

分体式环形永磁无齿轮球磨机的研究与应用

Research and Application of Split Ring Permanent Magnet Gearless Ball Mill

徐世群

Shiqun Xu

山金重工有限公司 中国·山东 莱州 261417

SD-Gold Heavy Industry Co., Ltd., Laizhou, Shandong, 261417, China

摘要: 分体式环形永磁无齿轮球磨机将球磨机的筒体作为电机转子,并在转子外侧内嵌永磁体,带有永磁体的球磨机筒体安装于固定的定子内,组成了电机的完整结构,分体式环形永磁无齿轮球磨机代替了传统异步电机加减速箱的传动方式,具有节能、可控性强、工作效率高的特点。论文通过分析传统球磨机的发展现状,重点研究了分体式环形永磁无齿轮球磨机的关键设计思路,并介绍了该球磨机的应用情况。

Abstract: The split ring permanent magnet gearless ball mill takes the cylinder of the ball mill as the motor rotor, and the permanent magnet is embedded outside the rotor. The cylinder of the ball mill with permanent magnet is installed in the fixed stator to form the complete structure of the motor. The split ring permanent magnet gearless ball mill replaces the transmission mode of the traditional asynchronous motor acceleration and reduction box, and has the characteristics of energy saving, strong controllability and high work efficiency. By analyzing the development status of traditional ball mills, this paper focuses on the key design ideas of the split ring permanent magnet gearless ball mill, and introduces the application of the ball mill.

关键词: 无齿轮球磨机; 环形永磁直驱; 节能; 应用

Keywords: gearless ball mill; ring permanent magnet direct drive; energy saving; application

DOI: 10.12346/etr.v4i7.6639

1 引言

球磨机问世已逾百年,目前广泛应用于矿产、冶金、建材、陶瓷等行业^[1],球磨机结构已趋于稳定,其传动部分通常由电机、减速机、小齿轮传动装置、大齿轮、联轴器等主要零部件组成,电机输出的扭矩经减速机,联轴器,大小齿轮带动球磨机筒体的转动,从而实现磨矿作业,球磨机运转过程中,电机将电能转化为机械能,通常异步电机的效率为75%~92%,功率因数为0.7~0.9。因此,电机的效率是影响电能转换率的关键因素,而球磨机传动效率的提高对于选矿工艺的节能降耗起到了至关重要的作用。

2 研究背景

球磨机在工作过程中会消耗大量的电能,据不完全统计,在每年的电能消耗中,因磨矿所消耗的电能就占到了全世界

所消耗电能的3%左右,在这种驱动模式中存在着传动效率低、机械磨损严重、电能消耗大、故障率高、占用空间大、运行噪声大,润滑油污染,设备维护工作量大等诸多缺陷。

现如今科技水平不断提高,同时中国环保政策也日益趋严,矿山绿色化、智能化逐渐成为新的发展趋势,矿山装备也向着新型、绿色、节能、环保等方向发展。球磨机这一传统的磨矿设备,具有结构简单、物美价廉的特点,可以估计在今后相当长的一段时间里,球磨机仍然会是一种不可替代的碾磨设备,因此降低球磨机能耗和提高球磨机能量转换效率,是矿山大量节约电能的突破口,节能降耗也符合中国绿色矿山建设的要求。

随着永磁材料的发展以及控制技术和变频驱动技术的进步,永磁同步电机的性能有了很大的提高,目前已在新能源汽车、航空航天、数控机床等产品上广泛应用。永磁同步电

【作者简介】徐世群(1986-),男,中国山东潍坊人,硕士,工程师,从事矿山机械设计与制造工艺的研究实施研究。

机具有高效节能、高功率因数、维护方便、可控性强、受环境影响小等诸多优点，可与电子电力技术和微电子控制技术相结合，制造出结构新颖、性能优异的机电一体化产品和装备。

3 设计思路

分体式环形永磁无齿轮球磨机将球磨机与电机相互结合，并利用变频驱动技术，实现球磨机结构的变革和技术的创新。分体式环形永磁无齿轮球磨机通过取消传统球磨机的电机、联轴器、减速机、大小齿轮等复杂的传动装置，将低速大转矩电动机的永磁体固定在球磨机筒体上，在外侧制作电机的定子支架，将球磨机的筒体作为电机的转子，不需要齿轮减速箱及大小齿轮传动。为方便安装及检修，电机的定子与转子做成分体式，由分段的机座和铁芯组成，共分为2~6段，单段采用高导热环氧料整体灌封，预留接线端子。

