

Research on the key technology and technology system of intelligent shipyard

Dan Luo¹, Zhangjing Bao^{*2}, Bitao Liu², Zailin Guan¹, Chuangjian Wang¹, Wencheng Jiang²

¹ Huazhong University of Science and Technology, Hongshan District, Wuhan City, Hubei Province, China

²China Institute of Marine Technology & Economy, No. 70 South Road, Haidian District, Beijing, China

Email: luodan199386@qq.com, bzj2008@126.com, lbt@sinoshipbuilding.com, zlguan@hust.edu.cn, wangchj@hust.edu.cn, waynejiang87@126.com

Received: 2016-10-25

Copyright © 2016 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The construction of intelligent shipyard is the inevitable trend of the development of shipbuilding industry in China. However, the current development level of shipbuilding technology in domestic shipbuilding enterprises is uneven, and there have different ideas about the construction of intelligent shipyard, which hindered the pace of the comprehensive advance of intelligent shipyard. So it is very important to improve the technological innovation system of China's shipbuilding industry, and to study the key technology and technical reference system for intelligent shipyard. According to the guidelines of the national intelligent manufacturing standard system, the overall architecture of the intelligent shipyard is proposed in this paper. And the key technology of intelligent shipyard is divided into five major categories such as ship intelligent design, ship intelligent production, shipyard intelligent management, shipyard intelligent service, and foundation of shipyard. The research status and development trend of the key technologies in each major category are analyzed respectively. Finally, the key technology system of the intelligent shipyard which is consistent with the situation of our country is presented combined with the actual situation of the shipyard.

Keywords

Intelligent shipyard; Ship; Key technology; Technology system

智能船厂关键技术及技术体系研究

罗丹¹, 包张静², 刘碧涛², 管在林¹, 王创建¹, 江文成²

¹华中科技大学, 湖北省武汉市洪山区, 中国

²中国船舶工业综合技术经济研究院, 北京市海淀区学院南路70号, 中国

Email: luodan199386@qq.com, bzej2008@126.com, lbt@sinoshipbuilding.com, zlguan@hust.edu.cn, wangchj@hust.edu.cn, waynejiang87@126.com

收稿日期: 2016-10-25

摘要

建设智能船厂是我国造船业发展的必然趋势, 而当前国内船企造船技术发展水平参差不齐, 对智能船厂建设思路看法各异, 阻碍了智能船厂全面推进的步伐。因此完善我国船舶工业的技术创新体系, 对于智能船厂的关键技术及技术参考体系进行研究对于我国船舶企业建立智能船厂有着重要的意义。本文主要聚焦于船企业务特点, 依据国家智能制造标准体系指南, 提出了智能船厂总体架构, 将智能船厂关键技术分为船舶智能设计、船舶智能生产、船厂智能管理、船厂智能服务、船厂基础共性这五个技术大类, 分别分析每个大类中关键技术的国内外研究现状及发展趋势, 最后结合船厂现实调研情况给出与我国国情相符的智能船厂关键技术参考体系。

关键词

智能船厂; 船舶; 关键技术; 技术体系

一 引言

现代造船技术正朝着高度机械化、自动化、集成化、模块化、智能化方向发展。在日本、韩国等国的先进造船企业中, 对现代生产管理模式探索和创新的效果非常明显, 造船模式正在由集成制造模式向敏捷制造模式迅速演变, 形成“空间分道、时间有序”的顺畅工艺流程。现代造船已使用部分智能化设备来代替人操纵各种机械, 广泛运用了数控切割技术, 美国、日本、韩国等许多国家在船舶建造中都相继不同程度的采用了智能装备和机器人。随着各国智能制造战略的广泛开展, 国内外先进的造船企业也在不断进行技术变革以适应未来的制造模式。

当今世界造船业已形成四极结构: 韩国、日本、中国和西欧, 在经济全球化的今天, 国际造船业已发展成为全球一体化市场, 世界各国造船企业在全世界范围内发展了技术、性能、质量和服务等全方位的竞争。随着全球船舶市场占有率的激烈竞争, 世界造船业在技术、体制上发生了重大革命, 其中造船技术的发展尤为突出。从之前的焊接技术革命到大型生产流水线等新技术的成功应用, 目前正处于信息技术进一步发展应用的新阶段: 信息集成系统的应用, 并行工程、敏捷造船、先进制造模式正在或将在船舶制造业中广泛应用, 使船舶行业成为信息密集、技术密集和资金密集为特征的现代新型产业。

我国自建国以来, 船舶工业的发展经过了以下三个发展阶段。第一阶段是解放以后到改革开放以前, 其主要任务是建立和形成我国船舶工业完整的技术体系, 主要是使用别人的技术或仿制原苏联的技术和产品, 自行研制的较少, 对国外技术的依附性较强, 技术水平远远落后于先进国家。第二阶段是改革开放来到上世纪末, 其主要任务是消化吸收国外技术, 建立和形成我国船舶工业的技术创新体系, 提高

