

# 浅析全贯流潜水电机功率因数基本不变的特性

叶丽珍

(天津甘泉集团有限公司合肥大型电机泵业研发技术分公司,天津 230011)

**摘要:**本文通过对全贯流潜水电机随着极数增多功率因数不变的性质做出了理论上的诠释,由结构特征形成的固有特点,保证了全贯流潜水电机功率因数基本稳定不变并确定了其取值范围,有效避免传统的直驱式电动机随极数增加功率因数下降的弊端,以期为相关人员提供参考。

**关键词:**功率因数;转速低;极数多;基本不变

**中图分类号:** TM301.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-7344(2021)39-0136-02

## 0 引言

新一代 QGWZ 系列全贯流潜水轴流泵自 2007 年在广东开始推广、研发、试制、生产历经数十年,已形成口径 350、500、600、700、800、900、1000、1200、1400、1600、1800、2000 及 2400 的系列产品。由于全电潜流轴流泵的转速与叶轮直径的乘积  $nD$  保持了大致不变的范围,即  $nD$  在 360~480 的潜水轴流泵其额定转速  $n$  与叶轮直径  $D$  成反比例,故全贯流潜水轴流泵从 350 口径(4P, 转速 1450r/min)增大至 2400 口径(32P, 转速 182r/min),配套电机相应的从 4P 提高至 32P。

电机的功率因数是衡量电机电流做功大小的一个重要参数,在交流电路中,电压与电流的相位差的余弦称之为功率因数,在数值上,功率因数是指有功功率和视在功率的比值。功率因数低,说明该设备在执行同等功率时,与电源交换的视在功率增大,增加了线路供电损失,因此供电部门对用电设备的功率因数有一定的标准要求。对多极数的异步电动机,都要采用就地电容补偿这样也只能在外部进行补偿,这种补偿无法从根本上提高电机的内部功率因数。

## 1 功率因数基本不变特性的理论分析

我们在开发新一代的 QGWZ 全贯流潜水轴流泵时,发现全贯流潜水电机的功率因数近似常数。并运用水泵与电机设计原理相结合,证明了这一重要发现。它不同于普通的潜水轴流泵随叶轮直径加大,电机极数增多,功率因数迅速下降到不可接受的地步,因而在 90 年代后期发展了带行星齿轮潜水电泵,采用提高转速的方法来取得较高功率因数,这样大大增加了机组的复杂性,而且行星齿轮箱油浴润滑降低了 5% 的效率。取而代之的全贯流潜水轴流泵却可以采用直联方式传动使电机的功率因数保持在 0.7 左右,既简化了结构又有相对较高的功率因数。

由于全贯流潜水轴流泵的特殊结构形式,其转子包围在轴流泵的叶轮外缘上,由电机学原理可知定子内圆上的极距:

$$\tau_m = \frac{\pi g D_{11}}{P} \quad (1)$$

而转子外圆的线速度:

$$v_m = \frac{\pi g D_{11} g 2f}{P} \quad (2)$$

当  $f$  为工频 50Hz 时,  $v_m$  与  $\tau_m$  在数值上一样的,在式(1)中  $D_{11}$  以单位(cm)计时,极距  $\tau_m$  以(cm)计,式(2)中  $D_{11}$  以单位(m)计时,线速度  $v_m$  以 m/s 计。

又因为:

$$v_m = \frac{\pi g D_{11} g n}{60} \quad (3)$$

$$n = \frac{2gfg60}{P} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3),即得式(2),  $D_{11} = K_1 g D$  ( $K_1$  一般为 1.1~1.3),因此:

$$\tau_m = v_m = \frac{\pi g D_{11} g n}{60} = \frac{\pi g (K_1 g D g n)}{60} \quad (5)$$

当全贯流潜水轴流泵作等扬程变化时,  $nD$  基本上为 435 (360~480),因此全贯流潜水电机极距  $\tau_m = \frac{\pi g (1.2 \times 435)}{60} = 27.3 \text{ cm}$

