

天然气管道燃压机组的性能试验及见证

向 波, 曲 月

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 结合西气东输管道工程燃气轮机驱动压缩机组设备订货及验收中对性能试验项目的确定、工厂试验及见证过程, 介绍了燃压机组性能试验项目所涉及的主要内容、执行标准、需要达到的技术指标, 各种性能试验的基本情况, 买方参加工厂试验见证中需要重点处理好的问题等。以期为我国其他大型长输天然气管道机组订货及试验见证工作提供借鉴。

关键词: 天然气管道; 燃压机组; 性能试验; 见证

文章编号: 1006-5539(2005)04-0001-04

文献标识码: B

座分输站。

1 西气东输管道概况及机组需求

1.1 工程概况

西气东输管道横贯我国东西, 设计输量 $120 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 设计压力 10.0 MPa, 管径为 $\varnothing 1016 \text{ mm}$, 采用 X70 钢级的管道输送用管。全线共设工艺站场 35 座, 其中压气站 10 座(燃驱压气站 6 座、电驱压气站 4 座), 干线线路截断阀室 138 座。各压气站(哈密、红柳压气站为无人站)按有人值守但无人操作设计。该输气管道为单气源供气, 2004 年靖边为临时首站, 2005 年起由轮南供气。干线计划共设 18

1.2 压气站布置及机组需求

输气管道全线共设置 10 座压缩机组。每座压缩机组装有 2 台压缩机组, 1 台运行, 1 台备用。所有压缩机组均为室内安装, 厂房不采暖, 2 台机组安装在 1 座厂房内。6 座压缩机组安装燃气轮机直接驱动的压缩机组, 另外 4 座压缩机组安装变频调速装置驱动的压缩机组。哈密和红柳压气站为无人值守、远程控制。其他压气站为有人值守, 但压缩机组需按远程控制设计。

工程 10 座压缩机组在设计输量下的运行参数及机组配置需求见表 1。

表 1 全线压缩机组站布置及机组配置

站 名	高程/m	计算功率/MW	机组配备	驱动方式	机组选型
轮南首站	930	16.23	1+1	燃气轮机驱动	22MW 机组
四道班压气站	1 164	18.48	1+1	燃气轮机驱动	25MW 以上机组
哈密压气站	1 070	18.03	1+1	燃气轮机驱动	25MW 以上机组
红柳压气站	1 628	17.87	1+1	燃气轮机驱动	25MW 以上机组
玉门压气站	1 868	16.42	1+1	燃气轮机驱动	25MW 以上机组
山丹压气站	1 921	16.66	1+1	电机驱动	20MW
中卫压气站	1 246	18.63	1+1	电机驱动	22MW
靖边压气站	1 328	18.14	1+1	燃气轮机驱动	25MW 以上机组
蒲县压气站	906	13.70	1+1	电机驱动	16MW
郑州分输压气站	160	12.71	1+1	电机驱动	17MW

收稿日期: 2005-03-08; 修回日期: 2005-03-31

作者简介: 向波(1963-), 男, 重庆人, 教授级高工, 1984 年毕业于西南石油学院油气储运专业, 西气东输管道工程设计联营体项目副经理, 全国五一劳动奖章获得者。电话: (028) 86014573。

2 燃压机组订货对性能试验的要求

2.1 燃压机组订货

工程通过严格规范的设备订货招评标过程,确定美国 Rolls Royce 公司为工程 6 座压缩机站的燃压机组提供设备。提供燃压机组由 6562 燃气轮机和 RFBB36 压机构成。6562 燃气轮机机组采用 RB211 燃气透平、RT62 动力涡轮。

2.2 机组性能试验的分类

根据 API 616, API 617, ASME PTC-22, ASME PTC-10 标准的相关规定,燃气轮机驱动离心式压缩机组所涉及的试验内容和要求覆盖了机组设计、制造、检验的全过程。包括了机组生产过程及主要部件、整体设备的试验要求。

机组的性能试验一般都针对燃气轮机、离心式压缩机、成套机组分别或整体进行,主要有以下五个方面的内容:a)燃气发生器性能测试;b)燃气轮机性能测试(ASME PTC-22);c)压缩机性能测试(ASME PTC-10);d)燃气轮机—压缩机组全速无负荷联机测试;e)燃气轮机—压缩机组全压/全速/全负荷联机测试。

