

# ABB评论

创新

01|2017 中文版



- 
- 06-15 创新亮点
  - 16-33 保护和安安全
  - 34-47 测量
  - 48-64 服务和可靠性



09

LLT100非接触式激光物位变送器



42

板形控制系统迎来50周年



56

可靠发电机的设计



30

干式绝缘技术在电容式套管的应用



50

改造释放潜能

REACT: 晴天储能, 雨天使用



12

05 编者按

创新亮点

08 创新故事

14 专访: 数字化革命

保护和 安全

18 Emax 2和弧光监测系统TVOC-2

23 IEC 61850集成保护系统

30 干式绝缘技术在电容式套管的应用

测量

36 有色金属测厚仪

42 板形控制系统迎来50周年

服务和可靠性

50 改造释放潜能

56 波动发电时代的发电机

61 用于Re460机车的新一代变流器

65 出版信息

与往年一样，2017年的开局对于企业、政府和公众而言均意味着挑战，面对世界最紧迫的问题，需要提出创新解决方案，因此本年度的首期《ABB评论》相应地将创新定为主题。本刊经全新改版后，版面设计更符合阅读习惯，采用的图片更具吸引力，编者按亦更加言简意赅。

欢迎提出宝贵意见。  
[abb.com/abbrevreview](http://abb.com/abbrevreview)

编者按

## 创新



亲爱的读者：

欢迎阅读改版后的首期《ABB评论》。除视觉效果焕然一新外，我们希望您还能注意到本刊版式上的变化——这使其更易访问和阅读。

《ABB评论》的改版是在公司广泛而深远的变革背景下进行的。ABB致力于帮助客户提升三个重要指标：正常运行时间、速度和产量。实现这一目标最重要的工具之一是数字化。过去在生产率上的突破通常是基于设备和个人技术水平实现的，而新的变革则将围绕设备和系统之间以及价值链之间的协作进行。实时信息以数字方式共享和处理。

本期及以后各期《ABB评论》将向您展示数字化未来如何成为现实。祝您开卷有益！

胡博明

ABB集团首席技术官

# 2017年度 创新亮点



10



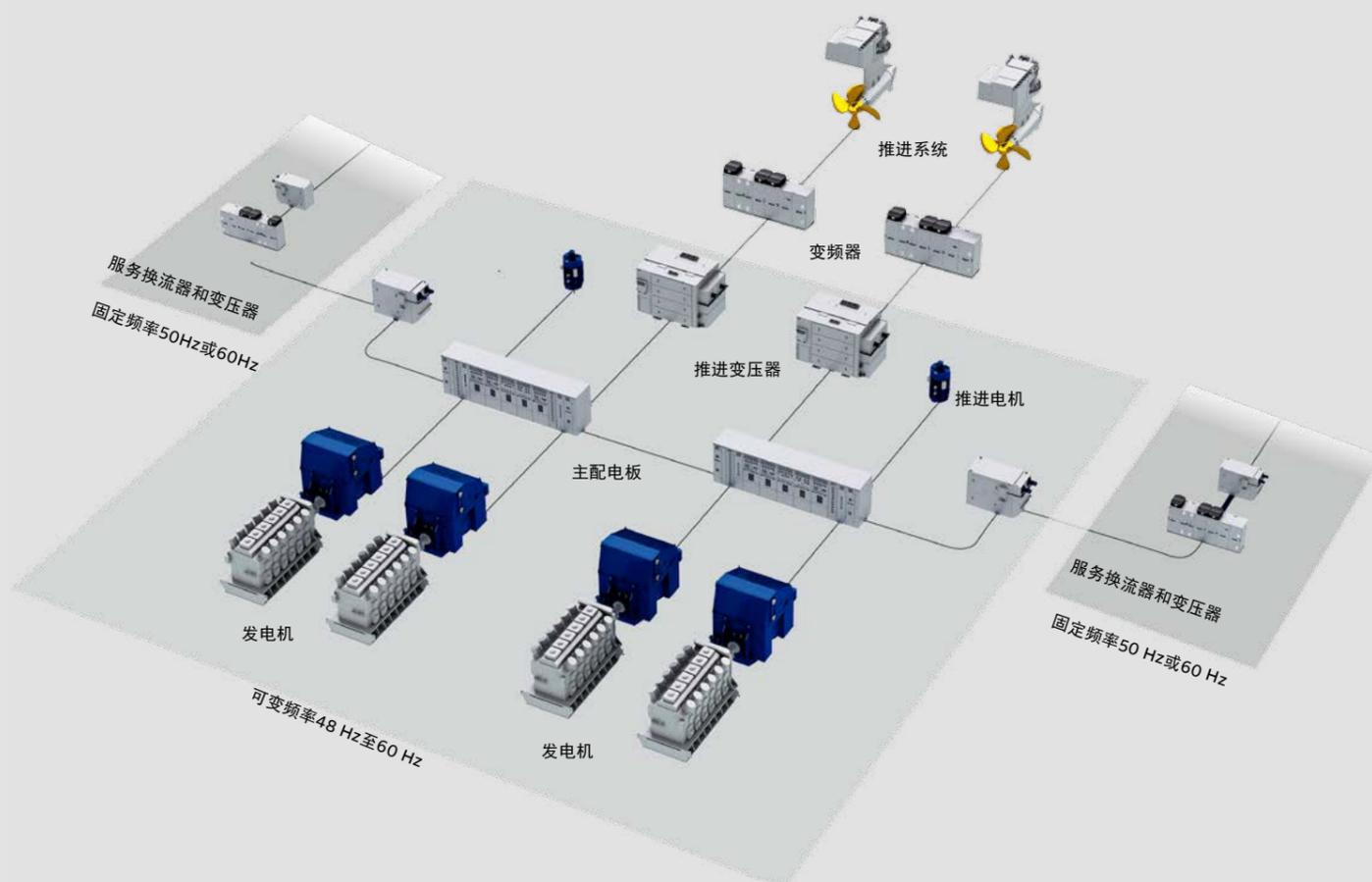
11

“创新 (Innovation)” 是当下的热门词汇，对于很多人而言，与英文“新 (new)” 的含义相同。在 ABB，创新意味着：采用涉及先进专利工具和数学模型的复杂方法，定位配气泄露；借助能够几乎“识破”任何状况的物位变送器，或使能源存储更容易和更安全，满足客户更高的期望；为电气传输设立新的性能基准；或打造创纪录的变压器。在 ABB，创新意味着技术领先、适应市场和客户成功。



12

## 动态交流电实现额定功率 超过20 MW时的高性能表现



动态交流电 (Dynamic AC, 缩写为 DAC) 是适用于大型电力推进船只的船舶电站解决方案。DAC 允许主机运行速度随负载变化而变化, 且不会影响性能。通过这种方式以优化燃料消耗, 从而节省 4% 至 6% 的燃料。DAC 对于在年内或整个生命周期内行驶距离不同、行驶速度不同的船舶尤为有效。ABB 的 DAC 为船舶设计者和建造者提供更大的灵活性, 以适应不断变化的全球市场。

传统的柴油电力推进系统将电力生产与推进分离, 并依靠发电机组来平衡电力生产和燃料消耗。DAC 更进一步, 实现了对发电机组转速的控制。该电气系统设计可支持在变频状态下运行 (通常在 48 Hz

至 60 Hz 之间)。通过发动机转速的调整, 在每种工况下都能获得最佳的燃油消耗。

对于需要恒频工作的船舶辅助用电和船上酒店用电负载, 可由恒频运行的变频器提供, 可直接由变频系统提供的特定负载除外。所有 DAC 组件均可完全集成于 ABB 的智能自动化和咨询系统。

DAC 是一种新概念, 与可实现节能发电的 ABB 船载直流电网解决方案形成互补, 能够为基于高压电力系统以及额定功率在 20 MW 或以上的大型船舶带来卓越性能。这与 ABB 针对小型船舶设计的船载直流电网系统方案在实现方式上有所不同。

## LLT100 非接触式激光物位变送器



ABB 成功推出 LLT100 高性能激光物位变送器。LLT100 能够精确地测量物位和距离, 以及长短距离的定位测量, 适用于所有工业应用和严苛环境, 并可取代射空雷达和其他物位变送器。

LLT100 能够测量任何固体或液体介质, 包括透明液体, 测量不受材料性质或状态的影响。借助于较窄的激光束, LLT100 可避开障碍物、甚至可以紧贴着容器壁安装, 也可以安装于带有搅拌叶片、格栅或钢架结构的储罐中。LLT100 支持连续测量, 并

提供快速的表面变化跟踪。此外, 先进的信号处理能够在混合搅拌、粉尘、雾气、狭窄空间环境下实现可靠的测量。LLT100 易于配置、安装快捷、回路供电, 使其使用起来十分便捷。它拥有坚固的 IP67/NEMA4X 外壳, 经批准可用于危险区域: 防爆 1 区。LLT100 适用于采矿、聚合、油气、化工、食品饮料、电力、纸浆、造纸、制药、水和废水等极具挑战性的工业环境。

LLT100 体现了 ABB 的“测量, 化繁为简”这一设计理念: 快速启动、灵活安装、无需随时间或环境的变化重新校准。

## 借助 MobileGuard™ 快速完成气体管线泄漏检测

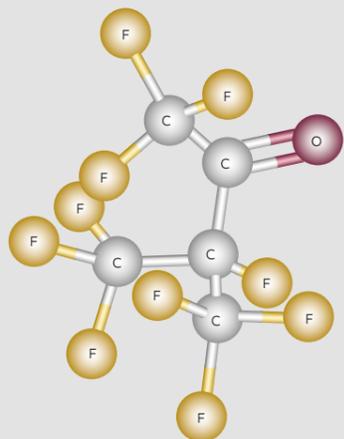


高轴 ICOS 分析仪 (甲烷/乙烷)    GPS (位置)    声学风速表 (风速和方向)    计算 (HMI/泄漏检测软件)

泄漏 (传统检测设备仅能达到几英尺外的检测)。借助集成到载体中的分析仪, 用户可快速检查管道网络。分析仪支持高达 5 Hz 的测量, 允许用户以最快 88 kph (55 mph) 的速率进行检查。此外, 得益于乙烷测量功能, 系统能够区分管道气体和其他甲烷源, 如垃圾填埋场、沼泽和牲畜等, 从而降低误报的发生率。

ABB 开发出 MobileGuard 系统, 用于快速、经济地检测天然气管道配气网络中危险且对环境有害的泄露。该系统的核心是可同时测量甲烷和乙烷的分析仪, 该分析仪使用了 ABB 获得专利的基于激光的 OA-ICOS™ 技术。分析仪能够检出十亿分之一的甲烷含量, 从而使系统在数百英尺外就能感测到甲烷

复杂的专有分析算法将测得的气体浓度、当地风力和 GPS 数据, 转化为配气管网泄露的精确估计。客户通过云共享实时获取分析报告, 可在 GIS 系统中查看。新的 MobileGuard 系统为天然气公司提供重要的新功能, 以确保公共安全、气味调查和快速灾后支持, 同时减少不必要的温室气体排放并节省资金。



## 针对中压应用的非SF<sub>6</sub>气体绝缘开关柜

数十年来，对于寻求小尺寸、高稳定性和安全性的用户而言，采用六氟化硫（SF<sub>6</sub>）气体的气体绝缘开关柜（GIS）技术一直是他们的理想选择。尽管SF<sub>6</sub>性能卓越，但始终是一种破坏性极强的温室气体。ABB是首家推出基于新分子的环保型绝缘气体中压开关柜的公司。

与合作伙伴3M一起，ABB开发出一种很有前景的SF<sub>6</sub>替代物，即ABB的AirPlus™绝缘气体。这种新气体不仅在技术性能上接近SF<sub>6</sub>，而且几乎不会产生温室效应：在暴露大气中辐射平均16天（相对于SF<sub>6</sub>的超过3000年）后，AirPlus的新分子完成分解。

AirPlus是一种气体混合物：对于中压应用，其体积超过80%是干燥空气，其余是NOVEC5110介电液体——由3M提供的一种C5氟酮分子。

与SF<sub>6</sub>不同，AirPlus不受规范的约束，因而处理起来更简单，也减少了相关的管理工作。

目前，ABB已推出两款中压AirPlus开关柜产品：ZX2 AirPlus和SafeRing AirPlus，分别用于一次和二次配电。作为ABB AirPlus产品组合的首批产品，它们开创了中压气体绝缘开关柜技术的新纪元。

## Emax 2实现数字化

2013年，ABB推出具备集成能源管理功能的一流低压断路器Emax 2。作为一项真正的突破性创新，它将断路器产品概念从单纯的电流断路器上升为综合电源管理器。由于配电领域变化迅速，可再生能源、储能和微网等主流新技术也正竞相登上舞台，从而催生出新的客户和应用需求。为满足这些需求，ABB发布了创新的Emax 2一体化断路器，将Emax 2进一步优化成为能够管理下一代电气装置微网的多功能平台。

Emax 2一体化断路器的核心在于下述独特的数字化功能：

- 控制：微网电力资源的优化管理
- 连接：全面融入数字化时代
- 易用：化繁为简

作为首款符合新电网要求的断路器，Emax 2一体化断路器有别于同类产品的是，它能够利用数据的力量，实现与能源管理云计算平台——ABB Ability™配电控制系统——芯Vision的直接通信。智能和“即插即用”架构使得Emax 2一体化断路器易于使用。Emax 2又一次为现在和日后的需求设立了新的断路器基准。



## 增强型GCB让电厂保护变得更简单

自20世纪50年代以来，ABB的发电机出口断路器（GCB）一直用于保护电厂并简化运行。在不断努力提高性能的基础上，ABB开发出适用于1600 MW电厂的HEC 10-170 GCB。



HEC 10-170是继HEC7/8A系列（目前已在全球数百个电厂投入运行）的新一代产品，额定功率为170 kA/31.5 kV，拥有紧凑而灵活的设计。

以简化为主要设计理念，ABB与供应商合作开发出这款精简型GCB。HEC10-170拥有新型短行程隔离开关、极为简化的联动装置，以及基于热管的混合冷却系统等一系列创新解决方案，并且大大简化了工厂装配。

这款具有强大功能的GCB将于2017年第一季度上市。



## 适用于中等功率的新型SVC Light

作为静态无功补偿（SVC）Light产品组合的一部分，ABB针对静态补偿器（STATCOM）应用，开发出一款采用链式拓扑的新型模块化多电平换流器（MMC）。

这款新的换流器适用于高达约100 MVA的中等功率，采用反向导通集成门极换向晶闸管（RC-IGCT）半导体新型技术平台，额定功率为4.5 kV/3 kA和6.5 kV/2.15 kA。通过针对低频应用（如并网MMC换流器）优化IGCT器件，其损耗达业界最低。与采用焊接绑定线工艺的工业模块相比，IGCT压接式器件的其他优势包括：卓越的负载循环性能以及固有的稳定的短路失效模式。这些优势赋予了单元设计固有的鲁

棒性，因而压接式器件出现故障不会导致爆炸或开裂。单个晶闸管开关保护可保护功率单元在所有相关故障模式下免受灾难性损坏，并允许链式换流器在单个单元故障后继续运行。此外，换流器的设计还便于现场组件的维护和更换。

在用于中等功率的新型SVC Light中，这种坚固耐用的换流器单元设计与ABB历经验证的控制算法相结合，可用于电弧炉中的闪变补偿、可再生能源发电中的电压支持，以及公用事业和轨道补偿等。为最大限度优化性能，SVC Light的应用控制软件在新的模块化高级控制系统平台MACH™3上实现，亦可用于高压直流应用。

## SCARA: 选择最适当的手臂作业



ABB推出首个选择顺应性关节型机器人（SCARA）产品系列——IRB 910SC，进一步丰富其工业机器人产品组合。新系列提升了小型机器人的速度、精确性和成本效益。

SCARA是指一类具有四个移动轴的机器人：前两个轴用于水平定位，第三个用于垂直运动，第四个用于围绕垂直轴的旋转。这类机器人通常用于仅限于在水平表面操作的机器人任务，尤其适合要求加快周期、高精度和高可靠性的客户，并适用于电子装配、检测、包装、药品测试或上下料等一系列应用。

ABB全新SCARA系列机器人的标称有效载荷为

3 kg，最大载荷为6 kg，三种工作范围选项分别为450 mm、550 mm和650 mm，使客户能够根据作业情况选择最合适的手臂。SCARA机器人的速度更快，并且由于轴数较少，在市场上通常比六轴机器人更具成本效益。

根据ABB的战略，SCARA和其所有其他机器人使用相同的控制器。具备相同的基础硬件和软件架构，意味着合作伙伴和客户能够受益于同质机器人自动化系统（即对所有类型和尺寸的机器人采用相同的方式进行编程、使用和维护），避免不必要的拥有成本。可与SCARA机器人配套使用的产品包括RobotStudio，集成视觉(Integrated Vision)和PickMaster等。

## REACT: 晴天储能，雨天使用

ABB今年推出了一款改变太阳能和住宅储能领域游戏规则的产品，称作REACT。业主和房东现在可以将其太阳能装置生产的多余电能储存起来，以供日后使用。

ABB推出的整套系统方案集合光伏逆变器和储能技术，满足客户一站式服务需求。REACT产品有两个功率型号可选：单相3.6 kW和4.6 kW。容量为2 kWh的锂离子电池在日常充电/放电循环累积输送9 MWh电能后，其容量仍有60%以上，相当于至少十年的电池寿命。

相较于竞品，该款产品的另一独特优势在于，它通过新增两个电池仓，能够将电池容量从基础的2 kWh配置升级至6 kWh。能源消耗的优化由机载随带的电源管理软件执行，该软件在与电网连接处也与功率表（作为REACT的一部分）相连接。REACT具有嵌入式通信功能（以太网、wifi等），允许通过云进行本地或远程数据监控，而无需额外接口。此外，该套系统还包括负责产品监控的移动应用MyREACT。

## 换流变压器直流电压开创新记录

当ABB技术推动的向家坝-上海特高压直流输电线路于2010年投入商业运行时，其800 kV电压等级和6400 MW输送容量在高压直流行业是史无前例的。现

在，ABB正在打破自己的记录。ABB已签署合同，将为昌吉-古泉（中国）1100 kV、12000 MW输电工程提供换流变压器。

提高电压等级对于换流变压器的绝缘设计意味着巨大挑战。实现更高的电压不是从先前的电压等级按比例外推那么简单，事实上，控制绝缘性能的电场强度本身是非线性的。与变压器阀侧相关的绝缘（包括套管）需要全新的设计。

非常高的电压和容量使得该变压器成为世界上体积最庞大的变压器。这也影响了套管的设计——必须承受极高的电压和电流。

ABB已于2012年通过雄心勃勃的研发项目验证了1100 kV换流变技术，该技术将应用于第一个1100 kV换流变项目。因此，目前正在进行的商业项目中所采用的解决方案已得到验证。

## 借助光学表面形貌分析以更快速、更准确地评估印刷适性

通过分析纸张表面形貌快速、准确评估纸张和纸板印刷适性的新仪器，可帮助纸张制造商生产出满足客户高品质印刷需求的纸张。根据制浆造纸研究领域全球领先者Innventia（一家瑞典研究所）的多年研究，光学表面形貌分析——即测量纸张表面的微小变化和凹坑——比传统测量方式能更好地预测在柔版印刷、凹版印刷，胶印或混合印刷中油墨覆盖纸张或纸板表面的质量。

光学表面形貌是一种测量技术，其中光从两个相反的方向以锐角投射到样本上，产生立体图像。该项技术通过创建阴影揭示纸张表面的变化，然后这些变化可用作纸张表面形貌数学描述的基础。该测量原理是L&W OptiTopo的基础。ABB基于Innventia的发明开发出L&W OptiTopo。L&W OptiTopo能够高精度地测量表面变化和凹坑指标，从而准确地预测印刷适性——例如，印刷中产生漏印漏涂的风险。

## 系统800xA的Select I/O从根本上改变自动化项目执行

数十年来，自动化项目一直采用以控制器为中心的分布式控制系统（DCS）架构。这样的架构在项目任务之间创建了大量的相互依赖关系，如果执行任何变更单，很容易导致相当大的成本超支和项目延误。ABB开发出新的I/O系列——包括工程工具和方法，消除了这一现象，可以将项目效率提升至新的水平，使超预算或自动化项目延误成为历史。

I/O网络与系统通信。

Select I/O底座可在项目实施的早期阶段进行现场安装和接线，从而无需占用空间的中继柜。信号类型可通过添加单独的信号调节模块进行后期定义，从而减少任何后期变更的财务影响。

项目相互依赖关系的一个示例是：在硬件采购前宣布“设计冻结”，而这反过来又必须先于应用工程等等。对设计的任何更改，如更改I/O类型、添加I/O模块、将I/O模块移至不同的控制器等，鉴于在设计冻结后进行更改所需的工作量，可能需要昂贵的成本。

通过在冗余以太网络上通信的多个Select I/O从站，可在ABB项目工厂开展应用工程的同时，并行执行I/O的现场自动扫描、配置和检查。这种并行工作方式称为“xStream”工程，包括在最终调试前自动汇集两个工作流交付项目——即应用工程项目和现场I/O配置——的软信号接线功能。

