

天然气余压发电设备设计参数和发电量计算方法研究

杨宏伟¹ 廖欣¹ 唐闻² 夏堃¹ 刘蔷¹

1. 中国石油西南油气田公司新能源事业部, 四川 成都 610051;

2. 中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610041

摘要:为保障天然气余压发电设备的安全、平稳、高效运行,有必要针对天然气流量波动较大的工况特点,对天然气余压发电设备进出口压力及流量等设计参数和发电量的计算方法进行系统研究。通过分析天然气输气工况的历史数据,计算天然气流量波动工况下不同设计参数的天然气余压发电设备年累计发电量,按照年累计发电量最高、经济效益最优的原则优选天然气余压发电设备的设计参数并确定设备选型规格,提高天然气余压发电设备设计参数和发电量计算的科学性、合理性。采用基于天然气流量波动工况下计算天然气余压发电设备发电量的方法对某输气站的天然气余压发电设备设计参数和发电量进行计算,计算结果与设备实际运行情况相符。因此,基于天然气流量波动工况,计算天然气余压发电设备设计参数和发电量符合天然气余压发电设备的实际运行工况,可有效提高设计方案质量和项目可行性研究结论的准确性。

关键词:天然气;余压发电;参数;发电量计算

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2024.01.015

Research on calculation method of design parameters and capacity for natural gas residual pressure power generation equipment

YANG Hongwei¹, LIAO Xin¹, TANG Wen², XIA Kun¹, LIU Qiang¹

1. New Energy Division of PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu, Sichuan, 610051, China;

2. CPECC Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract: Ensuring the safe, stable, and efficient operation of natural gas residual pressure power generation equipment necessitates a systematic examination of design parameters. These parameters include the inlet and outlet pressures and flow rates of natural gas, and the methodology for calculating generated power, taking into account the substantial fluctuations in natural gas flow rates. This research involves an analysis of historical data on natural gas transmission conditions to estimate the annual cumulative power generation for various design scenarios, accounting for fluctuations in natural gas flow rates. By adhering to the principle of maximizing annual power output and economic benefits, the optimal design parameters for natural gas residual pressure power generation equipment can be determined. Subsequently, the selection specifications for the equipment can be ascertained, enhancing the scientific validity and rationality of the design parameters and the power generation calculations. The method for calculating power generation, which accounts for fluctuations in natural gas flow rates, is applied in determining the design parameters and power generation capacity at a gas transmission stations. In this study, the calculation results are consistent with the

收稿日期:2023-05-04

作者简介:杨宏伟(1987-),男,四川安岳人,高级工程师,学士,主要从事项目管理、新能源等方面的研究工作。E-mail: yanghongwei4@petrochina.com.cn

actual performance of the equipment. The design parameters and power generation capacity of this equipment meet the actual operating conditions and can improve design and the accuracy of feasibility study.

Keywords: Natural gas; Residual pressure power generation; Parameters; Power generation capacity calculation

0 前言

天然气余压发电技术是一种高效、清洁电力生产技术,其利用高压天然气进入膨胀机等熵膨胀降压对外做功,回收天然气的压力能并转化为机械能来驱动发电机发电。该技术具有无化石能源消耗、无污染物排放、发电时间长、发电量稳定、经济效益好等优点^[1]。在国家“双碳”目标背景下,建设天然气余压发电项目是天然气生产企业利用自身天然气余压资源优势,生产清洁能源,实现绿色低碳和可持续发展的重要举措。

1 天然气余压发电技术简介

自1981年中国首钢集团有限公司新2号高炉引进日立造船株式会社的高炉煤气余压透平发电装置(Blast Furnace Top Gas Recovery Turbine Unit, TRT)以来,余压发电技术在中国已应用40余年,目前钢铁企业大型TRT的普及率达100%^[2]。在天然气行业,自2013年深圳市

燃气集团求雨岭天然气门站节能利用示范工程建设以来,中国已有20余个天然气余压发电项目先后投运,但大部分项目因科研试验工作结束、天然气余压资源不稳定和设备制造水平等问题已停运。目前,中国正在运行的天然气余压发电项目包括中国石油西南油气田公司引进分厂余压发电项目、乐山和邦生物余压发电项目、天辰齐翔新材料天然气减压膨胀机组、新奥滁州天然气门站发电项目、上海临港电厂天然气差压发电项目等,总装机规模约7.5 MW^[3-5]。

