

指南

# 为您的步进或伺服系统 选择合适的电缆

步进或伺服系统的电缆布线



**KOLLMORGEN**

工程师投入大量的时间和精力设计高效、可靠且经济的步进或伺服电机定位系统。他们选择电机、控制器、适当的反馈电路和放大器来满足特定运动控制系统的需求。

然而遗憾的是，连接组件的信号电缆和电源电缆往往会被忽视，直到项目接近尾声，或者更糟糕的是，交给缺乏适当培训的电工处理。忽视电缆选择的关键因素会导致系统精确度低于预期，故障频繁，电磁抗干扰能力低，并对邻近设备产生不利影响。



## 基本的电缆构造

电缆的设计和制造特性旨在服务于特定应用，以实现卓越性能。在基本的电缆构造中，每个元件都发挥着独特的作用。所有电缆都包含以下部分或全部元件：具有适当载流量的单芯或多芯电缆，具有适当击穿电压规格的绝缘，针对单导体或双导体的整体屏蔽或多重屏蔽，以及保护电缆免受机械、化学和环境影响的护套。其他电缆元件可能包括与箔屏蔽、绑扎带、预埋钢支架电线和填料一起使用的屏蔽线或接地线，以使电缆具有均匀的圆形截面形状。

## 选择标准

选择电缆时，首先要考虑在使用期间对电缆会产生影响的工作条件，如温度、湿度、化学暴露、磨损、弯曲和预期寿命。绝缘的类型和厚度选择取决于工作电压。由电机和驱动器制造商指定导体数量和电流要求。可能的选项包括单独的反馈和电源导线或复合电源和反馈电缆。影响电缆信号及其附近其他设备信号的电磁干扰决定是否需要屏蔽。同一电缆的导体之间以及电缆和其周围物体之间都可能存在干扰。电感是主要的耦合因素和干扰因素。如果导体之间的面积过大，就可以为信号找到替代路径。这些非预期路径导致了交替信号的耦合。为了进一步降低耦合的趋势，可通过将线对绞在一起来减少预期路径导体之间的面积。建议每英寸最多绞四圈。



有些应用要求使用固定电缆，比如：在电机和驱动器相对固定的系统中。在这些情况下，经常会使用电缆槽和导管进行布线。此外，使用电缆槽铺设的电缆具有极高的阻燃性，为了获得 TC 或 CT 标识，电缆必须通过特殊的垂直托架燃烧测试 (UL) 或垂直燃烧测试 (CSA)。如果使用导管（金属管材），则必须参照美国国家电气规程® (NEC®) 手册中第 9 章表 1，查看导管内允许的最大导体数量，具体取决于导体的尺寸和温度。

## 绝缘和护套

导体绝缘可使用一种特定材料，而护套使用另一种材料，每一种材料在电缆结构中都发挥着不同的作用。有一种绝缘类型可实现电缆中单个导体或导体对之间的电气隔离。相比之下，护套是电缆的“皮肤”，用于保护导体、绝缘和屏蔽免受环境、机械冲击和化学腐蚀性物质的影响。一些产品（如传统的连接线和消费类产品电源线）只有一层绝缘，主要作为物理保护护套。然而，大多数工业级电缆包含绝缘和护套。护套材料是运动轨迹内的主要摩擦源，材料的选择直接关系到系统的成败。

环境（包括环境温度和电流通过导体产生的热量）决定了绝缘材料的最高工作温度。一般而言，温度额定值可以解释为导体在绝缘情况下能够安全承受的最高温度。对于电源线来说尤其如此。然而，如果将任何电缆（即使是反馈电缆）铺设在发热机器附近，就必须考虑环境温度。

电源和控制接线的典型额定值为 600 V。该额定值仅与导体绝缘有关，与护套无关。这是导体与任何相邻部件（例如：另一个导体、屏蔽或电缆外

其他应用可能涉及伺服系统组件偶然的、非重复性的运动，在其他机器中，电机可能会相对于系统的其他部件（如机器人的机械臂）不断地运动。电缆灵活性的要求在每个电缆组件（导体、绝缘、屏蔽结构和护套材料）的选择中都发挥着至关重要的作用。

部的导电物体）之间所能施加的最大工作电压。UL® 并未将护套的绝缘属性视为确定额定电压的一个因素。护套主要被视为电缆的机械保护和捆绑元件。

导体的绝缘和护套由最常用的绝缘材料聚氯乙烯 (PVC) 制成，适用于许多运动控制应用，包括连续柔性电缆。机床、机器人、贴装设备、装卸转运设备和索道只是其中一些例子。许多 PVC 配方都适用，但典型 PVC 护套电缆的静态温度范围通常为 -30°C 至 70°C。弯曲要求将较低的温度范围缩小到 -5°C 左右。多个导体也可以减少散热面积，从而减少给定线号的功率。

