

ABB

1|11

ABB集团技术刊物

# 评论

充满创新的一年 6

采集能量的设备 47

电机：确保无火花操作 52

变电站数据共享 73



# 创新

用电力与效率  
创造美好世界™





本期《ABB 评论》的封面为阿布扎比雅思酒店 (Yas Hotel) 的宏伟建筑。如此壮观的建筑设计十分吸引眼球，但游客们往往都会忽略酒店舒适性背后的一项重要创新成果——ABB 的 i-bus® KNX 智能楼宇控制系统。

未来的产品与服务将依赖于不同研发领域创新成果的相互影响。本期《ABB 评论》将着重介绍 ABB 近期取得的创新突破。

## 创新

- 6 最佳创新成果  
2010 年 10 项最佳创新成果
- 12 合作创新  
通过合作助力 ABB 研发

## 开关设备

- 18 技术的智能变革  
eVD4 提升中压配电网网络简易性与可靠性
- 24 开关与地震  
经过认证的核电站开关柜是产业链中的关键环节

## 传动与变流器

- 29 传动的价值  
先进的 ABB 环形齿轮磨机传动（第一部分）
- 36 岸电电源  
关注岸电和船电技术，以及岸电电源标准化的实例
- 41 五电平变流器  
ANPC-5L 技术与 ACS 2000 传动

## 生产率

- 47 收获季节  
采集能量，为过程工业监控打造更加自主的设备
- 52 确保无火花操作  
同步和感应电机、发电机确保操作无火花产生
- 56 全速前进  
变频器控制的同步电机正为工业应用带来更高效率

## 能源

- 63 另一种可替代燃料  
增效节能是许多发电厂可持续能源政策的关键组成部分
- 68 经受住冲击  
ABB 帮助配电变压器承受快速瞬态电压
- 73 共享数据  
ABB 正在实现首个 IEC 61850-9-2 LE 过程总线技术的商业运用

## 问卷调查

- 78 《ABB 评论》读者调查结果揭晓

# 创新



唐维诗  
ABB 集团首席技术官

## 亲爱的读者：

技术是现代发展的一个决定性因素。只要看看我们所依赖的制造工艺或为我们供电的电源设备，就不难了解各类技术对于我们来说有多么的重要。未来世界与今日之不同很大程度上取决于技术进步与突破。凭借自身卓越的研发实验室，ABB 在推动关键技术的发展中发挥着核心作用。

本期《ABB 评论》从 ABB 全球实验室精选了 10 项最具代表性的创新成果，以短小的篇幅向各位读者展现它们的魅力，并将在近期以及未来几期更深入探讨其中部分问题。

最近几十年，电力电子是变化最大的技术领域之一。紧凑可靠的半导体设备使电力电子技术达到前所未有的灵活、高效与完美控制。本期《ABB 评论》用三篇文章介绍了传动系统和变频器的创新成果，其中一篇重点介绍了赢得业内大奖的 ACS 2000 传动——ABB 首台无变压器中压传动系统。

电机几乎是所有制造工艺的“心脏”，不同应用需要电机进行不同的用户化设计。其中一篇文章详细介绍了 ABB 无火花电机及其在防爆中的重要性。另一篇文章则介绍了 ABB 的低损耗同步电机。还有一篇引人深思的文章放眼更广阔的能效，指出提高发电厂效率降低二氧化碳排放相当于开发出另一种可替代燃料，文章同时指出 ABB 产品如何帮助实现这一目标。

过程工厂使用大量传感器和执行机构，其中大部分仅需少量能源，但保持这一供给的连续性则是一项重大挑战。从所在环境获得能源（如通过热电效应或振动）是取代电线或电池的替代方案。《ABB 评论》在采集能量的文章中探讨了这一问题。

在输配电领域，ABB 在变电站通信 IEC 61850 标准的发展中始终发挥着重要作用。《ABB 评论》记述了一项具有里程碑意义的事件：澳大利亚一系列变电站的不断升级，代表 IEC 61850-9-2 LE 标准的首次商业应用。该标准中的子目录还显示了变电站数字通信的巨大进步。其他几篇文章分别聚焦不同类型的开关设备以及保护变压器经受住雷电冲击。

我相信，本期《ABB 评论》中所展示的创新成果将提升您发掘它们潜能意识，促使您更好地使用这些成果。

希望大家喜欢这本刊物！



唐维诗  
首席技术官  
ABB 集团



# 最佳创新成果

## 2010 年 10 项最佳创新成果

ABB 一直致力于完善和扩展自身的产品组合。公司的研发实验室遍布全球，致力于开发一系列的技术、产品和解决方案，帮助客户提高生产率和能效，同时增强客户业务的灵活性。每年，这样的成功案例不胜

枚举，挑选其中最重要的创新成果并不是件容易的事。本文集中介绍了近期的一些成功案例。本期及未来几期《ABB 评论》将对其中大部分项目和其他技术成果进行更为深入地探讨。

### 手臂纤细的 焊接专家

ABB 的 IRB 2600 中档机器人家族再添一新成员：IRB 2600ID。ID 代表集成的配套管线，即弧焊的配套管线安装在机器人中空的上臂和中空的手腕内部。

集成的配套管线不但使机器人整体外观精巧，而且性能极佳。由于无需考虑可以自由摆动的电缆的摆动影响，机器人的动作完全可以预测，这使机器人的编程更为简单，动作可以更为迅速。该型号机器人的手臂和手腕纤细，能够在狭窄的空间内作业，在不影响质量或速度的前提下轻松应对环形焊接等挑战。



所有软管和电缆均采用妥善的紧固和保护措施，减少了在焊接飞溅物中的暴露面积，从而大大延长了使用寿命。购买和更换成本降低 75%，每年可减少三次停产。此外，Fronius、Esab、Binzel 和 SKS 等多家主要弧焊工艺设备供应商还为 IRB 2600ID 量身打造了完善的焊接包。

IRB 2600ID 占地极小，底座转动部件旋转半径仅为 337 毫米，底座宽度也仅有 511 毫米。

在弧焊应用中，IRB 2600ID 可降低与其他机器人相互干扰的风险，从而实现高密度的高效安装，机器人的安装数量可增加 50%，各生产单元的产能也可提高 50%。

欲了解有关 ABB 机器人的详细信息，请访问 [www.abb.com/robotics](http://www.abb.com/robotics)

## 首个 IEC 61850-9-2 LE 的商业应用

IEC 61850 是支持变电站自动化的设备间通信和数据共享的国际标准。作为标准的一部分，IEC 61850-9-2 描述了过程总线上的模拟值共享。ABB 目前正在根据这一标准实现全球首个过程总线技术的商业应用。

过程总线是变电站自动化系统中一次设备（例如仪表互感器）与二次设备（例如保护和控制装置）之间的通信网络，用于向二次设备传输模拟数据，从而有效保护和控制

整个变电站。在新标准制定之前，这一通信通常需要大量铜电缆。

IEC 61850-9-2 LE 优势众多。采用光纤总线降低了高压带来的风险。更换电子元件时无需关闭整个系统，从而简化了维护过程。引进 IEC 61850-9-2 LE 标准的同时还增加了强大的测试和诊断工具箱。

如需更多信息，请参阅本期《ABB 评论》第 73 页的文章《共享数据》。



## 开关设备的速度与安全

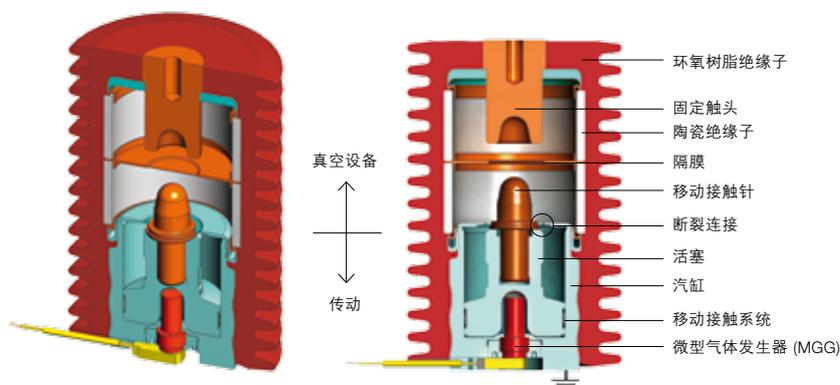
ABB 知名的速动真空灭弧室及世界上最快的限流开关设备——Is 限流器已经巧妙地结合在一起，为新一代（内燃弧）及上一代中压开关柜打造了一个电弧故障保护系统，它可在超高速范围内操作运行。

从原理上说，该系统的操作运行可通过金属三相快速接地连接，防止内部电弧故障所造成的能量失控释放。由于这种类型的连接具有极低的阻抗特性，因此它可将产生的电弧故障短路电流迅速转移到速动接地开关，迅速熄灭电弧。

新型超高速接地开关 (UFES) 包括三个完整的开关元件（每个开关包含嵌入在环氧树脂内，被分隔成两部分的真空室组成）和一个快速释放电子单元（快速和可靠地检测故障电流和光强度）。该装置开关时间极短，不到 1.5 毫秒，确保所有的电弧在瞬间立即熄灭。

从技术层面来说，该系统的可用性和操作员的安全性获得大幅提高，其额定电压达 40.5kV，额定短时（1 秒）耐受电流达 63kA。从经济观点来看，故障造成的停机时间和维修费用将大幅减少，同时提升系统可用性。

如需更多有关 ABB 超高速接地开关的详细信息，请参阅《ABB 评论》2010 年第 2 期的文章《高速、安全与省钱》，84-87 页。



## 紧凑型环保气体绝缘开关

ABB 推出了 72.5kV ENK 系列气体绝缘开关 (GIS)。与现有的同类产品相比, 该系列产品占地面积缩小 25%, SF<sub>6</sub> 气体用量减少 50%。

ENK 系列产品采用先进的 plug-and-switch 插接技术和一个智能二次接口, 能够满足未来智能电网的要求。其他主要新特点包括易操作性, 例如可从前面板进行轻松操作, 而电流互感器至于 SF<sub>6</sub> 气体隔室之外。

采用插拔式母线连接, 完整的运输

间隔在出厂时已经过工厂测试, 使得 ENK GIS 很容易在现场快速安装。设备额定电压为 72.5kV, 最大额定电流达 2500A, 能够承受 40kA 的短路电流, 符合 IEC 和 IEEE 标准。

气体绝缘开关采用紧凑型模块化设计, 能够安装在空间有限的地方, 例如城市, 它甚至可以安装在室内。ABB 产品还包括海上和移动式变电站。公司早在 1965 年就推出了首台高压气体绝缘开关,



是该技术的全球领导者, 目前已交付的两万多间隔 GIS 设备正在世界各地可靠运行。

## 无线与自主

在过程工业中, 传感器用于传递信息, 从而最大程度提高过程的可靠性和可用性。传感器需要电源和通信布线, 这不仅增加了成本, 还使安装更为复杂。很多无线设备采用电池供电, 然而定期更换电池所产生的费用可能会抵消无线传感器在安装阶段所节省的成本。能量采集 (EH) 为此提供了解决方案。

能量采集 (EH) 过程用于捕捉来自设备外部的能源并将其转化为电能, 为低功耗电子器件供电。典型能源包括冷处理、热处理、太阳辐射以及来自流动介质或活动零件的振动动能。

能量收集 (EH) 可以是不连续的过程, 有时 EH 系统提供的电能也会超过实际需求。任何情况下, 如果采集设备无法向传感器节点提供足够的能量时, 需要缓冲器 (例如特种电容器、主电池或辅电池) 解决这一问题。真正的自主电源还需要适当的电源管理系统。

ABB 的研发机构使用全集成化 EH 系统制造了一个完整的自主温度变送器。ABB 将热电发电机集成入该设备, 此外, 当过程温度不足以产生足够的能源时, 还可选用智能能源管理方案。



如需更多相关信息, 请参阅本期《ABB 评论》第 47 页的文章《收获季节》。

## 系统 800 x A

### 5.1 版本

自 2004 年首次发布以来，6000 多家客户选择了 ABB 扩展自动化系统 800 x A。该系统提高了操作人员效率，实现了无缝控制解决方案以及多样化的独立系统的完美集成。5.1 版本于 2010 年发布，改进了更多功能，进一步提高了系统性能、可用性 & 操作人员效率。

5.1 版本在工程和变更管理领域具有突出优势。任务分析工具 (Task Analysis Tool) 可在下载前评估应用程序，显示其延迟和冲突。详细差异报告 (Detailed Difference Report) 主要显示对控制应用程序和图形所作的修改。



新版本还包括 AC800M 控制器家族的新成员——PM891。与上一代产品相比，该控制器时钟速度 (450 Mhz) 达到三倍，内存达到四倍，是同类控制器中的佼佼者。虚拟化技术使所需计算机的台数减少了 75%，大大改进了系统结构，同时还降低了能耗和维护需求。

在报警管理方面，新版本增加了新的报警搁置和分析功能，改进了报警共享功能。安全性和连接性也获得了提高。以上只是系统 800xA 5.1 版本整体性能提升的一小部分，此处不再一一详述。

下期《ABB 评论》将更加深入地探讨系统 800 x A 5.1 版本。

## 智能断路器

先进的新技术推动着高度集成和多元化产品的发展。其中，eVD4 智能断路器能够确保中压开关设备项目更为简单、灵活、可靠。该断路器是一项重大技术突破，大大提高了一系列应用的易操作性（表现为少量的高可靠部件，并可使用安装快速简单的附件进行定制）、可靠性、安全性及成本效益。

eVD4 基于 ABB VD4 中压真空断路器，配有特别设计的 Relion® RBX615 智能电子设备 (IED) 以及新式电流



传感器和电压传感器。RBX615 单元能够保障架空线路、电缆线路和配电变电站母线系统的基本安全，适用于任何辐射状配电网。开发传感器所采用的技术减小了设备尺寸，提高了设备性能和标准化。传感器和 IED 的

组合可实现精确可靠的网络参数监控和记录，同时为操作人员和变电站设备提供更好的保护。

eVD4 断路器完全符合 IEC 61850 标准和 GOOSE 功能要求，可以确保与新变电站通信系统的兼容性。

如需更多相关信息，请参阅本期《ABB 评论》第 18 页的文章《技术的智能变革》。

## ABB 直流快速充电站

直流 (DC) 快速充电站已成为电动汽车发展的主要推动因素。交流充电使用的充电转换器较小，安装在汽车内部，适用于夜间充电，而直流快速充电站则将充电转换器从汽车内部移到基础设施中，可供多部汽车同时使用，这有助于实现高功率充电，将车辆从额外的重量和成本中解放出来，此外还增添了管理公共电网影响的优势。

2010 年 11 月初，符合 CHAdeMO 标准的 ABB 直流快速充电技术成功获得认证，随后 ABB 与香港中电集团合作，在香港科技园成功安装第一个试点充电站，标志着 ABB 在电动交通基础设施领域向前迈进了一大步。CHAdeMO 是直流快速充电



领域中最被认可的标准，已获多家大型汽车制造商认可。根据该标准生产的首批适合大众市场的直流快速充电汽车于 2010 年投放市场，并将在 2011 年和 2012 年进一步扩大生产。

在第 25 届深圳世界纯电动车、混合动力车和燃料电池车大会暨展览会（简称 EVS）后，全新 ABB 直流快速充电站亮相香港电动车巡游及

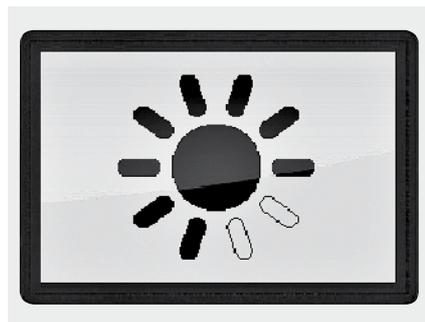
展览会，并充分展示了其卓越的性能，为中电集团 7 辆三菱“i MiEV”汽车连续快速充电。

如需更多信息，请参阅《ABB 评论》2010 年第 2 期第 77 页的文章《新时代的黎明》。

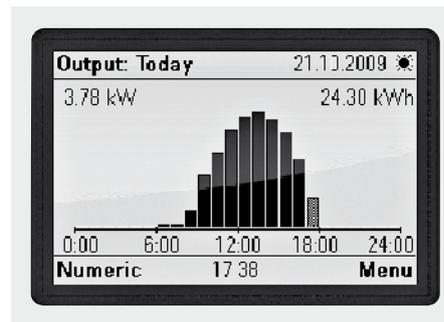
## 家里的 小小“发电厂”

连接大型光伏阵列和电网的 ABB 逆变器已在市场中建立了稳固的地位。那么，安装在住宅及商业建筑屋顶的太阳能板等小型设施的发展情况又如何呢？全新 ABB 串联光伏逆变器的操作界面使用方便，安装简单，配备先进的保护装置，性能极高，不仅能够满足用户的用电需求，还能为电网供电。

家用逆变器必须简单易懂，方便家庭



成员都能懂得如何使用。ABB 串联光伏逆变器带有一个远程显示器，界面简洁直观。以非常简单的太阳图标为例，其射线数量指示阳光强度，用户可根据这一图标随时检查逆变器的运行。有投资需求的用户还可通过该显示器显示直方图，持续记录生产情况。



为适用不同技术要求，ABB 串联光伏逆变器有三种等级产品。ABB 串联光伏逆变器采用紧凑型设计，配备最先进的过电压保护装置。

下期《ABB 评论》将详细阐述 ABB 串联逆变器。

## 低损耗电机

ABB 磁阻同步电机的流线型转子结构可消除鼠笼损耗，从而提高效率和紧凑性。在较低的 A 级温升下达到标准功率和转矩水平，便可延长电机绝缘和轴承的使用寿命或润滑间隔。

采用变频器控制的同步电机使提升了工业应用的能效。大多数应用都希望尽量提高电机能效，延长使用寿命，同时还要保证不增加维护需求或故障。ABB 磁阻同步电机（通常称为 SynRM）利用磁阻的磁性原理，体积较小，可帮助机械制造商

设计更小、更轻、更高效的设备。该电机操作安全、无磁铁，不会产生反电动势电压，因此无需变流器过电压保护。此外，该电机能够进行高速运转，可取消齿轮箱等不必要的机械动力传动元件，最终实现电机和负载设备集成。

如需更多信息，请参阅本期《ABB 评论》第 56 页的文章《全速前进》。





# 合作创新

通过合作  
助力 ABB 研发

JUKKA TOLVANEN, TERO AHONEN, JUHA VIHOLAINEN –

过去，创新发明往往来自个人，如爱迪生发明电灯、贝尔发明电话。现在，创新仍然需要个人的灵感，但却不再是一个人的舞台，新概念的開發需要多方合作，融合各类资源才能完成。ABB 已具备强大的技术能力和潜力，能够结合全球业务及其对全球客户需求的了解进行全面创新。在与各大公司和高校合作开发新技术和服务的过程中，ABB 也获益良多。

共同的研究中心或组织管理研发活动是一种颇为有效的解决方案。在芬兰，能源和环境部门 (CLEEN Ltd.) 已建立了科学、技术和创新战略中心，旨在推动能源与环境技术领域的国际合作以及跨行业合作。CLEEN 是一家有限公司，由多家全球公司及密切相关的国家级研究机构和大学共同所有，旨在促进合作知识的构建、开发超越单一公司或行业研发能力的创新解决方案、技术和服务 [1]。CLEEN 共有 44 个所有人，其中三分之二为私营公司，包括多家全球技术和市场领导企业，如 ABB、Metso 和 Wärtsilä。作为 CLEEN 的创始人之一，ABB 在其经营中发挥了积极作用，为公司、组织及研究机构之间的合作研究提供了新的可能性。

及研究机构之间的开放式创新，如同一个连接网络，参与其中的国际公司可以通过这一网络进行研发工作，更快地更深入地获得新知识。

Jacobson 说，只有这些公司连续多年投入各自的研发人员，并愿意分享所获得的成果，而不是仅仅为了投入资金进行专利研发外包，这样的合作才具有更深的战略意义。

CLEEN 已为这一计划的发展找到了有效方法：首先由参与合作的企业根据未来业务发展的形式确定他们想要投资并分享成果的研究课题，然后由大学和研究机构应对市场拉动力，提出研究倡议，营造互利的科学推动力。Jacobson 指出，这一合作方式还可为参与合作的大学节省资源，提供即时、互动和及时的反馈，使他们不必在成功率明显很低的研究应用上浪费时间。

**常**言道：“三个臭皮匠，胜过诸葛亮。”在工程和技术领域亦是如此，新概念的開發可能需要多元化的技术知识，因此要求不同公司和组织进行合作。例如，提高电气系统能效的创新项目首先需要专业的技术知识，这点毋庸置疑。但除此之外，还需要经济和社会知识才能获得全新的、可行的产品和服务。

此外，这种合作方式还有利于吸引外部资金，是研究联盟进行长期（3到5年）研究的重要保障。在芬兰，主要的公共赞助商是芬兰国家技术创新局 (Tekes)。Tekes 通过新的创新计划向一系列公司和研究机构提供支持，推动创新文化由单

## CLEEN 公司旨在推动能源与环境技术领域的国际合作和跨行业合作。

一公司模式向基于网络的开放式创新模式转变。

一公司模式向基于网络的开放式创新模式转变。

### 企业与大学的现代合作模式

CLEEN 是芬兰创新体系重大改革的一个组成部分。为实现这一目标，芬兰政府先后启动了六个战略科技创新中心，由产业界和学术界所有。CLEEN 便是六个创新中心之一，以能源与环境为焦点。

能源市场和智能电网是其中的一项主要研究领域，诺基亚西门子网络和 ABB 在这一领域中作出了很大的贡献。这一课题的其他领域还包括提高效率 and 分布式能源系统。

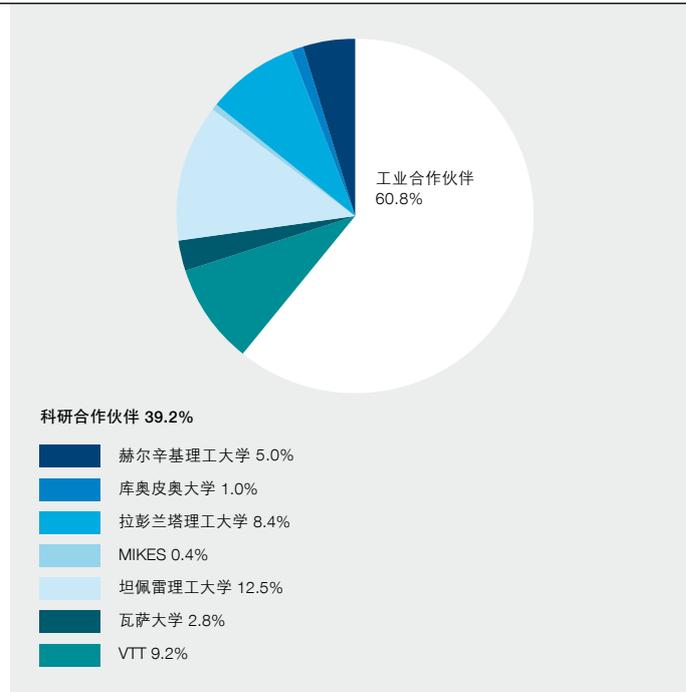
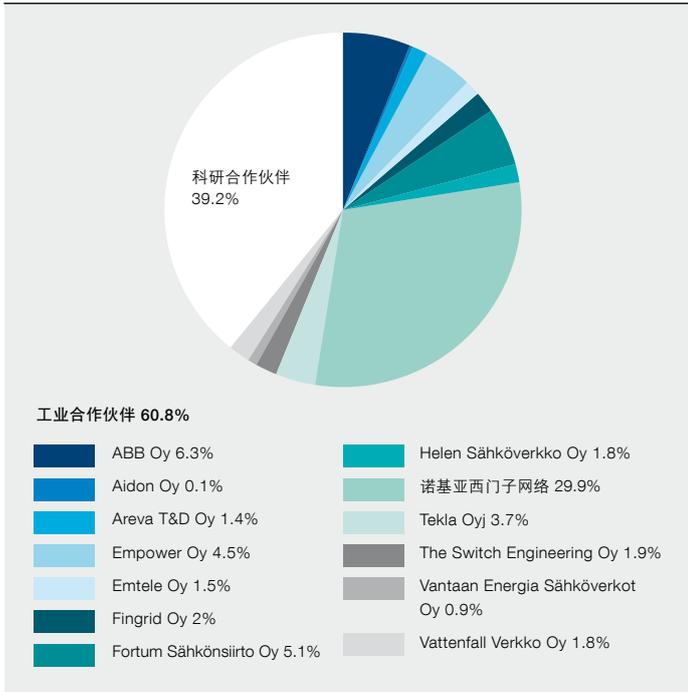
### 智能电网和能源市场

智能电网采用双向数字技术和智能监控系统跟踪系统内的电流，可通过多家电力供应商向消费者供电。智能电网能够在本地供电和远距离供电中实现可控的多向电流。与传统电网相比，智能电网可更有效地使用和控制

### 联盟计划为研究工作奠定坚实基础

尽管合作是可行的，但事先制定一定的规则不可或缺。例如，知识产权和财务问题必须从合作伊始便明确下来，这样才能保证双方合作的可持续性和互利性。针对这些问题，建立

CLEEN 首席执行官 Tommy Jacobson 表示，公司致力于加强企业、大学



作为 CLEEN 的创始人之一，ABB 在其经营中发挥了积极作用。

分布式发电，将电动汽车电池作为配电系统的一部分充分加以利用。智能电网和能源市场 (SGEM) 计划的研究课题包括：

- 未来能源系统的基础设施
- 智能电网的智能管理和运营
- 客户网关
- 开发智能电网技术所需的能源和排放服务

SGEM 研究联盟的目标是开发适用于芬兰研发和创新基础设施环境的国际智能电网解决方案。同时，互动的国际研发环境还有利于积累与融汇来自国际一流信息通信技术 (ICT) 和智能电网供应商们的专业知识。多家工业企业、研究机构和大学参与了这一联盟计划，如 →1 所示。参与合作的工业企业来自发配电、电信和通信技术等领域。科研合作伙伴包括五所芬兰的大学和两家研究机构 (MIKES、VTT)。该项目时限为五年。

### 提高能效

提高能效 (EFEU) 计划主要聚焦于开发提高设备和系统能效的方法，针对

的则是能耗占能源生产总量 60% 的工业和服务。该研发计划的主要目标包括：

- 开发新的方法、业务流程和系统，从根本上提高能效
- 开发投资低、能效提高幅度大的新方法
- 为能效发展创建一个国家研发网络

由于研发课题具有跨学科性，因此需要合作各方的专业知识和积极参与，例如制造业、设备制造商、服务公司、工程公司、大学及科研组织。研发工作在进入生产和服务阶段之前一般需要 3 到 10 年。主要研发成果包括创新系统理念、标注规则、评估系统能效的方法以及能效相关解决方案和服务。研发理念在试点示范后将用于更多以应用为导向的开发工作。

### 学术研究创新

除联盟计划外，工业企业和大学直接合作也是创新和新技术的一个有效来源。大学和工业企业的合作通常由大学提出双方关注的研究课题，而产品制造商则可利用大学的测试设施进行



与不同企业、大学合作通常是全新创新理念诞生的契机，实例请参阅下文“能源审计的优势”。研发合作能够促成更广泛的研究项目，并在研究过程中充分利用来自不同领域的专业知识，因此重要性不言而喻。无论是与其他企业和研究机构进行联合研发还是与大学或研究机构直接合作，都是实现共赢的极佳方式。

创新研发并验证新理念，这是一种互惠互利的合作模式。ABB 和芬兰拉彭兰塔理工大学 (LUT) 已在电机和变频器 (VSD) 领域实现了这一合作模式，为提高旋转机械能效提供了核心解决方案。

LUT 建立于 1969 年，致力于工程和经济领域教育和研究。学校的优势领域包括能效和能源市场、业务和技术的战略管理、工业过程的科学计算和建模以及与上述领域相关的俄罗斯工商业专业知识 [2]。

→2 [3,4]。这些研究课题获得多项专利，在多家科学出版物上发表，并向 ABB 传动科研团队提供了直接反馈。

因此，LUT 的研究专长为其与 ABB 在电机和变频器领域的合作奠定了良好的基础。这一合作在 LUT 电机工程系的 Carelian 传动和电机中心 (CDMC) 得以开展。对 ABB 而言，这种方法有利于学术界的研究人员开发创新理念以及测试即将上市的产品。

而对 CDMC 来说，该合作为其提供了大量新研究课题，有利于进一步拓展电机、变频器和旋转机械能效领域的专业知识。在这一合作中，CDMC 的研究人员是新产品及服务研发过程的主要参与者。根据不同项目，研究成果还可作为博士论文和期刊文章进行发表，或申请专利。这些研究项目涉及变频器控制模式、提高电机效率以及离心泵等旋转机械的控制和诊断。

## 产业界和学术界的直接合作是创新和新技术的有效来源。

LUT 拥有泵送系统和电机的测试设施，具有丰富的相关专业背景知识，具备开展学术研究的能力，能够协助 ABB 研发新产品。LUT 对永磁同步电机 (PMSM) 的直接转矩控制 (DTC) 和离心泵的无传感器流量估算进行了研究

### Jukka Tolvanen

ABB 变频器业务单元  
芬兰赫尔辛基  
jukka.tolvanen@fi.abb.com

### Tero Ahonen

Juha Viholainen  
拉彭兰塔理工大学  
芬兰拉彭兰塔  
tero.ahonen@lut.fi  
juha.viholainen@lut.fi

### 参考文献

- [1] CLEEN Ltd. The Finnish Cluster for Energy and Environment. Retrieved August 24, 2010, from <http://www.cleen.fi>.
- [2] Introduction of Lappeenranta University of Technology. Retrieved August 24, 2010, from <http://www.lut.fi/en/lut/introduction/>.
- [3] Luukko, J. 2000. Direct torque control of permanent magnet synchronous machines – analysis and implementation. Dissertation, Lappeenranta University of Technology.
- [4] Ahonen, T., Tamminen, J., Ahola, J., Viholainen, J., Aranto, N., Kestilä, J. 2010. Estimation of pump operational state with model-based methods. Energy Conversion and Management, 51, 1319–1325.