天然气余压发电技术的核心主要是通过天然气膨胀发电机组代替天然气生产工艺流程中的调压阀,利用高压天然气在膨胀机等熵膨胀降压并对外做功,驱动发电机发电^[6]。天然气余压发电系统由膨胀机、发电机、自动控制系统、辅助系统(供油、降温、密封等)等组成。膨胀机类型包括透平、双转子、螺杆、柱塞等,目前主流设备为透平、双转子和螺杆膨胀发电机组。透平、双转子、螺杆膨胀发电机组工况适应性见表1。

表1 透平、双转子、螺杆膨胀发电机组工况适应性对比表

膨胀发电机组类型	最高允许压力/MPa	压比适用范围	最大允许流量/(10 ⁴ m ³ ·h ⁻¹)	流量适应范围(相对设计流量)	等熵效率	气质要求
透平	10	1.03~8.00	16	20%~120%	0.75~0.85	不可带液
双转子	4	1.10~3.00	10	65%~100%	0.55~0.75	可少量带液
螺杆	4	1.10~3.00	8	35%~100%	0.50~0.80	可少量带液

注:压比为天然气膨胀发电机组入口绝压与出口绝压之比。

余压发电技术在钢铁和化工企业已得到成熟应用。但天然气余压发电受天然气上游生产和下游用户消纳影响,余压发电设备天然气进出口压力和流量面临不同程度的波动工况;且天然气余压发电设备尚未大规模应用,相关历史应用数据短缺,给天然气余压发电设备设计参数确定、发电量计算和设备合理选型造成了困难,故有必要进行系统研究。

2 余压发电设备发电量计算

2.1 膨胀机等熵膨胀理论做功功率计算

根据热力学理论,天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率计算见式(1)^[7]。

$$W = \frac{Q}{3600} \times \rho \times C_p \times T \times \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (1)$$

式中: W 为天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率,kW; Q 为天然气小时流量,m³/h; ρ 为天然气密度,在0℃及1个大气压的条件下为0.717 4 kg/m³; C_p 为天然气质量等压比热容,25℃时为2.156 kJ/(kg·K); T 为天然气入口温度,K; p_1 为天然气入口绝压,MPa.a; p_2 为天然气出口绝压,MPa.a; k 为天然气绝热指数, $k=1.314$ 。

从式(1)可以看出,天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率主要受压比、天然气小时流量和天然气入口温度的影响(其余计算参数可视为常数),因此上述3个参数是膨胀机等熵膨胀理论做功功率的关键影响参数,取值方法是研究重点。

天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率除采用式(1)计算外,还可以采用美国艾斯本技术有限公司的过程工艺软件(Aspen HYSYS[®])、加拿大虚拟物流集团公司稳

态流程模拟软件(Virtual Materials Group Vmgsim[®])等专业模拟软件进行计算,或采用美国国家标准与技术研究院物性数据库进行查询计算。

2.2 膨胀发电机组发电量计算

天然气膨胀发电机组因膨胀机类型和结构组成不同,发电量计算方法也有所不同。

2.2.1 透平膨胀发电机组发电量计算

透平膨胀发电机组发电量计算需考虑等熵膨胀理论做功功率、膨胀机效率、齿轮箱功率损耗、发电机效率、发电时间等因素^[8-12],计算见式(2)。

$$N_T = (W \times \eta_T - \omega) \times \eta_G \times H \quad (2)$$

式中: N_T 为透平膨胀发电机组发电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$; η_T 为透平膨胀机效率,根据透平膨胀机厂家数据表或曲线图确定,通常取值为0.75~0.85; ω 为齿轮箱功率损耗,根据齿轮箱厂家数据表或曲线图确定(通常 $W \leq 500 \text{ kW}$ 时, $\omega = 35 \text{ kW}$;当 $500 \text{ kW} < W \leq 1\,000 \text{ kW}$ 时, $\omega = 0.05W$;当 $W > 1\,000 \text{ kW}$ 时, $\omega = 0.03W$); η_G 为发电机效率,根据发电机厂家数据表或曲线图确定,通常取值为0.95~0.98; H 为发电时间,h。

