

# 关于永磁电机转子磁钢装配工艺和工装的讨论

薛亮 王黎

西安辰安电气有限公司 陕西西安 710000

**摘要:** 本文浅谈了发展永磁电机的优越性和转子结构特点, 以此进一步针对电机的转子结构部分进行深入研究, 讨论了转子磁钢装配过程中可能会遇到的问题, 从而指出装配工艺方法和工装设计思路, 希望能够在一定程度上对永磁电机的研究及发展起到促进作用。

**关键词:** 永磁; 电机; 工装; 工艺方法

## Discussion on the assembly process and tooling of permanent magnet motor rotors

Liang Xue, Li Wang

Xi 'an Chen 'an Electric Co., LTD., Xi 'an 710000, China

**Abstract:** This paper briefly discusses the advantages of developing permanent magnet motor and the characteristics of rotor structure, in order to further study the rotor structure of the motor, discusses the problems that may be encountered in the assembly process of rotor magnetic steel, and points out the assembly process methods and tooling design ideas, hoping to promote the research and development of permanent magnet motor to a certain extent.

**Keywords:** Permanent magnet; Electric motor; Process equipment; Process method

### 引言

随着全球经济和科技的飞速发展, 对于能源的需求日益增长, 在许多尖端领域和生产系统中, 一方面传统电机存在的一些缺陷越来越无法满足需要, 另一方面石油、煤炭等非再生资源的日渐枯竭和环境问题也成为人类愈发关注的焦点。如何解决这些问题, 成为我们各行各业都要重点研究的课题。随着科学技术的进步, 永磁电机由于比传统电机在多方面存在一定优势, 因此逐渐成为各种自动化设备、大型机械设备、军事武器装备中的重要组成部分, 比如在精密仪器、新能源汽车、航空、风力发电等行业的应用, 产生了巨大作用。

我国拥有世界上规模最大、门类最齐全、产业链最完整的制造业。工业和信息化部近日公布的数据显示, 2022年, 我国制造业增加值占全球比重近 30%, 制造业规模已经连续 13 年居世界首位。并且随着改革开放以来, 教育的普及使得更多的优秀人才不断涌现, 技术的不断迭代、设备的不断更新、成本的低廉, 使得我们拥有了较为先进的研发水平、工艺设计水平、基础材料水平和制造水平, 从而推动我国加快实现制造业高端化, 这是我们进行高端设备制造的基础。众所周知, 永磁体是永磁电机最重要的结构组成部分, 而稀土是永磁体的主要组成成分, 而我国恰恰拥有丰富的稀土资源, 是世界第一稀土资源大国, 据美国地质调查局 2015 资料显示, 世界稀土储量为 1.3 亿吨(以稀土氧化物 REO 计), 其中

中国为 5500 万吨。稀土资源在全国分布广泛, 矿点分布合理, 22 个省市自治区都发现有稀土矿藏, 而且具备品种齐全, 储量大, 品位高等优势。

因此, 我国发展永磁电机极具竞争力。

### 一、永磁电机与传统电机的区别

#### 1. 结构区别

与传统交流异步电机相比, 永磁电机的定子部分结构基本相同, 区别不大, 其主要的区别在于转子部分的结构。传统交流异步电机的转子(如图 1)采用励磁绕组, 转子线圈嵌入后, 还需要极间连线、相导线、中性环、转子相引出线与线圈相连, 在转子后端需要安装滑环、刷架、碳刷与滑环室, 而直流电机更是还需要换向器。而永磁式发电机由于采用永磁体代替转子线圈, 则省去了以上这些结构, 减少了很多零部件, 使得发电机内部结构设计排列得很紧凑, 整机结构简单很多, 体积、重量也大为减少(如图 2)。例如我所处的风电领域, 大型的永磁直驱风力发电机的转子大体上仅需转子支架、压条、永磁体即可, 而小型的永磁同步发电机可以采用硅钢片叠压铁心部分, 然后在安装永磁体。永磁体一般采用两种形式安装, 一种是表贴式, 一种是内嵌式。表贴式就是将永磁体与转子铁心或转子支架的外圆部分紧贴, 然后使用压块或者压条压紧永磁体, 转子支架结构的电机通常采用这种方式(如图 3)。内嵌式就是将永磁体嵌入转子铁心

