

瑞士苏黎世 | 2021年3月2日

实现《巴黎协定》：高效电机和变频器在节能减排方面的核心作用

本文为翻译稿

据联合国相关部门估算，到2050年全球人口将从2019年的77亿上升至97亿，¹同期全球经济将增长至少一倍。²城镇化、自动化和生活水平的提高将增加全球能源的需求。目前，世界人口的一半以上生活在城镇，联合国预计到2050年，全球城市人口占比将增加到68%左右。³若不改变传统的发展思路，如此规模的扩张必将会加剧气候变化，并降低所有生物赖以生存的空气和水源质量。为了兼顾环境保护和经济增长，我们需要加倍努力，减少对能源和自然资源的消耗。

全球行业趋势显示，市场对运动控制（即由电机驱动的运动控制系统）的需求预计将显著增长。国际能源署（IEA）报告显示，工业用能占全球总能耗的37%，占全球二氧化碳排放量的24%，⁴建筑和楼宇用能占全球总能耗的30%，占全球二氧化碳排放量的28%，⁵能源消耗中的很大一部分与电机相关。据估算，约70%的工业电力用于为电机供电。⁶在商业楼宇中，38%的电能消耗用于驱动电机。⁷

电机的使用已有150年的历史，随着时间的推移，其性能得到稳步提升。近十多年来，技术更加突飞猛进。最新一轮技术改良有助于在不远的将来大幅降低工业和商业电机的碳足迹。目前，市场上已经出现了各类高效电机（IE3或更高等级）和变频器（也称为“交流变频器”）可供使用。

这些技术事关《巴黎协定》签约国能否在未来十年内实现减碳目标，其影响极为深远。

但是，要发挥高效电机和变频器的最大功效，所有利益相关方都应发挥应有的关键作用：

- 公共决策者和政策法规制定者需要促进激励技术的快速普及和应用
- 各企业、城市和国家/地区需要认识到在经济和环境上所获得的双重收益，并愿意主动进行投资
- ABB等制造厂商应提供必要的技术，不断创新，提高能源效率
- 投资者倾向选择在气候应对方面更成熟的企业为投资目标
- 推出公共教育项目，向大众推广技术升级换代所带来的价值

¹ United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, "World Population Prospects 2019: Highlights," https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf.

² Guillemette, Y. and D. Turner (2018), "The Long View: Scenarios for the World Economy to 2060," OECD Economic Policy Papers, No. 22, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b4f4e03e-en>.

³ United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, "World Urbanization Prospects 2018: Highlights," <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>.

⁴ IEA, "Tracking industry 2020," <https://www.iea.org/reports/tracking-industry-2020>

⁵ UN Environment Programme, Global Alliance for Buildings and Construction, "Why buildings?," 2019 (2018 IEA data), <http://globalabc.org/media-global-advocacy/why-buildings-our-key-messages>.

⁶ Fong, J.; F. Ferreira; A.M. Silva; and A.T. De Almeida, "IEC61800-9 System Standards as a Tool to Boost the Efficiency of Electric Motor Driven Systems Worldwide," *Inventions*, 2020, 5, 20, <https://www.mdpi.com/2411-5134/5/2/20/htm>.

⁷ Waide, P. and C.U. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems," International Energy Agency working paper, Paris, 2011.

诚然，诸如电动汽车和可再生能源的大量引入是行之有效的举措。ABB 集团认为，我们也同样要重视能为全球环境和经济带来更可观效益的工业技术。

电机的核心作用

现代的高能效电机与变频器的搭配组合灵活可靠。更为重要的是，该系统效率极高，与老旧系统相比可显著降低能耗，在提升社会可持续发展方面发挥着关键的作用。由于全球 45% 的电力用于驱动建筑和工业应用中的电机，加大这一系统升级换代的投资将在能效和可持续发展方面带来丰厚的回报。⁸

尽管电机很少出现在公众的视野中，但它无处不在，遍布于我们能想到的每一个角落。小型电机常用于空调和冰箱的压缩机、车窗、电脑打印机、电气设备的冷却风扇及其他常用设备中。中型电机常见于暖通空调系统、电梯、快速交通车辆及电动和混动汽车之中，同时也在工业中广泛应用，包括泵、传送带、风机和各种机械运动控制设备。超大型电机则用于火车机车、缆车、船舶推进系统以及采矿和造纸等重型设备。

功率在 375 kW 以上的大型电机仅占在用电机总量的 0.03%，但其消耗的电量占全球电机总耗电量的 23% 及全球总耗电量的 10.4%。输出功率低于 0.75 kW 的小型电机消耗的电量则仅占电机总耗电量的 9% 左右。⁹

