

评论

ABB

世界上历史
最悠久的技术期刊之一

03|2024 zh

推动效率跃升



—
164–185 ABB Dynafin™

186–197 采矿电气化

198–217 优化运营



164



164

变革推进技术



186

电气化运输

尽显真实色彩



198

-
- 161 **编者按**
 - 162 **订阅列表**
《ABB 评论》期待您继续
订阅。

ABB Dynafin™

- 164 **变革推进技术**
革命性 ABB Dynafin™ 船
用推进器
- 168 **揭秘空化现象**
ABB Dynafin™ 次摆线螺
旋桨空化分析
- 174 **命令和控制**
精准控制 ABB Dynafin™
次摆线螺旋桨
- 180 **协作助强**
ABB 与 VTT 就 ABB Dyna-
fin™ 项目开展重要合作
- 182 **发挥团队力量**
造就 ABB Dynafin™ 的愿
景、才干和执着

采矿电气化

- 186 **电气化运输**
采矿脱碳技术之对比
- 193 **绿色电网**
自动化电网设计和分析,
助力克服可持续性难题

优化运营

- 198 **尽显真实色彩**
高性能在线纸张色彩测量
- 202 **反映纸张湿度**
高性能在线纸张湿度测量
- 208 **熔体测量**
非侵入式实时熔体温度测
量预测
- 214 **细粒度可见性**
帮助客户加速实现净零排
放

专业术语解释

- 218 **空化**

-
- 219 **订阅**
 - 219 **出版信息**

分享文章

您是否读到了同事或朋友可能感兴趣的文章? 从第 03/2023 期《ABB 评论》开始, 每篇文章都附带一个单独的二维码, 通常位于文章末页, 扫描即可分享文章内容。

紧急通知

《ABB 评论》纸质版和电子邮件通知的现有订阅列表即将停用。请扫描下方二维码重新订阅。《ABB 评论》工作人员对此次变更给您带来的不便深表歉意，并期待读者能继续订阅我刊。



下期预告：机器人 50 年发展史

编者按

推动效率跃升



亲爱的读者：

很荣幸欢迎您阅读我出任首席执行官以来出版的首期《ABB 评论》。

人类正面临着前所未有的挑战，这些挑战进而对地球的宜居性产生了威胁。幸运的是，其中多项挑战均可通过工程设计来予以克服——无论是通过整合无化石能源、提升能源效率、循环利用和节约资源，还是借人工智能驱动的洞察和决策提高生产率，方式不一而足。

110 年来，《ABB 评论》一直砥砺前行，报道最前沿的研究和开发成果。在本期期刊中，我们介绍了新型海上推进系统 Dynafin™，其与螺旋桨相比，节能可高达 22%。另还介绍了采矿电气化和造纸行业先进传感器等突破性技术。

敬请参阅本期《ABB 评论》，了解相关及更多创新信息。

祝您开卷有益！

A handwritten signature in black ink that reads "M. Wierod". The signature is fluid and cursive, written in a professional style.

Morten Wierod
ABB 集团首席执行官

新版《ABB 评论》

自第 01/2025 期开始，《ABB 评论》的格式将以新格式呈现。变更包括：

- 经改造和扩展的创新网络中心提供其他材料，例如短片剪辑和短篇文章。
- 更多案例研究和采访。
- 一年两版印刷（目前是四版）。
- 在两次印刷版之间，将另发表仅供在线阅读的文章。
- 更多详细信息将在第 04/2024 期《ABB 评论》中予以公布。

01

《ABB 评论》简介

《ABB 评论》自 1914 年以来连续出版，是世界上历史最悠久的技术期刊之一。该期刊以其准确性和客观性为傲，是“同行与同行”之间的对话与分享。《ABB 评论》免费提供给对 ABB 技术及其目标感兴趣的人士。

《ABB 评论》章程

《ABB 评论》旨在以客观、长久、可靠且精准的方式向 ABB 客户展示 ABB 每年逾 10 亿美元的研发投资所带来的最新研究成果、创新解决方案和成就。

封面照片：©Noah Clayton via Getty Images

02



《ABB 评论》期待您继续订阅。

立即续订！

如果您不即刻行动，这很可能将是您收到的最后一期《ABB 评论》。无论您正阅读的是印刷版还是数字版，都需要重新注册才能继续订阅。



**Andreas
Moglestue**
《ABB 评论》
瑞士苏黎世

andreas.
moglestue@
ch.abb.com

自第 01/2025 期开始，《ABB 评论》将以新格式呈现→01。作为此次变更的一环，我们正着手审查我们的发行机制。我们目前的邮件列表随着时间的推移一直处于自然增长状态，但遗憾的是，在数据隐私和同意方面总存在一定出入。因此，我们敬请所有订阅者（无论订阅的是印刷版还是电子邮件提醒）重新订阅。

如欲重新订阅，最简单的方法是扫描下方二维码，按说明进行操作。无法使用二维码的读者请访问《ABB 评论》网页 abb.com/abbreview，选择“订阅”即可。

未来将只提供一个订阅列表，订阅者可以通过该列表选择是希望接收印刷版、电子邮件提醒还是同时接收两者。

如果您未能重新订阅，我们只能遗憾地认为您不再同意订阅，并将从 2024 年底起自动取消订阅。

对于此次变更给您带来的不便，我们深表歉意。如您能继续订阅《ABB 评论》，我们将不胜感激→02。

Andreas Moglestue
主编



—
ABB Dynafin 概念的灵感源于鲸鱼尾巴的动态运动。



船舶 CO₂ 排放量占全球总排放量的

2%。

ABB Dynafin™ 是螺旋桨的替代产品。



ABB Dynafin 的效率更高，产生的噪音和湍流更低。

革命性 ABB DYNAFIN™ 船用推进器

变革推进技术

ABB 推出了全新的摆线推进器概念——ABB Dynafin™，可显著提高船舶效率，确保大幅减少整个船舶行业的排放。

国际贸易大都依赖水路运输。尽管航运业是国际贸易中最具成本效益的货物运输方式，但其存在一个缺点，即船舶通常燃烧重油，产生二氧化碳 (CO₂) 等温室气体 (GHG)，导致海运业的 CO₂ 排放量约占全球人为排放量的 2% [1]。事实上，若将航运业比作一个国家，它将成为全球第六大温室气体排放国[2]。

这些排放问题，国际海事组织 (IMO) 宣布，到 2050 年实现国际航运净零排放的目标。为实现这一目标，替代能源和先进的推进技术被视为该计划的关键要素。



2023年5月, ABB 推出了一款突破性解决方案 ABB Dynafin, 有望彻底变革船舶推进系统。这是一款摆线推进器, 满足了对高效减排的迫切需求。

ABB Dynafin

创新型 ABB Dynafin 通过从船底突出的叶片产生推力→01。叶片围绕自身轴及其安装载体可旋转轮的轴旋转。通过这种方式, 在精密控制系统的控制下(参见本期第 174 页的文章“命令与控制”), ABB Dynafin 可以实现极高的流体动力效率, 几乎瞬时即可改变推力方向, 从而提供极为出色的机动性, 这远非传统螺旋桨绕垂直轴旋转来引导推力的布局可比。

ABB Dynafin 概念本质上是一个摆线螺旋桨, 配备单独控制的叶片, 所采用的次摆线路径几乎与鲸鱼尾巴的次摆线路径无异。

(次摆线是指当一个圆沿一条给定直线滚动时, 固定在圆所在平面内一定点经过产生的曲线。)次摆线螺旋桨的研究并不新鲜, 但直到现在, 技术限制导致其无法投入商业化并推向市场。

电动直驱电机驱动主轮做出旋转运动。主轮的转速相对较低, 从 40rpm 至 80rpm 不等, 并配备四至六个相同的叶片→01。在所有操作情况下, 旋转方向保持不变, 推力大小和方向由主轮转速和叶片调节共同决定。最初, ABB 专注于开发每台推进器功率范围为 1 至 4MW 的 ABB Dynafin 机组→02。

模型和建模

ABB Dynafin 的开发从使用计算流体动力学 (CFD) 仿真来评估流体动力学性能和进行缩尺模型敞水试验中获益匪浅→03a-b。大部分细化工作由 ABB 与位于芬兰埃斯波的芬兰 VTT 技术研究中心团队携手完成(参见本期第 168 页的文章“揭秘空化现象”)。

流体动力学性能测试的下一步是通过将推进器改装到平台支援船的船体上, 使 ABB

叶片围绕自身轴及其安装载体可旋转轮的轴旋转。

Dynafin 暴露在更接近现实世界的条件下。然后可将性能与相同功率范围内的现有 Azipod® 装置进行对比。

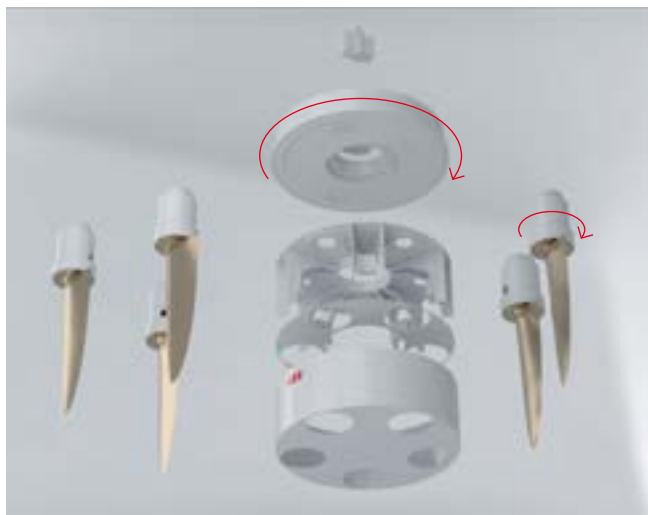
在成功进行仿真、缩尺模型和船体测验后, ABB 与几家船舶设计室、造船厂、船主和运营商进行了富有成效的讨论, 以验证该概念的可行性。

关键效率因素

要提高 ABB Dynafin 的高效率, 离不开几个关键因素, 例如推进区域更大, 这降低了螺旋桨负载, 从而最大限度地降低了推力载荷系数。该系数越低, 螺旋桨的理想敞水效

—
Jani Hakala
Janne Pohjalainen
Veli-Pekka Peljo
ABB 船舶与港口事业部
芬兰赫尔辛基

jani.hakala@fi.abb.com
janne.pohjalainen@fi.abb.com
veli-pekka.peljo@fi.abb.com



01



02

—
01 每个叶片可以旋转，安装载体主轮同样如此。

—
02 一艘船上可以安装两组（如图所示）甚至四组推进器，提供高达16MW的装机功率。

—
03 CFD 仿真能以最为快速且最具成本效益的方法研究流体动力学现象并改进概念。

03a 双组仿真。位置 z 描绘了船舶周围的浪高，蓝色值表示水面平静。静态压力图例适用于叶片。

03b 单个叶片周围的流体流。

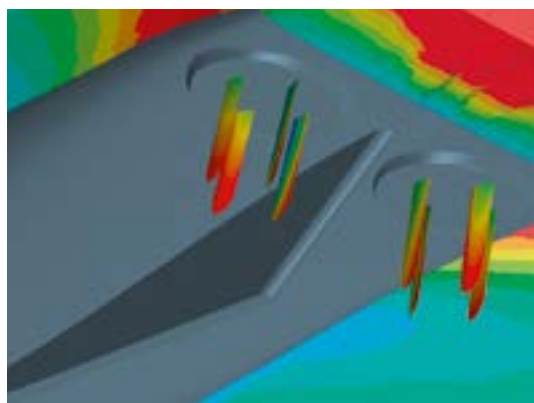
每个叶片均配备一个电机、控制逻辑和变频器来控制扭矩和转速。

率就越高。此外，与等效螺旋桨相比，ABB Dynafin 的几何形状规则，没那么凸出，是浅水船舶的理想之选。与具有方向舵和轴支柱（会产生阻力）的传统船舶相比，摆线推进器唯一从船体突出的部分只有叶片，从而能实现更出色的流体动力学性能。

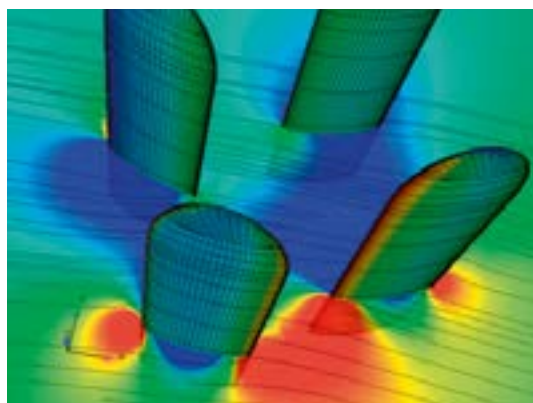
提高效率的另一个因素在于可单独控制每个叶片。每个叶片由电机、变频器（用于控制扭矩和转速）和控制逻辑控制。这种布局

能够模仿鲸鱼尾巴的高效运动，并根据船舶的不同操作情况调整叶片运动（离心率、进距比和迎角），在运输和动态定位→04 模式下均能最大限度地提高效率和推力。

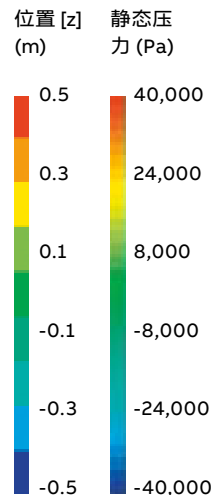
与针对单个操作点进行优化的典型定距螺旋桨相比，一个主要优势在于，ABB Dynafin 可以连续调整叶片运动，在较宽的速度范围内和不同的尾流场下均能达到最佳性能。该装置的控制和软件技术允许在船舶生命周期内不断优化船舶性能，创造了“数字螺旋桨”的概念。ABB Dynafin亦可在“方向舵模式”下操作，这意味着可按控制常规方向舵一样的方式控制叶片。这一功能不仅可以为双尾船和风帆助推船带来好处，还可以在故障情况下增加冗余，提供部分转向能力。



03a



03b



—
04 湖泊试验展示了
配备 ABB Dynafin
推进器的船舶的机动
能力。



04

—
参考文献

[1] Transport and Environment, “Climate impact of shipping.”来源: <https://www.transportenvironment.org/topics/ships/climate-impact-shipping> [访问日期: 2024 年 2 月 29 日]

[2] Statista, “Shipping emissions worldwide – statistics & facts.”来源: <https://www.statista.com/topics/11288/shipping-emissions-worldwide/#topic-overview>. [访问日期: 2024 年 2 月 29 日].

[3] Fasse, G. et al., “An experimental blade-controlled platform for the design of smart cross-flow propeller.”来源: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002-9801822003547>. [访问日期: 2024 年 2 月 29 日].

除了配备用于主轮和叶片模块的直接电力传动系之外, 还可使用机械锥齿轮, 从而允许连接到主机, 进而惠及通常不使用电力传动系的船舶分段。

Dynafin 性能卓越, 意味着可以缩减动力装置 (和油箱) 尺寸, 因此可以进一步提高效率。这一改进降低了资本支出和维护成本, 实现了更灵活的船舶布局, 给货物和乘客留

—
ABB Dynafin 采用模块化结构, 标准化程度更高, 有助于简化备件管理。

出更多空间。对于混动或全电池驱动的船舶, 功率降低这一优势尤为有用, 因其有助于最大限度减少昂贵电池组的尺寸。

搭载 Dynafin 的船舶可最大限度降低噪声
考虑到其对水生生态系统的潜在影响, 预计在不久的将来将实施水下辐射噪声限制。ABB Dynafin 通过将电机安装在船体内, 最大限度地减少了电磁噪声, 并通过限制空化和湍流, 最大限度地减少了流体动力学噪声。此外, 叶片支持单独控制, 这有助

于优化轨迹, 从而在不同操作情况下减少流体动力学噪声。

可靠性高, 易于维护

ABB Dynafin 采用模块化结构, 标准化程度更高, 有助于简化备件管理。无论如何, 将推进器和转向装置相结合, 并提供直接电力传动系, 减少了部件数量。

不再使用易磨损的齿轮, 主轮转速适中, 从 40rpm 至 80rpm 不等, 可最大限度地减少部件磨损, 当需要检查或更换部件时, 可从船舶内部轻松接触主轮。

无限应用可能

与传统轴系相比, ABB Dynafin 可将油耗降低 22%, 推进效率高达 85%。船舶动力装置和油箱所需的空间更小。除了高效之外, ABB Dynafin 还简化了维护, 并提供了出色的船舶机动性。

ABB 在流体动力学、机械系统、船舶电气化、自动化与控制方面拥有丰富的专业知识, 具备独特的优势, 可进一步改进独家产品 ABB Dynafin。此推进系统将在保障船舶性能的基础上, 提升推进器的适应能力与智能水平, 改变航运业对推进系统的看法。•



Dynafin 概念建立
在对流体动力学的
深刻理解之上。

其发展离不开广泛
的分析。



最终实现了卓越性能。

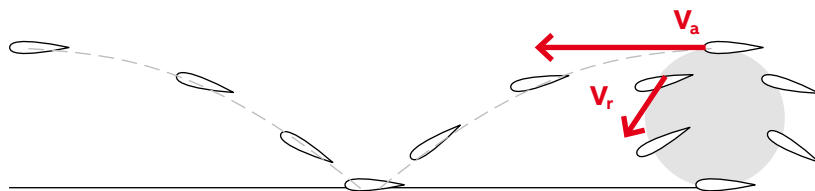
ABB DYNAFIN™ 次摆线螺旋桨空化分析

揭秘空化现象

空化和流体动力性能是 ABB 高效船舶推进系统 ABB Dynafin™ 考虑的关键因素, 芬兰 VTT 技术研究中心已通过计算流体动力学 (CFD) 对该推进系统进行了研究 [1]。通过这些方法获得的洞察有助于改进设计。



01a



01b

—
01 螺旋桨叶片轨迹，其中 V_a 表示前进速度， V_r 表示角速度。

01a 摆线低桨距螺旋桨。

01b 次摆线高桨距螺旋桨。

创新型 ABB Dynafin 是一款船用推进系统，通过从船底突出的叶片产生推力。叶片围绕自身轴及其安装载体可旋转轮的轴旋转。ABB Dynafin 可以实现极高的流体动力效率，且几乎瞬时即可改变推力方向，从而提供极为出色的机动性，这远非传统螺旋桨绕垂直轴旋转来引导推力的方位推进器可比。

ABB Dynafin 概念本质上是一个摆线螺旋桨，配备单独控制的叶片，叶片遵循次摆线路径→01。（次摆线是指当一个圆沿一条给定直线滚动时，固定在圆所在平面内一定点经过产生的曲线。）次摆线螺旋桨的研究并不新鲜，但直到现在，技术限制导致其无法投入商业化并推向市场。

空化

空化是指液体中形成充满蒸汽的小空腔，例如气泡。当局部静压低于液体的蒸气压时，就会出现空化现象。这种不良现象常常会导致出现噪音，侵蚀和损坏螺旋桨。

因此，为了详细了解 ABB Dynafin 在实船情况下的流体动力学和空化性能，芬兰 VTT 技术研究中心和 ABB 携手开展了一项数值研究，考察全尺寸次摆线螺旋桨在潮湿和

空化条件下的表现数据。这些分析基于使用开源 OpenFOAM 和商业 STAR-CCM+ 软件工具进行的瞬态粘性流 CFD 仿真。使

使用液相体积分数的输运方程进行了空化建模。

用基于流体体积 (VOF) 的均质多相混合流模型以及标准雷诺平均纳维-斯托克斯 (RANS) 和混合 RANS 大涡仿真 (RANS-LES) 湍流建模方法进行了空化建模。

基于纳维-斯托克斯方程的流动分析

所使用的均质流动模型基于两种不可压缩、等温且不混溶流体的纳维-斯托克斯方程，其相变通过质量输运模型加以解释。

还要考虑到，ABB Dynafin 叶片周围的液体流动处于湍流状态。为此，使用了流行的 $k-\omega$ 剪切应力输运 (SST) 基础湍流模型 [2]。该研究还使用了尺度自适应仿真 (SAS)，其是一种混合 RANS-LES 湍流建模方法，与 SST 模型结合使用 [4]。SAS 方法的优点在于可根据局部流动调整湍流长度尺度。

—
Ville Viitanen
Antonio

Sánchez-Caja

Jussi Martio

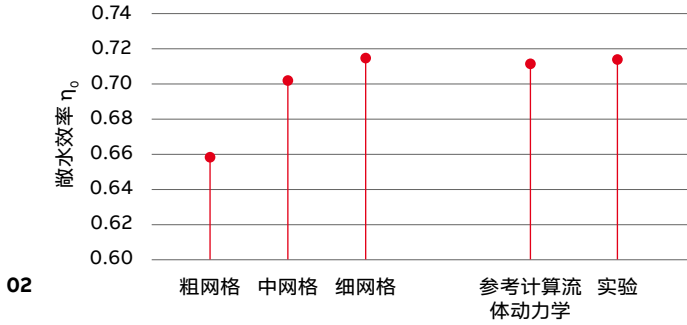
Ilkka Perälä

芬兰 VTT 技术研究中心有限公司
芬兰埃斯波

—
Mika Nuutinen

ABB 船舶与港口事业部
芬兰赫尔辛基

mika.nuutinen@
abb.fi.com



02

02 流体动力效率：四项通过 CFD 进行预测，一项显示实验数据。

质量运输模型

使用液相体积分数的质量运输方程进行了空化建模。可采用不同的质量运输模型来解释流中的局部效应。已开发出了数种空化质量运输模型，并且通常，质量运输速率与饱和压力的压力差成正比。OpenFOAM 和 STAR-CCM+ 中提供了多种质量运输型，可用于均匀混合物建模。在当前的工作中，[5] 中描述的模型与两个求解器一起使用。