技术创新能力，这一阶段主要是改进技术，利用对外开放的有利时机，通过多种形式积极引进国外先进技术，并开展同国外单位进行联合设计，提高自我设计能力，改进和开发自己的产品，具有了较强的技术设计能力。第三阶段是上世纪末到现在，其主要任务是完善我国船舶工业的技术创新体系，开始转向创造技术阶段，逐步开始自行研制开发具有自主知识产权的产品，部分技术达到了国际水平。但由于我国船舶工业第三阶段的发展时间还不长，尚处于技术创新的转型初期，整体的技术创新能力还不强，造船发达国家还有较大的差距(一般认为 10-15 年)，如果不尽快实现技术创新形式的转变，这种差距有可能被进一步拉大。

顺应国家大势，在船舶行业发展智能制造，建设智能船厂是我国成为造船强国的必然选择，相关关键技术的引入对于我国船舶工业提高生产效率、保证产品质量、降低生产成本、促进转型升级、提升国际竞争力具有重要战略意义。因此面对当前船舶工业发展及建设面向未来的智能船厂的实际需求，根据对船厂的现实调研情况，提出了智能船厂关键技术体系。在此体系中，主要聚焦于船企业务特点，涵盖了造船的智能装备和智能船厂系统两个方面。本文通过分析国内外智能船厂关键技术研究现状，总结出适合我国现状的智能化船厂的整体关键技术体系，希望能够为我国船厂未来的智能化实践提供一些建设思路。

二 智能船厂关键技术发展现状及趋势

为了应对制造业智能制造技术发展体系散乱的问题，响应业界对于产品全生命周期管控，环境友好，同时注重生产效率与可持续性发展的需求，以系统整体效率的提升为最终目标，国内外对于智能制造范式以及框架体系开展了大量的研究，提出了相当数量的研究成果。通过资料搜集、现场调研等方式对西门子数字化工厂等制造企业进行了深入研究，文章最后参照中国工业和信息化部、国家标准化管理委员会联合发布的《国家智能制造标准体系建设指南》（2015 年版）以及更早的《智能制造标准体系研究白皮书》提出的智能制造框架体系，结合船厂的业务特征从智能服务、三维一体化设计、智能生产、智能管理和基础共性技术这几个方面的关键技术进行研究，分析国内外智能船厂发展现状和未来的趋势。

（一）船舶产品智能设计方面的关键技术

目前在船舶中间产品完整设计方面，日韩船厂已实现船体开工时直接完成管子开孔作业，提高了作业效率，国内船厂尚未达到这一技术效果。在设计标准方面，韩国造船将设计中涉及的各方面经验总结成全面、系统、规范性强的应用指南，这对设计和施工有很强、很明确的指导性，可以帮助缺少经验的设计人员有效地完成设计任务。国内在这方面虽有推进，但缺乏足够的力度。在设计自动化方面，韩国先进船厂 TRIBON 软件开发利用程度高达 90%，基于高自动化程度和全套的符合自己设计工艺的数据库，韩国完成一个 22*22*6 大小的建模耗时是 3 个月，正确率高达 99%。

日韩船厂生产设计出图的无纸化趋势明显，图纸的电子文件通过网络直接传递到现场终端，实现图纸信息高效传递的同时节省了纸张资源浪费。日本 IHI 船厂还在生产现场部署了三维作业指导终端，并通过 Wifi 将三维作业指令传输至现场，这些三维指令已经过仿真验证，工艺准确率高。使得生产现场作业人员能快速、准确获取工艺信息，大大提高了作业质量和生产效率。

智能设计的未来将实现设计信息自动化，包括以下三个方面：

- 1) 建模自动化，结合标准化来进行参数化建模、加工、安装信息的自动化，以及利用二维信息及规格书信息驱动三维建模。
- 2) 出图自动化，主要包括自动出制作图和自动出安装图。
- 3) 物量信息自动化，主要包括采购物资 POR 数据提取自动化、托盘 BOM 数据提取及发放自动化。

（二）船舶智能生产方面的关键技术

船舶生产技术主要包括焊接、舾装、总段、涂装等。焊接技术方面，我国造船业虽然做了很大努力，但和国外先进工艺相比仍有很大差距，尤其在分段、合拢工艺上，国内的工艺水平仍处于落后。近些年，韩国已经先后建成了不同规模的专业化总段制造厂，巨型总段造船法已经形成了社会化生产模式。其中，三星重工在这方面取得了新的突破，通过更大规模巨型总段的建造，进一步缩短了船坞周期。而日本的津船厂已将焊接机器人用于小合拢与主体分段装焊，并可以实现触感式、自动跟踪并自动修正。机器人电脑控制，达到无人化程度，并已逐步实现系列化、智能化。

