

ABB评论

非洲

02|2017 中文版



-
- 06-27 非洲
 - 28-43 安全设计
 - 44-53 数字化与分析
 - 54-67 能源



18

偏远铁路的电气化

05 编者按

非洲

- 08 非洲能源
- 13 国际红十字会的集装箱式混合微电网
- 16 站用电压互感器
- 18 偏远铁路的电气化
- 23 电气化规划模型



13

国际红十字会的集装箱式混合微电网

水下 3000 米：坚不可摧的海底电气设备



56



62

替代六氟化硫的环保气体

高压变电站绝缘建模



38

安全设计

- 30 人为因素与工厂安全
- 35 自适应操作台
- 38 高压变电站绝缘建模

数字化与分析

- 46 配电控制系统

能源

- 56 水下 3000 米：坚不可摧的海底电气设备
- 62 替代六氟化硫的环保气体

67 出版信息

非洲是世界上人口数量排名第二的大陆，预计未来非洲人口将以其他大陆的两倍速度增长，在2100年达到44亿人。目前，非洲无电可用人口约5亿，这里的能源和运输成本位居全球最高之列。

在非洲，ABB携手客户推出创新的解决方案，为新时代的工业发展和经济增长提供动力。本期《ABB评论》刊登了我们最新的新闻和观点。

欢迎提出宝贵意见。
abb.com/abbreview

编者按

非洲能源



亲爱的读者：

非洲拥有巨大的机遇，同时也面临严峻的挑战。目前，非洲大陆只有一半人口能够得到供电；在撒哈拉以南的非洲，这个比例甚至仅有三分之一。由于电力对大部分商业活动都十分关键，解决用电问题将能释放出当地人力和经济的巨大潜力。供电工程并不仅仅是技术和设备问题，还需要了解目标地区的需求和潜力。

在本期《ABB评论》中，两篇嘉宾文章介绍了供电区域规划的方法、工具以及从微电网孤岛运行到全面并网的最佳供电方式。虽然本刊中讨论的有些技术仅仅适用于非洲，但其他技术却适用于全球各地。这些技术展现了ABB结合其丰富的专业知识在世界范围内打造创新解决方案的强大实力。

祝您开卷有益！

胡博明
ABB 集团首席技术官

非洲



ABB在非洲参与的项目分布甚广，所面临的挑战包括基础设施与不同地域的融资和特别的质量要求，以及后续的服务、支持和扩建需求等不一而足。但无论在哪儿，这些项目都能为提高工业和经济生产力、改善生活水平创造机会。因此，这些项目势在必行，ABB也携手客户和合作伙伴，积极应用行业专长推动每个项目的成功实施。



- 08 嘉宾访谈：非洲能源
- 13 国际红十字会的集装箱式混合微电网
- 16 面向小负荷应用的站用电压互感器
- 18 改变埃塞俄比亚与外部世界的连接方式
- 23 嘉宾献文：电气化规划模型



访谈

非洲能源



Mark Howells

Mark Howells 教授现任瑞典皇家理工学院能源系统分析系主任、悉尼理工大学特聘教授和《能源战略评论》总编。他的研究课题包括支持政府应对政策和投资难题的量化模型的开发和应用 → 1. 在这次访谈中, Howells 教授探讨了非洲电气化和发展中面临的挑战。

关于ABB的问题, 请联系
Alexandre Oudalov,
alexandre.oudalov@ch.abb.com

《ABB评论》 在实现可持续发展的同时满足不断增长的能源需求是一个全球性挑战。非洲的形势有何特殊之处?

Mark Howells 经济的可持续性为主要挑战。企业需要明白他们可以实现盈利。考虑到政府机构资源不足、政策欠佳和规划能力有限, 实现这一点相当困难。但是, 非洲各国正在采取诸多措施解决这个问题。此外, 借非洲大陆快速发展的东风, 很多私人或非正式行动计划也已开展。

《ABB评论》 在政府的支持下, 可持续能源通常可以率先发展。非洲是不是这样?

Mark Howells 是的, 非洲各国政府、非洲开发银行、非洲发展新合作伙伴计划 (NEPAD)、非洲联盟等机构开展了一些重要行动。例子之一就是非洲联盟提出的“2063年议程”, 它是一个旨在推进非洲大陆未来50年内实现社会经济转型的战略性框架, 立足于非洲以往和当前开展的增长和可持续发展行动, 并加速其实施进程。但各国政府在实施切实可行的市场、财政和政策发展机制并为其配备所需资源方面存在较大的困难。

01 开发电气模拟系统

01a OnSSET优化各种发电技术组合的分布 (上图)。各种发电技术的最优化平准化度电成本 (下图)。

01b 采用OSeMOSYS模型计算得出的肯尼亚国家电网最优发电组合 (2012-2030)。

开发电气模拟系统

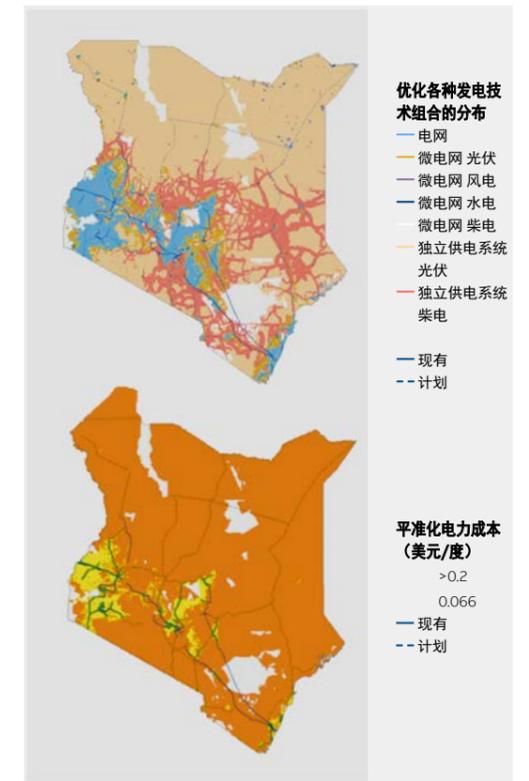
决策的制定依赖于对信息的掌握。对于诸如电网建设和扩建等复杂的高额投资项目而言更是如此。哪怕是在一个没有通电的地区建设新的电网, 它也不是在“真空”条件下建设的。地理位置和经济形势都会对此类项目的效益产生影响。由Howells教授领导的瑞典皇家理工学院能源系统分析系 (dESA) 开发出相关工具支持该类决策。该团队与ABB合作建立模型并开展了一些案例研究。

开源电气空间分布模拟工具箱 (OnSSET[2]) 和开源能源模拟系统 (OSeMOSYS[3]) 是两个用于能源系统研究的优化工具。OnSSET可根据住户用电量和实现全面电气化的目标年份进行分析, 可针对不同电气化目标进行调整。

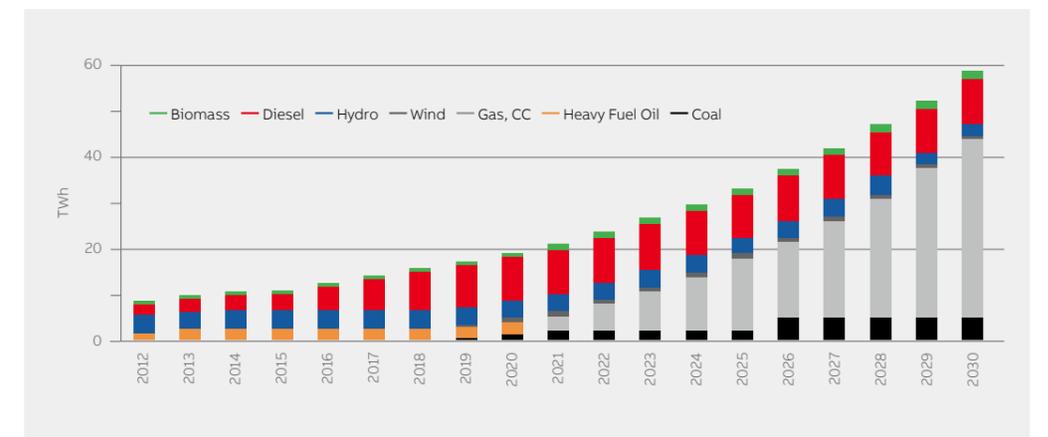
OSeMOSYS可估算电力需求总量 (不仅仅是住户), 针对联网和分布式发电两种形式, 提供每年成本最优的电力结构方案。

两个工具不仅可以独立使用, 而且可以结合使用, 形成一种更加综合的建模方式, 有助于指导长期投资计划。

例子之一就是肯尼亚。采用两种工具的迭代建模结果表明, 到2030年该国可以实现全面通电→1a。该研究的假设目标是, 到2030年肯尼亚农村和城镇住户每户年用电量分别达到1800度和2195度。经过扩建的国家电网将覆盖大约84%的人口, 另外16%的用电需求将由离网系统满足 (9%的电力来自于微电网, 7%来自于独立电力系统——主要是光伏发电和柴油发电)。国家电网的装机容量预计需要增加2600万 kW, 主要来自于新建的燃煤和燃气电站→1b, 这要求高压输电线路的容量增加2160万 kW。该计划的投资总额预计达463.1亿美元 [4] [5]。



01a



01b

《ABB评论》 政府通常不清楚应采用哪种技术、市场和政策的方案，更因不了解各种方案的优势，而难以分清主次。

Mark Howells 农村电气化和通电工程的主要发展阶段有哪些？

抛开技术发展的因素，我们看到从洛杉矶、伦敦到拉各斯都曾面临许多类似挑战。在电网建设的早期阶段，美国采取的途径是允许矿山、工厂和农场组建电力合作社，当时该国电网的发展和建设速度飞快。英国的电网是在严格监管下发展起来的，政府担心市场垄断和对穷人收取不公平的电费，迫使很多电力生产企业倒闭，政府掌握了控制权。后来英国电网演变成一个中央计划系统，可为全国提供可靠的电力。政府何时和如何干预，以及从何处着手干预，不是一个容易回答的问题，取决于当地的具体情况。

我们今天可以看到一些有趣的现象：如果可以获利，自建电站的数量就会增长；如果可以按照市场化报酬机制建设分布式电站，我们可以看到微电网蓬勃发展；如果政府强行压低电价，由于生产者可获得的激励有限，微电网的发展就会受阻。

加纳政府出台补贴政策，弥补电力生产成本和上网电价之间的差额，促进该国微电网蓬勃发展。

在加纳，我们发现了一个有趣的（也是有效的）促进微电网发展的混合模式——政府出台补贴政策，有效弥补电力生产成本和上网电价之间的差额。该国政府还开展了几个特许经营项目，确保通过市场竞争压低电价，政府（通常为国家电网公司）发挥协调作用并提供资金。在南非等其他国家，政府推进和实施各种改善电网的电气化项目，已为数百万消费者成功送电。



—
02 苏丹的110 kV Eid Bab-kir输电线路

虽然电气化的话题是老生常谈，但我们还是能从中发现一些亮点。东非率先发展创新的离网业务模式，而与此同时该国的手机银行业务也在快速普及。两个新兴业务的碰撞可以为电力发展带来现金流、规模经济效应和多种配套服务。政府鼓励采用智能化信息技术（ICT）和融资方案，支持当地创新型企业的发展。在其推动下，小型电力公司也可成为娱乐和信贷等服务提供商。此外，当地微型企业生产的产品可以轻松交易，为电力用户带来更多收入。所有这些都离不开移动支付。

《ABB评论》 像聚焦式太阳能电站（CSP）这样的大型能源项目情况如何？它们意义何在？阻碍这类项目发展的因素有哪些？

Mark Howells 在一个规则清晰、风险较低的完善市场中，大型资本密集型项目很有意义。但例外情况总是存在。这样的项目需要签署购电协议、优惠性融资和其他保证措施，以降低风险。在非洲，输电距离过远加大了这些问题的难度→2。各种供电、用电和实现电力供需平衡的传统往往处于不同位置。整个电网和电力市场仍处于发展状态。尽管如此，还是取得了一些重大进步。在非洲一些相对比较完善的电力系统中，我们可以看到，诸如聚焦式太阳能电站等波动性可再生能源已大规模并网发电。南非和埃及就是很好的例子。

值得提出的是，非洲有世界上最好的太阳能和风能资源，同时，其大量的待开发资源的开采、加工和出口过程都需要消耗大量电力。所以，目前非洲已具备开发大型可再生能源项目的关键驱动因素。

03 无电人口的数量和比例, 2012 [1].

参考资料

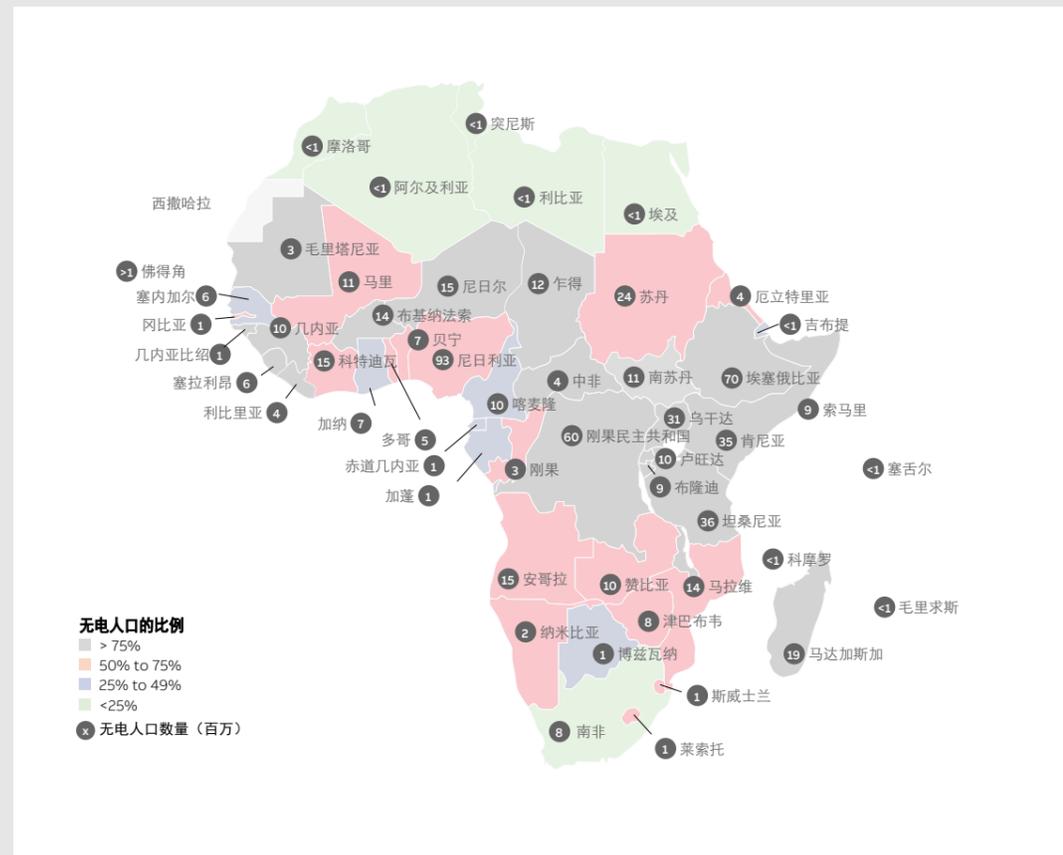
[1] A. AlSaffar 等人, “非洲能源展望”, 国际能源署, 《世界能源展望专题报告》, 巴黎, 2014, 第 445 页。

[2] Howells, M. 等人, 2011, “OSEMOSYS: 开源能源模拟系统: 概念、结构和发展介绍”, 《能源政策》, 第 39 (10) 卷: 5850-5870。

[3] Mentis, D. 等人, “基于地理信息系统的电气化规划方式——尼日利亚案例研究”, 《可持续发展能源》, 29: 142-150, 2016。

[4] Moksnes, N., 《肯尼亚在气候、土地、能源和水资源方面的可持续发展目标》。网址: <http://kth.divaportal.org/smash/get/diva2:946269/FULLTEXT01.pdf>。

[5] 联合国经济和社会事务部, 《全面通电》。网址: <http://undesamodelling.github.io/electrification-paths/presentation/>。



03

《ABB评论》 您认为ABB的哪些特殊实力和技能可支持非洲发展?

