

哪种伺服位置反馈设备 适合您的应用？

闭环伺服系统的精度和响应速度取决于位置反馈设备的质量。另外一些设备也具有能显著改善机器生产率和安全性的功能。了解可用技术，以便根据自己的需求做出正确的选择。

什么是位置反馈设备？

位置反馈设备可测量电机机械输出相对于固定部件的位置。对于标准旋转电机，这种设备可测量轴/转子相对于电机外壳/定子的位置。对于直线电机，这种设备可测量运动线圈相对于静止磁体结构的位置。运动速度甚至加速度都可通过随时间对位置的测量来计算。

基于各类模拟传感器的位置反馈设备有很多种。常见的传感类型包括：

- 光学传感，例如科尔摩根的多圈绝对式智能反馈设备 SFD-M
- 电感式传感，例如旋转变压器或海德汉的 EQI 系列设备
- 电容式传感，例如 SICK 的 EEM37 系列设备

每种传感类型在成本、尺寸、性能、坚固性和工作温度方面都各有利弊。

对于标准旋转式伺服电机，位置反馈设备通常安装在电机后部之中。如图 1 所示，这是安装有 SFD-M 反馈设备的科尔摩根 AKM2G 伺服电机的分解图。

为什么伺服电机需要位置反馈设备?

有些电机在工作时不需要位置反馈设备，例如交流线控电机、变速感应电机和步进电机。但对于需要精确运动控制的应用来说，在没有位置反馈设备的情况下，以开环模式运行电机会影响运动质量，原因如下：

- 无法保持恒定的机械位置
- 需要恒速时，速度调节能力较差
- 变速缓慢
- 点到点的定位的移动时间很长
- 运动平稳性较差
- “迷失”方向，例如，停在非常错误的位置
- 热效率低或需要指定更大的电机尺寸。

