

## 钢铁新材料研发的故事——集装箱船用止裂钢研发

2021年1-8月，全球范围内新承接造船订单较2020年同比增长187%，达到9414万吨，是2020年全年的1.5倍，中国承接新订单4911万吨。从成交的船型方面看，1-8月我国成交船型中，50%以上为集装箱船，可以说集装箱船引领了船市的复苏。

2021年国内船厂承接的基本都是22000TEU级别的超大型集装箱船，简单地说：大的，已经来了！这次集装箱船的爆发，给国内止裂钢市场带来了新的发展契机。这期新材料研发的故事，道哥就介绍下我国集装箱船用止裂钢的研制历程。

首先，集装箱船是个啥？道哥问了下度娘，所谓集装箱船，朴素的理解就是运集装箱的船，所以一般就以能装多少标准集装箱（TEU/ Twenty-feet Equivalent Unit, 20英尺标准集装箱）来衡量船的大小，TEU越大表示越能“装”，身形就越大，当然带来的技术难度也就越大。从上世纪60年代开始，第一代700-1000TEU（2万总吨以下）在太平洋、大西洋运行以来，到目前已经经历了6代箱船，最新一代是江南厂2020年为法国建造的23000TEU（22万总吨）、超大型、双燃料集装箱船。形象点说，就是郭竟明和姚明的差别。对于姚明这样的大个头，运动过程中哪里容易受伤呢？——“腰！！！”

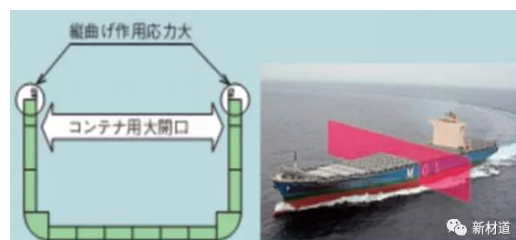
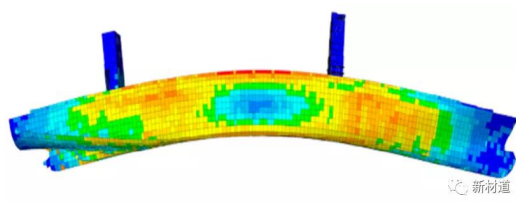


世界首艘集装箱船 Fairland 号（大约 236 箱）

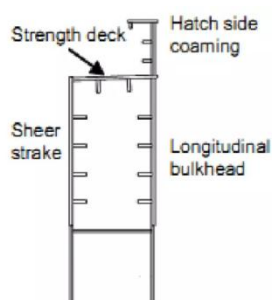


世界首艘 23000TEU 双燃料集装箱船

从这个层面看，就很容易给大家解释另外一个问题：“止裂钢是干嘛的？”“止裂钢就是给大型箱船“补腰”的”。用船舶行业专业术语说，就是加强船体舫部、舱口围（具体见下面示意图），的结构强度，使其在更大载重量、海上颠簸起伏状态下更加安全。



