

南水北调刘老涧二站反向发电实践

徐 斌¹, 徐文奕², 殷允涛³

(1. 江苏南水北调刘老涧二站建设处, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100;
3. 江苏省水利厅机关后勤服务中心, 江苏 南京 210029)

摘要:利用南水北调工程在非调水期的反转发电,使下泄的水资源得到充分利用,同时优化发电方案、盘活国有资产存量。两站合用一套变频发电机组并网发电,即达到了充分利用清洁能源,改善能源结构的目的,又以较小的投资换取较好的经济效益和社会效益。

关键词:南水北调; 泵站; 反向发电

中图分类号:TV675 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2019)04-0059-04

Reverse power generation practice of Liulaojian No. 2 Pumping Station in South – to – North Water Diversion Project

XU Bin¹, XU Wenyi², YIN Yuntao³

(1. *Liulaojian No. 2 Pumping Station Construction Office of Jiangsu South – to – North Water Diversion Project, Nanjing 210029, Jiangsu*; 2. *Business School, Hohai University, Nanjing 211100, Jiangsu*;
3. *Jiangsu WRD Rear – Service Center, Nanjing 210029, Jiangsu*)

Abstract: U The reverse power generation of the South – to – North Water Diversion Project in the non – diversion period can make full use of the discharged water resources, optimize the power generation scheme and activate the surplus of state – owned assets at the same time. The two stations use a set of inverter generator set to generate electricity by grid – connection, which will not only make full use of clean energy and improve energy structure, but also exchange better economic and social benefits with less investment.

Key words: South – to – North Water Diversion Project; pumping station; reverse power generation

1 工程概况

刘老涧二站位于江苏省宿迁市宿豫区仰化镇境内京杭运河上(中运河),刘老涧新闸南侧,是刘老涧泵站枢纽的重要组成部分,该站与位于刘老涧新闸北侧已建的刘老涧站等工程共同组成南水北调东线第一期工程运河线第五个梯级,两站隔河相望,横轴线相差 0.6 km。工程任务是与刘老涧站一起将泗阳站来水抽送至皂河站站下,与皂河站、泗阳站一起,通过中运河线向骆马湖输水 $175 \text{ m}^3/\text{s}$,兼顾沿线供水和灌溉,改善航运。

刘老涧二站设计扬程 3.7 m,调水流量 $80 \text{ m}^3/\text{s}$,考虑刘老涧站和二站共用 $37.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 备用流量,安装 4 台套 3000ZLQ29.4-3.7(含备机 1 台)水泵机组。水泵叶轮直径 3000 mm,单机设计流量 $29.4 \text{ m}^3/\text{s}$,总装机流量为 $117.5 \text{ m}^3/\text{s}$,配 4 台套 TL2000-48 同步立式电机,单机功率 2000 Kw,总装机容量 8000 Kw。泵站采用肘形进水流道,整体虹吸式出水流道,真空破坏阀断流,采用液压调节机构调节流量。

刘老涧二站于 2009 年 5 月开工建设,2011 年 9 月完成抽水试运行验收,2012 年 9 月在水情条件

收稿日期:2018-10-19

作者简介:徐斌(1960—),男,学士,高级工程师,主要从事水利工程建设。

具备条件下,完成反向发电试运行验收,2016 年 1 月完成设计单元完工验收。

2 反向发电方案研究

2.1 发电水量

在南水北调非调水期,按照中运河防洪调度原则,京杭运河宿迁段主要作为黄墩湖地区及沿运排涝通道,相机下泄沂沭泗洪水。已建刘老涧站已充分利用上述水资源与皂河站、泗阳站形成梯级反向发电,发电流量按 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 控制,基本满足三级水电站用水,经对刘老涧 2004 ~ 2008 年发电统计,年发电时数约 170 d,年发电量在 450 万度左右。本期南水北调工程,泗阳梯级泗阳站进行改建扩建,反转发电流量按 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 设计,皂河梯级新建皂河二站,经测算,中运河在流量 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下,河道比降对各级发电站水头影响不大,依然可保持刘老涧梯级发电水头平均约 2.5 m。因此,此段中运河按 $150 \text{ m}^3/\text{s}$ 下泻考虑,刘老涧站反向发电流量仅为 $100 \text{ m}^3/\text{s}$,刘老涧二站尚有 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右的发电流量^[1]。

