

# ABB 评论

ABB集团技术刊物

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

## 中国特刊 与龙共舞

ABB在中国  
第5页

电力助推经济发展  
第16页

提高生产率  
第47页

ABB机器人  
第82页

The ABB logo is located in the bottom right corner of the page. It consists of the letters 'ABB' in a bold, red, sans-serif font. The 'A' and 'B's are connected, and the 'B' has a distinctive shape with a vertical bar on its right side.

# 中国特刊 与龙共舞

## ABB 在中国

5  
伴巨龙腾飞  
ABB 与中国合作走过百年历程

9  
电力和效率  
中国迎接美好明天

## 电力助推经济发展

16  
能源生产的变革之风  
迎接清洁绿色电网

21  
节约能源的有效途径  
三思后行方能减少能源浪费

28  
减轻输电阻塞  
ABB 柔性交流输电技术 (FACTS) 点亮城市之光

33  
断路器创新  
特高压开关设备服务中国电网

38  
身形小巧 性能优异  
空气绝缘变电站占地面积小, 且能为客户节约成本

43  
在更高层级上提高运行性能  
先进的热管冷却技术可将断路器性能提高 25% 以上

## 提高生产率

47  
摒弃有害化学物质  
ABB 实行绿色生产

50  
集成与独立的完美结合  
ABB800xA HI 系统助力控制系统更安全

55  
丝丝相扣  
ABB 先进的自动化系统轻松解决复杂工程

59  
生产效率大幅攀升  
控制室的工效学: 操控人员高效工作

64  
提高效率 减少排放  
涡轮增压彻底改造柴油发动机: 从污染走向绿色

67  
水泥行业的节能  
水泥生产商远离低效

73  
优化能源管理  
ABB 能源管理系统推动排污权交易 (并不限于造纸业)

77  
智能泵控制  
IPC 技术改善并联泵控制特性

# ABB 变压器设计中心落成仪式

Inauguration Ceremony of ABB Transformer Design Center



6

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

## ABB 机器人

82

拥有人类触觉的机器人  
ABB 机器人学会抛光技术

86

虚拟工程 (一)  
离线编程工具助力机器人更快适应应用环境

90

虚拟工程 (二)  
优化单元布置助力机器人提高工作效率

93

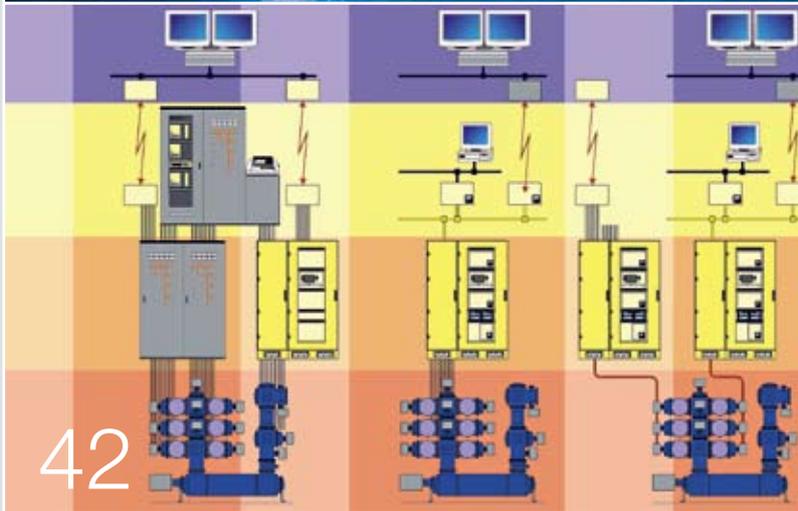
一张图片还是一千个词?  
基于图形的机器人编程以简化工作单元编程

96

点焊机器人热门技术  
ABB 机器人为汽车行业点焊提供解决方案



38



42





## 与龙共舞

在全球经济呈现强劲发展的国家之中，中国占据的位置无疑举足轻重。中国文化源远流长，在数千年的历史长河中，中国孕育了一个又一个伟大的发明，对全球科技的发展产生了巨大影响。秉承这一文化传统，中国在极短的时间内，迅速发展成一个生机勃勃的经济体。与西方神话传说不同，龙在中国被视为幸运和创造力的象征。回顾中国对外开放以来的几十年，中国龙已经开始腾飞，并且带动整个国家乃至更广泛的地区的经济迅速增长。

ABB 是电力和自动化技术领域的领导者，为全球经济提供亟需的产品、系统和服务。无论在世界的任何角落，只要客户需要电力，只要客户需要进行最高效的工业生产，ABB 都会为全球客户提供所需的解决方案和无与伦比的服务。ABB 技术已为众多的中国客户所采用，帮助中国龙跳出华丽的舞步。

在 ABB，我们拥有与龙共舞的感觉。中国对电力和高效的生产基础设施具有急迫而又巨大的需求，同世界其他很多国家一样，中国同样可从 ABB 长期的丰富经验中获益。

早在 101 年前，ABB 就开始向中国供应蒸汽锅炉，助力中国工业发展。今天，中国已成为 ABB 第一大市场。

作为活跃在全球 100 多个国家的跨国企业，ABB 拥有的技术组合与中国所面临的技术挑战高度相关。与此同时，ABB 在中国开发的产品和系统同样也可为其他国家提供技术解决方案。为了帮助中国实现远距离电力

输送的低损耗，我们需要寻找新的途径。为此而开发的技术同样适用于欧洲和美国的电力输送系统，因为这些发达国家高度重视降低电力损耗。另外，为中国特定生产需求而开发的机器人产品，很快也会出现在全球其他工厂之中。

这种双向的技术转移，构成了 ABB 与中国合作共赢伙伴关系的基础。

通过这本 ABB 评论中国特刊，我们希望向您概要介绍 ABB 可以向中国客户提供的技术，以及我们的技术在中国的成功应用，这样的事例几乎每天都在发生。

我们还希望您展示，我们在中国的研究中心和我们中国工厂的工程师们是如何与客户一起，帮助这个巨大的国家迅速获得令人惊叹的技术竞争力，并以这种竞争力辐射全球。

希望大家喜欢这份中国特刊。

柯睿思  
董事长兼总裁  
ABB（中国）有限公司

唐维诗  
首席技术官  
ABB 集团

# 伴巨龙腾飞

ABB 与中国合作走过百年历程

陆春华



1907年，一台蒸汽锅炉见证了ABB与中国的首次合作。一百年后的今天，ABB与中国的合作更为紧密。作为见证者，ABB目睹了中国翻天覆地的变化；作为参与者，ABB为中国众多重点工程建设做出了卓越贡献；作为合作者，ABB已然成为中国经济和工业发展的一部分。

## ABB 在中国

目前,ABB 在中国开展了包括研发、制造、销售和服务等全方位的业务活动,拥有 26 家合资与独资企业,在 60 个主要城市设有销售与服务分公司。2007 年 ABB 在中国的订单额达到 41 亿美元,销售额达到 34 亿美元,员工总量达到 12,800,使 ABB 中国在订单额、销售额和员工总数三个方面均位居集团首位,从而使中国成为 ABB 全球名副其实的第一大市场。

2008 年,ABB 的全球资源配置战略在中国继续快速发展,ABB 加速扩建位于中国不同城市的多家企业,在重庆成立了 ABB 变压器研究中心<sup>1</sup>,与天津滨海汇能投资股份有限公司共同在天津投资建立了一家合资企业——天津 ABB 开关有限公司。

ABB 中国目前不仅是 ABB 全球主要生产和采购基地之一,同时业已成为全球技术、人才和其他重要资源的重要贡献者。

### 合作共赢

中国宛如腾飞的巨龙,给世界经济注入了强劲的发展动力,同时也提供给 ABB 这样的跨国公司巨大的发展机会。依靠世界一流的技术和产品,ABB 业务伴随巨龙展翅翱翔。

事实胜于雄辩。自从在中国成立首家合资企业以来,ABB 在华员工从 1992 年的 354 人猛增至 2007 年的 12,800 人,在华累计投资额从 1992 年的 1000 万美元飙升至 2007 年的 8.2 亿美元。

与此同时,ABB 的本地化进程不断加速。目前,ABB 在中国 90% 以上的业务都是通过本地生产的产品和服务实现的。在华 13,000 名员工中,99% 以上都是中国人。ABB 中国还向包括美国、瑞士和瑞典在内的 15 个国家和地区出口配件、设计和技术服务。

**ABB 在华员工从 1992 年的 354 人猛增至 2007 年的 12,800 人,在华累计投资额从 1992 年的 1000 万美元飙升至 2007 年的 8.2 亿美元。**

ABB 集团高层也心系中国的发展建设,他们多次应邀参加北京、上海、重庆和广东等地方发展国际咨询会议,提出了很多切实可行的建议。

### 经济成就

中国经济的成功对于 ABB 而言确实受益匪浅。重庆 ABB 变压器有限公司便是中国政府批准的第一家生产

500 千伏电力变压器的合资企业。之后还得到了重庆当地政府的大力支持,为了帮助其运输大型超重的变压器,当地政府专门建设了一条从公司到港口的大件运输公路。

作为回报,重庆 ABB 变压器有限公司也不断引进先进技术,并不断更新变压器及电抗器设计及制造技术,以保证超高压电力变压器及电抗器的可靠质量。

作为对中国西部大开发战略的回应,ABB 最大单笔投资便落户重庆,使得重庆 ABB 变压器有限公司成为 ABB 全球最大的变压器生产企业。目前,ABB 在重庆和西安分别成立了两家合资厂,并且在乌鲁木齐、呼和浩特、成都、昆明、贵阳和南宁这些西部城市成立了分公司。

ABB 承诺在中国长期发展,致力于帮助中国增效节能和实现环境可持续发展。

### 巨大贡献

令 ABB 感到自豪的是,ABB 为中国的经济“动脉”建设做出了巨大贡献。这使 ABB 得以将自己的名字与一系列举世瞩目的重大项目紧密相联:北京奥运工程、三峡工程<sup>2</sup>、“南水北调”等。

<sup>1</sup> ABB 在重庆成立变压器设计中心



资料库 ABB 中国近期获得的主要合同

- 总额达 2.4 亿元人民币的订单,涉及上海、天津和深圳三地的地铁项目(2008 年)
- 为中国最大的半潜起重船提供电力推进系统,合同金额逾 2000 万欧元(2008 年)
- 为中国高速铁路动车组提供牵引变压器,合同金额达 1.96 亿元人民币的合同(2008 年)
- 赢得世界最长的 800 千伏超高压输电线路(四川至上海)订单,合同金额达 4.4 亿美元(2007 年)
- ABB 最大金属业务订单,来自沙钢集团 5600 万美元的合同(2007 年)
- 来自上海振华港机的 6500 万美元订单,为亚洲港口的 74 台船用起重机提供自动化控制和电力系统(2007 年)

北京已经向世界呈现了一个盛大成功的奥运会。ABB 以安全可靠的技术和产品，大力支持 30 多座北京奥运工程，包括奥运场馆（如鸟巢和水立方）、奥运电力设施（如朝阳 500kV 变电站）和公共与服务设施建设（如地铁和机场）。ABB 产品和技术通过增强电网可靠性和增效节能为“科技奥运、绿色奥运”贡献了自己的力量<sup>3</sup>。

凭借半个世纪的高压直流输电技术，雄厚的全球资源，ABB 在中国建成了三条高压直流线路（包括三峡至常州、三峡至广东和三峡至上海），从而为电力需求强劲的中国东部地区及时输送了清洁水电。这三条线路节省的电力损耗可供 50 万户家庭使用。

作为全球传动技术领域里的领导厂商，ABB 依靠其可靠、安全、高效的产品，赢得了向“南水北调”工程提供传动系统的订单。这一世纪水利建设工程完工后，每年将从水利资源丰富的南方地区向干旱的北方地区调水 448 亿立方米。

ABB 的自动化控制技术使得即便在平均气温零下 21℃ 的冬季，100 万哈尔滨居民可以全天候享受到 18℃ 以上的适宜室温。ABB 总承包的哈尔滨道里区域集中供热项目 2007 年全面竣工。该项目使用附近电厂的循环热水，每年节省燃煤 30 万吨，减少二氧化碳排量 50 万吨。

为了满足中国客户对节能产品的需求，北京 ABB 电气传动系统有限公司 2008 年进行了第三次扩建。扩建后，ABB 大功率变频器的产能将增加一倍。据测算，自该厂建立以来，其变频器产品已经累计为中国客户节约了 350 亿千瓦时的电能，可以满足北京、天津、上海和重庆全部家庭一年的用电量。

在上海，经过一年多的不懈努力，ABB 本地定制的自动化解决方案于 2007 年底帮助上海罗泾港成为了全球第一个自动化散货码头，年吞吐能力因此大大提升，将达到 3780 万吨。

中国目前很多大城市正在加紧建设地铁和轻轨交通网。ABB 已为中国众多的地铁项目提供了不同的解决方案，包括广州、北京、深圳、上海的地铁项目以及天津轻轨项目，ABB 产品和技术均保持了良好的安全运行记录。

ABB 参与中国重点工程的故事还会继续延续下去，公司也持续不断将更多业务和最新技术引入中国。作为回报，ABB 也不断在中国赢得一个又一个大单 资料库。

## 研发在中国

研发是 ABB 保持业内技术领袖地位的基石。2005 年 3 月，ABB 在北京成立了中国研究中心并在上海设立了分部，

这是 ABB 在华发展过程中迈出的坚实一步。研究中心的成立使 ABB 能更好地了解，预见和支持中国在电力和自动化技术领域的未来发展需求。作为 ABB 全球研发网络的一部分，中国研究中心主要致力于输配电、制造技术和机器人技术的研究。

ABB 还在中国的各业务部门中建立了研发团队，以保持市场领先地位。成立于 2007 年的 ABB 北京高压技术中心便是其中之一。该研发中心为中国市场带来了突破性的高压技术，同时还为 ABB 全球的高压技术中心开发做出了很多贡献。这个团队主要开发 live and tank 断路器、气体绝缘开关、仪表变压器、电容器、surge arrestor 和线缆配件等产品。

另外，在中国的每个 ABB 企业也都配备了优秀的技术团队。2008 年，ABB 变压器设计中心落户重庆，使得重庆 ABB 变压器有限公司发展成为可以提供设计、生产、工程服务和绝缘材料的全球变压器生产基地。事实上，该中心已为 ABB 瑞典、德国和美国等国的客户进行了变压器设计。

2006 年早期，ABB 将全球机器人业务总部搬到上海，体现了 ABB 中国业务的市场趋势和战略重要性。2007 年，ABB 最新型号机器人加盟中国“本地

2 三峡大坝



3 ABB 中国的成功源于优秀的人才



## ABB 在中国

制造”，主要生产大型工业机器人和机器人控制器。

随着 ABB 研发团队的扩大，技术研发能力不断增强。2007 年，厦门 ABB 开关有限公司以大胆创新的解决方案成功完成广州 110kV 江南变电站开关柜增容改造项目。公司通过全方位技术交流和详细的现场勘查，提出了创新性的解决方案。该方案充分利用厦门 ABB 中压开关柜模块化的结构特点，通过更换个别组件的方式，满足了扩容及控制、保护综合自动化改造要求，从而实现了对整个系统进行升级改造。既帮助客户节省了近 500 万元的费用，又将整体改造工期缩短到了 4 周。

**ABB 变频器产品已经累计为中国客户节约了 350 亿千瓦时的电能，可以满足北京、天津、上海和重庆全部家庭一年的用电量。**

另外一个案例则源自北京 ABB 电气传动公司的研发中心。该中心主导开发了全球新产品——机械传动的纺机应用软件，成为一项拥有领先地位的新技术，为纺织工业的增效节能带来了机会。

ABB 高度重视研发活动，即便在困难时期，也始终保持研发投入。这使 ABB 得以保持一贯的竞争优势，帮助

客户增效节能，增强电网可靠性，同时提高工业生产率。

### 优秀企业公民

ABB 积极承担社会责任，致力于在中国成为一名优秀的企业公民。为此，我们在中国开展了一系列社会活动，涉及支持教育、环境保护、社会公益等。

ABB 将人才视为公司最宝贵的财富之一，因此我们高度重视教育。我们在中国帮助和支持那些有才华却有困难的大学生们实现他们的理想；我们在重庆和厦门与当地技校合作设立“ABB 教学班”，联合培养青年技工人才；我们还在山西河曲县援建了南也爱心小学。

ABB 致力于创造一个更加美好的世界，因此参与了各种环境保护活动。我们与主要客户——内蒙古电力公司在鄂尔多斯联合开展了沙地治理项目；我们捐资参与了三峡库区周边绿化带示范区的建设。

作为负责的跨国企业，我们以可持续的方式向所在的社区贡献自己的力量，参与各种社会公益活动。当中国面对大灾大难的时候，我们及时伸出援助之手；不管是非典、海啸、雪灾，还是地震<sup>4</sup>，ABB 始终心系灾区，捐钱捐物，同时派出技术人员到现场提供一线服务；我们也十分关注弱势

<sup>4</sup> 四川汶川大地震后，ABB 工程师前往绵阳供电局现场抢修受损的高压断路器



群体，我们在上海捐资改善敬老院的生活设施。

另外，ABB 在华员工甘当社会志愿者。他们在厦门参与了生命之水志愿者行动，与当地高校学生和市民一起携手清理厦门大学水库周边的外来物种——马缨丹；他们走入上海国际特奥会，向那些特殊运动员提供细心体贴的服务。

ABB 与中国合作已经走过百年历程，双方的合作共赢将会进入下一世纪，以及更远的未来。



**陆春华**

ABB (中国) 有限公司  
中国北京  
chunhua.lu@cn.abb.com

# 电力和效率

中国面临的挑战

Friedrich Pinnekamp, 刘文汇

中国是世界上人口最多的国家，拥有 13 多亿人口，占世界人口总量的 20%。正因如此，中国已成为仅次于美国的世界第二大能源消费国。自 1980 年以来，中国经济快速增长，相应推升了能源的生产和消费。到 2030 年，中国对一次能源的需求量可能将比目前翻一番。

对于发展如此强劲的国家，商品消费和基础设施建设需求将成为经济繁荣的推动力量。为此，需要更多能源以提高人民生活水平，并进一步提高工业生产率。

## ABB 在中国

**中**国的电力行业一直竭尽全力满足各方需求——能源需求的增长已超出供应增长的步伐。这与上世纪90年代后期的情况恰恰相反，当时的问题是电力供应过剩。中国的快速发展、人口结构的改变以及经济转型，推动了能源消费的迅速增长，对能源供应提出了新挑战。

到目前为止，煤炭仍是中国的主要能源。对于这种“非清洁”能源的过度依赖，代价十分高昂，因此政府计划加大力度利用核能、水电和天然气等更清洁的能源，以实现能源供应的多样化。尽管中国在很多能源生产所需的资源方面拥有丰富储量，但这些资源储藏区域却与主要能源消费中心相距甚远。随着工商业的进一步发展，要求对发电和输配电基础设施进行大量投资。

政府致力于实现能源多样化、提高能源利用效率、扩大能源网络覆盖的范围、以及限制快速发展对人类和环境所造成的不良影响。

**迅速攀升的能源需求：趋势与预测**  
上世纪90年代后期，由于能源供应过剩，政府对燃煤火力发电厂的审批进行了控制。之后，供需形势迅速发生了逆转。

2003年和2004年夏季，能源短缺迫使中国三分之二的省份实行拉闸限电和配额用电措施。之后，电力生产的增长速度达到了最高水平<sup>1</sup>。根据美国能源信息管理署（EIA）预测，从现在开始到2030年，中国能源消费增长的速度将达到世界平均增速的两倍<sup>1</sup>。

### 随着工商业的进一步发展，要求对发电和输配电基础设施进行大量投资。

这种快速增长已使中国跻身能源消费大国行列——接下来的五年、十年甚至是二十年中，这种趋势还将一直保持下去。

#### 推动能源需求增长的因素

生活水平的提高，特别是中国东部地区，极大改变了人们的消费模式，使人们得以更多享受现代商品和服务。这一因素与中国在全球出口商品制造业中的地位交替作用，推动了工业的快速增长——自1980年以来，中国工业每年的增长率达到10%左右。最近几年，建筑业和基础设施建设的大力发展，使工业用能源需求达到极高的水平。过去几年，建筑、道路和工厂领域的固定资产投资规模巨大，而这些

脚注

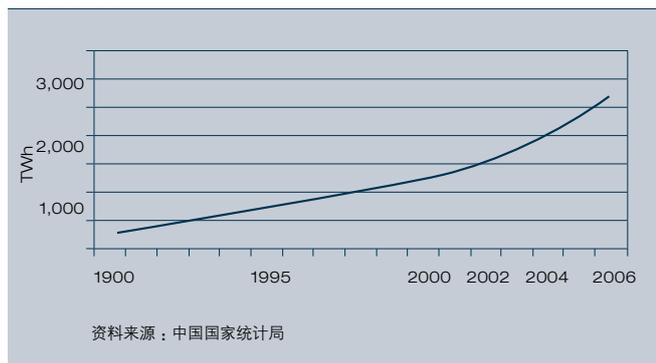
1) 大部分的报告数据源自 IEA《世界能源展望2007》，重点聚焦于中国部分。

都是高度能源密集型的行业。建筑行业的繁荣以及与国际标准相比仍然偏低的能源利用效率，造成了中国能源需求的上升。

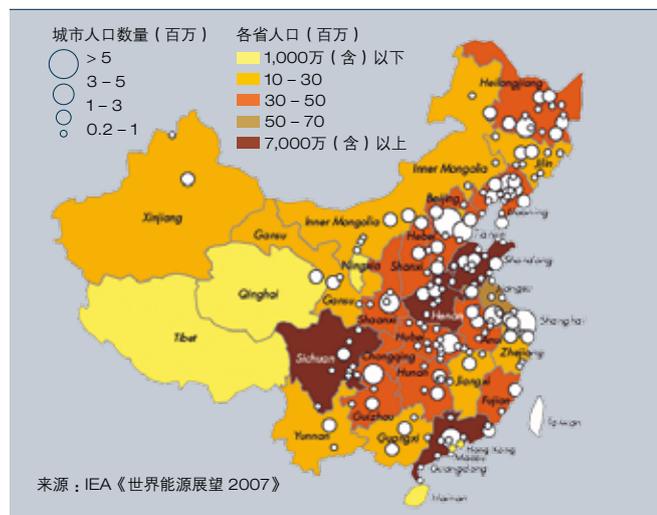
尽管工业消费大约占中国新增能源需求的三分之二，但家庭消费也是一个需要考虑的重要因素。家庭能源消费也在稳步上升，未来数十年，这种上升趋势很可能一直保持下去。中国中产阶级的兴起已开始对能源需求形成冲击。中国越来越富裕，对汽车的需求以及因住房面积增大而增加的电力需求等将持续上升，石油和电力的需求量也将因此上升。城市化也对能源需求构成巨大影响<sup>2</sup>。目前，只有42%的中国人口居住在城镇，低于世界平均水平（约50%），更远低于发达国家超过70%的城市化水平。随着中国的发展，越来越多的人口将向城镇集中。

在中国，城镇和农村地区的能源消费差异显著。农村居民目前的能源消费量比城镇居民低40%。由于成本高昂，并且难以获得商品能源供应，农村居民目前通过直接燃烧生物质燃料和煤的方式以弥补商品能源供应的不足。如果将这种效率低下且易产生污染的非商品能源利用计算在内，农村居民消费的能量实际上比城镇居民高出

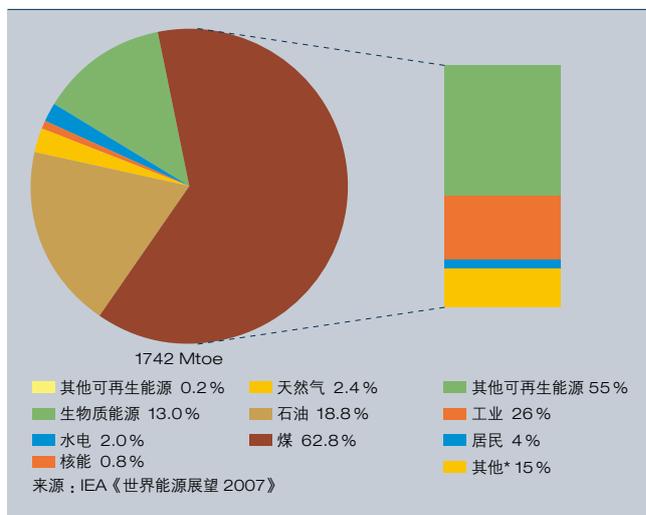
1 中国的发电量



2 中国的主要城市



3 中国一次能源需求量



三分之一。为了减少因直接燃烧生物质燃料和煤而造成的浪费、污染以及健康危害，政府计划向农村提供商品能源。城市化进程的发展也会加大这一趋势。中国庞大的人口规模，意味着城市化、农村电气化和中产阶级的兴起等人口统计特征的改变，都将对中国乃至全球的能源市场产生巨大影响。

能源供应方面的基础性变革促进了需求领域的变化。日益上升的能源需求，将通过政府部门的一系列努力和私营部门的发展予以满足。

### 增效节能

过去几年，在各项举措中，增效节能的重要性日益凸显，已成为确保能源安全同时解决环境问题的主要途径。早在 1998 年，中国颁布了旨在提高能源利用效率和促进使用节能技术的《节约能源法》。2004 年，《节能中长期专项规划》颁布实施，该规划为工业、运输和建筑行业设立了具体的能源效率改进目标。这些法律法规与其他文件一起，为实施各种技术措施提供了指南，以实现到 2010 年将单位 GDP 能耗降低 20% 的目标（“十一五”计划提出的能源目标）。随后制订的国家计划受到了政治家们的大力推动，这些

政治家们努力促进相关法律法规和计划的贯彻落实。

### 从煤炭转向“清洁”能源

中国最重要的能源是煤炭<sup>3</sup>。中国拥有巨大的煤炭储量，也是世界最大的煤炭生产国和消费国。政府正努力减少煤炭在各种燃料中所占的比重，但煤炭的绝对数量仍将上升，而且直到 2025 年之前，煤炭仍将保持中国最主要能源的绝对地位。根据十一五计划，煤炭在在能源组合中所占比例将从 2005 年的 63% 上升至计划期结束时的 66%。

### 中国拥有巨大的煤炭储量，也是世界最大的煤炭生产国和消费国。

中国煤炭储量十分丰富，分布在全国各个地区<sup>4</sup>。但沿海地区的电力需求量最大，而煤炭储量却很少。因此，需要建设超长距离的输电线路，将西部的电厂与东部的能源消费中心连接起来。

石油是中国的第二大能源。上世纪 90 年代，中国的石油产量翻了一番，但仍赶不上需求上升的步伐——目前

中国是全球石油需求增长最快的国家。过去十年，中国已成为石油的净进口国。

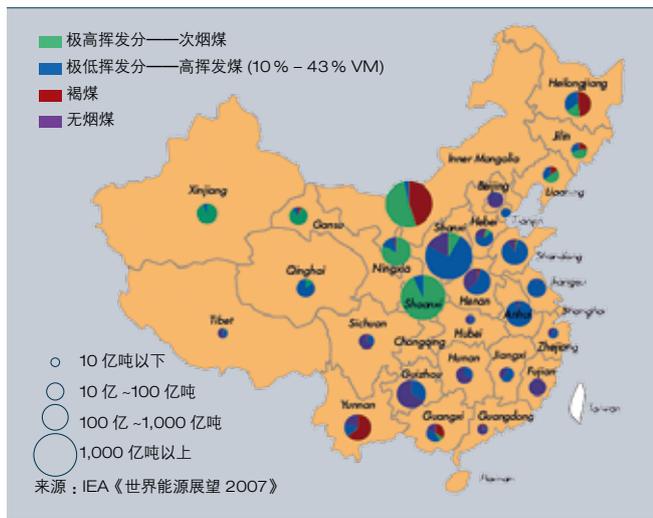
预测到 2030 年，中国石油需求的 84% 将依赖进口。

中国下一个最重要的能源是水电。中国拥有世界上最丰富的水电资源。这是一种十分重要的能源，根据十一五计划，水力发电在全部能源中所占的比例将上升至 7% 左右。三峡项目可能是中国为开发水电资源所做努力中最著名的例子。三峡项目的装机容量达 18,200 兆瓦，计划 2009 年完工，届时可以满足中国现有电力需求量的 3%。除三峡项目外，沿黄河在建的还有 25 个较小的项目（15,800 兆瓦），在 Hongshu River 上还有另外一座装机容量为 5,400 兆瓦的电站正在建设。装机容量分别为 14,000 兆瓦和 6,000 兆瓦的溪洛渡电站和向家坝电站也已开工。

天然气目前所占的份额还很小。中国西部及俄罗斯等邻国的天然气储量都很可观。越来越多来自新疆地区及从外国进口的天然气将被用于发电。天然气具有一个明显优势，它燃烧起来

## ABB 在中国

4 中国的煤炭资源



5 中国的核电站



比煤更清洁。作为今年举办“绿色奥运”的举措之一，北京大幅提高了天然气在能源生产中所占的比例。

和天然气一样，核能仅占目前能源生产很小的一部分，但将在今后几年得到飞速发展<sup>5</sup>。目前中国大陆上已投入运行的核反应堆为 11 座，在建的核反应堆有 6 座，另外还有几座即将开始建设。另外一些核反应堆也在计划之中，其中包括一些世界最先进的反应堆。到 2020 年，核电装机容量将比现在增加六倍，至少达到 50 GWe，也有可能达到 60 GWe。之后，核电装机容量将再增加三到四倍，到 2030 年将达 120GWe-160 GWe。根据十一五计划，核电在整个能源组合中所占的比例将达 1% 左右。

### 能源输送：电网

中国沿海和东南部城市经济发达，因此耗能最多，但中国巨大的能源蕴藏量却主要集中在远离上述地区的西部。现有体制的问题之一，是各地都从本地区出发来考虑问题，地区之间缺乏足够的联系和协调。政府计划到 2020 年前建立统一的国家电网，按照市场定价售电。这是更好平衡中国能源供需之间矛盾的主要举措之一，其关键部分是“西电东送计划”，通过在北部、

中部和南部建设输电干线，将能源丰富的西部发电站（厂）与能源短缺的东部连接起来。2020 战略计划还规划建设与北边邻国俄罗斯和南边邻国泰国之间的连接。

**健康与环保：能源生产的隐性成本**  
中国政府十分清楚能源生产系统所带来的严重环境问题，包括矿物燃料在生产、转换、运输和燃烧过程中对大气、水和土壤造成的污染。政府还对那些同样受到其他国家关注的潜在负面影响，包括废物处理、温室气体排放、大型水电项目引起的生态系统改变等问题，进行认真评估。

大气污染仍然是中国面临的主要问题之一，政府为此进行了多方面的努力，例如：

- 将工厂迁移到人口比较稀少的地区
  - 在可能情况下，尽量以天然气代替煤作为燃料
  - 停止了一些环保不达标的大型项目
  - 颁布实施了新的汽车排放标准
- 到 2010 年，二氧化硫等主要污染物排放量应比 2005 年下降 10%。

可再生能源或不含二氧化碳的能源将被置于优先发展地位，但在相当长的

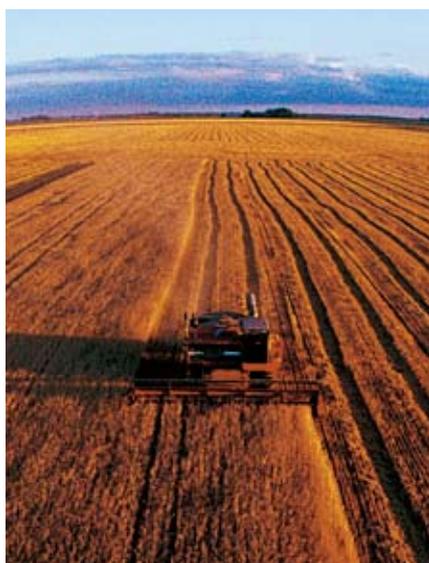
时间内，这些能源所占比例还会保持在很低的水平。水力发电仍然是最大的替代能源，政府计划到 2020 年前新增 300GW 的水力发电能力。但是，如此大规模的水电开发还需解决一些难题。

中国早在 1998 年就已成立国家气候变化协调办公室，该办公室于 2007 年发布了第一个行动计划，旨在缓解气候变化。该行动计划包含了一系列由总理亲自挂帅的行动方案。

### 工业生产率

中国过去十年的增长主要源自工业生产率的增长<sup>6</sup>。消费的迅速增长，催生了更多的产品和服务需求，为加工业和制造业的发展创造了机会。随着生活水平的提高，人们要求有更好的住房和交通工具、更好的工作条件和更安全的环境。现代生产技术可以与增效节能设备一起，提高生产率，改善产品质量，降低每吨产品的能源消耗量。中国致力于实现能源需求增长与能源供应（以电和热的形式）能力之间的平衡，因此采取这些措施十分必要。

工业是消耗能源最多的行业，所消耗的能源占能源消费总量的 68%；其次是居民和商业，能源消费量占总量的



11%；运输行业的消耗量占 8%。预计到 2020 年，工业仍将是主要的能源消费行业，但运输和居民的消费量将呈上升趋势。

在工业领域，化工行业（包括石化行业）的能源消费量占工业能源消费总量的 24%，金属行业（包括冶炼和压制）占 20%，非金属行业（包括水泥、造纸和纸浆、食品和纺织行业）占 20%。化肥、钢铁和水泥分别是上述三个行业最大的能源消费者。

### 中国的化肥行业

以能源消耗量标准来衡量，中国最大的工业子行业是化工行业，其中化肥又是该子行业中最大的能源消费者。

近 1,000 家小型工厂以及以煤为原料生产合成氮肥，是导致中国化肥行业生产效率低下的主要原因。美国几乎全部使用天然气作为原料，而中国却主要使用煤炭。中国氮肥生产的能耗比美国高出 25%，因而存在显著的节能潜力。

### 中国的钢铁行业

钢铁行业消耗的燃料占工业燃料消耗总量的 28%。中国目前是世界上最大

的钢材生产国，2007 年的产量达到约 5 亿吨，占全球钢材产量的 34%。

但是，中国钢材生产消耗的能源高于其他国家，这主要是因为中国的高炉产能低、连铸率低、铁钢比高。

**中国沿海和东南部城市经济发达，因此耗能最多，但中国巨大的能源蕴藏量却主要集中在远离上述地区的西部。**

中国目前有 6,686 家钢铁企业，其中 58% 的企业位于沿海地区。但是，中国政府正极力推行钢铁行业的合并整合，因此，到 2010 年，前 10 大钢铁企业的产量将占全国总产量的 50% 以上。根据最近公布的计划，中国将在南部广西壮族自治区港口城市防城港建设一个年产能达 3,000 万吨的大型钢铁厂，总投资达 300 亿美元。

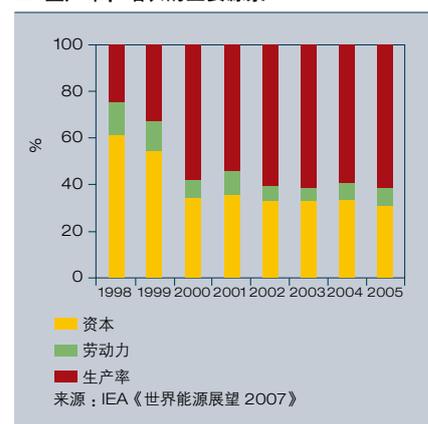
### 中国的水泥行业

中国是世界最大的水泥生产国，水泥产量占全球产量的 40% 左右，连续多年位居世界第一。中国的水泥消费量每年大约增加 14%，2006 的消费总量达 12 亿吨；另一方面，水泥产量保持

快速增长，2006 年总产量达 12 亿吨，增加 15%。2006 年，受益于房地产业的发展 and 国民经济的快速发展，水泥市场的巨大需求使水泥行业回归繁荣。

尽管中国政府过去曾大力减少水泥制造商的数量，但中国大多数水泥制造商都是小型工厂，采用效率低下的立窑进行生产。预计到 2020 年，较大型干法窑的产量才能占总产量的 40%。正因如此，水泥行业消耗的能源占全部非金属行业所消耗能源总量的 77%。在水泥行业的全部生产成本中，能源成本所占比例仍达到大约 40%，这确实表明了该行业在提高能源利用效率方面存在的巨大潜力。

6 生产率：增长的主要源泉



## ABB 在中国



随着中国西部大开发战略、振兴东北老工业基地战略、城市化进程、西气东输工程、北京奥运会和 2010 上海世博会相关工程项目的实施，预计中国水泥需求量还将持续上升。

#### 中国的纸浆与造纸行业

过去 20 年，中国纸张消费量增长了 4,500 万吨，2006 年的消费量达到 6,000 万吨，造纸行业也随之大幅增长。中国已成为世界上继美国之后的第二大纸张消费国，也是全球最大的纸张进口国，年进口额超过 70 亿美元。

中国有数千家纸张和纸板生产企业，但其中只有少数企业的年产能超过 20 万吨。世界上一些最先进的造纸企业现已落户中国。

中国的造纸行业经历了消费量和产量的双双快速发展，因此很多领先的造纸企业已开始引进新型生产线，导致产能的过度扩张，这种情况在 2005 至 2006 年度特别严重。另外，国际纸业巨头已登陆中国，在中国投资设厂。中国将继续扩大其国内造纸能力，努力减少进口纸张的数量。但是，中国受到纸浆短缺的限制，预计到 2010 年纸浆的进口量将增至 1,000 万吨。

过去 10 年，中国经济增长的主要动力源于工业生产率的提高。

#### 中国的汽车行业

中国的汽车行业也经历了一段高速发展期。自 1990 年以来，汽车数量增加了几乎七倍，从 1990 年的 550 万辆增加至 2006 年的约 3,700 万辆。绝大多数新增汽车是轿车。中国分别于 2004 年和 2006 年超过德国和日本，成为世界第二大汽车生产国。预计中国将在 2015 年前后超过美国，成为世界第一大汽车生产国。据 IEA 预计，到 2030 年，中国的汽车保有量将超过 2.7 亿辆。韩国和日本过去在汽车制造方面的发展历程有目共睹，中国很可能经历与他们相同的发展模式，最终变成汽车出口国。

#### 运输行业

2006 年，中国运输行业的能源消耗总量共计 1.3 亿吨石油当量 (toe)，占全国能源消费总量的 8%。由于运输服务业的高速增长，预计运输行业所消费的能源在最终能源中所占的份额将有所上升。据估计，到 2015 年和 2030 年，运输行业的能源需求总量将分别达到 2.4 亿和 4.6 亿吨石油当量。

#### 中国的港口

中国港口行业取得了飞速发展。1999 年至 2003 年，年增长率达到 16%。2007 年，中国的货物贸易总量超过 2 万亿美元，同比增长高达两位数。沿海港口的货物吞吐能力已达 50 亿吨。上海的集装箱能力将成为继新加坡之后的第一大集装箱港口，世界前 20 大港口中，有 7 个在中国。中国正逐步成为世界最大的航运中心。

#### 对电力和效率的需求

未来几十年，预计中国的经济仍将保持高速增长，这意味着能源行业也将继续扩张。与中国能源行业的规模和增长速度相比，发电和用电效率太低，能源的环境成本和健康成本太高。尽管代价很高，但中央政府为引导能源行业发展努力的方向是正确的。实现能源多样化、提高生产标准、逐步采用市场定价、以及改进地区之间协作，这些都将有助于中国能源行业的健康发展。

在可预见的将来，工业仍将是最大的能源消费者，但居民和运输行业的能源消费量将迅速上升。今后 10 年，中国需要建设大量的能源基础设施。煤炭仍将是主要的能源，石油和天然气将紧随其后。

能源行业面临着众多挑战，其中包括：能源供应地远离能源消费中心。最大且发展最快的工业中心位于最发达的东部和东南部地区，能源的运输和输送将成为主要瓶颈。

工业必须提高能源利用效率，逐步提高生产率，使之达到一流水平。这要求引进并广泛采用先进的生产和管理技术。

所有行业都必须付出巨大努力，以减少污染，保护环境。

作为电力和自动化技术领域的全球领导厂商，ABB 致力于为工业和电力行业客户提供一系列的产品、系统和服务，助力中国客户完成这些极富挑战的任务。

本文基于《ABB 评论特别报道：ABB 在中国》（2005 年）的稿件

**Friedrich Pinnekamp**

ABB 有限公司

瑞士苏黎世

friedrich.pinnekamp@ch.abb.com

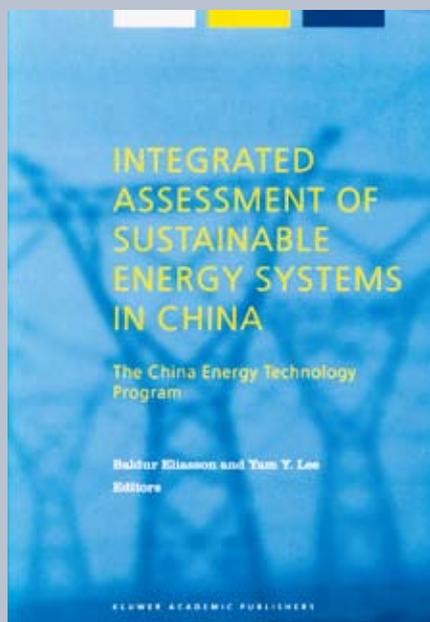
**刘文汇**

ABB（中国）有限公司

中国北京

isabelle-wenhui.liu@cn.abb.com

## 中国能源技术计划



全球电力需求不断增长，温室气体的排放给环境造成重大影响，其中电力生产的绝大部分来自一次能源资源。在全球可持续发展联盟的支持下，中国能源技术项目（简称 CEPT）将考虑可再生能源的替代策略作为研究重点。该项目由 ABB 牵头，参加合作的有世

界著名的大学和三家中国的研究中心。研究目的是了解和分析一系列可持续发展的电力方案从始至终的影响，重点放在位于北京和上海之间经济蓬勃发展的山东省。

70 多位来自三大洲从事电力工作的科学家、工程师和大学教师以及客户和消费者都对这个历时三年涉猎广泛的研究项目做出了贡献。研究成果于 2003 年出版，题目是“中国持续发展能源系统的综合评价”。

在这份已出版的研究报告中，CEPT 项目小组提出了他们的综合性看法，不仅考虑了短期技术经济参数，而且考虑了各种可用方案的长期环境方面的情况。对山东省的研究，结果是令人鼓舞的，现扼要总结如下：

■ 生产更多电力，同时减少空气污染，不仅经济上是可行的，同时具有良好

的社会效益；

■ 现在已经有经济效益好的方法和技术，这些方法和技术可以降低空气污染，稳定温室气体的排放。

该研究项目开发出来的技术、工具和方法当然能够普遍应用于与山东形势类似的地方。中国或其他地方的决策者将能够更明智地进行决策，选择适当的电力生产技术。正如时任中国科技部秘书长石定寰先生所表示的：“阅读过这本书的决策者肯定会觉得，在规划能源生产可持续发展系统，支持中国发展目标方面，这本书极其宝贵。我感到非常高兴参与了这个成功的项目，期待未来能够继续参与国际合作。”



# 能源生产的变革之风

面向未来的可持续发展能源  
Markku Rissannen, 刘璿

能源需求持续增长，对于中国这样快速发展的经济体，情况尤其如此。如此巨大的能源需求与环境要求经常发生冲突。减少温室气体排放的压力迫使人们提高现有能源利用效率，同时开发可持续发展的替代能源。秉承“最绿的能源是节省下的能源”这一理念，ABB 积极拓展增效节能和可再生能源领域。

全世界普遍认识到，人类活动将对环境造成影响，这一事实增强了人们开发利用可再生能源的兴趣，而这也是 ABB 长期以来所关注的重点领域。发展最早也最成熟的可再生能源是水电，但其他可持续能源近期也得到了发展，其中应用最广泛的是风能、太阳能以及生物燃料的深度利用。潮汐能和地热也受到越来越多的关注，但这类能源短期内不会扮演重要角色。

## 风能

很多人可能并不知道，ABB 是风力发电建设项目的

主要供应商，曾为许多风力发电建设项目提供了除风轮机叶片和塔架之外的几乎所有设备<sup>1)</sup>。ABB 是 1MW 到 5MW 发电机的大型供应商。利用风能发电时，风机驱动发电机，将动能转化成电能。

ABB 提供的电机、变频器、变压器、开关设备、变流器、低压设备和发电厂解决方案，帮助客户实现高效发电和高质量的电能管理。

## ABB 是风力发电建设项目的

主要供应商。在风塔中，升压变压器将发电机产生的 690V 电压提升到常用的输电线路电压等级，如 33kV。ABB 是全球领先的升压变压器供应商。低压设备为系统提供继电保护，同时在风塔中应用换流器，可提高电能质量并减轻对齿轮箱的压力。

风电场通常坐落在远离用户的偏远地区，海上风力发电场尤其如此。偏远

■ ABB——风力发电产品和系统的全球领导者



地区发电场所生产的电力必须经过高效的远距离传输给陆上用户——通常是远离海岸的内陆地区。ABB 为该种电力传输同时提供交流电缆和直流电缆。由开关设备、中压开关、变压器和控制设备构成的电能控制平台上与风机相连，经过控制平台后，电压等级被进一步升高。然后，电力在陆地上通过三相交流电缆传输或者进一步转换为直流电后通过 HVDC Light<sup>®</sup> 传输系统传输<sup>1)</sup>。

