

大中型泵站主电机及传动型式选择

莫岳平¹, 黄海田², 赵培江³, 龚维明⁴, 李凡¹, 徐瑛瑛¹, 王树人¹

(1. 扬州大学 能源与动力工程学院, 江苏 扬州 225127; 2. 江苏省水利厅科学技术委员会, 南京 210059;
3. 江苏省吴江市水利局, 江苏 吴江 215200; 4. 江苏省江都水利枢纽工程管理处, 江苏 扬州 225200)

摘要: 我国已建大中型泵站在2004年就达到5500余座, 规模已居世界第一。但已建泵站存在主电机型式及传动方式单一的问题。近年来新型电机与新型传动方式不断涌现, 并已在其他行业得到成功应用, 有必要对新型电机与新型传动方式应用于泵站的可行性进行研究。通过分析国内外高速电机配套减速机构传动方式的应用实例, 比较了该传动方式与直联传动方式对机组总重量的影响, 探讨了交流励磁电机和内馈电机在中大型泵站的应用前景和可行性, 两者分别在风力发电、普通电厂和自来水厂中获得大量应用。最后提出应在大中型泵站建设与改造中积极推广应用新型电机和新型传动方式, 达到节约投资、节约能源和提高泵站技术的目的。

关键词: 泵站; 齿轮减速; 交流励磁电机; 内馈电机

中图分类号: TM32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)03-0169-04

Selection of Main Motor and Transmission Type for Large and Medium sized Pumping Stations

MO Yue ping¹, HUANG Hai tian², ZHAO Pei jiang³, GONG Wei ming⁴, LI Fan¹, XU Ying ying¹, WANG Shu ren¹

(1. School of Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China;

2. Science & Technology Commission, Water Resources Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210059, China;

3. Wujiang Water Resources Bureau, Jiangsu Province, Wujiang 215200, China; 4. Jiangdu Water Control Project Management Office of Jiangsu Province, Yangzhou 225200, China)

Abstract: More than 5500 pumping stations have been constructed in China until 2004; however, the constructed pumping stations have some shortcomings such that the type of main motors and the mode of transmission are quite unitary. In recent years, new type of motors and new mode of transmissions appear and they have been successfully applied in other industries. Consequently, it is necessary to investigate the feasibility of new type of motors and new mode of transmissions applied in pumping stations. In this paper, the application examples of high speed motor supporting reduction gear transmission mode are introduced, the effects of the above mode and direct transmission mode on the total weight of unit are compared, and the application prospect and feasibility of AC-excited motors and inner feedback motors in the large and medium sized pumping stations are discussed. The AC-excited motor has been successfully applied in wind power, whereas the inner feedback motor has been successfully applied in power plants and waterworks. Finally, this paper proposes that application of the new type of motors and new mode of transmissions should be promoted in the construction and transformation of large and medium sized pumping stations, which can achieve the purposes of investment saving, energy conservation, and improvement of pumping station technology.

Key words: pumping station; gear down; AC-excited motor; inner feedback motor

新中国成立以来我国的水利事业得到了迅猛发展, 大中型泵站如雨后春笋般不断涌现。据2004年调查统计, 我国当时机电排灌保有量达7000多万kW, 居世界第一。其中大、中型水泵站就有5500余座^[1]。至2008年, 全国排灌机械保有量增加到8668.4万kW^[2], 发展速度是非常迅猛的。但国内对泵站的研究主要集中在流道的型式、水泵叶片设计

及水泵选型上。而对主电机型式、传动和调速方式等研究不多。到目前为止, 我国建设的低扬程大、中型泵站, 大都采用低速大型同步电动机与水泵直联配套, 工况的调节主要靠调节叶片的角度来完成。新型主电机型式及传动调速方式少有应用, 相关研究更是少见。这与我国先进技术的快速发展, 及相近行业新技术的大量应用现状及不相称。

收稿日期: 2012-12-19 修回日期: 2013-03-06 网络出版时间: 2013-05-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130518.1744.026.html>