舾装技术方面，国外造船先进国家，舾装单元已采用标准化和模块化。同时，对模块的建造进行“通过共同性来降低采办成本”的研究，简称“ATC”计划。日本船厂从 60 年代发展至今，已广泛采用单元（模块）、总段（分段）预舾装，并最早将成组技术的管件族制造、托盘管理等概念和原则引进预舾装，预舾装率一般在 90% 左右。韩国现代、大宇、三星等集团在进行造船能力扩展的同时，广泛采用预舾装技术，致力于区域舾装和壳舾涂一体化，其分段预舾装率可达 93%。西欧各国由于机械制造业发达，各国相互配套较好，单元组装已实现通用化和标准化，德国和挪威的一些船厂预舾装率非常高，分段预舾装率可达 100%。

未来，在总段建造的基础上，同时扩大预舾装和涂装的范围，使总段内的舾装完整性达到前所未有的程度，形成模块，这就实现了模块化造船，使船厂真正成为总装企业。壳、舾、涂一体化生产的同时，各条生产线实现自动化流水生产、机器人作业，并与设计管理无缝对接。

（三）船厂智能管理方面的关键技术

日韩先进造船企业在工程管理已基本实现精细化作业任务分解、拉动式工程计划管理，以及作业负荷均衡化管理。就精度控制技术而言，以承接高技术、高附加值船舶为主的西欧造船国家处于较为先进的水平，可通过平直分段进行建造全过程的尺寸精度控制，并与曲面分段预修整尺寸精度控制相结合。而以建造大型油船、散货船为主的韩国和日本则居于世界领先水平，已实现对全船所有分段进行建造全过程的尺寸精度控制。目前各国仍通过更新设备来提高设备的精度和自动化程度，并不断采用新工艺、新技术，使造船精度控制技术得到持续不断的发展，其中日韩（尤其是韩国）将物联网技术、人工智能技术等新一代信息技术与造船过程相融合，在提升船舶建造与管理效率方面取得了较大的成绩。

现代造船精度管理理念核心是为精益生产作铺垫，为此需改变管理理念，将精度管理从被动管理转为主动管理，例如在切割、加工、焊接等分段组立作业过程中，事先开展一系列预防分段变形的措施，如改良设计、改善施工方法、预变形等。这一管理理念在未来将逐步落实到造船的各个环节中。

（四）船厂智能服务方面的关键技术

智能船厂的智能服务关键技术在于远程运维服务，包括船舶应急管理规范和船舶远程安全监控两个部分。船舶应急（又称船舶应变）方面，国际安全管理（ISM）规则明确每个公司和船舶都应建立、实施保持安全管理体系(SMS)，要求在 SMS 中有描述船上可能的紧急情况和作业的反应程序。因此统一的整体船上应急计划系统将作为国际安全管理规则的组成部分，形成公司和船舶安全管理体系(SMS)的基本组成部分。在海上，船员及其管理者需要准确的技术信息以便尽快地减轻事故的破坏后果，因此一份全面的关于船体稳性和总纵强度的评估是必需的。船舶安全状态实时监测系统是基于光纤光栅传感技术和光纤 MEMS 传感技术，以及计算机信息处理技术来实现对船体结构安全状态、船舶配载状态以及主机、发电机和舵机等设备运行状态等进行实时监控，为船舶安全运行提供可靠有效的参考依据，以及早期的危险报警和损伤评估，从而大大增强船舶的生存能力。

随着通讯技术的不断发展，船舶安全状态实时监控已经成为现实，在此基础上进行船舶应急和维护管理将为客户提供有价值的售后服务，这是未来智能船厂在智能船舶产品上的必然发展途径。

（五）智能船厂基础共性技术

基础共性技术以工业大数据为最具代表性，是智能制造架构中的重要环节，智能船厂的大数据以数据管理为主。船舶行业是个传统产业，与互联网和大数据技术的结合相对滞后，但船舶行业又是一个全球性且规模庞大的行业，联系着设计、制造和运输业等，与许多行业的大数据有着根深蒂固的关系。针对于智能船厂的大数据，欧洲已经发布了“MUNIN”项目，旨在发展新一代控制系统与通信技术，显示在港和离港船舶的状态。日本船舶技术研究协会正开展船舶“大数据路标”研究工作，大量搜集船舶的航行及其相关数据形成大数据，应用于船舶的节能航行、船型开发、装备远程维护等项目。在当前的大环境下，我国船舶行业应加快大数据技术的应用研究，这其中就包括航运大数据。通过对营运船舶数据进行收集、统计分析以及价值挖掘，可以获得很多有价值的信息，如船舶的功率与航速、船舶能耗数据、风浪对船舶航速的影响、各种节能措施的效果、污底对功率的影响、航线航区的海况资料和各类设备运行状态等，不仅对航运业作用巨大，对于造船业也具有重要的价值。