Mark Howells 作为一个知识、设备和技术提供者, ABB处于很好的位置。ABB的能源控制管理系统可以应用于小型电力系统, 亦可升级扩展用于管理全国性电网, 并拥有电力市场管理软件。

此外, 在大规模输电、交直流混合电网等方面, ABB掌握着很多关键技术, 并且还在追求新技术开发。特别是交直流混合电网技术, 随着未来各种并网系统交织, 其重要性开始凸现。

我们面临的主要挑战在于合作、沟通和能力建设。政策制定者和企业家通常并不清楚, 挖掘非洲的发展潜力需要哪些技术、控制手段和市场机制 →3, 也不清楚不同方法路线的优势何在。实际上, “免费可研分析”和支撑这些决策的知识转让, 绝不仅仅像快速兜售产品那么简单, 它需要协作创新。就像面对之前其他人认为难以克服的困难一样, ABB始终在前, 迎难而上……

《ABB评论》 感谢您接受我们的采访。

非洲

国际红十字会的集装箱式混合微电网

国际红十字会在非洲最大的物流中心设在肯尼亚首都内罗毕, 它是一个经常面临停电和电能质量问题的城市。ABB 将向国际红十字会提供一个集装箱式微电网系统, 依靠传统能源和可再生能源发电为其提供不间断电源。在这一创新解决方案中, 微电网系统的所有设备都整合在一个集装箱内, 方便在其它国际红十字会项目中应用。



Samuel Chiira
ABB 电网业务部
肯尼亚内罗毕

Samuel.chiira@
ke.abb.com



Michelle Kiener
《ABB评论》
瑞士Baden-Daettwil

michelle.kiener@
ch.abb.com

Cleitton Silva
ABB前员工

国际红十字会成立于1863年, 总部位于瑞士日内瓦。设在肯尼亚的物流中心是其最大的驻外物流中心 →1。该中心拥有170名员工及国际红十字会最大的储藏设施, 负责为非洲各国发放食品、其他生活必需品(譬如药品)和救灾物资。ABB正在为国际红十字会建造一个集光伏发电、柴油发电和储能系统于一体的集装箱式混合微电网, 不仅可以最大限度提高可再生能源利用率, 而且可以确保供电可靠性。这个微电网系统可与现场太阳能/柴油发电系统并行工作, 还可根据需要进行并网和离网的无缝切换。该项目计划2017年年中完

成。微电网可用于整合分布式能源和负载, 让它们以协调可控的方式运行。微电网既可以并入主电网, 也可以独立供电, 能够确保电能质量和电网稳定性达到与主电网同级别。

这类小型电网系统非常灵活, 可以轻松运输, 为没有通电的偏远地区和设施提供电力——这些地区和设施可能需要等待几年甚至几十年时间才能接入电网。对于易停电地区的联网设施, 微电网还是理想的备用电源。

微电网可以整合多种分布式电源, 包括传统的柴油和燃气发电, 以及诸如光伏发电、风电、水电、潮汐发电等可再生能源, 甚至像热电联产(CHP)这样的供热系统以及储能系统。微电网可整体协调控制这些资源, 满足工业和住户用电需求 [1]。

ABB 正在为国际红十字会建造一个集装箱式混合微电网, 它不仅可以最大限度提高可再生能源利用率, 而且可以确保供电可靠性。



01

— 01 国际红十字会在内罗毕的物流中心 (© ICRC)

在非洲，微电网的发展潜力巨大。非洲有超过9亿无电人口，其中包括撒哈拉以南非洲地区大约三分之二的人口，也就是6.2亿人。在这里，微电网可以大大加快经济发展速度[2]。

ABB是全球微电网技术的领先者，已在全球安装了30多套微电网系统，服务于偏远地区、岛屿、科研和工业园区以及电网辅助项目。

目的明确的解决方案

该项目有两个主要目的。第一个是确保国际红十字会的设施获得可靠的不断供电，避免诸如药品等重要物资因为停电而受损。肯尼亚经常停电，所以不间断备用电源对于关键物资储存必不可少 →2。

— **肯尼亚经常停电，所以不间断备用电源对于关键物资储存必不可少。**

— 02 非洲部分国家停电小时数 [3]
 纵轴：每年停电小时数
 横轴：中非共和国 尼日利亚 乍得 塞拉利昂 加纳 塞内加尔 刚果民主共和国 安哥拉 坦桑尼亚 乌干达 埃塞俄比亚 津巴布韦 布隆迪 肯尼亚 喀麦隆 尼日尔 加蓬 卢旺达 赞比亚 博茨瓦纳 马里 科特迪瓦 南非 吉布提
 注：数据来源于特定国家最近的商业调查。
 资料来源：世界银行 (2014b)；国际能源署分析。

— 参考
 [1] M. Ghavi. (2016年12月) 《微电网在未来减排中大有所为》。网址：<https://microgridknowledge.com/microgridskeyrolelow-carbonfuture/>
 [2] A. AlSaffar, M. Baroni, C. Besson等人, “非洲能源展望”，国际能源署, 《世界能源展望专题报告》，巴黎, 2014. 第3页。
 [3] A. AlSaffar, M. Baroni, C. Besson等人, “非洲能源展望”，国际能源署, 《世界能源展望专题报告》，巴黎, 2014. 第26页。

第二个目的是作为国际红十字会的试点项目，在该技术应用于电力问题比内罗毕更严峻的难民营之前，可以在可控环境中测试和掌握这项技术。

— **国际红十字会主席 Peter Maurer 表示：“可靠的供电对于确保我们的员工在现场不间断地开展救援工作必不可少。”**

ABB将为内罗毕物流中心提供的集装箱式混合微电网系统包含：

- 控制系统 – Microgrid Plus系统
- 稳定系统 – PowerStore储能系统
- 储能系统 – 采用锂离子电池即插即用，节省费用

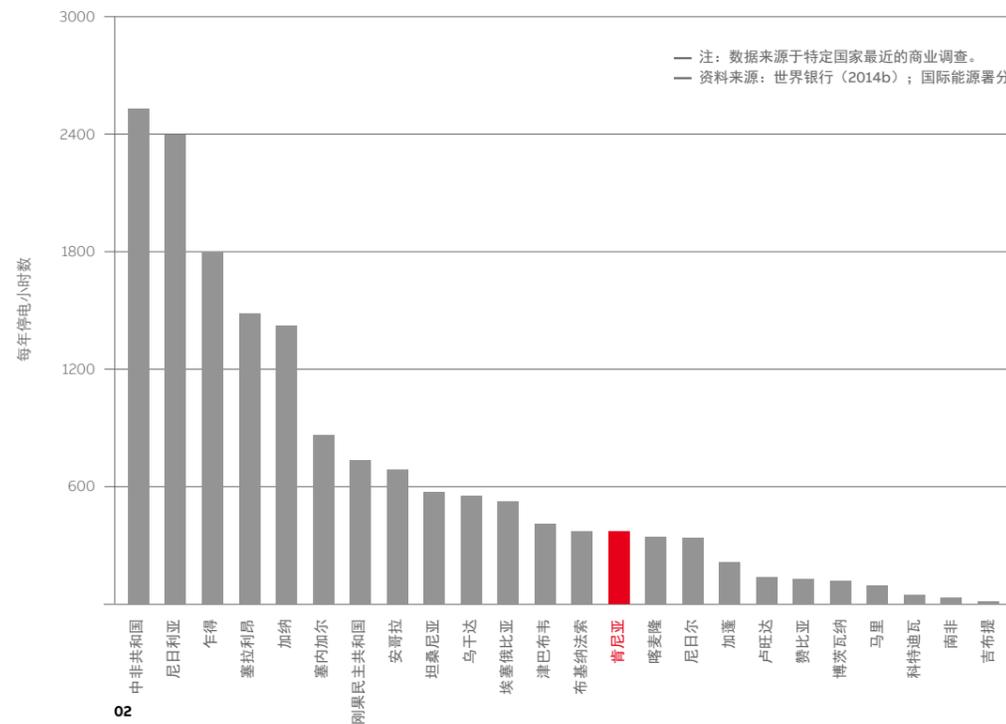
除集装箱内装置外，ABB还将提供工程、运输、安装指导和调试服务。

该项目可将可再生的光伏发电并入现有电网，如今该电网的电力来自肯尼亚电力公司 (KPLC) 的电站和柴油发电机。所以，除保护国际红十字会的物资外，这个混合微电网还有助于减少二氧化碳排放。

国际红十字会主席Peter Maurer表示：“可靠的供电对于确保我们的员工在现场不间断地开展救援工作必不可少。”

“另外，ABB的微电网解决方案符合国际红十字会利用环保技术的目标。像这样的解决方案表明企业和人道主义机构之间的合作不仅可行，而且势在必行。有ABB这样的企业支持我们，我们感到高兴和自豪。”

这个合作项目是国际红十字会2014年启动的一个旨在加大与私营部门技术合作力度的行动的内容之一。过去十年来，ABB一直是国际红十字会的合作企业之一，曾支持国际红十字会为刚果民主共和国以及伊拉克内战受害人提供饮用水和居住地。ABB还帮助培训国际红十字会的工程师。



02

非洲

面向小负荷应用的站用电压互感器

对小型社区而言，建设变电站的成本过高。ABB 的微型变电站是一种采用单相站用电压互感器（SSVT）的低成本变电站，可以帮助解决这一问题。SSVT 能够直接将高压转换到中压或低压输出。

Mathew Paul
ABB前员工

更多信息，请联系：
Andreas Moglestue
andreas.moglestue@ch.abb.com

所有变电站都有计量和保护系统，它们需要低压电源，也就是所谓的控制电源。出于可靠性考虑，每座变电站需要配备两套控制电源。通常情况下，变电站里的主变压器是控制电源的主要来源。

如果变电站电源失效，主变压器通过电网提供备用电源。但是，就建设成本和保持变压器带电的成本而言，这是一个昂贵的方案。通过接入本地低压配电网的馈线获取电源是另一个方案，但这个方案同样昂贵而且容易发生供电中断故障。在某些情况下，高压主变压器配备第三个绕组提供控制电源。但由于设计、可靠性和成本问题，这不是一个理想方案。另一个方案是配备备用发电机，这种方案虽然初期成本较低，但生命周期成本较高。

幸运的是，在很多情况下，SSVT或SSMV（中压输出的SSVT）可作为备用控制电源，其成本仅仅是上述方案的一小部分，而且更容易实施 [1]。

SSVT

结合电力变压器和仪表互感器特性的SSVT，是一种具备高可靠性、低成本和简单紧凑特性的产品，非常适合小负荷需求的应用。SSVT或SSMV的容量可满足边远地区或单相的变电站的电力需求。

SSVT的占地面积较小，单相的设计可以灵活配置，能够以50 Hz或60 Hz的频率，提供25 kVA至333 kVA的容量（具体取决于一次电压限制）。SSVT或SSMV虽然不能取代一个完整变电站，但却能够为边远地区实现电气化——譬如非洲的小村庄 →1。SSVT/SSMV的体积和重量要比电力变压器小很多，适合运输至交通不便的非洲农村或其他不易到达的地方。在建设期间，SSVT或SSMV可被用作施工电源，后期经过配置可作为控制电源。

SSVT或SSMV是一种单相壳式变压器，连接在一次线路与地之间，高压侧和低压侧之间采用接地屏蔽绕组，防止二次侧出现瞬态电压冲击。



01

—
01 刚果民主共和国安装的一个 220 kV/100 kVA SSVT 变电站，靠近高压输电线路

—
参考
[1] M. Paul, “满足小型电力系统需求的站用变压器”, 《ABB 评论》, 2016 年第一期, 第 12-17 页。

在SSVT保护方案中，安装于高压中性点或接地点的电流互感器将检测二次绕组的任何线对地故障。安装于油箱接地线上的电流互感器能够检测一次侧的接地故障。可选配油浸压力突变继电器，与电力变压器中的应用一样，检测内部故障。如果一次侧发生故障，线路保护能隔离SSVT。目前，标准冲击水平（BIL）750 kV及以下，可使用高压熔丝将发生故障的SSVT/SSMV从输电线路断开。对于标准冲击水平750 kV以上，可采用单相断路器的方案。

—
SSVT 能够以很低的成本提供二次侧控制电源，并且更容易实施。

此外，采用单相SSVT或SSMV的变电站，可实现无人值守运行，而且配置简单，仅包括避雷器、高压断路器、隔离开关、接地网和低压配电盘——所有这些设备均为单相配置。这不仅可简化安装布局，而且可减少占地面积。

由于减少一个或多个中间变压器，空载损耗或铜损得以降低，从而提高整个系统的能源效率。此外，SSVT的充油量仅为类似电力变压器的一小部分。SSVT在工作时几乎没有噪音。

更高容量的SSVT正在开发之中，它们可以让规模更大的尚未通电的地区，享受电网供电的便利。例如，在非洲很多国家，采用SSVT直接连接电网，可对当地社会经济发展产生巨大的积极影响。

非洲

创新改变埃塞俄比亚交通格局

乍一看，由 ABB 提供电气设备的 Awash-Kombolcha-Hara Gebaya 铁路线没什么稀奇之处，采用的都是标准化变电站和供电设备。但深入一步就可以发现，将脆弱的高压电网延伸至埃塞俄比亚地形崎岖的乡村地区何其复杂。通过持续九个月的创新研发，我们找到了合适的解决方案，并为 ABB 在非洲以及世界其他地区承建类似项目设立了一个可行流程。



Gonzalo González
ABB 电网事业部电网接入及变电站业务单元
瑞士巴登
gonzalo.gonzalez@ch.abb.com

2014年末，土耳其项目总包商Yapi Merkezi Insaat 选择ABB参与建设埃塞俄比亚铁路公司（ERC）一条新的铁路。这条铁路线将埃塞俄比亚的南北交通走廊与刚刚投运的亚的斯亚贝巴-吉布提港口铁路（“亚吉铁路”）相连接→1-4。

ABB产品和服务的可靠性是其当选的主要因素，供货范围包括五座230/27.5 kV牵引变电站、八个分区所、6座分相区变电站和约30座备用变电所的成套设备的设计和供应。ABB提供的主要产品包括一系列中高压开关柜、额定功率为25 MVA的牵引变压器、旨在改善功率因素(cos φ)的Dynacomp动态响应补偿器、FSK II+铁路专用断路器和辅助供电设备等。



Bruce Warner
ABB 电网事业部电网接入及变电站业务单元
瑞士巴登
bruce.warner@ch.abb.com

随后，项目进入实施阶段。在 ABB 开始与 Yapi Merkezi 进行深入讨论时，双方才意识到挑战有多大，譬如在哪里并入电网？电压级别应该是多少？需要采用哪类接触网？在电压不够时网络将会怎样？

ABB最初曾考虑采用245 kV变电站实现并网，但埃塞俄比亚电力公司表示，前200公里的线路只能以132 kV的电压并网；如果要升级到245 kV，需要从100公里

之外敷设架空输电线。寻找解决方案需要进行全面的功率模拟。ABB携手客户定制了一个体现项目特殊性的软件模型。例如，大约400公里的输电线路需要建设在海拔800米至2000米的地区，这些在最初的计划中并没有体现。

ABB向埃塞俄比亚铁路公司提交了变电站选址建议，并就紧急购地和敲定技术要求等问题进行了反复协商。



01

—
01 B24 和 B25 桥梁建设 (ILM 方法), KM 186+000 (Yapi Merkezi 提供图片)

—
02 颇富艺术气息的 Amibara 车站 (Yapi Merkezi 提供图片)

经过9个月的共同努力，ABB、Yapi Merkezi和埃塞俄比亚铁路公司最终敲定了满足项目复杂要求的解决方案。

三方合作的结晶是多个颇具创意且必不可少的见解。

在这个过程中形成了多个颇具创意且必不可少的见解，譬如：

- 单路25 kV接触网而非双路25 kV接触网——起初的解决方案是敷设两路25 kV接触网，因为它有助于改善线路的电压分布，但这种方案要求有强大的高压电网。由于埃塞俄比亚的高压电网比较脆弱，评估发现这种方案行不通。为满足项目要求，ABB随后对供电系统进行了调整。

02





03

- 接触网系统——ABB的业务不包括接触网系统设计，但鉴于它对系统的整体性能影响很大，Yapi Merkezi要求ABB提供支持。

ABB与Yapi Merkezi的接触网专业团队召开了几次会议，以查明和探索潜在的解决方案，然后与该团队合作进行了一系列模拟，目的是寻找价格、接触网电压分布和可靠性最佳的方案。

— ABB进行了一系列模拟，目的是寻找价格、接触网电压分布和可靠性最佳的方案。

- 降级模式——ABB提出了一种可以让列车在断电情况下继续行驶的方案。一个“纯粹的”降级模式可以确保列车在一座牵引变电站完全失效的情况下继续行驶，但考虑到埃塞俄比亚现有的电网情况，依靠原定数量的变电站不可能

— 03 典型铁路桥 (Yapi Merkezi 提供图片)

— 04 这条铁路 (红色) 贯通埃塞俄比亚南北经济和交通走廊 (Yapi Merkezi 提供图片)

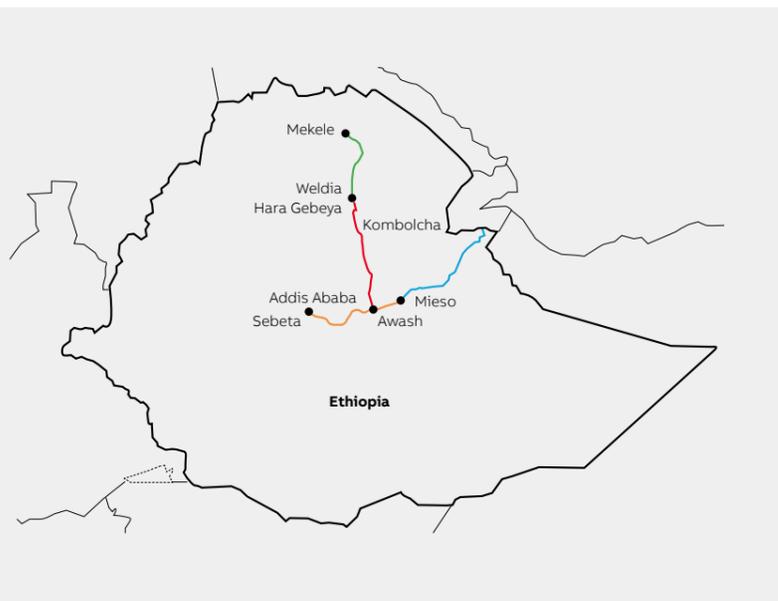
— 05 CPB170 ABB 电容式电压互感器

— 06 IMB145 ABB 高压电流互感器

做到这一点。ABB提出的替代方案是确保列车在某个变电站的一台变压器发生故障时能够继续行驶，但埃塞俄比亚铁路公司认为这个方案说服力不够。

埃塞俄比亚铁路公司希望引进独特的 (或者说欧洲市场少见的) 牵引变压器 (三相Vv连接方式)，因为这是东非地区常用的变压器型式 → 5-6。

埃塞俄比亚铁路公司认为，这类变压器可以在某台设备发生故障时，避免变电站进入降级模式，所以ABB不得不重新审视这个要求，并且在经过进一步研究之后，最终提出变电站采用单相变压器的方案。



04

05



06





07

— 07 ABB 高压隔离开关 SDF

— * 向量连接

相比采用两台三相Vv*变压器而言，这一创新方案更加实用和可靠。因为，它不仅在某变电站的一台变压器发生故障时，甚至在每座变电站都有一台变压器发生故障时，依然可以为列车供电。

• 线路延长——尽管与ABB签署合同的一期项目仅为270公里路段，ABB对长达400公里的整段线路进行了模拟测试。客户要求ABB确保列车可以行驶到270公里处的终点站，剩余的130公里路段可能在今后一至两年内投运。因此，业主将第二段线路的一个牵引变电站移到了第一段，这样一期工程的变电站数量从5个增加到6个，二期工程从3个减少到两个。

鉴于这个项目以及近期即将完工的另外两个项目将对埃塞俄比亚电力系统提出较高要求，ABB的产品和服务有

助于推动该国未来发展计划。

ABB 的产品和服务有助于促进埃塞俄比亚的未来发展计划。

除同意改变工作范围增加裕量以保护现有并网系统外，ABB还就如何利用现有设备向埃塞俄比亚铁路公司提供精辟见解。

迄今为止，Yapi Merkezi已完成一期工程（0+000公里至270+000公里）80%的建设任务。

非洲

电气化规划模型

对那些并入主电网成本过高的地区，或者当地供电公司出于某种原因不能扩建电网的地区而言，离网电力系统可能是最佳通电方案。麻省理工学院能源计划塔塔技术与设计中心，携手位于马德里的卡米阿斯大主教大学技术研究所，开发了一个名为“电气化模型参考”（REM）的计算工具，它可改善电力短缺的发展中国家的电力规划，帮助提高离网项目的成功率。



