

中轴转速传感器用环形磁铁易裂问题 分析及改善

陈章华, 王明娣

(苏州大学机电工程学院, 江苏 苏州 215021)

摘要: 霍尔传感器通常采用钐钴材质的单极性磁铁, 钐钴磁铁有着较高的磁能积、可靠的矫顽力和良好的温度特性, 适合在高温环境中工作。本案中采用了 36 个磁极的圆环形磁铁, 为了满足设计要求, 磁铁的材质选择了粘结工艺的钕铁硼磁铁, 这种多磁极的环形磁铁在装配过程中极易碎裂。本文对引起磁铁开裂的各种因素进行分析、试验、归纳和总结, 并着重对与磁铁装配的相关零件的尺寸公差进行研究和改进, 通过对不同供应商提供的磁铁和不同装配人员的操作进行正交试验, 从而得出了使磁铁开裂最小发生几率的方案。

关键词: 霍尔传感器; 正交试验; 磁铁开裂

中图分类号: TP212.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-0711 (2017) 04 (上) -0045-04

目前, 电动助力自行车日益受到市场的欢迎, 人们在追求出行方便的同时, 也特别关注健康、环保等方面的问题。传统的电动自行车由于其设计的缺陷, 不能实时动态地调整电机输出功率, 而智能电动助力自行车由于能够实时、动态地检测骑行者的施力状态, 并调节电机的输出功率, 从而使得骑行者在逆风或者上坡过程中达到用力不费力的驾驶感受。然而, 现有电动自行车使用的力矩传感器存在采集模拟信号数量少、速度慢和灵敏度低等问题, 使得骑行者在骑行过程中, 电机输出功率不稳定, 助力效果不明显。针对上述问题, 本论文提出了一种霍尔效应的转速传感器的设计方法。

本论文中的新的紧凑型转速传感器底部支架使用非接触式的测量方式来判定自行车的速度、旋转方向和旋转角度。该系统具有更高的设计精度, 在启动和停止驱动系统时, 由于更短的响应时间可获得更精确的控制和更灵敏的驱动反映, 从而对骑行者提供最佳辅助。环形磁铁由同等尺寸的 36 个磁柱组成, 中轴每旋转一圈, 36 个磁柱与 PCB 上的霍尔 IC 元件便产生相对运动。从而产生 36 个脉冲信号。基于传感器的工作环境和尺寸精度, 磁铁选用钕铁硼材料粘结工艺, 但是这种磁铁存在两个问题: 第一, 因为磁铁是由多磁柱组成, 装配过程易使磁铁开裂, 产品报废率高; 第二, 磁铁的单个磁柱宽度公差太小, 这对磁铁的制程能力具有很大挑战。本文针对装配过程中磁铁开裂问题展开了详细研究, 通过公差调整、多次试验并不断改进, 从而找出了使磁铁开裂最小发生几率的方案。

1 磁铁裂纹的产生原因

1.1 材质分析

磁铁的种类很多, 通常分为永磁和软磁两大类, 传感器使用永磁磁铁。永磁磁铁材质主要有以下几类。

(1) 钕铁硼: 它是目前发现商品化性能最高的磁铁, 被人们称为磁王, 拥有极高的磁性能, 本身的机械加工性能相当好。工作温度最高可达 200℃, 而且质地坚硬, 性能稳定, 有很高的性价比, 应用极其广泛。钕铁硼磁铁可分为粘结钕铁硼磁铁和烧结钕铁硼磁铁, 两者区别主要在工艺。粘结钕铁硼磁铁是由钕铁硼磁粉加入粘合剂而制成, 它实际上就是注塑成型; 而烧结是抽真空通过高温加垫成型。烧结钕铁硼是粉末冶金工艺, 材质本身很硬, 硬度约为 560 ~ 580HV, 但是相当脆, 它具有高抗退磁性, 但温度稳定性一般。粘结钕铁硼工艺简单, 料少工序少, 而烧结钕铁硼的工艺技术太差, 它们价格相差很大。粘结钕铁硼是由快淬 NdFeB 磁粉和结合剂混合通过压制成型制成磁体。粘结磁铁的尺寸精度高, 可做成形状相对复杂的磁性元件。粘结钕铁硼的机械强度高。