2.2 发电方案优选

2.2.1 利用导流工程发电

利用导流工程,在导流闸孔安装水轮机组发电。该方案变临时工程为永久工程,使临时工程发挥效益,发电效率高,综合效率可达 50% 左右,但需增加水轮发电机组、变配电、拦污等设备的投资约 200 万元,且由于与主厂房不同在一处,需增加运行人员,产生额外运行费用。

2.2.2 利用泵站主机组反转发电

(1) 直接同速反转发电

虽然此方案投资最少,但由于刘老涧枢纽水头太低,根据装置试验成果,在保证正向高效抽水的条件下,无法同速反转发电。

(2) 降速反转发电

经装置试验成果分析,主机降速反转可实现发电。

降速发电可以有以下几种方案:

电机变极法:对同步电机进行变极,将电机电极增加一倍,一极变两极,转速降低一半,实现反转降速发电。以前江都三站即用此方案降速反转发电,此方案技术较为成熟,具有多年成功运行经验。但采用变极方案,电机体积将增加 40% 左右,作电动机抽水工况运行时效率降低 4% 左右,相应也增加了主设备和土建工程的投资,同时运行管理比较

麻烦,每次改变运行工况,需打开电机盖板,调整电机极对数^[2]。

机械变频机组法:全站共用 1 台套变频机组,利用同步电机极对数变化,由 30 Hz 电动机同轴驱动 50 Hz 发电机组成变频发电机组发电上网,30 Hz 电动机由泵站抽水机组降速反转发出 30 Hz 电力驱动。具体是先启动变频发电机,变频发电机以电动方式异步启动并运行于电动工况,拖动变频电动机旋转,变频电动机励磁投入后在主机母线上建立 3.6 Kv/30 Hz 电压;主机流道抽真空,上游水翻转出水流道驼峰,反向冲转主机组,并在转速接近发电转速时合主机高压断路器,同时,励磁装置捕捉滑差自动投励,主机以自同期方式并入 3.6 Kv/30 Hz 电网。当主机的发电功率大于变频机组损耗时,变频电动机自动转入电动运行,拖动变频发电机转入发电运行^[2]。

已建成的刘老涧站即利用此方法反转降速发电。

刘老涧二站自购机械变频机组,还需配套励磁、配电、土建等建设,造价较高,但刘老涧站变频发电机组尚有余量。

刘老涧站发电改造时,采用的是其他项目的存量变频发电机组,变频机组容量大于刘老涧站的最大发电量,尚有发电余量。刘老涧站变频发电机组容量为 2300 Kw,而刘老涧站 4 台抽水发电主机合计最大发电容量为 1200 Kw,尚有 700 Kw 余量。刘老涧二站新增 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右的发电流量按最大发电水头 2.9 m、40% 效率计算,可发电约 570 Kw^[3]。

根据容量及启动性能测算,刘老涧二站可与刘老涧站共用一套原有变频发电机并网发电。

该方法又可分为 2 个方案:

A 方案:维持初步设计主机 10 Kv 电压不变,反转降速发电降压上网。

刘老涧站主机电压等级为 6 Kv,反转降速发电为 3.6 Kv/30 Hz 驱动刘老涧站变频机组上网。初步设计阶段,刘老涧二站主机抽水电压选用 10 Kv 等级,其反转降速发电为 30 Hz 时电压为 6 Kv,要与刘老涧站共用 1 台变频机组,需配备 1 台降压变压器,将电压从 6 Kv 降压到 3.6 Kv。这既增加了投资,又降低了发电效率。

