

海船船体 技术状态的评价

[苏] A. И. 马克西玛吉 等著

胡 万 忱 译
李 传 曦 校

人民交通出版社

海船船体技术状态的评价

〔苏〕 A.И.马克西玛吉 Л.М.别林基 合著
A.C.布里克尔 A.Ю.涅乌戈多夫

胡万忱 译

李传曦 校

人民交通出版社

内 容 简 介

本书介绍了海船船体缺陷检查方面的研究成果以及船体在营运中的典型损伤和故障,论述了评价船体技术状态的现行标准系统,同时适当叙述了确定船体结构修理的合理范围问题。

本书可供修船部门的设计人员以及负责船体技术状态的工作人员阅读,也可供造船系的高年级学生阅读。

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

КОРПУСОВ МОРСКИХ СУДОВ

А.И.МАКСИМАДЖИ Л.М.БЕЛЕНЬКИЙ

А.С.БРИКЕР А.Ю.НЕУГОДОВ

“СУДОСТРОЕНИЕ” 1982

海船船体技术状态的评价

〔苏〕 А.И.马克西玛吉 Л.М.别林基 合著
А.С.布里克ер А.Ю.涅乌戈多夫

胡万忱 译

李传曦 校

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 5.5 字数: 139千

1989年1月 第1版

1989年1月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—700册 定价: 3.20元

前 言

营运船舶船体的技术状态，是将船体检查结果与相应的标准加以比较来评价的。因此，正确运用标准，就可以保证营运船舶船体的可靠性，就可避免在修船时毫无根据地把修理范围定得过大。

船体技术状态的标准和评价方法是个复杂的问题，它主要是以分析船体结构的强度和研究其使用结果为基础的。最近10~15年来，为了解决这一综合问题，已经做了许多工作。提出了评价船体技术状态的新标准资料，利用这些资料，就能更会精确地评价船体的技术状态，就能考虑船舶的许多独特性能以及船体结构和营运缺陷，并能正确地确定为保证船舶在规定营运期间的可靠性所必须进行的修理工作。这些资料在许多方面都是以近几年制定的具有严密科学论据的准则作为基础的。

由于船体的划分比较细致因而更为复杂，运用新的标准来评价船体的技术状态，就要遇到一定的困难。往往只在形式上使用这些标准而对其所依据的原理和研究成果却没有应有的理解，都导致了产生误解，甚至导致作出一些不适当的决策。此外，在任何一个标准资料中，都不可能预先规定出在实际中出现的各种各样的情况。目前，船舶设计人员、修理人员和管理人员，都没有可能详细地熟悉上述各项原则，因为在书刊中，他们只能从零星的文章中得到部分说明。

本书在系统地、综合地阐述船体技术状态评价标准的原则方面，在说明这一方面最重要的研究成果以及概括论证现行的标准系统方面，还是初次尝试。本书可供广大读者阅读。从这本书中，船舶设计人员定能得到有益的信息，以便更易于选择充分考虑了营运要求的最佳结构；修理人员和管理人员则能从中得到帮

助，使他们在是否必须修理的问题上可以作出正确决定，既避免降低船体的可靠性，又避免毫无根据地扩大修理范围。本书也可供造船系高年级学生阅读。

目 录

前言.....	1
第一章 制定船体技术状态标准的原则.....	1
第一节 营运缺陷和制定技术状态评价标准的原则.....	1
第二节 缺陷后果的综合分析.....	6
第二章 为长期营运后的船舶制定船体总强度标准的原 则.....	15
第一节 制定总强度标准的准则.....	15
第二节 船体材料和结构随时间的变化.....	38
第三节 为长期营运后的船体制定总强度标准.....	47
第四节 苏联船舶登记局所制定的影响船体修理范围 的标准文件的完善途径.....	57
第三章 允许磨损标准.....	67
第一节 船体结构的磨损特性.....	67
第二节 船体局部强度的特定测标.....	93
第三节 允许磨损的标准.....	103
第四章 船体结构残余变形标准.....	113
第一节 船体结构因其中出现残余变形而产生损伤的 特性.....	113
第二节 结构残余变形的标准.....	133
参考文献.....	165

