

# 极地条件下船舶装备 与材料检测现状及发展趋势

□王勋龙 于青 刘二虎 盛祥勇 洪晓莉

DOI:10.16569/j.cnki.cn11-3720/t.2018.08.032

目前,世界强国正在掀起极地开发热潮。极地破冰船是极地环境中主要使用的船舶,而中国的“雪龙”号不属国际主要船级社定义的破冰船。

中国正在自主建造首艘破冰船“雪龙2号”极地考察船,该型号的破冰船采用双向破冰新技术,船艏、船艉均可破冰,在冰区操纵性能极大提高,可实现冰区快速掉头、转向,尤其是在南极近岸冰情复杂、水域狭窄的环境中,增强了船舶的安全性。该船建成后,将是世界上第一艘采用双向破冰技术的极地科学考察破冰船。

## 一、国内外主管机构对极地船舶设备及材料规定

极地船舶长期面临超低温的恶劣服役环境,其结构安全性能要求非常严格,船舶设计、材料、建造和配套技术都有特殊的要求。国际海事组织(IMO)分别于2002年和2009年发布了《在北极冰覆盖水域内船舶航行指南》和《在极地水域内船舶航行指南》。IMO海事安全委员会于2014年通过了具有强制性的《极地水域船舶作业国际规则》(简称“极地规则”)及其相关国际公约修正案。而国际船级社协会(IACS)也于2006年发布了《极地船级统一要求》(IACS UR)。这些文件共同构成了极地船舶制造、运行的保障体系。

对于在极地水域航行的船舶,受极地恶劣环境影响严重的设备主要有4大类设备:船舶露天液压设备、船舶消防设备、船舶救生和通信设备以及船用材料。

### 1.船舶露天液压设备

需要考虑低温对船舶机器设备工作液体的影响。

一方面低温使油品黏度变大。油品黏度过大,油泵的自吸能力下降,液压系统压力损失增大,功率损失增大,导致液压系统不能正常工作。同时,低温使油品中的水分凝固,凝固水附着在液压阀的零件、滤油器等的表面上,可能导致液压阀卡阻、滤油器堵塞,从而使得液压系统不能正常工作。另一方面,低温使油品自身收缩,特别是封闭容腔里的液压油收缩,使得压力下降甚至产生负压。低温环境还会影响液压系统里的橡胶密封材料收缩、硬化等,降低密封性能甚至密封失效。

### 2.船舶消防设备

需要考虑低温、积冰积雪两方面对消防设备的影响。低温可能导致船舶消防系统的灭火剂因冻结而失效,以及消防人员因穿着大而笨重的防寒设备而行动不便;积冰积雪则可能导致通往现场灭火设备和机械控制装置的通道被阻塞。

### 3.船舶救生及通信设备

主要涉及低温、积冰积雪和冰区弃船等。低温可能导致某些救生和通信设备失效,如救生艇释放装置、动力机械、通信设备电池失效等;冰区弃船则可能出现救生艇筏释放困难、救生艇筏下水遇到冰面等问题。

### 4.极地船舶用材料

IMO规则明确提出了极地船舶必须采用适应极地环境的结构材料及建造工艺,以防止发生因脆性断裂而导致的船体结构失效事故。各国船级社在IACS UR基础上编制了各自的极地船舶规范,规定了各级极地船舶的强度设计要求以及所用材料级别,技术要求与IACS UR基本一致,如ABS规范最低-40℃服役环

境设计要求用钢满足最低-60℃的冲击试验和断裂性能要求,还允许使用经过认证的屈服强度(410~690)MPa级别超高强钢,根据服役条件从-30℃到最低-60℃的冲击功要达到34J以上。中国船级社在2016版《极地船舶指南》明确规定了极地船舶用耐低温钢的技术要求。

目前,极地船舶规范以船级社规范钢级要求为依据进行选材,尚无专门的极地船舶材料规范。而现有船级社规范钢级以冲击试验温度进行定义,最高级别为-60℃冲击温度的F级。现有规范中对断裂安全性的评价准则不能反映极地船舶服役环境,未来极地船舶规范发展应考虑水面水下巨大温差引起的结构材料体积变化可能产生巨大的结构应力、冰层连续冲击致使船体产生低温疲劳和低温塑性变形等工况条件对材料的测试。