2.2.2 双转子膨胀发电机组发电量计算

双转子膨胀发电机组发电量计算需考虑等熵膨胀理论做功功率、膨胀机效率、综合传动损耗系数、发电机效率、发电时间等因素,计算见式(3)。

$$N_S = W \times \eta_s \times \varphi \times \eta_G \times H \quad (3)$$

式中: N_S 为双转子膨胀发电机组发电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$; η_s 为双转子膨胀机效率,根据双转子膨胀机厂家数据表或曲线图确定,通常取值为0.55~0.75; φ 为综合传动损耗系数,通常取值为0.99。

2.2.3 螺杆膨胀发电机组发电量计算

螺杆膨胀发电机组发电量计算需考虑等熵膨胀理论做功功率、膨胀机效率、齿轮箱功率损耗、发电机效率、发电时间等因素^[13-14],计算见式(4)。

$$N_L = (W \times \eta_L - \omega) \times \eta_G \times H \quad (4)$$

式中: N_L 为螺杆膨胀发电机组发电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$; η_L 为螺杆膨胀机效率,根据螺杆膨胀机厂家数据表或曲线图确定,通常取值为0.5~0.76(已考虑膨胀机内部轴承和同步齿轮损耗系数0.95~0.98),当螺杆膨胀机设计转速在3 000 r/min以下时,一般不设齿轮减速箱, ω 取0。

3 余压发电设备设计参数与发电量计算

以天然气余压发电设备安全、平稳、高效运行为目标,基于天然气余压发电核心装备膨胀机运行最优原则,优选天然气进出口压力、进口温度和流量等设计参数,以某输气站为例,进行天然气余压发电设备发电量计算方法研究。

3.1 某输气站概况

某输气站目前采用压力调节阀对天然气压力和流量进行调节,该站安装的天然气余压发电设备将代替调节阀进行压力调节并输出清洁电能。

以该站2021年运行参数为例对设计参数取值进行分析。该站2021年天然气流量为 $100 \times 10^4 \sim 600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平均流量为 $346 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,调压前天然气压力为4.92~5.87 MPa,调压后天然气压力为4.18~5.5 MPa,压差为0.9~1.7 MPa,压比为1.2~1.4。流量、压力均处于波动状态,见图1~2。

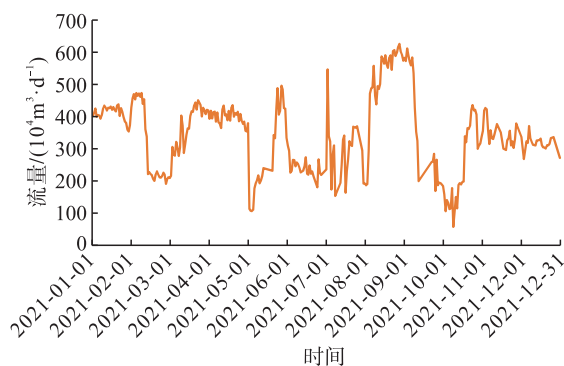


图1 某输气站2021年天然气流量波动曲线图

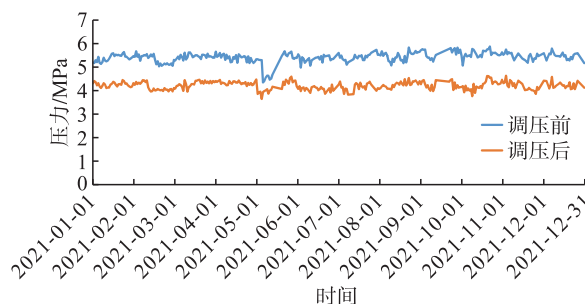


图2 某输气站2021年天然气压力波动曲线图

3.2 发电机组设计进出口压力的确定

由于膨胀机输出功率大小主要受压比和流量的影响,为简化计算,在去除部分非典型压力数据后,采用现调节阀调压前后的压力平均值作为某输气站天然气余压发电设备设计工况进出口压力。同时,为防止统计原因造成的压比值计算偏差,应抽选多组典型工况下调节阀进出口压力值计算压比值,并与使用调节阀进出口压力平均值计算的压比值进行对比和修正^[15]。