作者简介: 莫岳平(1962-), 男, 江苏武进人, 教授、博士, 从事电机及其控制方面的研究。E-mail: ypmo@yzu.edu.cn

以江苏省为例, 已建泵站主电机的型式存在以下问题: (1) 由于受当时电能质量的限制, 大型泵站全部采用转子直流励磁的立式同步电机, 仅对 500 kW 以下的电机才采用异步电机; (2) 由于受我国齿轮箱制造能力的影响, 绝大部分大中型泵站都采用低速电动机, 与水泵直联配套, 近年来, 在单机流量 10 m³/s 以下的贯流泵机组上逐步开始使用高速电机通过减速齿轮箱与水泵连接的方式; (3) 受电机发展水平和电子技术的制约, 泵站所采用的电机均是传统的同步或异步定速电机, 电机转速不可调节。水泵工况的调节必须依靠调节叶片的角度来实现, 而由于结构上的原因, 水泵叶轮直径 1.6 m 以下的水泵则无法实现叶片可调。

事实上, 近年来我国电力、电机、机械制造、电子等技术迅速发展和进步, 为新型电机的使用创造了可能: (1) 随着电力系统容量不断增大, 电能质量有了显著改善, 因此, 同步电动机功率因数较高且能调相运行的优势已不十分明显, 500 kW 以上使用异步电机、永磁同步电动机已成为可能; (2) 随着我国机械制造水平的突破性提高, 目前已经可以生产大功率、大传动比、高效率、小体积齿轮箱, 磁力、液力耦合传动装置也有了很大的进步, 这为泵站主电机采用高速电机、卧式电机创造了条件; (3) 随着电机、电子技术的发展, 变频装置的性价比不断提高和新型交流电机技术的日益成熟, 电机定子侧变频调速运行(同步或异步电机)和转子侧变频调速运行成为可能。因此, 有必要对这些新技术在大中型泵站中应用的可行性进行研究。

1 高速电机配套减速机构方式的应用现状

据有关资料报道^[3], 国外大型泵站的传动结构设计已广泛采用了有减速器的传动装置结构, 如荷兰斜轴泵、日本涡壳式斜流泵、意大利卧式轴流泵等, 都广泛采用减速传动, 如图 1、图 2 所示。其配套的高转速电机体积小、重量

轻, 所需厂房建筑面积也减小, 造价大大降低, 经济效益十分显著。

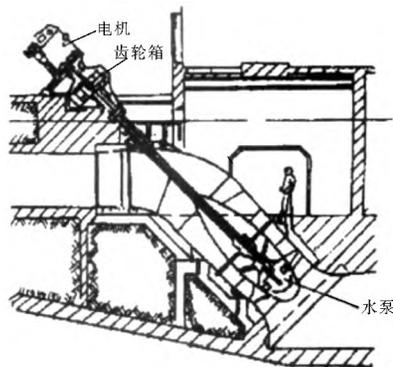


图 1 荷兰斜轴泵

Fig. 1 Bent axis pump in Holland

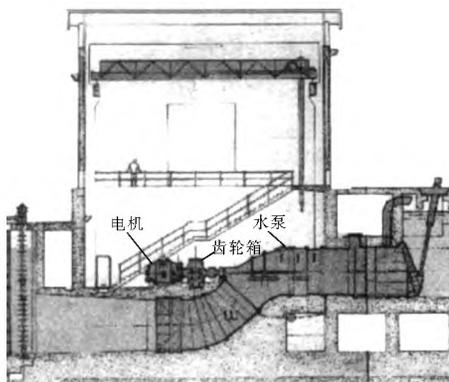


图 2 意大利卧式轴流泵

Fig. 2 horizontal axis flow pump in Italy

表 1 给出了我国采用较多的直联机组和国外采用较多的齿轮减速传动机组, 在工况和功率相近或相同的条件下, 机组总重量的比较。可以看出, 如果采用齿轮减速代替直联传动, 机组的重量可以下降一倍甚至更多, 经济效益可观。

表 1 采用直联和齿轮减速两种不同传动方式时机组总重量的比较^[3]

Table 1 Comparison of the total weights of unit between the gear down and direct transmission mode

国别	叶轮直径 /mm	流量 / (m ³ · s ⁻¹)	扬程 /m	水泵转速 / (r · min ⁻¹)	电机转速 / (r · min ⁻¹)	功率 /kW	泵重量 /t	齿轮箱重 /t	电机重 /t	总重量 /t
中国	3 100	30	7.0	150	150	3 000	55		44.5	99.5
奥地利	2 600	30	8.0	181	1 000	3 200	30	12	12.2	54.2
中国	4 000	55	9.5	107	107	6 000	140		180	320
荷兰	3 200	55	9.5	141	1 000	6 000	80	45	21	146
中国	4 500	60	7.0	100	100	5 000	180		160	340
荷兰	3 800	60	7.0	116	1 000	5 000	85	45	18	148

