



白皮书

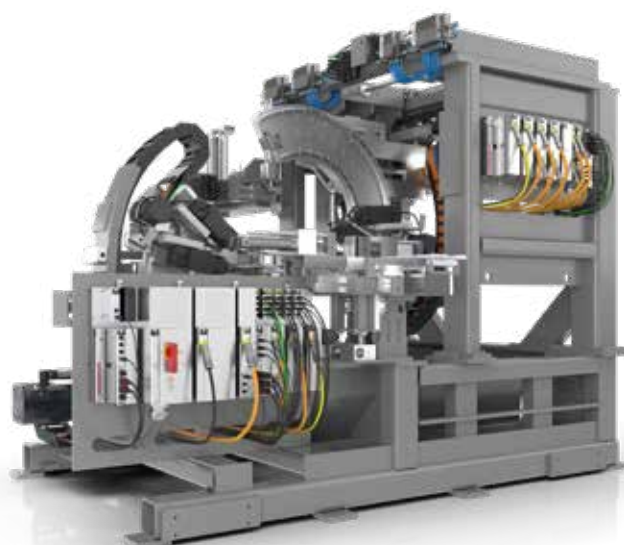
告别控制柜, 迎接未来

创新型 MX-System 如何彻底改变
自动化技术在机械与系统工程中的应用

机械与系统工程公司面临着越来越大的创新压力。为了在竞争中取得成功, 您需要快速、全面地实现产品自动化, 提供更多定制解决方案, 并以环保、经济上可持续的系统足迹赢得全球买家的青睐。

鉴于当前的挑战, 几十年来基本未变的控制柜概念正日益成为发展瓶颈。这是由于在对机器的要求大幅提高的情况下, 其灵活性和模块化程度受到限制。此外, 控制柜项目的工程开发和生产过程十分复杂, 几乎无法实现自动化。此外, 维护和保养需要专家参与, 而专家费用高昂且难寻。

必须重新考虑控制柜的概念, 并采取新的方式加以实施, 以确保进展不会放缓。在倍福, 我们实现了这一目标, 开发出用于无控制柜自动化的解决方案, 即 MX-System。



集成 MX-System 的无控制柜机器
模块示例

控制柜的历史

1895

英国电气公司 Ferranti 开发的油开关可最大限度地降低电气开关设备中的火花引发火灾和事故的风险。

1903

布里斯托尔的一家工厂发生重大火灾。原因是油开关出现故障。这种类型的开关四周覆盖注油外壳。油会熄灭开关过程中产生的电弧。如果外壳出现泄漏, 则气体会溢出并着火。

1908

英国工程师 Henry Clothier 为开关设备开发出一种封闭式金属柜, 可防止布里斯托尔类似灾难重演。专家们一开始并不相信这一新的开发成果。

1930
年代

尽管金属护套控制柜现在得到广泛使用, 但直到 1930 年代, 油开关仍然是标准解决方案。

1960
年代

定制控制柜的时代已经过去。新的供应商正将标准控制柜引入市场。

1980
年代

除了电气系统外, 控制柜也越来越多地容纳用于系统和机器控制的设备, 以及必要的连接。

2000
年代

随着电气化和数字化发展, 控制柜面临着温度和空间问题。系统变得越来越庞大、越来越复杂、越来越昂贵、布线越来越密集。

2010
年代

控制柜制造商正在越来越多地将更多功能集成到系统中: 设备正在实现数字化联网, 而组件则变得更加小巧且节能。基于需求的智能制冷系统正在取代传统型空调装置, 但往往只能在空间、能源和成本方面实现有限的节约。

