

船体钢

[苏联] С. С. 康斯坦 著
刘超群 王祖滨 等 译

中国工业出版社

船 体 钢

〔苏联〕C. C. 康福尔 著

刘福魁 王祖滨 等 译

刘嘉禾校阅

中国工业出版社

书中叙述了苏联和国外生产的各种牌号的造船用碳素和低合金船体钢的性能、成分和应用范围。对于各个物理机械性能的相互关系以及各种外界和内在因素对它们影响的问题给予了巨大注意。详细分析了焊接船体钢的变形能力、脆性断裂抗力和其他重要性能。

本书供从事碳素和低合金建筑钢金属学方面工作的造船工业和其他工业部门的工程技术人员和科学研究人员阅读。

本书由刘福魁、王祖滨、高占芳、章洪涛、喻肇坤等集体翻译。具体分工情况如下：刘福魁——第二、第六、第九章，王祖滨——前言、第一、第七章，章洪涛——第四章，喻肇坤——第八章，高占芳与刘福魁——第三章，高占芳与王祖滨——第五章。全书由刘嘉禾校阅。

С.С. Канфор
КОРПУСНАЯ СТАЛЬ
СУДПРОМГИЗ Ленинград 1960

* * *

船 体 钢

刘福魁 王祖滨 等 译

刘嘉禾 校阅

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑（北京灯市口71号）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $11 \frac{1}{2}$ ·字数268,000

1965年7月北京第一版·1965年7月北京第一次印刷

印数0001—1,610·定价（科六）1.60元

*

统一书号：15165·3972（冶金 618）

前 言

能滿足現代造船工業提出的一系列複雜要求的最優質的碳素鋼和低合金鋼，屬於船體鋼之列。

隨著造船工業的發展，對於新設計的船隻，無論在船體強度方面，或者為保證較高的航行速度、增加運載量、航行自給力以及其他操作技術指標方面的要求都改變了，如果不改進基本的船體材料——鋼，這種改變則是不可能的。因而需要採用較高強度的，並且具有足夠變形能力和脆性破斷抗力的鋼種。在以廣泛應用焊接為特征的造船工業的現代發展階段，船體材料的上述性能就具有特別重要的意義。必須進行一系列廣泛和長期的科學研究工作來探討焊接船隻失事和損壞的原因，以及找尋比較全面地符合改變了的條件和要求的船體鋼的新鋼種。上述情況也就決定了本書的內容。

提請讀者注意的是，本書不是關於船體鋼的教學參考書或者手冊。作者給自己提出了另外的任務——將蘇聯和國外進行的有關船體鋼的某些研究結果加以系統化，並予以批判分析。

在所掌握的資料範圍內研究了在建造和使用船隻時採用碳素鋼和低合金鋼的經驗。大部份注意力放在制定和論證現代造船工業對船體鋼的化學成分、機械性能和工藝質量所提出的綜合要求。

書中也闡述了某些涉及船體鋼的合金化原理和生產條件的問題。

在敘述船體鋼的研究結果時，對於金屬在焊接的船體結構組成中受力時強度性能和變形能力的相互關係、外界和內在因素對鋼的性能的影響給予了很大注意。于此，根據現代金屬學和金屬物理以及建造和使用船隻的經驗，對許多問題的說法，與文獻中常見的及比較流行的說法是有某些不同的。這樣可以更好地分析鋼

IV

的强度、范性的本质，特别是冷脆性的本质。考虑到鋼的这些性能的重要实际意义，作者认为，书中列举的某些新的資料和見解对解决在选择用于焊接結構的鋼种时和判断金属在使用条件下各种情况的行为时所經常发生的問題将是有益的。

上述的問題無論对船体鋼或者对另外用途的其他鋼种在很大程度上都是共同的，所以作者相信，本书不仅对船体建造者，而且对其他工业部門的工作人員也将是有益的。

作者向 Э.Я.沃洛維爾斯基（Воловельский）和 А.П.伊万諾夫（Иванов）表示謝意，他們曾和作者一起完成了本书中列举的一些結論所依据的許多試驗。