闭环系统中的位置反馈设备
可实现**精确的运动控制**。

通过跟踪在伺服控制回路中测得的电机位置，可消除所有这些问题。

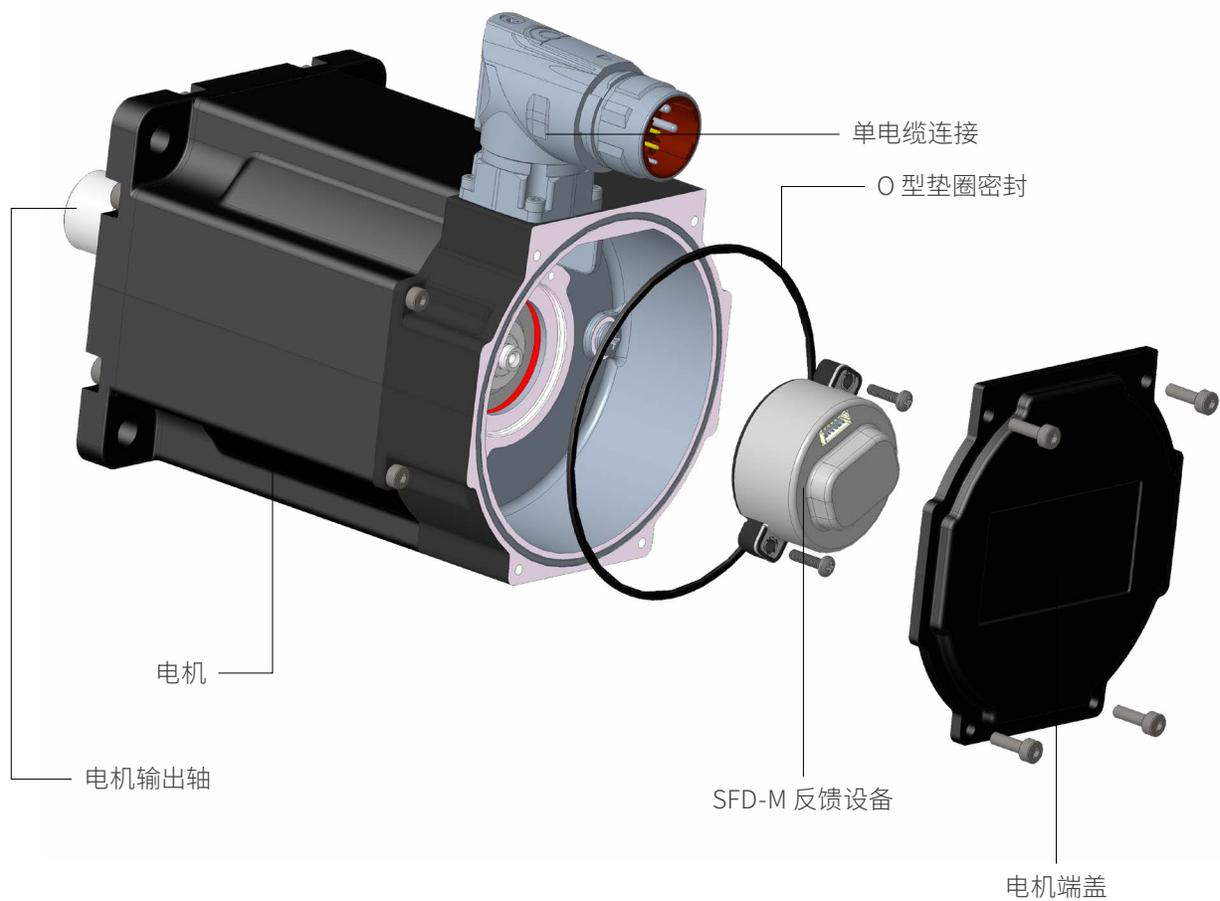


图 1. 带 SFD-M 反馈的科尔摩根 AKM2G 伺服电机分解图

如何使用位置反馈？

伺服控制环路

测得的电机位置数据由电子控制器（即电机驱动器）在伺服控制环路中使用。

伺服控制回路的目标是持续驱使误差值尽可能小，换句话说，就是促使反馈传感器模块的输出尽可能接近输入指令值。

在图 2 中，标有反馈传感器的模块便是系统中伺服电机的位置反馈设备。理想情况下，伺服环路设法驱使电机输出位置（由反馈设备测量）尽可能接近指令位置。在图 2 的变体设备中，反馈传感器模块利用对测量位置的微分计算来提供速度反馈，并通过环路控制电机速度。

可以说，位置反馈设备的质量是影响伺服系统运动质量重要的因素。这一结论源于这样一个事实，即伺服环路无法直接驱使输出位置与输入命令相匹配。相反，它会驱使反馈值与指令相一致。反馈传感器的任何测量误差都会导致电机实际位置的误差/失调。

伺服控制环路非常紧凑（即误差信号非常小）时，实际输出位置的误差则与反馈传感器的测量误差成反比。设想一个反馈位置传感器在测量位置有循环纹波误差。驱动器发出恒速指令时，电机的实际运动将产生反向循环波动，进而抵消反馈传感器的测量误差。

位置反馈设备越好，产生的运动效果就越好。然而，对于安装在电机内部的设备来说，其实际性能表现有限度。

大多数情况下，电机需要驱动某种形式的机械联动装置，如皮带轮、齿轮箱、联轴器或导螺杆。这些机械装置在端部的运动才是关键所在。即使电机轴的运动很理想，连接机械装置末端的运动也不可能完美无缺。这些连接机械系统需要大量的成本和精心设计，才能避免在电机轴上出现几弧分的测量误差。

因此，使用精确度在几弧秒内的定位反馈设备并不能显著改善连接机械末端的运动，运动质量才是最关键的。

电机的电子换向

很多电机要求交流波形以适当的方式同步，以实现所需的运动。在最初的有刷电机中，这种同步是通过机械换向器实现的。在无刷永磁伺服电机中，位置反馈设备为驱动器提供其所需的信息，以便根据特定运动任务的要求，以电子方式同步激励电机绕组。电机绕组的电子换向可带来许多性能优势，例如，可减小电机体积并降低成本，进而实现指定的机械功率和扭矩规格。某些类型电机的电子换向需要电机电循环内的绝对位置信息。