### 资料库 无功功率补偿

无功功率描述了电力系统中的功率损耗，它由系统内部电场和磁场的相互作用而产生。电力系统中的无功功率会引起电压下降并抽取电流，使人们误认为它们会消耗功率，但他们实际上并没有消耗功率。这种“想象中的”或者说“幻想中的”功率以乏 (VAr) 来计量。这是一个非常重要的参数，因为必须有它的存在，才能保证电网电压的持续和稳定。如果电网中的设备未能就近获得足够的无功支撑，他们会通过输电线路从其他来源获取无功功率，导致电网失稳。对无功功率的正确管理，对保持电网稳定和避免潜在的大面积停电至关重要。

总体而言，交流系统适于短距离电力传输和小型风力发电站，而直流系统则适于长距离电力传输和大型风电场。当使用远距离输电电缆将数百公里外的发电机与距离最近的电网相连时，HVDC Light<sup>®</sup> 系统拥有独特的优势。由于输电电缆允许被埋入地下，因此在规划架空电缆输电线路受限时，该系统具有明显优势。

为了保证电能质量，减少可再生能源电力系统中普遍存在的电压闪变现象（交流电压波动），ABB 为交流传输系统提供了静止无功补偿装置 (SVC)<sup>2)</sup>，以提供快速反应的

无功功率补偿<sup>资料库</sup>。此外，ABB 的 Network Manager<sup>™</sup> 监视控制与数据采集系统 (SCADA) 可以对当今复杂电网中不断变化的需求进行监控和管理。ABB 专业人员还将协助规划者，对风电单台整套设备或者风电场的整体建设进行前期调研和成本核算，并提供其他相关的服务支持。

ABB 的优势在于能够为风力发电领域技术和电气方面的挑战提供全套解决方案，特别是使风力发电系统所生产的电力顺利接入电网。风力发电的主要问题之一，是电力供应的不均衡——因为没有风，就没有电——而且风机对电网端部扰动（电网末端常常不稳定）非常敏感，这种扰动会导致机组被迫停机。

### 脚注：

- 1) HVDC：高压直流
- 2) 静止无功补偿器单元利用断路器调节电压，吸收或者提供无功功率，以维持系统稳定。

## 电力助推经济发展

风能对于全球环境非常重要。对于类似中国这样的国家，鼓励发展可持续能源以满足能源需求的不断增长至关重要。

位于上海以北的江苏龙源风力发电场始建于2005年，有67台风电机组被接入电网<sup>2</sup>。选择这个地区的原因在于人口稀少，并且能够获得持续的海风。项目初期，ABB根据自己多年在欧洲风力发电场中积累的经验，为项目提出了实用建议。ABB为该风力发电场提供了电力设备，包括一个具有配网变压器组和环网柜的紧凑型二次变电站。这些设备由上海ABB变压器有限公司和北京ABB高压开关设备有限公司生产。这些设备将电力从风电场输送到本地输电网络，每年向电网输送大约230,000 MWh的清洁电能。由于替代了大量矿物燃料发电，这个风力发电场每年可减少约20万吨的二氧化碳排放。

### ABB中国提供的设备将电力从风电场输送到中国本地输电网络。

尽管目前全球风力发电份额占总发电量的比例还相当小，但正处于高速发展阶段。中国是全球发展最快的风能发电市场，过去7年，年平均增长速度达56%<sup>3</sup>，2007年底的风电装机容量

量已达到5.9 GW，根据中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会（CREIA）预测，到2015年，中国风力发电的装机容量将达到50 GW。

尽管目前大部分风力发电场都建设在陆地上，但海上风力发电场更加高效，因为近海处风力更加强健、持续性也更强。海上发电场日渐增多，ABB领先的专业技术将继续在风电场到电网的高效输电领域发挥重要作用。

欧洲最大的风力发电场是德国电力公司E.ON位于德国北部海岸之外的Borkum项目。该风电场距离海岸约130公里，拥有80个风机，装机容量达400 MW。该项目采用ABB的HVDC Light传输技术，将风电接入德国电网<sup>4</sup>。

中国也正计划建设类似的大型海上风力发电场。这些风电场将建在紧靠中国东部人口密集的电力负荷中心，在这里供应清洁电能将大大减少所需的常规电站数量。当然，中国对HVDC Light传输技术并不陌生。自1989年以来，中国国家电网公司（SGCC）已经与ABB一起建设了4条HVDC输电线路，将位于西部1,000公里之外的三峡水电站生产的清洁水电能源输送到沿海的上海、广东和常州。

最新的技术进展进一步提高了电力传输距离。国家电网公司和ABB正共同建设第五条高压直流输电线路——一条连接中国西南部向家坝水电站与上海的800 KV特高压直流（UHVDC）输电线路，输电距离超过2,000公里。这将成为世界上最长的输电线路，连接偏远地区的水电站与中国东部人口密集地区。这种可持续发展的发电方式，每年可节约燃煤4,000至5,000万吨，同时减少二氧化碳排放量一亿吨。

### 太阳能

除风力和水力发电外，中国还积极推动太阳能的开发利用。根据中国标准化协会统计，北京奥运村约90%的生活热水利用太阳能加热，奥运场馆周围80-90%的路灯利用太阳能供电。尽管目前太阳能利用规模还很小，但已有在全国推广此类项目的计划，包括在全国主要城市推广使用太阳能路灯。

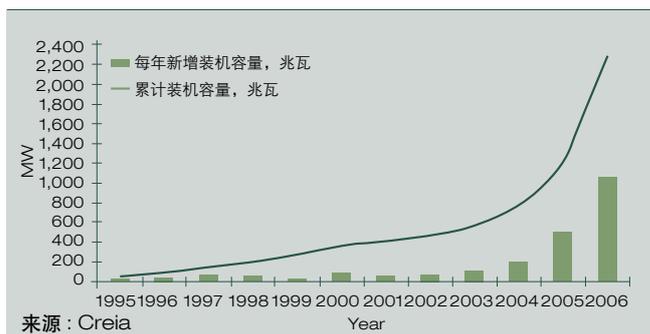
太阳能利用包括三项主要技术：

- 太阳能供热：利用太阳能集热器加热液体介质，加热后的液体介质将被用于供暖等有热量需求的地方。
- 光伏发电（PV）：利用太阳能电池将辐射的太阳能直接转换成电能。
- 太阳能热发电：利用聚焦的太阳能将水转变成蒸汽，然后蒸汽推动汽轮机产生电能。

2 位于中国东海岸的江苏龙源风力发电场



3 中国的风力发电市场



4 通过ABB提供的海底电缆连接的海上风机



尽管太阳能发电发展速度落后于风电和水电，但在中国有巨大的发展潜力发展。中国三分之二的国土面积每年日照时间超过 2,000 小时，这一数字高于许多同纬度的欧洲地区。这意味着中国拥有相当于 17,000 亿吨标准煤的太阳能储量。

**太阳能电站生产的电能将通过 ABB 提供的电力变压器、换流器、电机和其他变电站设备并入当地电网。**

中国已成为太阳能市场上的中坚力量之一。最新的市场调查显示，中国的太阳能电池产量已经超过了日本和德国，并且中国的太阳能电池在全球太阳能市场上占据了主导地位。

尽管绝大多数太阳能发电装置的功率都小于 100 kW，但也有一些兆瓦 (MW) 级的发电装置。事实上，最近美国宣布了建造 300-500 兆瓦的太阳能电站计划，该计划将于 2011 年前后完成。凭借在电力及自动化产品与系统领域的全面技术解决方案，ABB 将为此类项目提供专业的支持和服务。

采用了 ABB 产品的一个大型太阳能电站位于西班牙南部的 Andasol 太阳能电

5 面向太阳安装的槽式抛物面集热器



站。计划将于 2009 年建成的这座位于安达卢西亚的 Sierra Nevada 太阳能电站将成为欧洲最大的太阳能电站，同时这也将是全球最大的太阳能发电站之一。它将成为欧洲首个采用槽式集热器收集太阳能且发电能力达到商业规模的太阳能电站，同时它也是全球仅有的第二座槽式太阳能发电站 5。

Andasol 1 号和 2 号电站的装机容量均为 50 MW，他们通过槽式抛物面镜将辐射的太阳能聚集起来用于发电。该项目采用了能够追踪太阳的槽式反射镜技术收集太阳辐射能量用于加热，反射镜将太阳辐射能量聚焦到安装于反射镜焦点位置的集热管。流经集热管的热流体将被加热产生蒸汽，蒸汽然后推动汽轮机发电。这两座电站的年发电量为 350 GWh，足够提供 10 万户的家庭用电，并且每年减少 345,000 吨温室气体排放。电站的控制系统采用 ABB 的扩展自动化系统 800xA 和 Power Generation Portal 软件。太阳能电站生产的电能将通过 ABB 提供的电力变压器、换流器、电机和其他变电站设备并入当地电网。

类似功率等级 (100 兆瓦到 300 兆瓦) 的太阳能发电站在世界其他地区也正在筹划建设中。

### 生物燃料

生物燃料是另一种可持续能源，汽车工业对其尤为感兴趣 6。可供选择的用于制取生物燃料的原料相当广泛，但不同原料的能效等级和可持续性各不相同。

根据《国家可再生能源产业发展指导目录》，中国将重点发展生物乙醇和生物柴油制备技术、蔗渣热电联产技术 (CHP)、农作物秸秆发电、生物质固化成型燃料、垃圾填埋气利用、中型和大型沼气项目和家用小型沼气池开发。

**中国拥有全球最大的生物乙醇厂，以玉米为原料，年产达 3.5 亿升。**

巴西目前是全球最大的生物燃料乙醇生产国，以甘蔗为原料，每年生产约 1,400 万立方米乙醇。长期以来，美国一直是第二大乙醇生产国，但现在美国以玉米为原料生产的乙醇，产量已经与巴西不相上下。中国生物燃料工业正处于快速增长的过程中，吉林燃料乙醇有限公司于 2004 年建成了全球最大的生物乙醇厂，以玉米为原料，年产达 3.5 亿升乙醇。在欧洲，生物燃料制备最活跃的国家包括西班牙、法国和德国。

## 电力助推经济发展

6 汽车保有量持续增长，特别是在中国这样的国家



ABB 为德国、泰国、加拿大和美国的生物燃料制备工业提供了控制系统和仪器仪表<sup>6</sup>。绝大多数工厂使用了具有 AC800M 过程站和通讯现场总线的 ABB 自动控制系统 800xA。

沼气是一个快速增长的生物燃料市场。中国发展沼气发电的目标是，到 2010 年和 2020 年，通过沼气发电的“并网容量”分别达到 0.8 GW 和 3 GW。另外，到 2010 年和 2020 年，垃圾填埋气发电

将分别达到 0.2 GW 和 1.0 GW。预计到 2010 年，中国使用的生物燃料将占全国可持续能源总量的 18%，这一数字将保持至 2020 年。ABB 的专业技术将为沼气发电的自动化过程提供控制系统和仪器仪表，以及接并电网所需的电力设备。

### 中国可再生能源市场前景

2005 年，中国的能源消耗中有 7.5% 来自可再生能源，相当于 1.66 亿吨标准煤，

7 ABB 为生物乙醇制备提供的解决方案



因此减少了 4 亿吨二氧化碳排放。据中国政府预测，到 2010 年，中国能源总消费中将有 10% 来自可再生能源，而到 2020 年，这一数字将上升至 16%<sup>8</sup>。这意味着到 2010 年，中国消费的可再生能源将相当于 3 亿吨煤，并减少 6 亿吨二氧化碳排放。

中国政府预计，到 2010 年，能源总消费中将有 10% 来自可再生能源。

新技术与创新将帮助世界各国降低对化石燃料的依赖。ABB 提供的能源供应解决方案，使其具有明显的技术优势，致力于共同创建更加绿色的未来。

8 中国可再生能源发展规划

项目	2000	2005	2010(计划)
<b>发电</b>			
1. 水电 (兆瓦)	79,350	110,000	190,000
2. 并网风电场 (兆瓦)	340	1,260	10,000
3. 未并网风电场 (兆瓦)	30	50	75
4. 光伏 (PV) 发电 (兆瓦)	19	70	300
5. 生物质燃料发电 (兆瓦)	170	2,000	5,500
生物质燃料 (10 亿立方米)	3.5	8	19
农村的生物质燃料 (百万户)	8.5	18	40
<b>供热</b>			
1. 太阳能热水器 (百万平方米)	26	80	150
2. 地热 (千吨标准煤)	1,200	2,000	4,000
<b>燃料</b>			
1. 乙醇 (千吨)		1,020	3,000
2. 生物柴油 (千吨)		50	200
<b>合计 (百万吨标准煤)</b>	<b>12</b>	<b>16.6</b>	<b>30</b>

数据来源：国家发展与改革委员会颁布的《可再生能源发展十一五规划》

Markku Rissanen

刘璿

ABB 中国研究中心

中国北京

markku.rissanen@cn.abb.com

aiken-xuan.liu@cn.abb.com

# 节约能源的有效途径

增效节能的 ABB 产品帮助全球客户减少能源浪费  
苏斌, Markku Rissanen

当今时代电力变得日益重要。大多数一次能源被转化为电能，以满足对能源的迫切需求。而能源的低效利用意味着五分之三的能源被白白浪费。提高能源利用效率，不仅有助于节约有限的矿物燃料，而且可以帮助减少碳排放。

有效利用能源被认为是解决能源危机的一种可行方案。从能源生产到最终使用的每个环节都存在巨大的节能潜力。ABB 一系列的产品和服务能为发电、输配电到用电等环节的增效节能做出贡献。



## 电力助推经济发展

**能**源利用效率低下导致的能源损失十分巨大。通过提高从发电到用电的各个环节的效率，可以防止不必要的能源浪费。通过安装使用能源利用效率高的设备，像中国这样经济快速增长的国家可以降低对能源的需求，并减少有害物质排放<sup>■</sup>。迄今为止，煤是中国用于发电最主要的能源，占全国能源消耗量的65%，占全球煤消耗总量的28%。显然，如果中国和其他国家和地区采用效率最高的发电技术和设备，将会显著降低火力发电对矿物燃料储量及环境的不良影响。

### ABB 燃烧管理软件可以通过优化火力发电厂的燃烧过程提高效率。

#### 发电

优化能源转化过程可以大量节省能源损耗。鉴于用于这种用途的燃料数量巨大，即便稍稍提高效率，也可产生巨大的综合效应。

燃烧是火力发电中最重要的工艺之一。水经过加热后变成蒸汽，推动与发电

机相连的汽轮机。该过程的控制十分复杂，但在这方面进行改进，对于提高整个发电厂的效率至关重要。

ABB 燃烧管理软件包具有如下功能：改善锅炉控制；对火焰质量实施监控；检测和控制燃料流和空气流，以提高燃烧效率；减少氮和一氧化碳排放量。

燃烧管理软件的核心是 optimax 燃烧优化器。为了通过闭环控制优化燃煤锅炉的燃烧效率，ABB 神经网络模型对燃烧过程中变量众多的、非线性的关联关系进行了模拟。这种模拟方式特别适合难以用数学模型描述的复杂燃烧过程。燃烧管理中采用的模型预测控制（MPC）是系统生成的一种多变量动态控制器和优化器，可以利用动态反馈数据对模型进行更新。该软件拥有一项独特功能，即具有自我学习并预测趋势的能力，可以减少对条件变化的响应时间，从而提高效率。

以一套安装在欧盟的经过优化的600兆瓦机组为例，上述优化具有如下好处：

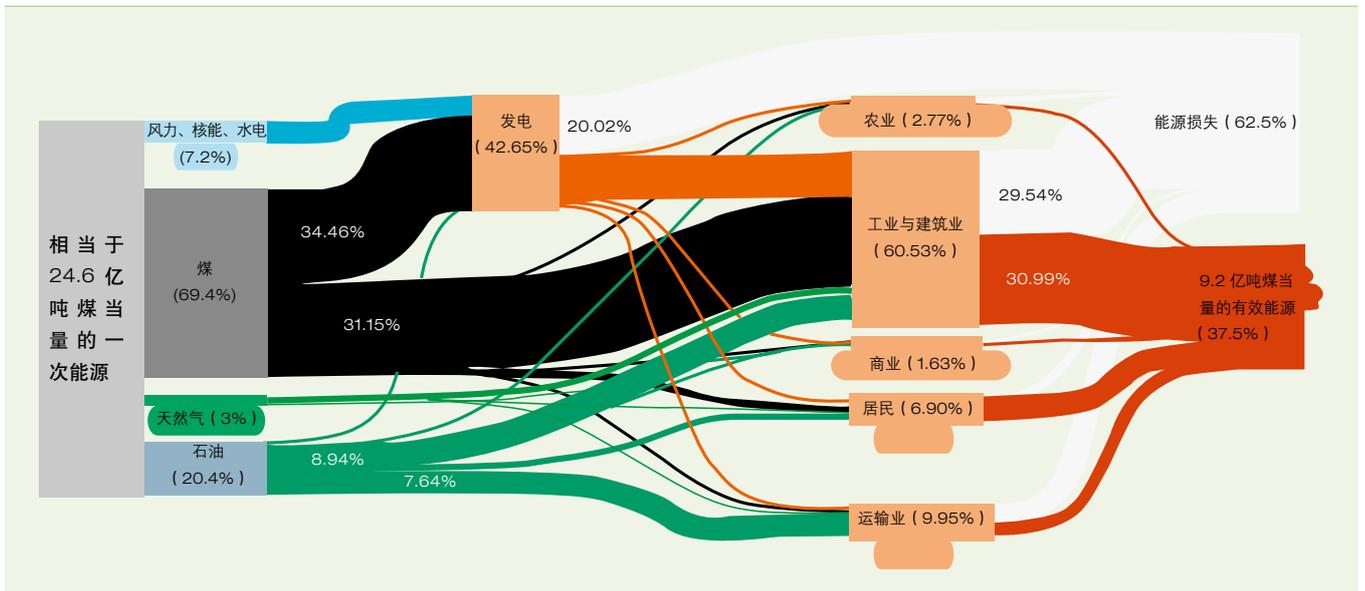
- 在其整个使用寿命中，价值8,000万美元的二氧化碳证书<sup>1)</sup>
- 电厂的输出功率增加15兆瓦以上
- 电厂的效率提高1.5%

ABB 在中国哈尔滨建立了一个大型区域供暖系统，利用过去被冷却塔浪费掉的余热，为当地居民供热。

优化燃烧过程仅仅是提高能源利用效率的措施之一。火力发电厂一般在蒸汽通过汽轮机做功后，将剩余热能经过冷却塔后直接排放到环境中去。这些未被利用的余热造成了巨大的能源浪费。2007年，ABB 在中国哈尔滨建立了一个大型区域供暖系统，该系统包括一座新型中央热电联产（CHP）电厂，利用过去被冷却塔浪费掉的余热，为当地居民供热。

这种热电联产发电厂和区域供暖网络不再需要专门用于居民供热的锅炉，减少了传统发电厂中的能源浪费，从而有助于减少能源消耗和综合排放。

1 2006年中国能源流图（数据来源：中国国家统计局）



## 输配电

现在，电力常常需要经过远距离传输，才能从发电站/厂到达用户。与传统的交流输电系统相比，高压直流（HVDC）输电技术损耗的电能较少，是目前效率最高的大容量远距离电力输送技术。ABB 在中国已建成的三条 ±500 kV 高压直流输电线路将三峡水电站与东部的用户连接起来。与容量相同的交流输电系统相比，其节约的电能数量惊人，相当于一座 300 兆瓦发电厂的发电量。传统的 800kV 交流输电线路每 1,500 公里损耗的电能约为 7%，而 ±500 kV 高压直流线路输送同样距离所损耗的电能仅为 6%。如果采用 ±800 kV 特高压直流（UHVDC）

输电系统输送 6GW 电力，可以进一步将传输损耗降低至 5%。

### 开发 800 kV 特高压直流输电技术需要确保所有设备进行重新设计和测试，以实现高压情况下的可靠性。

开发 ±800 kV 特高压直流输电技术的关键在于绝缘和主回路的设计，以实现高可靠性。

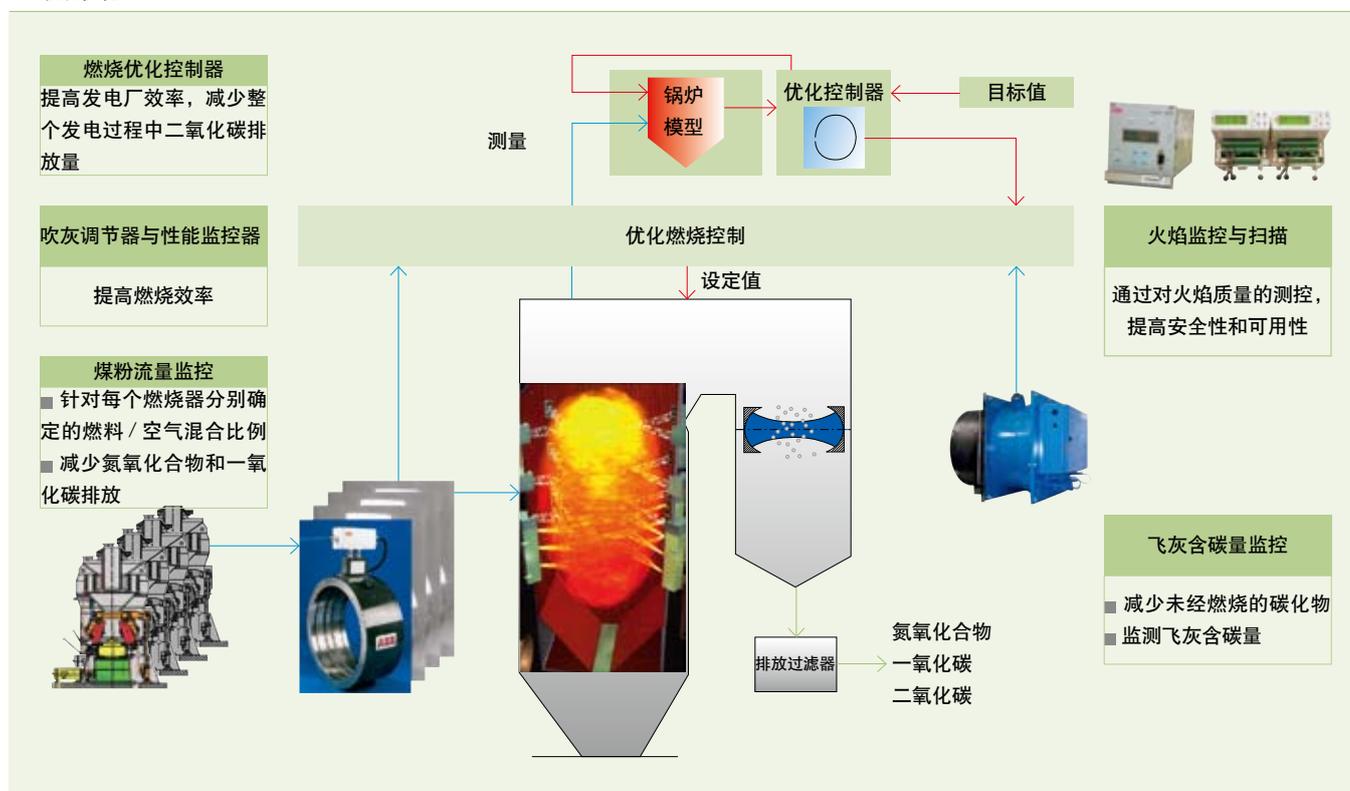
针对 ±800 kV 特高压直流输电系统，ABB 设计、制造了专用的变压器、变压器套管、阀站中的穿墙套管、换流阀、分压器、避雷器、直流滤波电容以及

能承受如此高电压的绝缘子，并对这些产品进行了测试。

为了实现更高的可靠性，主回路采用专门设计的换流站<sup>3</sup>。换流站采用两个串联的 400 kV 12 脉波换流器。如果一个换流器发生故障，另一个换流器可以继续传输一半的额定功率。±800 kV 特高压直流输电技术的可用性可达到 99.9%。

中国正建设全球第一套 ±800 kV 特高压直流输电系统，并将于 2010 年投入运行。该系统从位于中国西南地区的向家坝大型水电站向东部的上海输送电力，输送距离高达 2,000 公里。

## 2 燃烧优化



### 脚注：

- 1) 二氧化碳证书可用于《京都议定书》倡导的排放量交易。每吨二氧化碳给定一个交易价格（譬如 20 欧元），那么，23 万吨二氧化碳排放相当于 460 万欧元（550 万美元）。
- 2) 无功功率用于描述系统中的电磁场所导致的功率损耗。电力系统中的无功负载会降低电压和吸收电流，结果形成一种错觉，好像它们消耗了功率（实际上没有）。这种“想象的”或者“幻象的”功率以无功伏安（VAr）计算。

## 电力助推经济发展

**HVDC Light®( 轻型直流输电系统 )** 建造大型海上风力发电设施的主要困难之一,是如何将风电场所生产的电能可靠而高效地输送到电网中。在电网本身比较薄弱的情况下,这种电力传输尤其困难。HVDC Light® 输电系统可以可靠地进行远距离电力传输,将海上风电场所生产的电能输送到距离遥远的人口聚居区,从而提供可持续发展的能源解决方案,以满足不断增长的电力需求,同时不增加二氧化碳排放量。HVDC Light® 输电系统的这种功能基于电压源换流器 (VSC) 和交联聚乙烯 (XLPE) 直流电缆。

HVDC Light 输电系统可以可靠地进行远距离电力传输,将海上风电场所生产的电能输送到距离遥远的人口聚居区。

HVDC Light® 输电系统中采用的 VSC,对有功功率和无功率<sup>2)</sup>均可独立控制,可提供最佳的功率组合,以稳定电网<sup>4)</sup>。对于电网电压和频率的控制,以及稳定风场固有的功率波动,这种控制功能都至关重要。

XLPE 直流电缆可以避免交流电缆中的无功充电功率,实现高效的远距离电力输送<sup>5)</sup>。在开发 XLPE 直流电缆过程中,必须克服两个主要障碍:

1. 必须避免绝缘层中产生空间电荷,因为这会在局部引起无法控制的强电场,导致介质击穿。
2. 必须避免因阻抗随温度变化而引起的电压在绝缘层外层的不均匀分布。德国电力公司 E.ON 已与 ABB 签订合同,由 ABB 提供电力设备,将世界最大的海上风电场与德国电网连接起来。该风电场位于离北海海岸大约 130 公里的海上,由 80 个 5 兆瓦的风力发电机组构成。发电机组所发的电能首先接入一个 36 kV 的交流电缆系统,升压至 154kV 后,再被馈入 HVDC Light® 输电系统的海上工作站。接收站建于陆地上,位于离海岸 75 公里的 Diele,电力在此处被输入 380kV 的德国电网 [资料库](#)。

### 配电变压器

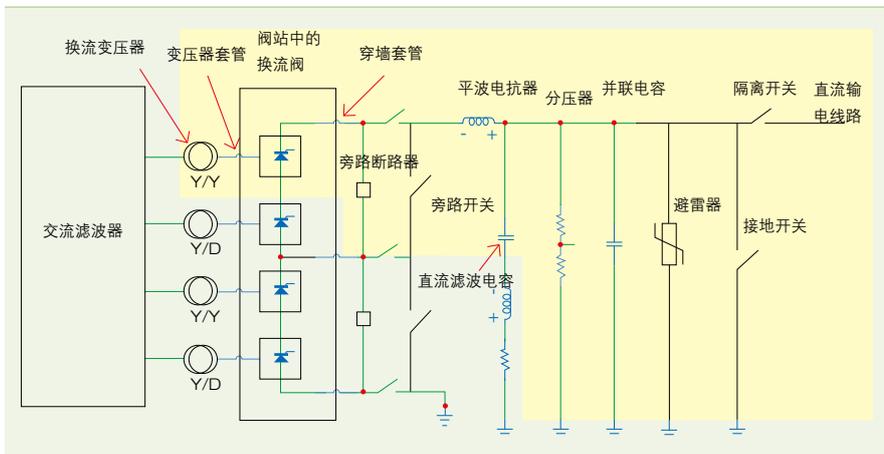
配电变压器是电网中第二大电能损耗源,所损耗的电能仅次于输电线路。现有的现代化技术最多可以将此类损耗降低 80%。据估计,如果在全球范

围内采用高效变压器,节省的电能至少可达 200 TWh。配电变压器的电力损耗由空载损耗<sup>3)</sup>和负载损耗<sup>4)</sup>构成。使用高性能钢材制作变压器铁芯,可以降低空载损耗。多年以来,人们开发了更适合变压器铁芯的钢材。利用各种处理和涂层技术以及硅含量的降低,人们已开发出了高磁导率晶粒取向硅钢片 (HiB)。在欧洲,这种钢材目前仍然是制造配电变压器的标准材料。上世纪 80 年代,人们采用激光蚀刻技术调整铁晶体的磁畴。最近,非晶态铁芯的开发使降低变压器铁损的技术迈上了一个新台阶。

ABB 在中国制造的 S11 型卷铁芯配电变压器受到广泛赞誉,可以帮助客户降低输配电过程中的电力损耗。

除选择合适的钢材外,设计、切割、制造和组装配电变压器的方式也在提高能源利用效率方面扮演着重要的角色。增加铁芯尺寸可降低磁场密度,提高能源利用效率。ABB 在中国制造的 S11 型卷铁芯配电变压器受到广泛

3 交流换流器到直流换流器



脚注:

- 3) 空载损耗: 设备以额定电压和频率运行、但不向负载供电时所产生的功率损耗。
- 4) 负载损耗: 变压器因绕组电阻产生的铜耗、绕组中的涡流损耗与杂散损耗之和。

资料库 德国电力公司 E.ON 海上风电场技术规范

主要参数	
试运行	2009 年
功率等级	400 MW
交流电压	170 kV (海上), 380 kV (Diele)
直流电压	±150 kV
埋地直流电缆长度	2 x 75 km
海底直流电缆长度	2 x 128 km

赞誉，可以帮助客户降低输配电过程中的电力损耗。

非晶态铁芯特别值得关注。采用非晶态铁芯的配电变压器的空载损耗可以比最好的传统产品降低 70% 以上，并且使 1,000 千乏变压器的效率最高可达 99.7%。这些变压器采用经极快速淬火（以避免结晶）的铁合金制成的非晶态铁芯绕组。目前已经证实，非晶态技术特别适合 10 MVA 以上的变压器，其应用范围正在逐步扩大。

### 用电

全球特别是中国对钢材的巨大需求，促使钢材制造商增加冶炼能力，并为此改善电力供应。遗憾的是，钢厂使用的电弧炉在操作时会引起电压波动，这种波动通常会引起电压闪变和其他供电质量问题。对于稳定性较差的电网，情况尤其严重。这种闪变不仅会影响其他电力用户，而且会降低电弧

炉自身的生产率和效率。静止无功功率补偿（SVC）<sup>5)</sup> 设备可以快速提供无功功率补偿，有效解决电压闪变问题，改善电弧炉的电力供应。ABB 是全球最大的 SVC 供应商，在用或在建的 SVC 设备超过 400 套。

### 供电质量和能源利用效率

ABB SVC Light® 技术专为解决电弧炉引起的严重电压波动而设计。这项新技术的响应时间不到 1 毫秒。与 HVDC Light 类似，SVC Light 采用由绝缘栅极双极晶体管（IGBT）这种高压开关器件构成的 VSC。这些开关器件可用很高的频率工作，并允许串联连接。SVC 中采用脉宽调制（PWM），开关频率达到千赫兹量级。这种高开关频率使 VSC 的输出电压十分平滑。SVC Light 的快速响应时间意味着它可以用作有源滤波器。在瑞典 Hagfors 的 Uddeholm Tooling AB 钢铁公司，一套额定参数为 10.5 kV、0 至

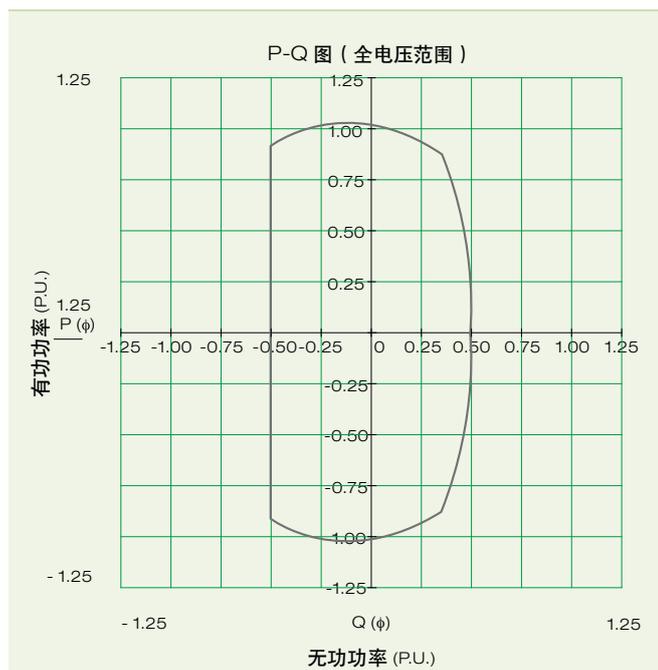
44 Mvar 的 ABB SVC Light® 设备于 1999 年投入运行 。

在 Uddeholm 工厂，我们分别对使用和不使用 SVC Light 有功功率消耗进行了测量。通过动态补偿使电压稳定，提高了电弧炉的有效功率。当 SVC Light 工作时，有功功率的增加使电弧炉的生产能力从每小时 27.5 吨上升至 31.4 吨。有功功率的增加，使电弧炉中的物料熔化更快，从而节约能耗。时间

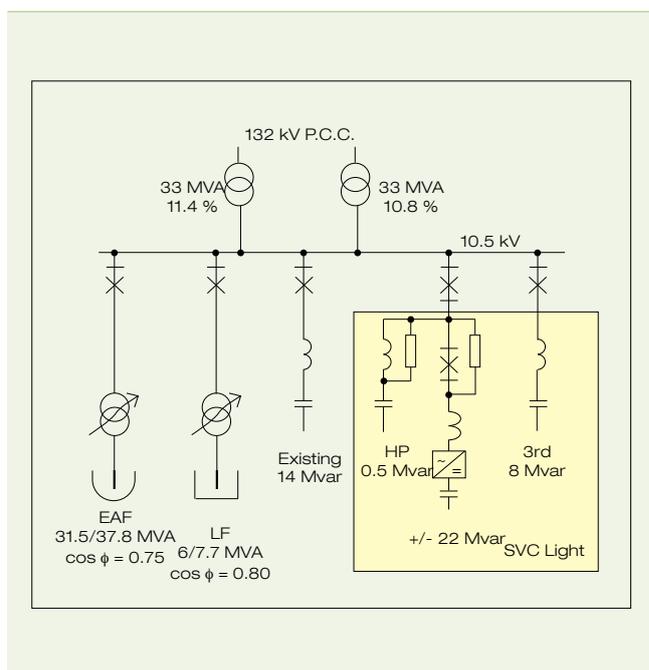
5) XLPE 直流电缆



4) P-Q 图



6) 装有 SVC Light 的系统单线图



脚注：

5) SVC 是一种设备，可快速提供无功功率，对电网的电压和电流波动进行补偿，从而使电网在保持安全容限和更高稳定性的前提下，输送更多电力。

## 电力助推经济发展

越长，节能效果越明显，最终可使熔化每吨钢材所消耗的电能减少 25 kWh，可为工厂经营者节省大约 4% 的能源。

**如果没有 SVC Light，靠近上海的张家港浦项不锈钢有限公司 (ZPSS) 将不能满负荷生产。**

SVC Light 已在中国安装使用。靠近上海的张家港浦项不锈钢有限公司 (ZPSS) 的工厂避免了电压波动和闪变，可以实现满负荷生产。如果没有 SVC Light，ZPSS 将不得不大幅降低产能，以达到有关闪变效应的行业标准。

### 智能化建筑

在中国，建筑物中因不必要的能源浪费而造成的损失可能达到成千上万亿美元。减少消费者的能源浪费，可从

源头上减少对发电的需求量。

ABB i-bus® EIB (欧洲安装总线) 是一种智能化的建筑安装系统，于世纪之交被引入中国。它可以提高办公楼、厂房和居民楼的安全性、效率、便利性和灵活性。该系统可控制照明、光线、供暖系统和空调系统，并可根据用户的要求订制。该系统十分灵活，可以根据各类建筑物的需要进行调整，包括居民楼和展览中心、旅馆、博物馆、学校、车库和会议中心等商业建筑。

自该系统被引入中国后，ABB i-bus® EIB 系统已被广泛应用于各种建筑物中，包括厦门展览会议中心、杭州大会堂、长沙展览会议中心、合肥展览会议中心、上海新国际博览中心、大连现代博物馆、国家图书馆、中央政府办公大楼会议室。一般而言，系统

运行半年所节约的能源就可以收回安装该系统的成本。安装本系统可以显著减少一国对能源的需求，尤其是对于中国这样幅员辽阔的国家情况更是如此。

### 绿色航运

世界大多数船舶大都以柴油发动机作为主要推进动力源。这些柴油机都存在一个理想的工作效率范围，在该范围内，燃料消耗和废气排放量达到最优状态。但是，一旦船舶的速度放慢，柴油机就不能工作在理想转速范围内。解决方案是设法使柴油机一直工作在理想转速范围内。

**在 Azipod 系统中，电动机安装在吊舱中。推进器直接与电机轴相连，而无需变速箱，因此可以达到更高效率。**

采用传统机械传动系统时，柴油机转速必须与螺旋桨转速保持严格的耦合关系，因此不可能使柴油机的转速保持在理想范围内。如果采用电传动 (发电机和电动机之间以电缆连接)，就不存在这种问题。当柴油发动机以恒定且最优的转速工作时，燃料消耗低于变速工作时的消耗。另外，在齿轮传动推进系统中，会出现减速和双引擎工作模式向单引擎模式转换的情况，必须对螺旋桨的速度和桨叶加以控制，以免柴油发动机过载。

在 Azipod® 系统中，电动机安装在吊舱中。推进器直接与电机轴相连，而无需变速箱，因此可以达到更高效率<sup>8</sup>。

通过滑环向 Azipod 电机供电，使 Azipod 单元可以 360 度旋转。由于 Azipod 系统采用定桨推进器，可以

7 ABB i-bus EIB智能建筑安装系统



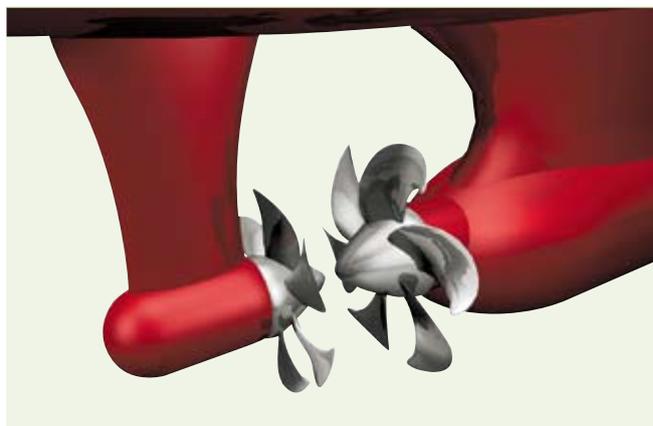
8 ABB Azipod 轮船推进系统



通过变频传动向 Azipod 单元供电，实现对传动器电机的速度控制。

对转推进器（CRP）可以进一步提高燃料利用效率。它可以改善推进系统的水动力特性，降低燃料消耗。CRP 理念巧妙地将传统推进系统与 Azipod 推进系统结合在一起。推进系统共轴排列，但相互之间不存在任何物理的连接<sup>9</sup>。Azipod 单元的牵引推进器与主推进器的旋转方向相反，主推进器由直接与柴油发动机相连的传动轴驱动。由于可通过拖动 Azipod 单元的旋转牵引系统来操作船舶，因此不需要传统的方向舵。为了更好地实现冗余配置，两台推进器分别由各自独立的电

9 对转推进器（CRP）



源供电。这种配置便于主推进器恢复前进方向的转速。

**对转推进器（CRP）将传统推进系统与 Azipod 推进系统结合在一起，可以将效率提高 5% 至 8%。**

三星公司和 ABB 所做的一项研究表明，这种新型推进系统提高效率的效果受船舶类型、船舶速度、功率等级和载荷等因素的影响。一般情况下，CRP 系统可以将效率提高 5% 至 8%。鉴于航运业消耗的矿物燃料占全球总量的 2% 至 3%，这种效率的提高对燃料消耗和废气排放量具有深远的影响。

在中国，ABB 的紧凑型 Azipod 推进系统已被应用于渡船和一条海洋监测船，节省了燃料消耗。预计在不久的将来，这项技术将被用于中国的超大型集装箱船、高速渡船和海上作业船。

#### 能源效率

提高能源利用效率是降低燃料消耗和减少碳排放的有效途径。采用能源利用效率最高的设备，将对降低矿物燃料消耗产生深远的影响，并有助于减少碳排放。对于那些经济高速增长的国家，能源效率更加值得关注。



苏斌

Markku Rissanen  
ABB 中国研究中心  
中国北京

bin.su@cn.abb.com

markku.rissanen@cn.abb.com

# 减轻输电阻塞

FACTS——减轻输电阻塞的关键

Rolf Grünbaum, Peter Lundberg, Göran Strömberg, Bertil Berggren



不管轻按开关打开电灯，还是现代工业给我们带来的丰富多彩的商品和服务，人们对可靠而不间断的供电已经习以为常，认为这是理所当然的。正是通过 ABB 提供的一整套产品和技术，才保证和改进了电力传输的可靠性。

当今社会对电网的要求正在发生改变。传统的输电方式（从发电厂到最近的大城市）正被更复杂的供电方式所取代。随着用电负荷的增长和电力交易的增加，更多的电能需要远距离传输。随着利用可再生能源发电力度加大，电网压力越来越大。

然而，这些清洁电厂都坐落在电网相对较弱的偏远地区。新的输电走廊的大规模建设往往不是最佳的选择，因为要综合考虑环境、占地、审批和造价等因素。一个解决方案就是充分利用现有的输电线路，同时不降低系统的供电可靠性。来自 ABB 的技术使这一切变为可能！

**输**电阻塞这一概念的定义是, 流过一个潮流传输断面的功率是有一定限制的, 或者说人们希望通过某一断面传输更多的功率。这种动机是因为这一断面两边的电能生产成本的差异——这种价格上的差异在当今规制缓和的电力市场中是透明的。换言之, 至少某一边的用户可以从购买另一边的便宜电能而获到好处。但是, 在这个交易成交之前, 还必须看一看输电网能否完成这个交易。

消除输电阻塞的传统作法是, 新增输电容量(例如增加新的架空线路)。虽然这种方法仍然可行, 但却变得越来越复杂, 因为常常会遭到公众的反对。新建输电走廊, 或者扩建现有线路的项目审批越来越困难和旷日持久。

一个可以延时甚至避免这种投资的办法, 就是充分利用现有线路, 使它更加灵活和可控。这可以通过在输电线路中安装柔性交流输电(FACTS, Flexible AC Transmission System)这样的控制设备, 以及各种先进的信号采集系统来实现。虽然从整体上来说, 这个概念已经得到了广泛的认可, 但是在如何实现上还存在着很多挑战, 值得我们关注。

消除输电阻塞的传统作法是, 新增输电容量(例如增加新的架空线路)。虽然这种方法仍然可行, 但却变得越来越复杂, 因为常常会遭到公众的反对。

利用 **FACTS** 装置, 减轻输电阻塞一般来说, 对不同的解决方案都需要进行认真地研究——而最终方案的选择则取决于物理上的限制。但不管怎么说, 考察这些解决方案的实际运行环境是完全一样的, 而且它们的控制策略也

都大体相同。一般而言, FACTS 装置校正控制的原理与图 1 所示类似。

一个故障处理过程的详细分析在超过 99% 的运行时间里, 控制系统的目标是使损耗最小, 并对相邻线路的环路潮流进行控制。当线路发生故障时, 控制目标马上变成使线路的电压、电流不超过设备的物理极限。当故障清除之后, 随之而来的是系统的暂态过程。在这个暂态过程中, 包括了第一周波摇摆的功角稳定问题; 功率振荡的抑制(POD, Power Oscillation Damping)问题; 电压稳定与恢复问题; 以及频率控制问题等。为了成功地平息故障, 要求 FACTS 装置的控制速度足够快。

10 到 20 秒之后, 系统暂态过程结束, 故障后阶段开始, 这时系统较慢的变化过程值得注意。此时的控制目标是针对这些慢变化过程的, 包括不超过线路的热稳定极限、电压支持(防止电压崩溃)和频率支持。

20 到 30 分钟之后, 系统运行人员就已经掌控了系统的状况, 并采取了正确的措施来稳定系统的状态, 即使设备再次发生故障, 也不会导致停运这样的严重后果。

FACTS 设备一般都采用校正控制策略, 它能提高故障前稳态系统的运行效率, 并能强有力地维持系统的安全稳定。而当系统发生严重故障时, 它也能为运行人员赢得尽可能多的宝贵时间。