2021

倍福工程师开发并提出了一种全新的方法。这样便可以完全淘汰控制柜系统。这一结论在随后几年与试点客户的合作中得到验证。

2025

倍福推出了 MX-System, 它是一种革命性的无控制柜自动化系列解决方案。



机械与系统工程公司面临的 主要趋势和挑战

无论贵公司生产的是机床、生产系统还是创新型输送技术, 都存在一些趋势¹, 最终会为贵公司的国际性发展设定框架条件。

以下, 简要概述我们的五大挑战。

五大挑战

#1 数字化转型带来的创新压力

机械与系统工程的自动化进程正在加快。继工业物联网 (IIoT) 的扩展加速网络化进程之后, 数字化转型之路又迎来新的里程碑。重点是机器人技术和 AI。人工智能算法需要使用综合性数据库。因此, 工程方面的挑战涉及记录和处理过程数据, 包括以电压、电流和温度等物理变量的形式记录和处理过程数据。另一项挑战在于为生产仿真和建模创建数字孪生。总之, 实现数字化创新的压力越来越大, 需要灵活、高度定制化的解决方案。

#2 技术熟练工短缺

一家国际人事服务提供商的最新研究²证实, 全球 75% 的公司均面临技术熟练工严重短缺的问题。主要驱动因素是人口变化。继日本之后, 其影响在德国尤为强烈。德国经济研究所 (IW)³ 预测, 到 2034 年, 德国机械工程行业只因退休就将失去 29.6 万名技术熟练工。然而, 预计同期新招聘的工人只有 11.8 万人。总体而言, 该行业将骤减 17.8 万名技术熟练工。

¹ Cf. 例如: <https://www.eit.edu.au/power-ahead-with-mechanical-engineering-trends/> 或 <https://www.mittelstand-heute.com/maschinenbau-2024-4-top-trends-und-herausforderungen>

² Man Power Group, 《2024 年全球人才短缺》

³ Cf.: <https://www.elektroniknet.de/karriere/arbeitswelt/iw-studie-maschinenbau-droht-bis-2034-massiver-personalmangel.221781.html>

#3 全球化

全球化继续向前发展, 不仅在市场方面, 而且也越来越多地表现在生产方面。越来越多的制造商将生产流程定位在可以找到潜在客户或劳动力和能源成本具有吸引力的地区, 而不是完全或主要在本国市场生产。若想有效实现潜在的成本节约, 您的机器和生产解决方案需要符合全球高标准, 并且可以在任何地方使用, 无需因法规要求而进行重大的技术调整。

#4 可持续性与足迹最小化 (ESG)

就机器和系统而言, 可持续性 is 决定性竞争要素。无论是运行过程中的能耗与排放量, 还是材料消耗和空间占用, 均遵循该原则。这就是为什么一段时间以来, 机器和系统的足迹一直是合规性问题。鉴于 ESG (环境、社会和治理) 的要求, 该原则也正日益成为制造企业的一个重要方面。在评估一家公司的价值和吸引力时, 投资者和评级机构现在采用的是 ESG 标准, 而不只是审查经济效益。由于新的政治目标 (例如《欧洲绿色协议》中确定的目标) 的出现, 这些标准变得越来越重要。

#5 定制化与缩短产品上市时间

现在, 现成产品在机械与系统工程市场上几乎无法销售。如今的用户需要的是能精准满足其要求以及现场空间和生产条件的解决方案。对于作为机械与系统工程公司的您来说, 这意味着您的产品在设计时必须能够快速适应个性化需求。实现该方法之一就是模块化概念。此外, 新的基本要求也在以越来越快的速度增加。能够在短时上市时间内提供满足这些要求的新开发产品的公司将获得宝贵的竞争优势。

在应对热门趋势时, 控制柜会成为限制因素

迄今为止, 对于任何想要制定解决方案以应对机械与系统工程方面重大挑战的人来说, 都无法绕过控制柜, 而突破这一瓶颈的途径正变得越来越狭窄。这是因为多年来汇聚其中的设备、继电器和电缆的数量一直呈现动态增长。在相当长的一段时间里, 控制柜一直是自动化转型和发展的瓶颈。

