

精益船舶海工项目协同设计平台研究

姜季江¹, 张小伟^{1,2}, 陈道毅², 陈光宇³

(1. 中远海运重工有限公司, 上海 200135; 2. 清华大学深圳国际研究生院, 广东 深圳 518055;
3. 电子科技大学经济与管理学院, 成都 611731)

摘要: 针对船舶建造企业采用精益制造模式的背景,在之前提出的船舶海工项目协同设计平台开发目标和总体框架、案例企业自主开发应用验证,以及总结出的精益设计实践基础上,结合精益设计理论和文献,进一步提出包括满足客户需求、流程、员工参与、领导角色、精益组织文化等在内的精益转型模型(LTM),其组成要素也可以用作特定组织精益转型的组成部分。研究将精益设计等理论应用于实践,同时基于案例总结归纳形成理论模型,为船舶海工等制造业的应用提供借鉴。

关键词: 船舶建造;精益转型;信息系统;协同设计

中图分类号: U671.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)11-0269-06

船舶和海洋工程(船舶海工)建造是我国的支柱产业之一,是保障航运和国家安全的重要产业。船舶海工生命周期内设计阶段决策会显著影响后续采购、建造和运营等阶段。此外,与船舶海工建造后续阶段的变更成本相比,设计阶段的变更成本甚微。因此,适当和精益的管理设计过程至关重要。本研究所称船舶海工包括海洋船舶和海洋工程装备。

推行精益设计和制造的关键是强化数据管理。没有数据做基础,精益制造和管理的核心改善无从谈起^[1]。采用工业 4.0 技术可以在市场适应性、成本节约和质量等方面提升^[2]。现有市场上的协同设计信息系统无法满足推进精益设计和制造的需求,相对可行的方式是根据企业需要进行自主研发,而自主研发需要最佳实践和理论的参考和指导。

目前查询可见对协同设计单个技术或者精益制造研究的文献。如文献[3]基于博弈权变-云模型进行了配电网设备精益运维的多属性评价;文献[4]进行了基于云计算的起重机协同设计应用研究。精益管理和制造方面文献,包括精益生产和敏捷制造比较研究^[5]、汽车研发试制项目群的精益管理研究^[6]等。航天等行业的少量研究可以为船舶海

工行业提供一定的参考价值,如飞机设计制造协同流程的研究^[7]、铁路车辆装备精益研发体系建设探讨^[8]、飞机研发中的精益设计与敏捷管理^[9]和飞机协同设计应用技术研究^[10]等。船舶海工方面,有基于精益研发平台的船舶信息化协同设计机制研究^[11]、精益设计在船舶设计研发中的应用初探^[12]等。由此可见,针对船舶海工可见的文献也同样局限于系统功能介绍或者具体开发技术的研究,对船舶海工协同设计的支持或总结理论、精益协同设计研究欠缺。

随着精益制造的推广,精益协同设计有较大的研究空间^[13]。本文在协同设计相关文献研究基础上,结合船舶海工产品特点,基于项目实践和案例研究,提出满足精益设计制造需求的船舶海工建造企业协同系统实施理论模型,以期弥补目前船舶海工企业精益设计信息系统研究支持和总结理论的不足^[14]。

1 相关文献

1.1 造船精益制造

造船精益生产或制造(lean manufacturing, LM)源于丰田生产系统(Toyota production system, TPS)。精益的原则是:①从客户的角度识别价

收稿日期: 2024-01-31

基金项目: 中远海运集团 2020 年度科研计划重大专项(2020-ZD-05)

作者简介: 姜季江(1976—),男,江苏南通人,硕士,高级工程师,研究方向为船舶企业生产运营和管理、智能制造、数字化转型;通信作者张小伟(1980—),男,陕西咸阳人,硕士,高级工程师,研究方向为工程项目管理与治理、造船海工商务风险与合同法律、制造业数字化与管理;陈道毅(1959—),男,贵州仁怀人,博士,教授,研究方向为海洋环境和可燃冰、海洋仪器和装备、海洋动力学、海洋卫星遥感和信息;陈光宇(1969—),男,四川雅安人,博士,教授,研究方向为质量管理与可靠性工程、项目管理和治理。