为此，ABB开发出了系统800xA的全新I/O解决方案，称为Select I/O。Select I/O是针对过程和安全应用的单通道I/O解决方案，可通过冗余工业以太网

其结果是，自动化从整个项目关键路径中移除，实现更少的突发事件、更少的变更单、更早的项目调试，使业主运营商更满意。

专访

# 把握数字化革命的脉搏



乔瑞

ABB首席数字官乔瑞在接受《ABB评论》的专访时，探讨了数字化未来，并解释了数字化革命将如何改变ABB及其客户的业务。

**ABB评论** 我们所提到的数字化革命到底是指什么？难道数字化不是很早就已经出现了吗？

**乔瑞** 举例来说，尽管与工厂中的一台传感器进行远程通信并非什么真正意义上的创新，但得益于移动通信等领域的发展，连接该设备的成本—包括该设备本身的连接组件以及网络、服务器、软件等，已大幅降低至企业能够承受的水平。数字化设备在工厂已得以广泛应用，它们各自产生数据，但大部分数据是孤立的。如果能够对这些数据进行收集、存储和分析，工厂就能够优化操作。ABB也可以借此来提供服务，提升设备的可靠性和操作性。相对于在本地服务器上存储和分析，在云端运行更具优势。

**ABB评论** 将数据上传至云端是否意味着客户将对其失去控制吗？

**乔瑞** 在线存储不可能绝对安全，但云上的数据通常比专用服务器上的数据更安全。提供云服务的公司都明白，如果任何客户数据遭到破坏，那他们自身的声誉也将岌岌可危。其实，大多数公司已经在其他领域接受了云存储。例如，他们可能正在使用微软的云计算产品Office365。如果敏感的商业文件可以委托给云，为什么数据不能呢？

**ABB评论** 我们所讨论的数据分析是指什么？

**乔瑞** 举例说明，我们可以将微软和谷歌等公司提供的程序库与ABB以往经验相结合，实现图像识别或数据流分析。

**ABB评论** 依赖外部供应商的算法难道不会威胁ABB的领先优势？毕竟，竞争对手也可能使用相同的程序库。

**乔瑞** 事实上，的确如此。但换个角度看，微软和英特尔等公司向我们提供的操作系统和处理器，我们不会考虑自己去开发它们。机器学习和云存储一样，都是工具而已。我们的竞争优势在于如何利用它们。从长远来看，使用孤立的定制化解决方案来封闭自身并非明智之举。市场的发展方向是更多的选择。IEC 61850等变电站自动化标准意味着，客户可自由地将来自不同供应商的设备进行组合和搭配。提供更多选择对客户和ABB都有利。相对于增加我们的市场份额，我们更看重的是做大市场这块蛋糕。

**ABB评论** 设备本身的数字化又如何呢？

**乔瑞** 设备正日益数字化，例如，在特斯拉汽车的驾驶舱中，仅有紧急警告灯和手套箱两个按钮不

是由软件控制。即使在产品交付后，制造商也可以通过安装新软件来添加功能或提升性能。再以特斯拉为例，近期一辆汽车在自动驾驶时发生事故，于是特斯拉对算法进行了修改以防止相同事故的再次发生，同时，通过远程方式为所有特斯拉汽车安装了新软件。这样一来，所有客户都从中受益。这与我们目前普遍的状况——产品在其生命周期中保持不变——是截然不同的。

**ABB评论** 您能否与我们分享一些关于技术如何创造新机遇的思考？

**乔瑞** 以催生比特币的区块链技术为例。本质上讲，区块链是指在公共领域就历史交易创建分布式记录。区块链可添加，但不易移除。透明度和合规性对于开展业务至关重要。如果报价或货物已交付，那么很重要的一点是要对其确认，从而为双方提供保障。自动化和数字化正在沿着价值链上移。举例来说，电网在运行层级已实现数字化：开启断路器属于数字化动作，但在更高层级，调度则可能仍然需要有人拿起电话。数字化革命将推动整个行业迈入数字化世界。

**ABB评论** 感谢您接受专访！



# 保护和安全



23

对于家庭、工业和交通运输，以及维持其运行和为其处理日益增长的重要数据交换的基础设施而言，电力是首选能源。在未来十年里，全球电力需求将大幅增加，这将要求升级现有电力系统的容量，同时安装以前没有的新设备。但更广泛的使用意味着更高的风险，因此无论在发电、输电、电气服务还是用电方面，安全和保护始终是**ABB**保持创新领导地位的核心所在。



30



18

- 18 Emax 2和弧光监测系统TVOC-2减轻电弧事故风险
- 23 IEC 61850结合中低压应用
- 30 干式绝缘技术在电容式套管的应用

保护和安

# Emax 2和弧光监测系统 TVOC-2可减轻电弧事故风险

在电气设备中，电弧是非常危险且令人不快的。ABB弧光监测系统TVOC-2与ABB Emax 2断路器的配套解决方案，可为电气装置提供非常有效的保护，降低电弧事故风险。



**Marco Carminati**  
ABB电气产品事业部保护和连接产品业务单元

意大利贝加莫  
marco.carminati@it.abb.com



**Andreas von-Lako**  
ABB电气产品事业部保护和连接产品业务单元

瑞典韦斯特罗斯  
andreas.von-lako@se.abb.com

在温度高达2万摄氏度且存在剧烈过压波的环境下，电气设备中产生电弧是非常危险和令人不快的。电弧通常由人为错误、连接不良或未能采取措施阻止小动物进入电气设备导致。长期以来，人们开展了大量的工作，来减轻电弧影响。ABB早在数十年前就已在市场上推出了有效的防范产品。弧光监测系统TVOC-2是ABB推出的最新一代同类产品。通过结合TVOC-2与ABB的Emax 2断路器，电气设计师可创建一个大幅减轻电弧闪光影响的系统。TVOC-2/Emax 2组合可以不同方式部署，不仅能够遏制电弧事故，而且可最大限度缩短设备停机时间。

电气设备中的大多数电弧事故由人为错误（65%归因于设备操作员）、连接故障或动物侵入引发。电弧事故大多发生在操作人员维修或安装开关柜且柜门打开的情况下。柜门打开时，有防弧开关设计的开关柜坚固的柜门这一前线防御即失效。

## 电弧事故大多发生在操作人员维修或安装开关柜且柜门打开的情况下。

幸运的是，事故的发生率相对较低，但一旦发生，可能引起严重甚至致命的伤害，并造成设备严重损坏。更换和维修设备可能导致长时间的停机，因此电弧事故的代价昂贵且惨重。

为此，必须不惜任何代价杜绝电弧。如果不能杜绝，也必须最大限度控制其影响。因此，弧光监测系统是现代开关设备设计的必要组成部分。ABB弧光监测系统在过去35年里始终保护人员和电气设备免于电弧危害，TVOC2是基于成熟弧光监测系统基础上推出的新版本，使用光传感器检测电弧。TVOC-2与ABB的Emax 2断路器完美结合，提供快速响应的主动保护系统，限制内部电弧的影响。



01

01 ABB的弧光监测系统TVOC-2与ABB的Emax 2断路器搭配使用（如图所示），可为电气装置提供非常有效的保护，降低电弧故障造成的危害。

02 水平和垂直母线系统以及断路器柜中探测器的定位示例。

### 电弧现象

电弧是由于放电而发生的现象。当两点之间的电压超过介质气体的绝缘强度时，发生放电。气体在正常条件下是良好的绝缘体，但随着其化学物理性质的变化，可能成为导体。能携带电流的等离子体可在适当的情况下产生，直到打开供电侧上的保护装置。

除热电离之外，由于热离子效应，电弧阴极也会有电子发射：在气体中由高温引起的碰撞所形成的离子在电场作用下加速。它们撞击阴极并释放能量，从而使局部发热，引起电子发射。

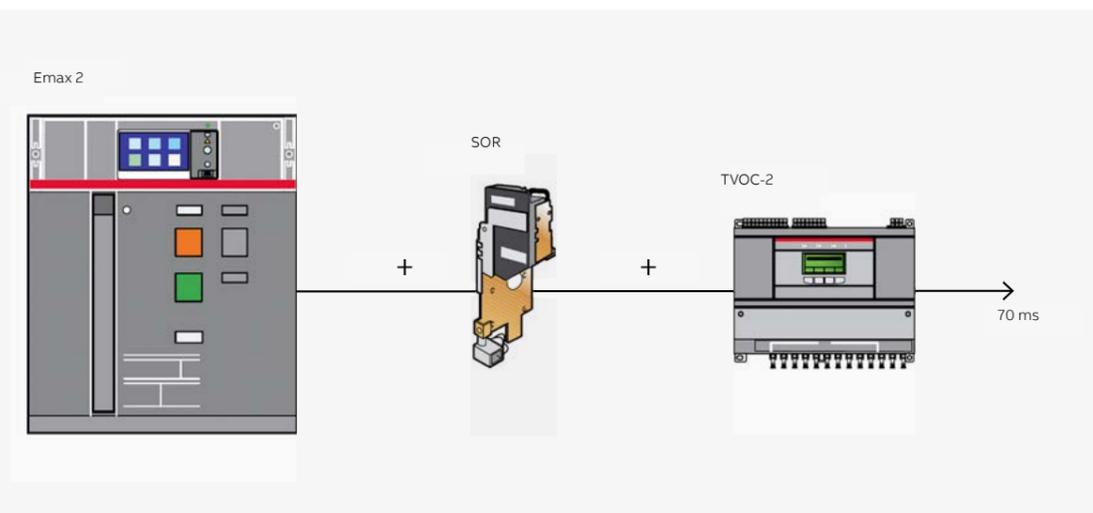
电弧可轻易达到7 000°C至8 000°C，某些情况下甚至可达到20 000 °C。

在电弧发生过程中产生的高故障电流，会导致电缆或电路母线过热直至其熔点。一旦一个导体熔化，就会出现类似于电路开路时存在的情况：电弧形成并且延续直至保护装置介入，或直到使其稳定所需条件消失。电弧导致周围气体发生强烈电离、阳极和阴极电压下降，并造成弧柱中间非常高的电流密度（约100 A/cm<sup>2</sup>）。在弧柱的中间温度也非常高（可达数千摄氏度），并且横穿几微米到几厘米（在低压情况下）。



02 a 水平和垂直母线系统

b 断路器柜



03

## TVOC-2与ABB的Emax 2断路器完美结合，提供快速响应的主动保护系统，可限制内部电弧的影响。

### 电气组件中电弧的影响

机柜内电弧形成的第一瞬间可分为四个阶段：

- 压缩阶段：在这一阶段，鉴于电源持续供应能量，电弧所在处的空气会过热。由于对流和辐射，柜内剩余的空气升温。最初，温度和压力是非均匀的。
- 膨胀阶段：从内部压力增加的一瞬间起，外壳上极有可能形成一个孔，过热的空气开始由此流出。在这个阶段，压力达到其最大值，然后随着热空气排出柜外开始降低。
- 排放阶段：在这个阶段，由于电弧不断产生能量，几乎所有的空气被迫从外壳排出。
- 热阶段：空气排出后，开关柜内的温度几乎达到电弧的温度。在这一最后阶段（直至电弧熄灭），与电弧接触的材料受到侵蚀，同时伴随气体、烟雾和熔融物质颗粒的产生。

如果电弧在开放配置中发生，其中一些阶段将不会出现或者效果变弱，但在电弧区仍会出现压力波和温度上升。

### 电弧对人体的影响

置身电弧附近是十分危险的事情：

- 压力：据估计，在距离电弧（20 kA 电弧故障）60 厘米处，一个人在其身体区域将面临225 kg 的受力。压力波可能对耳膜造成永久性损伤。
- 温度：电弧可轻易达到7千摄氏度至8千摄氏度，某些情况下甚至可达到2万摄氏度。
- 声音：声级可达到160 dB（霰弹枪只有130 dB），可能损害听觉。
- 喷出物：高速弹片构成明显威胁，尤其是对眼睛。
- 辐射：紫外线和红外线辐射可能会损伤角膜和视网膜。
- 有毒气体：由燃烧的绝缘材料和熔融或汽化的金属产生的烟雾可能有毒。

换言之，电弧爆炸的效果与爆炸相似。

### 被动和主动保护

共有三种组件设计理念，可在低压开关柜中发生电弧时确保操作人员和安装人员的安全：

- 机械上能承受电弧的组件（被动保护）
- 配备限制内部电弧影响设备的组件（主动保护）
- 配备限流断路器的组件

这三种解决方案（及其组合）已被低压开关设备和控制设备组件的主要制造商成功应用。ABB的TVOC-2 / Emax 2组合是一种主动保护方法。有两种主要方法利用主动保护来限制电弧的破坏性影响：

—  
03 Emax 2断路器与SOR、T-VOC-2串联  
—  
04 04 Emax 2的EkipTouch/Hi-Touch脱扣器与Ekip信号2K模块组合使用，可提供更短的脱扣时间。  
Ekip signaling 2K: Ekip 信号2K

### 检测过压波的压力传感器

传感器可用于指示与电弧点火相关的压力峰值。该信号作用于电源断路器，无需等待选择性保护脱扣时间（时间必然会 longer）。延迟时间约为10 ms至15 ms。

这种系统不需要任何电子处理装置，因为其直接作用于电源断路器的分励脱扣器（SOR）上。显然，有必要对设备设定一个固定的脱扣阈值。但要预先定义这个阈值并不容易，因为开关内部的电弧故障所产生的过压值是不确定的。

## ABB的弧光监测系统TVOC-2是一款使用光学传感器配置来检测电弧的设备。

### 光检测器

第二个可能性是安装能够检测到与电弧现象相关联的光通量的传感器，然后将脱扣信号发送至断路器。在这种情况下，检测的反应时间约为1 ms。这一原理是弧光监测系统TVOC-2的基础，→1-2显示了检测器位置示例。理想的解决方案是：每弧柱至少设有一台检测器，战略检测器的配置将消除检测区域之间的干扰。将传感器校准为具有相同的光敏度，方向倒在其次，因为其鱼镜头设计可以观察到较大的角度。

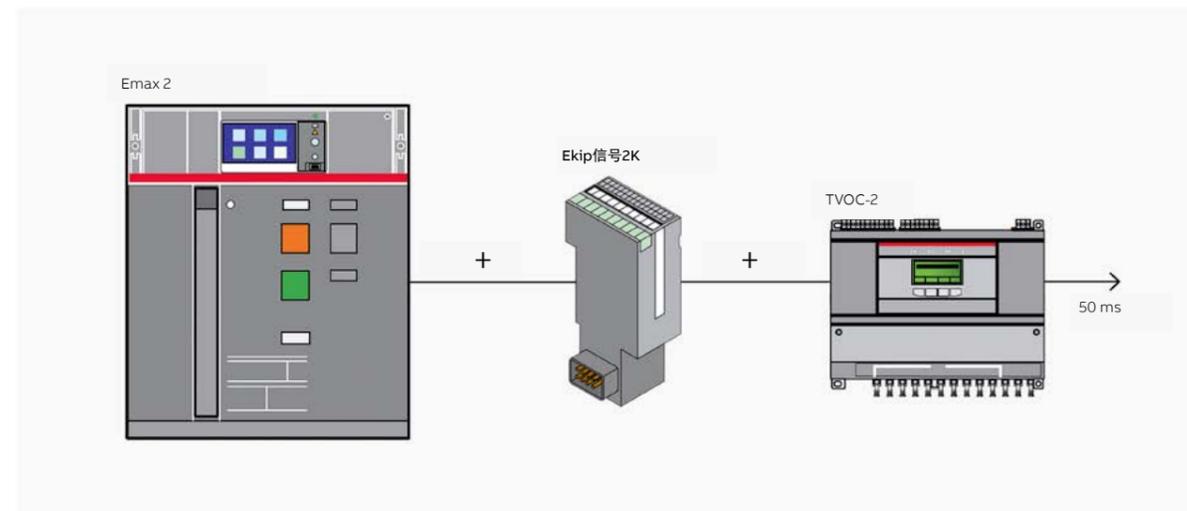
为避免因相机闪光或阳光造成误脱扣，电弧监视器可与电流传感器结合使用，并设置为仅当同时出现过电流时才被触发。进一步的抗干扰通过使用光纤电缆来实现。光纤电缆不仅速度快，而且不受伴随电弧故障的电磁干扰影响。

## TVOC-2可单独指令三个不同的输出触点，每个触点都可以与一组特定的光传感器输入相关联。

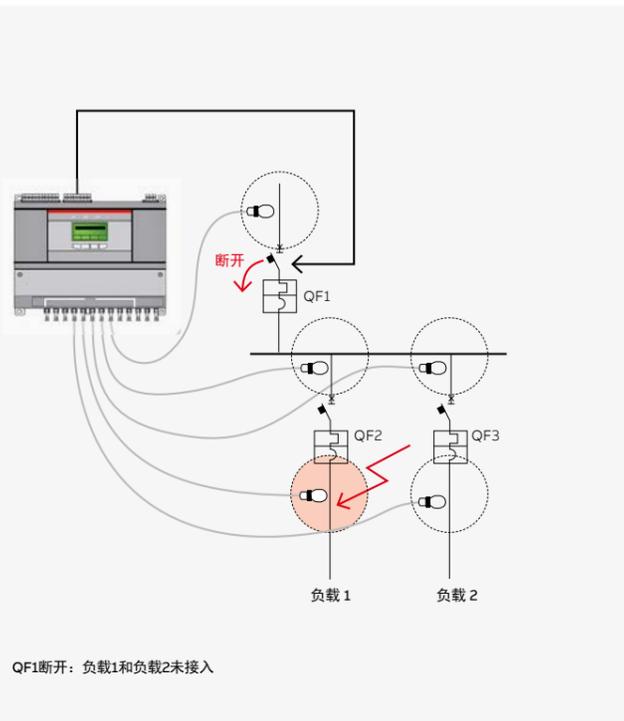
Emax 2断路器对TVOC-2形成有效补充。Emax 2的额定功率高达6300 A，包含一个带集成电源控制器（测量和评估能耗）的保护脱扣继电器，用于管理负载以维持或降低峰值功率的使用。该断路器易于使用，其先进的连接功能意味着可以轻松集成到智能电网、建筑物和工业设备中。得益于这些特性，Emax 2断路器可轻松与TVOC-2连接，从而形成快速作用的消弧组合解决方案。

### 与断路器组合使用

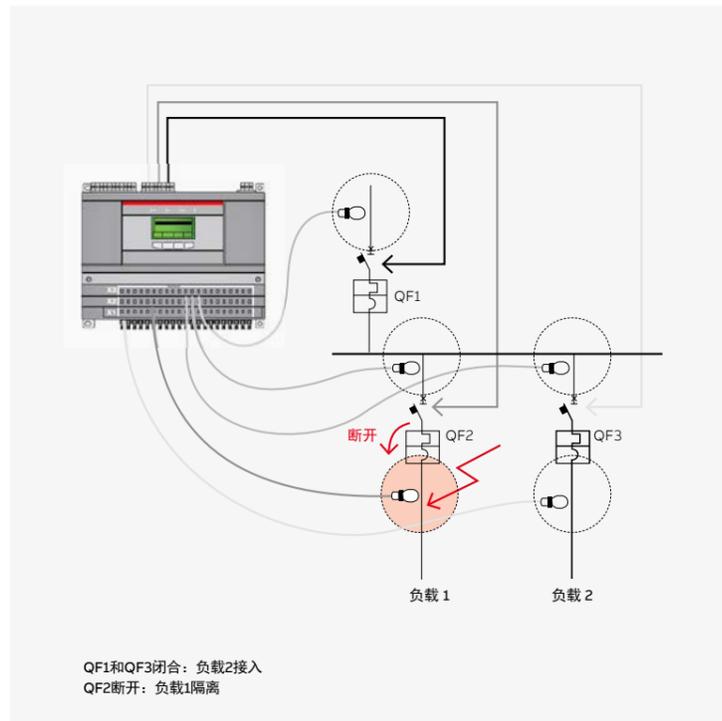
一种可能的配置是由TVOC-2和具有SOR的Emax 2组合构成弧光监测系统→3。但如果将Emax 2的Ekip Touch/Hi-Touch脱扣器和Ekip信号2K模块组合使用，则可缩短分断时间→4。



04



05



06

Ekip Touch/Hi-Touch是新一代易于编程和读写的保护脱扣器。该模块可通过其人机界面（MMI）或连接笔记本电脑上的软件进行编程。Ekip Touch/Hi-Touch脱扣器能够精确测量功率和能量，并保存最新的报警、事件和测量结果，从而在必要时有效杜绝安装和脱扣故障。这种布置使得总的分断时间显著缩短，因为其不再依赖于SOR，而是直接由电子单元指令分断。

将Emax 2的Ekip Touch/Hi-Touch脱扣单元和Ekip信号2K模块组合使用，可大大缩短分断时间。

**可控操作逻辑示例**

TVOC-2可单独指令三个不同的输出触点（每个触点可连接多个断路器），各触点可与一组特定的光传感器输入相关联。这种选择性支持断路器对脱扣的识别：当发生电弧时不再是关闭整个工厂→5，只需隔离受电弧负面影响的部分即可。出于简化的目的，在图中仅标示了30个光传感器中的5个。