以下分析阐述了在应对关键挑战时, 控制柜现在是如何以及为什么会阻碍发展的。

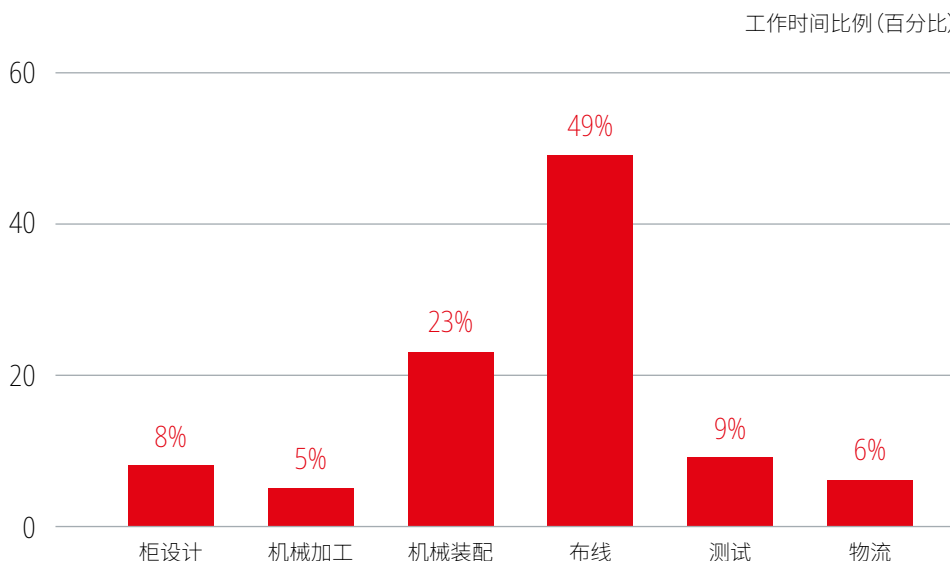
数字化和自动化需要更大的控制柜

控制柜中安装的组件越来越多。这些新增设备涵盖从新设备到必备风扇和冷却装置, 以及辅助测量和测试技术。后者在使用传统型控制柜时需要单独规划和安装。这样既耗费人力, 又成本高昂。此外, 每增加一个装置都需要更多的空间, 尤其是必须保持与热辐射和温度敏感性相关的最小距离。因此, 控制柜变得越来越笨重、复杂、昂贵。

随着控制柜复杂性的增加, 工作量也在增加

日益复杂的结构使得控制柜的构建更加费时费力。对于机械工程公司来说, 这意味着要么接受更长的吞吐时间和更低的生产效率, 要么雇用更多的技术熟练工。然而, 在技术熟练工短缺的时代, 这种方式很难达到所需规模。必须利用现有资源开展工作。

以布线为例: 它约占制造控制柜所需总时间的 50% 左右 (见图)。借助机器人提高布线效率的尝试仍处于起步阶段。此外, 这些概念非常耗费资金, 最终只能治标不治本。机器人并不能改变制造控制柜所需的工作量不断增加的事实。



在制造和组装控制柜所需的总时间中, 各个工作步骤所占的比例

缺少国际标准导致全球营销困难重重

控制柜中的设备和组件没有全球适用的标准, 整体结构也是如此。因此, 根据目标市场, 制造商需要不断调整控制柜, 并逐一检查所有安装组件的产品信息和数据表, 例如电气安全和功能安全, 以及电磁兼容性和抗扰性。即使是标准产品, 如今通常也有同一款控制柜的多种变体, 例如, 符合 UL、CSA 或 IEC 标准。这既耗时又昂贵。

控制柜设计的发展与 ESG 和可持续发展目标相冲突

在机械与系统工程中, ESG 和可持续发展目标正变得越来越重要, 而这一切都要从供应链开始。由于控制柜包含来自不同制造商的大量组件, 其供应链非常复杂。要想确保符合所有 ESG 标准, 必须耗费大量精力且无法获得任何增益, 而且这种复杂性还在不断增加。