第一章 制定船体技术状态标准的原则

第一节 营运缺陷和制定 技术状态评价标准的原则

在营运过程中，船体不可避免地会产生变形。船体的某些缺陷可能产生危险的后果，构成使船体转入危险状态的潜在（或者直接的）威胁，降低船体的可靠性，导致船体营运性能变坏。为了防止这种情况发生，可以定期检查船体，测量缺陷，将测量结果与缺陷最大容许尺寸（标准）加以比较来评定其可容许性，也可采取消除不可容许缺陷（修理）的方法。技术状态的评价是这些工作整体中的一个组成部分，并在于确定船舶在目前营运中船体所具有的缺陷的可容许性。而技术状态评价标准应能保证船体在今后规定的船舶服役期限内具有必要的可靠水平。

一、营 运 缺 陷

船体在船舶营运过程中产生的缺陷包括下面四种类型：磨损、残余变形、结构完整性破坏、其他缺陷。

磨损（船体结构构件尺寸减小，主要是厚度减小）的主要原因是腐蚀损坏、腐蚀和机械磨损。腐蚀性磨损最为普遍。船体技术维修方面的大部分工作量都是与腐蚀性磨损的防止和消除有关的。因此，船体技术状态评价标准中应将容许磨损值加以详细规定。

残余变形（结构原始形状改变）也是营运缺陷中最普遍的一种。它产生的原因之一是大的横向载荷。例如，当系泊时因碰撞作用而使舷侧产生残余变形，呈现出大面积的损伤；在许多干货船、冷藏船和木材运输船上，首端船底因砰击作用而出现大的损

伤；在冰区航行的船舶，因冰的作用而使交变水线区域的舷侧结构常常受到损伤，等等。众所周知，当船舶总纵弯曲时，在各种力的作用下，船底板和甲板板因丧失稳定性而产生残余变形。这类缺陷对内河船舶尤其具有典型性。由于此类缺陷带有普遍性，因此在评价技术状态时，对其规定也相应地要求更为详细。这类缺陷可以分为

(1) 凹陷——外板和甲板板连同它们的骨架一起发生的残余挠曲（见图 1）；

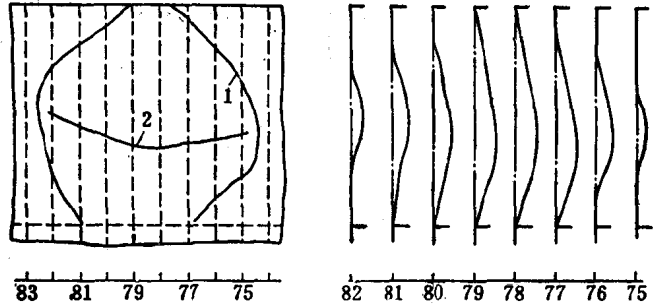


图 1 凹陷
1-凹陷轮廓；2-最大挠曲线

(2) 瘪陷——在两个相邻骨架之间的外板和甲板板的局部区内发生的残余挠曲（见图 2）；

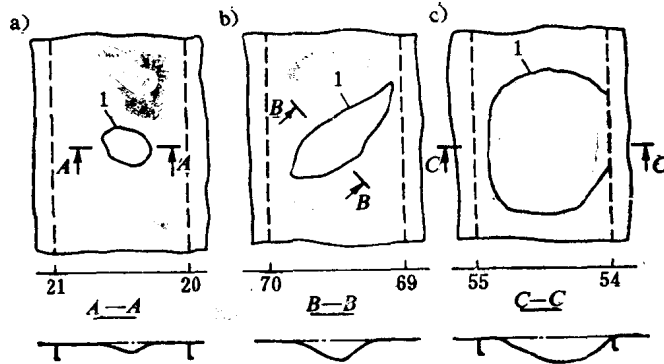


图 2 瘪陷
a)、b) 小的瘪陷；c) 大的瘪陷
1-瘪陷轮廓

(3)凹凸不平——在骨架之间大于两个肋距的较大面积上外板和甲板板发生的残余凹凸变形(见图3)。

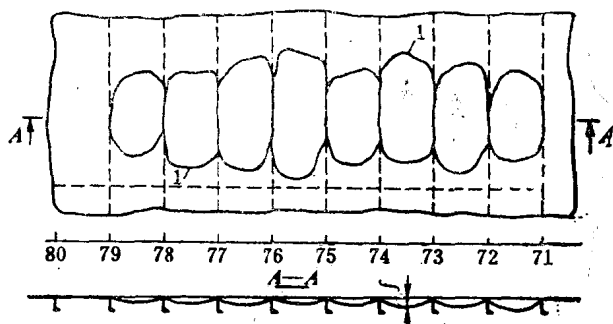


图3 凹凸不平
1-凹凸不平轮廓

结构完整性破坏——(裂缝、缺口、孔洞)是材料产生脆性断裂、疲劳破坏或者韧性断裂的结果。这类缺陷如果出现在保证船舶水密性或者承担强度作用的船体构件中,通常是不允许的,而且应该无条件地加以消除。这时,就产生了如何选择消除破坏的方法的问题,而在大量或者重复出现破坏的情况下,则产生了如何选择防止方法的问题。对于评价具有这类缺陷的结构的技术状态,不要求任何限制性的标准。