值;②确定产品或服务的价值流并消除浪费的步骤;③使产品或服务持续流动并标准化流程;④在不连续流动的步骤之间引入“拉力”;⑤力求完美^[15]。

真正精益和 TPS 的两个关键原则是“尊重人”和“持续改进”,由此产生的主要元素和思想包括团队成员参与标准化和有效系统解决问题的重要性。大多数现有文献都集中在精益的单个技术工具上。精益的技术工具是创建和维持 TPS 或精益文化所需的 3 个不可或缺的元素之一,另外两个是管理角色和理念。TPS 理念是信息系统实施的重要组成部分,TPS 理念包括:①客户至上;②人是最宝贵的资源;③关注工作场所(shop floor focus);④持续改进(Kaizen)。关注“尊重人”和“人是最宝贵的资源”是大多数传统精益计划中最常见但最关键的缺失考虑因素。持续改进是 TPS 中体现的另一个关键原则,重点是通过消除浪费来降低成本和提高质量,如果没有尊重人的关键原则,这是不可能实现的^[16]。

LM 已经在造船部门取得了良好的结果。1965—1995 年,日本造船业的生产率提高了 150%,主要是由于采用了基于丰田生产系统的精益原则。美国密西西比州的一家造船厂实施了 LM,制造时间减少了 54%,返工减少了 80%,生产率提高了 29%^[17]。

1.2 基于工业 4.0 的精益造船

现有文献回顾表明,精益和工业 4.0 的共同成功因素包括:①领导和承诺;②公司规模;③文化;④技术变革^[2]。

Beifert 等^[18]通过访谈研究同时提出与造船行业最相关的精益原则:①通过让客户参与规范、设计和定价过程来定义价值;②映射价值流,包括从功能方面到船舶图纸的产品开发、采购、施工和制造、系统集成和认证(即从安装到连接、机械完成、调试和最终交付给客户);③通过消除“批量和队列”来创造流程,注重分步操作,或者说“逐件”施工流程;④通过减少过度生产、保持低库存、减少废物、减少营运资金和改善沟通来制定原则。以下精益特性被评为最有利于造船的特性:提高最终产品质量,缩短施工时间;提高最终客户和供应商之间的形象;改进材料管理体系。

1.3 精益设计和精益产品开发

精益设计方法基于精益思维原则,旨在应用精益生产原则促进在生产制造过程中消除废物和非

增值活动^[19]。精益产品开发(lean product development, LPD)是将精益思维和原则应用到产品开发(product development, PD)项目中,旨在支持公司愿意实施精益思维、工具和技术,以提高其流程的整体性能^[20]。

产品开发和产品设计含义不同。产品开发过程是一个大型过程,包括集成的子流程系统,如市场情报、投资组合规划。相比之下,产品设计可以理解为一个组件、属性和关系的数量,因此产品与客户相关的属性来自自己定义的产品设计。因此,精益设计的目标是通过优化产品设计的间接方式,最大化客户价值,防止在下游生命周期过程中发生浪费。最好的产品开发过程如果不能直接产生良好的产品设计,就没有价值了。因此,产品开发团队和产品设计团队必须合作,因为如果没有有效的产品开发过程的直接支持和领导,最好的产品设计团队就有较少成功的机会^[19]。

1.4 精益设计管理

设计管理被定义为:“以用户为中心,对信息、产品和环境进行开发、计划、组织和资源支配”^[21]。协同设计系统采用信息和互联网技术,让设计人员通过不同时间段协同完成任务^[22]。

精益设计管理具有 3 大功能:设计系统设计、设计系统运行和设计系统改进。精益设计管理中引入了促进和支持这些功能的原则、方法和工具。设计系统设计必须从生产的 3 个角度来看待价值生成(为什么)、转化(什么)和流程(如何)。设计系统运行分为计划、监督和纠正管理活动。这些管理活动在不同的设计项目阶段和不同的详细级别(阶段、前瞻、每周和每日)中重复出现。诸如设计结构矩阵、协作规划和管理不必要迭代的策略等方法已经被引入。在设计系统改进中,重点是收集上下文信息,以在项目交付的不同阶段和设计项目结束时改进设计系统的设计和操作。为了防止故障再次发生,需要对偏差进行根本原因分析,并在当前和未来的项目中采取行动^[23]。

