

丹麦探索 3D 打印技术

3D 打印技术在造船领域有许多潜在的应用可能，从何处着手是个问题。下述丹麦项目旨在探索最具可行性的一些应用方案。

是威胁还是机遇？正如许多新技术一样，3D 打印技术二者兼具。3D 打印技术可以简化供应链管理，使零部件变得更易获取，但与此同时，它又会在知识产权、产品可靠性和供应商业模式方面引发诸多问题。针对船舶特殊性对 3D 打印设备提出专门要求和限制之前，首先要考虑的问题是海上生命安全和打印产品的分级。

有多家船运与海洋工程方面的知名公司参与的丹麦公私合作项目“绿色船舶的未来（Green Ship of the Future, GSF）”已在项目的第一阶段综合评估了 3D 打印技术的潜能。而 2018 年的第二阶段，将试图解决海事领域的上述问题。第二阶段新加入了 4 个实际的重点项目，2017 年 10 月在哥本哈根 Maersk 总部的一个研讨会上对此进行了发布。

3D 打印在船舶方面的一个显而易见的应用是在海上进行零部件打印。2017 年的沃勒斯报告（Wohlers Report，全球领先的 3D 打印技术咨询公司发布的业内公认的权威报告）估计：就整个工业领域而言，70% 的库存备件是不会用到的。散货船和液化气船船东 J. Lauritzen 性能管理部的主管 Sverre Vange 先生也认可该数据，他对 J. Lauritzen 开展的在船 3D 打印技术研究项目进行了介绍。

Vange 先生称：“作为船东代表，我们首先考虑的是备件仓库的那些零部件，许多都可能不会被使用。因此，我们希望通过 3D 打印技术改善这种浪费现象。我们在船上布置了 1 台小的 3D 打印设备，看看它能做些什么。”

GSF 框架的一个优势在于参与者能直接参与项目。J. Lauritzen、Maersk Line 及 Maersk Drilling 的资源整合起来，意味着打印机不仅可以在多条船上试验，还可以在多种船型上试验。

跨部门合作

Vange 解释道：在一个项目结束后，经常会出现该项目成果仅限于某个领域，在其他领域却不适用的情况。而我们的这个项目由于有 Maersk Line 和 Maersk Drilling 的参与，能覆盖多种船型。

最初的想法是将 3 台打印机中的 1 台搬上船，看看它能如何工作。但当 Maersk 加入时，项目的涉及面扩大了。因此我们增加预算购置了 10 台打印机，并将其用在不同的船——钻井船、集装箱船、散货船和 LPG 运输船上。

其他合作方包括：负责质量认证的 DNV · GL；负责 3D 打印设备上船后（供应链下游）应用效益研究的哥本哈根商业学校；MAN Diesel & Turbo 在此项目的知识产权方面扮演重要角色；而软件公司 Create It Real 具有知识产权保护策略。

Vange 先生称：“打印原始零部件是该项目中一个非常有趣的部分。Create It Real 开发了一些软件，使 MAN 能够将文件密码化，只能在特定的某台打印机上进行打印，还能对打印数量或打印时长进行设置，例如只能打印三个零部件，或只在两天内能正常打印。”这样 MAN 就不用担心其产品被非法复制。打印机仅服务于指定的一艘船舶，且打印数量也是限定的。MAN 掌握哪台打印机安装于哪艘船舶的信息，因此能定位每一个零部件并进行测试。

该项目的目标是在 2018 年 1 月安装打印机，并在同年 6 月完成测试。这么紧的时间表意味着合作方必须确保项目简单易行。Vange 提到：“船员们必须立即能投入工作，我们不可能让船员们在岸上进行为期一到两周的培训。”

选用的打印机非常基础，能打印最大 15 cm×15 cm×15 cm 的塑料部件。该打印机可以在五分钟能安装完毕并待命，材料线轴上缠绕着原始材料——塑料线材，其中一些材料，Vange 称“非常坚固。”

质量控制

质量控制将是该项目的关键。在岸上打印，随后进行质量测试是一种方式。但在船上会有许多限制条件。我们想尽可能使质量测试更全面深入一些，却并不想将许多设备搬上船。我们也确实想过请船员们每个月都打印一个相同的零部件，并对其质量进行检测。