## 能源审计的优势

为开发更高效耐用的泵送系统，ABB 和拉彭兰塔理工大学合作开展了一项能源审计项目。

拉彭兰塔理工大学 (LUT) 的能源审计项目 (EAP) 于 2008 年秋季启动。能源审计分析特定过程或系统的能耗 →1。客户主要是工业领域的能源消费者。审计程序旨在利用旋转电气机械找出低效运行的应用程序，且该类案例通常需要涉及泵。

该能源审计项目由 ABB 出资，LUT 能源研究所负责执行 [1]。这一项目是 ABB 和 LUT 长期合作的成果，特别是在泵送系统效率研究领域。项目提供了有关泵送应用能效的专业知识，此外还开发了专门用于确定泵送系统能效的模拟工具。

### 工业能耗审计

该项目的主要目标是为所有参与者建立一种简单易行的审计方法。能源审计的目的是获得系统在当前状态下的能耗信息并找出影响因素。第二步是为提高系统效率寻找经济型机会，从而节省成本。审计的最终结果是拟定提高能效的执行方案。

### 泵送应用研发的重大成果

LUT 从 2005 年开始着手研究离心泵诊断中的变频器使用，同时利用其先进的实验室设施对 ABB 工业传动中无传感器流量估算功能的精确性进行了测试，测试结果刊登在 2005 年和 2006 年的《世界泵业》杂志中。

变频器可在无电机速度传感器的



条件下估算电机运行，还可用于估算泵运行或其他电机负载。例如，ABB 工业传动中的无传感器流量估算功能利用传动的内部转速和轴功率估算向用户提供泵的流量，无需在泵上安装额外的传感器。这一功能可用于需要泵流量信息但未申请收入计量的应用。

LUT 还为寻找新的气穴检测方法和并联传动泵的能效控制方法开展了一系列研究项目。这些研究可消除泵故障的主要原因，从而大大降低泵送系统的总能耗。

### 更节能耐用的泵送系统

气穴的无传感器检测基于变流器的智能分析，以确定泵的异常运行。气穴是导致离心泵效率下降和泵故障的主要原因之一。LUT 为此开发了多种气穴检测方法。然而，这些方法通常需要进行额外的测量，在一些情况下降低了可行性。安装传感器的成本较高，需要监控的泵数量庞大，因此安装一个仅需少量泵传动的状态监控系统势在必行。鉴于以上原因，无传感器气穴检测无需额外的传感器和设备，可为用户带来真正的优势 [2]。

使用先进的变频控制和并联泵可节省大量能源。

#### 脚注

1 气穴是液体压力低于蒸汽压力时流动液体中产生气泡的现象。气泡快速破裂所产生的冲撞会导致表面损坏。

## 1 LUT 能源审计程序



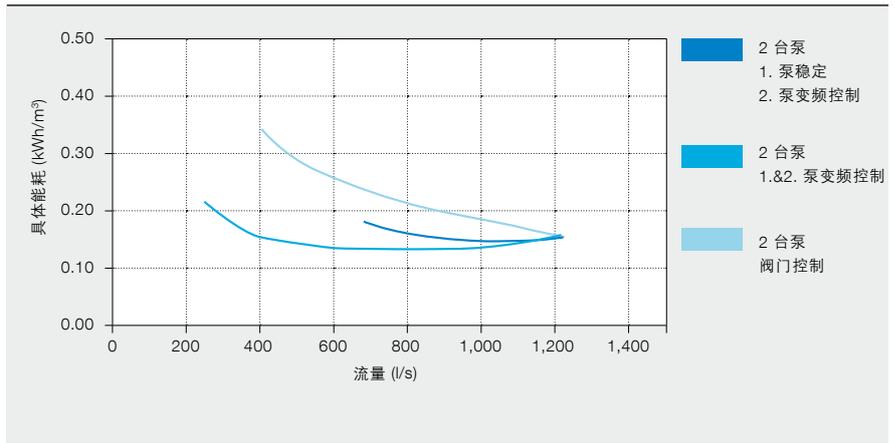
在并联泵中使用变频器进行智能控制可降低能耗，从而大大节省成本。并联泵通常采用开/关控制方法，与传统的开/关控制方法相比，采用所需数量的离心泵并进行低速运行具有巨大的节能潜力。LUT 已通过测试测量证实了这一论点。此外，LUT 还开展了工业原水泵送应用、发电厂和市政供水站等多项

## 变频器可在无电机轴传感器的条件下估算电机运行，还可用于估算泵运行或其他电机负载。

实际案例研究。研究结果显示，先进的并联泵变频控制技术可实现大幅节能。通过变频器降低两台并联离心泵能耗的具体实例参见 →2。通过对两个泵同时进行变频控制，可在低流量的条件下使具体能耗最小化 [3]。

这些研究项目成果充分证实了合作

## 2 两台并联离心泵在不同流量控制方法下的具体能耗



研发的优势：与独立研发模式相比，新解决方案可结合不同领域的项目参与者的专业知识，从而提高效率并降低成本。

### Jukka Tolvanen

ABB 传动业务单元  
芬兰赫尔辛基  
jukka.tolvanen@fi.abb.com

### Tero Ahonen

Niina Aranto  
拉彭兰塔理工大学  
芬兰拉彭兰塔  
tero.ahonen@lut.fi  
niina.aranto@lut.fi

### 参考文献

- [1] Aranto, N., Ahonen, T., Viholainen, J. (2009, September 1417). Energy audits: University approach with ABB. Proceedings of the 6th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems (EEMODS '09). European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy.
- [2] Ahonen, T., Tamminen, J., Ahola, J., Kestilä, J. (2010, June 2224). Novel method for detecting cavitation in centrifugal pump with frequency converter. Proceedings of the 7th International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies (CM and MFPT 2010). The British Institute of Non-Destructive Testing and Coxmoor Publishing Company.
- [3] Viholainen, J., Kortelainen, J., Ahonen, T., Aranto, N., Kestilä, J. (2009, September 1417). Energy efficiency in variable speed drive (VSD) controlled parallel pumping. Proceedings of the 6th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems (EEMODS '09). European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy.



# 技术的 智能变革

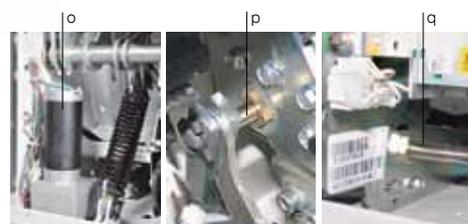
eVD4 提升中压配电网  
简易性与可靠性

CALOGERO SAELI, CALLISTO GATTI, CARLO GEMME, EMILIA DANERI, CARLO CEREDA -

过去十年，随着技术的不断变革，中压配电网发生了翻天覆地的变化。凭借 Relion® 保护和控制装置、电流和电压传感器、配备注式极柱的真空断路器等一系列新产品，ABB 引领着这场变革，所有新产品都基于一流的 ABB 技术研发。ABB 利用这一系列创新技术打造了一款带有传感器和 RBX615 控制保护单元的智能断路器。这款名为 eVD4 的智能断路器简化了控制室的设计和规格，安装更快捷，性能更可靠，降低了维护需求和生命周期成本，同时以更高的标准化大大降低了开关设备与系统的复杂性。



- a 带真空灭弧室的极柱
- b 继保信号
- c 传感器：Rogowski 线圈或组合式传感器
- d 手车式断路器手车
- e RBX615 控制保护继电器
- f 分闸按钮
- g 操作机构储能杆
- h 断路器分闸机械指示
- i 储能马达
- j 航空插（仅适用于手车式断路器）
- k 合闸按钮
- l 储能状态指示
- m 计数器
- n 操作机构



- o 电机驱动手车马达（仅适用于手车式断路器）
- p 断路器分闸/合闸信号传感器
- q 弹簧储能/未储能信号传感器

近年来，中压 (MV) 技术领域新技术变革的势头强劲，凭借新解决方案的开发满足配电网当前和未来需求。例如，IEC 61850 标准推动着配电设备的创新，使中压开关柜拥有更多新功能和新架构，同时带来更高标准化。产品集成化和配件标准化程度更高、整体多功能性更强的产品市场中崭露头角，不仅提高了可靠性，还减少了安装和维护所需的时间和工作量。

ABB 引领着众多新技术的发展，在中压一次配电领域，开发了一系列的新产品。

其中，创新的 eVD4 智能断路器（见标题图片）产品系列专为中压开关柜开发，从规格、招标、工程和生产阶段到安装、调试、测试和维护阶段，全面提高工程的简易性、灵活性和可靠性。

eVD4 系列产品融合了 ABB 在机械、电子和传感器领域的创新技术，集测量、保护控制功能和一次回路隔离、开断技术为一体的高度集成装置由此诞生。

### 良好的技术创新基础

eVD4 基于 ABB 的 VD4 中压真空断路器和全新 Re-lion® 产品以及传感器技术 →1。自 2003 年投入市场以来，VD4 真空断路器全球安装数量超过 250,000 台，在广泛应用中展现了良好的可靠性和多功能性。

RBX615 保护控制装置基于 ABB Re-lion 技术，是一款专门用于保护、控制、测量和监管变电站和工业电气

系统的智能电子设备 (IED)，通过插接装置安装在 eVD4 壳体内部。

RBX615 单元能够全面保护架空线路、电缆线路和配电变电站母线系统，

## 创新 eVD4 智能断路器家族专为简单、灵活和可靠的中压开关柜工程开发。

适用于采用任何接地方式的辐射状配电网。开关柜低压 (LV) 室所采用的数字输入/输出 (I/O) 和通信通道可通过断路器航空插连接至低压室。

传感器安装在断路器极柱上，用于测量电流和电压，从而实现中压电力

<b>规格</b> eVD4 的高度灵活性简化了规格要求。换言之： - 无需定义任何传感器参数；传感器额定值由断路器额定值决定，而传感器类型（仅限电流或组合式电流电压版本）取决于保护属性。 - 可对所有 RBX615 预配置进行自定义，从而更好地满足网络要求。	<b>降低工程和接线的工作量和时间</b> 作为一项集成解决方案，大部分开关柜接线都置于断路器内部，因此产品标准化程度更高。该解决方案减少了低压室的接线数量，从而大大降低了接线故障风险，对于工程师来说，是一项更为简单快捷的完整开关柜解决方案。
<b>供应管理</b> 为确保交付完整的中压开关柜解决方案，采用单个订单和单值指示取代多个单独的订单。	<b>降低工厂验收测试 (FAT) 工作量，提高安全性和可靠性</b> 经过全面测试的综合解决方案减少了开关柜接线数量，从而降低了 FAT 测试所需的工作量。
<b>快速交付</b> 先进的生产线结合了标准化的配件，使 ABB 能够确保以和标准断路器相同的交货期速度交付 eVD4。	<b>维护简单、备件库存优化及缩短平均维修时间 (MTTR)</b> eVD4 由一系列标准部件构成，可广泛应用。此外，eVD4 家族的所有断路器机型差别不大，因此仅需库存少量备件。所有配件都可随时使用且维护简单。该集成解决方案在发生故障时可快速恢复系统，只需更换 eVD4 即可轻松更换开关柜的所有核心部件。
<b>安装</b> eVD4 是一项可直接安装的解决方案。传感器是整个装置的一个集成部分，因此无需接线或额外工作；所有继保接线通过断路器航空插进行快速连接。	

## RBX615 保护控制装置集成在 eVD4 中，用于执行监控、控制和诊断功能。

系统所需的保护和控制。开发传感器所采用的创新技术减小了设备尺寸，提高了设备性能以及标准化水平。传感器和 IED (RBX615) 的这一组合能够实现精确可靠的网络参数监控和记录，同时为操作人员和变电站设备提供更好的保护。

与标准中压断路器相比，eVD4 智能断路器在产品生命周期所有阶段中的优势参见 →2。

eVD4 覆盖了最常见的中压断路器规格：额定电压达 17.5kV；额定电流达 2,500A；开断容量达 40kA。RBX615 继保可订购五个不同的保护属性，各属性对应一套特定的保护功能，这些功能都需要电流和电压测量。为了与 eVD4 集成，继保的设计经过特殊优化，可对 eVD4 进行监测、控制和诊断。

## eVD4 结构概览

全新 eVD4 真空断路器的设计具有超凡的简易性（由少量高可靠的组件构成，并可定制一系列安装方便快捷的配件）和安全性（采用坚固的金属框架固定极柱和操作机构）要求。

### 操作机构

操作机构包含一个储能弹簧，用于储存断路器分闸和合闸操作所需的能量。正确的操作要求储能具有立即可用性，而轻质的灭弧室触头和缩短开关触头行程可降低这一要求，从而减少触头磨损，使断路器达到免维护的需求。eVD4 的机械寿命可进行 30,000 次分合操作。

### 接近传感器

接近传感器使 eVD4 能够判断关键活动部件的状态。例如，该传感器可探测断路器的分/合状态、弹簧的储能/未储能状态以及手车的位置，随后将这些信息通过专用通信线路发送至 RBX615 继保。

### 增强型二次回路航空插

eVD4 航空插必须能够同时为断路器二次回路和继保提供可靠的连接，即通信通道、I/O 信号以及剩余的电流传感器连接 →3。为此 eVD4 采用了带有 58 插针和独立通信通道（航空插右边有两个以太网端口）的增强型航空插。

eVD4 设计理念旨在充分利用 IEC 61850 标准和面向通用对象的变电站事件 (GOOSE) 技术的潜力，包括通过交互面板总线实现的高速继保对继保横向通信。必要时，可通过航空插中的 12 个数字输入和 8 个数字输出对 RBX615 继保进行传统的点对点硬线连接。



为确保 eVD4 便于安装，一个专用的开关柜插座配件应运而生。

#### RBX615 和 HMI

RBX615 基于 ABB Relion® 技术，是一款通用继电器，专为 eVD4 设计 →4。经过优化的继电器保护的外形和插针排列，以及使用专用的断路器航空插，可通过简单的航空插接口进行连接。

RBX615 可采用五个不同的预配置保护属性，其中三个属性用于馈线保护，剩余两个属性主要用于电机保护 →5。可通过 IED 保护控制管理工具 PCM600<sup>1</sup> 和应用配置工具 (ACT) 完全实现预配置自定义，使用 ACT 图形工具可轻松简单地修改应用逻辑。多个逻辑块可满足不同变电站的特殊需求。还可通过继保前面板上的人机界面 (HMI) 修改预配置中提供的保护控制逻辑参数 →6。

继保界面左侧显示单线图 (SLD)，右侧

显示继保菜单。可使用 PCM600 内部的图形显示编辑器工具编辑单线图。显示符号与相应对象（例如断路器、断路器摇入开关柜、接地开关、隔离开关）动态链接，并由显示器显示其状态。此外，还可通过人机界面轻松控制其状态。

人机界面上的以太网端口便于在继保和个人计算机之间进行点到点连接。

人机界面通过这一连接自动显示在 Web 浏览器中，用户可以通过其修改保护功能参数并下载相关记录及其他功能。客户端计算机无需安装额外的软件即可与保护控制装置通信。继保可通过两个通信通道与过程系统进行通信。RBX615 不仅符合 IEC 61850 标准，还遵守 Modbus® TCP/IP 协议，未来还将增加更多通信协议。

#### 传感器

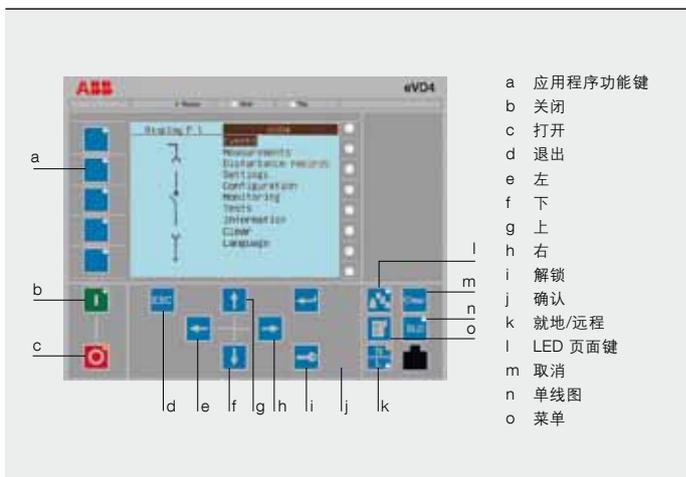
eVD4 智能断路器采用了最新最先进的传感器技术。eVD4 可安装两种传感器 – 电流传感器（基于 Rogowski 线圈原理）和组合式电流电压传感器（组合式传感器）→7。传感器的选择取决于 RBX615 的保护属性。

eVD4 充分利用了 IEC 61850 标准和 GOOSE 技术的潜力，包括高速继保对继保横向通信。

#### 脚注

<sup>1</sup> PCM600 符合 IEC 61850 标准，能够简化 IED 工程，并能与其他 IEC 61850 标准工具进行信息交换。

描述	配置
不定向过流保护和不定向接地故障保护	馈线 1 (F1)
不定向过流保护和基于相电压测量的定向接地故障保护	馈线 2 (F2)
定向过电流保护、基于相电压测量的定向接地故障保护以及欠压和过压保护	馈线 3 (F3)
基于电流测量的电机保护	电机 1 (M1)
基于电流和电压测量的电机保护	电机 2 (M2)



## eVD4 采用两种传感器：电流传感器（基于 Rogowski 线圈原理）和组合式电流电压传感器（组合式传感器）。

传感器的用途：

- 将一次回路中较大的电流和电压转换为适合二次回路设备（即继保 RBX615）的信号
- 使一次和二次回路之间相互隔离
- 发生短路时，保护二次设备不受一次侧强电流电压影响

只需三种传感器尺寸即可覆盖整个电流电压范围，可扩展至断路器的最大额定电流和电压。信号电缆发生断路或短路不具有危险性，不会导致设备损坏。

电流传感器由 Rogowski 线圈构成，该线圈均匀缠绕在闭合的环形支架上，截面一致，无铁芯 →8。线圈感应的电压（传送信号）与允通电流变化成正比。由于 Rogowski 线圈中不含铁芯，因此该类传感器不会发生饱和和滞后现象，从而保证了良好的线性。用于 eVD4 智能断路器输出测量的电流传感器能够达到保护阈值设定的最大值。

电压传感器使用电容分压器进行电压指示 →9。即在传感器中朝向断路器套管安装一个圆柱形金属电极。输出信号是与一次电压成正比的电压。与电流

传感器相同，电压传感器也不产生铁磁谐振现象且对直流分量影响不敏感。

eVD4 断路器使用集成传感器的优势包括线性测量和多功能保护、安全、功耗小等，是一项环保解决方案。

### 线性测量和多功能保护

该类传感器没有共振和滞后现象，具有良好的动态性能，线性测量可达到最大电流和电压。因此能确保高保护性能并实现全面的干扰分析。

### 安全

传送信号的额定值极低，即使一次回路侧出现最大电流和电压，也不会对人和二次设备产生伤害。信号电缆断路或短路无危险性，不会导致设备损坏。

### 功耗小

传感器的效率高于互感器。此外，二次布线中无损耗。这些节能特点可延长设备的使用寿命，在实际使用中更能突显其优越性。

### 环保

制造该类传感器所需原料较少，且功耗可忽略不计。



### 带领中压开关柜迈向未来

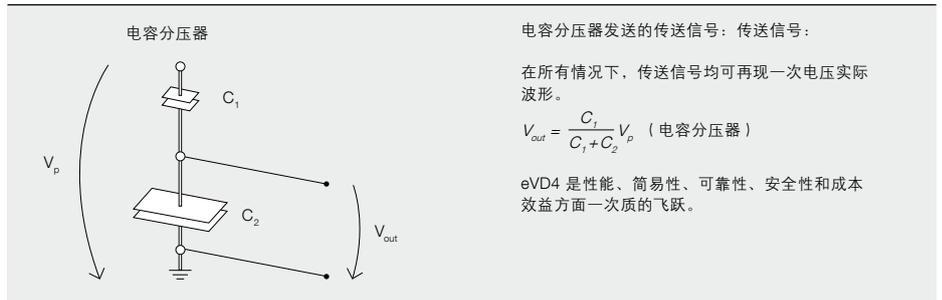
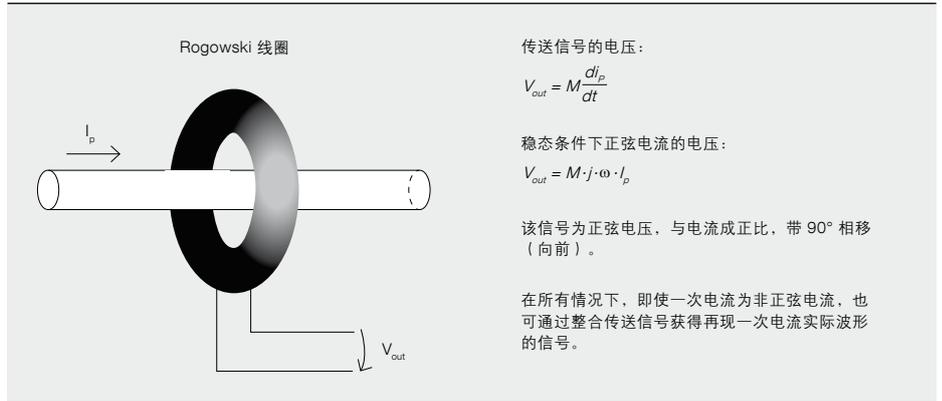
ABB 的全新 eVD4 智能断路器是构建简单、可靠及安全的中压开关柜不可或缺的关键元素。该断路器完全符合新的 IEC 61850 标准和 GOOSE 功能性，确保兼容新的变电站通信系统。采用 eVD4 后，开关柜在整个生命周期内获得了全面优化。

Calogero Saeli  
Callisto Gatti  
Carlo Gemme  
Emilia Daneri  
Carlo Cereda

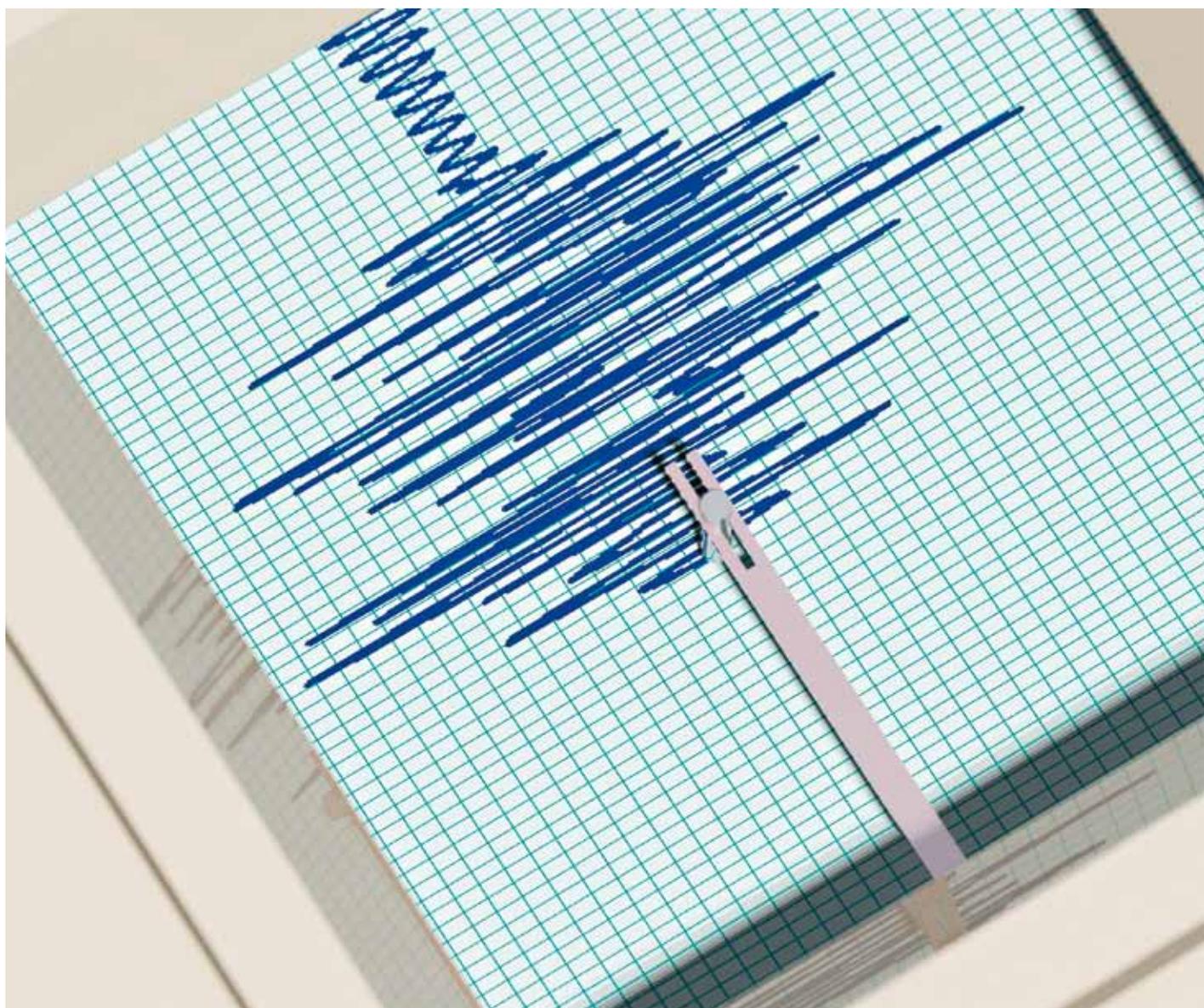
ABB 电力产品业务部  
意大利达尔米内 (Dalmine)  
calogero.saeli@it.abb.com  
callisto.gatti@it.abb.com  
carlo.gemme@it.abb.com  
emilia.daneri@it.abb.com  
carlo.cereda@it.abb.com

#### 标题图片

标题图片为中压开关柜项目采用的 ABB eVD4 自动断路器（带人机界面）。



从性能、简易性、可靠性、安全性和成本效益来看，eVD4 向前迈进了一大步。

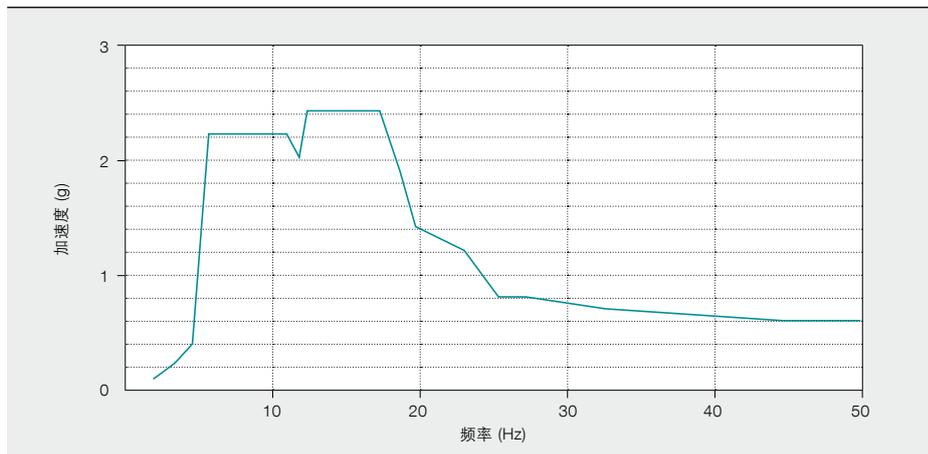


# 开关与地震

经过认证的核电站开关柜是产业链中的关键环节

RENATO PICCARDO, ANNUNZIO REGANTINI, DAVIDE CATTANEO, LUCIANO DI MAIO –

核电站必须能够在非常安全的条件下管理大量能源。所有系统功能控制必须具有绝对的可靠性和稳定的操作性能。所采用的设备必须能够长期耐受温度、压力、湿度、辐射和振动（包括地震）等极端环境所引起的老化。ABB 开发的 UNIGEAR ZS1 中压开关柜已通过认证，可以满足所有关键要求。



**参**与核电项目的人员都深知关注细节和使用经过认证的设备十分重要：只有当所有部件的安全功能都经过全面测试和认证后，核电站才能交付使用。美国 IEEE<sup>1</sup> 和欧洲 IEC<sup>2</sup> 标准规定了认证的详细参数。

### 质量鉴定程序

核电站 (NPP) 安全链中的所有产品供应商都必须经过严格的质量鉴定程序，确保所检验和认证的系统部件都完全可靠。

在核电站中，一些设备的运行条件十分苛刻。因此，质量鉴定程序的主要目的是检验设备在各种特定环境设置下的运行能力。

地震场景模拟：系统必须能够在所谓的运行基准地震载荷 (OBE) 下保持

运行；如发生强烈地震，系统必须能够关闭反应堆，即安全停堆地震载荷 (SSE)。此外，还要求在极端的温度/湿度环境条件下和热/辐射老化过程后，检测各个部件的功能。

根据 IEEE 和 IEC 标准，可采用以下方法检验系统部件（独立或组合）：

- 型式试验：型式试验指对设备的代表性样品（包括接口）进行一系列试验，模拟正常运行过程中显著老化机制的影响。
- 运行经验：获取在已知操作条件下成功运行的设备或相似设计的设备性能数据，然后将其用于检验同等条件或较低条件下的其他同类设备。
- 分析：鉴定程序的分析需要逻辑性评估或设备的有效数学模型。

长期老化以及暴露在极端的温度、压力、湿度、辐射和

振动环境下，会导致合格设备发生常见故障。因此，需要为具有显著老化机制的设备建立一个“鉴定寿命”。鉴定寿命指设备开始出现设计基准事件前，满足规定运行条件设计要求的时间段 [1]。

### 气候试验（循环湿热）

气候试验的目的在于验证开关柜是否能够在安装环境的湿度和温度水平发生变化前后或过程中持续执行安全功能。该试验可确定设备在高湿度以及循环温度变化条件下的适用性，并能测试设备表面的冷凝情况。湿度——温度循环过程中产生的冷凝会导致中压开关柜的绝缘性能下降。

### 抗震和飞机撞击试验鉴定

IEC 60980 [2] 和 IEEE 344 [3] 标准为核电站安全电气设备的抗震鉴定提出了两个主要参考标准。两项标准均未对反应谱进行定义，原因在于反应谱 (RRS) 会随不同的地理区域和建筑结

**系统必须能够在所谓的运行基准地震载荷 (OBE) 下保持运行；如发生强烈地震，则必须能够关闭反应堆。**

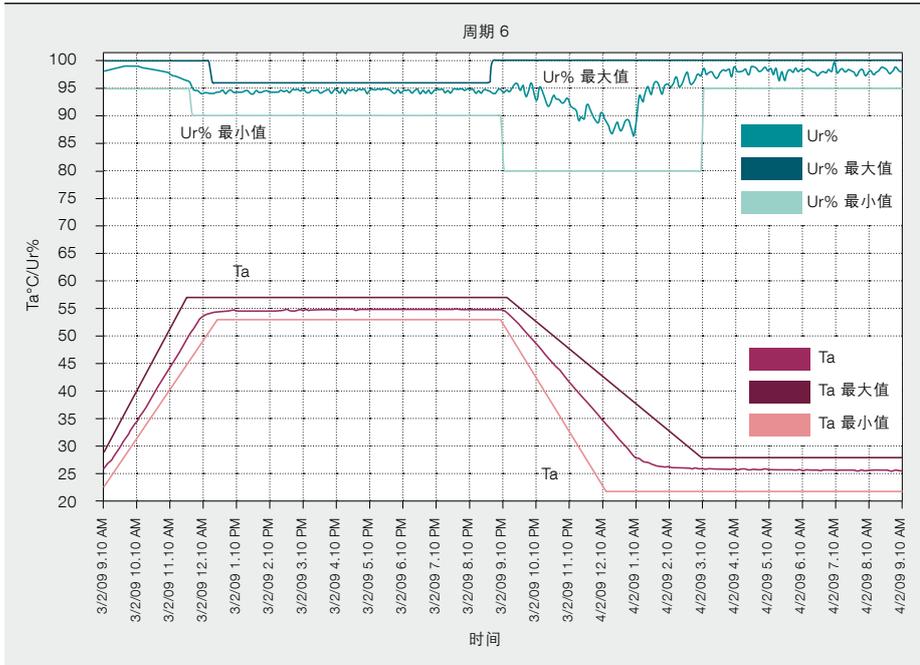
构发生变化。因此，通常在项目技术规格中对反应谱进行定义。

时程抗震试验通常包括独立的三轴多频试验，该试验基于从指定的反应谱人工合成的时程曲线（加速度-时间函数）。反应谱考虑了地理位置、支承

#### 脚注

1 电气电子工程师学会 (IEEE)