Yael Borofsky
麻省理工学院能源计划助理研究员

yeb@mit.edu



Ignacio Pérez-Arriaga
卡米阿斯大主教大学技术研究所暨麻省理工学院能源计划教授

ipa@mit.edu



Robert Stoner
麻省理工学院能源计划科学技术副主任

stoner@mit.edu

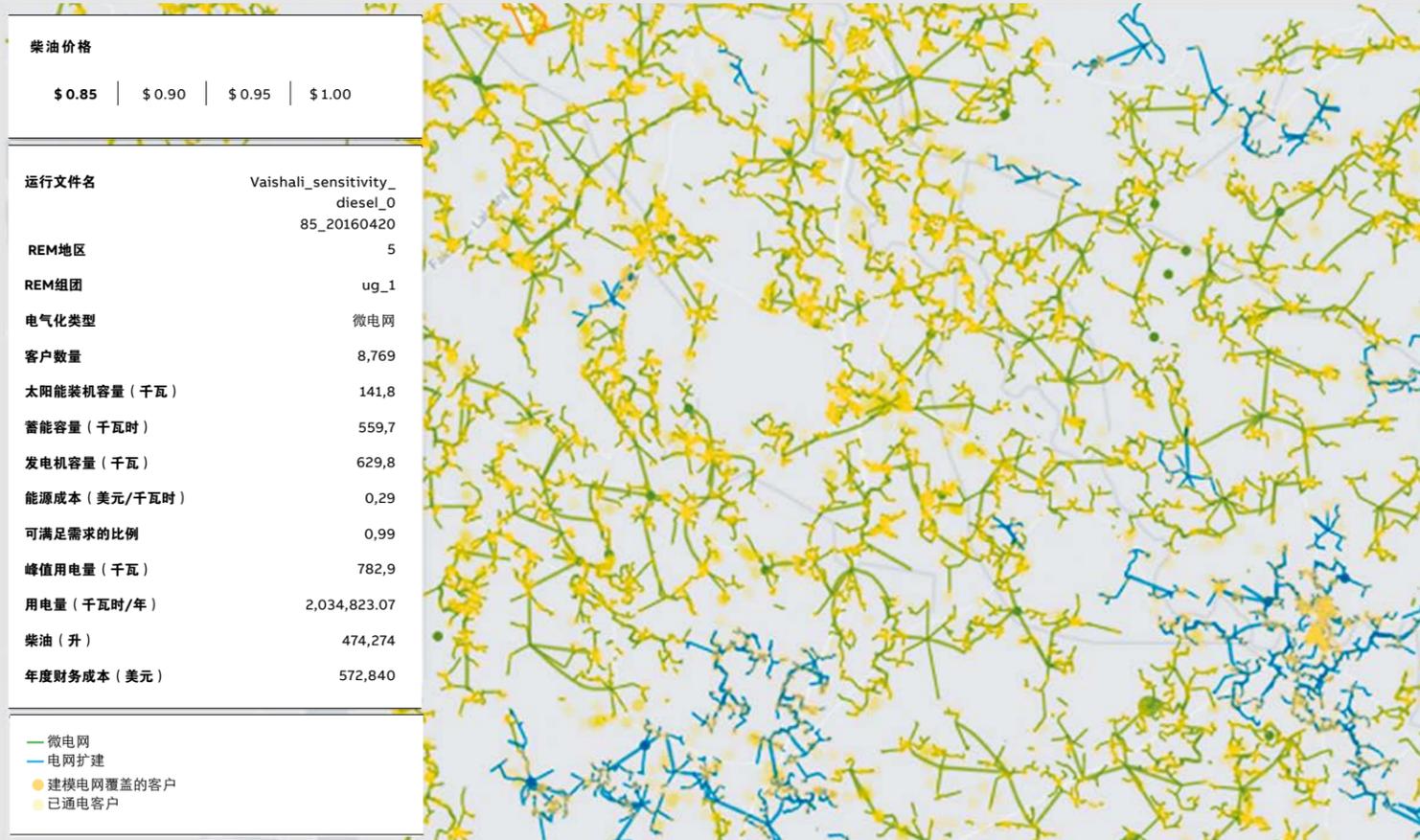
撒哈拉以南非洲国家有近5亿人口生活在没有实现通电的地区——主要是农村，这些地方要接入可靠的国家电网还要等待若干年时间（就算实现通电，还需要考虑潜在成本）。在发展中国家，很大一部分农村人口需要依赖离网系统，据国际能源署估计，这一数字高达70%。单是明确电力规划，例如哪些地方适合部署微电网等离网系统，就绝不像说起来那么简单，更不要提建设和运营这些系统。但这正是REM模型的用武之地。REM可以估算供电方案的成本，还能针对一些重大的财务可行性问题提出解决方案：面对电力供应短缺、分散的用电需求，相关供电解决方案的成本往往超出无电/缺电用户的承受范围。

建设低成本的独立电力系统，满足照明和手机充电需求，是近期的一个发展趋势，但这类解决方案几乎不能帮助住户提高收入，享受通电可带来的额外利益。由于农村地区没有“重要负荷”——也就是可提高用电量的工业和商业，设计经济可行的电力系统极具挑战性。这些复杂原因和挑战将推高微网的工程成本。

背景信息：

ABB是离网和微电网解决方案的领先供应商，过去三十年来在世界各地承接了众多项目，积累了丰富经验。不管是岛屿、偏远乡村，还是“与世隔绝”的工业园区，ABB都能为客户提供量身定制的解决方案，支持多样的发电类型组合，以较低的成本确保最大程度的可靠性。最近，ABB推出了模块化“即插即用型”微电网解决方案，有多种预先配置供用户选择，并具备可轻松扩展和易于安装等优势。

来自麻省理工学院能源计划塔塔技术与设计中心的这篇文章，探讨了针对这类项目如何识别需求和确定项目范围。麻省理工学院是ABB技术论坛的参与者之一。



01

主电网扩建的可能性也给离网系统的投资带来风险，当然还有其它不确定因素。

面对这些阻碍因素，加上与困扰电力行业问题相关的监管挑战，我们需要慎重考虑在何处扩建电网，部署微电网或独立电力系统。目前，在这类综合性电力规划方面，发展中国家采用了各种方式，从政府决策电网扩建，到应用各种软件工具——譬如哥伦比亚大学的电网规划软件Network Planner等。

REM 可最大限度提高电力决策的精细度——在此之前因数据有限无法达到这种精细度。

REM是一款功能强大的优化工具，可用于处理任何大小地区（一个村庄、一个县乃至整个国家）的数据，对不同电力系统模式（电网扩建、微电网或独立电力系统）进行成本比较，并明确适合建设联网或采用离网系统的地区 →6。这个工具可用于对拟扩建电网进行初步技术设计，还能对电网扩建或微电网建设项目进行详细的系统设计，从而为承包商、政府和投资人制定规划和预算提供依据。

工作原理

为了评估权衡这些方案，并确定成本最低的方案，REM要求提供两类输入数据：

- 地理空间和资源信息——建筑物位置、现有配电网（若有）、行政区或相关区域边界（包括无法建网或建网成本更高地区的地形和地貌）→2，以及不同能源资源的可利用情况和价格。
- 电力需求和成本——建筑类型分类、各建筑类型的电力需求特征（基于如下数据：类似地区的相似建筑每小时电力需求、家电保有量普查数据、现有需求目标等）→4、建筑物电气化状态、现有电网的可靠性、未利用能源成本（CNSE）、发电和电网设备/技术要求，以及用于确定项目净现值的贴现率等。

最基本的输入数据是研究区域建筑物的位置。由于REM能够以这种精细到建筑物的程度做出决策，使得REM可用于大型和小型项目规划。由于政府或当地电力公司很少能够提供此类数据（虽然近期已取得了不小的进步），所以，REM采用一种算法从卫星地图中提

取建筑物的位置 →5。有了这些数据，REM可采取一系列处理步骤对建筑物进行分组，针对某组建筑设计电力系统，并比较各可行方案的成本。

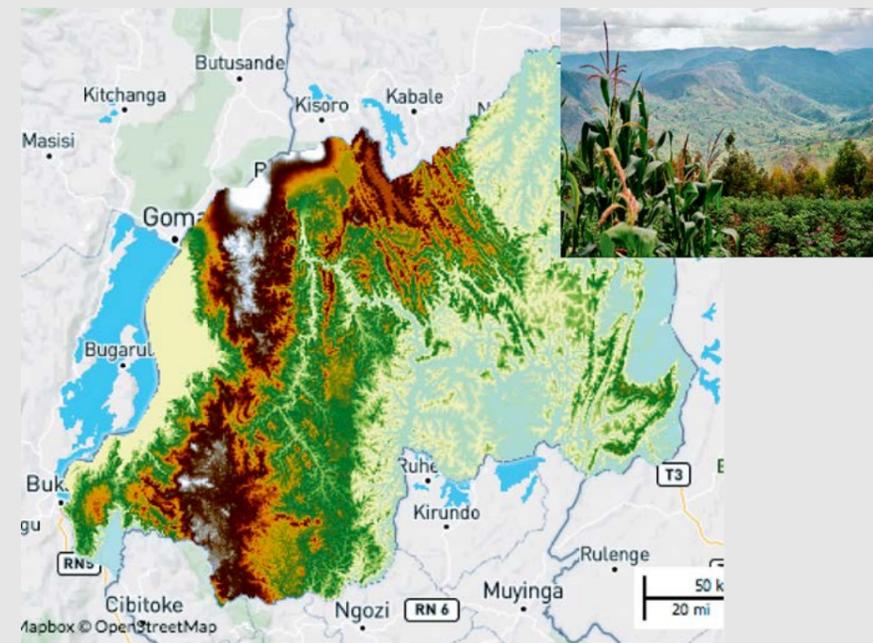
REM 采取一系列处理步骤对建筑物进行分组，针对某组建筑设计电力系统，并比较各可行方案的成本。

对于某地区所有电力用户的最低成本方案，REM提供两个输出文件：一个是关于每组建筑或单个建筑的信息表，包括其电力系统类型、系统估算成本、发电类型和成本明细；另一个是基于地理信息系统的可视化电网分布图 →1。

01 REM 向最终用户呈现的模拟结果示例

02 输入 REM 的卢旺达的地形图

03 从 Karambe 看到的卢旺达山区地貌 (Ignacio PérezArriaga 提供图片)



02

03

项目规划机构（公共或私营机构）可以按各种不同假定情形模拟计算结果，并可研究在不同政策或政府干预方案下可能产生的影响。就特定系统而言，目标是REM能够为后续可行性研究以及社会参与提供可靠依据。

现状和应用情况

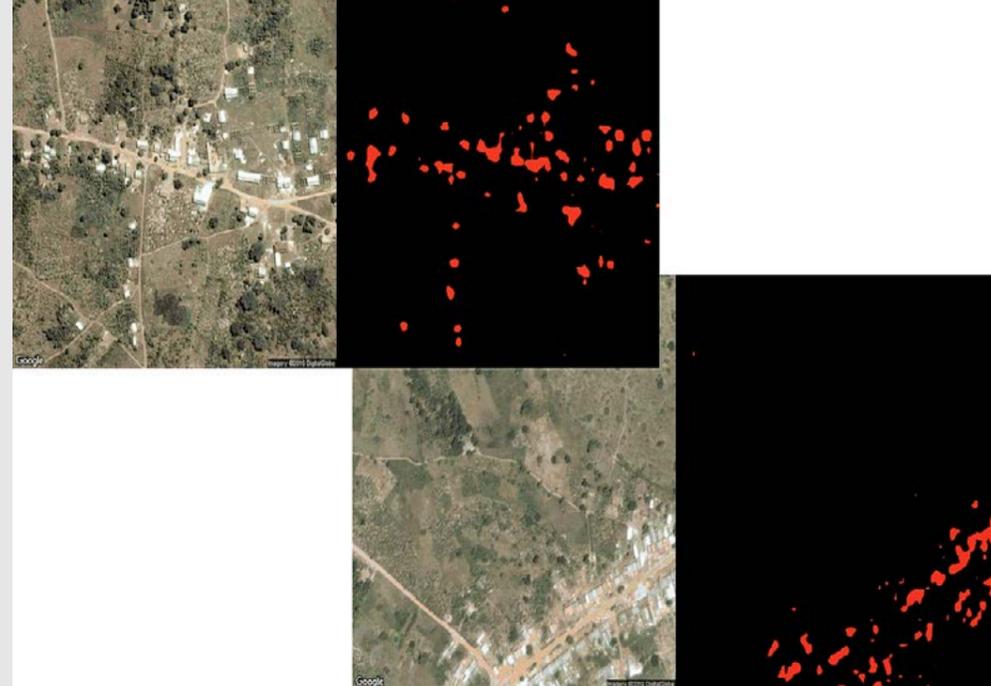
受益于早期参与的一些实际项目，REM完善了模型并积累了宝贵的经验教训。举例来说，在卢旺达，REM团队一直在与该国的基础设施部和教育部合作，结果表明，该国多山地形使得微电网成为该国的理想解决方案→3，因为边远乡村的电网扩建或并网成本很高。电力对于这些地区非常重要，因为，如果当地通电的话，这里的居民就不需要翻山越水到首都去购买电池或服务，譬如为手机充电。

除采用REM进行模拟外，还需要开展广泛的社区调查，以获取可靠的负载估算数据，从而降低系统配置过

高的风险，避免发生不必要的成本。

项目规划机构（公共或私营机构）可以按各种不同假定情形模拟计算结果。

在印度最贫穷的省份之一比哈尔邦的Vaishali地区，REM曾被用于多种电气化情景模拟，结果得出了其他可靠结论。最有趣的是，采用REM进行的分析表明，如果电网可靠性不佳，或者电网扩建进程缓慢，即便已有配电基础设施的地区，微电网仍然是一个良好的备用方案。



05

04 卢旺达 Karambe 用电负荷模拟示例

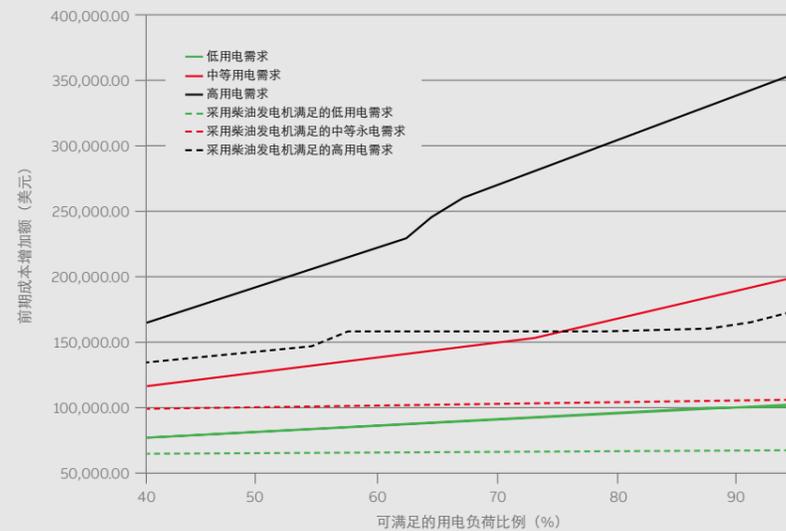
05 利用设计用于在卫星云图中定位建筑物的对象提取算法获得的结果的两个示例

06 成本随用电和发电结构假设条件而变化的图示

此外，用电负荷的单一性导致晚间用电高峰，要求配备容量较大的电池蓄能系统，进而推高了微电网的成本。REM采用严格的系统优化措施，最大限度降低达成特定可靠性目标的投资和运行成本，同时考虑预计的用电模式，以及历史气候和日照模式。

REM已在帮助用户更好理解公共和私营部门投资在填补所谓的“可行性缺口”方面的重要作用。“可行性缺口”意指尚未通电的人们可以支付的费用，与改善这些人们的用电条件的成本之间的差距。由于需要考虑各种大大小小的项目，REM对于研究和形成关于最佳方案组合的见解十分关键。

对于考虑建设综合性电力系统的国家而言，REM 对于研究和形成关于最佳方案组合的见解十分关键。



06



一个多世纪以来，ABB 始终致力于为客户提供最先进的技术。事实证明，关键系统运行的可用性和可靠性不仅是一项功能要求，更是安全保障的重要组成部分。ABB 在设备及其控制系统的设计中，融入这些系统运行方面的技术专长，以降低设备停工风险，并在停工发生时，尽可能减轻所造成的影响，缩短停工时间。

安全设计



- 30 人为因素及其对工厂安全的影响
- 35 自适应操作员工作台可提高控制室操作人员的移动性
- 38 高压变电站绝缘建模

安全设计

人为因素及其对工厂安全的影响

在现代化工厂，操作员需要忙于各种繁重任务，这令他们很难再抽身去处理异常生产情况。研究证明，符合人体工程学的智能工作台既能降低风险，又能提高操作员工作效率。

Luis Duran
Hampus Sch.ring
工业自动化
控制技术
美国休斯敦

luis.m.duran@us.abb.com
hampus.scharing@us.abb.com

Jeton Partini
工业自动化
控制技术
瑞典布罗斯 (Boras)

jeton.partini@se.abb.com

在生产过程中引入关键的计算机系统和自动化系统，可以提高工厂正常作业时的安全性和生产率。但当出现异常情况时会怎么样呢？答案当然是必须有人介入。→图1

人为因素与企业安全文化

任何关于安全的讨论都必须以人为因素为核心，究其原因有许多，其中一个原因是，事故起因往往是由于人为的失误——尽管大多数企业都盛行严格的安全企业文化。从轻微损伤到登上头条的大灾难，这些事故造成的后果不一。如果企业想要营造成功的安全文化，就必须实施清晰明确的风险管理策略。

— 如果企业想要营造成功的安全文化，就必须实施清晰明确的风险管理策略。

了解并控制风险

要了解并控制风险，工厂操作员首先应当进行危害和风险评估，以确定总体安全要求。然后，他们应当尽可能地关注采取主动措施，以避免发生故障，以及在故障发生时尽量减轻其负面影响。汲取经验教训则是理想开始的起点：

- 在经过某种经历之后，应当改变哪些做法，以防止再次发生类似事故？
- 怎样才能从事务中汲取更多经验教训？
- 相同事故再次发生后，应当改变哪些做法？

重要的是，安全企业文化不应成为例行工作，而应让个人和企业有机会汲取经验教训，并通过积极改变，激发他们的工作热情。这样，员工就会追求更安全、更高效的工作方式。→图2

技术可以提供部分解决方案

考虑到故障在所难免，工程设计最好的方式是以多个独立功能或系统的形式，在各个不同保护层部署从而降低风险。安全仪表系统（SIS）就是这样一个系统，它采用的概念涉及不同的保护层。



01

- 许多异常情况的纠正最终还是需要操作员介入
- 02 安全和效率应当是企业文化的重要组成部分

保护层

过程控制系统是一个“保护层”，它不仅有助于提高过程生产力，而且能帮助工厂操作人员确保过程始终在安全作业范围内。如今，大多数过程控制系统都能在发生异常时提示操作人员并给予支持，允许他们实时获取关键信息。