在相关标准中,a)~c)项内容从保证机组的性能角度是要求必须在工厂完成的。但考虑到费用、运输、制造周期等因素,对于 d)~e)项整机的机械运转及性能测试则作为选择项,由供需双方在合同中明确。

2.3 性能试验的主要内容及要求

西气东输管道工程在设备采办技术规格书、最终订货合同中对本工程燃压机组的性能试验内容及要求作出了明确的规定,情况如下:

2.3.1 燃气发生器性能测试

2.3.1.1 燃气发生器性能测试的目的

燃气发生器性能测试的目的是在合同规定的输出功率下,测量并记录燃气发生器的热耗,并检查压气机可调叶片的动作、压气机级间放气的动作、燃机振动、温度场和滑油消耗率。

2.3.1.2 试验依据的标准和规范

燃气发生器性能试验的指导文件是:

•ISO 2314 1989“GAS TURBINES-ACCEPTANCE

TESTS”;

•R-R 公司依据 ISO 2314 1989 编制的 CTS 5017 “PRODUCTION EQUIPMENT TEST SCHEDULE”。

2.3.1.3 试验要求

工程每台燃气发生器均需进行性能测试,要求合同设备热耗的允许偏差为 $\pm 2.5\%$ 。

2.3.2 燃气轮机性能试验

2.3.2.1 试验目的

在制造厂进行燃气轮机出厂前性能试验的目的是测取燃气轮机的功率输出和热耗率参数,以验证其在 ISO 条件下和在合同规定的功率和转速下,其热耗是否满足合同规定。

2.3.2.2 试验依据的标准和规范

燃气轮机性能试验依据的标准和规范为:ASME PTC-22《燃气轮机性能试验规范》。

2.3.2.3 试验要求

根据合同规定,燃气轮机需达到合同要求的功率输出,其热耗的允许偏差为 $\pm 3\%$ 。

2.3.3 压缩机性能测试

2.3.3.1 试验目的

根据合同规定,对于压缩机性能保证是根据不同的机芯设计有不同的性能保证点,其试验的目的是验证各站采用不同机芯的压缩机组在约定保证点的性能是否达到了合同的规定。包括:保证点的转速、流量、压头;保证点转速下的实际喘振点流量偏差;保证点功率偏差。

2.3.3.2 试验依据的标准和规范

压缩机性能试验依据的标准和规范为:ASME PTC-10《压缩机性能试验规范》。

2.3.3.3 试验要求

根据测试结果,确定额定转速下的压头—流量曲线。提供换算为设计工艺气的测试性能曲线。测试的压缩机实际效率在设计流量时应不低于承诺值的 4% 。正常工作点的压头和流量不应有负偏差,这些点的实际功率不应超过规定值的 104% 。在设计流量时的喘振裕量至少为 25% 。与承诺的喘振流量相比,实际喘振流量不应有正偏差。

在工厂内对每台压缩机进行的 PTC-10 性能测试的过程中,对每种机芯设计进行喘振点和喘振线的测定,工厂内喘振点和线的测定在 3 个不同转速下进行:在相当于现场 100% , 105% , 85% 额定运行转速的折合转速下测定。

罗罗能源将负责实施每台机组的实际喘振线的现场测定,并保证其技术方案和设备的安全性和可靠性。该实际喘振线将由 5 个喘振点确定。各点的转速为 3 120, 3 600, 4 200, 4 800 和 5 040 r/min。

2.3.4 燃气轮机—压缩机组无负荷联机测试

2.3.4.1 试验目的

试验的目的是要采用合同规定的设备(燃气轮机的进、排气系统等除外),在工厂进行压缩机组的联机机械性能试验,以验证机组达到如下要求:燃气轮机 4 h 机械运转测试;压缩机 4 h 机械运转测试;润滑油系统的功能测试。

2.3.4.2 试验依据的标准和规范

工程合同要求对 12 台燃压机组做全速无负荷的整机机械运转测试。燃气轮机—压缩机组无负荷联机测试按照《R—R 能源公司燃气轮机驱动压缩机组联机测试程序——西气东输管道工程燃气轮机驱动压缩机组机械运转测试程序》进行。

2.3.4.3 试验要求

在完成联机机械运转试验的同时,按照程序文件要求完成以下测试内容:机组的超速运转试验;燃气轮机的超速停机试验;在机组的机械运转试验过程中,机组的振动检测、润滑油测试、轴承温度检测、压缩机总成的气体泄漏检测等各项指标满足程序文件的相关规定。