我国也有采用齿轮减速传动装置的尝试^[4]。国内第一台采用减速装置的大型泵于 1969 年成功地安装在江苏省东台县安丰抽水站, 水泵转速 105 r/min, 单机功率 800 kW。其结构为: 立式轴流泵, 卧式电机, 齿轮箱传动。由于当时减速箱制造技术水平有限, 运行时振动噪音大, 并发生了齿轮断齿现象, 造成停机。

1979 年, 无锡水泵厂为广东省斗门生产的叶轮直径 3 m, 转速 115 r/min 的卧式轴流泵, 功率 1 600 kW。采用卧式电机, 齿轮箱传动, 也出现噪音大等问题。江苏省南京市秦淮河新站, 目前使用的减速器为德国进口的硬齿面单级直圆

齿轮减速, 润滑油, 功率 550 kW, 使用效果较好。

可见, 过去受大功率齿轮箱制造水平的限制, 我国大中型泵站使用减速齿轮做传动装置的积极性不高。但随着技术的进步, 近年来我国大功率齿轮箱的制造水平有了很大提高, 应用也在不断扩大, 特别是可靠性要求更高的风力发电的快速发展, 使大功率齿轮箱的制造技术上上了一个新台阶。大中型泵站也在积极尝试齿轮箱减速技术革新, 如新建成的江苏淮阴三站采用单机功率 2 000 kW 以上, 转速 150 r/min 的贯流泵, 配套行星齿轮减速箱, 电机转速 1 000 r/min。但国内将减速装置应用于大功率(1 000 kW 以上)轴流泵的还没有出现。

2 交流励磁电机应用于泵站的可行性分析

三相交流绕组式异步电机转子绕组施加三相交流电进行交流励磁后就成为交流励磁电机。交流励磁电机的定子具有同步电机的结构和电气特性,而转子则具有异步电机的结构和电气特性。通过改变交流励磁电机转子侧输入电流的频率、幅值或相位,既可以控制电机的转速以及有功功率,又可以调节无功功率。它具有变频装置容量小、电压低,以及功率因数可调节、改造费用较低、调速性能好等优点。基于矢量控制的交流励磁电机能最大程度地捕捉风能,因此,该电机已在风力发电系统中被广泛应用^[5]。但其在泵站中的应用研究还少见报道。

笔者曾分别建立交流励磁电机及其控制器的数学模型,利用 MATLAB/Simulink 仿真系统,对应用于泵站的交流励磁电机进行了独立调节有功和无功功率的仿真研究^[6]。图 3 为采用转子变频的办法调节电机转速时,电机有功和无功功率的响应波形。图 4 是采用调相的办法,使转子电流相位超前转子电压时,电机的转速、有功和无功功率的变化情况。可见,选择合适的控制策略,交流励磁电机的有功、无功均可独立调节。该特性非常适用于水泵的拖动,如以电机调速代替水泵调角,则可减少泵站的辅助设备,减轻运行维护工作量;如以电机调速结合水泵调角,则可提高泵装置的效率;如以转子变频调速代替定子变频调速,则可降低电机和变频装置的造价,亦可提高电机的效率;如以转子调相实现无功功率的调节,则可用异步电机替代同步电机。

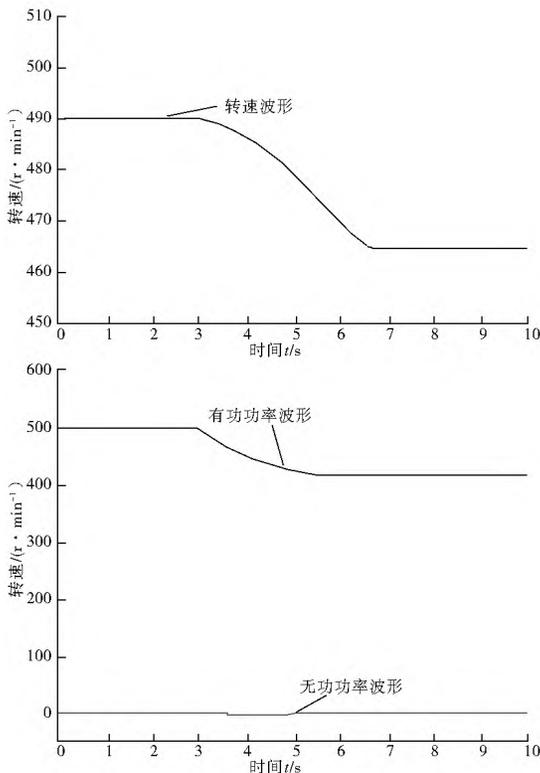


图 3 调速时有功、无功响应波形

Fig. 3 The active and reactive response waveform when the speed is regulated

3 内馈电机应用于泵站的可行性分析^[7]