集装箱船航行过程中的受力情况



集装箱船航行过程中的受力部位（舱口围）结构

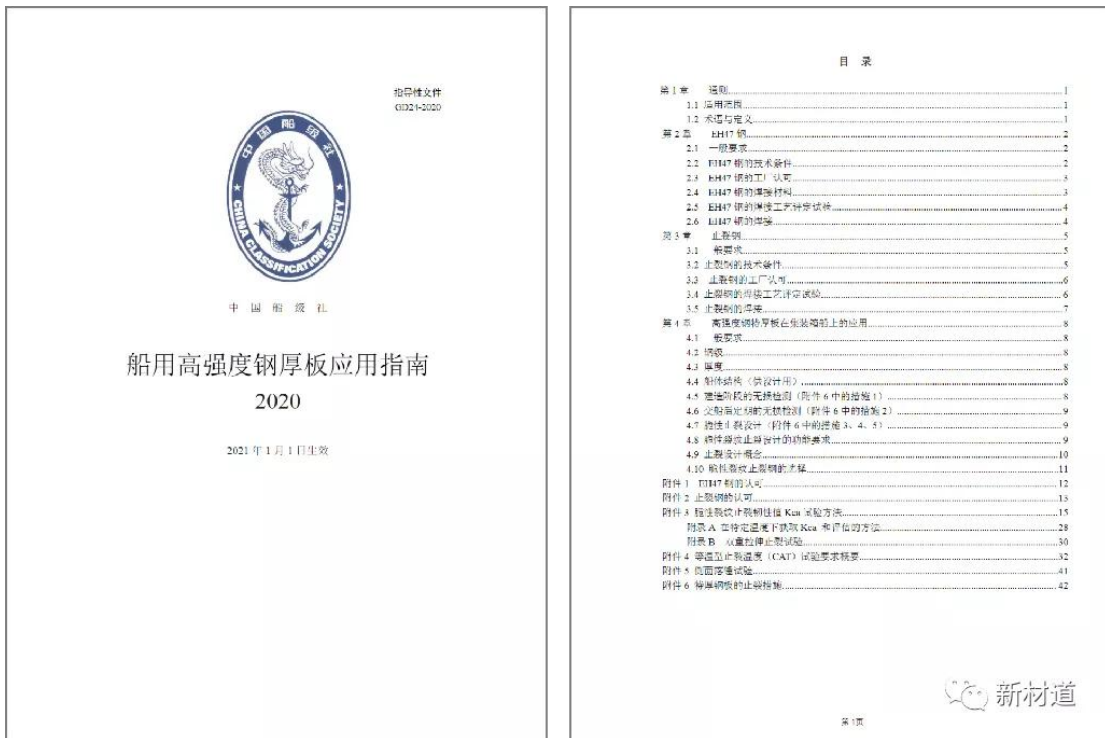
这一位置是船舶在航行过程中，受力的集中点，最容易出现结构损伤甚至导致船体断裂。2013年6月17日，日本三井公司商船“MOL Comfort”号在印度洋也门外海200英里处海域遭遇事故断成两截，造成重大损失，事故发生后，其所有一同建造的姐妹船都被召回，进行检查和加固。有意思的是，该船由三菱重工公司长崎造船厂建造，是世界上首批使用YP47钢的大型集装箱船(8000TEU)。



日本三井公司商船“MOL Comfort”号断裂事故

此类事故一再引起大家对集装箱船航行安全的中试，其中使用止裂性能优良的船板来提高其航行的安全性成为了核心的解决方案之一。从 2007 年开始，日本船级社 ClassNK 联合造船厂、钢铁公司、高校和研究机构，对使用特厚钢板的集装箱船脆性裂纹止裂设计进行调查和研究，根据研究的结果，发布了《脆性裂纹止裂设计指南》。

2013 年，国际船级社协会（IACS）发布 UR W31《Application of YP47 Steel Plates》和 UR S33《Requirement for Use of Extremely Thick Steel Plates》，规定自 2014 年 1 月 1 日后签订合同的新建集装箱货船，甲板上部结构必须选用具有相当水平脆性裂纹止裂能力的钢板，止裂韧性评价方法已经被中国船级社（CCS）、DNV-GL、ABS 等各大船级社纳入规范。

