

# 某轮船底外板开裂损坏案例介绍

## 一、 船舶基本信息

LOA×LBP×B×D: 158.00×149.00×22.00×12.20 (m)

总吨位: 11780

船型: 油船

建造年份: 1982 年

重大改建时间: 1985 年 3 月 25 日 (该轮建造出厂时的长度大约为 125m, 后因营运需要于 1985 年回原日本建造厂加长了约 24m 平行中体段, 新增了 3A 舱, 位于原 Fr. No. 58 和 Fr. No. 59 之间, 肋位编号为 N1-N8)。

## 二、事故简要经过

2005 年 4 月该船装运 16000t 柴油, 在接近完货时, 发现漏油现象, 经检查, 发现船底破损。这次重大油污染事件, 给船公司 and 环境带来了巨大损失。

## 三、 损坏情况

检验中发现该轮 No. 3A 油舱 (P) 内船底板沿船舶横向开裂, 位置位于加长的平行中体段与原船体合拢焊缝附近, 距对接焊缝 100mm, 裂缝长度 1500mm。进一步检验发现, 在船底外板开裂位置处的 3 根纵向加强覆板条 (横焊于船底外部, 尺寸为 560×33mm, 每舷 3 根) 全部开裂。初步判断, 外板开裂应该是该加强覆板条上焊缝开裂的缺陷发展至外板所致。除在上述位置发现裂缝外, 在加强覆板条对接焊缝上左舷发现 7 处裂缝, 右舷发现 3 处裂缝, 初次登轮检验时对这些部位的裂缝是否发展到外板尚不能确定, 后对所有开裂位置刨开检查, 发现有 1 处裂缝已经影响外板。

这些裂缝位于 Fr. No. 55 至 Fr. No. 59 之间, 中间跨 12 个肋距, 长度约为 33m。经查阅船舶修理史, 该区域的船底板 (B 列板和 C 列板) 及加强覆板条均在 2002 年 4 月在国内修船时进行过割换。

另外对出现缺陷部位的船板厚度进行测厚, 腐蚀量均小于 10%。

#### 四、 损坏原因分析

根据以上发现的船底结构损坏情况,对造成船底外板开裂的可能原因分析如下:

1. 该轮在 1985 年在日本进行接长时,为对总纵强度进行补强,在船底和主甲板上加装了多根纵向覆板条,而且其板厚达到了 33mm,远远高于船底板 13mm 的厚度。该种结构型式十分罕见,其船底结构的应力分布有别于常规船舶,而且由于其结构型的特殊性,在建造和营运后的修理过程中,需要采用特殊的施工工艺。这可能成为出现本次事故的诱因。



图示:甲板上的加强覆板条。与船底类似,因此照片比较清楚,用此来表示。

2. 2002 年 4 月在国内修船时进行大范围换板,船厂的施工工艺不合理,造成局部应力水平较高,受到外力作用时,产生缺陷,并进一步发展至外板。由于该种在外板外面加焊覆板条补强的措施比较少见,因此船厂在进行船底板和加强板条进行割换时,可能没有注意相关的工艺。经查阅原船在日本改装时覆板条的施工工艺,有以下特殊要求,这对我们现场验船师在今后的类似检验中有很好的指导意义:

1. 加强覆板条的装配焊接要求:加强板条应在船底外板换板和检查、探伤工作完成后装配,焊接时,应在板条对接焊缝两侧各留出 500mm 长的留焊区,即应先焊对接焊缝,然后再焊接板条与外板的角焊缝,以避免在焊接收缩量大的对接焊缝时板条收到约束,产生过大的焊接应力。同时,在对接焊缝前,应在板条和船底板之间加薄铜片,以保证对接焊缝焊接时,不会造