电机消耗的电量中，绝大部分来自中型电机。此类电机大多数已超标，且往往在不需额外功率时依然全速运行。约 75% 的工业用中型电机用于驱动泵、风机和压缩机，这类设备极易受效率提升的影响。¹⁰ 可以说在减少能源消耗和碳足迹方面还蕴藏着巨大的潜力。

电机处于全球增效减排战役的最前沿

工业领域趋向于使用更多、更小、针对特定项目需求而优化的电机。将电机输出功率与任务所需功率极值相匹配，是迈向实现更高能源效率的重要一步。但相应的，这一设计带来了更高的系统复杂性。不过在最新的系统中，智能传感器和联网监测系统有效化解了此难题，它们可以在任何一台电机需要维修或更换时提醒操作人员。

与此同时，现代电机设计带来了前所未有的更高效率。电机效率=机械输出功率/电力输入功率。最常见的交流感应电机脱胎于 19 世纪伽利略·法拉利、尼古拉·特斯拉和米哈伊尔·多利沃-多布罗夫斯基的设计。在过去百余年间，借助材料及定子转子设计的改进获得了稳步的发展。

值得一提的是，即使最普通的感应电机也比任何一款内燃机都更为高效。一台典型乘用车发动机的热效率很少超过 35%，¹¹ 但几乎所有同等输出的电机都能达到 90% 以上的效率。

⁸ Ibid., p. 35.

⁹ Stoffel, B., "The role of pumps for energy consumption and energy saving," 2015, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electric-energy-consumption>.

¹⁰ Omdia, "Motor-driven Equipment Research Package," 2020

¹¹ Christian Bach, "Record efficiency for a gas engine," Phys.org, <https://phys.org/news/2019-06-efficiency-gas.html>.

现代感应电机具有极高的效率，其效率等级根据国际电工委员会（IEC）发布的标准进行评定。IE1 或 IE2 级的电机效率相对较低。符合 IE3 标准的 200 kW 交感电机效率约为 96%。一些最新款的电机能够达到 IE4 标准，该标准规定的能耗比 IE3 级电机进一步降低约 15%，而最新的 IE5 级“超高效率”电机则代表着当前设计所能达到的最高效率水平。

然而，现今正在使用的众多电机设备中，许多设备并不符合高效标准，而依旧沿用 IE1 或 IE2 级设计。这导致的另一个问题就是许多此类电机往往提供了远超工艺所需的负载，造成大量的电力浪费。在上述应用中，如能配备合适的电机，即可实现可观的效率提升。

除感应电机外，一些高效的新型电机设计正日益成为实用的替代方案。其中，同步磁阻电机既有永磁电机的高性能，又有感应电机的简单易用性。与永磁电机不同，同步磁阻电动机不需要使用稀土组件。相反，它们通过简单且坚固的转子设计实现了最大的磁阻转矩。

如今，这些创新型电机既实用又高效，甚至能满足于 2016 年首次提出的 IE5 级目标。¹² 据估算，如果将 80% 的已安装工业电机替换为 IE5 级超优质电机，每年将节省高达 160 太瓦时的能源，这相当于波兰的全年耗电量。^{13 14}

正当全世界苦寻提高能效的方法时，新应用已经应运而生，高效电机的设计也更加受到重视。这一点在蓄电池驱动电机的应用上已经得到了体现。例如，由蓄电池供电的汽车不能随意浪费电网提供的电力，而是需要精心设计，从而以最小的能耗实现最长行驶里程和最大可用电量。在全球电动汽车销量增长的背景下，这一设计需求源源不断地推动了新技术的突破，预计这一趋势也将持续发展。

先进的牵引技术、储能系统和电动传动系统解决方案正在铁路、公共汽车、重型车辆和船舶领域大放异彩，不断催生出更多的零排放运输方式。零排放船舶和混动渡轮甚至已开始现身商业水域。电机的创新设计在电动出行方式的快速崛起上发挥了重要的作用。

变频器的作用被低估

尽管电机的更新换代可以显著提高效率，但只有高效电机与变频器相结合才能实现更高的节能效果。变频器起到调节电机的转速和扭矩的作用，使之匹配系统负载需求，最终通过控制电机实现优化运行。搭载合适的变频器时，电机将仅以基础负载所要求的转速运行，从而大大节省电力。

变频器通过改变交流电机的供电频率和电压来控制其转速。最早的变频器诞生于 20 世纪初，基于机械结构设计而成。随着近几十年来固态电子技术的发展，变频器日益精巧便宜。尽管进展显著，但变频器的普及

¹² IEC TS 60034-30-2:2016, "Rotating electrical machines - Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors," International Electrotechnical Commission, Geneva, 2016, https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60034-30-2%7Bed1.0%7Den.pdf.