流动方程采用并置有限体积方法进行离散化处理。进行时间精确仿真来解析流场。在 OpenFOAM 仿真情况下，将针对时间导数应用一阶隐式方案，时间步长由叶片附近的

最大库朗数 1 确定。（库朗数表示给定速度流速范围内相应的时间步长。）这实际上产生的物理时间步长相当于主轮旋转 0.1 至 0.5 度。对于 STAR-CCM+ 仿真，将针对时

针对已有数据和数值分析的两种情况对数值方法进行了测试。

间导数应用二阶三级隐式方案。所使用的时间步长相当于主轮旋转 1 度。对于上述两个求解器，所有流动变量均使用二阶空间方案进行离散化处理，并针对对流项应用逆风偏向方法。

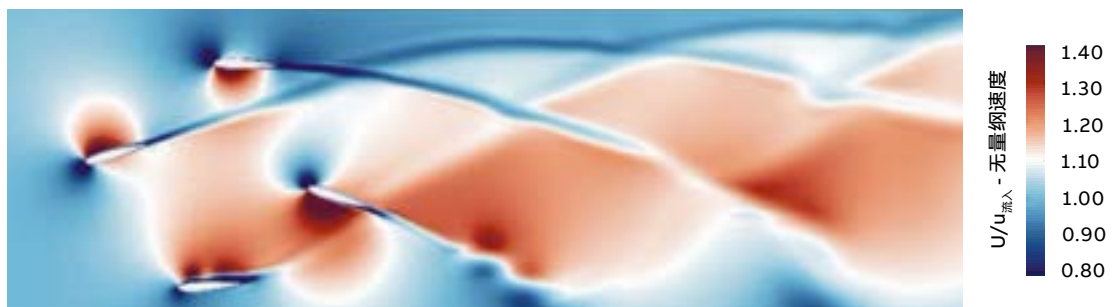
验证后测试

为了确保数值方法的有效性，分别在提供实验数据和数值分析的两种情况下对其进行了测试：

03 四叶片装置的 CFD 预测流场示意图。

03a 二维剖面。

03b 3-D 中的涡旋。



03a



03b

σ_{Veff}	x 方向推力系数 K_{Tx}	绕 z 轴的扭矩	敞水效率
次摆线轨迹			
5.0	4.28	4.45	0.77
3.0	4.27	4.41	0.77
2.0	4.29	4.47	0.77
1.7	4.20	4.74	0.71
1.5	4.13	4.77	0.63
1.0	3.11	5.87	0.42
优化轨迹			
5.0	4.26	4.28	0.81
3.0	4.27	4.26	0.80
1.7	4.24	4.25	0.80
1.7*	4.16	4.12	0.81
1.5	4.06	4.23	0.77
1.0	2.87	4.38	0.52

04

*STAR-CCM+ 结果

—
04 ABB Dynafin 装置的性能系数与不同叶片轨迹的空化数的函数关系。

- 四叶次摆线螺旋桨。其中，之前已在 VTT 拖曳水池进行了敞水和自航实验，并进行了数值分析[6]。
- 五叶摆线螺旋桨，已得出其实验结果。

一旦证明这些方法适用于这两种情况，即可使用相同的方法在潮湿和空化条件下研究五叶片 ABB Dynafin 概念。验证案例分析在缩尺模型条件下进行，而五叶片 ABB Dynafin 概念研究则在全尺寸条件下进行。ABB Dynafin 装置的直径为 3m，叶片跨度为 3.5m，叶片轮廓对称。

验证案例结果

针对仿真设置了边界条件，例如：

- 建模时假设这些装置位于矩形空化隧道内。
- 指定入口处流速和出口处压力。
- 隧道顶板采用无滑移条件，叶片采用无滑移动壁面边界条件。
- 矩形域的侧面和底部被建模为滑移壁面。

→02 显示了基于三种不同网格分辨率的四叶片次摆线装置的流体动力效率仿真值，以及 FLUENT 仿真[6]和缩尺模型的实验结果。后两项数据吻合良好。该情况是纯次摆线运动，其中 $\lambda = 1.6$ 。将仿真单调收敛至取得实验结果，且细网格结果与参考实验值的误差不超过 0.2%。中网格结果的偏差约为 1.5%，粗网格结果的偏差略小于 8%。

→03 展示了四叶片装置细网格仿真的瞬时流场。叶片附近和装置中部的加速流动以及单个叶片尾波均清晰可见。在尾流区域内，尾流特征的分辨率能够得到维持。叶片尾流与装置后部以及更下游的接连叶片相互作用。

ABB Dynafin 的空化性能

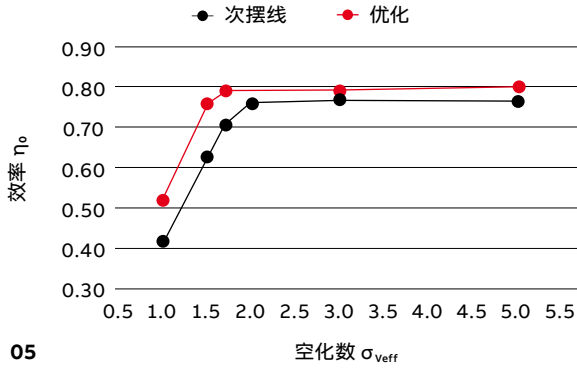
对于 ABB Dynafin 的空化性能，我们根据空化数 σ_{Veff} 进行了计算，范围从 1 到 5，即从润湿或非空化（高空化数）到完全空化条件（低空化数）不等。大多数条件均使用 OpenFOAM 进行了分析，并使用 Open-

—
优化轨迹后敞水效率达到了 0.8。

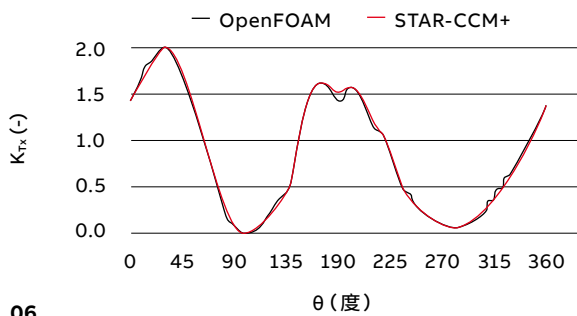
FOAM 和 STAR-CCM+ 求解器在选定的工作点进行了对比。所有情况均使用 1.6 的 λ 值。除了纯次摆线轨迹外，还对优化的浆距函数进行了分析。在这种情况下，优化旨在进一步提高装置的效率和空化性能。

不同空化数的总体性能系数结果如→04 所示。该表显示了所用次摆线轨迹和优化轨迹的系数。表中显示的结果也可见于 →05，以对比次摆线轨迹和优化叶片轨迹的性能系数。

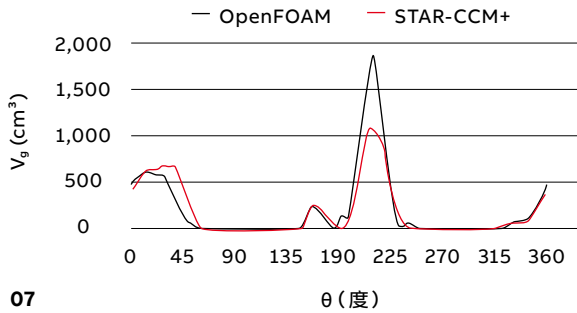
采用次摆线运动后，敞水效率可以达到 0.77，优化轨迹后则更上一层楼，可达到 0.8。优化叶片轨迹后，性能和推力保持较高水平，波动较小，低于 $\sigma_{\text{Veff}} \approx 1.7$ 后，则



05



06



07

—
05 ABB Dynafin 在不同空化数下的效率。次摆线和优化叶片轨迹的对比。

—
06 装置旋转期间单个叶片的推力系数。σ_{veff} = 1.7时, OpenFOAM 和 STAR-CCM+ 的结果对比。

—
07 装置旋转期间单个叶片产生的蒸汽量。σ_{veff} = 1.7 时, OpenFOAM 和 STAR-CCM+ 的结果对比。

出现较大波动。对于纯次摆线轨迹, 会更早出现推力崩溃现象, 在出现这种情况后, 效率曲线会下降。将 OpenFOAM 和 STAR-CCM+ CFD 求解器的结果进行对比发现, 预测的推力和扭矩系数略有差异, STAR-CCM+ 求解器中的系数较小。扭矩系数的偏差略大于推力系数的偏差。这些差异可能部分归因于所应用的时间和网格分辨率有所不同, 在叶片的边界层中尤其如此。尽管如此, 预测的流体动力学效率与 CFD 求解器的效率仍然极为接近。

在主轮旋转一圈过程中从 OpenFOAM 和 STAR-CCM+ 仿真得出的单叶片推力系数如 →06 所示。单叶片蒸汽量的演变如 →07 所示: 当叶片在装置前部 (θ 315°至 45°) 朝下

旋转时, 首先会在根部附近开始形成空化, 然后沿翼展方向扩展, 覆盖叶片前缘附近的薄形区域。无空化区域之后是蒸汽量增加约为 θ ≈ 160°和 θ ≈ 200°的双峰模式。装置后部才是蒸汽形成最严重的区域, 即叶片经过 θ ≈ 180°之后。大约在 240°到 315°之间, 出现无空化区域。所应用的均质混合 CFD 方法主要预测叶片上的片状空腔。

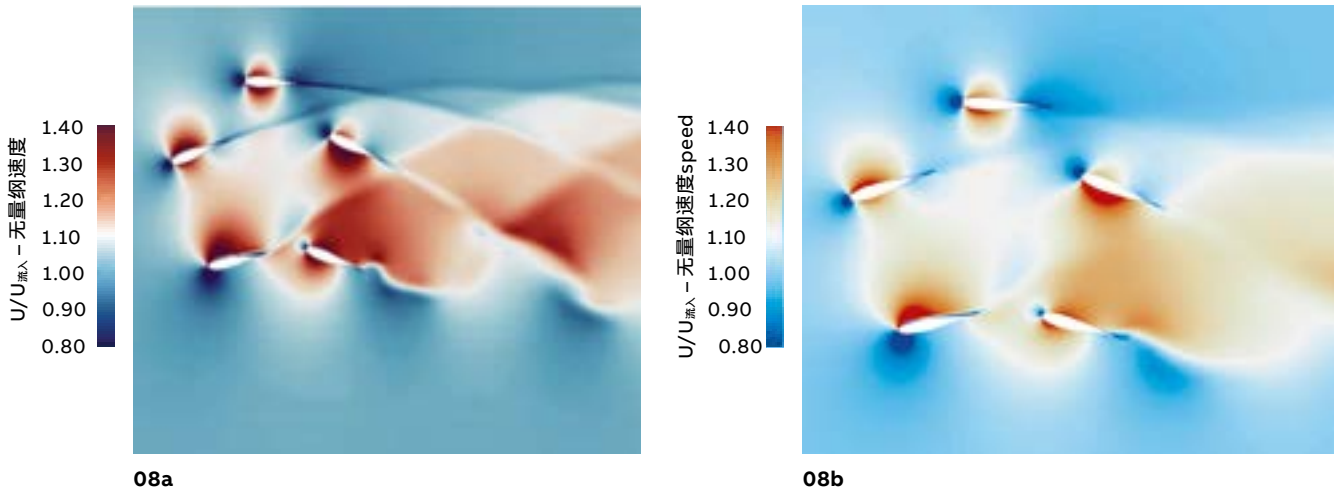
总体而言, 在主轮旋转一圈过程中的大部分时间, 每个 CFD 求解器的推力和气体体积值均相差不大。主轮旋转期间的差异主要出现在叶片穿过其他叶片产生的尾流之时——例如, 接近 θ = 180°。→08 显示了装置中间 z 平面处的按比例缩放无量纲流速 (U/U流入), 说明在 OpenFOAM 仿真中以

—
OpenFOAM 仿真结果与可用的实验和参考仿真数据相比情况良好。

及当一个叶片穿过另一个叶片的尾流时, 各叶片的尾流得到了更清晰的解析, 尾流的影响在叶片的力-时间历史表中表现得更加明显。请注意, 接近 θ ≈ 45°时, 即当旋转叶片遇到未受干扰的流时, 蒸汽时间演变的形状存在轻微偏差。造成这种差异的可能原因需要进一步调查。除了网格分辨率存在差异外, STAR-CCM+ 仿真中使用的时间步长也会稍大, 这可能会增加流解决方案中的数值扩散。OpenFOAM 解决方案中应用的时间步长较短, 也会使蒸汽场更加清晰。

仿真契合现实

VTT 与 ABB 携手进行的合作研究表明, 采用纯次摆线运动叶片的 ABB Dynafin 性能良好, 效率接近 0.8。在所考虑的条件下, 即使在空化数相对较低的情况下, 也仍能保持出色性能。借助优化的叶片桨距函数, 可进一步提升空化和流体动力性能, 从而改进纯次摆线运动效果。



08 $\sigma_{\text{veff}} = 1.7$ 时提交的 CFD 预测流场示意图。流速与流入速度成比例。

08a 来自 OpenFOAM 仿真。

08b STAR-CCM+ 仿真。

OpenFOAM 仿真结果与可用的实验和参考仿真数据相比情况良好。总体而言, 应用于 ABB Dynafin 装置的 CFD 方法产生了类似结果。观察并讨论了流场和蒸汽体积随时间变化而产生的差异。应对更多操作点进行研究, 以获得有关空化现象和性能系数趋势的更精确数据。本文所述研究的详细描述见 [1]。

术, 可对空化动力学和多相流进行更为彻底的研究。另外, 为了补充现有的混合物多相流模型, 可应用二流体方法, 确保更完整地表示空化特征和类型。•

后续工作包括评估网格分辨率的数值不确定性。此外, 通过实施尺度解析湍流建模技

特别鸣谢

作者特此感谢 VTT 的 HPC 集群 (“The Doctor”) 和芬兰 CSC-IT 科学中心提供的计算资源。同时衷心感谢芬兰国家商务促进局对 “UltraPropulsor” 项目的大力支持。

参考文献

- | | | | |
|---|--|---|---|
| [1] V. Viitanen et al., “Cavitation analyses of trochoidal propellers,” presented at ISOPE – 2024, The International Society of Offshore and Polar Engineers Conference, Rhodes, Greece, June 2024. | [3] B. E. Launder and B. Spalding, “The numerical computation of turbulent flows,” <i>Computer methods in applied mechanics and engineering</i> , 3, pp.269–289, 1974. | [5] G.H.Schnerr et al., “Physical and numerical modelling of unsteady cavitation dynamics,” Fourth international conference on multiphase flow, vol. 1. ICMF New Orleans, 2001. | [6] J. Salminen, “Three-dimensional computational fluid dynamics analysis of cyclorotor propulsion system,” Master’s thesis, Aalto University. School of Engineering, 2023. |
| [2] F. R. Menter et al., “Ten years of industrial experience with the SST turbulence model,” <i>Turbulence, heat and mass transfer</i> , 4(1), pp.625–632, 2003. | [4] Y. Egorov and F. R. Menter, “Development and application of SST–SAS model in the DESIDER project,” <i>Advances in Hybrid RANS–LES Modelling. Notes on Numerical Fluid Mechanics</i> , pp. 261–270, 2008. | | |

精准控制 ABB DYNAFIN™ 次摆线螺旋桨

命令和控制

与传统船舶螺旋桨相比, ABB 的革命性船用推进器 ABB Dynafin 具有多个活动部件。要获得最佳性能, 这些部件必须实现精确协调, 即使在最恶劣的海洋条件下亦不例外。要完成这项任务, 需要采用复杂的控制系统。



Ali Pekcan
ABB BL 推进事业部
芬兰赫尔辛基

ali.pekcan@
fi.abb.com

ABB Dynafin 是一款革命性船用推进系统, 旨在通过引入永磁电机的单独叶片控制功能, 来扩展摆线型推进器概念的能力。该

每个叶片均由单独的叶片电机驱动, 从而可以精确设置桨距角。

概念结合了推进和转向功能, 叶片轨迹的灵感来自鲸鱼尾巴的动态运动。ABB Dynafin 的每个叶片都能进行有效的桨距角变化, 与传统螺旋桨相比, 具有更好的流体动力效率和机动性。

至关重要的是, ABB Dynafin 的推进和转向元件必须得到精准控制, 以便准确遵循所需轨迹, 即使处于非常动态的环境中亦能从容应对。为此, 需要实施精确的控制策略。

通过“数字螺旋桨设计”实行控制

ABB Dynafin 由两个主要部分组成: 主推进电机和带叶片电机→01 的旋转下部。主电机固定在船体上, 驱动下部旋转, 从而提供主推力。下部的每个叶片均由单独的叶片电机驱动, 允许设置调整推力大小和方向所需的精确桨距角。叶片驱动器由滑环单元提供动力, 从而使主推进电机自由旋转。滑环还提供了与叶片驱动控制单元通信所需的物理链路。

典型船舶的主要控制命令是舵角和螺旋桨转速。在 ABB Dynafin 的控制功能中, 船长



Dynafin 拥有多个活动部件, 这些活动部件的动作必须协调一致且经过优化。

ABB 开发出了一种控制算法。



满足性能、安全性和冗余性方面的高标准。

可通过通用控制界面从驾驶台实施远程控制, 给出所需的推力大小和方向(在与现有系统的兼容性以及扩展和改善用户体验方面, ABB Dynafin 复制了 ABB Azipod® 经

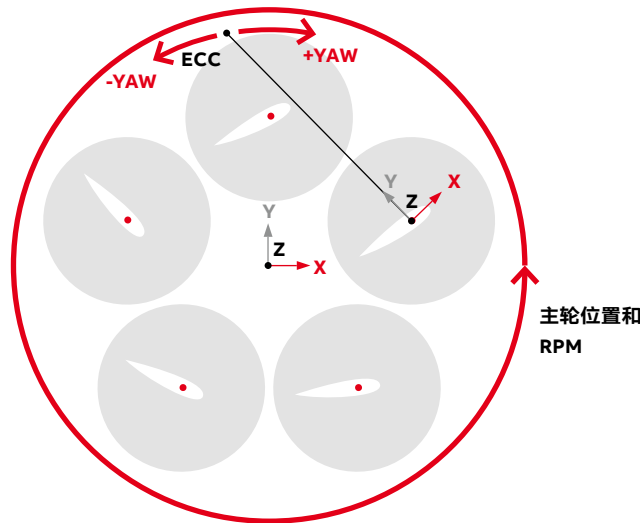
——
这一转向方法看似简单, 背后却隐藏着复杂的控制系统。

验)。实现“数字螺旋桨设计”的能力扩大了船舶运营标准模式的可用性。例如, 除了标准模式(例如系桩拉力、动态定位、海上运





01



02

—
01 推力转换: 将所需的推力大小和方向转换为运动控制参数。

—
02 运动控制参数: ECC、偏航角、主轮位置和RPM。

输和机动模式) 外, 得益于每个叶片均可单独控制, 还可创建和提供新的模式和轨迹。每种模式都通过优化该模式的控制参数来实现, 从而产生不同的叶片桨距角轨迹和主轮行为。

这一转向方法看似简单, 背后却隐藏着复杂的控制系统。

ABB Dynafin 控制系统

在高阶层面, ABB Dynafin 控制系统将船长请求的速度和航向转换为主轮应当采取的转速及每个叶片的桨距角。推力转换模块的这部分控制发生在主控单元中。然后, 推力转换模块将速度基准提供给主推进驱动器, 并向每个叶片驱动控制单元提供所需的运动控制参数, 以确保实现所需的叶片轨迹。

每个叶片控制单元上的低级运动控制旨在实现由推力转换指定的运动控制参数定义

的轨迹。运动控制参数定义了在主轮旋转一圈期间每个叶片将遵循的轨迹。这些参数是偏心点 (ECC), 即所有叶片都与其垂直的点; 主轮位置和转速; 以及偏航角。偏航

—
运动控制参数定义了在主轮旋转一圈期间每个叶片将遵循的轨迹。

定义了旋转偏心点→01-02 产生的推力矢量的旋转情况。偏心率参数用于计算叶片的桨距角。要产生鲸尾运动, 叶片需遵循次摆线路径, 其中偏心点位于滚动圆的圆周之外。在 $ECC = 0$ 的情况下, 叶片将保持一定的桨距角, 跟随圆沿圆周旋转。

推力转换产生的主轮转速参考值被发送至主推进驱动器。然后, 主轮的实际转速和位置将由主轮编码器进行测量, 并发送至主控单元。经测试证明, ABB Dynafin 控制算法能够实现跟踪叶片运动所需的精度。

主轮编码器测量结果也会发送到每个叶片模块中的叶片控制单元, 以便其可以在主轮旋转期间精确保持位置。如上所述, 叶片运动控制在每个叶片驱动器的叶片控制单元中单独实现。这一功能分离允许与每个驱动器进行快速通信, 并减少主控单元的计算负载。执行低级控制的周期时间为亚毫秒级。叶片位置和角速度由叶片上的编码器进行测量并直接发送至叶片控制单元。需要注意的是, 叶片的数量不会对整个控制系统产生影响, 且在叶片数量更多或更少时, 可通过模块化方式实现控制。

