



中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6637—2005

输气管道系统能耗测试和计算方法

The method on energy consumption measurement and calculation
for gas natural pipeline

2005—07—26 发布

2005—11—01 实施

国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测前准备	1
5 天然气输气管道系统及压缩机机组的能耗测试	1
6 压气站效率计算方法	2
7 天然气压缩机机组系统效率计算方法	4
8 测试报告编写	6
附录 A(资料性附录) 某些烃及非烃类组分的物理化学常数	7
附录 B(资料性附录) 真实气体比热容校正图	8
附录 C(资料性附录) 气体的 $c_p - c_v$ 图	9
附录 D(资料性附录) 燃气轮机离心压缩机机组效率计算示例	10

SY/T 6637—2005

前 言

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 为资料性附录。

本标准由石油工业节能节水专业标准化技术委员会提出并归口。

本标准负责起草单位：中国石油天然气股份有限公司管道科技研究中心。

本标准参加起草单位：北京华油天然气有限责任公司、中国石油天然气股份有限公司管道分公司。

本标准主要起草人：李建良、张鹏、许铁、折恕安、姜保良、王春荣、李云杰。

输气管道系统能耗测试和计算方法

1 范围

本标准规定了长距离输气管道系统能耗的测试和计算方法。

本标准适用于天然气长输管道中的压缩机机组效率和压气站的系统效率测试计算。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 8916 三相异步电动机负载率现场测试方法