基本为一常数,这一特征使全贯流潜水电机具有一个十分重要的特性,即全贯流潜水轴流泵叶轮直径再大,转速再低,电机极数再多,这一多极数电机的每个磁极的极距  $\tau_m$  是一基本不变的常数。

其次全贯流轴流潜水电泵定、转子都浸没在水中,具有充分而且足够的冷却条件,气隙不会因温升不同而变化,定转子之间的间隙厚度为  $g$  的水层,这一水层使定子铁芯内圆与转子外圆的圆柱形水隙构成一个导向轴承的结构,而且定转子之间的间隙可按水润滑导向轴承的间隙来取,可取  $g = 0.00075 \sim 0.001 D_{11}$ , 远比干式潜水电机的  $g = 0.003 D_{11}$  小。

根据电机设计的原理电机功率因数  $\cos\phi$  正比于  $\frac{\tau_m}{g}$ , 式中  $g$

是定子内圆和转子外圆之间的气隙(水隙)长度,是由机械加工精度决定,与电磁设计原理无关。这样全贯流潜水轴流泵的功率因数  $\cos\phi$  可以近似保持为一常数,而与叶轮直径增大,极数增加无关,这是一个非常宝贵的特性。全贯流潜水电机这一功率因数基本保持不变特性的主要原因是:①全贯流潜水轴流泵的  $nD$  值基本是常数;②全贯流潜水电机的极距  $\tau_m$  基本为一常数;③全贯流潜水电机的气隙值  $g$  可不受干式电机气隙取值限制,只需按机械加工精度取一个合理数值。

在认识了这一特性后,按全贯流潜水轴流泵这一特性,近期对 1200QGWZ(电机为 16P)到 2400QGWZ(电机为 32P)进行电磁计算模拟,功率因数都在 0.7 左右,即是一个明显的计算证明。图 1 是全贯流潜水电机与干式潜水电机功率因数  $\cos\phi$  的变化曲线。

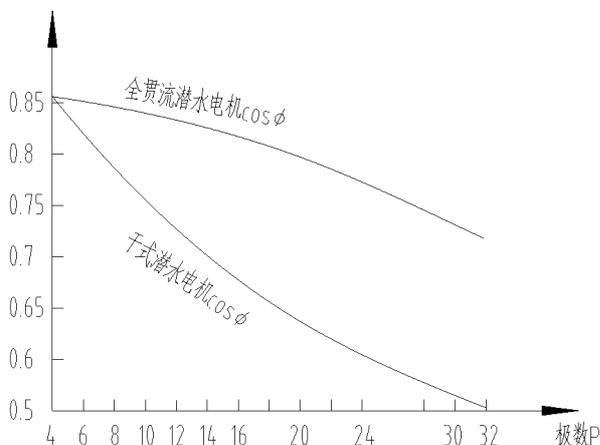


图 1 全贯流潜水电机与干式潜水电机功率因数  $\cos\phi$  变化曲线

对于传统的陆上通用电机,电机功率因数与极数有直接关系,且随着电机极数的增加功率因数下降幅度很大(具体见图1)。但统计分析表明,全贯流潜水轴流泵口径从 350 到 2400,驱动电机的极数从 4P 增加到 32P,功率因数只下降了 12%~15%,这是由全贯流潜水轴流泵的结构形成的固有特点,全贯流轴流潜水电机在多极数大功率上功率因数高,而且随着极数增多功率因数变化不大,这一特征我们称之为全贯流潜水电机功率因数基本不变准则。

## 2 全贯流潜水电机设计实例及与普通电机对比

鉴于以上理论分析,湿定子全贯流潜水电机的一个重要参数

$\frac{\tau_m}{g}$  比干式潜水电机大很多,如广西南宁竹排冲 1600QGWZ-50-9

1200kW-20P 全贯流潜水电泵,  $\tau_m = \frac{\pi g 167}{20} = 26.23\text{cm}$ ,  $g = 0.18\text{cm}$ ,