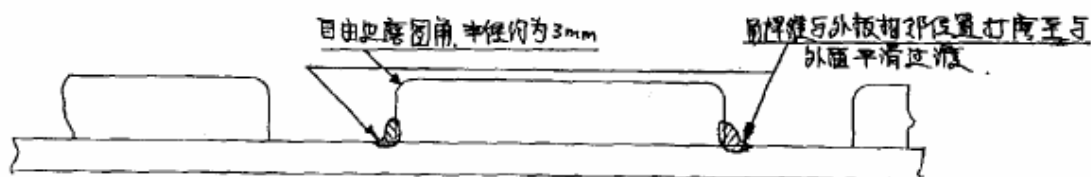
成板条焊缝和船底板粘连，避免过大应力和焊接缺陷留在外板母材上。（从本次修理的情况来看，2002 年在国内换板时，板条和外板之间没有垫铜片）



修理前对覆板条接头焊接进行焊接工艺认可时的照片。

请注意图中的铜片，试验结束后需观察有无对母材损伤。

2. 加强覆板条的自由边形状和与外板的角焊缝形状有特殊工艺要求：本次修理前，仔细查找原日本施工图纸，发现有一份专门描述船底和甲板加强覆板条位置、装配和焊接工艺要求的图纸（见下图）。在该图纸中清楚地标示出加强板条的两侧自由边应打磨成 3mm 的圆角。板条与船底外板的角焊缝在与外板相邻一侧应圆滑过渡（相当于角焊缝剖面与外板侧所成角度应小于  $45^\circ$ ，远低于常规工艺要求的不应大于  $90^\circ$  的要求）。上述规定都是防止因自由边或焊缝上的小缺陷造成局部应力集中，从而成为裂缝的发展源。但从本次现场检查的情况来看，2002 年新换板条的自由边未进行特殊打磨，角焊缝外板侧的过渡也不理想。



3. 在外板上加装加强覆板条的型式应该说对焊接工艺造成了很大的不便。由

于板条对接焊时的起弧和收弧均在板条两侧的自由边附近,常规的工艺应该在焊缝两侧加装引弧板,焊接后切掉并打磨光滑。但现在该轮由于板条的间距很近(100mm),上述工艺无法实现。仅能在焊接时两侧多焊出一段长度,然后磨光滑。如果不注意按照上述工艺施工,则很容易在焊缝靠近自由边的起弧、息弧处留下焊接缺陷,从而成为潜在的裂纹源。而此项工艺要求,只有经验非常丰富和有责任心的焊工才能够实施。

客观上讲,上述特殊工艺措施是在本次海损事故发生后,重新对该部位船体结构修理工艺进行回顾,并且详细查找了船上相关图纸资料和文件的基础上,由资深技术人员集中讨论后才得到的结论。在 2002 年修理时,船厂可能不会系统地注意到上述全部工艺要求。

## 五、 修理方案介绍

明白了覆板条的特殊施工工艺后,本次修理制定修理工艺要求如下:

1. 对加强覆板条对接缝已经开裂位置的修补:采用的是刨开原焊缝,清除裂纹后直接焊接修复的工艺。由于原对接焊缝已经与外板溶合,焊缝金属不能完全清理干净,因此无法按照工艺要求在板条和外板间垫铜片后焊接,可能造成较大内应力或在外板上留下焊接缺陷。彻底修理方法是将对对接焊缝及两侧的板条切除(要求至少 2000mm 长),对原板条对接焊缝位置的外板进行探伤,确认无缺陷后,按照认可的工艺要求装配和焊接加强板条。如果外板母材上发现缺陷,将外板局部割换。(在对接焊以前完成此种类型的焊接工艺认可,见前图)。
2. 本次对 2002 年割换、但目视检查尚未发现表面裂纹的其它位置覆板条:对接焊缝进行了 UT 探查,发现部分焊缝内部有超标的缺陷,需要进行修理。修理工艺按照上述 1 的要求进行。
3. 2002 年进行割换的板条的自由边没有按照图纸要求进行圆角打磨:本次对 Fr.No. 55 和 Fr.No. 59 肋位间左右舷各 3 根板条的自由边进行打磨处理,尤其是对对接焊缝区域的自由边打磨光滑,不能有缺口和其他焊接缺陷。
4. 2002 年板条换新区域内的板条和外板之间的角焊缝成形不理想:按照原施工图纸要求进行修补。除采用打磨的方式外,同时采用小直径焊条在与

