

PG5301 燃气轮机发电机组 现状分析和修复的经济效益

陆启虹 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔提要〕 某油田电厂PG5301燃气轮机发电机组运行时间不长,由于环境条件,进气过滤问题以及尖峰负荷运行时间过长使局部零件受损,降低了功率、效率和运行的可靠性,有可能在局部修复后就能获得较大的经济效益。

关键词 燃气轮机电站 分析 经济效益 修理

一、PG5301 燃气轮机发电机组 原性能

燃气轮机为简单循环,压气机为轴流式,共十七级,转子结构为盘鼓式与涡轮同轴,涡轮为二级,转速:5100r/min,其基本性能见表1。

表1 PG5301机组原性能表

序号	名称	单位	基本负荷	尖峰负荷
1	大气压力	kPa	101.325	
2	大气温度	°C	15	
3	空气流量	m ³ /h	343795	343795
4	压气机排气温度	°C	340	
5	压气机排气压力	kPa	1099.36	
6	压气机耗功	kW	37000~38000	
7	燃气初温	°C	900	965
8	排气温度	°C	454	471
9	涡轮出力	kW		约60000
10	输出电功率	kW	21700	23000
11	热耗率(天然气)	kJ/kWh	13455.3	13216.2
12	热效率(天然气)	%	26.76	27.24

二、PG5301 燃气轮机原参数性能 计算

主要计算公式有:

压气机压比:

$$\pi_c = P_2^*/P_1^*$$

压气机绝热温升:

$$\Delta T_{ad} = T_1^* \left[(P_2^*/P_1^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

压气机效率:

$$\eta_c = \frac{\Delta T_{ad}}{T_2^* - T_1^*}$$

压气机绝热功:

$$L_{ad \cdot c} = \frac{k}{k-1} RT_1^* \left[(P_2^*/P_1^*)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

压气机实际消耗功:

$$L_c = L_{ad \cdot c} / \eta_c$$

涡轮膨胀比:

$$\pi_t = P_4^*/P_3^*$$

燃气初温:

$$T_3^* = \frac{T_4^*}{\pi_t^{\frac{k-1}{k}}}$$

稿收日期: 1989-07-04

涡轮输出功:

$$L_t = \eta_t \cdot RT_3^* \left[1 - \pi_t^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

根据以上公式, 假定某些效率和损失系数计算结果列入表 2。

表 2 PG5301燃气轮机原参数性能计算

序号	名称	符号	单位	尖峰负荷	基本负荷
1	实际输出电功率	Ne	kW	23000	21700
2	进气压力	P ₁ *	kPa	10.816	100.816
3	进气温度	t ₁ *	°C	15	15
4		T ₁ *	K	288	288
5	压气机出口温度	t ₂ *	°C	340	340
6		T ₂ *	K	613	613
7	压气机压比	π _c *		10.90	10.90
8	压气机效率	η _c *	%	86.86	86.86
9	压气机实际消耗功	N _c	kW	37755	37755
10	涡轮出口温度	t ₄ *	°C	471	454
11		T ₄ *	K	744	727
12	燃气初温	t ₃ *	°C	976	945
13		T ₃ *	K	1249	1218
14	涡轮总效率	η _t *	%	88	88
15	涡轮膨胀比	π _t *		0.09394	0.09394
16	涡轮总输出功率	N _t '	kW	64118	60870
17	涡轮纯输出功率	N _t	kW	26363	23115
18	计算输出电功率	N _e '	kW	24781	21728
19	与实际功率偏差	$\frac{N_e - N_e'}{N_e}$		0.0774	0.0013

根据表2和表1比较, 燃气初温: 基本负荷偏高0.05, 尖峰负荷偏高0.0093。输出功率: 基本负荷偏高0.0013, 尖峰负荷偏高0.0774。所以用此计算方法计算其他工况也应与实践相符合。

三、PG5301机组现状运行测量参数计算结果与性能分析

PG5301 机组 运行测量参数在表 3 中注明。根据测量参数进行性能计算, 其结果见表 3。

各性能参数分析比较如下:

1. 压气机

压气机压比下降30%, 效率下降10%。这两项因素严重地影响着机组输出功率, 也就是在同样工况下, 压气机多消耗了10~20%的功率, 而输出电功率减少了17~35%, 这就是压气机压比和效率下降引起的严重后果。

2. 燃气初温

由于压气机压比的降低和排气温度 T₄* 的限制, 燃气初温大大地低于设计值, 一般情况燃气初温每提高10°C, 输出功率约增加2~4%。

3. 涡轮

由热平衡和功率平衡计算来看涡轮效率没有明显变化。

4. 输出功率的下降和热耗率的增加

压气机效率和压比降低, 并由于 T₄* 限制引起 T₃* 的降低, 导致了涡轮输出功率大幅度下降, 而使输出电功率大量下降和热耗率大量增加。估计压气机效率下降10%, 热耗率将增加15%, 压比下降和 T₃* 下降也大大地增加热耗率, 各因素加起来热耗率可能将在25%以上。因没有天然气流量测量数据, 热耗率增加的具体数值暂未计算。