2.3.5 燃气轮机—压缩机组全压/全速/全负荷联机测试

2.3.5.1 试验目的

工程合同要求对 1 台燃压机组进行全速/全压/全负荷整机测试。试验的目的是要采用合同规定的设备(燃气轮机的进、排气系统等除外),在工厂采用氮气模拟压缩机组的实际运行工况,以验证机组达到合同规定的各项要求。

2.3.5.2 试验依据的标准与规范

压缩机组的联机测试分为整机组的机械运转试验、全速/全压/全负荷测试两部分,在 API 616 中将联机测试均定义为选择项,要求在联机的机械运转试验时,与变速的驱动设备和压缩机一起试验。而全速/全压/全负荷试验的细节应由双方商定,并可替代机械运转试验。

目前对全速/全压/全负荷联机测试尚无通用的国际标准,试验按照《R—R 能源公司燃气轮机驱动压缩机组联机测试程序——西气东输管道工程压缩机保证点速度、功率和机械性能的联机测试》进行。

2.3.5.3 试验要求

在合同要求的保证点转速下,机组的输出功率达到合同的要求(即验证机组的全速/全负荷性能),且机组的机械性能满足合同的要求。

在合同要求的保证点转速下,机组的排气压力能达到最高设计排气压力值(即验证机组的动态全压性能),且机组的机械性能满足合同的要求。

在完成全速/全压/全负荷整机测试的同时,按照合同及相关技术规范的要求,同时完成整机的机械性能试验,包括:机组在最高允许连续转速下,验证机组的各项性能;机组的超速运转试验;燃气轮机的超速停机试验。

在机组的机械运转试验过程中,机组的振动检测、润滑油测试、轴承温度检测、压缩机总成的气体泄漏检测、燃气发生器和动力透平润滑油系统的油滤和主备润滑油泵的在线切换等各项指标满足合同的相关规定。

3 工厂性能试验见证

3.1 见证工作基本情况

燃压机组作为高技术产品,其系统构成复杂,为了保证机组的性能、质量,按照燃压机组制造及检验标准的相关要求,在工厂需要进行的试验内容和项目繁多。作为机组的购买及使用方,在要求制造商严格按照标准进行产品生产的同时,需要重点关注机组的整体性能能否达到合同的相关规定。西气东输工程是大功率燃压机组在国内的首次使用,除在合同中对上述机组性能试验提出明确要求外,参加工厂性能试验的相关见证工作尤为重要。

中国石油西气东输管道公司组成了专业配套及技术力量较强的见证工作组,参加了首批设备试验见证工作。

见证组与 R—R 公司共同商定了各项试验的主要内容、测试装置、测试程序、测试结果计算方法、计算结果评估等关键技术问题,形成了试验见证的工作程序。

3.2 重点见证工作

3.2.1 根据相关国际标准的规定,强调试验设备及仪表的校验

见证组要求 R—R 公司在各项试验进行前应对

所用的试验设备和仪表进行校验并提供校验报告, 注意在试验现场检查测试所用仪表的校验有效期, 以保证测试数据及结果的正确性。

3.2.2 重视测试程序的审核、确认与执行

见证组对测试程序中的测试内容与合同要求的符合性、测试程序与相关国际标准规定的一致性、试验回路配置的合理性、试验结果的折算方法及特性曲线图的绘制等方面进行了认真的审核。测试程序经双方确认后, 在试验进行期间, 还注意了全面跟踪测试工作的进展, 检查测试程序的执行情况和原始数据的正确性, 保证测试过程严谨可靠。

3.2.3 确保测试内容符合合同要求

见证组按照合同规定逐项对 R—R 公司提供的测试技术文件进行复核, 以保证其测试内容全面满足合同的要求, 不应有缺项、漏项。

R—R 公司提出的测试程序文件中, 有两个主要测试内容与合同规定不一致。见证组与 R—R 公司进行了多次协商, 最终取得了一致意见:

a) 离心式压缩机的喘振线测试问题;

b) 全压力/全转速/全负荷联机测试中的全压测试问题。

3.2.4 理顺后续试验见证的工作程序

为了使后续的压缩机组出厂试验见证能够在本次工作的基础上顺利开展, 经与 R—R 公司协商, 见证组提出了后续试验见证的工作程序。

3.3 各项性能试验的概况

3.3.1 燃气发生器性能测试

RB211—24G 燃气发生器试验在加拿大蒙特利尔的 R—R 加拿大工厂内 5 #试车台上进行。该试车台是对 RB211 专用的试车台。试车台由润滑油系统和液压油系统、气体燃料系统、经过校准进口空气测量装置、环形排气装置和当量喷口面积为 0.1935 m^2 (300 in^2) 的喷气管组成。通过测量进入燃机的空气流量, 计算出燃机在合同规定的出力情况下, 燃机的热耗率。试验用的燃料为天然气。

