

高职焊接专业工学一体化模式在船舶制造中的应用与实践

张瑜

江苏联合职业技术学院无锡交通分院，江苏无锡，214151；

摘要：传统的企业员工培训及院校人才培养存在很大的弊端，严重脱节，引入工学一体化的培养模式能够实现工作学习的融合与贯通，是解决目前人才培养困境的有效方法，尤其在焊接专业人才的培养中尤为突出。通过院校师生对工厂铝合金高速艇的无损检测实践案例，结合专业课程内容及行业标准，通过的分析研究，提出并制定符合该类产品特点的无损检测方案，试验结果良好，达到了预期目标，体现了工学一体化模式的效果和意义。

关键词：工学一体化；融合；高速艇；无损检测方案；应用与实践

DOI：10.69979/3029-2735.25.09.070

引言

为推动现代职业教育的高质量发展，全面落实党中央、国务院关于大力发展技工教育的决策部署，国家人力资源和社会保障部按照《关于深化技工院校改革 大力发展技工教育的意见》和《技工教育“十四五”规划》工作安排，做出了在全国技工院校推进工学一体化技能人才培养模式的决定。

一体化是指多个原来独立或关系松散的个体，通过某种方式逐步产生紧密联系，进而结合成为一个新的相互融合，相互促进的整体的过程。工学一体化，即在人才培养的过程中，将学习个体的工作过程和学习过程融合一体的一种全新的教育模式^[1]。原有的企业学员培训，把培养重点放在操作技能的训练及产品的处置流程上，对产品工作原理及技能的内在逻辑缺乏系统的教授，学员只知做而不知其所以然；原有的院校学生培养，受限于没有具体的产品类型和功能特征，只能一味得灌输原理理论或训练没有方向性和实用性的基础技能，学生所学知识与实际生产严重脱节，就业时难以快速融入工作岗位。因此，把学校与企业深度捆绑，把工作和学习有机融合，是目前培养德技并修^[2]、技艺精湛的技能劳动者的当务之急，也是最优之解。

1 高职焊接专业人才培养模式的改革与实践

高职焊接专业作为理论涉猎广、技术难度大、劳动强度高、消耗污染严重的特殊专业，其核心课程中主要

包括《焊接方法与设备》、《焊接结构生产》、《焊接检验》、《金属熔焊原理》等，其特点是毕业生社会需求大，但高素质高技能人才匮乏，因此一直以来深受人才培养问题的困扰，最大问题体现在校企脱节、理实分割、工学阻隔。但工学一体化模式的应用与实践，突破了理论与实践的界限，使焊接专业人才实现了“做中学”、“学中做”^[3]，实现了人才培养模式改革的一个瓶颈。现以焊接专业在船舶制造中工学一体化的应用与实践为例，总结其人才培养的实际效果。

某校企合作厂近期研发生产了一艘全铝合金高速巡逻艇，因本厂缺乏无损检测专业技术人员，其焊接质量无法得到有效保证，院校焊接专业师生，应邀以工学结合的方式，对该船无损检测方案进行了具体分析。

1.1 船体概况

结合《船舶焊接工艺》及《船体结构与强度》课程对该船进行结构分析，该铝合金高速艇船长 10.225m，型宽 2.8m，型深 1.5m，吃水深度 0.7m，设计最大航速 62 节。船体结构全部采用中等强度、可剪性好、耐腐蚀性好的铝合金 5083 材料（性能及成分可参考表 1、表 2），船体外板、甲板厚度为 8mm，内部隔板、肋板厚度为 6mm，设计使用区域为内河、近海。船体共分 23 个肋位（见图 1），为了增加船舶的稳性，减小水流阻力，船艏两侧设置了流线型对称分布的舳龙骨，且船底层次较多，焊道以角焊缝为主（图 2）。

表 1 铝合金 5083 主要成分

材料	Si (%)	Cu (%)	Mg (%)	Zn (%)	Mn (%)	Ti (%)	Fe (%)	Cr (%)
5083	≤0.4	≤0.1	4.0~4.9	0.25	0.4~1.0	≤0.15	0.4	0.05~0.25

表 2 铝合金 5083 主要力学性能

力学性能	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	伸长率 δ_{10} (%)
5083	≥ 270	≥ 110	≥ 20