2 协同设计平台总体架构

2.1 结合精益理念的系统规划

工业 4.0 和真正精益之间的概念关系模型如图 1^[16]所示。实施工业 4.0,增强了流程可视性,加快问题识别和反应速度。真正精益说明了 TPS 的基本思想,防止问题再次出现,使标准化至关重要,因此要有一个系统来响应和提醒,这便是信息系统的主要作用。

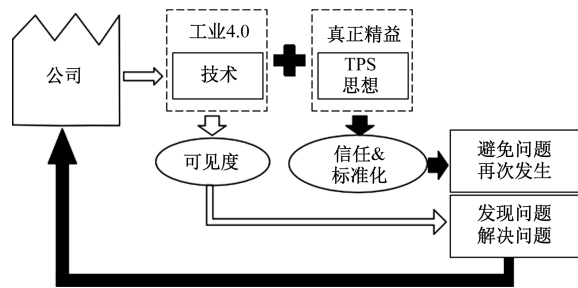


图 1 工业 4.0 与真正精益之间关系的概念模型^[16]

丰田文化主要特点是员工坚信问题再次发生是不可接受的,并要消除根本原因(通过根本原因分析)。因此会导致标准化工作的改变,这是 TPS 和真正精益的基础。TPS 操作方面的核心特征起源是八步问题解决法(澄清问题/clarify problem、分解问题/break down problem、设置目标/set target、根本原因分析/root cause analysis、制定对策/develop countermeasures、看透对策/see countermeasures through、监控结果和过程/monitor results and processes、标准化成功的流程/standardize successful process),也称为丰田商业实践(toyota best practice,TBP)和标准化工作^[16]。

2.2 船舶海工协同设计平台总体架构

船舶海工协同设计平台建设的目标是解决智能制造过程中的设计以及设计相关的工作协同和数据贯通。如图 2 所示,系统建设总体目标为实现船舶企业异地协同一体化设计,实现船型数据集成,规范设计流程和管理,提升设计协同效率。

3 案例研究

前述研究明确了船舶海工协同设计的相关理论

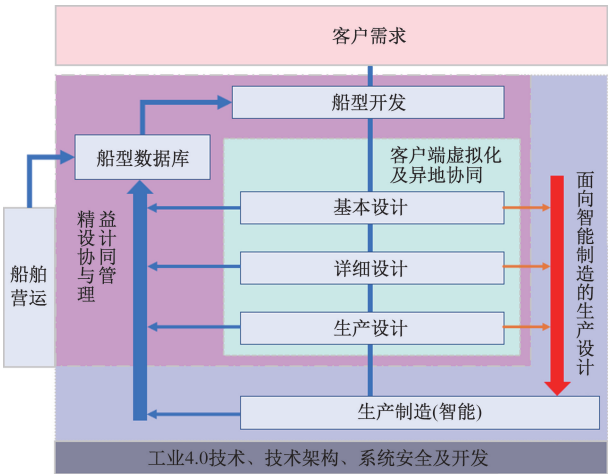


图 2 基于工业 4.0 的船舶海工协同设计平台总体架构

和总体规划,研究成果在 CA 公司进行了应用验证。

3.1 案例企业介绍

CA 公司作为国内船舶海工头部国有企业,在国内沿海建有数家大型船舶海工基地,正在推进精益制造模式的落地和数字化转型。其成立了内设的研发创新机构,主要承担船舶海工的产品开发设计工作,同时负责统括所属企业设计人员的协同和管理。其正在推进的精益制造和精益设计模式,需对原有的设计知识、工具、流程开展整体变革和底层重构,建设新的船舶海工设计协同和数据体系,规范产品数据和设计管理。