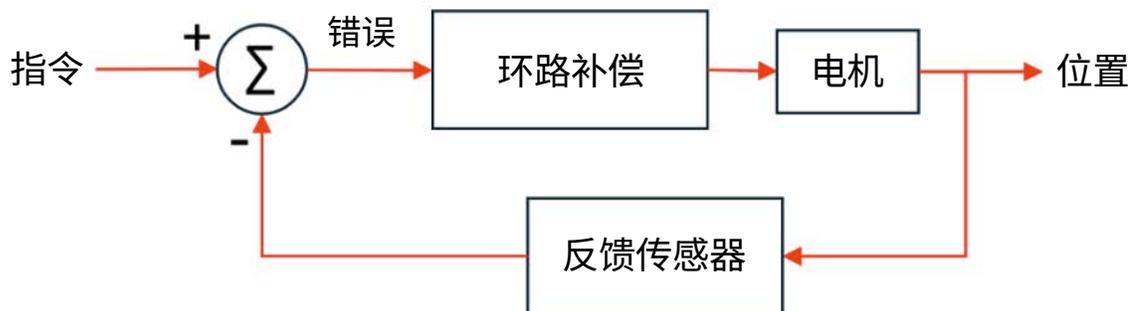


图 2. 基本伺服控制环路

什么是绝对位置？

基本的位置反馈设备可提供增量位置。这意味着当设备通电时，无论转子的实际物理位置如何，设备始终报告为 0 位，然后测量自上次通电后移动的增量距离。对于某些应用（如匀速运动），这就是所需的全部信息。

然而，大多数应用都需要知道操作空间内的实际位置。绝对位置反馈设备可提供相对于 0 位的位置，该位置始终是固定的，而不是通电后在不同位置重新设置。这种位置称为绝对位置。绝对位置反馈设备有多种类型，按绝对位置范围区分：

换向器

通电时一个电机电循环内提供足够的绝对位置信息，以便对电机进行电子换向。对于位置反馈，在一个电机电循环（小于电机一整转）内只提供增量位置或绝对位置。例如，增量式编码器 + 霍尔效应传感器或多速旋转变压器。

单圈绝对值

单圈绝对值：通电时在 0 至 360 度的机械旋转范围内提供完全正确的绝对位置值。例如，单速旋转变压器和一些光学、电容或电感式设备。

多圈绝对值

提供机械旋转一圈内的绝对位置，同时还能跟踪完整旋转圈数。通常，多圈绝对式反馈设备的计数能力从 4,069 圈（12 位或 2^{12} ）到 65,536 圈（16 位或 2^{16} ）不等。多圈绝对式反馈可通过以下四种基本方式实现：

1. 断电时将当前位置保存到非易失性存储器，通电时恢复。
 - 断电时不得移动电机位置。
 - 成本低，应用范围较窄。
2. 用备用电池为转数计数器供电。
 - 在断电状态下可自由移动电机。
 - 电池存在成本和维护问题，而且需要占用空间。
 - 长时间断电有可能造成生命危险。
3. 使用带有独立读数的齿轮。例如，SICK DSL 或 Heidenhain EnDat。
 - 在断电状态下可自由移动电机。
 - 齿轮能使编码器变大，电机长度更长。
 - 齿轮价格较高，安装公差要求严格。
4. 能量收集。在断电状态下，手动移动电机可为非易失性存储器中的匝数计数器供电。例如，科尔摩根 SFD-M。
 - 在断电状态下可自由移动电机。
 - 比齿轮更坚固耐用，转数范围更大。
 - 比齿轮小，成本低，对公差精度的要求也更低。

几乎所有应用都能从多圈绝对位置反馈中受益。例如，在将电机旋转转换为有限范围线性运动的应用中（如 X-Y 工作台），多圈绝对反馈可在通电后立即提高生产率，而无需耗时的归位程序或昂贵的归位传感器和布线。