与Emax 2断路器搭配使用，TVOC-2即使在柜门打开时也能确保人员的安全，并提供全方位的电弧保护。

**关键电弧保护**

电弧保护系统已成为电气柜设计的关键要素。事实上，因为电弧保护系统能够减少停机成本和损失，一些保险公司在其投入使用的情况下愿意降低保费。与此同时，防止电弧事故的保护亦日益纳入立法范畴。例如，欧盟的《低电压指令》规定，需采取措施防止由电弧闪光引起的过热而造成的损害。

与Emax 2断路器搭配使用，TVOC-2即使在柜门打开时也能确保人员的安全，并提供全方位的电弧保护。具备通过Modbus RTU在Emax2 Ekip和TVOC-2之间实现通信的能力，客户将能够迅速、准确地获取有关脱扣位置和故障的信息。TVOC-2/Emax 2组合是目前市场上可靠性最高的消弧产品之一。

保护与安全

# IEC 61850 结合中低压应用

IEC 61850可结合ABB的低压智能电子设备（IED），如REF中压保护继电器和Emax 2低压断路器，用于设计和运行中低压应用中的全集成保护和监控系统。



Enrico Ragaini  
ABB电气产品事业部保护连接产品业务单元

意大利贝加莫  
enrico.ragaini@it.abb.com



Damiano Benedetti  
ABB电气产品事业部配电自动化

意大利达尔米内  
damiano.benedetti@it.abb.com

IEC 61850一直是高压和中压保护领域行之有效的标准，如今越来越多地用于低压应用，大大地延伸了其应用范围→1。目前受益于IEC 61850功能的设备包括ABB的智能电子设备，如REF中压保护继电器以及Emax 2低压断路器。这两类设备的组合使用，使得设计和运行中低压应用中完全集成保护

和监控系统成为可能。该综合性应用，可通过利用IEC 61850创建诸如基于设备到设备通信的高级逻辑选择性、实时诊断和集成工程等功能来实现。这一创新技术近期在意大利得以应用，ABB在当地的一家冰激凌工厂安装了基于IEC 61850的中低压保护系统。

01



- 01 IEC 61850在低压设备中的应用大大加强了保护和监控系统。图中所示的是ABB近期向客户现场交付的中低压开关柜。
- 02 简化的GOOSE通信单线图。
- 03 基于GOOSE的中低压诊断。

IEC 61850是适用于变电站自动化的一套成熟通信标准，它不只是一系列枯燥乏味的规范，还构成了完整电气设计概念的基础，包括整个保护、控制和监控系统。与其他工业自动化协议相比，IEC 61850专为满足变电站自动化日益复杂背景下的苛刻需求而设计。此外，要将来自不同供应商的设备集成到同一个系统中，且无需客户定制网关或其他工程密集型复杂系统，则需从根本上考虑互操作性。

尽管IEC 61850是专为变电站自动化而设计，但其也可适用于所有电气设备中的保护系统，包括工业和商业领域的保护系统。事实上，由于IEC 61850的可靠性更高、选择性更佳、故障响应时间更短，且可能实现容错和集成诊断，其已成为化工厂、石油设施、数据中心和海洋应用中诸多关键过程控制系统的首选协议。

— IEC 61850可构成完整电气设计概念的基础，包括整个保护、控制和监控系统。

**GOOSE**

从数据通信的角度来看，IEC 61850的设计是为了满足电气保护系统的需要，但这些系统与影响通信如何实现的过程控制系统之间存在一些基本差异。过程控制通常是为实现控制回路而设计的：来自传感器的测量样本需发送至运行控制算法的控制器，控制器所产生输出再发送至执行器。这些动作是循环重复的，其最关键要求是遵循采样频率和周期时间。

当网络或现场总线用于连接控制器、传感器和执行器时，许多隔行控制回路以循环方式共享可用带宽。设计这种系统通常需要将尽可能多的循环数据包调度到可用带宽中。

在每个周期中，仅在固定时间读取传感器和操作执行器，步进间隔由周期持续时间决定。在系统设计阶段确定的这个周期时间，导致了测量量变化与相关执行器操作之间的延迟。这样的延迟只要与控制下的过程时间常数一致就不必担心。

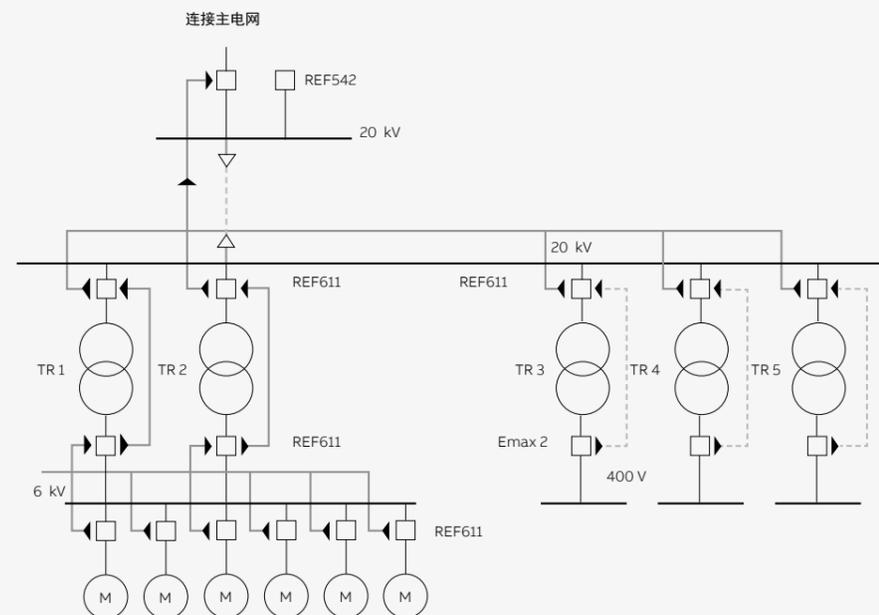
保护系统以及电气设备的监控则遵循不同的概念：电量由监控系统以相对缓慢的周期测量，测量量通常不用于控制回路。但当发生故障时，检测到故障的保护设备需要尽可能快速地发送故障信息，因为其他设备必须接收信息并决定哪个断路器应该跳闸。以轮转或其他循环方式安排这种传输，由于需要设备排队等待访问通信介质，将引起不可接受的延迟。对这种意外事件通信的有效处理正是IEC 61850的独特功能之一，其通过特殊的数据包——GOOSE（面向通用对象的变电站事件）消息——实现。与周期时间不同，GOOSE消息的关键工程特性是延迟，即事件与网络上相关信息传输之间的延迟→2。

— 对意外事件通信的有效处理正是IEC 61850的独特功能之一，其通过特殊的数据包——GOOSE消息——实现。

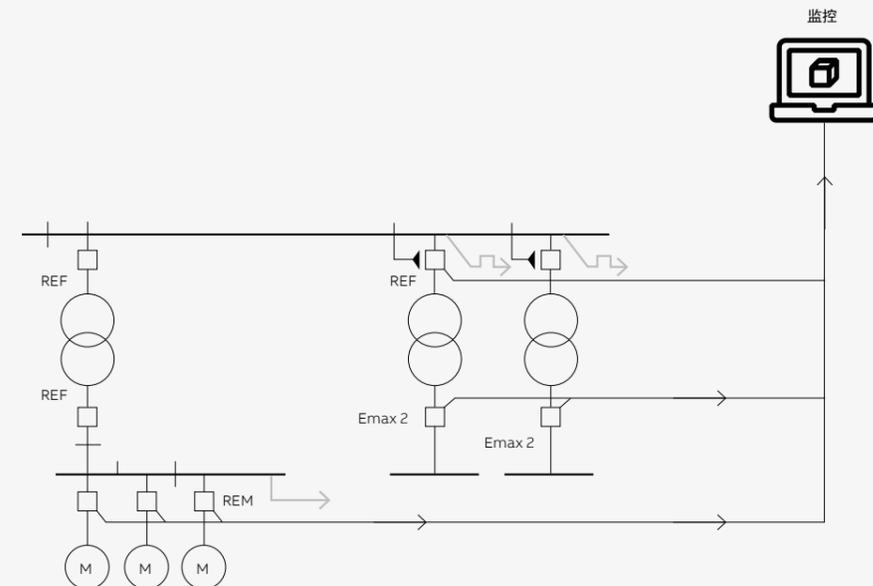
GOOSE消息的一个关键特征是，除从设备到监控系统的常规垂直通信外，它们还可用于设备之间的水平（即点对点）通信。

因此，两个断路器之间的逻辑选择或联锁可通过相关设备之间的直接消息交换来实现，而不依赖于中央处理单元来管理该过程。水平通信既提升了性能（缩短了整体响应时间、更有效地利用了通信信道），也提高了可靠性（因为中央处理单元的故障将影响整个保护方案）。

- 保护/断路器
- ◀ 数据流
- GOOSE MV -> MV
- GOOSE LV -> MV



— 正常状态



04 客户现场的安装工作。

05 ABB向客户现场所提供中低压开关柜的概览。

要想将来自不同供应商的设备集成到同一个系统中，且无需定制网关或其他工程密集型复杂系统，则需从根本上考虑互操作性。

除故障信号外，GOOSE消息可用于在保护系统中实现内置诊断机制。各设备可配置为定期（例如每秒一次）向其他设备发送一条GOOSE消息报告其状态正常。如果相关设备未能接收到相应的消息，则可发送报警消息，切换到预定义的安全模式，或按照要求进行其他操作→3。诊断消息使用与其他数据包相同的通信媒介，因此不需要额外的硬件。

工程和配置

IEC 61850的其他优势与工程和配置过程相关。鉴于所涉及设备的复杂性和数量，要设计一个没有结构化计算机辅助过程的保护系统是不可能的。纷繁复杂的配置和工作细节将压得工程师喘不过气，并导致严重失误。为避免这种情况，IEC 61850依赖于对象和数据类型的标准化以及正式的电子描述。

用于保护的智能电子设备可能非常复杂。在IEC 61850中，它们的复杂性通过将每台设备描述为一组可发布到最终应用的逻辑对象来管理。这样的对象足够抽象，适用于不同类型或来自不同供应商的设备，但也足够实际，适用于进行中的工程任务。对象示例包括过电流保护、电流和电压测量、开关控制等。



05

IEC 61850数据模型的核心在于，具有明确含义以及适用参数和数据项的标准化逻辑对象目录。所有符合IEC 61850标准的设备均使用相同的对象来实现同一功能，从而使得在最终应用中以共同的方式组合对象成为可能。

甚至对象名称也实现了标准化（例如，PTOC通常代表过电流保护），以方便设计工程师对其识别和使用。IEC 61850还设置了数据类型，因此测量结果与其名称、测量单位，质量指标等一起定义，从而降低了错误概率。

04





### IEC 61850在冰淇淋工厂的应用

关于这种集成的一个特别重要的案例是，ABB近期向意大利费伦蒂诺的一家客户提供了中低压开关柜。这家工厂是当地知名冰淇淋品牌的生产商，在同行业中规模领先。

### ABB的Emax 2断路器是实现本地61850接口的首款空气断路器。

所涉及装置包括一个带有UniSec开关柜并连接至主电网的20 kV主柜，以及向数个4 MVA和3 MVA变压器供电的二级柜。变压器相应地为一个6 kV柜供电，而6 kV柜又为过程电机和主低压开关柜供电。低压柜由第三方板厂提供，并配备ABB Emax 2断路器。所有的中压继电器（REF611，REF542+和RIO600）和REM电机保护装置均经由IEC 61850总线连接，IEC 61850总线同时还连接三个Emax 2主断路器，作为低压部件的主要输入→4-6。

在中低压保护系统中统一应用IEC 61850可实现多项高级功能，其中最重要的一项是短路发生时的逻辑选择性。如果中压电机馈线之一发生短路，其保护继电器立即向上游保护装置（用于变压器保护和接口保护的REF）发送GOOSE消息，从而避免跳闸；只有在最接近故障位置安装的断路器被指示打开→7，因此避免了工厂其他部件的不必要电力损失，并最大程度地提高过程的可靠性。

同样，在低压侧发生短路的情况下，受影响的Emax 2断路器在清除故障的同时，向REF发送GOOSE消息，从而避免中压断路器不必要地跳闸。

除逻辑选择性和整体可靠性提升外，使用单一协议还为工厂监控提供了通用接口，从而为操作员提供更多更好的高质量数据，使其能够以最佳方式运行工厂。

06

06 在客户现场的变压器面板。

除标准化之外，IEC 61850还提供描述设备和系统的通用电子格式。

07 基于GOOSE的断路器跳闸选择性。

所有设备（即本例中的所有智能电子设备）各自以SCL（变电站配置描述语言）编写的文件描述，在文件中列出所有属性和逻辑对象。

SCL文件可被IEC 61850软件工程工具读取和操作，从而保证过程的流畅性并减少错误的发生。

这种形式化的电子描述语言能够有效地改善来自不同供应商的设备之间的互操作性：只要它们实现的对象由SCL文件描述，用户就不需要关心其内部工作原理。

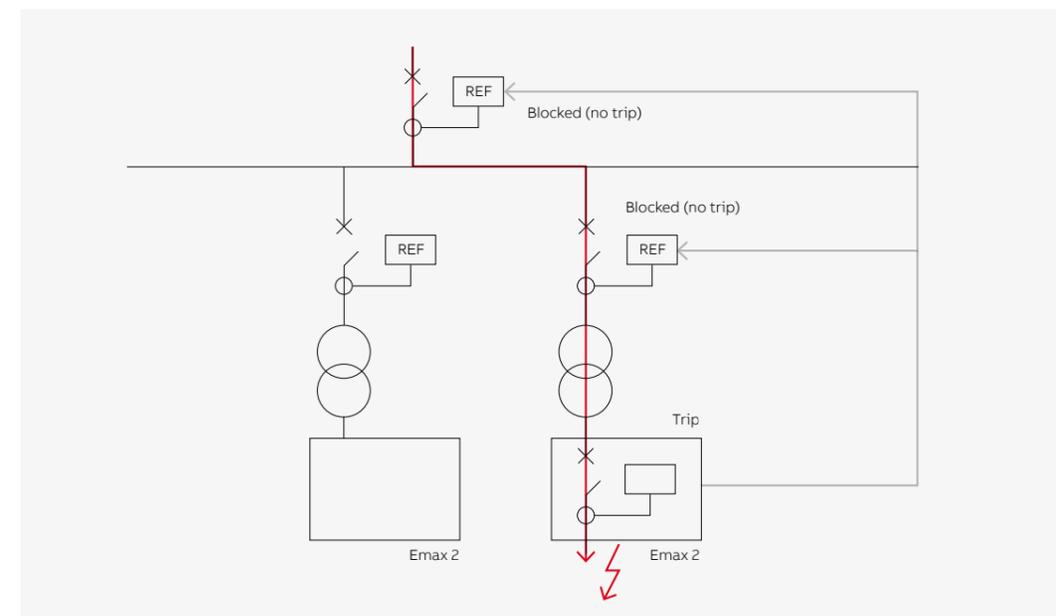
#### IEC 61850加入中低压应用

大多数现有的智能电子设备是应用于中压装置的保护继电器。但随着IEC 61850进入低压应用，显著优势

GOOSE消息的一个关键特征是，它们可用于设备之间的（点对点）通信，从而提升性能。

得以呈现。目前可通过使用ABB的Emax 2断路器——应用本地IEC 61850接口的首款空气断路器实现。

此外，ABB的Ekip数字保护单元（可安装在800 A至6300 A的Emax 2断路器上，并配备多种通讯协议）也符合IEC 61850标准。随着可靠性的显著提升以及监控系统界面更加平稳统一，中低压保护和监控系统之间的完全集成可最终得以实现。



07 — 故障电流 — 信号（跳闸阻断）

保护和安

# 干式绝缘技术在电容式套管的应用

高压电容式套管在整个电网中是非常重要的组件，由于需要承受很高的电气强度，高压电容式套管的故障往往是灾难性的。因此，用于800 kV及以上电压的套管在生产中需要精心设计和制造。



Lars Jonsson  
Roger Hedlund  
ABB绝缘及组件产品部一套管  
瑞典卢德维卡  
lars.yjonsson@se.abb.com  
roger.hedlund@se.abb.com

高压电容式套管在整个电网中是非常重要的组件，由于需要承受很高的电气强度，高压等级电容式套管的故障往往会导致突发灾难性的爆炸事故。如果能够减轻故障的危害，好处可谓数不胜数。也许正因如此，越来越多的电力公司如今明确规定采用干式绝缘技术，包括使用非脆性材料制成的外绝缘体。但要生产用于800 kV及以上的套管，需要精心设计和制造，而不仅仅是升级现有低压技术那么简单，因为确保无故障运行所需采取的技术举措通常是非线性的→1。

任何高压作业人员对电容式套管都不会陌生。尽管外表看似简单，但在电网中这些基础组件的设计和制造过程都相当复杂。

电容式套管由三个主要部分组成：减少爬电电流和防止外部闪络的外绝缘体；分布和稳定电场的内部电容式绝缘体“电容”（也称为“电容芯”）；以及承载电流的导体系统。

在内绝缘中有很多定位非常准确的导电材料同轴分布在卷绕而成的纸筒中→2。为增加绝缘的介电强度，将

自20世纪80年代以来，硅橡胶逐渐发展成为陶瓷材料的完美替代品。

其浸渍在变压器油或固化在环氧树脂里。这些工艺分别称为油浸纸（OIP）和树脂浸渍纸（RIP）。OIP套管的使用始于20世纪50年代，至今仍然适用于最高电压等级（即735 kV及以上电压）的主要方式。RIP套管经逐步发展也已适用更高的电压，并且正变得越来越常用，但由于电力行业涉及的技术挑战以及普遍的保守性，进入最高电压等级应用花了更长的时间来验证。

对于外绝缘体而言，陶瓷在很长一段时间里处于主导地位。多年来人们对各种形式的聚合材料进行了测试，但受阳光的影响，其使用寿命始终有限。但自20世纪80年代以来，硅橡胶逐渐发展成为陶瓷材料的完美替代品。硅橡胶在波长低于阳光中的波长时吸收的能量达到最大值，因此与其他聚合物材料相比，其使用寿命显著延长。

01 要生产应用于800 kV及以上电压等级的干式绝缘电容器套管，在设计和制造方面离不开精湛的技巧和加倍的谨慎。如图所示的是首个商业化项目的常规电气测试。

随着机械工程学的不断发展，800 kV干式套管得到广泛使用，尤其在涉及抗震要求方面。

## RIP的优势

对于电力公司而言，RIP概念的最大优势在于，当出现套管故障时，相应的危害得以大幅降低。虽然相对地闪络的原因有很多，如套管本身的故障或来自电网系统的电气、机械或热应力等，OIP套管中的闪络几乎总是产生爆炸，导致绝缘体破裂和漏油。当变压器着火时，后果尤为严重[1]。由于RIP套管不含高度易燃和富含能量的油，因此很大程度上消除了火灾的风险。在减少故障的危害方面，还有一些其他因素也同样证明了RIP技术的优势[2]，[3]。除了在发生故障的情况下不发生破裂外，由纤维缠绕管上挤塑的硅橡胶组成的复合绝缘体作为外绝缘体还具

有许多其他的正面特性：

- 由于硅的化学结构，绝缘体表面具有疏水性，所以水在表面上形成水滴而不是水路，从而降低了在极端天气条件下的爬电电流（侵蚀风险）和闪络风险。
- 制造过程的连续性在管和绝缘体之间产生化学键。由于硅橡胶和纤维缠绕管完全没有接头，所以电场分布平稳连续，湿气渗透的风险极小，表面没有拼接，因而盐份和其它污秽也不会在外绝缘表面积聚→3。
- 挤塑工艺也为不同应用提供了优化绝缘子伞形结构的机会，导致进一步降低电场，从而降低爬电和侵蚀的风险[2]。
- 所选择的聚合物绝缘材料是一种高温硫化（HTV）橡胶，其基本材料是纯硅胶和三水合铝（ATH）填料经仔细调配的混合物。除机械强度外，ATH填料还具有耐温和耐火性能。例如，在ATH用量优化的情况下，大雨后疏水性能的复原速度极快。现场经验还表明，HTV橡胶具有很强的抗侵蚀性，并且能够长时间保持其疏水性[4]。