¹³ Based on an assumption of 300 million industrial motors currently in service worldwide. Global sales from 2016 to 2020 amounted to roughly 200 million motors. Omdia, "Low Voltage Motors Intelligence Service," 2020.

¹⁴ U.S. Energy Information Administration, international data: electricity, 2019, Poland, <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-consumption>.

速度尚不如人意。据估计，目前全球约 23%的工业电机配备了变频器。¹⁵ 预计未来五年该数字有望增长到 26%，但如果能加快普及速度，将有助于节省大量能源。行业专家表示，约 50%的工业电机可以在配套变频器后节省更多能源。¹⁶

当电机不被变频器控制时，许多电机在负载要求最低的情况下依然全速运行。举个例子，我们会使用一种称为“节流”的技术来控制电机在泵中产生的机械动力，这就类似于通过踩刹车来降低汽车的速度时却不松开油门，过程中会导致能源的大量浪费。

当与现有的泵、风扇或压缩机中的电机结合使用时，变频器通常可以降低 25%的电力消耗。¹⁷

数字化与智慧互联的影响

另一项有望提升全球电机效率的技术趋势源自数字化与智慧互联的结合，即“工业物联网”。在现有电机上安装无线传感器可以远程监控电机性能。在复杂的工业设施或大型建筑的暖通空调系统中，所得数据可以优化过程，显著提高能效、节约能源。

当被监测的电机由变频器控制时，真正的智能电机便诞生了。这样的电机可以被远程控制甚至自动控制，从而进一步优化性能、提高系统效率并节约能源。传感器提供的数据可以与其他控制数据一起整合分析，为中央控制系统实时调控设备提供依据。

潜在的收益与前进的道路

据估计，如果将尚在运行的约 3 亿台工业电机替换为高效设备，全球电力消耗将减少高达 10%。¹⁸ 因此现代化改造中仍然蕴藏着巨大的节能潜力。¹⁹ 但要真正挖掘这些节能潜力，仍然需要克服诸多实际挑战。

政府监管政策是各国旨在提升能源效率所作的工业投资计划的主要驱动力之一。中国、欧洲、印度和美国等大型工业国家或地区推行的政策尤为重要。合理设计的法规和激励措施在促进高效电机技术普及方面可以发挥至关重要的作用。

另一个主要考虑因素是投资回报周期，因为能效投资必须能与其他领域的潜在投资回报率相匹敌。²⁰ 电机和变频器易于安装，无需对现有工业系统进行任何额外修改，因此经常成为极具吸引力的投资提议。但其投资回报周期很大程度上取决于能源价格。能源价格上涨期间将推动对高效设备的投资，但眼下，经济状况正在阻碍高效设备的快速普及。

¹⁵ Omdia, “Low Voltage Motors Intelligence Service,” 2020.

¹⁶ IEA, “Energy efficiency roadmap for electric motors and motor systems,” 2015, p. 12.

¹⁷ For an example of the calculations involved, see “Program Insights: Variable frequency drives,” Consortium for Energy Efficiency, 2019, <https://www.cee1.org/content/variable-frequency-drives>.

¹⁸ Waide, P. and C.U. Brunner, op. cit., pp. 13, 17, 118. Absent additional regulations or incentives, and based on ordinary rates of replacement, it is expected that upgrading to high-efficiency equipment could occupy from 10 to 20 years.

¹⁹ United4Efficiency, “Accelerating the Global Adoption of energy-efficient electric motors and motor systems,” UN Environment Programme, <https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2017/11/Motors-Policy-Brief.pdf>.

²⁰ “Energy Efficiency 2020,” International Energy Agency, Paris, 2020, <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>.

事实上，全球依然在寻求更高的能源效率，因此部署更多变频器和先进的电机是有大量潜在机会的。为实现《巴黎协定》中确立的气候目标，到 2040 年，这一举措实现的温室气体减排量要占到总减排量的 40% 以上。²¹

近期的成功项目及其影响

高效电机在全球范围内实现经济和环境双重收益的例子不胜枚举。以下仅做简要列举。

亚洲

2018 年，印度国家电机替换计划（NMRP）在艾哈迈达巴德、苏拉特、贾姆讷格尔和孟买等城市的 36 台电机上进行了试点研究。该研究将用于黄铜、纺织、化工和汽车行业的压缩机、泵、风扇和鼓风机中的标准效率电机替换为高效率的 IE3 电机，并就所有试点设备的节电效果进行观察。NMRP 想要了解对全国各级企业的 5000 台标准效率电机进行更新换代的潜在影响。报告得出结论，该举措每年可节省 9150 兆瓦时电力，节约 902112 美元成本并减少 8050 吨二氧化碳排放。NMRP 估计，向全国市场普及高效电机每年可节省约 2200 万兆瓦时电力并减少 1830 万吨二氧化碳排放量。²²