影响船舶营运质量或服役期限的船体营运缺陷都属于其他缺陷,如船体污底、油漆剥落、其他防蚀涂层破坏以及压载水舱和饮用水舱沉积盐层等。对这类缺陷都应加以评价,必要时还要加以消除。这项工作属于船舶技术保养范围履行的事项,由技术使用规则加以规定,而按现有实践,在船体技术状态的评价标准文件里不予考虑。

二、规定标准限制值的一般要领和缺陷的影响

当评价船体技术状态时,应该收集一定量的营运缺陷作为原始资料,这些缺陷基本上都应能适当地加以测量和描述。换句话说,必须在定量上评价船舶存在的缺陷,对它们的可容许性作出

判断，查明那些会导致不容许后果的缺陷。在大多数情况下，查明缺陷产生的原因只起着辅助^①作用，详见参考书〔1〕。

因此，船体技术状态评价的任务应该包括：（1）查明并定量地评价已有的缺陷；（2）在指定的服役期限内，根据保证船舶给定的可靠性水平和营运质量条件，确定缺陷的标准限制值；（3）将存在的缺陷与其标准限制值加以比较。

这里所研究的船体缺陷（磨损和残余变形）所可能产生的一切影响，可以归纳成四类：（1）使船体强度降低；（2）破坏船体水密性；（3）使船舶航海性能变坏；（4）有损船舶的外形。

在原则上，对每一类缺陷都必须从它所带来的后果这一观点来进行评价。各种不同的后果会导致数量上以至质量上缺陷的不同限制值。显然，在计算上还是应该取用最严格的限制值，与这种限制值对应的后果称为决定性后果。

可以看出，上述分析方法在原则上仍是结构设计通常所采用的分析方法，在选择结构的尺寸和形状时，应当满足许多要求，而最终的解决方案则由最严格的要求来决定。当然，这是规定限制值的一般要领，而决不是实际评价营运船舶技术状态的方法。

在上述各类缺陷后果中，前两类通常是决定性的，第三类与船舶营运性能的降低（使航海性能变坏）直接有关，而且较难从数量上加以评价。这里所说的是，例如，由于外板的腐蚀性磨损而使船体表面不平滑性增加，由于水下部分的外板存在残余变形而使线型的光顺性受到破坏等，都有可能使航速降低。最困难的是从数量上对缺陷造成的美学后果作出评价。看来，缺陷造成的美学后果只能定性评价，但是就连这种评价也是要受到限制的，这是因为，对于营运船舶还没有根据关于技术美学的现代科学概念明确规定出要求来。

三、修 理 方 法

根据以上所述，就可以对如何选择结构修理方法定出一些原

① 产生缺陷的原因具有重要意义时的情况将在下面研究。

则性的意见。当缺陷的决定性后果的数量特征超越标准限制值时，就必须进行修理。因此，可以把修理看成是消除缺陷，从而消除引起修理必要性的情况的各种措施的综合。由此可见，修理方法取决于缺陷后果的特性。因此，同一结构产生不同的缺陷时，其修理方法可以是不同的；而修理不同结构中的同样缺陷，也需采用不同的修理方法。例如，船体承压构件产生了残余变形，如果并未引起强度严重降低，而只是破坏了船体的外形，那么，这些构件就完全不必更换或者进行矫正。在大多数情况下，采用修理建筑物时所采用的既简单又便宜的“装修”法，是比较合理的。

还应注意问题的另一个方面是，虽然评价技术状态和修理方法两者之间具有密切关系，但是它们之间并不是单一的关系，某一缺陷所引起的同一后果可以用不同的方法来排除。换句话说，评价技术状态的结果只是限制着寻求问题最佳解，即选择最佳修理方法的范围，但并非就可以千篇一律地确定这种方法。