目 录

前 言

第一章 焊接的应用和它对船体钢发展的影响	1
§ 1. 船体用钢使用的历史概述	1
§ 2. 焊接在造船工业中的应用	5
§ 3. 焊接船只失事的原因和情况	11
§ 4. 国外采用的判定船体钢脆性倾向的方法和某些 研究结果	18
第二章 外国船体钢的化学成份及性能	31
§ 5. 碳素钢	31
§ 6. 低合金钢	44
第三章 对船体钢的现代要求	59
§ 7. 制定苏联生产的船体钢技术要求的必要性	59
§ 8. 对船体钢的要求	62
第四章 碳素船体钢	78
§ 9. 碳素船体钢的牌号	78
§ 10. 碳素钢的基本类型——沸腾钢、半镇静钢和镇静钢	81
§ 11. 氧气的影响	83
§ 12. 脱氧对晶粒度及钢的性能的影响	84
§ 13. 机械时效	87
§ 14. 钢的冶炼质量	89
§ 15. 各种元素对碳素钢性能的影响	90
§ 16. 某些船舶船体钢的化学成分和性能的研究、 裂纹形成的特点	96
§ 17. 探讨碳素船体钢性能的科研工作	105
§ 18. 碳素船体钢应用的限制	118
§ 19. 提高碳素船体钢质量的措施	119
第五章 低合金焊接船体钢	121

V

§ 20. 旧牌号的船体鋼—30Г 和 20Г2.....	121
§ 21. 新牌号的低合金焊接船体鋼	122
§ 22. CXJI-1、CXJI-4 和 MC-1 牌号鋼	123
§ 23. CXJI-4 和 MC-1 牌号鋼与 CXJI-1 牌号鋼的比較.....	125
§ 24. 09Г2 牌 号 鋼	126
§ 25. M 和 MK 牌 号 鋼.....	127
§ 26. CXJI-45 和 KC 牌 号 鋼	129
§ 27. 热弯	130
§ 28. 切割的条件、冷弯和矫直	131
§ 29. 可焊性和焊接条件	131

第六章 形变能力与物理——机械性能的

相互关系的研究	134
§ 30. 范性及其与其它性能的关系	134
§ 31. 弯曲时的范性与拉伸时的范性指标間的相互关系	144
§ 32. 尺寸因素对寬試样弯曲及試样断口檢驗結果的影响	148
§ 33. 形变能力及其与韌性的关系。均匀延伸的作用	157
§ 34. 比值 σ_T/σ_B 的作用.....	170
§ 35. 鋼的韌性及其基准	172
§ 36. 鋼的韌性与各种因素的关系	174

第七章 各种因素对鋼的物理机械性能——特别是冷脆倾向

性——的影响.....	237
§ 37. 現有关于鋼冷脆原因的各种观点	237
§ 38. 影响鋼的冷脆性的因素	245
§ 39. 溫度降低时鋼的脆化机理	266
§ 40. 氢对船体鋼和焊縫金属性能以及鋼的某些缺陷的 产生的影响分析	275
§ 41. 鋼的化学和組織的不均匀性的作用	289
§ 42. 冷范性形变的影响	290
§ 43. 淬火和随后回火的影响	293
§ 44. 化学成分和其他因素的影响	298
§ 45. 《缺陷》及其对鋼的破断性质的影响	312

第八章 船体鋼的驗收試驗問題

317

§ 46. 鋼的供应技术条件的改变	317
§ 47. 在修正鋼的供应技术条件方面采取的措施	321
第九章 船体用鋼的选择	336
§ 48. 高强度鋼的应用	336
参考文献	346

第一章 焊接的应用和它对船体鋼发展的影响

§ 1. 船体用鋼使用的历史概述

在最近两个世紀期間，造船的发展在一定程度上是和冶金生产的进展相适应的。如所周知，現代煉鋼方法的先驅是以在攪拌炉底上經過稠糊状态阶段而获得鋼为基础的攪拌法。在1784年提出的攪拌法很快地排挤了那时以前所采用的熟鉄生产法，并且于1819年，在格拉斯哥城（苏格兰）用攪拌鉄建成了第一艘《火山》号金属船。