4 关键部位的研究分析

4.1 启动原理分析

球磨机的筒体两端装有带中空轴颈的端盖，端盖的轴颈支承在轴承上，电动机驱动小齿轮并带动大齿轮使球磨机回转，筒体内装有磨矿介质（钢球、钢棒或砾石等）和被磨的矿石，其总装入量为筒体有效容积的25%~45%。当筒体按规定的转速绕水平轴线回转时，筒体内的磨矿介质和矿石在离心力和摩擦力的作用下，被筒体衬板提升到一定的高度，然后脱离筒壁自由泻落或抛落，使矿石受到冲击和磨剥作用而粉碎^[2]。矿石从筒体一端的空心轴颈不断地给入，而磨碎以后的产品经筒体另一端的空心轴颈不断地排出，筒体内矿石的移动是利用不断给入矿石的压力来实现的。

在球磨机筒体旋转过程中，负载的变化是要考虑的重点问题之一。因为筒体中物料和钢球的重量很大，它将直接影响球磨机的启动性能和稳态运行性能。从球磨机的工作原理可知，在启动时，负载随着筒体旋转角度逐步增大，当筒体位置转到一个休止角左右位置时，将达到最大负载转矩，并且此时的负载转矩可能大于永磁同步电机的额定转矩；随着球磨机内物料开始滚动倾泻，开始进入稳态运行，在稳态运行时，负载平均转矩趋于稳定。球磨机工作情况特殊，一般是长时间不间断地进行磨矿作业，但启动过程仍是一个重要的问题。球磨机的启动过程一般比较短，为了保证能够顺利启动，往往在设计时要求有较大的启动转矩，这给设计和制造带来困难，同时也使磨机驱动的负载率降低。永磁无齿轮球磨机系统的启动力矩一般由两个部分组成，一是研磨体重心偏移对筒体造成的偏转阻力矩，第二是球磨机本身的阻力矩，包括球磨机筒体惯性力矩、传动系统摩擦阻力。

4.2 磨机筒体部有限元分析

环形永磁直驱电机的电机转子通过电机转子支架、螺栓、筒体法兰盘与球磨机的筒体部的一侧直接连接，环形永磁直

驱电机的电机转子支架通过筒体法兰盘进行定位和连接，为保证环形永磁直驱电机在运转时电机定子与电机转子之间的间隙，筒体法兰盘与电机转子支架采用止口定位形式。为减少筒体在长度方向弯曲变形量，保证电机间隙，筒体采用分段设计，加强筒体刚度，同时便于零件加工，提高各连接止口加工精度。筒体部采用定制衬板，减少筒体上螺栓孔数量，避开电机部筒体上开孔，减少螺栓孔泄露矿浆引发电机故障的概率，同时也方便筒体衬板的安装和更换。筒体采用有限元法对球磨机筒体部的强度和刚度进行分析，确保使用要求。

4.3 主轴承的选型原则

对于低速、重载的球磨机来说，为了克服球磨机运转中产生的较大挠度、筒体的受力变形、制造安装中存在的累积误差，球磨机主轴承采用调心滚子轴承由于球磨机工作环境十分恶劣，对轴承提出了更高的要求^[3]。首先，球磨机采用滚动轴承时，应考虑轴承的强度，尤其是轴承的接触强度、疲劳强度，轴承在正常维护下，寿命应不低于10年以上；其次，关于轴承的振动问题，轴承初始游隙要合适，要能消除磨制作、安装的误差、筒体受力而产生的挠度以及筒体、轴承热变形，游隙过大，轴承振动大，游隙过小，轴承在运转中温度升高，轴承有可能抱死；最后，良好的润滑与密封是保证轴承使用寿命的前提。