(2) 铁氧化体: 通过陶瓷工艺法制造而成, 质地较硬, 属脆性材料, 由于铁氧化体有很好的耐温性、价格低廉、性能适中, 已成为应用最为广泛的永磁体。

(3) 铝镍钴: 是由铝、镍、钴、铁和其它微量金属元素构成的一种合金。该材料有着最低可朔温度系数, 工作温度可高达 600℃ 以上。它的可加工性好, 该材料广泛应用于各种仪器仪表。

(4) 钐钴 (SmCo): 因其材料价格昂贵受到限制。它有着较高的磁能积, 可靠的矫顽力和良好的温度特性。与钕铁硼磁铁相比, 钐钴磁铁更适合工作在

高温环境中。

根据传感器的设计要求，本文选择了结粘的钕铁硼磁铁。但不管上面哪种材质的磁铁，都是硬而脆的，在运输、装配过程中，应确保磁体不受剧烈撞击，如果方法不当，容易引起磁体的破损、崩裂。

1.2 设计分析

1.2.1 磁铁设计

磁铁的设计要求是最低充磁量为 760mT 磁通量，磁铁是由 18 对 NS 极磁柱构成的圆柱环（图 1），这种由 18 对 NS 极粘结而成的磁铁在结构上通常比只有一对 NS 极的磁铁更易开裂。基于对 500 个磁铁随机进行装配检测，发现磁铁开裂率为 3%。



图 1 磁铁简图

1.2.2 磁铁与磁铁支撑套装配导致磁铁开裂

磁铁是与磁铁支撑套直接装配在一起的（见图 2）。磁铁支撑套材质为 PA66+GF25 尼龙料。磁铁支撑套外圈有 6 个均布的半圆柱筋条，这 6 个半圆柱筋条与磁铁内圈形成过盈配合，只有过盈配合才能保证磁铁随着磁铁支撑套作同步旋转。磁铁支撑套的外筋圆直径和内筋圆直径最初设计的尺寸公差为 $\phi 19.2+0.2$ ， $\phi 16.8\pm 0.1$ 。磁铁最初设计的内径为 $\phi 19.1+0.15$ ，当磁铁装在磁铁套上时，虽然磁铁支撑套上的 6 个装配筋可部分吸收磁铁内圈的挤压而使筋作适当微变形，但终究会由于过大的过盈量而易使磁铁开裂。

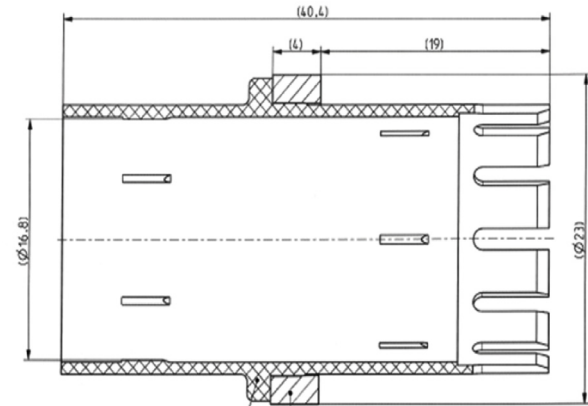


图 2 磁铁和磁铁支撑套装配图

1.2.3 磁铁在装配治具上易引起磁铁开裂

磁铁安装时，首先将磁铁支撑套放在指定的治具孔内，然后将磁铁预套在磁铁支撑套的外圈半圆筋条上方，以合适的速度匀速下压装配治具把手，治具的上接触面会迫使磁铁往下作垂直运动，治具带动磁铁往下运动直至磁铁接触到磁铁安装套的止动面时装配才会停止。由于和磁铁接触的装配治具下压面是金属材质，这种硬碰硬的接触使得磁铁很容易碎裂。随机抽取 500 只磁铁在此治具上进行装配，有 12 只磁铁破裂，磁铁开裂率为 3%，此开裂比率是不能够满足质量要求的。