不同的 FACTS 设备, 实现各个阶段的控制目标的方法不尽相同 1。FACTS 设备通常可分成串联补偿和并联补偿两大类。

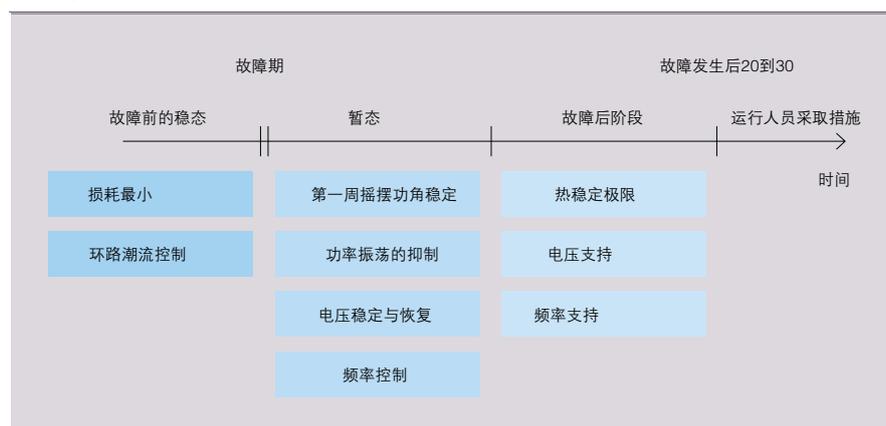
### SVC 和 STATCOM

静止无功补偿器(SVC, Static Var Compensators)和静止补偿器(STATCOM, Static Compensators)都是并联接入电力网的关键节点上。这两种设备都是利用电力电子器件, 动态地控制发出或吸收的无功功率。通过无功功率的调节达到控制系统电压的目的。另外, 它们还可以短期和长期的电压支持, 并且在暂态过程中还能抑制系统的功率振荡 [1]。

经典的 FACTS 设备, 静止无功补偿器 SVC 的主要功能, 如 [2] 所述。

STATCOM 2 是在电力电子技术中的电压源换流器概念的基础上提出来的。ABB 生产的 STATCOM, 被称为 SVC

1 校正控制的控制目标-正确地设定系统在不同阶段的控制目标的优先顺序, 是控制故障, 预防停电的关键



## 电力助推经济发展

Light, 采用了 IGBT 器件。这种换流器具有以下特点:

- 发生严重故障时提供强有利的电压支持
- 平衡非对称和快速变化的负荷
- 抑制功率振荡
- 谐波电流的有源滤波

SVC Light 的详细介绍可参见[3]和[4], 其中介绍了很多例子, 显示了它的优良性能。

在超过 99% 的运行时间里, 控制系统的目标是使损耗最小, 并对相邻线路的环路潮流进行控制。

### 带能量储存的 STATCOM

SVC Light 的一个可选的增强型是由串联电池组成的能量储存模块 [5]。所储存的能量的大小取决于性能与造价的优化。在典型工况下, 一般要求它的放电时间, 也就是发出最大有功时的运行时间, 为 15 到 30 分钟。能量储存模块也能使 STATCOM 在一段时间内发出或消耗有功功率。

电压源换流器 (VSC, Voltage Source Converter) 采用了多个 IGBT 器件的串联形式, 因此具有较高的性能和较大的功率。在对负荷进行供电的同时, 必须对电池的充电进行控制。它应用的一个典型例子, 就是与像风力发电机组这样的发电量起伏变化的可再生能源发电设备联合运行。能量储存模块所具有的调节负荷的能力, 使这些发电机组能够按照调度中心的调度命令, 按计划发出有功功率, 并在运行条件的限制范围内发出或吸收无功功率。

这样, 可再生能源发电机组通过和带有能量储存模块的 STATCOM 的联合运

2 静止补偿器 (STATCOM, Static Compensator) 通过发出或吸收无功功率, 实现电压的动态控制



行, 使我们可以像利用普通的发电厂一样, 使用这些原本断断续续的电源<sup>1)</sup>。

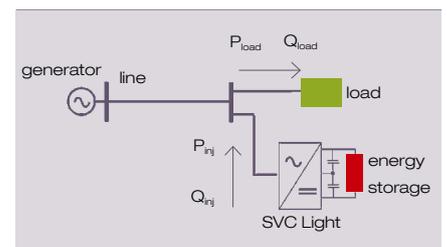
在电力系统中使用这些设备的另一个好处, 就是紧急状态下的黑启动, 或是利用现有的频率和电压控制实现网络的重构。利用 STATCOM 能同时调节有功功率和无功功率的特点, 能够更好地抑制系统的功率振荡。这就使系统传输的功率更大, 在一定程度上缓解了输电阻塞。

从原理上讲, 带有能量储存模块的 STATCOM 装置能够改变一个给定的潮流流过一个阻塞断面的时间 (假设该装置是安装在输电走廊的受电端)。在不发生阻塞时将电能储存起来, 当发生阻塞时, 通过电池放电将先前储存的电能释放出来, 以减少通过阻塞断面的潮流。当然, 从整个电力网的角度来看, 为了达到消除阻塞的目的, 所需要的

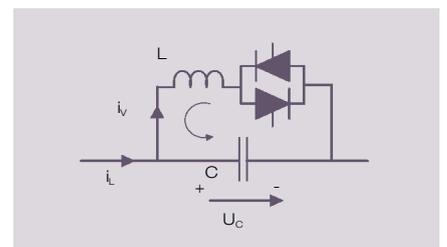
#### 脚注:

- 1) 像风力发电这样的间歇性的电源通常需要传统发电厂预留一部分容量作为旋转备用。而这些能量储存的措施使这部分旋转备用容量得以充分的利用。

3 带有轻型 SVC 的动态能量储存模块



4 晶闸管控制串联补偿器 (TSCS, Thyristor Controlled Series Compensator)-TCSC 允许改变串联补偿度



5 用于抑制系统功率振荡的 TCSC 设备



能量储存模块的容量太大,不太现实。但对个别用户,这可能是一个经济实用的方案-特别是针对用户关心的电能质量问题。

带有能量储存模块的 STATCOM 装置的另一个用途是用于系统的有功——频率控制,特别是当它安装在潮流阻塞断面的受电侧。这种网络结构还可以缩小系统传输容量和电力交易需求之间的差距。

### 晶闸管控制串联补偿器 ( TCSC )

其他一些 FACTS 装置虽然没有能量储存模块,但也能够调节系统的有功潮流。比如,串联补偿装置就能应用于这一目的。

TCSC [4][5] 通常被应用于网络中的功率传输的瓶颈处,在这些线路上的功率传输极限通常取决于系统的功率振荡极限。特别是当系统的联络线较弱,当发生功率振荡时系统易解裂成两大发电机群的场合,TCSC 就显得非常有效。它通常由固定的串联补偿环节和和一个晶闸管控制单元组成。后者主要被用来阻尼系统的振荡。它可以根据线路的工作状态精确调节阻尼,因此可以提高线路的功率传输极限 [6]。

TCSC 控制的基本原则是,在电容器两端的电压过零时前向晶闸管导通。这将给电容器提供附加的电流,而使它的视在电抗增大,通常将增大到它正常电抗的 3 倍。这个被称为“起动”(boosting)的过程,减轻了系统的振荡。与固定式串联补偿相反,TCSC 在工频以下的频率段呈电感性,因此不会和附近的汽轮发电机组相互作用而发生次同步谐振 (SSR, Sub-Synchronous Resonance)。

近来,TCSC 能调节稳态时线路上的有功潮流的功能越来越受到重视,特别是在发生了一系列重大的停电事故之后。虽然具有高起动能力的 TCSC 能够控制系统的潮流,但通常更好的作法是将电容支路分解成晶闸管开闭的电容器的串联组合电路,称为晶闸管开闭串联电容器 (TSSC, Thyristor-Switched Series Capacitor) [6]。

提到潮流控制,人们很自然地将 TSSC 和移相变压器 (PST,Phase Shifting Transformer) 进行比较。对于克服线路热稳定极限的限制,PST 比较适合,但它对于改善系统的暂态特性来说速度太慢。而且,PST 将恶化系统短期和长期的电压特性,降低系统的功角稳定性。

另一方面,TSSC 对于改善系统暂态品质非常迅速,还能够对系统的电压提供短期和长期的支持。但是,PST 既能增大也能减小线路潮流,而 TSSC 只能增大线路潮流。而且作为 TSSC 的主要控制规律,其电抗一般都控制在它连接的线路电抗的 60% 左右。因此,如果要求对线路的潮流功率进行大范围的调节(取决于网络的拓扑结构),TSSC 往往不够。

### 动态潮流 (Dynaflow) 控制器

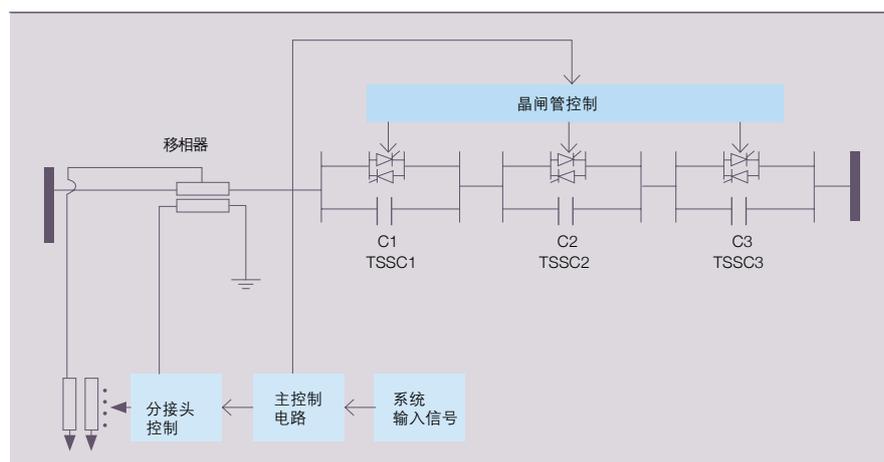
为了减轻阻塞,实现多目标控制,ABB 正在研发一种被称为“动态潮流”(Dynaflow)的潮流控制器。它是由一个移相器 (PST) 和多级协调控制 TSSC 单元的串联组成的 [6]。

各个系统的运行人员职责分明,对于成功实现系统的协调控制非常有利。

线路潮流的控制功能由 PST 和 TSSC 共同承担,它由一个小容量的 PST 和 TSSC 串联组成。Dynaflow 集成了 PST 和 TSSC 的优点。它能在故障前的稳态实现线损最小和(或)环路潮流控制,在故障的暂态过程中提高系统第一周波摇摆稳定性,阻尼系统的功率振荡,和(或)改善电压品质,而在故障后提供电压支持,和(或)减轻线路热稳定极限的限制。控制系统和必要的控制信号可以根据安装地点的潮流瓶颈的控制要求进行适当的调整。高性能的通讯和采集系统是实现上述功能的必要前提。

Dynaflow 的典型应用是大城市的供电联络线。人口高度密集的大型城市的有功和无功负荷都很大,而电源又相对

6 Dynaflow 系统的结构图 - 它是由一个移相器 (PST) 和多级协调控制 TSSC 单元的串联组成的



## 电力助推经济发展

较远。这通常导致给城市供电的联络线负荷太重,缺乏足够的动态无功电源。

一个典型的严重扰动就是在联络线上发生故障,导致该故障线路永久跳闸。假设功率不均匀的分布在余下的线路上,而装有 Dynaflow 装置的线路需要承担更大的负荷,以使其他的并联线路不发生负荷,那么控制目标应设置如下:

- 在故障前的稳态,重点是使系统的有功损耗最小。通常是由调度中心根据最优潮流计算的结果来设置控制点;
- 在故障发生后的瞬间,所有的 TSSC 的电容器单元都要立即投入,以对电压的恢复提供支持。这对于那些电动机负荷(比如空调负荷)占相当比例的城市而言越发显得重要。如果没有电压的支撑,这些负荷的电动机会逐渐减速,从而消耗更大的无功功率;而这又反过来导致局部的电压崩溃和雪崩式的停电事故。
- 一旦电压得到恢复,控制目标就转向克服线路热稳定极限的限制。通过 PST 和 TSSC 共同的调节作用,可以避免 Dynaflow 安装线路或其邻近的并联线路上发生过负荷。如果所发生的故障非常严重,过负荷无法完全避免,那么就使所有的并联线路均匀的过负荷运行,这可以给运行人员争取到足够的时间采取补救措施。

### WAMS 和 WACS

考虑并联线路负荷状态的动态潮流协调控制通常需要远程测量技术。广域测量系统(WAMS, Wide Area Measurement Systems) 最新的技术进展,加上通讯技术和 FACTS

技术的综合应用,使广域控制(WACS, Wide Area Control Systems)成为可能。在一些并联线路上安装的多个动态潮流控制系统需要进行协调控制,以达到减轻阻塞的共同目标。

### 相关的研究课题

显而易见,这些潮流控制系统所能实现的调节能力毕竟是有限的。这些限制使潮流传输断面上的功率传输极限达到了一个新的水平。从系统运行规划的角度来说,更重要的是开发更加有效的安全评估工具,以充分利用这些潮流控制系统的能力。

从以往的运行经验来看,瓶颈往往发生在不同电网之间的潮流传输断面上。做到各个系统的运行人员职责分明,对于成功实现系统协调控制非常有利。

为了减轻阻塞,实现多目标控制,ABB 正在研发一种被称为“动态潮流”(Dynaflow)的潮流控制器。

### 结论

FACTS 家族包含了一系列的控制装置,它们可以减轻潮流阻塞,提高现有电网的效率。到底选择哪一种 FACTS 装置取决于潮流瓶颈的性质。对于不同的潮流瓶颈,往往有不同的对策。本文介绍了带有能量存储模块的 STATCOM、TCSC 和 Dynaflow 等三种方式,以减轻潮流阻塞。

在很多场合,协调控制的应用得益于针对不同潮流瓶颈问题而特殊设计的先进的通讯和控制系统的运用。

对于运行规划来说,能充分利用这些潮流控制系统能力的有效安全评估工具

非常重要。特别在处理不同电网之间的潮流传输断面上的阻塞问题时,显得尤为重要。

Rolf Grünbaum  
Peter Lundberg  
Göran Strömberg  
ABB 电力技术部  
瑞典 Västerås  
rolf.grumbaum@se.abb.com  
peter.lundberg@se.abb.com  
goran.stromberg@se.abb.com

Bertil Berggren  
ABB 研究中心  
瑞典 Västerås  
bertil.berggren@se.abb.com

### 参考文献

- [1] Mathur, R. M., Varma, R. K. Thyristor-based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems, IEEE Press, 2002. ISBN 0-471-20643-1
- [2] Hingorani, N. G., Gyugyi, L. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems, IEEE Press, 1999. ISBN 0-7803-3455-8
- [3] Larsson, T., Ratering-Schnitzler, B. "SVC-Light: A utility's aid to restructuring its grid," IEEE PES Winter Meeting, Singapore, January 2000.
- [4] Grünbaum, R., et al. "FACTS: Powerful means for dynamic load balancing and voltage support of AC traction feeders," IEEE Power Tech, Porto, Portugal, September 10-13, 2001.
- [5] Svensson, J., Jones, P., Halvarsson, P. "Improved Power System Stability and Reliability using Innovative Energy Storage Technologies," In Proc. IEE ACDC 2006, London, U.K., pp. 220-224.
- [6] Gama, C., Angquist, L., Ingestrom, G., Noroozian, M. "Commissioning and operative experience of TCSC for damping power oscillations in the Brazilian North-South Interconnection," In Proc. CIGRE Session 2000, Paris, France, 2000, pp. 14-104.

# 断路器创新

特高压开关设备服务中国电网

Walter Holaus, Fredi Stucki

中国迫切需要电力。全国各地都在建设大型电站，大量电力必须穿越数千公里，才能从电站输送到用户所在的特大城市。

在传输距离如此之长的情况下，输电线路中的功率损耗数量惊人。为此，中国国家电网公司（SGCC）决定在交流传输中采用 1,100 kV 的电压等级，以尽量减少损耗，这是迈入电网新领域的关键一步。

在其合作伙伴和供应商的支持下，ABB 着手为该系统开发核心设备——一种气体绝缘组合电器产品，它可以利用这项开创性技术通过所需的全部测试。

# 1100

## 电力助推经济发展

**可**靠的电力供应是现代经济支柱之一。电力系统能否安全可靠地工作，主要取决于电力系统的核心部分——高压开关设备。正常情况下，开关设备中的高压断路器是出现短路时保护大系统的最后一道防线。

同电网及其变电站一样，空气绝缘系统也为众人所熟知，依靠数十米以上的远距离，高压线路可以确保其与地和人之间的隔离。

另一种更为紧凑的高压开关变电站方案是采用气体绝缘设计，即气体绝缘组合电器（GIS）<sup>资料库 1</sup>。

1966年，苏黎世市中心首次采用170kV GIS建成地下变电站，GIS技术由此开始进入市场。

1966年，苏黎世市中心首次采用170kV GIS建成地下变电站，GIS技术由此开始进入市场<sup>1</sup>。1976年，ABB向加拿大 Claireville 交付了第一台500kV GIS。1986年，第一台800kV GIS在南非安装完成，证明ABB在特高压（UHV）领域同样处于技术领先地位

<sup>资料库 2</sup>。这座被称为“Alpha”的变电站迄今已运行20多年，从未发生任何故障或意外中断。安装于巴西 Itaipu 的500kV GIS目前仍然是世界最大的在用GIS设备，但其世界第一的地位很快会被即将安装在中国三峡大坝上ABB GIS所取代。

### 中国对GIS创新技术的需求

中国幅员辽阔，发电设施主要分布于西部地区，而用电中心一般位于沿海地区——两者之间相距数千公里。随着电力消费需求的强劲增长，必须采用交流和直流UHV系统来为现有输电

系统提供支持[1, 2]。ABB最大的客户之一——中国国家电网公司（SGCC）几年前就开始设计额定电压为1,100kV的交流系统[3]。为此，它与研究机构和设备制造商一起开展了广泛的研发活动[4]。为了验证技术可行性，SGCC邀请三家中国GIS制造商、两家日本GIS制造商以及ABB，为中国UHV交流示范工程开发UHV GIS设

备。该项目将于2008年在中国中部建设，包括近600公里高压线路和分别位于荆门、南阳和晋东南的三座变电站。

UHV交流示范工程包括近600公里高压线路和分别位于荆门、南阳和晋东南的三座变电站。

#### 资料库 1 气体绝缘组合电器（GIS）

气体绝缘组合电器被广泛用于输变电系统，ABB是GIS领域的领先供应商，可提供各种输电电压等级所需的GIS。ABB GIS产品的额定电压等级介于72kV至800kV，额定电流最高可达4,000A，短路开断电流最高可达63,000A。GIS适用于各种室内外场合，可提供开关、隔离、接地和测量功能。作为一个由众多组件构成的系统，每套GIS均针对

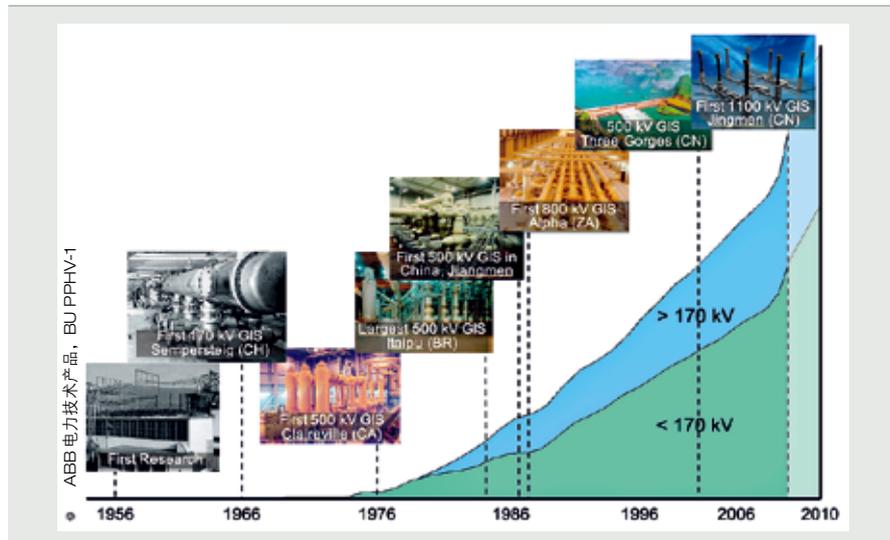
特定的应用需求进行优化设计。GIS组件共轴设计，带有一个内部和一个外部导体，充以压力高达数百kPa的六氟化硫（SF<sub>6</sub>）。组件间相互以螺栓法兰连接——这使其外面看起来像是管道。如果部分设备（如母线或与架空线之间的连接）以空气绝缘，则变电站设计就被称为混合式GIS。

#### 资料库 2 特高压（UHV）

电力系统以不同的电压等级运行，以优化输电效率，减少电力损耗和材料消耗，保持最高等级的运行安全。IEC标准规定了最高为800kV的标准电压等级。额定运行电压高于550kV的系统被称为特高压系统，用于将千兆瓦级以上的电能传输至数百公里以外的距

离。由于电压较高时传输损耗相对较低，将电压由550kV提升至1,100kV可以将传输损耗减少四分之三。因此，UHV特别适于大量电能的远距离高效传输。

<sup>1</sup> ABB生产GIS的历史：从第一个研究项目开始，ABB GIS安装量50年内达到全球第一



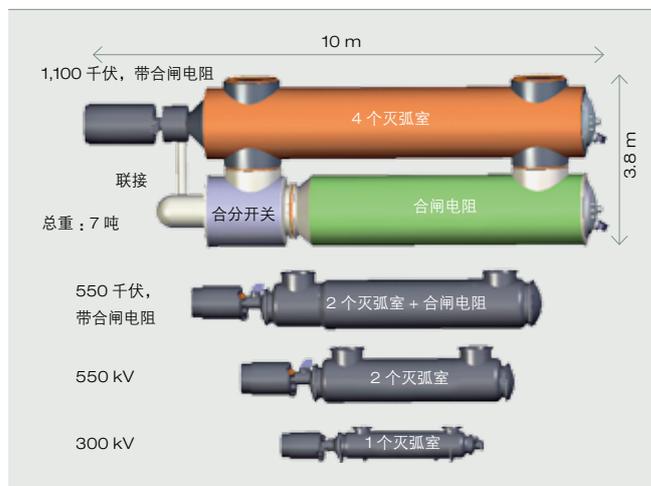
## ELK-5 UHV GIS 项目

为了设计和安装 1,100kV GIS 资料库 3，ABB 与中国最大的 GIS 供应商西安西开高压电气股份有限公司（西开电气）实施了被称为“ELK-5”（ELK 是 ABB GIS 系统的产品名称，5 代表新的性能等级）的联合开发项目。在该项目中，ABB 负责混合 GIS 的总体设计、核心部件的制造和交付，西开电气则负责所有其他部件的生产、在 SGCC 和 KEMA 专家指导下进行产品的型式试验、组装以及在荆门的现场安装。SGCC 为开发项目设定的时间表十分紧张：项目于 2006 年 11 月开工，而在荆门安装的第一台设备必须于 2008 年底以前加电。考虑到将 GIS 扩展至要求极高的新电压等级所需完成的工作，包括开发、验证、型式试验、制造、安装等，两年时间可谓创造了新世界纪录。为了迎接这项挑战，ABB 组成了一个 20 位专家组成的项目组，并准备在需要时随时为项目优先提供其他专家和测试设施。

### 将电压等级提高一倍

GIS 的绝缘性能取决于众多参数，如气体压力、电极的几何参数、所施加电压脉冲的波形、极性或 SF<sub>6</sub> 气体的纯度，还有很多其他参数。尽管根据研究，这些

2 300 kV至1,100 kV的ABB断路器的外形尺寸



参数中很多都是电场强度的函数，但在不同的电场结构下，会发生截然不同的现象。针对新电压等级设计 GIS 时，一个关键的方面是，必须清楚各种与电压存在依赖关系的电绝缘物理现象。每种器件都必须采用特定的定标法则，最后再决定整个系统的定标法则。设计中需要特别注意一个问题，即那些随电压等级提高而变得明显的效应，例如在操作隔离开关时出现的所谓快速暂态过电压（VFT）。

一个特别棘手的问题是为这个极高的电压等级确定合适的气体压力。由于影响绝缘性能的不同参数与气体压力的相关性不同，有些参数与气体压力呈正相关关系，有些则为负相关，为此需要在不同参数之间寻求平衡。根据我们的研究结果，适当低的 SF<sub>6</sub> 气

体压力对 UHV GIS 器件最为合适。

设计的鲁棒性和可操作性也是必须考虑的核心问题。因此，UHV GIS 的设计中采用了如下设计原则：

- 灭弧室采用单相一壳式设计
- 专用于合闸电阻的独立气室
- 所有电气参数均留有安全余量

1,100kV 开关设备外形尺寸十分庞大，需要进行广泛的机械计算。传动能量、触头运动速度或爆破压力等机械参数的变化也都是非线性的。事实上，在这样一个项目开发中，所需要的机械工程师数量至少与电气工程师数量相同。

所有机械和电气设计均以真正的三维计算工具实现，并且在可能的情况下，都尽量通过验证制造过程，以验证计算结果。

### 断路器：核心设备

断路器是一种开关设备，能在所有开关条件下（如正常操作或故障排除操作）安全地进行开合操作。它可以在被触发后 50 毫秒内完成开关操作。

1,100kV 断路器是在 ABB 现有断路器系列产品的基础上延伸开发的产品，它有两个隔室，一个用于灭弧室，另一个用于合闸电阻。灭弧室和切换合闸电阻的合分开关均由一个 ABB 专为该产品开发的液压弹簧操作 [5, 6, 7]。不同电压等级的 ABB 断路器的外形尺寸如 2 所示。额定值 1,100 kV、4,000 A 对应 7,600 MW 的三相额定功率，高于瑞士的平均电力消费量<sup>1)</sup>。额定功率达到这一等级的断路器足以对瑞士全国所需的电力进行开关切换。

3 工厂组装期间的带操动机构的ABB GIS断路器



## 电力助推经济发展

由于采用优化的灭弧室和铝合金外壳，这种最新型 UHV 断路器的总重量只有 75 吨<sup>4</sup>。

由于这是世界上第一台额定电压达 1,100 kV 的断路器，必须根据国际标准和国家标准对它进行测试，这给设备供应商特别是测试实验室提出了严峻挑战。断路器的型式试验由西安高压电器研究所测试实验室和位于瑞士巴登的 ABB 大功率实验室完成<sup>4</sup>。

为在西安高压电器研究所测试实验室完成 1,100kV 等级的功率测试，需要付出非凡的努力，最富挑战的问题包括：

- 制造和测试需要对 UHV 设备进行横跨大陆的运输。制造完成后的断路器和设备的空运安排，必须能满足整个项目十分紧张的实施计划。
- 要求实验室拥有巨大的空间：联合电压试验要求两个套管之间的距离达到 13 米以上，每个套管距实验室墙壁的距离也应达到 10 米以上。
- 由于没有足够高的电压供应，开关试验最多只能对半个断路器进行。进行这种所谓的“半极试验”，需要使用特定的外壳，并对电压等级进行计算。

经过严谨而精心的设计和制造，断路器在第一轮测试中即成功通过。

### UHV GIS 隔离开关

隔离开关的基本功能是断开 GIS 的各个部件，以便安全地维护被断开和接地的部件。

与断路器相比，隔离开关的操作时间较慢，需要几秒钟才能完成操作动作。ABB 的 1,100kV 隔离开关采用 90 度转角竖立结构，导电部分之间的间隙肉眼可见，但尺寸小于 300 毫米。在高压测试期间，该间隙可承受 3,400kV 以上的高压。

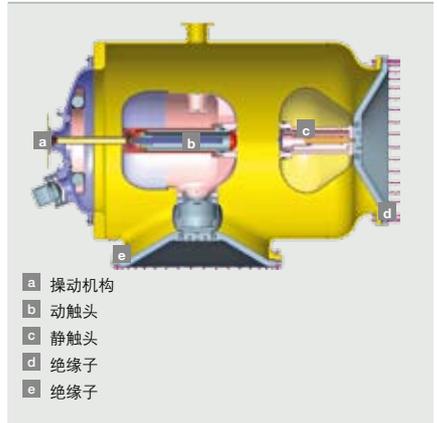
SF6 GIS 产品最突出的优点之一，是可以以极短的距离隔离极高的电压。对裸露在空气中的导体施加 3,400 kV 的电压，必须使用 13 米以上的间隙距离，以免发生闪络。

隔离开关的型式试验在位于瑞典 Ludvika 的瑞典输电研究所 (STRI) 进行<sup>5 6</sup>，该实验室是唯一拥有所需设施的实验室。由于隔离开关的开关

资料库 3 为 1,100 kV GIS 示范工程设定的额定值

■ 额定电压	1,100kV
■ 额定雷电冲击电压	2,400kV
■ 额定设备电流	4,000A
■ 额定母线电流	8,000A
■ 额定短路电流	50kA

5 UHV 隔离开关剖面图



6 在 STRI 实验室对隔离开关进行开关试验的布置



4 巴登大功率实验室 (瑞士) 开发团队和用于 1,100 kV 断路器的试验电极在 T100s 试验后的合影



动作相对较慢，在断开和闭合的过程中，触点间隙中会产生火花。这些火花会引起快速暂态过电压（VFT），并在整个 GIS 组合电器中传递。这种现象要求被测试的组件拥有最高等级的 EMC（电磁兼容性）。

在 ELK-5 联合开发项目中，ABB 负责混合 GIS 的总体设计、核心部件的制造和交付。

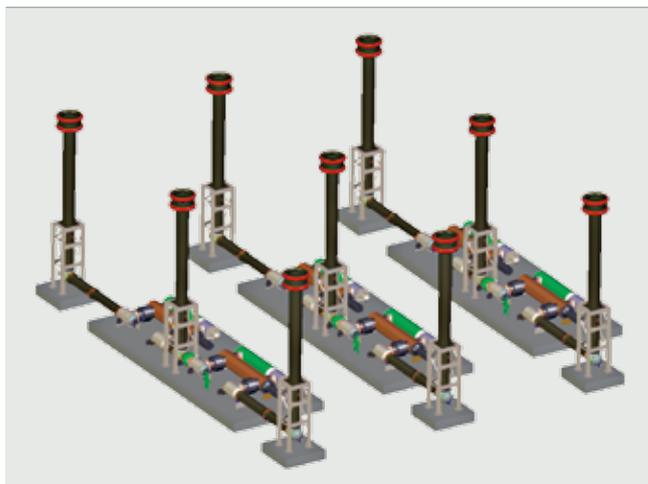
### 第一座 UHV GIS 变电站

2007 年完成开发并在 2008 年成功通过型式试验后，ABB 和西开电气公司开始组装并向荆门变电站发运第一套设备。该变电站将安装几乎全套的 GIS 组合电器，如配有合闸电阻的断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、母线、套管和绝缘子等 [7]。

为了确定 GIS 组件的最优布局方案，我们进行了广泛的配置研究，最终确认，具备良好可接近性的“平铺式”布局方案最适合荆门混合 GIS 变电站的布局方案 [8]。该布局方案具有如下特性：

- 所有 GIS 开关设备均被安放在靠近地面的位置。
- 平铺式布局可提高抗震强度。
- 所有操动机构均被安装在距地面 1.5 米以内的高度，使操作员可以轻松地对设备进行安装和维护，提高了安全性和方便性。
- 不需要使用操作平台或梯子。
- 设备布置可方便地沿母线方向扩展。
- 间隔所需的钢结构建筑物最少。
- 仅有少量工作需要在现场进行，从而加快安装进程。

7 荆门 1,100 kV 混合 GIS 变电站示意图



该变电站靠近中国中部城市荆门，已于 2008 年安装完毕。它能够将三峡电站生产的部分电力输送到华北地区。

### 迎接挑战

ELK-5 开发项目在很多方面向我们提出了挑战，包括：必须在前所未有的最短时间内完成新产品的首创设计；在欧洲和中国的供应商和合作伙伴之间进行横跨大陆的分工合作，而这种

分工合作要求具有不同文化背景的合作伙伴之间进行紧密的互动交流。

ELK-5 组件的型式试验在中国、瑞典和瑞士的试验室同时进行。该项目的成功实施，不仅揭开了特高压电力传输领域的新篇章，而且充分展示了 ABB 作为全球技术领导者所拥有的综合性工程技术实力。

Walter Halaus  
Fredri Stucki  
ABB (瑞士) 有限公司  
瑞士苏黎世  
walter.halaus@ch.abb.com  
fredi.stucki@ch.abb.com

### 参考文献：

- [1] 《2006 年北京国际特高压输电技术会议论文集》
- [2] 《IEC/CIGRE 特高压技术研讨会论文集》，北京，2007 年
- [3] 1,100 千伏特高压交流输电示范项目：<http://www.sgcc.com.cn/ztl/zgtgy/tgyzs/41249.shtml>
- [4] Sun, Y-H., Zhang, D., Meng, W-D. “1,100 千伏气体绝缘开关的研究和开发”，2006 年北京国际特高压输电技术会议
- [5] Halaus, W., Sologuren, D., Keller, M., Kruesi, U., Riechert, (2007). Entwicklung einer gasisolierten Schaltanlage für 1,100 kV. ETG Kongress, Karlsruhe.
- [6] Halaus, W., Kruesi, U., Sologuren, D., Riechert, U., Keller, M. (2008). Testing of GIS components at 1000 kV rated voltage. CIGRE Session 2008, SG A3-202, Paris.
- [7] Riechert, U., Krüsi, U., Halaus, W., Sologuren, D. (2008). Gasisolierte Schaltanlagen für 1,100 kV – Herausforderungen an Entwicklung und Prüfung. Stuttgarter Hochspannungssymposium, Stuttgart, Germany.
- [8] Halaus, W., Xia, W., Sologuren, D., Keller, M., Kruesi, U., Riechert, U., Xu, S., Wang, C. (2007), “1,100 千伏气体绝缘开关装置的开发：现有设计升级与特定特高压设计”，IEC/CIGRE 特高压技术研讨会，北京。

### 脚注：

- 1) 5th Annual Report of SwissEnergy 2005/2006.  
[http://www.bfe.admin.ch/energie/00556/index.html?lang=en&dossier\\_id=01060](http://www.bfe.admin.ch/energie/00556/index.html?lang=en&dossier_id=01060)

# 身形小巧 性能优异

采用新型技术的空气绝缘变电站设计

景雷, Hans-Erik Olovsson, 范建忠, Richard Thomas



随着城市的发展，电力需求也越来越大。为了实现所需的大容量传输，城市电力供应的最高电压等级从 110 kV 提高到 220kV，在中国和其他国家的一些特大型城市中甚至已经达到 500kV。这就要求建设超高压（EHV）变电站作为城市的负荷枢纽。但是，超高压变电站的规划建设中，变电站占地面积与功率需求之间相互发生冲突。一般而言，电压等级越高，变电站的主变功率就越大，变电站占地面积也就越大。但是，这一需要又与城区普遍存在的土地限制问题相矛盾。土地稀缺是最大问题，但巨大的投资成本也是一项严重挑战。而且，作为为数量众多的居民服务的配电中心，这类变电站必须具有极高的可靠性和可用性。基于上述要求，这类变电站必须是紧凑型变电站，能够降低客户的成本，占有土地面积较小，并且具有极高的可用性。

目前的技术使上述目标变得现实。首先，新型的一次设备可以大幅减少占地面积。ABB 率先推出的革命性断路器产品，使开关设备得以优化配置甚至全面集成，同时降低了土地征用成本和设备成本。其次，创新的光传感器正逐步取代传统的昂贵而庞大的电流互感器（CT）。这些新型 CT 外形尺寸极小，可以方便地与断路器集成。第三，这些光传感器的采用，是变电站数字化的一个完整组成部分。这不仅可以提高变电站的性能，而且可以节省投资，例如，可以节省二次互感器电路、断路器控制、隔离开关和接地开关中所用的电缆数量。

在城区变电站，关键的因素是土地成本。

### 传统的空气绝缘变电站

变电站投资中，各种设施的建设和安装成本巨大。显然，变压器和断路器等一次设备的价格十分昂贵，特别是那些用于超高压等级的设备。此外，变电站自动化系统（SAS）本身也成本高昂，这不仅是因为该系统需要大

量的智能电子设备（IED）和计算机，而且还因为测量和控制需要使用大量的电缆连接。

但是，对于建设在城市中的变电站，与土地相关的成本是一项十分重要的因素。土地征用是这一过程中的组成部分之一，但仅仅是最后一个环节。与普通商品不同，资金不是获得土地的唯一因素。安全、环保和噪声都是变电站审批过程中必须考虑的因素。占地面积越小，变电站对周围环境的影响就越小。

■ 显示了一个 500 kV 变电站的单线图（SLD）[1]。该变电站有六个 500 kV 的间隔（1½ 断路器方案）和十二个 220 kV 的双母线间隔。

在该变电站中，所有一次设备都很大，一般需要占用 60,000 平方米的面积 ■。显然，很难在城市中为此类变电站找到合适的地块。

但是，为满足快速增长的电力需求，迫切需要在城市中建设变电站。根据

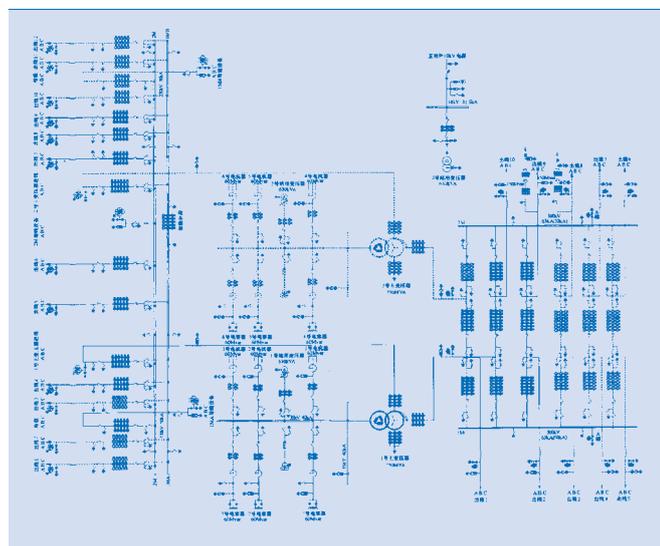
北京电力公司的计划，500 kV 的双环网将在 2010 年完工。为此，需要建设 10 座变电站（每座变电站的电压和功率分别为 500 kV 和 2600 MW），其中四座负荷枢纽变电站将建在市中心。由于土地紧张且价格极高，任何紧凑型变电站方案都将具有极大的吸引力。采用气体绝缘组合电器（GIS）是一个显而易见的方案，对于与 ■ [1] 相同的单线图，采用 GIS 仅需占地 30,000 平方米，但其成本却高于空气绝缘变电站。根据中国国家电网公司 [1] 的要求，一个 GIS 变电站的投资比空气绝缘变电站（AIS）高出大约 40%。因此，必须研究占地面积既小、又能为客户节约成本的新替代方案，以取代传统的空气绝缘变电站。

安全、环保和噪声都是变电站审批过程中必须考虑的因素。

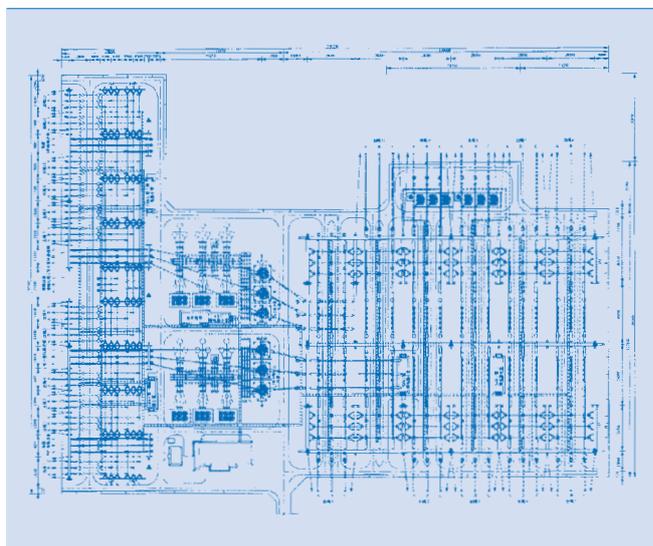
### 技术解决方案

采用新技术，ABB 可以设计成本低廉且占地面积更小的 AIS 变电站。

1 典型的500 kV变电站的单线图



2 典型的500 kV空气绝缘开关设备（AIS）变电站的布置



## 电力助推经济发展

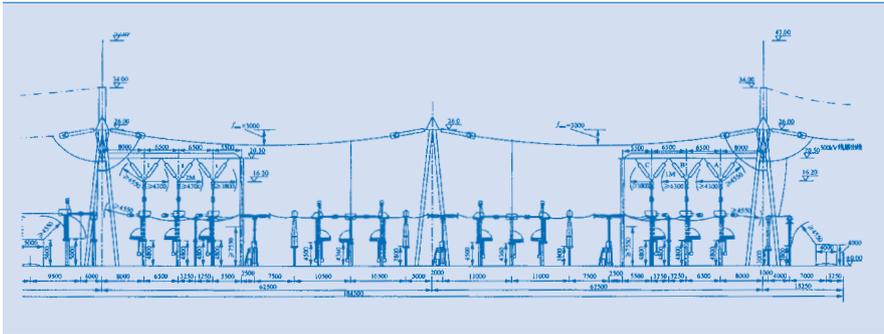
### 新型断路器

500 kV 间隔的剖面图如图 3 所示。该图表明，隔离开关占据了大部分空间，因为每个断路器需要两个隔离开关，以便实现安全隔离。

利用成熟的现代自能式及 / 或吹弧式 SF<sub>6</sub> 断路器，ABB 开发了既可简化变电站又能节省空间的替代方案。ABB 开发和制造了一种被称为“组合式”的新型隔离式断路器 (DCB) [2]。组

合式断路器的隔离功能被集成在熄弧室中。在这个 SF<sub>6</sub> 熄弧室中，并没有额外的触点或其他具有隔离功能的器件。当断路器触点处于断开位置时，可用机械方式将其锁定在断开位置，实现所需要的隔离功能，以便对开关设备或网络中的邻近部件进行维护。此外，取消裸露在空气中的隔离开关触点，还可以减少维护次数，提高开关设备的可靠性。该类断路器的隔离要求由 IEC 标准 62271-108 规定 [4]。

3 500 kV 1/2 断路器方案的剖面图



4 带两个 a 和一个 b 隔室的隔离式断路器



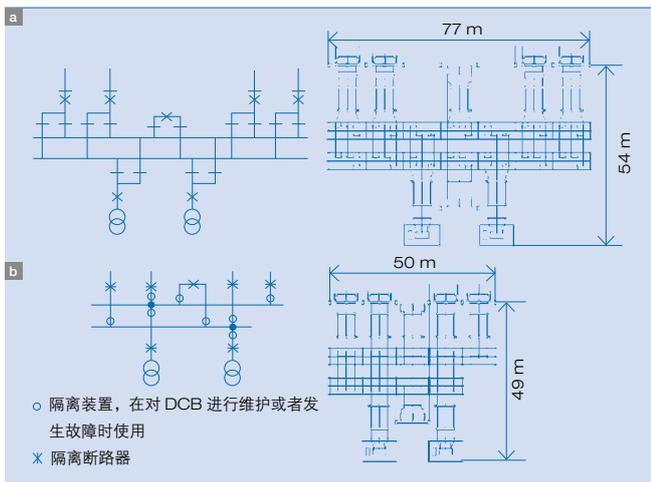
利用成熟的现代自能式及 / 或吹弧式 SF<sub>6</sub> 断路器，ABB 开发了既可简化变电站又能节省空间的替代方案。