01





02

—  
02 主套管组件，外绝缘体（左）；带安装法兰和导体的内绝缘体（右）。

—  
03 外绝缘体的构造。

—  
04 安装法兰FEM分析的详细信息。

—  
05 硅橡胶伞裙的FEM计算。

- 与相应的陶瓷绝缘体相比，这种类型的绝缘材料重量更轻且机械强度更高。这对于抵御地震和短路的影响包括减少使用过程中的损坏风险极为重要。

#### 开发800 kV套管时需考虑的重点

在开发800 kV干式绝缘套管时，需考虑的重要事项举例如下：

- 一个主要的成本动因是要求的湿操作冲击耐受绝缘水平，因为其在很大程度上决定了套管的长度。这对于RIP套管尤其重要，因为长度与复杂的浇筑固化过程、工艺容器尺寸、加工设备规格等密切相关。
- 抗震要求在世界某些地区适用。在设计过程中，变压器制造商和电力公司之间需不断沟通，以评估套管安装角度和强化结构等因素。
- 考虑当地使用条件，例如环境温度等。
- 灵活的设计。无论前期变压器制造商是谁，都可以通过调整设计尺寸满足安装要求。

#### 机械设计方面

随着机械工程学的不断发展，800 kV干式套管得到广泛使用，尤其在涉及抗震要求方面。

GSB系列之前接受抗震试验的套管提供了丰富的经验基础，尤其是在阻尼和固有频率的建模和分析方面。尽管如此，已开展几项有限元（FEM）分析（线性和非线性），且随后对关键组件进行了验证测试。此外，进行了要求的反应谱（RRS）和测试反应谱（TRS）的动态分析。通过全尺寸试品振动台试验验证了计算结果，符合IEEE 693-2005等甚至更为苛刻的本地规范中的抗震要求→4。

ABB自20世纪70年代以来，用于简化现场套管安装和更换的拉杆式解决方案在机械设计中面临挑战，从而推动了技术解决方案的部分创新。与用于相应电压的陶瓷绝缘子的油浸式绝缘套管相比，RIP套管中更高的温度膨胀使其不可能在不进行重大重新设计的情况下保持不同电流传导元件之间的接触力。在FEM分析和相关测试的支持下，进行了深入的力学分析，如弯曲情况、短路力、接触力等。

由于干式套管在散热方面普遍存在的难度，有时需要采用新的低电阻材料组合来减少损耗。在恶劣的工业和沿海环境中，面临防腐的挑战。新材料还意味着采用新开发的密封系统。所有的设计解决方案，包括与腐蚀有关的设计解决方案，均已通过测试验证。



03

—  
本文参考了以下CIGRE论文：L. Jonsson和R. Hedlund, 《800 kV干式绝缘变压器套管的开发》，2016年度CIGRE-IEC研讨会，© 2016 IEEE, 加拿大蒙特利尔。

#### 参考文献

[1] S. Tenbohle等, 《全球变压器可靠性调查的开展与结果》，CIGRE研究委员会A2研讨会, 2015。

[2] L. Jonsson等, 《具有复合绝缘子的干式变压器套管——提升可靠性的明显组合》，TechCon亚太地区, 2013。

[3] L. Jonsson等, 《高压套管的消防和安全方面》，世界绝缘体、避雷器和套管大会, 2009。

[4] I. Gutman等, 《硅橡胶绝缘子制造的高压设备的长期运行经验和检验结果》，CIGRE会议Ref.412, 奥克兰, 2013。

## 要制造新的套管系列，全新的生产设备必不可少。

#### 热性能设计方面

内绝缘的介电加热具有重要意义。油绝缘套管具有有效的对流冷却，用于处理介质和电阻损失；而RIP套管不具备。这就需要对设计进行广泛的理论分析，以确保所有测试和操作条件下的热稳定性并符合过载要求。

在温度循环测试期间，环境温度在-50至+40摄氏度之间变化，并指定了上升和下降时间。主要的挑战在于，如何应对由电容器芯的冷却质量和环境温度升高所形成的显著温度梯度和相关机械应力。

为详细了解在不同冷却温度下的结晶以及材料中的应力如何发生，需采用差示扫描量热法（DSC）和动态机械热分析（DMTA）进行深入分析。在对完整的套管进行最后的全面测试之前，对绝缘体不同部分的冷却和结晶过程进行了广泛的FEM分析，然后开展了验证组件测试。这些分析推动了外绝缘体制造过程中某些步骤的优化→5。

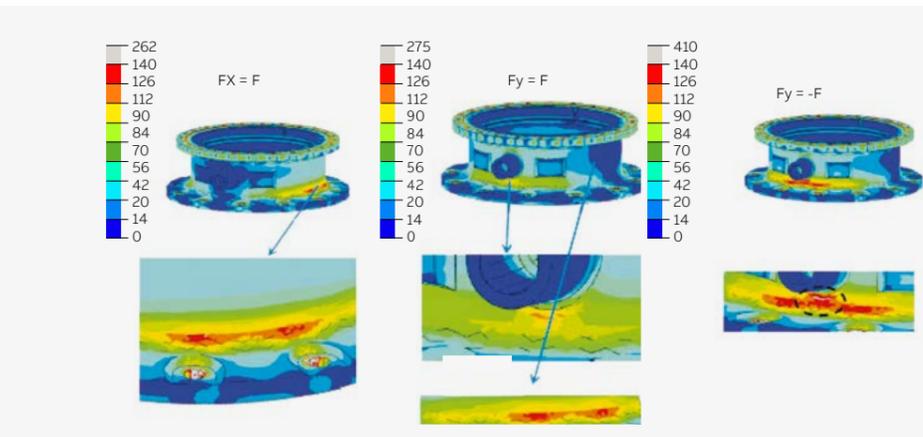
#### 制造

由于高压套管通常需要非常低的局部放电，因此在RIP套管制造中面临的挑战之一就是内绝缘的浸渍和固化，所以具备以最小过程偏差来管理复杂制造过程的能力具有决定性意义。鉴于复杂的制造过程，由于许多关键参数不是线性可扩展的，在本质上属于二次甚至三次曲线，所以很难直接利用现有低压产品的经验。这可能导致对生产设备的要求比最初认为的要高出许多倍：例如，800 kV干式套管的重量是500 kV系统相应产品重量的两倍以上，空气侧的长度超出40%以上。

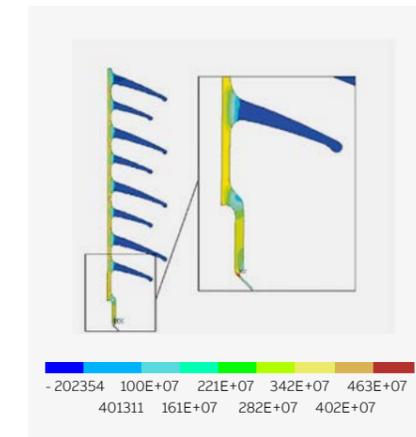
在这些电压水平电容芯绕制中，涉及的挑战主要与电容芯的屏蔽层的定位控制有关。干燥时发生的尺寸变化导致轴向尺寸而非径向尺寸变化。温度效应也意味着加工工具必须标注尺寸，以便在铸造过程中处理长度方面的重大变化。

在实际铸造过程中，必须将近2000 kg的环氧树脂注入纤维素芯中，并在不形成空气腔的情况下进行固化。否则，在最后的出厂试验中，空气腔将引起放电，导致套管报废。为避免这种情况，必须在整个过程中密切监测环氧树脂的固化。

要制造新的套管系列，离不开全新的生产设备，包括卷绕机、工艺设备和更新的控制设备，以及全新的加工设备。首次商业交付于2015年完成。

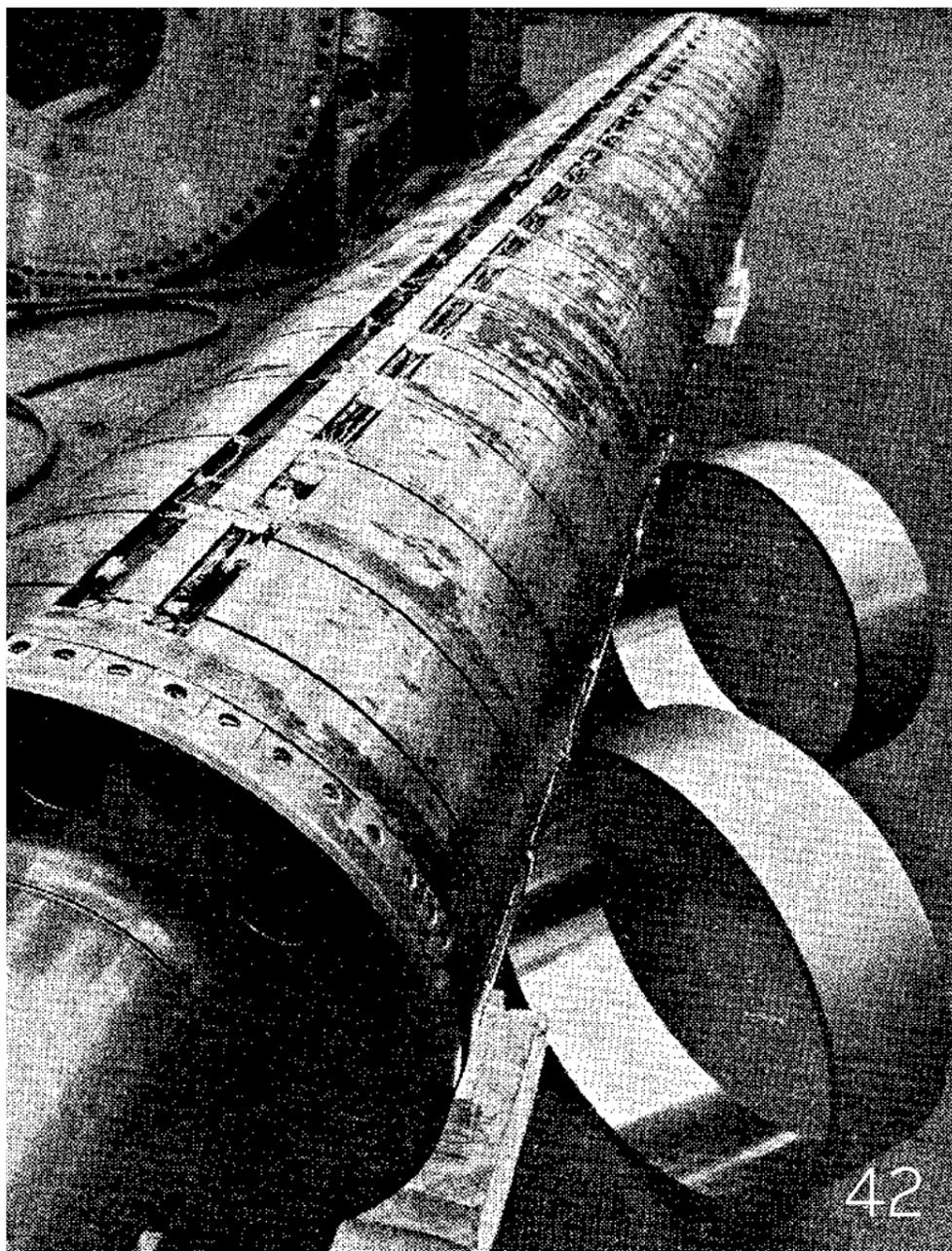
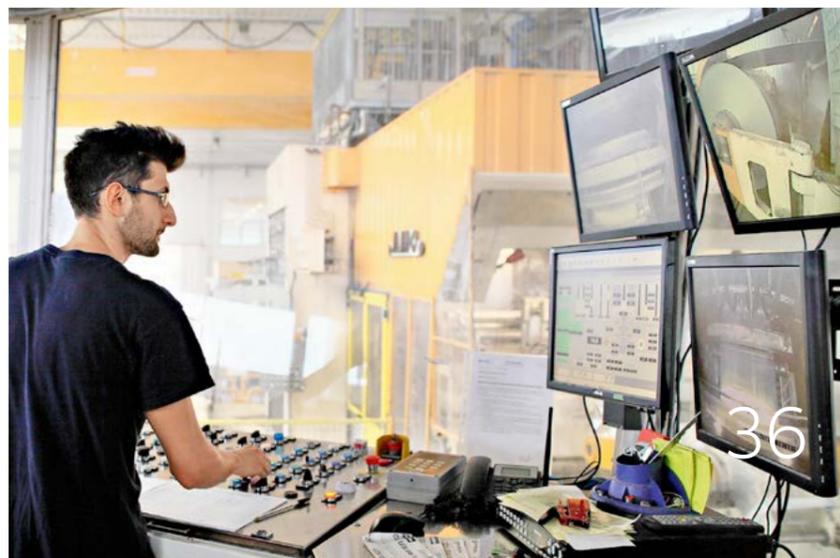


04



05

# 测量



与收集智能手机用户数据相比，收集金属轧机的运行数据要困难很多。这说明了工业技术与消费者技术在性能要求方面的巨大差距。可操作化设计既重要又复杂，因为需要其帮助客户在更安全的环境下，实现更高质量、产量和生产率。ABB早在半个世纪前就开启了板形测量的现代革新时代，并从此一往无前。其最先进的测厚仪采用最新技术，两种测量工具均支持通过智能手机访问。

36 有色金属测厚仪  
42 ABB Stressometer板形控制系统迎来50周年

## 测量

## 有色金属测厚仪

ABB Millmate无间隙测厚仪 (MTG) 采用脉冲涡流技术, 可确保在严苛的轧机条件下实现可靠而高效的厚度控制, 同时消除健康、安全和环境隐患。



Lennart Thegel  
Eva Wadman  
ABB工业自动化事业部测量与分析业务单元

瑞典韦斯特罗斯  
lennart.thegel@se.abb.com  
eva.k.wadmann@se.abb.com

目前, 全球铝材产能的市场需求和投资不断升温。

ABB Millmate测厚仪 (MTG) 系统与脉冲涡流 (PEC) 技术相结合, 为客户提供量身定制产品的选择, 满足有色金属带材的生产需求。MTG无间隙箱式测厚仪系统和MTG C型架测厚仪系统都仅取决于带材厚度, 是在严苛轧机条件下确保厚度控制同时消除放射性测厚仪相关的健康、安全和环境隐患的终极传感器。MTG无间隙测厚仪具备在轧制过程的中心位置进行测量的能力, 这是其他测厚仪无法做到的。ABB通过开发最先进的测量传感器, 满足了客户提高有色金属带材产品可靠性、效率和成本效益的需求, 如铝罐现货和车身现货→1。

重量轻、可回收以及具有吸引力的材料性能使铝成为诸多消费品和工业产品的理想选择。目前, 全球铝材产能的市场需求和投资不断升温。过去十年来, 这一需求体现为轧制铝制品用量的增加。对于

罐装饮料和汽车工业而言, 铝的产量明显增加, 这部分归因于高端和量产车型均使用铝材作为结构组件和外部面板→2。

由于密度低且强度相对较高, 铝尤其适用于替代车身上的钢。由此制造的轻量型车辆产生的二氧化碳排放量更低, 燃油消耗量也低于传统汽车。为满足这些行业对铝带材产量的增长需求, 就需要改进生产设备并采用最先进的测量传感器。ABB在传感器开发领域拥有超过15年的经验, 可确保对铝材厚度的精确测量并优化生产工艺、降低成本。

#### 传感器的重要性

自工业革命以来, 使用传感器进行精确测量对于工业生产过程的控制不可或缺。但在有些工业环境, 如轧机中, 设备的局限性以及恶劣的环境条件可能对传感器产生负面影响, 导致生产过程的延迟和停机, 从而增加生产成本。ABB投资研发可在各种轧机的空间限制下运行且对生产环境条件和材料成分变化不敏感的传感器, 以提高铝带材产量并降低成本。

01 在工业环境中操作MTG箱式测厚仪。

在铝工业中, 厚度是测量和控制的最重要属性之一。

#### 传统测量技术理念

在铝工业中, 厚度是测量和控制的最重要属性之一。满足严格的带材公差对于生产过程和产品本身都至关重要。同位素和X射线测厚仪等放射性测厚仪早在数十年前就已进入市场, 并得以广泛应用。X射线测厚仪利用穿过金属带材的辐射衰减进行测量。探测器测量从带材另一侧放射源发出的辐射强度, 然后根据强度

受测量间隙中密度变化影响的原理计算厚度。

这种方法具有允许空气间隙大等优点, 但也存在缺点。除健康、安全和环境问题外, 放射性测厚仪在铝的测量精度上也是存在缺陷的。铝的密度低, 因此吸收系数低。其结果是, 灰尘、蒸汽和空气温度等环境因素影响厚度测量并导致偏差, 必须予以纠正。通常, 铝还与其他金属一起制成合金, 从而在强度等性能上达到所需水平。但是, 铜等其他金属的存在会影响铝的吸收, 从而影响采用X射线测厚仪进行厚度测量的效果。X射线测厚仪的测量结果对合金的依赖导致高达50%的厚度校正, 这意味着厚度偏差很容易达到1%, 对于铝带材生产商而言无疑是很大的劣势。

01



### 测量技术的创新

针对使用放射性传感器精确测量铝带材存在的问题，ABB矢志不渝地为铝带材生产商开发理想的测厚仪。2001年，针对有色金属冷轧机的带材厚度测量，ABB推出了MTG C型架测厚仪。这种传感器可满足客户希望在不受轧机环境和合金属性影响的条件下精确测量铝材、铜材厚度的需求。与过去常见的放射性测厚仪有所不同，MTG C型架测厚仪采用获得专利的PEC技术。

PEC技术借助电线圈创建形成脉冲的电磁场，从而产生带材的脉冲响应。测量当电流突然中断时在线圈中产生的电压脉冲。在馈送到线圈的恒定励磁电流突然中断后，测量金属片中涡电流产生的磁场，即瞬态电压→3。

### 2001年，针对有色金属冷轧机的带材厚度测量，ABB推出了MTG C型架测厚仪。

现在，客户可非常精确地测量有色金属带材的距离、电阻率和厚度，而无需掌握有关合金性或轧机环境状况的信息，实现了高精度的厚度测量。

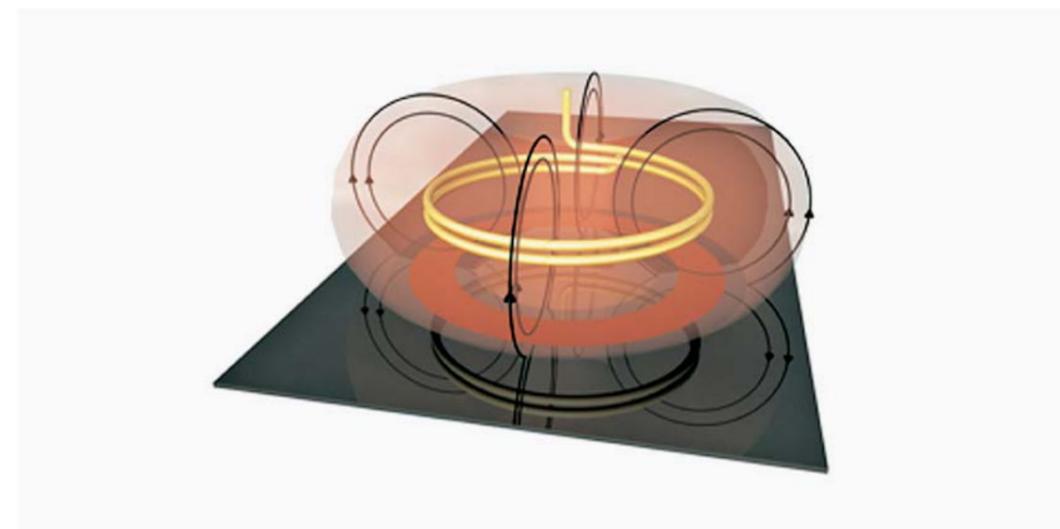
用MTG测厚仪替代放射性测厚仪还能够确保更安全的工作环境，且无需对员工开展相关培训或认证或处置放射性废物。



—  
02 预计越来越多的车辆将采用铝制车身。

—  
03 获得专利的脉冲涡电流技术依赖弱磁场进行测量。

—  
04 铝带材生产中达到的精度水平。



03

### 标定的要求和过程

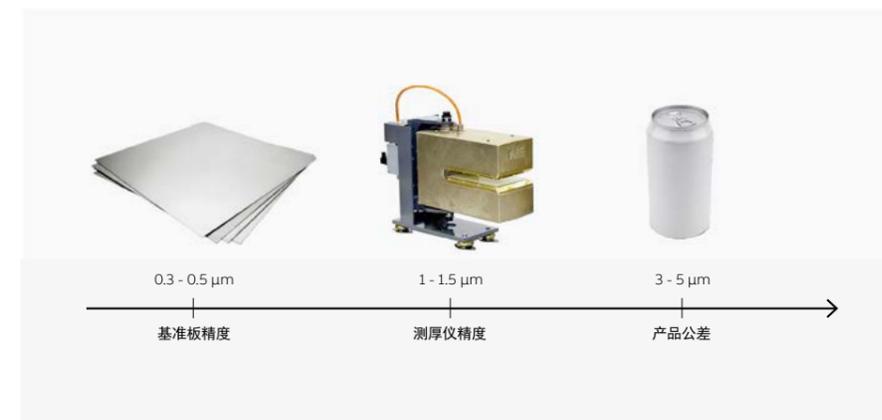
在理想情况下，制造商希望传感器的精度比产品工艺公差高十倍。常用传感器的精度比产品工艺公差高三到四倍。基准材料的尺寸精度必须比所使用的传感器至少高三到四倍。因此，标定基准材料的尺寸精度必须比罐装库存产品以及其他类型的铝带材至少高十倍→4。为实现精确的传感器测量，ABB在技术上大力投资，通过简化相关程序来完善标定。