1.2.4 磁铁安装套与中轴装配时易引起磁铁开裂

磁铁安装套内壁均布着 2 排共 12 个半圆柱筋条，这 12 个筋形成的圆直径最初设计为 $\phi 16.8\pm 0.1$ 。图 3 为中轴图纸，磁铁安装套需安装在中轴中间位置直径为 $\phi 16.9\pm 0.08$ 的区域。安装时，磁铁安装套内孔需经过中轴一端的轴承安装区域（轴承安装区域的中轴直径为 $\phi 17+0.01$ ）。磁铁安装套内孔在经过中轴轴承安装区域时，由于轴承区域的直径较大 $\phi 17+0.01$ ，而磁铁安装套内径上的安装筋的匹配直径只有 $\phi 16.8\pm 0.1$ ，因此这 12 个筋条在装配时会适当挤压变形。当磁铁安装套继续移动至中轴中间位置时，变形后的 12 个装配筋条会与中轴中间部分（直径 $\phi 16.9\pm 0.08$ ）继续形成过盈配合，见图 4。这种最终位置确定下来的过盈状态能够使磁铁安装套和磁铁与中轴作同步旋转而不丢步。但是，在装配中轴的过程中，发现有近 1% 的机率使得磁铁再次开裂。



图 3 中轴图纸

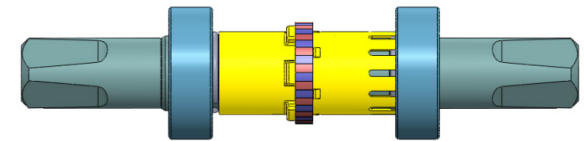


图 4 磁铁支撑套与中轴装配简图

1.3 磁铁供应渠道分析

在磁铁材料钕铁硼相同的粘结工艺条件下，基于价格因素，最初选用了供应商 UMAG 生产的磁铁。经对 50 个随机样件磁铁径向耐破测试，其径向

耐破硬度达平均到 80N。而磁铁设计的径向耐破硬度为 $80 \pm 5\text{N}$ ，其径向耐破硬度是能满足设计要求的。对随机样件进行检测时发现此供应商生产的磁铁实际精度比设计标准略低，抽样中磁铁每个磁柱的实际宽度公差仅为 $10^\circ \pm 1^\circ$ ，而设计要求公差为 $10^\circ \pm 0.5^\circ$ ，因精度无法满足设计要求需要重寻新的磁铁供应渠道。

2 磁铁开裂的设计优化及解决方案

2.1 磁铁设计优化

磁铁内圈 ($\phi 19.1 + 0.15$) 与磁铁支撑套 ($\phi 19.2 + 0.2$) 的匹配间隙为 $(-0.3 \sim +0.05)$ ，即最大过盈量为 0.3，最小过盈是 -0.05 (间隙配合)，这就会出现部分磁铁会装配碎裂和部分磁铁会出现间隙配合的情况，从而导致产品功能失效。功能失效是产品最严重的缺陷，磁铁与磁铁支撑套配合既要保证过盈配合，还需保证过盈量适中不会导致磁铁开裂。因此需对磁铁内径尺寸进行改进，改进后的内径为 $\phi 19 \pm 0.05$ ，同时磁铁支撑套外圈的 6 个匹配筋条外径也需做适当调整，调整后的配合公差下节将会提及。

2.2 磁铁支撑套装配设计优化

磁铁内径尺寸改进之后，磁铁支撑套外圈上的 6 个安装筋外径也需作相应调整，由原来的 $\phi 19.2 + 0.2$ 更改为 $\phi 19.1 + 0.15$ 。磁铁和磁铁支撑套同时优化尺寸后，其新的匹配尺寸公差为： $-0.3 \sim -0.05$ ，即最大过盈量为 0.3，最小过盈量为 0.05，因为最大值和最小值均为过盈配合，所以磁铁会一直随着中轴的旋转作同步旋转，同时磁铁开裂的几率并没有改善，因为最大过盈量没变，仍是 0.3。