3.2 系统组成

CA 公司船舶建造协同设计平台由设计协同管理、船型数据库、终端客户机虚拟化系统 3 个业务模块构成(图 3)。各业务模块主要功能如下。



图 3 CA 公司异地协同设计平台

(1)协同设计系统服务于基本设计、详细设计,并延伸至生产设计,包括设计变更、设计意见、厂商设计协作等功能。

(2)船舶海工产品数据库,收集分析设计、生产等不同阶段以及营运相关数据。

(3)虚拟化桌面协同系统,搭建一套云桌面系统,供异地进行二维/三维设计使用。

4 案例讨论和启示

基于CA公司船舶海工协同设计平台开发实施总结,并借鉴Sullivan等^[20]提出的数字化转型最佳指导实践,以及Maginnis等^[16]的真正精益运营环境模型,在总结出的精益设计实践基础上,进一步提炼出了包括满足客户需求、流程、员工参与、领导角色、精益组织文化等在内的适合船舶海工企业的精益转型模型(lean transformation model, LTM)(图4^[16,20])。当然,模型组成要素的可靠性和有效性需要进一步研究。

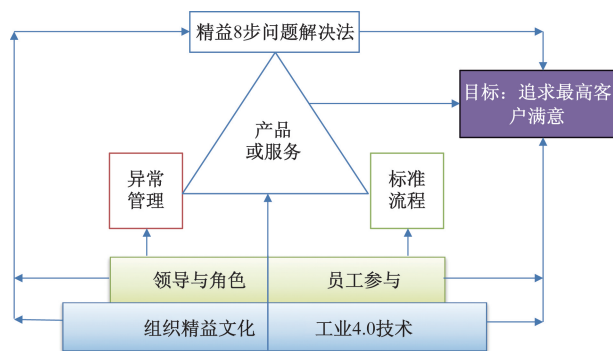


图4 精益转型模型^[16,20]

4.1 满足客户需求

组织的目标是通过一系列流程来创建产品或提供服务,以实现最高的客户满意度。成功的船舶海工设计需要考虑包括客户在内的所有涉及的利益相关者:设计师、工程师、造船厂和供应商^[20]。船舶海工协同系统开发过程中一直致力于通过信息系统使用,促进设计最大限度地提高客户满意度和价值创造。

4.2 标准流程和异常处理

“流程”是如何完成和组织工作,以实现为客户交付价值的方式;其不仅指一个过程应如何执行,而且还指如何不断改进工作^[20]。船舶海工协同系统开发实施过程中,对每个可实施的流程基于精益设计理念进行重新设计,以满足设计业务需求,并提高设计工作效率。

设计工作和活动需要标准流程(标准化工作),

以便团队成员能够区分正常与异常并发现问题。标准流程(即标准化)对于改进至关重要。系统运行正常的首要条件是拥有能够快速识别问题的稳定流程以及能够永久消除问题。在真正的精益中,这是解决问题的八步法(TBP)的关键所在^[16]。

4.3 员工参与

创建和维护精益系统运行需要敬业的员工,员工最了解工作的执行方式,最有能力看到问题并提出有意义的改进想法,这些想法积累形成知识。Maginnis等^[16]提出从事具体工作的团队成员是直接从事增值工作(即提供客户愿意付费的产品或服务)的人,他们对所有异常情况作出快速反应非常重要,以实现可继续正常工作。

满足上述条件通常需要调整工作的执行方式。这种转变是从团队成员同时执行正常和异常工作到他们的主要作用是仅执行“正常”工作的转变。异常工作会破坏团队成员执行可重复工作的能力,从而减少增值工作量^[16]。知识管理是指如何创建、共享、表示和重用知识。包括知识如何形成、共享和集成到设计过程中,通过船舶设计过程中对人员的培训、沟通,促进设计活动的拉动,以改进和加强设计工作^[20]。

4.4 领导与管理角色

领导力代表了领导者和组织内每个人所使用的软技能、行为和工具,以便他们能够以有效和协作的方式实现流程改进工作的目标。人们相互接触和互动的方式直接影响组织中尊重、授权和支持的程度。在让人们参与时,领导层可以直接增加员工驱动的参与,其与培育创新文化密切相关^[20]。在真正的精益系统中通过使用角色来实现的,特别是团队领导角色,其作用是消除异常,以便团队成员能够完成正常工作^[16]。