三 智能船厂关键技术体系框架

智能船厂总体架构的主体部分是充分体现船舶制造特点的五个层级，从车间底层的设备层开始，其他还包括控制层、车间层、企业层、协同层四个层级。另外增加了通用服务平台，以及串联各层级和通用服务平台的网络，本文提出如图 1 所示的智能船厂的总体架构。



图 1. 智能船厂总体架构示意图

《国家智能制造标准体系建设指南》中依据智能制造标准化参考模型和重点技术领域提出了智能制造的标准体系结构，这个体系结构与符合中国国情，对于国内的智能制造的体系构建有着指导性的意义。因此本文参考《国家智能制造标准体系建设指南》给出的智能制造体系大框架，结合智能船厂的技术特征，将技术体系主要分为基础共性技术、三维一体化设计技术、智能生产、智能管理和智能服务技术等

五个方面，如图 2 所示。其中基础共性技术方面主要涵盖的是所有制造型企业在实施智能制造时所面临的共性问题，包括数据与信息安全、建设规划、相关标准以及智能船厂所需的信息技术等。设计是智能船厂的重中之重，需要重点考虑，其中三维一体化设计技术主要涵盖船舶设计基础共性技术和三维一体化设计技术。结合造船的生产特征，将智能生产技术细化为加工成型、焊接、涂装、舾装、管子加工、检测、物流技术，生产协同技术，以及船舶制造执行系统等技术内容。智能管理技术方面主要有营销管理、供应链管理、人力资源管理、库存/财务/设备/场地/质量管理、造船 HSE 管理、生产计划管理和生产物流管理等几个方面。智能服务技术主要有船舶状态监控技术、基于状态的船舶维护技术以及全生命周期的服务数据管理技术。各个方面的技术层次结构将在下文中依次展开。

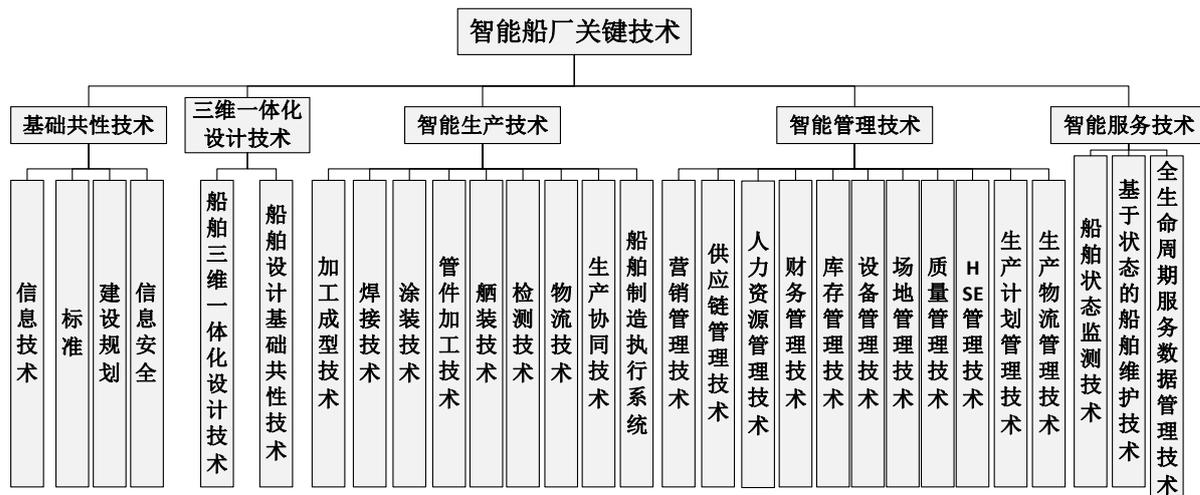


图 2. 智能制造标准体系结构图

（一）三维一体化技术体系

三维一体化设计技术共 2 个技术领域，分别为船舶三维一体化设计技术和基础共性设计技术，其中三维一体化设计技术又包含了基于 MBD 的船舶三维设计、三维数字样船技术等 9 个关键技术，这些技术基本围绕船舶产品的三维设计、仿真和一体化设计等进行。

