在 1982~2001 年这段时间内,导致常规散货船沉没的船体损坏约占报告灭失船舶的 72%。船侧板撕裂或损坏是导致散货船灭失的最主要原因。这些数据被一项由国际海事组织 (MO) 进行的研究 (FSA) 证实,并由英国在 2002 年 3 月份提交给海上安全委员会 (MSC)。

这项研究证实对任何尺寸的散货船而言,船侧板损坏在纪录的灭失船舶中占主要部分。通过比较,还有部分灭失是由于舱口盖失效。

下面引用的就是 IACS 公布的《正式安全评估规程》(FSA) 中部分统计数据,它能够告诉我们外板破损在海损事故中扮演的角色。这些数据来自 1978~1998 年间失事的 20 000 DW T 以上的散货船,共有 1 249 个事故样本,代表着 73 600 船龄^[7]。

图 2 中事故分类把沉没、灭失和船体破损放到了一起,这主要是因为无法准确地将它们区分开来。可以看出侧板失效和舱口盖失效是船舶事故的主要原因,而这其中侧板失效又是重中之重。舱口盖失效很早就引起了重视,早在 1997 年就采用了 IACS 旨在加强舱口盖强度的统一要求 UR S21 并 1998 年 7 月 1 日起在新造船上实施。后来 IACS 对其重新进行了修订并在 2002 年 11 月 26 日的 MSC76 次会议上获得通过。

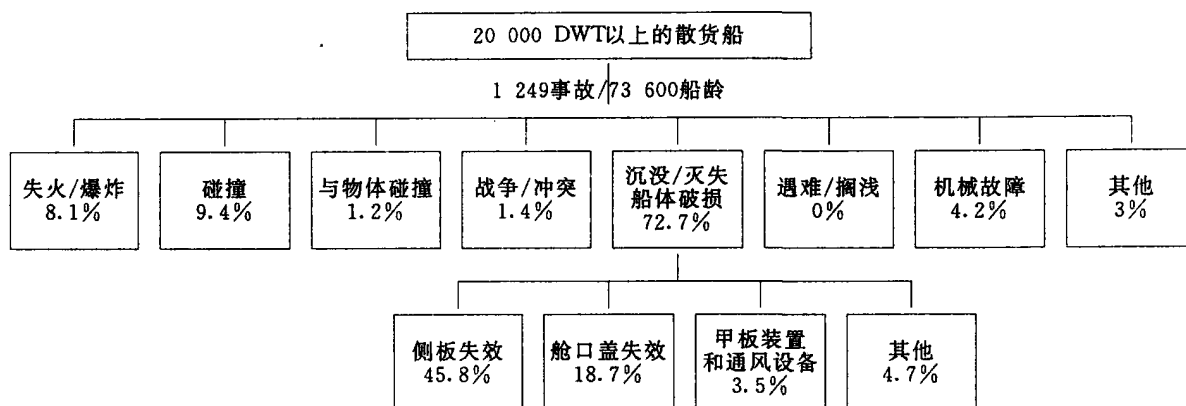


图2 海损事故风险分布表

2 货舱进水概率分析

根据 Class NK 的安全评估报告 (FSA) 中的 ANNEX3^[8] 中的关于侧板失效导致进水的数据库进行了舱室的进水概率统计: 总共 208 个事故样本, 货舱进水事故 152 个, 有 17 个是怀疑舱室进水, 细节未知. 计算样本是 191 个, 有 25 个事故样本是进水的货舱细节未知; 别的舱室进水事故 56 个, 各舱室进水频数统计如表 2 所示:

表 2

舱室名称	进水频数	舱室名称	进水频数
No. 1 货舱	47	机舱	26
No. 2 货舱	31	艏尖舱	10
No. 3 货舱	19	艉尖舱	2
No. 4 货舱	15	双层底	9
No. 5 货舱	18	泵舱	2
No. 6 货舱	8	燃油舱	2
No. 7 货舱	9	其余舱室	9
No. 8 货舱	4		
	151		60

货舱进水概率计算模型:

$$P_i = \frac{\text{货舱进水样本数} - \text{怀疑货舱进水样本数}}{\text{事故样本总数} - \text{怀疑货舱进水样本数}} \times \frac{\text{No. } i \text{ 货舱进水频数}}{\text{货舱进水总频数}}$$

其他舱室进水概率计算模型:

$$P = \frac{\text{其他舱室进水样本数}}{\text{事故样本总数} - \text{怀疑货舱进水样本数}} \times \frac{\text{舱室进水频数}}{\text{其他舱室进水总频数}}$$

各舱室进水概率计算结果如表 3 所示:

表 3

舱室名称	进水概率	舱室名称	进水概率
No. 1 货舱	0.220	机舱	0.127
No. 2 货舱	0.145	艏尖舱	0.049
No. 3 货舱	0.089	艉尖舱	0.010
No. 4 货舱	0.070	双层底	0.044
No. 5 货舱	0.084	泵舱	0.010
No. 6 货舱	0.037	燃油舱	0.010
No. 7 货舱	0.042	其余舱室	0.044
No. 8 货舱	0.019		

