

编者按：2013 年 6 月，日本商船三井“MOL Comfort”号集装箱船在印度洋海域断裂沉没，航运业对此次事故表现出了极大的关注，并开始重新审视大型集装箱船舶的安全问题。目前，关于该事故原因的调查已经完成，但报告却未能给出有关事故原因的明确结论。研发中心经过一年多的跟踪研究，结合近期最新信息资料，对“MOL Comfort”轮的事故原因和调查进展进行全面分析和介绍，供领导参考。

本期摘要

“MOL Comfort”轮断裂沉没事故原因分析和 对中远集团集装箱船队安全性的思考

- 一、“MOL Comfort”轮断裂沉船事件回顾
- 二、“MOL Comfort”轮断船原因分析
- 三、“MOL Comfort”轮断船事件最新调查进展和结果
- 四、事故发生后 MOL 所采取的应对措施
- 五、对中远集团集装箱船队安全性的建议和思考

“MOL Comfort”轮断裂沉没事故原因分析和 对中远集团集装箱船队安全性的思考

一、“MOL Comfort”轮断裂沉船事件回顾

2013 年 6 月,日本商船三井“MOL Comfort”轮在也门外海发生事故,船体从中间断成两截,随后起火沉没。该船由三菱重工长崎造船厂于 2008 年建造,设计载箱量为 8110TEU,悬挂巴哈马旗,入级日本船级社(NK)。根据商船三井(MOL)当时发布的公告,此次事故由“恶劣天气使船舶从艏部断裂、海水进入货舱”造成。事故发生时“MOL Comfort”轮所在海域有高达 6 米的强浪。事故事态发展情况和海域位置如表 1、图 1 所示。

表 1 “MOL Comfort”轮断船事态发展情况一览

日期(2013)	大事记
6.11	由新加坡港驶往沙特阿拉伯吉达港。
6.17	<ul style="list-style-type: none">▪ 船体艏部出现裂纹,6号舱进水。▪ 全体船员疏散。▪ 船体断裂成两段。
6.17~	MOL 密切监测船舶状况。
6.25	开始通过拖轮向西拖拽船艏部分。
6.27	船体后半部分沉没。
7.6	船体前半部分右舷起火。
7.11	船体前半部分沉没。

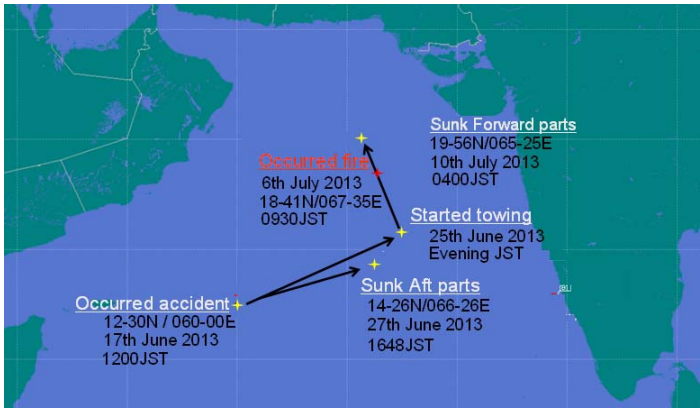


图 1 “MOL Comfort”轮断船事件海域位置

二、“MOL Comfort”轮断船原因分析

事故发生后有关事故原因的调查一直在进行中，直到日前，日本船级社（NK）针对“MOL Comfort”轮的沉没原因以及如何为超巴拿马型集装箱船提高安全系数等问题出具了最终调查报告，称该船去年在印度洋断成两截很可能与作用在双底结构的横向荷载有关。但遗憾的是，报告并未能对“MOL Comfort”轮失事的原因给出明确结论。目前，航运界对于船舶失事原因争论的焦点主要集中在以下几方面：

1、天气说——大浪毁船

对于“MOL Comfort”轮断船沉没的海难事故，MOL 最初给出的原因是“天气说”。在船舶事故调查过程中，MOL 特别强调了事发海域的天气状况，并在事发后发布的公告中称，事故是由于极其恶劣的天气使船体舳部断裂，海水进入货舱所导致。相关气象资料表明，事发时的海上风力为 7 级，浪高达 6 米左右。

支持“天气说”观点的专家认为：大型船舶构件的承力非常讲究，因为自身太重，如果船被大海浪托空，自身结构根本无法承担千万吨的重量，就会自行折断；持反面意见的专家则认为：虽然印度洋的气候状况恶劣，但高张力钢的强度对付 6 米高的强浪理论上是绰绰有余的。一般来讲，集装箱船可以抵御十二级大风，七级风就导致船体断裂的说法并不成立。