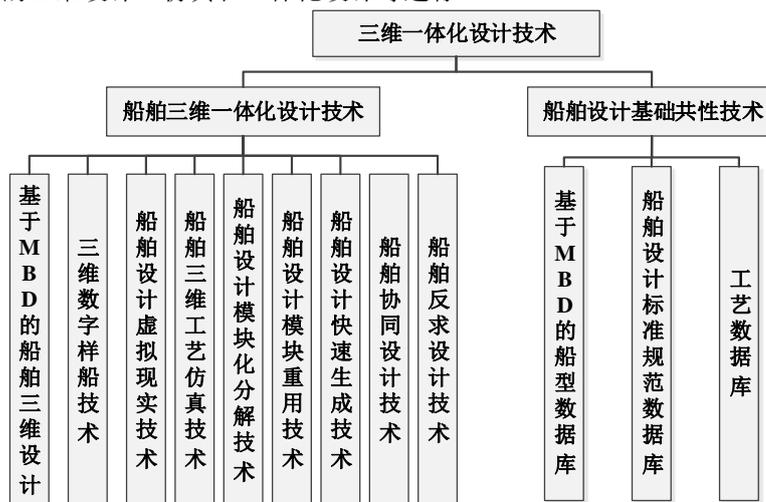


图 3. 三维一体化设计技术体系

船舶设计基础技术则包含基于 MBD 的船型数据库、船舶设计标准规范数据库和工艺数据库等 3 个关键技术，这些关键技术主要用于辅助船舶设计过程，以基础数据管理为核心。以上 12 个关键技术、2

个技术领域构成了三维一体化技术体系，如图 3 所示。

（二）船舶智能生产技术体系

根据智能船厂的总体架构研究结果，智能船厂的生产包括加工成型技术、焊接技术、涂装技术、管件加工技术、舾装技术、检测技术、物流技术、生产协同技术和制造执行系统等 9 个主要技术领域。通过分类梳理后形成如图 4 所示的船舶智能生产技术体系。