驱动力挑战

低级控制基于数学模型形式的叶片桨距函数和干扰知识 (流体动力载荷、摩擦载荷、加速度变化等)。为了实现较高性能, ABB Dynafin 推进系统必须高度精确地遵循预定义的叶片桨距函数。然而, 在尝试控制叶

片运动时出现了一些挑战:

- 叶片枢轴点通常不会与其惯性主轴线对齐。这种不对齐现象会导致在主轮旋转过程中产生离心扭矩,使叶片控制复杂化。
- 许多叶片变桨距功能旨在提高效率,其需要叶片在运动时能保持较高的加速度并快速变更加速度,这给叶片电机和驱动器的有效处理带来了困难。
- 某些叶片桨距函数涉及变更叶片旋转方向,因此需要叶片电机来补偿摩擦扭矩。
- 施加到叶片上的流体动力载荷会导致叶片桨距函数出现跟踪误差。未能准确遵循指定的叶片桨距函数可能会降低螺旋桨性能、增加轮式电机的扭矩并降低整体效率。

ABB Dynafin 控制算法专为应对上述挑战而设计。

使用前馈回路为每个叶片驱动器生成来自叶片控制的扭矩参考值→03。运动控制参数(RPM、ECC、偏航和主轮位置)被输入到叶片运动控制块,其中将计算位置参考以及用于扰动补偿的必要前馈模型。级联叶片驱动控制块计算高精度跟踪叶片运动所需

HIL 测试涉及将物理组件连接到模拟负载和操作场景的仿真环境。

的最终扭矩。采用这种基于模型的扭矩前馈补偿可提供精确的扭矩值,补偿离心扭矩、加速扭矩、摩擦扭矩和流体动力扭矩,所有这些对于反馈控制来说都极难实现。最后,控制软件处理最终阶段的轨迹极限与过渡,以实现平稳过渡,确保扭矩曲线经济高效。

硬件测试

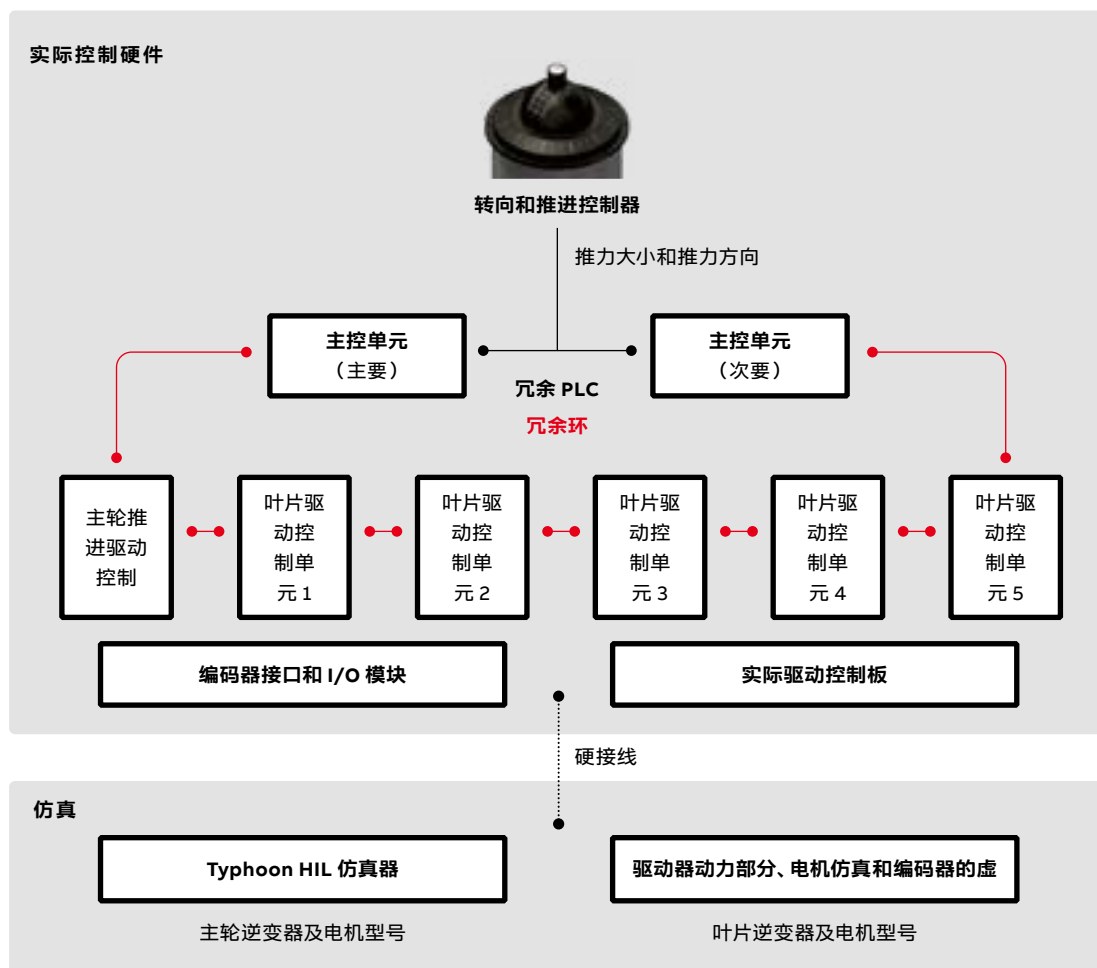
ABB Dynafin 团队开发出硬件在环(HIL)测试平台,用于验证最终产品的控制性能、需求分析、失效模式与影响分析(FMEA)以及硬件适用性→04。

在 HIL 测试中,受测系统将连接至其仿真环境或环境模型。然后测量系统对各种输入响应,并将其与预期结果进行对比。HIL 仿真允许在受控环境中评估控制系统,之后再在实际海洋环境中予以部署。

就 ABB Dynafin 而言,HIL 测试需要将控制网络拓扑中的所有物理组件(例如主控单元、叶片控制单元、接口卡和 I/O 模块)连接到模拟负载条件和各种操作场景的仿真环境。电机供应商提供电机型号参数。流体动力载荷使用与测试轨迹相对应的计算



—
03 HIL 设置。HIL 测试将实际产品硬件与模拟负载和操作条件相连。



03

流体动力学 (CFD) 仿真生成。此外，还对驱动器的动力部分进行了建模。

一开始创建了一个双叶片系统来验证驱动器、控制单元、冗余方案、叶片跟踪等各个方面。由于控制网络拓扑现已冻结，HIL 测试系统将扩展到五叶片设置，进行第二阶段的测试。

冗余和故障保护

在海上，船舶可靠性和船员的人身安全至关重要。因此，设计控制网络拓扑时遵循了标准要求，确保冗余，保障性能。针对每个设计组件都进行了广泛的设计失效模式与影响分析 (FMEA)，并根据“单一故障准则”复制了有源组件以实现冗余。FMEA 结果表明，ABB Dynafin 履行了国际海事

组织 (IMO) 和《国际海上人命安全公约》(SOLAS 公约) 制定的规则。例如，在失效情况下，会将故障单元切换到方向舵模式，其中主轮停止，且所有活动叶片将用作转向方向舵，从而确保船舶转向。

ABB Dynafin 保障全方位一流的性能、效率、安全性和可靠性，种种优点都离不开一个精密控制系统，当由多个运动部件组成的船用推进器暴露在海上恶劣条件下时，该系统可以克服所面临的诸多挑战。该控制系统的模块化特性简化了 ABB Dynafin 的扩展，从而可覆盖更多的船舶应用。•

ABB 与 VTT 就 ABB DYNAFIN™ 项目开展重要合作

协作助强

ABB Dynafin™ 项目的关键阶段由我们与芬兰最大的应用研究和技术公司 VTT 携手完成。ABB和 VTT 之间持续开展宝贵合作, 而这项工作正是其中的一部分。



ABB 与 VTT 的海事团队强强联手。

具体合作包括 CFD 分析和模型测试。



我们之前已与 VTT 合作开展过项目, 其中就包括 ABB 大获成功的 Azipod 项目。



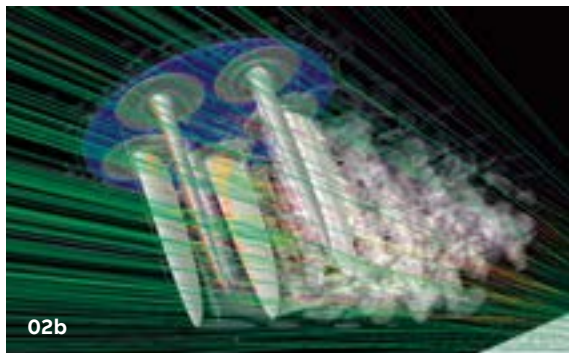
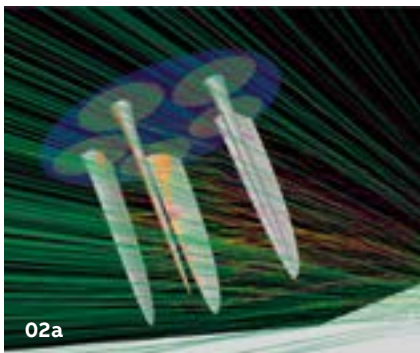
01

01 VTT 在奥塔涅米 (芬兰) 拖曳水池进行缩尺模型测试。

02 VTT 进行了拖曳水池测试, 以进行全面的缩尺模型测试。

02a “精简”流线。

02b 含尾流/空化的流线。





03



04

—
03 VTT 拖曳水池足够大, 可以进行全面的缩尺模型测试。

—
04 VTT 拥有部署整套测试环境工程所需的所有内部技能。图中, 一名 VTT 工程师正将仪器安装到船用螺旋桨轴上, 为海上试验做准备。



Ilkka Perälä
芬兰 VTT 技术研究
中心有限公司
芬兰埃斯波

ilkka.perala@vtt.fi

—
欲了解更多信息,
请联系

Janne Pohjalainen
ABB 船舶与港口事
业部
芬兰赫尔辛基

janne.
pohjalainen@
fi.abb.com

VTT 是一个富有远见的研究、开发和创
新合作伙伴, 也是欧洲领先的研究组织之
一。VTT 拥有 2,000 多名专业人员, 致力于
开发能够实现根本性变革的系统性技术解
决方案。

VTT 海事团队专注于研究推进流体动力
学、船舶能源效率和船舶结构问题。在流
体动力学方面, VTT 拥有强大的计算流体
动力学 (CFD) 功能, 再佐以内部开发的代
码, 可快速评估流体动力学问题。数值评
估以缩尺模型和全尺寸测量方面的强大专
业知识为后盾。

VTT 与 ABB 的合作源远流长, 可一直追
溯到 20 世纪 80 年代第一批 Azipod® 推
进装置的开发工作。在这项早期合作中,
需要使用计算工具和模型测试对 Azipod 推
进装置进行流体动力评估。合作的另一
个主要议题是评估和测量 Azipod 推进器
上的冰载荷。在最恶劣冰况下进行的测
量帮助 ABB 开发出了适用于最高冰级的
Azipod 推进器。VTT 测试设施还针对某
些 Azipod 部件进行了材料和组件测试。

有关 Dynafin 产品的合作始于 2014 年,
当时, ABB 与 VTT 海事团队接洽, 对
新的推进器概念进行评估。这些概念包
括桨轮、水翼和摆线螺旋桨。由于之前
未对这些概念进行系统研究, 因此必须
使用各种参数对其进行仿真, 以了解每
个概念的流体动

力学潜力。在这项任务中, VTT 内部开
发的工具能够快速评估每个概念的流体
动力学性能, 起到了非常重要的作用。随
后, 对选定想法进行了更为准确但耗时
的 CFD 分析。选定的具有次摆线叶片运
动的摆线方

—
**VTT 与 ABB 的合作源远流
长, 可追溯到第一批 Azipod
推进装置的开发工作。**

法将成为 Dynafin 产品开发的起点。选
定概念后, VTT 在奥塔涅米 (芬兰) 拖
曳水池进行了模型测试, 对数值仿真进
行了验证 →01-03。VTT 海事团队帮
助 ABB 设计了测试用模型装置, 并在
2017 年至 2019 年间进行了多次模型
测试活动, 包括敞水和自航测试 →04。

最近, VTT 正围绕新型船用推进器进
行研究, 开展名为 UltraPropulsor 的研
究项目, 其中包括 ABB 在内的多家公司
正着手开发相关产品和概念。VTT 负
责协调项目并开展一项公共研究项目,
旨在加深对空化建模、流体动力建模、
冰载荷和螺旋桨材料的理解。•



造就 ABB DYNAFIN™ 的愿景、才干和执着

发挥团队力量

—
负责 ABB Dynafin 的多学科团队的部分成员在进行测试的湖边合影。

对话创建 ABB Dynafin™ 的多学科团队的领导者 Veli-Pekka Peljo。

Veli-Pekka Peljo, 解决方案开发团队高级项目经理→01, 于 2003 年加入 ABB 船舶与港口事业部, 担任设计工程师, 甫一入职, 就立即投入到 ABB zipod® 推进技术的开发中。十年后, 他受邀领导多学科团队, 成功开发出了 ABB Dynafin, 并于 2023 年 5 月将其推向市场。在本文中, 他解释了该概念的由来、将其带入原型阶段所需的协作努力, 以及为什么说明确的目标和开放的心态是处理不确定性的关键。

自 2013 年以来, Peljo 一直负责 ABB Total New Propulsion 项目, 旨在开发效率逾 80% 的推进装置, 这真是一段漫长的旅

程。“当时, 船舶电气化已初显端倪, 但绿色转型尚无踪影。当时, 船用燃油价格处于历史最高水平, 因此燃油效率和减少排放是大家关注的焦点, 也是该项目的主要驱动因素。”

回归本始

从一开始, Peljo 和他的团队就明白, 基于传统螺旋桨的解决方案的效率只能逐步改善, 不可能显著提升。“为了应对这一挑战, 我们知道只能回归本始, 深入研究产生推力的理论基础, 并从头开始提出一些激进的想法。”

ABB 首先向埃斯波阿尔托大学工程专业的学生寻求帮助, 在其所谓的产品开发项目 (PDP)[1]中对理想推进器进行了总体分析。他们研究了文献, 确定过去提出过哪些概念以及有哪些专利可用。“由此产生了很多想法——从螺旋桨、桨轮和空气推进到电磁



本文从个人角度回顾了 Dynafin 的故事。

Dynafin 建立在
10 多年

的突破性研究的基础上。



Dynafin 的问世满足了燃油效率的要求，可谓恰逢其时。

01

01 Veli-Pekka Peljo 对 ABB 在先进船用推进概念方面的工作充满热情。

推进器和仿生推进——阿尔托大学的学生分析了鱼类、不同海洋哺乳动物甚至昆虫产生推力的方式，”Peljo 说道。

阿尔托/ABB 团队携手，最终提出了 69 个概念，并针对所有概念进行了理想推进理论的测试。最佳解决方案奉行两个主要标准：最大限度地利用船舶后部横向区域，以及以最低成本实现最高效率。“我们进行了无数次研讨会，最终确定了五个可推进的概念：Azipod® XL 是一款轮缘驱动喷嘴螺旋桨，采用先进的水翼概念、扑动水翼和次摆线螺旋桨。”Peljo 解释道。

“经过进一步迭代，我们发现使用模仿鲸鱼尾巴运动（称为次摆线轨迹）的扑翼或叶片无疑是最有效的解决方案。这就是 ABB Dynafin 理念的萌芽。”



Fatima Choaiibi
ABB 船舶与港口事业部
芬兰赫尔辛基

fatima.choaiibi@fi.abb.com

解决难题

挑战在于如何将扑翼与电动或柴油电机轴的旋转运动连接起来，推动船舶。“其实也可以让单个扑翼上下移动，但我们认为最好的方法是使用多个垂直叶片，并将其与中央旋转轮相连。随后我们联系了芬兰国有技术研究中心、欧洲顶尖研究机构之一 VTT，共谋合作，创建了水力分析模型，准确了解这种设置如何产生推力[2]。



Roderick Craig
外部贡献者

“解决方案是为每个叶片提供单独的驱动电机，允许独立控制，这样就可以预先编程好

在主轮旋转时每个叶片对抗流入的迎角，同时还将船舶的尾流场考虑在内。”

“VTT 很快就证明了这一概念，他们进行的计算表明，对叶片次摆线轨迹进行优化后，效率超过了 0.8。我们还使用他们的公式来优化几何因素，包括叶片跨度和弦杆尺寸，以及转速等运行参数。”

CFD 证明了概念的可行性

下一步是根据计算流体动力学 (CFD) 分析创建初始设计，正如联合项目团队所期望的那样，该设计验证了 VTT 提出的公式并证明了该解决方案的有效性。“进行 CFD 非常

我们发现，使用模仿鲸鱼尾巴运动的扑动叶片无疑是最有效的解决方案。

耗时，3-D CFD 就更不用说了，因为光是单个模型就可能需要一天时间来处理。由此可见工作量之庞大。然后，我们能够提取负载数据来确定支撑结构的详细尺寸，例如中心轮、叶片电机和轴承。”Peljo 说道。

直到完成 CFD 分析后，团队才开始真正思考如何让这个概念在现实生活中发挥作用。

由于缺乏控制软件解决方案方面的相关经验, Peljo 和他的同事, 即产品经理 Mirva Nevalainen 和技术经理 Jukka Varis, 向位于瑞典韦斯特罗斯的 ABB 集团研究中心 (CRC) 的高级首席科学家 Bin Liu 及其团队提出了这个概念, 并询问其是否可以制作缩尺模型原型。“对叶片的运动和迎角进行预编程是最大的挑战之一, 但对于机器人领域的世界领军人物——ABB YuMi® 协作机器人系列背后的专家——这完全不在话下。”

从 2016 年开始, ABB 团队一直在合作进行一项新型摆线推进技术项目, 成功制造出原型机和第一艘新型小型演示船, 该船在韦斯特罗斯郊外的梅拉伦湖建造并运营。

决定性时刻

我们在芬兰埃斯波的 VTT 模型水域对制造出的原型进行了流体动力测试, 然后在瑞典的敞水水域试验中确认了其自航和机动能

——
ABB Dynafin 在短短几秒钟内即可将推力方向转变 180 度——是动态定位的理想之选。

力。其效果符合预期。“我们进行了全尺寸海上实船测试所需进行的一切。这是一个了不起的里程碑事件, 证明我们的辛勤工作没有白费。我们那时便知道, 我们确实可以实现我们最初称为“Foilwheel”的概念, 将其打造成全球第一款能提供非凡效率的数字螺旋桨。”Peljo 评论道。

有些人可能想知道为何直到现在才做, Peljo 的答案是: 这并没有那么简单。“ABB Dynafin 可能看似与某些机械解决方案相差无几, 但内里却完全不同——这主要体现在叶片电机和整个驱动系统方面。我们没有采用液压伺服执行器控制的机械杠杆, 而是采用

低转速和高扭矩电机, 满量程时亦可与螺旋桨叶片匹配。”

他表示, 最终的 ABB Dynafin 装置将采用标准设计, 但功率因数不同, 螺旋桨直径尺寸也会不同。这缩短了交货时间。“然后您只需选择合适的叶片长度来适应船舶吃水即可。我们可能只提供两种不同的叶片长度, 但我们的目标是确保叶片长度高于基线水平。”

叶片的疲劳强度是一个关键的设计问题, 因此需要相当谨慎的设计, 才能确保所需的使用寿命和高可靠性。“我们目前考虑使用马氏体铸造不锈钢, 但考虑到某些制造约束, 我们可能需要使用复合材料来制造高功率装置上的较长叶片。我们还在研究密封解决方案等细节, 以实现最佳的总拥有成本。”

目标市场

要问这一概念最适合哪些船舶, Peljo 解释说, 目前他们“还只是触及皮毛”。他进一步解释说: “我们正在根据不同细分市场的客户需求进行调整, 但这有无限可能性。过境船舶受益最大, 航速越快, 受益越大。但现阶段, 我们主要关注船速处于 12 到 20 节时的性能。借助 ABB Dynafin, 您只需一台螺旋桨即可体验多种不同的设计点: 一种用于测试最大海上实船试验速度, 一种针对经济速度进行优化, 一种用于以 6 节速度安全返回港口, 一种用于动态定位操作等等。它用途广泛, 适合各类船舶。”

在功率因数方面, ABB 正着手开发四种规模, 从 1MW 到 4MW 不等。一艘船上配备四个 4MW 装置即可提供 16MW 的推进功率。“市场有意进一步提升, 因此我们也在考虑 5MW 及以上的装置,” Peljo 补充道。

ABB Dynafin 集成了可控桨距螺旋桨 (CPP) 功能, 具备动态定位能力, 可满足近海船舶所需。“它在短短几秒钟内即可将推力方向转变 180 度, 在需要改变船舶航向时, 可极快响应。通过多个装置, 我们还在



02

— 在风帆动力船切换到纯方向舵模式下，或混合动力船切换到风帆助推模式下时，ABB Dynafin 可照常运行。

研究 ABB Ability™ Marine Pilot Control 如何最好地利用 ABB Dynafin 装置的操作模式和自动驾驶仪配置的全部功能，以实现远程操作，最终实现自主操作。”

还存在低振动船舶的应用情况。“满量程时的转速相当低，但振幅较高。来自垂直螺旋桨的压力脉冲不会对船体产生太大干扰，但我们可以进一步调整叶片轨迹，几可将振动和噪音消弭于无形，实现静音操作。”

此外，ABB Dynafin 还拥有其他宝贵功能，例如在制动船舶时再生电力，就像自充电混合动力汽车一样。“就像水转动风车叶片一样，您可以利用水的动作来给船上的电池充电。然后我们还提供所谓的方向舵模式，意思是，当推进驱动器不活动时，即主轮停止时，所有叶片可以一起运转来实现转向，例如，风帆助推船→02。”

应对不确定性

Peljo 强调，从零开始开发新概念总会遇到各种不确定性。“要解决这个问题，人力因素必须保持稳定；即使要求十分模糊，也务必保持创意且开放的心态，并对目标保持高度关注。创新不仅仅取决于运气和当下的灵感；我们对概念进行了多轮讨论和审查，其中辛酸不足为外人道。回顾过去，发现我们当然可以更快地推进，但我们同时还需要处理多个并行项目，”他补充道。

拥有经过验证的研发方法同样至关重要。“我们使用应用船舶设计螺旋，立足于任务需求，先进行外圈的高级概念分析，然后逐步向内推进，更详细地打磨设计。细节问题不能操之过急。制定清晰的业务案例还可避免浪费时间来讨论理论细节，分散精力。”

为合作伙伴点赞

Peljo 强调，“我们不可能独自完成这项任务。”ABB Dynafin 集数学、流体动力学、机械、电气和控制方面的专业知识之大成，阿

阿尔托大学、VTT 和 ABB 企业研究中心等优秀合作伙伴对项目成功至关重要。

— 尔托大学、VTT 和 ABB CRC 的合作伙伴都给予了我们极大的帮助。因此，集齐多样且全面的团队，辅以 ABB 强大的创新文化和始终精益求精的决心，对于成功至关重要。”

至于自己的个人动机，Peljo 接受过机械工程师培训，热爱研发工作，因为每一天都显得与众不同。“日复一日重复同样的事情让我觉得十分无聊。这个项目是一个千载难逢的机会，到目前为止，我们也成功将 ABB Dynafin 变为现实，感觉真是太棒了。”

“考虑到新型绿色燃料的高昂成本和全电动船舶的逐渐普及，商业案例变得更具吸引力，”Peljo 补充道。“能为绿色转型做出贡献又赋予这个项目额外的意义，我认为这对于一项与众不同的新技术来说，可谓生逢其时。我们正努力研究细节，我简直有点迫不及待地想要看到 ABB Dynafin 应用到实船上。”•

参考文献

[1] Aalto University, “What is PdP?” 来源: <https://pdp.fi/>. [访问日期: 2024 年 4 月 4 日].