在上世紀的60—70年代，攪拌鉄让位給貝塞麦鋼，稍迟以后，又让位給平炉鋼。已知^[298]，早在1863年，貝塞麦鋼板就第一次用在造船上，按貝塞麦本人宣称，到1865年用此鋼已經建成了不少于六条，总排水量为5000吨的船。

如本涅特(Bennet)所指出^[302]^[335]，英国劳埃德(Ллойд)船舶登記局于1877年規定了驗收規則并确定了对平炉鋼的要求，这些要求好多年几乎没有改变^[366]^[368]。根据这些要求，当从厚度为10毫米和更厚鋼板上取长度为200毫米的試样进行檢驗时，鋼应具有瞬时抗力41—50公斤/毫米²和延伸率不小于20%。对于比較薄的板，延伸率規定为16%。造船碳素鋼的平均化学成分为：碳0.2%、錳0.75%、硅0.15%、硫0.05%和磷0.05%。

上述要求（从現代观点看来是相当低的）对那个时代来说是极严格的，于是在造船鋼的生产中，貝塞麦生产方法很快地即被能够滿足对鋼的較高质量要求的酸性或碱性平炉方法所代替。

其他国家船体鋼的生产也经历了类似的情况。

劳埃德船舶登記局的总驗船师馬尔特尔(Мартелл)^[298]于1879年談到新材料的优越性时指出，在滿足瞬时抗力为44—50公斤/毫米²的标准的条件下，商船协会允許將鋼制构件的标准尺

寸比用攪拌鉄制的构件减少 20%。但是这仍不能完全满足造船者的要求。

实际上, 虽然在过去几十年内絕大多数船只是用普通碳素鋼建造的, 但是从 1898 年就已试图采用低合金較高强度鋼了。这些尝试緣由于舰船尺寸的增大和力图使船只具有更高的使用质量, 从而造船工业不得不向船体鋼的强度性能提出愈来愈高的要求。

如果最早提高造船鋼的强度是用提高碳含量来达到的, 那么以后为了在高的强度时还要有高的范性的企图則迫使采用合金鋼。一般說来, 关于使用合金鋼来造船的报导是相当貧乏的, 所能見到的主要是以个别索引的形式分散在造船杂志的一些文章中。

早在 1899 年, 法国曾建造了排水量为 8948 吨的巡洋舰《亨利第四》。在建造它时, 曾使用了 400—500 吨瞬时抗力为 60 公斤/毫米²和延伸率仅 9—15% 的鉻合金鋼 (約 1.3% 鉻) [302] [306]。1906 年, 还是在法国, 当建造《Прованс》船时, 在船体的上面部份曾使用了較高强度鋼 ($\sigma_B = 55—62$ 公斤/毫米²), 并且減輕了 250 吨重量 [302]。

1907 年英国曾建造了两艘排水量各为 36840 吨的《Лузитания》和《Мавритания》船, 其上甲板和船体中部的舷側頂列板是用含 0.30—0.33% C, 小于 1.25% Si 和小于 1.0% Mn 的硅鋼制造的。此鋼具有瞬时抗力 53—60 公斤/毫米²和屈服极限 31.5 公斤/毫米²。由于使用它重量減輕了約 10% [302] [307]。瑞尔列特 (Жиллет) 指出, 这种鋼的 $\sigma_T = 43.6—47.0$ 和 $\sigma_B = 63.0—74.0$ 公斤/毫米², 而 $\delta_4 = 25—30\%$ [22], 并且后面的資料是比較可靠的。应该指出, 当建造《Левиафан》和《Олимпик》船时 (几年以后) 又采用了一般的軟鋼; 这可作如下解释, 即在純硅鋼的生产和使用中发现了它的严重缺点: 鋼錠中出現很深的縮孔; 軋制时对加热制度敏感; 由于变形抗力高, 薄板軋制复杂; 在一张鋼板范围内机械性能不均匀和性能随厚度不同而有很大变化; 校直困难; 有脆性傾向; 腐蝕稳定性較差 [424]。