GB/T 11062 天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法

GB/T 13609 天然气取样导则

GB/T 13610 天然气的组成分析 气相色谱法

GB/T 17747 天然气压缩因子的计算

GB/T 18605.1 天然气中硫化氢含量的测定 第1部分：醋酸铅反应速率双光路检测法

GB/T 18605.2 天然气中硫化氢含量的测定 第2部分：醋酸铅反应速率单光路检测法

SY/T 7507 天然气中水含量的测定 电解法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

压气站用能 energy consumption of gas compress station

压气站用于生产和辅助生产所消耗的能源。

3.2

压气站效率 energy efficiency of gas compress station

压气站提供给输气干线的能量对该压气站用能的百分比。

4 测前准备

4.1 确定测试系统。

4.2 对测试系统进行调查，了解输气系统和压气站的输气流程，收集与测试计算及能耗分析相关的原始资料。

4.3 制定测试方案，明确测试岗位，提前 15d 将测试方案提交生产运行部门审查。

4.4 配齐经检定合格的测试仪器仪表。

5 天然气输气管道系统及压缩机机组的能耗测试

5.1 压气站测试

5.1.1 测试目的

通过测量天然气的流量、压力、温度和组分，以及压气站的耗电量，计算出压气站效率。

SY/T 6637—2005

5.1.2 测试要求

5.1.2.1 正式测试应在天然气长输管道运行工况稳定至少 15min 后进行。

5.1.2.2 测试期间的输气流量波动在 $\pm 5\%$ 以内，干线压力波动在 $\pm 5\%$ 以内。

5.1.2.3 对于一个单元各种参数测试应在同一时间进行，相同性质点测取数据测试时间间隔应一样，间隔时间为 5min~15min，正式测试时间不少于 1h。

5.1.3 测试参数及仪器设备

5.1.3.1 输气量：流量计精度不低于 2.0 级；在站内不具备流量计量条件的压气站，由测试单位采用其他流量计量方式。

5.1.3.2 耗电量：采用电能表或电参数测量仪，电能表或电参数测量仪的精度不低于 1.0 级；

5.1.3.3 燃料气消耗量：采用精度不低于 2.0 级的流量计。

5.1.3.4 温度：压气站进、出站温度，燃料气计量处的温度，采用分度值不低于 0.5°C 的温度计进行测量。

5.1.3.5 压力：压气站进、出站压力，环境压力及燃料气计量处的压力，采用精度不低于 1.5 级压力表测量。

5.1.3.6 天然气组分的测定：

——天然气的组分分析执行 GB/T 13610；

——天然气中硫化氢含量的测定执行 GB/T 18605.1 或 GB/T 18605.2；

——天然气中水含量的测定执行 SY/T 7507。

5.1.4 燃料气、工艺气取样

燃料气、工艺气取样操作应符合 GB/T 13609。

5.2 压缩机机组系统测试**5.2.1 测试目的**

通过测量天然气的流量、压力、温度和组分，以及压缩机机组的耗电量，计算出压缩机机组系统效率。

5.2.2 测试要求

5.2.2.1 正式测试应在压缩机机组运行工况稳定至少 15min 后进行。

5.2.2.2 测试期间输气流量波动在 $\pm 5\%$ 以内，干线压力波动在 $\pm 5\%$ 以内。

5.2.2.3 各种参数的测试应在同一时间进行，相同性质点测取数据测试时间间隔应一致，间隔时间为 5min~15min，正式测试时间不少于 1h。

5.2.2.4 压缩机机组的特性曲线的测试，应以额定的最佳效率点为基础点，两边分配工况点，以 5 个~7 个测点为宜。

5.2.3 测试参数及仪器设备

5.2.3.1 天然气流量：流量计精度不低于 2.0 级。

5.2.3.2 耗电量：采用电能表或电参数测量仪，电能表或电参数测量仪的精度不低于 1.0 级。

5.2.3.3 燃料气消耗量：采用精度不低于 2.0 级的流量计。

5.2.3.4 温度：压缩机机组的进、出口温度及各级的进、出口温度，燃料气计量处的温度，采用分度值不低于 0.5°C 的温度计进行测量。

5.2.3.5 压力：压缩机机组及各级的进、出口压力，环境压力及燃料气计量处的压力，采用精度不低于 1.5 级压力表测量。

5.2.3.6 天然气组分的测定：同 5.1.3.6。

6 压气站效率计算方法

6.1 计算参数基准：基准温度： 20°C ；基准压力（绝对压力）：101.3kPa；燃料发热值：燃料收到

基低位发热值。测取的各项参数以算术平均值进行计算。

6.2 天然气的低位发热值、密度、相对密度根据 GB/T 11062 计算。

6.3 压缩因子根据 GB/T 17747 计算。

6.4 天然气的定压比热容计算。

6.4.1 基准压力下的定压比热容计算见式 (1):

$$c_p^0 = 1.687(1 + 0.001t_g) / \sqrt{S_G} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

c_p^0 ——天然气在基准压力下的定压比热容, kJ/(kg·℃);

t_g ——天然气出站温度,℃;

S_G ——天然气相对密度。

6.4.2 天然气视临界压力计算见式 (2):

$$p'_c = \sum X_i \cdot p_{ci} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

X_i —— i 组分在天然气中的体积分数, %;

p'_c ——天然气视临界压力, MPa;

p_{ci} ——天然气各组分临界压力 (从附录 A 查出), MPa。

6.4.3 视对比压力计算见式 (3):

$$p'_r = p_{out} / p'_c \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

p'_r ——天然气视对比压力;

p_{out} ——天然气出站压力, MPa;

6.4.4 天然气视临界温度计算见式 (4):

$$T'_c = \sum X_i \cdot T_{ci} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

T'_c ——天然气视临界温度, K;

T_{ci} ——天然气各组分临界温度 (从附录 A 查出), K。

6.4.5 视对比温度计算见式 (5):

$$T'_r = T_{out} / T'_c \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

T_{out} ——天然气出站温度, K;

6.4.6 天然气的定压比热容值根据计算的基准压力下的定压比热容、视对比压力和视对比温度值从真实气体比热容校正图中查出, 参见附录 B。

6.5 天然气绝热指数计算见式 (6):

$$k_z = c_p / c_v \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

k_z ——天然气绝热指数。

c_v ——天然气的定容比热容 [c_v 可从附录 C 中查出 Δc ($\Delta c = c_p - c_v$), 从而求出定容比热容 c_v], kJ/(kg·℃)。

6.6 天然气气体常数计算见式 (7):

$$R' = R / \mu \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

R' ——天然气气体常数, kJ/(kg·K);

SY/T 6637—2005

R ——通用气体常数, $\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$, $R=8.314$;

μ ——天然气的摩尔焓, $\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$ 。

6.7 单位质量天然气从压气站获得的能量计算见式 (8):

$$H_{dz} = \frac{Z_z \cdot R' \cdot T_{inz} \cdot k_z}{k_z - 1} \left[\left(\frac{p_{outz}}{p_{inz}} \right)^{\frac{k_z-1}{k_z}} - 1 \right] \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