B 方案:调整主机电压等级,反转降速发电上网。

将主机电压从 10 Kv 调整到 6 Kv,相应的主变、高压开关柜等变配电设备都需作调整,经咨询设备

制造商,虽然主变二次侧、主机电流增加,但开关额定开断电流不变,开关设备造价不变,主变、电机造价可下降10%左右。

综合考虑造价、效率、管理等因素,刘老涧二站采用6 Kv主电机降速反转发电利用刘老涧站变频发电机组发电余量上网方案。

3 发电对工程土建及机电设备所采取的特殊措施

3.1 主机组

3.1.1 水泵

招标阶段,即要求水泵具有反转发电功能,设备制造商对水泵轴与电机轴连接、水泵轴与转轮连接,叶片调节装置小轴的连接,水导轴承等进行了特殊的设计制造,满足反转发电的需求。

3.1.2 电机

电机制造商为适应电机能反转发电对推力瓦托架、转子散热叶片形状等进行了针对性的改进。

3.2 励磁设备

励磁设备在满足电机运行在50 Hz同步电动机工况基础上,增加了电机反转30 Hz同步发电机工况,两种工况分别设置两组不同的参数,根据工况转换开关自动切换。

3.3 继电保护装置

本站主机保护装置能满足6 Kv/50 HZ、3.6 Kv/30 HZ两种不同工况下保护、测量、通讯等使用要求,并与主机开关柜上抽水/发电工况转换开关联动切换保护方式。

3.4 反向拦污设施

通过对泵站上游侧报废老闸进行改造,增设了反向拦污设施,确保河道内污物不能进入流道,确保安全发电^[4]。

4 发电试运行

完成泵站抽水试运行后,在上游来水条件下,进行了发电试运行。发电试运行分为预试运行和试运行两个阶段进行。

4.1 发电预试运行

预试运行就是每台机试运行2 h左右,及时发现设计施工中存在问题,予以处理,以保证试运行顺利进行。预试运行分别于2012年7月23日和8月1日进行。

7月23日重点进行了二站自身机组的试运行:退出刘老涧二站主变压器和站用变压器,低压改由

刘老涧站供电,先启动刘老涧站变频发电机,变频发电机以电动方式异步启动并运行于电动工况,拖动变频电动机旋转,变频电动机励磁投入后在刘老涧二站主机母线上建立3.6 Kv/30 Hz电压;主机流道抽真空,上游水翻转出水流道驼峰,反向冲转主机,并在转速约70 rpm时合主机高压断路器,同时,励磁装置捕捉滑差自动投励,主机以自同期方式并入3.6 Kv/30 Hz电网。当主机的发电功率大于变频机组损耗时,变频电动机自动转入电动运行,拖动变频发电机转入发电运行。

在其运行过程中主要处理以下问题:

(1)部分设备设置及程序修改:保护设备由于反转发电造成AC换相,使得有功、无功、功率因数测量显示错误,经保护供货商修改程序,测量数据恢复正常。励磁设备由于PC变比设置错误,造成有功功率、母线电压显示错误,经修改后恢复正常。

(2)电机保护整定值调整,设计单位在主机发电时,过流速断一段、过负荷延时保护定值都是按设计水头电机发电电流70 A作为额定电流来计算,当高水头发电时易造成过负荷动作跳闸,且当运行第四台机组时启动余量偏小,高水头时,启动电流偏大,易造成过流速断保护一段动作跳闸,经与设计单位沟通,将过流速断一段保护定值由528 A、0.5 s调整到960 A、0.5 s动作;过负荷延时保护定值由90 A、10 s调整到150 A、10 s动作。建议,由于机组反转发电电流远小于正转抽水电流,因此发电时过流速断一段、过负荷延时保护定值可不作调整。

(3)原设计真空泵与主机开关联动,当主机开关合闸后即联动真空泵停机。但在预试运行时发现由于真空泵停机过早,使流道夹气严重,造成机组振动。经与设计院沟通,取消真空泵与主机开关联动,使主机开关投入后,真空泵再运行一段时间,待机组运行平稳后,再停真空泵。修改后,机组启动平稳。