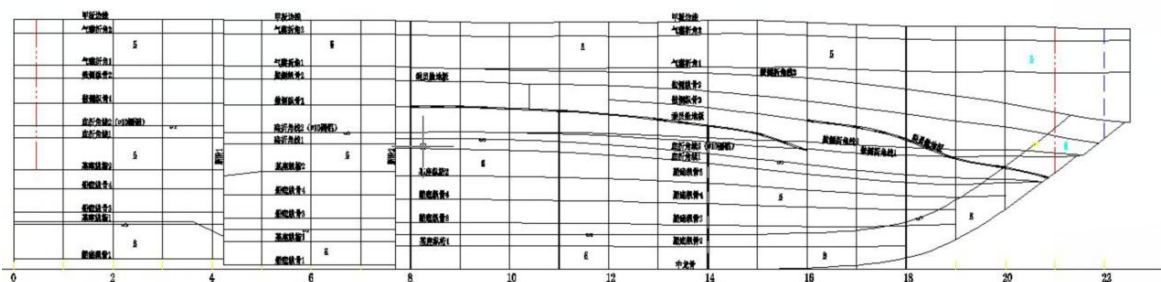


图 1 铝合金高速艇船体外板展开图

1.2 焊接工艺



图 2 铝合金高速艇船体船底焊道

从《金属材料焊接》的教学实践可知，铝合金焊接不能使用常规的焊条电弧焊或二氧化碳气体保护焊方法，以避免氧化性环境在焊缝表面生成致密氧化铝薄膜^[4]，影响焊接质量，故所有对接、角焊缝均采用熔化极惰性气体保护焊（MIG）的方法，焊接材料根据等强和等成分的原则选择铝合金 5183 焊丝，为了减小焊接变形，参考《焊接方法与设备》课程的要求，宜用 $\Phi 0.8\text{mm}$ 的小直径焊丝施焊，保护气体选用氩气（Ar）保护，氩气纯度 $\geq 99.99\%$ 。由《焊接结构生产》的知识可知，母材厚度小，焊接性好，可不作预热及焊后热处理，但为了保证焊接质量，要求焊接之前对焊丝及母材进行严格清理，去除表面的氧化膜，且所有焊缝必须在清理后 1 小时内焊完^[5]。

1.3 检测依据

依据《焊接检验》的课程内容，船体焊缝的无损检测技术，包含了射线探伤、磁粉探伤、超声波探伤、渗透探伤等常用检测方法，其原理是在不损害或不影响被检测对象使用性能的前提下，采用射线、超声、红外、电磁等原理技术并结合仪器对材料、零件、设备进行缺陷、化学、物理参数检测的技术。焊接无损检测是确保焊缝强度符合使用要求的重要步骤，对保证船体结构质量具有十分重要的意义，通过检测，及时发现焊接过程中产生的表面气孔、表面裂纹等开口性、穿透型缺陷，还可以探测到焊缝内部的气孔、裂纹、夹渣、未融合、未焊透等缺陷，以便焊工能及时发现问题，找出原因，改进工艺，返修到位，避免将来在使用中造成重大结构损坏和损失。

1.4 检测方法

在教学理论分析中，常规使用的焊缝无损检测方法有表面（近表面）检测（外观检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测）和内部检测（射线检测、超声波检测）。其中，外观检测（VT）是所有无损检测方法实施的前提，须确保焊缝外观良好，成形美观，无超过要求的咬边、焊瘤、飞溅等缺陷，才可进行其他表面及内部检测方法的实施；磁粉检测（MT）对检测铁磁性物质的表面及近表面缺陷效果很好；渗透检测（PT）可用于非多孔型材料的表面开口缺陷灵敏度较高；超声波检测（UT）成本低，速度快，是适用于多种材料的内部检测方法；射线检测（RT）具有结果准确，表现直观，便于保存等一系列优点，是现在检测焊缝内部缺陷最常用的手段之一。

鉴于该高速艇母材厚度均不超过 8mm，按照 GB/T11

345-2013《焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定》的规范要求，其内部检测时如采用超声波检测，厚度范围处于近场区^[6]，存在灵敏度较低，检测效果失真等问题，因此不适合用于此船。优先考虑采用射线检测的方法，对于难以使用射线检测的位置（角接、T 型接头等）及非主要承力部位，如角焊缝、水线以上横向对接焊缝等，考虑到铝合金为非铁磁性物质，无法使用磁粉检验，故选用渗透检测来检测其余焊缝，保证其致密性，且检测完成后须尽快用清水清洗检测表面，避免渗透液残留对船体材料造成腐蚀^[7]。

1.5 检测量

目前我国还没有出台标准化的全焊接铝合金高速艇无损检测规范，因此参考《CCS 材料与焊接规范（2024）》及《船舶焊接检验指南（2021）》中的要求，在船体结构施工完成后，对所有焊缝进行外观检测，其内部质量可采用射线探伤、超声波探伤方法进行无损检测，拍片数量根据船型大小及焊接接头数量，依据《规范》计算获得，且纵横向对接焊缝交叉处的布片方向应平行于横向对接焊缝。

(1) 对在船中 0.6L 范围内： $N=0.25(i+0.1WT+0.1WL)$

(2) 在船中 0.6L 以外区域： $N=0.05(i+0.05WT+0.0$

5WL)

式中： i ——纵、横向对接焊缝交叉处的总数；

WT——横向对接焊缝的总长，m；

WL——分段合拢的纵向对接焊缝的总长，m。

其余对接、角焊缝区域，参考《国内航行海船法定检验技术规则（2004）》、《海上高速船入级与建造规范（2012）》、《沿海小船建造规范（2005）》、《沿海小型船舶法定检验技术规则（2007）》等相关规范对船体结构致密性、完整性的要求，除做 100%外观检测外，按照焊缝总长 10%的检测量进行渗透检测。