4.4 永磁直驱系统的设计

球磨机设备通过电机定、转子之间的气隙磁场传递转矩能量，无需任何形式的齿轮传动结构、无直接接触式传动部件，将能量由电机定子直接传递至球磨机筒体，可大幅提高系统传动效率、减少机械摩擦损耗、节省机械结构部件数量、减少设备维护量、降低设备与零部件故障率，在设备应用上具有极其显著的优势。

4.5 停机制动装置的设计

由于球磨机更换衬板或检修时，人员需要进入球磨机内部，为保证球磨机停机时能够稳定，设计了一种无齿轮球磨机停机制动装置。在筒体法兰处设置有制动装置，用于球磨机的停机制动，该装置包括常开式液压钳式制动器、接触传感器、制动销等，制动装置与主机的控制形成互锁，以确保磨机运行与制动的安全。

4.6 碳刷部的设计

环形永磁直驱电机在运转时切割磁感线在电机轴上形成电容耦合共模电压，轴电压放电产生轴电流，放电过程中对轴承部进行电腐蚀，造成轴承部摩擦和噪声增大，最终形成轴承部槽纹破坏，轴承部失效，进而影响电机的气隙，造成电机故障。为解决该问题，设计有碳刷部，用于消除轴电流，保护轴承部和环形永磁直驱电机。

5 应用情况

该球磨机已在内蒙古某金属矿山应用，也是该类型的球

磨机首次应用于中国有色金属矿山,分体式环形永磁无齿轮球磨机电机转子与筒体一体化设计不仅改变了球磨机的传动形式,结构简单,而且可以大幅提高系统效率。通过运行数据可得,环形分体式永磁直驱无齿轮球磨机传动效率可提高30%~35%,电机综合节电率约为15%。而且具有以下优点:

①大大地简化了传动装置,有关减速机和齿轮的维护和检修等问题都不存在了。

②可以调节电源的频率,用低速启动,启动电流可以降低到额定电流的2倍以下,这与普通同步电动机很高的启动电流相比,是一个显著的优点,对特大型球磨机来说,这个优点就更为重要。

③通过调频装置可以很方便地改变转速,以适应不同的物料,不同的研磨体装载量和不同的衬板形式的需要,从而获得较理想的磨矿技术经济指标。

④可以利用调频装置慢速转磨,并停止在需要的位置上,以满足检修或装卸研磨体的需要,而无需另设慢速传动装置。

⑤占用的厂房面积较小及人员减少,永磁无齿传动球磨机系统可保证长期持续连续正常的生产运转,因而节约了大量的人力物力。

⑥节能效果显著,以目前应用的210kW球磨机为例,该球磨机改造前,每年消耗润滑油40000元以上,日常维护费用需96000元,人工费用80000元左右。改造后,人工维

护费用仅800元足够,省去了润滑油费用及大量的日常维护费用;每年节电26.6万度,以均价每度电0.75元计算,电费节省约20万元。综合分析每年共计可节省费用40余万元,经济效益提高显著。

6 结语

分体式环形永磁无齿轮球磨机具有跨时代的意义,是球磨机发展史上的一次重大变革,它改变了传动结构,提高了机械装备的传动效率,改进了球磨机行业的制造工艺,使整个球磨机的节电量大大提高,该球磨机的应用与“中国制造2025”和“德国工业4.0”提出的旨在提升制造业的智能化水平,建立具有适应性、资源效率及工程学的智慧工厂、生态型、智能型、开放型利益共同体的思路不谋而合,无论是从提高矿山机械设备的整机技术性能来看,还是从节能降耗的社会经济效益角度来看,分体式环形永磁无齿轮球磨机都具有非常高的推广应用价值。

参考文献

- [1] 姬建钢,潘劲军,王春红,等.国产矿用磨机大型化趋势、原因及展望[J].矿山机械,2015(8):1-5.
- [2] 孔希仲.钢球磨机起动力矩的探讨[J].电气传动文集,1963(4):46-56.
- [3] 郑云广.无齿轮球磨机的永磁同步直驱电机设计与控制[D].成都:西南交通大学,2018.