2 国际电工委员会 (IEC)



位于意大利 Dalmine 的 ABB 技术中心近期参与了欧洲多项核电站中压开关柜项目：如比利时的 Tihange 和 Doel 核电站、罗马尼亚的 Cernavoda 核电站、瑞典的 Oskarsham 核电站以及瑞士的 Leibstadt 核电站。

结构或建筑的各种特点 →1。时程分析法被视为设备认证过程的最佳地震荷载模拟方法。

抗震试验需要进行以下地震模拟：

OBE/S1：在此地震荷载条件下，无公共安全风险，系统可维持正常运行功能；

SSE/S2：在此地震荷载条件下，需要某些结构、系统和部件来保证反应堆冷却剂压力边界的完整性，能够关闭反应堆并使其保持在安全的关闭条件下。

电磁兼容鉴定

发生事故时可能出现高电磁应力，因此设备还必须能够在这种情况下确保安全功能的可用性。所有设备都要通过两项试验，复制一次设备中安装的仪表和控制 (I&C) 装置的实际配置，包括接线。

抗扰度试验：电磁兼容性 (EMC) 鉴定试验旨在检验设备在不同频率范围的电磁干扰下的抗扰度。

发射试验：对每台电气设备向电线发射的电磁辐射进行宽频测量。

所有仪表和控制功能都要进行详细的功能测试，例如单个设备中集成的保护或控制功能。软件认证过程遵循专为核电站制定的 IEC 标准；具体内容参见 IEC 60780 [4]。

### ABB 的解决方案

ABB 拥有充足的产品、专业知识和技术，确保满足所有核电站要求。位于意大利 Dalmine 的 ABB 技术中心近期参与了欧洲多个核电站中压开关柜项目：如比利时的 Tihange 和 Doel、罗马尼亚的 Cernavoda、瑞典的 Oskarsham 以及瑞士的 Leibstadt。这些项目中所采用的 ABB 产品都经过严格的质量鉴定程序，证实了在地震事件以及恶劣环境条件下的设备功能性。

除自身产品、实验室和先进技术外，ABB 还和附近的一流实验室（如拥有三轴振动台）建立了专门合作关系；此外，ABB 还咨询抗震结构专家团队。抗震仿真无需样机，可缩短项目周期并降低成本，为核能项目提供更多优势。

2009 年，核电站工程设计、采购和施工 (EPC) 领域的领导企业 Areva NP 证实，ABB 技术中心满足“规划和生产核电站中压开关柜”的条件。

### 中压开关柜 – UniGear ZS1

中压开关柜是配电网中最重要的一环之一。为了满足所有用户的要求，ABB 开发了 UniGear ZS1 开关柜。Uni-Gear ZS1 完美结合了 ABB 的综合解决方案和创新部件。中压开关柜可用于室内安装。舱室采用金属隔断分离，活动部件则采用空气



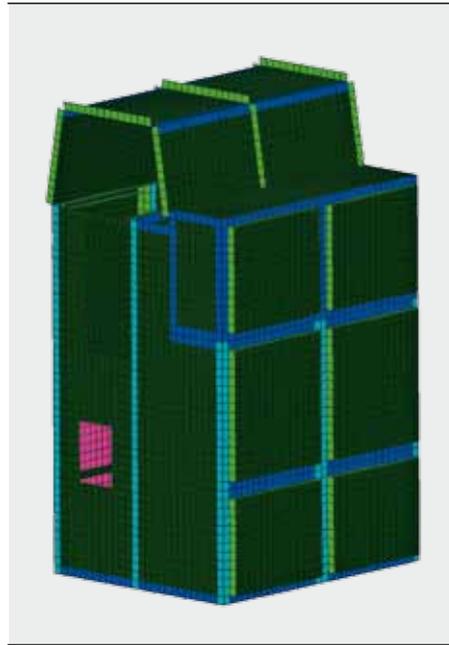
绝缘。UniGear ZS1 开关柜拥有市场中最完善的配套仪器，包括真空断路器和气体断路器以及带熔断器的真空接触器。

### 工业应用

Doel 是比利时两家大型核电站之一。GDF SUEZ 集团旗下的比利时能源公司 Electrabel 是其最大的股东。2009 年，ABB 向其提供了包括 18 个 Uni-Gear ZS1 单元的中压开关柜，设备额定值为 12 kV / 1,600 A / 50 kA，配备 ABB HD4 SF<sub>6</sub> 绝缘断路器，用于应急柴油发电机组配电。

Uni-Gear ZS1 符合 IEEE 323 和 344 标准，满足客户要求的规格，其中包括气候和抗震试验要求 →2。ABB 对开关柜样品进行了试验，确定设备具备客户要求的所有特点。样机质量鉴定计划 →3 取得了成功。

Tihange 是比利时的另一家大型核电站，也由比利时能源公司 Electrabel 控股。该核电站共有三个加压水反应堆

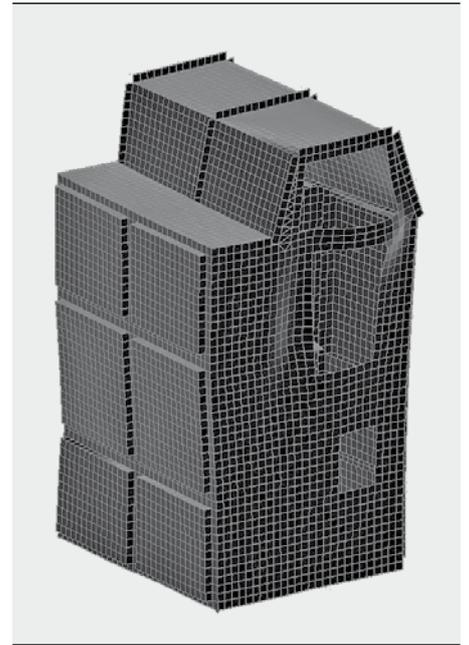


(PWR)，总容量达 2,985 MWe，占比利时核能发电总容量的 52%。

ABB 使用 HD4 SF<sub>6</sub> 断路器对 CEM Gardy 生产的 344 台断路器进行了改造。工程现场共有 354 台断路器（其中 35 台为备用）和 34 个 VT（可抽出式电压互感器），其中 7 个为备用。VT 是一个将电压互感器固定于可移动式抽屉座上的设备部件。按照合同要求，所有断路器和 VT 的更换应在 2010 年内完成；该现场施工历时两年，每年停工期间定期维护。

质量鉴定过程分为两个步骤。工业和核能质量鉴定基于中压设备及开关柜的相关 IEC 和 IEEE 标准以及客户要求的规格。抗震试验则按照 IEEE 标准在 CESI-ISMES 实验室中进行。

Oskarsham 是瑞典的十大核电站之一。该核电站拥有三个反应堆，采用沸水反应堆 (BWR) 技术，发电容量可满足瑞典 10% 的电力需求。



2009 年，ABB 向该电站提供了四台中压开关柜设备，每台设备配有 7 个 Uni-Gear ZS1 单元，额定值为 12 kV / 1,600 A / 50 kA，并配备 ABB HD4 SF<sub>6</sub> 断路器。在 Doel 核电站中，ABB 设备用于柴油应急发电机组配电，该设备符合 IEEE 323 和 IEEE 344 标准，满足客户要求的规格，包括抗震鉴定。

中压开关柜的抗震鉴定包括分析和试验两个部分，都在与 ABB 中压开关柜制造厂相距数公里的 CESI-ISMES 实验室中进行 →4, →5。

中压开关柜是配电网中最重要的一环之一。ABB 的 Uni-Gear ZS1 完美结合了 ABB 的综合解决方案和创新部件。



除自身产品、实验室和先进技术外，ABB 还与一流实验室建立了专门的合作关系。

#### 现有核电站的现代化改造

改造 (Retrofitting) 指的是在现有的中压设备中安装新部件（一次开关设备和数字保护/控制技术）。现代化改造旨在根据部件的预期生命周期按计划更换部件。

断路器用于控制开关电流，与其他静态开关柜部件相比，断路器在大多数情况下最易老化。因此，断路器通常是状态最差的部件，解决这一问题的最佳方案就是进行更换。

ABB 已对自己和竞争对手生产的断路器进行了改造，Tihange 核电站是其中最大的一个项目。ABB 在该项目中使用 HD4 SF<sub>6</sub> 断路器对 344 台 CEM Gardy 断路器进行了改造。

**Renato Piccardo**  
**Annunzio Regantini**  
**Davide Cattaneo**  
**Luciano Di Maio**

ABB 中压产品业务单元  
电力产品业务部  
意大利 Dalmine  
renato.piccardo@it.abb.com  
annunzio.regantini@it.abb.com  
davide.cattaneo@it.abb.com  
luciano.di\_maio@it.abb.com

#### 参考文献

- [1] IEEE 323 IEEE standard for qualifying class 1E equipment for nuclear power generating stations.
- [2] IEEE 344 Recommended practices for seismic qualification of class 1E equipment for nuclear power generating stations.
- [3] IEC 60780 Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification.
- [4] IEC 60980 Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations.

#### 延伸阅读

EN 61000-4 Series Electromagnetic compatibility – Testing and measurement techniques.

#### 标题图片

地震仪用于记录真实地震和监控振动台试验。

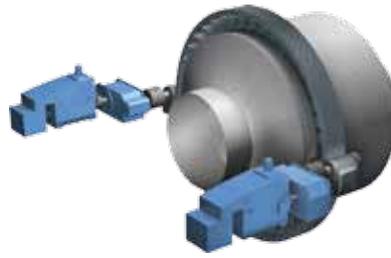


# 传动的价值

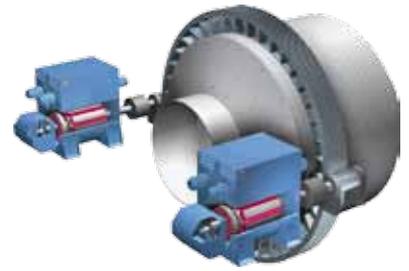
## 先进的 ABB 环形齿轮磨机传动（第一部分）

MARCO RUFLI, MAARTEN VAN DE VIJFEIJKEN – 最新一代 ABB 中压变频器为改进采矿业的磨削工艺提供了绝佳机遇。新一代传动系统增加了多项专为采矿业环形齿轮磨机开发的专用操作功能，能确保平稳、安全可靠的

运行，使机械设备应力最小化，实现磨机最大可用性。该系列内容分为两部分，第一部分说明使用这些新功能的优势，第二部分则聚焦这一先进的环形齿轮磨机传动系统的实践经验。

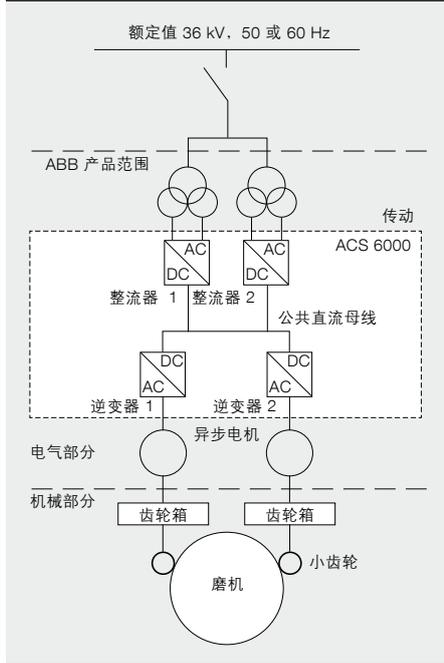


带齿轮箱

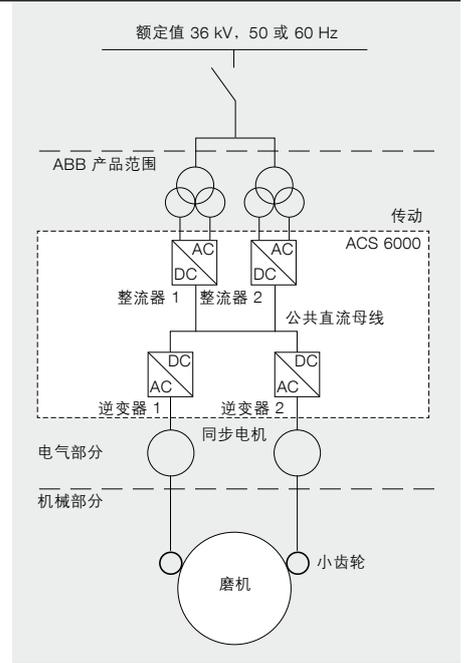


不带齿轮箱

2 双齿轮高速磨机传动和双齿轮低速磨机传动简图



带齿轮箱



不带齿轮箱

**磨**机的要求分为操作、维护和保  
护三部分：尽量避免危机情  
况，保证平稳安全操作；维护功能必  
须快捷并易于执行；在所有操作条件  
下，系统保护是重中之重。

在环形齿轮磨机传动 (RMD) 中，特别  
是双齿轮系统 **→1**，电机会产生较大的  
机械应力。因此，为避免小齿轮和  
环形齿轮承受额外的应力，两个电机  
之间的控制概念必须快速而精确。

ABB 最新一代中压 (MV) 传动带有全新  
的磨机专用功能，不仅能够满足上述  
要求，还能达到更高水平。该传动  
额外增加了一个控制器（即磨机控制  
器），不仅能兼容大量应用相关的功  
能和保护，还简化了磨机传动系统和  
客户的分布式控制系统 (DCS) 之间的  
接口。该传动采用最先进的交流传动  
控制方法——直接转矩控制 (DTC) 技  
术 **→2**，由逆变器开关直接控制电机  
变量（转矩和磁通）。只有变频传动  
才能增加操作和维护相关功能性，其  
中，精确控制是传动设计的一部分。

此外，变频传动的所有固有特点还将  
为系统带来更多优势，包括极为精确  
的电流和转矩测量、失电跨越、接地  
故障与短路保护，可进一步提高整个  
磨削工艺的控制灵活性。

在实际应用中，大型环形齿轮磨机中  
的小齿轮和环形齿轮的尺寸逐渐增  
大，因此小齿轮和环形齿轮（一些情  
况下还包括齿轮箱）的精确对准非常  
关键。实践证明，要达到并保持精确  
对准并不容易；必须避免硬启动和转  
矩脉动，这对大型磨机来说尤为重  
要。所有操作条件下（即启动、正常  
磨削作业、停机），都需要一个友好  
型机械系统。

本文所涉及的电力传动系统配置包括  
一个换流变压器、一个 ABB ACS  
6000 多传动中压变频器和两个 ABB  
AMI630 四极鼠笼式异步电机。下文  
将对启动、运行和停机序列中的传动  
系统性能以及该系统如何改进磨机整  
体作业进行阐述。

**磨机启动和停机**

磨机启动序列由电力传动系统完全控  
制；客户的分布式控制系统（或位于磨  
机附近由操作员控制的本地控制面板）  
只需发送一个简单的启动命令以及所  
需的运行速度参考值。为实现安全平  
稳的启动，传动系统首先加速至预定  
的启动速度（通常为标称速度的 10%），

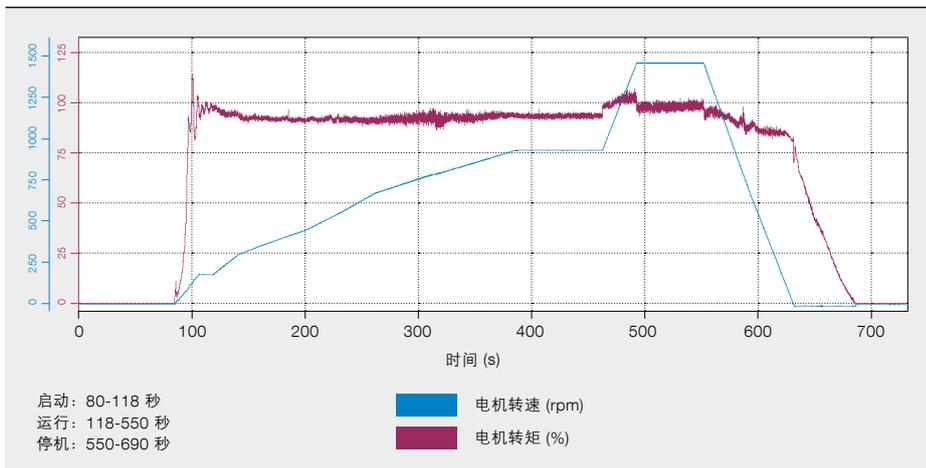
然后保持这一速度，并监测转矩和磨机角度。正常情况下，磨机中的原料将在磨机转动 90 度之前保持粘连。

但如果负荷被锁定或“冻结”，原料将在磨机旋转 180 度后从磨机顶端落下。这一情况可能严重损坏磨机及其轴承，导致大规模的非计划停工。使用先进的 ABB 传动控制技术可避免这一情况发生，磨机控制器在达到临界角之前通过递减转矩测量下落的原料时，仅允许传动按照客户的 DCS 速度参考值运行 →3。随后，由客户控制传动，意味着该传动将精确地执行 DCS 发出的任何变速要求。

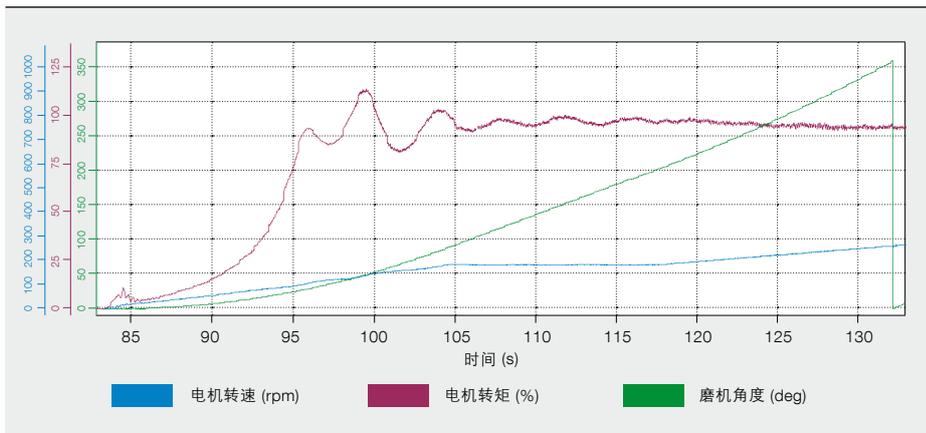
启动时，可能发生冻结进料下落的潜在危险，它严重损坏磨机外壳、轴承及其他设备。ABB 的磨机控制器能够完全消除这种风险，在发出启动命令前无需进行缓进等进一步操作，即使经过长时间停机也能轻松应对。如磨机中有真正的冻结进料，传动将在达到临界角之前执行自由停车。简言之，齿轮箱、小齿轮和环形齿轮等机械部件的启动极为平稳，不会出现过大的转矩脉动。

→4对→3所示的启动区域部分进行了放大。最初的小转矩峰值（栗色线条）为最初起动转矩，达到这一转矩后电机转速缓慢上升，起动转矩随着磨机的旋转角度增大。达到约 30 度后（第一个主要转矩峰值约为额定转矩的 94%，第二个转矩峰值即最大转矩峰值约为额定转矩的 113%），原料开始下落。一旦检测到进料粘连，磨机将持续低速运行直到达到连续下落，如图恒转矩测量所示。角度达到约 200 度时，系统稳定运行，最后磨机控制器释放传动，使其按照 DCS 速度参考值运行。

### 3 完整的启动/停机序列



### 4 带冻结进料保护的启动序列



可在传动中通过单独的启动设置（转矩限制较高，如额定转矩的 130%）限制可用的最大电机转矩，然后将其用于启动后的正常运行（转矩限制较低，如额定转矩的 110%）。

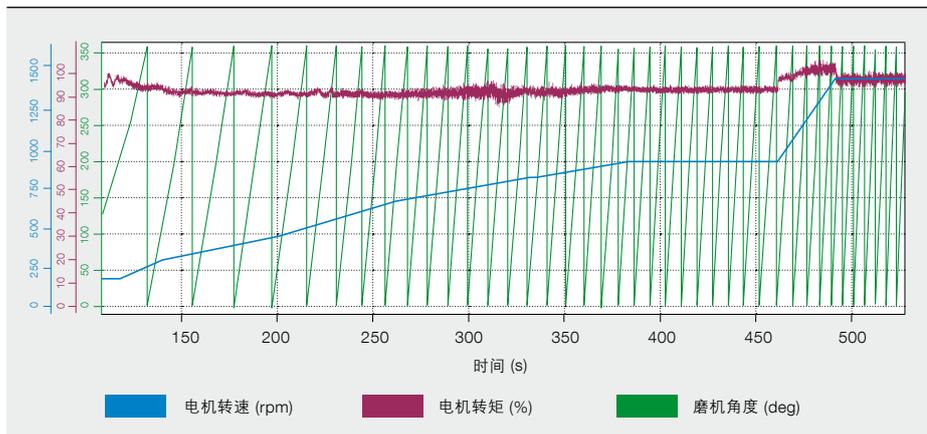
除了机械友好外，启动程序对供电网络几乎不产生影响，因为电机可通过 ACS 6000 变流器从网络解耦，因此能有效防止启动电流过高，正如直接在线电机的典型特点。因此，启动时来自网络的电流（最大峰值为额定转矩的 113%）仅为额定电流的 12% 左右。

#### 作业区域

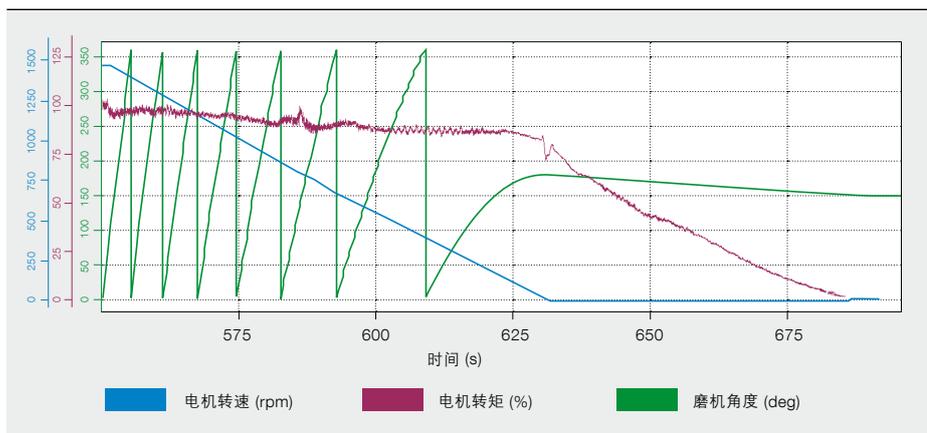
磨机控制器切断传动后，工作人员可根据工艺要求调节速度。电气传动系统

在环形齿轮磨机传动 (RMD) 中，电机可能产生较大的应力，因此电机之间的控制概念必须快速精准。

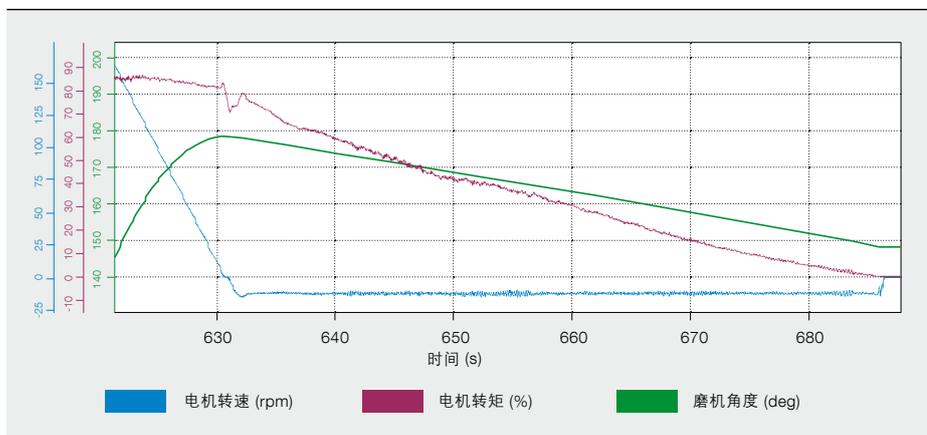
## 5 正常运行



## 6 完整的停机序列



## 7 受控回转的放大视图



可在整个速度范围内产生恒转矩，还可在高于标称速度的基础上运行，同时降低转矩（恒功率作业区域）。

在→5中，操作人员将速度慢慢提高至参考速度。三分之二标称速度持续超过一分钟后，磨机加速至最高转速，即约1,500rpm（电机额定转速）。尽管在速度上升过程中转矩会发生轻微跳跃（加速转矩约为标称转矩的7%），但在整个速度范围内的转矩仍然非常稳定。

### 采用受控回转的停机序列

DCS发出停机命令后，磨机控制器将对停机序列进行完全控制。为避免自由停车导致磨机发生不必要的前后摇摆，ABB采用了一项称为“受控回转”的功能，使磨机在受控方式下

为了实现快速、简单和安全的磨机维护，ABB在磨机控制器中采用了专用的维护功能。

迅速进入无转矩状态。该功能可使转速迅速归零。转速归零后，传动系统以相反方向缓慢行进以使磨机回转，直到系统中没有任何转矩→6。在此期间，原料在磨机中呈一定角度所产生的势能将有一部分残留在系统中，而电机则依靠回收这些势能发挥其发电机作用。

该类传动系统带有二极管整流桥，可消除能源返回电网的可能性，由于原动力受到传动系统损耗的限制（即电机和变频器的逆变器/直流母线），因此磨机回转的负速度相对较低。ABB

还提供了一款真正的四象限传动系统，该系统带有一个有源整流装置，可将制动能量反馈至电网，大大降低了磨机回转所需的时间。

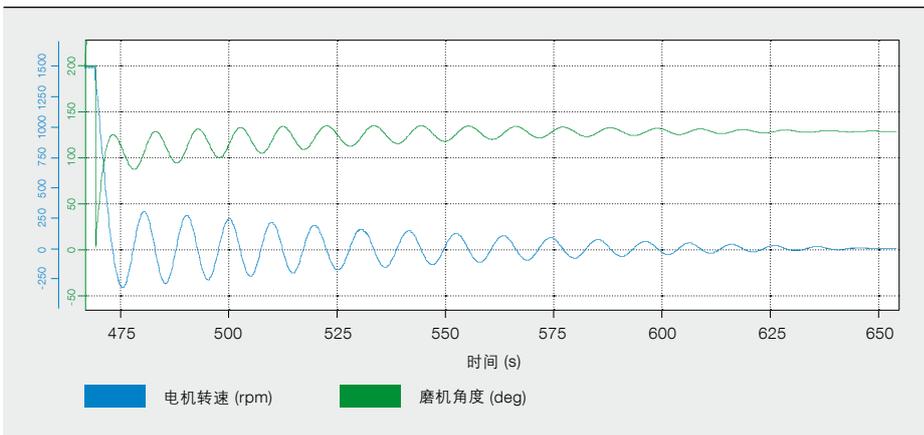
受控回转区的放大视图（基于 →6）如 →7 所示。磨机转速降低后，磨机处于不平衡状态，此时电机产生正向转矩帮助磨机控制失衡电荷。稍微减小转矩就可改变旋转方向，磨机将随之慢慢回转，直到电荷达到平衡。→7 中的数据清楚显示，转矩（施加在小齿轮上）在整个程序中始终为正向，意味着小齿轮和环形齿轮之间不会产生后冲，两者始终保持接触状态。如发生后冲，转矩将下降至零或负值。

在这一特殊配置中，受控回转过程中的电机转速仅为 12.8 rpm，相当于额定转速的 0.85%！换言之，磨机将以 0.1rpm 左右的转速在受控方式下平稳回转。由于采用了先进的 ABB DTC 技术，使得系统即使在如此低速下仍能保持平稳运行。此外，达到零速度和零转矩（即磨机停机且无过高峰值）的间隔时间约为 55 秒。该功能比自由停车更为迅速，而带四象限功能的变频器还能进一步降低这一数值。

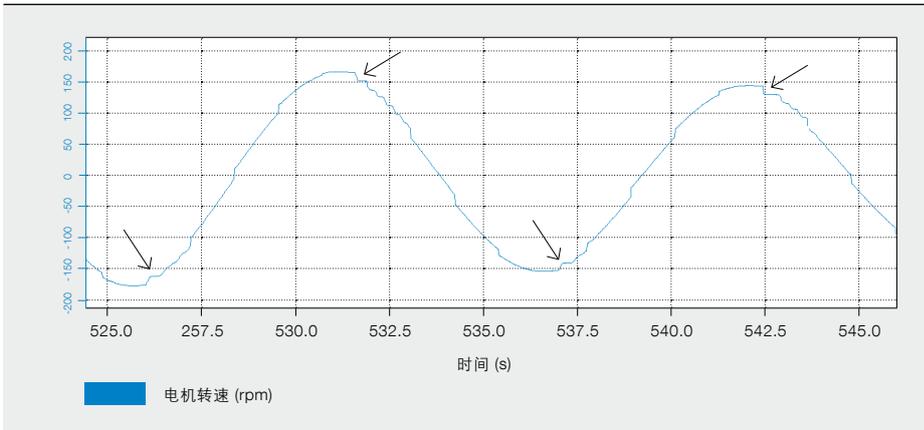
## 最新一代的 ABB 中压变频器为改造采矿业磨削工艺提供了绝佳机遇。

观察角度曲线（如 →7 所示）时可发现，磨机回转了 30 度角，从约 178 度降至约 148 度（即磨机转速在 630 秒左右时降为负值，此时角度曲线开始下降），与启动过程中测量所得的粘连角度完美匹配 →4。

### 8 自由停车（摇摆式磨机）



### 9 自由停车过程中的后冲



### 自由停车（摇摆式磨机）

为充分了解变速运行以及受控回转的独特优势，ABB 在相同的磨机上进行了额定转速自由停车测试。测试结果显示，磨机在收到“停机”命令后，达到完全停止状态（磨机的前后摇摆停止）所需的时间约为 180 秒 →8。

对 →9 中的电机转速信号（由电机转速计测得）进行进一步检查时可发现，小齿轮和环形齿轮之间存在反冲（如箭头所示），其原因如下：环形齿轮传动电机，必须随其惯性进行加速和减速。在减速过程中，环形齿轮的轮齿多次撞击小齿轮，影响电机转速。这不仅会造成反冲，还会严重损坏齿轮。