2、材料说——高张力钢毁船

高张力钢以成型性好、强度高等优点颇受造船厂欢迎，理论上能使船的纵向强度提高 20%。2004 年 MOL 在三菱重工首次订造 12 艘大于 7500TEU 的 MOL-C 型船，该系列船中有 6 艘率先使用高张力钢，而“MOL Comfort”轮正是其中之一。相关资料显示，“MOL Comfort”轮断裂沉没并非是由高强度钢引发的第一起船体断裂事故。在 2007 年，地中海航运旗下的“MSC Napoli”号集装箱船，就曾因为船体两侧出现了 150

厘米的裂缝，面临断裂危险，这艘船的高强度钢使用率高达 60%。

挪威船级社（DNV）曾表示，高强度钢的大量使用会导致集装箱船的疲劳寿命减少。零件和构件在低于材料屈服极限的交变应力的反复作用下，经过一定的循环次数，会在应力集中部位产生裂纹，裂纹会在一定条件下扩展，最终突然断裂。NK 随后也发布了一份关于应对船体裂纹发生的标准，以防范类似事故重演，但是日本船厂却继续加大了高强度钢材料的使用范围。

3、船舶操作问题

从图 2 照片进行分析，事发时的浪涌波长与“MOL Comfort”轮的长度几乎相同，波峰处在船体中部，使船体发生舭拱^①，而这正是船舶在风浪中航行时应极力避免的。有集团下属公司船长从技术角度分析，认为驾驶员在风浪来袭时没能掌握好航向，可能是导致了船体断裂的原因。



图 2 “MOL Comfort”轮断船事故发生时的海况

根据操作规程，当船舶正面遭遇大风浪使航行操作难度加大时，可以寻找适当的机会改变航向，使船舶处于顺风状态，将风浪对船舶的危害程度降至最低。然而通过照片可见，事发时“MOL Comfort”轮仍处于顶风航行的状态。

4、配载问题

事故发生后，“MOL Comfort”轮配载问题也受到业界的质疑。资料显示，MOL Comfort 这艘 8110TEU 的集装箱船事故发生时接近满载，共装有 7041TEU 集装箱。据报道，有保险公司从其他渠道了解到“MOL

^①船舶在航行中，风浪和涌浪的综合作用会使船体结构产生一定的扭曲变形，形成舭拱或舭垂，特别是在大风浪中顶风航行、且波长接近船体长度的情况下，波浪持续不断的交替会加大船体的舭拱或舭垂状态，并可能在舱内载荷分布不均的情况下，“折断”船体。

Comfort”轮在离开新加坡港时的前后配载做得不是很好。业内船体工程师从事故发生后的船舶在海面上漂浮的状态分析，认为船舶的配载存在不均的可能性，导致船舶受力不平衡超过设计极限，最后发生中拱断裂。

5、船厂设计建造问题

(1) 船体设计缺陷

对于断船事故的原因，也有人认为是三菱重工长崎造船厂缺乏建造集装箱船的经验，“MOL Comfort”轮在船舶设计和建造方面存在缺陷所致。三菱重工长崎造船厂以打造舰船为主，2003 年才重启集装箱造船业务，只能接到 2500TEU 中小型船订单。在重启集装箱造船业务的第二年，就获得了 MOL 的 12 艘 7500TEU 型的船舶订单，而失事的 “MOL Comfort” 轮正是其中一艘。

但是，2013 年 7 月 NK 公开表示：对于 MOL Comfort 轮设计以及审图过程的仔细复查已经完成，复查结果表明，审图过程没有问题，船舶设计也满足了 Class NK 和 IACS 规范的全部要求。与此同时，NK 表明，对于“MOL Comfort”轮船舶营运检验记录的复查也已经完成，确认于 2013 年 5 月 29 号（事故前一个月）进行特别检验的过程中并没有发现该船有任何不良情况，而且在特别检验完成时该船完全符合 NK 和 IACS 规范全部要求。