船员们的反馈同样非常重要。我们会让船员们按照已有的产品计划（通常如立体平板印刷或标准模板库文件）进行打印，也会鼓励他们使用设计软件自行开发零部件。这里我们并非指发动机零部件，而是一些相对简

单的东西，如一个门把手。船员们可以快速打印，不用等采购部处理订单。

工作组将在 2018 年 6 月发布最终版的工作总结报告，内容包括工作成果、建议事项等。

该项目的另一个有力支持者是专业的燃油喷射和涡轮增压服务供应商 PJ Diesel Engineering，其将研究两项成熟的 3D 打印技术在发动机零部件修复方面的应用，如果可行，意味着船东可以自行修复零部件，而不用将其送回制造商处进行维修。

该项目有几个挑选标准，包括从设计到投产的时间，费用和设备尺寸，最终挑选了某款 KBB 涡轮增压器的涡轮叶轮作为测试项。PJ Diesel 总经理 Rasmus Elsborg-Jensen 先生称：“我们挑选了一个损坏的叶轮，通常像这样的叶轮会被弃用，并交由 KBB 处理，而 KBB 会提供一个新的叶轮。但这个型号的产品已经停止生产了，因此有关方看到了使用 3D 打印技术进行修复的价值所在。”

3D 打印技术的挑选也非常严格，工作组最后确定了两个方法。激光喷镀是通过高能激光融化金属基体的金属粉末，形成一个小的坑，从而可以将材料融化并融合。采用冷喷涂技术，金属颗粒加速至高速状态，其动能可融化颗粒物。

Elsborg-Jensen 解释到：“相对于一些被炒作的技术，这些 3D 打印技术是相对成熟的。成熟的技术可以削减费用，并可以被整年采用。我们不会选择全新的技术，因为这些技术又昂贵，又未经有效试验验证。”

对于在船打印，参与方均严肃对待。该项目对 DNV·GL 而言是里程碑式的项目，是该知名船级社“增材制造指南第一版”的第一次实际应用。增材制造专家 Force Technology 和 Dycomet 将开展零部件试验，KBB 也将进行这方面的工作；同时，丹麦技术大学正在开展全生命周期评估。最后，如果测试成功，修复后的零部件将安装于 Maersk 的船上。这是一个独特的项目，因为它是一次全价值链的合作，从制造方到用户；并且该项目小而聚焦：项目时长为一年，研发预算 10 万美元。合作方通力合作，避免保密协议，希望能够互相学习。

如果这个修复项目被称为成熟技术的新应用，那么接下来的一个造船业大型 3D 打印可行性研究项目也是一样。造船与海洋工程公司 OSK Shiptech 的 Ørgård-

Vinding 称：“之所以这样说，是因为至今在大尺寸的增材制造项目中还没有什么大的投入。我们努力让有关专家帮助我们开展大尺寸 3D 打印的研究工作。3D 打印技术在小型零部件方面的研究与应用增长迅猛，但 3D 打印技术的尺寸则呈线性增长，非常缓慢。”

这并非意味着大尺寸 3D 打印并不存在。美国打印了一台塑料潜艇，与传统的钢制潜艇相比具有许多优势，而且它还有不会被声呐探测到的优点。但与传统造船业使用钢板制造相比，开展大尺寸 3D 打印项目的费用会非常昂贵，并且效率也很低。

OSK 认为，尽管如此，3D 打印在船厂还是有潜在应用可能的。该公司正在领导一个增材制造在最普通的节能装置——球鼻艏上的应用。

改变球鼻艏

Ørgård-Vinding 解释道：“球鼻艏优化设计是针对一些特定的，航速为 18~24 节的集装箱船进行的，如果航速大大低于这个区间，流体动力会发生极大改变，球鼻艏反而会增加阻力。船东们的理想状态是：有两三个可选球鼻艏待用，根据实际航行情况做选择。这类球鼻艏也可以在航行期间 3D 打印，待船舶停靠码头时下水安装。”

Ørgård-Vinding 向参加研讨会的代表们介绍道：“我们相信此举可以使大型集装箱船的油耗减少 3%。Maersk Line 每年的燃油消耗量为 150 万 t，而通过上述技术可节约 1 200 万美元/年。相比于 Maersk Line 的集装箱船数量，全球其余船队的集装箱船总量是其 10 多倍。因此经济效益非常可观。”