## 二、国内外极地船舶装备和材料检测现状及趋势

目前,尚无专门针对极地船舶设备及材料检测的测试规范或标准。基于国内外机构对极地船舶设备及材料规定,总结相关检测研究内容或方向主要有:

### 1. 极地船舶冰载荷预测及测试技术

冰载荷即冰与结构物的相互作用。在极地船舶设计中,冰载荷预报技术是最为关键的核心基础问题。冰载荷预报或测试是否合理、准确,直接关系到所设计的极地船舶能否达到预定的设计目标。与波浪载荷相比,冰载荷测试的研究历史尚短,理论还不成熟,急需系统开展冰载荷理论与方法研究。

冰载荷数值预报或测试方法是合理准确预报极地船舶冰载荷的基础,是建立“数字冰水池”的前提条件。在对冰载荷进行数值预报时,涉及三大核心技术:建立准确描述海冰真实力学性能的本构关系、建立精确再现海冰真实破损场景的仿真手段、建立有效模拟海冰结构相互作用的数值技术。

冰载荷试验技术研究的主要设施为冰水池。俄罗斯克雷洛夫中央造船研究院拥有两座冰水池(长35m,宽6m,深1.8m;长80m,宽10m,深2m~4.6m);日本海上技术安全研究所(NMRI)拥有一座冰水池(长30m,宽6m,深1.8m);美国寒区研究与工程实验室(CRREL)拥有一座冰水池(长37m,宽9m,深2.4m);加拿大水力学中心(CHC)拥有一座冰水池(长21m,宽

7m,深1.2m)。我国只有天津大学拥有一座冰水池(长5.45m,宽1.91m,深0.76m),尺寸小,难以满足日益增长的需求。除建设基础设施冰水池外,还需要研究相应的试验技术、开发特殊的试验测试平台和相应的测试系统。

未来,冰载荷现场测试技术研究可从两个方面入手:一是建立室外试验场,并配备完整的冰载荷测量系统,对原型结构进行长期的现场冰载测量;二是利用已有服役结构进行冰载荷现场测试,这种方法不仅可以节约投资,还可以同时对运营结构进行健康监测。

### 2. 极地船舶冰水动力学模拟与结构性能测试

与一般的固液两相流动不同,冰水动力学有两个显著特点:一是流冰/碎冰体积较大,不能简单简化为质点模型,需要考虑其自身的刚体运动与转动惯量;二是流冰/碎冰密度通常小于海水,漂浮于海面,使得自由液面变成约束液面。冰水动力学的这些特点也是它的难点,应采用理论分析、原型观测、模型试验和数值模拟相结合的方式加以研究。

为避免极地船舶在破冰和航行过程中受到冰载冲击时产生结构失效,必须开展结构低温失效理论与测试研究。低温环境下的结构失效与破坏机理研究主要涉及低温下的力学性能,船体结构在低温下的结构特性以及相关设备构件在低温下的力学特性应当特别关注低温下的止裂试验,开发适用于低温环境下的止裂钢。极地航行区域环境恶劣,极地船舶会与航道上分布的浮动冰山、平整冰等产生碰撞,因此需开展流动冰载荷下船—冰碰撞动态响应研究。极地船舶需要进行船—冰碰撞的动态响应分析,包括船体结构在碰撞后的损伤与受到流动冰载荷冲击后产生的振动响应。

### 3. 极地环境下船舶机电系统适应性与可靠性测试

国外针对低温下机械设备润滑机理展开了大量研究,而我国在这一方面的研究与国外先进水平还存在很大差距,急需开展极地船舶机械设备低温润滑机理研究,为保证我国极地船舶机械设备的正常运转提供理论支撑。

极地船舶的航行环境恶劣,极低的环境温度会影

(下转第 85 页)