### 维护功能

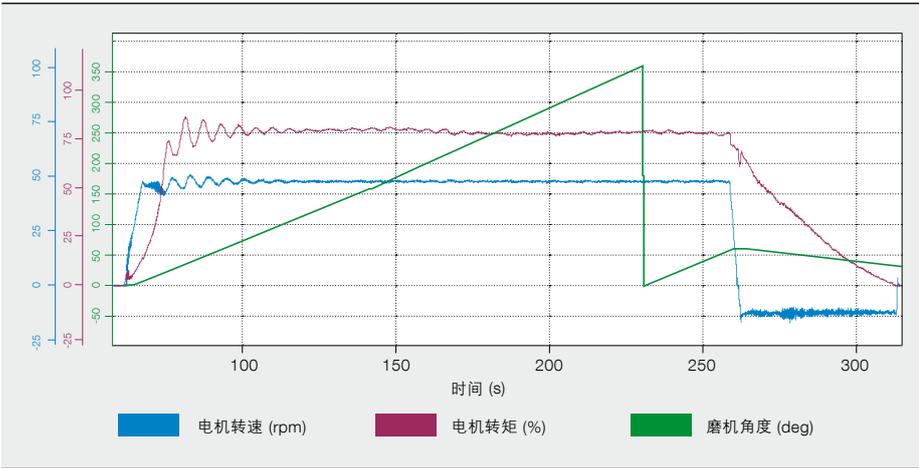
为实现快速、简单和安全的磨机维护，ABB 在磨机控制器中加入了专用维护功能。

### 缓进

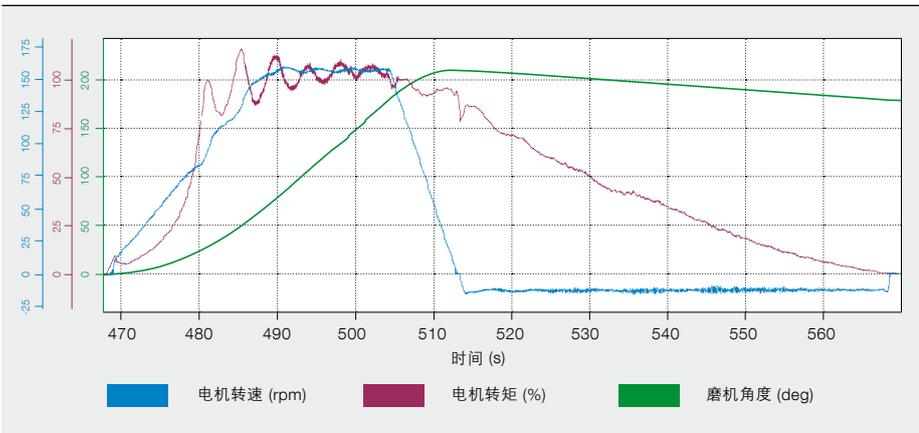
缓进是一项常见的磨机维护功能，即在极低的速度下运转磨机以便进行维护，例如目测检查轴承或更换衬里的手动定位。一般来说，如磨机的主传动系统采用定速电机，则需要一个带减速箱的辅助电机执行缓进功能。ABB 的磨机传动系统可在低速下提供较大转矩，从而确保主传动的缓进功能。

缓进命令通常由磨机附近的本地控制面板发出，但也可从 DCS 进行远程

## 10 缓进程序



## 11 带有 180 度角参考值的自动定位程序



采用自动定位功能后，操作人员能够使磨机准确地旋转所需角度或衬里行数。

启动。启动程序完全由磨机控制器控制，缓进模式选定后即启动冻结进料保护功能。缓进速度通常为额定速度的 5%，成功启动后可在 1-10% 之间进行调整。

完整的缓进序列如 →10 所示。将缓进速度设为 48rpm 或额定转速的 3.2%；磨机角度达到 23.5 度且转矩为额定转矩的 73% 时检测到粘连。在发出停机命令前，操作人员使磨机保持这一速度运行 420 度，然后磨机控制器降低转速并执行受控回转功能，直到系统中的转矩完全消失，最后停止传动。

### 自动定位序列

采用自动定位功能后，操作人员能够使磨机准确地旋转所需角度或衬里行数。事实上，该功能在衬里更换过程

中具有非常积极的作用，可帮助减少停机时间并提高可用性。操作人员可对定位模式、旋转方向以及所需的角度或衬里数量进行预选，然后通过本地控制面板或 DCS 启动。

要求磨机转动 180 度的自动定位功能如 →11 所示：原料在达到 27 度时开始级联；传动在特定时间内保持低速运行，然后降速；到零速时磨机已转动 209 度，该点的转矩值为额定转矩（磨机满载时）的 94%；然后，传动反向运转，慢慢降低转矩。传动停止时（101.6 秒后），磨机已转动 179.2 度，误差率仅为 0.5%！在该实例中，最佳定位转速设为 158rpm，相当于额定转速的 10.5%（标准值为 10%）。在这一速度下，所有测试中的角度误差率均低于 1%。

### 变形保护

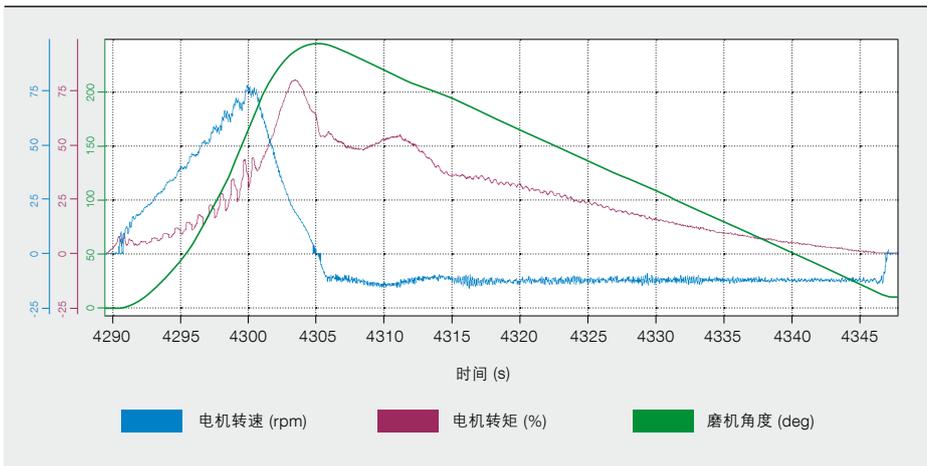
变形保护属于自动定位序列，固定角度参考值为 180 度。即使变形对于磨机来说并非严重问题，仍可在较长的磨机停机过程（如维护）中使用该功能以避免产生冻结进料。操作人员只需预选变形保护模式和首选的旋转方向，然后发出启动命令。随后磨机控制器使磨机按照 →11 中所示的方法转动 180 度。

### 冻结进料清除器

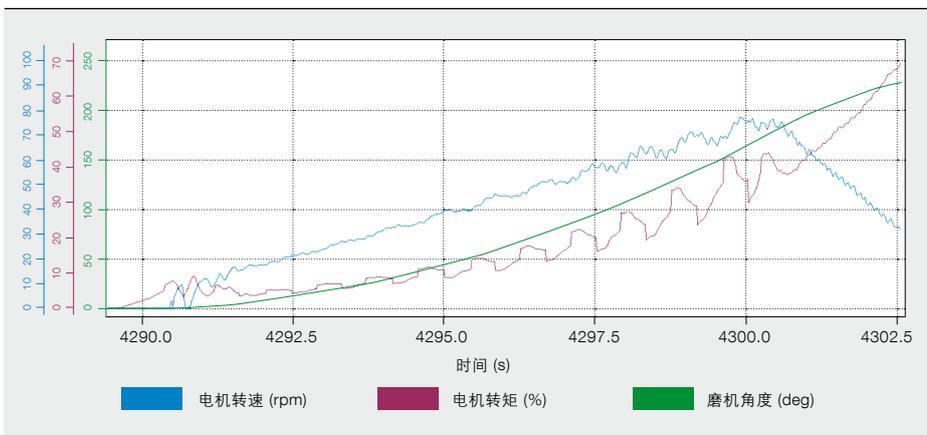
如我们所知，冻结进料通常发生在球磨机中。一旦检测到冻结进料，则必须清除冷冻材料；这一操作通常依靠手动完成，并会造成重大停机。

ABB 专用磨机功能不仅能够保护磨机不受下落的冻结进料损坏，还提供了一项称为冻结进料清除器的专利功能，该功能集成在磨机控制器中，只能通过本地控制面板或 DCS 手动

## 12 采用受控回转功能的冻结进料清除器



## 13 冻结进料清除器转矩步骤



启动。冻结进料清除器功能可通过向系统实施转矩步骤松开材料。这些转矩步骤的最佳幅度和持续时间应在调试过程中设定。可通过向系统增加一定比例的实际转矩来定义转矩步骤的幅度，如磨机在正常条件下运行，则需运行转矩和电流限制等保护功能。

## ABB 的专用磨机功能可使磨机实现高效运行和维护，具有更高价值。

这意味着机械设备的应力水平永远不会超过正常作业的数值。正反向运行均可使用冻结进料清除器。

带正向旋转和受控回转功能的完整冻结进料清除器序列如 →12 所示，该序列第一部分的放大视图参见 →13。转矩步骤还可体现在转速变化中，磨机断开传动后立即通过加速和减速阶段序列执行转矩步骤，从而松开冻结进料。该步骤的幅度为系统增加的实际转矩的固定相对值，并可在调试过程中进行调节。

如 →13 所示，最大转矩步骤的最大幅度为额定转矩的 19.2%。由于转矩和转速始终为正向且发生在相同（即第一）象限内，小齿轮和环形齿轮之间将不会发生后冲现象。

### 未完待续……

ABB 的专用磨机功能可使磨机实现高效运行和维护，具有更高价值。

此外，该传动系统还可用于双齿轮磨机传动系统，即两台电机通过磨机环形齿轮进行机械连接，共同运行传动磨机。这显然需要精确的负载平衡。本文的第二部分将通过现场测量向您展示 2×5MW 双齿轮磨机传动系统令人惊叹的精确度。

**Marco Rufli**  
**Maarten van de Vijfeijken**  
ABB 瑞士公司  
瑞士 Baden-Dättwil  
marco.rufli@ch.abb.com  
maarten.vijfeijken@ch.abb.com

### 延伸阅读

- [1] Ravani von Ow, T., Bomvisinho, L. (2010). *Use of the latest technology to overcome the demands of mill operation*. Paper presented at the 42nd Annual Canadian Mineral Processors Operators Conference, Ottawa, Canada.
- [2] Ravani von Ow, T., Gerhard, B. (2010). *Ring-gear mills operated with frequency converter (much more than just variable speed)*. Paper presented at the SME annual meeting, Phoenix, Arizona, United States.

### 标题图片

最新一代的 ABB 中压变频器用于瑞士 Boliden's Aitik 的铜精矿厂。

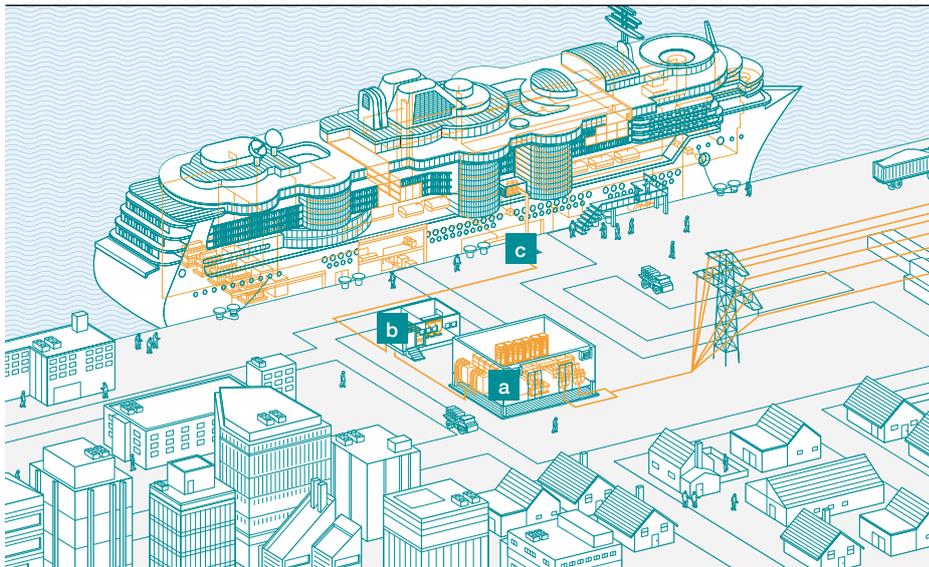


# 岸电电源

关注岸电和船电技术，  
以及岸电电源标准化的  
实例

LUTZ THURM, ISMIR FAZLAGIC, THORSTEN HARDER, KNUT  
MARQUART –

港口区域的环境影响备受关注。政府、港务管理局和船东已经开发出不同的解决方案，实现船舶在港口作业的节能减排。其中一套解决方案已经得到确认，即停靠在港口的船舶与岸上供电相连接，使用岸上电网的电力驱动船舶的基础设施运转，该基础设施包括船员和乘客所使用的设施，也包括用于货物装卸的设施。随着岸电电源的标准化进程不断临近，解决方案的实施范围必须扩大，才能有助于港务管理局和船东实现港口地区的减排。



1a 变压器和开关柜

1b 变频器

1c 连接器

**冬** 表 →1 是岸电电源的实例：该技术的主要优势之一是电力的环境效益，通过将岸上发电厂发出的电力与使用船用燃油的船舶内燃机发出的电力之间进行对比而得出。通过岸上电力<sup>1</sup>，监管机构可以使用特定的本地解决方案（来自岸上的电源连接）应对特定的本地问题（污染）。港口具备向停靠的船舶供电的能力，使得港口能够建立一种更有效、更强大的、作为公共设施的整套电源。此外，对基础设施的投资可以持续数十年，并产生长期收益。港口社区还可获得降低港口区域的噪声和振动的额外收益。随着岸电电源的标准化，对该技术的投资定会物有所值。

### 岸电技术

无需采用新技术在岸上向停靠的船舶供电。现如今，工程师可以使用已有技术，严格关注诸如安全电缆管理等事项，便可以开发出可靠的输电基础设施。根据港口的特殊需要和港口提供的电力的不同，设备的成本也大为

不同。码头建设和安装以及强化港口电网的潜在需求都会引起额外的成本投入。

港口供电相当于一家小型工厂所需的电量，以满足起重机、皮带、起重机架、冷却加热设备和其他设备等岸边装卸基础设施的用电需求。多数港口已经可以提供这些设备运行所需的充足电力，并可提供额外的 2 到 3 MW 的电力用于次级需要。假定港口内的一艘船大约需要 10MW 的电力，如果不改造港口电网，那么许多港口的电力基础设施提供的电力将不足以满足岸电电源需求。电网的改造可能包括投资兴建新的变电站或是安装可以传输更多电力的新的外接输电线；这两种做法将需要与港口电力供应商协商后方可实施。

岸上电力解决方案常常由外接变电站的整个供电链构成，其中包括与电网电压和船上电力系统相匹配的变压器、变频器。不管当地电网频率高低，这些

解决方案都允许同时连接几种船型，并能够提供 50 和 60Hz 的电力。这些解决方案也包括连接电缆和泊位终端。

对于各个电源连接点来说，港口或终端必须具有支持两种用途的专用变压器。首先，变压器提供所需的电源隔

## 港口供电相当于一家小型工厂所需的电量，以满足岸上装卸基础设施的用电需求。

离（岸上电网和船上内部供电系统之间的非金属直接连接），杜绝船上电力系统发生的接地故障危及港口电网，反之亦然。其次，变压器将供电从为配电而优化的电压电平（20kV）降压到为岸到船电力连接而进行标准化的两种电压电平之一，即根据船的需要降低到 11kV 或 6.6kV。

#### 脚注

<sup>1</sup> 岸电电源也被称为冷烫、岸上供电、可替换的海上电力系统 (AMP) 或岸上连接等。



a ABB 的 PCS100 静态变频器



b ABB 的 PCS6000 静态变频器

每个岸上电源连接点也都要求具有自动接地开关的中压 (MV) 开关柜。从本质上来讲, 开关柜的目的是在需要时可以通过开关中断供电, 以确保连接船电与岸电的电缆在被安放和连接时完全无电。由于岸上电源连接的最高风险是对操纵电缆的工作人员造成伤害, 因此开关柜非常关键。

数岸上电源连接必备静态变频器 →2。大多数船舶的用电频率为 60Hz, 而全球绝大多数岸上用电频率为 50Hz →3。因此, 多数岸上电源连接都将需要变

可以适用于任何变电站建筑或具有紧凑型开关柜和变压器的集装箱。此外, 通过改进功率因数、平稳电压与频率, 变频器提高了岸上电网的整体电能质量。根据项目要求, 选择使用低压 PCS100 或中压 PCS6000 变频器 →2。

最后, 用于岸电电源连接的岸上基础设施必须包含一个自动化的通信系统, 该系统允许工作人员协调电缆的连接, 使船上电力负载与岸边电力供应同步运行。使用两个 RTU (远程终端设备) 即可实现这一目的——一个安装在船上, 一个安装在岸上——通过光纤电缆进行以太网通信。

岸上电源连接系统无需占用宝贵的码头空间。可将变电站设置到距离直接向船舶供电的码头变压器和中压柜远达 10 公里的地方。在码头区仅有一个房间大小的、小型的、安全的集装箱, 用来储存电力变压器和配备自动接地开关、保护

及操作控制面板的中压柜。岸上的紧凑型基础设施的优势在于确保码头装卸工作进行顺利进行并可移动。

### 船电技术

为使用岸上电网提供的电力, 必须更新现有设备或建设新连接系统, 更新后或新建的设备必须满足以下要求: 能够连接至岸上、能将岸上电力转换到船舶、将引入的供电连接至船舶的辅助电力系统。可以在相对较短的时间内对运行或停靠的船舶进行安全改造, 从而不会对船舶的运营造成较长时间的的中断。

首先, 岸上电力必须通过电缆传输到船上 →4, 5。在某些情况下, 尤其是集装箱船和汽车轮渡中, 连接电缆装在船上, 可通过线轴或鼓轮将电缆降低到所连接的码头。而对于游轮来说, 连接电缆总是从岸上提供, 可通过小型集成液压臂进行引导连接。

当电缆管理系统位于岸上时, 船上的岸电箱是电气连接的接收方 →6。通常将该连接柜置于船体附近, 便于接触到沉重的岸边电缆。岸电箱包括一个

## 现今, 许多使用岸电连接设备的船舶是经过改造而加装这些设备的, 而不是在新建时就装有这些设备。

频。静态变频器提供的经济型解决方案可将任何船舶与任何电网相连接, 而不受限于所要求的频率。正是由于港口的布局使配有变频器的集成解决方案可以服务于多种船舶和泊位。由于变频器占地面积小, 因此变频器



断路器、一个保护继电器、一个电气连接（插头和接地电缆）和一个可与船上的自动化系统或电站管理系统对话的控制接口。在负载转移前，这些系统允许外来电源与船舶的辅助发电机同步运行。ABB 岸电连接柜包括两个箱体，箱体的规格根据额定功率的不同而不同。该中压设备必须安装在专用机房内。

在使用常规机械推进的船上（与柴油电力推进相反，船上内燃机直接驱动船舶螺旋桨），船上低压辅助电力系统—典型的是 400 到 690V——要求变压器接收来自岸上的 11 或 6.6kV 供电。该变压器相对而言体积较为庞大，但与岸电箱不同，可将变压器安装在机舱或船上其他任何合适的位置。

船舶与岸上单元的连接和断开只需 5 到 30 分钟。在船上，由轮机长或经过培训的、富有船舶电站管理系统经验的船员操纵电力传输。由受过中压设备的适当操作培训的船上或岸上工作人员管理电缆。至少有一家公司已经开始投资于将电缆自动接入船舶的系统来提高安全性并节约时间。

当前，配备有接收岸上电力的基础设施的多数船舶都是集装箱船，许多船舶设计师或者在设计中包含了基础设施或是为基础设施留出空间。现今，许多使用岸电连接设备的船舶是经过改造而加装这些设备的，而不是在新建时就装有这些设备。

虽然船上岸电连接技术几乎都不是新技术，然而通常整个系统都必须根据具体情况具体设计。即使连接都符合标准，船舶的设计也不是标准的，也就意味着空间、可达性、与电站管理系统和发电机组的接口等问题在安装前都需要进行调研和评估。ABB 已经开发出了覆盖输电整个范围的整套解决方案，该方案使船舶最低限度地中断运营。

### 标准化岸电电源连接系统

为了使岸电电源造福港口和船东，必须标准化电源连接的性质和管理。在岸电连接系统标准化之前，也就是该系统在跨区域和一定时间里保持通用，且得到有效保障之前，港口业主和船东都不会调整方向来对这些昂贵的设备进行投资。



IEC、ISO 和 IEEE 协力创建一个标准，使岸上电力连接具有有效稳固的全球基础。



致力于建立一个共同的船舶岸电供电标准的工作始于 2005 年初。参与标准设立的主要参与者包括技术供应商、政府、港务管理局、船东（特别是巡航轮、油轮、集装箱船公司）、船级社和其他。IEC、ISO 和 IEEE<sup>2</sup> 协力创建一个标准，将使岸上电力连接具有有效稳固的全球基础。

## 通过岸上电力，监管机构可以使用特定的本地解决方案（来自岸上的电源连接）来应对特定的本地问题（污染）。

该标准适用于规范、安装和测试岸上电力系统和发电厂：

- 岸上配电系统
- 岸电连接
- 变压器/电抗器
- 半导体变流器和旋转变流器
- 船上配电系统
- 控制、监视、连锁和电力管理系统

### 脚注

<sup>2</sup> IEC 是国际电工技术委员会；ISO 是国际标准化组织；IEEE 是电气和电子工程师协会。



标准设立的目的是明确要求，即“应用适当的运算，通过兼容的岸电连接支持符合标准的船舶快速连接至符合标准的高压岸上单元”[1]。这消除了船舶或港口工作人员调整基础设施使之能够连接的需要。

为所有港口的所有船舶设立单一、全球连接标准的最初目标已被抛弃。电力需求和船舶容量如此不同，以至于单一标准难以实施。因此，设立了既相对独立又互相联系的四个标准，适用于不同的船舶—滚装船、集装箱船、游轮和油轮。此外，两种适合于连接的主要标准电压：-11kV 和 6.6 kV。

一旦有了全球标准，港口业主和船东没有理由不开始对岸电电源连接系统进行投资。最终标准的获批也不远了。

### Lutz Thurm

ABB 船舶解决方案  
lutz.thurm@us.abb.com

### Ismir Fazlagic

ABB 岸电电源解决方案  
ismir.fazlagic@se.abb.com

### Thorsten Harder

ABB 变频器解决方案  
thorsten.harder@ch.abb.com

### Knut Marquart

ABB 营销和客户解决方案  
knut.marquart@ch.abb.com

### 延伸阅读

- Marquart, K., Haasdijk, T., Ferrari, GB, Schmidhalter, R. 岸电电源：ABB 交钥匙解决方案有效实现港口减排。《ABB 评论》4/2010，56-60 页。
- [www.abb.com/ports](http://www.abb.com/ports)

### 参考文献

- [1] IEC/PAS 60092-510. Edition 1.0 (2009, April). Electrical installations in ships – Part 510: Special features – High-voltage shore connection systems. Retrieved September 20, 2010 from [http://webstore.iec.ch/preview/info\\_iecpas60092-510%7Bed1.0%7Den.pdf](http://webstore.iec.ch/preview/info_iecpas60092-510%7Bed1.0%7Den.pdf).

### 标题图片

荷美邮轮 Zuiderdam 号（36 页）使用岸电电源技术，有助于使港口更加宜居。



# 五电平变流器

## ANPC-5L 技术与 ACS 2000 传动

FREDERICK KIEFERNDORF, MICHAEL BASLER,  
LEONARDO SERPA, JAN-HENNING FABIAN, ANTONIO  
COCCIA, GERALD SCHEUER –

现代电力电子技术已彻底改变了电力系统的传输与使用。在传动领域，任意选择、连续改变逆变器的输出电压频率和振幅等能力大幅增强了增效节能和可控制性这两方面的性能。逆变器通过使用半导体在不同直流电压等级之间

进行高频切换来合成交流电压。由于采用脉宽调制开关模式，由此产生的波形与“理想的”正弦波不同。这一差别足以使传动的使用符合高“质量”交流电压的应用需要。提高直流电压电平数能够在更多应用中发挥传动的增效节能优势。ABB 的 ACS 2000 以创新的五电平技术取代了常用的三电平，通过巧妙的拓扑结构避免许多常见问题，从而降低五电平变流器的复杂性。

**逆**变器（将直流转换为交流的电路）基于不同直流电压电平之间的转换原理，输出高频矩形脉冲取代交流正弦波，目的在于尽量精确地再现正弦波 →1c。以低分辨率的数码相片为例。照片由于像素数低，无法再现所有的细节，因此无法精确地再现拍摄对象。同样，使用矩形脉冲接近理想正弦波的能力也受到电压电平数的限制，与照片不同的是，这里的差异不仅仅是美学问题：非理想的正弦波形会导致谐波（高频电流和电压）产生，造成不良影响，例如电机绝缘装置和轴承应力和干扰其他设备等。谐波滤波器可通过吸收问题谐波调节输出，但涉及成本因素，并会导致额外损耗。为消除该类谐波的影响，或者电机必须能够处理附加应力（排除了很多标准样本电机的使用），或者该类变流器无法用于现有的应用，因此亟需一台新型变流器来实现更理想的正弦输出。

## 逆变器电压等级

两电平变流器是最简单的逆变器。之所以称之为两电平，是因为该变流器仅适用于两个电压等级：直流电源电压及其反向电压。中性点箝位型三电平 (NPC) 变流器是这一概念的延伸，还可使用中性点电压 →1a 并生成 →1c 中所所示的开关模式类型。

最新的变流器比上述变流器更进一步，可输出五个电压等级，但该类电路往往极为复杂。例如，如果直流电源采用五个电压电平取代三个电压电平，则需要增加额外的箝位二极管和电容器以及相应的控制和充电电路。另一个替代方法是串联变流器。

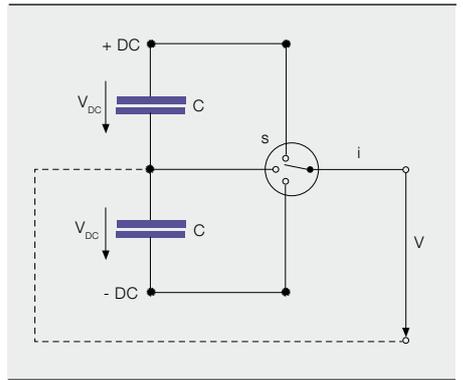
这一方法需要造价较高的变压器对电源进行电流分离，因此也会增加直流电源电路的复杂性。这些解决方案适用于高功率水平，而低功率的中压传动系统需要更为简单的解决方案。

ABB 已开始着手解决这些问题，并且找到了一个较为理想的解决方案，可在不增加直流电源复杂性的前提下输出五个功率等级。仅使用一个三电平直流电源无法提供五个电压等级，因此电路的每个输出项需要增加一个额外的电容器。ABB 创建的解决方案能够巧妙地为电容器充电，无需专用控制电路。

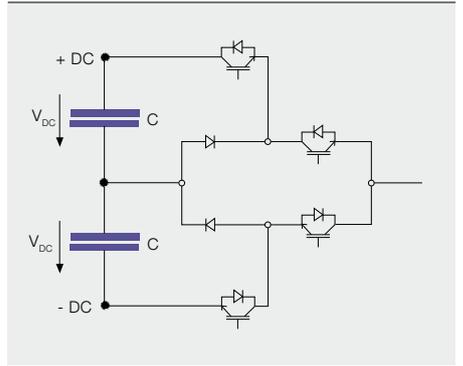
### ANPC-5L

有源中性点箝位五电平 (ANPC-5L) 变流器的基本原理参见 →2a。相电容器  $C_{ph}$  保持相当于直流母线电容器一半的电压，即直流母线总电压的四分之一。该电路的整体原理为一个 NPC 三电平变流器加一个额外的电容器。该相电容器与三电平变流器相串联，并提供两个额外的中间输出电平。

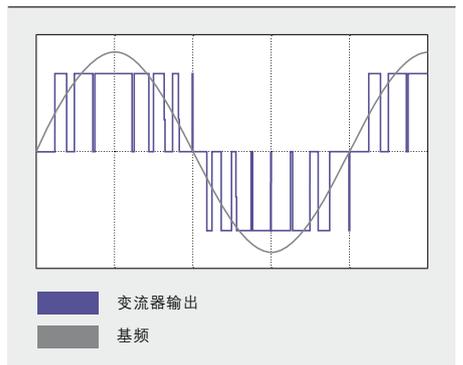
## 1 NPC 变流器基础原理（仅显示一相）



1a 工作原理



1b 电路



1c 电压波形（样图）

与 NPC 三电平变流器相比，ANPC-5L 每相仅需增加一个电容器。

直流电源与 NPC 三电平变流器的电源相同。→2b 中的单元 1 与 NPC 三电平变流器在拓扑结构上明显相似 →1b。与该电路类似，单元 1 中 IGBT（绝缘栅双极晶体管）开关装置的额定电压等于直流母线电压的一半。由于额外电容器的电压为直流母线电压的四分之一，单元 2 和单元 3 中的 IGBT 也采用这一较低电压。使用额定值较低的装置可简化变流器结构。该变流器的设计十分简洁明快，与 NPC 三电平变流器相比，每相仅需增加一个电容器，还能提供完整的四象限功能（电源可进行双向转换）。

### ANPC-5L 的工作

单元 1 中的开关装置 (2b) 为互补模式，S1 和 Snp2 为同步操作（S4 和 Snp1 与之相同）。单元 2 中的开关装置与单元 3 中的工作为相反模式。每相的开关状态总数如 →3 所示。共有八种可用状态。该变流器只有五个输出电平，因此一部分状态为冗余。某些变流器状态永远不会用到，研究结果 →3 显示，三个冗余状态对中的两个，即 V1/V2 和 V5/V6，可在相电容器充电时达到相反的效果。→4 对比 V5 和 V6，结果显示了 V6 如何从直流母线电压中减去  $V_{DC}/2$ ，而 V5 则将其加至中性点电压。最后通过相电容器的电流为反向电流。这一功能可用于维持相电容器的所需电压，无需更多充电电路。

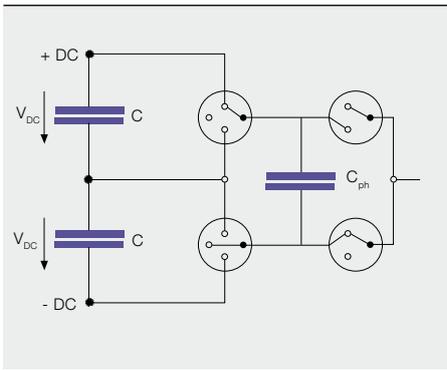
### ACS 2000

ACS 2000 传动带有两个背靠背 (B2B) 配置的五电平变流器。ACS 2000 的基本布局参见 →5。

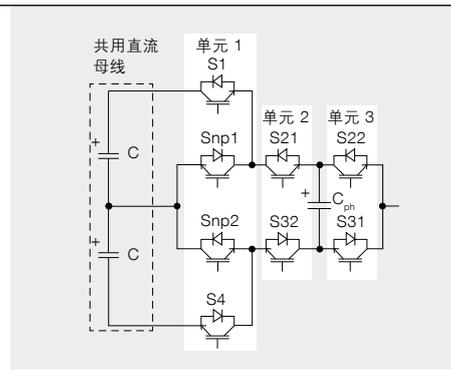
### 机械设计

ACS 2000 无变压器传动 →6 旨在通过模块化结构实现正常运行时间最大化。

## 2 ANPC-5L 变流器原理（仅显示一相）



2a 工作原理  
电容器  $C_{ph}$  持续保持直流母线电容器一半的电压。

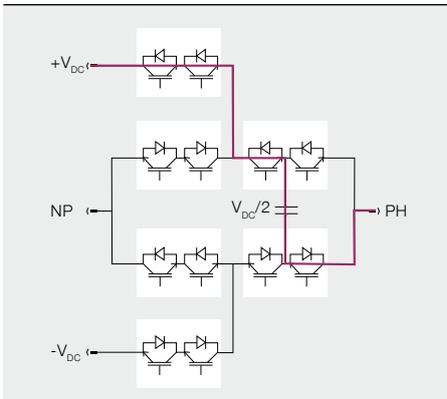


2b 电路

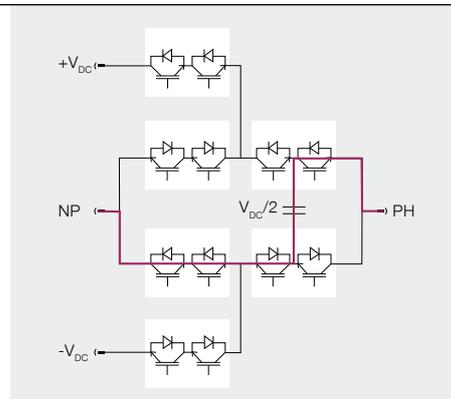
## 3 ANPC-5L 变流器的相态

单元 3				单元 2		单元 1		输出	相输出	Cph 影响		Vnp 影响		开关
S4	Snp2	Snp1	S1	S32	S21	S31	S22	电平	电压	i>0	i<0	i>0	i<0	矢量
1	0	1	0	1	0	1	0	-2	-V	0	0	0	0	V0
1	0	1	0	1	0	0	1	-1	-V/2	-	+	0	0	V1
1	0	1	0	0	1	1	0	-1	-V/2	+	-	-	+	V2
1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	-	+	V3
0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	-	+	V4
0	1	0	1	1	0	0	1	+1	V/2	-	+	-	+	V5
0	1	0	1	0	1	1	0	+1	V/2	+	-	0	0	V6
0	1	0	1	0	1	0	1	+2	V	0	0	0	0	V7

