

## LM5000 STIG 120 机组余热发电工程电气设计

(哈尔滨·第七 三研究所) 孙世峰 胡国菊 张清江 宋爱军

**摘 要:** 对深圳月亮湾燃机电厂 LM5000STIG120 机组余热发电工程的电气主接线的设计作了介绍,同时对余热发电的厂用电亦作了简要介绍。

**关 键 词:** 短路电流; 断路器; 电抗器; 动稳定; 热稳定。

中图分类号: TM72

文献标识码: A

## 1 项目的来源

1989 年底,深圳月亮湾燃机电厂从美国 S&S 公司引进了两套 LM5000 STIG 120 型蒸汽回注发电机组,该机组是在轻型航空改型燃气轮机发电机组的基础上,采用了先进的蒸汽回注循环,达到大功率、低油耗的要求,每套机组蒸汽回注循环出力 31 230 kW。两套机组分别于 1990 年 7 月和 8 月并网发电。调试运行中发现,一定的高压蒸汽回注量有个最佳的低压蒸汽回注量与之匹配的问题,过多的低压蒸汽回注反而使机组的出力降低(低压蒸汽全注机组出力下降约 500 kW)。所以,将约 1 361 kg/h 多余的低压蒸汽排空。这不仅是能源的浪费,而且产生噪声污染,距机组 5 m 处噪声达 92 dB,超过环保标准。经过多方案论证确定了增设两台 1 800 kW 凝汽式汽轮发电机组的方案,将排空的低压蒸汽引到汽轮发电机组中做功,并将做功后的凝结水作为补给水返回锅炉循环使用,使排空的余热得到了彻底的利用。环境噪音降为 82 dB,满足环保要求。装置的整体效率也得到了大幅度提高。

## 2 电厂原有电气系统概述

电厂原有电气主接线示意图如图 1

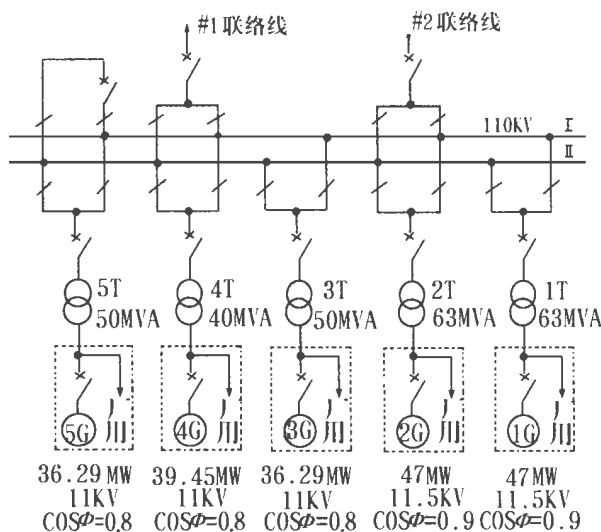


图 1 电厂原有电气主接线示意图

电厂原有一套法国 ALSTHOM 公司的燃气——蒸汽联合循环发电装置(由 3G、5G 燃气轮机发电机组和 4G 蒸汽轮机发电机组构成)和两套美国 S & S 公司的 LM5000 STIG120 蒸汽回注发电装置(1G、2G 燃机发电机组)共五台发电机组。各机组均采用单元制接线方式,每台机组经各自的升压变压器将发电电压升至 110 kV 后馈入 110 kV 母线。110 kV 系统为户外式中型布置的双母线,设有专用母联断路器。全厂经两回 110 kV 架空线路接入深圳地方电网。各机组的厂用电分别引自各自的厂用分支,厂用变压器及厂用配电设备由国外成套供货(如图中虚线框内设备)。

## 3 电气主接线设计

根据电厂原有电气主接线的状况,新增两台 1

收稿日期: 1999-02-11; 修订日期: 1999-07-26

作者简介: 孙世峰(1962-),男,沈阳人,研究员,参加并主持过多项燃气轮机电站、汽轮机电站的设计及安装调试技术服务工作。通讯处: 150036 哈尔滨市 77 信箱

800 kW 机组(编号 6G、7G)分别为 1G、2G 配套增设的余热机组,电气主接线设计可有两种方案:

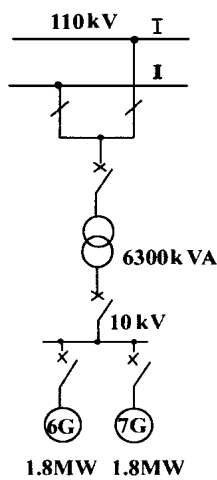


图 2 新增机组电气主接线方案一

方案一: 1G、2G 两机组设一台升压变压器成扩大单元制接入 110 kV 母线,如图 2 所示。

该方案的优点是:

- (1) 不改变国外设计现状,原机组的电气一次系统及控制保护系统维持不变。
- (2) 新增发电机组及其电气设备(10 kV 或 6 kV)可采用常规设备。

缺点是:

- (1) 110 kV 户外配电装置需扩建一个间隔,周期长、占地面积大。
- (2) 由于 110 kV 变压器定型产品的最小容量为 6 300 KVA,而两台汽轮发电机组的最大出力只能达到 4 000 KVA,这时采用 6 300 KVA 升压变压器势必大马拉小车,损耗大。

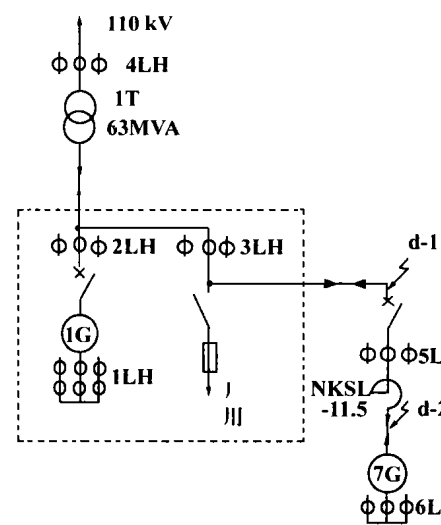


图 3 新增机组电气主接线

(3) 由于采用 110 kV 电压接入系统,增加了一台升压变压器及 110 kV 断路器,隔离开关,电流互感器等电气设备和相应的控制保护设备,使电气系统的投资大大提高。

方案二:

新增汽轮发电机电气出线直接接入燃机发电机出口,按扩大单元制与相应燃机发电机共用一台升压变压器,如图 3 所示。

以 6G 为例,因为新增汽轮发电机发电与否完全取决于燃机 1G 是否发电,1G 发电才有余汽供给 6G,6G 才能发电,否则 6G 将不能发电;并且 1G 升压变压器容量(63 MVA)有较大容量,足以满足 1G、6G 同时满发的要求。因此 1G、6G 可以共用一台升

压变压器。其优点是:

- (1) 无需增加升压变压器。
- (2) 无需增加 110 kV 高压配电装置及相应的控制保护设备。
- (3) 电气系统投资较少。

缺点是:

- (1) 1G 出口短路容量较高,6G 引出线回路需增加限流电抗器。
- (2) 1G 出口额定电压为 11.5 kV,非标准。对国内电气设备的配套提出了特殊要求。
- (3) 要求 6G 的电气一次设备及控制保护装置可靠性较高,以免因 6G 电气系统的故障影响 1G 的正常发电。

根据以上技术经济比较,同时考虑月亮湾电厂 110 kV 配电装置附近可供扩建的空间极为有限,所以采用方案二的接线方式。

### 4 设计中解决的几个问题

#### 4.1 6G 引出线接入点的选择

根据已有电气系统的实际情况,6G 引出线接入点有两个位置可供选择。

##### 4.1.1 由 1G 升压变压器的低压侧母线接入

其优点是:(1)不改变国外设备的一次接线和布置;(2)施工方便。

缺点是:1G 的继电保护范围需扩大至 5LH,其一,必须改变原有 1G—1T 纵差保护接线,破坏国外设计的独立性。其二,由于 6G 出口断路器在扩大后的 1G—1T 纵差保护范围内,增加了 1G 回路的故障率。

##### 4.1.2 由 1G 厂用分支 3LH 外侧接入

优点:6G 分支线在 1G—1T 差动保护范围之外,不必改造原有保护接线,保证国外原设计的独立性。6G 出线回路故障,不必停 1G,增加了 1G 运行的可靠性。

缺点:3LH 至 5LH 之间引线处于 1G—1T 和 6G 纵差保护范围之外,这段引线发生故障必须由 1G 或 6G 外部故障保护装置切除,延长切除时间。

根据以上比较,鉴于国外设备的实际条件,采用了 4.1.2 方案。为了提高 6G 分支线的可靠性,对 6G 至 1G 厂用分支间的引线采用了 YJV—8.7/15 型单芯交联聚乙烯铜芯电缆,因单芯电缆较三芯电缆可靠性高,绝缘水平裕度较大,导体截面按 d—1 点短路热稳定校验选择,导体截面选用的裕量较大,而