第一步,计算现调节阀前后压力平均值。对该站2021年现调节阀调压前后压力进行统计,去除该站上游天然气净化厂检修停产期间的非典型数据(停产期间本站调节阀调压前后压力均为0)后,该站调节阀调压前压力平均值为5.43 MPa,调压后压力平均值为4.22 MPa,调压前后平均压力的压比值为1.287。

第二步,复核第一步计算的调节阀前后压力平均值是否具有代表性。对该站2021年每天调节阀调压前后

的压比值进行统计计算,调节阀调压前后压力压比值的平均值为 1.286,与第一步计算的调节阀调压前后平均压力的压比值 1.287 差异较小。同时,该站 2021 年每天调节阀调压前后压力压比值的中位数为 1.282(即该站在一半时间的调节阀调压前后压力压比值比 1.282 大,另一半时间的调节阀调压前后压力压比值比 1.282 小),也与第一步计算的调压前后平均压力的压比值差异较小。因此,将调节阀调压前压力值 5.43 MPa、调压后压力值 4.22 MPa 作为天然气余压发电设备运行的典型工况压力数据是合理的,不需要进行补充修正。

第三步,确定天然气余压发电设备设计的进出口压力值。考虑到透平膨胀机天然气进口前管道需设置安全调节阀,该调节阀对进入膨胀机的天然气具有一定的节流作用(即天然气通过该调节阀存在一定的压力损失)。根据经验,透平膨胀机进口前管道调节阀压力损失值一般为 0.02 MPa。因此,该站天然气余压发电设备设计进口压力取值为 5.41 MPa(即调节阀调压前压力平均值 5.43 MPa 减透平膨胀机进口前管道调节阀压力损失值 0.02 MPa 所得值),设计出口压力为 4.22 MPa(即现调节阀调压后压力平均值 4.22 MPa),设计压比为 1.28。

3.3 发电机组设计进口温度的确定

由于发电机组设计进口温度对膨胀机输出功率影响较小,为简化计算,发电机组设计进口温度按照上年温度统计数据计算平均值,并保守取较低的 30℃ 作为发电机组设计进口温度。

3.4 发电机组发电量计算

3.4.1 发电机组设计流量与发电量计算方法

某输气站输气压力高于 5 MPa,目前双转子膨胀发电机组和螺杆膨胀发电机组暂无适应工作压力高于 5 MPa 的设备,因此该站采用透平膨胀发电机组作为天然气余压发电设备。

由于该站天然气流量在 $100 \times 10^4 \sim 600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 区间波动,天然气余压发电设备大部分时间在非设计工况下运行,根据式(2),其发电量计算应考虑不同流量工况下的天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率、膨胀机效率、齿轮箱功率损耗、发电机效率和发电时间^[16]。

天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率:根据式(1),天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率与天然气小时流量呈正比,当天然气流量在 $100 \times 10^4 \sim 600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 区间波动时,天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率将在最低做功功率的 1~6 倍区间变化。

膨胀机效率:某型号透平膨胀机流量—效率曲线见图 3,当天然气流量在设计工况流量 25%~120% 区间变化时,膨胀机效率在 0.3~0.8 区间变化。

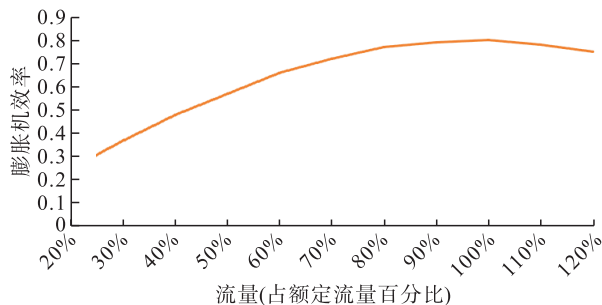


图3 某型号透平膨胀机流量—效率曲线图

发电机效率:某型号发电机输入功率—效率曲线见图 4,当发电机输入功率在发电机额定输入功率的 20%~110% 区间变化时,发电机效率在 0.6~0.95 区间变化。

