

物流规划

最接近工业 4.0 的智能精益汽车工厂

德国汽车行业作为制造业中技术含量、智能化程度及产业集中度较高的代表，能够成为工业 4.0 的前沿阵地，如宝马、奔驰、大众、博世等公司都纷纷试水工业 4.0。其中，宝马莱比锡工厂作为宝马公司在德国技术最先进、环保和可持续发展都走在最前列的汽车工厂，可以看作是最具 4.0 工厂味道的代表之一。

文 | 侯诣卓 · 德国物流研究院

莱比锡位于德国东部的莱比锡盆地中央，得益于便利的地理位置及闻名的商贸线路，成为今日德国最重要的工业重镇之一。近年来，越来越多的大型企业加速迁往莱比锡。更值得一提的还属汽车产业，目前，宝马与保时捷都在莱比锡设立工厂。

如今，宝马的物流网络已能从德国直接辐射至中国市场。在莱比锡工厂生产组装的各种宝马车型，通过莱比锡的物流网络，经过俄罗斯，辐射整个亚欧大陆，最后来到中国。

除了地理优势外，莱比锡的专业物流园区也极具诱惑力。该物流园区由 12 个单元组成，每个节点都设有功能齐全的装备，如连续装卸系统、传送带、推车传送系统等将整个园区连接起来，园区内可轻松完成装卸、分拣、配送、仓储和装运等一系列物流操作。另外，整个物流园区的每个建筑单元内部都有道路交通系统，并至少配备两个入口作为功能分区，每个建筑单元早已装好通信系统与消防系统，可以让企业“拎包入住”。

由此看出，宝马选择莱比锡主要归为六大理由：理想的第三方运输中转站、活跃的市场环境、24 h 不间断的机场、高效的物流网络、强大的汽车产业、专业的熟练劳动力与低成本土地。

宝马汽车公司投资 13 亿欧元建造的莱比锡工厂于 2005 年正式投产。2006 年，莱比锡工厂下线了第 10 万台宝马 3 系轿

车。2010 年，成功下线了第 100 万台宝马 1 系轿车。进入 2013 年，莱比锡工厂开启全新电动时代，开始生产宝马 i 系列电动汽车。2014 年，宝马最新款 2 系运动轿车也在莱比锡正式投产。

莱比锡工厂的物流创新

宝马莱比锡工厂的整体设计思路十



图 1 与中国传统的标准厂房设计不同，围绕中央大楼建设的三大核心生产区域（即车身车间、喷涂车间和总装车间）呈现出不规则排列

分创新，作为核心的中央大楼因其设计创新性而荣获 2005 年德国建筑奖。为能灵活应对未来需求，宝马在莱比锡设计出了最可持续和高效灵活的生产与物流模式。与中国传统的标准厂房设计不同，围绕中央大楼建设的三大核心生产区域（即车身车间、喷涂车间和总装车间）呈现出不规则排列（图 1）。

贯穿占地面积 40 000 m² 的中央大楼核心区域天花板上方的是一个空中走廊，其由一个有 600 台输送机的悬挂式输送系统组成，主要用于连接焊装、涂装和总装 3 个车间。该系统可将原始车身从车身车间输送到车身仓库，再送至喷涂车间，之后再将其送回车身仓库，最后从车身仓库送至总装车间。另外，车身仓库被设计为一个混装仓库，已喷涂车身和原始车身都被暂存于此。

鉴于车身穿梭于空中走廊的创新设计，使得主要办公区和生产车间两者能够相互渗透、融为一体，让工厂整体感更强，甚至在员工食堂和会议室也能看到实时的车身输送过程和订单不同阶段；这让各生产区域之间实现了高效互联，使车身输送过程做到一览无余。由此，宝马的工程师们可以在车间或是走廊、甚至餐厅的任何地方，实时跟踪订单状态，及时发现和调整生产进度，让人与工厂实现完美融合。

在莱比锡工厂，每天约有 10 000 m³ 的材料被输送至各个生产环节，为确保物流的高效、精益、低库存，所要运输的材料必须在正确时间以正确的顺序到达相应地点，这就需要高效精准的物流系统以及和供货商之间的密切配合。

宝马的生产计划主要按照客户订单来制定，零部件供应商会按照生产订单按序供货，供应商与生产之间的 JIT 生产模式，也因总装车间独特的梳状结构建筑设计得到更加充分的实施。运送不同零组件的货车可直接开至离装配线最近的区域，部件进厂后可直接送至相应工位完成组装，与先入库再二次配送上线的传统物流方式相比，节省了大量库