且这段电缆较短(13米长),所以故障的几率将变得很低。

#### 4.2 短路电流的限制及主要电气设备的选择

根据深圳供电局提供的 110 kV 系统短路参数, d-1、d-2 点短路电流计算结果如表 1。

表 1 短路电流计算结果表

短路点 编号	短路 电流	起始有效值	冲击值	稳定值
		$I^{\#}/\text{kA}$	$i_{dt}/\text{kA}$	$I_{\infty}/\text{kA}$
d-1		46.12	124.51	34.29
d-2		9.55	25.78	9.60

由表 1 可见, d-1 点短路电流很大, 如果不采取限流措施, 则余热发电机出线难以选择轻型开关, 这不只是开关设备的投资提高, 而且布置困难。采用进口设备则周期长、价格昂贵。为此在 6G 出线回路增设了限流电抗器。

##### 4.2.1 限流电抗器的选择

型号: NKSL-11.5-300-3

额定电压: 11.5 kV

额定电流: 300 A

电抗百分数: 3%

该电抗器为新型节能型混凝土限流电抗器, 损耗低。由表 1 可以看出采用限流措施后 d-2 点短路大幅度降低。

##### 4.2.2 出线断路器的选择

根据《导体和电器选择设计技术规定》, SDGJ14-86 第 1.1.7 条: 对带电抗器的 6~10 kV 出线与厂用分支线回路的计算短路点, 除其母线与母线隔离开关之间隔板前的引线和套管应选择在电抗器前外, 其余导体和电器宜选择在电抗器之后。根据此规定, 6G 发电机出线断路器的开断电流可按 d-2 点短路电流选择, 这样此开关就可以采用普通轻型开关。考虑到燃机作为调峰机组操作频繁, 每天都要起停, 新增汽机发电机组亦随相应燃机频繁操作, 为此 6G 出线开关采用真空断路器。

型号: ZN5B-11.5/1000-20

额定电压: 11.5 kV

额定电流: 1000 A

额定开断电流: 20 kA

对于电压的非标准向制造厂特殊订货, 采用加强绝缘型产品

##### 4.2.3 6G 出线开关至 1G 厂用分支之间连接电缆的选择

因此段电缆故障切断时间长, 要求可靠性高, 为

此我们选用 YJV-8.7/15 单芯交联聚乙烯铜芯电缆绝缘等级提高一级。经计算比较, 电缆截面按回路持续工作电流、经济电流密度和满足短路热稳定的要求选择。因为后者远大于前两项, 故按后者选择即:

$$S \approx \sqrt{\frac{Q_t}{C}} \times 10^3$$

其中:  $S$ ——导体截面;  $Q_t$ ——短路热效应 ( $\text{kA}^2\text{S}$ );  $C$ ——热稳定系数;  $Q_t = I^2 t_{js}$ 。

其中:  $I_{\infty}$ ——短路电流稳态值;  $t_{js}$ ——校验短路热稳定所用的计算时间。

计算结果:  $S \approx 187 \text{ mm}^2$

采用 YJV-8.7/15-1×240 型单芯交联聚乙烯铜芯电缆。

## 5 2×1 800 kW 机组厂用电设计

经计算新增 6G、7G 的厂用计算负荷只有不到 100 kVA (每台机), 且均为低压负荷。而 1G、2G 的厂用变压器容量 1500 kVA 有较大裕度, 增加 100 kVA 负荷没有问题。因此 6G、7G 各设一个 0.4 kV 厂用工作段, 电源分别引自对应的 1G、2G 厂用电 0.4 kV 母线, 并从原电厂 0.4 kV 备用段上引一回电源作为 6G、7G 的备用电源。厂用电系统实际利用了 1G、2G 的余量, 接线非常简单, 投资少。

## 6 结论

2×1 800 kW 余热发电工程于 1993 年 4 月开始设计, 1994 年 2 月正式并网发电, 安全运行六年来一直运行良好。仅 1994 年 2 月至 1996 年 12 月三年间为深圳月亮湾燃机电厂新增产值近 1400 万元, 创造了可观的经济效益和社会效益。该项目在同类机组上具有推广价值。该项目获 1996 年度深圳市科学技术一等奖奖励。