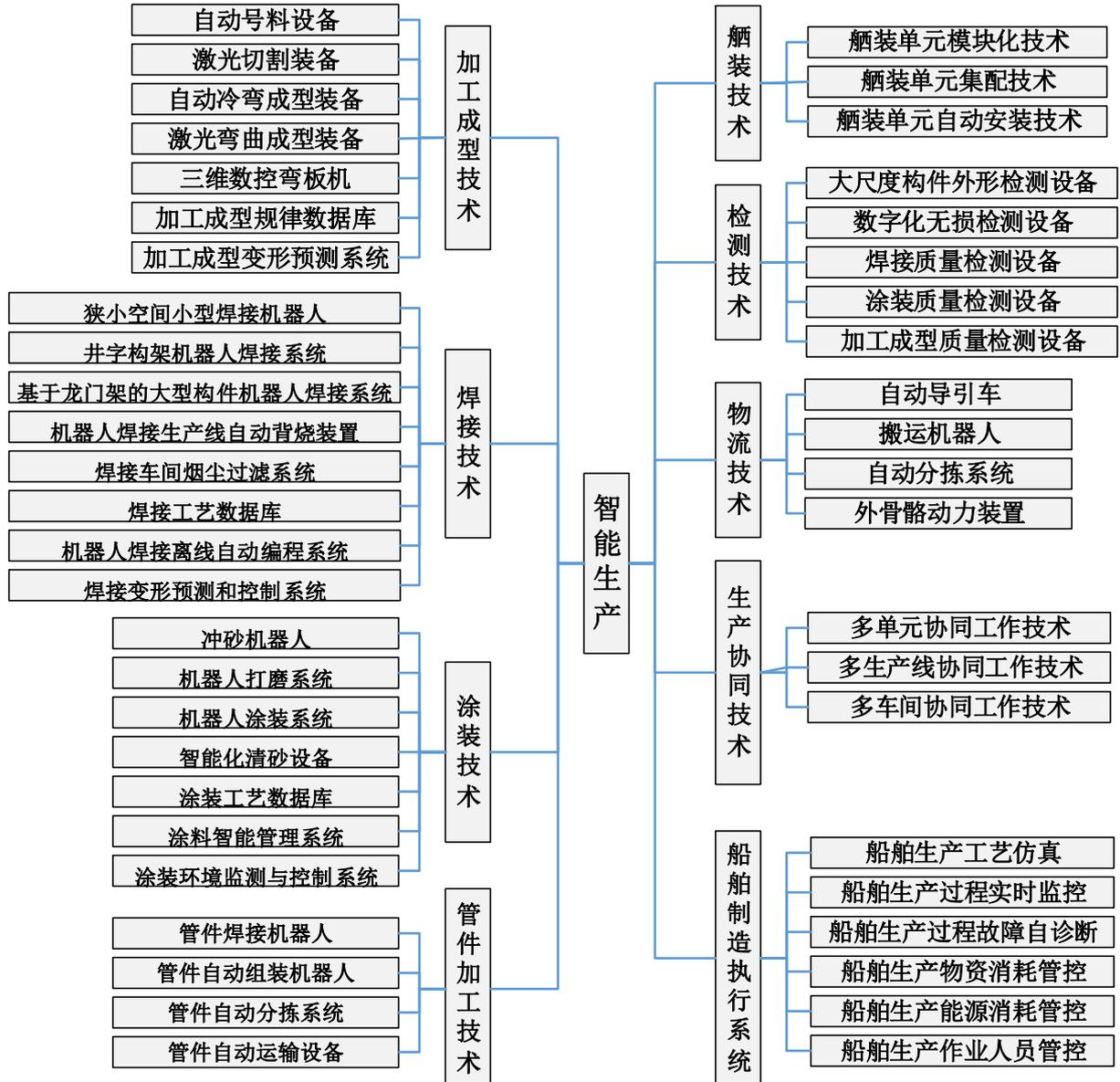


图 4. 智能生产技术

（三）智能管理技术体系

船舶智能管理主要包括制造报文规范、造船壳舾涂精度制造一体化、造船过程执行系统 MES 应用等车间级管理标准；企业经营决策管理、计划管理、生产管理、技术管理、质量管理、人事管理、财务管理、设备管理、物流管理等企业级管理标准产品信息可视化、设备信息可视化、库存信息可视化、生产状态可视化、能源监管可视化等可视化管理标准；实现造船流水化、资源优化配置的准时化生产管理技术标准以及智能管理决策支撑等技术。通过分类梳理后形成如图 5 所示的船厂智能管理技术体系。