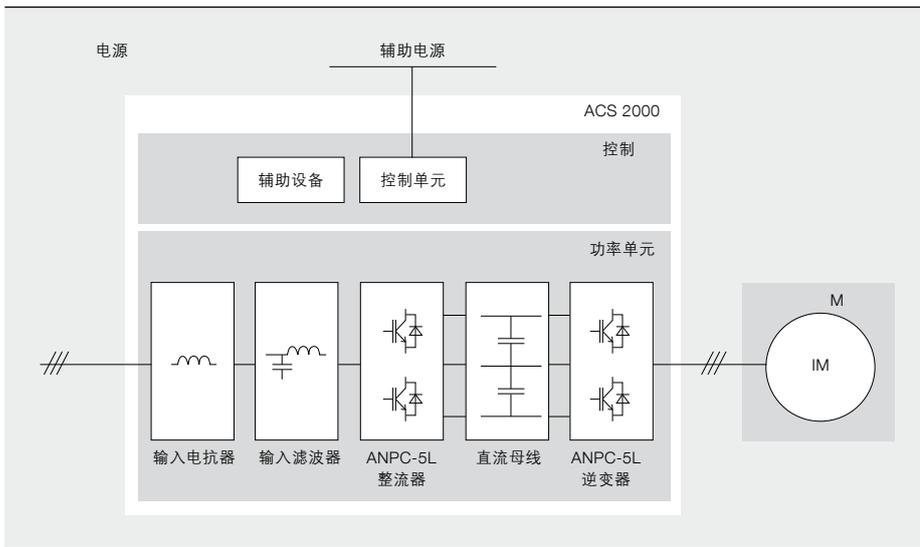
## 4 产生相同输出电压的两条不同电流通路。



4a 来自 →3 的开关状态 V6  
 $C_{ph}$  中的反向电流可保持该电容器的电荷。



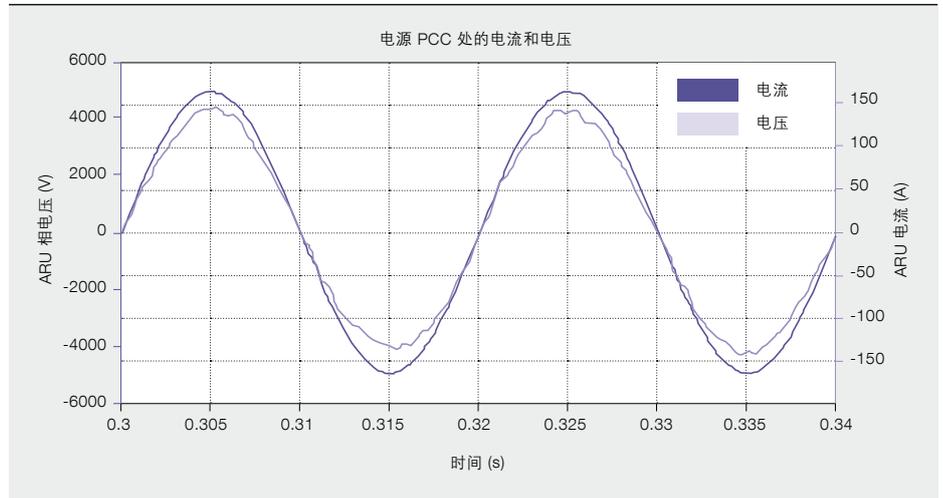
4b 来自 →3 的开关状态 V5



## 7 ACS 2000 相模块



## 8 传动输入的电压和电流指示单位功率因数运行



## ACS 2000 无变压器传动旨在通过模块化结构实现正常运行时间最大化

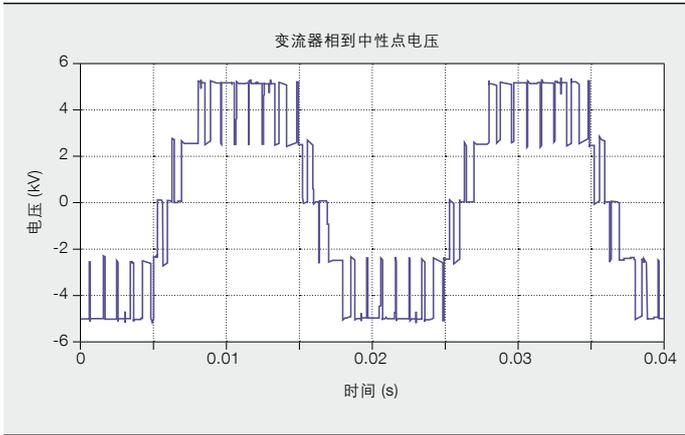
部件设计能够实现预期寿命，简单的前端进入适用于所有关键部件。抽屉式相模块设计可在发生故障时进行快速安全的更换。

相模块是模块概念中的一个关键组成部分 →7。该模块由变流器相桥臂的主要部件组成（如 →2b 所示），包括功率半导体、门极单元及相电容器。此外，该模块还包含一个上级控制的接口板以及电流和电压测量设备，只需建立一个电源连接和一个光纤连接，互相连接更为简单。使用接触插排实现载流连接。

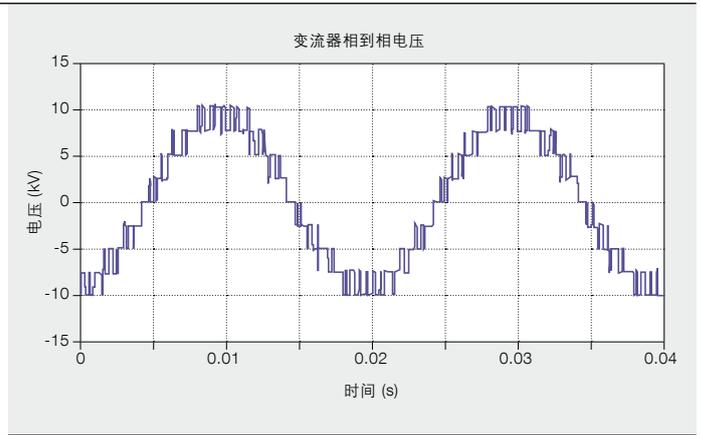
由于结构简单，最终用户能够在数分钟内完成模块的更换。

### 测试

ACS 2000 采用 B2B 配置进行测试。安装两台 ACS 2000 传动：DUT（被测设备）和负载变频器。这两台传动均由一个常见的三相电网连接供电，并与各自的电机相连（同轴）。这一互连的实际结果是电源仅需补偿传动系统中的损耗。由于两台传动（DUT 和负载变频器）均为 ACS 2000，因此可同时使用驱动和再生模式。长期的 B2B 测试还用于检验传动的可靠性。



9a 无电平波形（相到中性点）



9b 九电平波形（相到相）

### 输入与输出性能

整流器性能如 →8 所示。五电平逆变器可为电机提供九电平线电压。典型电压电流波形如 →9 所示。全新五电平逆变器的输出非常接近正弦，无需降容即可满足直接在线 (DOL) 连接的传动电机要求。

### 失电跨越

ANPC-5L 多电平技术与直接转矩控制的动态性能相结合，即使在断电持

**ANPC-5L 多电平技术与直接转矩控制的动态性能相结合，即使在断电持续数秒的情况下也能防止传动跳闸。**

续数秒的情况下也能防止传动跳闸。辅助电源故障持续一定时间时仍可保持运行。断电的最大持续时间取决于断电前的负荷、电机以及工作点。

在进行失电跨越操作时，直流母线的电压保持在特定水平，目的是保持电机的励磁。为此，通过逆变器回送电机

和负载旋转产生的能量补偿损耗并维持直流母线电压。失电跨越模式可持续到旋转质量生成的能量不能满足所需为止。主电源电压恢复时，设备将立即开始加速，恢复至所需速度。

实际客户设备的现场测量参见 →10。

电网断电一秒。如 →10a 显示，电网中的电压和输入电流下降为零。在 →10c 中，断电过程中重新产生电机转矩，用于维持直流母线电压 →10b。电网电压恢复后，转矩迅速恢复至电机传动模式。

### 应用与成就

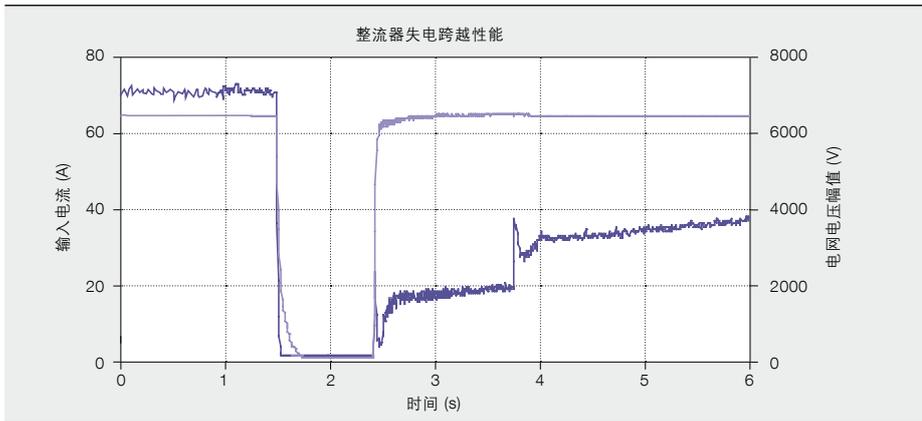
ACS 2000 可用于通用传动市场中各行各业不同的应用领域，如 →11 所示。

### 荣誉大奖

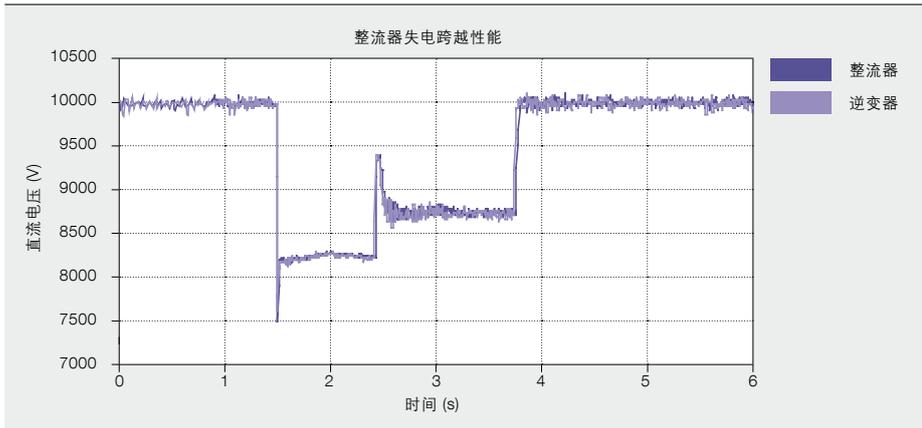
2010 年，商业咨询机构 Frost & Sullivan 为 ACS 2000 颁发了 2010 年欧洲中压传动新产品创新奖。该机构表示：“该产品拥有灵活的电源连接、低谐波、低能耗、安装和调试简单、性能可靠以及低成本等众多优势。ACS 2000 是唯一采用无变压器设计以及专利的 IGBT 多电平控制的电压源逆变器 (VSI) 拓扑结构的传动，是中压 (MV) 传动领域的一个里程碑 [...] 该产品带有一系列增值功能，包括简单

**全新五电平逆变器的输出无需降容即可满足直接在线 (DOL) 连接的传动电机需求。**

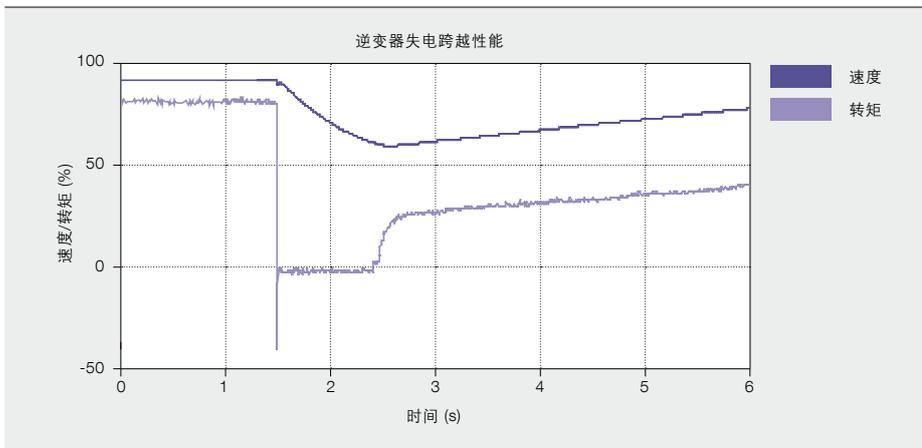
## 10 短暂断电研究：失电跨越模式测量



10a 电源



10b 直流母线电压



10c 输出性能

## 11 ACS 2000 的目标行业与应用

行业	应用
水泥、采矿与矿产	传送机、破碎机、磨机、风机和泵
化工、石油天然气	泵、压缩机、挤压机、搅拌机和鼓风机
金属	风机和泵
制浆造纸	风机、泵、精炼机、真空泵和切片机
发电	风机、泵、传送机和磨煤机
水力	泵
其他应用	试验台和风洞

安装、调试和运行。这些特性都是基于最终用户的角度而设计。”

**Frederick Kieferndorf**  
**Leonardo Serpa**  
**Jan-Henning Fabian**  
**Antonio Coccia (前 ABB 员工)**  
 ABB 研究中心  
 瑞士 Baden-Dattwil  
 frederick.kieferndorf@ch.abb.com  
 leonardo.serpa@ch.abb.com  
 jan-henning.fabian@ch.abb.com

**Michael Basler**  
 电力电子和中压传动业务单元  
 美国威斯康兴州新柏林  
 michael.basler@us.abb.com

**Gerald Scheuer**  
 电力电子和中压传动业务单元  
 瑞士图尔吉  
 gerald-a.scheuer@ch.abb.com

### 延伸阅读

本文的技术部分基于 2010 年 6 月在比萨研讨会上发布的一篇文章。由于篇幅有限，本文对原作进行了删减，如果您希望了解更多细节，建议阅读原文 [1]。

笔者在此感谢共同开发该技术的各位同仁（包括前同事）的贡献：P. Barbosa, N. Celanovic, M. Winkelnkemper, F. Wildner, C. Haederli, P. Steimer, J. Steinke, 和其他人。

### 参考文献

[1] Kieferndorf, F., Basler, M., Serpa, L. A., Fabian, J.-H., Coccia A., Scheuer, G.A. (2010, June). ANPC-5L technology applied to medium-voltage variable-speed drives applications. Paper presented at the International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Pisa, Italy. CD-ROM Proceedings.

### 标题图片

传动在工厂和工业中无处不在，大到大型破碎机，小到风机，功率等级各不相同。封面图片为意大利的 Torrealvaldliga Nord 电厂。



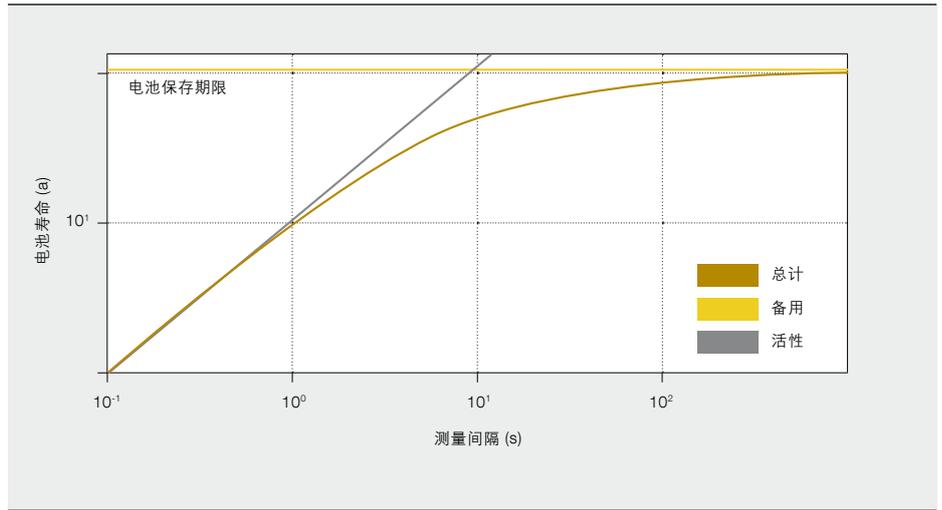
# 收获季节

采集能量，为过程工业监控打造更加自主的设备

PHILIPP NENNINGER, MARCO ULRICH –

为了进一步减少设备的停工时间、让设备的运转更加可靠，操作人员需要了解设备运行的更多信息。这些信息采集主要靠传感器来完成。传感器靠电驱动，传感器越多就意味着更多布线，布线结构越复杂，安装成本也就越高。减少布线不仅可以降低成本，还可以简化整个安装过程的

复杂程度。由于许多工业传感器的功耗低，因此电池似乎不失为一个适当的解决方案。然而，定期更换电池极有可能影响无线传感器的使用。另一个解决方案被称为能量采集。能量采集是捕捉并储存外部能量（环境能、动能、风能和光能）为低能耗电子设备提供动力的过程。环境能在过程工业中大量存在，能量采集因此可以开始发挥作用。



因此研究无线设备在技术和财务方面都颇具意义。

### 无线技术

无线解决方案并不是过程工业的一个新概念，事实上早在 1960 年就首次提出过这个概念。然而，这些解决方案一直以来主要应用于特定市场的专门产品，例如 ABB 电池供电电磁流量计 AquaMaster、石油和天然气工业的流量累加器等。范例之一是 ABB 的遥测和自动化系统 Totalflow。

正如现场总线技术，任何以达到临界质量为目的的无线协议都需要一个所有设备制造商认可的全球标准。这样的标准确实存在，被称为 WirelessHART。WirelessHART 是第一个国际无线标准，特别为过程现场设备网络需求而开发。

网络可靠性是过程自动化关注的主要点之一。对于无线网络而言，影响可靠性的一个方面在于网状网络覆盖的区域。通过在不同路径传达信息，网状网络在网络两节点间提供空间冗余渠道。这转而增加了通信的容错性，允许

精心设计的网络既容忍通信线路也容忍路由设备的故障。此外，网状网络的空间冗余确保可靠性通信，甚至在工业、科学和医疗 (ISM) 等频段。当然，信息传达（网状网络的结果）和对于持续安全的需要影响了功率分配，这必须通过低功率优化加以补偿。

### 低功率优化

低功率优化方面，接线和无线设备之间存在一些主要差异。以 ABB “接线型”工业温度变送器 TTH300 为例，可以说明这一点。TTH300 由 4-20mA 电流环路和层组驱动，例如，取决于传感器类型和配置，4 线 Pt100 电阻（传感器尖端温度）短时间间隔可能达到每 100 ms。由于 4-20 mA

**由于接线和安装的成本几乎相当于设备总成本的 90%，因此探索使用无线设备的可能性颇具意义。**

环路连续提供 40 兆瓦功率，因此设备受限于所驱动的功率，但设备的能耗却与此无关。

过去 15 年，无线技术已经对社会产生了重大影响。在此期间，相关技术的开发已经逐步获得过程工业的认可，尤其是设备监测制造商。

过程自动化设备通常的使用寿命是 20 年左右，物尽其用才能让这些设备在寿命周期内的投资收益最大化。只有所有相关部件都正常运行，设备方能正常运转，因此部件的高可靠性成为了必要条件之一。设备监测仪表可以达到这一目的，它可以在缺陷发生前检测出设备的潜在隐患，并能够按照预定方法将这些潜在隐患消灭在萌芽状态。为此，需要额外的传感器信息。该信息既可以来自已安装的传感器获得，也可以来自按照实际需求设计制造的传感器，例如用于检测堵塞的脉冲线路 (PIL) 的 ABB 差压变送器，或者是定位于过程其他位置的额外传感器。如需额外的传感器，应尽可能降低安装成本，以达到利益的最大化。但是，由于接线和独立安装的成本几乎相当于设备总成本的 90%，



另一方面，无线传感器不必时刻测量温度，因为多数用于过程工业的工业无线网络通常不能有效支持这样的短期更新间隔。变送器之间的测量必须履行传达其他节点信息的网络任务。在不进行计算或测量并且仅消耗小部分能耗的情况下，电子设备处于低能耗模式。

根据设备在活跃状态下、低功率模式下以及工作周期的功耗，可以估计出低功率模式下的设备能耗。上述无线设备的工作周期与传感器更新所需时间相关。如果不考虑电池的自放电，可以粗略估计电池供电的变送器的电池使用寿命。理想设备的估值参见 →1。

### 能量采集

取决于设备设置，定期更换电池并不总是一个可选项，因为这可能抵消使用无线设备带来的节约。相反，能量采集 (EH) 被视为一种可行的解决方案，因其克服了制造真正独立设备的难题。EH 将 →2 所示过程中可利用的能源转换为可用的电能，转而用于驱动无线设备。典型能源包括流动介质或运动部件产生的热制法能源、冷制法能源、太阳辐射能、振动能和动能。最突出的机械装置是太阳辐射、热电和动力变流器。

### 太阳辐射

尽管如今太阳光电技术已经发展起来，然而室内应用却受到严格的限制。虽然野外强度可以达到约  $1,000 \text{ W/m}^2$ ，但典型的室内值却仅为  $1 \text{ W/m}^2$  左右 [1]。换句话说，可以采集的能源总量受到了限制。

### 热电

利用塞贝克效应<sup>1</sup> [2]，热电发电机 (TEG) 采集热能产生的电能（例如，热制法、冷制法以及周围环境之间的温度梯度）。TEG 效率极其低下（一般低于 1%），但技术相当稳定。尤其过程工业中常常出现大型温度储层。因此，大量热能可供使用，通过 TEG 传递的功率足以维持不同场景中各种无线传感器节点。

### 动力变流器

使用不同的转换机械装置，可以将振动等机械运动直接转换成电能：

- 电磁机械装置使用灵活的安装线圈，进入到小型永磁体的静电磁场中，从而感应了法拉第法则中描述的电压。
- 压电式换能器基于压电材料。依靠悬架支持的物体，动力运动导致物体位移，这将引起压电材料上的机械应力。



能量采集将工业过程中可利用的能量转化为可用的电能。

脚注

<sup>1</sup> 1821 年，托马斯·约翰·塞贝克发现，两种不同电导体或半导体之间的温度差异导致两种物质之间产生电压差，这种现象被称之为塞贝克效应。



来源: Micropelt 公司

— 静电换能器基于带电变容器。当实施机械力时，力与带电变容器极板的引力相对作用。其结果是，电容变化引起闭合线路中的电流流动。

简而言之，所有动力变流器法则都基于机械共振器，如果采集设备的共振频率与外部励磁频率相匹配，则系统只能传递适当的功率输出。过程中变频器的应用实际上限制了振动采集系统的应用。

### 系统部件和架构

能量采集可以是不连续的过程：例如，在野外光电应用情况下，日夜转换周期将导致不稳定的电源；设备停工时间会导致不同的过程温度，可能会影响 TEG 传递的能量；变频器可能导致振动能量采集器的功率变化。与此相反，也会出现能量采集系统提供的能源多于实际所需的情况。

典型无线传感器节点的功耗也不是连续的；依据传感器的工作周期和更新率，可能会出现必须进行缓冲的最大荷载，这是由于 EH 系统不能支持短期高压电流。当采集设备不能为传感器节点提供充足的能量时，基本上，每个 EH 系统都需要一个阻尼器来克服

这些时段。典型的阻尼器包括：

- 特大电容器或混合层电容器。这些电容器可以容忍高峰值电流。
- 充电式蓄电池。
- 传统原电池。这些电池不能储存 EH 系统提供的过多能量，但是当系统不能提供电力时，可以偶尔使用这些电池提供电力。
- 典型工业原电池。这些电池具有极长的保存期限和较低的自放电率，因此是非常可靠的阻尼器选项。

## 使用全集成 EH 系统，ABB 已经开发了一体化自主温度传感器。

传统锂离子蓄电池具有放电/蓄电周期的限量。

采集设备和阻尼器需要适当的能量管理 (PM) 系统，以真正实现自备供电。PM 具有两大功能：

- 调节 EH 系统输出电压和电流的特性，以符合电气用户的输入需求。
- 能量阻尼器和不同 EH 输入源之间的平滑切换。

过程温度分布 80°C (红色)  
环境温度 25°C (蓝色)

### ABB 自主温度变送器

使用全集成 EH 系统，ABB 研发部门已经开发了一体化自主温度变送器 →3。设备中已经整合了热电发电机，整合方式是变送器的操作、稳定性和形状系数保持不变，同时极大地提高了变送器的使用寿命和功能。设备还包括一个智能能量阻尼器解决方案，以备过程温度不足以产生足够能量时使用。

选定的温度变送器的总体规格避免了传统 TEG 的集成，通常具有 10-20 cm<sup>2</sup> 的尺寸。取而代之的是新的微型热电发电机 (微型 TEG)，具有晶片制造工艺 [4]，应用于 →4。集成这两种设备所面临的主要挑战是确保维护变送器的稳定性和稳健性。

大多数情况下，相比于环境温度，整个过程温暖更高，因此 TEG 的热端需要与具有最佳热传导的过程相联接。执行大量数值模拟后，通过 TEG 的热流达到最大化 →5。另一端 (冷) 必须冷却才可与使用散热片的环境空气相联接。散热片需要置于足够的距离之外方可应用，而工艺管道则被厚厚的绝缘层覆盖。



过程和环境温度之间的最小差异约为 30K，系统能够产生测量和无线通讯电子设备所需的充足的能量。例如，温度梯度高于 30K 时，生产的能量大于需求，多出的能量有助于提高更新率。

### 前景展望

EH 驱动的温度变送器解决了无线传感器节点的主要问题：原电池的定期更换不再是必选项，反而有助于减少总体拥有成本。当然，EH 并不适用于所有环境下的所有传感器，但适用于大部分设备的可用电源。完全自主的装置有助于更好地了解并控制工业过程，因此获益更多。

**Philipp Nenninger**

**Marco Ulrich**

德国拉登堡

ABB 研究中心

philipp.nenninger@de.abb.com

marco.ulrich@de.abb.com

### 参考文献

- [1] Müller, M., Wienold, J., Reindl, L. M. (2009). Characterization of indoor photovoltaic devices and light. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference: 000738-000743.
- [2] Vining, C. B. (2001). Semiconductors are cool. *Nature*, 413 (6856), 577–578.
- [3] Nenninger, P., Ulrich, M., Kaul, H. (2010). On the energy problem of wireless applications in industrial automation. *In proceedings of the IFAC Symposium on Telematics Applications* (218–224).
- [4] Nurnus, J. (2009). Thermoelectric thin-film power generators self-sustaining power supply for smart systems. *In proceedings of smart sensors, actuators and MEMS IV: Vol. 7362-05*. Dresden.