2.3 磁铁装配治具的改进

压装磁铁的治具在最初的设计中，治具上与磁铁接触使磁铁下降的装配面是金属材料，这种硬碰硬的接触使得磁铁很容易碎裂。经改进后，在压装治具上与磁铁接触的金属表面装上一层厚度为 5mm 的橡胶垫，用以缓冲磁铁装配时的变形，从而降低磁铁开裂的几率，改进后磁铁开裂几率由最初的 3% 降低于 1.5%，改善效果明显。

2.4 磁铁安装套与中轴装配的改进

在最初的设计中，磁铁支撑套经过中轴轴承位置处时，其匹配间隙为 $-0.31 \sim -0.10$ ，最大最小值都是过盈配合。磁铁支撑套最终安装至中轴中部时，其匹配间隙为 $-0.28 \sim +0.08$ 。当磁铁安装套组件装配到中轴上时，会出现 1% 的磁铁再次开裂。现对磁铁支撑套内部 12 个筋形成的内径从最初的 $\phi 16.8 \pm 0.1$ 调整为 $\phi 16.8 \pm 0.075$ ，磁铁支撑套与中轴轴承处匹配间隙优化后的尺寸是 -0.285

~ -0.125 。最大过盈量比最初小了 0.025。而中轴中间位置的直径从最初的 $\phi 16.9 \pm 0.08$ 调整为 $\phi 16.93 \pm 0.05$ ，磁铁支撑套与中轴中间位置匹配间隙优化后的尺寸是 $-0.255 \sim -0.005$ ，最大过盈量比之前小了 0.025。通过上面两处尺寸的优化，并对 500 套中轴装配进行统计后发现，磁铁再次开裂的几率从原先的 1% 降到 0.3%。

2.5 磁铁供应商的重新选择

最初选择供应商 UMAG 的磁铁，虽然磁铁径向耐破硬度能够满足设计要求 $80 \pm 5\text{N}$ ，但是磁铁单个磁柱的实际宽度公差仅为 $10^\circ \pm 1^\circ$ ，不能满足设计要求 $10^\circ \pm 0.5^\circ$ ，因此重新选择了使用相同磁铁（钕铁硼粘结磁铁）的新供应商 HPMG。HPMG 第一次送样的样件，经实测每个磁柱是能满足单个磁柱的尺寸公差 $10^\circ \pm 0.5^\circ$ 的要求，但径向耐破力测试后发现，抽样 10 只平均径向耐破力只有 65.2N，明显低于设计要求的 $80 \pm 5\text{N}$ 。通知供应商进行工艺改进后，HPMG 第二次送样，再次抽样后，其单个磁柱宽度公差仍在设计范围内，其平均耐破硬度也明显得到提高，达到 80.4N，经对 500 只磁铁的装配进行统计，由于压装磁铁的治具上装了橡胶垫，这种情况下最新磁铁的开裂率已减少到 4‰（表 1）。

表 1 磁铁径向耐破力测试

N

送样批次 零件编号	UMAG	HPMG 第一次送样	HPMG 第二次送样
1	78	70	78
2	78	62	78
3	86	62	78
4	78	70	78
5	78	62	86
6	86	62	78
7	78	70	86
8	78	70	78
9	86	62	78
10	78	62	86
AVG	84.4	65.2	80.4

2.6 操作人员对磁铁开裂的影响

装配时还发现，男性装配人员比女性装配人员出现磁铁开裂的几率更高，这是因为男性在压装磁铁时，其手柄下压的加速度通常要高于女性，这会导致磁铁变形过快而开裂。因此，对磁铁装配站专门编写了操作说明书，要求操作人员匀速缓慢下压磁铁，此站位专门安排女性操作人员，并对操作人员进行演示培训。经过以上所有的改进措施后，对 2000 只磁铁进行装配统计，并未发现磁铁开裂的现象。