公司在 5 个国家申请了专利，并有望获得 4 个国家的专利认可。与此同时，公司正在研究二代技术产品，但要实现样机制造，还有较长的一段路要走。OSK 须要找到一位勇敢的船东，而且在此之前，必须完成风险评估，这项工作目前已经在开展了，目的是要探寻如果可拆卸式球鼻艏掉了，会对航行中的船舶产生什么影响。

OSK 将在 10 年的时间里研究：在不替换球鼻艏的情况下，由电荷触发改变球鼻艏形状。Create.dk 公司的 Ivar Motke 先生概括性地介绍了 4D 打印技术——通过热、电或压力触发改变 3D 打印产品的形状。4D 打印技术尤其适合阀门和通风口，Motke 在会场也鼓励大家设想新的应用可能。如，一个由 Clorius Controls 领导的项

目，也是 GSF 的第 4 个打印创新项目，针对的是可用作锅炉恒温器部件的热动三通阀。

对保守的航运业而言，4D 打印可能过于前瞻。但

Green Ships of the Future 组织的相关合作方相信：是时候打破航运业的保守形象，张开双臂，拥抱 3D 打印等前沿技术带来的好处了。

采用 3D 打印技术制造传统船用零部件

自 2014 年成立以来，SO3D Technologies 已快速成为增材制造领域的领导企业。该公司从小型艇的零部件起步，扩展到电子、医药、汽车、航空、建筑与设计领域。

SO3D 尤其以将增材制造和熔模铸造等传统制造方法相结合而闻名。不同于其他 3D 打印处理工艺在船舶领域制造了一些新闻，如：RAMLAB 公司 3D 打印了螺旋桨，美国海军 3D 打印了潜艇，SO3D 的技术显得不那么夺人眼球，它仅是提高了铸造金属件的加工时间。而“最后的产品”仍采用船用设备供应商几十年来一直采用的传统技术生产。SO3D 还因其 3D CAD 设计而闻名，相关业务从为客户团队提供咨询和协助，到管理用户的整个设计要求。

2017 年年底 Maritime Executive Magazine 对 SO3D 的 CEO Will Howden 先生进行了采访，就 3D 打印技术在船用设备革命性产品开发、样机和零部件供应方面的开拓性潜能做了探讨。

Maritime Executive Magazine：SO3D 可为船用设备制造商及其经营方带来什么好处？

SO3D：我们现在主推的服务项目是“打印 - 熔模 / 翻砂铸造”。该项目与传统制造工艺相比可以大大缩短项目周期。我们的 3D 打印时间根据零部件尺寸大小会有所不同，总体而言从几个小时到一整天不等。相比而言，如果采用喷射铸造法，可能在一个零部件喷铸前光开发模具就要花费数月的时间。

我们采用一种专门开发的材料进行打印，这种材料直接取代了铸造厂通常用于熔模 / 翻砂铸造的蜡或木质 / 金属。我们可以在上午进行设计，下午或晚上打印。铸造厂在第二天上午可以拿到打印件，并开始铸造。采用熔模铸造工艺，可以在约两周内取回零部件，零部件的材质包括铝、青铜、铜、不锈钢和钛等。根据客户需求，翻砂铸造零部件的周转时间大约可以为数天。

对研发而言，这意味着客户手上有有了一个真正的铸件，他们可以快速且经济地进行测试和评估，而无需花费 1 万美元甚至更多用于最后可能并不好用的模具。

Maritime Executive Magazine：这种技术比较适应何种应用？

SO3D：适用于少次或一次性产品或是产品开发。最后完成的零部件也可铸造和数控加工以达到更严格的公差，以满足发动机零部件等机械产品的应用，就像采取熔模 / 翻砂铸造的产品一样。

我们的方法可以减少库存。单个用于熔模铸造的模具其价格可能比蜡型模具的昂贵，但如果你现在立马需要一些零部件，而且你又不希望因模具产生额外的经济负担，就可以按需订购我们的打印产品。