为了实现这些目标,像案例研究项目一样,每个计划/项目都应使用类似于项目总监的角色来领导和整合计划实施。项目总监负责定义、解释和传达整个组织的宗旨、战略和目标给每个人,确保传达清晰的项目信息^[20]。在案例研究项目实施过程中,CA公司总经理和副总工程师担当项目总监角色,不定期组织会议,给予项目组支持并解决过程中的问题。

4.5 结合工业4.0等信息技术

将精益概念与工业4.0结合使用的优势,通过访问实时数据提高流程可视性,从而实现真正精益需要的改进。精益结合工业4.0在组织中实施,旨

在建立一种支持标准化和问题解决的文化,防止问题再次出现,以满足生产环境中的高复杂性,并同时关注客户,以创造提高效率的协同效应^[2]。同时,与工业 4.0 相关的技术可以提高信息的数量和质量,适当的分析可以帮助发现问题,在某些情况下甚至可以自我纠正问题^[16]。当前船舶海工设计项目的成功取决于信息在设计活动中流动的情况,信息技术的使用可以形成控制整个设计活动中信息流的先决条件。此外,信息技术的利用是提高设计过程效率的必要条件。

4.6 组织精益文化

真正的精益可定义为:“当且仅当公司文化是改进发生的原因时,团队自己利用系统性的问题解决来改进他们所做的工作,以实现公司的目标”。同样丰田将 TPS 定义为:“一种由高度敬业的人员解决问题(或创新)以推动绩效的组织文化,这种组织文化是由哲学、技术工具和实践以及管理角色组成的系统创建和维持的形成整体”^[16]。持续改进的方法和培育创新文化有助于整合转型,并通过精益的角度促进设计过程(无论是否精益)的改进^[20]。

丰田的持续改进和尊重人的关键原则是团队成员参与的基础。TPS 思维以及信任和标准化提供了消除问题重复出现的能力。丰田本身对于 TPS 和工业 4.0(及其相关技术)的结合虽然采取了更为谨慎的立场,但其承认使用“大数据”等技术进行预测分析,使用基于工业 4.0 的信息系统来实时捕获信息以支持决策。因此需要使用工业 4.0 及其相关技术作为资源,持续关注提升员工基于数据的决策能力^[16]。

5 结语

船舶海工企业是典型的工程订单(ETO)企业,在推进精益设计和产品数据管理面临挑战,需要采用定制的方法来实施信息系统。本文案例企业开发的船舶海工协同设计平台由设计协同管理、船型数据库、终端客户机虚拟化 3 个系统组成。设计协同管理系统平台已经在案例企业上线应用,提高了设计效率、数据准确性和意见反馈及时性,实现了船型开发和船舶海工项目设计异地协同。

结合案例企业自主开发应用验证,以及之前总结出的精益设计实践基础上,提出了包括满足客户需求、流程、员工参与、领导角色、精益组织文化等在内的适合船舶海工企业的精益转型模型(LTM),供后续包括制造业设计流程再造和系统开发参考,这些要素也可以用作特定组织中精益转型的组成