表 3 按规范计算的无损检测数量

检测方法	数量
射线检测	16 张（详见片位图）
渗透检测	50m（按实测数据，船体底板、外板位置对接及角焊缝未拍片区域 10%）

1.6 检测位置

小型船舶在高速行驶时，其船头上扬，主要受力区域集中在船中 0.6L 范围内的纵、横向焊缝位置，根据计算得到的理论射线检测数量，结合该高速艇的实际结构形式及使用质量要求，检测位置主要布置在船底水线以下 2 条主要的纵向焊缝及船中横向合拢主焊缝上，每 2 个肋位布置一个片位，船中纵、横向焊缝交叉处，片位平行于横向焊缝。片位图的分布设计如图 3 所示。

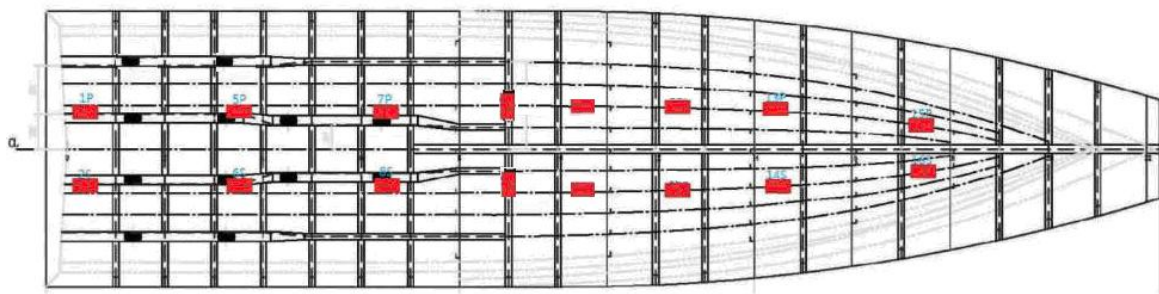


图 3 射线检测片位图

1.7 评级标准

船体射线检测工艺与质量分级依据 CB/T 3929-2013《铝合金船体对接接头 X 射线检测及质量分级》标准执行，渗透检测按 JB/T 9218-2007《无损检测 渗透检测》标准执行，检测结果 II 级合格。

1.8 试验结果

经过师生对该厂铝合金 5083 全焊接高速巡逻艇的无损检测方案的研究分析与实际操作实践，经过全面的

无损检测后，所有不合格区域都得到了及时的返修并确保了检测合格，确保了船体在随后的致密性检测和水压试验中顺利通过，展现了较好的结构完整性。在多次试航中，该船未出现任何焊接质量相关的问题，充分验证了所采用的无损检测方案的实际可行性。最终，该方案有效地满足了铝合金高速巡逻艇对焊缝无损检测的质量要求，证明其在实际应用中的可靠性与有效性，为该厂今后类似船舶制造提供了宝贵的经验和参考。

2 结语

在此案例中,院校师生通过工学结合的方式,深入分析铝合金高速艇的焊接特点及使用要求,围绕产品质量这一核心,系统比较了相关国家和行业标准。这一过程不仅涉及焊接专业的《船舶焊接工艺》、《焊接方法与设备》、《金属材料焊接》、《焊接结构生产》以及《焊接检验》等课程的理论知识,还强调了实践应用的重要性。通过实际操作,师生们对焊接工艺的细节有了更为直观和深刻的认识,同时也对多项行业标准的内涵及其应用场景进行了深入探索。这种理论与实践的结合、工作与学习互通,显著提升了专业课程的教学质量和学生的实践能力,从而实现了焊接专业人才的跃进式培养。该案例代表了校企深化合作、推进工学一体化教育模式的有益尝试,并在实际操作中取得了显著的锻炼效果,从而为学生提供了更加全面和真实的教学体验,增强了他们在未来职场上的竞争力。

参考文献

[1]朱勇.基于成果导向教育理念的工学一体化课程改革实践[J].职业,2024,(16):70-72.

[2]雷呈.“德技并修、工学结合”育人机制的实践探索[J].中国继续医学教育,2024,16(14):26-30.

[3]李建滇.浅析高职教育“学中做、做中学”理实一体化教学模式内涵[J].教育现代化,2018,5(50):240-241.

[4]曹健.铝及铝合金焊接工艺研究[J].中国金属通报,2022,(02):64-66.

[5]祁麟,喻军,李超,等.船舶铝合金焊接工艺方法对比分析[J].船海工程,2023,52(03):43-47.

[6]张宏,杜华,杨静.薄板铝合金焊缝中缺陷的超声波探伤[J].物理测试,2018,36(06):31-34.

[7]刘甜甜,徐桂荣,迟天佐,等.荧光渗透检测法在铝合金件上的应用及分析[J].兵器材料科学与工程,2021,44(06):118-122.

作者简介:张瑜,1982.7出生,男,汉族,江苏省常熟市人,就职于江苏联合职业技术学院无锡交通分院,大学本科学历,讲师,主要研究方向是焊接技术的教学、实训指导、技术研发及场地建设。