四、缺陷的分类

考虑到上述有关制定船体技术状态评价标准的一般要领要求，下面来研究缺陷的分类。首先应该区分叠加性缺陷和非叠加性缺陷。叠加性缺陷是指一个结构里各种缺陷的总和，其后果是叠加的，形成综合性影响。对这种缺陷，限制标准应是互相联系的。非叠加性缺陷的后果相应地不是叠加的，它们的限制标准不可能是互相联系的。叠加性缺陷的例子是船体中部甲板板和纵向骨架的磨损。这种缺陷也减少了等值梁上部面板的横截面积，因而减少了它的剖面模数，从而使总纵弯曲应力增加。因此，为了评价叠加性缺陷，应该使用统一的标准，它既包括甲板板的磨损特征，又包括甲板骨架的磨损特征（见第二章）。

还必须将缺陷分为扩展性的和非扩展性的两种。扩展性缺陷是指在船舶营运过程中其尺寸有所增大，其后果相应加重的一类缺陷。非扩展性缺陷的尺寸和后果可认为是不变的。扩展性缺陷的例子有腐蚀性磨损，它在船舶营运过程中会发展并使结构构件变

薄。另一个扩展性缺陷是舷侧外板因系泊时的撞击而产生的凹凸不平。船舶在整个服役期间要经常地进行系泊作业；系泊时产生的载荷多次作用在舷侧结构上，因而使凹凸不平的挠曲逐渐地增加。

规定扩展性和非扩展性缺陷的标准，其方法应是不同的。如果非扩展性缺陷的参数未超过标准限制值的范围，则不需要进行修理，具有这种缺陷的船舶，原则上是可以营运的，不受时间的限制。对扩展性缺陷而言，在同样情况下，缺陷参数就有可能随着时间超出标准限制值范围之外。因此，标准里应该以某种形式规定出缺陷的增长速度，这样才有可能确定带有这种缺陷的结构的使用期限。

当评价缺陷的增长速度时，关键是要找到缺陷产生和发展的原因。了解产生缺陷的原因也是很重要的。有了这种了解，就可以把船舶正常营运时必然要产生的缺陷（营运缺陷），同船舶设计过程中因结构计算错误和船舶建造工艺不完善而产生的缺陷区别开来。对于结构缺点引起的缺陷，进行修理时不仅需要消除缺陷的后果，而且要对结构作出重大改变，以便消除结构的缺点，从而消除缺陷产生的原因。否则，就不可能排除缺陷重新出现的危险性。上面指的是船舶结构中出现的为数众多的裂缝，以及某些残余变形（强度削弱的结果）和腐蚀性磨损增加（例如因结构形式不良而造成结构积水，或者因防蚀层失效）。

第二节 缺陷后果的综合分析

一、磨 损

根据上节叙述的规定船体技术状态评价标准的要领，现在来分析船体磨损的影响。我们先来研究对船舶外观造成的影响。这类影响是由于磨损而使船舶外形变坏，一般用涂刷油漆即可很容易地消除，而且在选定磨损标准限制值时，显然不是决定性的影响。

磨损对船舶航海性能的影响仅仅表现在拖曳阻力的增加上，因为当船舶水下部分的外板遭受腐蚀损坏时，其粗糙度增加了。这里决定的因素是磨损表面轮廓形状的特征。研究表明，对于高速内河船来说，这个因素是非常重要的；对于海洋运输船和渔船来说，在目前的特征航速下，它并不具有决定性意义。

下面来研究磨损使船体水密性遭到破坏的危险。为了评价水密性，必须研究磨损的速度（见第三章）。在25~30年船舶营运期间，平均磨损为2.5~7.0mm。这个值小于船体主要构件的厚度。在腐蚀斑处，腐蚀的平均速度更快，然而外板上未必会造成大量腐蚀斑。当然，在某些腐蚀斑的地方磨损速度会是很快的，这就使船体出现小孔，使水密性遭致破坏。但是漏水的威胁在这里可采取焊补腐蚀斑的方式加以消除，或者将具有最深腐蚀斑的一小部分外板更换掉。

因此，为了避免水密性被破坏的危险，只需对腐蚀斑处外板的剩余厚度定出限制标准。但是就整体而言，对于磨损来说，腐蚀斑之类的影响很少是有决定性的。决定采用磨损限制标准的主要还是强度方面的影响。

二、磨损对强度的影响

为了评价磨损对强度的影响，需要详细说明已磨损结构上产生的各种变化。属于这些变化的有：（1）结构截面面积的总减少量；（2）与构件尺寸相比，结构在相应面积上的变薄量（局部磨损）；（3）小范围内的结构构件变薄量（局部磨损）；（4）腐蚀性磨损使材料的机械性能改变。