往后，在英国《Прометей》(1923年)和《Эврибейтс》(1928年)船是用較高强度鋼建成的，其机械性能是靠准确地遵守既定的軋制规范来保证的。此鋼具有比例极限 25—27 公斤/毫米²，瞬时抗力 47—55 公斤/毫米²，延伸率 20% (标距长度 200 毫米)。此鋼的价格比碳素鋼高 25%，但是由于它的使用船体重量減輕了 10%，并且保证載重量增加了 250 吨 [302][286][407]。当 1929 年建造《Вулкания》船时也采用了較高强度鋼(甲板 A、B 和 C，船体长度的 60%)，它使重量減輕了 400 吨 [287][302]。在《Эмпресс оф Бритн》船上的游步甲板和甲板 A，在船体长度的 70% 也是用較高强度鋼作成的 [288][302]。

1928 年德国曾大量采用具有 $\sigma_B = 52-60$ 和 $\sigma_T = 36$ 公斤/毫米² 以及延伸率超过 20% 的鋼建成了《Бремен》船 (5186 吨)。此鋼用于制造船体載重最大的部份，包括直的和弯曲不大的甲板和船底板，舷側頂列板和纵向构架的主要构件。鉚釘孔不是冲的，而是钻成的；对經剪切机切割后的鋼板側边曾加以鉋平；在建造过程中禁止将鋼加热。这种鋼总共使用了 7000 吨，它使船体重量減輕了 800 吨 (10—20%) [302][424]。現有資料証明这种鋼有热敏感性和冷作硬化傾向，但是它曾被使用，而且看来不是沒有成效的。較高强度鋼的优越性在建造《Монарк оф Бермуда》船时也得到了利用。

法国在建造排水量 67500 吨的《Нормандия》邮船时 (1935 年) 部份地采用了 $\sigma_B = 58-65$ 公斤/毫米² (按 [326] 的資料, $\sigma_B = 50.5-71$ 公斤/毫米²) 和延伸率为 16% 的硅鋼。重为 30000 吨的船体基本上是用普通鋼 ($\sigma_B = 41-49$ 公斤/毫米²) 制造的，但大約 5000 吨的上述特殊硅鋼的鋼板被用在加强甲板、舷側頂列板、船底板 (到艀部)、双层底、舷上部以及构架纵梁的結構中。从而，減輕了重量約 1000 吨。其特点是，特殊鋼的鋼板只用在零件不需經過弯曲的那些地方 [302][326][408]。

在三十年代初，美国曾完成了为美国航运局和劳埃德船舶登記局所核准的邮船 (U.S. Lines) 的设计。设计中规定采用 7800

吨保証 $\sigma_B = 64$ 和 $\sigma_T = 37$ 公斤/毫米² 及延伸率 20% (标距长度 200 毫米) 的镍鋼 (約 2.5%Ni, 低碳含量)。預定用此鋼制作船体上部的零件、甲板 B、上层建筑、船底(包括水平龙骨)等^[302]。在《Куин Мери》(英国) 上曾采用了具有 $\sigma_B = 50$ 公斤/毫米²、比例极限为 25 公斤/毫米² 和延伸率为 20% 的鋼; 此鋼仅用来制作船的上层甲板。

在二次世界大战后的最初几年, 远洋邮輪的建造几乎停止^[136]。以后, 于 1952 年在美国建成了《Соединенные Штаты》邮輪, 而近年来, 有一系列排水量为 30000—35000 吨的客船下水。像《Франс》(55000 吨, 法国)、《Орания》(40000 吨, 英国)、《Холланд》(37000 吨, 美国) 和其他邮輪的建造正在結束。国外刊物宣称, 在《Verolme United Schipyards》造船厂建造了总容量为 118000 登記吨、航速为 35 海浬的超級橫渡大西洋邮輪^[391]。

无疑的, 建造所有这些船的船体, 在不同程度上均使用了高强度鋼, 有关这些鋼的資料将在下面列举。

現代造船业不但在建造邮船时采用焊接性好的高强度鋼。西德在建造长度超过 150 米的油船以及客船时也使用了 $\sigma_T = 40—45$ 公斤/毫米² 的 HSB 型鋼。