DCB 不仅可以降低设备成本，而且可以减少占地面积及相关建设成本，同时提高可用性。传统的和组合式的 145 kV 变电站布置之间的比较如图 5 所示。

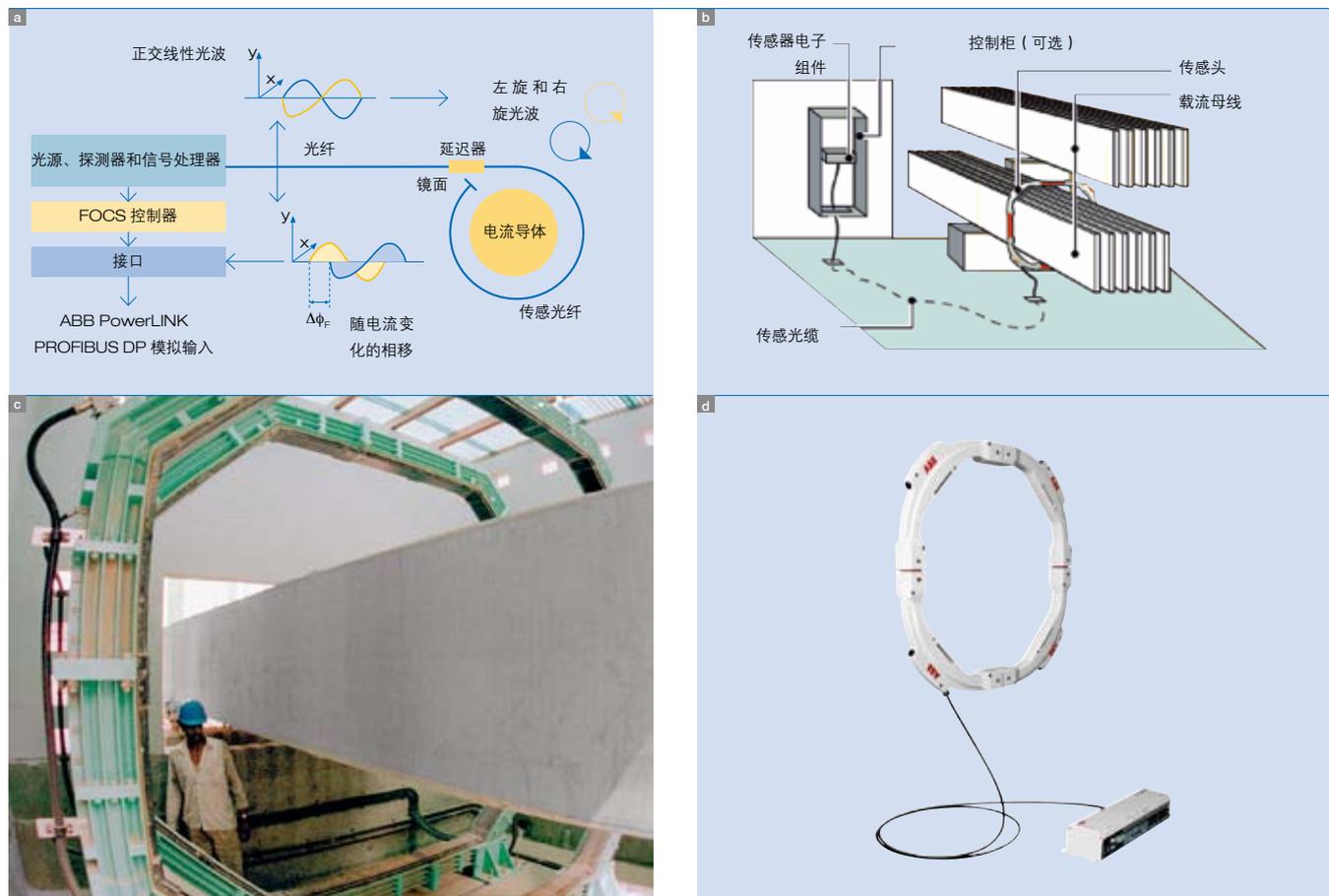
### 创新型传感器

除隔离开关外，传统的 CT (电流互感器) 也需要占据相当大的空间 [3]。但是，感应技术的发展，使我们可以采用替代方案。

5 145 kV 变电站 (传统式) a 与实现同样功能但采用“组合式”断路器的变电站 b 之间占地面积的比较



6 ABB FOCS 的原理图 a、安装图 b 和测量线圈 c、测量线圈 d



最近几年，新型传感器开始逐渐取代传统的 CT。光纤电流传感器（FOCS）是一种极好的替代产品 [3]。利用法拉第效应，FOCS 可以使用环绕在导体周围的光纤环，轻松地测量电流。因此，装置变得十分简单，如 6 所示。与庞大的传统电磁 CT 相比，新型传感器的另一个优势是占地面积较小。

此外，对于数字信号处理，FOCS 可以提供与变电站自动化系统（SAS）中的过程层设备之间的接口，从而实现符合 IEC 61850 标准的过程总线（-9-2）通讯，减少对二次电缆连接的需要，简化安装和调试工作。

### IEC 61850-9-2 应用

如上所述，FOCS 可以用数字格式

传输所有测量而得的参数值。因此，如果将 FOCS 和与符合 IEC 61850-9-2 标准的组合单元一起使用，就可以通过光纤网络将数字值传送到间隔级 IED，而不再需要大量的铜电缆。7a 描绘了变电站自动化纵向从过程层（底部）直至电网控制中心（顶部），横向从传统方式（左侧）到智能实现（右侧）的技术演变进程。7b 给出了一个基于 IEC 61850 的变电站自动化系统的结构，该系统正是 7a 中智能系统的一个具体实现。对于三相输电线路，这一系统至少可以节省三组测量电缆。而且，由于 FOCS 不会出现磁饱和，同一套 FOCS 可以同时用来进行监控和保护，甚至还包括测量。这样还可以进一步节省电缆。

此外，如果在断路器中内置符合 IEC61850-9-2 标准的智能断路器 IED，就可以利用带电压和电流感应功能的同一个光纤网络进行控制。这样，控制电缆也被网络所取代，从而实现成本更低、运行更可靠的变电站自动化系统。

### 利用法拉第效应，FOCS 可以使用环绕在导体周围的光纤环，轻松地测量电流。

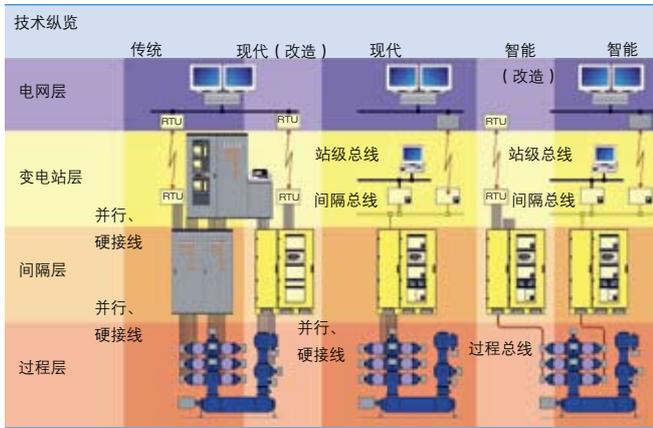
### 变电站布局的重组与优化

基于上述新技术，变电站占地面积可以减少 50% 以上，其可用性和可靠性也同时得到提高。

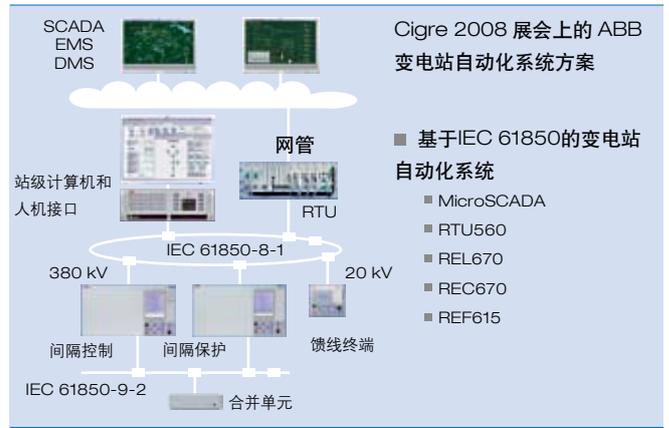
## 电力助推经济发展

### 7 数字变电站结构图

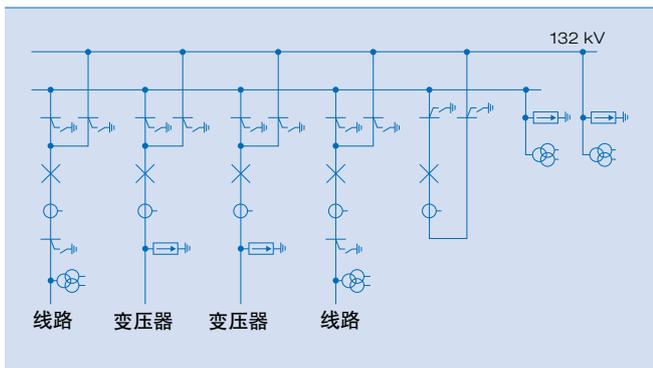
#### a 变电站自动化系统的演变



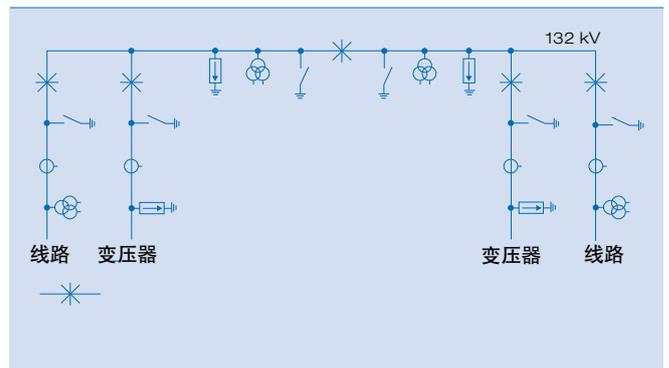
#### b 基于IEC 61850的变电站自动化系统



#### 8 采用隔离开关和断路器的传统变电站的布置



#### 9 采用隔离式断路器的开关设备



此外，DCB的使用不仅取消了隔离开关，而且还可以改进主接线方式。由于组合式DCB的维护时间间隔为15年，完全可以用单母分段取代双母接线，而不会降低系统的可用性。对8和9所示设备布局进行比较，可以看出母线及相关隔离开关如何被取消，以及变电站布置如何被简化。

以组合隔离式断路器作为一次设备，为大幅提高变电站建设、运行和设备布局的效率奠定了基础。

另外，由于采用FOCS和智能接口，系统不再需要电缆及相关辅助设备和部件，结果简化了控制机构以及与一次设备之间的连接。

### 开关设备的发展

采用新设备和新技术，可以设计出更可靠、成本更低的空气绝缘变电站。以组合隔离式断路器作为一次设备，为大幅提高变电站建设、运行和设备布局的效率奠定了基础。新型电流传感器与智能接口一起，可以执行基于IEC 61850 标准的过程总线协议。

#### 景雷

ABB 中国研究中心  
中国北京  
lei.jing@cn.abb.com

#### Hans-Erik Olovsson

ABB 电力系统业务部  
瑞典 Västerås  
hans-erik.olvsson@se.abb.com

#### 范建忠

ABB 高压直流输电控制与保护业务部  
中国北京  
john-jianzhong.fan@cn.abb.com

#### Richard Thomas

ABB 电力产品业务部  
瑞典 Ludvika  
richard.thomas@se.abb.com

#### 参考文献：

- [ 1 ] 中国国家电网公司，500kV 变电站的典型设计
- [ 2 ] ABB DCB 购买与应用指南
- [ 3 ] 《ABB 评论》2005 年第 1 期第 6-10 页，“高压直流测量技术发展”

# 在更高层级上提高运行性能

先进的热管冷却技术可将断路器性能提高 25% 以上

Daniel Chartouni, Martin Lakner, Giosafat Cavaliere



发电机断路器 (GCB) 是发电厂的核心设备，它可对发电机和电力变压器提供保护。ABB 电流断路器系列产品包括额定电流在 6,300A 到 50,000A 以上的各种断路器。HECS 断路器的设计电流是 18,000A，但是，这些大电流带来的问题是断路器内的散热问题，必须将产生的热量限制在其他系统设备允许的温度范围内。自然冷却方式会限制额定电流大小，所以，当今的许多发电机断路器都采用强制冷却方法来增加额定电流的水平。但是，这些强制冷却器也减少了额定电流下的输出功率。

为了增加发电机断路器的额定电流，需要一种创新性的冷却方法，以便满足对重量更轻、成本更低以及功能更强的断路器的日益增长的需求。采用所谓热管技术实现效率更高的热传导，人们不仅开发出两款比原有型号重量更轻和更耐用的产品，而且发电机断路器的性能也提高了 25% 以上。

## 电力助推经济发展

电力设备追随多数其他电器产品的发展趋势，在体积变得越来越小和重量越来越轻的同时，综合了更加强大的功能。成本效率是推动这种发展趋势的主要动力，因为重量轻的设备，材料费用和运输安装费用也会更低。HECS 断路器是 ABB 发电机断路器家族中的一员<sup>资料库 1</sup>，已经经历了这样的发展过程并带来了可观的成果：采用所谓“无源”冷却装置（运行时不需要泵、风机或电动机）取代所谓“强制”冷却系统（需要使用泵、风机或电动机的装置），HECS 断路器的额定电流能够从原来的 18,000A 提高到 23,000A。采用基于热管冷却概念的一种创新方法，ABB 的工程技术人员将这个系列的断路器产品变得运行安静、体积更加小巧和重量更轻，并且使得产品的维护保养要求也非常低<sup>资料库 2</sup>。

如果要提高额定电流值，ABB HECS 断路器中的高效热传导特性要求使用纯粹无源、低维护保养的设备。

### 知道应该如何做

额定和短路电流产生巨大的热量。即使微小的电阻（由材料或滑动触点引发的）也会导致欧姆损耗，这种欧姆损耗会产生数千瓦热量。但是，在正常（闭合）运行过程中，热点稳态温度必须限制在  $105^{\circ}\text{C}^{1)}$ ，因此，从热量上限制了最大容许额定电流的大小。于是，发电机断路器的运行温度决定于额定电流与设备的冷却方式两个方面。为了成功地提高发电机断路器额定电流，工程技术人员必须集中精力解决发电机断路器的热量控制问题。

在 ABB 的 HECS 断路器系列中，采用自然冷却方式，额定电流可达到

### 资料库 1 ABB 的发电机断路器产品系列组合

ABB 发电机断路器广泛应用于各类发电站，如燃气轮机联合循环热电厂、地热电厂、水电和抽水蓄能电站等。目前，公司的市场份额为 70% 左右。断路器产品系列包括额定电功率在 100MVA 至 1500MVA 以上的各种型号的产品，其中包括额定电流在 6,300A（最大短路电流为 63 kA）至 50,000A（短路电流额定值为 210 kA）的断路器。HECS 断路器是 2003 年推向市场的产品，可用于室内或室外，其额定功率为 800 MVA。这种断路器可以关断高达 130 kA 的短路电流，使用自然冷却系统时，适用额定电流为 13,000A，采用强制冷却系统时，适用额定电流为 18,000A。



如果考虑到其体积小和重量轻的因素（重量一般为 6000 公斤），这种断路器的功率密度是非常高的，所以，用于改造翻新现有电厂最为理想，可以大量地节省运输和安装费用。

### 资料库 2 装备热管的新产品概况

新产品名称	最大运行电流	
	今天的 HECS 基础产品	装备热管的新产品（无源冷却）
HECS-100/130XLp	18,000A (强制冷却)	18,000A
HECPS-5Sp (抽水蓄能电站解决方案)	13,500A	18,000A
HECS-130XXLp	尚未上市	23,000A

13,000A。但是，要将最大额定电流提高到 18,000A，则需要使用空气对空气的强制冷却设备，这种设备本身就是一种热能发生器，而且也增加了设备额外的重量。因此，要想将某一断路器额定电流提高到 23,000A，只能通过改善 HECS 导体至环境之间的热传导效率的办法来实现，与此同时，还必须确保敏感设备的温度保持在允许范围内。由于热源（导体）处于 25.3 千伏高电势的地方，而散热器（HECS 外壳）又与大地连接，而且任何形式的强制冷却又会产生不理想的副作用，因此，这种挑战难题就更加严峻。

如果要想跨越如此巨大的电气绝缘间隔而获取高效的热传递效果，需要使用一种纯粹无源和低维护费用的设备。这样设备，通过使用热管<sup>2)</sup>而得以实现了<sup>资料库 3</sup>。

### 产品开发

虽然热管概念的出现已经长达数十年时间之久，但是，以前从未用于发电机

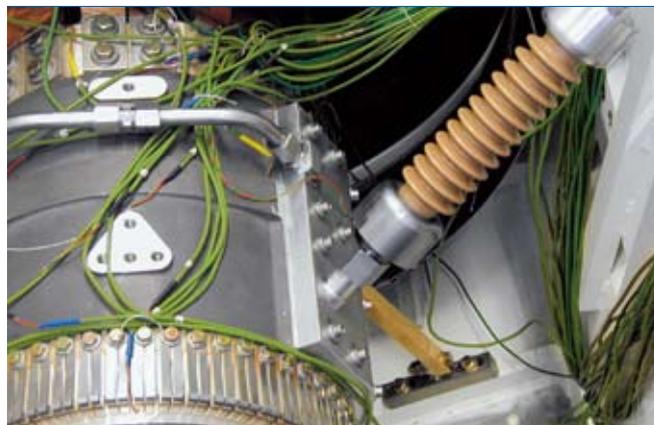
脚注：

- 1) 在环境温度为  $40^{\circ}\text{C}$  的状态下，IEEE 标准容许镀银触点温升为 65 K。
- 2) 热管原理已经存在数十年，消费电子产品行业的使用这种冷却系统。

❶ 热管冷却的HECS断路器的一个极，从外面看，只能在封装外壳的上部看到冷却器翅片。



❷ 与腔室连接的蒸发器和绝缘体。水气从波形绝缘管流入冷凝器 (参见❸)



断路器的冷却，因为在热源（蒸发器）与散热器（冷凝器）之间存在大的电势差，要使用电绝缘的热管，技术上有很大的难题。这样一来，也就不可能采用全金属设计结构，而必须采用这样一种设计，它必须保证机械耐用性，同时能使热管材料与工作流体介质相互兼容。总体而言，一个成功的解决方案需要满足下列要求：

### 热量控制

被传输的最大的总热负荷决定于断路器中的电流和电阻，因此，热管系统数量决定每个零部件可容许的最大热阻。

### 热管电介质设计

这特别是指正常运行状态下（即 25kV 左右）以及系统保护所需的其它电压状态下（如雷电脉冲等）导体与外壳之间的电介质绝缘。热管固态绝缘材料以及工作流体也必须符合这个要求。

### 热管机械设计

系统必须能够承受多次开关

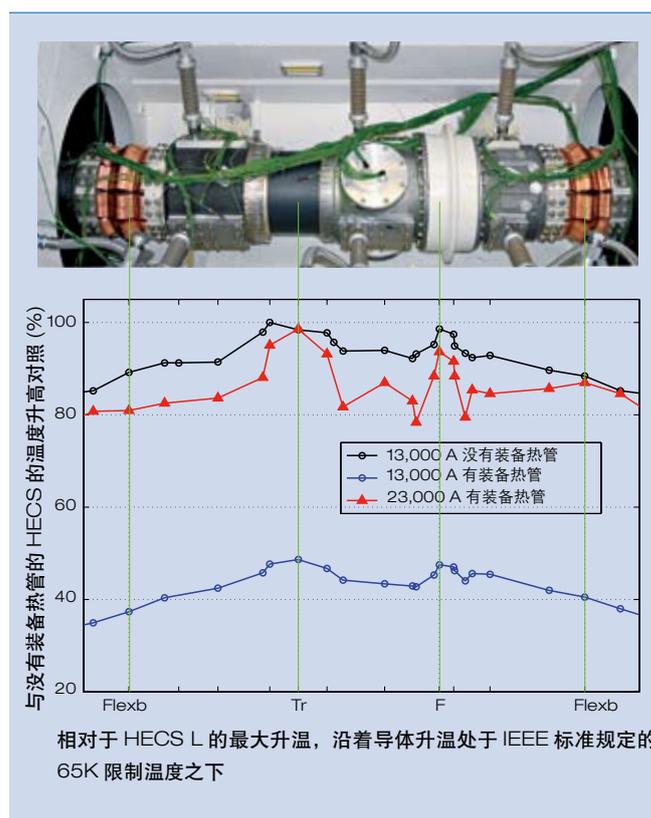
操作（20,000 次）、运输和地震等各种状况。

### 长期稳定性和环保要求

系统必须在 20 多年里无需进行维护保养。另外，工作流体必须在至少 20 年

内不对环境造成危害。环境保护要求尽可能延缓全球变暖和臭氧消耗。对新颖冷区装置与现有强制空冷器进行的生命周期评估需要证明，热管解决方案确实对环境更加友好。

❸ 与HECS发电机断路器连接的热管，传送段与装于外壳的冷凝器相连接。



采用基于热管概念的一种创新方法，ABB 的 HECS 断路器被改造成安静的、体积更小和重量更轻的产品。

### 技术上如何实现

标准发电机断路器由三个平行相组成，每个断路器导体安装于单独外壳内，与磁极支架绝缘。在 ABB 设计中，每个相有 6 根热管，额定电流所产生的热量必须通过这些热管传输到周边环境中。为使热传导尽量保持均匀，蒸发器覆盖的导体面积就要最大化<sup>3)</sup>。6 个蒸发器需要均匀地散热，以确保不会因为材料本身不等于零的热阻而在导体材料内部产生发热点。事实证明，隔离段实际操作起来很具挑战性，

## 电力助推经济发展

因为一方面必须确保介质的稳定性，同时，还要确保断路器运行过程中的机械性能，同时还存在空气和工作流体的扩散问题<sup>4)</sup>。测试阶段取得的结果如 3 所示。不仅额定电流从 18,000A 增加到 23,000A，增加了 27.8%，使用热管方式时的标准热阻也达到 58mK/W。换言之，一千瓦的热量散发仅使温度增加 58K。

**ABB 的新型热管解决方案不需要使用电力便可运行，几乎不需要维护保养，可将断路器性能提高 25% 以上。**

### 展望未来

在发电机断路器市场上，ABB 的产品系列最为完整。采用无源热管冷却

系统对现有 HECS-XL 断路器进行升级改造，开发出两种新产品：HECS-100/130XXLp 和 HECP5-5Sp，用于标准和蓄能发电方面，将进一步扩大这个系列的产品组合 **资料库 2**。

HECS-100/130XL 断路器目前使用强制冷却系统。ABB 的目标是采用 HECS XL 的替代产品借以保持市场领导地位。这种型号的产品可以连接小型蒸发器和更小的冷凝器，或者也可以使用减少原尺寸的热管系统。在 ABB 推出的新产品中，HECS-100/130XXLp 断路器的目标市场是 18,000A 和 23,000A 之间的市场。为这种型号的产品选择了尽可能大的蒸发器表面，以便确保热阻非常低以及沿断路器外沿的温度分布均匀。这种设计的另外一个重要参数是冷凝器的表

面面积，因为它影响整个热管系统的热阻。HECP5-5S 断路器是用于抽水蓄能电站的一种解决方案，使用热管冷却系统的这种断路器，可将其额定电流扩大到 18,000A。

ABB 的新型热管解决方案运行时不需要使用电力，几乎不需要维护保养，运行极其安静。它的主要优点在于可将发电机断路器的额定电流提高到 23,000A。这种新型无源冷却方案不仅有助于使 ABB 公司的断路器产品组合更加完整，而且还可以给每种用途提供经济效益非常高的产品。这些产品将于 2008 年问世。

### 资料库 3 作为替代冷却概念的热管

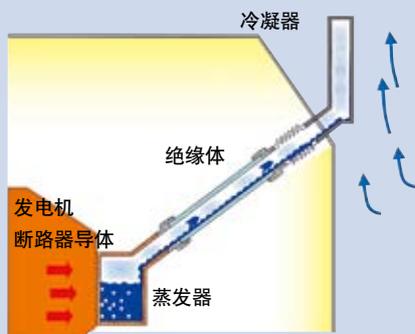
液体蒸发时吸收热量（汽化潜热），这种热量随后可在冷凝过程中释放到其它地方，热管是利用这种效应的一种装置。

系统由三大部分组成：与发电机断路器导体（热源）连接的蒸发器部分、传热部分及冷凝器部分（位于外壳之外的冷却器环境里）。

热管的运行像闭环系统，部分充满工作液体。在蒸发器内，热流量使得工作液体沸腾。

然后，一个小的压力不平衡将水气带到冷凝器部分，在那里，通过自然对流冷却作用，热量被散发到发电机断路器外壳之外。

在冷凝过程之后，液体通过一个重力热管回流到蒸发器内。这种热管装置的一个显著特点是，它仅依靠被传递热量进行驱动，



依靠重力返回经过冷凝的液体，使其成为一种纯粹无源的装置。

因为液体的沸腾和冷凝几乎发生于同一温度，沿管道产生的温度梯度很小，因此，热传递效率和热流量值都非常高，是金属热导体的数千倍。

从蒸发器到冷凝器的热流量只受到传送段内水气流动特性的限制。

**Daniel Chartouni**  
ABB 研究中心  
瑞士 Baden-Dättwil  
daniel.chartouni@ch.abb.com

**Martin Lakner**  
Giosafat Cavaliere  
ABB 高压产品部  
瑞士苏黎世  
martin.lakner@ch.abb.com  
giosafat.cavaliere@ch.abb.com

脚注：

- 3) 这样也降低了蒸发器的热阻。
- 4) 项目开始时，认为在蒸发器和冷凝器之间插入装有液体和水汽的电绝缘管是一件很简单的事。但是，由于正式定型试验需要在高达 8 kV 和 165 kV（雷电脉冲电压）的电压下进行，于是出现了难题。另外，热管机械强度必须非常高（不能使用金属管），再者，热管两端与管道其余部分的连接必须非常紧密。

# 摒弃有害化学物质

保护环境

Markku Rissanen, 郑世文

全世界各行各业都有责任避免排放有害物质，保护环境。由于全球工业每年都在生产和使用成百上千万吨化学物质，这一工作因此比任何时候显得更为重要。ABB 尽一切努力降低产品制造过程对环境造成的不良影响。随着中国经济高速增长及其工业制造能力的迅速扩张，ABB 中国通过要求供应商限制使用化学物质，不断创造机会降低化学物质的排放。采用可生物降解的产品取代现在使用的化学物质材料，将进一步降低对环境带来的不良影响。



## 提高生产率

了解化学物质在环境中的复杂行为以及这些行为对公共健康的影响，绝非易事。事实已经证明，某些化学物质会慢慢破坏我们的环境，引发酸雨、全球变暖或破坏同温层臭氧，而另一些化学物质（例如致癌物质或致畸剂）则对活的有机体具有更为直接的影响。

ABB 每年制造并向客户交付数以百万计的产品，因此可以对抑制化学物质在环境中的排放发挥积极作用。ABB 坚持对其在全球经营中采用的材料进行审查，不遗余力地确保采用最环保的材料制造产品。通过限制供应商所采用的化学材料，ABB 中国成功减少了化学物质排放量。

**减少挥发性有机化合物 (VOC)**  
挥发性有机化合物 (VOC) 易于蒸发，并且容易挥发到环境中。最常见的 VOC 是温室气体甲烷，但该类物质还包括有机溶剂，如油漆、油漆清洗剂以及很多家用化学品中广泛使用的化学物质。ABB 中国在生产中可能涉及 VOC 的最主要材料是用于保护电机和

变压器的油漆<sup>1</sup>。2007 年，ABB 在全球各地的业务运营中共产生 800 多吨 VOC，其中 22% (179 吨) 源自 ABB 中国。从集团层面讲，ABB 已经成功地减少了 VOC 排放<sup>2</sup>[1]。

### 水基漆的 VOC 排放量比溶剂型油漆减少了 80%。

VOC 本身是有毒物质，而且它们在阳光作用下会与氮氧化物发生反应，产生臭氧，从而产生额外的危害。尽管同温层臭氧能保护地球，使其免受来自太阳紫外线的过度辐射。但在地面，臭氧会引起呼吸疾病。

早在 2000 年，ABB 中国就采取了降低 VOC 排放的措施，要求供应商在向上海 ABB 电机有限公司供应的用于电机涂层和保护的油漆中，停止使用苯、甲苯和二甲苯。电机制造商普遍采用溶剂型油漆来保护电机。受上述措施成功实施的激励，上海 ABB 电机有限公司于 2007 年开始进行采用水基漆保护电机的工厂试验，以期进一步减少 VOC 排放量。经过 6 个月的试验，ABB 关于

替代溶剂型油漆的研究于 2008 年 3 月取得显著进展，水基漆的 VOC 排放量比溶剂型油漆减少了 80%。现在，该电机工厂每年可减少 20 吨 VOC 排放。

### 替代含 POP(持久性有机污染物)材料

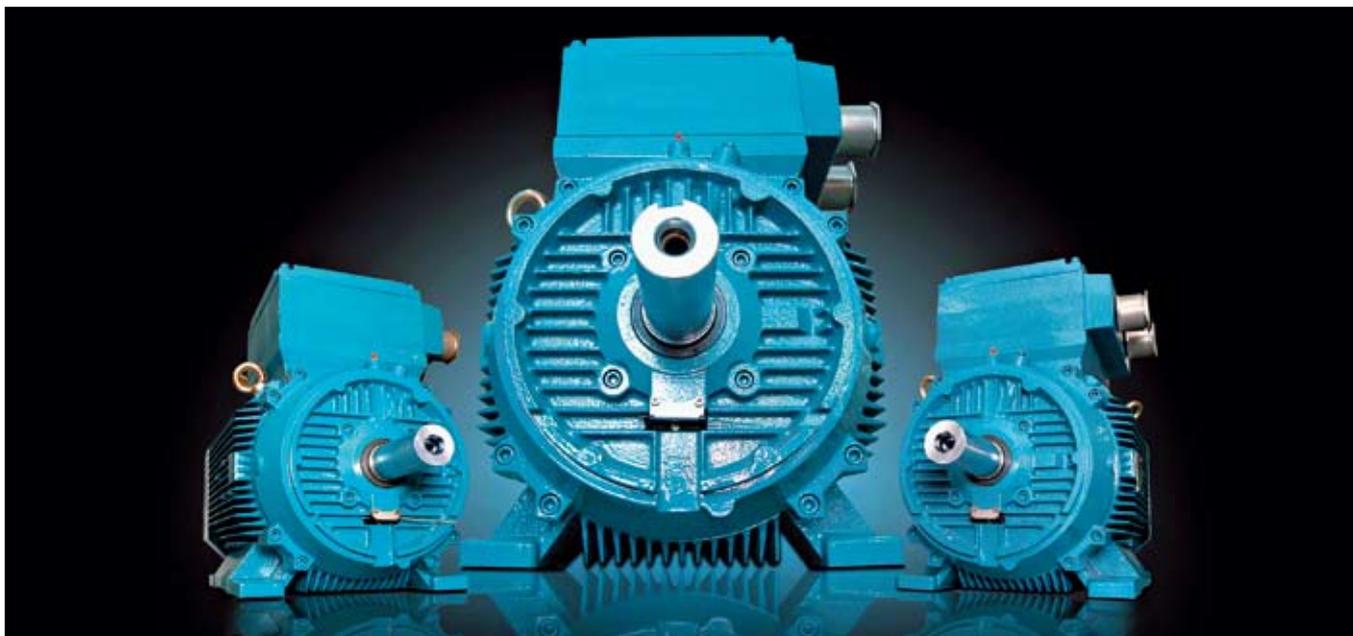
持久性有机污染物是另一大类有害物质，ABB 的产品制造过程中可能会使用含 POP 的材料。与 VOC 不同，POP 很难在环境中降解。由于在环境中存留时间太长，他们会随风和雨飘散到更为广泛的区域。POP 是脂溶性的，因此会在食物链中聚集起来，并最终聚集到人体中。

很多化学物质都属于 POP，包括溴化物阻燃剂，如印刷电路板和计算机

<sup>2</sup> 减少的VOC排放

	2007 年	2006 年	2005 年
ABB 集团	814 吨	992 吨	981 吨
ABB 中国	179 吨	261 吨	226 吨
ABB 中国减少的排放(%)	22	26	23

<sup>1</sup> 上海ABB电机有限公司生产的电机



3 自动电缆加工系统



基板制造以及聚乙烯电缆绝缘材料中使用的多溴联苯 (PBB) 和多溴联苯醚 (PBDE)。随着电子设备需求的上升, 这类 POP 的使用也越来越多。

尽管中国还没有禁止使用这些材料的法律法规, 但 ABB 正在采取措施, 以更加环保的材料取代那些含有溴化物阻燃剂的电缆绝缘材料。

ABB 大量使用聚乙烯电缆绝缘材料, 其中一些材料中含有溴化物阻燃剂<sup>3</sup>。这些材料用于厦门 ABB 开关有限公司和厦门 ABB 低压电器设备有限公司。

4 用于干线的成品电缆



尽管中国还没有禁止使用这些材料的法律法规, 但 ABB 正在采取措施, 以更加环保的材料取代那些含有溴化物阻燃剂的电缆绝缘材料。自 2007 年 9 月起, ABB 厦门开关设备有限公司和 ABB 厦门低压设备有限公司开始采取行动, 停止使用溴化物阻燃剂。截至 2008 年 5 月, 30 家供应商中的 25 家已经停止在其绝缘电缆中使用这些物质<sup>4</sup>。

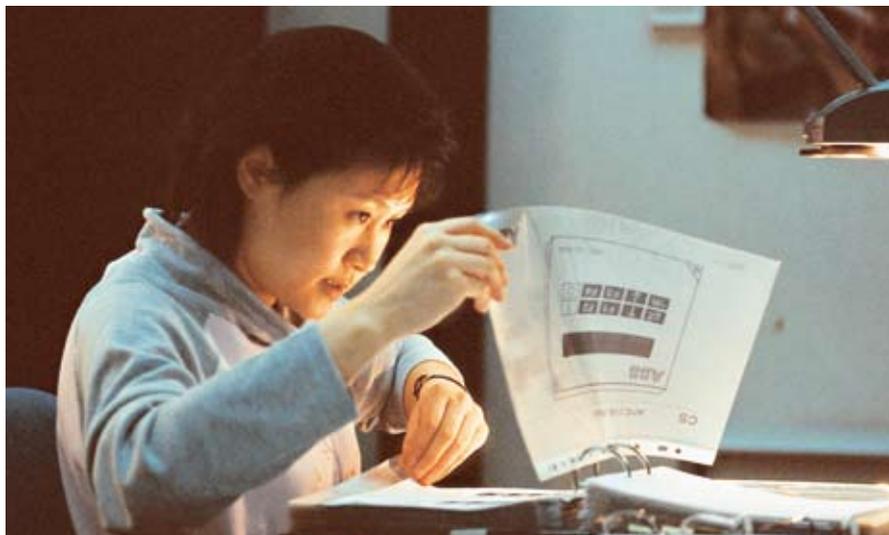
#### 寻找替代物

ABB 中国正大力消除对环境带来不良影响的有害物质和化合物。整个过程涉及理论研究、计算和材料试验。ABB 拥有经验丰富的员工, 他们在材料、机械学和化学等方面具有深厚的知识, 并在先

进的实验室中进行试验, 因此, ABB 具有从事这项研究的良好条件。所有准备用于 ABB 生产过程的新材料, 均须通过审核, 以确定它们是否含有有害化合物, 并寻找更好的替代材料, 减少对环境带来的不良影响。如果希望了解有关 ABB 可持续发展计划方面的详细资料, 请参阅《ABB 集团 2007 年年报》[1]。

除了这些常规测试外, ABB 还持续对合适的生物降解替代材料进行研究, 以期代替来源于石油的塑料材料。鉴于油价的稳步攀升, 采用可在当地种植的可再生资源材料, 还可能带来成本方面的好处。寻找到此类生物材料代替大家所熟知的旧技术, 仍需一段时间, 但这方面的投资会产生巨大的环境效益。

5 ABB进行严格的监控



Markku Rissanen

ABB 中国研究中心

中国北京

markku.rissanen@cn.abb.com

郑世文

ABB (中国) 有限公司

中国北京

shiwen.zheng@cn.abb.com

#### 参考资料:

[1]《ABB 集团 2007 年可持续发展报告——致力于更加美好的世界》。http://library.abb.com/global/scot/scot266.nsf/veritydisplay/8213e927815a7165c1257410003c0c60/\$File/Sustainability%20review%202007.pdf (August 2008)

采用传统自动化系统的最终用户实际上需要购买两种不同的系统，即传统过程控制系统和单独的安全保护系统。对于是否接受在一个采用了通用过程控制器的 DCS 系统中同时存在一体化的安全保护系统，供应商目前仍存在一些分歧。有些供应商认为，在安全法规日益严格的今天，安全保护系统集成到传统的过程控制系统会降低整个系统的安全性和完整性。

关于安全保护系统是否集成到传统自动化系统的争论还将持续下去，但 ABB 公司采取了切实的行动加以解决这个问题。作为一家自 1979 年以来在危险过程控制系统领域卓有成效的供应商，ABB 最近推出了一款独特的 800xA HI 安全与控制组合系统，并无缝嵌入到 800xA 扩展自动化系统架构中。ABB 借助这款系统证实，安全与控制功能可以集成到同一个控制器内，同时，使用高度集成处理技术、防火墙和自诊断技术可以确保将控制功能和安全功能分开处理。另外，该系统还完全符合国际安全功能标准（SIL）的认证要求。

本文基于上述背景，探讨了当前专业人员在安全管理程序中如何使用最新的硬件和软件技术提高对新系统架构的控制和管理能力，以及确保安全性能所涉及到的系统完整性。

# 集成与独立的完美结合

自动化安全保护控制领域的新进展

Roger W. Prew



**将**安全仪表系统 (SIS) 与传统过程控制系统 (BPCS) 进行集成有哪些优势? 首先, 随着项目设计、工程和变更成本的降低, 系统的总成本也将显著减少。在系统定义阶段, 用户可以不通过改变系统架构, 在 SIS 系统与 BPCS 系统之间灵活转换输入和输出 (I/O) 和控制功能, 这样可以提高设计流程的效率, 达到构建一个成本效用更高的解决方案的目标。在系统集成过程中, 这种高度的灵活性可以确保 BPCS 系统与 SIS 系统功能分离, 但是却不需要改变提前数月已经确定的整个系统架构。

■ 采用 ABB System 800xA HI, 安全保护系统与 DCS 其他应用程序和过程管理工具之间的数据处理和交换能力大大提高。

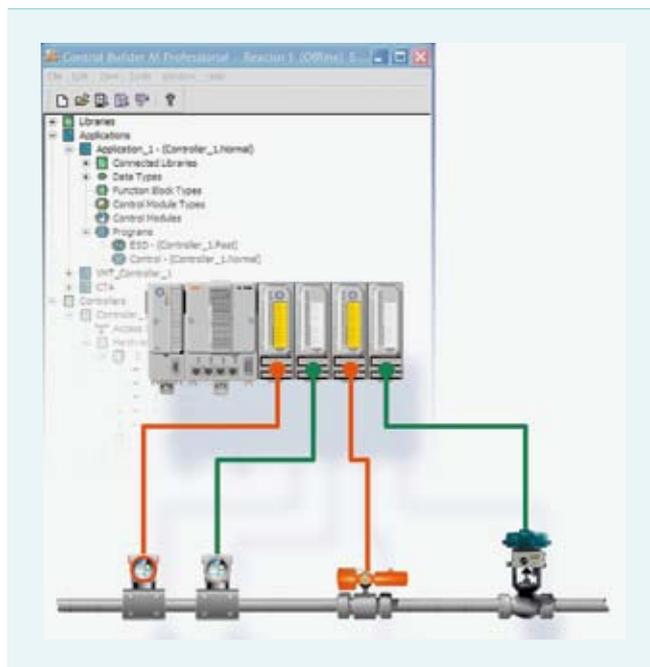


ABB 800xA HI 安全与控制组合系统已经证实, 安全保护系统无缝嵌入到传统控制系统是可行的, 安全功能和控制在系统中可确保得到分开处理。

该系统最明显的优势在于常用配置工具、通信网络、备件、维护、培训、服务和升级方面的成本节省, 但最大的优势却是安全控制系统与 DCS 应用程序和过程管理工具之间的数据处理和交换能力的提高。只有当安全保护系统和传

统控制系统的应用程序在同一个控制器节点中运行时, 两种系统之间才真正实现了实时参数的连接, 这意味着两者之间可以共享昂贵的现场设备和电缆, 从而优化了系统架构 ■。

此外, 完全集成意味着与仪表安全功能 (SIF)<sup>1)</sup> 相关的所有数据 (如安全完整性等级 (SIL) 计算、系统和现场设备诊断数据、跳闸频率、跳闸响应、阀门状态等) 都可以应用到 BPCS 资产管理系统中去。同时, SIS 系统可采用常用方式充分发挥 BPCS 先进的数据收集和分析工具的效力 ■。

## 法规与标准

自动化行业目前已开始重视控制过程系统的安全问题, 尤其在英国弗利克斯巴勒<sup>2)</sup>、意大利 Serveso<sup>3)</sup>、印度博帕尔<sup>4)</sup> 和北海帕玻尔阿尔法钻井平台<sup>5)</sup> 等地相继爆发重大事故之后。过程控制系统的安全保护专业知识如今已成为工程师和操作人员必须具备的通用技能, 同时本行业也制定了许多过程安全准则。当前行业针对电子和可编程系统的通用标准——IEC61508<sup>6)</sup> 便是近 30 年来整个行业与监管部门共同努力的成果。此类标准的总体目标是为了确保各个行业针对危险过程控制采用适当的风险削减战略,

进而阻止上述事故的发生。这一通用标准和工艺行业性标准——IEC 61511<sup>7)</sup> 本质上仅用于参考, 但它们现在已被英国和其他工业国家的监管部门视为“良好实践规范”, 同时还是确定电气/电子/可编程电子安全 (E/E/PES) 是否达到合理水平的方法。这些标准可用于对装置进行基准测试, 且带有强制性。

IEC 61511 规定了评估与特定危险工艺相关风险的方法, 并确定了安全系统必须达到的风险削减度。此标准明确规定应对风险进行评估并应将其削减

### 脚注:

- 1) 安全仪表系统 (SIS) 包含许多安全回路或仪表安全功能 (SIF), 且每项功能对应相应的安全完整性等级 (SIL)。
- 2) <http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/caselflixboroug74.htm> (2008 年 10 月 2 日)
- 3) <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/245t/245th/seveso.htm> (2008 年 10 月 2 日)
- 4) <http://www.bhopal.org/whathappened.html> (2008 年 10 月 2 日)
- 5) <http://www.answers.com/topic/piper-alpha> (2008 年 10 月 2 日)
- 6) IEC 61508 适用于电气/电子/可编程电子安全相关系统 (E/E/PES) 的国际标准。它规定了确保系统经过设计、实施、运行和维护, 达到所需安全完整性等级 (SIL) 的要求。
- 7) IEC 61511 标准优化了 IEC 61508 专门面向工艺行业部门所制定的安全功能标准。它提供了正确应用安全仪表系统 (SIS) 的方法。

## 提高生产率

至“合理、可行的程度”，但却并没有规定应使用何种技术和架构以降低风险。

### 当前技术

目前市场上的许多独立安全系统提前采用了 IEC 标准，并利用各种技术来实现安全应用所需的高完整性控制。“高完整性”一般是指“故障安全”和“容错”功能的组合。故障安全功能可确保当故障发生时，系统以预定的安全方式予以响应，而容错功能则可以最大限度减少故障阻止系统运行的可能性。两者极易混淆！容错系统可能不具有故障安全功能。它可能是冗余或三重冗余系统，但并不表示它适合安全应用。同样，故障安全系统不需要冗余来实现其 SIL。设置冗余的目的只是为了提高系统的可靠性和可用性。

**800xA HI 安全系统与 DCS 共享一个通用控制器和其他组件，并显著增强了整个 BPCS 系统功能包。**

当前市场上流行的 1oo2 冗余系统、2oo3 三重冗余系统和 2oo4 四重冗余系统在设计时均采用了冗余和容错作为减少发生危险故障可能性的方式。如今设计人员可设计出完整的危险故障模式，可在不采取复制方式的情况下执行全面诊断以确保完整性。现在用户可在使用时随时随地单独采用用于确保“安全完整性”的“故障安全型”系统和用于确保“可用性”的“容错型”系统<sup>2</sup>。

一直以来都存在许多关于电子和可编程系统硬件可靠性的争议，但现代表面贴膜技术和高完整性电子设备的可靠性已经得到广泛认可。在一个 SIS 系统中，逻辑运算器硬件是整个安全回路中最可靠的元件！目前越来越多的事实表明，一些现代非冗余系统的平均无故障时间（MTBF）要高于上一代冗余系统或三重冗余系统。实际上，由于固件故障率随着组件的增多和复杂性的提高成比例增长，三重系统和四重系统的可靠性回报率正在下降。

### 新一代系统

ABB 新一代 800xA 扩展自动化系统具有高效的灵活性，可以将控制功能和

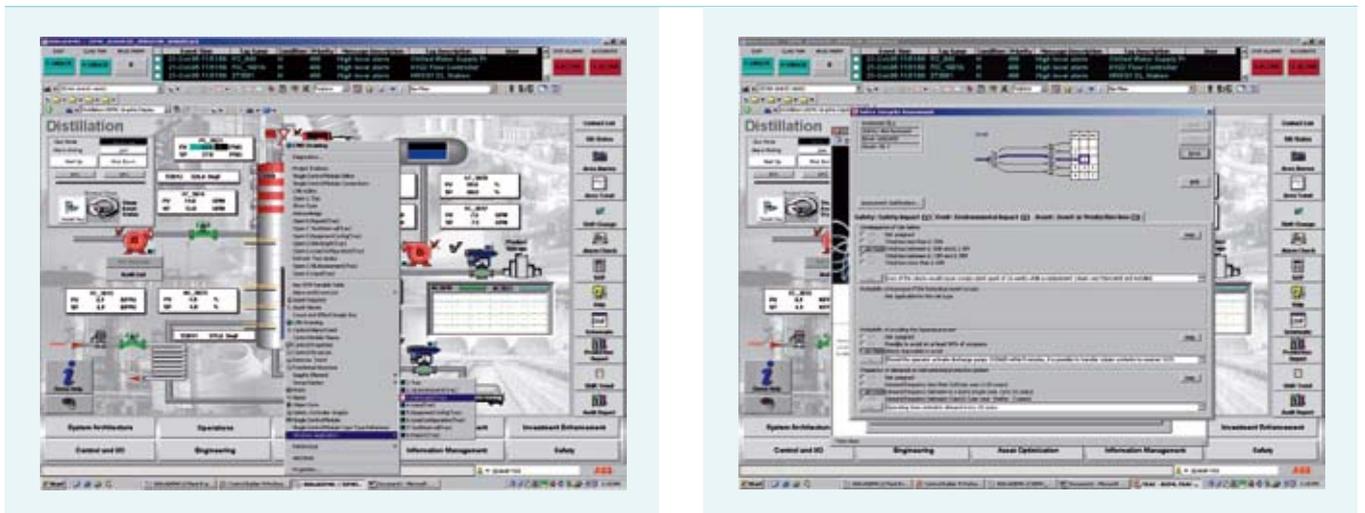
安全功能集成在同一控制器内，也可以将这些功能分离。这款被称为 800xA High Integrity (HI) 的系统绝对不是“修正版的 DCS”或添加了安全功能的 DCS。它经过了专门的设计，可满足安全保护市场和当前安全标准的要求。