### 标题图片

正如收割来的谷物可以用以生产粮食，采集到的能量也可以生产电能。

---

完全自主的装置有助于更好地了解并控制工业过程，因此获益更多。



# 确保 无火花操作

同步和感应电机、  
发电机确保操作无  
火花产生

GÖRAN PAULSSON, JOHAN KARLSSON, JUSSI RAUTEE –

电机和发电机是工业社会的支柱，驱动压缩机和泵工作，助力发电。但是由于这些电气设备由电力驱动，因此，在爆炸性气体存在的环境下使用这些设备将造成极大的风险。油气开采工业就具有这样的风险。在充满爆炸性气体的环境下，火花、热表面或是如电晕（有时高压电线发出的嗡嗡声）等高电场都是潜在的安全隐患。ABB 的大型同步和感应电机、发电机已经获得了最新、最严格的安全规范的认证——IEC 国际标准——确保无火花操作。



ABB 大型高压同步和感应电机的设计和认证不仅加速了设备启动时间，也降低了维护要求。

多年来，ABB 设计制造设备标准已经超越了质量和安全的官方标准，而这些标准也是客户最为重视的。2010 年，ABB 大型同步电机和发电机获得最严格的国际标准（IEC 60079-15:2010 和 IEC 60079-7:2006）认证；现在，公司拥有品种齐全的低压和高压电机、发电机，且都获得适于危险区作业的认证 →1。

使用无需进行测试或认证的设备的客户通常采用加压系统装备电机。即投资于高功率空气压缩机、管道及通风设备控制器领域。ABB 通过测试和认证电机，帮助客户梳理风险评估过程。

ABB 所采用的方法减少了启动资金、降低操作成本并加快电机启动速度。由于无需安装额外部件，也提高了可靠性。

认证会对成本产生极大的影响。例如，一家精炼厂中的电机即使仅通风 30 分钟也将造成巨大的停工和生产损失。ABB 的合格设备将尽可能帮助客户避免此类损失。

IEC 60079 标准随着几次重大爆炸事故的发生而发展，其发展历程与 1980 年和 1990 年北海油气田发生的危险区电机操作有关 →2。2008 年举办的大型 IEEE PCIC<sup>1</sup> 欧洲会议上，ABB 与德国联邦物理技术研究所 (PTB) 共同提交了一篇论文 [1]。专注于研究国际规范和标准的、具有 100 余年历史的国际电工技术委员会 (IEC) 则进一步完善了论文中提出的标准 →3。多年以来，

该组织的标准和测试已经类似于一种许可证，适用于电机制造业，确保生产销售安全有效电机。

尽管自动化产业已经取得了长足进步，但制造一台 80 吨重的电机仍是一项劳动密集型工作。

#### ABB 和标准

ABB 生产两种类型的高压电机——同步和感应电机——工厂位于瑞典、芬兰、意大利、南非、中国和印度。同步

#### 脚注

1 IEEE PCIC 分别是电气与电子工程师协会和石油化学工业委员会的简称。

## 1 防爆原则

化学、石油和天然气工业的操作环境分为两类：危险环境和非危险环境。危险环境包含具有潜在爆炸危险的成分，如气体、蒸汽、雾或灰尘。根据爆炸物的浓度将危险环境分为不同的风险等级：

- 0 级——持续性爆炸环境。
- 1 级——爆炸环境持续时间少于 1 000 小时/年。
- 2 级——爆炸环境持续时间少于 10 小时/年。

对于处于危险区的机器来说，需要采取各种保护措施，防止引燃可能存在的任何爆炸性气体。国际标准定义了两种等级下（1 级和 2 级）可进行工业操作的保护类型。所有保护都为了避免潜在爆炸源，其中典型的是热表面和火花爆炸源。

当线圈置于定子内部时，最重要的注意事项之一是在线圈之间留出足够的空间以避免电晕放电。

## 2 保护类型“n”和“e”

IEC 60079-15:2010 指定了用于 2 级爆炸性气体环境中，保护类型为“n”（无火花）的 Group II 电气设备的建设、测试和标记的要求。本标准适用于额定电压不超过 15kV rms 的交流或直流电气设备。

IEC 60079-7:2006 指定了用于 1 级和 2 级爆炸性气体环境中，保护类型为“e”（加强安全性）的电气设备的设计、建设、测试和标记的要求。本标准适用于额定电压不超过 11kV rms 的交流或直流电气设备。

## 3 IEC 标准

1904 年 9 月 15 日，在美国密西西比州圣路易斯举办的国际电气会议上，与会代表表决通过了一份报告，内容如下：“通过任命代表委员会，采取步骤确保世界技术协会的合作，考虑电气设备和机械装置术语及等级标准的设立。”

随后，1906 年 6 月在伦敦正式成立 IEC。自此以后，IEC 的工作内容包括为世界电工工业设立部件标准、规范安全指南、测试部件并设定部件规格。该组织的任务包括与电容器、电阻器、半导体、无线电通信、电气设备以及电机等设备相关的一切方面。

1930 年，IEC 帮助确立了赫兹 (Hz) 为频率的单位、高斯 (G) 为磁通密度的单位、吉伯 (Gi) 为磁通势的单位。

2005 年，IEC 出版了一本用 13 种语言编写的多语种词典，内含 2 万多个电工词条。

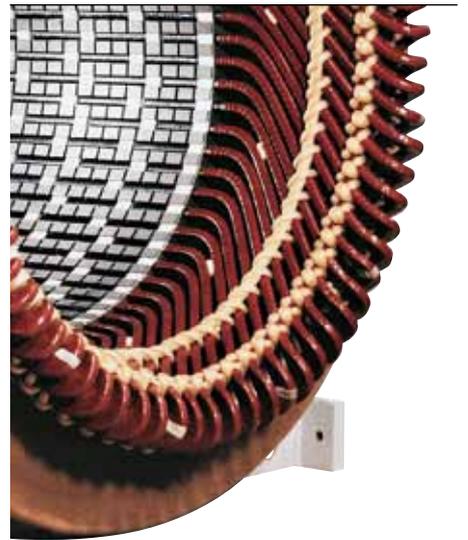
电机是交流电机，特征是旋转速度与交流电源的电压频率成比例，即电机同步运转。通常由外部设备对转子进行磁化。这些电机设计用于 2 级环境下的连续运转，类别是“Ex nA，无火花机械。”

感应和异步电机是交流电机，转子由电磁感应进行磁化，其旋转速度稍低于

## 4 绝缘高压线圈的横截面



## 5 准备进一步组装的绕线和浸渍定子



同步转速，即电机异步运转。这些电机设计用于 1 级环境下的连续运转，类别是“Ex e，加强型安全机械。”

2010 年 1 月 28 日，新的 IEC 标准颁布并开始生效，条款针对安装在爆炸环境下的设备。以先前的开发和测试为基础，ABB 同步和感应高压电机和发电机的大部分产品都符合这些标准。其余产品于 2010 年内进行改进，以期完全符合标准。

尽管自动化产业已经有了长足的进步，但是制造一台 80 吨重的电机仍是一项劳动密集型工作。例如，位于瑞典维斯特拉斯的 ABB 工厂里，根据客户要求的精确规格，每年约定

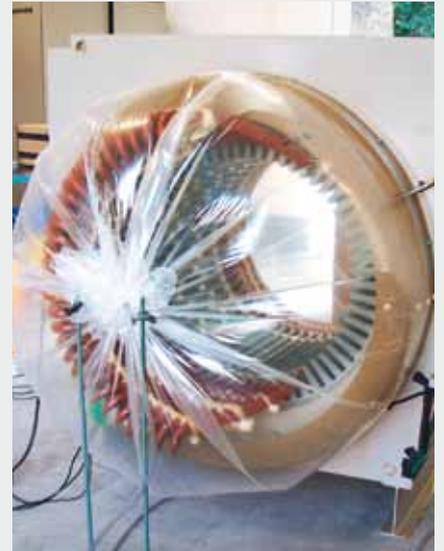
定子进行 3 分钟的测试。在氢、乙烯或者乙炔等气体存在的环境下，对额定电压高于 1kV 的电机进行强制性测试；在丙烷、柴油、丙酮、乙烷、氨或任何其他爆炸性气体或蒸汽存在的环境下，对额定电压高于 6.6kV 的电机进行强制性测试。

在测试中，定子绕组覆盖有塑料层，其中充满爆炸性气体，例如氢气与空气的混合气体，如右图所示。定子承受不断变化、持续增加的电压（正弦曲线），直到指定测试等级。如果定子绕组中的一个小火花引起气体爆炸，那么塑料将损坏并释放出压力波。指定测试电压是额定电压的 1.5 倍。为通过测试，一定不能点燃爆炸性混合气体。

根据德国联邦物理技术研究所 (PTB) 2004 年和 2009 年进行的测试，ABB 的定子在氢气环境中（代表气体组 IIC）、13.8kV 及以上电压下，无火花；在乙烯和丙烷环境中（代表气体组 IIB 和 IIA）、15kV 电压下，无火花。

鼠笼式转子感应电机中，对爆炸性气体环境中转子是否可能从转子槽产生火花进行了测试。由于同步转子的结构不同，因此不必对其进行上述转子点火测试。

同样的 IEC 60079 标准也指定了加强型安全防护类型感应电机进行独立的测试。



制 200 台电机和发电机。工人使用机器费力地弯曲手指般粗细的云母绝缘铜指针，使其达到要求的精确形状 →4。

下一步骤，在装入定子前，将已成型的线圈与云母附加层进行绝缘。

电机物理学是相对基础的学科，大部分人都有一定程度的了解；然而，在对缠绕在定子上、与玻璃纤维绳缚在一起的铜线圈绝缘方面，该学科又具有一定的难度。随后，用环氧树脂充满整个定子，该过程被称为真空压力浸渍，简称 VPI。浸渍后，在烤炉里进一步加工定子，使其达到最终的电气和机械性能 →5。

Micadur® - Compact Industry (MCI) 绝缘系统确保的密封同质绝缘，降低了定子内的介电损耗、提高了定子内的电强度和机械强度、活跃了定子内的热传递。虽然该绝缘系统是已经测试并获得证明的系统，但当线圈置于定子内部时，最重要的注意事项之一是在线圈之间留出足够的空间以避免电晕放电。如果线圈彼此之间距离太近，有电晕累积的风险。保持线圈

之间足够的空气，优化线圈的布置形式，使机器能够物尽其用。电晕禁止材料的使用也十分必要。

ABB 大型高压同步和感应电机的设计和认证不仅加速了设备启动时间，也降低了维护要求。虽然加快投资回收期、降低维护成本可以获得一定的利益，但更为重要的是，ABB 已获认证的电机也提供了安全性的证明，因为测试是验证设备安全性的唯一途径 →6。

2010 年 1 月 28 日，新的 IEC 标准开始生效。基于先前的开发和测试，ABB 高压电机和发电机的大部分产品都符合这些标准。

Göran Paulsson  
Johan Karlsson

ABB 电机业务单元  
离散自动化与运动控制业务部  
瑞典维斯特拉  
goran.paulsson@se.abb.com  
johan.e.karlsson@se.abb.com

Jussi Rautee

ABB 离散自动化与运动控制业务部  
澳大利亚诺丁山  
jussi.rautee@au.abb.com

#### 参考文献

- [1] Rautee, J., Lienesch, F., Liew, T. (2008). Safety improvements of non-sparking and increased safety motors. *Petroleum and Chemical Industry Conference Europe – Electrical and Instrumentation Applications*, Weimar, Germany.

#### 标题图片

石油和天然气平台严格要求无火花的环境。使用的电机必须通过严格认证。



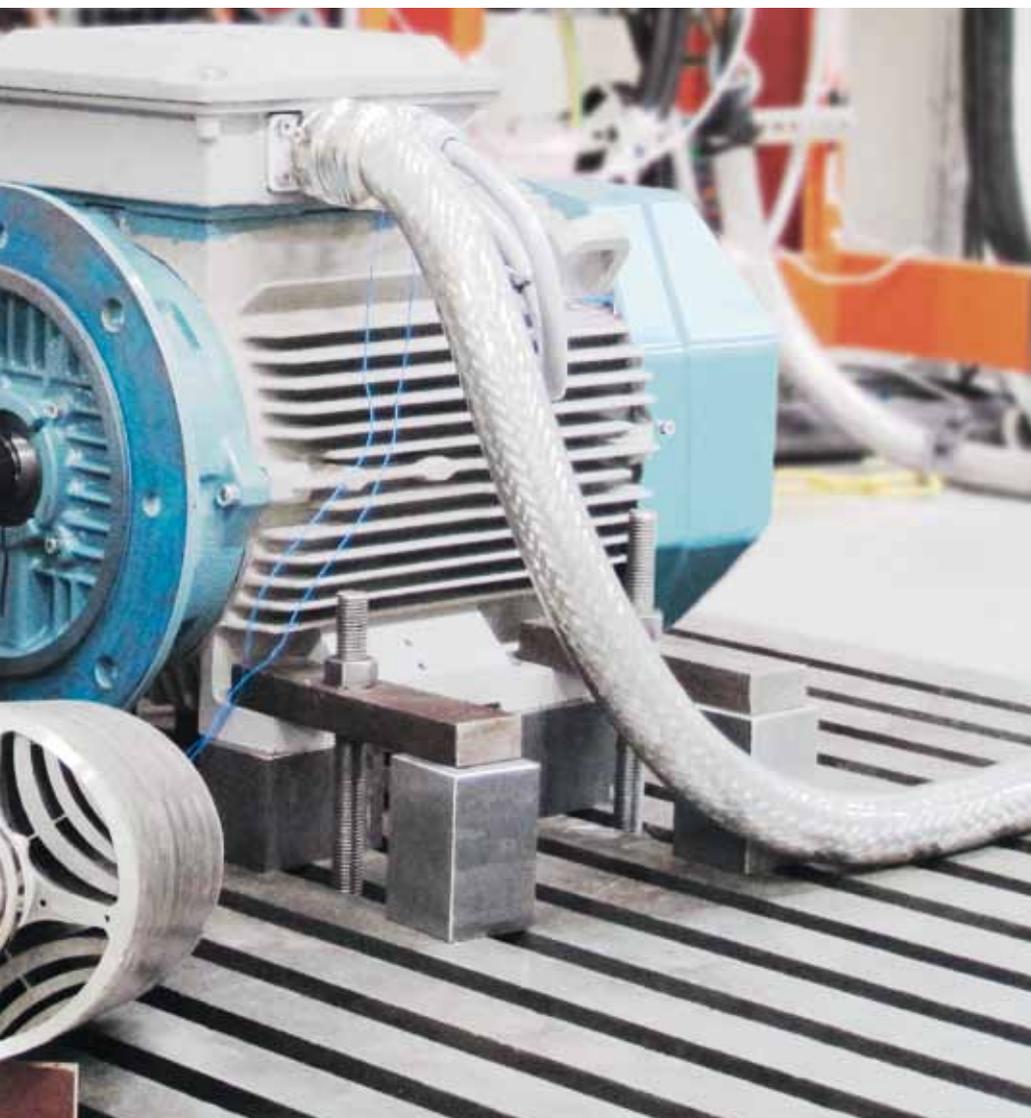
# 全速前进

变频器控制的同步电机正为工业应用带来更高效率。

HEINZ LENDENMANN, REZA R. MOGHADDAM, ARI TAMMI, LARS-ERIK THAND –

工业应用领域的电机占工业耗电的 60% – 65%。通过提高电机效率有效使用能源是电机持续优化的中心议题。变频器系统的使用也实现了主要的节能，如今 30% – 40% 新安装的电机采用了这一技术。可持续地利用和投资也要求

增强电机可靠性并延长其使用寿命。ABB 磁阻同步电机的流线型转子结构消除了鼠笼式电机损耗，因此提高了效率和紧凑度。仅在 A 级低等温升下 (60K) 达到标准功率和转矩水平的可能性不仅延长了电机绝缘层的使用寿命，也延长了轴承使用寿命或润滑间隔。



高速操作的可能性有助于消除机械功率传动零件，如齿轮箱。

电机广泛应用于工业领域。多数应用的共同之处是要求电机物尽其用、在尽可能延长使用寿命的同时还不增加电机维护需求或故障。ABB 磁阻同步电机规格较小，有助于机器制造商设计出体积更小、质量更轻、更有效率的设备。此外，高速操作的可能性有助于消除机械功率传动零件，如齿轮箱。最终，使电机和负载设备能够集成，而负载设备已经成为逐渐增加的普遍需要。

为满足对效率更高、体积更小、使用寿命更长、维护要求更低并采取变频器 (VSD) 进行操作的新型电机的需要，ABB 从根本上反思了所有技术选项。与直线连接启动相比，启动一台变频器电机更为困难。这一点和界面条件

下的其他变化突出了简化电机设计、提高效率的潜在机会。一个众所周知的方法就是利用同步电机 (SM)。50 Hz 功率下、具有 4 级转子的同步电机与 1500rpm 精确转速的电源同步旋转。然而，一台 30kW 的感应电机 (IM) 具有滑动损耗，仅以 1475rpm 的速度旋转。现代短路鼠笼式感应电机损耗占电机总损耗的 20% - 35%。同步旋转消除了大部分的相关损耗。

滑动损耗的消除导致同一绝缘温度等级下，效率增加约 0.6% (220 kW 电机) 到 8% (3kW)、功率和转矩密度增加 20% - 40%。

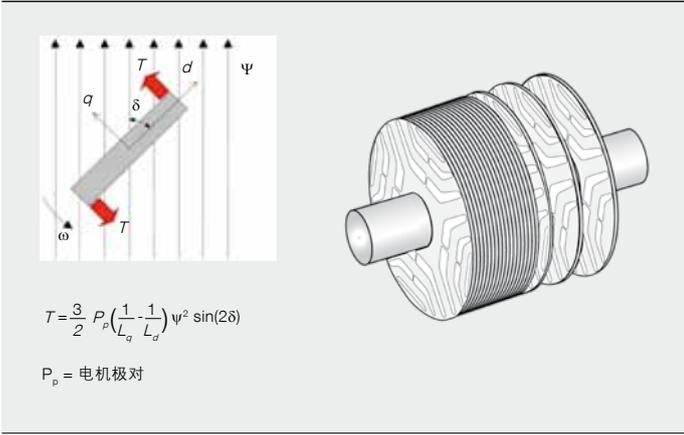
同步电机的不同变型：具有无刷励磁的磁场绕组；永磁 (PM) 电机；或基于

磁阻法则的电机（经常称磁阻同步电机，简称为 SynRM）。正如 IM 一样，SynRM 既无传导短路笼，也无永磁体，更无磁场励磁绕组。取而代之的是利用磁阻磁性法则。

### 磁阻同步电机

磁阻等同于电路中的磁性电阻。转子包括一个合适的磁阻 (d) 方向、具有高磁阻或良好磁性“绝缘”的垂直方向 (q)  $\rightarrow$ 1。当转子试图使磁力传导方向与定子磁场对齐时就产生了转矩。产生的转矩力与凸极比直接相关，即转子的两个磁性方向之间的电感比。

磁阻同步电机概念的发明可追溯到 1923 年。然而，由于缺乏直接在线



启动能力，该电机类型并没有在工业上首先采用。现在，随着变频控制器的使用，已经消除了这个障碍 →2。

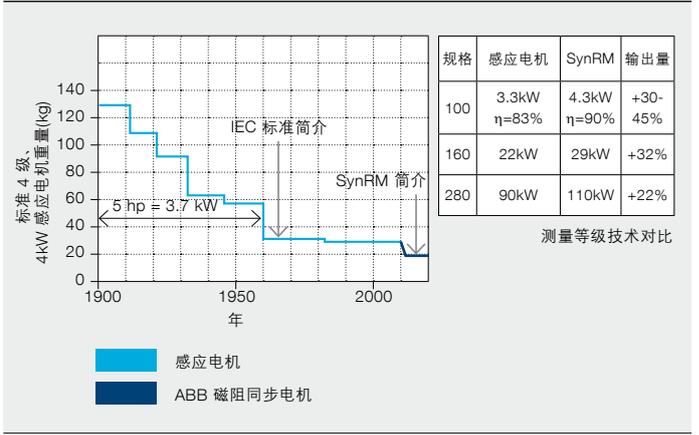
1982 年，发现了基于 NdFeB 的永磁材料。由此，新型永磁 (PM) 电机技术应用于伺服电机，现在已应用于许多工业专业应用领域中，例如，无齿轮低速转矩电机 [1]。低调的 SynRM 再次被忽视了。

此外，不是所有与 SynRM 相关的出版物都成功地阐述了通过计算就可获得的 SynRM 良好的转矩性能和高于 IM 的效率：专家和学者引用了一个事实来解释为何现今较少使用 SynRM。可以推测，导致早期这些结果出现的原因是不够优化的变流器控制。一些出版物的确展示了十分光明的前景，并曾对电磁设计领域加以深度说明。重要的是，注意到 SynRM 与开关磁阻或步进电机的差别，它们具有完全不同的定子、绕组概念和非正弦电流波；由于噪音大，因此电机经常被认为不适于工业使用。由于转子必须通过定子来磁化，因此与 PM 电机相比，SynRM 的缺点之一是同样转矩下对电流的需求更高。然而，网路中所示的功率系数由功率变流器决定，并与所有的操作模式联合，即便是 SynRM 模式也可与之联合。

### 应用于变频器系统的工业电机

在 ABB SynRM 转子设计和变频器控制中，电机电流与功率系数和效率 ( $\propto 1/\eta \cdot \cos(\rho)$ ) 成反比，实际上低于同样转矩和速度下的小型感应电机的电流。这主要归因于效率的大幅提高。仅适用于同样转矩下变流器电流高于 IM 的大型电机。总之，同样功率和转矩水平下，ABB SynRM 虽然比 IM 具有的功率密度和效率更高，当在操作时的驱动帧尺寸和 IM 相同（例如，ACS850）。电机效率的增加转化为传动系统下的几乎同样的节能。

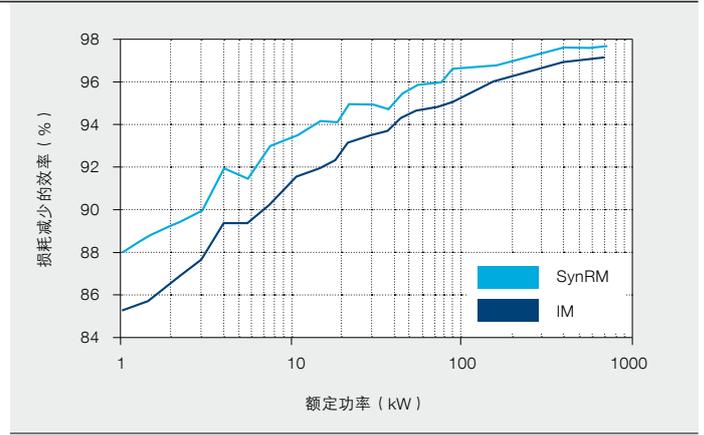
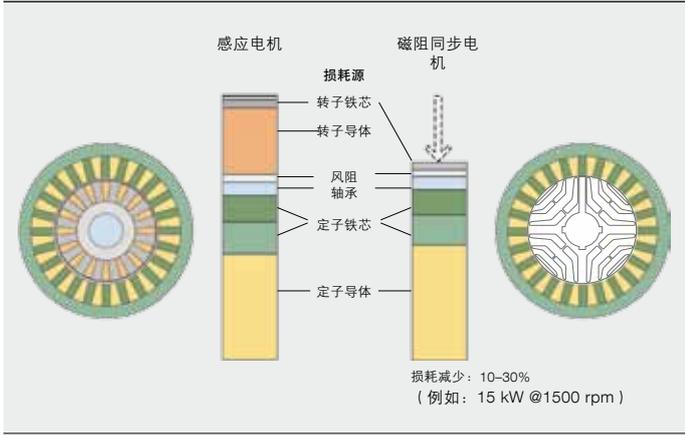
ABB SynRM 的另一重要优势是转子结构简单。与 IM 或 PM 相比，既无磁体也无笼子的转子结构更加的稳健。此外，在故障或过热状况下潜在消磁也不会产生性能永久损耗的风险。操作时，因为电机运转时固有的安全性使无磁体、反电动势电压和过压保护的变流器成为不必要。最后，由于原料供应商相对较为集中，因此永磁体所用的稀土材料价格相对较为昂贵，并且在一些市场可能供应有限。



多数转子损耗的消除和流线型转子机壳使电机及其连接的负载设备具有一些优势 →3。采用该技术的电机可以在给定帧尺寸下，按照 IEC 标准化功率水平运转。在这种情况下，千瓦机器的变频器效率增加 5% 个单位，最大型电机（帧 315）的变频器效率约增加 0.5%。因此，IM 应在 F 级温升下 (105K) 运转，而 ABB SynRM 仅在 A 级温升下 (60K) 就可运转 →4。当在 H 级温升下 (125K) 运转时，与 4500rpm 的特殊压缩机相比，ABB SynRM 的轴承温度仍然比在 F 级温升下 (105K) 运转的较大型 IM 的轴承温度更低。因此，该电机也被称为“CoolMotor” →5。这种低温操作不仅延长了电机绝缘层的使用寿命，也延长了轴承使用寿命或润滑间隔。尤其是，电机轴承需要进行例行保养。一些研究表明，约 70% 的电机意外中断的根本原因在于轴承故障。轴承温

同样的温升下，3kW 或 4kW 的小型电机可以获得超过 60% 的功率。

度降低直接导致润滑间隔延长、维护保养减少和可靠性增加。即使最终需要替换无磁力的轴承，与 PM 电机不同的是，IM 的轴承替换更加简单。



该技术实现了转矩在高速运转下的良好利用。该技术的另一应用中，经常在通用的 B 级或 F 级温度下进行操作。与定子损耗相比，转子损耗难以降低，所以消除转子损耗对转矩性能具有特别大的影响。与 IM 相比，同样的温升下，3 或 4kW 的小型电机可以获得超过 60% 的功率。60kW 的电机可以获得 40% 的功率，而 220kW 的电机可以获得 20% 的功率。多数情况下，小于 IM 的一个帧尺寸，有时是两个帧尺寸的电机可以获得同样的功率。在所有可以利用较低的架高度和小型电机的应用中，可以估计尺寸的减少。额外的收益是在临近部件中，尤其是在密封柜中，热负载的得以减少。即便在极度增强的功率密度下，另一个极为重要的优势在于转子侧损耗的消除：由于大量通过轴的热传导被消除，轴承温度，尤其是驱动端的轴承温度也随之而降低。对比一台 6kW 的 ABB SynRM 和一台 6kW 的 IM，将会发现温度下降了 30K，整个范围内的温度下降了约 15 到 20K。更高温度等级下和更高速度下，效果尤其明显。通常来说，即便是在高输出下也可维持高效率。此外，ABB SynRM 具有卓越的部分负载效率曲线，该曲线是同步电机的典型特征，即便在部分负载下，仍然可以维持高效率，这是风扇和泵

所使用的变频器最具价值的一个特征。

最后，由于这些转子没有笼子和磁性，因此惯性减少了约 30 - 50 %。在起重机等高度动态应用中，惯性减少意味着加强了能源效率优势，而速度斜率的增高意味着加快了生命周期。

#### 转子结构和可靠性

采用 ABB 的 SynRM 的传动系统的多数技术因素直接基于现有技术。外壳、连接器、定子、绕组的设计和技术和轴承选项都与 IM 相同。如同 3 相电流是正弦曲线一样，传动产品可以控制此类电机，提供优化的固件，并且包括此类电机。唯一不同的是转子。

与 IM 和 PM 相比，此类电机的转子更为简洁。将层压电解钢板安装到轴上。相反，复杂性在于设计。根据电气和机械性能，大量采用有线单元法 (FEM) 设计横截面。重要的设计选项在于许多的磁段和精确的气密层形状的设计。这决定了电机的转矩产品和磁化电流。无功电流的最小化是维持良好传动等级的关键。为保持与传统电机一样的低噪音，沿着圆周的磁段的精确布置对制造旋转过程中的平滑

低温操作不仅延长了电机绝缘层的使用寿命，还延长了轴承使用寿命或润滑间隔。

环境温度是指电机周围空气的温度。这是电机在切断或完全冷却时所假定的临界点或温度。

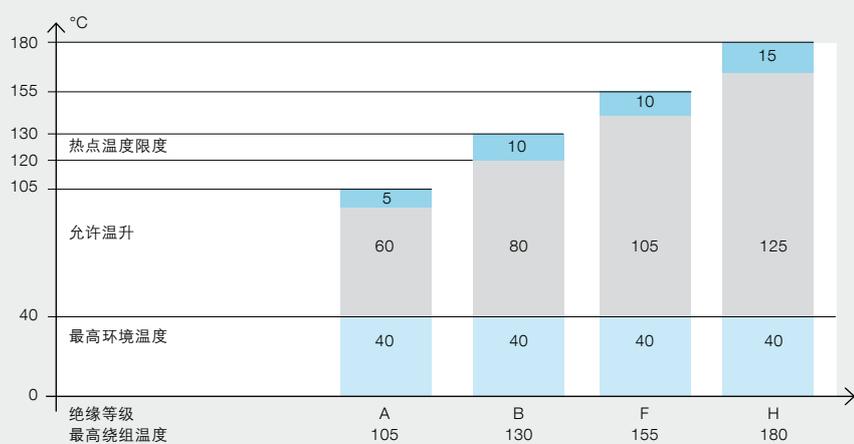
温升是电机满载运转时电机内的温度变化。电机启动温度和最终升高的温度的不同之处就在于电机的温升。

测量温升的标准方法包括获取绕组冷热欧姆电阻之间的差异。这种方法算出了整个绕组的温度变化的平均值，绕组包括电机导线、终端转弯处以及定子槽内的接线。由于一些点比其他点热，因此容差率使用平均温度来指明最热点可能达到的温度。这被称为“热点”容差。

依据电阻热老化和故障分组绝缘体。四种普遍的绝缘等级定位 A、B、F 和 H。每一等级的温度性能是指绝缘体可以平均运行 2 万小时的最高温度。

电机以低于绝缘等级允许的温升运转可以改变电机的热容量，允许其在高于正常环境温度下运转。在这种情况下，延长了电机的寿命。

下表展示了标准电机不同外壳的温度等级、温升容差和热电容差。



## 使用强加速应力测试 (HAST) 方法来模拟泵、风扇、压缩机、采矿和起重机等应用中的传动条件。

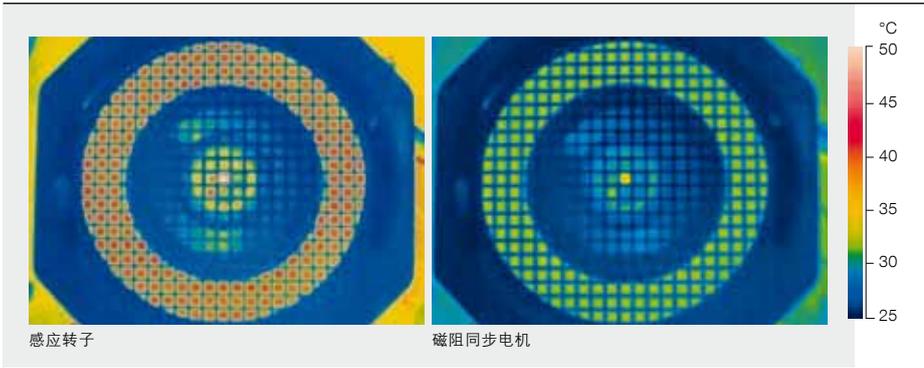
转矩至关重要。使用 FEM、分析和遗传算法的复杂性优化导致的结果表明 4 级配置最适于 6000rpm 的全部速度范围。

为证实新型转子的可靠性，在开发过程中大量测试了电机和传动系统（参见 56-57 页标题图片）。使用强加速应力测试 (HAST) 方法模拟泵、风扇、压缩机、采矿和起重机等应用中的传动条件。为该电机特定开发了 HAST 周期，确保使用生命周期内性能的稳健性。例如，高重复率下，电机启动和停止速度超过产品目录允许值的成功试验。使用寿命长达 20 多年的额定操作相符合的循环计数和过载条件也做了规定。

### 变频器和控制

采用标准的直接转矩控制 (DTC),用于 IM 和 PM 电机的 ABB 传统传动技术适用于包括 SynRM 在内的新型电机。尽管除了零转子流量外，新型电机与 PM 电机有许多相似之处，开发仍集中于通过最大化电流比 (MTPA) 控制以优化转矩产品。这确保了每一操作点的电流保持在最低值。控制领域也包括控制弱磁范围的能力，即超出名义额定速度的范围。对许多电机范围来说，最大额定速度可达到名义速度的 1.5 倍。此种传动控制是 ABB 的特殊成果，使 SynRM 能够达到比 IM 更高的转矩密度。

该电机的电力电子传动的安装和操作方法与使用 IM 或 PM 电机的变频器区别不大。特点包括基于铭牌值的自动化参数识别和无传感器操作。尽管电机无需任何的速度传感器，但却能保持完美的速度精度以及高转矩动态。甚至可依据特定的过载要求和循环负载能力设定变频器的规格。



## 6 用于银行的电机传动系统的性能

新型电机传动系统的性能等同于三个 IEC 电机帧尺寸。

电机, F 级温升					变频器, 400 V							
规格 mm	PN kW	nN r/min	PN kW	nmax r/min	Eff %(1/1)	TN Nm	MM kg	类型码 ACS-850-04	IN A	噪音 dBA	帧尺寸	MD kg
100	4	1500	4	2250	84.3	25	22	010A-5	10.5	39	B	5
100	7.5	3000	7.5	4500	88.7	23	22	018A-5	18	39	B	5
100	13	4500	13	6000	90.5	27	22	030A-5	30	63	C	16
100	17.5	6000	17.5	6000	91.3	27	22	044A-5	44	71	C	16
160	26	1500	26	2250	91.7	165	180	061A-5	61	70	D	23
160	50	3000	50	4500	94.0	159	180	144A-5	144	65	E0	35
160	70	4500	70	5300	94.6	148	180	166A-5	166	65	E	67
280	110	1500	110	1800	96.0	700	640	260A-5	260	65	E	67
280	130	1800	130	2200	95.9	689	640	290A-5	290	65	E	67

查看全部规格请登录 ABB 官网 [www.abb.com/motors&generators](http://www.abb.com/motors&generators)

## 性能预览

既然该电机与 PM 电机一样, 总是需要变频器驱动并进行电机配对, 因此推荐 ACS 变频器作为一系列功率和速度等级的标准变频器 →6。

额外的收益是在临近部件中, 尤其是在密封柜中, 热负载得以减少。

为了应对输出量增加、效率提高、保养间隔延长、尺寸减少的重要市场趋势, 一种仅适用于变频器系统的全新电机现已投入使用。实现了与 IM 相比功率密度增加 20 – 40%、转子结构既无传导短路笼又无永磁体、以小型电机为特色、热量产生较少、具有

适用于变频器系统的最高效率。适用于新型电机的标准 IM 与配有新型软件的标准变频器产生了高输出量、高效率的变频器系统。输出和效率性能与 PM 电机变频器旗鼓相当, 但其使用的与稳健感应电机相关的技术却为用户带来了集合两者优点的设备, 并兼具额外效益。

Heinz Lendenmann

Reza Rajabi Moghaddam

ABB 研究中心

瑞典维斯特拉斯

heinz.lendenmann@se.abb.com

reza.r.moghaddam@se.abb.com

Ari Tammi

ABB 电机和发电机业务单元

离散自动化与运动控制业务部,

芬兰瓦萨

ari.tammi@fi.abb.com

Lars-Erik Thand

ABB 电机和发电机

离散自动化与运动控制业务部

瑞典韦斯特罗斯

lars-erik.thand@se.abb.com

## 参考文献

- [1] Haikola, M. 《无齿轮驱动: ABB 的直接驱动解决方案可以满足世界上最严格的流程要求》ABB 评论 4/2009, 12–15。
- [2] Boglietti, A., Cavagnino, A. Pastorelli, M., Vagati, A., Experimental comparison of induction and synchronous reluctance motors performance, in Conf. Rec. 40th IEEE IAS Annu. Meeting, Oct. 2005, vol. 1, pp. 474–479.
- [3] Germishuizen, J. J., Van der Merwe, F. S., Van der Westhuizen, K., Kamper, M. J., Performance comparison of reluctance synchronous and induction traction drives for electrical multiple units, in Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting, Oct. 8–12, 2000, vol. 1, pp. 316–323.