CSRD 报告和 ESR 条例是这方面的关键概念。《企业可持续发展报告指令》(CSRD) 已于 2024 年夏季生效, 要求企业披露 ESG 方面的信息, 包括自身产品的可持续性。从 2026 年起, 这些措施将根据《可持续产品生态设计法规》(ESPR) 进一步收紧。这进一步明确了可持续的产品设计要求。

与可持续发展高度相关的另一个方面是控制柜的空间要求。这是因为生产设施使用的厂房空间会增加资源消耗, 同时抬高生产成本。此外, 还存在可回收性不足的问题: 在改装机器时, 最多只能回收少量选定的组件。其中不包括用于内部布线的铜缆。

固定的安装空间和缺乏模块化是限制因素

对于采用传统型控制柜的机器和系统来说, 实现定制功能非常耗时。这是因为系列控制柜中所有未按标准预装和安装的组件, 都必须针对相关应用进行复杂而具体的手动规划、安装和布线。开发和生产都需要时间和人力资源。

此外, 尽管控制柜通常会预留一定的空间余量, 因而尺寸比实际所需大, 但用于扩展设备的安装空间仍然有限。另一个障碍是设计原则。即使是采用模块化机械设计的机器概念, 控制柜也不是作为模块化元件, 而是作为中心元件进行规划。虽然在这种情况下通常会使用多个控制柜, 但控制柜和机器模块永远无法实现一对一的模块化。结果只是控制柜数量增加, 使上述挑战成倍增加。

结论:

控制柜不再有未来

鉴于当前的挑战, 控制柜早已达到其概念上的限值。经过 100 多年的不断发展, 我们需要一种全新的颠覆性方法。

MX-System 与机器完全集成: 直接安装在底架上的开放式安装可简化布线, 提升可及性, 并取代控制柜, 这是优质解决方案, 尤其是在设计方面。



革命性: 用于实现无控制柜自动化的 MX-System

倍福开发的新型 MX-System 是一种创新型模块化系统, 在设计上优于控制柜。MX-System 具有革命性的意义, 因为它实现了机器和系统的无控制柜自动化, 为工程开发带来全新的可能性。

无控制柜自动化是倍福工程师的开发目标。2021 年底, 他们向业界展示了 MX-System 的开创性理念。随后进行了大量的测试, 包括与不同行业和部门的客户合作, 以及在各种实施项目中进行测试。测试非常成功, 作为面向未来的无控制柜自动化解决方案, MX-System 于 2025 年中投入批量生产。

模块化设计, 巧妙易用

MX-System 的突出特点是其始终如一的模块化设计。由一个带插槽的底板和一个涵盖各种功能模块的模块化系统组成。连接器采用标准化设计, 因此所有模块的连接方式相同。您只需根据自己的应用选择合适的模块, 将其安装到底板上, 然后拧紧螺钉即可。至此, 系统即可投入运行, 无需控制柜。MX-System 与机器或系统集成, 包含所有交换技术, IP67 防护等级的外壳设计可提供最佳保护和安全性。

无需手动布线。要使用功能模块集成电子元件或机电元件, 底板上的每个插槽最多可设置两个接口: 数据接口会将组件集成到 EtherCAT 网络中, 并为其提供 24 V DC 或 48 V DC 电压 (可选)。如有需要, 第二个接口可根据驱动装置的需要, 提供最大 480 V AC 的电源电压或最大 848 V DC 电压。

一切尽在掌握

模块化 MX-System 涵盖了全部任务范围。最重要的组件包括各种性能等级的工业 PC (IPC)。这些计算机是机器或系统的大脑, 控制着一切。此外, 还有用于必要输入和输出的 I/O 模块、用于控制电机的运动控制模块、用于切换的继电器模块以及各种系统模块, 例如用于输入数据或集成额外电源和开关的系统模块。所有模块配有符合 IP65 或 IP67 标准的坚固外壳。已集成详尽功能, 如引出电缆保护。这显著减少了您的工作量和所需组件的数量。