[2] VTT, “Case: ABB Marine & Ports – Ground-breaking propulsion concept reduces fuel consumption by up to 22%.” 来源: <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/case-abbmarine-dynafinpropulsion>. [访问日期: 2024 年 4 月 4 日]



采矿脱碳技术之对比

电气化运输

采矿业的温室气体排放量占全球总排放量的 7%^[1]。有鉴于此, ABB 正致力于应用其 eMine™ 解决方案框架来解决围绕采矿运输脱碳及相关电力基础设施的诸多问题, 包括车辆、物料装卸点、充电站、电池充电器和电池。



矿山内的柴油动力运输系统是行业碳排放量的主要来源。

电气化降低了通风要求并改善了工作条件。



本文讨论了实现电气化的不同方法。

采矿作业中碳排放的一个主要来源是材料运输，这一过程严重依赖柴油运输系统。这些系统不仅在采矿业二氧化碳排放量中的占比很大[2]，而且还导致地下矿井的通风要求更为严苛，在总运营成本中的占比可能高达 70%[3]。因此，小车辅助系统、电池驱动电动卡车、电动输送机 and 电动起重系统等替代解决方案为促进向碳中和的整体过渡提供了广阔前景。

考虑到这一转型涉及范围之广，要了解引入此类替代技术的好处及应对其所带来的挑战，仿真已成为不可或缺的工具。在这一背景下，ABB 应用其仿真工具，调查卡车物料运输脱碳相关问题及其对相关电力基础设施带来的影响。ABB 使用的仿真工具建立在离散事件仿真 (DES) 框架之上。这些工具侧重于对运输设备及相关电气基础设施（例如固定能源传输系统，如 eMine™ FastCharge，及动态能源传输系统，如 eMine 小车系统 → 01）的内部状态和输出的相关变化进行建模，并在所仿真场景中考虑的多个系统之间触发交互等事件时，重新计算和记录参数。在采矿环境中，涉及的

资产大概包括车辆、物料装卸点、充电站、电池充电器和电池。

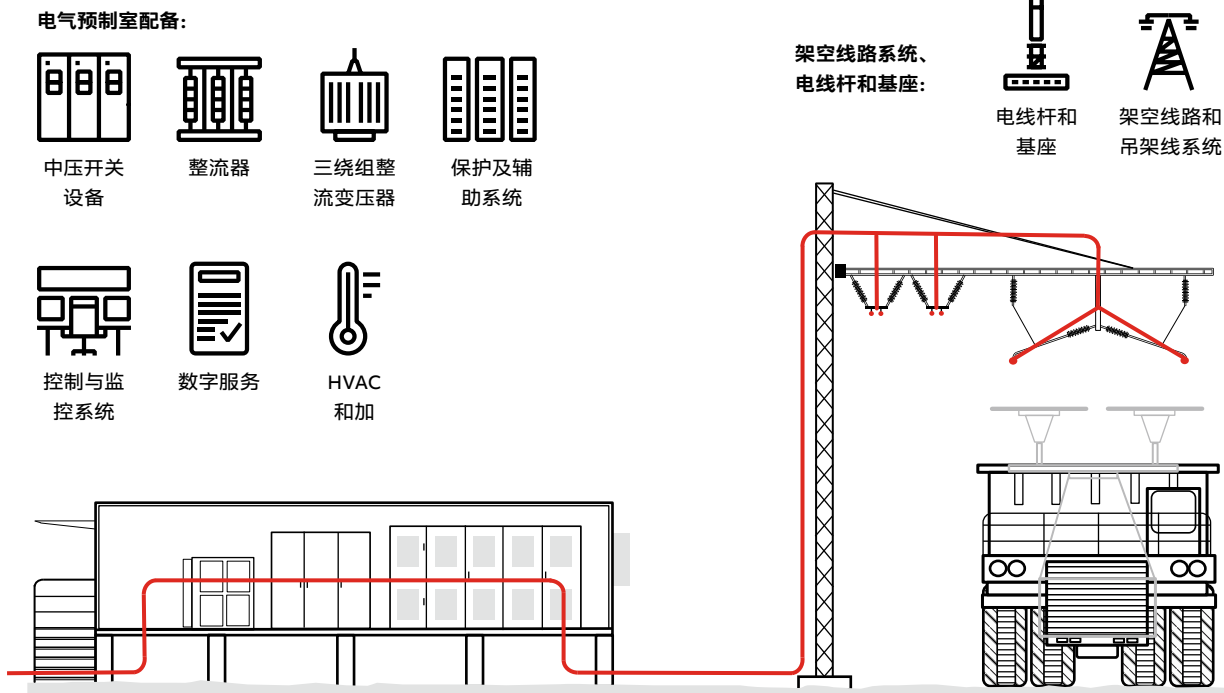
该应用程序功能全面，旨在应对现实矿场的复杂性。其图形用户界面简化了各种基于卡车和输送机的运输方法的建模和对比。卡车根据其基础推进技术进行建模，范围从传统柴油到柴油电动和电池电动车辆，并与固定充电或动态电力传输系统所需的电力基础设施相匹配。支持导入绘图交换格式

内置场景规划功能，支持探索同一矿山内不同的运输场景变化。

(DXF) 文件，这种格式可用于在计算机辅助设计 (CAD) 应用程序之间普遍共享数据，允许将整个现有矿场布局直接转换为节点和边缘，从而形成道路网络模型的方向图。内置场景规划功能，支持探索同一矿山

—
Francisco Canales
Perez
Christoph Schlegel
Nic Beutler
过程工业事业部采矿
业务线
瑞士巴登

francisco.
canalesperez@
ch.abb.com
christoph.
schlegel@
ch.abb.com
nic.beutler@
ch.abb.com



eMine™ 小车系统

ABB eMine 小车系统包括变电站和吊架线 OHL (架空线)。变电站连接到矿井配电网 (中压), 将交流电转换为直流电, 并通过 OHL 将其输送给卡车。

与柴油动力卡车相比, 小车系统可以避免在该系统上运行的电动卡车产生高达 90% 的二氧化碳排放, 并提高生产率, 将卡车在小车线路的速度提高 2 倍。



—
01 ABB eMine™ 小车系统显著降低了柴油消耗量和排放量。

—
02 仿真结果所考虑的路径特征。

—
03 每个周期的能耗 (单位: kWh) 与运输路径长度和海拔增益之间的函数关系。

内不同的运输场景变化。场景可以分为多个时间范围, 允许用户在矿山生命周期的不同阶段考虑相对应的道路网络、图表、电力基础设施、运输卡车和生产率参数。

每个运输周期的能耗

矿山装载和运输作业的特点是车辆采用周期路径。这种运输周期通常会在矿山周期内发生变化。其中, 该研究根据从源头到目的地的距离和海拔差来估算一个运输周期的能耗。能量值根据 290 吨有效载荷卡车计算得出。

运输周期中消耗的能量十分重要。对于不配备内燃机的电动卡车来说, 必须由电力基础设施提供能量才能确保其运行。与存储了足够能源、能为整个班次的车队提供能源

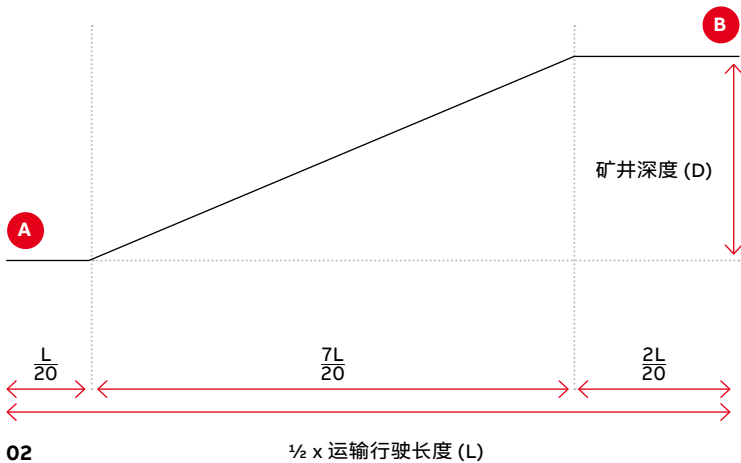
的柴油箱相比, 电池最多只能供应几个运输周期。

作者认为, 在可预见的未来, 电池技术难以出现导致能源和/或功率密度显著增加的颠覆性变化。因此, 此处提供的结果对于配备电池的第一代运输卡车仍然有效。仿真所考

—
要准确分析能耗情况, 需要根据矿山的具体地理位置进行模拟。

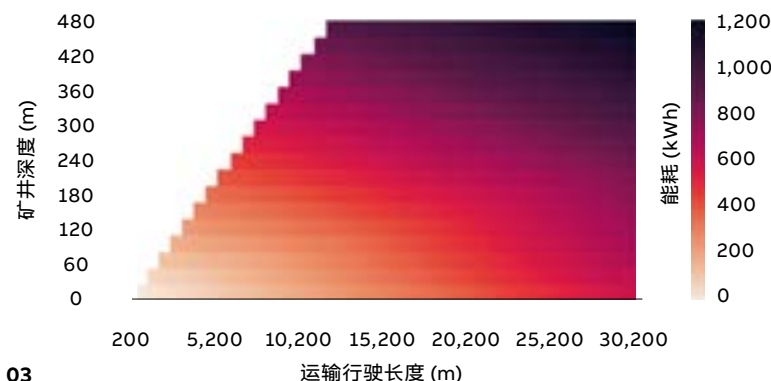
虑的路径类型如 →02 所示。卡车从 B 地出发, 前往 A 地装货, 然后返回 B 地卸货。所述周期中的总行驶距离和海拔增益分别表示为 L 和 D。

→03 中的值对应于卡车沿不同长度和深度 (L、D) 的轨道行驶所需的能源。该研究指出, 对于固定长度 L, 所考虑的 D 的最大值被设置为确保运输剖面中段的坡度不超过 12%, 这表明在分析示意图中省略了坡度超过该最大值的部分。露天矿的运输道路坡度通常不超过 10%。



三种运输周期场景

每个矿山都独一无二——因此, 要准确分析给定矿山内的能耗情况, 应该根据矿山自身地理位置和特征进行模拟。尽管如此, 本次讨论的目的是提供总体洞察, 基于使用仿真工具应用程序模拟的代表性场景, 可普遍应用于各个站点。所选择的与一般类型矿山的运输状况相近的三种不同长度和深度组合总结请参见→04。



四种推进系统

1. 柴油

尽管柴油仍然是采矿业的主要推进技术, 在地下作业中的使用率占比更为明显, 但向电力推进系统的过渡正在顺利进行, 露天重

—
04 使用仿真工具应用程序模拟的代表性场景*。

—
05 在三种场景下，卸载至物料源并装料返回物料目的地所需的柴油。

—
06 通过与电力整合减少柴油消耗和二氧化碳排放量。

—
07 使用小车动力推进，缩短周期时间。

型运输卡车亦不例外。在这一背景下，→05 模拟了在三种情况下，行驶 1/2 路程卸载到物料源和行驶 1/2 路程装载到物料目的地所需的柴油燃料，作为当今采矿作业中要减少的 CO₂ 排放量的对比参考点，其中考虑转换系数为每升 2.66 kg CO₂。

2. 柴油辅助小车

目前用于运输卡车的动态能量传输方法之一是为柴电运输卡车配备受电弓。这需要用到小车辅助线和供电变电站，最好在运输路线的选定倾斜路段添加。连接后，传动系

统直接从电力基础设施获取能源来驱动车辆，使内燃机进入空转模式，从而减少柴油消耗。

使用 ABB eMine™ 仿真工具仿真的代表性周期的柴油消耗和二氧化碳排放量概述如→06 所示。对于仿真，假设已在轨迹的整个向上坡道 (0.35 L) 上安装小车线路。

此外，如→07 中所总结的，小车动力推进可以显著缩短周期时间。

→08 显示了柴油消耗量 (升) 与配备小车的坡道比例之间的关系。该图考虑了三种不同的仿真场景，每种场景对应不同的矿井深度和轨道长度，突出显示了随小车供电比例的上升，所用燃料可能会有所减少。

3. 具有动态充电功能的电池小车

以下部分重点介绍电池小车推进技术，这是一种创新的方法，需要用到动态充电功能。其中，小车线路提供的能源用于驱动车辆

	矿山类型, 示例	深度 D (m)	运输路径长度 L(m)	完成运输周期所需能源 (kWh)*
场景 1	铁矿	150	5,000	~ 336
场景 2	钴矿	200	10,000	~ 492
场景 3	铜矿	500	15,000	~ 1,043

04 *范围 1 和 2 所消耗电能的碳强度很大程度上取决于当地的能源结构，出于本研究之目的，已将其设置为零。

	深度 D (m)	运输路径长度 L(m)	每个周期的柴油消耗(l)	CO ₂ 排放量 (kg)
场景 1	150	5,000	105	279
场景 2	200	10,000	154	407
场景 3	500	15,000	318	840

05

	深度 D (m)	运输路径长度 L(m)	每个周期的柴油消耗(l)	CO ₂ 排放量 (kg), 仅柴油
场景 1	150	5,000	16	41
场景 2	200	10,000	26	67
场景 3	500	15,000	34	91

06

	深度 D (m)	运输路径长度 L(m)	柴油周期时间 (分钟)	柴油辅助小车周期时间 (分钟)
场景 1	150	5,000	15.2	9.6
场景 2	200	10,000	22.5	13.9
场景 3	500	15,000	42.3	23.9

07

—
电池小车推进技术是一种创新新技术，可在为电池充电的同时驱动车辆。

并同时为其电池充电，进而取代了柴油发动机。但值得注意的是，这项技术尚未完全成熟，但研究、开发和试点项目正如火如荼地进行，因而发展十分迅速[4]。

为了分析该技术对电池利用率的潜在好处，→09 显示了基于最大充电功率和配备小车的坡道比例的电池电能，每条曲线都考虑了不同的仿真深度和长度。该目的旨在评估三个确定状态下预期运输周期的操作要求：

- 没有小车基础设施的路段，运输卡车将仅依靠固定充电技术来补充完成周期所需的能量。

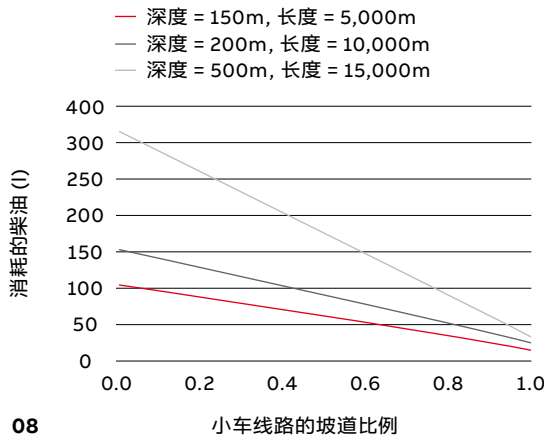
—
08 每个运输周期的柴油消耗量(升)与配备小车线路的坡道比例之间的函数关系。

—
09 假设小车上电池的充电功率达到最大时,仿真运输周期的能源平衡。

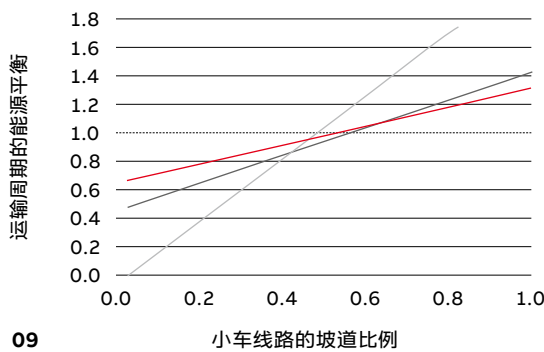
—
10 每天运输材料的生产率(以公吨计)与装机充电功率之间的函数关系。

- 小车部分覆盖但仍存在能源不足现象的路段。在这种情况下,运输卡车需要结合使用小车线路的动态充电功能和补充固定充电功能,以满足运输周期的总体能源需求。
- 小车覆盖范围足够的路段,可动态补充完成运输周期所需的全部能源。

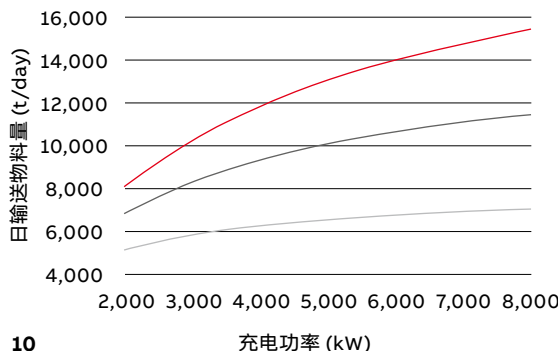
在仿真中,进一步假设卡车配备 1.5MWh 电池,且在下坡行驶期间启用制动能量回收。



08



09



10

4. 带固定充电功能的电池

固定充电在采矿卡车脱碳过程中发挥着关键作用。需要沿运输路线战略性地部署临时固定充电站,以有效充电或更换卡车电池。理想情况下,应合理安排和部署停靠

—
应合理安排和部署充电停靠点,最大限度地减少停机时间。

点,最大限度地减少停机时间。虽然该技术广泛应用于客运车和公共汽车,但在应用到采矿运输(尤其是露天矿)领域时,其在可行性和经济可行性方面均提出了明显挑战。在这一背景下,主要挑战来自于将材料从矿坑中运输出来需要消耗巨大的能量。在这种情况下,电池存储的电能必须能够跨越两个充电站之间的距离和海拔。假设整个运输周期中设有一个充电站,这意味着须确保卡车存储足够能源,可安全往返于物料搬运点和充电点。

→10 显示了以每天运输的材料吨数衡量的生产率,以评估固定充电的影响。假设运行时间为 21 小时,每个周期运输 290 吨材料,则根据配备 1.5MWh 电池的采矿车的仿真固定充电器的充电功率绘制了仿真生产率。另外,在下坡行驶期间,将回收制动能量,为电池充电。

有效载荷类别研究

上一节假设卡车的有效载荷为 290 吨,本节将分析有效载荷对每个运输周期能耗的影响。必须指出的是,对于此处研究的不同有效载荷,大部分情况下,只有柴油和柴油小车推进技术可商用。

柴油小车技术可线性减少柴油消耗和二氧化碳排放量,具体取决于所安装小车线路的长度。进一步,用电池组取代柴油发动机还可在下坡行驶期间回收制动能量。潜在的回收收益如→11 所示。