四、造成输出电功率严重下降的因素

1. 压气机压比和效率

(1) 动、静叶片型面的损坏, 主要降低效率, 次要降低压比;

(2) 动、静叶片进出口边的损坏, 一般出口边损坏较进口边严重。这样前一级损坏不但影响本身, 并影响以后各级的流动, 严重地影响压比和效率的下降;

(3) 动叶顶部磨损, 主要是灰砂进入流道, 越往后面越集中到顶部, 叶片是越往后相对越薄, 估计后几级比较严重, 这样增加了气体二次流损失, 降低了效率和压比。

表 3

PG5301 机组实测参数性能计算表

序号	名称	符 号	单 位	运 行 日 期			
				1985.10.16	1984.4.22	1985.10.16	1984.5.25
1	实际输出电功率	N_e (实测)	kW	10000	12000	14000	16000
2	进气压力	P_1^* (实测)	kPa	101.5	100.9	101.5	100.5
3	进气温度	T_1^* (实测)	K	288	287	288	293
4	压气机出口压力	P_2 (实测)	kPa	657.1	686.5	666.9	706.1
5	压气机出口温度	T_2^* (实测)	K	556	567	563	589
6	涡轮出口温度	T_4^* (实测)	K	608	641	663	727
7	压气机出口全压	P_2^*	kPa	693.5	723.8	703.4	743.0
8	全压比	π_c^*		6.832	7.172	6.930	7.391
9	压气机效率	η_c	%	78.54	77.35	77.35	76.33
10	涡轮出口压力	P_4^*	kPa	102.0	101.4	102.0	101.0
11	涡轮进口压力	P_3^*	kPa	679.6	703.2	689.3	710.3
12	涡轮膨胀比	π_t^*		0.1501	0.1430	0.1480	0.1422
13	燃气初温	T_3^*	K	920.0	980.1	1006.2	1112.9
14		t_3^*	°C	647	707.1	733.2	839.9
15	压气机总耗功率	N_c	kW	31196	32574	31987	34428
16	涡轮总输出功率	N_t'	kW	41342	44924	45481	51117
17	涡轮纯输出功率	N_t	kW	10146	12350	13492	16688
18	计算输出电功率	N_e'	kW	9841	11979	13087	16187
19	偏 差	$\frac{N_e - N_e'}{N_e}$		0.0159	0.00175	0.0652	-0.1168

2. 涡轮

从测量参数性能计算结果看, 涡轮叶片在型线方面问题不大, 可能涡轮叶片进出口边有轻微损坏, 但叶片要进行表面检查, 主要是前缘和后缘边的轴向裂纹和叶型表面裂纹以及磁力探伤。

3. 燃气初温

由于压气机压比降低, 引起涡轮膨胀比的降低, 在预定涡轮排气温度 T_4^* 的情况下, T_3^* 的降低导致了涡轮功和机组输出功率的降低。

五、修复提高功率的初步方案

1. 进气系统进行改装, 主要是进气过滤器严格使灰粒不能进入压气机。

2. 排气道出口最后一段锈蚀, 重新用钢板焊接一个换上就可以。

3. 燃气轮机修复方案的确定, 有待于对机组通流部分进行检查。一般检查如果各

级叶片间有孔探仪孔, 可以用孔探仪进行检查。估计这台机组问题较大, 最好开缸详细检查, PG5301 机应有自己检查合格标准。如没有可参考其他机组对零件检查的要求, 编制适合 PG5301 机组的检查标准。

4. 根据以前开缸看到后二级动叶顶部磨损比较严重。每级动叶在60片左右, 在第七级以后叶片型线部分高度在100mm以下, 这样叶片的加工费用就不会太贵, 再加一些检费修装卸, 可以在机上作动平衡, 预计维修费用也不大。如前几级压气机叶片型面高度是200mm左右和涡轮叶片损坏严重, 那加工费用就要贵些了。

如果更换少量叶片, 压比能达到 $\pi_c^* = 9$, 那输出功率能达到 19000kW 以上, 热耗率就能大大降低。

5. 如果最后二级叶片损坏严重。前面损坏轻微, 经检查可以继续使用, 那可以测量一下二级的压比。如压比很少, 对燃气轮机不起什么作用, 也可以拿掉二级动叶和静

叶,使其压比稍有下降而压气机耗功有较大下降。再根据压比来决定 T_3^* , 调整 T_4^* , 估计输出电功率能达到 16000kW, 而使热耗率有明显降低。

六、修复的经济效益

PG5301 燃气轮机发电机组的燃气轮机是陆用、长寿命的, 要比航空改装机组运行管理容易。所以修复此机组是很有意义的, 只要少量投资, 在较短的时期内就能修复运行, 经济效益是很大的。