## 标题图片

进行强加速应力测试 (HAST) 的电机和传动系统



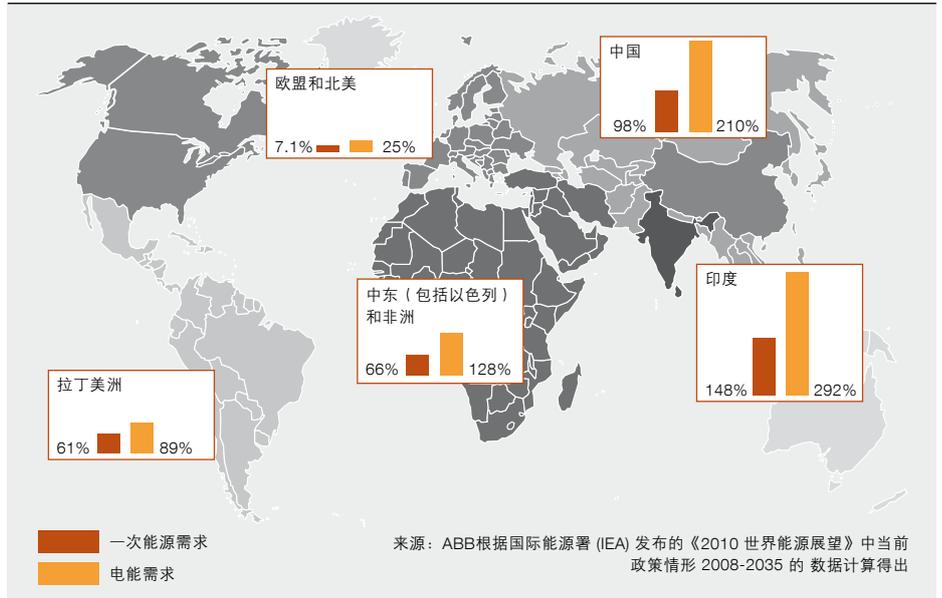


# 另一种 可替代燃料

增效节能是许多发电厂可持续能源政策的关键组成部分。

WERNER JANIK, JOSEPH LAUER –

随着全球人口的持续增长，人们对能源的需求也不断上升。长期而言，这将导致化石燃料供应不断减少，而化石燃料是当前世界主要的能源。然而，使用化石燃料也会产生大量的二氧化碳，现已严重影响了全球气候。因此，只要继续依赖化石能源生产，这种恶性循环就会持续下去。众所周知，可再生能源是解决当前困境的解决方案。然而，虽然可再生能源替代火力发电取得了很大的进展，但在可再生能源能够有效改变整体能源结构之前，我们仍有很多问题需要解决。不幸的是，地球留给我们的时间已经不多，而进一步开发可再生能源或等待核聚变技术的突破又费时良久。因此，在进行上述工作的同时，我们要行动起来保护地球、为未来的后代保护地球上的资源和生物；应用已经开发的节能方法和技术，有助于实现这一目标。



当今绝大部分电能都基于化石燃料。事实上，世界上超过 40% 的电力供应来自煤炭，这也使得电力生产成为推动二氧化碳排放增长最快的最大行业。可再生能源的增长不断提高，使用可再生能源能够有效地降低能源使用和二氧化碳排放之间的关系。不过，可再生能源在总体能源结构中所占比重仍然太小，有效地将大量可再生能源并入电网的任务仍然任重道远。

地球留给我们的时间已经不多。为改善全球能源应用模式，减少碳排放，我们需要同时采取其他的改进方案。国际能源署 (IEA) 预测，未来 20 年，增效节能的减排潜力远远超过其他所有方式的总和。增效节能技术、方法和行动可以直接影响（比如降低）经济增长和能源使用之间的相互关系。ABB 已经能够为发电行业，尤其是火力发电厂，提供实现上述目标的技术和方法。

### 当今的能源挑战

全世界对电能的需求增长速度是一次能源需求的两倍 →1。对于迅猛发展的经济体，如中东、印度和中国等国家和地区，这种趋势尤其明显，这些国家对电能的需求增长达到了 140% - 261%，而对一次能源的虚增增速为 89% - 116%。

然而，满足上述需求就必须打破供电和用电之间的平衡。全球增效节能的目标就是充分利用可用的化石燃料尽可能生产更多的电能，与此同时尽可能地减少电能消耗。通过这种方法节约的每一桶当量的能源都可以视为“额外的可替代燃料”，并可用作他途。

热力学原理，绝大部分的损耗发生在发电厂发电过程中。以一个额定容量为 500 兆瓦的传统火力发电厂为例。该电厂已投运 25 年，其净热耗率是 10.2 BTU/kWh，效率为 34%。即使电厂最初设计为带基荷运行，但现在的运行理念已转变为满足电网越来越多的波动性需求。电厂的年均利用率已下降至 70%，且相当多的时间在 50% - 90% 的部分功率运行状态。这种情况在当今许多发电厂中普遍存在，但它同时也产生了“可替换燃料”的可能性，即增效节能。

但是，在发电厂投资增效节能之前，必须考虑三个基本问题：

### 节能 - 另一种可替代燃料

能源的生产和使用的各个过程中均包含损耗，其中的最大损耗见图 →2。该图展示了从石油或天然气等一次能源直到工业用户或普通家庭的过程中，大约损耗了 80% 的能源。由于发电过程本身的

在电能生产和使用各个环节中，80% 的电能被损耗掉，其中大部分发生在发电阶段。

- 谁拥有高性价比的节能领域的专门技能和技术？
- 能够节约什么？
- 如何达成这一目标？

前两个问题可以用一句话来回答：ABB 开发的方法和技术能够为电厂提高 8% 到 10% 的能效。从另一个角度来看，以 500 兆瓦火力发电厂为例，该发电厂可利用的额外燃料总量和可能节约的能量如下：

- 最初燃料消耗量：14 亿公斤（30 亿磅）
- 并入电网的额外电量：21.25 兆瓦时
- 节约的能量：2250 万千瓦时
- 减少的二氧化碳排放：26 万吨
- 等价的额外可替换燃料等：3.4 亿磅（每年可供约 850 辆汽车运行！）

从实施节能方法和技术在经济上的可行性来看，ABB 的经验已经表明，实现上述目标的投资回报期平均需要两到三年。

### ABB 增效节能方法论

ABB 增效节能的改进方法由三个阶段组成：

- 第一阶段：诊断节能机会
- 第二阶段：总体规划
- 第三阶段：方案实施

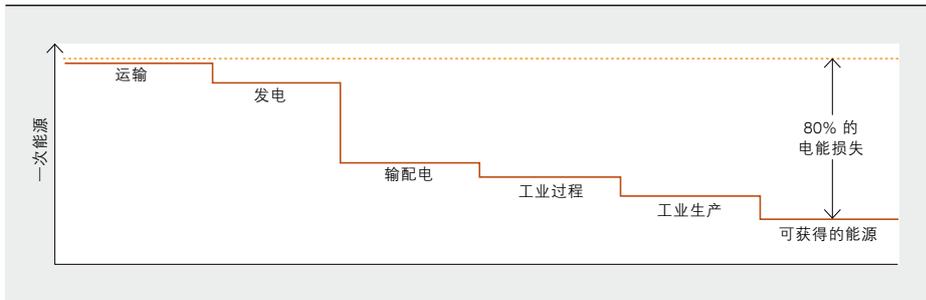
ABB 多年来致力于为广大发电和用电领域的客户服务，积累了丰富的经验，并基于此开发了一系列实现增效节能的工具和技术。增效节能方法论的每一阶段都精确传递所需的信息，为发电厂经营者树立信心，最终完成改进项目，从而真正实现持续的节能。

#### 诊断节能机会

第一阶段有关节能评估，旨在通过确定如何使用能源、在何处使用能源以及为何使用能源，以诊断需要改进的具体机会；识别低效率的区域；将当前性能与已有的最佳实践进行对比。→3 概述了能源管理方面的内容。

对于一个与前文所描述的具有 25 年

## 2 整个能量价值链中损失电能高达 80%



## 3 ABB 诊断节能机会的研究提供了能源管理方方面面的综合评估

技术和控制	行为和实践
<p>通过过程控制、设备改造或可替代的能源节能技术，诊断可能的改进方法，具体包含以下能源系统：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 明火设备（燃气轮机、锅炉炉膛、加热器等）</li> <li>- 蒸汽锅炉、汽轮机和系统</li> <li>- 发电和设备</li> <li>- 主要水泵、风机和电机系统</li> <li>- 电气系统 - 高压和中压/低压用户</li> <li>- 压缩空气和工业气体</li> <li>- 暖通空调 (HVAC)</li> <li>- 工业制冷和冷却系统</li> </ul>	<p>通过全面审核并与最佳实践相比，从流程控制和运行管理各方面，评估与能效相关的行为和实践：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 能源战略和政策</li> <li>- 能源管理方法</li> <li>- 初期投资</li> <li>- 信息技术</li> <li>- 运行管理</li> <li>- 运行规划和性能</li> <li>- 培训与发展</li> <li>- 维护措施和策略</li> <li>- 员工激励</li> </ul>

历史的火力发电厂相似的（额定容量 500 兆瓦、效率 34%、净热率耗 10.2 BTU/kWh、平均年利用率 70%）典型火力发电厂，→4 给出了描绘了所诊断出的节能机会的各个组成方面。

通过对这些方面进行评估，ABB 将能定义节能机会的性质和规模，为实现额外的潜在利益推荐未来应采取的步骤。在评估所有诊断出的节能机会后，将对最有前景的机会进行实施。

决定采取何种措施的另一方式是使用投资回报表，该表呈现了已诊断的节能机会和可能的投资成本的定性关系 →5。换言之，投资回报表形象化地对机会回报做了基本说明。该评估表有助于快速确定采取什么措施（通常在橙色线以上），以产生良好的投资回报。

以火力发电厂为例，→6 显示了最终

国际能源署 (IEA) 预测，未来 20 年，增效节能的减排潜力远远超过其他所有方式的总和。

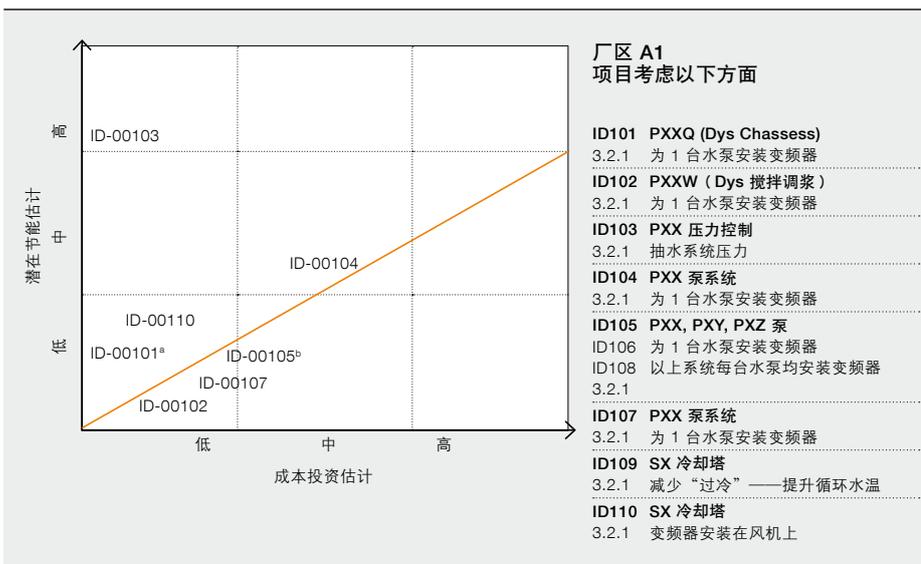
#### 脚注

1 英国热量单位 (BTU) 是一种传统能量单位，1 英国热量单位 ≈ 1.055 千焦耳。大约是将 0.454 kg 水加热 0.556°C 的总能量。

<p><b>汽轮机性能和控制</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 热工性能</li> <li>- 冷凝器性能（适用情况下）</li> <li>- 提取/背压蒸汽控制的优化</li> <li>- 汽轮机控制——单机组控制和实现最优热耗率的多机组全局控制</li> </ul>	<p><b>工厂电气平衡系统</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 电机和变频器（水泵和风机）</li> <li>- 变压器</li> <li>- 开关柜</li> <li>- 现场设备</li> <li>- 压缩空气系统</li> </ul>
<p><b>燃气轮机 (GT) 性能和控制</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 热工性能</li> <li>- GT 预见性维护</li> <li>- 性能退化</li> <li>- GT 控制——单机组控制和实现最优热耗率的多机组全局控制</li> </ul>	<p><b>能源管理系统</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 能量测量、监视和记录</li> <li>- 扩展 KPI 分析及现有性能评估的范围</li> <li>- 能源管理政策集成</li> </ul>
<p><b>锅炉性能和控制</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 热工性能</li> <li>- 给水条件</li> <li>- 锅炉控制——单机组控制和实现最优热耗率的多机组全局控制</li> <li>- 蒸汽分配系统</li> </ul>	<p><b>配电盘设备</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 数据采集系统</li> <li>- 报警系统</li> <li>- 辅助设备</li> </ul> <p><b>工厂总耗热率</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 进一步优化的机会</li> </ul>

- 优化输煤设备
- 改进引风机和送风机流量控制
- 改进锅炉给水泵控制
- 使用高效电机和变频器
- 优化汽轮机控制
- 改进蒸汽温度控制
- 燃烧率稳定和燃烧优化
- 减少锅炉燃烧的过剩氧
- 改进给水压力和液面控制
- 改进电气系统（发电机升压变压器和厂用电变压器）
- 降低泄露
- 减少热损耗
- 冷却操作的热工优化

5 节能机会投资回报率



阶段，无需 ABB 协助，客户就能实施一些快速而简便的措施。虽然采用 ABB 的核心技术可以实现许多机会，但不以这些技术为基础，则可以通过第三方来实现。

方案实施

实施阶段即项目的执行阶段，一般而言由 ABB 和客户共同完成，或者依据所需达到预定目标的需要，ABB 和技术伙伴或者是其他原始设备制造商共同完成该阶段。

确定的值得节能投资的措施，以及此类案例的典型代表。

提高电厂能效的方法并不局限于这些技术手段，改进电厂管理和操作员的操作水平也具有重要的影响。许多发电厂运营中都可找到相应的案例：

- 手动关闭无需运行的设备
- 员工巡视频率的降低
- 开发有效地照明替换策略
- 设定基于生命周期评估 (LCA) 的设备更替政策

- 开发预见性维护政策
- 建立节能目标计划

总体规划

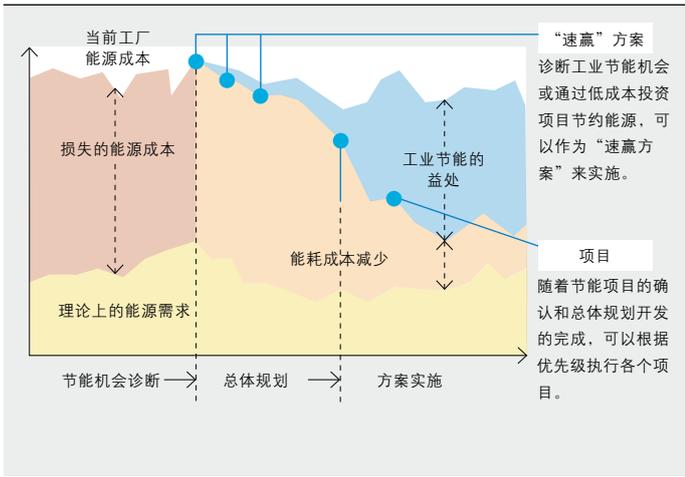
在这个阶段，评估阶段的节能机会将发展成为详细的实施方案。总体规划包括一系列改进项目，每个项目的效益都很容易理解，且可以计算得出。一般而言，ABB 与客户共同开发总体规划，并在该阶段结束时，开发出包括详细设计规范的清晰蓝图，以最经济的方式实现节能机会。在这个

如何衡量成功

如果不能天天看到效益，那么节能改进的方法实际上是无效的。因此，开发相应的工具，记录和展示电厂的各相关区域所取得的成效非常必要。采取的所有措施，无论是工厂技术和控制方面、监测和目标设定方面，还是行为与实践方面，这些信息都是需要的。

特别对于火力发电厂而言，成功非常依赖于电厂的运行模式；稳态运行的电厂几乎没有优化的潜能，而那些以

## 7 ABB 三阶段方法论评估能耗



部分负荷模式运行的电厂则是节能改造的最佳实践→7。

在之前提及的 500 兆瓦火电厂案例中，效率提高 8% 的目标是可以达成的。在电厂电能输出提高的同时，温室气体的排放减少 8%。总体能效的提高源于电厂各个环节的增效节能的累积，而各个环节的节能效果则取决于它们在整个厂用电负荷中的比重→8。

ABB 的技术优势，以及在选择最优解决方案上的灵活性，有助于实现增效节能。

### Werner Janik

ABB 电力发电业务单元  
德国曼海姆  
werner.janik@de.abb.com

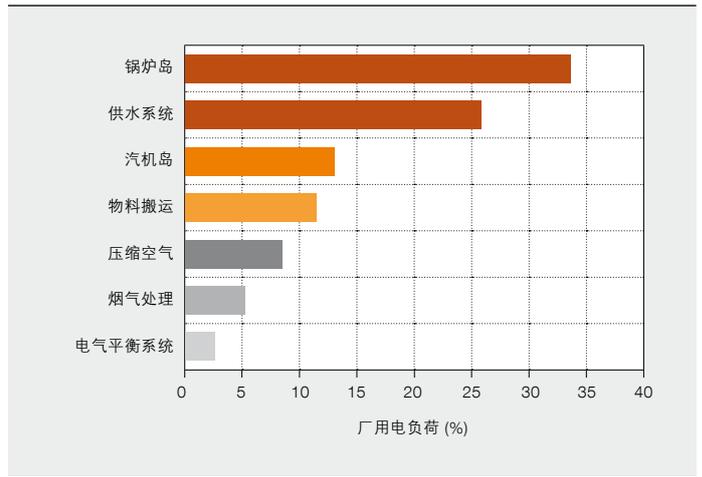
### Joseph Lauer

ABB 过程自动化业务部  
加拿大蒙特利尔  
joseph.lauer@ca.abb.com

### 标题图片

虽然可再生能源增长很快，但有效地将大量可再生能源接入电力系统的研究任务仍然任重道远。

## 8 工厂用电负荷所占比重较大的环节



全世界对电能的需求增长速度是一次能源需求的两倍。对于迅猛发展的经济体，如中东、印度和中国等国家和地区，这种趋势尤其明显。



# 经受住冲击

ABB 帮助配电变压器承受快速瞬态电压。

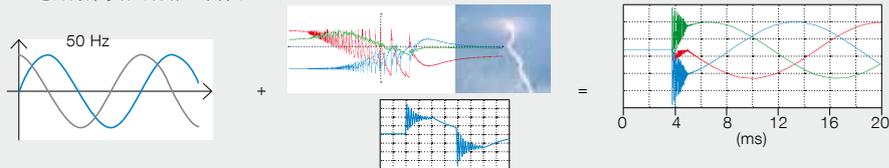
WOJCIECH PIASECKI, MAREK FLORKOWSKI,  
MAREK FULCZYK, PAWEŁ KŁYS, EGIL STRYKEN,  
PIOTR GAWAŁD –

在任何情况下，遭遇雷击都不是什么愉快的经历。不仅是电压峰值会对电气设备造成损害，突如其来的快速升压也会损害电气设备。发生在某些情况下的瞬态电压远比发生在一般标准包括的典型状况下的瞬态电压更为急速——瞬态电压能以每微秒百万伏特的速度激增。通常来说，如果不采取额外

的保护措施，变压器和电机的绕组绝缘无法适应这样的瞬态。瞬态电压可能会对绝缘造成永久的损害。研究表明，尽管每台设备都旨在耐受典型瞬态电压冲击，然而在所有的绝缘故障中，各种瞬态电压冲击 [1] 导致的电力设备故障仍然多达 35%。一种解决方案是完全重新设计设备，以便更好地应对这样的瞬态。而更为简单的方法是添加一个部件，可以保护设备免受瞬态电压冲击，并且不影响设备日常的正常运转。ABB 已经开发出这类部件。

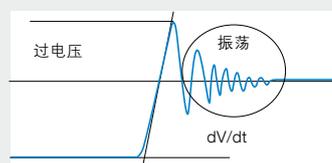
以下事项导致电网瞬态:

- 外部事件 (例如闪电)
- 电网内部事件 (操作、故障)



以下事项导致的快速、极快速瞬态影响设备:

- 过电压
- 高 dV/dt
- 高频振荡



电网瞬态导致过电压和振荡叠加在相电压和电流上。

**瞬**态电压中  $\rightarrow 1$  的高频分量导致电压分布高度不均匀, 这导致绝缘系统的局部场强远远超过正常工作条件下的场强。此外, 电气设备复杂的内部结构可以构成多谐回路, 高频分量可以额外引起局部场强增高。因此绝缘系统中的这些合成场强能大幅降低设备的寿命, 并经常导致内部短路。

绝缘材料可以耐受冲击电压的强度取决于冲击电压的升压时间。在选择电机绝缘体时通常要考虑到这一点。当旋转电机受高频下使用固态开关设备的传动设备驱动时, 要特别关注旋转电机的干式绝缘。此种设备的制造商经常提供关于冲击电压振幅和相应波前时间限值作为指导方针。升压时间典型低于  $1\mu\text{s}$  [2] 的冲击电压及其导致的初始电压在绕组上非线性分布需特别关注。初始不均匀电压分布导致高压和绝缘场强, 并可能引起故障、电晕和局部发电  $\rightarrow 2$ 。

对配电变压器更高耐受水平的需求正持续增加。非常规的绕组设计正在满足这一需求, 这增加了设计和制造两方面的成本。网络运营商对暴露于大气频繁放电的变压器特别关注, 常常要求变压器满足更严酷的规范要求和对变压器进行陡波冲击试验。芬兰标准 SFS 2646 规定了  $2\text{ MV}/\mu\text{s}$  [3] 陡波冲击电压 (dV/dt), 该规范还要求变压器应使用临近的火花隙作为过电压保护。由于火花隙的响应相对缓慢, 变压器端子电压 (测试条件下) 可能会大幅超过由设备工作电压决定的基本绝缘水平 (BIL)。此外, 冲击波的高 dV/dt 会导致初始电压在常规绕组上的高度非线性分布, 并引起绝缘系统中局部的高场强  $\rightarrow 3$ 。实验结果已证实了这一点, 同时表明火花隙对标准设计的配电变压器提供的保护可能不够充分。

普遍采用的解决方案是使用包含额外部件 (静电屏) 的特殊绕组设计来均衡初始电

位分布。该解决方案有助于避免较高的 dV/dt 值造成的绝缘中局部高场强, 但也增加了变压器设计和制造过程的复杂性。此外, 变压器绕组仍受到最高的

过电压作用, 因此变压器绕组绝缘必须能够耐受超出标准 BIL 的过电压。

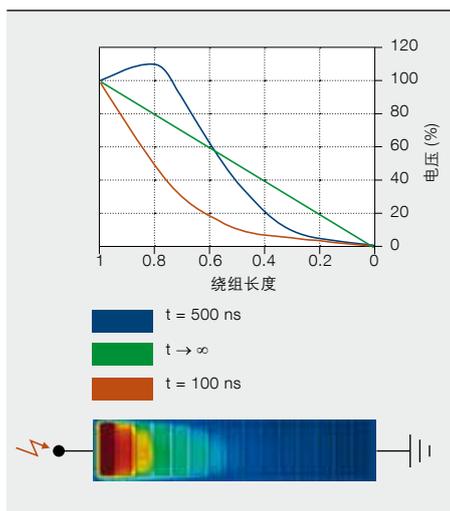
### SmartChoke – 串联保护

通过在受保护设备的前端串联滤波元件 (被称为扼流圈), ABB 已经开发出针对该种特殊变压器设计所需的一种方法。该串联元件的基本原理是提供适当的阻频特性  $\rightarrow 4$ 。以抑制特高频分量并使 50Hz 或者 60Hz 可自由通过该元件。

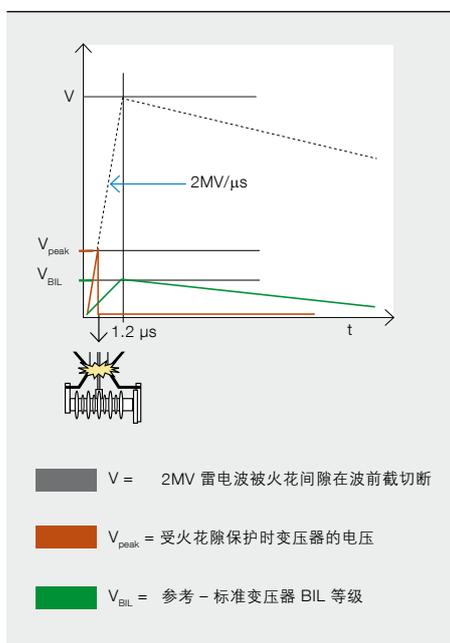
试验证明该方法可有效降低 dV/dt 值。dV/dt 由瞬态引起, 而瞬态与断路器中再起弧和预点弧有关。外部安装的串联扼流圈连同小型并联电容器共同将 dV/dt 减少到安全限度, 并消除随瞬态后的 [5] 高频振荡。

## 特别关注升压时间典型低于 $1\mu\text{s}$ 的冲击, 它导致初始电压在绕组上非线性分布。

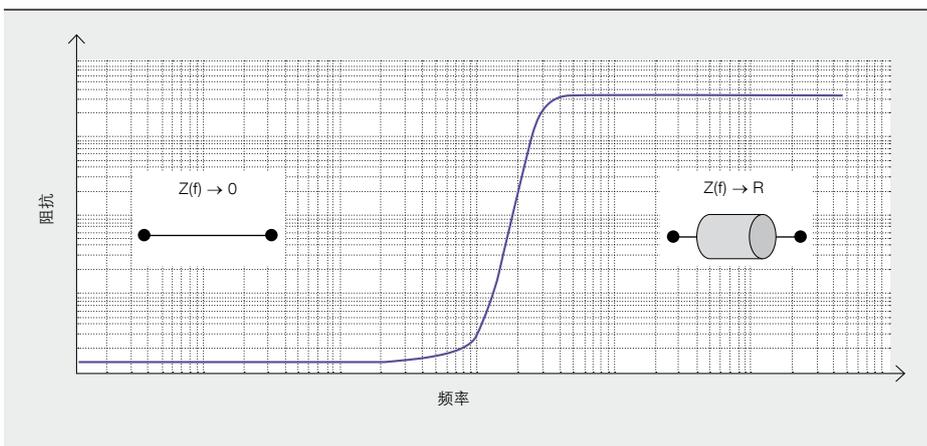
成功降低操作引起的 dV/dt 瞬态又引出一个问题: 类似方法是否可以用于降低雷电引起的截波 dV/dt 瞬态。杆架式配电变压器经常曝露于此环境中。



3 波前截断雷电波对变压器的影响



标准 BIL 波形 (绿色线)。



此外, ABB 力图把该设备集成在变压器内。

可以这样认为, 串联扼流圈可以是上文中所描述的、需使用静电屏来均衡高频电位分布的特殊设计绕组的一种选择。当与变压器的自电容相联合时, 串联扼流圈形成低通滤波器 (高频下, 变压器绕组可被表征为一个冲击电容)。该电容根据设备类型和规格的不同而变化。油浸式变压器的电容在每相一毫微法拉到几毫微法拉之间。

可以适当选择 R 和 L 参数优化这种扼流圈的滤波频率响应。而且必须确保扼流圈在正常工作条件下正确运行, 并且能够承受短路试验。

依据 R、L 和 C 的值, 回路响应是非周期性的或者包含额外的谐振分量。如果电阻值低于临界值  $R_c$ , 那么周期性分量等于零, 输出电压是指数函数的组合。

因此, 为了最大限度地降低  $dV/dt$ , 并同时阻止扼流圈下游电压的过冲和振荡, 阻尼电阻值选择适当显得尤为重要 →5。

上述电容 C 等于变压器的相对地电容。由于某一给定等级变压器的电容极限值已知, 优化 R 和 L 值便可适用于某一类型的典型变压器。→3 表述了未采用扼流保护的设备 (例如, 挂柱式变压器) 受到电压为 2MV 的雷电冲击时, 在理想化情况下, 火花隙截断 2MV 的雷电冲击波后, 设备将承受峰值高于 270kV 的相对地电压 (特性为  $2 \text{ MV}/\mu\text{s}$  的  $dV/dt$ )。而在该设备前端采用了串联扼流圈后, 不仅减低了  $dV/dt$ , 也降低了到达变压器的冲击电压峰值。

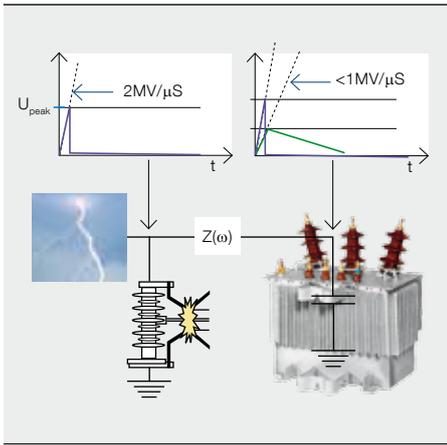
SmartChoke 受保护的变压器

串联扼流圈原理已经应用于 ABB 新型配电变压器以实现对其的严格保护和抗击高  $dV/dt$  瞬态。SmartChoke 扼流圈装在变压器套管内 →6, 在高  $dV/dt$  瞬态抵达绕组前对其进行过滤。