一直以来，对位置反馈设备增加多圈绝对功能的成本都很高，这意味着很多应用都无法享受到这一功能带来的优势。现在，这种限制已不复存在。科尔摩根的 SFD-M 位置反馈设备表现尤为出色，与单圈增量设备相比，其无需额外成本，即可提供多圈绝对功能和能量收集技术的所有优势。

反馈设备的重要规格

确定位置反馈设备性能和用途的规格包括：

- 分辨率** 可测量的最小运动距离。也称为位置量。分辨率通常指定为二进制位数/转数。在达到递减转回点前，位数/转数越高越好。该值还决定了通过位置微分确定的速度分辨率。对于典型的工业旋转伺服电机，至少需要 16 位/圈，比较好的是 24 位/圈，这样每机械旋转一圈就能得到 $2^{24} = 16,777,216$ 个不同的测量位置。超过 24 位/转后，位置精度的效益会降低。
- 精度** 设备测量位置与电机实际精确位置之间的差值。精度通常指的是与真实位置的最坏情况误差，用 +/- 弧分角表示。精度几乎总是比分辨率大得多（差得多）。
- 速度波动** 若实际速度恒定，则微分法测量的位置速度估值会因测量位置误差而出现波动。测量值中的速度波动振幅与速度成正比，因此速度波动用 % p-p 表示。波动 rpm = (纹波百分比)*(电机 rpm)。速度纹波由位置精度误差引起，但指定的 +/- 最坏情况位置误差并不直接决定速度波动百分比。
- 位置噪声** 电机完全静止时，测得的位置值不会保持在一个固定值上。其会出现随机噪声，导致数值跳动。这种噪声是模拟传感方法的固有噪声加上由 EMI 产生的噪声（如电机绕组上的 PWM 电压）的总和。噪声通常是位置均方根值变化。在高分辨率设备中，位置噪声幅度通常介于分辨率和精度规格之间。与直觉相反的是，零噪声的位置反馈设备（称为理想量化器）并不可取。加入随机噪声后，可对位置信号进行平均处理或进一步滤波，以获得比分辨率规格更高的分辨率。最好有 1-2 个最少有效位的随机噪声。
- 带宽** 每个传感器对其输入变化的响应速度都有一定的限制。位置传感器带宽表示为当测得的正弦运动与实际正弦位置运动相比振幅下降到 -3 dB 或 0.707x 时的频率 (Hz)。位置反馈设备的带宽必须高于所需的伺服闭环运动的带宽。
- 延迟/相位** 每个传感器在从输入变为测量值的过程中都有相位滞后，甚至是延迟（时间延迟）。在指定正弦工作频率下（单位为 Hz），净相位滞后通常以电角度表示。在所需的伺服闭环带宽下，相位滞后必须足够小，以免造成稳定性问题。
- 温度** 无论环境多冷或多热，设备仍能在规格要求内正常工作。通常情况下，电机元件的工作温度上限要高于反馈设备。这意味着电机的持续扭矩受位置反馈设备最高工作温度所限制。
- 坚固性** 伺服电机应用通常涉及机械振动和所遇到的冲击，例如压机或车辆应用。每种位置反馈设备都有其可承受的机械振动和冲击范围，以确保其在规格要求内仍能正常工作。有些设备比其他设备更坚固耐用。

反馈设备的实用功能

除了测量电机位置这个主要功能之外，现代反馈设备还可能具有一些增强功能性和价值的功能，其中包括：

电机 ID

包含驱动器数字通信链路的位置反馈设备通常都有非易失性存储器。使用电机数据表值对该存储器进行编程，意味着在通电时，驱动器能知道其连接的是什么电机，并自动设置与该电机兼容。所有带存储器的科尔摩根设备都设有科尔摩根电机 ID 信息，科尔摩根驱动器可使用这些信息来完成自动设置。