**通过 800xA HI 安全程序认证的有限指令集编译器完成与安全保护相关的程序编译。**

要达到上文所述标准的要求，就与安全相关的系统而言，必须解决四个关键问题。许多错误的观点认为，只要计算出的要求的故障可能性（PFD）在合理的级别范围内，系统就符合要求。但事实上，只有在满足以下四个条件时，系统才符合要求。

- 故障率（PFD）的重要意义不言而喻，实现安全功能的所有子系统的数量必须属于经过认证的数据集，从而方便评估整个系统环路 SIL。
- 作为系统能力的一种衡量标准，安全失效系数（SFF）用于检测并避免危险的失效模式，是经认证的数据集的一部分。
- 必须评估完整的系统架构所造成的

<sup>2</sup> 用于阻止危险事件发生的相关安全功能风险图



任何限制和带来的完整性优势，并记录 SIL 等级的含义。

- 系统的体系完整性包括应用开发流程、系统的生命周期安全管理以及用于开发和检验符合 SIL 标准的高完整性软件。

容错系统可能无法实现失效安全。这是因为其冗余或三重冗余的架构不能自动适应安全应用。

800xA HI 安全系统可以解决上述问题。设计团队依照经过审查的功能安全管理流程操作，且每个阶段的设计概念和细节都得到了 TUV（TUV Product Service 是全球领先的商业独立认证机构之一）的认可<sup>3</sup>。在第三方顾问的协助下，由团队内部的一位认证专家领导细节设计，确保其始终符合相关要求和标准。

800xA HI 安全系统与 DCS 共用一个通用控制器和其它组件，为整个 BPCS 系统带来了一系列的重要改进，包括：

- 通过以下方式提高 BPCS 的可靠性：
  - 诊断——进行广泛诊断是确保完整性的先决条件

确定——安全模式带来确定性的执行模式

完整性——使测量值和控制行为为具有更高的可靠性和精确度

- 加快了 BPCS 系统和 SIS 系统之间的通信速度，在实际安全界限（或安全距离）方面实现更高的过程控制优化水平。

### 集成与独立的完美结合

毫无疑问，有关是否将安全保护功能从 BPCS 系统中分离出来的争论还将继续。

但是，IEC 61508 和 IEC 61511 标准实际上已承认了一点，即：安全与非安全功能可以存在于同一系统中，如果“有证据表明安全与非安全功能的实施具有足够的独立性（即与非安全相关功能的失效不会导致可能造成危险的安全功能的失效）”（IEC 61508-2 第 7.4.2.3 条），这些标准还要求将共同模式失效的可能性降至一个可以接受的水平（IEC 61511 第 1 部分第 9.5.1/2 条）。

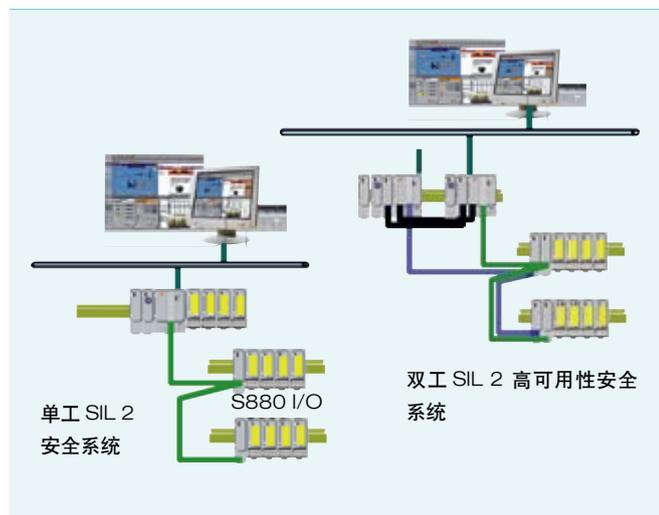
ABB 推出的新一代 800xA 系统如实满足了上述要求。新系统的模块化满足了上述标准在功能分离和共同模式失效方面的要求。保护和完整性数据处理领域的内存分区、独立执行上下文、防火墙

及堆栈管理技巧可确保安全与非安全程序在同一处理环境中互不干扰地独立运行。通过将与人机接口（MMI）的常规通信限制为只读模式，并为超特创建一个“安全写”功能（仅在管理员进行人工干预时激活），可保障安全功能的完整性。为确保安全功能的完整性，安全与非安全功能间的点对点通信也受到严格控制。额外的循环冗余检验（CRC）和相关性检测意味着可将点对点网络看做一个灰色通道。

从一开始，800xA HI 的设计目标就是满足安全保护市场和当前安全标准的要求。

我们对降低风险的“保护分析层（LOPA）”<sup>8</sup>方法进行了详细分析。分析确认，LOPA 支持的保护功能，在 DCS 系统应用层面，在保护和控制功能混合的控制器节点或保护和控制功能独立的 800xA 节点中运行时，情况等同于在具有完全不同的控制与安全机制的系统中实施<sup>9</sup>。从运行 800xA HI 控制器中的 BPCS 系统应用所获得的附加完整性超过了可能发生的共同模式失效所带来的额外风险。

3 System 800xA HI 安全系统架构



4 ABB 800xA HI 安全系统经 TUV 认证，符合 EC 61508 和 EC 61511 安全标准。



## 提高生产率

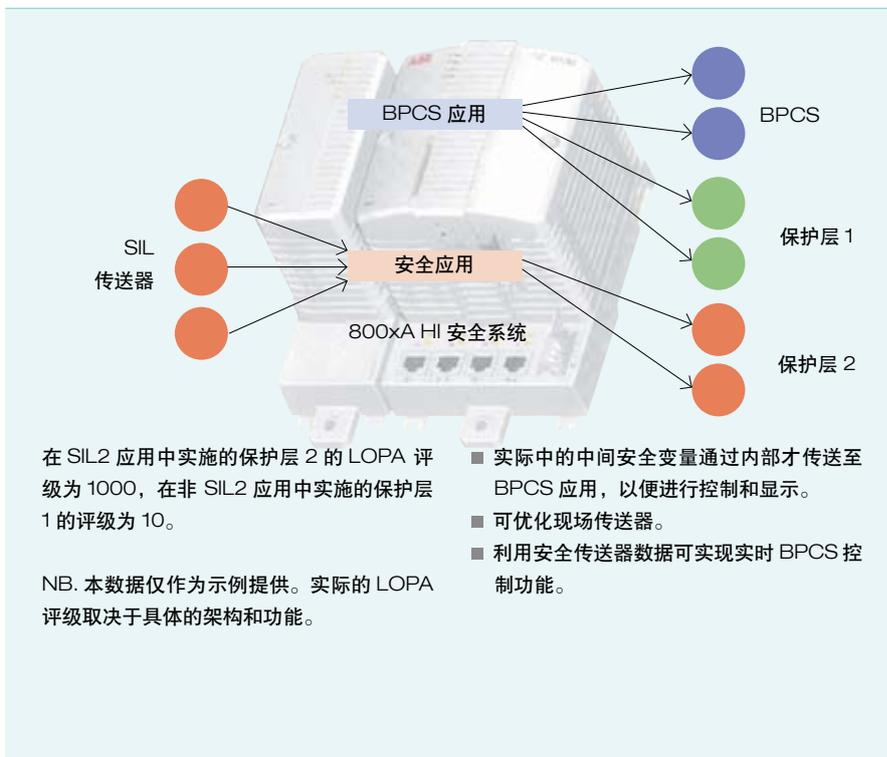
对于石油和天然气市场，System 800xA HI 提供了一个冗余架构，该架构可在 I/O 独立实施，并在操作员级别添加容错功能。

与安全相关的程序利用通过 800xA HI 安全程序认证的有限指令集编译器编译而成。在编译过程中，更多编译器测试套件和 CRC 冗余校验可以确保已编译的安全程序的完整性。在运行期间，应用程序模块的执行针对顺序、时间和差异进行验证。处理组件和 I/O 之间的内部通信被复制并通过业界证明的技术得到双重检验，以确保忽略所有错误或意外讯息。System 800xA HI 在 I/O 和处理器中采用不同的硬件，并在安全模块中使用经过 TUV 验证的实时操作系统，确保全面满足 IEC61511 对安全功能的完整性要求。

### 最高可靠性与可用性

800xA HI 设计具有内在的失效安全特性，诊断覆盖范围接近 100%，即使作为单一应用也不例外（ABB 表示 SFF 可以达到 99.9%，实际上，系统中尚未发现未检测出的失效模式）。这是借助旨在完全满足 SIL3 要求的初始硬件设计来实现的（可能存在四个 SIL 级别，其中可信度最高的是 SIL4，最低的是 SIL1）<sup>9)</sup>。I/O、本地 CRC 校验和关机控制中的硬件多样性，结合独特的处理器 / 安全模块架构，可杜绝共同模式失效情况的发生。不仅如此，经审查的失效模式和效果分析（FMEA）与失效率使该系统进入了 SIL3 级别的前 6%。目前我们已经公布了经审查的基于验收试验（间隔八年）PFD 数据。

### 5 功能分离



经审计的 FMEA 和失效率使 ABB 的 800xA HI SIS 进入了 SIL3 级别的前 6%。

在石油和天然气市场，安全逻辑运算器系统有望实现两个目标：(a). 无中断连续运行至少 15 年；(b). 在运行期间支持各种升级、改造和变更。System 800xA HI 提供的冗余架构可在 I/O 级别、处理器级别及操作员工作界面独立实施，以添加容错功能，从而为高完整性系统带来了高可用性。该冗余系统同样支持对系统应用进行安全在线升级。

有关基础原则的争论还将继续，但历史告诉我们，只有挑战陈规、发掘解决问题的新思路同时符合相关标准才能不断推动科技进步。

Roger W. Prew  
ABB 过程自动化业务部  
英国 St Neots  
roger.w.prew@gb.abb.com

### 脚注：

8) LOPA 是一个简单的风险管理评估方法，用于评估危险情景的风险并将其与风险容忍度标准进行比较，进而确定现有的安全保护措施是否充足，以及是否需要采取其他安全保护措施，更多信息请访问 Primatech 公司网址：[http://www.primatech.com/info/faq\\_layers\\_of\\_protection\\_analysis\\_\(LOPA\).pdf](http://www.primatech.com/info/faq_layers_of_protection_analysis_(LOPA).pdf)。

9) 如欲全面了解 SIL，请参阅《ABB 评论特刊：自动化系统》2007 年 1 月第 96 至 99 页的“安全工具”章节。

# 丝丝相扣

集成型电气与自动化系统  
Peter Tubaas, Martin Stamnestro

随着过程工厂日趋庞大和复杂，自动化系统必须处理日益增加的大量信号。与此同时，电气用户的增多也使电气控制系统变得不可或缺。电气控制系统本身是一种自动化系统，为过程控制、电气用户和执行器提供了一个接口。ABB 负责所有这些系统的管理和集成工作。借助 ABB 完成集成工作并管理所有接口，客户可加快项目执行速度、减少重新设计工作量并提高质量和运营效率。

## 提高生产率

**任**何过程工厂都离不开电气系统，作为核心部件，它可以为电动机、加热器以及照明和其它辅助设备提供赖以运转的电能。电气系统的构造通常十分复杂，它依靠上千个元件和数千米长的线缆来运作，并且过程工厂规模越大，系统构造就越复杂。大型过程工厂必须依靠自动化系统以实现高效、安全地运行。这些自动化系统通常能够以迅速、可靠且可预测的方式，对数以万计的信号做出响应。鉴于此，过程工厂迫切需要促使电气与自动化系统实现无缝集成，而 ABB 已在 StatoilHydro Snøhvit（“白雪公主”）液化天然气（LNG）工厂中实现了这一优势。在那里，电气监控系统（ECSS）可以与各种设备进行通信，确保为 LNG 设施提供稳定的电力供应。

对过程工厂而言，没有哪种系统比综合性安全与自动化系统更重要。

### Snøhvit 气田

Snøhvit 气田于 25 多年前被发现，它以经典的童话人物——白雪公主的名字命名。虽然开发这个气田的道路漫长

而曲折，但这个项目终于在 2007 年 10 月启动了。

最近几年，过去人迹罕至的 Melkøya 岛（距 Hammerfest 市不远）已成为北欧最大的建筑工地，这也是挪威有史以来最大的建筑项目。

来自 Snøhvit 气田（距离巴伦支海海岸大约 140 公里）的天然气就会流入天然气加工厂，并在处理后运往全球的 LNG 市场。工厂的核心产品是液化天然气（LNG，每年 56.7 亿立方米），液化石油气（LPG，最高可达每年 250,000 吨）和冷凝物（最高可达每年 900,000 立方米）。所有产品都将通过船运方式出口。

Snøhvit 是巴伦支海的第一个开发项目。早在 20 世纪 80 年代初这里就发现了油气田。与毗邻的 Albatross 和 Askeladd 气田合并后，Snøhvit 天然气储量将超过 3,000 亿立方米。海底天然气的提取将由专业人员在 Melkøya 远程操控水下设备来完成。水下控制系统过去由 ABB 英国公司提供（现在由 Vetco Aibel 公司提供），其核心组件（由 ABB 挪威公司提供）是整

个安全与自动化系统（SAS）的一个重要组成部分。

### 对工厂的全面控制

Snøhvit 工程的安装工作非常复杂。这一过程涉及多项工作，包括水下控制处理、复杂的 LNG 工艺以及最终产品的存储和装载。

对过程工厂而言，没有哪种系统比综合性安全与自动化系统更重要。通过 Snøhvit 过程的信号数量非常庞大；过程控制与数据采集（PCDA）系统必须同时处理 30,000 多个信号。哪怕只有一次意外停机，我们都会蒙受巨大损失。因此，ABB 控制系统均按照最高标准构建，且经过严格测试，确保能够提供最高级别的安全性和最短的停机时间。

利用燃气涡轮排放的热废气为需要高温的处理部件加热。

通常，过程工厂业主（尤其是 Statoil）信奉的理念是为操作人员提供进入工厂的“单一窗口”。ABB 800xA 扩展自动化系统即可提供此类设施，也因此被 Snøhvit 项目选中。

挪威海岸邮轮运营商 Hurtigruten 旗下的 MS Nordlys 邮轮驶入 Hammerfest 港



1 Snøhvit 位于挪威北部海岸



## 工厂的电力需求

液化天然气复合物的加工需要稳定可靠的电力供应。然而，大多数 LNG 工厂都位于电力供应不稳定或根本没有电力供应的地区。Snøhvit 工厂也不例外，因此它必须依靠自己的电力供应系统。

Snøhvit 气田的天然气储量超过了 3,000 亿立方米。海底天然气的提取将由专业人员在 Melkøya 远程操控水下设备来完成。

为了满足电力需求，Snøhvit 工厂建立了一个 1.65 TWh 发电厂，内部配备了 5 台 50 兆瓦的燃气轮发电机。这些发电机可为功率高达 65 MW 的大型制冷压缩机提供强大动力，压缩机由变速电动机驱动，用于对天然气进行液化处理。燃气涡轮排放的热废气可用于为加工过程中的其它部件加热。得益于电力传动装置的高可用性（与燃气涡轮机相比），这种组合不仅能够节约能源，平均每年还能增加 10 天正常运行时间。

Snøhvit 工厂不仅拥有自己的电站和大型压缩机传动装置，还拥有涵盖数千台较小的用电设备的大型配电网。ABB 向工厂提供了各种电子组件，其中包括 EXK-0 型高压开关（额定电压为 145 千伏）和 UniGear ZS1 型中压开关（额定电压为 6.6 千伏和 11 千伏），以及为灭弧提供早期探测和开关快速保护的光学弧探测系统。此外，MN 型开关可在 400 伏和 690 伏的低压电平上使用。这些低压电平上有大约 500 个电箱为近 2,500 台消费设备提供电力，其中包括约 600 台 Insum 启动器（智能电动机启动器）和 75 台 ACS 800 变频器。工厂内还广泛采用 ABB 的保护和控制装置（REF542），以期在电力系统出现故障时，获得最高级别的安全性和精心的保护措施。

## 电气监控系统

电气系统的复杂性决定了工厂必须配置一套自动化 ECSS 系统。利用该系统可联结数千台发动机、交换机、电流接触器和断路器，并将发生故障所造成的影响降至最低。哪怕只有一次意外停机，工厂都会蒙受巨大损失。

作为电气系统的核心，ECSS 系统负责与各种使用串行链接和以太网的 ABB 产品进行通信。它还可以链接到自动化系统和其它第三方产品。ECSS 系统中包含 48 台 AC800M 控制器，每次可处理大约 44,000 个信号——超过了工厂的自动化系统。此外，ECSS 具有其它多种功能，可为工厂提供稳定的电力供应、降低操作成本并减少废气排放，同时提高安全性。

最近几年，过去人迹罕至的 Melkøya 岛（距 Hammerfest 市不远）已成为北欧最大的建筑工地，这也是挪威有史以来最大的建筑项目。

电力管理系统（PMS）是 ECSS 的一个重要组成部分。由于即使较小的故障也可能导致设备关机的连锁反应，进而影响大部分或者整个工厂，因此工厂必须迅速、妥当地处理故障，避免发生多米诺骨牌式的连锁破坏。ABB 的 PMS 同样基于 800xA 扩展自动化系统，设计用于监督、控制和保护过程

一位 ABB 工程师在 Melkøya 岛上观察整个工厂（摄影：Peter Tubaas, ABB）



两位 ABB 工程师正在 Melkøya 岛上的 LNG 工厂讨论日程计划（摄影：Peter Tubaas, ABB）



## 提高生产率



工厂的所有部门。它具有以下功能：

- 监控和数据采集（SCADA），包括发电机、断路器、模式和电机控制
- 电力控制，包括联络线控制、高峰调节和负载共享
- 减载，包括快速、慢速和定期减载以及手动减载

PMS 系统中最重要、使用最频繁的功能之一是减载功能，利用它可将电气系统故障对工厂运转造成的影响降至最低。ABB 已经为全球客户交付并启用了 30 多个 PMS 系统，充分证明了 PMS 在改进工厂正常运行时间、效率和可靠性方面的出色能力。

**ABB 在自动化和电气系统领域积累了 50 余年经验，能够帮助工厂优化集成工作。**

ECSS 不仅为过程工厂的自动化和电气系统之间提供了接口；还可以为工厂提供必要的功能和可靠性，有效防止可能的系统停机（这些停机可能需要花

费数百万美元进行修复）。虽然与过程工厂的自动化系统实现了全面的通信和数据交换，但 ECSS 并不依靠这一点来运行。相反，它可以独立运行，这就确保了电气系统的运行安全、可靠。

### 主电气供应商的方案

过去，石油公司与工程、采购和建筑（EPC）合同商经常会通过单独的合同购买各种设备，如变压器、高压开关、中压开关和低压开关等。而通过一份大额合同一次性购买大部分电气设备和系统及工程服务可降低项目风险。这些系统完全整合且支持相互操作，在确保安全的同时还可降低成本、加快项目执行速度。此外，由于只需与一家承包商合作，项目协调工作将更加轻松，安装和试运行的安全性也会大大提高。

StatoilHydro 已经认识到了这种方案的价值，并将 Snøhvit 项目所有高压、中压和低压开关以及 ECSS 的采购合并到一份合同中。除提供设备外，ABB 还提供包括各种电气网络研究在内的一

系列工程服务，它们都是确保工厂的安全运行和实现最高效率的必要条件。

由于 Snøhvit 工厂实际上接入了挪威北部电网，因此很快就对研究整个工厂的动态行为（包括气轮发电机组及其与电网的连接）产生了兴趣。ABB 已经进行了动态稳定性研究，以用于设置和调整电力管理系统的参数和专用发电机控制算法。这不仅可以确保过程工厂的稳定运转，还能确保工厂为挪威北部电网的稳定性提供支持，满足电网运营商的要求。

**液化天然气复合物需要稳定可靠的电力供应。然而，大多数 LNG 工厂都位于电力供应不稳定或根本没有电力供应的地区。**

### 一流的 ABB 技术

凭借在自动化和电气系统领域所积累的 50 余年经验，ABB 可以帮助工厂优化集成工作。集合电气和自动化系统正成为大型过程工厂的一大特点。几乎无法想象失去自动化系统的工厂将如何运转，这不仅仅出于安全原因，还要考虑到节约成本和提高效率等因素。依靠 ABB 这样经验丰富的公司，类似 Statoil 这样的大客户就能确保工厂实现安全可靠的运营。

**Peter Tubaas**

ABB 企业传播部

挪威 Billingstad

peter.tubaas@no.abb.com

**Martin Stamnestro**

ABB 过程自动化业务部

挪威奥斯陆

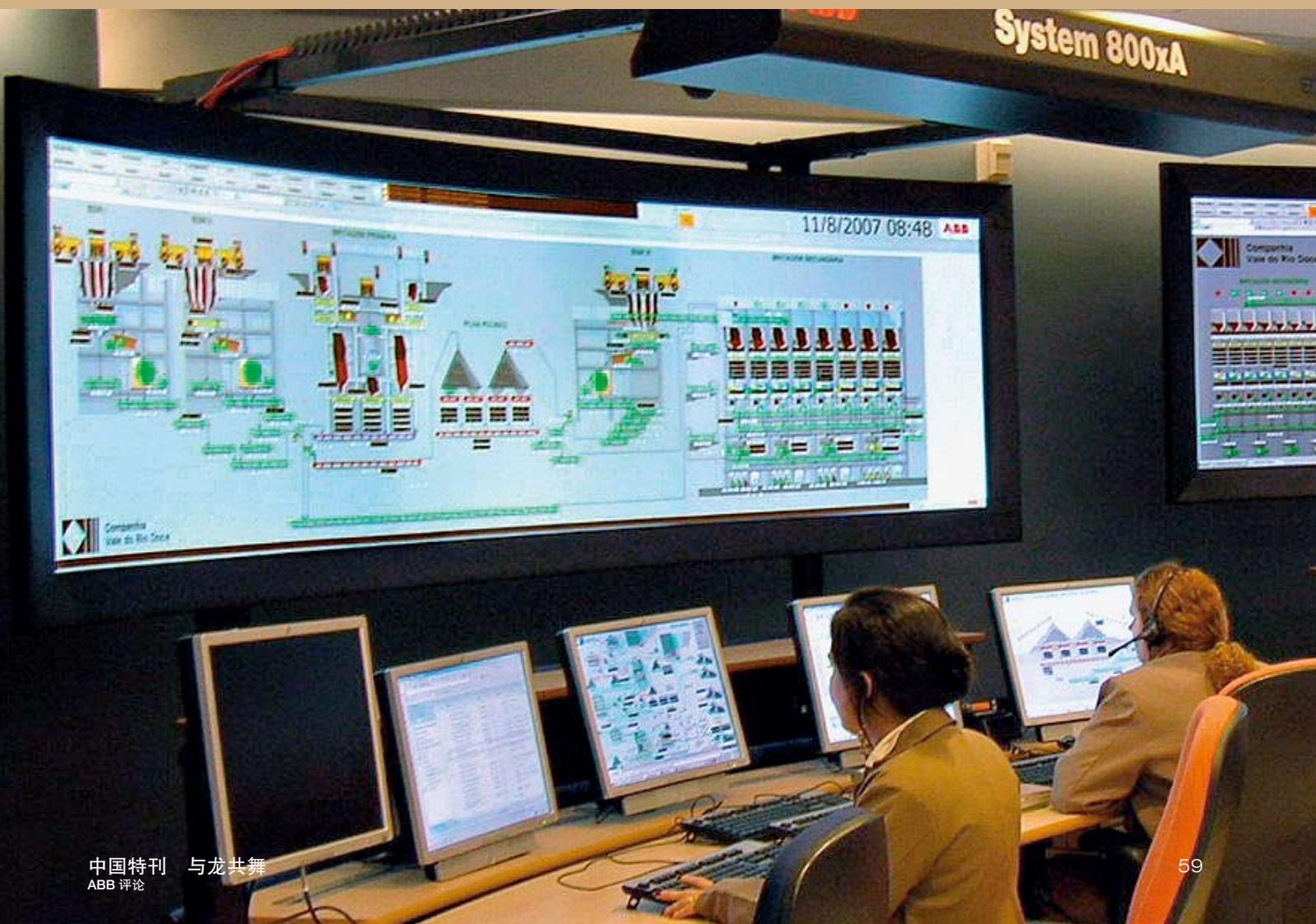
martin.stamnestro@no.abb.com

# 生产效率大幅攀升

一个操控员的“梦”：控制室内的工效学

Per Lundmark, 曾硕巍

给现场工人提供合适的生产工具以增强他们的生产能力，从而提高劳动效率是工业领域通用的生产准则。控制室监控程序就是一个典型的例子。高效工具的定义不仅在于它能胜任的工作领域有多宽，而在于用户在使用过程中是否用得舒心。操控人员在任何时候都需要快捷、直观地获得相关信息，信息的延迟、显示方式不清楚都会增加操控人员误判断的风险，甚至会使生产停滞。ABB 公司勇于挑战，将控制室工效学及人机交互推向新高，允许操控人员在所有的显示界面都可以随心所欲地交互操作。



## 提高生产率

**更**全面的生产过程纵览、更高的工作效率、更精良的人体功效设计是 ABB 为控制室操控人员提供的完备操作环境的首要特色，而 800xA 系统更是拓宽了操控人员的工作视野。

操控人员可以看清整个电厂全景，同时还可以选择性浏览电厂任意局部的图片，当发生事故时可在第一时间做出反应。

该平台建立在 ABB 独有的 800xA 系统软件及其持续发展的科技实力上，由斯堪的纳维亚（北欧）两家联合公司共同开发，目前已经投放市场。第一阶段的安装工作已经结束，还有几家业内客户还在期盼我们的送货与安装，预计更加高效、更加安全、更高收益的产品也将相继推出<sup>1</sup>。

已经看到过或已选择 ABB 800xA 增强型系统的客户评论最多的是，他们希望控制室操控人员拥有最广阔的工作视野。“我们期望我们的操控人员对生产过程能够全面的纵览，而且可以赋予我们更多的可能性去保障我们能够生产出质量最优的产品，因此为我们的控制室选择了 ABB 800xA 增强型操作系统”。

另一个评论是增强型操控系统高效组合了巨型全景显示屏与若干传统小型监视器，且所有这些显示皆能全方位交互显示。“最重要的是我们的操控人员可以看清楚整个电厂的全景，同时还可以选择性浏览电厂任意局部的图片，当发生事故时可在第一时间做出反应；而且它还易于功能修正和恢复，这就使得我们可以最大限度的减少停产的概率”。

还有很多客户在期盼我们的高科技产品，如加工业、石油化工业以及热电厂，

它们都为我们高效操控系统的优异性能所折服。

超过 40% 的停机事件都涉及操控人员的操作失误，但在更多的情况下，这些原因还可以继续追究到操控人员没有快速获得足够的重要信息。

操控系统的核心是 ABB 800xA 自动化系统及其独特的功能、不凡的运行方式。系统预装组件包括：操控人员界面以及可在不同类型显示器上以多种方式显示信息的软件，因此可以说它开辟了一种全新的方式，全面地浏览和监控所有的生产流程。

在生产中，已经搭建了全新操控人员工作站的开发平台：ABB 与两家北欧公司已成功地举行了业务合作签字仪式，一家是控制室设备的开发商与

<sup>1</sup> 基于 800xA 系统构成的一个更加有效、安全和有利的监控产品，以及增强型运行中心



生产商 Creative Grafiska Möbler AB; 另一家是巨型显示屏和投影机供应商 3D-Perception AS。经过几年的发展, 800xA 增强型操控系统目前正为全球操控室所有用户整装待发。

操控室系统将操控人员办公桌扩展为双倍大小, 该办公桌可以选择性设置一个或两个操控位, 每一个桌子上可放置四个监控显示器, 每个操控位可以控制将安装在办公桌后面的投影机信息切换到巨型显示屏上。该工作站通过 800xA 系统独有的软件程序优化, 可将系统配置到极佳状态, 自动将显示的图像信息修正为符合人体功效学原则的方式。除此之外, 它还允许小型监控器与巨型显示屏的图像信息进行任意组合。

ABB 认为, 人体功效学的设计原则与巨型显示屏的应用对操控至关重要, 它为操控人员迅速决策、避免失误创造了条件, 目标是最大限度减少非正常的生产停机, 从而在电力生产中维持高质、安全、持续的生产环境。

系统开发工作必须遵循创建良好操控室工作站的一系列指导方针: 必须能够提供良好的生产纵览界面; 对应急快速反应必须提供完全交互功能; 必须具有现代化时尚气派; 必须可以替换现存的、难于管理的面板墙的所有功能; 必须拥有一体化录像监控器, 如 CCTV; 必须考虑参观者参观时不能干扰操控人员运行; 必须进行光照条件好、噪音低的人体工效学设计; 必须允许在生产过程中不同控制室之间的重组与通讯联系。

新控制室工作台中最重要的是能够选择显示纵览图。在大多数工业领域的控制室, 非常常见的是采用了巨型显示屏, 不过它们都没有提供任何交互

ABB 的交互式显示技术为运行人员提供了最优支持



手段, 通常只是显示了并没有多大用途的趋势图, 操控人员若在这样的控制室里为公司效力, 恐怕也只有两台监控器、只能掌握不完备的信息、对着低效的录像监测器、做着摄像机监测的事务。

超过 40% 的停机事件都涉及操控人员的操作失误, 但在更多的情况下, 这些原因还可以继续追究到操控人员没有快速获得足够的重要信息。

### 操控人员工作台允许小型监控器与巨型显示屏的图像信息进行任意组合。

800xA 增强型操控系统的优势在于: 可以在不同型号的显示器和投影机灵活配置显示信息。比如: 当纵览图画面占满完整的巨型显示屏时, 同时小型监控器可以显示细节图、细节框图或其他的信息; 同样地, 当巨型显示屏以小视窗形式显示趋势图时, 单一的图像、单一的框图也可以进行扩展, 并由三台小型监控器组合成一幅完整的图像予以显示。并且, 所有图像都可

由 800xA 系统软件自动进行平滑修整, 确保在不同的窗口界面显示时图像清晰、容易理解。

巨型显示屏可以不同的方式进行显示:

- 显示单张无分割图像;
- 为了显示出系统内所有的界面, 图形可以层叠显示;
- 能够显示多幅图像组成的组图 (即多画面显示);
- 考虑来访者参观时对图像进行重组;
- 完成“实况录像机”功能, 而不需分散设置的录像监控器。

系统工作台另一个重要要求就是要为操控人员提供一个理想的工作环境, ABB 期望改变操控人员的工作“角色”, 可以让他们在高效的环境下工作, 同时也可获得极高的满意度。

工作环境的改善也包括流线形工作台表面、办公桌是否具有升降的功能, 与此类似, 巨型显示屏也要有升降功能, 而且它的表面还应该轻度的弯曲, 这样才能给坐在工作台座椅上的操控人员呈现出最清晰的画面。将巨型

## 提高生产率

2 Matrox 远程图像终端有利于减少控制室的热辐射和噪音的影响，仅将人机界面显示给运行人员，主机被放置在另一个单独的房间



显示屏直接安装在工作台桌子的后面，而没有装设在墙壁上，这样的设置是考虑到当有人通过时不会影响到操作人员监控纵览图。另外一个工作环境的改善是可以选择性地计算机主机设备全部撤出控制室，以应对普遍发生的问题：发热量高、噪音大、空间有限和安全性问题。

完成这一使命的是 Matrox Graphics 电子子公司开发的远程图像转接卡。Matrox 在系统的工作站或服务器上装设了一个转换卡，替换了原来装设的标准图形卡，可以将远方图像采集器信号转换为光纤电缆信号传送至操作人员。远方图像采集器收集所有必要的 I/O 信号：四个监控口、外围设备（如键盘

和鼠标)的六个 USB 接口以及扬声器音频连接器，Matrox 远方图像采集器可运行在所有的 800xA 系统的安装程序平台上 2。

工作环境问题也受到了国际咨询公司 ARC 顾问集团 (ARC Advisory Group) 的关注，该集团以比较不同操作员工作站科技含量为已任，并为未来的发展制定准则。作为其工作的一部分，它们研究了 800xA 增强型操控系统并给予了高度赞扬，评价其为“最优秀的人体工效学工作站设计，改善了操控人员的工作环境，提高了工作效率，它的最大特点就是降低了操控人员的劳动强度，并且使他们从工作中得到满足”。

### ABB 期望去改变操控人员的工作“角色”，可以让他们在高效工作的同时也可获得极高的满足度。

ABB800xA 增强型操控系统获得了极佳的反馈。2007 年，在搭建完一个全新的操控人员工作平台后，一位客户评价道：“在智能操控中心工作，我深感自豪。在这里的每个角落，我体会到了舒适、完美、科技和安全。在这样的的工作环境，的确使我们的工作团队感到兴奋和充满动力。负责此项目的团队值得庆贺，因为这大大超过了我们的预期。”

**Per Lundmark**  
ABB 过程自动化业务部  
瑞典 Västerås  
per.lundmark@se.abb.com

**曾硕巍**  
ABB (中国) 有限公司  
中国北京  
william-shuowei.zeng@cn.abb.com





## 将能源效率提高25%?

ABB的电力与自动化解决方案成功帮助欧洲最大的电解铝厂将能源使用效率提高了25%，同时大幅提升了生产率。我们的研发紧紧围绕着改善业绩和节能，以持续地帮助客户节省资源和费用。欲了解更多，请登录 [www.abb.com/energyefficiency](http://www.abb.com/energyefficiency)

当然能实现。

用电力与效率  
创造美好世界™ **ABB**

# 提高效率 减少排放

减少柴油发动机排放

Ennio Codan



全球航运日益频繁，尤其中国在这方面的势头更为显著。中国知名发动机制造商在航运、电力和机车领域采用了 ABB 涡轮增压系统。由于燃油效率和排放方面的法规日益严格，中国造船业和航运业希望通过与 ABB 合作以增强竞争力。

大型发动机的发展总是与废气涡轮增压器的发展紧密相关。近年来，通过提高平均有效压力，压气机增压比的每一次进展为改善发动机性能带来了新机遇。

**目**前，涡轮增压器已经发展至顶峰，因此传递出这样一个信号：转向新领域——多级增压技术。

### 两级增压技术增压压力更高

尽管起初兴趣很大，但早期研究到目前为止极少应用到工业生产中。上世纪90年代这种情况发生了改变。主要有两点原因：一是日益从紧的排放法规促进柴油机的快速发展，对增压压力提高的要求远远超过了本身功率提高所要求的增压压力。二是目前的涡轮增压技术已非常先进，可以考虑发展两级增压技术。近年来两级增压技术已经应用到商业之中。然而，从目前来看，汽车及工业用高速发动机由于面临比大型柴油机更严格的排放限制，二级增压技术的应用还有一定限制。现在对大型柴油机的严格排放限制已经实行，更为苛刻的排放限制正在规划中。

### 效率困局

研究柴油机的通用方法是假定柴油机工作过程是理想循环的，且工质为理想气体。然而，以这种方式取得的效率曲线有可能误导我们。在理想的条件下，以目前最先进的柴油机设计，可以预测柴油机的热效率高达68%-

70%。然而，实际上50%的效率已经非常好了。实际与理论的差距表明柴油机还有很大的提高潜力。为什么效率不能更高呢？

对照损失可知主要原因是源于气体性质（工质比热随温度变化）。柴油机设计的改进并不能对此有任何帮助。散热损失是第二大损失，但柴油机设计改进也不能使散热降低很多。但是，这两个因素都与最高循环温度有很大关系。

ABB研究表明可以重新考虑采用传统的“高温”方式提高效率。但同时升高的最高循环温度将促进NO<sub>x</sub>的生成，而NO<sub>x</sub>排放降低是一个关键的环境目标。因此如何在提高柴油机效率的同时减少排放呢？

### 米勒定时

要做到这一点，一个方法就是降低发动机压缩行程始点的温度，例如利用米勒定时。在米勒循环中，为了得到所需的空燃比，新鲜空气的压力比通常情况要高很多。对进气门的关闭进行定时以便气缸中吸入适量空气。压缩空气在气缸内膨胀，导致温度在压缩行程开始时降低。

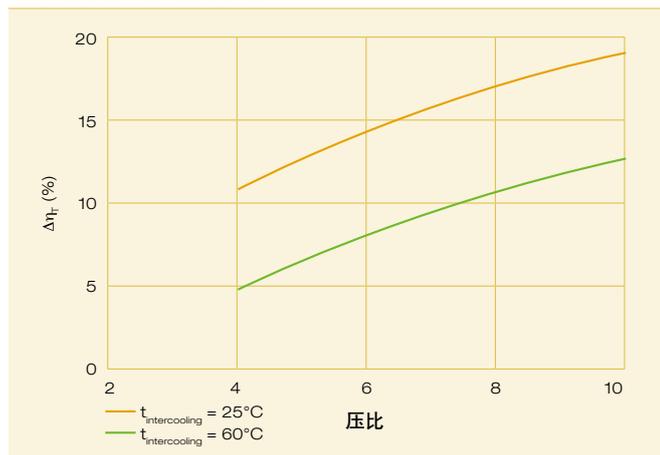
采用米勒定时后，一个显著的改善就是降低了爆压。同样达到60%的效率，应用米勒定时发动机的爆压比传统发动机要低约80bar（190bar对比270bar）。这样，应用了米勒定时后，在相对较低的爆压下就可能达到很好的效率。同时，由于较低的燃烧温度，NO<sub>x</sub>的排放也降低了。由此可以推出在相同效率前提下，米勒定时可以在不增加爆压的情况下提高输出功率，这就延长了已有四冲程内燃机的设计寿命。

米勒定时对于气体发动机有更多好处。虽然气体发动机有NO<sub>x</sub>排放低的优点，但是因为爆燃的影响，最大燃烧温度限制了发动机的平均有效压力和效率的提高。由于米勒循环允许更低的燃烧温度，这样压缩比、爆压、平均有效压力等参数就可达到更高值。这就大大地缩小了气体发动机与柴油机在输出功率与效率上的差距。

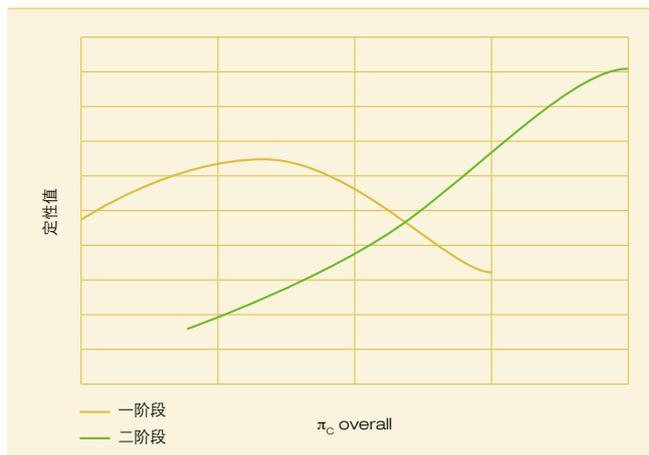
### 发动机设计者面临的挑战

上面所有的考虑都是基于理论的米勒过程。然而，为了达到这些效果，涡轮增压系统将必须提供两倍于目前水平的增压压力。发动机制造商们也必须解决某些问题。如为了达到更高的

1 具有中冷的增压器效率增加



2 单级增压和两级增压的权衡



## 提高生产率

压力和强度，增压系统整体上必须重新设计，气门机构也需要改进和调整。对低温燃烧进行更加深入的研究和开发全新的发动机控制系统也将是必须的。

### 涡轮增压过程如何变化？

在理想的米勒循环中，总的涡轮增压效率可达到70%。然而，这需要增压器能够提供8~10压比的同时，效率达到约80%。当然，这样的增压器是不存在的，很难想象谁能够生产出这样的增压器。

然而，带中间冷却的两级增压系统能够达到这样的水平。这里，高压比和高效率的关系非常重要。中间冷却是关键，因为它使得压缩过程近似于等温压缩，从而改善了空气压缩过程并减少了压缩所需的能量。效率的增加取决于中冷温度和总压比<sup>[1]</sup>。

但是，中间冷却不是两级涡轮增压系统具有更高效率的唯一原因。另一个原因可从废气端找到答案：两个涡轮的可用膨胀能量比单个涡轮要高，因为损失在高压级，增加低压级进口能量，由于低的单位载荷，压气机和涡轮效率通常较高，同样可期待轴承摩擦损失和边界层损失都较低。

另外的重点是即使用较高效率的增压系统，在高压比情况下必须使用较小的涡轮面积。以适当的压比开始，随着功率的增加，有效的涡轮面积增加，这意味着部分负荷可用压比减少。基于过往经验，高压增压系统将因此导致更糟的部分负荷性能。但情况并非如此。至少部分负荷的增压压力将高于介绍的情况。



### 从单级到两级

从单级到两级高压增压系统是一个重要的转变，有关压比变化和大幅增加的论据有以下几个方面：

- 两台相关联的小增压器使用以后，涡轮面积是控制因素，并随着压比增加而减小。
- 中间冷却导致增压系统效率大幅增加，这有利于压比的增加。
- 系统匹配通常不受地图宽度和设计条件的限制。
- 两级增压提供了良好的控制适应性。
- 由于每一步压比适当，可靠性和耐久性通常较好。
- 较小的增压器提供较好的加速性和振动性能。

单级和两级增压系统之间的转换能够简单地从相对于压比的定性值对图表中进行推断<sup>[2]</sup>。

两种系统数值相等的点当然取决于数值定义的方式，但图表总是看起来非常相似。由于存在不确定性，因此一个大步骤要比采取大量小措施显得更为合理。对于增压器和发动机制造商来说，这并不是因为简单的重复投资，而是因为必须要这么做。

### 高压涡轮增压系统的潜力

ABB完成的调查表明高压涡轮增压系统对将来发动机的发展具有广阔的潜力，较高的功率密度，较高的效率和

较低的排放。例如使用米勒循环，它有利于实现效率转换和NO<sub>x</sub>排放之间的平衡。保持空燃比在一个满意的水平，它也能实现更好的开发废气再循环潜力，并减少NO<sub>x</sub>排放。

根据实际发动机上的两级增压首次试验结果，可以说仍需相当大量的开发工作，包括增压系统和发动机。鉴于这一点，由于下一步开发旨在低排放，因此充分开拓单级增压限制显得十分合理。

同时，可以说高增压系统，特别是两级增压系统的主要进展具有显著的好处，这为发动机制造商提供了更多自由空间去探索其发动机完美设计的潜能，为终端客户降低燃油消耗，为环境减少NO<sub>x</sub>和CO<sub>x</sub>排放。

Ennio Codan  
ABB 增压系统  
瑞士巴登  
ennio.codan@ch.abb.com

# 水泥行业的节能

水泥生产中的有效能源管理

Matthias Bolliger, Eduardo Gallestey



中国（特别是北京和上海）的建筑行业空前繁荣。越来越多的家庭迁入城市，推动新建筑物需求量的持续增长，进而造成水泥需求量的大幅上升。为满足这种需求，中国已经成为世界第一大水泥生产国，水泥产量几乎占全球产量的一半。水泥生产需要消耗大量的热能和电能，这两项能源消耗一般占水泥生产成本的30%左右。中国的水泥行业消耗了全国大约6%的能源，这些能源绝大部分是以燃烧矿物燃料的方式获得。近期矿物燃料价格的上涨，已经推动水泥生产成本的上升。由于水泥行业在全球二氧化碳排放量中占有相当比例，因此水泥生产中的能源消耗不仅增加经济负担，而且还会污染环境。ABB技术可以帮助水泥生产厂提高生产效率，同时在保持生产率水平和水泥质量的前提下，减少二氧化碳排放量和燃料消耗量。

## 提高生产率

水泥的生产工艺十分复杂，因此在很多提高效率的机会。针对水泥生产流程，ABB 拥有一系列的产品提高燃料利用效率和生产率<sup>1</sup>。在生产过程中，利用大型鼓风机的吹送，空气穿过水泥窑、预分解炉、磨机和过滤器，最后进入排气烟囱和较小的鼓风机。很多鼓风机还将空气吹送进炉篦冷风机，对从水泥窑中出来的炽热熟料进行冷却。所有这些风量都必须是可调节的和可控制的。气候条件、工艺条件和通风需要在很大程度上会影响对风量的要求。控制风量的方法对水泥生产厂的运营成本具有重要影响。很多方法可以用于风量管理。能源利用效率最低的方法是安装采用定速电机的节气闸，而能源利用效率最高的方法是安装变频器（VSD）<sup>2</sup>。