载荷	仿真矿山类型	深度 D (m)	运输路径长度 L(m)	每个运输周期的能源 (无回收) (kWh)	可能回收的能源(kWh)
100 t	铁矿石	150	5,000	118	24
	钴	200	10,000	172	27
	铜	500	15,000	352	84
240 t	铁矿石	150	5,000	261	53
	钴	200	10,000	381	60
	铜	500	15,000	791	185
360 t	铁矿石	150	5,000	387	74
	钴	200	10,000	566	82
	铜	500	15,000	1,163	256

11

— 11 由于车辆输入参数 (例如轮胎牵引力推进曲线、正面面积或特定能效) 取决于卡车模型的工程设计, 因此以下结果是相应有效载荷类别的近似值。

如果该技术与小车基础设施相结合, 在移动时提供能源, 则在连接到小车线路时提供给电池的能源足够支撑车辆在非小车线路上运行的情况下, 可以实现连续运行。根据当前的研究业已确定, 要维持运营, 则至少 60% 左右的上坡运输路径必须配备小车系统。如果在综合考虑矿山的运营限制后确定可行, 那么在大部分情况下, 安装更长的小车系统将不失为一种经济实惠的举措, 因为通过每辆卡车电池进行循环的能量进一步减少, 延长了其使用寿命, 从而降低了成本。

— 参考文献

[1] McKinsey. Climate risk and decarbonization: what every CEO needs to know. January 28, 2020. 来源: https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights%20/climate-risk-and-decarbonization-	what-every-mining-ceo-needs-to-know. [访问日期: 2024 年 2 月 21 日].	[2] McKinsey. Creating the zero carbon mine. 来源: https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/creating-the-zero-	carbon-mine. June 29, 2021. 2021.[访问日期: 2024 年 2 月 21日].	Conference on Smart Grids and Energy Systems, 2020, Perth, Australia	https://im-mining.com/2023/12/01/hitachi-nears-completion-of-all-battery-trolley-large-mining-truck-for-test-deployment-to-kansanshi/ .2023-12-01.[访问日期: 2024 年 2 月 21日].
[3] N. Ertugrul, A. Pourmousavi Kani, M. Davies, D. Sbarbaro, L. Moran, Status of mine electrification and future potentials, International	[4] International Mining. Hitachi nears completion of all battery trolley large mining truck for test deployment to Kansanshi. 来源:				

当对电动运输卡车使用固定充电功能时, 灵活性有所上长, 但生产率会相应下降, 因为卡车必须停靠充电。然而, 凭借高充电功率基础设施, 即可缓解这一问题。但是, 其中一项挑战在于新技术的成本和性能等关键参数仍然存在不确定性。这尤其适用于尚未商业化的卡车技术。

总而言之, 许多技术相关问题仍然存在, 例如: 电池技术的选择、电池容量和卡车有效载荷大小; 选择部署小车线路和固定充电基础设施的位置以及相关装机容量; 以及对所

— 凭借其仿真工具应用程序, ABB 可以评估解决方案在给定矿山生命周期内的可行性。

需卡车数量的预测。然而, ABB 使用其仿真工具应用程序, 综合考虑运营和基础设施限制, 在项目早期阶段即可从技术经济角度解决这些问题, 并评估解决方案在给定矿山生命周期内的可行性。•



工业电网整合了可再生
能源和传统发电。

在保障运行稳定的同
时，必须优化可再生能
源的使用。



ABB 提供框架和工具
(如 ABB eMine™)
来指导决策。

李博达
宋宸

Theresa Loss

Matthias

Biskoping

Jan Schlake

ABB 集团研究中心
德国曼海姆

boda.li@
de.abb.com
chen.song@
de.abb.com
theresa.loss@
de.abb.com
matthias.
biskoping@
de.abb.com
jan-christoph.
schlake@
de.abb.com

Maryam Sharifi
Fredrik Ljungberg
Stefan Thorburn
ABB 集团研究中心
瑞典韦斯特罗斯

maryam.sharifi@
se.abb.com
fredrik.ljungberg@
se.abb.com
stefan.thorburn@
se.abb.com

Nic Beutler
过程工业事业部
瑞士巴登

nic.beutler@
ch.abb.com

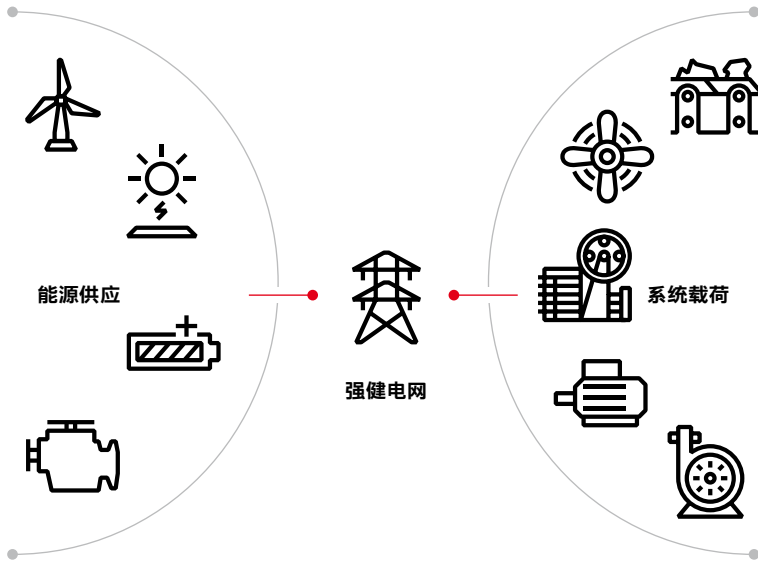
自动化电网设计和分析，助力克服可持续性难题

绿色电网

采矿业等能源密集型行业如何实现可持续发展目标？ABB 正在改进其工业电网设计工具包，以自动分析工业电网中的各种负载、供电和潜在故障情况，从而帮助工程师、设计人员和操作员做出设计和运营决策。

ABB 的采矿电气化框架 ABB eMine™ 将详细的消耗模型、设备和运营与可再生能源数据的历史数据合并，有效优化了可再生能源到工业环境的整合，采矿业更是其中重点。

要实现全球可持续发展目标，可再生能源并网至关重要。制造、采矿、制氢和数据中心等行业以能源需求巨大而闻名，因此，可再生能源并网对其尤为重要。促使这些行业转型，采用可再生能源进行运营，不仅旨在满足其高能源需求，也是想要使这些努力与碳减排和可持续性后续目标保持一致。任何特定工业工厂的可再生能源可用性因每日和季节性变化而存在显著差异。这意味着每个装置都须经单独设计，以满足其行业的特定需求。目前估计，到 2030 年，可



01

—
01 基于可再生能源并网的工业系统电网布局。

再生能源供电量将占全球发电量的 45% 至 50%，到 2050 年，这一比例将达到 65% 至 85%[1]。

然而，将可再生能源并入上述行业的工业电网中均面临一系列独特挑战，因为每个行业都表现出复杂的运营动态，导致负载变化也十分错综复杂。可再生能源的可变性进一步加剧了这种复杂性，使得电网的分析和设计变得颇具挑战性。此外，为了确保任何指定工业场所的顺利运行，多种能源与整个能耗系统之间必须始终保持平衡→01。在几

ABB 的方法结合了自适应反馈回路，改进了电网布局设计流程。

乎所有情况下，这都需要全年持续供电。除了间歇性给电源和载荷造成的挑战外，越来越多的应用开始使用非线性设备，这会产生谐波和功率因数问题，对电能质量产生不利影响。因此，不良的电能质会影响资产健康和性能，导致资产故障、生产减少或停止，并最终导致工厂遭受经济损失。

为了应对这些挑战，工业电网必须高效、可靠地处理传统能源和可再生能源的混合，并适应从稳态到瞬态条件的不同运行场景。此外，多个工业领域专业人才稀缺，加上必须在工业电网发展初期整合用户需求，迫切需要创新且高效的设计解决方案。由于缺乏自动化解决方案以及可访问且实用的数据，这一需求进一步加剧，大大延迟了可再生能源纳入系统的时间。这进而导致并网期延长，可能会导致大量额外成本、延误以及采用可再生能源带来的挑战加剧。

详细的仿真模型和先进框架

在当今的工业电网中，了解设备能耗的复杂动态对于可再生能源并网、提高运营效率和降低成本至关重要。为了更好地支持电网设计并进行相应分析，ABB 着手通过对不同资产进行精确建模，对工业环境中的能耗进行深入分析。这些模型可以捕获来自不同固定系统（例如电机和充电站）以及移动资产（例如卡车）的独特概况。

ABB 还将工厂运营的动态变化对模型的影响考虑在内。为此，使用足够通用的建模框架来捕获不同时间范围内的物理效应。此外，工业工厂通常运营的资产来自不同制造商，且因数据和专业知识十分稀缺，因此务必要保密处理模型的实施细节。为了解决这些问题，ABB 使用互操作性标准化功能模型接口 (FMI) 概念，允许组合不同制造商的模型。功能模型单元是符合 FMI 标准的仿真模型文件，仅包含编译代码。这可保护模型完整性以及源知识产权。模型和仿真框架有助于创建用于电网设计的负载分布并将其无缝集成到电网分析模块之中。

自动化工业电网设计

考虑到这些挑战，ABB 开发了专为现代工业电网量身定制的自动化电网设计和分析框架，重点解决可再生能源并网过程中遇到的挑战。如 →02 所示，该解决方案利用先进的优化理论，并对电网条件进行全面分析，以简化设计流程、提高运营效率并降低可再生能源并网的相关成本。

优化技术经济设计与分析

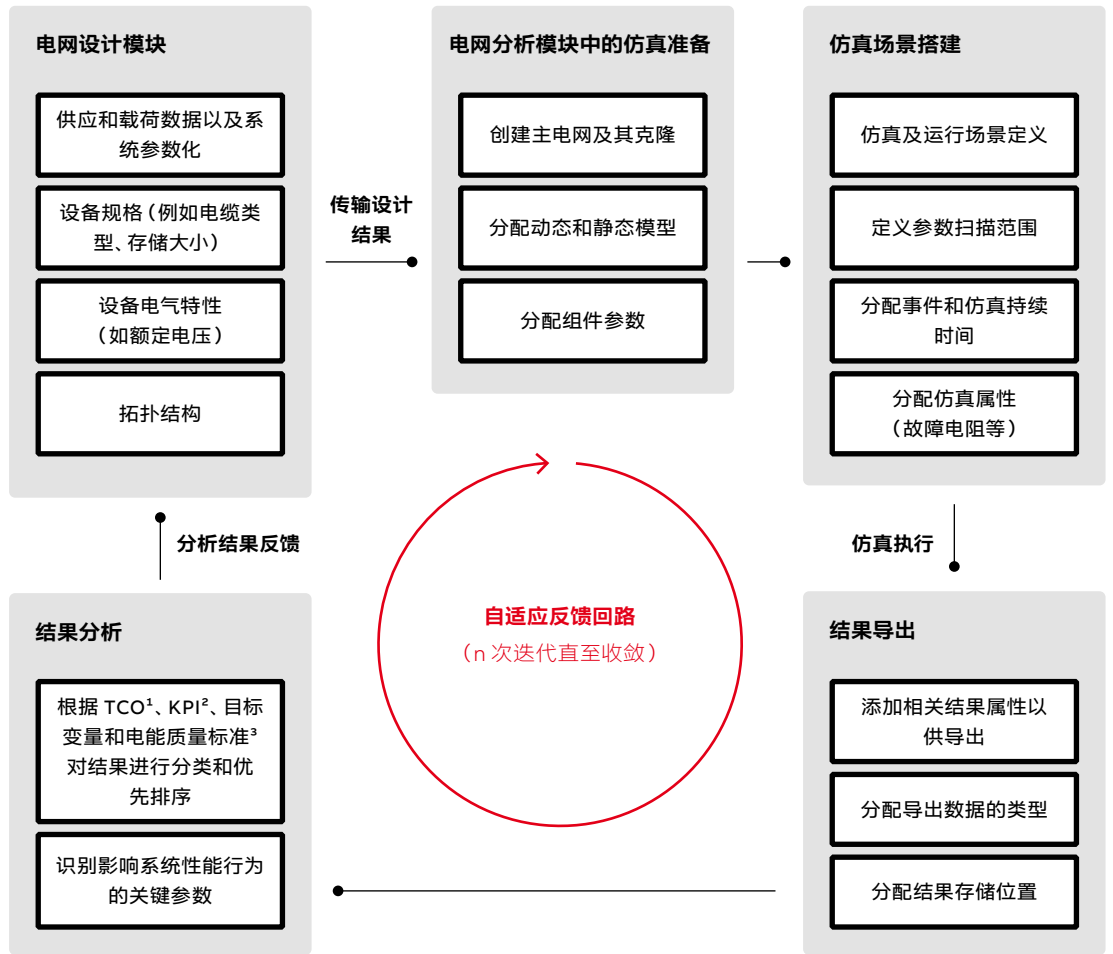
02 优化技术经济电网设计与分析解决方案中的工作流程。

03 电网分析方法在采矿业中的应用示例。

¹ TCO: 总拥有成本

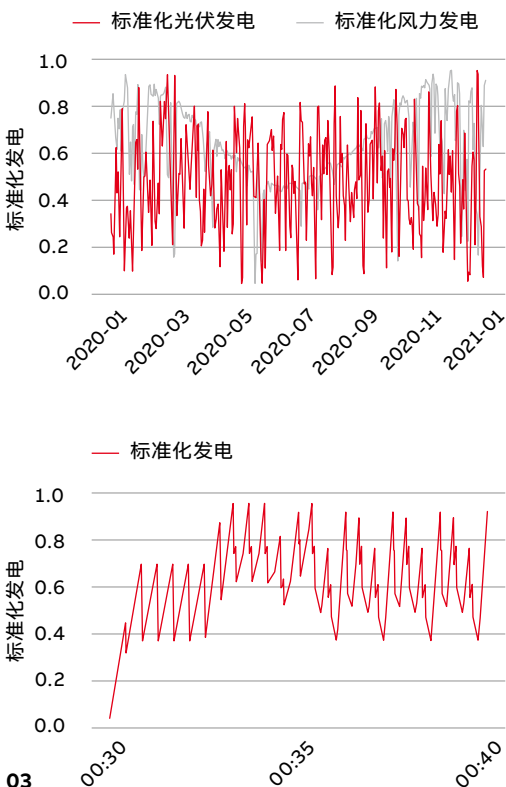
² KPI: 关键绩效指标

³ 电能质量标准: 电能质量标准是指一套用于评估电力稳定性和可靠性的标准和指南。这些标准涵盖了电力供应的各个方面, 包括电压/频率稳定性、供电连续性、谐波失真、功率因数等。高质量的电力对于工业设备的平稳运行和降低运行中断风险至关重要。

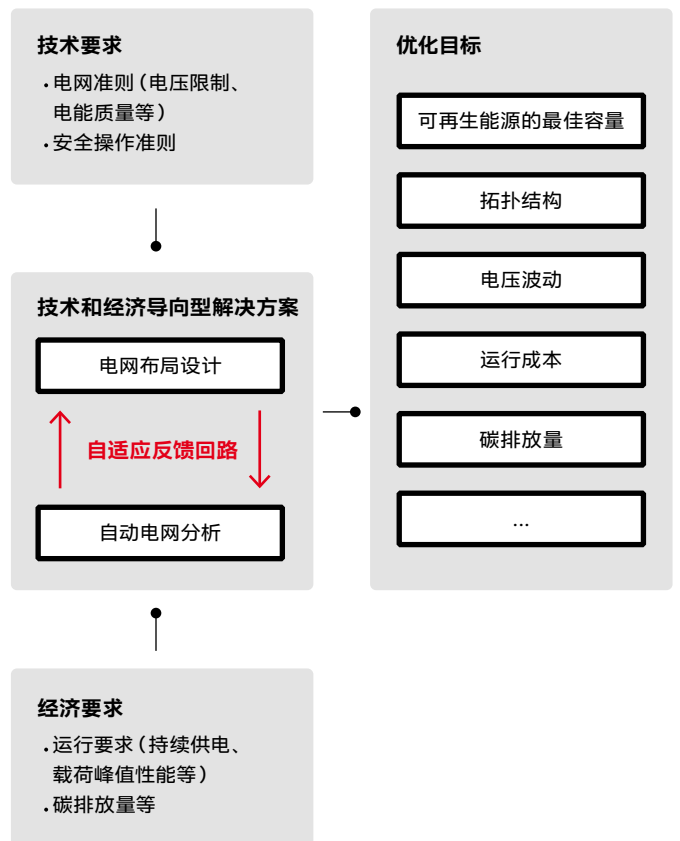


02

可再生能源历史数据



03



事实上, 可再生能源并网是实现真正可持续系统的重要一环。但正如许多用户所意识到的那样, 要将可再生能源并入工业能源系统, 通常需要对现有电网进行升级或改造, 才能适应复杂的载荷动态和可再生能源波

需要采用一种全面的电网分析方法, 包括自动创建模型和修改电网设置。

动。ABB 通过开发全面的自动化电网设计解决方案工具套件来应对这一挑战。这一创新方法结合了依托于动态分析结果的自适应反馈回路, 改进了电网布局设计流程。

该流程首先收集数据和用户特定要求, 包括建造成本和碳排放量等关键性能指标。以综合考虑额定电压和电缆选择等元素后, 生成最佳电网布局。这种布局通过求解符合电网准则和静态运行安全域的优化模型来实现。然后, 优化后的电网设计结果可通过当前主流电力系统分析软件来读取。系统可以自动生成各种仿真和运行场景以进行瞬态行为分析, 例如开关和故障。此外, 反馈回路通过基于瞬态分析的迭代来调整设计, 从而予以完善。

该方法优点繁多且明显。与传统方法相比, 其可显著减少设计时间, 从而简化流程。此外, 稳态和动态瞬态分析相结合, 交付了较高的安全性和准确性, 保证电网布局能满足各种场景下的多样化运行要求。自适应反馈回路进一步增强了可靠性, 满足了静态和动态运行安全要求。重要的是, 该方法的设计可重复使用且可扩展, 适用于采矿、海洋和港口运营以及制氢工厂等一系列行业。

通过自动瞬态分析优化工业电网性能

如今, 盛行采用在相关仿真工具中构建单线图 (SLD), 然后执行仿真来检查电网行为这一方法来进行电网动态分析。然而, 这种方法缺点较为明显, 因为手动设置电网极为耗时——此过程中可能会出现人为错误——在电网组件繁多的情况下更是如此。

为避免这些缺点, 需要采用一种全面的电网分析方法, 其中包括自动创建模型和修改电网设置。考虑到这一点, ABB 开发的电网分析方法深入研究了瞬态电网动态。最初, 电网布局设计结果被导入作为仿真输入数据。所有相关电网信息, 包括每个电网组件的类型和电气特性以及拓扑结构, 都驻留在数据交换通用格式文件中, 作为专为应用程序之间的数据传输而设计的双向接口。这种文件格式受到电网布局设计和电网分析模块的普遍支持, 可无缝传输数据, 而无需手动实施电网。在处理广泛的电网或由于拓扑结



构修改而发生结构变化的电网时，这一点尤其重要。

这一初始阶段标志着开启了自动电网分析的第一步，自动电网分析提供了显著优势。导入电网属性后，会自动生成与 SLD 对齐的主电网。克隆电网以主电网为基础，通过更改主电网组件参数或设置，使用各种动态资产模型创建而成，用于瞬态行为研究。此外，自动生成并执行所需的动态仿真事件，包括电网运行过程中的开关动作以及各类故障事件。

然后，基于仿真结果的分析将循环回电网设计模块，以便在需要时生成经修订的设计。这一迭代过程强调了分析洞察和自动化的集成，推动采用高效且明智的方法进行电网稳定性分析。

这一自动化数据开放接口为优化电网运行和分析打开了大门。此过程涉及扫描组件参数范围和不同的运行场景，以验证电网稳定性并优化运行成本等目标变量。

最重要的是，凭借该拟议仿真模块中的技术经济计算功能，可对电网扩展策略、电能质量评估和服务中断进行研究，所有这些都将进一步纳入了资源分配和盈利能力的优化决策标准。

将电网设计与分析解决方案应用于采矿业

采矿和选矿行业是 ABB 解决方案的理想应用领域。该行业面临着高能源需求和因环境影响造成的重大阻力，迫切需要整合太阳能和风能等可再生能源，以减少温室气体排放。鉴于采矿设备复杂且动态的电力需求，特别是电动卡车以及固定（电池充电）和动态能量传输（车辆推进）的相关基础设施的加速普及，该领域电网设计和分析的复杂性绝不容小觑。

然而，由于缺乏有效的自动化解决方案，导致难以顺利整合可再生能源，从而减缓了可持续发展的进程。ABB eMine™ 在采矿电网设计方法方面开展了广泛研究，以便为

更可持续且更有效的工业实践做出重大贡献，从而应对这一挑战。此外，通过采用自动化电网分析方法，可自动分析电网中的各种载荷、供电和潜在故障场景，从而协助工程师、设计人员和操作人员做出设计和运行

ABB eMine™ 凭借先进的采矿设备模型支持可再生能源并网。

决策。这通过为一系列采矿设备构建详细的能耗和仿真模型来实现。ABB 将其与可再生能源数据 → 03 的历史数据合并，有效优化可再生能源并网的电网解决方案。

这种类型的高级分析为采矿电网提供了最佳配置解决方案。这些解决方案依托可再生能源能力设计和设备能耗分析，作为后续动态行为验证阶段的重要输入，从而可在无损效率的情况下保障系统的可靠性。

此外，电网分析方法可自动评估各种运行场景，为矿山操作人员提供重要洞察，供其做出明智决策。该解决方案将进一步奠定基础，推动为其他矿区开发先进功能，例如优化电池存储系统和电动卡车车队的规模。

总而言之，通过利用 ABB 的流程自动化采矿专业知识，其电网设计和分析解决方案可改进 ABB eMine™ 系列产品，并支持做出明智的投资决策，从而为改善脱碳和保障经济高效的运行指明了道路。•

— 参考文献

[1] McKinsey & Co. Global Energy Perspective 2023. 来源: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023> [访问日期: 2024 年 2 月 17 日].