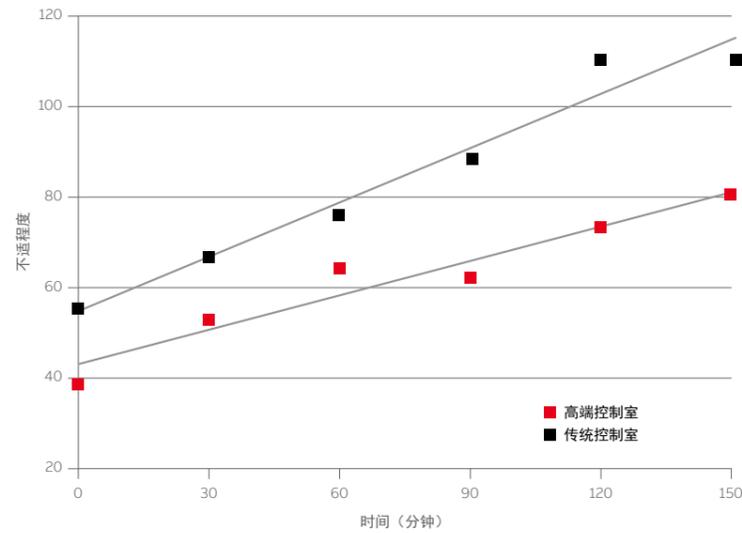
如果事件进展太快，操作人员无法进行有效干预，那么，诸如自动启动安全仪表系统（SIS）等其他保护层，并采取行动，使过程恢复正常状态。

02



— 考虑到故障在所难免，工程设计最好的方式是以多个独立功能或系统的形式，在各个不同保护层部署从而降低风险。

安全设计概念拥有一系列标准作为支持——如IEC 61508和IEC 61511——旨在建立、以及在某些场合中强制要求保证安全项目的设计、文档审核、验证和检验等符合最佳的工程实施。



03

如果任何保护层（技术或人）未能防范危害，则还有其他旨在减轻事故影响的保护层，如消防和气体监测系统或应急响应程序，这些系统不在本文讨论范围内。

然而，事实上所有这些技术都是由人来设计并实现的，因此它们并非完美无缺，也无法确保百分之百安全。

控制系统与安全系统的整合，助力操作人员提高作业的一致性

控制系统与安全系统的融合，可以从技术上促进高效作业，从源头上减少人为失误。这种方法的益处包括：

- 可以在发布产品之前，设计出常见故障模式
- 可以确保标准产品的安全性，防止未经授权操作关键设施
- 集成测试可以在产品测试实验室进行，并由拥有相关多重领域深厚专业知识的专家开展测试

以人为本的设计

诸多不同信息来源表明，全球石油和天然气行业报告的事故中，70%左右归咎于人为失误，这些事故造成的经济损失占行业总损失的90%以上。通过为控制室操作人员提供与其社会心理工作环境（WE）相匹配的

工作环境，可以应对来自人为失误的挑战。这种以人为核心的工程设计，以及对人体工程学解决方案的利用，可以降低经济损失。

通过为控制室操作人员提供与其社会心理工作环境（WE）相匹配的工作环境，可以应对来自人为失误的挑战。

设计以人为本的控制室或控制中心工作环境极富挑战，但又必不可少。一个最重要的要求是，为了减少人为失误，设计中的实物要素和社会心理要素应当相互匹配。英国卫生与安全局（HSE）是这样规定的：“实物匹配包括设计整个工作场所和工作环境。心理匹配涉及个人的信息和决策要求，以及他们对任务和风险的认知。岗位要求与个人能力不匹配，则会埋下人为失误的祸根。[1]”

—
03 传统控制室与高端控制室内的感知不适程度

—
04 灵活的扩展型操作员工作台允许采取以人为本的方法，从而提高工作效率

有许多准则和标准适用于控制中心或控制室的设计过程，举例来讲，海工行业已将ISO 11064确立为全球主要标准。

操作人员的健康意识，是促使ABB开发旨在尽早发现不良压力水平和早期预警健康状况恶化的解决方案的主要因素之一。

改善控制中心和控制室工作环境

尽管人为失误很多，而且代价高昂，但控制中心和控制室设计一直倾向于注重实物方面和过程本身，从工作人员角度考虑不多。此外，操作人员逐渐从本地控制室转移到控制中心，这加大了操作人员的工作量和压力水平。沉重的压力会导致操作员抑郁、焦虑和疲惫不堪。

人体工程学设计不合理、照明不良和噪声水平过高都会直接损害操作员的身体健康，令这种不好的基本状况雪上加霜。

社会心理要素和实物要素协调一致，将会改善控制室或控制中心工作人员的身心健康。企业应当制定压力管理和心理咨询政策，以辨识并消除严重削弱工作满意度的做法。当然，人的认知过程和问题解决能力不尽相同，举例来讲，有些操作人员善于身兼数职，有些人能够充分理解工作任务的复杂性，还有些人擅长数据分析，而另一些人则具备高效的领导力。尽管如此，所有人都对一件事非常重视，那就是健康。操作人员的健康意识，是促使ABB进一步开发旨在尽早发现不良压力水平和早期预警健康状况恶化的解决方案的主要因素之一。

随着北半球劳动力老龄化造成的人口压力不断增长，以人为本的设计显得愈加刻不容缓。为避免知识流失，必须吸引年轻人从事工业领域的工作。只有通过为他们提供令人满意的工作场所，才能做到这一点。



04



05

05 出类拔萃的控制室环境可以减少人因失误的概率

—

参考
[1]《减少失误、改善行为》(Reducing error and influencing behavior), 英国卫生与安全局 (HSE), 1999年。下载链接: <http://www.hse.gov.uk/pUbns/priced/hsg48.pdf>

整体性方法

仅仅改进控制室环境的实物方面或社会心理方面,并非整体性方法,必须以二者相辅相成的方式,同时对这两个方面加以改进。ABB与瑞典查尔姆斯大学联合开展的研究体现了这种效果,这项研究对传统控制室和高端控制室进行了比较。在传统控制室和高端控制室,所感知的不适程度都会随着时间的推移而增加,但高端控制室的增幅更低。因此,提供了更整体化的实物和社会心理环境。→图3

提高效率的途径

提升操作人员工作表现的一条途径,是改变照明水平——提高光照亮度可以鼓舞干劲,减少失误和事故。照明也直接影响着人的身心健康,因为人的昼夜节律与环境照明水平密切相关。ABB与隆德大学及其他方合作,打造面向控制室操作人员的以人为本的照明平

台。迄今为止,这项研究的一个应用是允许操作人员利用冷光或暖光,自由调节其作业区的照明。→图4 光照亮度范围为900流明至1 800流明,根据ISO 11064标准,亮度最低也要超过500流明。

提高操作人员工作效率的另一条途径,是将通信方式化繁为简(同时使用诸多不同通信工具,无助于提升操作人员的工作效率)。不是使用一系列设备,如VHF/UHF对讲机、电话、手机、内部通话系统、广播系统等等,而是将所有通信整合到一台设备上。

最后,利用定向声响技术来控制噪声水平,也是改善操作人员工作台体验的途径。声响浴(Sound shower)的益处尤为显著,这项技术可支持电信和报警等应用,而不会妨碍他人。

控制系统与安全系统合为一体,可以促进高效作业,从源头上减少人为失误。

以人为本

针对人为失误做好计划,是控制室设计的重要环节。系统设计人员必须极为缜密,因为如果他们未能辨识出操作中可能出现的一切突发问题,并提供适当的控制过程或系统响应,则将诱发人为失误。这些潜在故障可能藏而不露,但在特定的综合操作状态下,就会发生事故。这种情况下,操作人员往往毫无防备,无法采取适当应对措施。

随着各行各业不断投资兴建新工厂或对原有工厂进行现代化改造,其中一些旨在减少人为失误的投资,将令它们直接受益。通过采取以人为本的设计最佳实践,可以做到这一点。→图5 对控制室的人为要素加以考虑,将带来更多益处,营造出更安全、效率更高的环境。“以人为本”是十分重要的经营策略。

安全设计

自适应操作员工作台可提高控制室操作人员的移动性

操作人员偶尔需要临时离开其工作台。ABB已创建出旨在提高操作人员移动性的工作台原型,他们不必待在工作站附近,仍可高效地完成工作。

Veronika Domova
Saad Azhar
Jonas Br.nmark

ABB集团研发中心
Västerås, 瑞典

veronika.domova@se.abb.com
saad.azhar@se.abb.com
jonas.bronmark@se.abb.com

Maria Ralph
原ABB员工

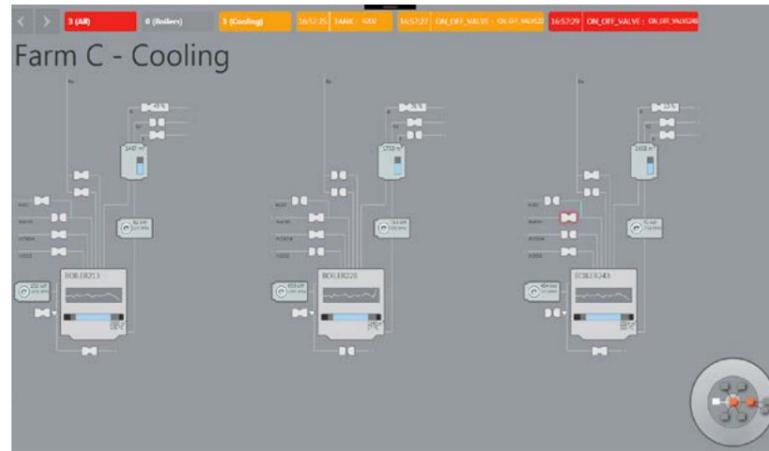
如今,控制室操作人员面对的工作平台,往往比十年前的工作平台更为复杂。尽管自动过程控制解决方案能够解决许多过程事件,但在很多情况下,工作平台必须有操作人员值守。然而,操作人员在工作时可能不时需要离开工作平台。操作人员怎样才能离开工作平台时,仍然对其所负责的过程生产保持警觉呢?

这个模型的主要目标是允许操作人员更加灵活地选择不同方式和地点,与控制系统进行交互。

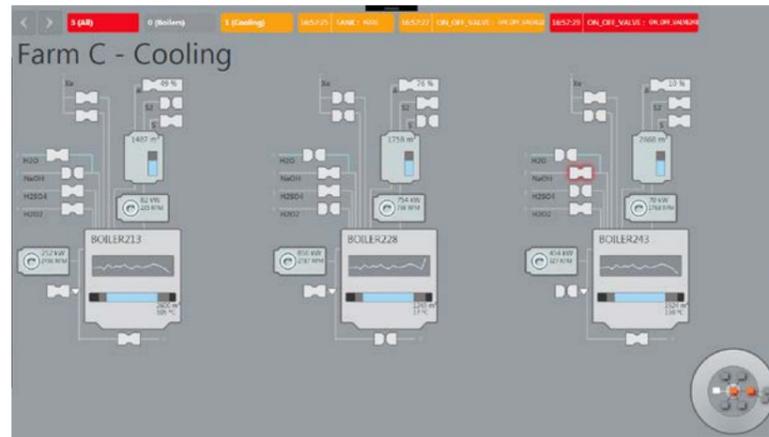
在设计提高操作人员移动性的解决方案时,第一个步骤是深入理解控制室操作人员的工作方式。为了做到这一点,采取了访谈和观察等方法来获得关于实际工作方法、目标、需求及关心问题等的宝贵信息:

- 操作人员与多台不同显示器上的多个复杂的图形化用户界面(GUI)进行交互,并导航浏览不同的控制过程视图。
- 对操作人员而言,要找到与屏幕相对应的鼠标,浏览到特定视图或对象,绝非易事。导航一般通过复杂的多级下拉菜单完成,有时导航菜单会铺满整个屏幕。
- 当操作人员需要离开工作平台时,譬如,去同事的工作平台,他们便难以随时掌握自己工作平台的情况(如,哪些报警被触发)。
- 有时,操作人员需要到控制室以外的地方从事一些工作,如在车间。当他们返回控制室时,他们可能需要花点时间来脱除防护装置或服装,或者洗净双手,然后才能继续与控制过程进行交互。

这些所收集的信息为新的解决方案提供了重要的设计依据。



01



02

设计概念

根据通过访谈和观察确定的需求，构建出模型。模型的主要目标是让操作人员更加灵活地选择不同方式和地点，与控制系统进行交互，它支持：

- 操作人员即便不在显示器前面也能工作
- 操作人员灵活选择工作方式
- 在系统的不同视图之间快速导航
- 在视图中快速导航至特定过程对象
- 提高状态感知，快速发现报警、报警类型和当前过程视图状态

03



原型具备以下特性：

- 自适应图形化用户界面（GUI），可根据操作人员在控制室内部或外部所处的位置，调节屏幕所显示文字和图形的尺寸。→1-2图
- 交互式灯光显示，当没有报警时，将投射白色的环境光。当存在至少一例紧急报警时，灯光会变成红色。如果只有警告，则会切换为橘色。除颜色之外，还可以调节灯光强度，以表明报警优先级。→图3

当存在至少一例紧急报警时，灯光会变成红色。如果只有警告，则会切换为橘色

— 01 用于模型的小图形化用户界面（GUI），当操作人员靠近屏幕时显示

— 02 用于模型的大图形化用户界面（GUI），当操作人员远离屏幕时显示

— 03 与控制室内报警相关联的灯光显示

— 04 语音和凝视可以触发显示与特定过程图形有关的信息

— 05 使用 Leap Motion 体感控制器，点击并选定控制过程中的图形

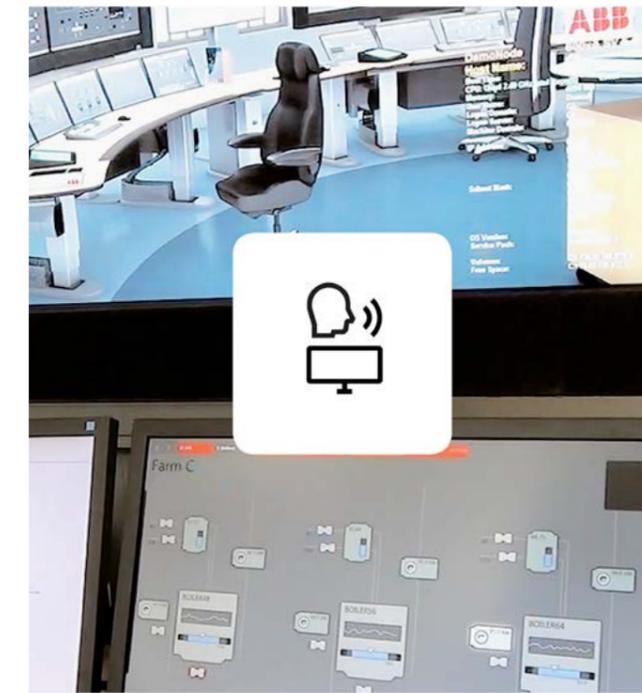
- 用不同声音的音调来表明报警信号是哪个对象触发的，以及报警严重程度，如锅炉报警会触发水煮沸时的声音。
- 眼动追踪、语音识别和与控制系统进行手势交互等功能。利用微软Kinect、Tobii眼动仪（Tobii是眼动追踪技术领域的全球领袖）、语音识别和Leap Motion（美国Leap Motion公司研发的体感控制软件），操作人员可以通过注视某个过程图形，同时发出语音指令，如“打开面板”，与系统进行交互。→图4 本例所述的交互过程将触发屏幕显示关于操作人员所注视对象的信息。另外，操作人员可以通过向上或向下的手势，在系统视图的层级结构中向上或向下导航浏览。此外，操作人员可以将食指用作鼠标来选定对象并进行点击操作。→图5

在设计提高操作人员移动性的解决方案时，第一个步骤是深入理解控制室操作人员的工作方式。

这些交互模式使操作人员摆脱了仅可通过鼠标和键盘与过程进行交互的约束，让他们能够以移动性更强、更灵活、更不受限制的方式工作。操作人员也不再因如何从桌上的诸多鼠标中找到鼠标而困扰，因而可以全神贯注地完成其任务。操作人员既可以自由出入控制室，同时又能获得所需信息，这让他们始终保持态势感知。

这种类型的解决方案可用于各式各样的工业过程，允许操作人员灵活移动，同时遵守操作规程。

05



04

安全设计

高压变电站绝缘建模

绝缘配合的目的是考核变压器及其他变电设备在系统过电压作用下的绝缘强度。完成绝缘特性评估后，设计人员可以选用适当的保护方案，以降低或消除雷电冲击导致故障的可能性。

Tomasz Kuczek
Tomasz Chmielewski
ABB研发中心
波兰克拉科夫 (Kraków)
tomasz.kuczek@pl.abb.com
tomasz.chmielewski@pl.abb.com

许多不同事件都会造成电力系统过电压。可以按照关于绝缘配合的国际标准 (IEC 60071系列)，在频域中描述这些事件，其主要特性值包括幅值、上升时间和频率。

Akram Abdel-Latif
ABB 电网业务部并网业务单元
瑞士巴登 (Baden)
akram.abdel-latif@ch.abb.com

陡波前暂态通常由雷电冲击造成，可能产生相当于系统额定工作电压 5 倍及以上的过电压。

本文主题是高频现象。高频现象被归类为陡波前暂态。这些暂态通常由雷电冲击造成，可能产生相当于系统额定工作电压 5 倍及以上的过电压。

在恰当位置安装适当规格的避雷器 (如 ABB Polim 系列) 可以有效抑制过度过电压。尽管应用简便，但在选

—
01 必须采取哪些措施，以确保变电站设备能够耐受诸如雷击等事件造成的过电压? (图中所示为 132 kV 变电站)

择避雷器的过程中，必须解决几个方面的问题。其中，评估抗暂态过电压条件下的过电压保护最为复杂。

过去，工程师无法通过执行复杂研究来深入了解瞬态现象。如今，电磁暂态 (EMT) 模拟软件被用来辅助设计人员，它们有时甚至被视为不可或缺的研究工具。

—
在恰当位置安装适当规格的避雷器可以有效抑制过度过电压。

雷击特性建模

高压变电站由架空输电线路输送电力，因而雷击在所难免。→图1 雷电可能击中相导线 (直击)，或击中屏蔽线，导致绝缘子串发生反向闪络。在 50 kHz 至 10 MHz 频率范围内，电压幅值可高达数百万伏特。

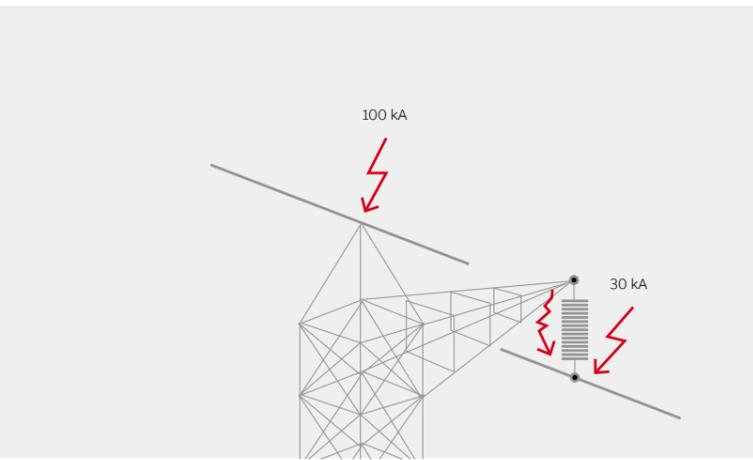
用于 EMT 研究的雷电冲击造成的电流幅值和波形是基于多年测量而形成的 IEC 准则来确定的。尽管雷击现象具有不可预知性，但这种方法可确保实现令人满意的雷电电流近似值水平。→图2

