

基于四象限高压变频器的水泵 机组反向发电探讨

问泽杭, 莫兆祥

(江苏省骆运水利工程管理处, 江苏 宿迁 223800)

摘要: 基于四象限电子变频器的水泵机组变频运行方式可以较好地实现水泵机组反向发电的并网, 并可根据水头实现无极变频, 确保机组始终处于高效区运行, 提高发电效率; 变频调节具有较高的调节精度和调节速度, 可以避免对电网和电机的冲击; 变频器的使用可以免去机械变频机组的维护量和占地空间。

关键词: 四象限; 变频器; 水泵; 发电

Discussion on the Power Generating of Water Pump after Utilizing Four-quadrant High-voltage Frequency Converter

Wen Zehang, Mo Zhaoxiang

(Jiangsu Provincial Luoyun Management Diversion, Suqian 223800, Jiangsu, China)

Abstract: By using four-quadrant electronic frequency converter, the water pump unit can operate in the mode of power generating. The frequency conversion can easily guarantee unit synchronization and keeps the unit operating in high-efficiency area as stepless frequency changing with the head. The higher regulating precision and speed of frequency conversion can avoid the impact on the grid and the motor. The electronic frequency converter can decrease maintenances and floor space comparing with mechanical frequency conversion.

Key Words: four quadrant; frequency converter; pump; power generating

中图分类号: TN773; TV743

文献标识码: A

文章编号: 0559-9342(2011)02-0075-02

0 引言

大型泵站一般采用立式或卧式同步电机作为动力, 配套水泵通常为轴流泵、混流泵和贯流泵。同步电动机具有反向发电、调相功能, 采取相应的技术措施, 可以较好地利用同步电动机组进行反向发电, 将水能转换为电能, 从而取得一定的经济效益。

1 水泵发电方式的比较

水泵在设计作为水泵运行时按最高运行效率选择, 同时为了克服流道损失, 一般高效率区扬程较高; 作为水轮机运行时, 由于流道存在一部分损失, 因此直接采用同转速发电, 一般效率很低, 通过降低水泵转速可以获得更大的效率, 但一般泵站采用的同步电机调速较为困难。传统的做法是采用同步电机变极方式, 但极数的增加却降低了作为水泵工

况运行时的电机效率。变频运行方式可根据不同运行条件, 随时调整机组转速, 使机组一直保持在最优工况下运行, 大大提高了发电效率, 充分利用了水能资源。变频运行方式成为目前水泵发电运行的优选模式。

水泵机组变频运行发电方式可采用变频机组或变频电源。变频电源方式发电时, 机组按最优转速运行, 所输出的低频电能通过变频方式变换成工频电能上网。变频机组发电时, 由对拖的电动—发电机组, 通过再发电的形式进行电能的频率转换, 此种方式经实践验证是切实可行的, 但该方式是在变频电源技术尤其是四象限变频技术不完善的情况下而无奈采用的方式。

收稿日期: 2010-06-12

作者简介: 问泽杭(1963—), 男, 江苏宝应人, 教授级高工, 主要从事泵站管理、技术改造、自动化控制设计等工作。

随着电力电子技术的飞速发展，高压大容量变频器已在各行业得到普遍应用，且适用泵站反向发电方式的“四象限变频技术”已逐渐发展成熟，并已在矿井提升机、大功率电机试验、风力发电等工程得到广泛应用。

四象限变频技术的出现，使得水泵采用变频电源进行发电成为了可能。由于变频器可以对电源的频率、电压、相角进行连续调节，相比机械机组调节，水泵变频发电具有许多优点。首先，水泵发电可以时刻处于最优发电状态，提高发电效率；其次，变频调节具有较高的调节精度和调节速度，避免对电网和电机的冲击；再者，变频器的使用可以免去机械机组的维护量和占地空间；最后，变频器还可实现水泵抽水工况下的软启动和水量调节作用。

2 变频电源发电方式分析

以江苏泗阳泵站为例，就变频电源发电方式的接线和并网问题进行分析。

泗阳水利枢纽由泵站、节制闸、船闸组成，泗阳站设计调水流量 164 m³/s，设计扬程 6.30 m。泵站安装叶轮直径 3.08 m 的立式全调节轴流泵 6 台套（含 1 台备机），单机流量 33 m³/s，总流量 198 m³/s；配 3 150 kW/10 kV 同步电机，总装机容量 18 900 kW。肘形进水流道，虹吸式出水流道。经模型试验，在水头 4 m 时，采用水泵倒转发电功率约 500 kW，相应转速为 90 rad/min，全站发电功率为 3 000 kW 左右。