### MTG系统标定流程

ABB为铝制品生产商提供高效、可靠和精确的传感器，以补偿各种合金的存在，大大减少了像X射线测厚仪所需的大量标定材料和标定步骤。安装基于PEC技术的MTG系统可解决各种问题。弱磁场的应用可

### 客户可以非常精确地测量距离、电阻率和厚度，而无需掌握有关合金性或环境状况的信息。

实现无接触厚度测量，并消除与铝的低吸收系数相关的劣势。由于厚度测量不受环境因素和材料属性的影响，因此不需要客户专用的标定板，从而可忽略不计因标定导致的停机时间。ABB开发的MTG系统在交付时已处于标定完毕、准备使用的状态。每六个月开展一次标定，每次需要20分钟的时间。在交付系统时，ABB还根据现场标定对测厚仪的可追溯性和精度的要求，提供12块现场校准板。



标定过程分为两步→5：第一步是对ABB维护的基准板的标定；第二步是对随MTG系统交付给客户的现场校准板的标定。

基准板的标定在ABB进行，对照可追溯至国家标准实验室（包括NIST、PTG和NMIJ）的经标定量块。ABB为此开发和设计了一种精确的机械测量机。采用激光Hologage探头进行基准测量，测量分辨率为0.01微米。

新发明的这种独特装置可放置于生产过程的中心位置。

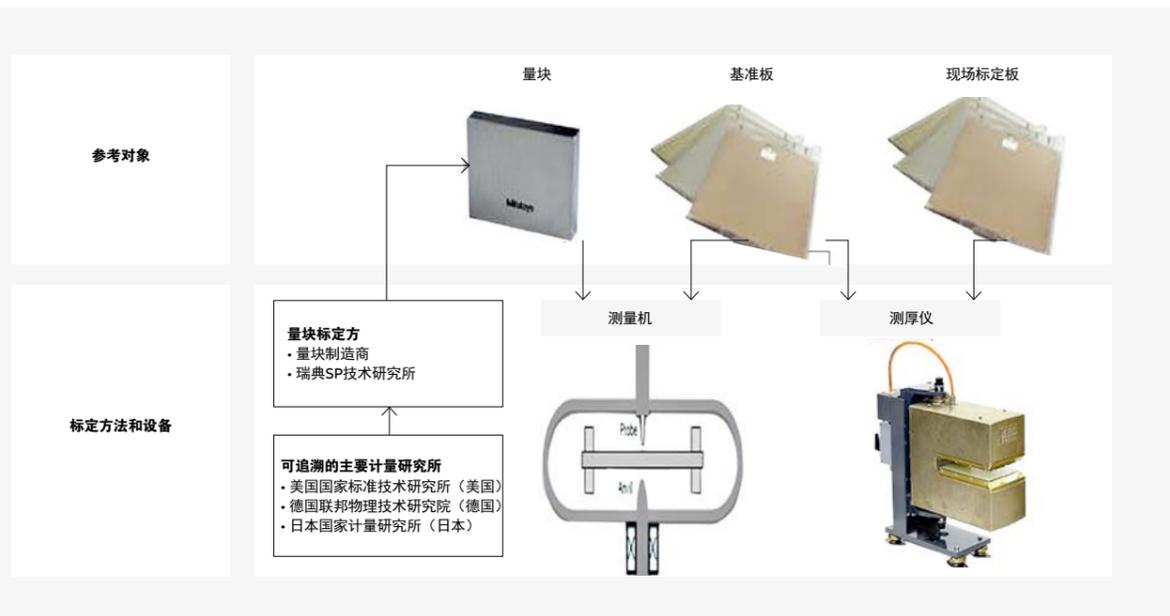
在第二步中，使用经过标定且温度稳定的MTG测厚仪，通过与相似厚度和同等材料属性的标定基准板直接进行比较，对现场校准板进行标定。现场校准板的标定精度达到0.3至0.5微米。不需要客户专用板或频繁的标定程序来实现所需的厚度公差，因此对于铝带材生产商而言至关重要。

由ABB发明并获得专利的MTG箱式测厚仪，外形紧凑，坚固耐用，基于PEC技术采用弱磁场进行测量。

独特的无间隙测量解决方案

2016年，ABB为其MTG测厚仪系统（测量铝轧机和连铸机中的铝带材）的控制板新增了独特的无间隙测量传感器→6。由ABB发明并获得专利的MTG箱式测厚仪，外形紧凑，坚固耐用，基于PEC技术采用弱磁场进行测量。这种测厚仪不仅安全，而且具备耐受机械冲击的性能。最重要的是，新的测量传感器是无间隙的，在可能阻挡被测带材通道的轧制线以上空无一物。新发明的这种独特装置可放置于生产过程的中心位置。

MTG箱式测厚仪通常安装在轧机辊道下方，可在穿带、甩尾和断带期间提供保护。与MTG C型架系统一样，这种新型传感器对测量区域内除金属带材外的任何物体都不敏感。从下方测量真实的铝带材厚度，精度可达0.05%。紧凑型测厚仪可放置在辊缝或机架间附近，因为它独立于所有环境条件。鉴于传感器不受材料变化的影响，因而无需补偿合金含量，而且避免了大量的标定工作。



06

05 MTG校准板标定过程。

06 MTG箱式测厚仪系统，包括量器、液压装置、空气调节器、控制单元以及监控器。每六个月仅需要20分钟进行现场标定。使用MTG箱式测厚仪可提高铝带材厚度控制水平，并确保向带材生产商快速反馈结果。

MTG箱式测厚仪系统包括安装在垂直移动框架上、拥有铝青铜外壳的PMGG201-H计量器。这款坚固耐用的传感器可自动调整位置，以优化厚度测量。液压定位系统使得测厚仪能够在带材张力出现时即刻进行测量。控制单元PMGA201有壁柜或地柜两种形式，可与测厚仪进行通讯，从而处理测量数据、错误和状态控制。支持采用VIP（供应商互联网协议）、OPC DA、Modbus TCP和Profibus-DP现场总线通信等网络通信的系统接口，从而将测厚仪与其他轧机控制系统集成在一起。操作员可查看和控制操作诊断、服务和设置等功能。

液压定位系统使得测厚仪能够在带材张力出现时即刻进行测量。

控制系统的易用性，再加上采用PEC技术进行铝厚度测量的MTG无间隙箱式测厚仪，使得该系统非常适用于铝轧机。它不受材料和环境的影响，具有安全、调试快速以及现场标定工作量少的特点，这些意味着生产时间增加、产量提高，且几乎免维护。

测量

# ABB Stressometer板形控制系统迎来50周年

50年来，ABB Stressometer板形系统始终致力于帮助轧机运营商提高质量和生产效率。在过去的半个世纪里，这项技术已取得重大进展，因此值得我们对这项创新进行回顾，毕竟它是克服轧机面临的诸多挑战的关键要素。



Lars Jonsson  
力测量——测量与分析业务单元

瑞典韦斯特罗斯  
lars.o.jonsson@se.abb.com

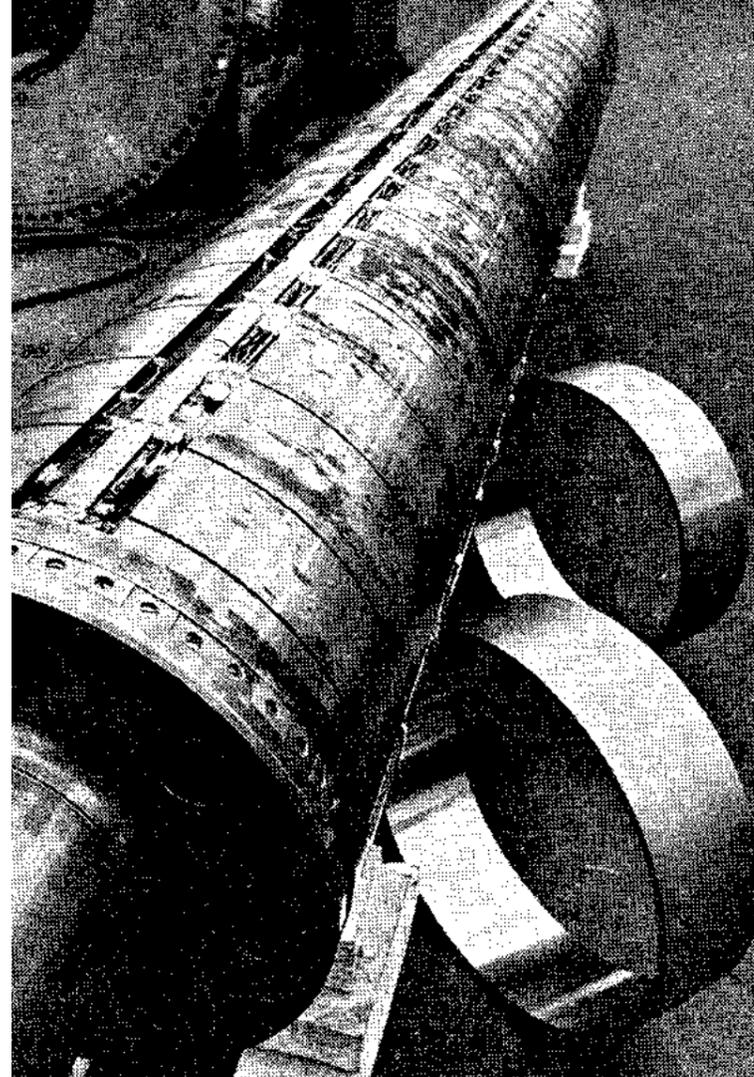
1967年4月14日，ABB的前身阿西亚公司向加拿大铝业公司Alcan（即现在的Novelis）交付了世界上第一台用于金属轧机的带材板形测量系统——Stressometer板形系统。借助这一新型板形系统，Alcan立即在生产效率、利润和产品质量方面取得了巨大进步。自1967年以来，经过多次技术改进和突破，ABB共交付了超过1200套Stressometer板形系统，目前正在庆祝产品诞生50周年→1。



01

ABB的Stressometer板形系统源于Pressductor®技术。Pressductor是一种传感器，由阿西亚公司开发并于1954年获得专利，使用磁弹性效应测量机械力。这种效应利用的原理是：一些材料的磁性能被施加于它们的机械力所影响。Pressductor传感器不依赖于物理运动或形变，因此实现了敏感度与卓越的过载耐受性的结合，对负载循环几乎没有内置限制。ABB Pressductor传感器能产生大功率、低阻抗的交流信号，具有出色的抗电子干扰和接地故障性能。

20世纪60年代中期，加拿大Alcan公司和阿西亚公司开始联合开发一种测量带材板形的传感器。



02

01 50年来，ABB的Stressometer板形系统始终致力于帮助轧机运营商提高质量和生产效率。图中所示的是装配了两套Stressometer板形系统的铝带材冷轧机操作室。

02 1967年交付至加拿大金斯顿Alcan公司的第一根Stressometer板形系统测量辊（1967年4月14日由阿西亚公司交付）。

最初决定推出配备Pressductor传感器的轧机测量辊。

20世纪60年代，随着金属带材加工需求的增加，人们对如何在冷轧过程中进行板形测量从而实现自动板形控制（AFC）产生了兴趣。在那之前，冷轧过程中的板形一直由操作员通过视觉观察和听觉进行手动控制。

20世纪60年代中期，加拿大的Alcan公司和阿西亚公司开始联合开发一种测量带材板形的传感器。最初决定推出配备Pressductor传感器的轧机测量辊。首台系统于1967年在加拿大金斯顿的Alcan公司冷轧机上安装，并接受了全方位测试→2。

工作原理是通过控制带材中的横向应力分布来改善带材板形。假设受控带材应力分布（即带材板形）将提高带材质量和轧机生产效率。通过使用Stressometer设备和板形控制系统，Alcan公司显著改善了轧制带材的板形，增加了产量并减少了断带，同时通过提高轧机速度和缩短轧制时间提高了生产效率。这一假设被证明是正确的，换言之，新产品取得了巨大的成功。

## 跨越50年的客户合作

自首次安装起的50年时间里，带材用户和其他类型轧机对更精密的板形控制的需求急剧增加。因此，ABB与客户合作，不断开发Stressometer系统→3。系统的改进使得轧机操作员能够充分利用轧机，以最大限度地提升高质量带材的产量，同时将维护需求降至最低。

如今的Stressometer板形系统可用于热轧和冷轧，能够处理从0.005毫米铝箔到12毫米不锈钢的厚度和产品。

## 轧机的带材板形控制是什么？

板形控制是指控制轧机辊缝，使其与来料的厚度分布完全匹配。如果不匹配，则会出现板形问题→5。Stressometer板形系统测量辊上的应力分布（F<sub>i</sub>）→6。利用带材张力（T）、宽度（w）、长度（L）和厚度（t），可计算出带材的应力分布。用杨氏模量除以该数值，可得出板形分布。板形分布以I为单位进行测量，对应相对延伸率分布乘以100,000，即I单位对应100米带材上的1毫米延伸。

$$\text{应力} : \Delta Si = \frac{Fi - \bar{F}}{\bar{F}} \times \frac{T}{wxt} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\text{板形} : \frac{\Delta Li}{L} = \frac{-\Delta Si}{E} \text{ [x10}^5\text{=I units]}$$

20世纪60年代，ABB引入I单位，将其作为量化板形的一种方法。自此，I单位成为整个行业实际用于测量板形的单位。

STRESSOMETER板形系统的发展历程

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| 1967 世界首个板形系统交付至加拿大金斯敦的Alcan公司 → 4         | 1994 箔材应用中的新型传感器和测量辊           |
| 1970 测量分辨率提高: 区域宽度, 从84毫米到52毫米             | 1998 世界首个工业应用中基于Web浏览器的人机界面    |
| 1976 首个基于微处理器的系统 (英特尔8080)                 | 2001 具有未来安全架构 (FSA) 的新一代系统     |
| 1977 全球首套数字闭环板形控制系统 (日本神户钢铁公司)             | 2002 用于表面关键型应用的无缝辊             |
| 1980 全球首套用于多辊轧机的板形控制系统 (芬兰奥托昆普集团)          | 2006 预测性板形控制                   |
| 1982 分辨率进一步提高: 从52毫米到26毫米                  | 2007 26毫米分辨率的箔材轧辊              |
| 1989 数字化彩色图形人机界面 (HMI)                     | 2011 支持自动流程识别的板形控制             |
| 1989 全球首套基于驱动器模型的板形控制系统                    | 2013 多辊轧机通过ESVD实现最优协调控制        |
| 1990 用于测量带宽和边缘位置的新技术 - millmate带材扫描仪 (MSS) | 2014 数字化免维护的信号传输 (DTU)         |
| 1993 钢铁应用中带材温度的测量和补偿                       | 2017 符合欧盟有害物质限令 (RoHS) 的全数字化系统 |

03

系统的改进使得轧机操作员能够充分利用轧机，以最大限度地提高高质量带材的产量，同时将维护需求降至最低。

Stressometer技术的工作原理

Stressometer测量辊是成功进行板形测量和控制的关键。它由具有四个轴向凹槽的实芯组成，可容纳大量的Pressductor传感器。因此，在宽度方向的每个测量区域都有四只传感器。这种配备四只传感器的方法从一开始就作为Stressometer的设计基础，赋予了系统对轧辊挠度和温度变化进行物理和自动补偿的优势，所以无需补偿软件，而且大大加快测量响应时间。

测量辊划分为26或52毫米的测量区。硬化的钢环缩套到每个区，以保护传感器，并为被轧制的金属带材提供适当的表面。数字传输单元 (DTU) 通过测量辊中的传感器实现非接触式电源和信号传输→7。各个区域独立地测量带材产生的局部径向力。

在1至4,000的额定转速 (rpm) 下，测量辊每转一圈就会得到四个测量值。Stressometer测量辊测量整体带材应力，包括边缘应力。实际带材板形以I为单位表示。

Stressometer多年来的创新

从一开始，为确保可靠、准确和快速的板形测量，始终坚持六项主要设计原则：

- 力测量必须是刚性的，即带材和力传感器的形变应该是可以忽略的。因此，无需因带材形变进行任何应力过滤，也可实现直接、可靠的力测量。
- 必须使用与周围材料具有相同热膨胀系数的传感器，从而最大限度减少由于热效应导致的误差。
- 传感器必须能够在轧机中可靠且准确地运转多年时间，且无需重新标定。
- 测量应体现一瞬间穿过带材的整体应力分布，即没有力分流至辊身。
- 四传感器原则。这样就可以对每次测量辊的旋转进行四次整体应力分布测量，同时保持测量信号不受温度变化和轧辊挠度的影响。
- 测量区域的信号输出必须与带材的覆盖度成正比，从而确保对带材边缘的精确测量。

—  
03 ABB Stressometer系统在过去50年里的进步。

—  
04 1967年的板形测量人机界面。如今，电脑或手机都可作为操作平台使用。

对现代板形系统的必备要求

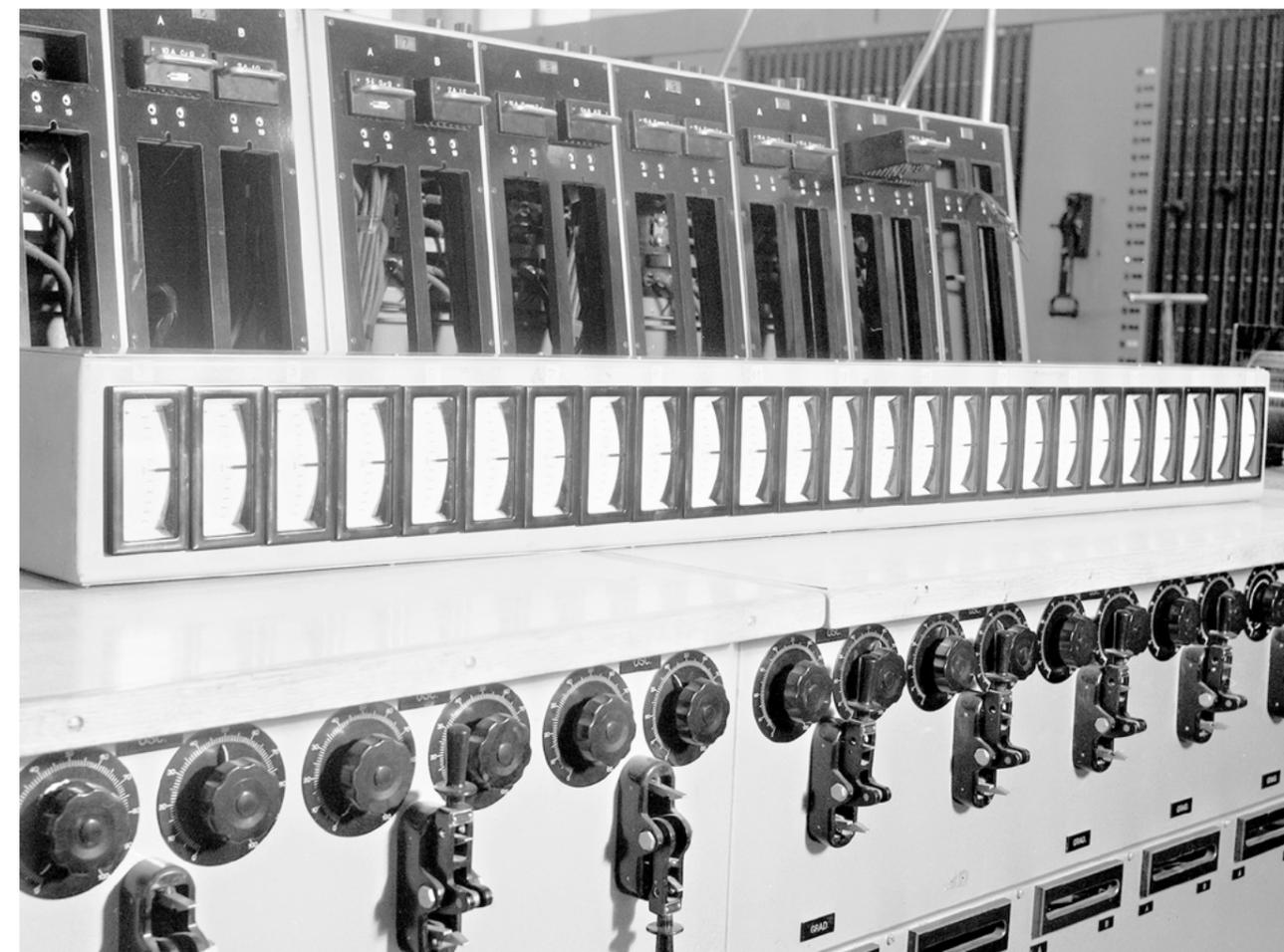
如果板形控制系统将对产量、轧制时间和断带数量产生影响，须符合一些苛刻的要求：

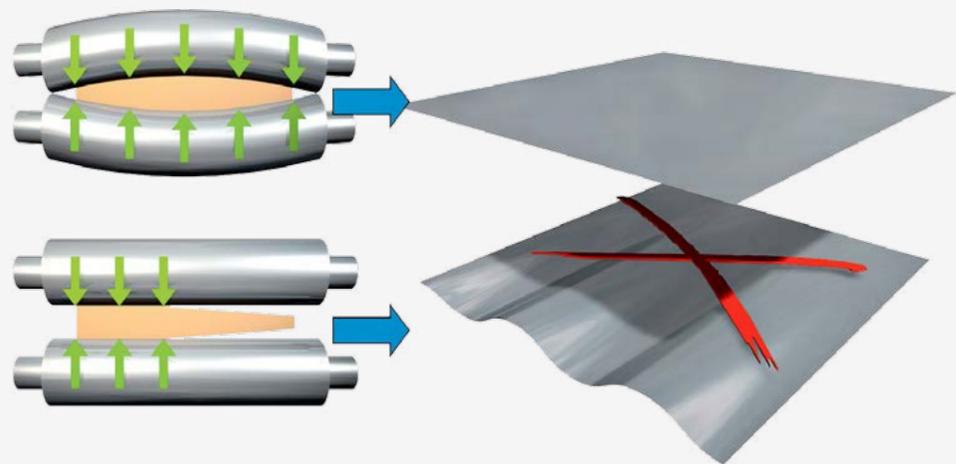
- 可靠性是最重要的要求。系统不得造成任何计划外停机（计划停机是可以接受的）。在这方面，Stressometer板形系统的平均维修间隔时间 (MTBR) 超过20年，并且支持免维护、非接触式的测量辊信号传输。
- 精确测量。如果不能对整体应力分布进行精确测量，就无法实现有效的板形控制。（Stressometer板形系统的测量精度通常为0.5 I单位。）
- 测量不得受轧机干扰的影响，如变化的带材张力。
- 测量必须在轧机的各种速度下都能同样有效地实施，测量范围不受带材厚度的影响，包括带材的边缘、头端和尾端。
- 在每轧制一米带材所需的几 ms时间内，测量系统必须向板形控制系统提供数个精确的输出数据。
- 必须以直观的方式向操作人员显示实际板形。