可以看出, No. 1 货舱, No. 2 货舱和机舱分别是最容易进水的舱室。

3 双壳化后的安全分析

双壳化更早的开始于油轮, 所以迄今为止双壳化后的研究基本都是对油轮展开的。同时因为发生碰撞和触底意外事故时的环境通常无法知道, 所以意外事故的描述可能完全来自海事机构的意见, 这对技术评估来说是不够的。冲撞力和船舶运动的细

节也很少能够了解到。更糟糕的是公众得不到这些意外事故的数据记录和细节情况。结果是仅仅非常有限的意外事故数据被用来定义损坏情形和校核分析方法。

对散货船而言, 双壳船的动机是保护主要结构部件免受与货物相关的腐蚀和机械损伤, 同时设置一道障碍来防止对船侧板的低强度碰撞后进水范围的进一步扩大。一般来说, 双壳散货船在结构完整性上拥有更高的优势:

1) 消除了暴露的易损伤的横向骨架和它们的末端附件;

2) 保护了易受货物腐蚀的和机械损伤的结构;

3) 允许更好质量的表面处理和涂层应用;

4) 造成更坚固的船侧结构, 有效地消除了挠曲和常规设计中的对侧向骨架结构的疲劳危险^[2]。

这儿重点讨论一下双壳结构的强度增强, 也就是双壳结构的防撞性。防撞性研究在汽车工业上有很好的发展, 也进行了很多全比例的模型试验。但对船舶工业来说, 在实验室水平上的模型试验仍是研究和分析的最现实的手段。同时还应该注意到, 汽车工业的防撞性研究是旨在通过碰撞中汽车结构的变形或破损来吸收能量, 从而减小碰撞对人员形成的冲击力; 对船舶工业来说, 碰撞的速度和加速度都比汽车的要小, 但后果更严重, 我们需要的也不是减小冲击力, 而是研究船舶抵抗破损和破坏的能力, 从而减小船舶进水沉没的危险。

在许多情况下, 撞击载荷主要是垂直于船的侧面, 或是可以近似地这样认为。在低能量的撞击中, 船侧结构可能保持十分大的持久变形。又因为船舶在触底或搁浅时类似于船侧与另一条船舶首的碰撞, 所以也进行了讨论。

国内对这方面的研究现在进行的还很有限, 并且也主要是局限于计算机模拟。众所周知, 要实现更好的模拟, 就需要更高性能的计算机和高水平的专家指导, 这样才能实现尽可能好的结果, 并且建模还需要很大的工作量。这种成本也是很高的。而通过 PC 或小的工作站进行的模拟会因很多的限制因素而影响了模拟的正确性。

国外的计算机模拟也还没有给出可信的结果, 现在人们更多的是在经验的基础上建立模型和提出

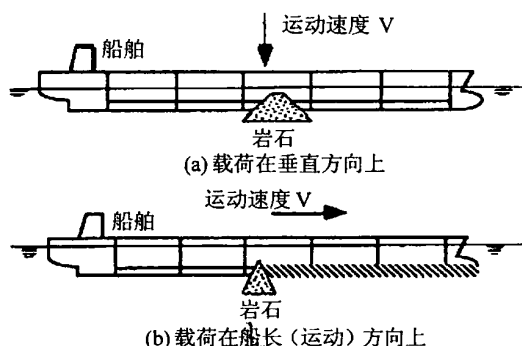


图 3 船舶触底现象示意

只需简单计算(PC 机或小型机就可以完成的)的方法。就像其他的很多经验公式一样, 这些模型和方法也给出了十分接近于模型试验的结果。

根据国外的一些试验, 我们可以得到一些根本的认识。试验原理大致如下:

图4 和图5 表示试验的设计原理。双壳体被固定在坚固的支撑结构上。刚性锥体往下冲压并穿透双壳体, 刚性锥体被控制住慢慢运动以以至于可以忽略水动力的影响。

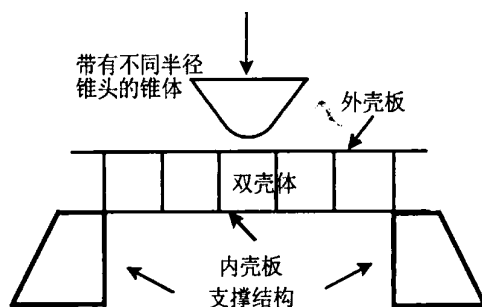


图 4 试验示意

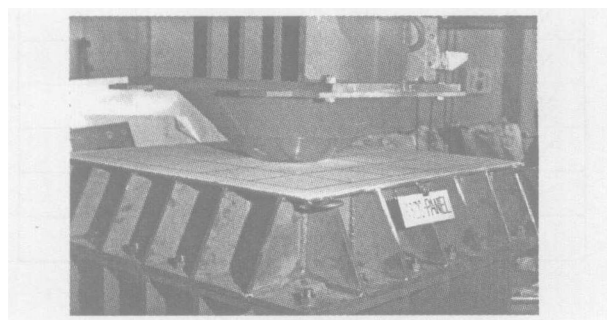


图 5 试验设计 (试验 P-300)