最重要的是, MX-System 的功能模块从一开始就实现了模块化机器设计。这是因为 MX-System 模块集成到机器安装空间中传感器和执行器的附近, 也就是需要它们的位置。这样可以降低复杂性, 并确保距离缩短。



对于自动化工程师来说, 系统的背面尤其有趣, 因为每个设备模块都有自己的 MX-System 底板, 各个功能模块可以直接插接并用螺钉固定在上面

MX-System 颠覆性的一面

它可以完全取代传统型控制柜, 为机械与系统工程公司在自动化领域开辟更广阔的新前景。无需专业知识, 熟悉 MX-System 的原理后, 便能充分、轻松地发挥其潜力。

您所面临 挑战的答案: **MX-System®**

	控制柜	MX-System
复杂性和 可持续性	每增加一台设备, 控制柜的安装空间和复杂程度就会增加。这 需要空间、资源和精力 。	您可以将 MX-System 以可持续且节省空间的方式 直接集成到机器或系统中。无需控制柜。
技术熟练工短缺 和人力投入短缺	人工项目规划和所有组件的布线需要 数名技术熟练工 , 并且 费时费钱 。	MX-System 不需要任何专业人员 。只需将功能模块插入底板即可。这样可以节省时间, 并将电路图和零件清单的 数量最多减少 80% 。
定制和 上市时间	您需要 至少 24 小时 来设置单独配置的控制柜。	设置具有相同功能的 MX-System 大约需要 1 个小时 , 包括测试在内。
全球化和 标准化	在设计控制柜时, 必须 确保 所用组件和整体解决方案 符合 市场规范。	在 MX-System 中, 模块的设计 符合所有标准 , 并符合 IEC、UL 和 CSA 标准。
灵活性和 短距离	在中央控制柜布局中, 每增加一台设备, 电缆线路 就会变得更长、更复杂。这就 增加了调整 和额外自动化的 难度 。	在分布式 MX-System 中, 接口为预装式。您可以通过连接器连接机器本身, 距离短, 安装时间短 , 灵活度高。

模块化、可扩展: MX-System 概览

倍福的 MX-System, 其名称就说明了一切: M 代表“模块化”, 而 X 则代表模块化系统中功能模块的占位符。这些模块可根据需要自由组合, 以实现最大的可扩展性。每个模块都结合了机器和系统工程中特定功能所需的所有零部件。所有用户只需选择相应的现场设备即可。这显著减少了组件的数量和工程工作量。以下是概述。

底板

- 功能模块的机械安装
- 能源和 EtherCAT 电子接口
- 诊断功能, 通过移动设备进行诊断的 Bluetooth® 加密狗接口
- 由于尺寸和长度不同, 每种应用都具有可扩展性

驱动技术

- 伺服驱动器
- 变频器
- 直接起动器和可逆起动器
- 步进电机
- STO/SS1, SafeMotion

能源

- 电源
- 配电
- 熔断器
- 变换
- 切换
- 测量
- 缓冲

信号

- 数字量
- 模拟量
- 位置检测
- 通信
- 安全
- 气动单元

控制器/网络

- 工业 PC 的不同性能等级
- 以太网
- EtherCAT
- 标准接口, 如 USB 和 MiniDP



原则上, 每个控制柜的构造都是一样的。通常有电源、主开关、供电装置、包括 I/O 级和现场总线在内的控制器以及驱动技术。还有配电, 指的是 400 V 电压的切换、电机的直接启动或外部装置的供电。我们已将这些重复出现的模块标准化, 并以 MX-System 的形式以统一的概念加以实施。