(2) 建造焊接工艺问题

在 2008 年后有多批集装箱船舶均在建造过程中使用了高张力钢，但却只有“MOL Comfort”轮发生了断裂。有业内专家认为，问题可能不在于高张力钢，钢板在焊接时出现的缺陷可能才是导致事故的真正原因。资料显示，“MOL Comfort”号船体所用是 2007 年三菱重工与新日铁合作开发的最新型高张力钢 HTS47。HTS47 比以前日本造船业广泛应用的 HTS40 钢材更为轻薄，对焊接技术有了更高的要求，也提高了焊接难度。“MOL Comfort”号船体在焊接环节是否存在缺陷，目前调查结果尚未有此方面的结论。

从以上分析来看，此次事故也可能并非由单一原因所致，而是各方因素共同作用的结果。恶劣的天气、不当的操作、船舶制造缺陷以及配载问题等等的叠加，使得“MOL Comfort”轮不幸断裂沉没。当然，由于最终调查报告对于事故原因并未给出明确结论，上述分析也只能作为参考。

三、“MOL Comfort”轮断船事件最新调查进展和结果

在“MOL Comfort”轮海难发生后，2013年8月，日本专门成立了由国土交通省牵头的集装箱船运输安全对策研究委员会（Committee on Large Container Ship Safety），对事故原因进行调查。由于船舶断裂船体已经沉入海底，给调查造成了极大的困难，所以调查所取得的进展十分有限。值得一提的是，在事故发生后，日本三菱重工（MHI）才提供了相同设计船型曾于2011年12月和2012年12月出现过过变形和裂纹的情况，MOL对此也表达了意见。

应MOL的要求，英国劳氏船级社（LR）向其提供了独立评估，并应邀在2014年9月中旬在上海举行的全球集装箱经营人会议（Box Club）上与到会代表分享了有关结果。结合日前NK最新发布的报告信息，“MOL Comfort”轮失事的所取得的调查进展和结果主要如下：

1、集装箱船运输安全对策研究委员会和NK调查结果

（1）可以确定，“MOL Comfort”轮在船体舫部的船底部位发生了变形，但这是不是导致船舶断裂的主要原因目前还不能下定论。

（2）认为“MOL Comfort”轮的沉没很可能与作用在双底结构的横向荷载有关，并利用弹性塑料进行对比分析并执行测算。建议在测算船体梁的最大强度时，应将“横向荷载”带来的影响考虑在内，并对船底板架结构的屈曲及破裂强度做好估测。

（3）基于事故初期船舫底部进水的情况，可以认为底部船体外板上已经出现裂纹。为了研究上述裂纹是如何产生并进一步扩展的，NK评估了“MOL Comfort”轮船体强度和其在事故发生时所承受的载荷，采用有限元模型进行仿真，并对动力载荷（如颤振）影响进行了分析（图3）。

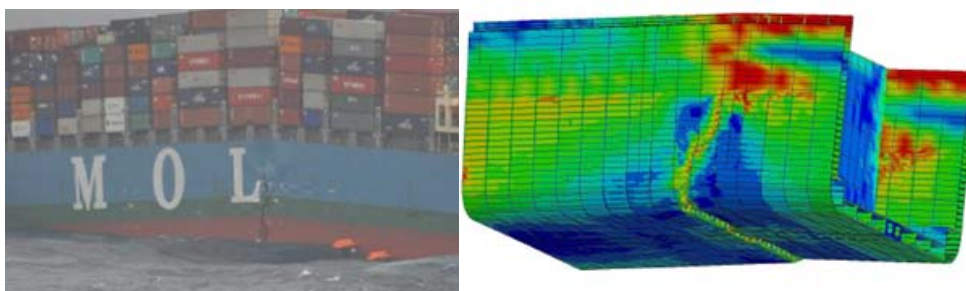


图3 “MOL Comfort”轮断裂结构有限元仿真

(4) 为测算作用于船体的载荷，NK 对“MOL Comfort”轮事故发生时的气象状况和货物的装载状态等进行了调查。

(5) NK 对与事故船具有同样结构设计的大型集装箱船进行了调查。在对其姊妹船的检查过程中发现，在船艏区域中心线附近的底部外板高度方向上，存在将近 20 毫米的屈曲变形。