保护变电站

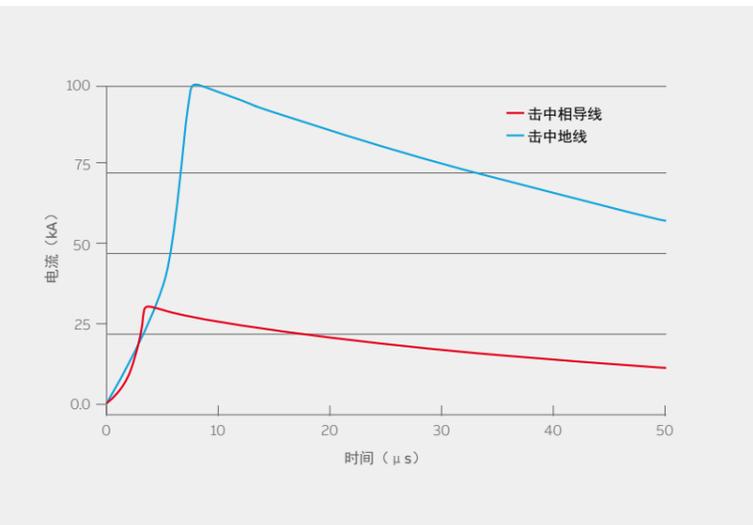
发生直击或反击时，所产生的过电压波会沿着相导线传播至变电站。抑制这种过电压，对于变电站设备实现安全、可靠的运行至关重要，特别是变压器，它是电力系统中最为昂贵的组件，过电压抑制的实现要得益于具有非线性特性的氧化锌避雷器。在稳定状态下，这些避雷器仅消耗可以忽略不计的微量电流，而当面对诸如雷电放电等事件造成的浪涌时，它们又能泄放很大电流 (kA 级)。

01

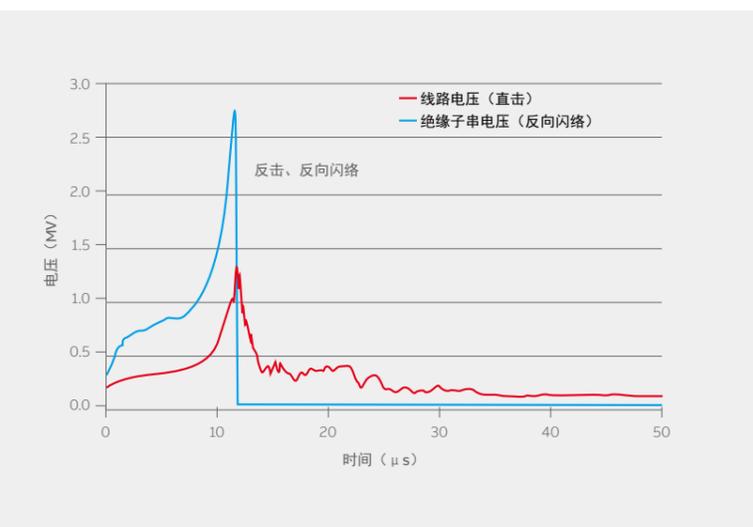




02a



02b



02c

归功于这一特性，过电压被抑制在最大允许值以下。

→图3 所示为，相较于最大持续工作电压（MCOV） U_c 而言，发生所谓的8/20 μs 雷电冲击时的电压特性。

一般原则是将避雷器安装在尽可能靠近所要保护设备的位置。

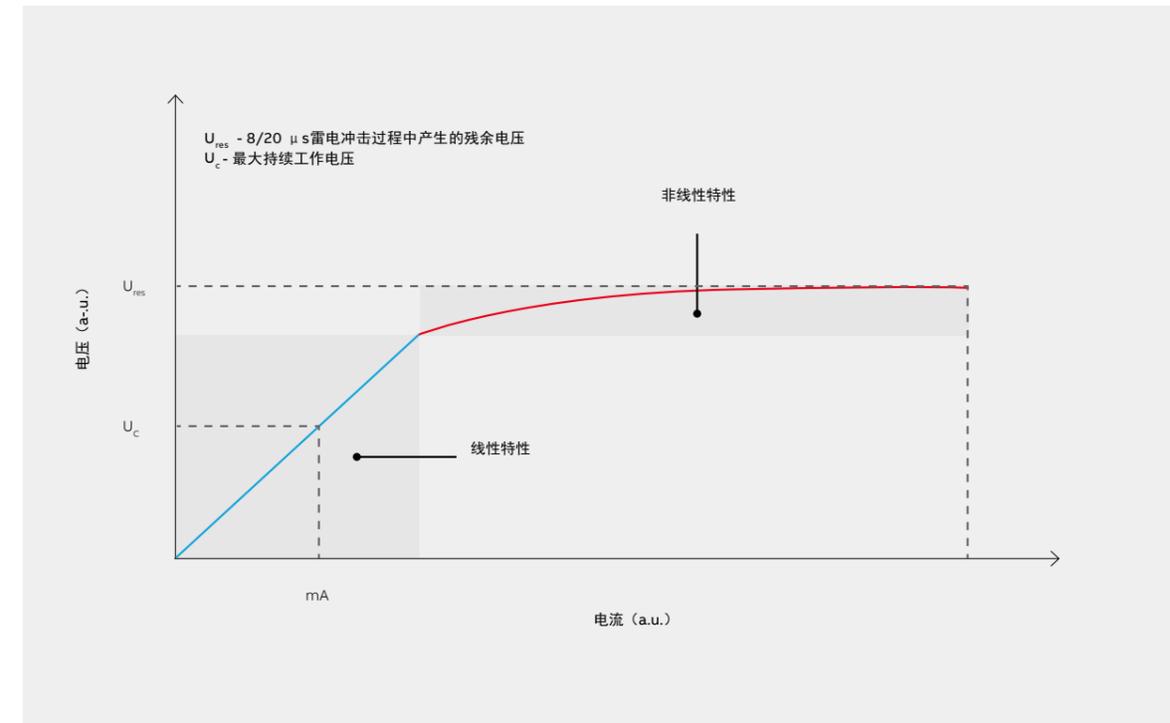
8和20分别指电流脉冲波形上升时间和下降时间（以 μs 为单位）。8/20是已使用多年的标准放电电流波形之一。尽管8/20并不能准确代表所有雷电冲击波形，但它使用频繁。

模拟雷电过电压

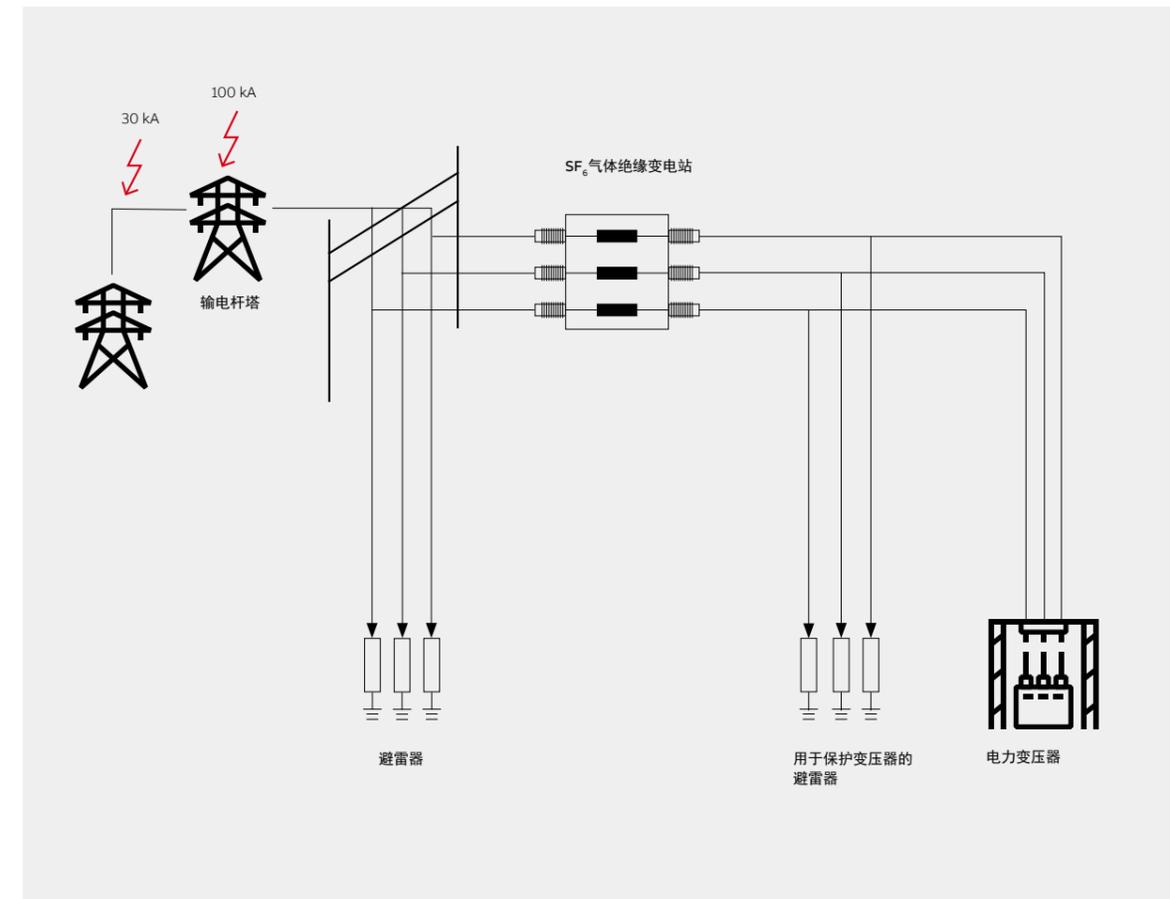
绝缘配合研究必须假定同时发生所有最糟糕的状况。针对这种情况制定计划，最终需要验证应用的多个重要方面，如雷电流峰值和陡度、变电站拓扑、架空输电线路布局、高压电缆部署、杆塔结构，以及避雷器的额定值和安装位置等。利用在EMTP-ATP（电磁瞬态分析程序——交流暂态程序）软件中创建的典型高压网络模型，可以仔细研究这几个方面。本文分析的网络由一条380 kV架空输电线路、一条为变电站的气体绝缘开关供电的高压电缆和一台电力变压器构成。→图4

→图5-图6所示为雷电击中相导线（直击）和地线（反击闪络）的仿真结果。从图中可以看出，使用避雷器可以使最高过电压峰值降至基本冲击绝缘水平（BIL）允许限值以下，按照IEC60071标准规定，400 kV电网的峰值为1425 kV。IEC60071标准还提出所谓的安全系数 $k_s=1.15$ 。一些客户有自己的标准，将 k_s 系数设定为1.20甚或1.25。安全误差系数越大，意味着避雷器技术规格要求越严格。

- 02 EMT 模拟雷电击中高压输电杆塔，符合 CIGRE WG 33.0 要求
- 02a 杆塔结构和雷击位置
- 02b 典型雷电冲击波形
- 02c 雷击产生的典型电压波形
- 03 ABB PEXLIM 避雷器的非线性特性
- 04 本文分析的 380 kV 系统的示意图



03



04

切勿忘记……

除避雷器本身之外，还有其他因素必须纳入考虑，如避雷器引线长度。在这方面，一般原则是将避雷器安装在尽可能靠近所要保护的……

ABB也在其他有关领域提供绝缘配合仿真服务，举例来讲，与断路器或隔离开关有关的分析。

另一方面，发生雷击事件时，电压会发生跌落，从而可能导致过电压值增加，因此超出BIL水平。

因此，设计工程师应当使避雷器引线尽可能短。在引线通常较长的高压系统和特高压系统中，这一点尤为重要。

必须加以考虑的另一个因素是避雷器吸收雷电冲击产生的大量能量的能力。避雷器根据吸收能量的能力，被划分为1级到5级的线路放电等级。

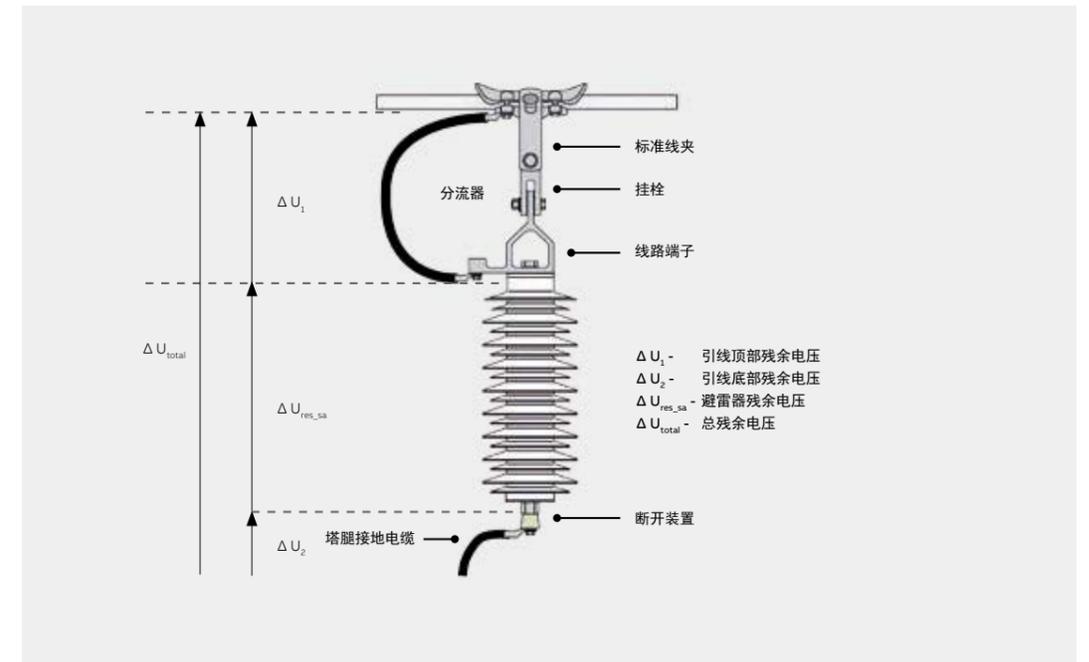
在雷电活动不频繁，并且仅偶尔进行开关操作的危险性较小的区域，可以选用2级避雷器。雷电活动频繁的区域或经常（每天）进行开关操作的设施，必须选用5类避雷器。

客户至上

在每个由ABB承担高压气体绝缘开关的工程设计、安装和调试的项目中，必须对拟用避雷器的适用性进行验证。

- IEC60071系列
• IEEE标准 C62.82.1 (IEEE 1313.1和1313.2修订版)

- 05 仿真结果：模拟变压器高压端发生过电压——直击
— 06 模拟过电压——反向闪络，反击
— 07 顶部和底部均有引线连接的避雷器的残余电压分布
— 08 过电压是引线总长的函数
— 09 发生雷电冲击 (8/20 μs) 时，不同放电等级避雷器的残余电压比较



07

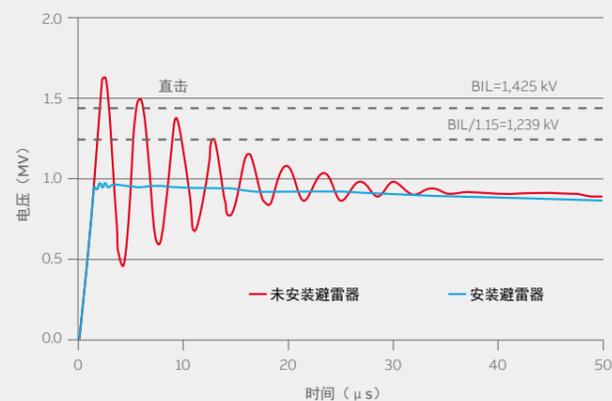
客户希望ABB在进行高频暂态研究时遵守这些标准。

此外，一些客户有自己的项目技术规范 (PTS)，必须加以考虑并在最终报告中引作参考。如果与最终客户的要求有所偏离，极为重要的是与客户达成一致意见。

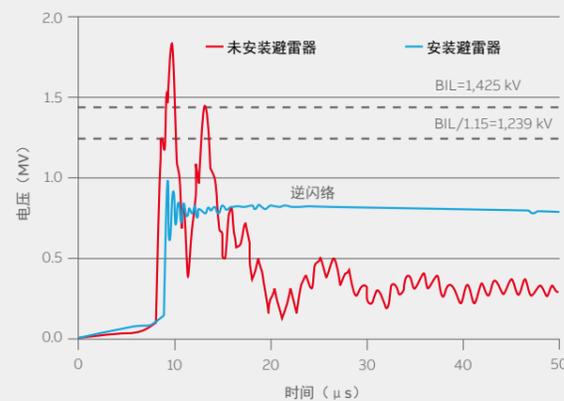
在 50 kHz 至 10 MHz 频率范围内，电压幅值可高达数百万伏特。

客户始终有权审查绝缘配合研究报告，以澄清任何不确定性。这样的完全透明和开诚布公的讨论，可确保所取得的结果是正确的，并且满足客户的所有要求。

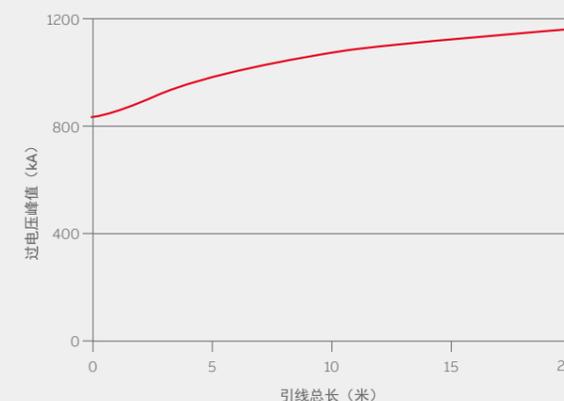
当然，雷电过电压研究只是变电站设计的一个方面。值得补充的是，ABB也在其他有关领域提供绝缘配合仿真服务，举例来讲，对所有电压等级的断路器或隔离开关操作时的开关事件进行有关分析。