$\frac{\tau_m}{g} = \frac{26.23}{0.18} = 145.72$ 。对应的干式潜水电机,为取得合理的灯泡比,

电机的带外壳外径  $D_{\text{外}}$  最大约为 1.08 倍叶轮直径,即  $D_{\text{外}} = 1670\text{mm}$

(灯泡比  $h_{\text{机}} = \frac{1670}{1540} = 1.08$ ) 干式电机的型号为 YQGN1650-

1200kW-20P(10kV),电机在出水水道中已较严重地阻水。在带壳外径为 1670mm 时,定子铁芯内径应设计为  $D_{\text{内}} = 1338\text{mm}$ ,故

干式电机气隙长度  $g$  的大小十分关键,大量设计、生产运行经验表明,只有选择比普通陆上电机大一倍的气隙值才能保证定转子不因转子温升高于定子而产生定转子相擦的恶性事故,气隙长度  $g_{\text{干}} \approx (0.02 \sim 0.0025) D_{\text{内}}$ ,对本例  $g_{\text{干}} = 3\text{mm}$ ,因此干式电机的  $\tau_{m\text{干}} = \frac{\pi g 133.8}{20} = 21.017\text{cm}$ ,  $\frac{\tau_{m\text{干}}}{g_{\text{干}}} = \frac{21.017}{0.3} = 70.06$ ,与全贯流潜水电机相比只有其 45.07%。有关文献指出,异步电机的激磁电流  $I_m$  与  $\frac{\tau_m}{g}$  成反比,而功率因数  $\cos\phi$  与  $\frac{\tau_m}{g}$  成正比,因此可以说明全贯流潜水电机在大流量多极数全贯流泵上表现功率因数高,而且随着极数增多功率因数变化不大。

以下是经计算机模拟相同功率和极数的全贯流潜水电机与后置灯泡潜水电机的主要数据对比表。

表 1 全贯流潜水电机和后置灯泡潜水电机主要数据对比

电机型号	nD	效率/%	功率因数	启动电流倍数	启动转矩倍数	最大转矩倍数	备注
YQSN2100-20P (1200kW,10kV)	454.3	85.7	0.803	4.463	0.61	2.03	用于全贯流潜水电泵
YQGN1650-20P (1200kW,10kV)	454.3	93.6	0.629	3.254	0.72	2.10	用于后置灯泡式贯流泵

## 3 结语

全贯流潜水轴流泵随着叶轮直径增大转速降低,电机极数相应增多,已经投入使用的广西竹排冲 2200/1600QGWZ-50-10/6.9-1200kW-20P 全贯流潜水电泵,扬程 6.9m,流量 10m<sup>3</sup>/s,电机极数为 20 极,电压 10kV,功率因数  $\cos\phi = 0.803$ 。已设计完成的 3000/2400QGWZ-50-2400kW 全贯流潜水电泵流量 23m<sup>3</sup>/s,扬程 5.3m,转速 182r/min,电机极数 32 极,电压 10kV,功率因数 0.71。与陆上通用电机相比,全贯流潜水电机功率因数高得多,而且系列化的陆上通用干式电机,如 Y 系列、中大型的 YKK 系列,因其功率因数过低无对应的标准可循,与标准 JB/T 10869—2008 干式“中大型高低压潜水泵电动机(机座号 315-710)”相比,该标准只规定到 10kV 电机功率为 355kW,极数为 24 极,其功率因数仅为 0.64,对极数为 32 极也未做规定,现以极数为主变量,对干式直联潜水电机与全贯流潜水电机的功率因数对比,可以看出全贯流潜水电机的极数从 4 极增加到 32 极功率因数下降 12%~15%,比直联型干式电机提高 20%~24%,因此全贯流潜水轴流泵具有良好的经济效益和社会效益,值得大力推广。

## 参考文献

- [1] 国家发展和改革委员会.中大型高、低电压潜水泵电动机(机座号 315~710):JB/T 10869—2008[S].北京:机械工业出版社,2008.
- [2] 陈世坤.电机设计(第 2 版)[M].北京:机械工业出版社,2019.
- [3] 高翔.浅谈功率因数及提高功率因数的方法[J].甘肃科技,2019,35(2):95-97.

收稿日期:2021-09-09

作者简介:叶丽珍(1982—),女,汉族,安徽合肥人,本科,高级工程师,从事水泵及电机设计方面的工作。