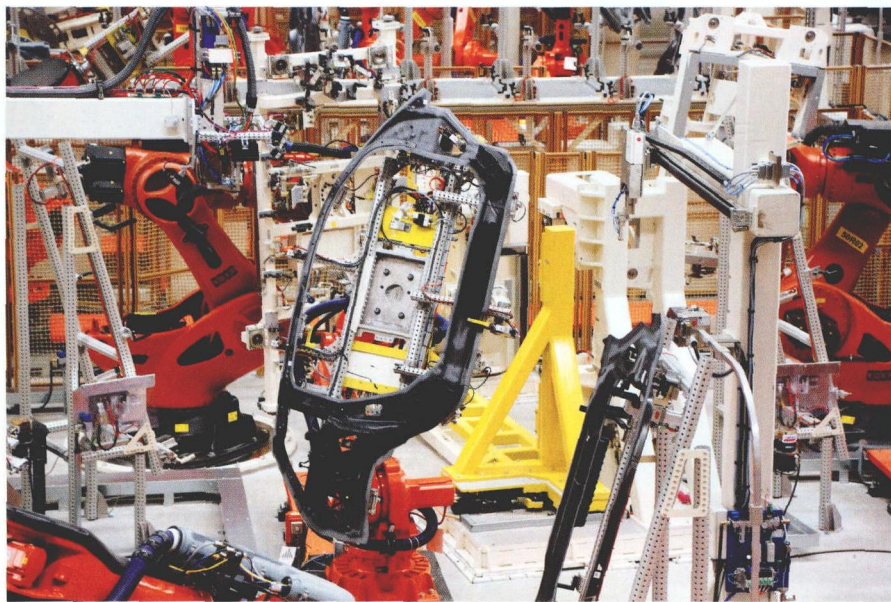


图 2 冲压车间机器人数量约有 800 台，是莱比锡工厂里自动化程度最高的车间

存和不必要的作业时间。这种创新的物流模式，不仅缩短了生产和物流供应的距离，也为未来的生产线扩展、引入新技术打下了良好的基础，以最小的投资成本实现高效集成。

宝马汽车的“工业 4.0”之路

宝马莱比锡工厂因在精益管理方面的卓越成就，而多次荣获德国及欧洲权威机构颁发的“精益和绿色管理奖”和“最佳工厂”等奖项，这些都得益于莱比锡工厂在灵活生产、可持续资源利用、企业精益管理等方面的持续创新。

在宝马始终提供高品质产品的背后，正是有一套高效灵活的生产物流体系作为支撑。该工厂经理表示“宝马永远是客户及自己的员工着想，质量永远是我们的最高优先级”。从 2014 年 7 月开始，莱比锡工厂开始 1 系和 2 系车型串行生产，有时候，更是需要 1 系、2 系和 X1 多款车型在一条生产线混合生产。由于宝马莱比锡工厂繁忙的业务需求，工厂人员近年来持续增加。2014 年 7 月，莱比锡工厂共有 4000 名员工，其中 1400 名都是 2011 ~ 2014 年间新加入的。

标准化、模块化和数字化的产品设计是实现工业 4.0 的基础，这一点在宝

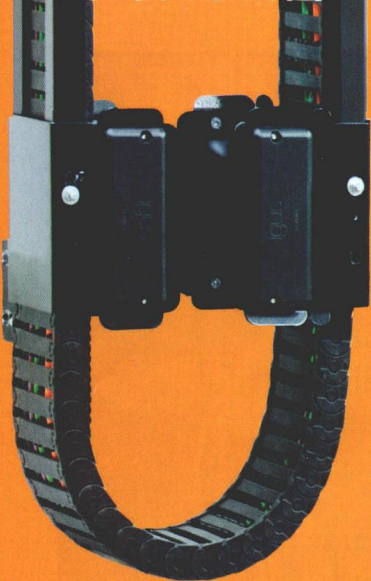
马莱比锡工厂能够得到充分印证。宝马 1 系和 2 系车型同属一个平台，为此可以共用同一生产线，且装配时的大部分组件也是通用的。通过选配不同模块（如汽车电子单元）、不同车体颜色，灵活生产出满足不同客户需求的差异化车型，让模組的数量大大简化。而实现小批量、多品种定制化混线生产的重要前提就是标准化，同样，模块化和数字化为此生产模式提供了更多可能。正因为如此，宝马莱比锡工厂目前不仅能做到多种车型按订单生产和混线生产，还能在不损失生产节拍和品质的前提下，实现每台下线车型都能满足大规模定制的市场需求，即每一台宝马汽车都可以根据客户的意愿生产出来，这一点很符合“工业 4.0”的特性之一。