Maritime Executive Magazine：产品可以做到多大？

SO3D：产品尺寸的极限不是产品物理尺寸，而是一次可浇注的重量。我们在英国的铸造合作方可以浇注 90 磅（约 41 kg），而他们在印度的工厂可浇注 550 磅（约 249 kg）的铸件。对于大多数船用部件而言，这意味着部件的长宽高分别约为 0.9 m。这个数值是一个概数，会因材料和铸造因素而异。如果与更大的铸造厂合作，就可以直接制造更大的零部件。如果采用翻砂铸造，尺寸可以大几倍，因为我们可很方便地就能将各部件组装在一起。

Maritime Executive Magazine：不靠铸造工艺，直接用金属打印部件怎样？

SO3D：如今，3D 金属打印仍非常昂贵。对航空和汽车行业而言，还具有一些经济可操作性。因为零部件的重量对飞机和汽车来说非常重要，但对其他日常产品而言，完全采用 3D 金属打印从经济角度来说就没有什么优势了。

未来，我们将与一家专注于熔融长丝制造 (fused filament fabrication, FFF) 技术的欧洲公司合作。该技术通过将金属粉末装到塑料夹具中并烧结成最终的金属件。这意味着我们能采用金属（首先从 316SS 开始）进行 3D 打印，而金属材料将作为粉末系统费用开支的一部分。这是一种非常新的技术，我们尚在学习如何使用。但我们与合作方的工作已经起步，我们也非常高兴地看到我们的合作伙伴认为该技术有望削减他们从订货到交货的时间，优化供应链。

DNV · GL 发布船舶、油气工业第一个 3D 打印认证指南

DNV · GL 船级社日前发布了一份分类指导指南，为在船舶和油气行业使用 3D 打印技术提供参考。据报道，该指南是首个能对制造商、材料供应商和其他船舶与油气行业的企业就开发增材制造技术，并确保 3D 打印产品质量进行指导和提供参考的文件，

在这两个行业里，增材制造技术，尤其是基于金属的 3D 打印，近年来获得了越来越多的关注。制造商们开始评估定制部件与按需甚至实地制造配件的好处。例如在船舶行业，在船上制造一个零部件具有生态优势，如，3D 打印可以减少船上的各类备件储备，从而减少载货量，进而可以减少船舶航行的油耗；因无须直升机或运输船运送替换零部件，减少运输油耗。

如同许多其他行业一样，船舶和油气行业中 3D 打印零部件的认证仍是一个难题。DNV · GL Maritime 的材料专家 Marit Norheim 先生说：“我们自 2014 年起就开始研究 3D 打印在这两个行业的可行性。DNV · GL-CG-0197 指南的发布，意味着 DNV · GL 已经做好为客

户和行业利益相关方提供认证和支持服务的准备，以帮助他们利用这项正在快速走向成熟的技术。指南的发布也给了终端用户对产品的信心，并使许可供应商们具备提供用于船舶和近海设施的技术和产品的资格。”

该指南建立了一些认证步骤，以确保 3D 打印部件能满足行业标准。认证步骤并不局限于终端使用的零部件，而是包括材料、3D 打印技术、数据传输处理、打印、后处理等各环节，具体可见下图。

Norheim 称“与在传统制造环境下生产的零部件承担相同功能的增材制造零部件，必须具有相同的质量水平。”同样的，设计零部件的公司必须保护其产品的知识产权，从而确保客户获得能适合应用的正品产品。这就是为何该指南对于所有行业利益相关者而言都非常重要。

DNV · GL 还与丹麦 3D 打印公司 Create it REAL 和船业联合组织 Green Ship of the Future 合作。合作的目的在于测试和探索在船上使用 3D 打印技术的可行性。

产品生命周期	工作	基础/参数	DNV 认证步骤
概念	可行性研究	经济/技术优势	可行性报告审读
设计	要求	设计参数	设计验证/认证
3D模型和FEA	分析和建模	FEM优化	设计验证/认证
参数设定	软件和预编程	软件说明书	软件代码认证
增材制造/3D 打印	程序化生产	工艺参数	TQ/AOM
后加工	加工和热处理等	车间工艺	工艺认证
外观检查	CT扫描等	检验工序	AoSS
材料测试	破坏性试验和非破坏性试验等	测试过程	实验室认证
功能测试	液压测试	功能要求	材料/产品认证
运行检查	定期检修	操作指南	定期检验
维修/替换	评估	维修说明书	调查/支持