如今的Stressometer板形系统可用于热轧和冷轧，能够处理从0.005毫米铝箔到12毫米不锈钢的厚度和产品。

- 系统必须能够在无需任何调整的情况下处理各种不同的产品，并且不得损坏带材表面。
- 板形控制系统必须能够在所有场合以及所有产品上同时、高效地使用轧机的所有执行器。由于不同的几种执行器的组合可能对板形产生相同的影响，系统必须能够选择最高效的组合。不需要手动控制。在这方面，Stressometer板形系统配备先进的控制设备，包括扩展奇异值分解 (ESVD) 和自适应控制/预测控制→8。

04





05

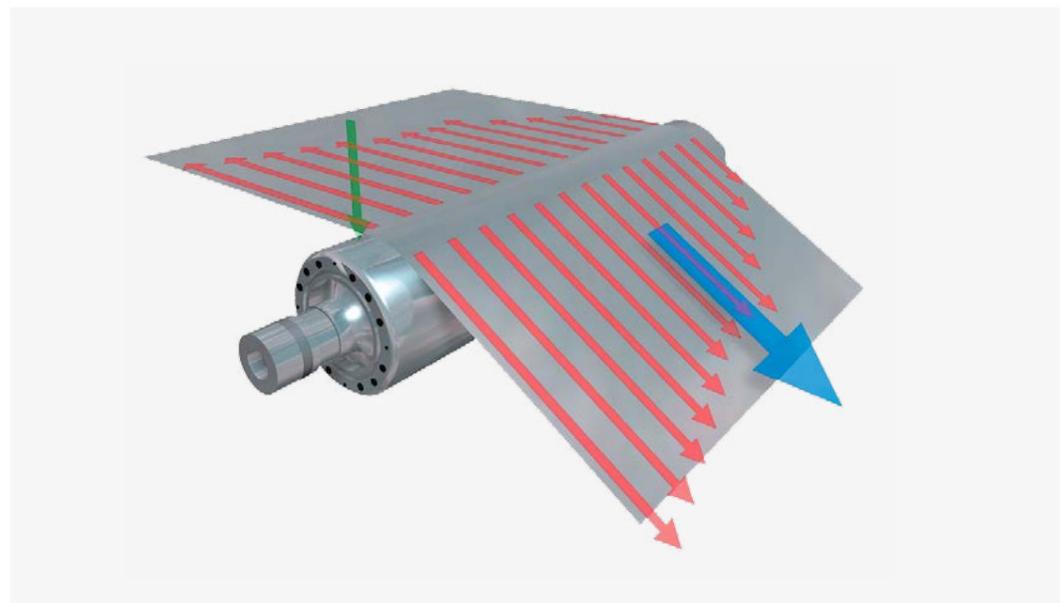
### 板形控制的挑战及潜力

轧制行业在过去的50年里面临诸多挑战，未来必将迎来更多挑战。其中始终存在的一项挑战是，如何以可持续性的方式进行生产，从而最大程度地减轻对环境和气候的影响。Stressometer板形系统有助于提高质量和产量，这意味着生产每吨成品所需的能耗更低。另一项挑战是，提供的设施要能够在短交货期内生产更多市场所需的产品、合金和尺寸规格，并满足短期、定制的要求。这些要求意味着，这些设施可以在不降低质量或生产效率的情况下，几秒内就从一种产品转换到另一种完全不同的产品。

Stressometer板形系统在降低成本方面也具有巨大潜力：轧机生产效率直接受产量、轧制时间以及断带引起的停机影响。在铝材冷轧机中，每次断带产生的利

— **Stressometer板形系统的平均维修间隔时间 (MTBR) 超过20年，并且支持免维护、非接触式的测量辊信号传输。**

润影响 (BLS) 通常为10,000美元。就产量而言，每次断带通常影响0.1%的产量，即150,000美元的利润影响；以轧制时间计算，每次断带在每秒钟即产生100,000美元的利润影响。鉴于如此多的敏感因素，无论多么微不足道的一次改进都将带来巨大的经济回报。



06



07a



07b

— 05 辊缝和带材相匹配可确保带材板形。不匹配则会导致整个带材的非恒定延伸，从而导致板形问题。

— 06 Stressometer板形系统测量辊上的应力分布。

— 07 Stressometer信号处理硬件。

07a 1967年，需要三个模拟电路板来处理来自一个测量区的信号。

07b 如今，信号处理已完全实现数字化，数据传送装置可并行处理80个测量区。

— 08 基于扩展奇异值分解 (ESVD) 的板形控制。

08a 驱动器。

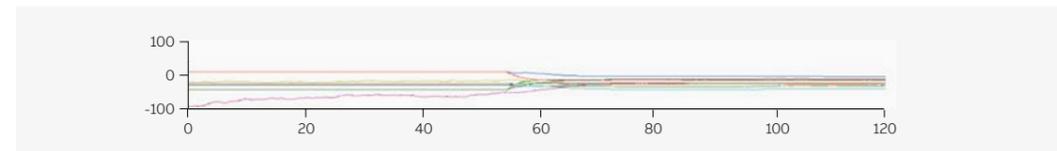
08b 板形效果。

08c 平均板形和控制策略。

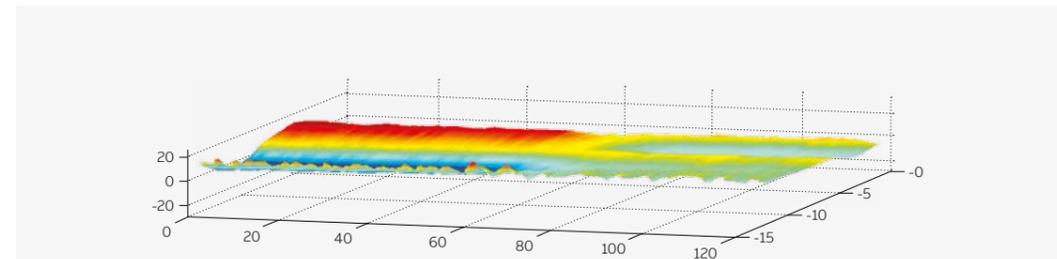
历经50年的发展，Stressometer板形系统在产品方面实现了显著改进：

- 适用于任何热轧或冷轧产品
- 测量辊的可靠性极高，平均维修间隔时间 (MTBR) 超过20年
- 全面提升分辨率、精度、响应速度和可视化水平
- 板形控制的概念得以延展，涵盖现有的所有轧机类型，并优化可用执行器的使用

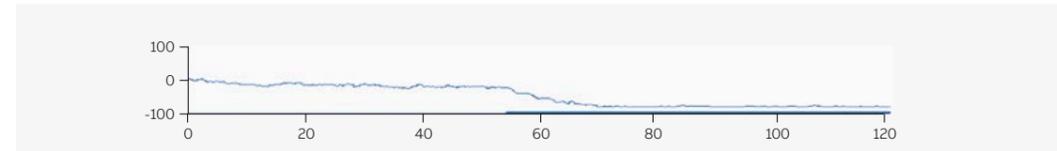
通过与客户进一步合作，可明确如何将质量和生产效率提升至新的水平，也许可通过将板形控制延伸至上、下游生产过程。这包括在热轧过程中对带材断面的控制，从而确保在下游实现一致且可控的板形。未来的系统还将实现与物联网+（物、服务与人的互联）的安全连接。这种连接将使ABB能够远程协助客户，最大限度优化轧制过程的长期操作性能。



08a



08b



08c

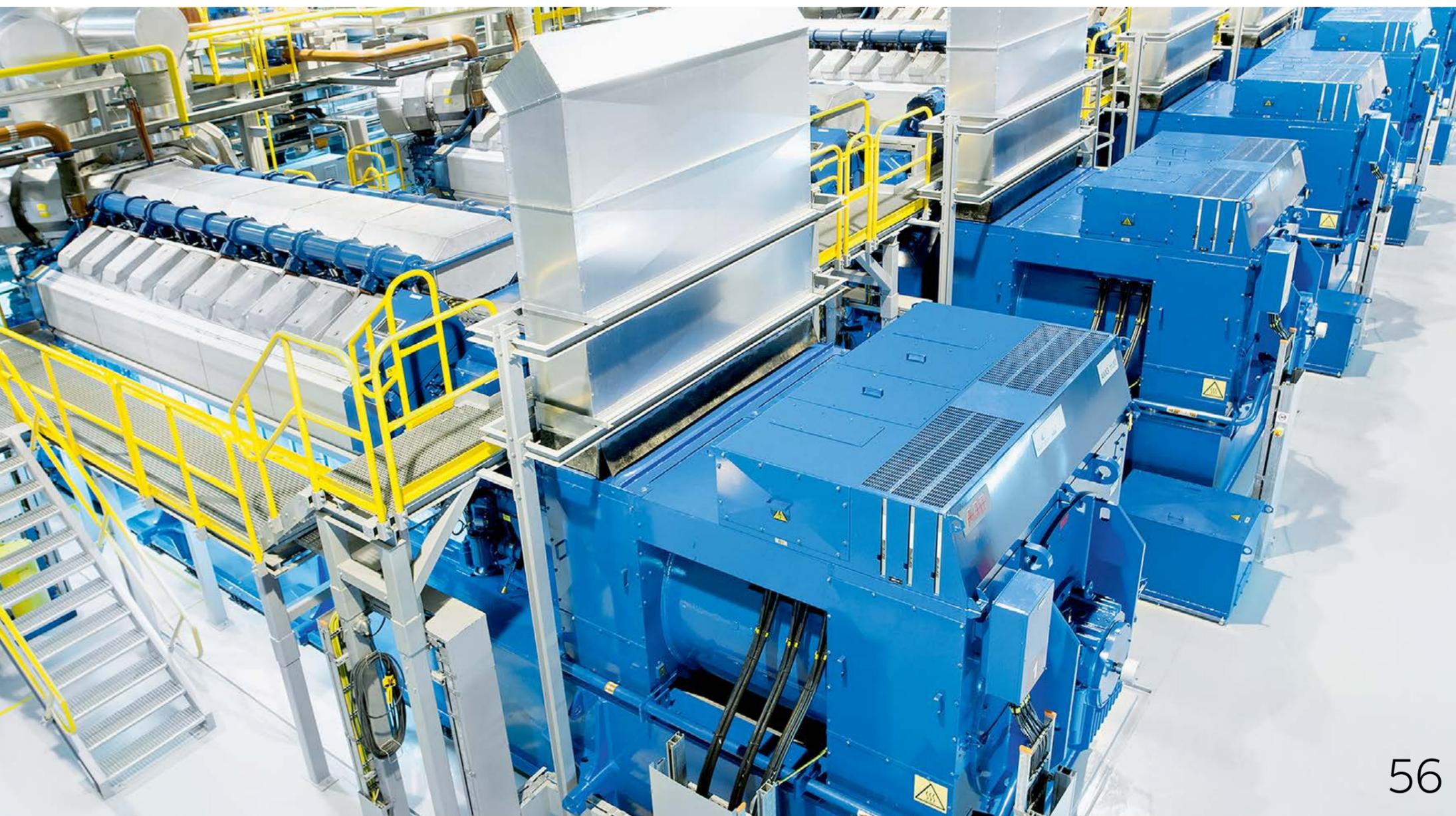


# 服务和可靠性

在制造业和基础设施中，“不间断运行”具有特殊意义。对于希望提升现有资产价值的企业，这是一个梦寐以求的目标；对于电力等关键服务部门，则是一个绩效要求。

此外，随着世界联网程度逐步提高，对连接的可靠性依赖性日益加大。设备和系统需要在中断后迅速恢复工作，最好是从根本上杜绝问题的出现。ABB致力于寻求创新的方式，最大限度地挖掘现有设备的价值，同时确保其与新设备的兼容和可靠的运行。

- 50 改造释放潜力
- 56 波动发电时代的发电机
- 61 IGBT变频器延长Re460机车使用寿命



服务和可靠性

# 改造释放潜能

一种优化ABB传动产品生命周期的现代方法，可即刻实现性能提升，并以更具可持续性的方式，为在用设备注入新的生命力。



01



Marjukka Virkki  
芬兰服务业务负责人

芬兰赫尔辛基  
marjukka.virkki@fi.abb.com

随着用户的传动设备老化，传动生命周期服务成为其运行中日益重要的一环。传动服务不仅可以防止故障，还能提升传动资产生产率、可靠性以及公司的整体运营效率。改造服务是ABB推出的一项解决方案，能够进一步释放老化传动设备的潜能并提升其性能。

**改造服务是ABB推出的解决方案中的一项，能够进一步释放老旧传动设备的潜能并提高其性能。**

## 服务是关键

随着企业越来越注重自己的核心竞争力，它们对传动供应商提供的服务需求增加，并成为其运营中更重要的环节。传动是许多不同工业过程的重要组成部分，能在多种应用中提高能源效率、生产力和电机的性能。因

此，传动设备的意外停机可能会中断生产运行，并给企业带来一系列的问题。

最好的策略是在故障发生前阻止其发生。在产品生命周期中，这通常意味着进行定期的预防性维护。但对于已处于生命周期末期的工业传动设备来说，改造或更换则是最大限度降低运行中断和计划外停机风险的最佳解决方案→1。与此同时，这两项服务往往还能提升传动设备的性能→2。

基于生命周期管理思路，ABB开发出一个生命周期管理模型，用以演示传动产品在生命周期各个环节的性能和可用性→3。该模型将产品的生命周期分为四个阶段：活跃期、经典期、受限期和淘汰期。在产品的活跃期和经典期，ABB提供全方位的服务和支持。而在限制期和淘汰期，往往唯一可行，因此推荐的服务是更换和改造——即更新传动，并使产品的生命周期状态恢复到活跃期。

—  
01 改造方案通常根据客户的具体需求量量身定制。

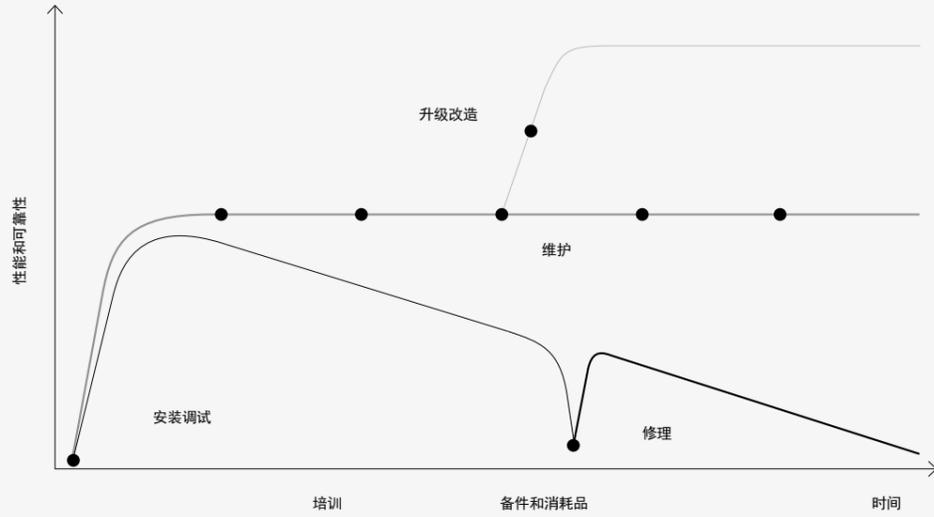
由于工业企业对其投资通常有几种不同的维护策略，ABB的丰富的解决方案可允许用户选择最有力支持其策略的传动服务。作为生命周期管理模型和ABB服务产品的一部分，改造支持更换服务和其他解决方案，为ABB客户提供不同的传动维护方案。

**ABB丰富的解决方案允许工业企业选择最能支持其策略的传动服务。**

## 改造服务的发展

设计改造方案的起点往往很复杂，因为改造需要高超的工程技能来将最新的传动技术应用于各代传动产品中，而与此同时必须将客户的需求——如快速安装、定制需求——以及各种现场条件纳入考虑范畴。为了有

效地向ABB客户提供最佳的性价比，ABB早在2010年前就启动了改造方案标准化的项目。2007年，现任芬兰服务业务负责人Marjukka Virkki当时还是一名传动服务研发经理，同时负责管理改造标准化和概念开发项目：“我于2007年开始担任改造项目经理一职，当时就意识到，要想成规模地为所有潜在客户提供高质量的改造服务，就不能驻足于全部提供单一特殊改造方案的模式。尽管，这种方式可完全满足客户的确切需求，但却对文档质量、安装时间和售后支持提出了挑战，同时也无法通过优化供应链来实现产品成本优化目标。根据客户反馈，我们既要缩短交付时间，又要应对需求量的增加。如果不实现标准化，根本是不可能的事情。随着全球装机数量的增长，我们需要进一步提升现场服务能力，因此对高质量文档、培训材料和课程的需求变得更加明显。于是我们建立了一个持续学习流程，来降低风险概率。



02

- 02 产品性能和可靠性随时间推移的变化。
- 03 ABB 的生命周期管理模型。
- 04 在SSAB的海门林纳3号镀锌生产线，151台老化的ACS600传动设备将在5年内完成现代化改造，以确保其可维护性和可靠性。