乙烯丙烯 (EP) 对苯和各种油的耐受性较差，但具有出色的抗紫外线和臭氧能力。聚氨酯 (PU) 护套适用于许多连续柔性电缆。该材料坚固耐用，非常灵活，并可为接触酸、碱、溶剂和液压油等化学品的电缆提供出色保护。其温度范围比 PVC 宽，配方中使用许多阻燃材料，并具有出色的自熄特性。

然而，其缺点就是聚氨酯护套和绝缘很难切割、剥离和断开，手工处理尤其困难。将个别导体的 PVC 绝缘与聚氨酯护套组合在一起，可简化电缆制造，并保持出色的防护性能。

在动态条件下，某些聚合物的加工硬化并没有详细记录。虽然有一些基本准则，但紫外线、热量、湿度和化学品暴露都是影响方程式的变量。如果不知道这些因素，可能会导致过早故障。

**表 1 绝缘和护套材料比较表**

属性	绝缘和护套材料		
	PVC	乙丙	聚氨酯
耐磨性	G	VG	E
抗扯力和抗切割性	VG	VG	E
低温柔性	G	VG	E
抗紫外线	VG	E	E
耐臭氧性	E	E	E
防水性	E	VG	E
耐变压器油性	VG	F-G	E
耐汽油性	P	F	E
耐煤油性	P	G	VG
褪色	F	E	F
乙二醇	G	E	F

E = 出色、VG = 非常好、G = 好、F = 一般、P = 差

## 高柔性电缆和连续柔性电缆

在许多运动控制应用中，电机、反馈装置或两者都会持续地相对于控制器运动。这种布局需要使用特殊的高柔性电缆。高柔性电缆和连续柔性电缆包含一组精心挑选的导体、绝缘材料、屏蔽和能够耐受机械冲击的护套。

典型连续柔性电缆的导体可能是由许多超细的裸铜绞线组成，外面覆盖着超软的聚氯乙烯绝缘和聚氨酯护套。与编织屏蔽相比，反向螺旋式屏蔽具有出色的柔性，该特性对于高柔性电缆和连续

柔性电缆至关重要。然而，铜编织屏蔽具有更高的电磁噪声抗扰性，与带夹组合使用时，可大大简化接地操作。有些电缆含有固体润滑剂，以减少在小半径弯曲时，个别导体的绝缘与屏蔽和护套之间的滑动摩擦。

线性柔性电缆只能朝一个方向弯曲，不能对绞，因为对绞被视为双向弯曲。广泛使用的电力轨道可保持电缆只朝一个方向弯曲。当电缆必须弯曲两个或更多轴时，机器制造商往往不得不使用电缆间连接器。

弯曲半径要求是一个经常被忽视的规格。弯曲半径决定了连续柔性电缆的使用寿命。半径越小，使用寿命就越短。允许的最小电缆弯曲半径规定为 N 系数乘以电缆外直径，例如：“12 X 电缆直径”，其中 N = 12。对于正确选择和铺设的连续柔性电缆，其预期使用寿命为数百万个弯曲循环。为了减少动态弯曲半径的限制，开发出了特殊的扁平电缆。标准电缆的静态弯曲半径是直径的 10 倍，动态（移动）弯曲半径是直径的 12-15 倍，这将导致机器的高度过高。增加空间需要考虑成本和运输因素，也会带来可用性问題。这些扁平电缆对于满足制造商的最终封装要求至关重要。

## 终端



任何电缆都可能过早地出现故障，特别是在高柔性应用中，电缆未正确连接时。电气连接终端相关损耗是系统故障中一个最常见原因。应根据电缆的线号确定连接器触点的额定值。如果无法进行机器压接，请使用适当的手动工具在导体和触点之间实现可靠的电气和机械连接。压接松动会

导致腐蚀并断开电气连接。此外，过度压接往往会切断绞线，从而会削弱导体，并产生高电流密度引起的热点。通常在“航空硬件”或生命支持应用中，您会看到焊接终端，以避免这些缺陷。

直接式连接器和直角式连接器提供了电缆至电机的连接选择。大型电机通常要求使用圆形金属外壳连接器或模制塑料连接器。许多小型电机使用较小的矩形塑料连接器或使用无端接电线。穿板式连接器用于通过围墙或金属柜壁来实现直列连接。许多伺服电机和步进电机驱动器都随附有接线盒，用于电源线的端接。或者，许多步进系统都随附有 IDC 接头。这些必须局限于静态应用，因为运动控制会损坏连接器。