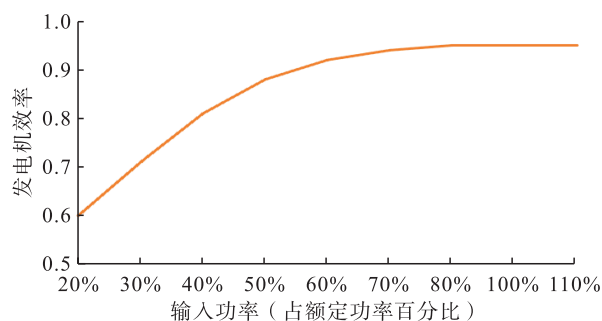


图4 某型号发电机输入功率—效率曲线图

根据上述分析,当天然气流量大幅波动时,天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率、膨胀机效率、发电机效率均大幅波动,导致发电量呈大幅波动状态。为优化发电量计算,应针对不同流量工况状态分别计算发电量,再累加得出年发电量。以某输气站透平膨胀发电机组为例(双转子、螺杆膨胀发电机组计算方法类似),计算见式(5)。

$$Q_y = \sum_{i=1}^n [(W_i \times \eta_{Ti} - \omega_i) \times \eta_{Gi} \times H_i] \quad (5)$$

式中: Q_y 为透平膨胀发电机组发电量, $\text{kW} \cdot \text{h/a}$; W_i 为第 i 个流量区间天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率,按式(1)或专业工艺模拟软件计算取值, kW ; η_{Ti} 为第 i 个流量区间膨胀机效率,根据膨胀机厂家数据表或曲线图确定,通常透平膨胀机效率取值为 0.75~0.85; ω_i 为第 i 个流量区间内齿轮箱功率损耗,根据齿轮箱厂家数据表或曲线图确定(通常 $W_i \leq 500 \text{ kW}$ 时, $\omega_i = 35 \text{ kW}$; 当 $500 \text{ kW} < W_i \leq 1000 \text{ kW}$ 时, $\omega_i = 0.05 W_i$; 当 $W_i > 1000 \text{ kW}$ 时, $\omega_i = 0.03 W_i$); η_{Gi} 为第 i 个流量区间发电机效率,根据发电机厂家数据表或曲线图确定,通常为 0.95~0.98; H_i 为第 i 个流量区间发电时间, h 。

3.4.2 流量区间的划分与发电时间的计算

为优化计算,将某输气站的流量区间划分为 12 个 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的等间距流量区间,并对每个流量区间的发电时间进行统计。由于天然气余压发电项目在设计时一般按 1 年 8 000 h 计算年发电量,目前统计范围的发

电时间为 8 712 h,与 8 000 h 的发电时间不匹配,需对 12 个流量区间的发电时间按比例进行折算,见表 2。

表 2 某输气站流量区间设计发电时间统计表

流量区间 / (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	实际运行时间 /h	设计发电时间 /h
100 ~ 150	552	507
150 ~ 200	744	683
200 ~ 250	1 248	1 146
250 ~ 300	648	595
300 ~ 350	1 584	1 455
350 ~ 400	1 104	1 014
400 ~ 420	816	749
420 ~ 450	864	793
450 ~ 500	456	419
500 ~ 550	96	88
550 ~ 600	456	419
600 以上	144	132
合计	8 712	8 000

3. 4. 3 设计流量膨胀发电机组发电量计算

假设某输气站透平膨胀发电机组设计流量为 300 × 10⁴ m³ /d,按式(5)计算,该透平膨胀发电机组设备在各流量区间的发电量计算结果见表 3。

表 3 中膨胀机效率根据图 3 查询,当流量范围超过设计流量时,膨胀发电机组输出功率按最大发电功率进行发电,如设计流量为 300 × 10⁴ m³ /d 的设备在 300 × 10⁴ ~ 600 × 10⁴ m³ /d 的流量区间内,膨胀机输出轴功率均为 599 kW。

表 3 中发电机效率根据图 4 查询,其中设计流量为 300 × 10⁴ m³ /d 设备在 100 × 10⁴ ~ 300 × 10⁴ m³ /d 的流量区间内,发电机输入功率未达到设计功率,效率偏低。同时,发电机在 300 × 10⁴ ~ 600 × 10⁴ m³ /d 的流量区间处于设计工况运行,保持在最佳运行效率 0. 95 的状态。