高性能在线纸张色彩测量

尽显真实色彩

ABB 的高性能色彩测量传感器使用了发光二极管(LED)光源和高速光谱仪,可更快、更可靠地测量色彩、亮度、不透明度和白度等色度特性,从而提高纸张和纸板的生产质量。

—
01 严格控制各卷纸张色彩一致至关重要。

色彩(此处所用术语还包括亮度、不透明度和白度)是纸张的一项品质,鲜少有人会有意识地加以考虑,但却在纸张制造和使用中发挥着至关重要的作用。例如,打印质量、可读性和视觉美感都受到纸张色彩的显著影响。公司的品牌认知度可能取决于其使用的纸张色彩,并且当护照或身份证等安全文件需要用到特定色调时,色彩也很重要 →01。



Michael O'Hora
ABB 纸浆与造纸事业部
爱尔兰邓多克

michael.ohora@ie.abb.com



Håkan Hjalmer
ABB 纸浆与造纸事业部
爱尔兰邓多克

hakan.hjalmer@ie.abb.com

因此,在生产过程中在线监控纸张色彩对于确保产品一致性以及可销售性至关重要。所涉及的在线仪器必须具备相应的性能特征,以维持工艺稳定,尽量减少不合格产品,在色度变化期间或需要快速变更工艺以生产不同等级的纸张(较重、较轻等)时尤其重要。由于广泛使用荧光增白剂(OBA),在蓝色可见光谱区域发出荧光以增加表现白度和亮度,因此对色彩测量提出了独特挑战。

色彩溯源

20 世纪 80 年代初,ABB 就在造纸机上安装了第一台在线色彩传感器,在此领域可谓拥有悠久的创新历史。迄今为止,ABB 和其他公司所采用的实验室和在线色彩仪器方法一直以基于气体放电灯或卤钨灯的设计为主。虽然这些技术业已得到充分验证并



不透明度和白度保持一致是衡量纸张生产质量的标志。

色彩监控是生产过程中不可或缺的一环。



ABB 开发了一款使用 LED 灯和色彩传感器的高精度色彩测量系统。



—
02 ABB 高性能色彩测量传感器模块。与现有设计相比更紧凑、更轻质。

标准 ABB 传感器电气互连

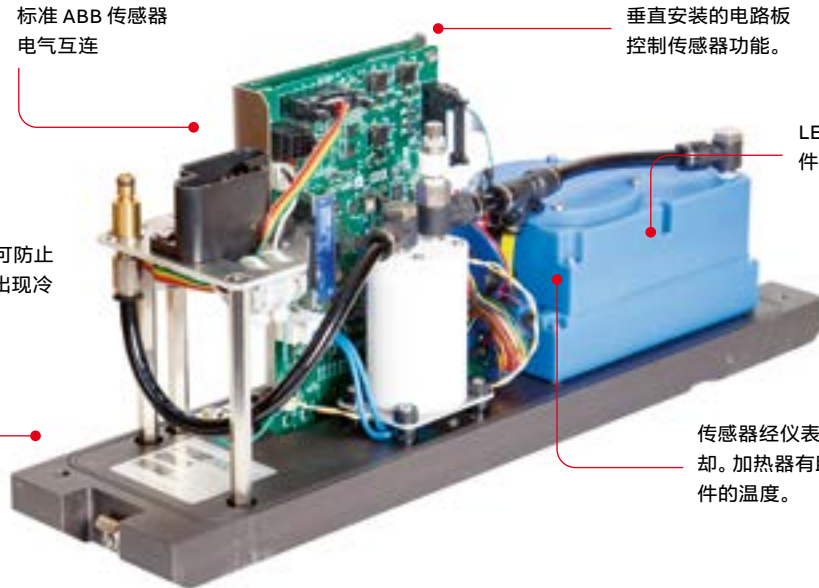
垂直安装的电路板控制传感器功能。

LED 光源、聚焦光学器件和高速光栅光谱仪。

排出的仪表空气可防止面板传感器窗口出现冷凝或灰尘。

传感器经仪表空气吹扫和冷却。加热器有助于稳定测量组件的温度。

02



实现了标准化, 但其在灯光寿命、光谱成分随时间的衰减以及脉冲发生器充电时间 (限制测量速率) 方面存在固有缺陷。另一个明显的缺点在于, 需要对灯的输出进行过滤来控制紫外线 (UV) 含量, 以将 OBA 效果考虑在内。其中, 必须将紫外线过滤器实体放置在放电灯前面, 严重限制了测量速率。

从灯泡发展为 LED

近年来, LED 技术进步显著, 在稳定性、可重复性、光谱范围和光功率方面表现尤为突出。此外, 由于 LED 是带有各种明确定义的光谱范围的离散发射器, 因此, 可选择单独跨越光谱的紫外线区域和光电区域的单个发射器。如此一来, 色彩传感器中采用的 LED 发射器可对进行排序, 每秒多次交替产生含紫外线和不含紫外线的照明模式, 从而在移动卷筒纸上提供几乎连续的色彩数据流。因此, 无需如上所述物理移动紫外线过滤器。

ABB 的高性能色彩测量传感器即体现了这种方法, 其采用现代 LED 技术和高速光谱仪, 在生产过程中, 可在扫描纸张的同时测量移动纸张的色度特性→02。该传感器设计明确, 旨在克服在工业环境中测量荧光和非荧光纸张时遇到的诸多挑战。

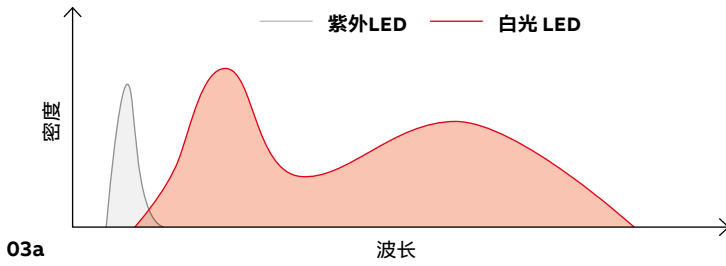
传感器设计

ABB 高性能色彩测量传感器模块被设计为安装在纸张一侧或双侧, 通常安装在 ABB 网络平台扫描仪上, 只需花费数十秒, 即可

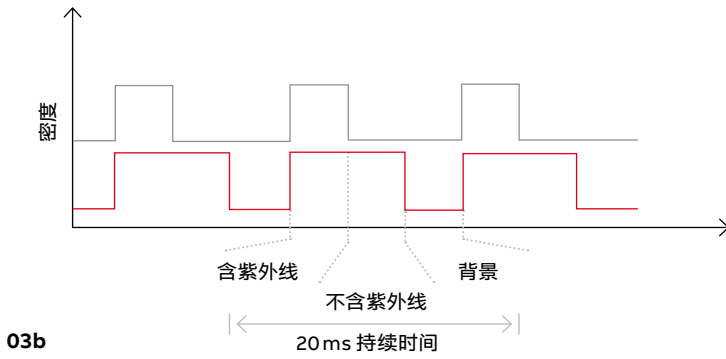
—
该传感器实现了前所未有的色彩测量分辨率, 且准确性更高, 短期波动更小。

全面扫描纸张, 测量色度特性。支撑纸砖模块 (BTM) 安装在工艺另一侧。BTM 允许将彩色纸砖安装在传感器光学路径中, 用于测量补充色度和光学特性, 例如不透明度 (见下文)。

在传感器中, 白色 LED 和蓝色紫外线 LED 按顺序排列 (先同时打开, 然后仅打开白色), 以产生含紫外线和不含紫外线的照明模式。当两个 LED 均处于关闭状态时, 可选择调用第三种模式进行基线测量, 以解决造纸机周围常见的强烈外部光源问题 →03。



03a



03b

—
03 LED 排序。

03a 含紫外线、不含紫外线和基线照明方案。

03b 光谱特性。

—
04 BTM 在纸端与传感器模块相对的一侧旋转多个纸砖。

环形镜在纸上产生 45°的无向环形照明图案，最小可聚焦至 10 毫米的光斑。与纸张垂直的散射和反射光将被收集并通过镜子导至光谱仪（因此遵循偏好 45°/0°设计）

该传感器每秒最多可读取 50 个含紫外线和不含紫外线的完整读数，在造纸机方向和交叉方向布局上均能提供前所未有的色彩测量分辨率，与传统方法相比，精度更高，短期波动更小。采样率比气体放电灯快 10 到 100 倍，并且会连续取数据平均值，从而提供更理想的测量信息，以便控制应用程序。高采样率意味着发送到主机的每次测量都

是整张纸上数百次读数的平均值，可显著减少湿度和温度条纹造成的色彩处理噪音，在扫描应用中尤其效果卓绝。

通过更频繁更连续地进行测量，纸张制造商可享受更高的精度，从而确保色测更一致，提高最终产品质量。通过使用该传感器，制造商能精准控制色彩，同时最大限度地减少不合格产品并提高色调一致性，此外还可减少使用昂贵的荧光增白剂、染料和颜料。

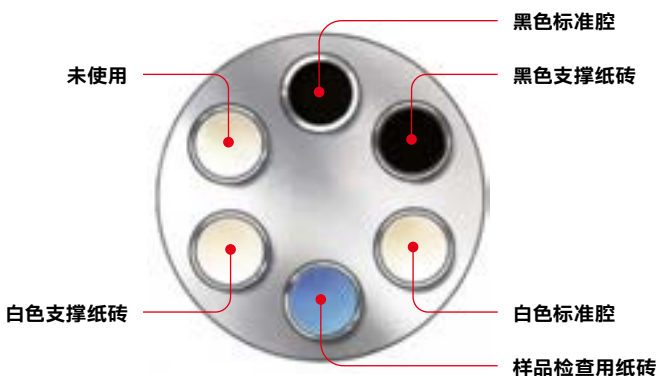
支撑纸砖模块设计

如上所述，BTM 在工艺中与色彩测量模块相对而立。BTM 配备获得专利的纸砖外壳机制，有助于自动执行传感器校准、标准化和检查样品例行工作，从而最大限度地减

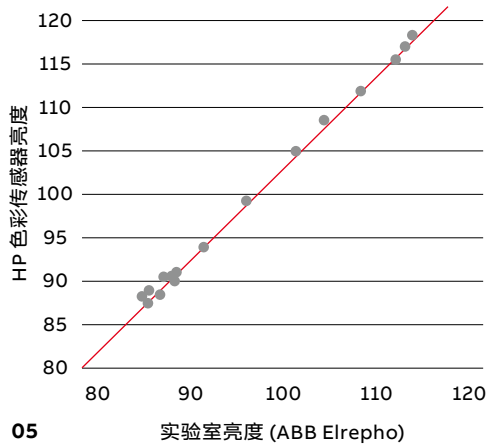
—
制造商可享受更高的精度，从而确保色彩更一致，提高最终产品质量。

少操作员干预，确保传感器长期稳定地运行。BTM 配备六块纸砖式转盘：白色支撑纸砖支持连续进行色彩测量，而黑色支撑纸砖使传感器能够进行“无限厚度”色彩计算（ABB 专利方法）→04。为了确保传感器长期稳定运行，特纳入了黑色和白色标准化纸砖，以帮助色彩传感器纠正可能影响精度的变量（例如灰尘或污垢堆积）。在没有纸幅的情况下，纸砖可用于标准化检验反射测量，并根据内部标准检查仪器性能随时间变化的情况。内部检查样本自动验证并认证在线传感器性能。

BTM 利用高速气流（即所谓的伯努利压纸装置）来稳定纸幅传送线。这种压纸装置消除了纸张颤动并实现了非接触式色彩测量。



04



—
05 ABB Elrepho 实验室仪器与高性能色彩测量传感器测量荧光标准样品时的 ISO 亮度 (ISO 2470) 对比。

色彩相关性

该传感器已经过广泛测试，以确保与实验室仪器和现有气体放电在线仪器之间的相关性。尤其对含紫外线和不含紫外线的测量算法的性能进行了严格检查，以确保在荧光材料上性能准确可靠。

→05 显示了由传感器和实验室仪器

(Lorentzen & Wettre Elrepho, 使用制造商提供的可追溯标准进行校准) 测量一组荧光塑料样品时所获得的数据。图示为基

—
采用主模块中不配备移动部件的模块化设计, 提高了可靠性并降低了成本。

于 D65 标准光源, 在含紫外线和不含紫外线模式下所测量的样品的 ISO 亮度对比。尽管照明源 (LED 与氙气灯) 存在差异, 但 LED 传感器在两种照明模式下均表现出了极为出色的相关性。

在处理色彩时, 经常使用 $L^*a^*b^*$ 色彩空间。色彩空间由国际照明委员会 (CIE) 于 1976 年予以定义, 其将色彩表示为三个值: “ L^* ”代表感知的亮度, “ a^* ”和“ b^* ”代表人类视觉的四种独特颜色: 红色、绿色、蓝色和黄色。三个色彩空间值的两个测量集 (实验室设备与色彩传感器) 几乎彼此重叠。

应该指出的是, LED 光谱特性与 CIE 定义的标准光源略有不同, 这意味着与基于气体放电的仪器相比, LED 设备需要更频繁地进行光源校正。

高性能色彩测量传感器还在数台造纸机上进行了试验, 其中可很好地跟踪其他测量方法。

易于维护升级

该传感器采用轻质、紧凑、模块化设计, 测量模块中未设置移动部件, 从而提高了可靠性, 并降低了维护和生命周期成本。LED 光源的使用寿命比灯泡设计长很多倍, 并且支持直接更换主要部件, 无需另行校准。另取消了高压脉冲和大功率电容器, 安全性也得到了相应改善。向主机提供实时健康报告。

高性能色彩测量传感器可应用于纸幅顶部、底部或两侧, 且因为测量模块与 ABB 的智能色彩传感器插接兼容, 并与上一代智能 BTM 完全兼容, 因此支持快速轻松地进行升级。该传感器可在 ABB 的网络平台扫描仪上与 ABB 的多变量色彩控制功能结合使用, 从而最大限度地减少不合格产品, 缩短色调变化和启动时间。该传感器的全新色彩调校功能可优化白顶、施胶压榨和涂层操作。

前景一片璀璨

随着 LED 亮度和光谱特性逐步改进, 传感器性能也可以进一步增强。此外, 传感器测量速率高, 将允许分离信号中机器方向和交叉方向的信息, 从而为改进色彩控制开拓更多机会, 而这对于速度较慢的气灯设备来说几乎不可能实现。

后续工作可能还包括提供控制算法, 充分利用传感器前所未有的分辨率, 助力造纸商自动、精确地快速改变目标色调, 确保其生产的产品在色彩、亮度、荧光度、不透明度和白度方面实现优越的一致性。•

高性能在线纸张湿度测量

反映纸张湿度

ABB 的 HPIR-R 湿度传感器也是一款高速湿度传感器, 与大获成功的 HPIR-T 传感器相辅相成。在纸浆与造纸行业中一些最具挑战性且极端的环境下, HPIR-R 可使用红外光谱测量纸张表面湿度和温度。



湿度测量是造纸生产
监测的重要一环。

红外光用于非接触
式测量表面湿度。



ABB 提供了市场上最
快的湿度测量方法。



—
01 ABB 的新型 HPIR-R 湿度传感器遍历纸张中间。传感器一边扫描，一边高速、连续地提供湿度读数。

造纸术拥有数千年历史，但有效的纸张质量评估工具的问世却不过短短数十年。即使到了 20 世纪 20 年代，各大造纸公司仍依赖操作员的天然技能，通过目视检查纸张的均匀度，用棍子检查卷轴硬度，并利用手臂汗毛产生的静电效应来检查湿度。

纸张湿度是创新的早期目标，在 20 世纪 20 年代末，人们采用电导率技术来进行测量。这一原始的方法“聊胜于无”，可靠衡量了纸张湿度，但在趋势预测、纸张沿交叉方向的特性或控制能力方面效果泛泛。

纸张生产过程的基本原理需要将湿度用作关键指标，首先查看过程中的湿度，其次结合总质量测量来划分干重和水重。干重代表所用原料的重量/成本；湿度/水重是指在造纸过程的关键位置达到最佳设定值所需的干燥量（以及相关的能源成本）。

全程监控，不容松懈

纸幅内的水和有机材料在电磁波谱的红外 (IR) 区域表现为强烈的振动吸收带。因此，湿度浓度通常通过近红外 (1.7 至 2.2 μm) 区域内的相邻湿度和纤维素组合带的差分吸收测量值进行估计。长久以来，红外方法一直受湿度传感器开发人员的青睐——其具有独特的测量能力，从最轻质的薄页纸到纸板，从零湿度到纸张饱和极限，统统不在话下。

ABB 的老一代红外温度传感器以及竞争对手推出的红外传感器均配备信号处理功能，利用调幅和后续红外解调来抑制任何可能影响测量的背景现象并克服基础探测器的局限性。然而，这种调制通常通过机械红外光束斩波器完成，这意味着，系统就像一个闪烁的眼睛，仅在眼睛睁开时才能捕获测量结果。这种情况具有缺点，与当今许多高速生产工艺并不兼容。例如，测量速度受到调制频率（奈奎斯特极限）和探测器电子器件预过滤和解调信号的能力的限制。



Michael O'Hora
ABB 纸浆与造纸事业部
爱尔兰邓多克

michael.ohora@ie.abb.com



Håkan Hjalmer
ABB 纸浆与造纸事业部
爱尔兰邓多克

hakan.hjalmer@ie.abb.com



01

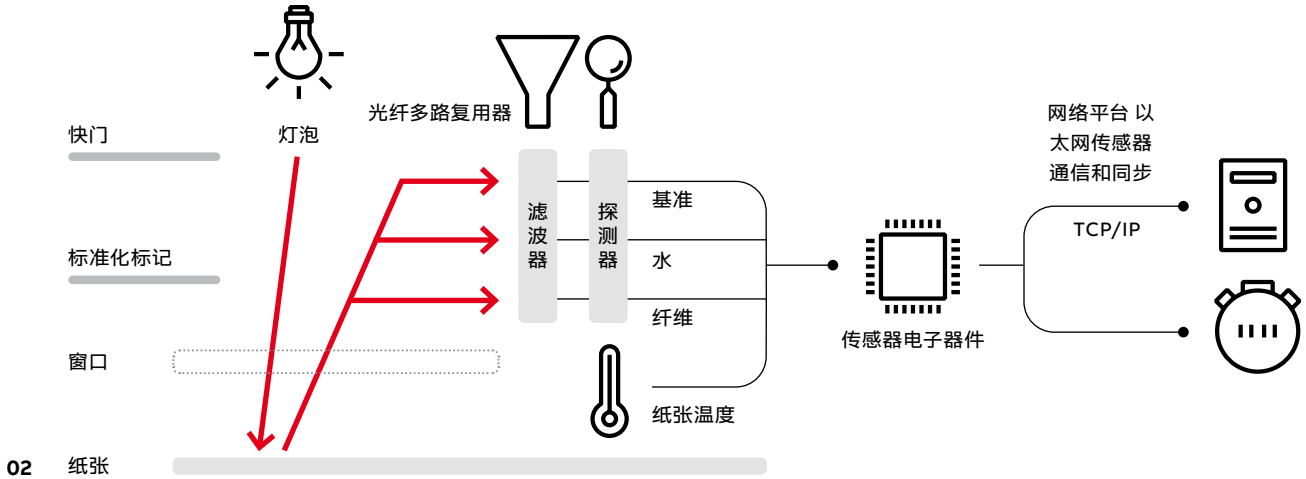
ABB 的新型 HPIR-R 传感器采用一种根本不同[1]且更为简单的方法来进行信号处理，最终用于红外湿度测量。该仪器不使用测量光束的调幅，而是连续向卷材过程提供红外能量，确保仪器以最大潜在速度（仅受光伏探测器特性限制）进行测量，并交付市场最佳信噪比和测量速度。

HPIR-R 传感器设计

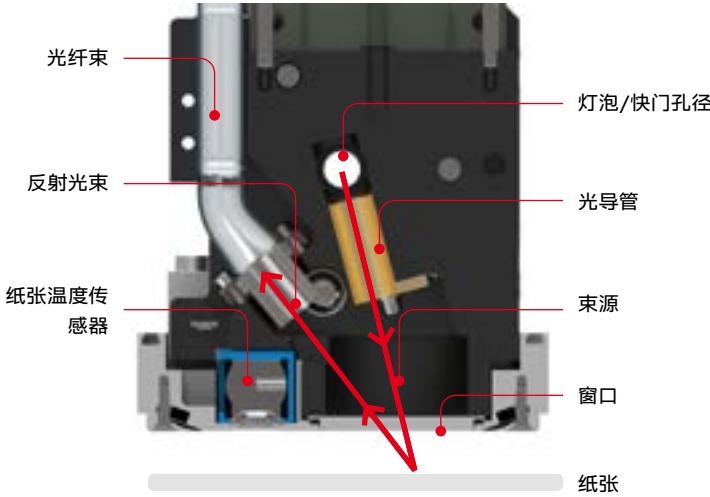
HPIR-R 模块包含一个卤钨灯，可稳定提供强烈的宽带可见光以及丰富且实惠的红外光源→01-03。该模块还包括一个快门，可短时间快速插入灯泡前面，阻止红外能量到达纸幅，从而实现归一化偏移，即电子偏移和背景光信号进行组合。因此不会丢失任