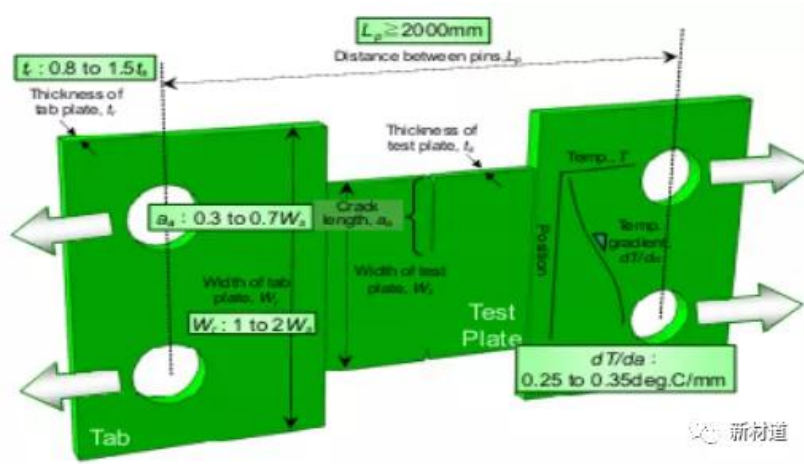


### CCS 止裂钢应用指南

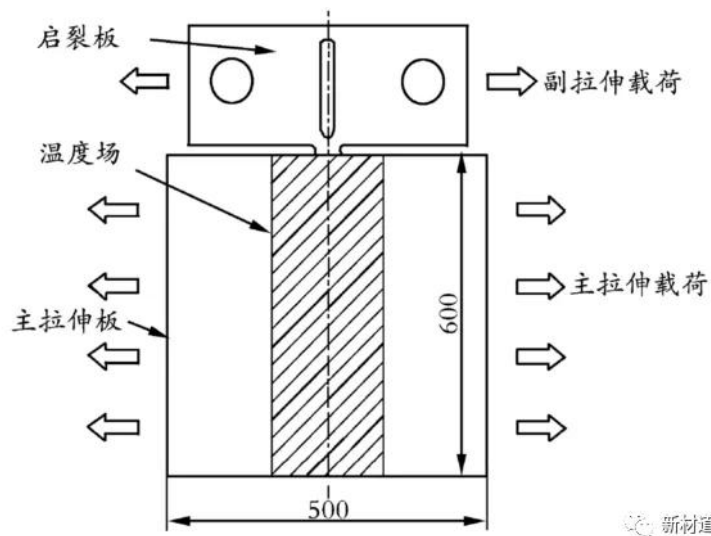
2014 年起，JFE 先后成功开发出 75、80、85、100 mm 厚 YP47 止裂钢，韩国 POSCO 拥有 EH36、EH40、EH47 产品，并于 2019 年开发出 100 mm 厚度 EH51、EH56 止裂钢产品。国内止裂标准规范制定、止裂钢生产及止裂机理研究起步较晚，2013 年开始相关的技术科研工作。凭借先进的装备

和工艺技术，国产止裂钢作为后起之秀，迅速在国际钢铁市场占有了一席之地。

国产止裂钢的研发面临的第一个问题还是评价方法。国际船级社强制性标准里，采用的是 NK 发布的“脆性裂纹止裂韧性 Kca 测试方法 (ESSO 测试方法)”，当时国内还属于空白。2014 年在工信部支持下，年启动“大型集装箱船用高强度止裂厚钢板关键技术及评价方法研究”项目，该形目支持下，中船重工第七二五研究所船舶材料验证试验中心，率先具备了 ESSO 测试能力。