Daniel Siegenbrink

产品管理 MX-System, Beckhoff Automation



底板 – 无控制柜自动化的基础

- 三种尺寸, 具有广泛的可扩展性: 单排、双排或三排底板, 每排最多 32 个插槽
- 每个插槽用于连接功能模块的电气和机械接口
- 尺寸 1 的底板有数据插槽; 从尺寸 2 开始, 还有用于大功率驱动装置模块、继电器模块或系统模块的插槽
- 包括电位平衡的连接选项
- 集成诊断功能, 例如用于温度监控



工业 PC 模块 – 控制系统的集成心脏

- 专为 MX-System 优化的倍福工业 PC
- 适用于所有性能等级和应用配置的大型 CPU 组合
- 工业 PC 模块会控制 MX-System 的功能模块
- 针对所有底板尺寸进行了优化, 配有合适的插槽, 可作为 EtherCAT 网段的主站进行安装
- 配备以太网、EtherCAT、UPS、显示连接和 USB 的典型工业 PC 接口



I/O 模块 – 可连接到自动化环境中的所有信号

- 用于倍福 I/O 产品组合中所有解决方案的模块
- 适用于当前自动化环境中的所有信号类型
- 数字量和模拟量输入和输出模块选择丰富
- 用于位置检测、通信、安全、和连接紧凑型驱动解决方案等任务的特殊模块



运动控制模块 – 适用于所有驱动装置

- 适用于各类驱动装置的紧凑型多轴系统的完整产品组合
- 用于控制三相异步电机的单通道和二通道变频驱动装置
- 用于控制同步伺服电机的各种性能等级的单通道和二通道伺服驱动器
- 用于产生直流母线电压的直流母线电源
- 用于提高直流母线容量和能效的电容器模块



继电器模块 – 用于切换高功率级别

- 用于切换高功率消耗的单相和三相 AC 负载
- 用于直接切换 230 V AC 电压, 如风扇和照明设备
- 由于集成了 I/O, 模块用途广泛
- 例如, 电机起动器模块可用于启动带电源电压的三相异步电机
- 集成式相电流持续监测与集成式熔断器保护, 实现最大线路及短路保护
- 通过固态继电器控制加热器, 每个通道都有温度输入端



系统模块 – 用于灵活配电及现场总线连接

- 利用 MX-System 为量身定制的基础设施扩展选择模块
- 适用于各种任务的解决方案: 电源输入、EtherCAT 连接、带线路保护功能的电源电压输出、电源、和以太网交换机
- 不间断电源 (UPS) 的模块
- 用于连接特殊控制设备的扩展功能

值得了解

所有 MX 模块均符合 IP65 或 IP67 防护等级; 铝质或锌合金压铸外壳可保护内部技术, 防止灰尘和湿气侵入。由于无控制柜、结构紧凑、标准化设计, MX-System 布局可以直接集成到机器和系统的安装空间中。这不仅具有视觉吸引力, 还能节省空间, 缩短接线长度。

一目了然:

MX-System 在整个价值链中的优势

设计和工程

MX-System 由底板和功能模块组成, 是一个完整的模块化系统, 可满足您在机械与系统工程方面的自动化需求。预配置的功能模块结构紧凑, 将所有必要的技术组件集成在一个外壳中。MX-System 的优势在于, 它允许您实现几乎任何定制要求或选项, 为您提供至少与您的机器概念一样模块化的电气设备套件。

- + 组件数量大幅减少 (平均 10 个, 而不是 100 个)
- + 电路图和零件清单减少 80%
- + 大幅减少设计和项目规划的工作量
- + 100% EtherCAT 集成。系统为完全数字化, 没有无源元件
- + 无需额外购买控制柜外壳, 无需设计规划工作, 无需外包
- + 符合全球所有标准和安全要求 (IP67、EMC、IEC、UL、CSA)
- + 无需额外空间, 可安装在机器内或机器上

