

# 新型电机应用于竖井式贯流泵的 可行性探讨

张 鑫, 边晓阳, 沈子微, 都毅力

(无锡市太湖闸站工程管理处, 江苏 无锡 214063)

**摘要:**选择水泵机组不同季节运行的多组数据进行分析, 确定性能相近的永磁电机, 首先在 AN-SOFT 仿真软件上, 仿真出电机运行的运行参数和能耗参数, 再在加载测试平台上模拟水泵运行的负载特性, 测试和计算出永磁电机的能耗指标。研究结果显示稀土永磁电机结构简化, 与变频调速技术相结合, 节能效果显著, 运行成本降低, 基本实现免维护, 值得推广。但此为可行性研究, 其长期应用的可靠性还需在实际的应用场景中考察。

**关键词:**稀土永磁; 直接驱动; 仿真研究; 节能高效

中图分类号: TM32

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2021)08-0028-04

## Discussion on feasibility of applying new motor to shaft tubular pump

ZHANG Li, BIAN Xiaoyang, SHEN Ziwei, DU Yili

(Taihu Lake Sluice and Station Engineering Management Office of Wuxi City, Wuxi 214063, China)

**Abstract:** Several groups of data of water pump unit operating in different seasons were selected for analysis to determine the permanent magnet motor with similar performance. Firstly, the operating parameters and energy consumption parameters of the motor were simulated by ANSOFT simulation software. Then, the load characteristics of the pump were simulated on the loading test platform, and the energy consumption index of the permanent magnet motor was tested and calculated. The research results showed that the structure of rare earth permanent magnet motor was simplified, combined with frequency conversion speed regulation technology, the energy saving effect was remarkable, the operation cost was reduced, and the maintenance-free was basically realized, which was worthy of popularization. However, it's a feasibility study, and the reliability of its long-term application need to be examined in actual application scenarios.

**Key words:** rare earth permanent magnet; direct drive; simulation research; energy conservation and high efficiency

我国能源消费总量多年位居世界第一, 但是经济格局转变后, 新能源发展异军突起。我国适应趋势, 积极研究推广新能源, 清洁能源消费量不断增长, 在节能降耗方面成绩显著。

根据国家统计局统计公报显示, 2000—2015 年, 我国能源消费结构产生以下变化: 一次能

源消费结构, 电力从 2000 年占 7.3% 上升至 2015 年占 12%; 终端能源消费结构, 电力从 2000 年占 15% 上升至 2014 年占 22%; 2015 年以后, 我国电力消费占比更是逐年上升。电机系统用电量达全国用电量的一半以上, 约占 60%, 而其中 20.9% 为泵类的用电量, 节能潜力巨大。为此, 国家发展改革委员

收稿日期: 2020-12-14

作者简介: 张鑫 (1968—), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事水利工程管理工作。E-mail: 13814299662@163.com

会在“十大重点节能工程实施意见”中提出:要推广高效节能电动机、稀土永磁电动机,改善风机、泵类电机系统调节方式;并建议在机电等领域应用稀土永磁电动机改造风机、水泵系统。泵站是水利系统中电力消耗的主要场所,通过对泵站实施节能技术改造,可以大大促进水利系统实现更高的节能成果,实现水利的绿色发展。

江苏梅梁湖竖井泵站2004年建成以来,多座大型竖井贯流陆续投入使用,竖井式贯流泵站在防汛抗旱和调水中发挥了重大作用,但与此同时,在竖井贯流泵站运行中仍存在一些亟待解决的关键技术问题,这其中提高泵站运行的可靠性尤为关键。运行实践表明,电机与齿轮变速箱温升过高、齿轮箱漏油被迫停机等事故屡有发生。近年来,稀土永磁直驱电机得到推广应用,通过削弱传动机构,大力矩低速永磁电机作为直驱式的核心驱动部分<sup>[1]</sup>,直接驱动水泵叶轮轴,再与变频调速技术相结合,实现水泵的软启动和变频调速运行,结构简单,运行成本降低,安全性能显著提高

综上所述,通过相应的先进技术改造,节能降耗、提高泵站运行特别是汛期运行的可靠性,是有重要的经济和政治意义的。本文选择典型的竖井贯流泵站作为研究对象,从理论和工程设计出发,建构大型泵站采用稀土永磁直驱电机的应用理念,进行可行性研究,旨在提升大型泵站技术水平、确保竖井贯流泵站安全可靠、节能高效运行。