通过表 3 计算得出,设计流量为 300 × 10⁴ m³ /d 时,透平膨胀发电机组发电量为 359 × 10⁴ kW · h/a。

表 3 设计流量为 300 × 10⁴ m³ /d 透平膨胀发电机组发电量计算结果表

流量区间 / (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	区间内流量平均值 / (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	天然气膨胀机等熵膨胀理论做功功率 /kW	膨胀机效率	天然气膨胀机输出轴功率 / kW	齿轮箱功耗 / kW	设计发电时间 /h	发电机效率	发电量 / (10 ⁴ kW·h·a ⁻¹)
100 ~ 150	125	298	0. 49	147	35	507	0. 70	4
150 ~ 200	175	417	0. 62	260	35	683	0. 90	14
200 ~ 250	225	536	0. 71	383	16	1 146	0. 94	39
250 ~ 300	275	654	0. 78	512	20	595	0. 95	28
300 ~ 350	325	773	0. 77	599	23	1 455	0. 95	80
350 ~ 400	375	892	—	599	27	1 014	0. 95	55
400 ~ 420	410	976	—	599	29	749	0. 95	41
420 ~ 450	435	1 035	—	599	31	793	0. 95	43
450 ~ 500	475	1 130	—	599	34	419	0. 95	22
500 ~ 550	525	1 249	—	599	37	88	0. 95	5
550 ~ 600	575	1 368	—	599	41	419	0. 95	22
600 以上	600	1 428	—	599	43	132	0. 95	7
合计	—	—	—	—	—	8 000	—	359

3. 4. 4 不同设计流量膨胀发电机组发电量计算

由于不同设计流量的膨胀发电机组发电量各不相同,对多个设计流量的膨胀发电机组发电量进行计算,结果见表 4。

由表 4 可以看出,设计流量为 350 × 10⁴ m³ /d 时,膨胀发电机组发电量最高为 394 × 10⁴ kW · h/a。

表 4 不同设计流量膨胀发电机组发电量计算结果表

设计流量 / (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	发电量 / (10 ⁴ kW·h·a ⁻¹)	设计流量 / (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	发电量 / (10 ⁴ kW·h·a ⁻¹)
200	273	400	388
250	320	420	387
300	359	450	379
330	383	500	358
350	394	600	320
380	393		

3.4.5 不同设计流量膨胀发电机组的经济性比选

根据透平膨胀发电厂家的经验,影响透平膨胀机组制造成本的关键部件是膨胀机、发电机、油站、干气密封、自动控制系统、仪表阀门等。其中,除发电机造价受透平膨胀机组的额定功率增加而有所增加外,其他部件造价基本相当(即其他部件的造价受膨胀发电机组额定功率大小的影响较小),同一额定功率等级的透平膨胀机组造价差异较小,额定功率越高的膨胀发电机组设备单瓦造价越低,发电量越高的天然气膨胀发电机组经济效益越好^[17-18]。据此,该站的天然气膨胀发电机组设计流量选择 $350 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时经济效益最佳,对应的膨胀发电机组发电量为 $394 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$ 。

3.4.6 注意事项

用本方法分析天然气余压发电设备设计工况进出口压力和流量数据时,应去除非典型工况数据(如检修期间低负荷运行工况或停产工况),避免数据统计分析偏差过大。

在进行更为精确计算时,需要将流量区间划分为更小的区间,并根据膨胀机、发电机、齿轮箱等设备厂家的设备数据表或曲线图进行详细计算。

膨胀发电机组在进行经济性比选时,若纳入比选的膨胀发电机组设计差异较大时,设备造价的差异也可能较大。此时,宜对不同设计流量膨胀发电机组进行询价,按照项目经济评价的有关规定对不同设计流量膨胀发电机组的设备造价、发电量、维保成本等项目进行详细评价分析,并根据经济评价结论选择经济效益最佳的设备选型方案^[19-20]。

4 结论

1) 针对天然气流量波动较大的特点,研究了一种天然气余压发电设备发电量计算方法,使天然气余压发电设备设计参数的确定和发电量的计算与实际工况更接近,计算结果更科学、准确和合理;同时为设备选型(确定设计参数)提出了简单、实用的思路,有助于天然气余压发电设备安全、平稳、高效运行。

2) 由于本方法是基于历史工况数据进行的统计分析和发电量优化计算,不能体现未来趋势。建议实际应用时结合上游天然气勘探开发部署、中游天然气管网规划、下游输气量和压力预测等进行系统分析,综合优选出最优的设备设计参数。