2.1 接线方式

变频电源发电的基本原理是采用四象限变频器作为变频发电转换设备，正常水泵工况运行时，切出变频设备；当发电运行时，水泵水轮机发电机组发出的低频经变频器变为 50 Hz 接入电网。接线有两种方式：①一变一方式，即每台接一个和电机相同容量的四象限变频器，该接线方式的优点是既可对电机实行软启动，亦可通过转速调节水泵工况，发电并网操作简单，缺点是造价太高；②多变一方式，一般泵站倒转发电功率只有水泵电机的 1/6 左右，因此采用 1 台变频器连接 6 台电机发电上网，此接线方式的优点是造价相对较低，缺点是发电并网复杂，其系统结构如图 1 所示。

经综合比较，建议变频发电方式接线采用多变一方式。

2.2 变频发电的并网方式比较

多变一接线方式的技术难点是并网，因泗阳泵

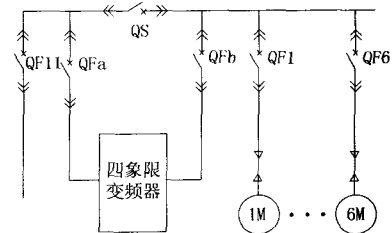


图 1 多变一接线方式

站采用虹吸式出水流道（发电时变为进水流道），在发电时，虹吸式进水流道一旦形成真空，发电机的转速控制较为困难，相应发电的频率也难以控制。

2.2.1 自同期方式

以自同期方式并网步骤如下：合上开关 QFa 使变频器接入电网，再合上开关 QFb，在 10 kV 母线上建立一个小电源，频率设置为额定发电频率。启动抽真空设备，当 1 号机组电机在水泵（水轮机）的带动下上升至 95% 额定转速（30 Hz）时，投入 QF1，并入变频器组成的电网，投入励磁，随着冲击水轮机水流的加大，变频器自动转入发电状态。2~6 号机组按同样步骤投入。此种方式优点是减少相关并网设备，缺点是对操作要求高，如操作不当可能在并网时对变频器造成很大的冲击电流。

2.2.2 启动同期方式

以启动同期方式并网步骤如下：合上 QF1~QF6 高压开关，再合上 QFa、QFb 开关，由变频器启动 6 台电机；当电机转速达到额定发电转速时，启动真空泵抽取真空，水流形成后，冲击水泵（水轮机），能量逐步反向流动，开始发电。此种方式的优点是并网操作简单，缺点是变频器要达到一定容量以启动全站发电机组，同时在单台发电机投入时仍需采用其他并网方式。

2.2.3 准同期方式

以准同期方式并网步骤如下：合上开关 QFa 使变频器接入电网，再合上开关 QFb 在 10 kV 母线上建立一个小电源，频率可以设置为额定发电频率。启动抽真空设备，当 1 号电机在水泵（水轮机）的带动下上升至 95% 额定转速（30 Hz）时，投入电机励磁。利用同期并网装置检测发电机和变频装置的同期情况，当进入准同期时，投入 QF1，并入变频器组成的电网，随着冲击水轮机水流的加大，变频器自动转入发电状态。2~6 号机组按同样步骤投入。此方式的优点是并网时对变频器冲击电流小，缺点是需增加准同期并网设备。

（下转第 86 页）

5.2 泄洪闸及消能工流态

采用半圆形墩头后,水流的绕流现象基本消失。在各级水位、流量下,水流受宽尾墩的“挤压”作用,迫使出闸孔水流沿坝面竖向扩展成一股窄而高的收缩射流,随着其下泄,在纵向呈抛物线状扩散。5年一遇洪水水舌最高点高程为277.04 m,入水点为坝下0+056.80;消能防冲工况水舌最高点高程为278.04 m,入水点为坝下0+063.40。可见水流在竖向、纵向均被充分拉开,扩散情况良好。