明准确性的方法,由多个实验室合作定值,即由有一定资质的多个实验室各自独立使用一个或多个准确可靠的方法,对标准物质的特性值进行测量。协作定值基于两个条件:一是各实验室应具有一定的技术权威性,在测定标准物质特性量方面应具有必备的条件及同等的技术能力和经验,以保证所提供的结果具有较高的准确度及可靠度;二是各独立结果之间的差异,包括实验室内或实验室间的差异,以及差异产生的原因,如测量过程、人员、装置等,都是可进行统计分析的。合作定值中得到的每个结果都要满足溯源性要求。如果已有被公认的测量方法,可以指定每个参加实验室采用统一的测量方法,否则,允许每个参加实验室使用其被确认的准确可靠的方法,定值责任单位必须对合作实验室进行质量控制。

#### 六、标准物质的管理

目前,生物标准物质管理中存在一些问题,例如全国已开展生物测量仪器检定、校准的实验室较少,

开展项目也仅限于血红蛋白测定仪、血球计数仪、血细胞分析仪等几项。用于此类仪器检定、校准的标准物质配制成本高,对运输、保存环境的要求较为严苛。市场需求量较小,也限制了生产企业的积极性。很多已批准的生物标准物质经常缺货,直接影响相关仪器的计量检定和校准工作。为促进生物标准物质健康有序的发展,需要相关标准物质管理部门对研制、生产、质量及供货等环节进行全面有效的管理。

随着生命科学、生物技术的飞速发展,医疗卫生、食品安全、检验检疫和智慧农业等产业必将迎来突飞猛进的发展,生物标准物质也将应用于越来越多的领域和行业。作为计量工作者,我们需针对生物标准物质研制中所面临的困难,加大人力物力,注重理论与实践相结合,加快建立和完善相关标准体系,促进生物标准物质的发展。

作者单位【天津市计量监督检测科学研究院】

(上接第 79 页)

响船舶电气设备及其器部件的运行性能,降低可靠性,影响船舶的正常航行、作业与生活。对于具有破冰能力的极地船舶,如极地科考船等,它们在破冰过程中,由于冰载荷的随机波动性,船舶电力推进系统将处于随机性、冲击性负载作用的极端运行工况,这对电力推进系统的设计与变频控制提出了极高的要求。电路板及波导中易出现水汽凝聚和结露现象,可能造成元器件和电路板的腐蚀、短路,雷达发射功率下降等问题。因此,我国需要深入开展极地船舶电气设备低温运行环境可靠性研究。

#### 4. 极地船舶用低温钢测试技术

高级别超高强海工钢主要采用淬火+回火生产工艺,以中碳成分为主,钢板焊接性能较差,无法满足极地船舶建造焊接和超低温焊接维修的要求。因此,开发高强韧且易焊接的极地船舶用低温钢必须基于低碳当量设计的新型TMCP工艺技术。我国缺乏专门的极地船舶用低温钢研究,尤其是配套超低温断裂行为评价技术、测试技术等研究几乎是空白,与国际存在明显的差距。

高强度、高低温韧性及易焊接的高性能钢材是极地船舶安全航行的基本保障。我国尚未开展极地船舶用钢及其应用评价、测试等关键技术研究,自主发展极地船舶面临着关键结构材料缺乏的制约。超低温材料的研究中缺少模拟极地超低温工况环境、开展超低温动态断裂力学研究为内容的检测方法或标准。未来,应尽快开展以动态冲击为核心的冲击疲劳及应力波加载等低温断裂韧性评价技术,分析材料、温度、加载速率和钢板厚度对断裂特征的影响,提出极地环境下动态载荷断裂测试的新方法、新标准。

#### 三、结论

我国作为造船和航运大国,有必要充分利用极地科考资源,有计划地开展极地区域环境条件研究,掌握极地环境基本数据,包括气温、冰情资料,开展船舶重要设备及材料在极地条件下的测试技术研究,制定相关低温性能和试验标准,加强冰区载荷等关键技术、关键材料测试研究,为突破极地船舶装备设计的关键点和技术瓶颈服务。

作者单位【王勋龙 洪晓莉 青岛海检集团有限公司、于青 刘二虎 盛祥勇 海检检测有限公司】