—
该传感器可持续提供红外线测量，交付市场最佳信噪比和测量速度。

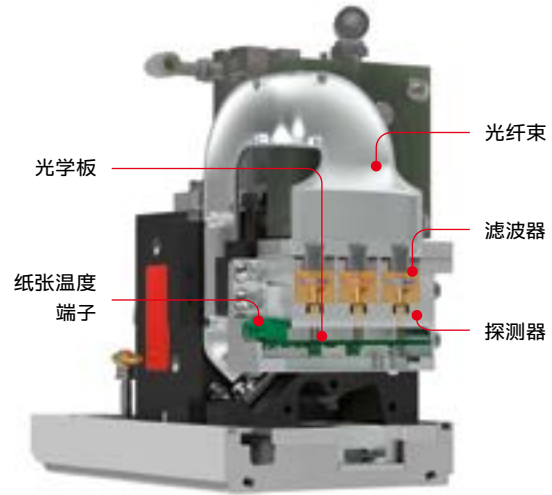
何过程数据，当扫描仪器在扫描纸张五次或更多次后暂停转动时，就会后台执行归一化。当传感器“停”在纸张一侧时，快门也会关闭。在正常操作期间，快门始终保持打开状态，从而可进行高速测量，这是 HPIR-R 的关键性特征。



02 纸张



03a



03b

—
02 ABB 的 HPIR-R 传感器采用非调制技术，像一只无需眨眼的眼睛一样工作。

—
03 HPIR-R 传感器。

03a 主组件侧视图。

03b 主组件斜视图。

HPIR-R 的光学元件可有效集中光源灯的红外能量并通过窗口导向纸张表面→04。反射能量由全部三个探测器（使用光学滤波器检测特定波长）接收，且与参考波长进行对比，每个波长吸收的光将指示纸张表面水份和纤维素的浓度。

探测器由一个光纤多路复用器和一个光纤束（约 3,000 根单独光纤）组成，光纤束在多路复用器内构造成随机网络，将输入能量随机传送到三个终端端口。光纤是 ABB 红外测量的独特赋能技术。其高效、对振动和温度不敏感且稳健，并允许简单、紧凑且轻量地设计载体设备。柔性光纤允许光电元

—
光纤高效、对振动和温度不敏感、稳健，且设计紧凑、轻便。

件以最佳配置方式进行安装，以方便产品包装，实现温度控制。其他方法涉及镜子、分束器和扩散球的空间利用率较低，极易受到诸多环境因素的影响。

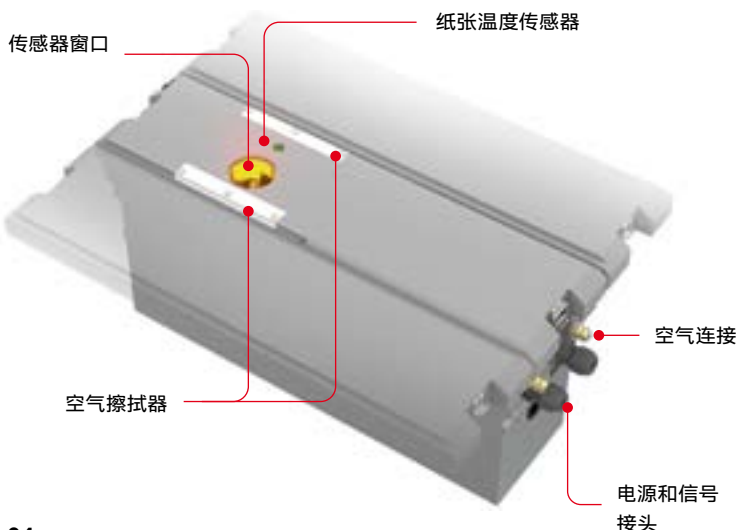
在每个终止点，将使用红外带通滤光片选择三个相关的近红外波段（基准、水和纤维

素)。然后,将信号导向三个光电探测器,以产生与入射到光电探测器的红外光功率成比例的电子信号。然后,光电探测器信号由设定为最佳增益的放大器进行调节,以最大限度提升数字化仪分辨率。每个探测器通道对过程中的同一点显示相同的视图,从而允许在每个波长下同时连续地进行测量。纸张另一侧无需支撑纸砖。

所有光电元件均安装在风冷式温控外壳内。HPIR-R 可在高达 125°C 的温度下运行,可测量的湿度浓度占干纸幅重量的 0% 至 70% 不等,且材质不限,从最轻的薄纸层到最重的纸板均受支持。绝对测量精度达 0.25%,分辨率明显优于 0.01%。该传感器以单一产品交付,并已在工厂经过全面校准,适合其遇到的任何纸张类型,因此完全可以互换。

HPIR-R 支持现场维修,另对灰尘和干扰不敏感,因此,与类似解决方案相比,可正常运行时间更长,总拥有成本更低。客户可能位于靠近原材料和能源的森林深处,也可能靠近市中心,因此现场可维修性至关重要。

04 HPIR-R 传感器面向过程的一侧,显示传感器通过其获取测量值的窗口。



04

大多数维修步骤仅涉及零件更换,用六角扳手几分钟即可搞定。此外,由于扫描仪深嵌在造纸机内部,ABB 制定了预防性维护计划(每两年一次),可与机器停机时间保持同步。

补偿外部红外效应

热纸幅过程也会发射宽带红外能量。具体辐照度和光谱特性将取决于纸幅温度。HPIR-R 配备了一个集成式辅助红外高

HPIR-R 每秒可生成多达 5,000 个完全集成、统计学上独立的湿度测量值。

温计,可同步独立测量纸幅红外发射值,从主红外信号中“消除”影响。该读数还可用于补偿其他背景红外效应的湿度测量。换句话说,HPIR-R 为造纸商提供了同步温度测量这一优势,助其更深入地了解纸张表面特性。

市场速度最快的湿度测量功能

HPIR-R 每秒可生成多达 5,000 个完全集成、统计学上独立的湿度测量值。该速度在业内可谓史无前例,无可匹敌。相比之下,HPIR-R 提供的数据点是 1973 年同类产品的 83 倍多(在 50Hz 系统中逾百倍),空间测量分辨率仅为 6 毫米,与造纸早期指尖测量的尺寸相同。

作为 ABB Ability™ 质量管理体系的一部分,HPIR-R IP 格式输出实现了全数字化,可确保信号完整无缺。生成的大量数据可即时通过工厂的光纤骨干网发送至边缘服务器、质量管理应用程序和云端。高速测量可产生一系列丰富的诊断数据,是进行分析的理想工具,有助于做出现场或企业层面的决策。HPIR-R 适用于全部 ABB 网络平台扫描



05

—
05 这张纸浆模顶部的红外干燥机发出的强红外光对 HPIR-R 没有影响，从衬纸背面可以看出，其测量点位于正面。

—
06 HPIR-R 被放置在流程中能产生最大影响的位置。通常，施胶机前方乃最佳位置。



06

仪类型，可用于测量印刷级纸张、图形纸、纸板、薄纸、包装、涂层产品、彩色产品、专业和回收级产品。

节约能源与成本

HPIR-R 的专利技术提供前所未有的湿度测量速度和精度，可优化干燥流程、减少蒸汽使用、显著节省干燥环节所用能源并减少碳排放。例如，改变蒸汽压力产生 1% 的湿度变化，就相当于每年节省 400,000 美元的能源。即使在最具挑战性的环境下，传感器中使用的小点红外能量也能提供出色的条纹分辨率和精确的边到边纸张测量值 →05。

虽然传感器可以放置在任何位置，但放置在施胶压机前方可产生最大影响，这样可获得更好的精度和准确度，有利于操作员提高

湿度目标,从而优化淀粉/施胶拾取并减少用于干燥的能源需求→06。另一个效果较好的位置在湿压段之后,其中,传感器使操作员能够调整压榨负载,以改善湿度分布情况,并提升进入干燥机的纸张的干度。这一微调功能不仅可以实现节能,还可以在机器敏感区域提高纸张强度,这意味着可改善运行性能和纸张断裂恢复操作。

有信心提高湿度目标并收紧容差带

HPIR-R 具备当今最快的湿度测量功能,提供精确的边到边测量,让操作员有信心在整个过程中提高湿度目标,从而改善纸张特性,并减少能耗。

此外,由于始终了解确切的湿度水平,因此可以应用更严格的湿度目标区域。这一改进消除了纸张某些区域出现过度干燥的现象,确保所有区域都在其湿度规格范围内,效果立竿见影,显著节约了能源成本。此外,造纸商可更快速地生产出符合规格的产品,有助于提高产量、节约能源并减少质量损失。

全程监控赋予的数据优势

除了基本的湿度控制外,HPIR-R 支持全程监控,促使在全球范围内实现了转变,各大公司越来越多地采用工业 4.0 工作实践和

ABB 的 HPIR-R 湿度传感器也是一款高速湿度传感器,与大获成功的 HPIR-T 传感器相辅相成。HPIR-R 使用红外光谱测量纸张表面湿度和温度,即便在最具挑战性和极端的环境下,亦可将光谱和高性能测量应用到过程工业。

通过现代造纸机中上升的蒸汽、回收的残留物、振动和高温,HPIR-R 通过红外线观察运行纸幅表面,以发现化学成分中肉眼不可见的“色彩”。HPIR-R 逐毫米遍历纸张宽度,以每秒 5,000 次的测量速度收集纸张表面湿度和温度相关数据。湿度与 ABB 的纸张定量数据结合解读,还可揭示该过程的干质量。

这些数据揭示了纸张在生产过程中的细微变化,并被组装成数字指纹,提供 ABB 控制算法所需的信息,以减少过程可变性并快速有效地实现和维持目标设定值。这一过程高速且耗能,细微变化演变非常迅速,因此快速检测和响应至关重要。湿度控制始终是造纸效率和可持续性的基础。

挑战在于改造 ABB 传感器,以适应可持续发展和数字化时代。ABB 借鉴其长久以来的最佳经验,开发出备受瞩目的数字化原生解决方案 HPIR-R 来应对这一挑战,并将其与现代技术相结合,成功开发出能够满足造纸行业未来数十年需求的产品。•

—
用户可更快速地生产出符合规格的产品,从而提高产量、节约能源并减少质量损失。

参考文献

[1] S.P. Sturm et al., “Method and apparatus for on-line web property measurement,” U.S. patent, US8148690, April 3, 2012.

工业物联网 (IIoT) 来提供至关重要的运营数据。现代信息系统依靠数据共享和分析取得蓬勃发展,因此可持续衡量质量水平,并将班次模式、操作员能力、季节性温度范围和原材料等方面的变化与历史数据进行纵向对比。

非侵入式实时熔体温度测量预测

熔体测量

在一项有针对性的研究中, ABB 开发出一款先进的人工智能 (AI) 模型并成功进行了测试, 该模型可以根据冷却水的上升情况连续准确地预测电弧炉 (EAF) 内钢铁熔体的温度。这项创新的进一步发展将促使钢铁行业更好地优化炼钢工艺, 促进可持续发展, 实现节能减排。

—
Subhashish
Desgupta
Vishal Jana
Dinesh Patil

ABB 集团研究中心过程自动化事业部 印度班加罗尔

subhashish.dasgupta@in.abb.com
vishal.jana@in.abb.com
dinesh.patil@in.abb.com

众所周知, 钢铁生产与高水平的温室气体 (GHG) 排放脱不了干系: 全球钢厂每年产生 1.78 Gt 废气[1]。毫无疑问, 钢铁的碳足迹很高。例如, 2018 年, 每生产一吨钢铁, 平均会排放 1.85 吨二氧化碳; 这相当于当年全球二氧化碳排放量的约 8%[2]。与此形成鲜明对比的是, 客户对低碳密集型钢铁生产的需求不断上升, 碳排放法规日益收紧, 投资者和公众对可持续发展的兴趣日益浓厚[2]。

因此, 尽管面临着显著挑战, 但钢铁生产的绿色化仍将是大势所趋; 努力实现脱碳、优化能耗和采取其他行动乃必行之举。

—
毫无疑问, 钢铁的碳足迹很高, 与之相对的是, 客户对低碳密集型钢铁生产的需求上升。

应用先进数字技术有助于应对这些挑战。凭借其一个多世纪的丰富经验, ABB 专注开发出电气化、自动化和数字化解决方案, 融合先进的数据分析、机器学习 (ML) 和其他人工智能技术, 帮助缓解金属生产商面





改进钢铁冶炼的温度控制有助于节省能源、排放和成本。

温度超过 1,630°C 后, 将无法进行直接接触测量。



ABB 可使用人工智能准确估计温度。

面临的挑战, 减少排放、优化能耗, 同时提升生产效率并降低成本。因此, ABB 可助力钢铁行业实现数字化转型, 加速实现可持续发展。在本研究中, ABB 研究了机械和 AI 模型的应用情况, 尤以神经网络 (NN) 建模为重点, 以非侵入式方法准确估算电弧炉 (EAF) 中钢铁熔体的温度, 从而进行优化, 实现减排节能。

秉持可持续发展理念, 选择合适的炼钢炉
钢铁行业追求低碳未来始于恰当选择炼钢炉。目前有两种主要的炼钢技术: 传统集成式高炉 (BF)/碱性氧气炼钢炉 (BOF), 这是

欧洲目前使用的主要方法, 以及日益普及的 EAF→O1。集成式高炉使用铁矿石等原材

—
ABB 使用人工智能帮助金属生产商缓解优化能耗和降低成本等挑战。

料生产钢铁, 需要将煤 (或焦炭) 用作还原剂, 而电弧炉则可以使用各种原材料, 例如废钢、直接还原铁 (DRI) 和热金属, 而无需



01

—
01 ABB 技术已成功提升了全球部分大型电弧炉的效率。Acciaieria Arvedi 推出了创纪录的电弧炉产品，出钢量可达 300 公吨，使用的混合炉料包括热压铁 (HBI)，这是一种优质的直接还原铁。

使用煤炭。电弧炉功能灵活，不仅可以帮助生产商在原材料供应发生变化时更快速地满足市场需求，而且还具有可降低二氧化碳

—
ABB 专注于创新技术，积极评估和开发电弧炉的突破性技术。

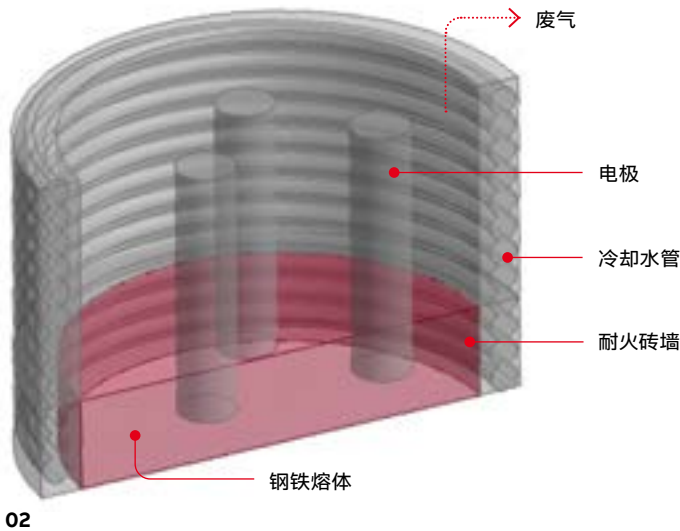
排放量、提高资源效率和回收利用能力等优点。ABB 专注于开发金属行业的创新技术，积极评估和开发电弧炉的突破性技术，进而提供技术，助力提高运营效率，支持钢铁制造业追求可持续发展的低碳钢生产。

提高效率亦不在话下

与所有批量工艺一样，在炼钢过程的各个阶段控制温度等工艺变量对于确保最大限度提高生产率、降低能源使用和运营成本可谓至关重要。使用非侵入式温度测量有助于实现上述目标。

要提高电弧炉工艺效率，更好地控制废气的产生，必录温度，然后丢弃传感器。每轮生产都需要执行一次此过程。热传感器插入温度计保护套管；在测量过程中将电极断电，这会导致效率降低、影响成本甚至影响安全。

要微调各种操作参数，达到节能和保障质量之目的，必须实时监测温度，每轮运行期间仅监测一次远远不够。ABB 着手探



02

02 典型电弧炉的基本示意图。

03 各种温度测量值和估算值的对比。出于专有原因，本文省略了温度轴单位。

03a 图示为冷却水温度 Tcw 随时间上升的情况。

03b 图示为按比例显示的 Tcw 与使用热平衡方程估算的熔体温度 Tm 的对比情况。

索一种方法来实现以下目标: 在 2022 年 Process Automation Hackathon (ABB 一年一度的活动, 旨在展示过程自动化领域的创新理念) 上, 使用外部温度测量值和 AI 方法连续估算熔体温度。

EAF 建造和冶炼工艺

在描述本研究所采用的方法之前, 有必要解释一下电弧炉→01 的工作原理。钢与其他进料依赖于电弧电极产生的热量在封闭炉膛内熔化→02。耐火砖炉膛内设有耐火衬

里, 内装有水管夹套, 用于冷却耐火衬里, 起到保护作用→02。冷却过程中产生的气体从电弧炉顶部出口排出。

非侵入式温度估算

在 PA 2022 Hackathon 上, ABB 及其合作伙伴研究了是否可以根据外部表现 (特别是炼钢炉外壳内管道中循环的冷却水的温升) 来确定熔体的熔体温升。ABB 使用客户提供的测量数据初步进行了概念验证研究。冷却水温升 (Tcw) 通过将入口温度减去出口水温进行确定, 数据可直接从工厂获取→03a。还提供了电弧功率、氧气流量等工厂测量数据。使用在 Python→03b 中执行

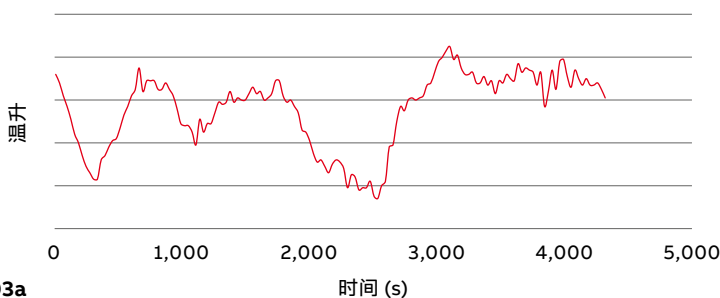
专家成功开发并测试了 DNN 模型, 其可将冷却水温与熔体温度进行关联。

的热平衡模型实时估算熔体温度 (Tm)。使用数学非线性函数放大 Tcw 后发现, 在工艺启动 1,000 秒 (约 16 分钟) 后, 按比例显示的 Tcw 和 Tm 之间存在着良好的相关性。这一积极的研究结果促使团队马不停蹄地开展研究, 看是否可以使用更先进的人工智能方法, 非侵入性地估算熔体温度。

随后, 使用 Python 开发了一个深度神经网络 (DNN) 模型, 将冷却水温与熔体温度进行关联→04a。DNN 模型以历史数据为基础进行训练, 可根据冷却水温升预测熔体温度, 准确性在可接受范围内→04b。随着分析不断迭代, 数据收集进一步深入, 预计后续调查的预测准确性将更上一层楼。目前, ABB 正致力于将非侵入式温度估算代码集成至其控制平台, 作为一项新产品, 可用于金属加工操作。