的内部(如图4),通常由硅钢片叠成的小型永磁电机采用这种方式。

在性能方面,正是由于永磁电机省去了绕组线圈,是永磁体直接产生磁场,所以意味着它不存在转子线圈的电励磁和相应的损耗,相比传统交流异步电机的转子温升低很多,同时又免去了碳刷、滑环等多个零部件之间摩擦产生的机械损耗,使得永磁式发电机效率大为提高。结构的不同,使得永磁电机相比传统电机拥有另一个较为明显的优势:故障率更低,可靠性大为提高。因为传统绕线式电机,在运行一段时间后,常见的故障包括绝缘破损导致的电机烧毁、碳刷和滑环磨损、转子相引出线破损熔断、转子风扇撕裂等,这些都是能够造成电机直接损毁的重大故障隐患,尤其在我所熟悉的风电领域,可靠性是第一位,一旦出现以上所述的这些故障,基本都无法在工作现场修理,只能将发电机拆除下塔维修,其维修成本惊人。

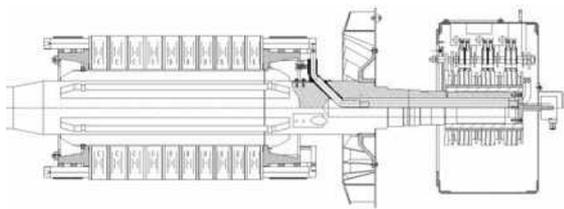


图1 交流异步电机转子结构

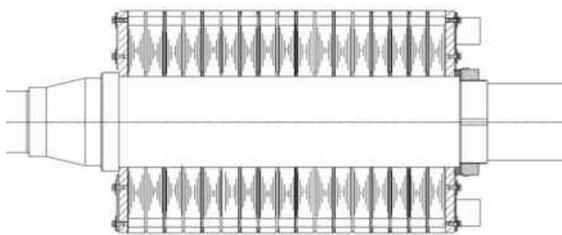


图2 永磁电机转子结构

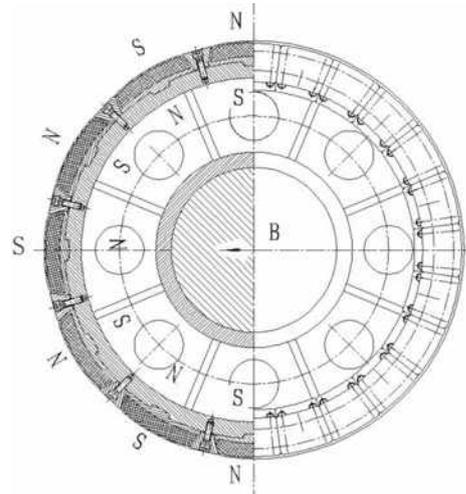
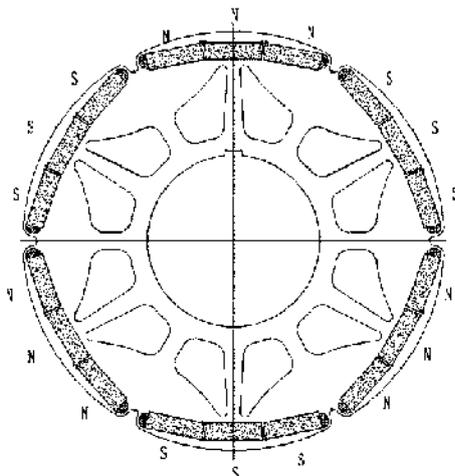