热敏传感器

有些数字位置反馈设备的输入端可连接到电机绕组热敏传感器，然后通过数字通信链路将测量值反馈给驱动器。这样就无需将热敏传感器从电机一直连接到驱动器。

单电缆

与驱动装置进行数字通信的位置反馈设备只需少量导线即可工作，例如，在科尔摩根 SFD-M 或 SICK Hiperface DSL 等设备中，只需四根导线或两根导线即可工作。例如，相比需要 8 根导线的旋转变压器、需要 13 根导线的增量式霍尔效应设备或需要 14 根导线的 EnDat 2.2/01，这是一个非常大的优点。只需 2 根或 4 根反馈线，就能用一根混合电缆在驱动器和电机之间提供电机电源和反馈。相比之下，使用导线数量多的传感器或直接模拟传感器则需要两根电缆：一根用于供电，另一根用于传输反馈数据。单电缆技术意味着更少的成本和安装劳动力。

功能安全

对于现代机器来说，我们希望机器操作员能在不完全关闭机器的情况下进行操作。为确保操作员的安全，伺服系统可安装经第三方认证的功能安全性位置反馈装置。在操作员安全操作机器时，此认证功能可让有效的伺服系统保持固定位置。通常情况下，这可改善机器的平均生产效率，同时为操作员提供更安全的工作环境。



反馈设备比较表

将我们讨论过的所有性能指标、功能和特性结合起来，再加上相关定价，我们就能建立一个全面的比较图表，以此说明各种现有位置反馈设备能达到好、较好或非常好的标准。见表 1。

设备	价格	模拟或数字	初始位置	初始位置类型	分辨率	精度	速度噪声	电机 ID	单个电缆	机械坚固性	温度	电机长度	功能安全
SFD-M	低	数字	16 位	能量收集	高	高	非常低	是	是	高	高	较短	否
SFD-3	低	数字	单个	-	高	低	中	是	是	高	高	较短	否
SFD	低	数字	单个	-	高	低	中	是	是	高	高	较短	否
旋变	低	模拟	单个	-	中	低	高	否	否	非常高	非常高	较短	否
增量编码器 + 霍尔传感器	中	模拟	换向	6 步	低	中	中	否	否	中	中	较短	否
BiSS B 模拟光学	中	模拟/数字	单个	-	非常高	非常高	低	是	否	中	中	较长	否
BiSS B 模拟光学	高	模拟/数字	12	齿轮	非常高	非常高	低	是	否	中	中	较长	否
BiSS C 数字	高	数字	12	齿轮	非常高	非常高	低	是	否	中	中	较长	否
Hiperface 模拟光学	中	模拟/数字	单个	-	中	高	低	是	否	中	低	较长	否
Hiperface 模拟光学	高	模拟/数字	12	齿轮	中	高	低	是	否	中	低	较长	否
Hiperface DSL 光学	中	数字	单个	-	中	高	低	是	是	中	低	较长	否
Hiperface DSL 光学	中	数字	12	齿轮	中	高	低	是	是	中	低	较长	否
Hiperface 电容	中	数字	单个	-	中	高	中	是	是	高	低	较长	否
Hiperface 电容	中	数字	12	齿轮	中	高	中	是	是	高	低	较长	否
Hiperface DSL 电容	中	数字	12	齿轮	中	高	中	是	是	高	低	较长	是
EnDat 2.2/01 模拟光学	中	模拟/数字	单个	-	非常高	非常高	高	是	否	中	低	较长	否
EnDat 2.2/01 模拟光学	非常高	模拟/数字	12	齿轮	非常高	非常高	高	是	否	中	低	较长	否
EnDat 电感模拟	中	模拟/数字	单个	-	中	高	中	是	否	高	低	较长	否
EnDat 电感模拟	中	模拟/数字	12	齿轮	中	高	中	是	否	高	低	较长	否
EnDat 电感数字	非常高	数字	12	齿轮	中	高	中	是	是	高	低	较长	是