## 1 可行性研究

关于提高泵站运行的能源效率,运行的可靠性,国内外都有很多技术方案,主流的是采用变频调速来实现节能。但由于电机的制造技术的限制,变频调速方式不能直接实现大扭矩输出,仍需通过减速机等机械传动装置来实现降低转速,增加扭矩。这就使得系统天然地要产生机械效率的损失。同时,由于传动系统的复杂,带来了日常养护维修作业和运行工作量的增加、安全性的降低。稀土永磁直驱电机通过低速大扭矩设计,直接驱动水泵叶轮轴,再与变频调速技术相结合,实现水泵的软启动和变频调速运行,由于去除了传统系统中的故障率较高的齿轮减速机构,简化了结构,更好地发挥泵站效益,提升了安全性。

我国在大型调水工程中水泵电机从未使用过高压永磁同步电动机,近几年随着南水北调东线工程、流域性综合治理和城市防洪工程的大型泵站建

设和20世纪中下旬建设的大型泵站改造,稀土永磁直驱电机的技术理论不断提高。就目前国内状况,稀土永磁直驱电机在大型泵站建设和更新改造中进行应用的相关研究工作也得以开展,并取得一些成果,完全能够胜任大型泵站对水泵电机的要求。南水北调东线一期工程山东段韩庄泵站采用高压永磁同步电动机从技术、经济等多方面进行比较,对关键性技术问题的解决方法等内容进行研究设计<sup>[2]</sup>。无锡市太湖闸站工程管理处以大渲河泵1#泵组为模型,对于竖井贯流泵驱动单元采用两种驱动形式进行对比:一种采用传统驱动单元“异步电机+减速机+水泵”的形式,另一种采用“DYT 永磁直驱电机+水泵”的形式。

对于传统驱动单元“异步电机+减速机+水泵”的形式,在竖井贯流泵上,由于安装空间受限,所用异步电机其功率因数和效率都较低,在实际运行工况中,为提高功率因数,降低电网上电功率的损耗,在大渲河泵站上额外配备了三套电容补偿系统,以提高功率因数。另外电机从电网吸收电能对外做功,需经过减速机作用到水泵上,减速机有一定的能量损失。

采用 DYT“永磁直驱电机+水泵”的驱动形式时,功率因数过低和能量传递过程中的损失问题都能够得到有效解决,因为永磁直驱电机的转子磁场是由永磁体产生,不需要无功励磁电流,可以显著提高功率因数,减少了定子电阻和定子电流损耗,而且在稳定运行时没有转子电阻损耗,从而使其效率比同规格的感应电动机可提高 50%~80%,而且永磁直驱电机在 25%~120% 额定负载范围内均可保持较高的功率因数和效率。

永磁直驱电机结合了直驱大扭矩永磁电机技术、智能变频器控制技术,可直接驱动负载,永磁直驱电机从电网吸收电能直接作用在水泵上,减少了能量损失。由于系统省掉了中间减速机传动环节,因此在实际应用中省却了减速箱的养护维修工作,节约了成本,降低了维护工作量,后期维护只需隔 2~3 月给电机轴承注油 1 次,基本实现了免维护。

## 2 仿真试验

根据季节不同,选取大渲河泵站的运行数据,分析 1# 泵的运行参数、负载特性和耗能指标。然后根据分析出的相关数据,选择额定性能参数与 1# 泵运行参数接近的永磁电机,首先在 ANSOFT 仿真软件上,仿真出电机运行的运行参数和能耗参数,再

在加载测试平台上模拟 1#泵运行的负载特性,测试和计算出永磁电机的能耗指标,判断在竖井贯流泵上采用稀土永磁电机直驱传动的可行性。对大渲河泵站#1 泵组驱动单元形式和 DYT 永磁直驱电机系统形式实际运行工况数据进行了比对,见表 1~2。

表 1 大渲河泵站#1 泵组驱动单元数据

电机参数	电压 V	功率/kW	额定转速/(r·min <sup>-1</sup> )	额定功率因数 cosφ	防护等级
	10 000	355	743	0.81	IP44
减速机参数	型号	额定功率/kw	n1	n2	
	H2SH11A	260	740 r·min <sup>-1</sup>	135.18	
水泵参数	设计流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	设计扬程/m	配套功率/kW	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	
	10	1.35	355	135	

表 2 DYT 永磁直驱电机驱动单元数据

额定电压/ V	额定功率/ kW	额定电流/ A	额定转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	额定扭矩/ (N·m)	功率因数	防护等级	额定效率/ %
6 000	355	43.8	90	37 669	0.911	IP55	94.84

对比原则:原驱动系统是以额定转速(743 r/min)运行,DYT 永磁直驱电机也以额定转速(90 r/min)运行,水泵负载做功相同时,从 3 个方面做出对比,一是对比 2 种驱动形式的视在功率,二是对比中间功率损失,三是对比三相绕组温度情况。