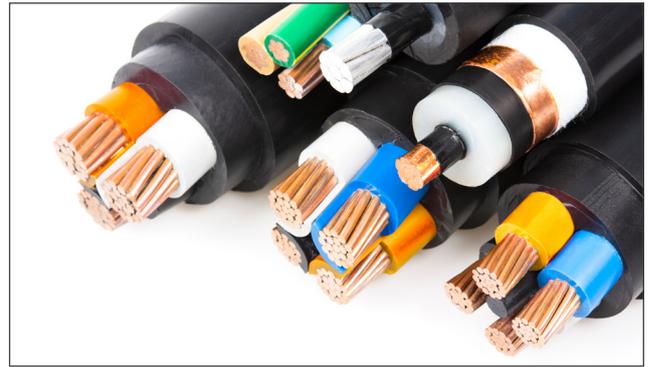
为了减少辐射，提高抗扰性，以及防止接地电流造成的人身伤害，需要进行适当的屏蔽接地。标准实践建议使用金属电缆夹将经过屏蔽的电机电缆连接至驱动器的后板。

安装“刚好够长”的电缆会给电缆终端带来不必要的压力，并可能形成急弯，从而降低电缆的可靠性。另一方面，电缆过长（超出了必要的布局要求）会增加系统总成本，并可能降低系统性能。由于其固有电阻、电感和电容会增加串扰，所以超过必要的反馈电缆长度会降低信号。如果盘绕的电源线过长，会降低电机端子的驱动电压，并会起到天线的作用，从而发出电噪声干扰。

## 导体

电缆可以包含单导体或成对排列的多根绝缘导体，为电源和控制电路输送电流。铜是最常用的电线和电缆材料。铝或钢导体通常不用于现代运动控制系统。导体可以是实心的（一根铜线），也可以是由几根更小的实心绞线组成的复合导体。

镀锡可提高导体和单线股的耐蚀性和可焊性。镀银或镀镍可以在更高的温度条件下（银的温度为 200°C，镍的温度为 450°C）保护导体，但却很少使用。裸铜在这些温度条件下会迅速氧化，但步进和伺服电机接线通常不会遇到这样的温度。当需要最大柔性时，比如连续柔性电缆，那么使用包含大量细线的裸铜导体制成的电缆则是最好的选择。



选择导体尺寸时，要考虑其位置以及是否存在其他导体。对于给定的电流，位于发热机器外壳内的导体必须大于暴露在有空调设施的开放空间内的导体。根据表 310-16 中所示的规格“NEC 75°C”，将电机连接至驱动器的电缆中的导体载流量不低于电机满载电流的 125%。载流量定义为导体在超过温度限值之前能够承受的最大电流。额定值系数必须用于温度额定值较低或较高的绝缘材料以及环境温度较高的应用。

**表 2 电机/驱动器电缆的导体载流量建议**

导体尺寸 AWG 或 MCM	导体横截面积, mm <sup>2</sup>	75°C 条件下的载流量, NEC 表 310-16, A
20	0.5	5
18	0.8	7
16	1.3	10
14	2.1	15
12	3.3	20
10	5.3	30
8	8.4	50
6	13.3	65
4	21.2	85
2	33.6	115
1	42.4	130
1/0	53.5	150
2/0	67.4	175
3/0	85.0	200
4/0	107.2	230
250MCM	126.6	255
300MCM	152.0	285
350MCM	177.4	310
400MCM	202.7	335

## 屏蔽

屏蔽电缆的用途往往会被误解。屏蔽可用于单个导体、导体对以及整条电缆。在大多数电缆中，会有护套覆盖住屏蔽材料。总屏蔽和绞合电线的组合有助于减少电缆的电磁辐射。屏蔽还可以防止外部辐射或静电场进入电路并干扰正常的信号传输。这对于传输反馈和其他低电平信号的电缆尤其重要。

旋变电缆和其他反馈电缆通常会有好几个防电气干扰等级。首先，将单独的线对绞合在一起，以减少模拟和数字信号的电磁辐射。然后，将每对绞线置于屏蔽中，以减少相邻绞线对之间的串扰。有时候还需要使用铁氧体磁珠、夹紧式铁氧体铁芯和电容来减少电磁干扰 (EMI)，最后的亚铁型总屏蔽可以提供最高级别的电磁和静电干扰防护，并可以减少关键应用中的辐射。这些通常涉及航空、国防或生命支持应用，但也会出现在现代工业设备中，以确保符合工业设备的电磁兼容性 (EMC) 指令要求。