(6) 作为安全强化措施，日本三菱重工已对同型船的船体结构进行了加固。

(7) 为了解一些与事故船结构设计不同的船舶是否存在同样的变形情况，NK 在部分船东的支持下，进行了相关检查。

2、LR 对于调查结果的意见和相关工作

(1) 作为 MOL 技术顾问，LR 接受了“MOL Comfort”轮 7 条（包括新造船）姊妹船的入级。

(2) 认为目前所公布的调查结果并未提供整个事故的模拟过程。

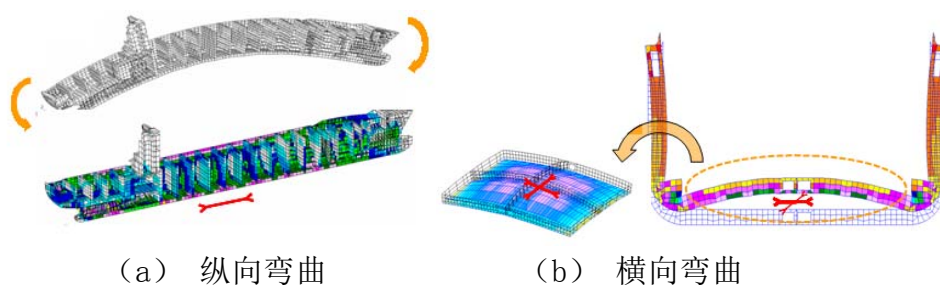


图4 “MOL Comfort”轮纵向横向弯曲情况水动力仿真

(3) 根据模拟情况，船体所受载荷仅为船体计算所能承受最大载荷的 2/3。这意味着，有可能所进行的仿真过程并不能真实模拟船舶实际受力情况，或有可能船体实际能承受的最大载荷要小于理论计算值，比如有些变形或结构使船体的实际强度变小。

(4) 船体同时受到纵向和横向（最终的调查报告认为“横向载荷”可能是船舶断裂的原因）的扭曲应力（图 4）。

(5) 对船舶在波浪海况下所受到的鞭梢效应（Whipping effect，图 5）受力情况目前尚未建立完整的仿真模型。船级社正在不断推进有关这一部分的分析。LR 要求在新建船舶的设计过程中就要进行此项仿真计算。

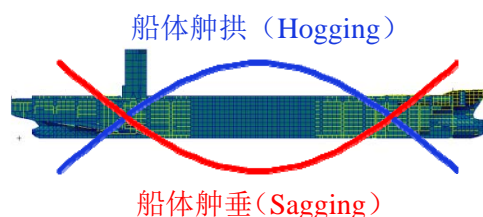


图 5 鞭梢效应（Whipping effect）

(6) 运用最新的技术手段重新评估在运营船舶的船体强度。船体总纵强度和横向强度的至关重要。

(7) 国际船级社协会和各国船级社需要重新评估集装箱船舶的最小强度标准，认为船级社现行准则不能涵盖集装箱船舶的实际受力情况。据了解，IMO 已在准备对相应标准进行修改，以加强船舶整体强度。

四、事故发生后 MOL 所采取的应对措施

在“MOL Comfort”轮断船沉没事故发生后，MOL 采取了一系列的应对措施。从处理结果来看，“MOL Comfort”轮的沉没，并未造成人员伤亡和海上漏油造成污染的情况发生。MOL 对事故的快速反应和所采取的应对措施，对其他航运公司具有一定的借鉴意义。事故发生后，MOL 具体应对措施如下：

- 1、建立总部应急控制中心，采取一切手段妥善处理断船事件。
- 2、对其姊妹船采取相应预防措施，降低船体所受应力。
- 3、指定 LR 作为 MOL 技术顾问。
- 4、暂时停止姊妹船的运营，检查船舶安全状况。

5、对所有姊妹船进行加固增强船体强度（图 6）。加固计划由船厂和 NK 提议，并获得 LR 认可。7 艘姊妹船因加固计划共计停止营运 504 天。



(a) 加固前

(b) 加固后

图6 “MOL Comfort” 轮姊妹船加固增强船体强度

6、全面配合由日本政府发起的集装箱船运输安全对策研究委员会调查工作。

7、检查 MOL 运营的其他超巴拿马型船（包括不同船厂）。并未在其他船舶中发现缺陷。

8、采取法律手段起诉船厂，目前仍在进行当中。

9、“MOL Comfort” 轮于 2012 年 12 月的最后一次干坞检验没有发现任何缺陷（NK 确认于 2013 年 5 月完成的对该船的特别检验完全符合规范和指导要求）。

10、离开新加坡时，集装箱配载正确，符合 SWBM(Still Water Bending Moment，船舶静水弯矩) 的允许范围。

五、对中远集团集装箱船队安全性的建议和思考

1、追求船舶经济性需以保障船舶安全为前提

近年来航运市场表现持续低迷，各大航运公司都把降本增效作为应对当前市场环境的重要手段。以船舶大型化实现规模效益、应用绿色船舶设计等成为了备受航运业青睐的技术策略，航运市场上也出现了各种具有不同性能的节能技术和节能减排装置。在船舶航行中通过降速航行，或减少压载水量调整吃水差使船舶处于最佳纵倾状态，也是近年来航运公司广泛采用的节油方案。