在受保护设备上游串联扼流保护, 其基本原则是提供适当的阻频特性。

选定环氧浇注变压器套管内扼流圈的参数, 以便在配电网中的柱上变电所中工作的所有标准规格的配电变压器都可以使用该套管。

## 5 配电变压器保护原理、耐受高 dV/dt



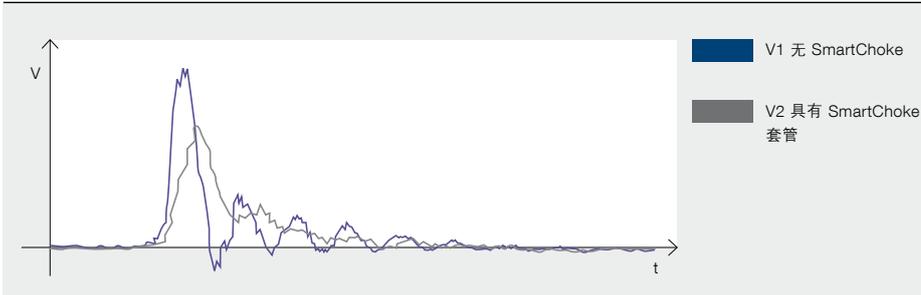
## 6 内置 SmartChoke 滤波器的变压器套管



已完成的实验表明，与使用标准变压器套管时相比，使用扼流保护时的 dV/dt 值降低超过二倍，电压峰值也明显降低。图表 →7。

根据 SFS 2646 标准，位于芬兰埃斯波的赫尔辛基工业大学高压实验室认证了装有 SmartChoke 套管的变压器 →8。结果证明采用标准绕组设计、保护扼流圈嵌入套管内、火花隙规格为  $2 \times 40\text{mm}$  的变压器可以安全暴露于  $2\text{MV}/\mu\text{s}$  的雷电冲击波下。

## 7 实验测量的过电压和 dV/dt 的降低



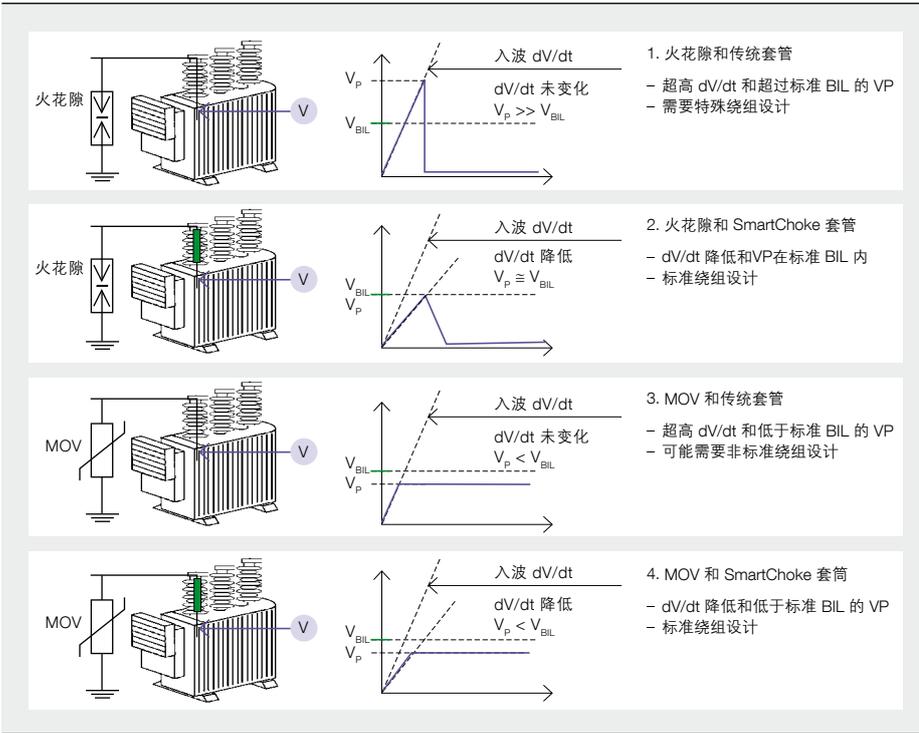
为了最大限度地减少 dV/dt，适当选择阻尼电阻值显得尤为重要。

## 8 SmartChoke dV/dt 抗性变压器



### 成功保护

与为保护设备而需对设备本身进行复杂的重新设计相比，在采用标准过电压保护的设备上使用扼流保护已被证明是具有吸引力的选择。应该指出的是：虽然扼流降低了 dV/dt，并且必然降低前截波的峰值，但扼流保护的主功能是降低雷电冲击导致的瞬态电压变化 dV/dt，因此，它应是对使用标准过电压保护时的补充，例如，使用火花隙保护或者金属氧化物避雷器保护 →9。



实验表明 dV/dt 的降低超过了使用标准变压器套管时的二倍以上。

**Wojciech Piasecki**

**Marek Florkowski**

**Marek Fulczyk**

ABB 研究中心

波兰克拉科夫

wojciech.piasecki@pl.abb.com

marek.florkowski@pl.abb.com

marek.fulczyk@pl.abb.com

**Paweł Kłys**

ABB 配电变压器业务单元

电力产品业务部

波兰罗兹

pawel.klys@pl.abb.com

**Egil Stryken**

ABB 配电变压器业务单元

电力产品业务部

挪威德拉曼

egil.stryken@no.abb.com

**Piotr Gawąd**

ABB 电力产品业务部

波兰普扎斯内什

piotr.gawad@pl.abb.com

**参考文献**

[1] Agrawal, K. C. (2001). Industrial Power Engineering and Applications Handbook. Newnes.

[2] IEEE 工作小组。(1981年8月)。Impulse voltage strength of AC rotating machines. In IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems: Vol. PAS-100(8), (4041-4052).

[3] Finnish Standards Association。(1987年6月29日)。SFS 2646, Pole mounted substation.

[4] Burrage, L. M., Shaw, J. H., McConnell, B. W. (1990年4月) Distribution transformer performance when subjected to steep front impulses. In IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5(2).

[5] Glinkowski, M., Piasecki, W., Florkowski, M., Fulczyk, M., Arauzo, F. (2008年5月)。SmartChoke-protecting power equipment from fast transients. Paper presented at IEEE PES Transmission and Distribution Conference, Chicago, IL, United States.

**标题图片**

雷击是导致电压瞬态的原因之一，而电压瞬态可能损害电气设备。



# 共享数据

ABB 正在实现首个  
IEC 61850-9-2 LE 过程总线技术的商业应用。

STEFAN MEIER –

IEC 61850 标准的引入体现了变电站自动化的一大进步，并将持续下去。例如，通过以太网，应用 IEC 61850-9-2 标准共享模拟采样值。通过将该技术集成到变电站自动化系统，ABB 已经积累了十多年的经验，使用最新通信技术生产测量电压和电流的非传统互感器。现如今，有效

连通一次设备（高压）和 ABB 经过现场证实的变电站保护和控制设备已成为可能，从而提高了优化过的变电站的可靠性和可用性。ABB 将这些重要技术与全球首次应用于商业的 IEC 61850-9-2 LE 标准相结合，并正在改造一座 1999 年交付的变电站。

(如开关柜位置指示)和跳合闸指令(操纵断路器和隔离开关),但这不属于当前过程总线实现的一部分。现今传统变电站通过大量并行铜电缆交换这类信息。光纤网络不仅避免了大量铜电缆的使用,而且还通过将初级过程与二级过程相隔离,增加了操纵的安全性 →1。

ELK-CP 传感器家族基于测量电流的罗氏线圈(Rogowsky)<sup>3</sup>的冗余配置和测量电压的两个独立电容式分压器。由于该设备中不含油,因此既环保又绝对安全。传感器(包括相关电子设备)设计为完全冗余,允许应用两个完全独立的并行保护系统,提升二级系统的可用性。由于无需关闭整个保护系统,即可独立地替换传感器电子设备,因此降低了维修所需的时间;由于无需接触带电部件,所以维修也更为安全 →2。

ABB 在 Powerlink 的变电站安装了 300 多台电子传感器。值得一提的是,在传感器运转的 10 多年间,主要变换器从未发生过故障。基于经验价值,传感器电子设备的平均无故障时间(MTBF)几乎是 300 年左右。这证明了即便是处于澳大利亚极度恶劣的气候条件下,传感器也具有绝对的可靠性和高度的可用性。

### 升级换代

Powerlink 启动了一个升级项目,目的是替换混合变电站中的二级设备,其中包括与过程总线相连接的面向过程的电子设备。此次升级换代的核心要求是设备应完全符合国际标准,尤其是用于模拟采样值的过程总线要符合 IEC 61850-9-2 LE 标准 →3。

Powerlink 与 ABB 签订了合同,合同

## 1 变电站中的站控层和过程总线



内容是升级第一个 iPASS 变电站。该项目表明符合 IEC 61850-9-2 LE 标准的过程总线在全球首次应用于商业领域。如今,过程总线的应用正在顺利进行中。

### 符合 IEC 61850-9-2 LE 标准的过程总线

IEC 61850 变电站通信网络和系统国际标准的发布,谱写了描述变电站国际标准和通信的新篇章。第一次,同一个标准能支持来自不同厂商设备真正的相互操作,以及适应未来发展趋势的设计。该标准已经迅速获得了市场的认可<sup>4</sup>。

ABB 在创立标准方面发挥了重要作用,并将继续推动对标准的维护和进一步发展。自从 2004 年完成了全球首个多厂商项目的安装后,ABB 不断

作为 NCIT<sup>1</sup> 和过程总线技术领域的先行者,ABB 于 1999 年就已开始交付使用过程总线和 NCIT 技术建立的 6 个户外变电站。为澳大利亚的昆士兰 Powerlink 电力公司提供的混合技术,或者是“混合”变电站,基于 ABB 智能化的即插即用系统(iPASS)。集成到 iPASS 模块的断路器、隔离开关和接地开关的驱动器中的电子模块,能够使用专用光纤过程总线进行通信。此外,iPASS 模块配备 ABB 的 ELK-CP 传感器,用于测量电压和电流,也与过程总线相连。过程总线是指变电站自动化系统中连

## IEC 61850 协议的发布,开启了变电站功能和通信描述的新篇章。

接一次设备(如仪表互感器)和二级设备(如保护和控制 IEDs<sup>2</sup>)的通信网络。这个光纤通信网络用于发送模拟数据(如电流和电压的测量值)。该网络也可以用于发送二进制数据

### 脚注

- 1 NCIT:非传统互感器
- 2 IED:智能电子设备
- 3 Rogowski 线圈是用于测量交流电的装置,由环状线圈组成。被测的载流导体通过环状线圈的中心。传感器输出的电压与衍生的电流成正比。
- 4 请参见《ABB 评论特刊 IEC 61850》

向全球约 70 个国家和地区配送了 1 000 多套系统，这些系统全部使用符合 IEC 61850 标准的站控层总线。

继站控层成功引入 IEC 61850 标准后，该标准在使用过程总线的面向过程的通信系统中的重要性也不断提升。完善标准以定义过程层和间隔层之间所有必要的时间敏感的信号交换，标准的 9-2 部分主要关注通过以太网传输模拟采样值。

IEC 61850-9-2 标准要求通过合并单元 (MUs) 传输模拟采样值。在传输模拟数据前，合并单元对变电站中独立相或测量点的模拟数据进行时间同步和合并，保护和控制设备可以获取该数据。随着 CP-MUP 的推介，ABB 成为首家能够提供经过一致性测试和 UCA 认证的合并单元的厂商<sup>5</sup>。

IEC 61850-9-2 标准使按照标准化方式从 NCITs 交换信号成为可能，并支持 NCIT 技术的显著优越性。这包括：贯穿整个测量范围的最高精度等级、节省空间的设计、与传统设备相比显著增强的安全性。

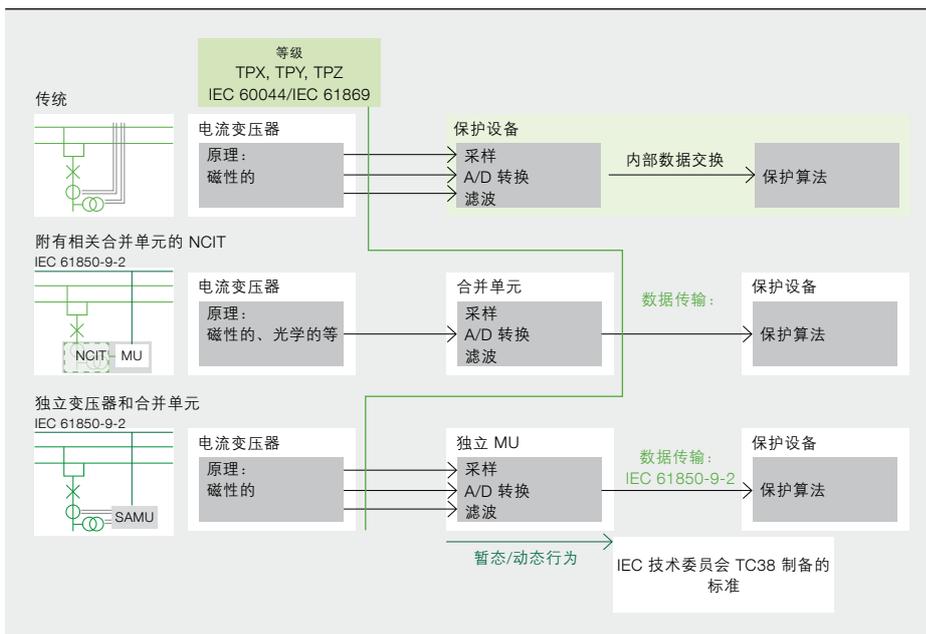
为推动标准 9-2 部分的实施并简化其应用，UCA 国际用户组已经制定了 IEC 61850-9-2 标准的实施指南。该指南对标准的实施提供了附加信息，并对同一标准定义了一个子集。该文件被称为 IEC 61850-9-2 LE (简化版)，是实施标准中 9-2 部分的主要文件。

由于 NCIT 合并单元特别为一种特殊类型的 NCIT 定制，因此这些单元组成一个可以被共同开发和型式试验的单一实体，允许定义 IEC 61850 端口下的完整测量链行为。

## 2 ELK-CP3 将电流和电压 NCIT 与 IEC 61850-9-2 LE 合并单元相结合



## 3 暂态性能和通信接口的标准化



与之相反，独立合并单元 (SAMU) 与传统的 CTs<sup>6</sup> 和 VTs<sup>7</sup> 接口。SAMU 对模拟信号进行采样，并将这些信号提供给过程总线。模拟值转换到数字采样必然影响测量链的暂态响应。IEC 61850 标准不包括 SAMU 的这种动态行为。IEC 和 Cigré 技术委员会和工作组对动态行为的处理做了相关定义。该定义将合并到仪表互感器国际标准 IEC 61869 将来的发布稿中 →3。

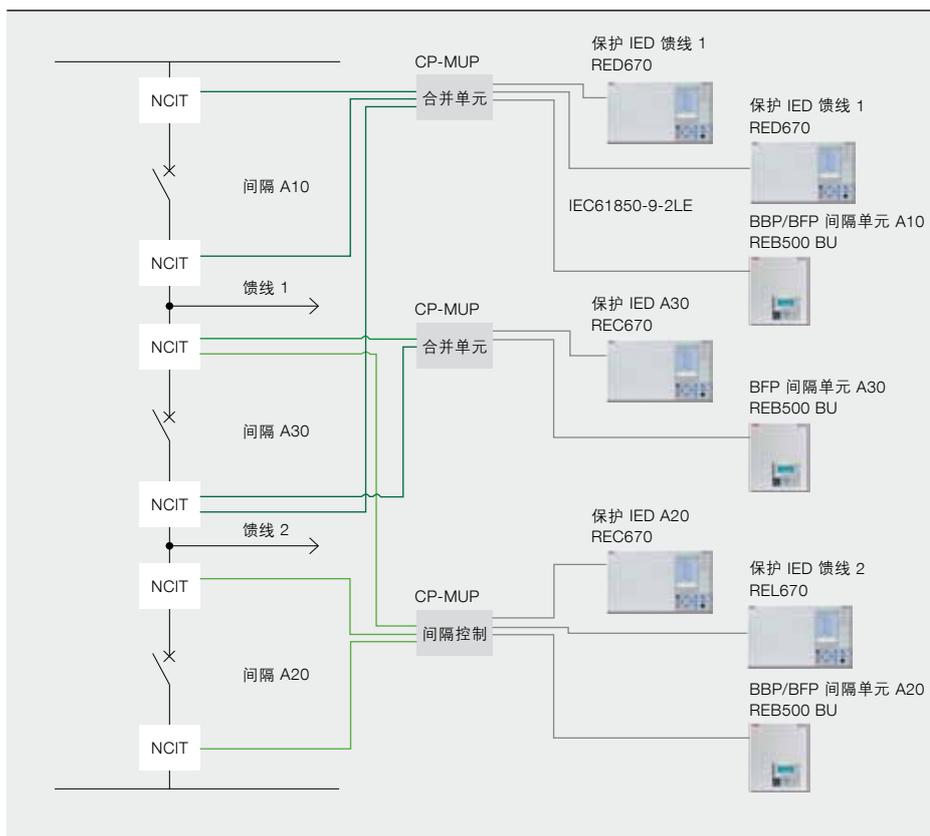
### 使用最先进的过程总线扩展经过认证的传感器技术

在 Powerlink 的改造项目中，ABB 依靠 NCIT 领域的丰富经验，将使用 IEC 61850 技术替换最初安装的私有

光纤网络不仅避免了大量铜电缆的使用，也增加了操作的安全性。

#### 脚注

- UCA 国际用户组织是非营利公司，旨在对用户和厂商在标准应用方面进行协助，这些标准是为了多种有相应需求的工业的实时应用。
- CT：电流变压器
- VT：电压变压器



## ABB 在创立 IEC 61850 标准方面发挥了重要作用，并将继续成为标准维护和进一步发展的主要动力。

过程总线。IEC 61850 兼容的新系统将处理站控层和过程层的通信。

在 Powerlink 项目中，ABB 将使用 SAS600 变电站自动化系统、Relion® 670 系列的保护和控制 IED、REB500 分散母线和断路器失灵保护系统。系统中的所有保护和控制设备将与 IEC 61850-9-2 LE 过程总线连通，并接收 ABB CP-MUP 合并单元的模拟采样值。MU 将通过新的传感器电子设备与现有组合电流和电压传感器相接。采用这种方法，可将一次设备的改动降到最低程度 →5。

用于 1½ 断路器的变电站自动化系统，与澳大利亚对二次系统升级中所使用的相似，参见 →4。利用 ABB NCIT 的嵌入式冗余设计，第二套包含合并单元和保护 IED 的独立系统，可满足客户的冗余要求。

为演示部件的适用性并检验 Powerlink 项目中将使用的概念，我们使用了额外的测量来验证新技术。

以与过程总线相连的 NCIT 和 IED 为主的一系列试点安装已经试运行，为了获取现实变电站环境下新技术使用情况的经验。这些试点安装包括对一个 Powerlink 的 275kV 变电站馈线用新型传感器电子设备的升级、合并单元和 ABB 的 Relion® 保护 IED。除了帮助客户获取重要经验和信心外，试点安装也提供与传统或非传统设备对比的关于长期稳定性和试点设备运转情况的重要信息。

ABB 所有的保护和控制设备都经历了严格的产品和系统验证试验，该试验在 ABB 的 UCA 认证系统验证中心进行<sup>8</sup>。另外，来自双方公司的专家对 Powerlink 二次系统升级项目在 ABB 测试现场进行了概念测试，特别注意了系统在不同的故障状态下的运行情况。

按照说明，系统可靠运行，在任何状态下都没有出现过度反应或错误的跳闸信号。在现实情景中，这样的错误信号会导致电网停电。

在对潜在的不同故障状况进行模拟的过程中，持续和详细监视系统所有部件就显得尤为重要，严格的监视能够实现快速而精确地故障识别。持续的系统监视大大减少了定期维修的次数；为变电站工作人员精确定位故障在很大程度上简化了维护工作。

脚注

8 See also “Verified and validated: ABB has its own verification and validation center” on pages 23–28 of *ABB Review Special Report IEC 61850*.



### 对过程总线安装的测试和维护

用光缆替换铜线和根据 IEC 61850 描述传送的信息为智能测试工具提供了新机遇，该工具支持变电站自动化系统的试运行和维护。

ABB 迅速发布了集成测试工具箱 ITT600<sup>9</sup>，包含一整套工具来帮助用户利用 IEC 61850 的优势充分获益。ITT600 工具箱掩饰了 IEC 61850 标准的潜在复杂性，向测试和维修人员提供了系统中数据的一个清晰视角。例如，工具箱帮助操作人员验证安装是否与变电站配置描述 (SCD) 相一致，帮助分析 IED 和站控层系统的通信情况。

**ABB 所有的保护和控制设备都经历了严格的产品和系统验证试验，该试验在 ABB 经过 UCA 认证的系统验证中心进行。**

随着模拟采样值中引入了过程总线，工具箱中也添加了相应的工具。在 NCIT 使用光学连接至合并单元进行测量的场景中，这一点尤为重要。在这种情况下，淘汰了所有的传统 CT

和 VT 终端，在 IEC 61850-9-2 网络中进行所有的分析工作。凭借将 IEC 61850 与测试工具研发集成的丰富经验，ABB 正在研发用于分析模拟采样值的别具特色的分析仪 →6。

当需要访问测量点时，相较于传统电流和电压测量，过程总线的分析值的优势就显现出来。由于数据在过程总线网络中的有效，不必再访问实时部件、无需使 CT 终端短路和开放。通过将分析工具的以太网端口连接至过程总线网络，或直接连接至合并单元，如此一来，维护工程师就可以极其容易地访问所有的模拟采样值数据流。与安培计和伏特计相反，9-2 分



### 未来趋势

使用过程总线概念的全部潜能和 IEC 61850 对其所作的定义，也可以通过光纤通信网络传输二进制数据，该网络处于一次过程与保护和控制 IED 之间。通过将二进制输入和输出模块置于一次过程附近，这样就几乎可以避免使用所有的铜电缆，从而增加了额外的优势，例如，能够从电气隔离过程层和间隔层系统，并持续监督所有的信号。

将 IEC 61850 尖端技术应用于变电站，并在过程层积累了 NCIT 技术的丰富经验，ABB 正在研发适应未来发展趋势的智能化产品，满足客户对于更加可靠、更加高效、更加安全的解决方案的需求，帮助客户利益及其资产价值最大化。

#### Stefan Meier

ABB 电力系统业务部  
瑞士巴登  
stefan.meier@ch.abb.com

析仪可以轻易显示那些之前不可直接获得的数据。这些数据包括所有相的电流和电压的视图、相量图以及传输电报的深入信

息。最后一项信息对于了解系统的健康情况至关重要，例如，指示部分系统正在接受测试。

#### 脚注

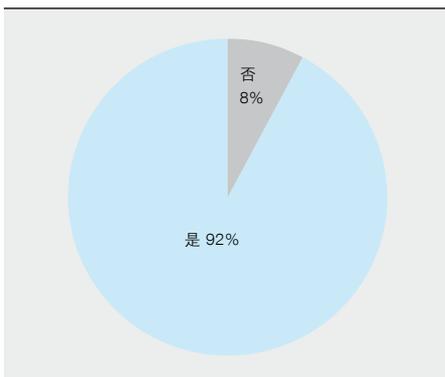
<sup>9</sup> See also "A testing environment: ABB's comprehensive suite of software testing and commissioning tools for substation automation systems" on pages 29–32 of *ABB Review Special Report IEC 61850*.

# 《ABB 评论》

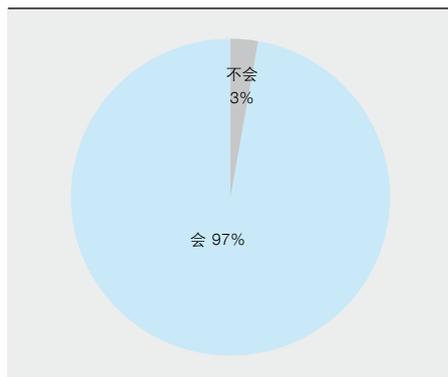
## 读者调查结果揭晓

《ABB 评论》团队和 ABB 集团研究和  
技术中心的每一位工作人员都衷心感  
谢您花费宝贵时间完成《ABB 评论》  
读者调查表。您的反馈将有助于我们  
更好地把握《ABB 评论》的发展方  
向。尤其令我们高兴的是，大部分读  
者会阅读和他们专业领域不相关的文  
章，并将这本杂志运用在很多地方，  
表明《ABB 评论》的应用已经跨越了  
许多不同的技术领域。虽然这次调查  
在全球以五种语言展开，但通过抽奖  
赢得奖品的五位获奖者全部来自亚  
洲！衷心祝贺以下获奖者：管桦（中  
国）、刘新平（中国）、Giridhar  
Sharma（印度）、张胜（中国）和  
Feni-Nurdiana Masrani（马来西亚）！每个人将获得一把太阳能手电  
筒和一个 4 GB U 盘。

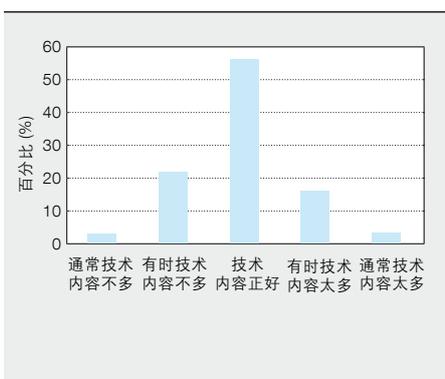
1 您是否阅读《ABB 评论》中和您专业领域不相关的文章？



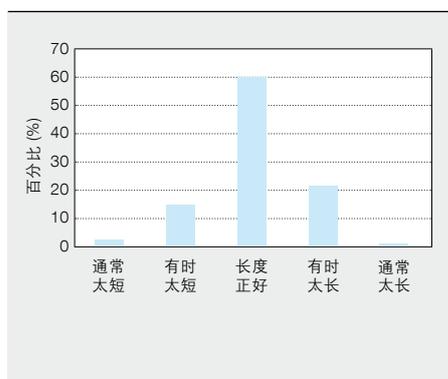
2 您会向同事推荐阅读《ABB 评论》吗？



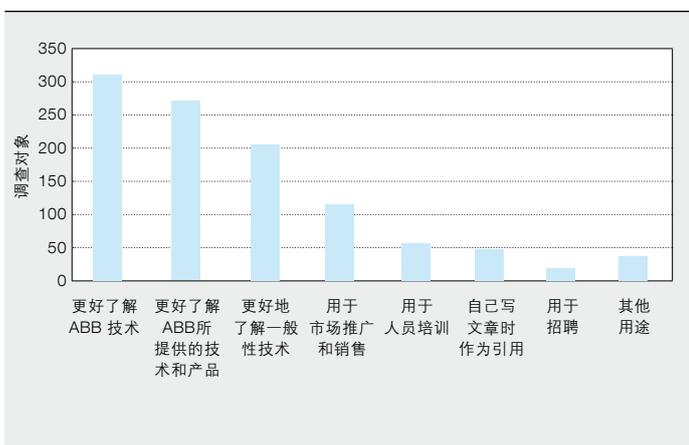
3 您对《ABB 评论》文章的技术内容满意吗？



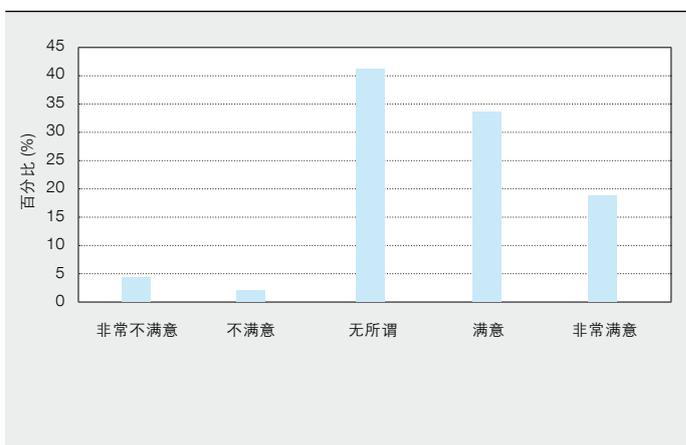
4 您对文章的长度满意吗？



5 您如何使用《ABB 评论》？（可以多选）



6 从 2010 年第一期开始，《ABB 评论》按照公司新的品牌战略重新设计排版。您对这一新设计满意吗？



总调查对象：494人

编委会

唐维诗

ABB 集团首席技术官

Clarissa Haller

ABB 集团企业传播负责人

Ron Popper

ABB 集团可持续发展事务负责人

Eero Jaaskela

ABB 集团战略客户负责人

Andreas Moglestue

《ABB 评论》主编

andreas.moglestue@ch.abb.com

出版人

《ABB 评论》由 ABB 集团 R&D 和 Technology 出版。

ABB 技术有限公司

ABB 评论

Affolternstrasse 44

瑞士苏黎世 CH-8050

《ABB 评论》每年出版四期，以英文、法文、德文、  
西班牙文、中文和俄文出版。

《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，或者上网订阅：

[www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)

部分印刷或复印需经认可。再版需经出版人书面同意。

出版人和版权 ©2011

ABB 技术有限公司

瑞士苏黎世

印刷

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH

AT-6850 Dornbirn/奥地利

排版

DAVILLA Werbeagentur GmbH

AT-6900 Bregenz/奥地利

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 公司不做任何担保、保证以及承诺。

本刊已翻译成中文，所有文档应以英文版本为准。

ISSN: 1013-3119

[www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)



2011年第二期预览

## 石油和天然气

根据美国能源信息管理局 (EIA) 预计，石油占地球上一次能源消耗的比例约达 36%，也是一次能源中最大的单一能源来源。天然气所占的比例约为 23%，位列第三（第二是煤）。这两大能源占人类对能源需求的比例约为 60%，相当于每天 1 亿桶的能量量。石油和天然气的持续供应对经济、工业以及人类社会的各个方面都至关重要。尽管可替代能源和核能不断发展，节能减排也取得了进步，但是未来对石油和天然气的大量需求必将持续很多年。

ABB 提供很多提升石油和天然气价值链的技术。这些技术支持工业活动的各个环节，从勘探、提取到加工和运输。《ABB 评论》2011 年第 2 期将详细探讨 ABB 对这一产业所做的贡献。



## 将可再生能源接入电网？

山区、沙漠、海洋等偏远地区，往往是水力、太阳能和风能资源最丰富的地区。ABB领先的电力和自动化技术，将可再生能源接入到电网，送达7000万人身边，有时需要跨越相当长的距离。我们驾驭可再生能源的努力，正在使电网日趋智能化，同时更有助于保护环境和应对气候变化。欲了解更多，请登录 [www.abb.com.cn/betterworld](http://www.abb.com.cn/betterworld)

当然能实现。

用电力与效率  
创造美好世界™