但如果以 VSD 代替老水泥厂中（特别是炉篦冷风机中）的节气闸和定速电机，仍可以节省大量能源。

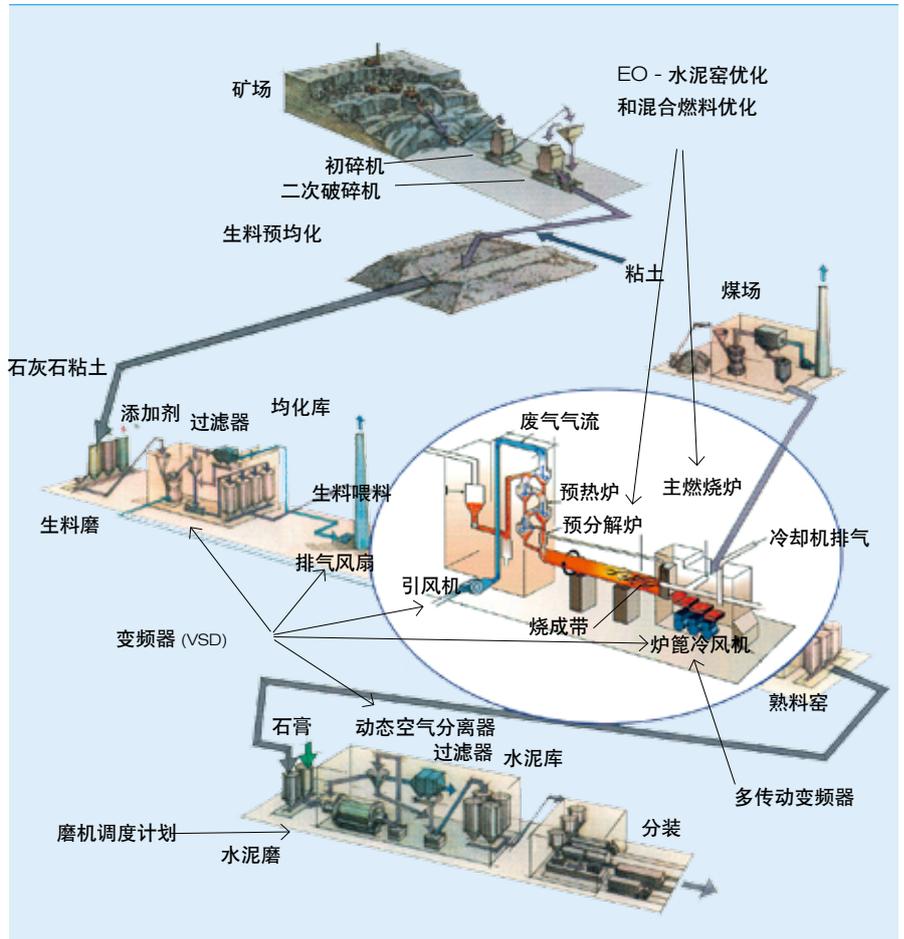
### 采用变频器节约能源

与采用节气闸和定速电机相比，ABB 的 VSD 可节能 70%（根据所需风量不同而有所不同）。正常生产期间，大型鼓风机吹送风量的负荷一般为 90%。即使负荷如此之高，VSD 仍然可以节省 20% 的能源<sup>2</sup>。现在新建的水泥厂一般都采用 VSD，但如果以 VSD 代替老水泥厂中（特别是炉篦冷风机中）的节气闸和定速电机，仍可以节省大量能源。

### 用于炉篦冷风机的多级解决方案

冷却 1 吨熟料需消耗生产 1 吨熟料所需全部电能的 10% 左右。因此，为炉篦冷风机选择合适的传动系统具有可观的节能效果。ABB 多传动变频器是一种经过优化的炉篦冷风机驱动解决

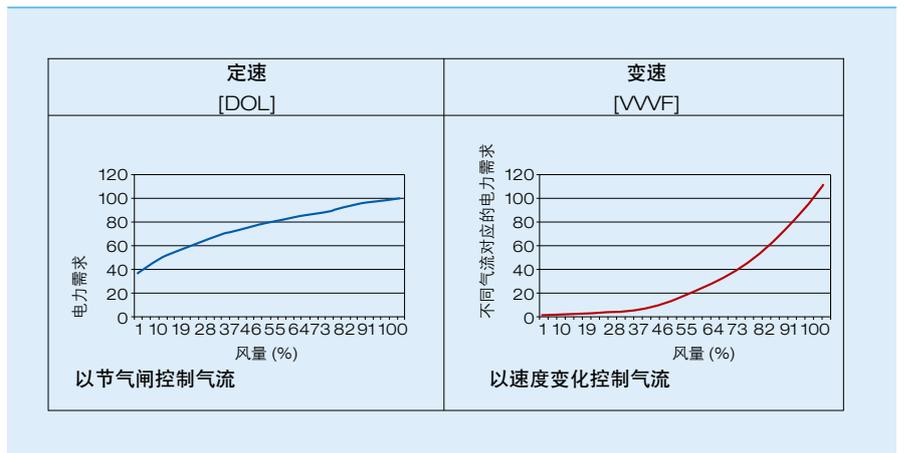
1 水泥生产工艺框图，说明如何用 ABB 产品提高燃料利用效率和生产率



方案<sup>3</sup>。它具有变频器的全部优点，同时保持了单传动那些有用的特性，而没有后者成本较高的劣势。单传动包括整流单元、直流母排和逆变单元，与单传动不同，多传动的整流单元产生所需的

直流电压，将其馈入公共直流母线，而那些各自独立的逆变器都与该公共母线相连。由于各个独立的逆变器不需要具有相同的功率等级，多传动器中可以采用各种不同大小的传动器。

2 不同风量控制鼓风机的电力需求比较



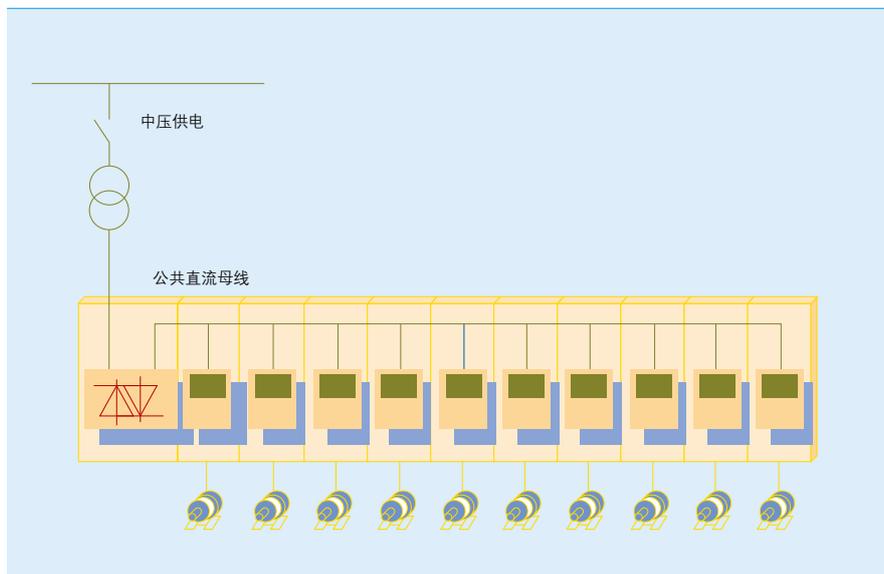
多传动器的优点包括：

- 多个传动器共用同一电力线路输入，减少了电缆连接；
- 节能的电机对电机制动，节能效果随炉篦冷风机类型不同而变化；
- 减少了所需的空間；
- 不需要单传动器或节气闸所需的低压配电，更换时采用直接在线启动电机；
- 采用主动前端电源或至少十二脉波供电电路，以经济合算的方式减少谐波污染。

ABB 多传动变频器是一种经过优化的炉篦冷风机驱动解决方案。

**ABB Expert Optimizer** 帮助节能水泥制造是一种复杂且能源密集的过程，该过程中的关键工艺是在水泥窑中将生料（重质碳酸钙、粘土及/或页岩）转化为熟料。水泥窑排除的废气一般用于生料进入水泥窑之前的预热。在水泥窑的烧成带，生料被加热至大约 1,500℃，部分熔化并发生反应，变成熟料。在后续工艺中，少量

3 ABB IGBT供电的多传动系统的基本配置



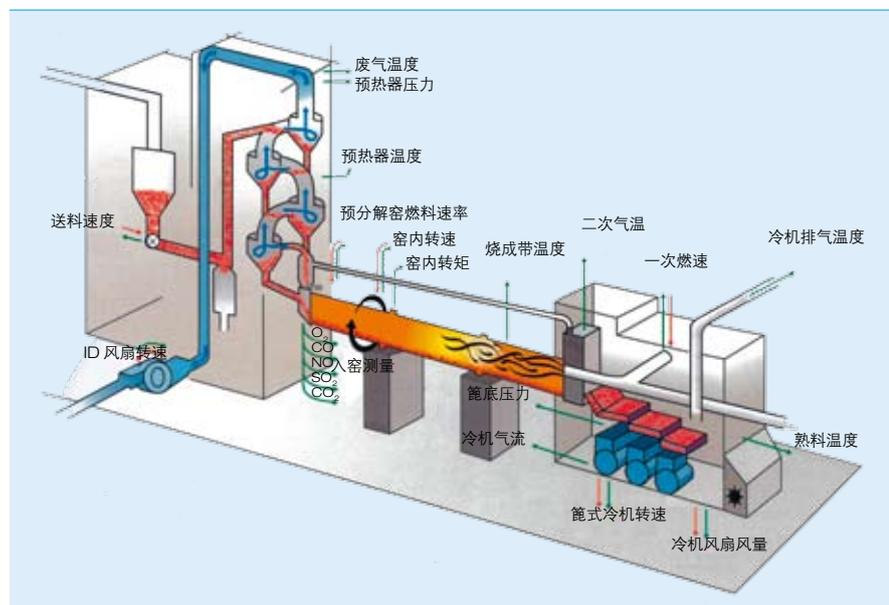
石膏被加入熟料中，熟料被转化成水泥，并经过进一步碾磨，变成细粉末。

传统上，水泥窑由一位有经验的操作工控制。该操作工不断对工艺条件进行分析和判断，并据此进行调整，以便达到预先设定的标准设定指标。这本身就是一项极其繁重的工作，而生产系统对操作工所进行调整的复杂反应、时间拖延及不同工艺参数之间的

相互作用，更增加了工作难度。这些困难迫使操作工以极其保守的方式来操作水泥窑，采用了比最佳温度更高的工艺温度，造成不必要的高能耗。

ABB Expert Optimizer (EO) 系统拥有坚实的基础，其前身是广受赞誉并获得巨大成功的 ABB LINKman 优化系统。该系统采用从传统控制方法改进而来的控制方法，持续监测水泥窑的各种输入和输出信号，并据以做出反应，采取适当的控制行为<sup>4</sup>。

4 显示EO系统输入和输出信号的水泥窑示意图



烧成带温度 (BZT) 对产品质量具有至关重要的影响，因为它影响游离石灰（未发生反应的氧化钙）在成品中的比例。尽管不同水泥生产厂采用不同的 BZT，但基本原理相同，即：低 BZT 使成品中的游离石灰含量较高，熟料比较柔软；而高 BZT 会使成品中的游离石灰含量较低，熟料较硬<sup>5</sup>。BZT 越高，对熟料碾磨能力的要求就越高，因而燃料消耗就越多。

BZT 还会影响水泥窑运行的稳定性。高 BZT 使水泥窑运行更稳定，过低

## 提高生产率

的 BZT 会导致挥发，降低生产率，甚至引起水泥窑堵塞。水泥窑运行不稳定会对窑内的耐火砖产生很大的热应力，缩短耐火砖的寿命，导致计划外费用支出。水泥窑不必要的停工会导致单位熟料能耗的上升，即更高的能源 - 基底负荷比（或更高的最低能源需要量）。考虑到重新启动水泥窑所消耗的能源，能耗会增加更多。

水泥窑保持适当、稳定的运行，可以降低能耗和维护成本，提高水泥窑产出，并且提高产品的总体质量。但是，由于存在以下三个因素，因此很难在保持水泥窑稳定运行的同时维持最低且最适宜的 BZT：

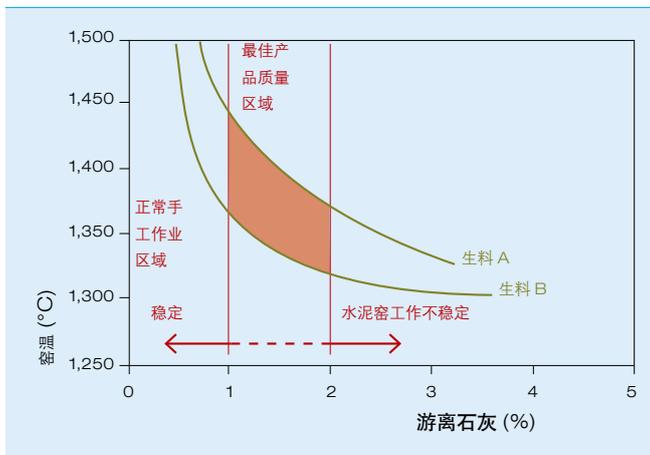
- 生料成分的变化
- 水泥窑运行非常复杂
- 水泥窑运行状态调整（即：设定值调整及其反应）存在长时间的时间拖延

ABB Expert Optimizer (EO) 系统拥有坚实的基础，其前身是广受赞誉并获得巨大成功的 ABB LINKman 优化系统。

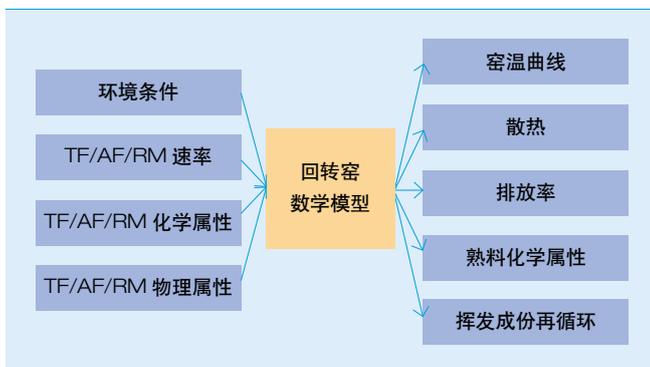
但是，EO 高级水泥窑控制系统以最合适的方式控制水泥窑的运行，每三至四分钟定期对过程进行调整，以此来保证高质量的产品和较低的 BZT，进而实现更低的能耗。

在水泥窑的全部运行时间中，一般 80% 的时间由 EO 控制。对安装 EO 系统之前和之后游离石灰含量和二氧

5 燃烧区气温和游离石灰之间的关系



6 水泥窑模型输入和输出



化氮 (NO<sub>2</sub>) 水平的实际测量结果显示，在某些情况下，每座水泥窑在安装 EO 系统后可以节省接近 8% 的燃料。

### 优化水泥窑混合燃料

EO 系统采用基于现代控制理论的控制规则，如神经网络、模糊控制和模型

#### 资料库 巧妙平衡

需要满足的工艺和业务限制条件很多，其中最重要的可能包括：

- 热平衡；
- 过剩氧量水平；
- 熟料化学性质；
- 挥发份浓度；
- 排放限制（二氧化硫、二氧化氮等）；
- 对执行器的最大、最小和变化速率限制；
- 燃料消耗操作限制；
- 分别考虑预分解窑和回转窑的燃烧过程，不惜一切代价达到合同（和客户或者供应商签订的合同）要求。

预测控制 (MPC)<sup>1)</sup>。系统的增强功能提供最优化的燃料管理，可以高效利用替代燃料，使水泥窑得以更经济地运行。其主要原理就是利用了信息管理系统（设备、工艺、市场和实验室）收集的数据，计算出可以满足工艺和业务要求的最低混合燃料成本 [资料库](#)。

该算法的基本要素是 EO 系统中开发的专用的水泥窑数学模型，该模型被用于模型预测控制。优化算法综合考虑了硬约束和软约束，提高了优化过程的鲁棒性和可靠性 [5](#)。

该算法的执行过程如下：按照 15 至 30 分钟的恒定采用时间对输入数据进行更新，然后进行计算，并将新的燃料设定值传递给 EO 的控制

执行策略。在两次采用时间之间，EO 的标准控制策略确保工艺的稳定性 and 最优表现。该控制策略特别强调：

- 对燃料、消耗和生料质量条件的变化做出最经济、最优化的反应
- 严格符合环保、合同和技术条件的约束

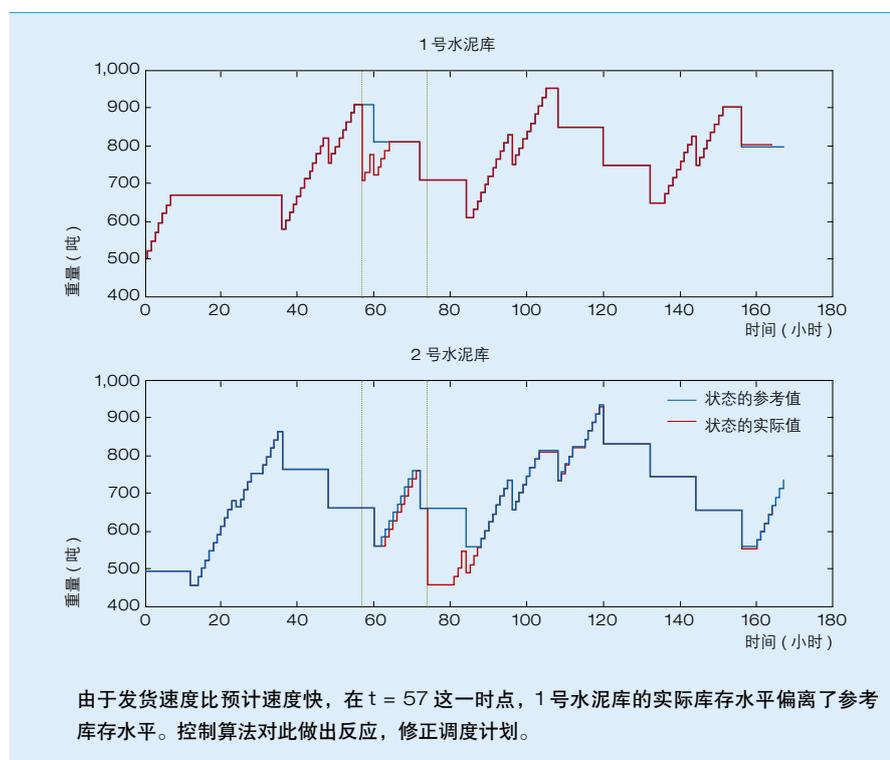
### 电能管理

水泥生产过程全天候持续进行，富裕产能或冗余设备极其有限，大多数设备

#### 脚注：

1) 神经网络是一个由程序和数据集组成的系统，该系统模仿人类大脑的工作方式。他们收集大量的早期实例数据，据此评估各项输入及其重要性。模糊控制这一术语描述了如何对模糊概念（输入）进行分析。模糊概念指那些不是简单定义“是”或“否”、而是描述“是”的程度的概念。模型预测控制是一种过程控制的高级控制方法，它与输入调整相对应的过程输出进行预测。

- 7 以实例说明EO重新制订调度计划的能力。实线表示预先计算的1号水泥库和2号水泥库的参考库存水平，交叉线代表在线传感器测量的实际库存水平。



必须 24 小时不停运行或者在整个白天运行（受矿场操作时间等条件限制）。因此很难有机会降低电力消耗，只有水泥碾磨区域存在一定的用电弹性。

该算法根据客户订单和能源价格预测，为整个碾磨车间生成一个参考调度计划，即确定每台磨机在各时间段应生产产品的种类<sup>8</sup>。图中的功能单元代

ABB Expert Optimizer (EO) 系统利用了信息管理系统收集的数据，计算出可以满足工艺和业务要求的最低混合燃料成本。

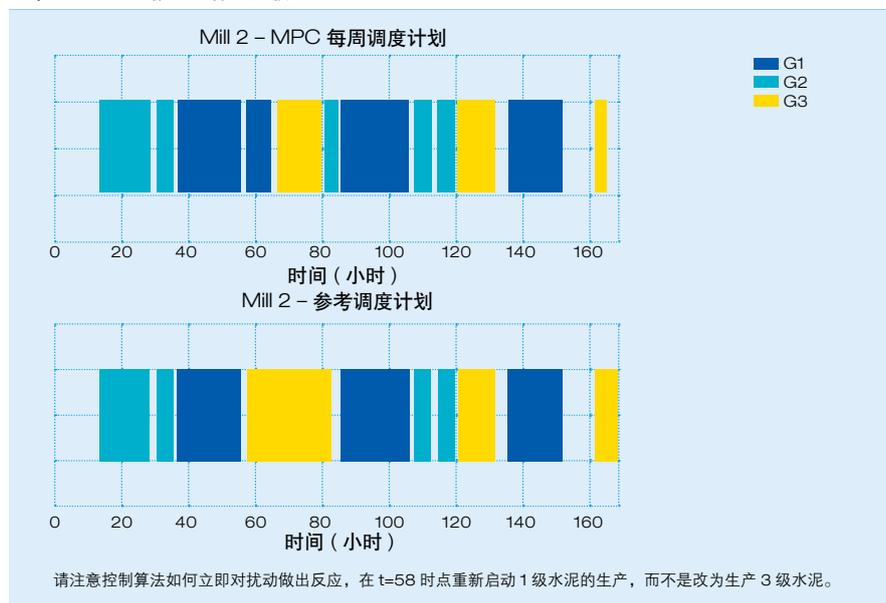
目前，碾磨区域的调度由操作工按照启发式规则以人工方式进行，调度的质量完全取决于操作工的的经验。但是，根据安装磨机的数量、所生产的水泥等级和水泥库的数量，再加上需要考虑各种操作和合同条件的限制，人工调度极其复杂。操作工的决定在大多数情况下都远非最优选择。下述方案是一种基于 MPC 技术的优化调度方案。

表与电力消耗相关的成本及低等级水泥的数量（即从生产某一等级水泥转向生产另一等级水泥的过程中所生产的水泥）。通过调度，尽量安排在电费较低的时段进行生产，同时保证用电量不会超过与电力公司所签用电合同规定的最高电量，以此降低电费成本。通过尽量减少在不同水泥等级生产之间调整的次数，可以降低低等级水泥的数量。

通过在电费低的时段进行水泥碾磨，可以降低水泥生产成本。

尽管如此，经常会出现设备故障或预料之外的产品需求等计划外事件。MPC 可以对此类调整做出适当反应。在这一阶段，库存水平是状态变量，而改变水泥窑生产产品品种的指令则是控制变量。成本函数是各项参数与 MPC 参考调度计划之间的偏差值的加权总和。采用时间一般是一个小时。

- 8 控制算法对偏差的反应。图中对调整后的控制序列（上面的显示面板）与预先设定的控制序列（下面的显示面板）进行了比较。



## 提高生产率



ABB Expert Optimizer (EO) 系统可以快速地对预测与实际库存水平之间的偏差做出反应，从而进行最优化生产以满足需求。

除物理的约束条件（库存能力和磨机可用性）外，碾磨车间的运行还必须考虑每次改变所生产水泥等级时都会出现的时间拖延，从而将碾磨车间的产能参数转化为对应的库存水平。它还必须考虑需求的变化，以便对客户的交货时间降低至最短。优化算法要求对各种等级水泥的销售量进行预测。如果生产量未能到达预测的销售量，优化算法将优先安排该等级水泥的生产。此外，优化算法还必须依据可用的传送带或链斗升降机的运输能力等，评估磨机至水泥库之间的运输约束。也许只有两条独立的运输路线供三台磨机使用。多台磨机可以同时共用同一条运输路线，将同等级水泥输送到同一个水泥库。但是，如果不同磨机所生产水泥的等级不同，则必须使用各自独立的运输路线，将不同的成品水泥分别输送进不同的水泥库。

ABB EO 可以快速地对水泥库中的水泥的预测水平做出反应<sup>7</sup>。如果发货速度比预测速度快，从而导致预测库存水平与实际库存水平之间出现偏差，水泥库中的传感器会检测出这种偏差。控制算法会对此做出反应，相应修正调度计划，放弃原来制订的理想调度计划。控制算法会立即重新制订磨机的调度计划，以实现最高的效率，保证正确等级的水泥继续被源源不断地输送到正确的水泥库中。如果水泥库中的预测库存水平与实际库存水平之间出现偏差，控制算法会重排磨机的生产调度计划，推迟执行原先制订的计划，优化磨机的使用<sup>8</sup>。

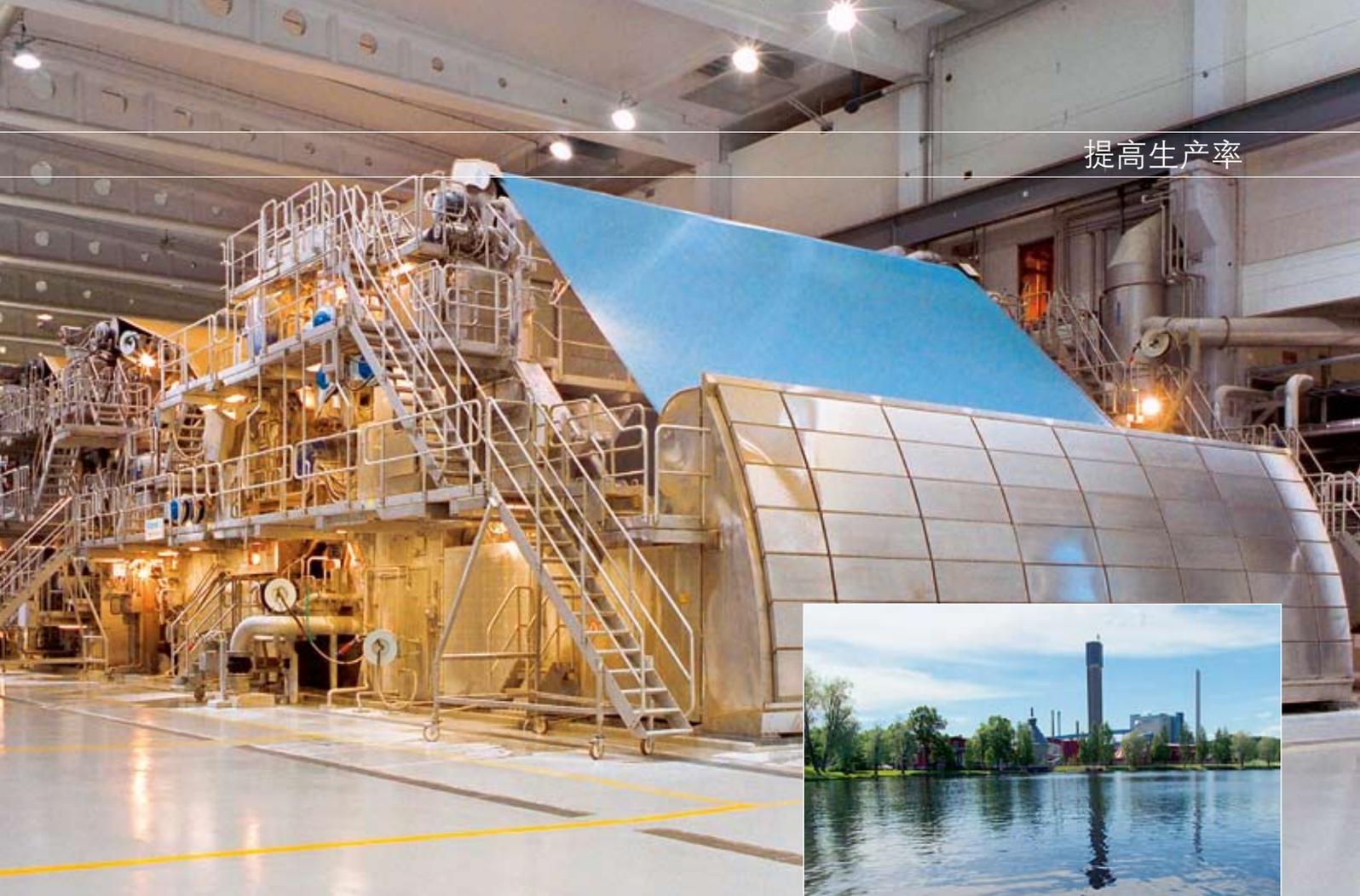
### 降低成本且更加环保

能源管理有助于降低热能和电能的需求量，并可帮助工厂引入成本相对较低的能源。目前，已经可以利用成熟的技术解决方案和可靠的设备来实现能源的有效利用，而不会影响工厂的产品质量和生产率。这些技术解决方案更加环保，而且，由于能源价格近期的大幅飙升，在这些技术方案上所做的投资可以在更短的合理时间内收回。

ABB 为水泥行业服务的丰富经验及其范围广泛的产品组合，可以帮助中国减少二氧化碳排放，提高能源利用效率。

ABB 为水泥行业服务的丰富经验及其范围广泛的产品组合，可以帮助中国减少排放，提高能源利用效率，使中国城市中的办公楼和住宅建设所需的水泥，不再成为消耗资源的无底洞。

Matthias Bolliger  
Eduardo Gallestey  
ABB 过程自动化业务部  
瑞士巴登  
matthias.bolliger@ch.abb.com  
eduardo.gallestey@ch.abb.com



# 优化能源管理

UPM 借助 ABB 能源管理系统集中管理欧洲地区排污权交易  
Jaakko Junttila、Marja-Liisa Parkkinen

芬欧汇川集团 (UPM-Kymmene Corporation) 是世界领先的印刷纸制造商之一。能源在该集团的生产过程中发挥着重要作用，高水平的能源自给也成为企业的一个战略目标。了解能源需求预期和优化能源资源可以为企业带来巨大节约。

为实现这一目标，公司过去几年投入大量资金开展能源效率和可用性、以及能源使用和供应可预测性方面的研究。能源管理便是该领域的一个重要工具。ABB 能源管理系统已在芬兰的造纸厂使用了一段时间，为了更好地管理和优化整个企业的能源利用，公司决定将其欧洲所有的造纸厂整合到同一系统。

基于此，到 2006 年初，公司完成了能源管理系统的实施。目前，UPM 在中欧所有工厂均实施了该项系统。与此同时，芬兰造纸厂中使用的类似系统都将升级为最新产品。

## 提高生产率

**芬**欧汇川集团在中欧和芬兰分别拥有 10 家和 9 家造纸厂。工厂的高效生产得益于强大的垂直集成以及原材料、能源和生产流程的紧密协调。实际上，正是依靠 ABB 过去 20 多年提供的一代代能源管理系统，UPM 才得以在能源需求预测方面占据领先地位。UPM 能源部副总裁 Anja Silvennoinen 表示：“ABB 系统充分考虑了我们的能源平衡需要，根据具体能源状态（剩余 / 不足）实时平衡随时间变化的能耗。除使用自己部门生产的能源外，芬欧汇川集团还与外部合作伙伴和市场运营商开展能源交易。”

2007 年，公司已能够满足自身电力需求的 70% 左右。芬兰 UPM 已做到电力自给，但在其它国家或地区，公司造纸厂所需的大部分电力仍需从当地购买。去年，凭借对能源储备和水电的有效利用，芬兰能源部门创造了更多利润。

目前，UPM 集中能源管理系统已应用于奥地利、德国、英国和法国的多家 UPM 造纸厂。到 2005 年初，这些造纸

厂的所有能源管理信息都被整合到位于德国奥格斯堡的控制中心系统，用于生成综合能源平衡历史记录和进行能耗预测。由于芬欧汇川集团与外部合作伙伴开展能源交易，该中心还负责整个网络的负载平衡和资源共享。

### 目前，UPM 集中能源管理系统已应用于奥地利、德国、英国和法国的多家 UPM 造纸厂。

整合后的信息由奥格斯堡路由至 Jämsänkoski 的芬欧汇川芬兰能源管理控制中心，后者负责优化芬兰造纸厂的能源利用和电力交易，并控制水力发电工作。目前，Jämsänkoski 的旧系统已升级到 ABB 的新产品平台，使芬欧汇川从一个地方即可全面了解整个欧洲能源运作情况。

#### 预测能源需求

预测是整个能源管理系统的核心。能耗取决于工厂的运行模式，即造纸机和其他机组的运行方式。在已知机组运行规划的情况下，可以根据之前的历史记录预测其能源需求。然后，可以

利用此类信息实时制定能源使用、生成、购买或销售方面的决策。在制定决策时需要考虑可用资源及其价格，以及各类运行限制。多个工厂的组合可受益于规模经济，从而以最有效的方式进行能源交易。

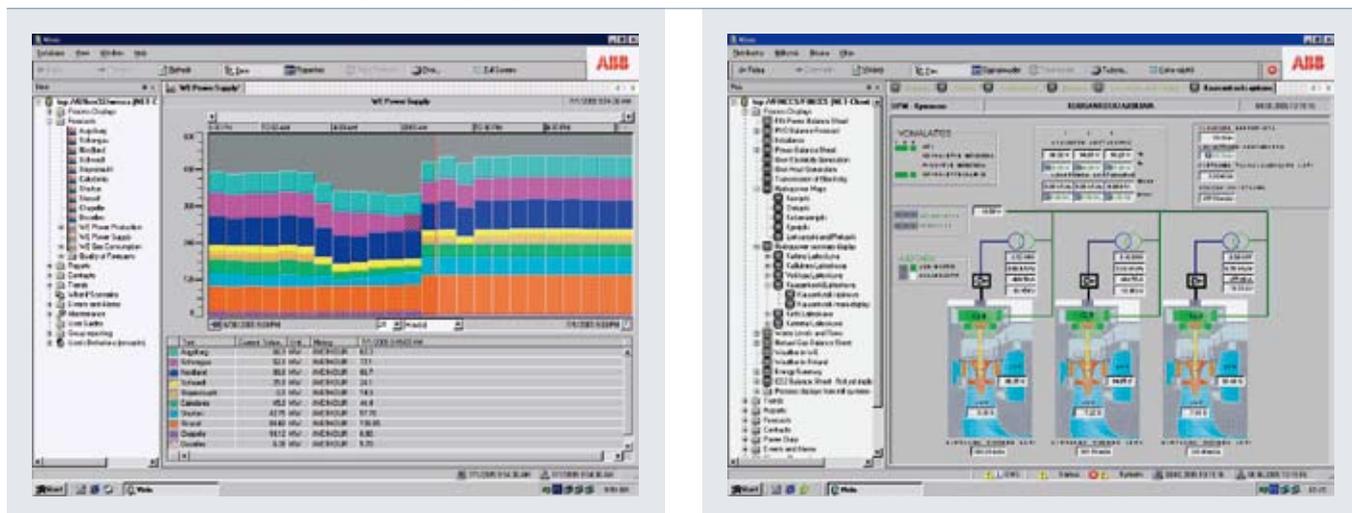
这个过程的关键一步是如何将数据（历史、实时和预测数据）集中到一个中央资料库 **资料库**。利用此数据，操作人员能够了解生产过程中发生的情况，

#### 资料库 实时资料库 (RTDB) 与用户界面

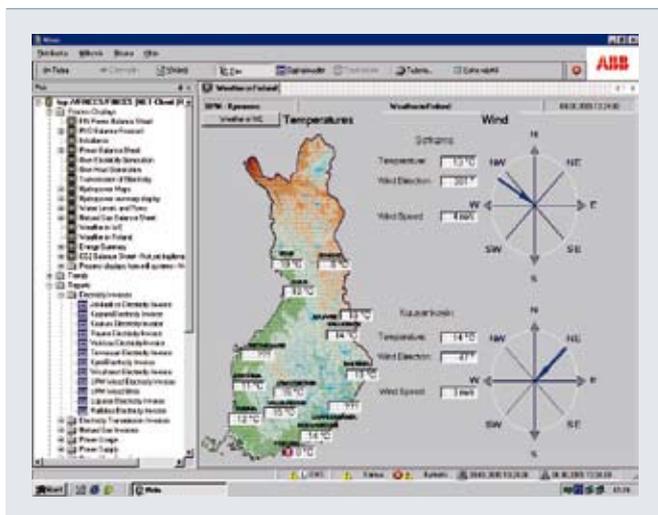
实时资料库通过 ABB 的 RTDB 产品进行实施，RTDB 产品是一种专门针对流程信息管理和广泛历史记录而设计和优化的关系资料库。RTDB 拥有出色的可靠性、性能和实时功能，兼具关系资料库的易用优势。实时流程数据通过专门界面从各数据采集系统收集，并存储在资料库中。

资料库中的信息可通过 ABB 的标准用户界面 (VTRIN) 提供给所有用户，VTRIN 能够根据用户偏好实现流程信息的灵活导航、呈现和链接。VTRIN 基于微软的 .NET 体系结构，这是基于最新可用性技术趋势的现代开发工具和体系结构。

1 历史、实时和预测数据为操作人员提供了制定决策所需的重要生产与能源信息。



2 天气会对能耗产生影响，因此需要参考相关的天气数据。



以及当前已经使用和未来所需的能源情况。

这个过程的关键一步是如何将数据（历史、实时和预测数据）集中到一个中央资料库。

### 能源管理与优化

ABB 在过程工业，特别是在造纸业开发和提供能源管理解决方案方面拥有丰富的经验。公司的能源管理系统构建在 RTDB 资料库和 VTRIN 用户界面平台之上，采用了一组专门面向客户应用进行配置和参数化的通用功能模块。此类功能模块可用于能耗预测、能源合同管理（包括买卖记录、资源预订，以及面向消费者的能源成本分配）、优化，以及对已购能源的实时监控<sup>1 2</sup>。

对造纸机能耗的预测基于事先规划的生产等级和产能，这可通过用户界面从生产规划系统输入系统。机械浆生产会消耗大量能源，具体能耗取

决于磨浆机和研磨机组的运行状况。一些消费者采用以周为单位的负载间档预测能耗。通过累加各机组的能耗，即可得出工厂总能耗。

能源合同管理选择适当能源，以最低成本供应能源，满足不同时间的能耗需求。此外，它还能为用户提供许多相关功能。整个能源网络被模拟为众多平衡区域，这样总能耗与总产量就能始终保持一致。平衡方程式考虑了平衡区域中工厂能源的生成、购买和销售合同，以及不同区域间的能源输送。时间分辨率取决于平衡区域，如根据不同的国家法规，在芬兰为 1 小时，在德国为 15 分钟。

**控制中心系统将能耗预测与可用能源产能和现有买卖合同进行比较。**

系统管理员可以指定并设定：各平衡区域的参数；能源交易伙伴；合同类型；以及包含价格、数量、有效期和所有其它相关信息的用户买卖交易记录。

3 芬欧汇川集团拥有广泛的能源管理系统，其中包括用于中欧 10 家造纸厂和芬兰 9 家造纸厂的工厂范围系统，以及两个相互连接的控制中心系统。



能源供应计算结果与测量所得能耗将共同用于内部分配能源成本，并向消费者计费。此外，它们还可用于验证外部能源发票。

利用场景管理设施，用户可以在不影响实际系统数据的情况下，通过更改能源系统参数来模拟各种假设场景。例如，可以通过模拟新的购买或销售合同来评估其利润率，或通过改变机组运行计划来了解其对相关能源成本的影响。

### 一个能源网覆盖 18 家工厂

位于芬兰、奥地利、德国、英国和法国的工厂分别预测了各自工厂系统的未来能源需求<sup>3</sup>。位于 Jämsänkoski 和奥格斯堡的控制中心系统则用于收集和整合工厂范围内的能耗和生产历史记录与预测结果。

工厂系统预测电力和蒸汽消耗情况。以天然气为燃料的工厂则进行天然气消耗方面的预测。由于流程水生产是造纸厂的重要资源，因此部分造纸厂

## 提高生产率



也将水纳入了平衡计算中。但水和蒸汽仍属工厂内部问题，只有电力和天然气数据才会被传送至控制中心。

## ABB 的能源管理与优化系统采用了先进的软件技术，同时积累了多年的丰富经验。

控制中心系统将能耗预测与可用能源产能和现有买卖合同进行比较，利用这一信息帮助控制中心人员在电力市场进行投标，准备开展能源交易。

UPM 在中欧的所有电力和天然气采购均由奥格斯堡控制中心管理。由于处在不同的能源市场，且公司在北欧和中欧各国依托不同的能源结构，因此位于 Jämsänkoski 和奥格斯堡的系统间存在一定差异。

Pasi Svinhufvud 负责在 UPM 实施新型能源管理系统。他表示：“我们一直开展节能方面的尝试，如今我们已经可

以利用专门工具来实时监控能源开销。通过随时了解最新情况，我们可以提前规划运行情况，以便与目标保持一致。我们可以选择使用价格最低的能源，并向最佳生产情况的市场购买能源。” Svinhufvud 还表示：“我们通过这两个能源控制中心来生成电力和燃料市场趋势数据，并将其转发至各处工厂，进而帮助它们规划各自的能源生产。同时，我们也会得到他们的生产规划，使我们能够管理企业的能源平衡。拥有额外电力产能的工厂可以将多余电力传输至控制中心，用于出售给其它工厂或外部电力市场。”

### UPM 在奥格斯堡的排污权交易

温室气体排放报告和排污权交易由 UPM 集中管理。奥格斯堡团队代表所有工厂开展排污权交易。Jämsänkoski 团队提供决策方面的相关支持，同时替芬兰工厂保管排放报告。在一个集中系统内，能够经济高效地管理排放许可和排放报告的使用，从而避免重复工作。

### ABB 系统提前实施

ABB 已经能够在计划开展前两个月实施中欧能源管理系统。

更新后的 Jämsänkoski 控制中心系统代表着 UPM 的第四代 ABB 能源控制系统。ABB 的能源管理与优化系统采用了先进的软件技术，同时积累了 20 年的丰富经验，为全球提供了数百个极具挑战性的工业流程信息管理系统。

本文最初发表于 2005 年第 3 期《ABB 评论》。

Jaakko Junntila

Marja-Liisa Parkkinen

ABB 过程自动化业务部

芬兰赫尔辛基

jaakko.junntila@fi.abb.com

marja-liisa.parkkinen@fi.abb.com

# 智能泵控制

用于并联泵控制的 IPC 技术

李进国

从经济学家、生产经理到需要支付账单的家庭住户，几乎每个人都希望以尽可能少的付出得到尽可能多的回报。一般情况下，需要大量投资才能取得边际改进，而寄希望于短期内迅速得到回报的重大突破则无异于痴人说梦。

但是，变频器就是这样一个令人耳目一新的例外。它可以显著降低能源消耗，以及设备在整个生命周期中的综合成本，使经营者以更低的能耗实现同样的产能。考虑到节节攀升的能源价格以及对于相关能源消费方面的排放限制，加之中国这样快速发展的经济体的工业需求，使得该系统显得更加值得称道。

ABB 智能泵控制 (IPC) 不是单个变频器功能的简单集合，它具有更强大的功能。它控制多台变频器并进行协调，使其以最高的综合效率运行，比采用“常规”变频器产品最多可节省 20% 的能源。它还具有高水平冗余特性，以确保最高水平的可用性。



## 提高生产率

**总**体而言，交流传动是泵控制中能效最高的控制方法。ABB 提供的智能泵控制是一种与其 ACS800 工业变频器共同使用的任选软件包。在该产品中，每个变频器控制一台水泵。变频器的功率范围介于 0.55 kW 和 5600 kW（随产品不同而变化）。**1** 显示了一个由三个变频器控制三台并联水泵的例子。变频器之间的通讯（通过光纤）消除了对外界 PLC（可编程逻辑控制器）<sup>1)</sup> 的需要，从而节省能源，减少维修时间，并防止水泵叶片被堵塞。

通用变频器主要通过控制水流流量来控制水泵。在其他许多变频器产品应用中，这种控制方法具有显著的节能效果。

## 节能原理

通用变频器主要通过控制水流流量来控制水泵。在其他许多变频器产品应用中，这种控制方法具有显著的节能效果。

**2** 描述了水泵的扬程与其流量之间的函数关系。**2a** 曲线是水泵转速为  $n_1$  时的扬程——流量特性曲线，**2b** 是水泵转速降低至  $n_2$  时的扬程——流量曲线。**2c** 曲线表示管阻特性，**2d** 表示上升后的管阻特性（使用阀门控制流量）。

当水泵的运转速度为  $n_1$  且管道的管阻设置为最低值 **2c** 时，水泵的工作点为 A 点（**2a** 和 **2c** 曲线的交点），输出流量  $Q_1$  达到最大值，作用在水泵轴上的功率与  $Q_1H_1$  的面积成正比。

如果需要将流量由  $Q_1$  降低至  $Q_2$ ，传统的方法是调整阀门，将管道的管阻由 **2c** 调至 **2d**，使水泵的工作点变为 B 点，从而将水泵的扬程由  $H_1$  提升至  $H_2$ 。此时作用在水泵轴上的功率  $P_2$  与  $Q_2H_2$  的面积成正比。

如果以变频器控制模式取代阀门控制，管道的管阻保持为 **2c**，但水泵的转速由  $n_1$  下调至  $n_2$ ，则新的扬程 - 流量曲线变为 **2b**，水泵的工作点移至 C 点。此时水泵的扬程显著下降至  $H_3$ ，作用

在水泵轴上的功率  $P_3$  与  $Q_2H_3$  的面积成正比，这表示作用在水泵轴上的功率下降值（与  $P_2$  相比）与  $Q_2$ （ $H_2-H_3$ ）的面积成正比。节省能源的数量也与此比例相同。

