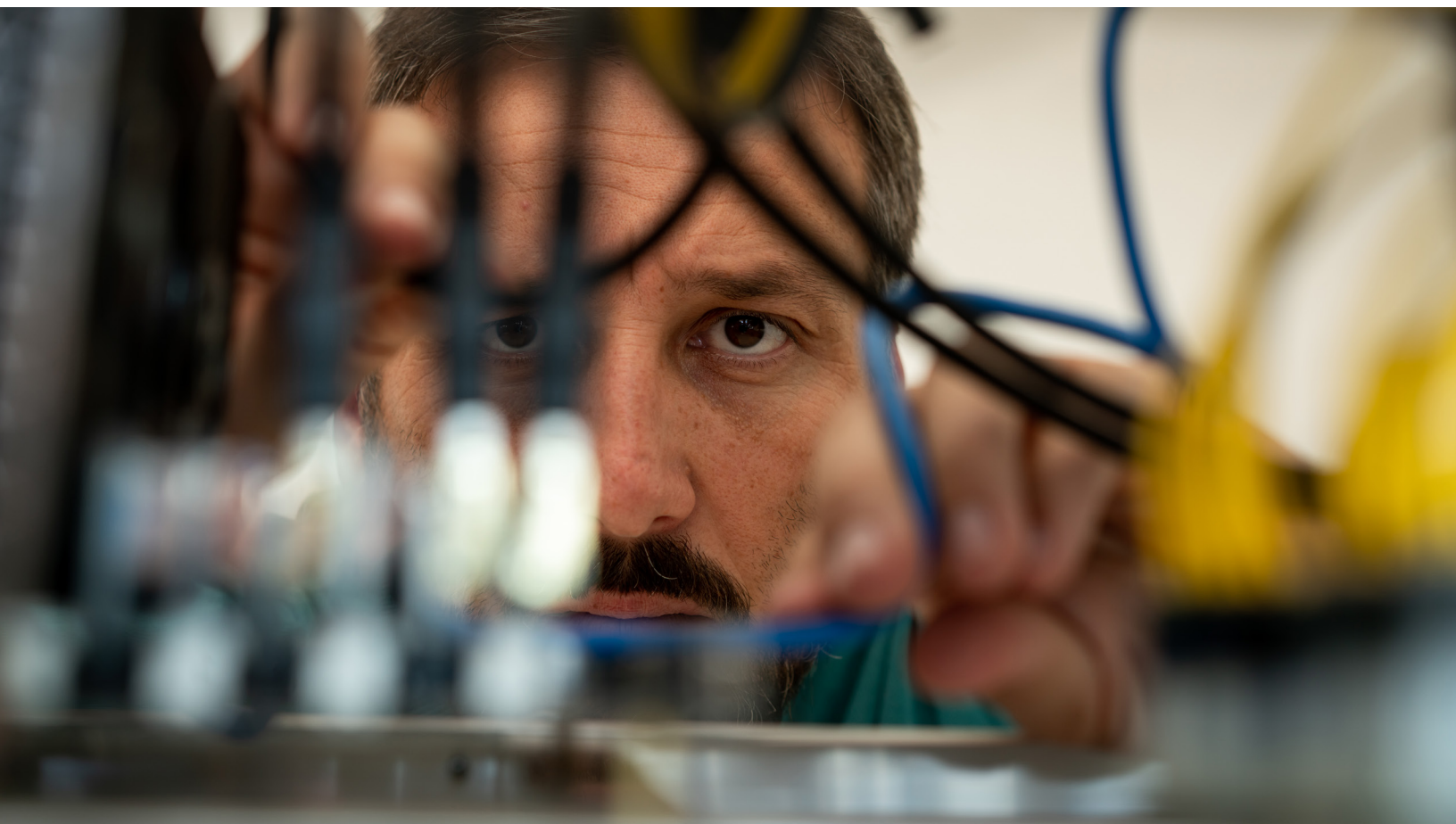


电子连接器设计中的人体工学考虑因素



molex



如今，消费者希望他们的家用电器具有比以往更多的功能。功能增加意味着连接需求提升，还需要具备智能感知能力，并采取措施来应对未来扩展需求。伴随这些预期和设计需求而来的，是对操作人员装配安全性和人体工程学改进的日益重视。连接器设计需专门满足原始设备制造商、线束制造商和电器装配/元件工厂的特殊要求，以持续推动人体工程学改良。