图3 嵌入式永磁体结构

图4 表贴式永磁体结构

式永磁体结构

## 2. 工艺制造区别

通过以上部分的论述,我们大体知道了永磁电机与传统电机在结构上的区别,因此得知,两者在制造工艺上也存在很大的差异。仍以风电行业为例,传统交流异步电机在制造过程中,需要首先用专用工装模具或者转子线圈成型设备制造转子线圈,然后一般采用云母带、无碱玻璃丝带混合结构进行半叠包或者2/3叠包,这一过程对线圈的形状、尺寸、叠包率和紧实度都有较高的要求。线圈制作完毕后要将其嵌入铁心内,然后进行并头、相导线、中性环、极间连线的焊接,要保证连线正确、焊接牢固。嵌线工序完成后还需要对转子进行真空高压浸漆工艺,最后进行动平衡和转子装配。整个转子制造的工艺过程比较复杂,零部件繁多,云母带等绝缘材料和绝缘漆的价格也都比较昂贵,涉及的设备价格高昂,制造过程中值得注意的易错点也比较多,需要反复多次检验,费时费力。永磁电机的转子制造,则避免了以上所述的一系列工艺制造过程,整体来看仅需转子磁钢装配、动平衡,即基本完成转子制造,不管是表贴式还是内嵌式,大部分制造难点都集中在磁钢装配工序,这是我们接下来将详细论述的部分。

## 二、永磁体装配工艺方法和工装

### 1. 对于嵌入式永磁电机

这类永磁电机通常是中小型电机,转子铁心的制造过程与传统电机基本一致,都采用硅钢片叠压而成。区别在于,传统电机的转子铁心整体叠片完成后整体压装,然后热套进入转轴,而永磁电机的铁心则需要分段叠片压装,将每段铁心的永磁体直接嵌入槽内后,使用结构胶粘贴并且固化牢固

后, 再将铁心段依次压入转轴, 整个工艺过程关键点就是如何将永磁体安全的嵌入铁心槽内。嵌入式结构的永磁体通常外层没有磁钢盒之类的保护, 本身又非常脆, 同时它本身又具有强磁场, 因此稍有不慎就很有可能与其他导磁材料相吸, 在装配过程中一旦发生碰撞就很有可能导致损坏报废。为解决这个问题, 在装配过程中必须使用橡胶、木板、塑料之类的工具, 比如使用木板隔开和分离永磁体, 装配用的工装也必须避免导磁, 比如我们做过的永磁风力发电机, 就采用不锈钢材料制作一个磁钢盒工装, 用来转运和安装磁钢。在永磁体表面或铁心槽内涂抹结构胶后放入工装中一起转运到铁心段槽口附近, 然后将工装槽口慢慢移动与铁心段槽口对齐, 当两个槽对齐时, 磁钢自动吸入铁心槽内实现嵌入, 永磁体四周结构胶与铁心槽内表面粘贴, 当铁心段所有永磁体都安装到位后, 包裹严密防止因磁场吸附杂质, 然后静置直到结构胶粘贴牢固, 最后组装所有铁心段。

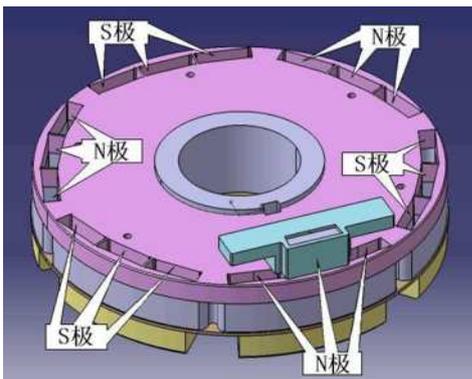


图5 内嵌式磁钢装配

## 2. 对于表贴式永磁电机

此类永磁电机的永磁体通常有两种结构, 一种是永磁体直接安装在转子支架外径, 另一种是永磁体先放入磁钢盒, 然后连同磁钢盒一起安装在转子支架外径, 如果转子没有斜极磁钢, 那么安装时就一列安装完毕再装下一列。嵌入式转子的优点是永磁体直接嵌入铁心槽内, 被铁心直接固定住, 因此安装时相邻永磁体不可能相吸或相斥, 但是表贴式永磁电机的永磁体在支架外圆的同一列上是一个挨一个紧贴的, 永磁体相互之间会存在很强的斥力, 安装时也不能直接用永磁体与转子支架接触, 这样对操作者存在很大的安全隐患, 因此在设计工装时不仅要考虑如何将永磁体导向转子支架, 还要考虑工装必须拥有很强的压力, 能够把同一列永磁体牢牢压紧到位, 那么这个不锈钢材质的工装就要具备一个导向面, 它是转子支架外圆的延长, 另外还有一个起+推