传统工艺 经典传承

一台经典的宝马汽车在莱比锡工厂“从无到有”，会经过冲压车间、车身车间、涂装车间和总装车间四个阶段。

冲压车间负责将汽车钢板精美塑形，这是莱比锡工厂的生产起点。约 100m 长的冲压线可生产不同车型需要的绝大多数车身部件，包括车架侧部件、车门、车顶及引擎盖等。车间里的伺服高速冲

易格斯 - 运动塑料 用于物流设备...



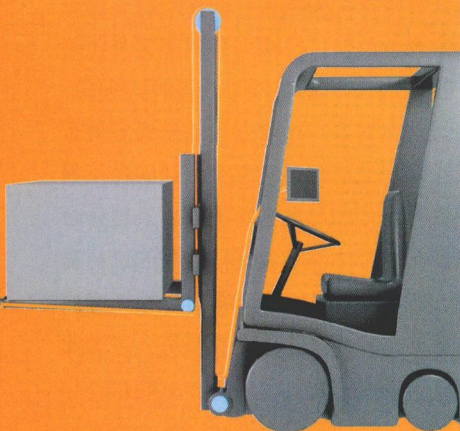
用于高架仓储设备:

guidelok slimline F: 高架仓储提取设备的快速移动供电单元。速度可达 10 m/s, 加速度可达 7 m/s²。高速运行不晃动, 移动供电更便捷! 快速发货, 即装即用。

用于叉车:

Chainflex® 高柔性电缆: 高抗拉伸测试... 完美的数据传输, 不再担心起旋。快速发货, 即装即用。

igidur® 工程塑料滑动轴承: 免润滑, 免维护, 耐腐蚀... 高抗老化。



24 小时或当天交货
在线计算使用寿命
精进技术, 降低成本

▲反馈服务编码M2276

plastics for longer life... motion plastics

igus®

易格斯拖链轴承仓储贸易(上海)有限公司
电话: 021-5130 3100 传真: 5130 3200

技术前沿 | Features

压机达到了万吨级, 是全球同级别冲压机中技术最先进、速度最快的。数百片钢板在车身车间被焊接组成车身, 超过 5000 个焊点足以确保车身的坚固性。车间机器人数量约有 800 台, 是莱比锡工厂里自动化程度最高的车间(图 2)。

涂装车间主要担负两大职责: 确保白车身不染尘埃和为白车身上色, 并确保车身光泽晶亮持久。在这里, 每台车都需要喷涂最为环保的四层水性车漆。头两层漆主要为防止腐蚀和提供不受环境影响的最佳保护。待四层喷涂完成后, 每辆车就有了不同的个性, 缤纷色彩足以满足客户的不同需求(图 3)。

宝马之所以能根据客户需求定制出独一无二的产品, 总装车间发挥了重要作用。在车辆组装过程中, 工人按照客户订单进行定制化组装, 这就对物流提出了更高要求, 必须按序将所需产品准确送至生产线上。由于实现了模块化的组件设计, 装配线上几乎不会出现两辆完全一样的车型。在产品交付用户前, 还要经过严苛的检测, 只有符合宝马质量标准后, 才能离开莱比锡。

宝马开启全新电动时代

宝马莱比锡工厂作为世界上最先进、可持续的汽车工厂之一, 在汽车产业逐渐步入电动时代的今天, 也力争成为电动汽车产业的领军者。2013 年 9 月, 莱比锡工厂正式投产宝马电动汽车 i3, 2014 年 5 月, 宝马 i8 相继投产。除了推

出全新的 i 系列电动车型外, 宝马也力争在新车型的生产工艺上有所创新。

宝马用于生产 i 系列车型的车间与传统汽车制造工艺有很大不同。由于 i 系列的车身主要采用碳纤维强化塑料(以下简称 CFRP), CFRP 生产车间相当于传统的冲压车间, 制造出的 CFRP 部件按照覆盖件和结构件分别运送至喷涂车间和车身车间。用于表面的覆盖件在喷涂车间完成颜色喷涂, 结构件在车身车间完成拼接成型, 最后在总装车间完成整车装配。值得一提的是, 虽然仍有喷涂车间, 但因为采用全新材料, 相比传统钢制车身的防锈工序, 省去了清洗、磷化及电泳等前处理工序。i 系列的喷涂车间, 只会对覆盖件进行喷涂处理, 工序的简化极大减少了能源的消耗。