部分。建议该领域未来的研究对拟议框架支柱可靠性和有效性进行验证,并识别其他重要因素。

参考文献

- [1] 郑志波. 基于精益造船模式的生产计划管理系统设计与实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [2] BIRAJDAR D, VASUDEVAN H. A model for integrating industry 4.0 and lean tools using critical success factors in Indian manufacturing industries[J]. Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation, 2023: 215-222.
- [3] 吴建斌, 谷志红, 王正, 等. 基于博弈变权-云模型的配电网设备精益运维多属性评价[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(27): 11615-11623.
- [4] 刘超然, 王宗彦, 秦慧斌, 等. 基于云计算的起重机协同设计应用研究[J]. 科技和产业, 2013, 13(9): 161-166.
- [5] 王美会. 精益生产和敏捷制造比较研究[J]. 科技和产业, 2012, 12(7): 104-105.
- [6] 张瑞宏, 李强. 汽车研发试制项目群的精益管理研究[J]. 科技和产业, 2016, 16(11): 83-89.
- [7] 付广磊, 王仲奇, 吴建军, 等. 飞机设计制造协同流程的研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(4): 560-566.
- [8] 林量才, 姜瑞金, 刘锴, 等. 精益研发体系建设探讨[J]. 铁道车辆, 2022, 60(5): 92-96.
- [9] 杨伟, 赵锁珠. 飞机研发中的精益设计与敏捷管理[J]. 航空工程进展, 2010, 1(1): 6-11.
- [10] 王磊, 王正平, 林思伟. 飞机协同设计应用技术研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(22): 5855-5859.
- [11] 李涛涛, 宋一洪, 林锐. 基于精益研发平台的船舶信息化协同设计机制研究[C]//2017年数字化造船学术交流会议论文集. 武汉: 中国造船工程学会, 2017: 101-105.
- [12] 林锐, 吴波, 刘敏. 精益设计在船舶设计研发中的应用初探[C]//2011中国造船工程学会造船工艺学术委员会造船企业精益生产学术研讨会论文集. 武汉: 中国造船工程学会造船工艺学术委员会, 福建造船工程学会, 2011: 97-99.
- [13] 尹翰坤. 汽摩零部件新产品开发云制造服务平台及关键技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- [14] LIU C, LE ROUX L, KÖRNER C, et al. Digital twin-enabled collaborative data management for metal additive manufacturing systems[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2022, 62: 857-874.
- [15] HICKS C, MCGOVERN T, PRIOR G, et al. Applying lean principles to the design of healthcare facilities[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 170: 677-686.
- [16] MAGINNIS M A, HAPUWATTE B M, KEOWN D. The integration of true lean and industry 4.0 to sustain a culture of continuous improvement[C]//Product Lifecycle Management in the Digital Twin Era: 16th IFIP WG 5.1 International Conference Revised Selected Papers. Berlin: Springer, 2020: 336-345.

- [17] PRIMO M A M, DUBOIS F L, OLIVEIRA M L M C, et al. Lean manufacturing implementation in time of crisis: the case of Estaleiro Atlântico Sul[J]. *Production Planning & Control*, 2021, 32(8): 623-640.
- [18] BEIFERT A, GERLITZ L, PRAUSE G. Industry 4.0-for sustainable development of lean manufacturing companies in the shipbuilding sector[C] // *Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Selected Papers from the 17th International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication*. Berlin: Springer, 2018: 563-573.
- [19] DAHMANI N, BELHADI A, BENHIDA K, et al. Integrating lean design and eco-design to improve product design: from literature review to an operational framework[J]. *Energy & Environment*, 2022, 33(1): 189-219.
- [20] SULLIVAN B P, ROSSI M, RAMUNDO L, et al. Maritime design process improvement through a lean transformation[C] // *Proceedings of the 6th European Lean Educator Conference*. Berlin: Springer International Publishing, 2020: 417-431.
- [21] 赵乐. 基于协同设计平台的设计管理评价研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2021.
- [22] 王文娟. 面向企业的协同设计管理系统设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2020.
- [23] PIKAS E, KOSKELA L, SEPPÄNEN O. Improving building design processes and design management practices: a case study[J]. *Sustainability*, 2020, 12(3): 911-929.

Research on the Lean Collaborative Design Platform of Marine and Offshore Engineering

JIANG Jijiang¹, ZHANG Xiaowei^{1,2}, CHEN Daoyi², CHEN Guangyu³

(1. COSCO Shipping Heavy Industry Co., LTD., Shanghai 200135, China; 2. Shenzhen International Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen 518055, Guangdong, China; 3. School of Economics and Management, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: In response to the background of adopting the lean manufacturing model in shipbuilding enterprises, based on the development goals and overall framework of the collaborative design platform for shipbuilding and offshore engineering projects, the independent development and application verification of case enterprises, and the summary of lean design practices, the theory and literature of lean design, refines and proposes a lean transformation model (LTM) which including the elements of meeting customer needs, processes, employee participation, leadership roles and lean organizational culture etc.. These elements can also be used as components of specific organizational lean transformation. The research applies theories such as lean design to practice, and as of now, based on case studies, summarizes and forms theoretical models, providing reference for the application of manufacturing industries such as shipbuilding and marine engineering.

Keywords: shipbuilding; lean transformation; information systems; collaborative design