高强度鋼对建造油船的意义是十分巨大的, 因为造船业的这一部門在战后时期获得了特別迅速的发展; 已开始建造 30000—40000 吨和更大載重量的油船来代替战前載重量不超过 15000—18000 吨的油船。在刊物^{[328], [343], [364], [373], [377], [396]—[398]}中列举了近九年来国外建成的高載重的油船的某些資料。还有更新的有关油船載重量增加的資料。

在上述文献中所列举的油船載重值 (45000—104500 吨) 并不是极限。已提出了建造載重 500,000 吨的巨型油船的問題, 并且在英国已完成了这种船的計算和模型試驗。自然, 为建造如此巨大尺寸的船体选择鋼的問題是极其重要的。

在軍用舰艇制造中合金鋼的使用长时期以来几乎完全局限于

采用镍钢。如早在 1895 年，俄国向英国 Япроу 公司訂制反魚雷艇（《Сокол》号），在建造它时曾采用了含 0.2—0.3% C 的 3.5% 镍钢。此钢的瞬时抗力为 60—65 公斤/毫米²；屈服极限不低于 36 公斤/毫米²，延伸率不低于 18%。在上世紀末，俄国曾按这种样式用镍钢建造了 10 艘軍舰。监督建造这些軍舰的 И. Н. 沃斯科列先斯基（Воскресенский）教授指出，当此钢加工时沒有发现任何生产性质的困难。这是第一次采用合金钢来制作軍舰船体的加强构件。以后，在俄国海軍中經常地采用高强度钢。

在 1909—1910 年間，奥布霍夫工厂供应俄国軍舰建造工厂一級标准的 2—3% 镍钢。按照海軍部技术条件全集，所謂一級高抗力的钢在供应状态下应保証以下机械性能： $\sigma_B = 60—78$ 公斤/毫米²， $\sigma_T = 36$ 公斤/毫米²； σ_T/σ_B 之比不大于 75%；延伸率（ δ_{10} ）不低于 18%；冷状态下繞直径等于钢板厚度三倍（ $d=3a$ ）的心軸弯曲 180°。钢的化学成份沒有預先指明，可由承制厂自由选择；实际上采用了镍钢，而以后（主要地）——用锰钢，它們用在制作軍舰最重要部位的铆接结构中。镍钢稳固地进入了軍用舰艇的制造，并且在 1914—1918 年大战以前还相当广泛地采用，而在意大利一直用到 1941 年^[22]。

在第一次世界大战以前时期得到最广泛使用的钢，在英国中有中锰钢《Адмиралти-D》，在德国有 St-52KM，在美国有锰钒钢等等。造船业中焊接的广泛采用对船体钢的繼續发展产生了极强烈的影响。

§ 2. 焊接在造船工业中的应用

早在上世紀的八十年代，俄罗斯发明家 Н. Н. 別那尔多斯（Бенардос）和 Н. Г. 斯拉夫亚諾夫（Славянов）通过自己的努力，首先研究成功了金属的电弧焊接方法；但是仅在伟大的十月社会主义革命以后，在第一个五年計劃时期，在苏联工业中才广泛地采用焊接。

焊接在苏联发展的情况可以用下面資料來說明^[206]。如果

在第一个五年计划开始前（1928年10月），苏联的电焊机的数目不超过1000台，则到第三个五年计划中期（1940—1941年间）已超过10万台，至于焊工队伍则增长到15—16万人。

在第二次世界大战结束后的时期中，焊接得到了极迅速的发展，目前，大多数钢结构是用焊接方法制作的。

目前，焊接几乎完全排挤了较不经济的、在整个十九世纪和在二十世纪初期采用的铆接，尽管铆接接头被认为是极其可靠的。目前在桥梁建造中，当制造一系列重型结构和使用焊接性差的钢时，仍还使用铆接〔74〕〔268〕。