自动化设备维修与管理分析

李明

(惠阳航空螺旋桨有限责任公司, 河北 保定 071000)

摘要: 目前航空业制造精度要求越来越高,自动化设备可以精确地用数据去衡量加工的准确性,以保证生产产品的质量,自动化程度越高越说明其内部结构以及逻辑控制越复杂,做好这种复杂设备的维修管理非常困难,本文就自动化设备的维修与管理做了经验分析。

关键词: 自动化设备; 维修; 管理

中图分类号: TP207

文献标识码: A

文章编号: 1671-0711 (2017) 04 (上) -0048-02

随着科学技术的发展,工业制造越来越高级,主要是设备生产工艺,越来越多的工厂开始使用逻辑程序控制的自动化设备,自动化设备的引进给工业生产效率带来了飞速的提高,这也是工业 3.0 以来的工业变化,随着工业 4.0 的推广,工业生产越来越自动化。自动化程度越高对于维修管理人员的自身素质需要就越来越高,设备故障点也越来越不好寻找,为提升自动化设备的使用效果,需企业对员工技术培养要更加专业化。自动化设备可以在生命周期内给企业制造更多的产品去创造利润,我们要全方位的去维护管理自动化设备以保证设备的完好率和生产效率。

1 当前自动化设备的特点分析

目前我们运用自动化设备主要有以下几个特点:其一是高度柔性化。通过变化生产或试验产品的模具、工装以及结构形式,可以生产或试验不同的产品或性能,而无需更换设备。这对于多元化的工厂来说是一个便利条件,我们在切换不同产品时无需

重复采购新设备提高资金投入;其二是自动化设备的安全性。自动化设备都有一套全方位的安全保护系统,能够在任何一个安全点被触发时停止设备的运行,这样可以保证设备和维修人员的安全,另一个好处是在加工或试验过程中,受到威胁时可立即停止以保护产品不至于报废;其三是网络化程度高。有些自动化设备可以通过网络将设备的状态信息和生产或试验的讯息直接上传至指挥中心,以方便调度管理加工或试验工序的统一规划,以及库存管理、物流安排等方面,这样可以让工厂整体流程秩序井然。

2 如何提高自动化设备的维修及管理

2.1 制定一套科学的自动化设备维修管理制度

想要自动化的设备正常并且稳定的工作,就必须有一套既科学又规范的维修管理制度来维护,只有这样,才可以确保设备能够正常运行。第一,要建立一个详细真实的运行数据库,记录下自动化设备在平时工作中的电气参数与指示状态(例如数控

3 结语

经过以上多次试验和设计及装配验证,得出磁铁开裂的因素主要有如下几点:第一,磁铁的材质和磁铁的结构组成。第二,磁铁内径与磁铁支撑套外径的匹配过盈大小。第三,磁铁安装套内径与中轴相关匹配直径的过盈大小。第四,磁铁装配治具的设计。第五,装配操作方法。基于确定的磁铁材质,在磁铁与磁铁支撑套过盈配合、磁铁支撑套与中轴过盈配合的前提下,必须设计出合适的匹配过盈量,装配磁铁的治具与磁铁的接触面需设计为橡胶材质,同时保证装配人员匀速缓慢的下压装配,才使得磁铁在装配过程中出现最小的开裂几率。

参考文献:

- [1] 郭海燕. 我国电动自行车发展及现状 [J]. 中国自行车协会, 2006,(3).
- [2] 杨变英. 高性能粘结磁铁 [J]. 1995 (2).
- [3] 宋后定 陈培林. 永磁材料及其应用 [M]. 机械工业出版社, 1984.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准软磁金属材料: GB/T 21220-2007 [M]. 中国标准出版社, 2007.
- [5] 曲径臣. 当今磁性最强的磁铁 [J]. 辽宁大学学报自然科学版, 1996,(2).
- [6] 盛名忠. 钕铁硼高性能永磁体制造 [J]. 宁波宁港永磁材料有限公司, 2014,(12).