H_{dz} ——单位质量天然气从压气站获得的能量, kJ/kg ;

Z_z ——压气站出口压力下的天然气压缩因子;

T_{inz} ——天然气的进站温度, K ;

p_{inz} ——天然气的进站压力, MPa 。

6.8 压气站提供给输气干线的能量计算见式 (9):

$$Q_{sc} = G_{outz} \cdot \rho_o \cdot S_G \cdot H_{dz} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

Q_{sc} ——压气站提供给输气干线的能量, kJ/h ;

G_{outz} ——天然气的出站流量, m^3 (标) / h ;

ρ_o ——标准状态下空气的密度, kg/m^3 。

6.9 压气站用于生产的能量计算见式 (10):

$$Q_{sc} = B_{zs} \cdot Q_{dw}^{sc} + W_{sc} \cdot R_1 \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

Q_{sc} ——压气站用于生产的能量, kJ/h ;

B_{zs} ——压气站用于输气生产的天然气消耗量, m^3 (标) / h ;

Q_{dw}^{sc} ——压气站天然气应用基低位发热值, kJ/m^3 (标);

W_{sc} ——压气站直接用于输气生产的耗电量 (包括辅助电机的耗电量), $(\text{kW} \cdot \text{h}) / \text{h}$;

R_1 ——电能折算系数 (当量热值), $R_1 = 3600 \text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

6.10 压气站效率计算见式 (11):

$$\eta_z = \frac{Q_{sc}}{Q_z} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

η_z ——压气站能源效率。

7 天然气压缩机机组系统效率计算方法

7.1 燃气轮机离心压缩机机组系统效率计算

7.1.1 天然气出口压力下的定压比热容 c_p 的计算同 6.4。

7.1.2 第 j 级压缩机天然气绝热指数的计算同 6.5。

7.1.3 离心压缩机第 j 级效率 (η_{Tj}) 计算见式 (12):

$$\eta_{Tj} = \frac{T_{inj}}{T_{outj} - T_{inj}} \left[\left(\frac{p_{outj}}{p_{inj}} \right)^{\frac{k_j-1}{k_j}} - 1 \right] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

η_{Tj} ——离心压缩机第 j 级效率;

T_{inj} ——第 j 级压缩机天然气进口温度, K ;

T_{outj} ——第 j 级压缩机天然气出口温度, K ;

p_{inj} ——第 j 级压缩机天然气进口压力, MPa ;

p_{outj} ——第 j 级压缩机天然气出口压力, MPa 。

k_j ——第 j 级的天然气绝热指数。

7.1.4 离心压缩机第 j 级绝热能量头 (H_{dj}) 计算见式 (13):

$$H_{dj} = \frac{Z_j \cdot R' \cdot T_{inj} \cdot k_j}{k_j - 1} \left[\left(\frac{P_{outj}}{P_{inj}} \right)^{\frac{k_j - 1}{k_j}} - 1 \right] \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

H_{dj} ——第 j 级压缩机绝热能量头, (kg · m) / kg;

Z_j ——第 j 级压缩机的天然气压缩因子。

7.1.5 离心压缩机第 j 级轴功率计算见式 (14):

$$H_{pj} = \rho_0 S_G H_{dj} Q_{vj} / (102 \times 3600 \eta_{Tj}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

H_{pj} ——第 j 级压缩机的轴功率, kW;

Q_{vj} ——第 j 级压缩机天然气流量, m³ (标) / h。

7.1.6 压缩机的轴功率计算见式 (15):

$$H_P = \sum H_{pj} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

H_P ——压缩机的轴功率, kW。

7.1.7 离心压缩机效率计算见式 (16):

$$\eta_T = \frac{\sum (H_{pj} \cdot \eta_{Tj})}{H_P} \quad \dots\dots\dots (16)$$

7.1.8 燃气轮机效率计算见式 (17):

$$\eta_r = \frac{3600 \sum H_{pj}}{B_r \cdot Q_{dw}^r} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