安装

MX-System 采用即插即用原则: 只需选择所需的功能模块, 将其插入合适的底板, 拧紧螺钉并接线即可。至此, 系统即可投入运行。

- + 无需人工机械作业或组装工作
- + 无需人工布线 – 避免布线错误
- + 即插即用方式大幅缩短设置时间 – 省时又省钱
- + 使用多功能混合电缆连接设备和组件
- + 无需特殊知识即可将模块插入和拧入固定到位
- + 无需专业电工安装



这台 14 米长的 Schirmer 机器用于 PVC 窗型材的全自动加工, 是第一款用 MX-System 系统取代所有先前所需的控制柜的机器

在客户处所持续运行

与以往的控制柜解决方案相比, 倍福的新型 MX-System 在运行期间更易于维护和保养。

- + 100% EtherCAT 集成: 用户可随时对所有模块进行系统诊断
- + LED 状态指示灯会显示每个模块的运行状态
- + 专用智能手机应用程序可读取模块的 DataMatrix 代码, 并提供所有相关诊断数据。这意味着操作人员可自行发现和排除故障, 而无需专业的电工
- + 可回收性: 由于 MX-System 模块完全符合标准, 因此可以很容易地拆卸并在其他 MX-System 系统中重复使用, 甚至在国际范围内和迁移后也是如此
- + 一个功能模块可替代多个传统组件。这意味着在采购和备件仓库中可减少组件数量

Beckhoff Automation – 您的无控制柜自动化合作伙伴

如何快速、轻松、省力地进入 MX-System 的新世界？

最好的办法是与 Beckhoff Automation 的专家合作, 逐步开展活动。这是因为我们不仅发明了 MX-System 无控制柜自动化控制系统, 而且还基于我们数十年的经验, 对您的实际需求有了详细的了解。

每次咨询均由专人对接

我们是机械与系统工程领域历史悠久的自动化专家, 在控制柜领域游刃有余。这使我们成为与自动化技术相关的所有事务方面的专家合作伙伴。

凭借自身的经验, 我们已成为控制柜设计方面的专家, 自 1980 年成立以来, 这已成为我们日常业务的一部分。我们还可以根据要求负责生产。对于许多客户来说, 这意味着我们已经成为以控制柜形式提供电气系统解决方案的中心联络点。借助 MX-System 系统, 我们现在可以做更多工作, 为无控制柜自动化开辟全新的视角和优化潜力。

实现轻松转换

由您决定改用 MX-System 对现有生产流程和例行工作的影响。

开发新系统的目的从一开始就很明确: 完全取代传统型控制柜, 在模块化、可扩展性或集成能力方面不受任何限制。

MX-System 可直接替代传统型控制柜, 并灵活地集成到新的或现有的系统概念中, 无论您是实施新系统还是改造现有机器。可以完全实现集中式、分散式和混合式安装概念。

这使得 MX-System 既适用于完整的系统转换, 也适用于逐步转换, 具体取决于所需的机器优化深度。

您想了解更多信息吗？

我们很高兴为您提供帮助，并期待
您的来信：

info@beckhoff.com.cn

► www.beckhoff.com.cn/mx-system

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG
Hülshorstweg 20
33415 Verl, Germany
德国
电话: +49 5246 963-0
info@beckhoff.com
www.beckhoff.com

Beckhoff®, ATRO®, EtherCAT®, EtherCAT G®, EtherCAT G10®, EtherCAT P®, MX-System®, Safety over EtherCAT®, TC/BSD®, TwinCAT®, TwinCAT/BSD®, TwinSAFE®, XFC®, XPlanar® 和 XTS® 是 Beckhoff Automation GmbH 的注册商标。

如果第三方使用本文档中包含的其他品牌名称或商标，可能会侵犯相关商标所有者的权利。

© Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

本手册中所提供的信息仅是一般描述或性能特征简介，在实际应用中并不总是与所述完全一致，或者可能会由于产品的进一步开发而发生更改。
仅在合同条款中明确约定情况下，才有义务提供相关特性信息。

技术规格若有变更，恕不另行通知。