1. 发电的经济效益

假定机组修复后电功率为 16 000kW, 假定热耗率比原来下降 20%。下降后的机组热效率为 21.18%, 原来为 26.48%。此时每度电耗气量为 0.4411Nm³/kWh。每年运行 3000 小时, 这样每年能发电 4800 度, 其经济效益见表 4。

表 4 发电 4800 万度的经济效益

		内部价	平价	高价
电价	元/kWh	0.115	0.15	0.38
天然气价	元/Nm ³	0.08	0.115	0.3375
每度电耗气量	Nm ³ /kWh		0.4411	
总耗气量	万Nm ³		2117.28	
天然气价值	万元	169.38	243.48	714.58
电价值	万元	552	720	1824
毛利润	万元	382.63	476.52	1109.42

这里没有计算增加运行人员的工资, 如三班增加三十个人, 工资也只有 6~7 万元, 经济效益是很大的。

2. 降低热耗率的经济效益

假定机组修复后热耗率比现在下降 2093~4186kJ/kWh(500~1000kcal/kWh)。取最低值 2093kJ/kWh 按年发电量 4800 万度计算, 其经济效益见表 5。

一般机组年运行能达到 6000 小时以上, 我们取得特别保守, 实际经济效益可能增加一倍以上。

表 5 降低热耗率 2093kJ/kWh (500kcal/kWh) 的经济效益

名称	单位	内部价	平价	高价
每度电耗气量	Nm ³ /kWh		0.4411	
天然气低热值	kJ/Nm ³		36 594	
每度电降低热耗率	kJ/kWh		2 093	
降低总热耗	kJ		10 046 × 10 ⁷	
降低总耗气量	Nm ³		274 500	
天然气价	元/Nm ³	0.08	0.115	0.3375
经济效益	元	21 960	31 567	92 643

小 结

通过对 PG5301 燃气轮机发电机运行测量参数性能计算的分析, 对燃气轮机主要部件可能损坏的情况有初步了解, 这台机组停运在经济上损失是很大的。

这台机组只有燃气轮机有问题, 减压器、发电机以及其他附属设备都是完好的。而燃气轮机也只有叶片有些问题和进、排气道问题。可以采用两种修复方案:

1. 中修

中修具体性能指标是: 压气机效率达到 83% 左右, 压比达到 $\pi_c = 9$ 左右, 燃气初温下降到 $T_3^* = 850^\circ\text{C}$ 左右, 输出电功率达到 16 000kW 以上, 热耗率达到 15806kJ/kWh (3 800kcal/kWh)。

中修要改进进气道、更换排气道、更换少量叶片、再可能有其他零件少量更换, 估计投资不会超过 150 万元。这时输出电功率能在 16 000kW 长期正常运行。如天然气和电都按平价计算, 运行 1000 小时, 按高价计算运行 500 小时就能收回投资。

2. 大修

大修就是按原性能为目标来争取, 但指标定得低一些: 压气机效率达到 85%, 压比达到 $\pi_c^* = 10$ 左右, 燃气初温达到 900°C , 输出电功率能达到 19 000~20 000kW, 热耗率能降到 14 232kJ/kWh (3400kcal/kWh)。这样压气机动叶可能更换多些。导叶也可能

在后几级要部分更换。涡轮动叶和导叶可能要部分更换,具体情况要开缸检查后才能定案,估计投资不会超过250万元,就能在输出功率19000kW以上正常长期运行。如都按平价计算运行1300小时,都按高价计算运行650小时就能回收投资。

一台设备都齐备运行过的机组,修复一下就能投入长期运行,这台机组燃料可以用天然气也可以用油。现在放着,电机作调相

实在太可惜了,修复燃气轮机周期可能要一年左右,但电机还可以继续作调相用,直到燃气轮机投入运行。而投资回收周期是非常短的,也就是运行2—3个月,所以修复工作有特别重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 柯特略尔 И. В. 燃气轮机装置的变动工况. 上海科学技术出版社, 1965年
[2] 沈炳正. 燃气轮机装置. 机械工业出版社, 1981年

Status Analysis of a PG5301 Gas Turbine Power Generating Set and Economic Results of its Renovation

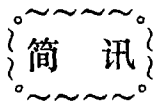
Lu Qihong

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstract

Some parts of a PG 5301 gas turbine generating set of a power plant in an oil field have been damaged after a short operation period due to the unfavorable environmental conditions, improper intake air filtration and excessively long time running at peak load. This has resulted in a lower power output, efficiency and reliability of the generating set. Considerable economic results may be achieved through repair and renovation of the malfunctioning parts.

Key Words: gas turbine power station, analysis, economic results, repair



硅可控开关被邀

参加国际技术展览

中国技术进出口公司及香港永新公司将于1990年11月举办第二届国际专利与新技术设备展览会。硅可控开关专利技术被邀参展。届时,将有许多国家和地区参加展览。

哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所贯彻改革开放,军民结合方针以来,取得了好成绩。已取得六项民品技术专利权。专利技术被邀参加国际展览在该所还属首次。

(邓景滨供稿)