B_r ——燃气轮机的燃料消耗量, m³ / h。

7.1.9 燃气轮机离心压缩机机组效率 (η_{ri}) 计算见式 (18):

$$\eta_{ri} = \eta_r \cdot \eta_T \quad \dots\dots\dots (18)$$

7.1.10 燃气轮机离心压缩机机组系统效率 (η_{rsi}) 计算见式 (19):

$$\eta_{rsi} = \eta_{ri} \cdot B_r \cdot Q_{dw}^r / (B_r \cdot Q_{dw}^r + 3600 \sum W_i) \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

W_i ——辅机的耗电量, kW · h。

7.2 燃气发动机往复式压缩机机组系统效率

计算方法同 7.1。

7.3 电动机离心压缩机机组系统效率

7.3.1 电动机负载率计算参照 GB/T 8916 进行。

7.3.2 电动机离心压缩机轴功率计算见式 (20):

$$H_d = P^* \cdot P_e \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中:

H_d ——电动机离心压缩机轴功率, kW;

P^* ——电动机负载率, %;

P_e ——电动机额定功率, kW。

7.3.3 电动机的效率计算见式 (21):

$$\eta_d = H_d / P_d \times 100\% \quad \dots\dots\dots (21)$$

SY/T 6637—2005

式中：

 η_d ——电动机效率； P_d ——电动机的输入功率，kW。7.3.4 离心压缩机第 j 级效率计算同 7.1.3。

7.3.5 离心压缩机效率计算同 7.1.7。

7.3.6 电动机离心压缩机机组效率 (η_{dl}) 计算见式 (22)：

$$\eta_{dl} = \eta_d \cdot \eta_T \quad \dots\dots\dots (22)$$

7.3.7 电动机离心压缩机机组系统效率 (η_{sdl}) 计算见式 (23)：

$$\eta_{sdl} = \eta_{dl} \cdot P_d / (P_d + \sum W_i) \quad \dots\dots\dots (23)$$

8 测试报告编写

8.1 前言

测试项目、测试地点 (被测单位)、测试时间、测试单位、测试人员、测试负责人、报告编写人、报告校对入 (签字)、报告审核人 (签字)、报告批准人 (签字)。

8.2 正文

8.2.1 测试目的和要求。

8.2.2 测试概况。

8.2.3 测试依据。

8.2.4 测试用仪器仪表一览表，包括仪表名称、型号、精度等级、测量范围。

8.2.5 测试结果。

8.2.6 测试结果分析：根据测试结果，对系统用能情况进行分析，找出影响系统效率的主要原因，提出改进措施。

附 录 A

(资料性附录)