表 1. 位置反馈设备价格、性能和特性比较表

做出正确选择

一般运动控制应用

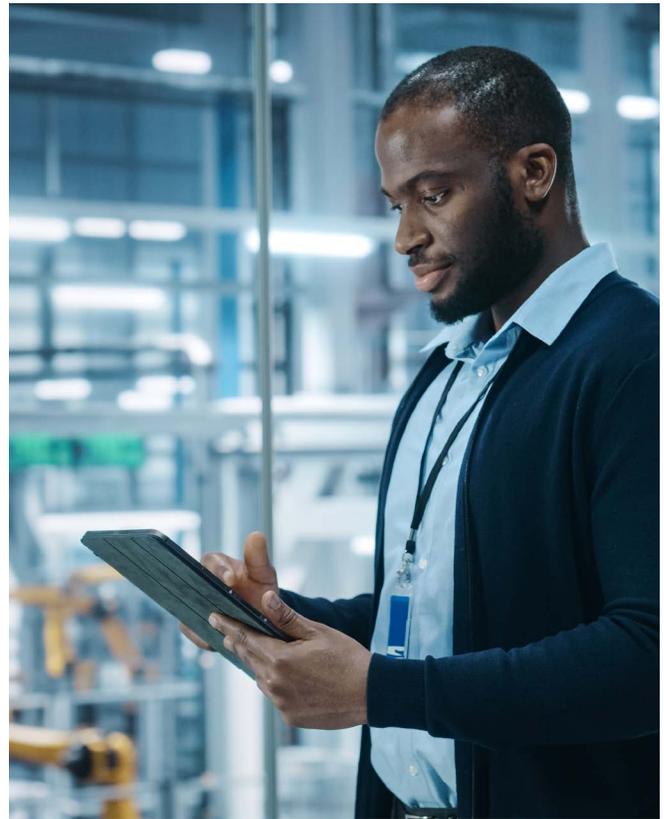
根据对比图可以看出，SFD-M 显然是大多数应用的合适选择。其优势包括：

- 性价比高
- 具有 16 位多圈绝对分辨
- 性能强劲

特殊应用建议

然而，在有些特殊应用中，SFD-M 并不是一个好选择。这些特殊情况和相关反馈设备及其订购代码已在下面列出。

1. 需要功能安全认证：
 - GU BiSS 电容安全
 - LD EnDat 电感安全
 - 相比 SFD-M 成本更高且电机更长
2. 直接驱动需要极高位置精度：
 - DA, DB EnDat 光学
 - AA, AB BiSS 光学
 - 相比 SFD-M 成本更高且电机更长
3. 未使用科尔摩根电机驱动器：
 - 选择与驱动器兼容的反馈设备



科尔摩根拥有成熟的流程和可靠的交付，伴您一路同行

我们将在初始设计阶段就与您合作，了解您的确切需求，然后为您提供所需的工程支持，以简化运动控制系统的选择、定型、配置和编程。凭借丰富的配置能力，我们可根据需要快速制作原型机、交付和迭代您的解决方案，从而在开发过程中节省数月时间。

当最终设计准备就绪时，我们将对其进行完整记录，并帮助其在任何地区通过任何必需的认证。凭借我们的精益制造、可重复的流程和质量控制，我们将快速从原型机制造过渡到全速生产，每次都按时交付您的运动控制系统。我们将提供本地化的长期支持，以在应用的整个生命周期内维持产品交付，管理成本，同时根据需要扩大生产规模。

准备好向前迈进了吗？

[联系科尔摩根](#)，与科尔摩根应用专家讨论您的需求和目标。

关于科尔摩根

作为 Regal Rexnord 旗下品牌，科尔摩根在运动控制领域拥有 100 多年的经验，致力于提供高性能且可靠的电机、驱动器、AGV 控制解决方案和自动化平台，享誉业界。我们提供的突破性解决方案在性能、可靠性和易用性方面更胜一筹，为机器制造商提供无可争议的市场优势。