3) 本方法除可用于天然气余压发电设备设计参数的优选外,在确保天然气余压发电设备长期稳定处于良好的运行工况状态的前提下,还可以按照发电量最高、经济效益最优的原则,对不同类型的天然气余压发电设备发电量进行计算,并对不同类型的天然气余压发电设

备进行经济性比选,确保天然气余压发电设备选型最优。

参考文献:

- [1] 朱力洋,熊波,王志军,等. 天然气压差发电技术在地下储气库的应用[J]. 天然气工业, 2021, 41(3): 142-146.
ZHU Liyang, XIONG Bo, WANG Zhijun, et al. Application of natural gas pressure differential power generation technology in underground gas storages [J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(3): 142-146.
- [2] 李清河. 概述高炉 TRT 压差发电系统[J]. 科技与创新, 2017(5): 119.
LI Qinghe. Overview of TRT pressure differential power generation system for blast furnace [J]. Science and Technology & Innovation, 2017(5): 119.
- [3] 陈红良. 上海液化天然气应用创新项目管理和评价[J]. 中国石油企业, 2019(4): 86-88.
CHEN Hongliang. Management and evaluation of Shanghai LNG application innovation project [J]. China Petroleum Enterprise, 2019(4): 86-88.
- [4] 杨会丰,梁海峰,王林平,等. 天然气余压利用技术与发展现状[J]. 石油石化节能, 2017, 7(11): 15-18.
YANG Huifeng, LIANG Haifeng, WANG Linping, et al. Technology and development status of natural gas residual pressure utilization [J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2017, 7(11): 15-18.
- [5] 梁庆林. 天然气透平膨胀发电技术在燃机电厂的应用[J]. 机电信息, 2014, 33(4): 105-106.
LIANG Qinglin. Application of natural gas turbine expansion power generation technology in gas turbine power plants [J]. Mechanical and Electrical Information, 2014, 33(4): 105-106.
- [6] 陈杨. 天然气余压发电理论与计算[J]. 燃气轮机技术, 2013, 26(3): 65-68.
CHEN Yang. Theory and calculation of natural gas residual pressure power generation [J]. Gas Turbine Technology, 2013, 26(3): 65-68.
- [7] 陈文科,沈荣华,张伟,等. 天然气余压发电装置在引进分厂的应用[J]. 石油石化节能, 2021, 11(11): 5-8.
CHEN Wenke, SHEN Ronghua, ZHANG Wei, et al. Application of natural gas residual pressure power generation device in imported branch plants [J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2021, 11(11): 5-8.
- [8] 赵先勤,史宇倩. 天然气压力能发电项目的应用[J]. 煤气与热力, 2017, 37(5): 1-5.
ZHAO Xianqin, SHI Yuqian. Application of natural gas pressure energy power generation projects [J]. Gas & Heat, 2017, 37(5): 1-5.
- [9] HOWARD C R. Hybrid turbo expander and fuel cell system for power recovery at natural gas pressure reduction station [D]. Ottawa: Queen's University, 2009.
- [10] 周建,罗敏,李翔,等. 川渝管网高低压分输压力能回收利用技术分析[J]. 天然气技术与经济, 2014, 8(4): 40-79.