某些烃及非烃类组分的物理化学常数

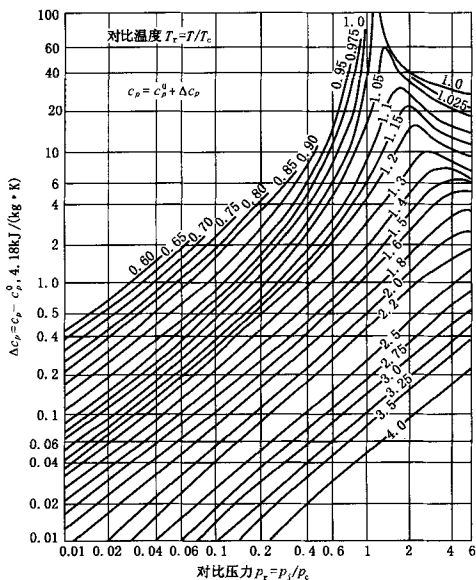
某些烃及非烃类组分的物理化学常数见表 A.1。

表 A.1 某些烃及非烃类组分的物理化学常数

组 分	项 目						理想气体低 位热值 MJ/m ³ (标) (15℃, 101.325kPa)
	分子式	摩尔质量	理想气体 相对密度	压缩因子 (15℃, 101.325kPa)	临界常数		
					压力 MPa	温度 ℃	
甲烷	CH ₄	16.043	0.5539	0.9981	4.456	- 82.57	33.872
乙烷	C ₂ H ₆	30.070	1.0382	0.9916	4.723	32.27	60.277
丙烷	C ₃ H ₈	44.097	1.5225	0.9820	4.113	96.67	86.298
异丁烷	i-C ₄ H ₁₀	58.124	2.0068	0.9696	3.530	134.94	111.816
正丁烷	n-C ₄ H ₁₀	58.124	2.0068	0.9667	3.675	152.03	112.164
异戊烷	i-C ₅ H ₁₂	72.151	2.9411	0.9482	3.272	187.28	137.796
正戊烷	n-C ₅ H ₁₂	72.151	2.9411	0.9435	3.261	196.50	138.139
正己烷	n-C ₆ H ₁₄	86.178	2.9753	0.920	2.916	234.28	164.081
正庚烷	n-C ₇ H ₁₆	100.205	2.4596	0.920	2.648	267.11	190.030
空气		28.9644	1.0000	0.99959	3.650	- 140.72	
二氧化碳	CO ₂	44.010	1.5195	0.99432	7.147	31.06	
一氧化碳	CO	28.010	0.9671	0.99953	3.383	- 140.00	11.960
氮气	N ₂	28.013	0.9672	0.99948	3.290	- 146.89	
氢气	H ₂	2.016	0.0969	1.00060	1.254	- 239.89	10.209
硫化氢	H ₂ S	34.076	1.1765	0.9903	8.715	100.39	21.209
氦气	He	4.003	0.1382	1.00048			
氧气	O ₂	31.999	1.1048	0.99278	4.917	- 118.39	

附 录 B
(资料性附录)
真实气体比热容校正图

真实气体比热容校正图如图 B.1 所示。



注：图中 c_p^0 是 1.013×10^5 Pa 的定压比热容， c_p 是压力下的定压比热容，单位是千焦每千克每开 $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$ 。
 p_i 为实际测量的压力。

图 B.1 真实气体比热容校正图

附录 C
(资料性附录)
气体的 $c_p - c_v$ 图

气体的 $c_p - c_v$ 图见图 C.1。

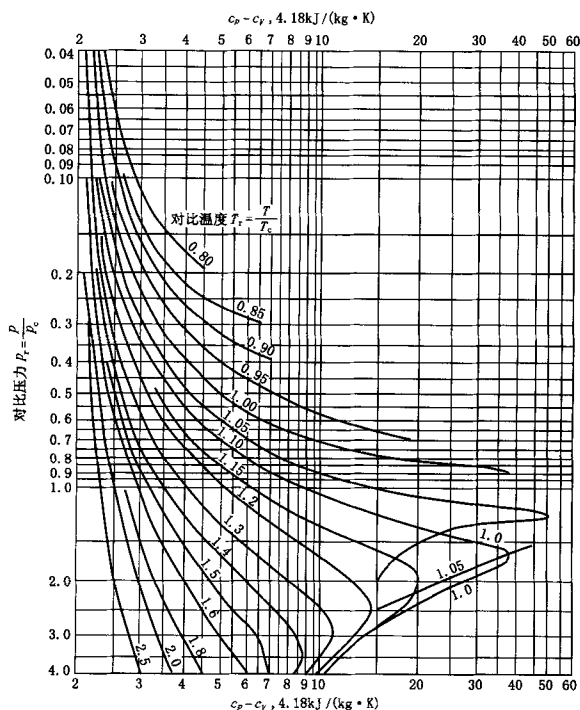


图 C.1 气体的 $c_p - c_v$ 图

附录 D

(资料性附录)

燃气轮机离心压缩机机组效率计算示例

D.1 已知参数

燃气轮机压缩机机组的测试参数为：大气压力：94.6kPa；燃料气消耗量：285.92m³（标）/h；天然气流量：20216.5m³（标）/h；天然气进口温度：19.0℃；天然气进口温度：97.1℃；天然气进口压力：1.2047MPa；天然气出口压力：2.9855MPa；天然气组分：甲烷 82.85%，乙烷 10.57%，丙烷 2.94%，异丁烷 0.28%，正丁烷 0.12%，戊烷及以上含量 0.00%；收到基低位发热值：37.5169MJ/m³（标）；相对密度：0.653；压缩因子：0.965；天然气的摩尔质量 18.926kg/kmol。