该试验的双壳体模拟了典型的双层底或双舷侧结构。带有不同半径锥头的冲压锥体代表了十分尖

锐的到相对平坦的撞击物(球鼻首等)或障碍物(海底岩石或礁石等)^[5], 试验对双壳体结构不同的部位进行了冲压。

通过试验观察到, 锥体的锥头的半径越大, 碰撞中能够吸收的载荷和能量就越大; 对双壳体结构节点的冲压在凹陷的开始阶段需要较高的载荷。双壳体的变形过程受两个因素影响: 裂纹的出现和邻近结构的变化。这两个因素联合起来决定了破损的过程。

壳板在小半径锥头的锥体冲压下出现很小的凹痕时就会破裂。如果锥头的半径变大, 裂纹的出现就会延后, 并且裂纹的出现也会离锥体的锥头越来越远, 裂纹开始出现的位置也会由锥头附近变成从锥头附近的结构节点开始^[5]。

壳板在裂纹出现后仍旧会保持一定的载荷承载能力; 试验中内壳板的变形很小。内壳板在直接被锥头压到之前几乎没受到影响。主支撑构件和它们的节点被破坏时会出现很多褶皱。

在锥头半径大于双壳体支撑构件之间的空间尺寸时, 可以忽略撞击位置的影响; 这也说明, 这时候可以对面板和主支撑构件进行近似处理, 认为结构具有均匀的抗破损能力。这可以简化受力分析时的船舶结构。

通过这些试验可以看出, 双壳化最起码给我们提供了一个解决散货船安全问题的方向, 改变结构型式要比一味的加大板厚和骨材尺寸经济可靠, 高强度钢的大量采用所导致的船舶结构刚性的降低就可以通过双壳化这样类似的结构型式变化来提高结构整体的刚性。还应该引起注意的就是在船舶发生意外碰撞时, 合适的球鼻首形状会更好地保护被撞击的对方船舶。

4 结 论

伤亡统计显示载运铁矿石这样的重货的老龄单壳散货船更容易破损。许多伤亡事故是由于No. 1 货舱进水或结构失效(特别是船侧结构)引起的。No. 1 货舱, No. 2 货舱和机舱是需要进一步加强的舱室; 船侧、船底和舱口盖是容易破损的危险区域。

IACS 的统一要求和 MO 的规则提高了检验要求和现有船队的结构安全性, 并为未来的船舶提供了更高的结构设计要求。

双壳体结构对不同的尺寸(撞击物尺寸小于骨材间距)的碰撞物或是在不同位置的碰撞都会有不同的响应和破损现象, 也会有不同的承受撞击载荷的能力; 但对大尺寸(撞击物尺寸大于骨材间距)的碰撞物又有着几乎均衡的抗破损能力。

结构的交互作用对板的响应有着决定性的影响, 所以加大板厚远远不如改进结构设计, 建造更安全经济散货船的出路应该是创新更好的结构型式, 双壳化就是适应了这一趋势, 通过采用双壳结构并且在船舶自重没有过多增加的情况下提高了船舶的结构安全性, 尤其弥补了因采用高强度钢而导致的船舶结构刚性的降低, 这优于单独的增加板厚和骨材尺寸。此外, 双壳化还会保护舷侧结构部件免受与货物相关的腐蚀和装卸时的机械损伤, 并带来维护和操作上的便利。但是也应该看到, 现在的双壳化研究还不足以证明它能够大幅度提高散货船的安全, 此还有待于进一步研究和探索。

[参考文献]

- [1] Gus Bourneuf Enhanced Surveys of Bulk Carriers [M] ABS Chief Surveyor
- [2] ABS Marketing Development & Communications Bulk Carrier Solutions: Safer and Stronger Vessels [M]
- [3] Bulk Carrier Casualty Report, 2000[R] The previous ten years (1991~ 2000) and the trends, Intercargo
- [4] Bulk Carrier Casualty Report, 2002[R] The previous ten years (1993~ 2002) and the trends, Intercargo
- [5] Ge Wang, Kikuo Arita, Donald Liu Behavior of a double hull in a variety of stranding or collision scenarios[J] Marine Structures 13 (2000) 147~ 187
- [6] Ge Wang Some Recent Studies on Plastic Behavior of Plates Subjected to Large Impact Loads [J] Ocean Mechanics and Arctic Engineering (ASME) January, 2002
- [7] Formal Safety Assessment (FSA) Report[R] Submitted to IACS by LMIS, 2002
- [8] Formal Safety Assessment (FSA) Report[R] Submitted to IACS by Japan, 2002