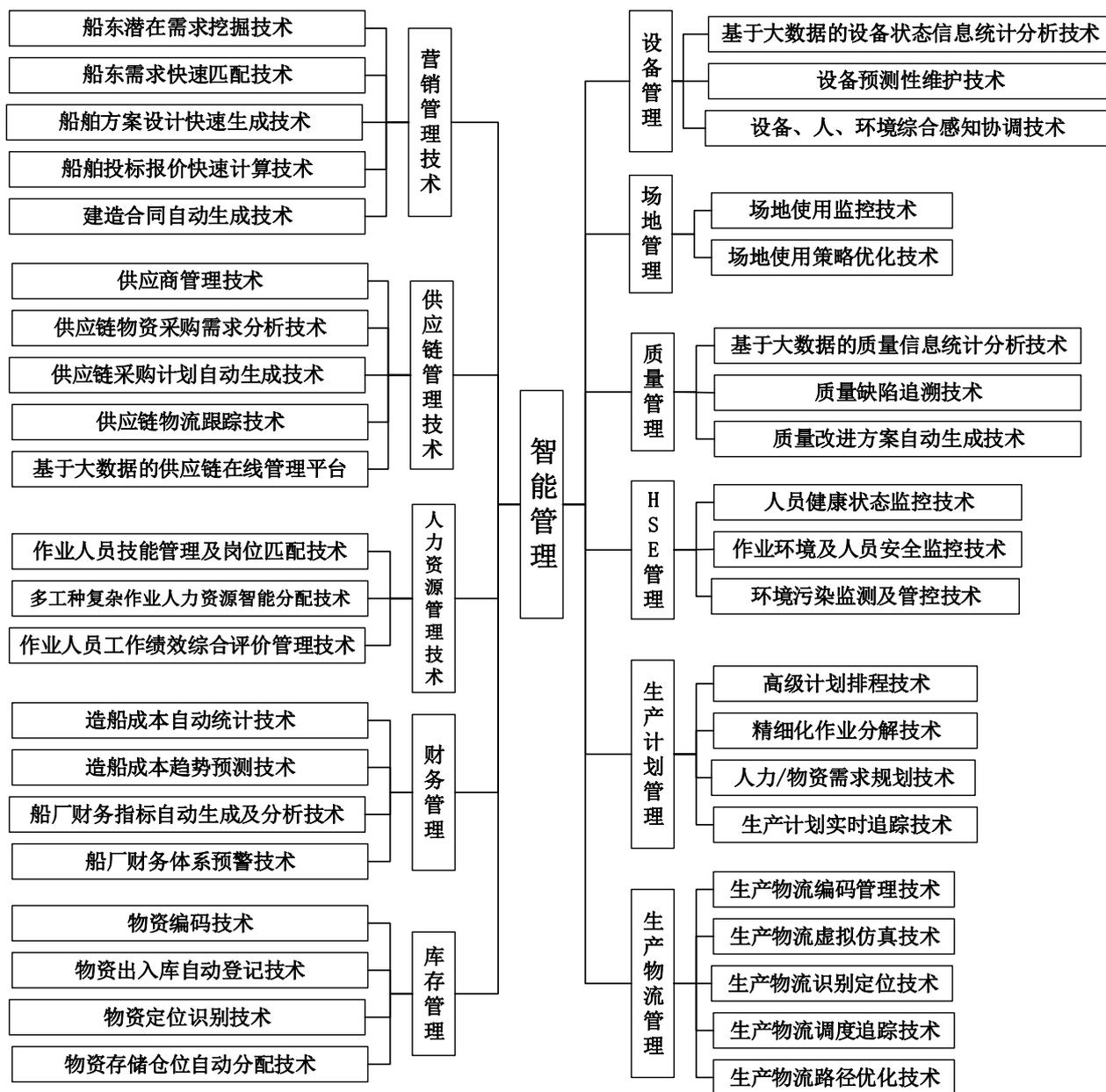


图 5. 智能管理技术

(四) 智能服务技术体系

智能船厂的智能服务技术领域可以分为三部分，船厂智能服务技术体系如图 6 所示。其中船台应力应变监测技术、船舶配套设备运行状态监测技术、船舶能耗监测技术、船舶污染排放监测技术和船舶综合性能评估技术等关键技术属于船舶状态监测技术领域；船舶潜在异常状态挖掘与预警技术、船舶维护方案自动生成技术、船舶维护质量评估技术和船舶维护质量问题追溯技术等关键技术属于基于状态的船舶维护技术领域；船舶营运数据管理技术、船体维修信息管理技术、船舶拆解信息管理技术和配套设备维修/更换/新增信息管理技术等关键技术属于全生命周期服务数据管理技术领域。

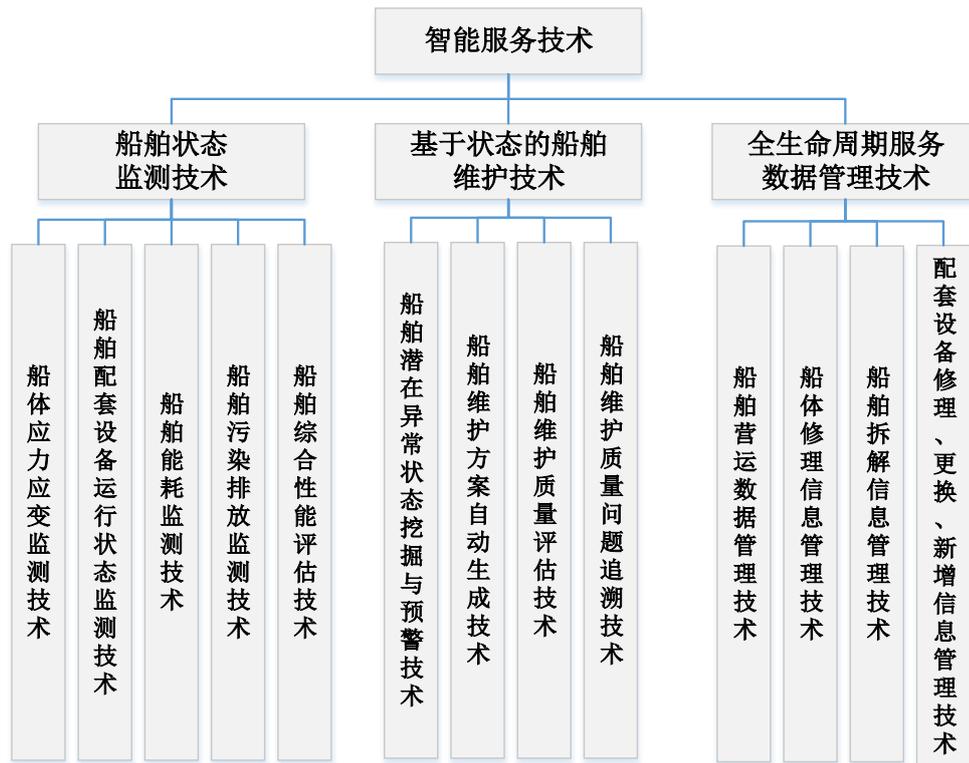


图 6. 智能服务技术

(五) 基础共性技术体系

基础共性技术可以分为信息技术、标准、建设规划、信息安全等四个主要技术领域，其中物联网、工业互联网、北斗/GPS、工业环境 4G 网络、混合组网技术和信息物理系统等关键技术属于信息技术领域；中间产品标准、通信接口标准、产品质量标准和生产工艺标准等关键技术属于标准领域；智能船厂厂区建设规划、智能船厂厂区改造优化和智能船厂评价体系等关键技术属于建设规划技术领域；数据存储安全、数据传输安全和软件安全的关键技术属于信息安全技术领域。通过以上分类梳理，形成如图 7 所示的智能船厂基础共性技术体系。