- ZHOU Jian, LUO Min, LI Xiang, et al. Analysis of high and low pressure distribution pressure energy recovery and utilization technology in Sichuan Chongqing Pipeline Network [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2014, 8 (4): 40-79.
- [11] 邹云. 引进天然气透平膨胀机国产化改造实践[J]. 天然气与石油, 2020, 38(1): 98-103.
- ZOU Yun. Practice of localization transformation of introducing natural gas turbine expander [J]. Natural Gas and Oil, 2020, 38 (1): 98-103.
- [12] 徐明照, 杨小强, 刁安娜, 等. 双螺杆膨胀机的发电特性试验研究[J]. 热能动力工程, 2016, 31(10): 59-62.
- XU Mingzhao, YANG Xiaoqiang, DIAO Anna, et al. Experimental study on power generation characteristics of twin screw expander [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2016, 31 (10): 59-62.
- [13] 刁安娜, 徐琼琰, 张泉明, 等. 天然气螺杆膨胀机的开发与应用[J]. 石油与天然气化工, 2013, 42(4): 378-381.
- DIAO Anna, XU Qiongyan, ZHANG Quanming, et al. Development and application of natural gas screw expander [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2013, 42 (4): 378-381.
- [14] 吴高捷, 张帆, 朱君. 双螺杆膨胀机螺杆转子的模态分析[J]. 机械, 2016, 11(43): 4-9.
- WU Gaojie, ZHANG Fan, ZHU Jun, et al. Modal analysis of the screw rotor of a twin screw expander [J]. Machinery, 2016, 11 (43): 4-9.
- [15] 孙亚静, 张帆. 双螺杆膨胀机的有限元仿真与试验研究[J]. 机械工程与自动化, 2019, 30(4): 52-54.
- SUN Yajing, ZHANG Fan. Finite element simulation and experimental research on twin screw expander [J]. Mechanical Engineering & Automation, 2019, 30 (4): 52-54.
- [16] 傅玲琼. 螺杆膨胀机余压发电技术在钢铁企业的应用前景[J]. 内燃机与配件, 2022, 6(12): 115-117.
- FU Lingqiong. Application prospects of residual pressure power generation technology using screw expanders in steel enterprises [J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2022, 6 (12): 115-117.
- [17] 孙晓玉. 基于 Ansys 双螺杆膨胀机动态特性有限元仿真[J]. 技术与市场, 2020, 27(2): 72-73.
- SUN Xiaoyu. Finite element simulation of dynamic characteristics of twin screw expander based on Ansys [J]. Technology and Market, 2020, 27 (2): 72-73.
- [18] 闫瑞超. 螺杆膨胀异步发电机组调试与运行技术[J]. 科技创新与应用, 2020, 32(5): 154-155.
- YAN Ruichao. Debugging and operation technology of screw expansion asynchronous generator set [J]. Technology Innovation and Application, 2020, 32 (5): 154-155.
- [19] 熊亚选, 乔萃杰, 李夏喜, 等. 单螺杆膨胀机天然气调压发电系统性能分析[J]. 煤气与热力, 2017, 37(3): 9-15.
- XIONG Yaxuan, QIAO Cuijie, LI Xiaxi, et al. Performance analysis of natural gas pressure regulating power generation system for single screw expander [J]. Gas & Heat, 2017, 37 (3): 9-15.
- [20] 李国强, 吴玉庭, 赵英昆, 等. 高压单螺杆膨胀机初步性能试验[J]. 北京工业大学学报, 2018, 44(6): 926-932.
- LI Guoqiang, WU Yuting, ZHAO Yingkun, et al. Preliminary performance test of high pressure single screw expander [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2018, 44 (6): 926-932.

中国石油首部气井解堵技术标准发布

2024年1月18日,由塔里木油田公司牵头制定的集团公司企业标准——《气井解堵设计和效果评价技术规范》正式发布,2月1日起正式实施。这是中国石油首部气井解堵技术标准,对推动中国石油气井解堵设计和效果评价标准化、规范化发展具有重要意义。

据悉,气井砂、垢、蜡、水合物等堵塞是常见问题,我国塔里木克深、迪那、博孜、鄂尔多斯靖边、榆林、大牛地、西南安岳、元坝、普光等气田均存在气井堵塞问题。塔里木超深气田具有“高温、高压、高矿化度、高含蜡”等复杂特征,井筒砂、垢、蜡堵塞问题更为突出。据统计,库车山前超50%的气井存在不同的堵塞症状。

自2018年起,塔里木油田攻关创新气井结垢预测方法,引进优化和自主研发多套酸性、非酸性解堵液体系和配套多套系统定点解堵工艺,整体形成了超深气井化学除垢解堵技术。该技术6年应用了150余井次,解堵后平均单井产能提升2.1倍,已成为塔里木超深气田稳产的关键技术之一。

此次发布的标准是基于塔里木库车山前气井多年的砂、垢、蜡堵塞治理理论研究和现场实践成果制定的,规定了气井解堵时机、解堵工艺、解堵范围和解堵效果评价等内容,可有效指导气井解堵设计编制和作业后的效果评价。该标准支撑的相关成果入选2023年中国石油和化学工业联合会科技指导计划,将作为行业关键技术在国内推广。