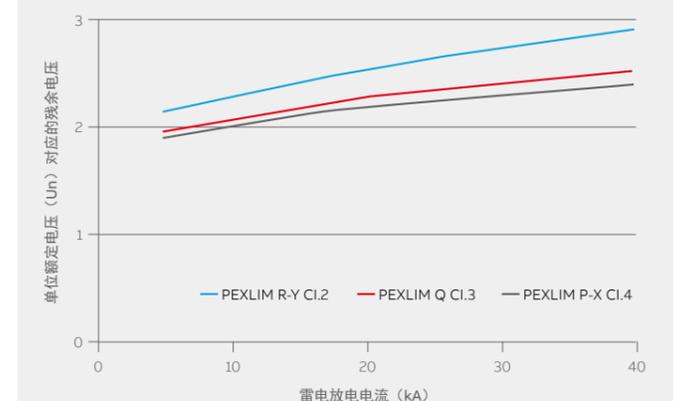
05



06

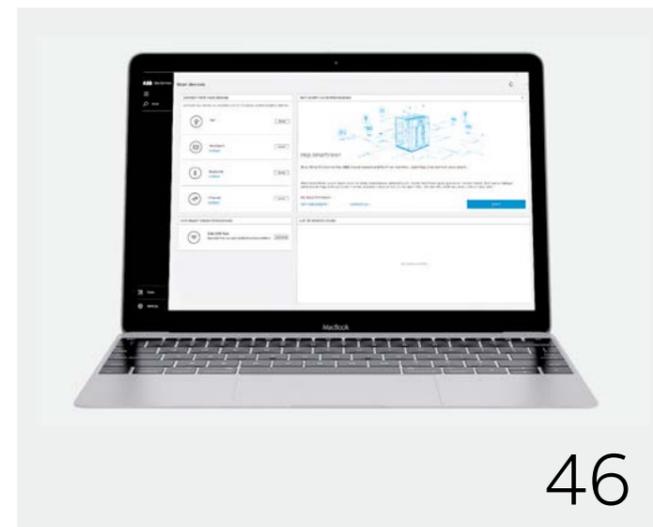


08



09

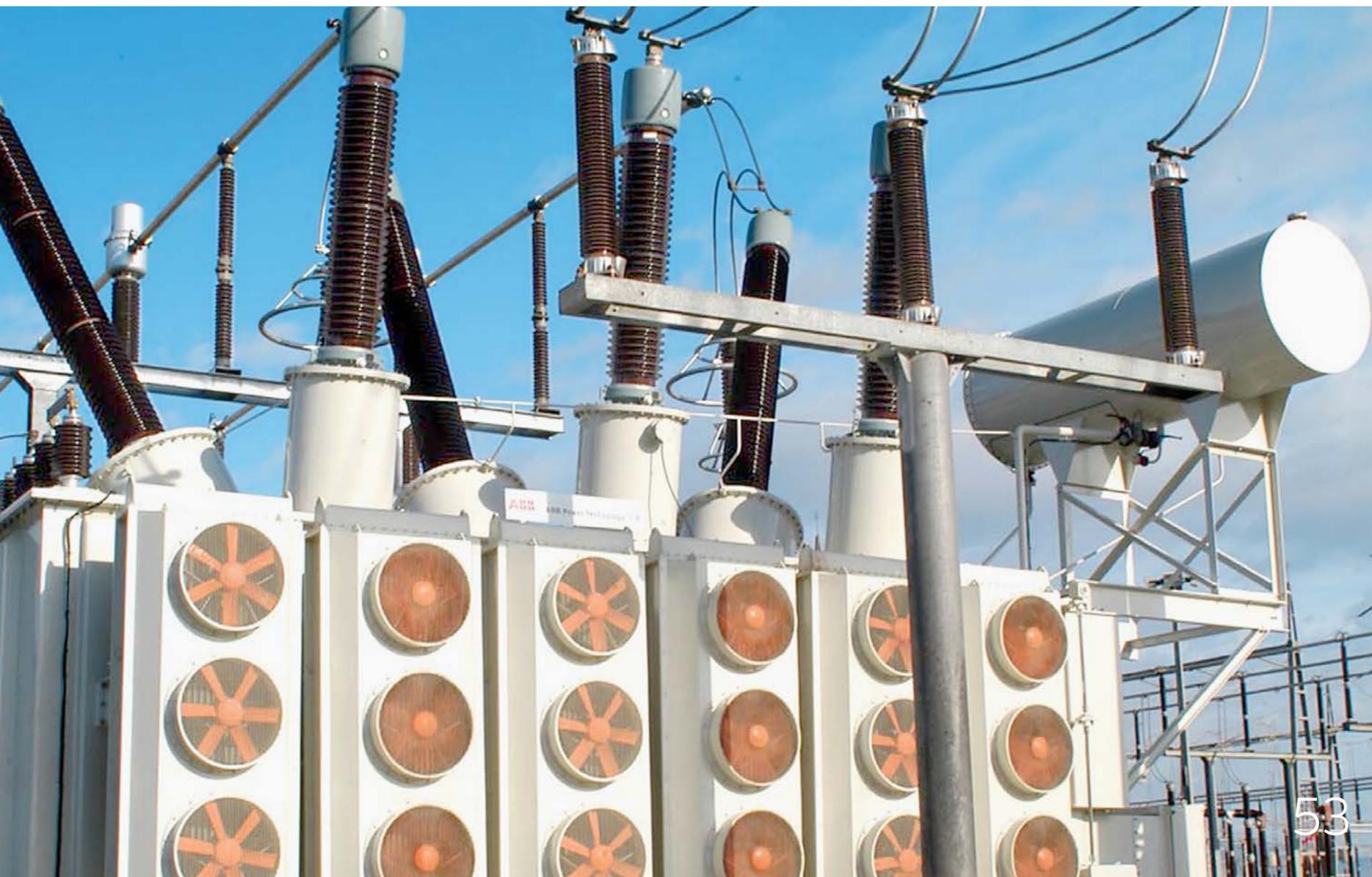
数字化和分析



46

“云端”是一个近似术语，它描述了对数据的分布式采集、汇总、分析和应用，其速度通常极快，难以依靠人工干预。云端技术常常用于需要就重大安全以及金融问题快速采取行动的情形。

在将这些工具用于任务关键型工业设备的核心技术方面，ABB 一直保持领先优势。全新 ABB Ability™ 平台支持客户协作和优化，实现自动化数据评估，发挥云端的优势。



53

数字化分析

借助 ABB Ability™ 监测、优化和控制电网

ABB Ability 配电控制系统芯-Vision 是一个强大的 ABB Ability 云端解决方案, 它经专门设计, 可充分利用 Emax 2 断路器的连通性, 适用于监测、优化和控制低压配电系统。



Nicola Scarpelli
ABB 电气产品事业部保护和连接产品业务单元
意大利贝加莫
nicola.scarpelli@it.abb.com

利用大规模集中式电站发电的国有大型电力公司, 曾在电力领域一统天下。将电能一直输送至终端用户的输配电网络, 也属于这些电力公司所有。管制规定的解除彻底改变了这一局面。如今, 许多企业纷纷进入发电、输电和配电市场。

可再生能源发电的兴起, 进一步推动了电力改革。如今, 许多国家的全国能源预算有相当大一部分是可再生能源发电。

在这种新形势下, 成本和复杂程度成为至关重要的问题。安装系统控制、监测或管理硬件和软件所涉及的额外开支, 占总体支出的比例迅猛上升。系统复杂度日益加剧, 也进一步推高了成本。为了削减这些支出, 许多创新硬件和软件解决方案应运而生。但是, 面对过剩的数字化系统方案和众多厂商, 需要一个全面集成的方案。

ABB Ability
2016年底, ABB推出其全新集中式软件平台ABB Ability。该平台将ABB所有数字化产品和服务集中起来, 以帮助ABB客户创造商业价值, 这些数字化产品和服务无一不是凝聚ABB的行业知识、技术领先优势和数字技术专长的独特组合。除汇聚ABB的数字化产品和服务之外, ABB Ability还可贯穿ABB的各个业务部门, 在广阔的应用领域提供功能更加强大的ABB工业物联网 (IIoT) 平台。

ABB Ability滋生于肥沃的土壤: ABB拥有行业规模最大的客户群体之一, 已经有超过7万套数字控制系统和7000多万台设备投入使用。得益于此, ABB Ability将为ABB客户带来无限潜力。

为了提升性能, 保证高度可靠和安全, ABB Ability以

—
01 Emax 2是低压微网或其他电气网络的数据节点

微软Azure平台为基础。ABB已与微软公司结成战略合作伙伴关系, Azure平台与ABB深厚的专业领域知识和广博的工业解决方案的独特组合, 将让客户获益匪浅。

ABB与微软公司的合作伙伴关系将推进数字化转型, 其涵盖范围远远超出上述电气基础设施, 机器人、船舶和港口、楼宇、电动汽车和可再生能源等行业也将受益于这种托管在微软Azure平台上的、基于云端的一体化联网平台。

Emax 2和ABB Ability配电控制系统芯-Vision
在电气系统领域, ABB的低压设备与ABB Ability配电控制系统芯-Vision相结合, 可以充分发挥ABB Ability的强大性能, 让用户配置创新的电能与资产管理解决方案。

通过对现有产品——如Emax 2断路器——进行智能化改装, 同时充分利用现有通信基础设施 (互联网), 可以提供尖端保护、优化、逻辑连接, 以及负载、发电和蓄电管理等功能, 无需加装昂贵的设备。有了ABB Ability配电控制系统, 用户可以实现外部功能拓展, 借助ABB Ability概念的固有组成部分——基于云端的Azure系统, 对电气系统进行监测、优化和控制。

Emax 2空气断路器可以控制电能和数据流, 是低压配电系统的智能中枢。→图1

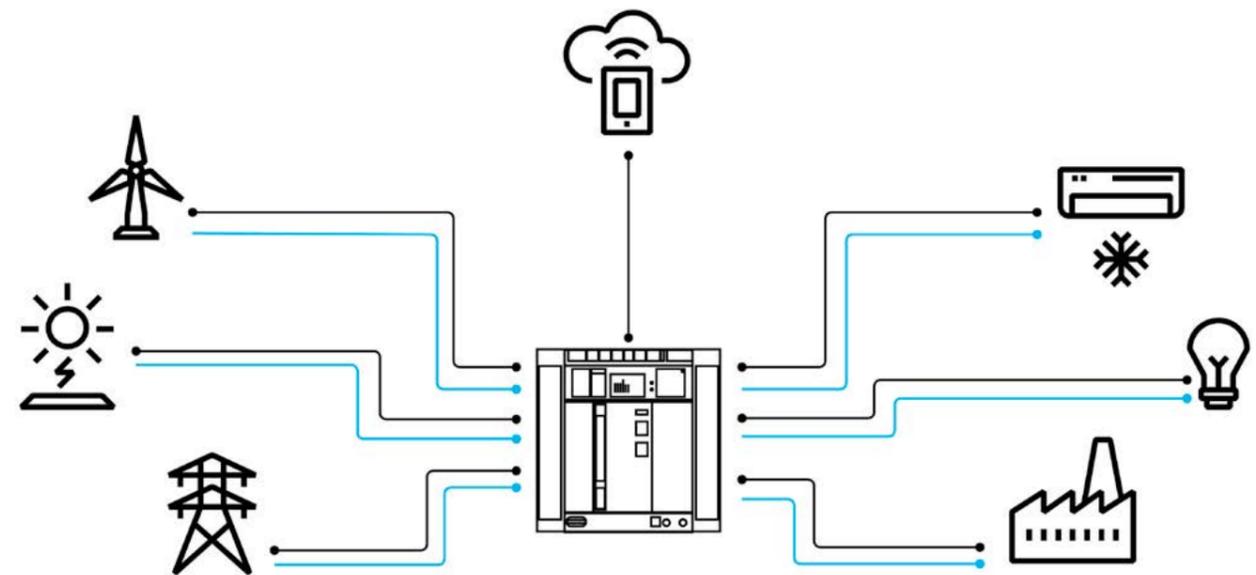
ABB Ability配电控制系统芯-Vision是一个适用于电气系统的云端平台, 它经专门设计, 能够实现:

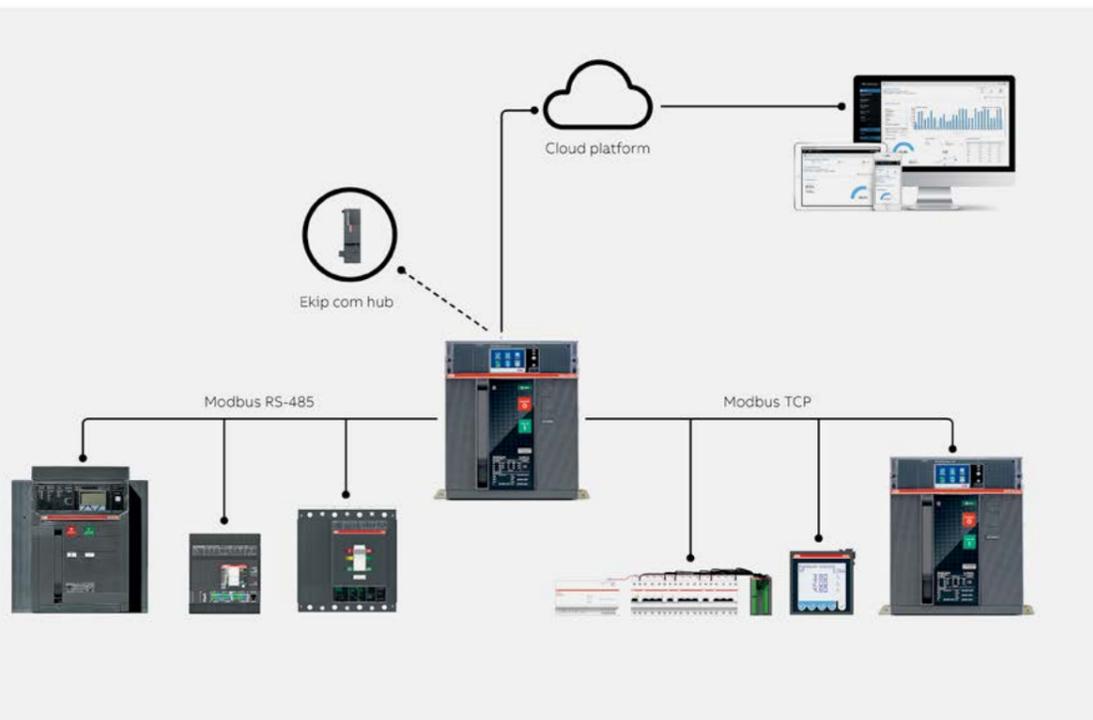
- 监测: 检查设备性能, 监测电气系统, 即时获取最重要的信息
- 优化: 采集并分析设备数据, 根据分析结果为商业决策提供依据
- 控制: 设置报表和报警; 远程实施高效的电能管理策略

ABB Ability 配电控制系统芯-Vision 是一个适用于电气系统的云端平台, 它经专门设计, 能够实现监测、优化和控制等功能。

ABB Ability配电控制系统芯-Vision提供了具有高度扩展灵活性的服务, 可实现极大的应用灵活性, 适用于中小型工业、商业及公共建筑应用。它专门针对最终用户、设备管理者、系统集成顾问和盘柜厂等的需求而设计。

ABB Ability配电控制系统芯-Vision也支持多站点访问; 它可以同时监测并比较不同设备的性能。此外, 它允许根据用户所要求的访问级别, 对用户体验进行剖析。





02

这些特性允许用户及时了解实际系统性能，并执行能效分析和审计，而无需现场评估。用户可以调看单个站点和多个站点的实时数据和历史趋势数据，以便进行性能比较，确立基准。一名运维技术人员可以管理多个站点，因为ABB Ability配电控制系统芯-Vision将持续不断地对电气系统中的设备执行诊断，仅当确实需要进行维护时，才采取维护行动。这种高水平的预测性维护有助于改善设备运行状况，削减成本。

ABB Ability 配电控制系统芯-Vision 适用于中小型工业、商业及公共建筑应用。

另外，ABB Ability配电控制系统芯-Vision可以集成到更为复杂的监控自动化系统中，这也利于简化设备运行，降低成本。有了ABB Ability配电控制系统芯-Vision

来管理配电，楼宇管理系统的总成本和部署时间可以减少15%。

ABB Ability配电控制系统芯-Vision最大的价值在于用户能够简化其设施的电能和资产管理过程及活动。该系统专门为轻松实现这一点而设计。

ABB Ability配电控制系统芯-Vision的架构

ABB Ability配电控制系统芯-Vision可通过网络应用界面进行操作，因而可以随时随地在智能手机、平板电脑或台式机上使用。它允许多位用户访问，并可即时连入低压配电系统。

ABB Ability配电控制系统芯-Vision提供的云端服务也可用于改造现有设备和以往型号的ABB断路器。

通过与Emax 2或Ekip EHub共享数据，可以将电气系统即插即用接入ABB Ability云计算平台。解决方案分为嵌入式和外挂式：

— 02 采用 ABB Ability Electrical Ekip Com Hub 的嵌入式解决方案

嵌入式解决方案

配备新的Ekip Com Hub模块的Emax 2可以建立云端连接。→图2 仅需将这个专用套筒式通信模块插入端子盒，即可连接至互联网。如果Emax 2配备了下列通信模块之一，其他设备也可以与Ekip Com Hub和云端共享测量结果和数据：

- Ekip Com Modbus RS485
- Ekip Com Modbus TCP
- Ekip Link

ABB Ability 配电控制系统芯-Vision 也支持多站点访问。

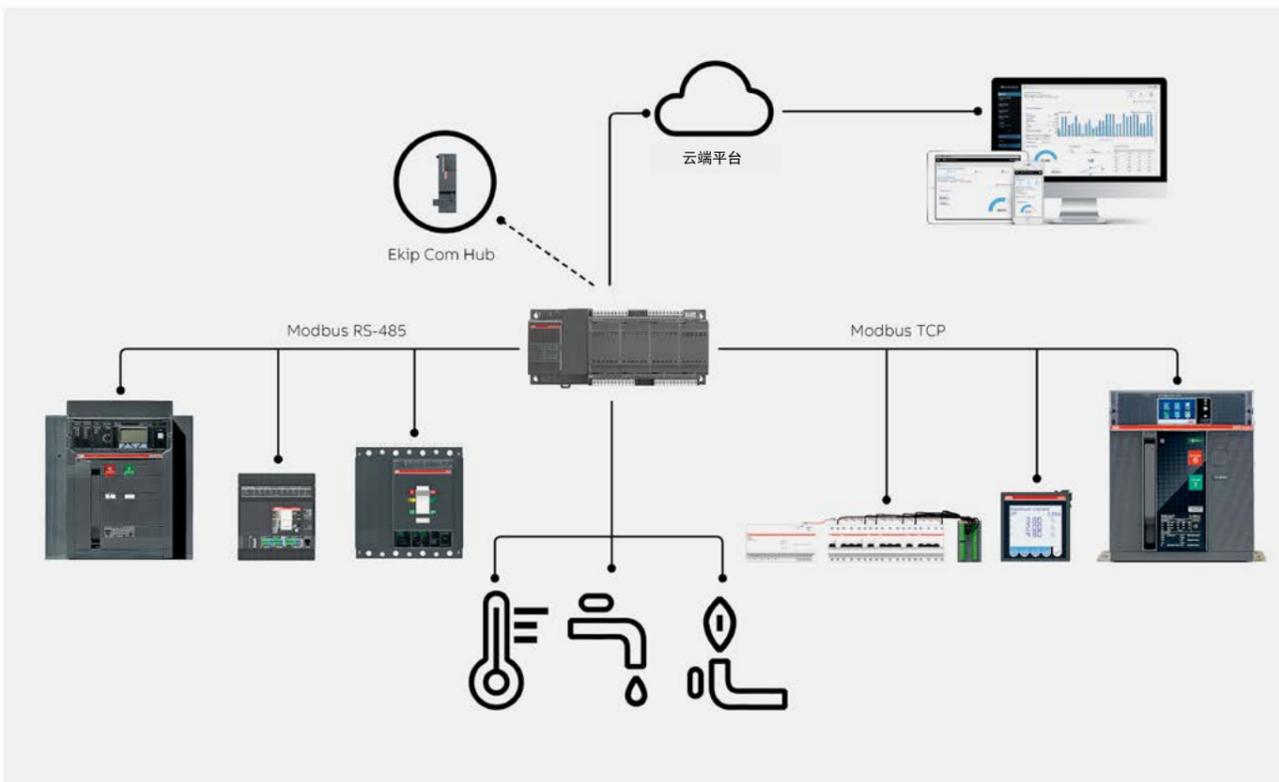
ABB Ability配电控制系统芯-Vision经专门设计，尽可能化繁为简：得益于自配置连接，可以通过Ekip Connect软件访问Ekip Com Hub模块，在短短数分钟内按向导指示完成调试。