内馈电机是在绕组转子异步电机的定子中增加一套绕

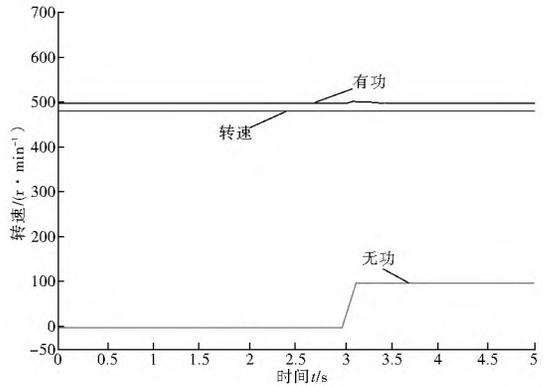


图 4 调相时转速、有功和无功响应波形

Fig. 4 The speed and active and reactive response waveform when the phase is regulated

组(内馈绕组)而形成的。该绕组与原绕组只存在电磁感应,没有电传导的联系,主要用来接收从转子反馈的能量。内馈调速是根据功率控制调速理论创建的新型交流调速系统。通过将转子的部分功率(指转差功率)以电能的形式反馈给电机定子上安装的内馈绕组来实现功率的控制。转子反馈给内馈绕组的功率越多,电动机输出机械功率越少,转速就越低;反之,转子反馈给内馈绕组的功率越少,电动机输出机械功率越多,转速就越高^[8]。内馈电机调速原理图如图 5 所示。

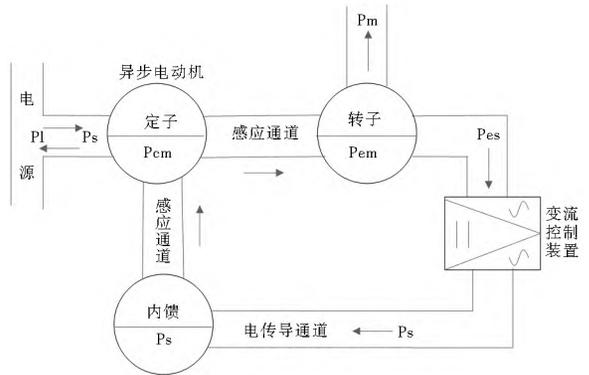


图 5 内馈电机调速原理图

Fig. 5 Schematic diagram of the principle of speed regulation of the inner feedback motor

内馈电机是在传统串级调速基础上,在直流回路部分增加了一个斩波器(即 IGBT 导通关断电路)。这种拓扑结构是通过改变斩波器的占空比来调节电机转速,而不是通过改变晶闸管逆变器移相角来实现电机调速^[9]。此时逆变器的触发角固定为允许的最小逆变角不变。因此与传统串级调速相比,在 50%~100% 的调速范围内,内馈斩波串级调速系统的逆变器容量和电机辅助绕组容量最多只有电机额定功率的 30% (通常电机转子功率只占整个电机功率的 30% 左右),比传统串级调速小得多。另外,由于晶闸管逆变器移相角不管速度高低,都固定在最小逆变角,并且容量比较小,它产生的无功远小于传统串级调速系统,因此其功率因数比较高,可以达到 0.8 左右^[10]。

内馈电机调速方法已在部分水厂和电厂冷却水系统得到应用。实践证明,它具有下列优点^[8]。(1) 调速效率高。因为内馈电机斩波控制装置没有变压器等耗能设备,其调速效率高于高压变频等其他高效调速方式。(2) 可靠性得到提

高。由于回避了高压与大容量的问题,内馈电机斩波控制装置的工作电压低于 1 000 V,其可靠性得到提高。另外系统本身带有自动和手动的旁路,不需另作旁路系统,增加了运行可靠性。(3) 经济性尤其明显。由于避开了高压和大功率问题,内馈电机斩波调速装置的投入明显减少。(4) 安装简便,附加设施少。

但是,目前内馈调速技术仅在中型电机、高速运行(电机同步转速 1 000 r/min)的泵站中得到成功应用。而在大型泵站,特别是低速大中型区域调水泵站(如江苏的大部分大中型泵站)中还没有应用的实例。因此,需要研究两个问题:

(1) 低速内馈电机的可行性;(2) 高速内馈电机结合齿轮箱减速技术的可行性。

对于第一个问题,目前没有大功率低速绕线转子异步电机产品,或者说还没有厂家去尝试生产这种电机,原因是低速大功率异步电机的功率因素低成为突出矛盾。因此,内馈调速技术能否解决功率因素问题,有待进一步研究。对于第二个问题,由于内馈调速技术已经在高速电机中获得成功应用,大功率齿轮箱的制造也已过关。因此,只要选择合适的泵站结构,使齿轮箱传动成为可能,那么,高速内馈电机结合齿轮箱减速技术在大中型泵站一定是可行的。

4 结语

随着新技术的不断发展和成功应用,大中型泵站在设计和改造中有必要吸收新型电机和新型传动方式等技术,提高泵站的技术水平、运行效率和可靠性,并减少投资。特别是已经在国外大中型泵站成功应用的技术,如:齿轮减速传动等,应大力推广。有些在其他行业得到成功应用的技术,如:交流励磁电机、内馈电机等,也要积极探索和尝试,走出一条我国大中型泵站的改革之路。

参考文献(References):

[1] 仇宝云. 大中型水泵装置理论与关键技术[M]. 中国水利水电出版社, 2005. (QIU Baoyun. Theories and Key Technologies of Large and Medium sized Water Pump Device[M]. China WaterPower Press, 2005. (in Chinese))

[2] 李琪, 许建中, 李端明. 我国大中型水泵及配套电动机产品技术性能分析评价[J]. 中国水利, 2009, (23): 22-25. (LI Qi, XU

Jiar zhong, LI Duang ming. Analysis and Evaluation of the Technical Performance of China's Large and Medium sized Water Pump and Auxiliary Motor Products[J]. China Water Conservancy, 2009, (23): 22-25. (in Chinese))

- [3] 历明祥. 南水北调大型泵结构设计研究[J]. 排灌机械, 2003, (3): 1-5. (LI Ming xiang. The Large Pump Structure Design Research for South to North water Diversion[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2003, (3): 1-5. (in Chinese))
- [4] 葛强, 陈松山, 王林锁. 大型泵站主电动机选型优化的研究[J]. 水泵技术, 2002, (5): 39-42. (GE Qiang, CHEN Song-shan, WANG Lin suo. The Optimal Selection Research of Main Motor for Large Pumping Station[J]. Pump Technology, 2002, (5): 39-42. (in Chinese))
- [5] 王成元, 夏加宽, 杨俊友, 等. 电机现代控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006. (WANG Cheng yuan, XIA Jia kuan, YANG Jun you, et al. Modern Motor Control Technology, Beijing: Machinery Industry Press, 2006. (in Chinese))
- [6] 蒋斌, 莫岳平, 黄海田. 交流励磁电机在泵站中的应用研究[J]. 电工电气, 2009, (9): 37-39. (JIANG Bin, MO Yue ping, HUANG Hai tian. The Research of AC Excitation Motor Application in Pumping Station[J]. Electrician Electric, 2009, (9): 37-39. (in Chinese))
- [7] 徐鹏飞, 莫岳平, 陈玲, 等. 内反馈斩波串级调速系统研究[J]. 电工电气, 2012, (6): 8-11(13). (XU Peng-fei, MO Yue ping, CHEN Ling, et al. Study of Inner-Feeding Cascade Speed Drive System with Chopper[J]. Jiangsu Electrical Apparatus, 2012, (6): 8-11(13). (in Chinese))
- [8] 聂海亮, 秦琦, 陈运珍. 内馈电机斩波控制调速技术在水行业中的应用[J]. 变频器世界, 2005, (1): 132-135. (NIE Hai liang, QIN Qi, CHEN Yun zhen. Internal Feedback Chopper Control Motor Speed Regulation Technology in the Application of Water Industry, The World of Inverters, 2005, (1): 132-135. (in Chinese))
- [9] GUO L, HUNG J Y, NELMS R M. PID Controller Modification to Improve Steady-State Performance of Digital controllers for Buck and Boost Converters[A]. Conf Rec of IEEE Applied Power Electronics Conference, 2002: 381-388.
- [10] 郭建军. 串级调速的发展与现状[J]. 装备制造技术, 2008, (7): 110-111. 126. (GUO Jiar jun. The Development and Present Situation of Cascade Speed Control[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2008, (7): 110-111. 126. (in Chinese))