由于原系统无变频调速系统,不管在汛期还是其他时期,水泵基本都是在额定转速下运行,从现场采集的运行数据也能显示出来,水泵的流量都趋于一致。根据水泵轴功率的计算公式:轴功率  $P = 2.73QH/\eta$  (其中  $\eta$  是水泵的效率,取经验值 0.75),得到水泵所需的轴功率;电机视在功率与水泵轴功率之差即为功率损失  $\Delta P$ 。

当负载所需功率相同时,水泵采用传动驱动系统(异步电机+减速机)与采用 DYT 永磁直驱电机系统时运行数据对比,见表 3。

另外,异步电机实际运行时功率因数为 0.6 左

右,按照国家电网要求,必须安装电容补偿系统,以提高电网系统的功率因数,电容补偿系统价格昂贵;而 DYT 永磁直驱电机的功率因数为 0.92,不需要添加电容补偿系统,降低了投资成本。由此可得出,永磁直驱电机系统具有高效节能、启动转矩大、过载能力强、避免电网及机械冲击、系统免维护和

驱动智能化的优点;系统运行约节电 70~80 kW·h,节电率达 15%,值得大力推广。

3 结 语

稀土永磁电机技术已在油田,矿山,煤炭,电力、风机水泵等行业逐步推广,具备了在水利行业进行应用研究的基础。该技术在煤矿皮带运输机领域运用广泛,通过实际应用数据对比,体现出永磁直驱动力系统节能、免维护等特点<sup>[3]</sup>;在高空风力发电的应用研究中,对直驱式永磁风力发电机组进行详细分析,建立数学模型,运用 Matlab/simulink 仿真平台,验证了数学模型的正确性和控制策略的有效性<sup>[4]</sup>。

综上所述,泵站主水泵装置研究成果较多,而电机研究成果相对较少,稀土永磁材料发展迅速,材料性能不断提升,成本不断下降,为稀土永磁电机的研究生产提供了新材料技术支撑;国产大功率

表 3 运行数据对比

驱动形式	视在功率	功率损失 $\Delta P$	三相绕组温度平均值 Q
“异步电机+减速机”	340	100	45.2
DYT 永磁直驱电机	277.8	28	34.3

变频器技术亦逐渐成熟,稀土永磁低速大扭矩电机制造技术和变频控制技术的结合已日趋成熟,高性能化、高效节能的稀土永磁直驱电机是未来发展的方向。但此为可行性研究,其长期应用的可靠性还需在实际的应用场景中考察。

#### 参考文献:

[1] 周俊杰,范承志,叶云岳. 盘式永磁电机齿槽转矩的

分析与抑制[J]. 机电工程, 2009, 26(2):79-81.

[2] 孙水英,于国安,夏泉,等. 大型永磁电动机在南水北调东线一期工程山东段韩庄泵站中的应用[J]. 水利规划与设计, 2014(1):48-50.

[3] 陈士博,许卫刚. 浅析永磁直驱动力系统在矿山皮带运输系统的应用[J]. 微电机, 2016, 49(7):91-92.

[4] 和月磊. 直驱式永磁电机在高空风力发电中的应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2013.

(上接第 18 页)

[6] 劲性复合桩技术规程:JGJ/T327-2014[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014.

[7] 李立业,刘松玉,章定文,等. 劲性复合桩承载力计算方法探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11

(7):43-47.

[8] 彭涛,李立业,章定文. 水泥土-混凝土界面特性试验研究[J]. 现代交通技术, 2017, 14(3):19-24.

(上接第 27 页)

化”管理:对河湖长巡河过程中发现的涉河湖“两违三乱清四乱”问题,可通过信息平台实现交办、督办、催办、整改、验收、销号全过程一体化的管理,水生态、水环境污染问题得到及时处置,大大提高了广大人民群众生活幸福感和满意度,为全面纵深推进河湖长制工作做出了有益的尝试。

#### 参考文献:

[1] 胥照,牟汉书. 淮安市河湖“三乱”问题销号管理思考

[J]. 中国水利, 2019(6):27-28.

[2] 蒋云钟,冶运涛,赵红莉. 智慧水利大数据内涵特征、基础架构的标准体系研究[J]. 水利信息化, 2019(4):6-19.

[3] 王战友. 基于互联网思维的河长制信息化建设[J]. 水利信息化, 2018(4):68-72.

[4] 鞠茂森. 关于大数据技术推动河长制信息化建设的思考[J]. 水利信息化, 2020(5):7-10.