以宝马 i8 为例, 整个车身结构按材料可分为两部分, 一是 CFRP 材料的车身, 另一是车头处的铝合金支架总成。在车身车间拼接成型后, 车身抵达总装车间完成最后的装配工序。车身抵达总装线的第一道工序是安装车顶。CFRP 材质的车顶与同材质车身采用粘合方式进行固定, 两者依靠夹具贴合 30 min 后即可保持粘合状态。

在夹具辅助车顶粘合期间, 装配人员会完成整车线束的铺设工作, 每包线束对应一辆车。第一个工位的装配工作结束后, 撤掉车顶夹具送至第二个工位, 而后依次完成仪表台、座椅、车门、内饰等安装。最后是合车工位, 即车身与



图 3 每台车都需要喷涂最为环保的四层水性车漆, 待四层喷涂完成后, 每辆车就有了不同的个性, 缤纷色彩足以满足客户的不同需求



图4在夹具辅助车顶粘合期间，装配人员会完成整车线束的铺设工作，每包线束对应一辆车

包括动力系统、电池及悬架在内的车底总成完成装配（图4）。

对于一款电动汽车，动力总成和电池安装于车底的金属框架中，不仅起到托盘的作用，在被动安全方面，也对电池及车身起到重要的保护作用。待所有装配工序完毕后，同样是将车辆驶离装配线进入质检环节。由于在最后一个工位的装配过程中，一直在给电池充电，所以车辆能以电动模式在车间内移动，这样也省去了车间内的尾气回收系统。由于宝马i系列车型在生产过程中对环保做出的杰出贡献，2013年12月，宝马莱比锡工厂被授予LEED（领先能源与环境设计）金奖。

全球最可持续的汽车工厂

截至2013年，宝马集团已连续8年成为全球最具可持续发展力的汽车制造商，这得益于宝马一直致力于研发环保车型，不断采用新技术，持续降低汽车制造工艺中对资源消耗和环境的影响。在莱比锡工厂，从环保无污染的生产流程，到不断研发低能耗的新能源汽车，再到实施各种绿色回收项目，宝马始终在公司运营过程中将资源利用率最大化，将可持续发展贯穿于整个价值链。

莱比锡工厂做到最大限度自然采光，将电能使用降至最低。因为莱比锡天气不算太炎热，只需解决供暖问题即可，而工厂内部供暖主要来自于附近发电厂排出的“废气”。由于工厂采用的是柔性生产方式，按照订单生产可以灵活调节

产能，避免不必要的资源浪费。

宝马i系列车型的生产过程更将环保做到极致。厂房与其他常规车型不在一起，i系列生产所需的电能全部来源于工厂旁的四个大型风机。i系列作为宝马最新的电动车型，在汽车设计、研发、生产、能源利用乃至旧车回收再利用的整个闭环汽车生命周期都做到了环保和可持续发展。

宝马给中国制造业的启示

当前，德国汽车制造业已率先进入工业4.0时代。其从产品设计到生产制造、供应链管理，全程实现了智能装配、智能生产配送和智能供应链调度。

在宝马莱比锡项目上，德国物流研究院荣誉院长库恩教授带领的专业团队在工厂选址、物流集货、厂区规划等方面给予了宝马大量技术支持。此外，德国物流研究院还在莱比锡物流园区规划和设计方面给予了专业支持，并对莱比锡地区物流潜力进行了专业评估。

与国内常见的四四方方厂区规划不同，德国物流研究院对于宝马莱比锡工厂“坚持顺向规划原则”，先明确业务流程，再选择技术设备，最后确定适合的建筑形态，以此保证项目规划的成功。创新的物流规划方案，确保了产业链运转顺畅，让宝马供应链的效率显著提高，物流成本大大降低。更重要的是，成就了宝马高效灵活、智能化、个性化的汽车生产模式。[MM]

... the-chain 移动供电更便捷

耐油

静音，快速

极其密闭

长行程

通用型拖链

dry-tech 免润滑轴承



申请免费样品

扫描二维码或登录：

www.igus.com.cn/PQCN309

▲反馈服务编码M2276

plastics for longer life ... motion plastics

igus®

易格斯拖链轴承仓储贸易（上海）有限公司
电话：021-5130 3100 传真：5130 3200