欧洲

在德国于尔岑的 Nordzucker AG 糖厂，ABB 的再生工业变频器正在以前所未有的效率驱动该厂的制糖离心机。离心机可将结晶糖从粘稠的糖浆中分离出来，在制糖过程中起着关键作用。驱动离心机的电机必须以最大速度全转矩加速 15 到 20 秒，然后尽快使离心机减速，变频器确保电机在这一过程中顺利运行，不会出现过热。更棒的是，设备的再生能力可以将电机的制动能量反馈回电网。与其他制动方法相比，变频器可以节省更多能源。²³

美洲

多伦多展览中心的 Enercare 中心是北美第九大会议中心，面积超过一百万平方英尺。其尤为注重生态高效运营，并荣获绿色能源与环境设计先锋奖（LEED）白金认证。但这座建筑的庞大规模，意味着其暖通空调系统每年要使用超过 38 万千瓦时的电力来驱动水泵，从而让水在整个设施的加热制冷设备上循环。2018 年，展览中心为 11 台大型泵配备了现代暖通空调变频器。该项目取得了立竿见影的效果，泵的能耗降低了 38%。²⁴

ABB 高效电机和变频器的全球影响

ABB 定期评估其高效电机和变频器现有装机对全球能效的净影响。2020 年，其安装的高效电机和变频器已节省了 198 太瓦时的电量，三倍于瑞士的全年总耗电量。²⁵ 据估算，到 2023 年，ABB 不断增长的装机量将帮助客户每年额外节省 78 太瓦时的电力，略微高于智利的全年总耗电量。

²¹ Ibid.

²² "National Motor Replacement Program Vision Document," Energy Efficiency Services Limited, 2019, https://copperindia.org/wp-content/uploads/2020/03/Vision-Documents_NMRP.pdf

²³ "A sugar-sweet start," ABB, 2017, <https://new.abb.com/drives/media/a-sugar-sweet-start>.

²⁴ "Convention center exhibits major pump energy savings," Danfoss case studies, 2019, <https://www.danfoss.com/en-us/service-and-support/case-studies/dds/convention-center-exhibits-major-pump-energy-savings/>

²⁵ U.S. Energy Information Administration, international data: electricity, 2019, Switzerland, <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-consumption>.

ABB 集团致力于在 2021-2030 年间，帮助客户将二氧化碳年排放量额外减少 1 亿吨以上。²⁶ 除了电机和变频器外，ABB 还利用数字化连接和人工智能提高大量技术的效率和性能，包括机器设备和机器人、生产基地、船舶和矿山等。互联解决方案延长了设备使用寿命，有助于保护资源。ABB 还打算以身作则，通过继续向可再生能源过渡、提高工厂的能源效率，并将公司汽车转换为电动车或其他无排放交通工具等方式，在自身运营中实现碳中和。

结论

能够大幅提高能效的技术已经得到了快速发展。包括高效电机和变频器在内的大部分技术业已成熟并久经时间考验。加速现有技术在工业、城市和交通领域的普及，有望在全球范围内显著节约能源。随着投资界日益将可持续发展视为一大投资准则，高效电机和变频器必然成为市场宠儿。

通过税收优惠、公共投资和系统性的监管措施，政府可以进一步鼓励对于推进新技术普及的私人投资和研究，并推动世界进一步实现《巴黎协定》中确立的气候目标。

提高能源利用效率的好处远远超出了应对气候变化本身，还包括环境保护、更清洁的空气和水源、公共卫生、能源独立以及更强劲的经济增长和发展。自工业时代以来，生产效率的提高一直是开启经济增长周期的“钥匙”。随着技术的迭代，我们正迈入让效率成为经济增长与环境保护源动力的时代。大胆采用这些解决方案已成为各界共识。

前进的道路曲折，但并非不可逾越。只要有充足的投资和适当的立法，未来几十年必将在实现《巴黎协定》气候目标和联合国可持续发展目标方面取得重大突破。随着过时技术对环境和经济的制约日益突出，在生产制造、楼宇运营、交通网络等领域坚持技术创新的好处已经展露无遗。我们越快实现这一目标，就越早从中获益。

本白皮书英文版：

https://www.energyefficiencymovement.com/wp-content/uploads/2021/03/ABB_MotionEnergyEfficiency_WhitePaper.pdf

²⁶ “We enable a low-carbon society,” ABB, 2022, <https://global.abb/group/en/sustainability/we-enable-a-low-carbon-society>.