焊接的优越性表现于节约金属，减少劳动量和简化工作。采用焊接还可以比较合理地解决现代生产的许多设计和工艺任务。Н.О. 奥凯尔别尔（Окербел）最全面地和最有根据地确定了焊接的特点〔159〕〔160〕。

苏联工业中最早估价到焊接优越性的先进部门之一就是造船工业。早在1920年，苏联就在船舶修理中开始采用焊接。苏联焊接发展的历史在一系列著作〔28〕中已有详细叙述。

目前，所有船只的船体都是以自动焊、手工和半自动焊全部用焊接方法制成的。

运用焊接的成就在很大程度上决定于焊接工艺的制定和焊接性良好的船体钢的出现。关于碳素船体钢的研究和用于造船的低合金较高强度和高强度钢的创制，曾进行了许多工作（这些工作的结果在下面叙述）。正如其他技术部门一样，在造船业中采用焊接带来了许多复杂情况和困难，并且提出了许多各式各样的问题，这些问题必须靠设计者、冶金工作者和工艺师的共同努力来解决。意义最重大的是关于焊接结构，首先是焊接船体的脆性破坏的原因，和防止焊接结构使用时发生事故的措施问题。在国外，主要在美国，焊接船只的脆性破坏事故具有特别尖锐的形式和普遍的性质。

虽然早在1903年焊接就被专业公司允许用于船只的修理工作〔28〕，但在国外造船工业中，其应用得到特别的发展还是近30—

35年的事。

关于建造全焊船只的问题，是在第一次世界大战期间，由美国造船委员会首先提出的〔290〕。曾提出下列理由作为采用焊接的根据：减轻重量；可以在车间里预制大型的分段，从而提高船台的装配能力；不需要相当数量的熟练铆工。但是，当时亦同时指出，建造铆接船只的工厂在设备上和焊接工艺过程不相适应，这样就不可能使这种新方法的全部优越性很快地实现。

曾设计了焊接船体的汽船（长约122米、宽165米、吃水10米），但它没有建成。

1919年，美国创立了焊接工作者协会，它的经常任务之一就是將焊接运用到造船工业中去。当然，焊接最初是用在排水量不大的船上，首先建造了大量的载油驳船。到1934年，在美国下水的最大的完全焊接的《Пафкиплис Сокопи》船具有1250吨载重量。在1937—1938年间建造的全焊船已经是较大排水量和各种用途的了（譬如，Грин Айленд 和 Норфолк〔284〕——载重3200吨，大西洋沿岸航线的双推进器内燃机船；《Паратек》——容量3000米³的油船，以及甚至——这是唯一的情况——排水量23900吨的大型油船〔285〕）。到1938年末，在美国商船队列中已经有数百艘焊接船只。

第二次世界大战时期，《自由号》和《胜利号》型船只的大量建造，尽管还有一系列困难，它却意味着焊接在造船工业中的完全胜利。于此，美国作者依旧认为，提高船台的生产率，大量减少船体重量（对于小船达10—15%，对于大船达5—7%）以及可以用较不熟练工人工作是广泛采用焊接的主要原因〔392〕。

类似的广泛运用焊接的过程也发生在其他国家中，并且不但在商用方面，特别在军用舰艇的建造中。值得提到的是德国的排水量约5500—6000吨的《Эмден》（1921—1925年）和《Кенигсберг》（1928年）型巡洋舰是靠比较大量地采用焊接方法建成的；1931—1935年建造的《Дейчланд》型《袖珍战斗舰》具有几乎全部焊接的船体，而第二次世界大战时期德国的整个水下舰

队是由全焊的潛水艇組成的。

在战前建造的美国軍艦的船体結構上即已极广泛地采用了焊接（譬如在《Северная Каролина》型战斗艦的船体上〔387〕）。在英国，到1930年初才提起在軍艦建造中采用焊接的問題〔362〕。但是应该指出，在美国和英国，在軍用艦艇建造中采用焊接的規模，甚至到二次世界大战末还很小，并且还不能和在德国軍艦建造中采用焊接的規模相比拟。