外板相邻位置加焊一道的方式，来修补角焊缝剖面形状，使其满足图纸要求。

## 六、 经验总结

1. 对于具有特殊结构型式的船舶，我社检验管理系统中应有特殊工艺控制的提醒。

本案例从一个侧面证明了目前我社结合 VCBP 计划的实施，正在推行单船检验指导书制度是非常正确、而且是非常必要的。近年来，由于船舶设计和建造技术的不断进步，船舶建造时可以达到很高的精度和工艺要求，同时对空船重量的最小化最求，也迫使设计单位减少许用应力方面的裕度，并对建造过程中的装配精度和焊接工艺提出了远高于现行通用标准的要求，以保证其要求的实现。这样就导致了船舶修理过程中，如果修船厂没有按照常规的正确工艺施工（比如肘板等的细节尺寸规定、正确的焊接顺序等），就可能造成修理后船体结构局部的应力水平超出许用值，从而造成结构破坏。甚至即使工厂按照常规工艺施工，而没有注意到单船的高精度特殊要求（如本船加强覆板条在形状和焊接方面的细节要求）。就可能造成结构破坏。

以本船为例，在 02 年修船时，如果没有对该部位船底板和外部加强板条修理特殊工艺的提醒，单靠验船师凭自身的经验，是很难保证所有的特殊工艺要求全部得到落实的。经过对我社目前录入系统的单船检验指导书的学习，我们认为目前的指导书还是以整体上的介绍为主，尚不能细化到类似于本船加强覆板条特殊工艺的提醒这一层面上，需要结合单船特点进行一定程度的细化，以加强对现场验船师的指导意义。同时建议总部建立每艘船舶的修理工艺数据库，对一些特别的工艺要求，建议资源在系统内共享。鼓励现场验船师搜集和整理现场处理时的工艺等技术资料，由总部汇总分类后供验船师参考和学习，给验船师现场检验时适当的提醒和技术支撑。

2. 船舶修理期间对修理工艺的控制。

尽管验船师无法 24 小时在现场监督修船场是否按照正确工艺施工，但验船师有责任提醒船东注意修理工艺方面的要求（如构件尺寸、板材切割和焊接的顺序等）。并且要求工厂将这些工艺要求写入工厂提交给验船师的修船工艺文件中，

尤其是在单船有特殊工艺要求时更应如此。这样可以增强修船厂的责任心和监督，并且一旦在发生问题引起争议时，保护自己，分清责任。

### 3. 对该轮同型船应尽快进行修理和检验史调查。

据向船东了解，该轮还有两艘同型船，仍在船公司管理下营运。如果其同型船的类似区域船底外板也曾作过大范围修理，则很有可能同样存在施工工艺不合理的问题，有必要尽快进行坞内检查，摸清情况，消除隐患。本次检验时已向船东建议尽快安排同类型船舶进坞进行详细检查。对我社内是否还有此种型式的船舶，采用覆板条进行加强，目前还不清楚，建议把此次修理过程向系统内部验船师公开，在碰到类似覆板条经验时做参考。

### 4. 慎重采用覆板条加强工艺。

在甲板上和船底采用纵向覆板条来对总纵强度进行加强，从施工的角度来看，确实难度少，比较容易施工。但往往因焊接装配上工艺处理不到位，一旦存有缺陷就会迅速扩大，带来严重的后果，因此对采用覆板条加强应慎重考虑，特别像本船，采用比原船底板 3 倍板厚的覆板条进行加强，更应慎重。