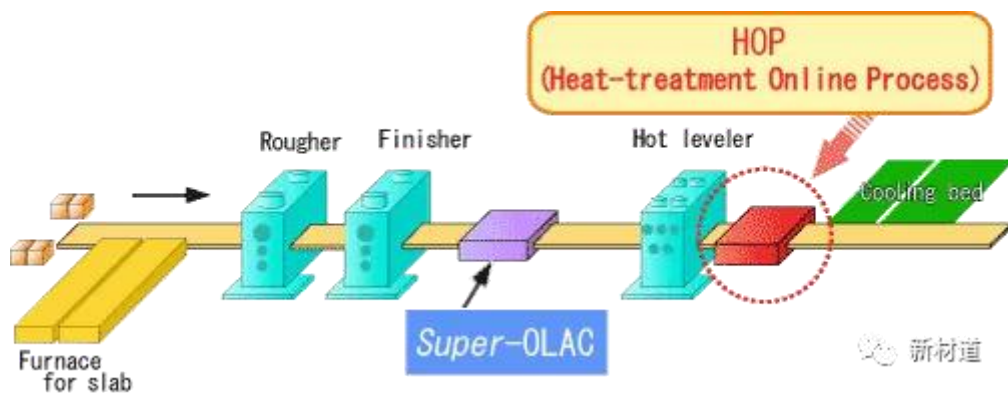


标准温度梯度型 ESSO 测试示意图

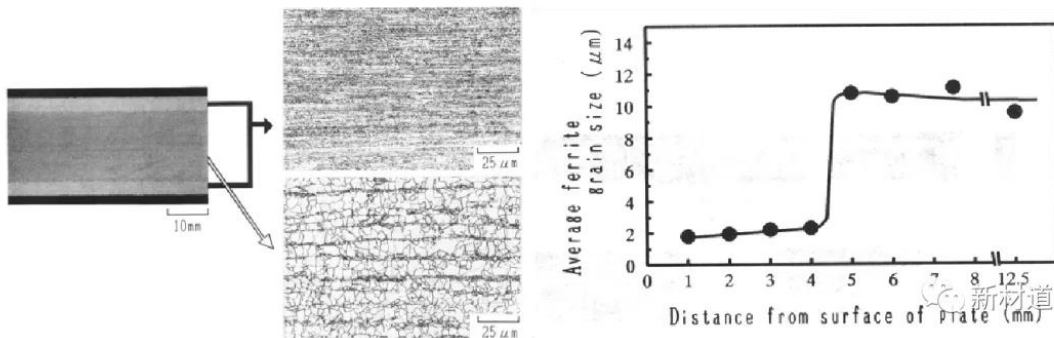


国内用于止裂钢评价试验方法（等温型双重拉伸）示意图

厚度方向的组织控制是止裂钢产品研发的核心技术难题，目前的研究、生产基本采用返温轧制生产表面超细晶粒钢（SUF 钢）的路线。所谓 SUF 钢，就是在表层形成一层超细晶粒，达到很好的止裂效果。对此，JFE 开发了 Super-OLAC(Online Accelerate Cooling)技术，用于其超大集装箱船用高强度船板的开发。轧制工艺 2013 年起，钢铁研究总院针对止裂钢轧制工艺等共性技术、机理开展了系统研究，从国内研究结果看，其重点是突破传统 TMCP 工艺在压下量和冷却速度方面的极限。



JFE 开发的 Super-OLAC(Online Accelerate Cooling)技术



止裂钢（SUF 钢）截面组织特征

鞍钢于 2015 年起陆续开发出 EH40（80、90mm）和 EH47（90mm）级止裂钢。2016 年鞍钢独家中标我国首次自主设计、建造的 2 艘 20000TEU 超大型集装箱船的全部合同，是国内最早实现大型箱船止裂钢大批量供货业绩的企业。

南钢于 2013 年起，先后研制了 EH40（100mm）、EH47（80、92、100mm）级别止裂钢，也是目前国内唯一认证到 100mm 厚度的企业，得益于此，南钢成为 2021 年国内超大型箱船用特厚止裂钢产品的主要供货企业之一。

宝钢先后研发了 EH40（80mm）、EH47（80、90mm）止裂钢产品。湘钢、沙钢均研制了 80 mm 的 EH47 级大型集装箱船用止裂钢板产品。随着我国超大型箱船用特厚止裂钢的需求增长，近期钢铁行业逐渐关注、启动了 100mm 规格止裂钢的认证、供货。除了更大规格外，从轻量化角度出发，更高级别的 YP51 级止裂钢也将是后续研发的重点方向。

止裂钢的研发并应用又一次体现了对国外“强制标准”+“产品专利”的技术壁垒的突破，体现了下游装备制造升级离不开原材料产品创新的道理，同样的历程的产品还包括之前介绍的邮轮货油舱用耐蚀钢、9%Ni 钢及高锰钢产品等，同样也体现了新的供需条件下，坚持应用、用户驱动的产品研发模式。（以上数据来自于钢铁、船舶行业协会的公开会议、报导，和相关企业、高校的公开文献，不足疏漏之处敬请批评指正。）