3.3.2 燃气轮机性能试验

整个试验装置由燃机箱装体(机罩)、燃气发生器、动力涡轮、水力测功器、控制系统、润滑油系统、启动系统、进排气装置、燃料供应及流量测量系统等组成。除水力测功器、进排气装置、燃料供应及流量测量系统和辅助润滑油橇(用于动力涡轮和水力测功器润滑)外, 其余主要设备和系统均为合同设备。

试验通过记录各个规定的测试负荷点的数据, 整理、计算出其输出功率和热耗率参数, 换算到 ISO 状态, 以便与合同规定值进行比较。

3.3.3 压缩机性能测试

压缩机 PTC—10 性能试验回路经见证组复核满足 PTC—10 规范要求。合同设备的压缩机被安装在车间内的试验台上, 工厂提供实验所需的燃气发生器、动力透平及联轴节。使用 ISO 32 润滑油, 干气密封使用氮气, 轴密封使用压缩空气。

3.3.4 燃气轮机—压缩机组无负荷联机测试

a) 压缩机测试回路为开式结构, 压缩机进气口设置丝网(防止异物进入压缩机)直接从车间进气; 压缩机排气口接管将气体排出车间外。

b) 用于联机测试的合同设备包括:

- RB211—24G 燃气轮机(包括 RB211—24 燃气发生器和 RT62 动力透平, 在联机测试前已完成了燃气轮机性能测试 PTC—22 的所有内容);

- RF3BB—36 压缩机(在联机测试前已完成了压缩机性能测试 PTC—10 的所有内容);

- 燃气发生器的润滑油和启动系统;

- 动力透平/压缩机的润滑油系统(油冷器除外);

- 联轴器;

- 橇上所有管道, 接线;

- 供货设备的相关仪器, 振动探头;

- 机组控制盘等。

c) 用于联机测试的非合同设备(车间设备)包括:

- 测试仪器;

- 马达控制中心;

- 测试用燃气轮机排气系统;

- 车间的压缩空气等。

3.3.5 燃气轮机—压缩机组全压/全速/全负荷联机测试

a) R—R 公司利用压缩机性能测试的试验室及设备, 并为本试验专项设置了测试回路。描述如下:

该测试采用闭环回路, 以氮气作为试验介质, 并根据氮气与现场实际输送气体的对应条件和关系, 经计算确定相关测试参数。

测试回路中设置一个 12" 调节阀用于压缩机进、出口气体压力的调节与控制。

测试回路中设置水冷却器对加压后的气体进行冷却以保证回路的连续运行。(下转第 14 页)

(上接第 4 页)

测试回路中设置氮气的进、排气接口,对测试回路进行充压和排放。

测试回路中按照规范要求设置了压力、温度等测试用仪表。

b)用于联机测试的设备情况与 3.3.4 基本相同。

4 建议

a)大型燃压机组的性能试验对保证成套设备的整体性能十分重要,对于性能试验的主要内容、执行标准、技术指标等应在设备采办技术规格书和合同中作出具体规定。

b)燃气轮机—压缩机组无负荷联机测试在标准中为选择项性能测试内容,对于保证合同设备到达现场后快速安装及投入运行具有十分重要的作用。

宜结合工程建设进度、该项试验所需要的费用综合确定,对于国内应用较少的大型燃压机组而言,选择进行该试验是有必要的。

c)燃气轮机—压缩机组全压/全速/全负荷联机测试在标准中为选择项性能测试内容,对于在工厂内验证合同设备能否真正达到现场条件设计运行工况具有重要作用。由于本试验需要在工厂采用氮气模拟压缩机组的实际运行工况,其试验费用昂贵,一般用户很少要求进行,R—R 公司也极少进行该项试验。故本试验只宜在大批量设备订货时,选择个别机组进行。

d)文中所提到的五个方面的机组性能试验,对于机组的设计、制造、装配水平是较为全面的检验,对于保证机组达到合同要求性能指标、加快现场安装及投运意义重大,由买方组成性能试验见证工作组对试验的程序、过程、结果进行审查和见证是十分必要的。