结构构件截面面积因磨损而减少的结果，导致其中的应力增加，并使结构的承载能力和刚度降低。为了近似地估价此种效果，在计算中可用光滑表面的构件代替磨损造成的不光洁表面的构件。后者的厚度（有效厚度）应该根据以下条件来选择：在被分析的效果方面，它们与前者是等效的。在制定磨损标准的实践中，常常采用结构已磨损构件的平均厚度，即按一系列点上测量

的实际厚度求出的算术平均值作为有效厚度（见第三章）。利用有效厚度来评价已磨损结构强度的方法，与设计评价结构强度的方法是一样的。

局部磨损会削弱结构构件，因此应该给予评价并加以规定。例如，在以肋骨间距为单位计算的某区间内，外板的磨损增加时，有时会使其中因横向载荷产生的弯曲而造成局部应力显著地增加。为了近似地评价此种效果，也可以采用平均厚度的概念，用一般的方法来研究两骨架之间外板平板的弯曲，并相应找出外板容许的局部变薄程度。

局部磨损与腐蚀的穴状特性有关，它会使结构中出现大量小范围的应力集中。理论和试验估算表明，腐蚀斑处的集中系数值为2~2.5，这时的集中可以与结构中存在有焊缝、小的结构缺陷和工艺缺陷以及非同类材料时的集中相比拟。在营运船舶的结构中，并未发现由于穴状磨损而产生大量裂缝。因此在制定限制标准时，不必考虑这种磨损影响。

有关腐蚀性磨损对船体材料机械性能的影响的报导，可惜很不一致。但应注意到，第一，对于一定牌号的钢来说， σ_T 、 σ_B 和 δ 都是非常容易变化的随机量。因此，为了保证有可能进行统计，必须要有关于船体材料试件的大量试验数据。严格地说，这里应该比较上述各项数值分布统计规律的参数。第二，众所周知， σ_T 、 σ_B 和 δ 是材料强度和塑性极限的假定性特性；只有在用标准试件进行试验的条件下，才能保证这些特性得到使用和相互比较。对标准试件来说，不仅要规定它的尺寸，还要规定其表面的加工光洁度。在用腐蚀损伤的材料制造标准试件时，要将腐蚀损坏的表面层清除掉。但此时不能判断腐蚀对材料机械性能的影响。如果是用表面上具有腐蚀损坏的非标准试件来试验，这就难以清楚地判定所得到的结果的决定因素是什么，是试件的腐蚀呢，还是表面不平整（应力集中）呢？所有上述情况都不允许作出有关腐蚀性磨损对材料机械性能影响的确切结论，并在制定限制标准时，难以直接考虑此种磨损的影响。

三、结构已磨损构件的最小厚度

制定磨损标准中一个特有的问题是确定已磨损结构的最小厚度。在规定新结构的尺寸时，采用了类似参数，即最小的建造厚度^[28]。最小建造厚度的标准，实际上是完全以在船舶设计、建造和营运中所积累的经验为基础的。这些标准考虑了必要的磨损裕量，考虑了计算中未估计到的外载荷对结构的作用，也考虑了工艺和心理上的因素以及结构的制造质量等。显然，在解决结构是否可以继续参加营运的问题时，上述内容对于已磨损的结构也是应当适用的。因此，用适当方式把最小建造厚度标准与磨损结构最小厚度标准联系起来就是很自然的了。

当消除决定性磨损影响的唯一办法是增加厚度时，即用更厚的构件来更换结构中的磨损构件时，我们就认为此种磨损结构的厚度是最小的。采用类似处理方法的可能性，可以用确定小型和中型渔船舷侧外板磨损后最小厚度的例子来加以说明^[4]。外板在承受船舶总纵弯曲引起的剪力以及水压力（骨架之间外板的弯曲以及外板连同骨架一起弯曲）时所规定的强度计算，在这里是揭示不出实际限制标准的。例如，对中型拖网渔船（垂线间长 $L = 35 \sim 40\text{m}$ ，排水量 $D = 400 \sim 500\text{t}$ ，船体中部舷侧外板建造厚度为 8mm ），根据计算，舷侧外板平均厚度为 3mm 时就能够完全承受总纵弯曲引起的剪力；外板厚度为 2mm 时就能够安全承受水压力。但在实际营运条件下，外板除了参与总纵弯曲和承受水压力外，还应承受住各种偶然载荷的作用。这些载荷的作用力越是集中，外板破坏的危险性就越大。由于渔船在海上要进行大量的系泊作业，根据渔业组织公布的图表，集中力作用在渔船外板上的概率是相当大的。在所研究的船舶舷侧外板上产生了为数不少的瘪陷缺陷就证明了这一点。小瘪陷的变形区域远小于肋骨间距，而且只在接近于集中力的作用下才会产生这种瘪陷。