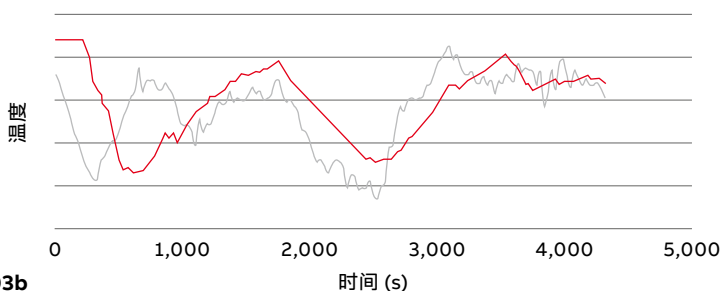
独特优势

在这项研究中, ABB 表明, 在了解相关工艺条件、数据足够、质量优良、且领域专家参



03a

— 按比例显示的冷却水温度
— 实际熔体温度

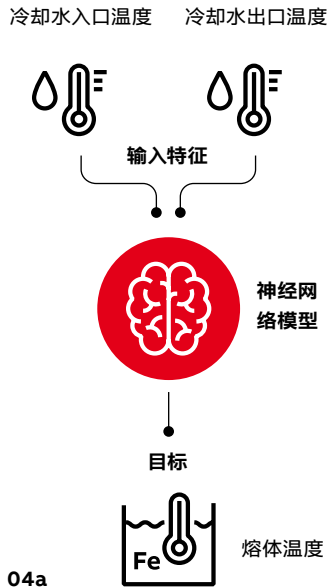


03b

04 展示了 NN 模型结果。

04a 将冷却水温与熔体温度进行了关联的简化版神经网络示意图。

04b 预测的熔体温度与实际温度(上图)和低相关误差值(下图)非常吻合。出于专有原因, 本文省略了温度轴单位。



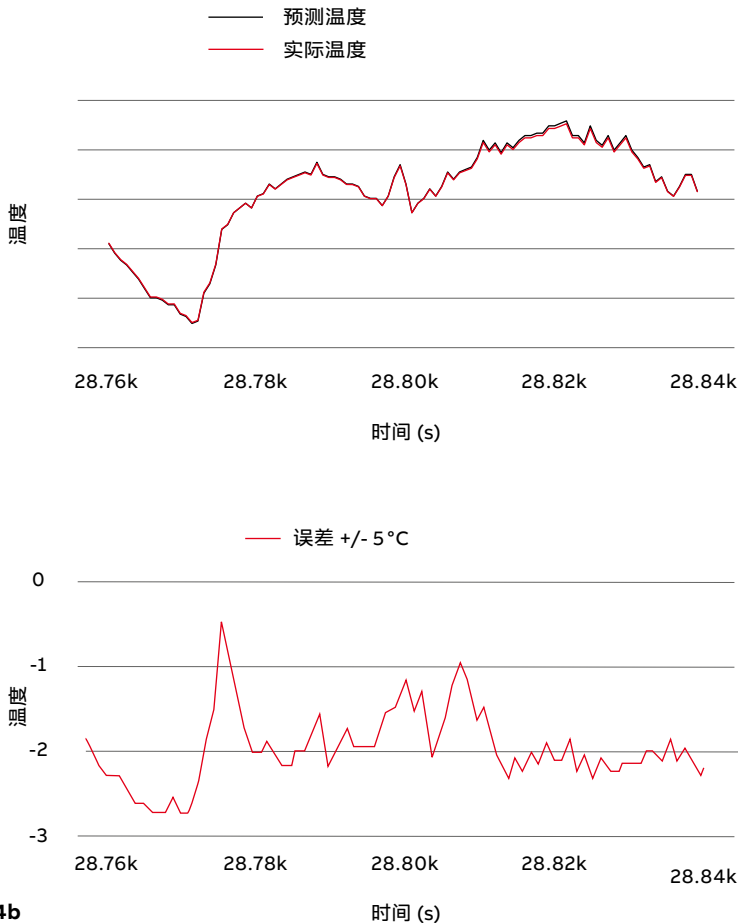
与的情况下, 即可使用 AI 建模方法以非侵入方式令人满意地预测工艺行为, 如熔体温度。在 ABB 案例中, 技术人员将能够以非侵入方式估算内部参数。这种能力不仅令人喜闻乐见, 而且具有广泛且实际的意义: 非侵入式熔体温度估算将允许实时监测温度。这反过来又可成为优化操作过程的重要手段: 熔炼过程得以持续运行, 无需关闭电极

ABB 的 AI 模型可根据冷却水温升连续预测钢铁熔体温度。

电源(哪怕是暂时关闭也不需要)和丢弃电极, 从而节省了时间、能源和成本。重要的是, 实时监测温度的能力允许控制废气排放; 该问题对钢铁制造业来说不容小觑, 不仅会影响运营效率, 而且对于该行业减少温室气体排放以及努力满足客户、投资者和监管要求也至关重要。

展望

虽然这项针对性调查的初衷在于研究冷却水温度是否可以作为预测熔体温度的测算指标, 但根据迄今为止取得的积极结果, ABB 建议, 可采用先进的 DNN 方法, 根据其他外部测量值(例如废气温度)估算熔体温度。此类研究正在进行中。如此一来, ABB 重点关注开发金属和数字技术, 致力于通过基于分析的创新, 为炼钢行业创造价值。





— 更多信息

ABB 网站，“SSAB、美国钢铁技术协会和 ABB 讨论了通往无化石燃料钢铁行业之旅”



ABB website, ABB 网站，“经久不衰的电弧炉优化技术在钢铁行业实现可持续发展未来之旅中发挥着积极作用”



— 参考文献

[1] J. Kleinikorda et al., “What Shall We Do with Steel Mill Off-Gas: Polygeneration Systems Minimizing Greenhouse Gas Emission”, *Environmental Science & Technology*, Vol. 56 No. 18, 2022, pp. 13,294–13,304.

[2] C. Hoffmann et al., “Decarbonization challenges for steel”, McKenzie & Company, June 3, 2020. 来源: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/decarbonization-challenge-for-steel> [访问日期: 2024 年 6 月 5 日].



企业面临着减排压力, 同时还须实现更高的可靠性, 延长正常运行时间。

ABB 提供了一系列解决方案, 可用于收集和评估资产数据。



ABB Ability™ 能源和资产管理器有助于优化电力消耗、最大限度地减少停机时间, 并将能源和维护成本降低高达

30%。



帮助客户加速实现净零排放

细粒度可见性

ABB Ability™ 能源和资产管理器可帮助用户优化电力消耗、最大限度地减少停机时间, 并将能源和维护成本降低高达 30%。在很大程度上, 这要通过将监控和数据分析细化到单个设备和子系统 (例如电梯或单个 HVAC 系统) 来实现。这种细粒度方法的共同之处在于用户能够全面了解其连接资产的健康状况。



01

—
01 ABB Ability™ 能源和资产管理器提供直观仪表盘。

能源在维持各企业运行方面发挥着重要作用。管理能源（包括电力和其他电源）的成本、安全性和效率，对于控制运营成本、减少代价高昂的停机时间乃至灾难性故障可谓至关重要。在制造业中，计划外设备停机的平均成本高达每小时 260,000 美元[1]，迫使能源和资产管理势在必行。

政府制定的减排最后期限也日益逼近。若要达到《巴黎协定》要求，将全球变暖控制在 1.5°C 之内，则未来七年内，排放量需要

—
企业可通过配置参数、设备、操作和时间段来跟踪特定性能趋势。

减少 45%，并在 2050 年实现净零排放。然而，目前受效率低下影响，建筑能耗中有平均约 30% 的能耗被白白浪费[2]，导致出现不必要且原本可轻松避免的碳排放。

随着能源价格上涨、基础设施老化和政府对碳排放的限制激增，企业开始转向数字解决方案，以帮助其维持正常运行时间、最大限度地利用资产、确保合规并加速实现碳中和。ABB Ability™ 能源和资产管理器是

一款基于云技术的一流模块化系统，提供直观仪表盘→01，不失为一种解决方案。

该解决方案可实时查看能耗、电力质量以及中低压配电系统设备的运行状况，可帮助拥有多个中小型站点（如工厂、商业建筑和数据中心）的组织优化功耗，最大限度地减少停机时间。

该解决方案的数字化模块可单独购买，也可组合购买。监控还可以细分到单个设备和/或子系统，如电梯、单个 HVAC 系统或生产线。这使用户能够做出明智决定，减少能耗、避免计划外停机时间，以及使用预测性维护在问题升级前检测和主动解决问题。

ABB Ability™ 能源管理器

ABB Ability™ 能源管理器可监控电气系统，一目了然地显示能耗相关信息，让减少浪费和提高能效触手可及，为用户设施和站点增添价值。

由于各个设施的能源需求和目标各异，ABB Ability™ 能源管理器使用可配置的小组件，从容满足每个组织的独特需求。企业可以监控选定时期内的能耗情况，并将多个站点不同群体的能耗进行对比。此外，还可通过配置参数、设备、操作和时间段来跟踪特定性能趋势。

报告可完全根据客户需求配置，并可通过电子邮件远程接收。该系统还提供自动警报功能，让客户全天候都能收到有关其站点状态的即时反馈。总而言之，ABB Ability™ 能源管理器配套功能可提供可持续性、运营和性能优势。

例如，该解决方案的诸多优势之一在于，可识别隐藏的能耗并消除浪费，帮助客户将效率提升高达 30%。另还可降低能源费用，减少计划外停机时间，让设施从中受益。此外，能源管理器易于调试和安装，支持从单个站点扩展至多设施系统。



Sherif El-Meshad
电气化事业部 德国
拉廷根

sherif.el-meshad@
de.abb.com

—
02 Viking Analytics。

—
03 Tallarna。

Viking Analytics

Viking Analytics[4] 的愿景是帮助各工业服务公司 (包括维护公司、原始制造商和系统集成商) 可靠地监控更多机器。Viking Analytics 提供专有解决方案, 对需要关注的机器进行优先级排序, 同时针对优先排序提供相关解释。然后, 专家可以根据优先级列表提供反馈并建议应采取哪些行动, 这又将成为解决方案的学习源泉。借助 Viking Analytics 解决方案, 服务公司可提供可靠的远程监控服务, 减少误报, 并且无需配备内部 AI 团队。



02

Tallarna

Tallarna[5] 是一家建筑环境气候技术公司, 曾屡获殊荣。该公司将数据分析、性能保证和高效融资相结合, 推动实现脱碳项目, 且无论是实施速度还是规模都令人满意。Tallarna 与大型住宅和商业业主、能源基础设施开发商和技术提供商携手, 加速实现净零排放。最近, Tallarna 被普华永道和剑桥大学评为“20 家最热门人工智能初创企业”之一。

03

ABB Ability™ 资产管理器

同样, ABB Ability™ 资产管理器可以对客户设施中的设备数据进行分析, 从而实时提供相关信息, 一目了然地显示其电力资产在中低压环境下的具体行为。通过监控资产状况、性能趋势和警报状态, 其可基于状

态实现预测性维护, 从而显著减少停机时间, 节约运营成本。

该系统还可根据每个客户和站点的实际情况量身定制。共同点在于, 每个用户都能全面了解其互连资产的健康状况, 并明确分类, 以采取适当行动, 类别从“极差” (大多会失败, 需要采取紧急行动) 到“极好” (运行良好, 无需采取任何行动) 不等。相关信息可被提炼成各种报告, 帮助企业更好地了解其资产表现并确定关键趋势。

通过实施该系统, 客户可节省高达 40% 的维护成本, 并消除高达 30% 的维护相关现场干预[3]。通过数字化电力资产和优化维护周期, 其还可延长资产使用寿命, 并减少

—
凭借即插即用套件, 开关设备等电气基础设施可快速实现数字化。

其对环境的影响。事实上, 如果定期对断路器组件实施监控、维护和升级, 那 50% 的电气设备 (例如金属柜、钢板和母线等高碳足迹产品) 可永久使用, 无需更换。

最好的消息是, 包括开关设备和其他设备在内的电力基础设施可通过即插即用套件快速实现数字化, 如此一来, 客户能够快速连接到云端并使用 ABB Ability™ 资产管理器。该系统也可以轻松扩展到多个站点, 这一点与能源管理器并无二致。

可扩展的解决方案

ABB Ability™ 能源和资产管理器的应用程序旨在成为一个不断增长的生态系统, 支持向其中添加新的解决方案。凭借应用程序编程接口 (API), 系统功能可随着技术发展而快速扩展。ABB 与 Viking Analytics 的合作就是其中一个重要示例。Viking Analytics 是一家瑞典初创公司, 赢得了 2020 年 ABB 电气创新挑战赛 →02。其

—
参考文献

[1] Solarwinds. Average cost of downtime per industry.来源: <https://www.pingdom.com/outages/average-cost-of-downtime-per-industry/> [访问日期: 2024 年 6 月 10 日].

[2] EPA Energy Star.来源: https://www.energystar.gov/ia/partners/publications/pubdocs/C+1_brochure.pdf [访问日期: 2024 年 6 月 10 日].

—
04 OKTO GRID。

中, ABB Ability™ 资产管理器将与 Viking Analytics 先进的人工智能分析引擎集成, 自动检测电气设备隐藏的或故障前的运行状况。

人工智能引擎与 ABB Ability™ 资产管理器协同运行, 增加了高级分析功能, 让企业能预测和预防电气设备故障, 且能力精细程度远超以往。如此一来, 他们能够更轻松地防止代价高昂的故障、有效地计划维护周期并最大限度地延长正常运行时间。

在 ABB Ability™ 能源管理器端, 其与 Tallarna → 03 的整合是 ABB 迄今为止最成功的整合案例之一。Tallarna 是一家气候技术初创公司, 总部位于英国, 为大型房地产投资组合和能源基础设施开创了一种创新

参考文献

[3] ABB. Data center case study. 来源: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A1983&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> [访问日期: 2024 年 6 月 10 日].

[4] ABB. ABB invests in artificial intelligence startup Viking Analytics. <https://new.abb.com/news/detail/99193/abb-invests-in-artificial-intelligence-start-up-viking-analytics> [访问日期: 2024 年 6 月 10 日].

[5] ABB. ABB invests in climate tech startup Tallarna. 来源: <https://new.abb.com/news/detail/97259/abb-invests-in-climate-tech-start-up-tallarna> [访问日期: 2024 年 6 月 10 日].

[6] ABB. ABB invests in OKTO GRID. 来源: <https://new.abb.com/news/detail/98887/abb-invests-in-okto-grid-to-digitalize-the-energy-grid-and-extend-life-of-key-components> [访问日期: 2024 年 6 月 10 日].

ABB 致力于与多家初创公司携手, 使客户能够自行进行审计。

方法来实施脱碳项目。客户使用人工智能驱动的数据分析功能, 在单一平台上即可查看能源优化解决方案的可行性, 以及性能保障和第三方融资的可用性。

上述示例表明, ABB 对客户价值的追求不仅限于内部开发能力精益求精, 而且同时致力于与初创公司开展合作。后者可在 ABB Ability™ 产品市场上将其创新商业化, 丰富 ABB 的产品组合。

持续演变

能源格局不断演变, ABB Ability™ 能源和资产管理器提供的解决方案也在相应不断完善, 不仅源于集成新应用程序, 也来自 ABB 在增强后端基础设施方面的努力。

在应用程序开发方面, ABB 计划推出其他功能, 特别是资产管理功能, 例如涵盖中压、低压和变压器的完整变电站的端到端

OKTO GRID

OKTO GRID[6] 的使命是实现变压器数字化, 以应对新能源需求和不断增长的能耗。该初创公司采用非侵入式传感技术, 让电力供应商能在十分钟内为任何变压器添加数字接口, 而无需使用任何工具。电网专业人员可访问变压器性能数据, 监控、预测拥堵并采取应对措施, 降低资产管理成本。



04

资产管理解决方案, 这是客户经常提出的请求。为了满足该领域不断增长的需求, ABB 与专门研究变压器监控解决方案的公司 OKTO GRID → 04 合作。OKTO GRID 独特的传感器技术采用非侵入式方式, 监控设备只需磁性附着在变压器表面即可。数据几乎瞬间即可传输到云端。通过此次合作, ABB 最终成功向市场提供了全面的变压器监控解决方案。

在能源管理领域, ABB 致力于与多家初创公司合作, 丰富其能源分析和优化功能, 从而帮助客户根据预定义标准进行审计。

资产和能源管理领域发展迅猛, 未来几年内暂不打算对其物理基础设施进行数字化处理的企业将发现, 要跟上已采取数字化措施的竞争对手将变得越来越具有挑战性。ABB 客户绝不会面临这样的困境。ABB 不仅持续开发数字解决方案, 而且将与创新型初创公司的合作作为战略重点, 如此一来, 将可确保 ABB 及其客户始终能够享用运营和能源效率更上一层楼的尖端解决方案。



空化

本期《ABB 评论》中与 ABB Dynafin™ 相关的几篇文章提到了空化现象，并强调了其在船舶设计中的重要性。但究竟什么是空化？为何其对海洋系统有害无利？



Anthony Byatt
外部贡献者

在流体动力学领域，空化是一种现象，特征在于当局部压力低于蒸气压时，液体中会形成蒸汽泡并爆裂。当液体（例如水）经历压力快速变化时（通常是在高速或低压梯度区域），就会出现空化过程。气泡的形成和破裂会产生强烈的冲击波，对船舶产生严重的有害影响，其中对螺旋桨的影响尤其明显。

在船用螺旋桨中，叶片在水中高速移动时，会在叶片后部产生低压区域，从而形成气泡。

破裂和振动

实际上，大多数船用螺旋桨的设计允许空化，因为这样方可实现更高的效率。在这种情况下，空化必须表现得像一个稳定的薄

片，在叶片尖端平滑地滚动。空化一旦出现不稳定，就可能发生侵蚀现象：当蒸汽泡在螺旋桨叶片表面附近破裂时，会以小型高速射流的形式释放能量。这些射流会以极大力道撞击材料表面，导致出现点蚀和腐蚀现象。随着时间的推移，这会降低螺旋桨叶片的完整性，导致性能下降，并增加船舶运营商的维护成本。

此外，空化引起的振动还会降低螺旋桨和推进系统其余部分的结构完整性。破裂的汽泡所产生的压力脉冲通过周围的流体传播，引发螺旋桨叶片和推进系统其他部件振动，随时间推移会导致出现疲劳和潜在故障。空化产生的噪音除了会产生压力脉冲外，也可能对敏感区域的海洋生物以及船员和乘客的舒适与安全产生影响。

缓解空化现象

工程师采用了各种材料和设计技术，以期减轻空化对螺旋桨的不利影响。螺旋桨设计

空化引起的振动会降低螺旋桨和推进系统其余部分的结构完整性。

可能采用经过改进的叶片轮廓或抗空化材料，减少出现空化的可能性，并最大限度降低出现空化时的影响。本期《ABB 评论》中



其他地方描述的计算流体动力学 (CFD) 仿真即是一个绝佳示例, 体现了工程师如何分析和优化螺旋桨设计, 以最大限度地减少空化引起的性能损失。

空化是一种复杂的流体动力学效应, 会对船舶推进系统产生重大影响。虽然空化在某些条件下有助于提高推进效率, 但其影响大多不利, 表现为侵蚀、振动和噪音, 会导致

ABB 利用先进的设计技术来减轻空化现象并优化 Dynafin 的性能和寿命。

性能和完整性随时间的推移而下降。ABB Dynafin 团队投入了大量时间和精力, 旨在充分了解空化机制及其影响。所获得的知识为其使用先进的设计工艺和技术保驾护航, 可确保 ABB Dynafin 推进器实现最佳性能和使用寿命。

《ABB 评论》简介

出版

《ABB 评论》自 1914 年以来连续出版, 每年出版四次, 包括英文、德文和中文版本。《ABB 评论》免费提供给对 ABB 技术及其目标感兴趣的人士。

《ABB 评论》章程 《ABB 评论》旨在以客观、长久、可靠且精准的方式向 ABB 客户展示 ABB 每年逾 10 亿美元的研发投资所带来的最新研究成果、创新解决方案与成就。

订阅

订阅方法

订阅分印刷版和数字版两种形式。如需订阅, 请联系离您最近的 ABB 代表或通过 abb.com/abbrev 在线订阅, 或亦可扫描右侧二维码。在表格中, 您可告诉订阅印刷版还是数字版。订阅数字版意味着我们将向您发送电子邮件通知, 为您呈现新版本期刊和更新内容。

请注意, 如果您是在 2024 年 8 月 1 日之前订阅印刷出版物或电子邮件通知, 且希望继续接收《ABB 评论》, 则需要重新订阅。



出版信息

编委会

Bernhard Eschermann
ABB 过程自动化事业部
首席技术官

Paul Singer
ABB 电气化事业部
首席技术官

Niclas Sjostrand
ABB 机器人事业部
首席技术官

Panu Virolainen
ABB 运动控制事业部
首席技术官

Margarita Sjurson
ABB 过程自动化事业部
对外联络负责人

Mark Curtis
ABB 电气化事业部
全球内部内容和领导沟通经理

Yasmine Voegele
机器人与离散自动化事业部
产品传播负责人

Eric Prud'Homme
ABB 运动控制事业部
对外联络负责人

Amina Hamidi
ABB 过程自动化测量与分析产品部
全球产品组经理

Laura Villaescusa
内容和数字化通信负责人

James Macaulay
传播和思想领导力高级总监

Andreas Moglestue
《ABB 评论》主编
andreas.moglestue@ch.abb.com

Michelle Kiener
《ABB 评论》执行主编

出版人及版权
© 2024
《ABB 评论》由 ABB Switzerland Ltd Group Technology Management 出版
Bruggerstrasse 66 5400 Baden Switzerland
abb.review@ch.abb.com

部分印刷或复印需经认可。再版需经出版人书面同意。

排版

Publik.Agentur für Kommunikation GmbH 德国曼海姆

免责声明

所载资料只反映了作者的看法, 仅供参考。读者不应该在未征得专业意见的前提下照搬行事。提供出版物的前提是, 作者不提供任何技术方面的咨询和建议, 也不就具体的事实或问题承担任何责任。

对文中有关内容的准确性以及所表达的观点, ABB 不做任何担保、保证以及承诺。

03/2024 是《ABB 评论》的第 906 期。

ISSN: 1013-3119

abb.com/abbrev

下一期
04/2024
机器人 50 年
发展史

—

您已阅读完本期期刊。

请勿让其成为您订阅的最后一期。



[如何重新订阅
《ABB 评论》?]

《ABB 评论》正推出新的发行列表。当前发行列表（印刷版和电子邮件通知）均将停用。如果您不即刻行动，您将无法收到第 01/2025 期以后的期刊。请点击左侧按钮，或访问 abb.com/abbrev，订阅或重新订阅。

ABB