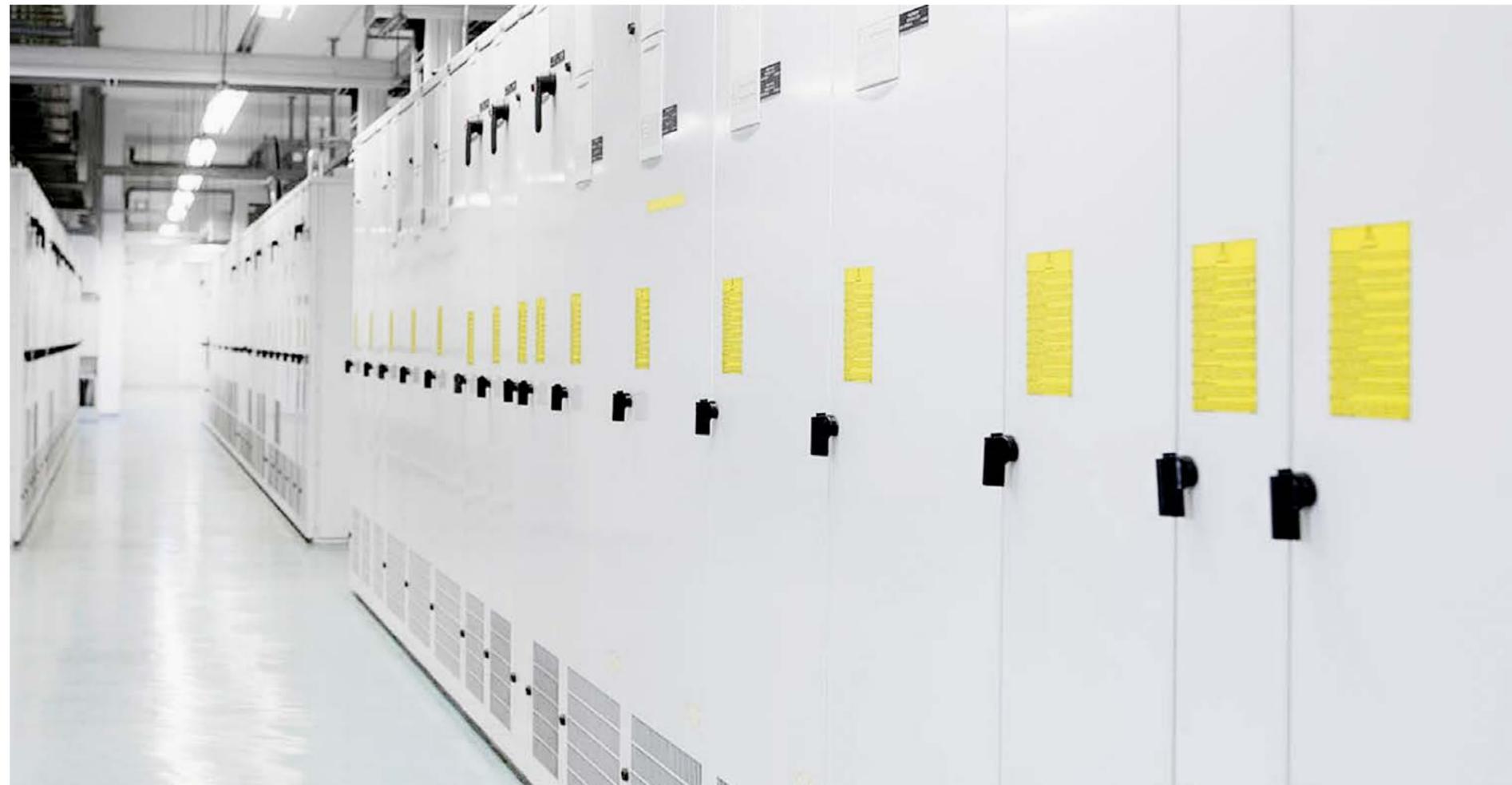
在进行开发工作之初，我们首先评估市场形势和需求，然后在小型项目团队的帮助下，基于标准化组件定义产品结构，并创建文档、说明书和流程描述。我们还与采购部门紧密合作，根据明确的关键业绩指标和目标选择供应商并建立批量生产线。”

现如今的大多数改造服务都是以标准套餐的方式交付。基于持续学习原则，ABB可确保提供最高质量和最具成本效益的改造方案，同时快速交付和安装。此外，标准套餐可最大限度缩短改造项目的时间并降低其风险。

**改造服务的开发始终围绕客户进行，旨在满足客户需求。**

改造服务的开发始终围绕客户进行，旨在满足客户需求。Marjukka进一步解释了如何确保为客户提供最优质的服务：“在改造服务的开发中，我们尽可能地选用与最新传动产品相同的组件，从而使安装和组装更高效，同时提高了改造的可靠性，因为现有组件已通过产品工厂的测试和批准。在产品开发中，我们还进一步利用现有的设计和文档标准以及工作方式。时至今日，改造中的一切——从气隙尺寸到电涡流控制——均有望达到我们新产品相同的设计等级。这也正体现了我们的高质量标准。”

04



03

尽管标准套餐具有诸多优势，但ABB仍然根据具体情况制定特别改造方案，以确保满足客户的个性化需求。在ABB的所有改造方案中，系统化文档方法、质量保证以及训练有素的工程师共同确保传动的高质量 and 长使用寿命。

**新服务产品试点成功案例**

在新服务开发背景下，ABB已在多个国家成功实施数个试点项目，客户遍及众多行业，如造纸和纸浆、金属、矿山和食品饮料等。通过这些试点项目，ABB确认了新改造项目设计的可靠性，并验证了内部流程（从下订单到交付直至改造最终安装和调试）的功能。



05

其中一个试点项目是与SSAB合作成功完成的。在试点成功后，SSAB决定对其位于芬兰海门林纳的3号镀锌生产线上所有传动设备进行现代化改造。该项目包括对151台传动设备进行改造——将在五年内逐步安装→4。

SSAB是一家全球化钢铁公司，专注于生产高度专业化的钢铁产品，尤其在优质高强度钢以及调质钢生产方面处于领先地位。SSAB海门林纳工厂的3号镀锌生产线主要生产用于建筑和汽车行业的镀锌钢板，其生产的高度特殊化产品无法在其他地方生产，因此确保其稳定运行非常关键。

**ABB可确保提供最高质量和最具成本效益的改造解决方案，并快速交付和安装。**

#### 定制化改造

几年前，ABB向SSAB通报了ACS600传动设备接近其生命周期终点、因此今后技术支持和备件供货可能会受到限制的情况。在考虑多种方案后，SSAB选择了ABB的改造服务，即对产品进行现代化改造，使其恢复至生命周期的活跃阶段。

SSAB海门林纳工厂电气维修部经理Tero Saarenmaa表示，“逐步改造方案对我们而言再合适不过，这使我们在全方位支持和服务下能够利用原备件对这些关键传动进行有效的预防性维护。此外，通过这个项目，我们可以将旧产品用作更早ACS600传动的备件，直至改造完成。整体成本效益和停机时间缩短是我们选择改造服务的关键因素。”

ABB传动与控制服务销售经理Matti Aaltonen还进一步表示，针对SSAB的需求提供量身定制解决方案的能力非常重要，“鉴于标准改造解决方案无法完全满足SSAB的要求，因此我们根据其具体需求提供定制化解决方案。旧机柜内的所有组件都将被移除，取而代之的是将定制的ACS880改造套件装入更宽的ACS600MD机柜→5。传动控制仍将通过现有AC80控制系统实现，仅对AC80软件进行一些修改。项目范围包括调试，新ACS880传动所需少量的程序更改将在每次维护停机期间进行。”

—  
05 旧的传动设备（左）和改造后的传动设备（右）。

—  
06 对ACS880的ACV700/SamiStar机械设计进行改造，包含两个模块。

#### 现代服务业务

尽管客户选择的原因各不相同，但改造仍具有一些明显优势。选择改造最常见的原因之一是，这项服务使得公司能够逐步进行新的投资，而不必依靠一次性投资。

因为投资可以在较长时间内进行，改造不仅可以减少客户的固定资本支出，而且还允许在较短的生产中断期间完成安装。改造受益于新技术，因此通常能提升传动效率。例如，新一代传动具有远程连接和自诊断等嵌入式功能，使得远程支持和状态监控服务成为可能，从而优化传动并提高其可用性，和加快故障响应速度。此外，通过使用现有的传动机柜、电缆和电机，客户可节省大量的资金和时间，因为不需要重新设计或进行任何更改（例如在冷却系统或电缆布置中）。

随着全球人口将地球资源推向极限，企业对环境的影响和对资源的利用已变得愈发重要。为此，改造服务通过使用现有的电缆、电机和机柜可最大限度减少材

**通过改造，客户在未来数年内将进一步得到全方位的生命周期服务和支持。**

料浪费，同时采用了最新技术及更好的工具和诊断手段→6。根据ABB在2015年进行的一个制浆造纸的案例研究，改造的二氧化碳排放总量较之新产品减少65%以上；新产品的二氧化碳排放量合计达6405 kg，而改造套件的排放量只有2215 kg，主要体现在设备生产和运输两方面。

对改造后的传动设备，ABB承诺为其提供最新的传动系统和产品支持。改造是实现已安装设备现代化的一种快速有效方式，能够帮助客户工厂和流程即刻提高性能。通过改造，客户在未来数年内将进一步得到全方位的生命周期服务和支持。



06

服务和可靠性

# 波动发电时代的发电机

调峰电站面临频繁启停和快速负载循环。改进电站交流发电机的设计，使其能够承受额外的应力是确保可靠性的基础。需要特别注意的设计参数都有哪些呢？

**Timo Holopainen**  
**Jari Jäppinen**  
**Juhani Mantere**  
**John Shibutani**  
**Jan Westerlund**  
 ABB电机与发电机业务单元

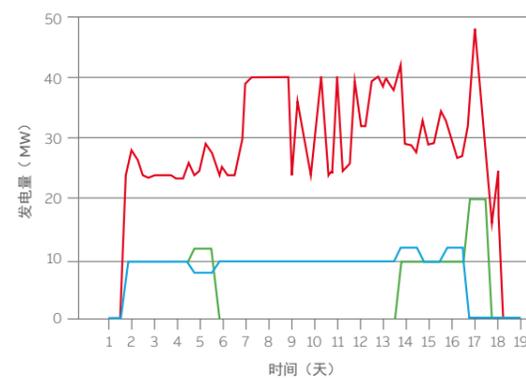
芬兰赫尔辛基  
 timo.holopainen@fi.abb.com  
 jari.jaappinen@fi.abb.com  
 juhani.mantere@fi.abb.com  
 john.shibutani@fi.abb.com  
 jan.westerlund@fi.abb.com

**Mats Östman**  
 Wärtsilä Finland Oy  
 芬兰赫尔辛基

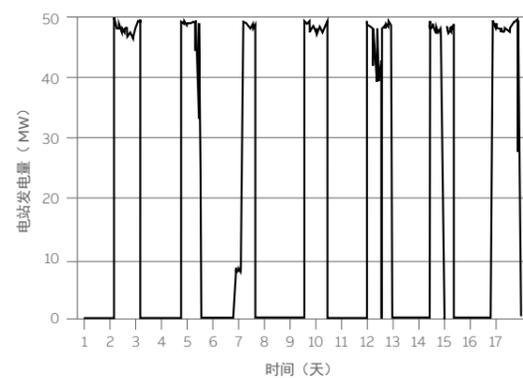
**Joonas Helander**  
 前ABB员工

越来越多的可再生能源发电并网。其中很多可再生能源发电设施的发电量时高时低，其波动必须由灵活的调峰电站来补偿。与传统发电机相比，调峰电站面临频繁启停和快速负载循环。对调峰电站实际负载循环的研究表明，在设计中必须纳入考虑的关键因素是，热加载循环和速度加载循环次数增加。改进交流发电机的设计，使其能够承受额外的应力，是确保可靠性的基础。→图1

在立法和应对气候挑战这一全球性浪潮的推动下，可再生能源的渗透率正在上升。可再生能源发电——在



02 — 净发电量 (MW) — 向上调节 — 旋转备用



03

—  
**预计热应力主要是在交流发电机的绕组和铁芯区域产生。**

许多情况下波动不定且无惯性——的更广泛应用，对电网、系统控制和现有发电设施提出了新的挑战。其他电站面临更频繁的启停以及更高的加载和循环需求，所有这些都很有可能为现有设备招致额外的成本和压力。



01

—  
 01 调峰站的交流发电机设计，须适应电网可变可再生能源发电上升和下降响应需求所导致的热应力和机械应力。图中所示的是爱沙尼亚Kiisa电站的发电设备，配备独立的发电机组

—  
 02 内燃机电站在18小时发电期间的平衡功率测量值

—  
 03 电站在2013年8月的一周内的发电量

—  
 04 热循环分析中使用的发电机负载曲线

04a 重复：在5分钟内从空载升至满载，保持5分钟，随后在1分钟内降至空载；5分钟停滞期。

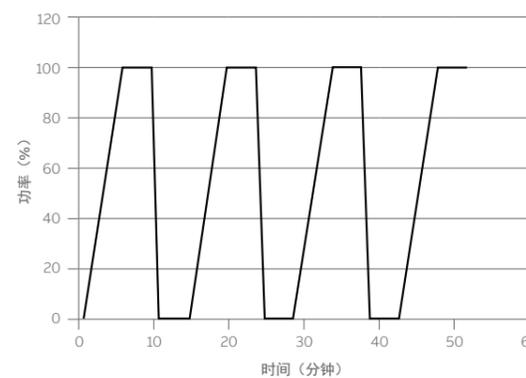
04b 在5分钟内快速升至满载，保持2小时，随后在1分钟内迅速降至空载。

## 电站负载循环

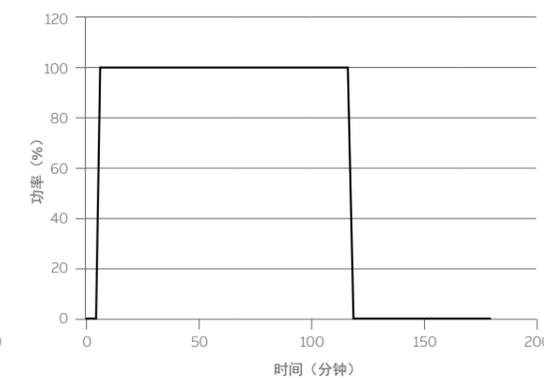
传统意义上，交流发电机在不间断的长时间内以额定工况和恒定速度运行。这决定了交流发电机结构件的设计原则和尺寸。电网平衡运行需要运行期和停滞期的快速交替，从而导致更频繁的启停。→图2

原则上，传统发电机和电网平衡发电机之间的差别在于，负载循环次数和负载变化的陡度。

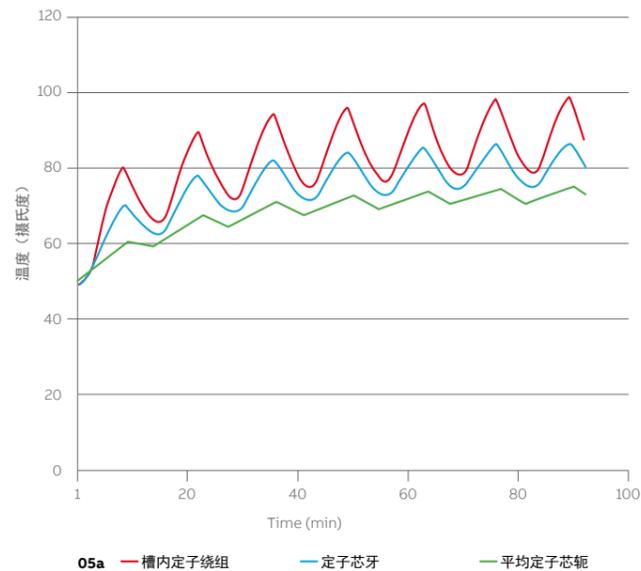
现代发电机组可在30秒内从零速升至全速，在五分钟内升至满载；从满载到停机的时间是一分钟。→图3所示的设备在六天内有九次起停，平均每年500次。在实践中，循环次数甚至可能更高。



04a



04b



### 负载曲线

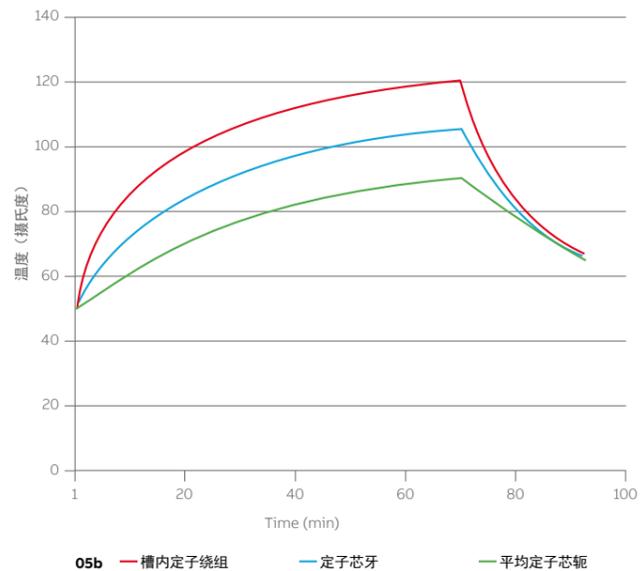
通常情况下，交流发电机部件的升温和冷却是不均匀的，其热时间常数也不相同。这种瞬态各向异性是引起热应力的主要原因，并且增加了热循环分析的难度。

为了分析和模拟热行为，选择了两种不同的负载曲线——选自上述真实场景。→图4这些示例提供了负载/停止循环的最大次数（同时给出了热负载循环的最大次数用于评估→图4a）以及绕组和铁芯之间接近其最大值的温度梯度。→图4b

### 热循环分析

预计热应力主要是在交流发电机的绕组和铁芯区域产生。要对热应力进行预测，要求温度分布可模拟。铜的导热性很好，钢的导热性也不错。因此，最大温度梯度存在于铜-铜和铜-钢接头表面之间的电绝缘层中。这些部件之间的温差决定了交流发电机的热应力。

应用热网络方法，对交流发电机有源部件（如定子）的瞬态热性能进行预测。在连续数次短时加载/怠速循环的情况下，负载循环期间绕组和铁芯之间的温差



## 传统发电机和电网平衡发电机之间的差别在于，负载循环的次数和负载变化的陡度。

变化可高达10 K至25 K。当接近最高工作温度的满载期较长时，绕组和铁芯之间的温差可达到30 K。→图5b

当定子线圈由于浸渍处理而粘在槽壁上且不能自由移动时，绝缘层产生内应力，如果不采取适当措施，则可能导致开裂。

### 速度循环分析

通常，交流发电机振动的根源是内燃机的往复力。四冲程内燃机在转速全谐波和半谐波上产生激振力。发电机组非常复杂，只有通过数值模拟才能对振动特性进行所需精度的预测。要可靠地研究结构设计的疲劳强度，唯一的方法是对整个发电机组进行响应分析。连续运行发电机的振动设计主要基于避开主共振。由于启停次数多，电网平衡应用的疲劳设计也需要对启停情况进行分析。

—  
05 交流发电机的预计定子温度 (20.8 MVA、13.8 kV、60 Hz和514 rpm)

05a 在最大热循环频率下，绕组和磁芯之间的温差约10 K至25 K之间，在第一次循环后达到峰值

05b 在最大热循环幅下，绕组和磁芯之间的温差达到30 K的水平

—  
06 绕组绝缘寿命验证测试结果示例（阿伦尼乌斯方程，拟合使用最小二乘法收集测试数据）

### 对交流发电机设计的影响

基于热循环和速度循环分析以及其他高循环发电机和电机应用的经验，在为电网平衡应用设计可靠的交流发电机时，必须仔细考虑其中的几个部件。

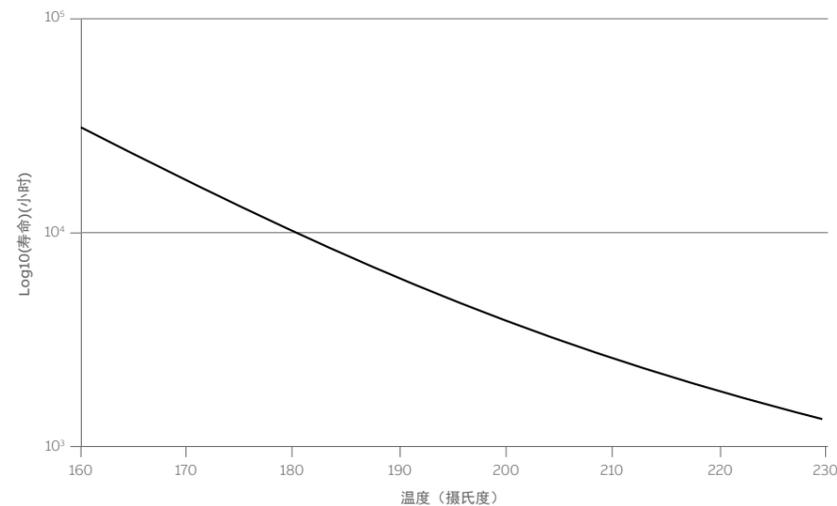
### 绝缘和绕组系统

如上所述，热循环对绕组和绝缘产生不利影响。经验与分析表明，全局真空压力浸渍（VPI），使得定子和转子（层压铁芯和绕组）具备卓越的特性。

在开发过程中，通过测试验证系统是非常重要的。在典型的热循环测试程序中，将几组测试导条置于烘箱中加热至不同的温度和循环时间。然后将测试导条应用于振动台上的机械应力、湿度以及导体绝缘和主绝缘的电压测试中。

### —

交流发电机部件的升温和冷却是不均匀的，其热时间常数也不相同。这是引起热应力的主要原因，并且增加了热循环分析的难度。



重复测试循环，直到每组中一定数量的测试导条在电压测试中绝缘失效。随后利用阿伦尼乌斯规则，基于每组的测试结果计算生命周期。→图6近期对使用中浸渍系统的测试结果符合要求。

### 端部绕组

端部绕组及其支撑结构和连接面临由加速、减速和频繁电网切换引起的热循环和振动。

定子端部绕组的振动是大型电机中主要关注的问题。尤其是在两极电机中，绕组端的固有频率趋向于降低至接近两倍电源频率（100/120 Hz）。因此，在这些电机中，需要特殊的支撑结构，以增加绕组端刚度和固有频率。但在多极交流发电机中，绕组端部短，且固有频率足够高，无需任何额外的支撑结构。