动作用的压杆, 可以是一个长螺杆, 也可以是一个液压或气动装置, 使用时将永磁体放在导向面上, 拧动螺杆或启动装置, 推动它平移到支架面, 并慢慢将永磁体推动到位, 到位后使用产品压块和螺钉将永磁体固定在转子支架表面。

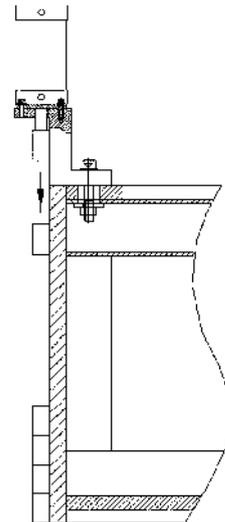


图6 表贴式磁钢装配

表贴式永磁电机转子还有一种斜极磁钢的形式, 即每一列的永磁体不是整整齐齐对正安装的, 而是有一定角度的斜着安装。这种结构在制造是相当麻烦, 如果按上面说的工艺方法一列一列安装, 那么第一列安装完毕, 相邻第二列永磁体由于干涉就无法安装, 所以必须在径向上了一圈一圈的转着安装, 以此类推一直安装到转子另一端, 所以制造这种结构的转子就需要不停地转动转子支架和拆卸装配工装。由于工艺过程较繁琐、工时较长, 通常很少使用这种转子结构。

## 三、结束语

从目前的情况来看, 随着社会的发展和科技的进步, 永磁电机作为一种新型结构的产品, 它存在的诸多优点, 但同时在制造过程中也存在一定的不足之处, 主要表现在: 1. 永磁体磁场很强, 装配时稍有不慎存在一定损坏报废的风险; 2. 对人身存在一定的危险性, 装配中要时刻保持警惕, 所以对装配人员的素质要求比较高; 3. 工装要求采用非导磁材料制作, 嵌入式结构制作铁心段时需要大量工装, 前期费用较高。根据不同需求, 现阶段交流异步电机、直流电机、永磁电机各自都拥有其独特的优势, 虽然从目前国内的发展情况来看, 在制造中还存在一些困难, 但是随着科学技术不断发展和进步, 未来必将使制造工艺更简单、风险更低, 从而推动永磁电机的进一步发展, 使得其能够广泛应用于生产生活的各个领域, 从而为我国的经济发展提供更加强大的驱动力。

想要得到进一步的推广和发展,那么无疑会面对诸多的困难。主要有以下几个方面:第一,在当前国内关于永磁电机的标准和规范十分不明确,永磁电机本身还存在一些问题,进而影响到电机的质量和性能,阻碍电机的推广。第二,虽然对于一些小型的永磁电机而言,已经进行了量产,但是这些小功率电机只能适用于部分行业中,这就让它的发展受到局限性。第三,前期投资比较大,想要进一步发展永磁电机,那么无疑就需要投入大量的资金,这对于很多企而言,无疑是一件困难的事情。

结语:综上所述,永磁电机是一种具有发展前景的好产品。虽然从目前国内的发展情况来看还存在很多困难,但是随着科学技术不断发展和进步,它必将能够推动永磁电机的进一步发展,使得其能够广泛应用于生产生活的各个领域,从而为我国的经济发展提供更加强大的驱动力。

#### 参考文献:

- [1]刘希辰.永磁电机的研究现状及发展趋势永磁电机的研究现状及发展趋势\_参考网 (fx361.com)
- [2]稀土的资源分布及年产量-金属百科 ([asianmetal.cn](http://asianmetal.cn))
- [3]石玉君,程子活,蹇林旎.两种典型的场调制型永磁电机的对比分析[J].电工技术学报.2021年第1期|120-130|共11页
- [4]陈浩维,浅谈永磁同步电机的技术优势及应用前景,内蒙古科技与经济,2020.5,第九期,总第451期,81~82.
- [5]刘加岭,刘全新,杜传明,阮文阳.永磁电机的研究现状与发展趋势[J].电子技术与软件工程,2016(01):249.
- [6]唐丽婵,齐亮.永磁同步电机的应用现状与发展趋势[J].装备机械,2011(01):7-12.
- [7]成秋良,朱焜秋,王成波,王海涛.无轴承永磁同步电机研究现状与发展趋势[J].微电机,2010,43(03):76-80.