人体工程学的重要性日益增加

人体工程学是一门根据人体的能力和局限来设计工作岗位与工作场所的科学与实践。简言之，人体工程学通过优化设计要素来减少操作者的疲劳与不适，从而实现生产效率最大化。与不良人体工程学相关的最常见职业伤害是腕管综合征，这是一种因腕部神经受压迫而导致的手部麻木刺痛的重复性动作损伤。

全美每年有逾 800 万人受到腕管综合征困扰。其中约 12 万例腕管综合征病情严重，需手术治疗以缓解症状。研究表明，重复性动作损伤和肌肉骨骼疾病每年给美国雇主造成约 800 亿美元损失。每位员工大约需要 23 天康复期。

为降低员工重复性动作损伤和肌肉骨骼疾病发生率，部分雇主将人体工程学改进方案列为优先考虑事项，以便降低重复性作业的伤害风险。通过工作环境中的人体工程学改良，能帮助降低腕管综合征等重复性动作损伤的发生概率。



全美每年有逾 800 万人受到腕管综合征困扰

连接器设计和人体工学

一般而言，通过改良设计，简化家电核心端子及连接器的装配，能够显著提升人体工程学性能，同时确保电器功能不受影响。改良包括：

减少触点/连接器插配力

减少插配连接所需的力有助于减轻操作员的负担，降低疲劳和受伤风险。这往往可以反过来提高质量、安全性和效率。优化连接器插配性能的关键在于触点设计，涉及基础材料、镀层、润滑剂选择和外壳设计。

连接器外壳设计和触点引入

该重要设计要素确保外壳在触点插配前预对准，并为触点引入提供支撑。这些设计考量有助于减少接触点的潜在干涉或卡滞现象，从而降低插配力。具体而言，通过连接器外壳的倒角设计、插针式连接器引脚的圆弧优化以及插配插座引入功能，可改善连接器插配过程中的整体人体工程学性能。

安全按压点

在大批量装配环境中，定位合理且设计科学的操作按压点是人体工程学与安全性的关键考虑因素。连接器外壳须采用圆角设计并消除尖锐边缘，以确保最佳操作力矩和舒适度。



听觉和触觉反馈

通过在连接器锁紧机制中设置听觉与触觉反馈机制，制造商能有效降低装配人员的操作疲劳，避免花费时间检查疑似的故障连接。当连接器完全啮合时，操作者可通过听觉和/或触觉感知连接已稳固，然后转向下一工序，而无需施加多余作用力确认连接状态。

除此以外，以下特性也有助于简化连接器装配，同时提高操作人员的整体效率：

插配连接器插头和插座的极性 & 键控

极性有助于防止连接器方向不当导致错配。此外，机械键控功能可确保同一位置的多个连接器与相应的插配连接器装配。颜色编码通常由键控提供支持，可帮助提高操作人员装配效率。参见图 1。

外壳内的触点浮动

该特性允许触点内移动，从而改善插配性能并降低卡滞风险。它还能使触点和电缆限制点之间产生足够的距离。参见图 2。

- “T” 尺寸定义电缆的“自由”长度，或不受扎带捆扎、电缆扭转等外力作用导致的弯曲变形，保持导线进入外壳时的自然舒展状态或位置的长度。该尺寸为通用建议值，可能需要根据线规、电缆类型、绝缘层厚度和绝缘材料进行调整。
- 电缆排布方式需确保端子在外壳腔体中能自由浮动。

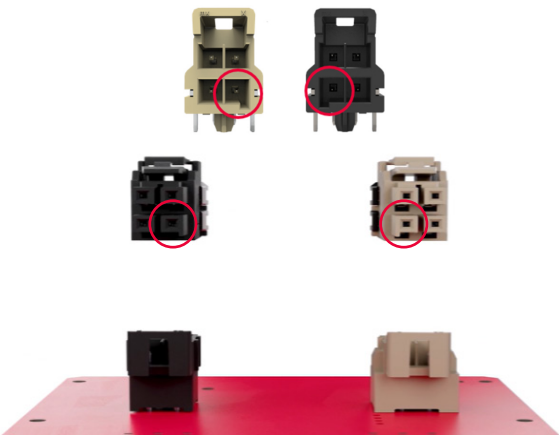
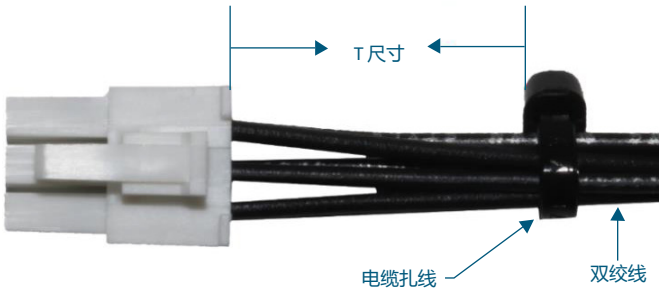