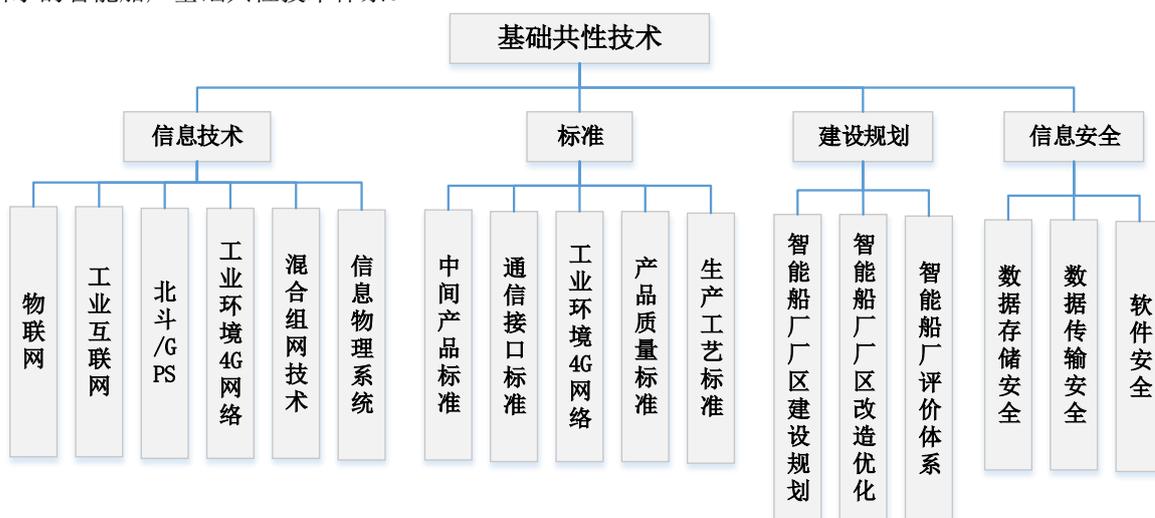


图 7. 基础共性技术

通过对当前智能制造和智能工厂的体系架构研究，在国内外先进造船厂的相关智能制造技术应用现

状基础上,本章提出智能船厂的架构体系,并整理出符合国内主要造船厂的技术发展水平要求的关键技术体系。技术体系框架的提出能够帮助智能船厂应对智能制造技术发展体系散乱的问题,响应业界对于产品全生命周期管控,环境友好,同时注重生产效率与可持续性发展的需求,以系统整体效率的提升为最终目标。

四 总结

长期以来我国船舶制造业存在着整体上比较粗放落后的问题,解决这一问题的关键在于没有标准化的智能船厂技术体系作为指导,因此智能船厂关键技术体系的梳理对于我国船舶企业建立智能船厂具有重要意义。本文聚焦于智能船厂关键技术的发展现状和未来趋势,并提出了智能船厂总体架构和关键技术体系框架。希望通过关键技术体系的提出,对我国船厂未来的关键技术实施和智能化实践提供一些建设思路,对建设智能船厂有参考意义,为协同、高效地推进实施“中国智造”在船舶行业提供一些新思路。

致 谢

受到工信部高技术船舶科研项目《智能船厂顶层架构及生产物流环节的应用研究》资助。

参考文献 (References)

- [1] 鄢萍, 阎春平, 刘飞, 何龙, 蒋林. 智能机床发展现状与技术体系框架[J]. 机械工程学报, 2013, 49(21): 1-10
- [2] 马兆林. 中国制造 2025 强国之路与工业 4.0 实战[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016
- [3] 国务院. 中国制造 2025[EB/OL]. http://wenku.baidu.com/link?url=Q9ukwE58KCDVEIkCt6kOWvOZu_53ms-IKqgXJokklSBPEKkLWmNXkYHdJl0vsr2ps-MMvMVzNky_KZV3S3vukpNtDw-swkSm_XvbIdKbbdFG, 2015-05-08.
- [4] 工业和信息化部, 国家标准化委员会. 国家智能制造标准体系建设指南 [EB/OL]. http://www.360doc.com/content/16/0110/11/29475041_526809766.shtml, 2015-12-29.
- [5] 工业和信息化部电子工业标准化研究院. 智能制造标准体系研究白皮书 [EB/OL]. http://wenku.baidu.com/link?url=ICZp6NdXE77qC9qdVRXvGKz0Ab47FR3nEdVZZHN16cvaEuJFVRcKofPHPJx7RSBnuKeCKwVl_bRBfdhiHoJsay9PRsqvKt_Xkn_Pc9LVbk3, 2015-07-31.
- [6] 刘彬, 向祖权, 郭纯轩. 智能化制造技术与船体建造焊接变形控制[J]. 中国水运, 2015, 15(7): 1-3, 34
- [7] 中国焊接信息网-焊接商务频道信息中心. 唐山开元造船业推出焊接机器人[S]. 焊接技术, 2014, 43(12): 37
- [8] 王园. 船舶焊接工程管理系统研究[D]: [硕士学位论文]. 江苏: 江苏科技大学, 2015.
- [9] 章仲安. 金海重工打造智能船厂之路[J]. 中国信息界(e 制造), 2015, 9: P42-43.
- [10] 王孙. 站在“互联网+”风口智能船厂应运而生[J]. 船舶经济贸易, 2016, 2: 20-22