但是在追求船舶最大经济性的过程中，航运企业需要重点关注船舶

安全性这个底线。在采用新船型、新技术、新操作方案提高船舶经济性的过程中，中远集团旗下船队特别是集装箱船队，一定要以保证船舶安全为前提，对可能会面临的风险进行充分评估和论证。在平衡“效益与安全”的关系时，以安全作为首要考虑要素。

2、中远集团集装箱船队需加强船舶运营情况监测

“MOL Comfort”轮船体断裂究竟是个案，还是同类型船舶的共性，仍困扰着整个航运界。商船三井已对其运营的其他 7 艘同类型船舶进行了严格检查，并发现其姊妹船船舫区域中心线附近的底部外板高度方向上，也存在将近 20 毫米的屈曲变形。虽然目前调查结果尚未给出结论该变形与船舶断裂有直接关系，但是变形和断裂都出现在船舫区域底部同一区域，说明还是存在一定安全隐患，MOL 也对所有姊妹船进行了加固增强船体强度的处理方式。NK 在调查报告中还提出，希望相关各方能将船舶在不同装载条件下的设计参数清楚告知运营商。

建议中远集运严格关注 8000TEU 以上船舶的纵向强度和运营风险，关注旗下运营大型集装箱船舶的船舫区域底部船体状况，船舶检验如发现有变形情况则需重点监测，视情判断是否需要加固或进行其他方式的处理。由于目前调查结果尚未公布，LR、NK 等船级社对于大型集装箱船的相关准则也正在更新，建议中远集运在新造船时，与船级社和船厂充分交流，要求切实根据设计图纸核实船体总纵强度、中剖面强度等关键计算结果的准确性，保证船舶的可靠性。

3、对于“MOL Comfort”轮断裂沉没的反思

笔者在研究整理“MOL Comfort”轮断裂沉没事件材料的过程中，发现了一个值得关注的问题。“MOL Comfort”轮的船东（MOL）、造船厂（MHI）和入级船级社（NK）均为日本企业。在事故发生后，集装箱船运输安全对策研究委员会、NK、MOL 先后公布以下结论和信息：一是三菱重工的船舶设计不存在缺陷，甚至设计船体总纵强度还要超过船级社的限定标准；二是 MOL 在运营过程中配载完全符合规范；三是 NK 确认于 2013 年 5 月

29 号（事故前一个月）进行特别检验的过程中并没有发现该船有任何不良情况，该船完全符合 NK 和 IACS 规范全部要求；四是三菱重工对船体进行了加固处理，“MOL Comfort”轮姊妹船舶重新投入运营。

综合以上所披露的信息，可以得知：“MOL Comfort”轮应该是一艘设计优良、运营良好、并且在检查过程中完全没有任何不良情况的仅有五年船龄的集装箱船，无论是船厂的设计环节还是船级社的检验环节都完全符合规范。那么究竟是什么样的安全细节的缺陷导致了这场事故？值得一提的是，既然前期调查结果确认船体设计并无缺陷，三菱重工为什么还要对其姊妹船体进行加固处理？并且船舶加固方案还制定的如此迅速和有针对性。这样的调查结果和处理方式实在令人感到疑惑。

“MOL Comfort”轮断裂沉没事故是迄今为止国际航运界最大的一起集装箱船海难事故。由于近年来集装箱大型化趋势日益明显，订单数量猛增，这一事故的发生引起了航运业对大型集装箱船安全性的极大关注。航运业迫切希望知道事故的原因，以防止同类型船重蹈覆辙。经过多方面一年多时间的努力，断船事故原因的调查终于有了结果，但最终的报告却仍未能对事故原因给出明确的结论，MOL 和货主对三菱重工的诉讼也仍在进行当中。虽然本文一些观点只是根据事故所披露的相关信息进行的分析和推测，但是希望对“MOL Comfort”轮事故原因的总结能够引起集团下属船队对于航运安全的关注，并为集团旗下船队安全建设工作提供参考。

（研发中心团队讨论，邱力强执笔）

主送：集团领导

抄送：总公司各部门正副职、主要业务部门室经理

境内二级公司领导领导班子成员、相关部门负责人

海外区域公司领导及所属国家公司领导