图 1：连接器的极性和键控：Molex Nano-Fit 电源连接器

扎带和/或电线扭转位置

电路尺寸	T 尺寸最小值
2 至 6	0.50" (12.7mm)
8	0.75" (19.1mm)
10 至 12	1.00" (25.4mm)
14 至 16	1.34" (34.0mm)
18 至 20	1.45" (37.0mm)
22 至 24	1.57" (40.0mm)



注：图示为示意性展示，仅供参考。

图 2：触点在外壳内的浮动设计可确保触点与电缆限制点之间保持适当间距。此处展示的是 Molex Mini-Fit Sigma 连接器系统。



外壳锁定/保持机制设计

此类设计同时提供触觉与听觉反馈，当连接器成功插配时会发出清脆的“咔嗒”声，从而降低整体插入力。参见图 3。

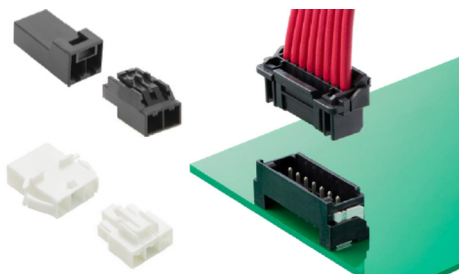


图 3：Molex VersaBlade 连接器系统（左）和 Molex Micro-One 线对板连接系统（右）内的外壳锁定/锁紧机制

端子定位 (TPA)

TPA 有助于确保端子在外壳内完全就位锁定，防止接触端子脱离，同时提升触点固定力与对准精度。参见图 4。



图 4：端子定位示例

颜色和插配方向提示

增设此类视觉标识能使操作人员快速准确识别，从而改善装配过程的人体工学性能，并提升整体生产效率。参见图 5。

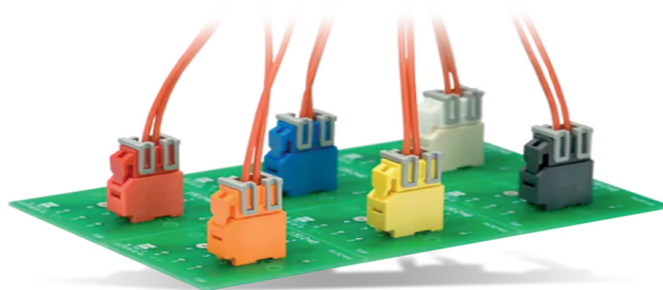


图 5：连接器的颜色编码。Molex Mini-Fit Versa 彩色电源连接器（顶部）和 Molex CP-6.5 系列线对板连接器（底部）



杠杆驱动

相较于传统连接器插头和插座的插配方式，该特性可降低总体插配力。内置杠杆机构提供机械助力，通常仅需常规插配力的 1/6 即可完成连接器插配。这种方法常见于特定汽车应用，其电子模块内常需同步插配 40 至 80 多个电路。参见图 6。

使用适当的拔插件工具

在需要时使用拔插件工具，可帮助确保维修操作人员的安全。参见图 7。

真实示例：家用电器人体工程学连接器

Molex 家电应用连接器产品组合涵盖信号传输与中低电源连接器，包括可显著降低插配力的产品型号，示例如下。



图 6：杠杆驱动连接器：Molex MX123 密封式连接器系统



图 7：拔插件工具示例

连接器系列	Nano-Fit 电源连接器	Micro-Fit+ 连接器系统	Ultra-Fit 电源连接器
间距	2.50mm	3.00mm	3.50mm
锡最大插配力	0.7 磅 (0.32 千克)	0.5 磅 (0.23 千克)	0.95 磅 (0.43 千克)
金最大插配力	0.25 磅 (0.11 千克)	0.26 磅 (0.12 千克)	0.5 磅 (0.23 千克)

连接器系列	Micro-One 连接系统	Micro-Lock Plus 连接器系统	Mini-Lock 连接器系统	KK Plus 连接器系统
间距	2.00mm	1.25mm	2.50mm	2.50mm
锡最大插配力	0.55 磅 (0.25 千克)	0.25 磅 (0.11 千克)	0.8 磅 (0.36 千克)	0.7 磅 (0.32 千克)