端部绕组结构的开发和设计采用一套现代化方法，包括三维有限元分析（FEA）。这种方法用于计算受力以及静态和动态响应。→图7

对于具有全局VPI的端部绕组支撑系统，其结构和设计赋予了现有应力卓越的特性。这意味着中速电网平衡交流发电机的端绕组设计坚固耐用，且具有鲁棒性和抗振性能。

07 端部绕组分析示例

07a 振型

07b 瞬间施加的磁力分布

在励磁不足（消耗无功功率）的情况下运行，导致磁芯端区域的热应力。在中速交流发电机（高极数）的情况下，由于线圈宽度更小且端部区域磁通分布更有利，因此影响不那么严重。

### 机架

交流发电机的机架与内燃机一起安装在公共基座上。交流发电机机架的设计，主要由发动机通过基座传给发电机的振动载荷决定。因此，与安装在混凝土底座上的交流发电机相比，机架设计更具有鲁棒性。

交流发电机机架设计还取决于抗疲劳强度。要想设计

可靠的交流发电机，同时采用具有成本效益的机架结构，需要对整个发电机组的动力学全面分析。整个发电机组的响应分析（数值模拟）是成功的关键。

可以模拟发电机启停过程中的疲劳应力分析。基于应力变化历程，可通过常规方法评估疲劳寿命，然后对关键结构元件进行修正，以抵抗疲劳载荷。最终，这种方法可确保交流发电机机架达到预期寿命，不发生任何疲劳失效。

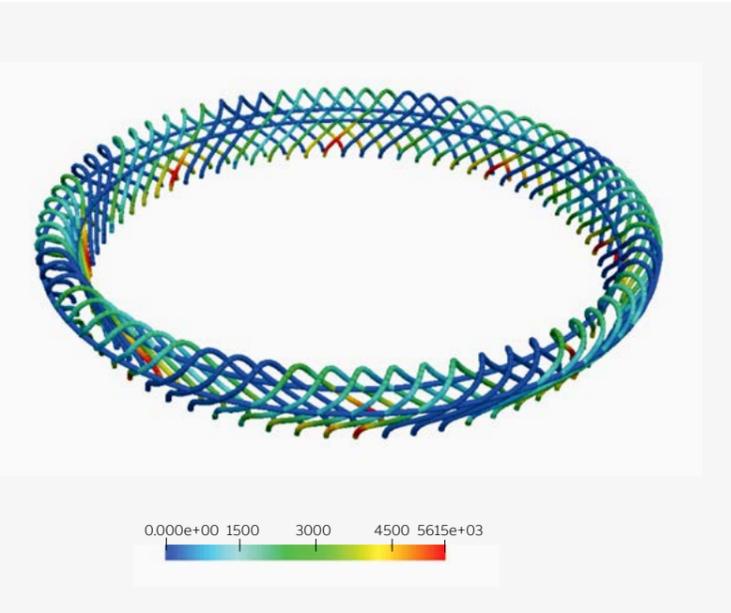
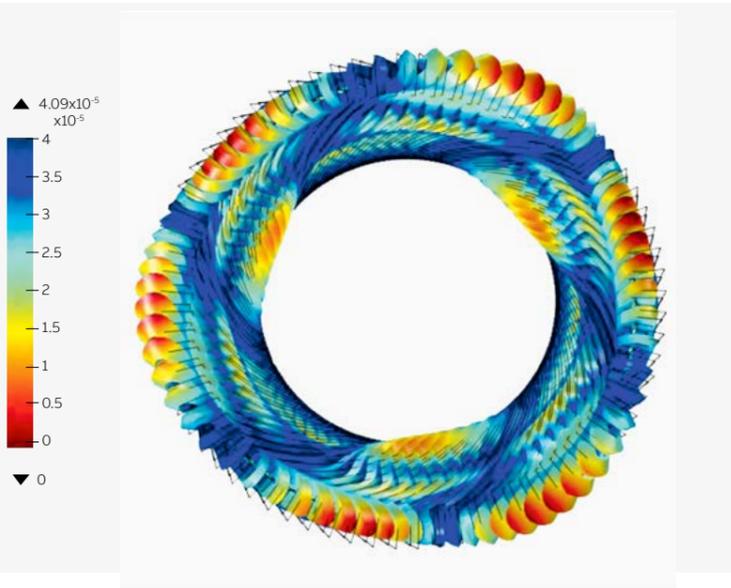
### 全局真空压力浸渍可赋予整体定子和转子卓越的特性。

### 转子和轴承

对于转子设计，中速交流发电机总是亚临界。这意味着，转子的第一个挠曲临界速度高于交流发电机的额定转速。转子在循环加载期间不会越过任何挠曲临界速度，从而为转子和轴承设计提供了自由空间。这对于速度更高的交流发电机（如双极设计）是明显的优势。热循环对转子的影响与对定子的影响相似。转子设计的主要原则是，在温度循环期间保持部件之间的接触，从而避免树脂机械疲劳。此外，轴承配备有自升式系统，可实现多次启动而不产生磨损。

### 良好设计确保长寿命

可变可再生能源发电的时代意味着，电网平衡发电机必须比传统发电机组承受更多次数的热循环和速度循环。电网平衡交流发电机的设计，尤其需要关注运行的可靠性。但基于优化设计，交流发电机也将能够很好地承受这些新产生的更大应力，并在很长的使用寿命期内确保可靠性。



## 服务和可靠性

# IGBT变流器延长 Re460 机车使用寿命

ABB向瑞士联邦铁路（SBB）提供先进的IGBT变流器，实现Re460机车的现代化改造并延长其使用寿命。



Thomas Huggenberger  
原ABB离散自动化与运动控制业务部电能转换业务单元

瑞士图尔吉  
thomas.huggenberger@ch.abb.com

瑞士的铁路系统以其网络密度、准时性和运行频率闻名世界，日均载客数量超过百万人次。为进一步延续成功并为未来需求作好准备，瑞士铁路系统于20世纪80年代后期推出了雄心勃勃的“铁路2000”计划，旨在增加运力并提高运速。该计划的核心是引进Re460机车。1992年至1996年期间，共有119辆Re460机车投入运行。→图1它们配备GTO（门极可关断晶闸管）变流器和异步牵引电机（均由ABB制造），代表着当时的最新技术。

20多年后，Re460机车仍然在提供优质服务，占瑞士联邦铁路公司（SBB）客运公里数的一半左右。到目前为止，各机车在生命周期内完成旅程约550万公里，相当于在地球和月球之间往返七次。

尽管Re460的结构坚固且设计寿命长，但电力电子技术在过去几十年内已取得长足进步。例如，在牵引应用中，GTO已被灵活的IGBT（绝缘栅双极型晶体管）广泛取代。SBB决定启动一项中期改造计划，对机车

进行更新。改造包括优化整个电气系统，能够将使用寿命延长20年，同时提高能源效率和维护性。改造预计将实现每年节能2700 GWh，相当于6750户瑞士家庭一年的用电总量。

### ABB的专业性

ABB在节能型牵引变流器以及牵引电机和变压器的研究、开发和制造领域处于领先地位，电气化铁路方面的经验可追溯到一个多世纪前。

除提供新设备外，ABB在为机车提供生命周期服务支持方面同样拥有丰富经验。例如，2008年，ABB使用最先进的IGBT变流器，成功取代了德国联邦铁路（Deutsche Bahn）ICE 1系列高速列车的GTO牵引链。凭借自身对客户的承诺及其广泛的知识 and 经验，ABB于2014年赢得SBB价值约7 000万瑞士法郎的订单，为Re460车队提供最新一代的牵引变流器，旨在提高能源效率、可靠性以及维护性。



01

01 SBB的Re460机车 (图片版权归SBB CFF FFS所有)

02 两电平和三电平IGBT变频器的开关拓扑和波形。电压以黑色显示, 电流以红色显示

03 用于Re460改造的三电平相位模块IGBT变频器

现代化改造规范

SBB要求改造后的机车达到严格的规范要求, 例如根据苏黎世穿城线的高梯度曲线以及圣哥达基线隧道的环境条件制定的规范 (当Re460机车首次交付时, 这两条线路尚不存在)。穿城线提出了冗余的概念: 这条高负载通道上的陡峭梯度存在极大的风险, 因为列车在这里发生故障会对整个系统产生影响。通过改造, 发生故障的牵引电机可被隔离, 列车能够依靠剩余的三台电机继续行使。在新建的圣哥达基线隧道中, 热度、湿度以及最新的消防安全标准都对其提出了具体的要求。

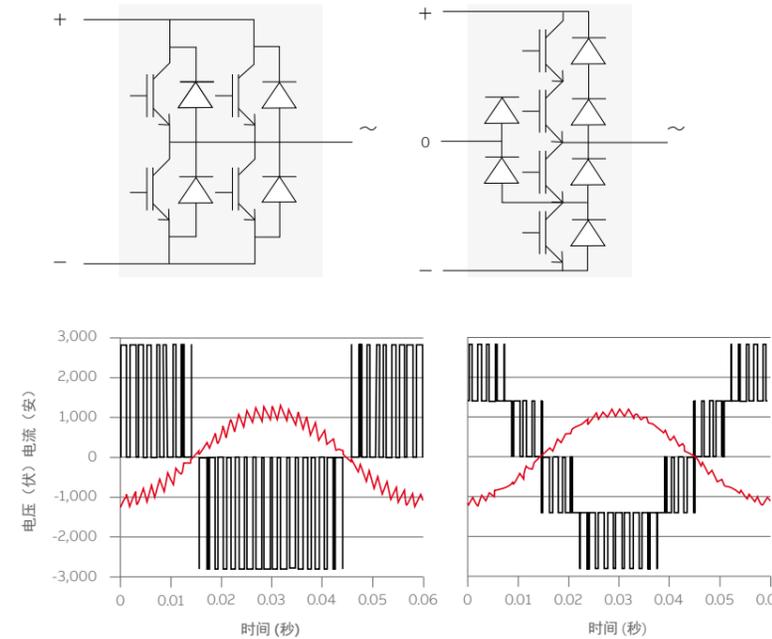
开关频率更高, 将导致开关损耗和声发射增加。

技术方案

机车诊断结果表明, 牵引电机、变压器和车辆控制系统状况良好。因此, 这些元件被保留, 其参数决定了新牵引变频器的设计, 而且要求保留3.5 kV的直流母线电压。

当时考虑了两种可能的变频器拓扑结构, 均采用IGBT。→图2第一种方案是两电平拓扑结构, 额定电压为6.5 kV。第二种方案是三电平技术, 其中上下两层的链路电压是中间层的一半。这是ABB用于将机车基于IGBT牵引变频器进行改造的首选技术, 最终被选择用于Re460。

这种三电平拓扑结构使得牵引电流的流动更接近期望的正弦波形。之前的GTO系统也具有三点拓扑结构: 由此产生的低谐波影响了牵引电机和变压器的设计。要使用两点拓扑实现相同的谐波水平, 需要高开关频率。这意味着更大的开关损耗以及绝缘材料上的应力增加。除电子和能源优势外, 采用的解决方案还具有低声波发射特性。



02



03

采用3.3 kV三电平拓扑还无需对IGBT进行并联连接。具体而言, 电网侧变频器 (两个转向架均配有一个这样的变频器) 由四个相位模块单元组成。两个电机侧变频器各由三个相位模块单元组成。→图3不需要并联连接中所需的IGBT模块匹配。

电源电路和机械结构

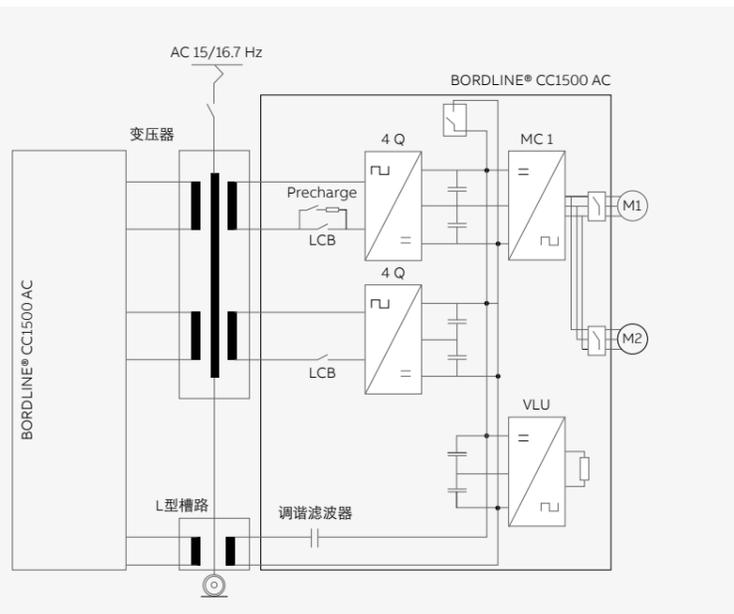
除使用IGBT技术外, 电源电路的拓扑结构与原来的基本一致。水冷式IGBT相位模块基于ABB的BORDLINE牵引变频器平台。电网侧变频器中使用的相位模块与电机侧变频器中的相位模块相同。该类型同样用于其他改造项目, 包括德国的ICE 1。

变压器具有四个二次侧线圈, 其中两个分别连接至两个相应的变频器。→图4每个线圈连接至一个整流器单元, 整流器单元从变压器获取电力, 但当机车制动时也可将电力回馈电网。

变频器的直流侧电压连接至直流链路电容器, 借助调到33.4 Hz的谐振电路使其平稳。这一步是必要的, 因为16.7 Hz单相铁路电网不能连续供电。电源以电网频率双倍的脉冲提供给电机侧变频器。

直流母线电压由三电平电机侧变频器整流为三相交流, 产生控制转速和转矩所需的电压波形。

两个牵引变频器各自向一台转向架并联的两台电机供电。这种新型的电机分离方法支持断开发生故障的电机。



04

04 变频器的电路图

05 ABB图尔吉实验室测力计上的Re460机车电机定子, 正在进行测试, 目的是测量切换操作过程中线圈上的电压

06 定子试验的测量结果。该图显示了IGBT开关过程中局部绕组电压的瞬态超调。必须加以限制, 以免损害电机

### 机械施工

新款紧凑型IGBT变流器是水冷式。之前的油循环系统正被水冷系统完全取代。新系统既减少了能耗, 又环保安全。

新的冷却设备更轻, 所需空间更小, 为其他部件或今后改造留出了空间。采用镇流器来弥补牵引附着率降低的缺点。

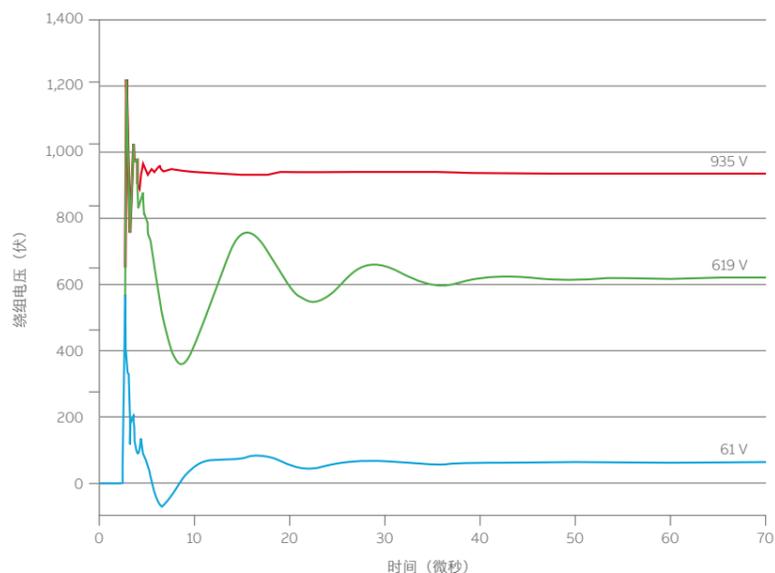


05

### 控制技术

新型变流器采用ABB的AC 800 PEC控制平台——目前最强大的控制系统之一。在接口方面, MVB (多功能车辆总线) 与其所替代的相同。功能调整得以最大限度减少 (在为数不多的变化中, 其中一项是支持前文描述的牵引电机断开)。

但在内部, PEC具备强大的计算能力, 用于为牵引电机的动态特性和能量使用提供先进的控制功能。



06 Vin: 施加到电机的测试电压  
VWM: 绕组电机内部所测电压  
Vcoll1: 绕组第一匝所测电压

控制软件是使用Matlab Simulink®创建的, 支持高效直观的实现, 同时有助于机车未来的功能调整。

### 测试

ABB在瑞士图尔吉的实验室进行广泛的测试和测量, 以及精确的操作条件模拟, 并验证设计配置, 同时确保与现有组件的兼容性。

由于现有的牵引电机是为匹配机车原有GTO变流器而开发, 因此新的IGBT变流器必须与这些电机一起测试。→图5新输出电压与现有电机绝缘的兼容性至关重要。三点拓扑结构产生与原有变流器类似的谐波模式, 因此不存在问题。在ABB测试实验室进行评估, 以确保IGBT的较大开关电压斜率不会引起过电压。→图6测试结果符合要求。

**使用新的IGBT牵引变流器完全替代GTO变流器, 是延长机车运行寿命的一种经济有效的方法。**

前两台变流器已成功安装在SBB Yverdon-les-Bains车间的一台Re460机车上。这台机车目前正在SBB铁路上进行测试, 测试将持续一年。ABB总共将提供202台IGBT水冷式变流器 (还有可能另外提供38台), 由SBB安装。改造工程将于2022年完成。

### 为未来做好准备

早在25年前推出的三电平交流列车传动系统, 继续表现出卓越能源效率和最低维护成本优势。和Re460本身一样, 这些系统体现了基本的设计意图, 仍保持良好的机械状态, 因而可继续服役20年时间。但与过时的变流器相关的技术难点、停机时间增加、更高的维护成本、以及确保备件供应的困难等问题如果不得到解决, 可能对其运行产生不良影响。使用新的IGBT牵引变流器完全替代GTO变流器, 是延长机车运行寿命的一种经济有效的方法。IGBT技术能够在能源效率、牵引功率调节以及易维护性方面, 将系统提升至与现代机车车辆同等的水平。

— 本文首次发表于《eb - Elektrische Bahnen》114 (2016), 第8-9期, 第485-489页。

### 延伸阅读

新闻稿:《ABB赢得价值7000万美元订单, 支持瑞士铁路SBB机车现代化改造》, 2014年9月23日。

H.Hepp, “完美搭配——ABB强大的推进变流器具有节能、高效、可靠和紧凑的特点, 适用于所有轨道车辆设计”, 《ABB评论》2/10 2010, 60-65。

Isber, J和M. Curtis, “标准化牵引电机——ABB的创新模块式感应牵引电机设定适应性新高度”, 《ABB评论》2/10 2010, 66-69。

Moine, V., Hepp, H.和S. Maciocia, “竭诚服务——ABB为轨道用户提供广泛服务选择”, 《ABB评论》2/2010, 70-76。

瑞士联邦铁路 (SBB) 2015年行动计划, www.confederation-exemplary-in-energy.ch, 于2017年1月检索 (SBB 2015年度报告)。

### 出版信息

#### 编委会

Bazmi Husain  
首席技术官  
集团研发技术部

Adrienne Williams  
可持续发展高级顾问

Christoph Sieder  
企业传播负责人

Reiner Schoenrock  
技术与创新传播

Ernst Scholtz  
研发战略经理  
集团研发技术部

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

#### 出版人

《ABB评论》由ABB集团研发技术部出版。

ABB瑞士有限公司《ABB评论》  
Segelhofstrasse 1K CH-5405 Baden-Daettwil 瑞士  
abb.review@ch.abb.com

《ABB评论》每年出版四期, 以英文、法文、德文、西班牙文出版。《ABB评论》免费提供给对ABB技术及其目标感兴趣的人士。欲免费预订《ABB评论》, 请与您最近的ABB办事处联系, 或者上网订购: www.abb.com/abbreview

部分印刷或复印需经许可。再版需经出版人书面同意。

出版人和版权©2017  
ABB瑞士有限公司  
瑞士巴登

#### 《ABB评论中文版》

余臻  
执行主编

毛旭之  
主编

马林  
责任编辑

#### 审校

宛志宏

苏斌

吴超英

聂坤燕

蔡亮

李彤

王卫国

兰淑平

赵馨

张炜昕

喻繁辉

韩方初

李军

巫晓晖

王淑慧

王照

燕飞

潘海霞

张莹

鄂飞

呼思乐

武玉全

许莉君

吴文婷

陈鹏

邵晓南

付旭

陈昌婷

严丹萍

徐少京

林宁

#### 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。在此我们声明, 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不承担任何担保、保证以及承诺。

ISSN: 1013-3119

http://www.abb.com/abbreview



平板电脑版  
您可以在平板电脑上浏览《ABB评论》。

请访问:  
abb.com/abbreviewapp

电邮提醒……  
不想错过任何一期《ABB评论》? 登录abb.com/abbreview, 注册电子邮件提醒服务。

您将收到一封包含确认链接的电子邮件, 请完成注册确认。



—  
下一期 02/2017

## 聚焦非洲

**非洲是地球上最具发展潜力的地区之一，但也面临艰巨挑战。到2100年，非洲大陆的人口数量预计将达到44亿。ABB正致力于通过技术创新来满足非洲的需求。下期《ABB评论》将着重介绍ABB在非洲的相关项目。**