消力池内底流和挑流相互掺混,紊动剪切作用强烈,水流剧烈翻滚掺气,底流速沿程衰减迅速(见表4),可见水流动能得到了有效消杀,消能率显著提高。池内水面有所雍高,但水面平稳。

表4 消力池内底流流速及水面最大雍高值

工况	测流位置	池内底流流速/m·s ⁻¹			池内水面高程/m	最大雍高/m
		坝下0+067.00	坝下0+074.00	坝下0+086.00		
消能防冲	左侧边墙	11.50	5.53	7.91	260.00	4.3
	池中心线	16.51	9.75	5.37		
	右侧边墙	14.83	9.51	2.83		
设计洪水	左侧边墙	12.31	9.42	4.80	261.00	3.1
	池中心线	16.82	5.82	7.29		
	右侧边墙	15.10	7.45	6.13		

注:消力池反弧末端桩号为坝下0+047.06,尾坎底部桩号为坝下0+088.00。

5.3 下游河道流态及冲淤形态

出池水流与下游水面平顺衔接,从尾坎末端到坝下0+200.00范围内水面最大雍高为1.2 m,表面虽有波浪产生,但强度不大,水面较为平稳。主流基本位于河床中部,横向扩散明显减弱,使得右岸附近电站尾水的回流流速和范围大为减小。各级流量下,实测的回流速度为0.5~3.5 m/s。

河道冲淤地形与其流态对应,主冲刷区位于河床中部,下游河床典型工况的冲坑形状具体参数如表5所示。与表3相比,采用Y型宽尾墩+屏式消力池联合消能工,下游河床的冲坑深度减小7.4~

15.3 m,电站尾水护坦末端冲坑深度减小超过20 m,且冲刷范围缩小,保证了消能工安全。由此可见,该方案消能防冲效果极为显著。最后采用该方案作为工程推荐方案。

表5 联合消能工方案动床冲刷试验结果

工况	冲坑深度/m		堆丘高程/m	冲坑范围/m
	河床	尾水护坦末端		
消能防冲	9.5	9.7	249.0	坝下0+101.0~0+382.5
设计洪水	10.7	7.4	248.6	坝下0+105.4~0+353.7
校核洪水	14.3	9.9	251.0	坝下0+103.7~0+400.5

6 结语

由以上试验分析可以看出:

(1) Y型宽尾墩+屏式消力池联合消能工对水流动能消杀作用显著,可以显著缩短池长,减少下游防护设施,降低工程投资。

(2) 各级工况下,消力池内水流掺混剧烈,但出池水流平稳,对下游河床的冲刷明显减轻,并能改善下游河道的流态。

莲花台水电站的泄洪消能防冲问题十分突出,本研究采用水工模型试验较为成功地解决了该工程的消能防冲问题,对同类型水利水电工程枢纽建设也有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 南京水利科学研究院,中国水利水电科学研究院.水工模型试验[M].北京:水利电力出版社,1985.
- [2] 吕宏兴,裴国霞,杨玲霞.水力学[M].北京:中国农业出版社,2007.
- [3] 左东启.模型试验的理论和方法[M].北京:水利电力出版社,1984.
- [4] 谢省宗,李世琴,李桂芬.宽尾墩联合消能工在我国的发展[J].红水河,1995,14(3):3-11.
- [5] 童显星.中国水工水力学的发展综述(续)[J].水力发电,2004,30(2):69-73.

(责任编辑 常青)

(上接第76页)

综合以上比较结果,为减小并网时对变频器的冲击电流,减小变频器的容量,应优先选择准同期并网方式。

3 结语

综上所述,利用四象限变频器用于调节水泵发电工况是可行的,和变频机组变频发电相比有较大的调节范围,可以提高水泵发电机组的效率,从而增加可观的经济效益,对指导泵站开发利用水力资源具有直接的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 陈炎炉.大型电力排灌站[M].北京:水利电力出版社,1984.
- [2] 邱彬如.世界抽水蓄能电站新发展[M].北京:水利电力出版社,2006.
- [3] 问泽杭.沙集泵站机组同转速倒转发电研究[J].中国农村水利水电,2005(4):35-36.
- [4] 刘建华.电力电子及变频器应用[M].北京:中国劳动社会保障出版社,2009.
- [5] DL/T 5208—2005 抽水蓄能电站设计导则[S].

(责任编辑 高瑜)