连接器装配过程中的人体工程学风险因素

通过将经优化的连接器设计与工作场所最佳实践相结合，装配人员能够更高效精准地执行任务。这可提升工人安全性与士气，降低员工流动率并减少操作失误。以下是连接器装配过程中的相关风险因素示例：

因素	风险
静态姿势	工人长时间保持特定的装配姿势可导致血液循环受阻并影响肌肉功能。
快速移动	快速移动可能增加施加在身体上的冲击力。
手指/手压迫	抓握小型组件上的尖锐夹点可能导致肌腱和/或肌肉损伤。
任务间的恢复期	恢复时间不足会加剧操作人员疲劳，并导致整体装配时间延长。
插配力	高插配力可导致各种损伤，包括腕管综合征。
重复相似动作	不断重复相似动作会导致肌腱问题和神经压力增加。
姿势	过度伸展的作业姿势可能造成神经压迫与肌腱刺激反应。

线束制造商面临的挑战

家电线束制造面临多种人体工程学挑战，主要源于外壳触点的高频插配需求与重复作业动作。线束装配过程中的人体工程学需聚焦四大生物力学风险因素：施加的力的大小、工作姿势的别扭程度、不良姿势持续时间及动作重复频率。腕管综合征和肌腱炎是线束处理作业中最常见的重复性动作损伤。“线束装配对手部负担非常大。”北卡罗莱纳州人体工程学中心执行主任 Julia Abate 说道，“进行裁线、剥线、压接或捆扎等重复性手工作业时，损伤风险会显著上升。持握电缆或将电缆接入连接器时，需要频繁使用双指捏合和侧捏动作，这可能导致健康问题。”

线束装配对手部负担非常大



了解行业规范和软件

家电设计工程师若想优化装配流程的人体工程学，就必须仔细阅读行业规范并考虑专业软件工具。其中，美国汽车研究委员会 (USCAR) 规范与 HandPak 软件可作为重要参考基准。

USCAR

USCAR 在其 USCAR25 规范中提供了电气连接器装配的人体工程设计标准建议。该文档阐述了传统手动插配连接器、机械辅助连接器和扭锁连接器的总体设计、装配力、测试、评估及包装指南，并且还详细说明了连接器定位设计及应用。虽然主要针对汽车市场，但其中许多标准与性能要求也可适用于其他行业的连接器设计需求。

[USCAR25: 电气连接器装配人体工程学设计标准 - SAE International](#)

HandPak 软件

HandPak 软件由 Potvin Biomechanics 开发，能测定前臂、手腕、手部作业时允许的作用力与扭矩。该软件适用于分析各种应用中可接受的连接器插配力，尤其针对需要高频重复插配连接器的装配。

模块包括对以下因素的分析：

- 前臂旋前与旋后扭矩
- 腕部屈曲、伸展、桡偏及尺偏扭矩
- 各种捏合和手握
- 手指/拇指推拉力及手部握持力

HandPak 软件被广泛应用于汽车装配、零部件制造、康复、实验室技术、咨询、健康科学及政府工作等领域。该软件可评估单次作业强度，也能分析工作周期（综合考量作业时长与频率）。

[HandPak – Potvin Biomechanics](#)



结论

在工作场所采用人体工程学最佳实践，优化连接器设计，可帮助装配人员更高效、更精准地完成任务。这进而能提升安全性和士气，降低员工流动率 and 操作失误，最终使电器制造商、其专业团队及客户多方受益。

Molex：以人体工程学为设计理念

消费者对家电功能的需求不断增长，与此同时，人们对工人健康安全的关注也日益增多，因此，在制造流程的每个环节贯彻人体工程学理念变得至关重要。Molex 凭借 80 多年的创新积淀与工程卓越经验应对各项设计挑战。这一专业认知深刻体现在 Molex 的所有工作中，包括开发便于安全装配的**连接器**，以及守护操作人员健康，确保装配工厂高效运转。从概念构思到成品组装，Molex 可以提供贯穿家电设计流程且十分关键的专业技术支持与产品选型服务。



参考资料

[Ergonomic Guide to a Safer, More Efficient Connector-Assembly Workplace | 2019-02-15 | ASSEMBLY \(assemblymag.com\)](#)
[The Ergonomics of Wire Harness Assembly | 2020-10-15 | ASSEMBLY \(assemblymag.com\)](#)
[Molex.com/zh-cn](#)
[Connectors - Human Factors Guidelines - ergonomicsblog uxblog](#)
[Ergonomics 101: The Definition, Domains, and Applications of Ergonomics \(ergo-plus.com\)](#)