(4)受发电机组容量制约,机组在运行过程中,功率因数不宜调得过高,功率因数过高,虽然定子电流加大,但母线电压会被拉低(3.6~3.4 Kv甚至3.2 Kv),造成3.6 Kv电网不稳,励磁会报警。

8月1日进行第二次预试运行。主要是与刘老涧站主机发电联运。

分别进行了刘老涧站先开4台机,二站启动1台机组,陆续减刘老涧站机组加二站机组进行组合;以及先开二站机组,开至4台,再启动1台刘老

涧站机组,陆续减二站机组,增加刘老涧站机组进行组合。

经上述反复组合,二站运行时,启动刘老涧站机组,二站机组基本无感觉。一站机组运行时,二站机组启动时,一站运行机组有一定感觉。初步分析是两站之间有电压降,冲击所致。

4.2 发电试运行

在将预试运行中发现的问题处理完毕后,2012 年 8 月 13 日~9 月 17 日进行刘老涧二站发电试运行,开机过程均投励平稳,顺利投入,运行正常,停机过程中开关动作正常,断流正常,停机平稳。1 号机组、2 号机组、3 号机组和 4 号机组分别运行 117.85 h、170.05 h、119.25 h 和 118.97 h,期间机组角度从 -4° 调至 0° 左右,机组运行平稳,发电量明显增大。

具体运行检测数据如下:

(1) 机组参数

温度:

推力瓦温度最高为 33.7°C ,(报警温度 55°C);

上导瓦温度最高为 33.7°C ,(报警温度 60°C);

下导瓦温度最高为 33.7°C ,(报警温度 60°C);

机组上油缸最高温度为 31.4°C (低于瓦温);

机组下油缸最高温度 32.4°C (低于瓦温);

电机定子温度最高为 43.0°C (报警温度 95°C);

4 台机组各部位温度测量数据均显示正常。

振动:

4 台机组主电机上机架水平振动最大为 0.006 mm (规范限值 0.08 mm);

4 台机组主电机下机架水平振动最大为 0.006 mm (规范限值 0.12 mm);

4 台机组水泵导叶体水平最大振动为 0.006 mm 。

主电机功率:

水头 2.6 m 、水泵叶片角度 0° 时,运行最大电流为 83.2 A ,发电有功功率 448 kW 。

(2) 辅助设备运转情况

冷却水压、水量、水温正常;排水系统运行正常。

叶片调节压力油系统及主电机润滑油系统运行正常。

真空破坏阀联动正常。

5 发电运行情况

刘老涧二站自 2012 年发电试运行验收投入使用后,在保证南水北调高效抽水运行的基础上,在非调水期,充分利用上游水资源,已累计发电运行 5401 台时,发电 $167\text{ 万 Kw}\cdot\text{h}$ 。期间运行平稳高效,经同期对比,在相同水头下,单机刘老涧二站发电量高于刘老涧站 17.6% 。

6 投资回收

刘老涧二站反向发电直接投资包括两方面,一是电气设备采购安装费约 13 万元,二是反向拦污设施制作安装约 39 万元,合计 52 万元。至 2018 年 6 月,刘老涧二站发电收入约 66 万元,已全部收回刘老涧二站增加发电功能的全部直接投资。

7 结语

刘老涧二站反转发电使下泄的水资源得到了充分利用,同时盘活了国家存量资产,充分利用清洁能源,改善了能源结构,以较小的投资换取了较好的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 问泽杭,莫兆祥.变频技术在刘老涧泵站反向发电中的应用[J].人民长江,2009,40(20):53-55.
- [2] 王丽,莫兆祥.南水北调东线睢宁二站发电方案设计探讨[J].人民长江,2014,45(04):56-59.
- [3] DL/T 5208-2005 抽水蓄能电站设计导则[S].2005.
- [4] 王丽,莫兆祥.沙集泵站水力发电增效扩容技术改造方案探讨[J].江苏水利,2014(05):13-15.