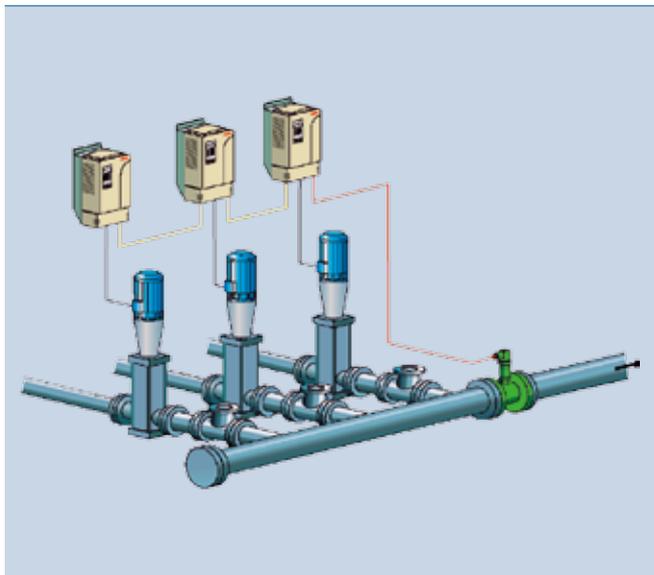
多泵系统以经济转速运行，具有显著的节能效果。

## 水泵、电机和变频器的效率

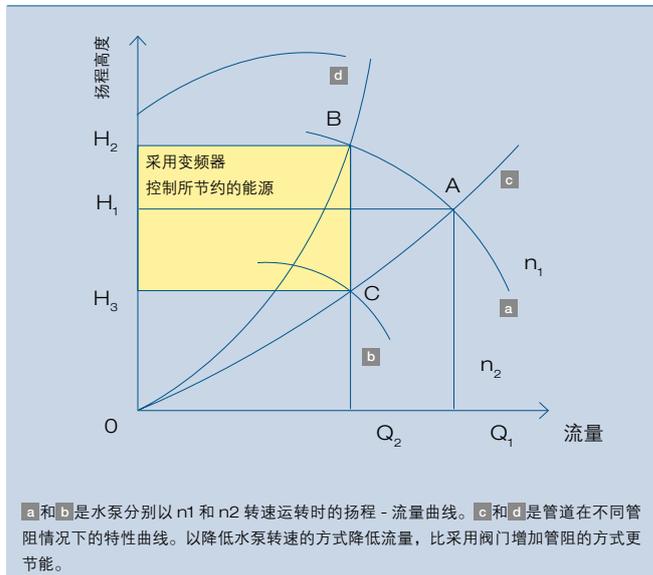
恒压供水系统的综合效率取决于众多因素。一般而言，水泵、电机和变频器的功率越大，系统的效率就越高。当系统低速运转时，系统的综合效率也会下降。对于额定运行区间为 35Hz 至 50Hz 的水泵，变频器和电机系统在额定工作点的效率大约为 90%。当水泵运转在 35Hz 时，变频器和电机系统的效率下降至 83%。水泵本身的效率介于 50% 至 85%。总体上，水泵的效率受其速度和系统曲线的影响。

如果产品仅仅通过销售价格进行竞争，那么产品将很难生存。

**1** 变频水泵控制组态。变频器之间通过光纤连接。



**2** 当采用变频器代替阀门来控制流量时，作用在轴上的功率显著下降。



## 利用 IPC 技术实现节能

举例来讲，将上述水泵的工作转速从 50 Hz 调低至 45 Hz，可以将水流量减少 10%（见 **资料库** 中的公式），完成同样工作量所需的时间将增加 11% 以上。但所需功率却只有原来的 73%，结果节省大约 19% 的电能（ $1 - (0.73 * (1 + 0.11))$ ）。尽管综合效率变化不大，但能耗却下降更多。

设备以经济速度（本例中为 45 Hz）运转可以节省大约 19% 的能源。长期使用 IPC 控制水泵，可以节能 10% 以上。

在实际应用中，多数系统将水泵并联起来使用。如果采用传统的水泵和风机控制方式（PFC）（一个变频器驱动多个水泵），则不能获得使用 IPC 技术的节能效果。

### 资料库 水泵背景资料

下述说明主要针对工业用水泵产品中最常见的离心泵。

水泵的负荷呈平方转矩型。在这种设备中，流量  $Q$  与转速  $n$  成正比，扬程  $H$  和作用在轴上的功率  $P$  则分别与速度的平方和立方成正比。

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

当采用电机驱动水泵时，电机轴上的功率可根据下述公式计算：

$$P = \frac{\rho * Q * H}{\eta_c * \eta_p} * 10^{-2}$$

where,

$P$  功率 (kW)

$Q$  流量 ( $m^3/S$ )

$H$  最大扬程 (m)

$\rho$  液体密度 ( $kg/m^3$ )

$\eta_c$  转化效率

$\eta_p$  水泵的效率

如 **图 4** 所示，可以很容易确定系统的效率、功率、转速、流量和扬程之间的关系。将工作点由 A 点移至 B 点（上图），可以将流量降低大约 40%，而功率则降低大约 60%（下图）。因此，使多泵系统以经济转速运行，具有显著的节能效果。

与日常运行的用电成本相比，设备的初始投资成本在其生命周期成本中所占比例极小。

## 生命周期成本

如果产品仅仅通过销售价格进行竞争，那么产品将很难生存。但是，如果对产品的生命周期成本（LCC）给予适当考虑，客户就可获得巨大的经济效益。对于设备、电机和变频器，这些成本可分为三个部分：设备购置成本、用电成本和维修费用。如 **图 3** 所示，与日常运行的用电成本相比，设备的初始投资成本在其生命周期成本中所占比例极小。针对电力消耗采取节能措施，将会获得最大经济回报。

## 多泵控制模式

多泵控制和水位控制是 IPC 采用的两种与众不同的控制模式。多泵控制模式可进一步细分为：

- 主 / 从控制模式
- 多泵同步控制模式
- 多泵给定同步控制模式

## 主 / 从控制模式

在主 / 从控制模式下，一台变频器被指定为主变频器。与其他变频器连接的水泵只能全速运转或停转。系统仅调整主变频器的频率，以适应负荷变化 **图 5**。一旦主变频器达到全速，下一个变频器就被启动，并接替原来的主变频器，变成主变频器。

## 多泵同步控制模式

在多泵同步控制模式下，所有变频器紧随主变频器的参考值 **图 6**。所有变频器的启动和调整都同步进行。

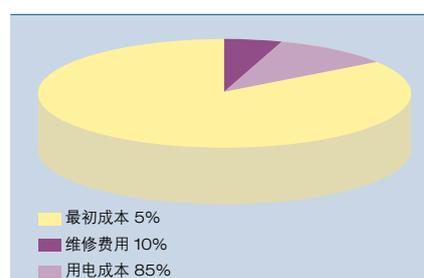
## 多泵给定同步控制模式

在多泵参考同步控制模式下，所有变频器都紧随主变频器的参考值，但他们的启动时间可以预先设置 **图 7**。

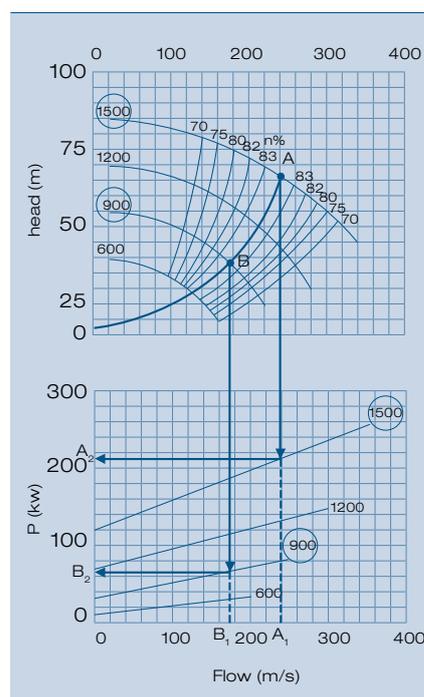
## 水位控制模式

水位控制通常用于水箱注水或排水。为了防止沉淀物沉积在水箱内壁，控制系统可根据用户设置的模式调整水位。

**图 3** 能源成本在水泵生命周期成本中占有最大比例



**图 4** 不同转速下的水泵流量 - 功率图和流量 - 扬程图



## 提高生产率

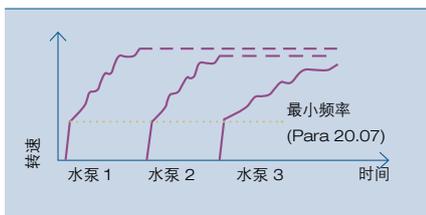
快速启动创造冲刷效应而使管道清洁，并且水泵运行在效率曲线上适当的点位，从而降低能量消耗。水泵控制不仅可以针对单台水泵进行，而且可以同时控制两台或多台并联的水泵。

该控制模式如 8 所示。关键问题是使水泵在最大范围内以经济转速（如 45Hz）工作。如果水位发生变化，要求更大的流量，就需要启动其他水泵，使每台水泵继续在效率最高的条件下运行。8 所示的例子中有三台水泵。在控制系统中，可以对初始水位和经济转速的设定值进行调整，以适应不同需求和情况。

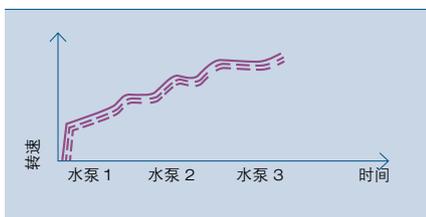
### 多泵应用的冗余配置使其非常适合泵站使用。

根据计算，采用这种控制方法可以节能 10%-20%。

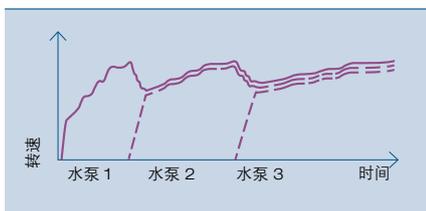
5 多泵主/从控制



6 多泵同步控制



7 多泵参考同步控制



### 更多优势

#### 多泵冗余

在传统的 PFC 模式（一台变频器控制多台水泵）下，如果变频器出现故障，整个系统就会陷入瘫痪。由于 IPC 技术拥有多泵冗余，如果其中一台变频器出现故障，系统的综合性能可能会受一点影响，但系统不会停机。出现故障的变频器可以在 500 ms 内被切除，系统的其他部分则继续工作。

不仅变频器本身存在冗余，系统中其他方面也都配有必要的冗余。例如冗余连接可以降低传感器信号丢失造成的影响。这些冗余配置保证了系统的高可用性和低风险运行。

#### 防堵塞功能

防堵塞功能可使变频器对水泵实施预防性维护，并在水泵被堵塞时对他们进行清理 9。这项功能可以用三种方式启动：

- 当电流超过预定范围时，启动反转；
- 根据预先设定的时间启动反转；
- 以数字信号启动反转。

#### 水泵优先级控制

水泵的优先级控制功能帮助优化水泵的运行时间，并有助于改善系统的保养计划，提高水泵的运行效率接近最高的效率点。

#### 流量计算

流量计算可以用于单台水泵的操作。在此情况下，变频器不需要传感器就可实现流量测量。利用这项功能，可以从那些不需要因计费而要求测量流量数据的产品中取消流量计。出于压力控制需要，可以对安全参数进行设置。

### 抽水应用实例

此处列举了两个应用实例，多泵应用和水位控制应用。

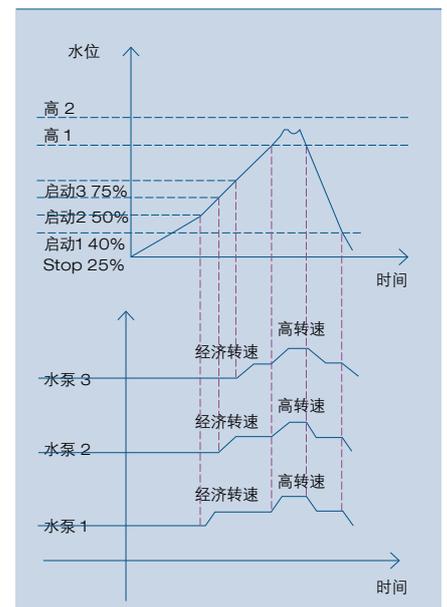
#### 多泵应用

多泵应用的冗余配置使其非常适合水泵站使用。变频器之间也可以通过通讯软件 NDBU-95 DDCS 进行通讯 10。

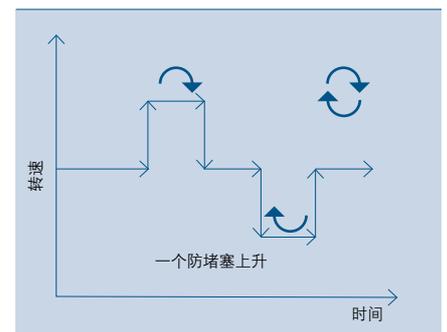
#### 水位控制应用

在水位控制应用中，最多协调八台水泵对水箱进行注水或排水，如 11 所示。水位溢出开关和水位传感器与数字 / 模拟接口（DI/AI）相连。每个变频器都可以设置为主变频器，且主 / 从

8 水位控制模式的控制策略



9 水泵的防堵塞操作





变频器中的启动 / 停止水位可以根据客户要求专门设置。

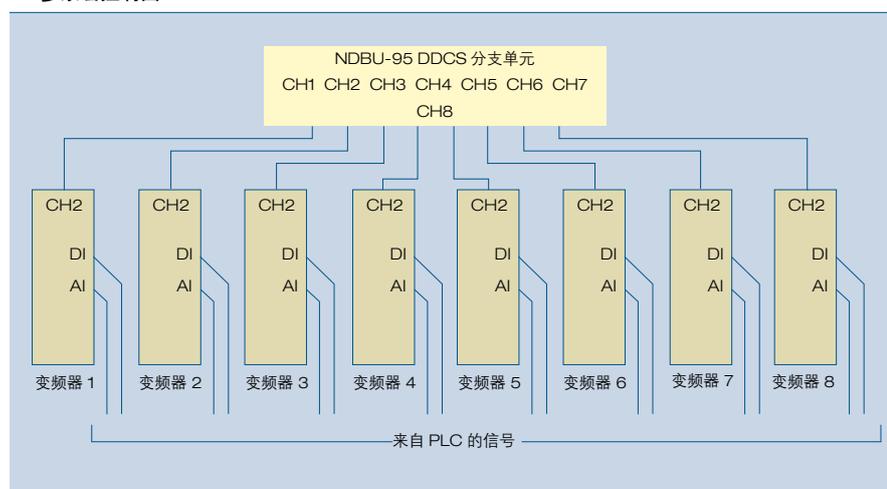
### 成功的解决方案

IPC 提高了泵应用中的能效和实用性。与 50Hz 的额定转速相比，在以 45Hz 的经济转速运行时，水泵可节省大约 19% 的能源；在其整个生命周期内，水泵可节省大约 16% 的能源。

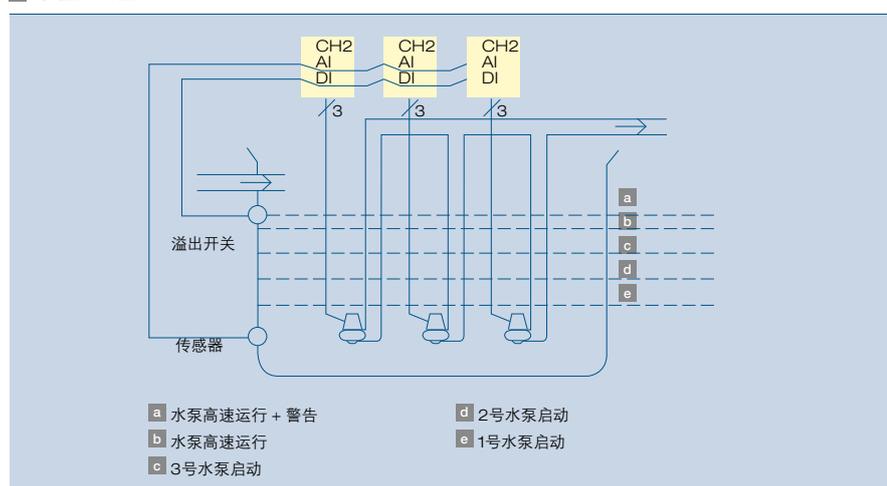
100% 的冗余配置和具有防堵塞功能和水泵优先级控制的 IPC 软件，是系统的两大突出优势，可以显著降低水泵发生故障的风险。

ABB 针对并联抽水应用（特别是大功率并联水泵）的 IPC 技术，满足了日益增长的节能和减排需求。

10 多泵宏控制图



11 水位控制图



### 李进国

北京 ABB 电气传动系统有限公司  
中国北京  
lude-jinguo.li@cn.abb.com

### 延伸阅读：

《通用变频器及其应用》(第 2 版) / 韩安荣主编，北京：机械工业出版社，2000 年  
北京 ABB 电气传动系统有限公司，2004 年出版：《ACS800 固件手册——泵控制应用程序》，第 7.1 版 (+N687) (B 版)



# 拥有人类 触觉的机器人

机器人如何学习抛光

鲍贤捷，彭文，殷兴国，方心宇，张晖

工件抛光看起来十分简单，但事实上却包含高度复杂的动作。拥有这方面长期经验的技工可以根据“感觉”很好地完成工件抛光工作。

中国工业发展到现阶段，抛光已经成为工业生产中一道重要的工序。中国已经成为手机、计算机、摄像机和其他类似消费品的全球制造中心，此类产品的外壳在使用前都需进行抛光。

鉴于中国每年几乎要制造 10 亿件上述部件，显然最熟练的技工也不能完成如此大量的抛光工作。

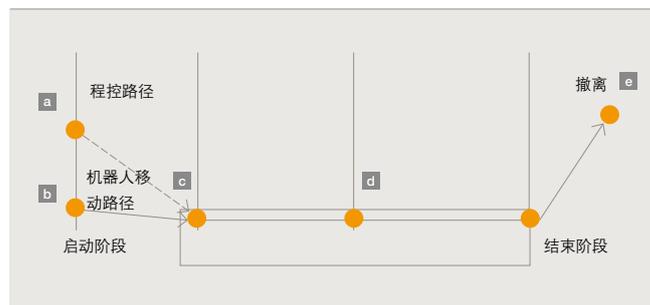
利用 ABB 开发的新型软件程序，机器人可以学习完成高质量抛光所需的“感觉”。机器人所拥有的灵活性和持续稳定的最优表现，已使其成为计算机、通讯和消费电子（3C）行业不可替代的工具。

**最**近几年，中国的3C产业持续增长，移动电话行业就是其中一个很好的例子。2007年手机出货量达到6.36亿部以上，比2006年增长24%。预计2008年还将保持同样的增速。伴随着这种高速增长，抛光作为压铸轻合金部件机械表面处理工序

中的一环，越来越受到人们的关注。抛光可以而且传统上也确实由人工或专用抛光机器完成。目前，机器人抛光作为一项新技术被引入生产，该技术比人工抛光更具灵活性，也比专业抛光机器更经济。以机器人抛光代替人工抛光和专业抛光机器，可以将工人从恶劣的环境中解放出来，而且可以提高质量和效率，并降低成本。

人工抛光需要使用技术熟练且拥有经验的工人，而现在越来越难找到这些工人，因为人们越来越对“肮脏的”抛光工作环境不感兴趣。同时，由于生产班次轮换和工人的技术水平不同，保持稳定的质量十分困难。在此类工序中引入机器人自动化操作，不仅可以缓解工人的压力，而且还可以保证整个制造过程的高质量完成。

1 受控触点压力模型各个阶段



在3C行业中，铝合金和镁合金是移动电话盖板、手提电脑盖板或MP3盖板等部件最常用的材料，这些部件对尺寸精度要求不高。工厂目前面临的挑战是需要经常对部件进行改变，这要求生产具有高度灵活性，机器人抛光在这方面具有明显优势。但在机器人能利用“人类感觉”从事这项工作之前，它们必须学习一系列技巧，用机器人的语言来说，这些技巧就是ABB已经开发的离线和在线编程的结果。

### 感觉灵敏的机器人需要良好的力度控制

提高表面处理质量的关键是控制抛光工序中的材料去除率。在夹具不变的情况下，材料去除率可由抛光工具的速度和触点压力控制。控制速度比较容易，但常规的机器人定位控制不能

足以保证触点压力的稳定。3C行业中最常用的轻合金的表面硬度都很低，因此必须精确地控制机器人表面抛光系统的触点压力，才能保证抛光的质量。ABB开发的新型受控触点压力模型使机器人对触点压力十分敏感，机器人可以“感觉”触点压力，

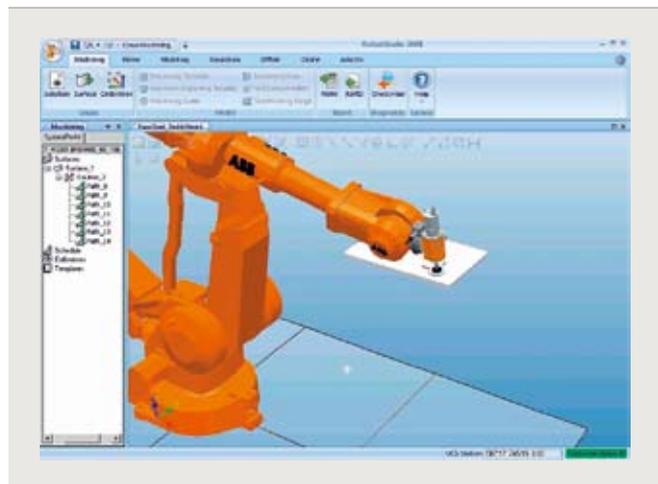
并紧贴工件的表面移动，与工件之间保持所需的压力。

### 2007年中国手机出货量超过6.36亿部。

这意味着必须对机器人的位置进行调整，以便对工件表面保持恒定的力度/压力，即使机器人不清楚工件表面的精确位置时也必须如此。由于压力是通过移动机器人路径而产生，该参数也适用于对那些要求表面平整而光滑的工件抛光、磨削和清洗处理。被切削掉的材料及工件表面拓扑后的变化，取决于一系列工艺参数，如磨具、触点压力或机器人的速度。

受控触点压力模型各个阶段如1所示。

2 基于ABB RobotStudio的RSMPP图形用户界面



3 IRC5控制器的Flex-Pendant上的RSMPP图形用户界面



# ABB机器人

在启动阶段，机器人将被切换至压力控制模式，并沿参考压力方向移动，直到到达与工件接触的位置 10。一旦接触到工件，机器人将开始向程控位置 11 移动。在沿着工件表面移动的过程中，机器人将保持压力控制模式。在结束最后一步工艺移动后，机器人从工件上被移开，并在向终点位置 12 移动过程中被切换至位置控制模式。在受控触点压力作用下，材料切削率在整个抛光过程中将保持不变，直至获得所需的抛光质量。

## 离线和在线编程

ABB 压力控制技术很好地控制作用在工件上的压力值，但由于压力的特性包括大小和方向，机器人的移动路径也需要予以控制。大多数磨具都具有特定的磨削工作面，因此不同的接触角度会产生不同的抛光效果。为了保证最佳的抛光质量，磨具必须既保持与工件之间的稳定接触，同时也必须沿着抛光路径保持正确的倾斜角度。

在 3C 行业，很多需要抛光的装饰件具有十分复杂的外形，通过编程使机器人紧随这些路径运动是一项极大的挑战。传统而言，路径由人工编制的程序控制，路径坐标由编程者确定。但复杂曲面的精确抛光要求确定许许多多关于接触点、磨具方位及倾斜角度的坐标值。

ABB 针对机器人加工开发出了两套专用软件产品，以解决这一复杂问题。被称为 RSMPP (RobotStudio Machining PowerPac) 的基于 CAD 模型的离线编程环境，是 ABB RobotStudio 2 内的一个模块。RobotStudio 是一套基于 PC 的软件，可提供有效

的机器人系统支持、离线编程和 3D 环境仿真。基于这一平台，RSMPP 可开发出一系列关键功能，包括基于 CAD 的路径生成和基于加工工艺模板的编程，并输出所生成的程序。

被称为 RWMFC (RobotWare Machining Force Control) 的在线软件产品以 ABB IRC5 机器人控制器为基础，是一款特别任选项，可支持基于压力控制的机器人加工应用。RWMFC 的关键功能包括在线教学、自动路径学习以及带有规定路径参数的程序的输出 3。

## 机器人抛光不仅可以提高生产率，同时增强抛光工艺的稳定性。

基于 CAD 模型的离线编程和在线自动路径学习功能结合起来，可以实现精确抛光。基于 CAD 模型，RSMPP 通过选择正确的抛光模板来生成路径，其结果可以两种方式来验证：3D 仿真或实际机器人系统。

如果没有可用的 CAD 模型，用户可以利用 RWMFC 在压力控制引导下大致确定轮廓点。随后，机器人系统可以自行执行自动路径学习功能，精确

地将缺失的坐标点添加到所生成的路径中。CAD 模型也常常会与真正的零件之间存在一些细小的差别。如果离线生成的路径与真正零件之间的这些差异影响到抛光质量，可以根据离线 RSMPP 生成的轮廓点执行在线自动路径学习功能。4 显示了这些软件解决方案的功能。

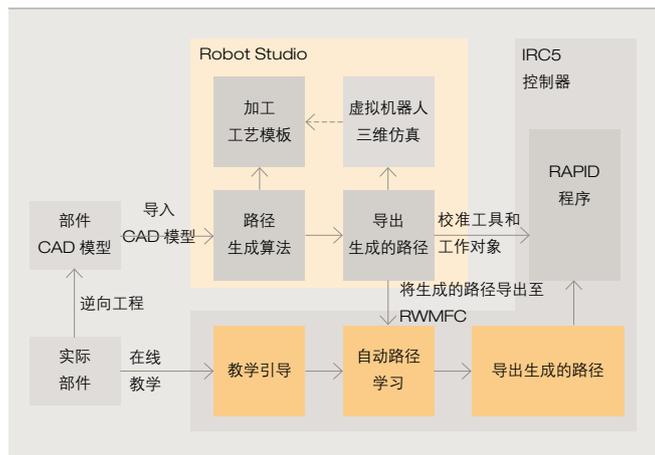
ABB 的自动生成抛光路径的软件解决方案不仅可以提高加工精度，而且还使机器人抛光应用具有更大灵活性，可以在更换部件时显著缩短重新给机器人编程所需的时间，而在 3C 行业，加工部件需要经常更换。

## 如何抛光铝合金 LCD 背板？

3C 行业中一个需要抛光的典型部件是铝合金 LCD 背板，其表面是一个正方形框架的球形区域 (5 中的绿色区域)。在喷砂和电镀之前，必须先消除表面上的划痕，这些划痕可能是前面的工序造成的。在这个典型的机械表面处理操作中，可以用一个普遍采用的中等硬度的无纺砂碟来达到合适的材料切削率和表面处理。一个 CAD 模型和几件测试工件可用于这项应用的开发。

由于仅仅依靠中速的位置控制不能保证与工件之间的稳定接触，在这种工件加工过程中需要使用压力控制。以手工方式在如此巨大的工件上确定精确的抛光路径，是一件十分耗时的事，因为需要确定的坐标点有上千个。为了稳定地对球面上的各个区域进行表面处理，磨具必须以特定角度与球面的各个部分保持接触，为此，磨具必须沿着路径随球面变化而变化。基于 CAD 模型，可以

4 利用 RSMPP 和 RWMFC 自动生成抛光路径



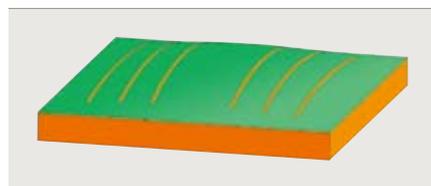
利用离线编程以割平面法生成抛光过程所需的加工路径。RobotStudio 3D 仿真中的抛光路径节略图如图 6 所示, 根据加工表面曲线的不同, 采用不同的磨具导向。

所生成的坐标被下载到 IRC5 控制器中, 就可以在实际环境中对路径进行测试。在此测试中, 人们可能会发现, 背板上的划痕裂缝之间的一些抛光区域以及其他一些区域没有被抛光。

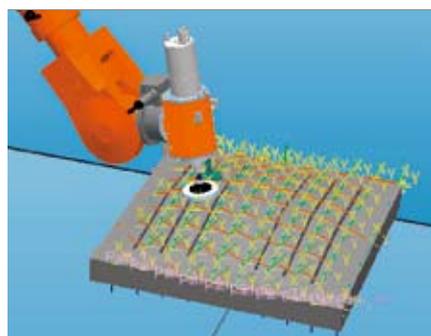
原因是铸造工艺在这些区域造成的变形大于 CAD 模型所显示的变形。为了弥补这一不足, 可以执行基于离线生成的路径的在线路径获取功能, 以提高与工件之间接触的稳定性。精确调整后的正确路径被用作自动路径学习功能的参考。利用这一新的路径, 再次对工件进行测试, 应达到可接受的工件表面处理质量。在离线编程和在线路径获取功能的共同作用下, 可以在很短的时间内编制出最合适的工艺, 该工艺带有数百个坐标点数据。

在生成精确的抛光路径后, 还必须另

5 LCD背板的CAD模型



6 RobotStudio 3D仿真软件生成的路径



外进行测试, 以测定那些会影响周期时间、刀具磨损和表面处理最终质量的因素, 包括抛光粉的粒度、媒介硬度、磨具直径、心轴倾斜角度和接触区域等。经过这些测试后, 应在表面处理的最终质量、抛光的周期时间、材料切削和磨具磨损速度之间寻求平衡。

与被取代的手工抛光相比, 以机器人对 LCD 背板进行抛光, 表面处理质量更稳定, 生产率也更高。

## 发展方向

机器人抛光在 3C 行业中的应用, 是工业机器人一个新的应用领域。到目前为止, 这种应用看起来还十分具有挑战性。在开发出压力控制、基于 CAD 模型的离线编程和在线自动路径学习等关键技术后, ABB 已经为机器人抛光获得更广泛的应用铺平了道路。

除机器人性能外, 通过对抛光工艺具有影响的工艺参数建模, ABB 致力于进一

步发展这一富有吸引力的应用。对这些参数更深入的了解, 会进一步提高柔性抛光工艺的自动化程度, 减少工程时间, 提高抛光质量并降低成本。

### 鲍贤捷

ABB 中国研究中心  
中国上海  
ronin-xianjie.bao@cn.abb.com

### 彭文

ABB 中国研究中心  
中国上海  
vincent-wen.peng@cn.abb.com

### 殷兴国

ABB 中国研究中心  
中国上海  
xingguo.yin@cn.abb.com

### 方心宇

ABB 中国研究中心  
中国上海  
xinyu.fang@cn.abb.com

### 张晖

ABB 中国研究中心  
中国上海  
hui.zhang@cn.abb.com

## 参考文献:

- [1] Basanez, L. Rosell, J. (2005). Robotic polishing systems. *Robotics & Automation Magazine*, IEEE, 12(3), 35-43.
- [2] Satori, S. Polishing of mould surfaces. (1999). *Periodica Polytechnica SER. Mech. Eng.*, 43(2), 113-120.
- [3] Pan, Z., Zhang, H., Zhu, Z., Wang, J. (2006). Chatter analysis of robot machining process. *Journal of Materials Processing Technology*, 173, 301-309.
- [4] Nahavandi, S. Uddin, M. J., Nasu, Y., et al. (2007). Automated robotic grinding by low-powered manipulator. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, 589-598.
- [5] Mallapragada, V., Erol, D., Sarkar, N. (2007). A new method of force control for unknown environments. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 4(3), 313-322.
- [6] Gan, Z. X., Zhang, H., Wang, J. J. (2007). Behavior-based intelligent robotic technologies in industrial application. *Lecture Notes in Control and Information Sciences* (362), 1-12.
- [7] Ge, J. G., Yin, X. G. (2007). An object oriented robot programming approach in robot served plastic injection molding application. *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, (362), 91-97.
- [8] Kazutoyo, M., Tsukasa, K., Satoru, I., et al. (1995). Study on automatic polishing of injection mold-polishing with constant pressure under controlled tool staying time. *Proc. of the ABTEC*, 431-434.
- [9] ABB application manual, Force Control for Machining. (2007). 3HAC027595-001\_revB\_en.
- [10] ABB operating manual, RobotStudio. (2007). 3HAC032104-001\_en.
- [11] Zhang, H., Brogardh, T., Wang, J., et al. Method of and apparatus for automated path learning. U.S. patent, PCT/US2006/004677.
- [12] Kazukuni, B., Takayuki, S. Finish machining device. European patent, G05B19/416A.
- [13] Mobile phone production in China to account for more than half of worldwide shipments in 2007. (2007, Dec. 12). *Wireless Design and Development Asia*. Retrieved October, 2008, from <http://www.wirelessdesignasia.com/article-7514-mobilephoneproductioninchinatoaccountformorethanhalfofworldwideshipmentsin2007-Asia.html>

# 虚拟工程（一）

直观的工业机器人离线编程工具

元利伟，殷兴国，王海鹏，陶力

ABB 开发的新型机器人仿真和离线编程工具，将本来复杂而耗时的工作变得直观而便捷，使销售人员可以在对客户进行销售访问时现场完成仿真工作。该产品针对工程经验有限的销售人员而设计，将一般需要 8 小时的机器人仿真时间减少到 30 分钟以内。



**传**统的机器人仿真和离线编程工具一般都针对拥有专业知识的工程师而设计，而没有考虑那些仅有有限工程背景的销售人员的需要。在销售人员看来，现有的仿真和离线编程工具难以使用，因为他们要求使用者掌握一系列专业知识和能力，包括：几何建模知识、生成和调整机器人目标和路径的能力、路径构建、单元对象定位等。

## ABB 对阻碍机器人仿真和离线编程的直观性和易用性的主要瓶颈进行了甄别。

为了解决这一难题，通常由工程师为销售人员建立机器人单元的 3D 仿真。仿真过程一般需要耗时数小时乃至一整天的时间。当销售人员带着仿真模型赶回去与客户继续交流时，往往又需要进行大量的修改和设计调整。这些反复需要耗费大量时间，增加了快速向客户提供满意解决方案的复杂程度。

为了简化这一耗时费力的工作，ABB 对阻碍机器人仿真和离线编程的直观性和易用性的主要瓶颈进行了甄别，在此基础上开发出 RobotStudio Machine

Tending PowerPac (MTPP)，使销售人员 and 方案工程师可以在现场建立并向客户展示机器取放件工作单元的仿真模型。

### 消除瓶颈

阻碍离线编程和仿真的直观性和易用性的主要瓶颈有五大方面，即：几何建模、机器人目标和路径生成、机器人解决方案应用情景的生成、机器人路径的规划配置以及确定单元组件的最优布置。

### 几何建模

现有的建模方法使用商业 CAD 软件（如 Pro/ENGINEER 或 SolidWorks），或者机器人仿真程序中的建模模块。这两种方式存在如下缺陷：

- 使用门槛高。由于这些建模工具需要必要的工程经验，至少需要针对这些建模工具的使用进行为期数天的培训；
- 几何建模是一项十分耗时的工作（即使对于拥有专业知识的工程师来说，情况也是如此），它会增加离线机器人编程初始阶段所花的时间；
- 如果在方案设计、评估阶段需要对几何模型进行修改，就必须建立新的几何模型。

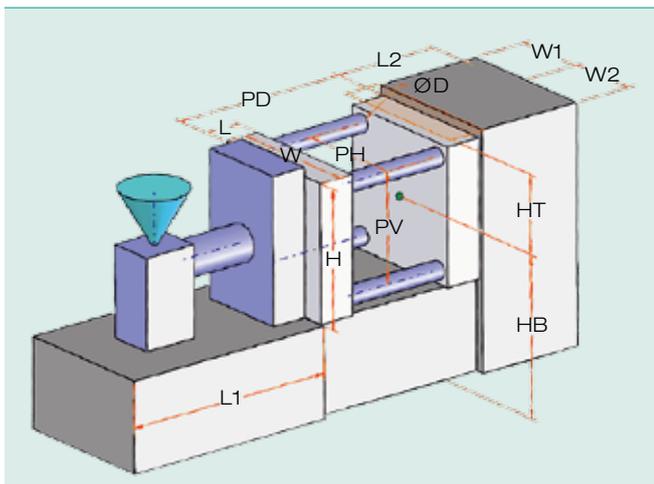
为了降低几何建模的难度，减少几何建模所需的时间，ABB 采用了参数化建模方式。在分析大量机器人应用案例的基础上，将机器人取放件应用中的设备进行分类，形成设备库。每个设备的几何模型被构建为一个或数个标准化的典型形态。

■ 显示了一个带有 13 个驱动参数的注塑机模型。每个参数均设置默认值，以保证所生成模型的正确性。如果模型尺寸不符合要求，可单独或同时调整所设置的参数，以使模型达到要求。这样，用户不需事先掌握传统几何建模工具的相关知识，就可以快速而便捷地为复杂的注塑机建模。只需调整一个或数个驱动参数，就可以立即为该机器建立模型。这种方式可用于机器人工作单元中的任何需要三维几何模型的设备。

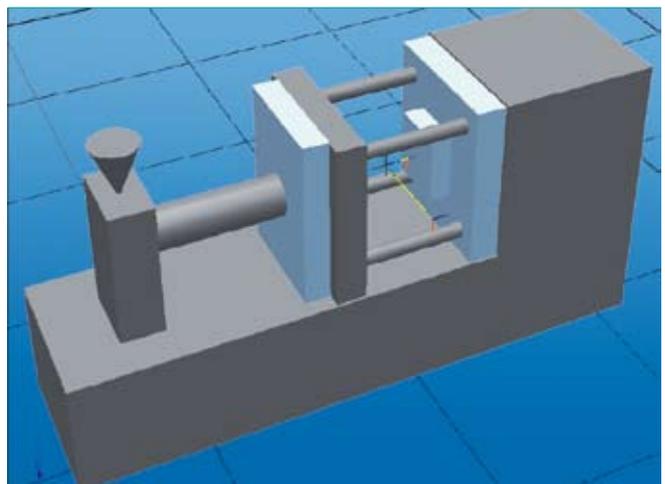
### 目标和路径的生成

确定机器人路径的常规方法是将机器人慢慢推向目标，并记录工具中心点的位姿（位置和姿态），或者直接通过用户界面输入位姿的参数值。这两种方法都不太方便，需要不断进行试验和调整，才能使所生成的目标达到

1 注塑机的参数模型



2 几何模型及相关的机器人目标和路径



# ABB机器人

满意的精度。在确定所有目标后，还需要对这些目标进行整合，形成一条或几条机器人路径。在这一过程中，需要确定机器人路径中的每条动作指令的顺序和动作参数——速度、工具数据以及诸如该移动是属于直线移动还是关节型移动。这不仅十分费时，而且要求系统的机器人技术知识和使用离线编程工具的能力。

为了降低目标和路径生成的复杂性，并且使机器人程序与工艺要求融为一体，ABB 开发了一套基于参数化模型的机器人目标和路径生成方法。除机器取放件应用外，该方法还可用于其他应用。

机器取放件应用由各种设备组成，包括机器和搬运装置。这些设备可以定

义为一个工作站，包括一个几何模型，由两个或更多个机器人目标组成的一条或多条路径。几何模型与机器人的目标位姿相联系。例如，模制品的夹起点总是与模板的中心点成一条直线。构建机器人目标与几何模型之间的关系算法之后，目标生成就可以自动完成。此外，机器人目标和路径的特定应用需求可以被构建为模板，每个模板可以确定目标在路径上的顺序、机器人每次移动的动作参数等。利用模板，可以快速生成与应用需求相匹配的机器人路径。

## Machine Tending Power-Pac ( MTPP ) 与 ABB 的离线编程和仿真平台 RobotStudio 配合使用。

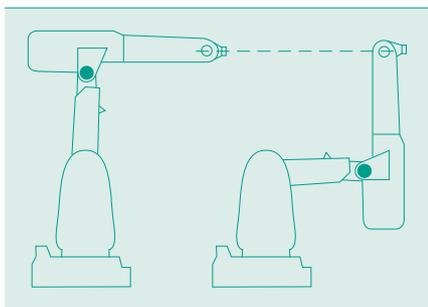
2 显示了一个几何模型及相关的目标和路径。机器人目标采用与 1 所示模型相同的驱动参数生成。根据工艺模板，所有机器人目标被纳入两条路径

(一条进入路径和一条移出路径)。如果根据应用需要，需要调整工作站的大小，则只需改变其驱动参数，就可以轻松地生成新的几何模型。附属于工作站几何模型的机器人目标也会自动更新。

**基于应用情景的机器人编程**  
为了向客户提供最优解决方案，必须准备、比较和评估不同的应用情景。例如，注塑机工作站的一个应用情景是从机器的前方拿起一个零件，另一个应用情景是将一个零件放在机器上，然后从机器的顶部拿起一个新的模制品。应用情景由机器人动作、加工方法和工作站控制逻辑构成。机器人动作包括机器人路径，加工方法包括加工数据和加工信号逻辑，而工作站控制逻辑则负责工作站信号的处理。

生成不同应用情景的常规方法是复制工作站模型，然后以人工生成另一套机器人目标和路径，包括加工方法和工作站的逻辑设置。这又是一项十分

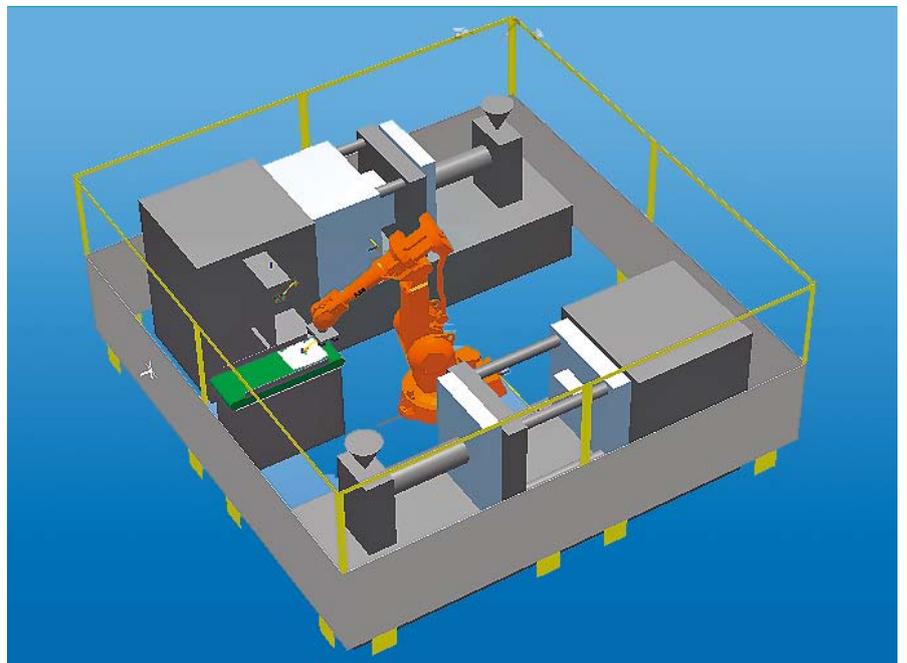
3 机器人接近目标时的两种不同机器人构形



4 最优单元布置流程图



5 Machine Tending PowerPac生成的优化的机器取放件单元



费时的操作。ABB 的解决方案是一种基于应用情景的机器人编程方法。该方法不仅自动生成几何模型和机器人目标和路径,而且还能将几何模型映射到取自不同应用情景的不同目标和路径集合,从而更容易也更快地在针对不同应用解决方案的安排(应用情景)之间进行转换和比较。



### 机器人加工路径的规划配置

不同的机器人各关节转角组合,可以使得机器人以不同方式达到相同的机器人目标。这被称为机器人构形。<sup>3</sup>显示了可以达到相同机器人目标的两种不同的机器人构形。右面的结构以向后转动机械手并将转轴-1 旋转 180 度的方式达到目标。

机器人可以达到两个目标并不意味着它可以横穿两个目标之间的路径。能否横穿两个目标之间的路径,取决于机器人移动时各转动关节可以旋转的范围。在大多数情况下,由于针对同一个机器人目标存在一种以上的机器人构形,因此必须考虑如何选择合适的构形,使机器人得以横穿整个路径并达到目标。此外,针对每个机器人目标所设置的构形,应能确保机器人在整个周期(一个周期就是机器人在一个机器人作业序列中需要穿过的路径集合)内动作平滑。

**MTTP 已经在机器取放件和其他应用中给 ABB 全球的合作伙伴和客户带来极大的好处。**

在大多数离线机器人编程工具中,针对每个机器人目标的构形均以人工设

置。这需要花费相当多的时间,而且用户还必须拥有相当程度的知识和能力。MTTP 却配有一套构形规划算法,可以自动完成机器人目标构形选择,确保机器人在一个周期内平滑地动作。

### 单元组件的布置

机器人工作单元中各组件的正确布置,对充分发挥机器人的能力以确保机器人单元的最高生产率至关重要。这需要相当水平的机器人技术知识和经验,而销售人员一般无法达到这种水平。第 90 页介绍了一种实现最短机器人周期的最优单元组件布置方案,该方案的简要轮廓如<sup>4</sup>所示。

一个机器人工作单元通常需要执行一项以上的作业。简单地改变机器人作业的位置,而这种位置的改变仅仅涉及机械手第一节转轴的旋转角度的变化,是不会影响机器人的工作性能的。鉴于这种情况,数个机器人作业的位置的确定可以分为三个阶段:单个作业的位置确定、作业排序和机器人单元的优化。

首先,单独确定每个机器人作业相对于机器人的最佳位置和方位;第二,确定机器人进行作业的最佳顺序,以达到最短的周期时间。前两阶段的成

功完成后,就可以进行第三阶段即最终优化。在第三阶段,可以利用模拟退火算法同时对多个机器人作业的位置和方向进行调整[1]。

### 片刻内完成仿真

利用 Machine Tending PowerPac (MTTP), 可以实现上面所描述的快速机器人离线编程。MTTP 与 ABB 的离线编程和仿真平

台 RobotStudio 配合使用<sup>5</sup>。MTTP 于 2007 年上市,并已经在机器取放件和其他应用中给 ABB 全球的合作伙伴和客户带来极大的好处。该系统主要为销售人员和方案工程师设计,具有如下综合优势:

- 模拟机器人单元的快速生成和调整
- 无需 RobotStudio 应用经验
- 周期时间和机器人单元布置的评估
- 迅速确定生产周期中的瓶颈

通过优化机器人单元布置,可以缩短周期时间,这将在本期 ABB 评论第 90 页的《虚拟工程(二)》中进行探讨。

亓利伟  
殷兴国  
王海鹏  
陶力

ABB 中国研究中心  
中国上海

levy-liwei.qi@cn.abb.com

xingguo.yin@cn.abb.com

jackson-haipeng.wang@cn.abb.com

matrix-li.tao@cn.abb.com

### 参考文献:

- [1] ABB 研究有限公司(2007)。“优化机器人性能的方法”,专利号:US 2007106421

# 虚拟工程 (二)

优化工业机器人的单元布置，提高制造业生产率  
张丹丹，亓利伟

ABB 最近进行的有关工业机器人单元最优布置的研究，将机器人周期时间比现有方法缩短了 20%。在焊接、喷漆、切割和材料处理等自动化制造工艺中，机器人总是沿着预先设置的路径执行重复的操作序列。通过缩短完成一项操作序列所需的周期时间，可以显著提高机器人的生产率。机器人的周期时间取决于很多因素，其中作业的位置具有十分重要的作用。优化机器人单元布置，可以显著缩短周期时间。

近年来，人们对机器人单元的布置进行了很多研究。所提出的方法基本上可以分为如下几类：

- 调整机器人的位置
- 优化相对于机器人的作业位置
- 优化相对于机器人的多个作业位置
- 重新设计机器人工具
- 优化外部转轴相对于机器人的位置

或外部各转轴之间的相对位置

对于实现最优的单元布置，上述各种方法的作用都有限。尤其涉及多项子作业时，情况更是如此。ABB 最近的研究集中于一种确定最优单元布置的三阶段方法，最优的单元布置使机器人可以用最短的周期时间完成多项子作业。

## 确定最优单元布置

ABB 的三阶段单元布置优化方法包括：1) 单个作业位置的确定；2) 作业排序；3) 单元布置优化<sup>1</sup>。利用前两个阶段，可以在很短时间内确定次优的单元布置。

在第一阶段，每项机器人作业被单独放置在一个“首选区域”，以得到合适的初始定位；然后，以切换方法确定最高效的作业顺序；之后，利用模拟退火方法同时调整各项作业的位置，以达到最优的单元布置。在实验（介绍如下）中，新方法比现有的单元布置优化方法显著缩短了机器人的周期时间。

### 单项作业位置确定

作业的定位包括两个步骤：将各项作业放置在一个首选区域，然后将其沿着自己的坐标系旋转，达到最优位置。

首选区域是机器人可达到范围之内的一個集中区域，大多数机器人作业都被放置在这一区域<sup>2</sup>。如果机器人作业被放置在机器人的首选区域，机器人就有望展现较好的性能，同时缩短周期时间。

机器人作业由目标点定义。一个目标点可以被视作一个无穷小的物体，其位置由三维笛卡尔坐标系内的三个坐标确定，其方向由三个角度确定。改变作业的位置等同于改变所有用来定义该作业的目标点位置。

### 作业排序

在确定各项作业的最优位置后，就面临如何将所有作业进行排序以得到最优单元布置的问题。实验表明，当作业仅沿着机器人的一轴旋转时，该作业的位置仍可保持在最优位置。如<sup>3</sup>

所示，即使作业的位置由位置 1 移到位置 2，该作业仍然处于机器人可以操作的最优位置。作业排序就是根据预先设定的逻辑访问顺序，确定各作业的最优空间顺序。为了实现快速排序，我们开发了一种切换方法并将该方法整合到解决方案之中<sup>4</sup>。

假定要对  $M$  项作业进行排序，则有  $M!$  种可能的作业排序方案。如果  $M$  的数值很小，还有可能通过  $M!$  维空间进行搜索。但是，如果  $M$  值很大，对全部方案空间进行搜索十分耗时。在这种情况下，就可以转而采用简化的遗传算法（GA）来寻求最优的作业顺序。GA 是一种解决大维度组合优化问题的优化算法。

ABB 最近的研究集中于一种确定最优单元布置的三阶段方法，最优的单元布置使机器人可以用最短的周期时间完成多项子作业。

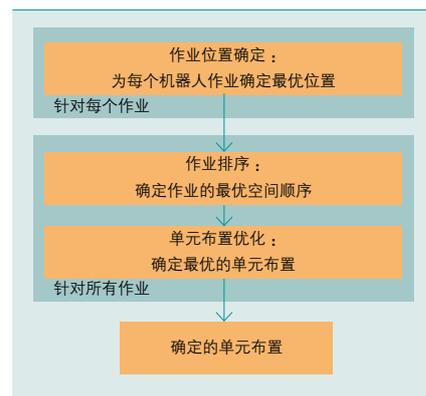
因此，如果作业总数  $M < M_0$ （ $M_0$  是一个阈值），就通过对整个  $M!$  维的搜索空间进行全面搜索的方式来搜寻最优顺序；但是，如果  $M \geq M_0$ ，搜索方法就切换到基于 GA 的算法，以减少搜索所需的时间。

### 单元优化

在单元优化阶段，采用模拟退火算法（SA）针对所有子作业确定最优的单元布置。在单项作业位置确定和作业排序这两个阶段完成后，就得到了次优的单元布置方案，减少了最终单元优化的搜索空间。之所以采用 SA 算法，是因为它可以产生逐步改良的方案，为用户提供了选择余地和灵活性，即，用户对算法所得方案感到满意时，可以随时终止优化程序。

退火模拟算法曾被用来解决各种组合的优化问题。它的优势之一是可以从随机的布置开始执行优化程序。用户可以设置一种初始方案，作为启动整个

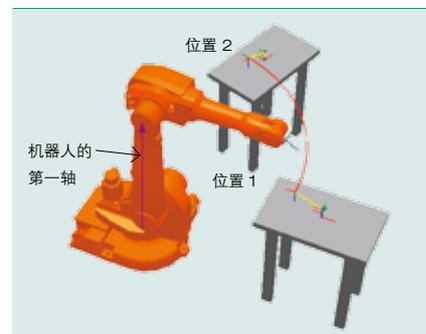
1 单元布置优化方法的解决方案图



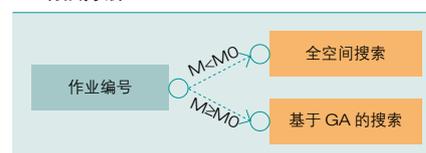
2 机器人的首选区域



3 以周期时间衡量的作业相对于机器人的等效位置



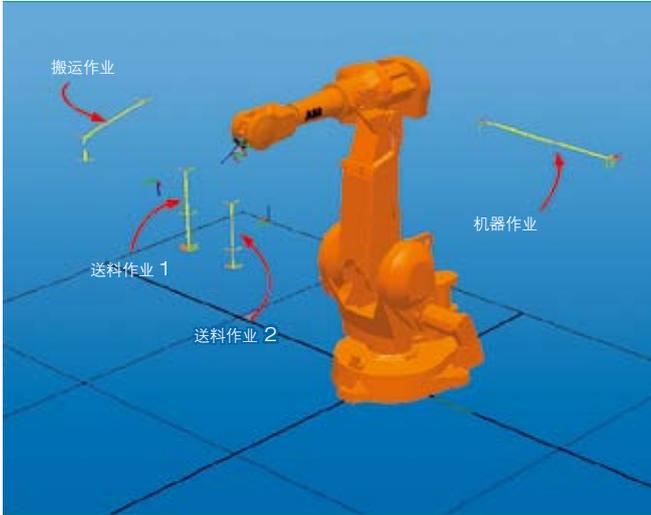
4 切换方法



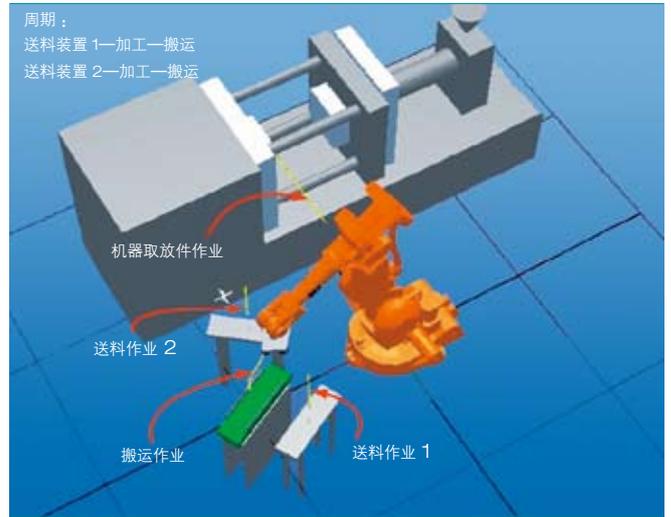
# ABB机器人

## 5 机器取放件实验案例

a 实际单元布置和作业位置



b 优化后的单元布置及作业位置



单元优化过程的出发点。可以在算法执行期间停止优化过程，得到一个中间结果，然后还可以以该中间结果为出发点，重新开始优化过程。这赋予了用户很大灵活性。

### 周期时间的显著缩短

在数项应用实验中，周期时间都明显下降。这些实验包括两个点焊案例、一个打磨案例和一个机器取放件案例。各项实验均通过 ABB 的机器人仿真和离线编程平台 RobotStudio 进行。

### 在数项应用实验中——点焊、打磨和机器取放件——周期时间都明显下降。

在两个点焊案例中，机器人需要访问每个点焊点，并执行焊接操作。在点焊案例 1，焊点呈直线排列；而在点焊案例 2，焊接路径则呈不规则形状。实验结果被用来与采用多项式拟合方法的实验结果进行对比，以确定最优的作业位置。两套实验的结果如 6 所示，该表表明，在两个点焊案例中，本文介绍的方法

可以将周期时间缩短 17% 至 20%。

打磨案例中的改进不明显 (1%)，因为机器人作业路径比较简单，已经处于次优位置。

在机器取放件案例中，机器人单元由一台加工工件的机器、两个送料装置和一个搬运装置构成。周期包括：送料装置 1 > 加工 > 搬运 > 送料装置 2 > 加工 > 搬运 >。

优化前和优化后的单元布置分别如 5a 和 5b 所示。6 中的实验结果显示，周期时间缩短了几乎 13%，改进效果十分明显。生产率的提高得益于新的作业（位置）空间顺序，以及优化过程对作业位置的调整。

实验表明，对于包含多个不同方向目标点的路径复杂的作业，新方法常常可以

带来明显的好处；而对于只涉及方向相近的少量目标点的简单路径的作业，新方法在周期时间的改进则很小，这是因为机器人的性能不会随作业位置的重新布置而发生太大改变。实验还表明，对于单项作业，方向调整对周期时间的影响大于移动的影响。对于多项子作业，作业排序以及随后的同时调整是缩短周期时间的有效途径。

该项研究的成功完成，以及缩短周期方面取得的显著效果，促使 ABB 将该方法整合到最新版本《Machine Tending PowerPac (MTPP)》中，该版本于 2008 年 9 月推出。MTPP 是一种机器人仿真和离线编程工具，可将仿真时间由常规的八小时缩短至 30 分钟以内，使销售人员可在客户拜访时进行机器人仿真的生成和演示（参见第 86 页）。

6 实验案例及结果

实验案例	现有方法	新方法	提高 (%)
点焊 1	34.86	28.90	17.1
点焊 2	5.56	4.44	20.1
打磨	30.70	30.40	1.0
机器取放件	21.90	19.0	12.8

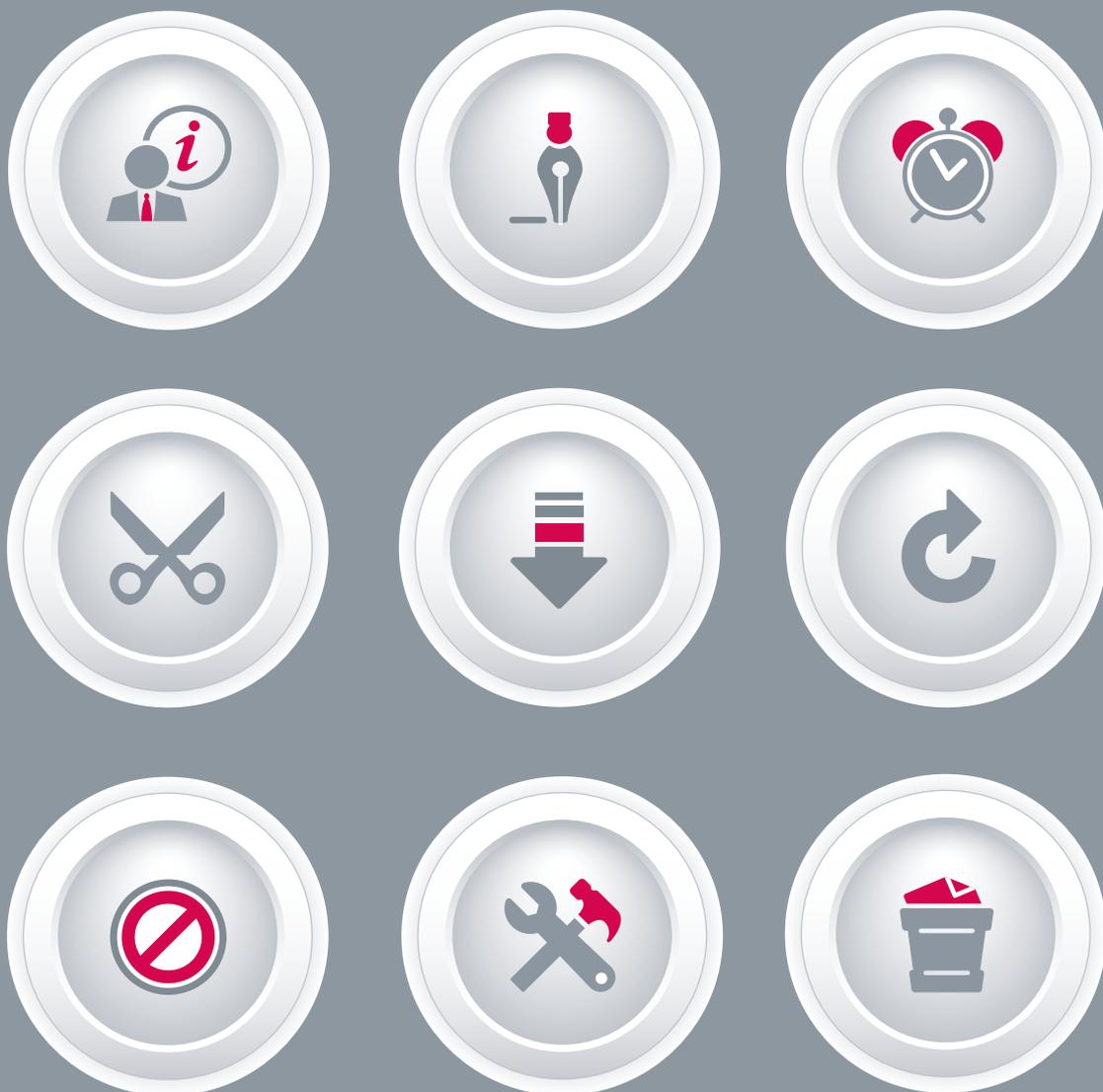
**张丹丹**  
**元利伟**  
 ABB 中国研究中心  
 中国上海  
 emily-dandan.zhang@cn.abb.com  
 levy-liwei.qi@cn.abb.com

# 一张图片还是一千个词？

基于图形的机器人编程以简化工作单元编程

陈静，黄永志，张晖

对于机器取放件应用来说，基于文本的机器人编程要求工程师拥有丰富的机器人技术专业知识；现有的基于图标的编程工具虽然降低了对机器人语言技能的要求，但不能清晰地用图形化方式直观的综合显示整个机器人取放件工作单元和机器人的运动逻辑。针对这一问题，ABB正在开发相应解决方案，以便用户使用的基于图标的编程工具更快更直观地实现工作单元的机器人编程。



# ABB机器人

机器取放件应用越来越广泛，涉及的工作单元也越来越复杂，例如典型工作单元包含注塑机、搬运设备、质量检查工位、废料区等。由于存在如此多的工位，6轴机器人成为了操作这些工作单元的首选。但是，6轴机器人的编程难度比直线机器人的编程要大得多。应用工程师通常对机器取放件的流程和加工工艺很熟悉，但不太清楚如何更好地将机器人整合到工作单元流程中且满足工艺的要求。因此，需要一种编程模型以便仅掌握有限机器人技术的工程师能轻松地对整个工作单元和机器人-机器交互建立模型。

目前主要的机器人编程方法有两种——人工编程和自动编程。人工编程使用基于文本或基于图形的系统，自动编程指示范编程（PBD）。对于工业机器人，基于文本的编程有很大的

灵活性，是最常用的编程方式。但各机器人公司都有各自的类 BASIC 机器人语言，大大限制了基于文本的程序的通用性。集成商为了满足客户对制造商的偏好，工程师们因此不得不学习各种机器人制造商提供的机器人语言。人们于是开始研究开发基于 C++ 和 Java 等的通用机器人编程语言。尽管如此，基于文本的编程仍要求应用工程师拥有丰富的机器人知识。

与基于文本的编程方法相比，基于图形的编程方法需要较少的机器人技术知识，但这种可用性的获得却是以牺牲灵活性为代价的。流程图和曲线图被广泛应用于基于图像的编程方法中，机器人供应商可提供很多种配有图像或基于图标的编程模型的应用产品。但这些产品有一个共同缺陷，那就是他们都不能以图形化的方式清晰地描

述机器人运动逻辑及综合显示工作单元系统。

由于存在如此多的工位，6轴机器人成为了机器取放件应用的首选。

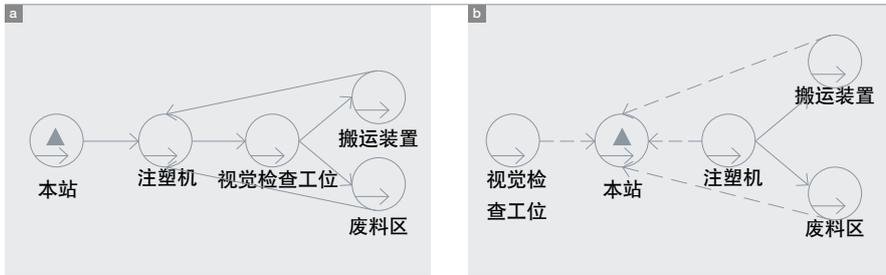
## 使编程更加清晰

一个典型的机器人取放件工作单元，机器人要负责装卸工件，并根据各工位的 I/O（输入 / 输出）状态，移动工件到对应工位。工位、机器人、机器人动作、机器人与机器之间的 I/O 交互——这些是机器取放件工作单元中的物理要素。

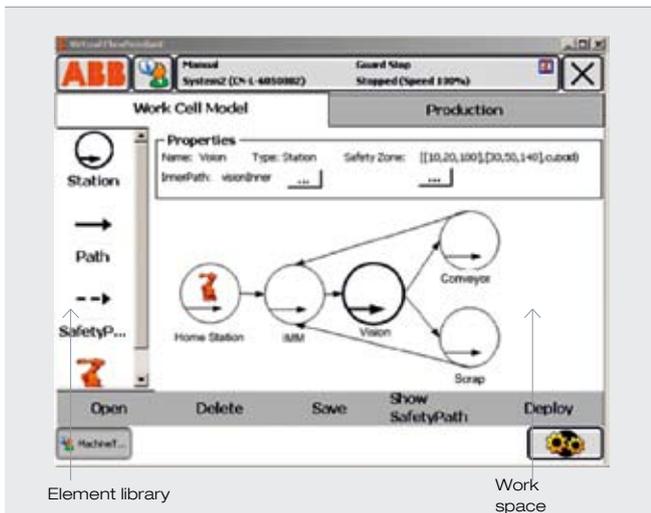
机器取放件工作单元中的典型机器人动作和机器人-机器交互如下：

- 1 机器人向注塑机（IMM）靠近，等待开启注塑机的门
- 2 在注塑机的门完全打开后，机器人进入 IMM
- 3 机器人从 IMM 上卸下已加工的工件
- 4 机器人从注塑机中退出，并发出信号，通知 IMM 关门
- 5 机器人移动到视觉检查工位，并卸下工件

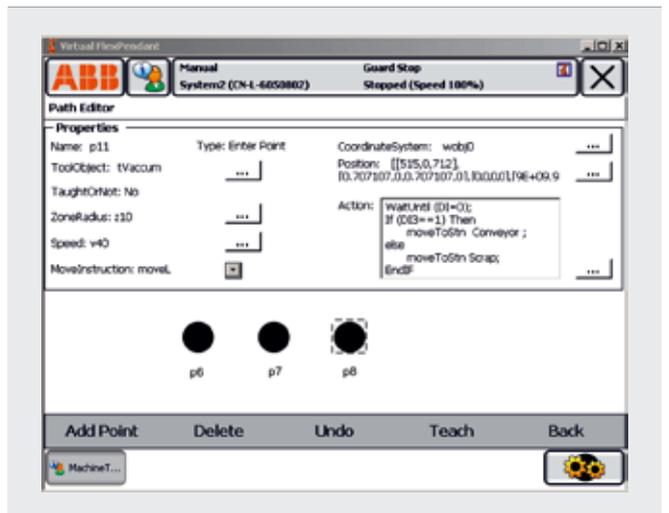
1 作业图像模型 a 和安全图像模型 b



2 工作单元作业模型

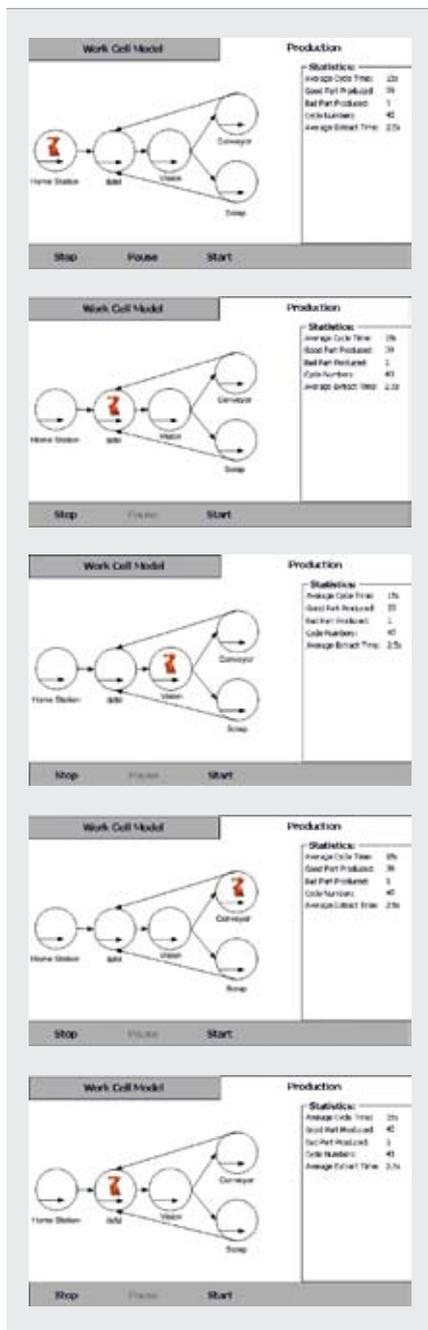


3 路径编辑器

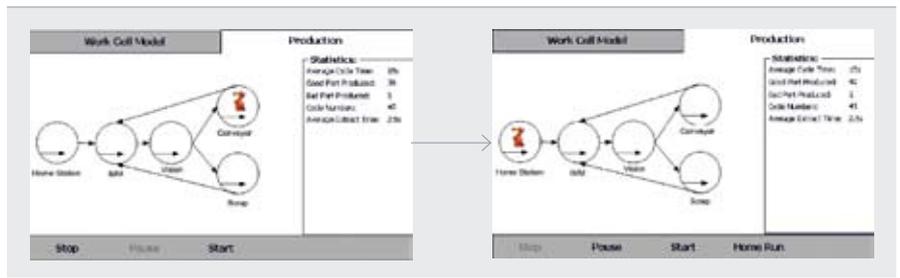


- 6 视觉检查工位发出信号，通知机器人检查工件完毕。如果工件合格，机器人会拿起工件并移动到传送装置，执行第7步操作；如果检查发现工件不合格，机器人会移向废料工位，执行第8步操作。
- 7 机器人将工件卸到传送装置上，返回第1步
- 8 机器人将工件卸到废料工位，返回第1步

4 作业周期



5 Homerun



如果在执行上述顺序操作期间发生问题，工作单元的所有操作均会停止。操作工随后按下下一个按钮，将机器人移到安全位置，或将机器人示教至安全位置。在所有流水作业周期完成后——或者出现机器人需要维修等情况——机器人将自行移动到安全位置。

现有的基于图形的编程方法不能清晰地以图形化方式清晰地描述机器人运动逻辑及综合显示工作单元系统。

工作单元的工作区域和安全位置的图形模型如 1 所示。这些模型构成便于用户掌握和操作的图形界面 2，其中包括元素库。编程元素（工位、路径、内部路径、安全路径等），这些元素从元素库中被拖移出来，放入工作空间并予以配置。点击工作空间中的一个编程要素，其各个参数就会被显示出来。同样，在路径编辑器操纵界面，点击一个点，就可以显示该点的各个参数 3。在机器人到达机器人某目标点后，与该机器人目标绑定的操作就会被触发。用户可以编写快速指令，执行分支动作逻辑。至此，仅需按下启动按钮，机器人就根据设定的周期开始作业 4。

如果操作工按下“Stop”按钮，“Home Run”按钮就会出现。如果操作工按下

“Home Run”按钮，机器人就会沿着预先设置的安全路径返回本站，如 5 所示。如果在机器人停止的工位与本站之间没有预先设置的安全路径，则“Home Run”按钮就不会起作用。

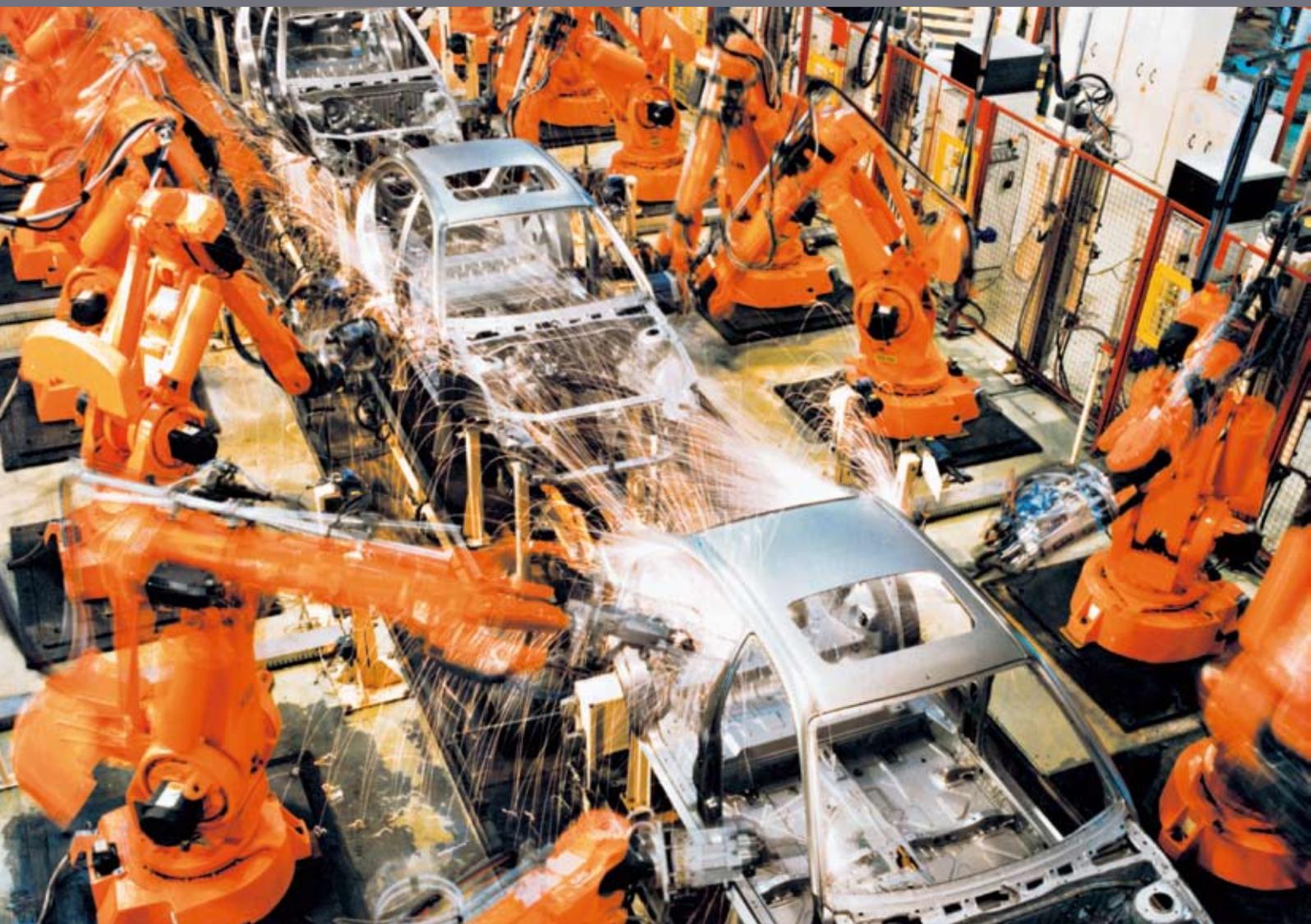
图像模型的上述特性，构成了 ABB 针对机器人取放件应用的新型工程产品的基础。与 ABB 现有的 RobotWare Plastics Mould 和 RobotWare DieCast 产品相比，新产品可以使用户更轻松、更直观地为整个工作单元区域建模。

陈静  
黄永志  
张晖  
ABB 中国研究中心  
中国上海  
cathy-jing.chen@cn.abb.com  
clement-yongzhi.huang@cn.abb.com  
hui.zhang@cn.abb.com

# 点焊机器人热门技术

提高汽车点焊生产效率和质量

牛彬, 迟永琳, 张晖



不久前，中国超过日本，成为仅次于美国的全球第二大汽车市场。中国目前的汽车年产量接近 600 万辆。点焊枪和工业机器人是汽车生产的关键设备。点焊枪的重要参数之一是夹紧力容差。通过开发控制夹紧力容差的新技术，ABB 帮助中国汽车业提高焊接生产效率和质量。

**作**为金属板工件之间的主要连接工艺，电阻点焊被广泛应用于汽车和航空工业。尽管近几年引入了许多金属板工件连接的新技术，但由于点焊在自动化生产中具有低成本和高效率的特点，点焊技术在白车身（BiW）组装中仍然占据统治地位。

由于可以精确控制伺服电机的位置和扭矩，伺服电机驱动的点焊枪的焊接性能和质量更好。最近几年，伺服电机驱动的点焊枪越来越普遍，逐渐取代了传统的气动焊枪。在雷诺、马自达、丰田和福特等主要汽车制造商的轿车车体组装线上，伺服电机驱动的焊接设备已取代传统的气动焊接设备。

交流伺服电机驱动的点焊枪一般被作为外轴，安装在关节型工业机器人的执行器上。它们的控制与机器人本身的六轴控制协调一致。作为机器人控制器的一部分，伺服控制器下达的控制指令驱动伺服电机按照机器人程序预先设置的速度和扭矩运动。电极之间的夹紧力取决于电机的扭矩，而电极的位置和夹紧速度则分别由发送到电机中的脉冲的数量和频率控制<sup>1, 2</sup>。

对焊枪实施精确控制，可以极大提高焊接工艺的生产效率和质量。在预压阶段加大伺服焊枪的扭矩，可以显著缩短焊接周期时间。平均而言，伺服焊枪只需8个周期（0.16秒）就可以达到预先设置的夹紧力，而气动焊枪却需要30个周期（0.6秒），在每一个焊点前者比后者节省0.44秒。如果将这一时间与汽车上高达数千的焊点数量相乘，节约的时间总量就相当可观。协调控制伺服焊枪的移动和执行器的移动，在机器人将伺服焊枪从一个焊点移向另一个焊点的过程中，使焊枪顶端同时接近焊点，可以进一步缩短焊接周期时间。伺服焊枪还可以大幅提高焊接质量。

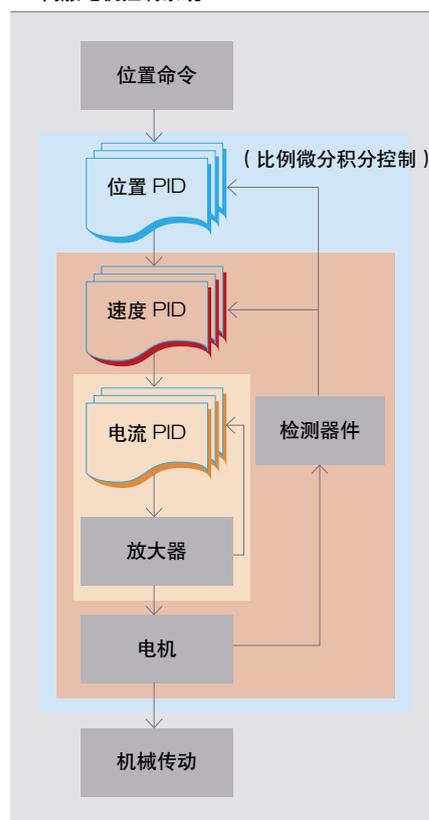
除了拥有众多优势外，伺服焊枪也确实存在一些局限性。众所周知，电焊最重要的参数包括焊接时间、电流和焊接夹紧力。在这些参数中，两个电极将金属板工件压在一起时所使用的焊接夹紧力是决定焊接质量的关键因素。尽管伺服焊枪的夹紧力容差远优于气动焊枪，但伺服焊枪的输出夹紧力精度仍受到一些负面因素的影响。如何减轻或者消除那些负面影

响，以确保预先设置的焊接夹紧力被精确地施加于工件上，对焊接的可靠性至关重要。

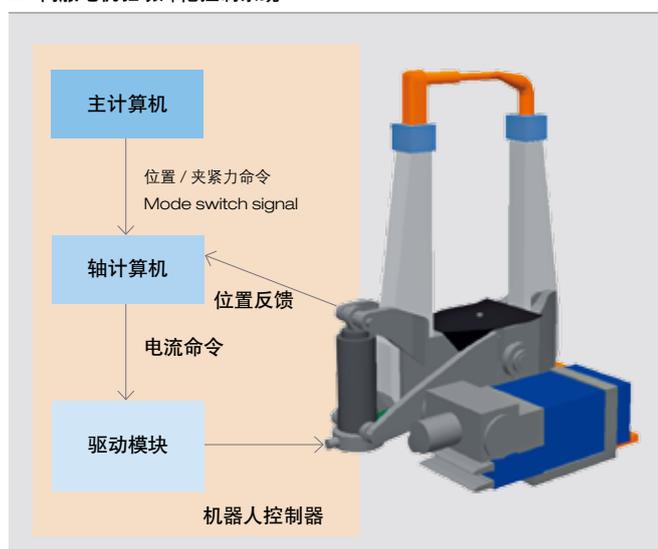
### 伺服焊枪的负面影响因素

伺服焊枪在扭矩控制模式下的输出夹紧力如<sup>3</sup>所示。对伺服焊枪具有

1 伺服电机控制系统



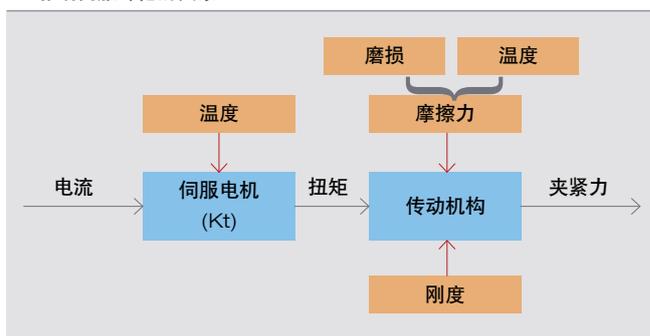
2 伺服电机驱动焊枪控制系统



3 伺服焊枪的输出夹紧力



4 影响伺服焊枪的因素



## ABB机器人

负面影响的因素——温度、磨损和刚度（如 ■ 所示）。

### 温度

温度从两个相反的方面影响夹紧力流。首先，由于焊接电流所产生的焦耳热和电机自身产生的热量，电机的温度会升高。即使向电机供应的电流保持恒定，电机的输出扭矩也会随温度升高而下降，导致输出夹紧力相应下降。其次，滚珠丝杆 / 螺母和焊枪臂等传动部件的摩擦损失会随温度的升高而减少，使输出夹紧力升高。

### 磨损

伺服焊枪传动系统中的磨损是另一个引起摩擦损失的因素。使用一段时间后，伺服焊枪传动系统的效率会变得比新系统高，从而减少因摩擦而引起的能量损失。尽管经过适当校准的伺服焊枪在刚安装时可以精确运行，但使用一段时间后，由于传动系统中摩擦力发生变化，通常需要对焊枪重新进行校准。

### 刚度

焊枪臂的刚度也会引起输出夹紧力的偏差。例如，如果焊枪臂的刚度不够，在其顶端施加相对较大的夹紧力时，机械手就会弯曲。变形越大，输出夹紧力的精度和线性度就越差。

下面介绍各种旨在以提高精度来改善输出夹紧力性能表现的方案。本文按照与目标相关的控制系统是完全闭环还是完全开环，对这些方案予以分类。

### 开环夹紧力控制

尽管传统夹紧力控制模式采用闭环控制方式来调节电机的驱动电流 ■，但从电流到夹紧力的转化过程却是开环的。换句话说讲，没有夹紧力信息被反

馈给轴计算机，而这些夹紧力信息是对夹紧力进行实时的闭环控制所必需的。基于开环控制的夹紧力控制方案就属于这一类。

### 夹紧力前馈控制

前馈控制是一种在系统中的扰动影响被控变量之前即对其进行补偿的控制策略。前馈控制系统对扰动变量进行测量，预测其对过程的影响，并采取校正行动。

根据现代控制理论，可以利用扰动观测器对扰动进行估计，并以前馈控制方式将其消除，从而提高被控目标的抗扰动能力。

### 温度补偿

配属伺服焊枪的小型电机比大电机更容易受温度的影响。采用水冷电机或允许更大夹紧力容差的较大电机可以解决这一问题。但水冷使电机的设计更复杂，并可能因渗漏而引起焊接系统中的水压下降。因此，目前的发展趋势是逐渐放弃水冷电机，以达到更精确的夹紧力。这要求更深刻地认识那些影响电机温度的因素以及解决这一问题的方案。

为了在伺服焊枪控制系统中实现温度补偿，需要在适当位置安装温度传感器，以检测伺服电机或焊枪活动部件的温度。传感器将温度信息传递给轴计算机，轴计算机则将自适应温度补偿功能整合到伺服焊枪的电流控制系统中。

结果表明，温度与夹紧力的变化成近似线性函数关系。因此，可以用一个转移常数来表示与每单位温度变化所对应的夹紧力变化值。在根据温度变化对目标夹紧力进行补偿

后，夹紧力就可以保持稳定，不随温度变化而变化。

### 夹紧力的定期检查与重新校准

由于夹紧力不是以闭环方式控制，必须保持稳定的夹紧力精度并尽早检测出过大的夹紧力偏差。如果不能及时检测出焊枪的故障或电阻焊接中的错误工艺参数，就可能导致废品或不合格产品的出现。夹紧力的定期检查或重新校准是绝对必要的。

可以利用对电极进行重新打磨而中断生产的机会，实施检查或重新校准。对于 BiW 车间，在完成 400 至 500 个焊点后，一般需要对电极进行重新打磨，因为磨损会逐渐影响焊接质量。利用服务站中的夹紧力传感器，可以将夹紧力数据传送给轴计算机。计算机中的程序会检查实测夹紧力值偏离命令值的程度，以决定是否需要进行夹紧力校验。如果需要，自动校验程序会启动运行，自动完成重新校准。

与效率较低的采用手持传感器的其他方式相比，上述方法可以更早检测出伺服焊枪的故障（从而减少废品），并自动实施夹紧力检查和重新校准（以便提高生产效率）。

## 基于夹紧力和速度的混合双环控制策略是伺服焊枪控制的理想解决方案。

### 闭环夹紧力控制

根据经典控制理论，控制系统必须对控制对象实施闭环控制，才能精确控制输出变量。但对于电阻点焊，不可能在电极的顶端安装一个实时测量夹紧力的传感器而不对正常的焊接过程造成影响。为此，必须找到获取闭环

控制所需的夹紧力信息的方法，并采取新的控制策略。

### 夹紧力测量方法

考虑到在电极顶端安装夹紧力传感器不具备可行性，必须找到获取在线夹紧力数据的替代方法。

如果将夹紧力传感器安装在焊枪的其他部分不会扰动正常的焊接过程，而且该传感器的输出信号与夹紧力呈线性关系，就可以考虑将夹紧力传感器安装在焊枪的其他部分。可供选择的传感器安装位置如 5 所示。

可以将应力传感器固定在焊枪臂 (A) 上的一点，该点是一片小的平面区域，且此处的应力和夹紧力之间存在很高的线性相关性和敏感性。该传感器测量夹紧力在焊枪臂中所引起的张力。这是一种间接获取夹紧力信号的方法，但成本低廉而且非常简单。另一种替代方案是，在驱动电机和活动臂之间 (B) 安装一个带有球面轴承的压电夹紧力传感器，直接获取夹紧力信号。第三种方案是将夹紧力传感器

安装在驱动电机中，使其免受严苛的生产环境的侵蚀。该传感器可以安装在电机内部的旋转 - 直线运动转换部件上，以测量驱动力 (C)。

但是，不使用夹紧力传感器的反馈控制是一个很有吸引力的方案。一种可能的方案是采用扰动观测器控制，先根据电流命令和电机的实际速度对外部负载进行计算，再将计算出的扭矩反馈回来，以获得夹紧力反馈值。

### 控制策略

在方案中采用夹紧力传感器后，虽然控制系统将拥有自己的夹紧力反馈闭环控制回路，但是不能以夹紧力误差信号直接驱动放大器和电机。如同六轴机器人的一根外轴，伺服焊枪由机器人控制器采用位置控制方式控制，与控制机器人自身的轴相同。这意味着夹紧力控制回路只能通过位置 / 速度控制回路实现闭环。另外，在焊接过程中，焊枪的控制经常在位置控制和夹紧力控制之间切换。因此，基于夹紧力和速度的双环控制策略是伺服焊枪控制的理想解决方案。它的性能比单环控制系统优越，也更便于机器人控制器将底层的位置 / 速度控制器纳入闭环夹紧力控制回路。

尽管需要增加硬件和软件，带闭环夹紧力控制的伺服焊枪必将成为未来首选的点焊设备，因为它不仅能提高夹紧力容差，而且还可以针对特殊焊接要求，轻松地对夹紧力进行动态调整。

牛彬

迟永琳

张晖

ABB 中国研究中心

中国上海

bin.niu@cn.abb.com

yonglin.chi@cn.abb.com

hui.zhang@cn.abb.com

5 夹紧力传感器在伺服焊枪上的安装位置

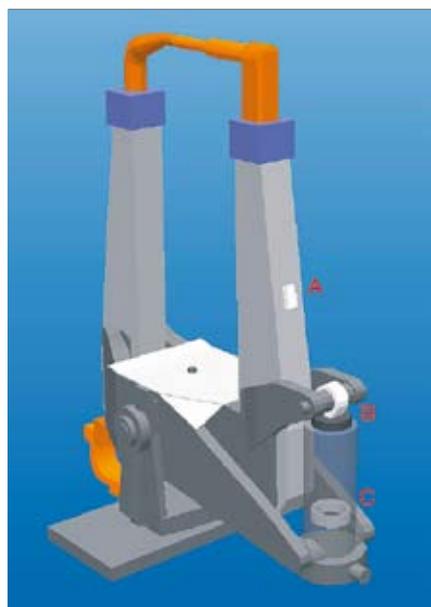


ABB 评论中国特刊  
与龙共舞  
2008 年 11 月

编委会  
柯睿思  
ABB (中国) 有限公司董事长兼总裁

唐维诗  
ABB 集团首席技术官

柯延安  
ABB 中国首席技术官

刘文汇  
ABB 中国企业传播副总裁

赵蕾  
ABB 评论中国特刊编务统筹

Friedrich Pinnekamp  
ABB 评论主编  
friedrich.pinnekamp@ch.abb.com

Andreas Moglestue  
ABB 评论副主编  
andreas.moglestue@ch.abb.com

ABB 评论 由 ABB 集团 R&D 和  
Technology 出版

出版人  
ABB Asea Brown Boveri Ltd.  
ABB Review/REV  
瑞士苏黎世 CH-8050

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 ©2008  
ABB Asea Brown Boveri Ltd.  
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



## 将城市能耗降低30%?

作为增效节能解决方案的领先供应商，ABB的楼宇智能化电力控制系统，ABB的过程工业全方位能源管理系统，ABB的高压直流输电系统等，都可以帮助大幅度实现节能减排的目标。当人人都在谈论能源价格，电力短缺和气候变化之时，ABB已经行动多时了。欲了解更多，请登录 [www.abb.com/energyefficiency](http://www.abb.com/energyefficiency)

当然能实现。

用电力与效率  
创造美好世界™