外挂式解决方案

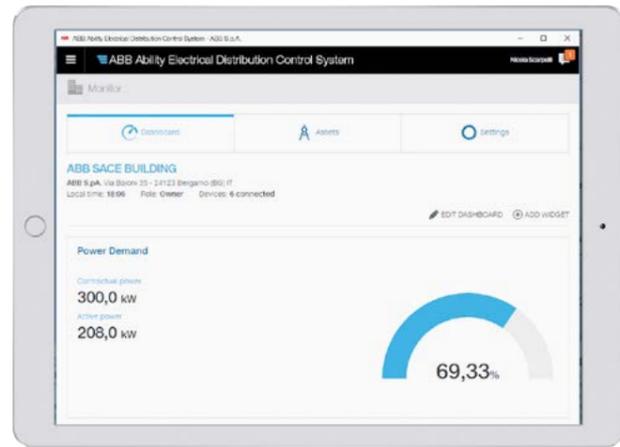
外接硬件可以安装到DIN导轨上，用以采集整个电气系统的数据。→图3 不仅如此，可以通过模拟和数字I/O连接传感器，以获取诸如温度、湿度和耗水量等数据。面向WiFi或GPRS的可选模块扩大了可选择的应用范围。

监测

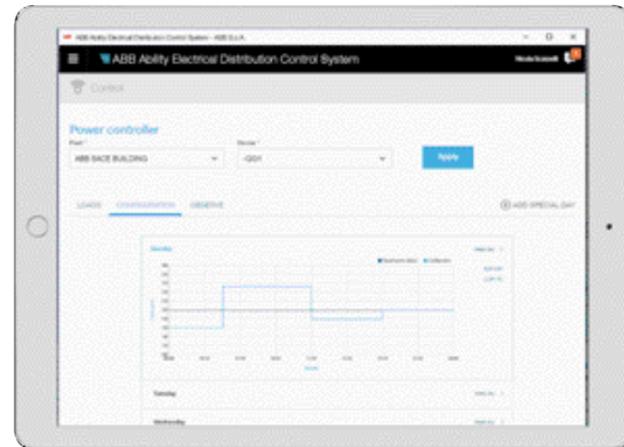
ABB Ability配电控制系统芯-Vision操作界面中的预配置小工具简化了监测功能。→图4 它可以处理单台设备或多台设备的数据，以显示耗电和发电趋势。除此之外，用户可以通过实时需求信息、尖峰趋势、功率因素和电能质量信息等，深入了解电气系统状态。→图5 ABB Ability配电控制系统提供的工具可以帮助用户在日常工作中简化信息交换，提高效率，降低停机风险，将维护成本最多减少30%。



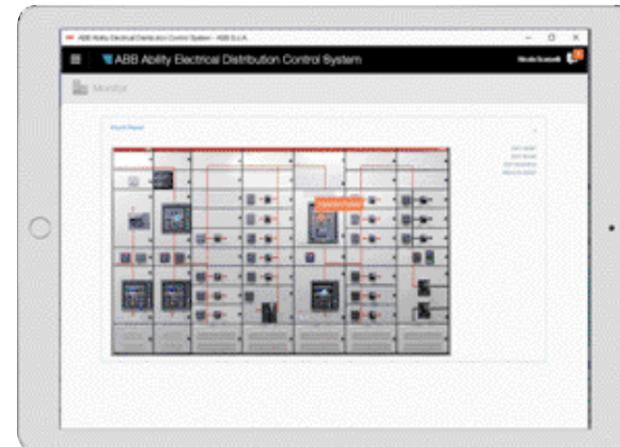
03



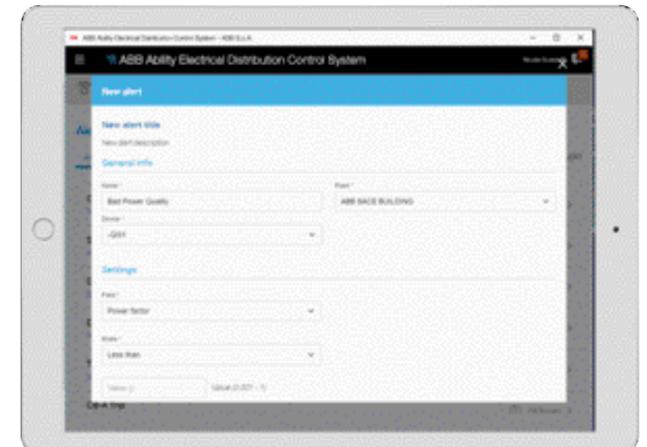
04



05



06



07

ABB Ability配电控制系统芯-Vision拥有强大的资产管理特性，因而用户可以设置熟悉的设备概要图。事实上，用户可以上传自定义图表、照片、配电盘技术图纸和设备概况面板图片。→图6 可以借助标签和拖放工具，使这些图片实现交互。用户可以随时获得所需的各种设备信息，譬如：

- 设备状态
- 一般参数，如设备类型、序列号和额定参数
- 维护数据，如最近一次维护作业、触头磨损情况、脱扣次数，等等
- 电子信息，如软件版本和发布信息

用户还可以通过链接直接查看有关ABB技术文档和手册。

优化

用户可以获得所有相关数据，这有助于大幅提高设备可靠性和能效。ABB Ability配电控制系统芯-Vision支持数字化采集和导出数据、编制报表和访问历史趋势数据。用户可以全面了解电气系统，从而设定有效基准，并将之与最佳实践做比较。此外，用户可以将维护活动进行数字化归档，并通过报表下载记录。

ABB Ability配电控制系统芯-Vision的分析特性简化并增强了对功率因素补偿、电能管理和成本分摊等的分析。通过充分利用全面采集的单台设备或多台设备数据，可以做出更加明智的决策。

或许，ABB Ability 配电控制系统芯-Vision 最大的价值在于用户能够简化其设施的电能和资产管理过程及活动。

控制

ABB Ability配电控制系统芯-Vision不仅支持识别有待改进之处，而且支持远程实施高效的功率峰值控制和电能管理。

得益于ABB Ability配电控制系统芯-Vision和Emax 2电能控制功能，控制特性简化了负载管理，支持根据精准测量结果来采取行动。利用针对非优先级设备的快速切负荷功能，降低用电需求，帮助节省电能。

ABB Ability配电控制系统芯-Vision的报警特性为用户提供了设备看门狗。→图7 用户可以根据自身需要和干预计划，自定义设置报警，并可随时通过短消息和电子邮件通知关键人员。

简化

有了ABB Ability配电控制系统芯-Vision，无需搭建成本高昂而又复杂的传统的电能监测和管理系统：仅需在端子盒上加装一个套筒式通信模块——新的Ekip Com Hub，即可建立云端连接。ABB Ability配电控制系统芯-Vision允许用户利用自配置连接，在Ekip Connect向导的指示下调试系统，这带来了无出其右的优势，例如10分钟左右即可实现设备与云端的连接。→图8

连接建立之后，仅需轻点鼠标即可允许诸如合作伙伴或员工等更多用户访问平台。可以根据每个用户对特定设备承担的职责，分派任务和权限。

—
04 ABB Ability 配电控制系统芯-Vision 操作界面

—
05 ABB Ability 配电控制系统芯-Vision 操作界面支持查看单台设备或多台设备数据

—
06 ABB Ability 配电控制系统芯-Vision 具备强大的资产管理功能

—
07 及时发出报警有助于进一步提升设备运行效率

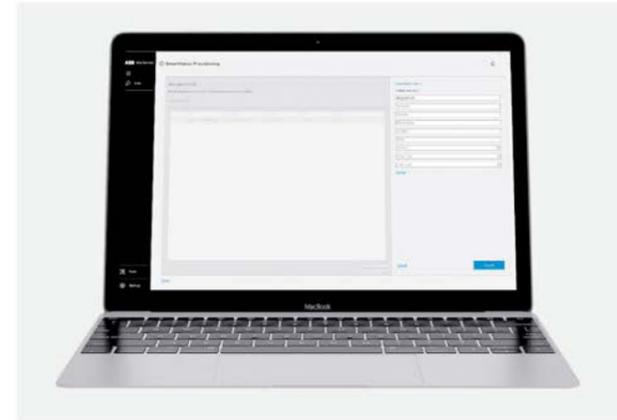
没有复杂的配置，只需安装多个DIN导轨适配器或网关。相比于类似解决方案，ABB Ability配电控制系统芯-Vision所需硬件组件数量减少了60%。ABB Ability配电控制系统芯-Vision的一体化架构也有助于缩短布线和接线用时，简便地将设备集成到系统中。

ABB Ability配电控制系统芯-Vision在一线的使用情况
意大利公共自来水公司Consorzio di Bonifica Veronese率先试点安装ABB Ability配电控制系统芯-Vision。ABB

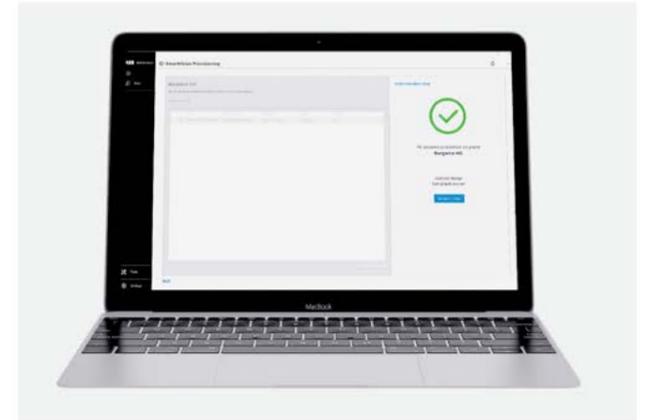
—
ABB Ability 配电控制系统芯 -Vision
可通过网络应用界面进行操作，因而可以随时随地在智能电话、平板电脑或台式机上使用。

Ability配电控制系统芯-Vision为客户提供了远程监测和报警功能，这帮助客户节省了往返于不同站点所耗费的时间和成本。该系统还支持客户主动采取快速干预，使设备恢复正常工作状态，避免故障，执行维护，减少停机。得益于这些措施，客户将维护时间减少了40%，运营成本降低了30%。因电能质量问题而遭到罚款的可能性也大大降低（水泵变负荷运行经常为水务公司招致电力罚款）。

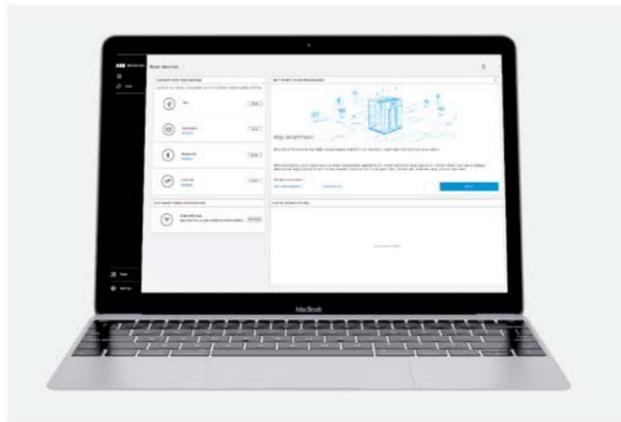
另外，有了这些数据，客户能够满足能效认证（价值25000美元）的要求，而不必花费时间和金钱委托独立外部审计机构。现在，客户将再为数十个给水管网部署这个解决方案。



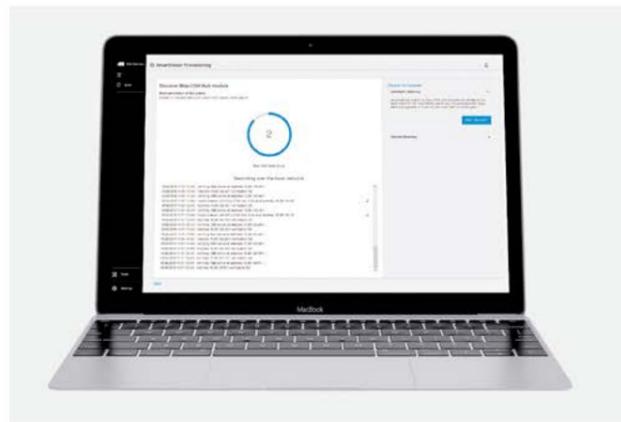
08c



08d



08a



08b

—
08 设置简便

08a 启动Ekip Connect 3.0并选择功能

08b 扫描网络

08c 配置设备和系统

08d 发布到云端

ABB为迪拜规模最大的屋顶太阳能发电系统之一提供动力

在阿拉伯联合酋长国迪拜市海湾地区，当地规模最大的私营屋顶太阳能发电系统之一也部署了ABB Ability配电控制系统芯-Vision。这个315 kW屋顶太阳能发电系统安装在ABB的 Al Quoz工厂，它生产的电能将用于为ABB工厂供电，而过剩电能则送入国家电网。

ABB Ability配电控制系统将ABB屋顶太阳能发电系统连接至工业物联网，为这套光伏发电系统创建了一个数字档案，持续不断地分析电能质量，以及追踪ABB工厂的发电和用电趋势。对这个屋顶太阳能发电系统进行持续诊断，有助于大幅提高其生产率，使维护变得更加高效、合理。

工业物联网与ABB Ability配电控制系统芯-Vision

10多年来，ABB一直在推动面向工业物联网的技术进步，提供控制系统、通信解决方案、传感器和软件。

—
ABB Ability 配电控制系统芯 -Vision
支持数字化采集和导出数据、编制报表和访问历史趋势数据。

现在，有了ABB Ability，工业物联网技术将释放出更大潜力，借助数据智能化应用，优化设备运行，大幅提高生产率和灵活性。在这个领域，Emax 2和ABB Ability配电控制系统芯-Vision将如鱼得水，并且将从根本上改变电气系统的监测、优化和控制。

能源



能源一直是一种资源，要利用能源，必须借助一系列体现了熟练的技术专长的工具和过程，并且要理解应在何时、何地、何因、以何种方式使用能源。在本章节中，一个项目为在水下 3000 米作业的航行器提供关键技术，而另一个项目则研制出应用广泛的新型环保绝缘气体。每一次都彰显了 ABB 在能源领域的技术领导地位以及 ABB 不止于此的实力。



- 56 为在水下 3000 米工作的遥控潜水器提供可靠的电气产品
- 62 ABB 率先推出采用环保绝缘气体替代 SF₆ 的中压 GIS

能源

为水下 3000 米作业的遥控潜水器提供可靠的电气产品

在水下 3000 米的地方为 Total Marine Technology 公司的遥控潜水器 (ROV) 提供电能，是一项艰巨的任务。事实证明，ABB 的软启动器和 AF 接触器技术是能够胜任这项工作的理想技术。

Joakim Jansson
Martin Erkander
ABB 电气产品事业部保护和连接产品业务单元
瑞典 Vster.s

joakim.x.jansson@se.abb.com
martin.erkander@se.abb.com

Chris Thomas
ABB 电气产品事业部保护和连接产品业务单元
英国考文垂

chris.p.thomas@gb.abb.com

Slobodan Stankovic
Total Marine Technology
澳大利亚 Bibra Lake

不足为奇的是，海底大部分易采石油和天然气已被开采殆尽或正在开采中。现在，新探明的石油和天然气储量通常位于更偏远、更深的水域，操作装置必须在水下数千千米的地方作业，对抗强劲的洋流和冰冷的水温。

Total Marine Technology (TMT) 为这个深海世界提供了全系列遥控潜水器 ROV，其中一些 ROV 可在 1500 米深处进行常规作业。→图1-图2 然而，2010年，TMT 赢得另一家澳大利亚公司的一份合同，要求他们设计并建造一台作业深度可达两倍的 ROV。

确保在水下 3000 米深处的 ROV 一切运转良好，是一项艰巨的任务。

不同于没有连接装置、不必连接至水上船舶或设施的自主式水下航行器，ROV 通常连接着电缆，为其输送液压、电能、视频或指挥控制信号。→图3 - 图4



向 ROV 传送的动力——液压和电能，可供机载系统用于实现推进力或驱动液压机械臂和抓斗，助力 ROV 执行水下任务。就 TMT Typhoon MK2 ROV 而言，液压动力由 ROV 上的液压动力装置 (HPU) 产生。水上设施提供的 440 V 交流电逐步提高至 3250 V 交流电 (60 Hz)，并输送至 ROV，启动这一装置。HPU 使用 3000 V 交流系统为海底液压泵供电。

软启动器可在预定时间内大幅提高电压，这意味着系统送出的尖峰电流更低，输出电压更加稳定。

要使 ROV 顺利地执行工作，必须确保其机械臂及其他系统正确运行。举例来讲，水上电源系统发生任何故障或差错，都会导致液压系统失灵，这将损害设备，或者导致任务延期甚或被迫中止，并由此错失有利的天气时机。确保部署在水下 1500 米深处的 ROV 一切运转良好，已经十分困难，部署在 3000 米深处更是让这个任务难上加难。

为了保证平稳、持续地向在 3000 米深处为 ROV 提供动力的液压发动机输送电能，TMT 选用了 ABB 的软启动器和 AF 接触器技术。

软启动器

尽管一些海上设施即使距离海岸数百英里，也需要从岸上供电，但大多数海上设施都依靠本地发电机。当然，船载发电机都是本地发电机。这些本地发电机的规格经专门设计，可满足船舶或平台及其辅助系统的用电需求，而不会有太多的余量。因此，当诸如泵这样的大型设备启动时，会造成显著的电压跌落和尖峰，影响对 ROV 液压系统的供电。

水上电源系统的波动并非唯一的挑战。ROV液压系统要正常工作，必须维持一定压力。譬如，当操作人员（在水上设施上）移动一个ROV机械臂时，液压系统的压力将会下降，水上发电机必须突然增加发电量，以满足液压泵的用电需求。如果没有像软启动器一样采取任何暂时降低电压形式的辅助启动，而直接在线启动泵时，将

电路板涂层可确保潮湿和腐蚀性海洋环境不会对电气元件构成威胁。

产生很大的电压骤降风险，因为发电机通常不能提供足够的瞬时功率。这可能导致HPU失灵。

这正是软启动器的用武之地。→图6软启动器可以在预定时间内逐渐提升电压，这意味着系统产生的尖峰电流更低，输出电压更加稳定，因而整个系统更加可靠。典型启动电流约为直接在线启动电流的60%。