D.2 燃气轮机离心压缩机机组效率计算

D.2.1 基准温度下的定压比热容

按式（1）计算：

$$\begin{aligned}c_p^0 &= 1.687(1 + 0.001t_a) / \sqrt{S_G} \\&= 1.687 \times (1 + 0.001 \times 97.1) / \sqrt{0.653} \\&= 2.29[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})]\end{aligned}$$

D.2.2 视临界压力

按式（2）计算：

$$\begin{aligned}p'_c &= \sum X_i \cdot p_{ci} \\&= 0.8285 \times 4.456 + 0.1057 \times 4.723 + 0.0294 \times 4.113 + 0.0028 \times 3.53 + 0.0012 \times 3.675 \\&= 4.44(\text{MPa})\end{aligned}$$

D.2.3 视对比压力

按式（3）计算：

$$\begin{aligned}p'_r &= p_{outa} / p'_c \\&= 2.9855 / 4.44 \\&= 0.27\end{aligned}$$

D.2.4 视临界温度

按式（4）计算：

$$\begin{aligned}T'_c &= \sum X_i \cdot T_{ci} \\&= 0.8285 \times (-82.57 + 273.15) + 0.1057 \times (32.27 + 273.15) + 0.0294 \times (96.67 + 273.15) \\&\quad + 0.0028 \times (134.94 + 273.15) + 0.0012 \times (152.03 + 273.15) \\&= 207.03(\text{K})\end{aligned}$$

D.2.5 视对比温度

按式（5）计算：

$$\begin{aligned}T'_r &= T_{outa} / T'_c \\&= (97.1 + 273.15) / 207.03 \\&= 1.41\end{aligned}$$

D.2.6 天然气绝热指数

按式（6）计算：

$$\begin{aligned}
 k_s &= c_p / c_v \\
 &= 2.394 / 1.885 \\
 &= 1.27
 \end{aligned}$$

D.2.7 离心压缩机效率 (因只有一级, 故级效率即为压缩机效率)

按式 (12) 计算:

$$\begin{aligned}
 \eta_{Tj} &= \frac{T_{inj}}{T_{outj} - T_{inj}} \left[\left(\frac{P_{outj}}{P_{inj}} \right)^{\frac{k_s-1}{k_s}} - 1 \right] \times 100\% \\
 &= \frac{19.0 + 273.15}{(97.1 + 273.15) - (19.0 + 273.15)} \left[\left(\frac{2.9855}{1.2047} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}} - 1 \right] \times 100\% \\
 &= 79.58\%
 \end{aligned}$$

D.2.8 离心压缩机绝热能量头

按式 (13) 计算:

$$\begin{aligned}
 H_{dj} &= \frac{Z_j \cdot R' \cdot T_{inj} \cdot k_j}{k_j - 1} \left[\left(\frac{P_{outj}}{P_{inj}} \right)^{\frac{k_s-1}{k_j}} - 1 \right] \\
 &= \frac{0.965 \times 8.314 / 18.926 \times (19.0 + 273.15) \times 1.27}{1.27 - 1} \left[\left(\frac{2.9855}{1.2047} \right)^{\frac{1.27-1}{1.27}} - 1 \right] \\
 &= 123.906 (\text{kJ/kg})
 \end{aligned}$$

D.2.9 离心压缩机轴功率

按式 (14) 计算:

$$\begin{aligned}
 H_{Pj} &= \rho_o S_o H_{dj} Q_{vj} / (102 \times 3600 \eta_{Tj}) \\
 &= 1.29 \times 0.653 \times 123.906 \times 20216.5 / (102 \times 3600 \times 79.58) \\
 &= 739.00 (\text{kW})
 \end{aligned}$$

D.2.10 燃气轮机效率

按式 (17) 计算:

$$\begin{aligned}
 \eta_c &= \frac{3600 H_{Pj}}{B_r \cdot Q_{dw}} \times 100\% \\
 &= \frac{3600 \times 739.00}{285.92 \times 37516.9} \times 100\% \\
 &= 24.80\%
 \end{aligned}$$

D.2.11 燃气轮机离心压缩机机组效率

按式 (18) 计算:

$$\begin{aligned}
 \eta_{ti} &= \eta_c \cdot \eta_T \\
 &= 24.80\% \times 79.59\% \\
 &= 19.74\%
 \end{aligned}$$