为了评价引起外板破坏的载荷，可以利用承受集中力作用并在塑性变形发展阶段工作的平板弯曲理论来解决，也可利用试验

资料〔2〕。利用有关舷侧外板上小范围瘪陷的资料以及上面提到的决定瘪陷范围与作用力（该力的作用引起了此种瘪陷现象）之间的关系的理论解，则作用在舷侧结构上的外载荷是不难确定的。利用现存的大量原始资料可以得到外载荷这种随机量的统计特征，随后则可相应地选出计算载荷值。

还有另外一种方法。为了确定计算载荷，可以利用关于不存在由集中力作用引起的舷侧骨架损伤的报导。在这种情况下，作用在外板上的载荷较之引起骨架损伤的载荷小些。后者是利用极限平衡原理法通过计算来确定的，正象近期的研究所指出的〔8〕，证明是完全正确的。根据上述评价所进行的计算可以找出磨损的实际限制值。在已磨损外板平均厚度为4.3mm的条件下，可得到中型拖网渔船外板在溃损处的极限允许厚度为3.5mm。这些标准已被使用了十多年，并证明效果很好。

所研究问题的特点是，舷侧外板磨损后的决定性后果是其受偶然性集中力作用时的强度。使外板产生破坏的力，实际上只与外板厚度和材料的机械性能有关〔2〕，而肋骨间距没有影响。这就是说，外板的扶强材在这种情况下不能增加它的强度，从而相应地消除磨损的决定性后果。在这里唯一的办法是增加外板厚度，因此根据这样探明的标准，已磨损外板的厚度便是最小的。

四、残余变形主要后果的评价

船舶外形的损坏（美学的后果），通常是与舷侧水上部分和上层建筑等结构的残余变形相联系的。这些后果基本上都可能成为决定性的，并能引起很大的修理工作量。但是目前对营运船舶还没有明文规定的美学上的要求，也缺乏应对结构残余变形选择哪种“装修”方法的建议。对于残余变形起决定性作用的是美学的后果。关于是否必须消除美学后果的评价以及“装修”方法的选择，均提供给船东及其船舶营运监督部门酌定。

由于残余变形损坏了型线的形状，因此它对船舶航海性能的影响，表现为船舶拖曳阻力增加。如果在船的水下部分，在四分

之一船长的首部范围内（该处边界水层甚薄）出现这种损坏，那么后果可能是严重的。根据试验结果，结构残余变形会造成型线出现波纹，而由此引起的阻力变化取决于参数 f/λ 和 Ω_n/Ω ，这里 f 为外板在损伤区域内的最大挠度； λ 为沿水线上的损伤长度； Ω_n 为船舶水下部分损伤的总面积； Ω 为船体湿表面积。

参数值 f/λ 对瘪陷有着重要影响，而 Ω_n/Ω 值显然很小，它对阻力的影响并不明显。对于凹陷，获得类似结果的情况与此相反，即对它们起重要影响的是 Ω_n/Ω 值，而 f/λ 的影响则很小。因此，在确定所研究的后果时，分析的对象应该仅仅是凹凸不平。无论是在制定造船时的外板凹凸不平的公差，还是在处理有关技术状态的问题中，对于凹凸不平对拖曳阻力的影响都要给予多次评价。如果外板凹凸不平在首端包括的面积很大，且主要对于高速船舶来说，上述影响可能是相当大的。在目前现有的航速、船体结构损伤程度和已经形成的营运条件下，对于海上运输船和渔船来说，所讨论的凹凸不平的影响，并不能用来决定它的限制标准。但是这并不是说凹凸不平的影响根本不应予以注意。

船体的水密性因残余变形而遭受破坏的危险程度，与残余变形造成结构破坏的威胁是一样的，但是结构破坏总是表明结构强度已经耗尽。因此在这种情况下，水密性破坏的危险性是残余变形派生的后果，它是强度破坏的结果。防止了此种影响，我们就同时解决了这两个问题。

由以上所述可以得出结论，在评价海上运输船和渔船船体的技术状态并考虑其结构的残余变形时，用以作为决定性影响的只能是它的强度影响。

五、残余变形对强度的影响

为了评价残余变形对强度的影响，下面来研究残余变形出现后所引起的两种主要变化：在损伤区里结构形状的改变和结构材料机械性能的变化。