在焊接商船的使用中，特别是美国建造的《自由号》和《胜利号》型商船，曾发生过大量出現裂紋的情况和严重事故。这些事故带有危險性质，并且比以前在船舶制造的全部历史过程中所出現的事故頻繁得多〔327〕。焊接船只的事故次数在开始特別多，那时在船体設計中有着严重的缺点，并且容忍了焊接工艺被严重破坏。但是，正如在美国、英国、苏联和其他国家作过的和文献中广泛报导的大量研究工作所确定的，用来建造焊接船只的具有巨大脆性破断傾向的碳素鋼的不良质量是它們脆性破坏的主要原因。

美国焊接商船設計和建造方法研究委员会的总结报告中所列举的資料表明，在5000艘被研究的船只中，将近20%发生了事故（其中127艘被认为是严重的），而8条船沉沒了。于此报告指出，装载和压艙操作沒有引起巨大的弯曲力矩。当时船只的海道航行（仅在很少的情况下系属正常情况）使船处于一种不正常的艰苦状况，特别是战争初期，那时护航是在高緯度的冷水中进行的，那里在冬季月份里經常有很强烈的风浪。

裂紋出現的普遍性质和它們对美国快速造船軍事计划的严重影响自然吸引了英美广大軍艦制造界和对此感兴趣的組織的注意。由于所建立的專門委员会和研究机关工作的結果，收集和整理了大量关于美国造的焊接商船失事的資料。詳細記載了每一只船出現裂紋的情况，分析了每种情况下裂紋产生的原因。

表1所示为在按美国航运委员会計劃建造的并留作商用的大量船只中所发生的所有事故情况的分类。

按美国航运委员会计划建造的船只损坏情况的分类

表 1

损 坏 形 式	数 量	损 坏 形 式	数 量
产生裂纹（裂纹总数）	4720	船折断和沉没	12
严重事故	127	事故次数总计	1442
其中		发生事故的船只总计	970
加强甲板完全破断	24	未发生事故的船只总计	3724
船底完全折断	1	建造的船只总计	4694

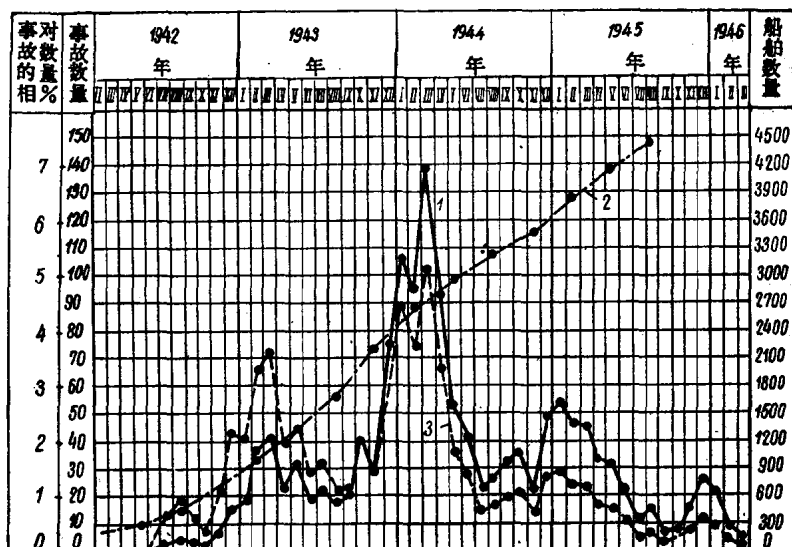


图 1 从 1942 年 2 月 1 日到 1946 年 4 月 1 日按美国航运委员会计划建造的船只的事故次数（包括按租借法案移交其他国家的船）

1—事故次数；2—建造船数；3—事故的相对数%

从 1942 年 2 月 1 日到 1946 年 1 月 1 日的时期中，事故次数的按月分配和事故数与航行船之比的曲线列于图 1。由此图可以看出，冬季月份里产生裂纹的次数最多，这证明了较低温度对裂纹产生的重要影响。并且必须补充说，所有类似事故通常均发生在航行于北纬度的船上，而且当低温和强烈风浪配合时损坏次