### 参考文献

- [1] 西北电力设计院. 发电厂变电所电气接线和布置. 北京: 水利电力出版社, 1992 年 7 月.
- [2] 水利电力部. 《导体和电器选择设计技术规定》SDGJ14-86. 水利电力出版社.
- [3] 水利电力部电力规划设计管理局. 《火力发电厂厂用电设计技术规定》SDGJ17-88. 水利电力出版社, 1988 年.
- [4] 郑忠. 新编工厂电气设备手册. 北京: 兵器工业出版社, 1994 年.

(复 编)

tion. This makes it possible to analyze the effect on gear mesh of such factors as gear box deformation, axial end loading and axial deflection, etc. A proper no-load gear mesh error may be generated to compensate gear mesh error under operating conditions. It is also feasible to verify gear strength on the basis of gear contact conditions. Under the precondition of an absence of increase in gear mesh error a rational support parallelism can be set. **Key words:** cylindrical gear, gear mesh error, strength

废气复合透平系统的热技术经济学分析和设计优化 = **Thermotechnical Economics Analysis and Design of a Waste Gas Turbo Compound System** [刊, 中]/Tang Lichun (Southern China University of Science & Technology), Pan Jiayan (Guangzhou Municipal Energy Source Planning Design Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 2000, 15(1). - 28 ~ 30

By combining thermotechnical economics theory with BOX nonlinear constraint (compound type) optimization method a thermotechnico-economics analytical study and an optimized design calculation were conducted of a heavy-duty diesel waste gas turbo-compound system (TCS). The method discussed can provide some useful reference data during the scheme design of a power station at the feasibility study stage. **Key words:** waste gas turbo-compound system, thermotechnical economics, optimized design

某舰用冷凝器凝结水含氧量的测试 = **Test of Oxygen Content in the Condensate of a Naval Condenser** [刊, 中]/Xu Yan, Meng Fanzheng, Yin Yuxiang, (Harbin No. 703 Research Institute), et al // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 2000, 15(1). - 31 ~ 32, 35

With the help of a novel device for measuring the oxygen content in water a dynamic detection was performed of the oxygen content of condensate at the outlet of a naval condenser working under various operating conditions. The resulting determination of the thermodynamic characteristics of the condenser can provide a requisite basis for its modification design later on. **Key words:** condensate, oxygen content, evaluation test

锅炉有缝电阻焊管制造工艺 = **Manufacturing Technology for Boiler Tube Seamed Resistance Welding** [刊, 中]/Liu Shuzhen, Zhu Hong, Cheng Wanbe (Harbin Boiler Co. Ltd.), et al // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 2000, 15(1). - 33 ~ 35

LM5000STIG120 机组余热发电工程电气设计 = **Electrical Design of the Waste Heat Power Generation Project of a LM5000 STIG Unit** [刊, 中]/Sun Shifeng, Hu Guoju, Zhang Qingjiang (Harbin No. 703 Research Institute), et al // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 2000, 15(1). - 36 ~ 38

A description is given of the main electrical connection design of a LM5000 STIG 120 unit for Shenzhen Yueliangwan Gas Turbine Power Plant. In addition, the plant auxiliary power supply of the Plant is also briefly discussed. **Key words:** short-circuit current, circuit breaker, reactor, dynamic stabilization, thermal stabilization

燃气脉冲在线吹灰装置及其控制系统的研制与应用 = **Development and Application of a Pulsed Gas-based On-line Soot-blowing Device and Its Control System** [刊, 中]/Li Zhonghua (Shanghai Jiaotong University), Han Tongtai, Liu Jianjun (China National Mine Engineering University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 2000, 15(1). - 39 ~ 40

The use of rotary air heaters in thermal power plants generally gives rise to soot deposits-related serious corrosion, flue gas high flow-resistance and excessively high exhaust gas temperatures. To cope with the above-cited problems, the authors have developed a pulsed gas-based on-line soot-blower system, using explosive gas to serve as a soot-blowing gas source. In addition, a computer-based monitoring system has also been developed in connection with the soot-blowing unit. Practical use experience shows that the soot blower unit under discussion has the capability to conduct a safe, reliable and