ABB软启动器有许多其他特性，确保它们的高可靠性：
 • 软启动器具备转矩控制功能。这有助于避免因阀门快速关闭而导致液压不稳定。由此带来的应力下降，可

—
 01 事实证明，ABB 软启动器和 AF 接触器技术，非常适用于为在水下 3000 米深处作业的 ROV 液压系统供电的电气系统。

—
 02 A TMT Typhoon 20 ROV

—
 03 ROV 通过液压、电源、数据和控制等电缆，连接至水上设施。ROV 顶部装置是系统管理系统

延长系统的使用寿命。对于消除泵系统中的水锤现象，这一特性十分有用。过去，ABB软启动器已利用ABB转矩控制技术，将泵维护成本节省40%。

- 内置防电气过载保护装置，确保电机不会过热。譬如，ABB的PSTX软启动器针对不同负载状态，以及各种网络不正常情况，如欠压和过压，采用了10多种保护机制。PSTX颇为让人称道的是，其众多功能和特性帮助客户将配电柜组件数量减少80%，安装时间缩短60%。
- 涂装电路板进一步增强了可靠性。涂层可确保潮湿和腐蚀性海洋环境不会对电气元件构成威胁。

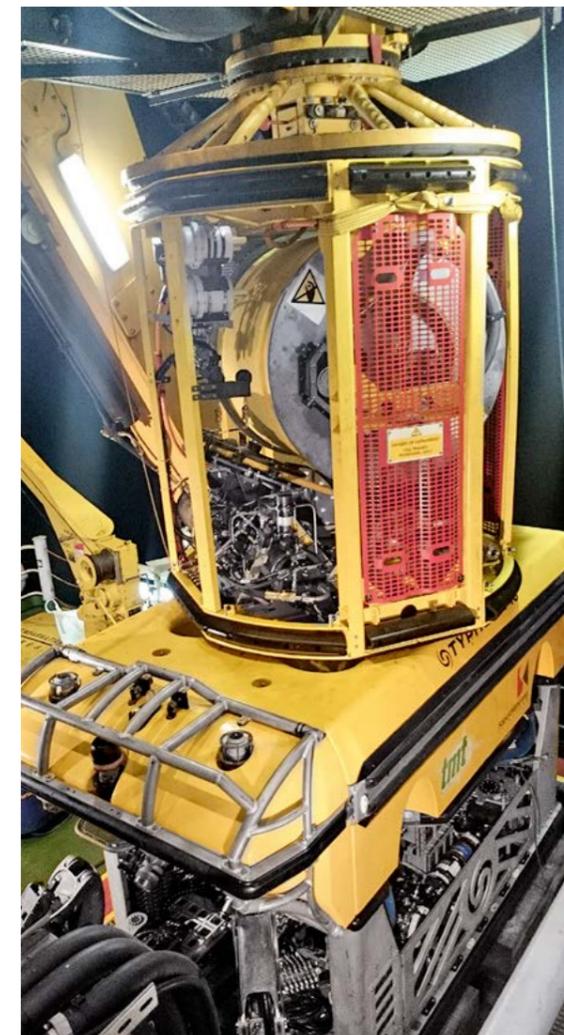
AF 接触器控制回路可以交、直流通用，因而所需备件更少，并且仅需4个线圈，即可满足很宽的交流 and 直流电压范围。

- ABB软启动器外型小巧，易于安装和使用：
- 相比于在外置单独旁路接触器的软启动器，采用内置旁路的ABB软启动器更加小巧。内置旁路缩短了安装时间，提高了可靠性，因为集成的软启动器/旁路已在工厂完成装配和测试。
 - 在简单清晰的HMI（人机界面）上，可以轻松操作设备。通过直观的菜单，设置参数和诊断。ABB软启动器使用外接键盘，因此，操作人员不必打开面板门即可监控或更改设置，其他软启动器很少有这个特性。PSTX外接键盘配有3米连接电缆。

正是这些优点，让TMT决定用ABB的PSTX系列软启动器来更换其现有的软启动器。

AF接触器
 ABB的软启动器和接触器都能应对与驱动ROV液压系统的电机和泵有关的电气环境的挑战。

接触器是电控开关，它可控制电源回路的通断，实现配电或启动电机。它工作原理类似于继电器，但可在更高额定电流额定电压下工作。不同于继电器，接触器可直接控制大电流负载，并且它们具备在电机的大电流分段时有效灭弧的特性。



03





04

ABB AF接触器可将交流或直流控制回路电压整流为直流控制电压，并施加到线圈上，闭合触头和主回路。→图5 基于AF具备很宽的控制电压范围，允许接触器在不稳定的电气网络条件下正常工作。AF接触器始终保持最佳的能耗状态。它们也解决了诸如蜂鸣音和抖动等传统接触器问题，从而延长了接触器的使用寿命，使之几乎不产生任何噪声。

命，使之几乎不产生任何噪声。

不稳定电气网络中的电压波动会给常规接触器带来麻烦，但却不会对AF接触器构成威胁。AF接触器本身可以处理浪涌（常规接触器则要求外接浪涌抑制器），浪涌不会传到控制回路。



05

- 04 尚未吊装到 ROV 顶部的系统管理系统
- 05 ABB AF 系列接触器
- 06 ABB 软启动器产品系列

海上物流是一件棘手的事，一方面可供贮存备件的空间有限，另一方面供应链较长，容易发生风险，并且面临着仓促订购更换部件。使用AF接触器则所需备件更少，因为其线圈可以交、直流通用，并且仅需4个线圈即可满足24 V至500 V交流电压范围或20 V至500 V直流电压范围。相比于常规接触器，其部件数量减少了约90%。AF接触器也十分小巧（比常规接触器小30%），这进一步节省了船上宝贵的空间。

阻电机保护继电器则可直接测量电机绕组温度，从而确保延长电机使用寿命。不仅如此，控制面板组件也更换为ABB Pilot Device系列（按钮、开关、灯等），包括能够耐受住TMT ROV的恶劣工作环境的可靠产品。此外，对于远在他乡作业的TMT ROV而言，十分重要的是，ABB业务遍及全球并在世界各地都设有强大的本地业务机构，可确保在全球范围内提供支持。

AF 接触器可始终保持最佳的能耗状态。

借助更多控制产品，提高可靠性

第二步，TMT决定将现有控制产品更换为ABB低压产品。此举的好处不只是减少供应商数量。举例来讲，ABB易于安装的三相监测继电器具备过压和欠压监测能力，可实现所需功能，如断相故障检测，而热敏电

第二步，TMT 决定将现有控制产品更换为 ABB 低压产品。

简单、小巧、可靠

在水下3000米部署ROV需要以专业化的方式，采取深思熟虑的技术手段。要素之一是采用一流的电源系统，确保ROV正常工作。TMT选用ABB的软启动器和AF接触器来帮助实现这一点，因为这些产品具有简单、可靠、小巧和物流便捷等优点。



06

能源

ABB 率先推出采用环保绝缘气体替代 SF₆ 的中压 GIS

基于六氟化硫 (SF₆) 的气体绝缘开关 (GIS) 技术具有尺寸小、可靠性和安全性高的特点，但 SF₆ 是一种破坏性极强的温室气体。ABB 是首家推出采用基于新分子环保型绝缘气体的公司。

Sebastian Zache
Maik Hyrenbach
ABB 电气产品事业部中压业务单元
德国拉廷根

sebastian.zache@de.abb.com
maik.hyrenbach@de.abb.com

Magne Saxegaard
ABB 电气产品事业部中压业务单元
挪威希恩

magne.saxegaard@no.abb.com

中压电网介于高压长途输电网络和低压家用电网之间，为住宅和商业区照明，为能源密集型产业、体育场和地铁线路提供电能。

开关柜构成电网的中心节点，汇集所有连接，经设计能够在所有预期条件下开启和关闭电流。在正常情况下，借助开关柜，操作人员可以灵活地控制其网络。在故障条件下，开关柜可自动断开高故障电流，并保护电网的其余部分，从而避免人员受到严重伤害。

面向苛刻应用的GIS技术

随着城市及其能源需求不断增长，土地变得日益稀缺和昂贵，在某些情况要求开关柜的尺寸必须要紧凑。这正是 SF₆ GIS 发挥作用的地方：相对于采用环境空气作为绝缘介质，SF₆ 的绝缘强度比空气高三倍，因此使得更紧凑的开关柜设计成为可能。→图1 SF₆ GIS 不仅尺寸更小，且可靠性更高。密封的 SF₆ 气罐将气体保持在适当的位置，并将带电部件与环境隔离，从而防止灰尘、湿度和动物带来的污染。通过这种方式，可将意外停机的概率降至几乎为零，这对于那些停产可轻易导致日均损失

超过10万美元的行业而言，无疑是重大利好。此外，GIS技术实际上还可免于维护，这有助于降低整个生命周期（通常是30年或更长时间）的运行成本。

— **GIS 不仅尺寸更小，可靠性也更高。**

争议不断的SF₆

ABB于1967年制造出全球首台GIS，并率先推出GIS技术。该项技术目前代表苛刻应用的先进水平。SF₆的卓越电气性能使GIS技术在全球范围内大获成功，在中压和高压应用中同样出色。但尽管SF₆的优点很多，却有一个缺点：如果释放到大气中，它将是一种破坏力极强的温室气体。

温室气体的影响采用全球变暖潜能值 (GWP) 指标表示。GWP是根据两个主要因素计算出数值：

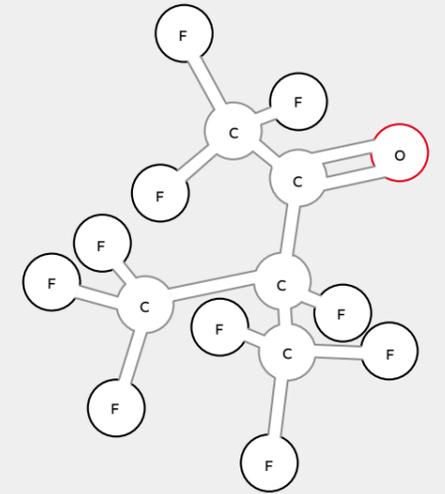
- 01 ABB 的 SafeRing AirPlus
- 02 C5 氟酮分子

- 辐射强迫值：一种气体吸收温度（以红外线的形式）而不是让其辐射到太空的程度？
- 衰变时间：气体分解前在大气中存在多长时间？

如果将二氧化碳的GWP设为1，那么SF₆的GWP则为22800。

— 尽管 SF₆ 的优点多多，却有一个缺点：如果释放到大气中，它将是一种破坏力极强的温室气体。

自20世纪90年代以来，鉴于人们遏制气候变化的意识不断增强，寻求替代SF₆的环保绝缘气体日益受到关注。到目前为止，结果总是令人失望——看似有前途的其他替代气体被证明稳定性较差或有毒。



01



02



而SF₆的另一项劣势是：由于其全球变暖潜能值高，且在电气应用中并没有合适的替代品，因此在多个国家，SF₆用户目前都面临监管和库存程序的约束，从而增加了管理费用。

ABB 再次引领 GIS 技术潮流。与合作伙伴 3M 一起，ABB 开发出一种颇具前途的 SF₆ 替代品：ABB 的 AirPlus 绝缘气体。

AirPlus——GWP更低的SF₆替代品

在率先推出全球首台GIS的50年之后，ABB再次引领GIS技术潮流。与合作伙伴3M一起，ABB开发出一种颇具前途的SF₆替代品：ABB的AirPlus绝缘气体。这种新气体不仅在技术性能上接近SF₆，而且GWP仅约0.5，对全球变暖几乎没有影响。

与GWP高达22800的SF₆相比，新气体的GWP降幅高达99.99%。在大气中暴露于太阳辐射平均16天之后，AirPlus的新分子分解，而SF₆分解需要3000多年的时间。当然，这些数字仅适用于气体被释放到环境中的情况，也正因为如此，ABB对GIS产品中采用的SF₆实行生命周期封闭式管理，从而尽可能避免排放，无论是使用AirPlus或是SF₆。与SF₆不同，AirPlus不是纯气体，而是气体混合物。按体积算，超过80%由干燥空气组成，其余部分是NOVEC 5110介电流体——一种由3M提供的C5氟酮（C5 FK或C5F100）分子。→图2 这种分子具备卓越的介电性能，且碳足迹更低。

就气体处理而言，AirPlus不需要比SF₆更多的安全措施。它属于几乎无毒类物质，具有与SF₆相当的容许暴露限值。AirPlus具备额外的安全性能，适用于隧道或采矿等地下应用：大量的SF₆需要花时间与空气混合，从而导致缺氧，而AirPlus混合物已经含有超过80%的空气，并可快速进一步稀释。

除改善环境和安全性外，AirPlus的用户还可受益于流

程简化，以及运营成本降低。在许多国家，SF₆的使用受到管制，涉及库存管理和监管制度，甚至在少数情况下还涉及对SF₆的征税。但这些规定不适用于AirPlus，将来也不会。

Netze BW试点项目

Netze BW是德国最大的配电系统运营商，其网络位于德国的西南部。作为EnBW集团的一部分，Netze BW是德国四大电力公司之一。

在大气中暴露于太阳辐射平均16天之后，AirPlus的新分子分解，而SF₆分解需要3000多年的时间。

在某个价值一千万欧元的项目中，Netze BW正在对110 kV/20 kV的Trochtelfingen变电站进行现代化改

造。之前的20 kV中压开关柜被ABB的双母线配置ZX2 GIS取代，与空气绝缘开关柜（AIS）技术相比，节省空间达40%。→图3-5 随着风能或太阳能等可再生能源发电在该地区大行其道，这使得Netze BW能够安装额外的馈电线并保持灵活性。

Netze BW的首席技术官Martin Konermann表示：“当ABB提及其在SF₆替代品开发方面取得的进展时，我们一下子就被吸引住。AirPlus可同时满足我们的两个使命目标：创新和环保。”

Netze BW和ABB同意在部分产品中采用AirPlus取代SF₆，表明这两种技术的控制面板甚至可以在同一开关柜系列中混合使用。这是在德国安装的第一台AirPlus GIS，也是全球第二台。

当然，试点开关柜已通过按照IEC标准进行的各种型式试验和例行试验。在完成安装和现场测试后，新开关柜于2016年6月通电，目前已投入运行。这一试点项目对于Netze BW和ABB而言均意味着成功，也是将新技术转换为标准产品的一个重要里程碑。

03 AirPlus GIS 到达 Trochtelfingen 变电站

04 在 Trochtelfingen 变电站安装 AirPlus GIS





05

ABB的产品和解决方案

在2016年4月举办的汉诺威工业博览会上，ABB宣布推出两款采用环保型绝缘气体AirPlus的开关柜产品。这两款产品是更广泛的AirPlus产品组合的首批型号，开辟了中压市场GIS技术的新纪元。

ZX2 AirPlus

ZX2 AirPlus是采用新型AirPlus绝缘气体的主配电柜，它基于采用单、双母线配置，闻名业界的ZX2高端SF₆ GIS。首先推出的AirPlus版本，其IEC等级可以达到36 kV，短路电流31.5 kA，额定电流2000 A，包括多种柜型。

虽然GIS内部组件因使用AirPlus气体而进行了调整，但产品外观保持不变，这样可以确保用户继续受益于ZX2久经考验的紧凑设计。

AirPlus 不需要比 SF₆ 更多的安全措施，它属于几乎无毒类物质，具有与 SF₆ 相当的容许暴露限值。

鉴于主开关柜使用寿命长达40多年，属于长期投资，ABB可视情况提供ZX2 ReadyforAirPlus——这对于计划日后转用AirPlus的用户而言是理想选择。ZX2 ReadyforAirPlus出厂时配备SF₆，但如果客户需要，可随时切换至AirPlus。

—
05 ABB 的 ZX2 GIS 比其前身更为紧凑

SafeRing AirPlus

SafeRing AirPlus是ABB的二次配电环网柜（RMU），采用新型AirPlus绝缘气体。与广为人知的SF₆绝缘的SafeRing/SafePlus产品一样，它的尺寸同样紧凑，首款产品的IEC等级达到24 kV，短路电流16 kA，额定电流630 A。最重要的负荷开关和断路器单元支持各种共气箱配置，可满足典型应用的要求。

在 2016 年 4 月举办的汉诺威工业博览会上，ABB 宣布推出两款采用环保绝缘气体 AirPlus 的开关柜产品。

由于AirPlus需要对现有的RMU进行更广泛的重新设计，所以断路器以及负载断路器均基于真空技术。通过这种方式，可立足可靠的真空开断技术实现切换，AirPlus气体仅用作绝缘介质。

AirPlus技术的普及

ABB相信AirPlus有助于减少电网对全球变暖的影响，因此希望尽可能多的用户能够受益于这一创新技术。有鉴于此，ABB决定开放相关专利，邀请其他制造商加入AirPlus之旅。

AirPlus是ABB替代中压开关柜中SF₆的环保气体，其GWP低于1。通过将GIS技术提升至更高水平，有助于进一步减少电网的碳足迹。ABB已推出采用这种环保绝缘气体的首批产品，并将在今后数年内进一步壮大AirPlus产品阵容。与此同时，由于额定电压最高等级的开关柜和特殊开关柜仍需使用SF₆，ABB还将继续进一步降低GIS气体排放。这两项策略的结合，将有助于建设更绿色的未来和更美好的世界。

出版信息

编委会

Bazmi Husain
首席技术官
集团研发技术部

Adrienne Williams
可持续发展高级顾问

Christoph Sieder
企业传播负责人

Reiner Schoenrock
技术与创新传播

Ernst Scholtz
研发战略经理
集团研发技术部

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

出版人

《ABB评论》由ABB集团研发技术部出版。

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

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

部分印刷或复印需经认可。再版需经出版人书面同意。

出版人和版权©2017
ABB瑞士有限公司
瑞士巴登

《ABB评论中文版》

余臻
执行主编

毛旭之
主编

马林
责任编辑

审校

张轶博 韩方初

宛志宏 李军

龚雪 巫晓晖

董轩 王淑慧

崔大勇 王照

兰淑平 燕飞

赵馨 潘海霞

张炜昕 张莹

喻繁辉 邵晓南

声明

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

对文中有关内容的准确性以及所表达的观点，ABB不做任何担保、保证以及承诺。

ISSN: 1013-3119

http://www.abb.com/abbreview



平板电脑版
您可以在平板电脑上浏览《ABB评论》。

请访问：
abb.com/abbreviewapp

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

您将收到一封包含确认链接的电子邮件，请完成注册确认。



—
下一期 03/2017年

ABB Ability™

一直以来，ABB致力于推动数字化技术在各行业的应用，其在全球投入运行的互联设备总计已达7 000万套。但数字化转型还仅仅只是开始，下一期的《ABB评论》将基于最新的案例，着重阐述ABB如何携手客户利用云端收集、分析数据并将其应用于业务运营中。