有必要了解 EMI 噪声的耦合因素，以及抑制此类噪声所需的屏蔽类型。使用箔片屏蔽电感耦合噪声最多是没有效果，但如果接地不当的屏蔽变为散热器，就可能会使情况恶化。辐射噪声有时只会影响距离超过  $\frac{1}{2}$  波长的另一个设备，这就是为什么 EMC 规定的辐射从 30 MHz 开始。事实上，如果天线波长为  $\frac{1}{20}$  (或 0.5m)，30 MHz 的高功率信号可以被 5 米以外的任何设备接收。唯一的问题就是干扰的程度。

其他时候，这个频率的电磁波可能以更小的频率感应耦合。虽然它将不能被描述为一个 30 MHz 的电压信号，但这仍是个问题。为抑制此类噪音，应该使用覆盖面积至少为 80-95% 的编织屏蔽，或双绞线屏蔽。所有连接器都必须是金属的 (金属化塑料可能无效)。最佳实践就是屏蔽噪音源和接收器，并禁用耦合方法。使用合适的屏蔽就可以做到这一点。

这可能不是那么明显，但在某些应用中，即使是电源线也需要屏蔽。电源线屏蔽包含导体中产生的 EMI 辐射，以保护相邻设备和接线。通常，运动控制器使用高频开关电流驱动各种类型的步进和伺服电机，以最小化功率半导体元件中的损耗。所涉及的参数为  $dv/dt$ ，即开关信号的上升时间或下降时间与开关半导体时的电压幅值之比。 $dv/dt$  幅度较大的开关电压会在电源线周围产生具有较高干扰的电流，必须加以屏蔽。可轻松地通过其他系统对这些进行电容耦合。电源线是 EMI 的主要来源，最终会与工厂环境中的其他机械进行电感耦合。工业机械的屏蔽频率要求达到 30 MHz，且医疗设备要求更高。

适当接地的总屏蔽也会提供额外的冲击防护。如果电源线的绝缘受损且导体暴露在外，则在对他造成伤害之前，它很可能会与接地屏蔽短路并使断路器或保险丝跳闸。

## 连接器

连接器的选择不仅会影响电缆类型的选择，也会影响电缆的整体可靠性。每增加一个连接，可靠性就会相应降低。



最大限度地减少连接器的数量，同时最大程度地延长电缆使用寿命，提高适用性，其中成本为变量。在要求较小弯曲半径的系统中，可选择扁平电缆。由于大多数电机不适用这些电缆的连接器，所以必须做出妥协。要么在电机连接器内端接电缆，要么必须使用电缆间连接器。对于通常用于切割应用和电子装配设备中的龙门系统，两个运动控制轴（X 和 Y）通常需要使用穿过移动轨道的互连电缆组件。较小弯曲半径则要求使用特殊的扁平电缆连接器，将数据、电源、电机电流和 DC 总线电压传输至机器的移动头。通常由连接器在头部分离信号，以便于更换，但会提高连接器的成本，降低可靠性。

## 认证和标志

购买已获得地区标准认证的电缆有助于确保顺利地整个系统的认证。《美国电气法规》(NEC) 是各种标准化电缆的主要参考源。它要求表格必须印刷清晰，以指示导体大小、电压、温度、绝缘信息以及清单标记。在美国市场上销售的电缆适用的标记为 UL（美国保险商实验室）、CSA（加拿大标准协会）或两者兼有。在欧洲使用的电缆必须符合 CE 低压指令和 EMC 标准，并且应加上相应的标志。针对 EMI 合规性的 CE 测试（如 CISPR 11）要求将辐射控制在 1 GHz。这要求使用带编织屏蔽和 360° 覆盖的电缆。

# NEC

电缆护套上印有 UL 标志表明该电缆已经通过了 UL 认证。然而，UL 只对电缆进行安全评估，以确保用户使用电缆的安全性。测试机构并不关心各种电缆质量，如易剥离性、易端接性和易焊接性，或多个导体之间是否存在串扰。此外，连接至电机或驱动器的电缆上的 UL 标记并不能表明电机和驱动器都已经过测试，并在 UL 中列出。



## 请联系科尔摩根，获取相关解决方案

科尔摩根不止是供应商。我们还是合作伙伴，专为您的成功助力。我们可以为您提供工程师间的直接沟通支持，让您的工程师与我们创建运动控制系统和了解如何解决专业机器需求的设计人员直接联系。我们的自助设计工具可以帮助您完成产品的在线建模、选择和优化。凭借我们遍布全球的制造、设计、应用和服务中心，我们可以始终为您提供可靠供应、联合设计专业知识和个性化支持，这些都是其他合作伙伴无法提供的。无论您是在升级现有机器，还是在为客户设计将定义尖端水平的下一代机器，我们都能帮助您完成卓越的工程设计。

即刻探索您机器的潜力！ 请访问 [www.kollmorgen.cn](http://www.kollmorgen.cn)