

天然气设计资料集

< 设计基础资料 >

1

1975

四川省工业建筑设计院编

目 录

	页		页
第一章 概述		工业炉天然气耗量	20~23
第一节 天然气的物理化学性质	3	第二章 第一节 天然气管径的计算	25
1-1 重量“Y”及比重“Δ”	3~4	天然气管径的计算	25
1-2 热值“Q”	4~5	低压天然气管	26~27
1-3 黏度“μ”	6	中、高压天然气管	28~29
1-4 临界温度“T _k ”及临界压力“P _k ”	7	输气管基本公式的推导	30
1-5 气容特性常数“R”	7~8	天然气管道敷设要求	30
1-6 气体压缩系数“Z”	9	天然气管道敷设计	30
1-7 比热“C _v ”及绝热指数“K”	10	架空管道敷设计	31
1-8 导热系数“λ”	11~12	管道吹扫	31
第二节 天然气的燃烧	12~13	车间及用户的天然气管道敷设计	32
1-9 燃烧时所需空气量“V ₀ ”及生成烟气体积“V ₂ ”	14~15	厂区干管及厂外天然气管道敷设计	33~34
1-10 天然气着火浓度极限	16~17	管材及附件	35
1-11 耗气量	18	管架	36~41
第二章 民用燃料耗气的确定		图 附表	42~49
第一节 民用耗气的确定	19	第四章	
2-1 民用额定耗气量		第一节 3-1~3-9	
2-2 工业用天然气耗用量		第二节 3-1~3-7	
2-3 切割设备天然气耗量		第三节 3-1~3-6	
		第四节 3-1~3-8	

第一章 概 述

第一节 天然气的物理化学性质：(四川省各地天然气成分及其物理化学性质见附表1.)

天然气中各组分的物理化学性能表

名称	符号	分子号	分子量 "M"	比重 (千克/米 ³)	热值 "Q" (大卡/米 ³)		粘度 (米 ² /秒)	临界常数		气体常数 "R" (千克/米 ³)	比热 (大卡/米 ³)		导热系数 "λ" (大卡/米·秒)		
					高 "Q _H "	低 "Q _L "		温度 "T _c " (°C)	压力 "P _c " (大气压)		C _p	C _v			
甲烷	CH ₄		16.04	0.717	9520	8550	103	-82.15	190.85	45.6	52.90	0.531	0.406	1.31	0.0258
乙烷	C ₂ H ₆		30.07	1.357	16920	15370	85	+32.10	305.1	48.85	28.21	0.413	0.345	1.20	0.0155
丙烷	C ₃ H ₈		44.10	2.020	24320	22350	79.5	+95.60	368.6	43.0	19.25	0.445	0.394	1.13	0.0127
丁烷	C ₄ H ₁₀		58.12	2.673	32010	29510	81	+152.0	425.0	37.5	14.60	0.456	0.414	1.08	0.0116
乙炔	C ₂ H ₂		28.05	1.261	15290	14320	98.5	+9.7	282.7	50.7	30.25	0.365	0.292	1.25	0.0141
一氧化碳	H ₂		2.016	0.0899	3050	2570	84.2	-239.9	33.1	12.8	420.60	3.408	2.420	1.407	0.1400
二氧化碳	CO		28.01	1.250	3020	3020	166	-140.2	132.8	34.53	30.29	0.250	0.180	1.40	0.0194
二氧化氮	CO ₂		44.01	1.976	—	—	137	+31.1	304.1	72.9	19.27	0.200	0.156	1.30	0.0118
氧气	N ₂		28.02	1.251	—	—	170	-147.13	125.87	33.49	30.26	0.250	0.178	1.40	0.0196
二氧化硫	O ₂		32	1.429	—	—	203	-118.82	154.18	49.713	26.50	0.218	0.156	1.40	0.0206
硫化氢	SO ₂		64.07	2.927	—	—	117	+157.5	430.5	77.78	13.24	0.351	0.120	1.25	0.0066
	H ₂ S		34.08	1.539	5995	5524	116.6	+100.4	373.4	188.9	24.90	0.253	0.192	1.30	0.0113

附注：1. 天然气中不能和过标按 C₂H₄ 计算。
2. 天然气中不自值按 C₂H₄ 计算。
3. 天然气中不自值按 C₂H₄ 计算。

1. 天然气中不自值按 C₂H₄ 计算。
2. 天然气中不自值按 C₂H₄ 计算。
3. 天然气中不自值按 C₂H₄ 计算。

1-1 重度及比重 "γ"及"Δ"

重度——每单位体积天然气的重量称为重度。"γ" (千克/标米³)
 比重——1 M³天然气和1 M³干空气的重量比值叫做比重。"Δ"

$$\gamma = 0.01 (a_1 \gamma_1 + a_2 \gamma_2 + \dots + a_n \gamma_n) \quad (1-1)$$

$$\Delta = \frac{\gamma_0}{\gamma} = \frac{\gamma_0}{1.293} \quad (1-2)$$

式中： $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ ——天然气中每一组份之重度 ($\gamma_i = \frac{M_i}{22.4}$)
 a_1, a_2, \dots, a_n ——天然气中每一组份之百分组成
 M_1, M_2, \dots, M_n ——各组份分子量

【例】 计算：自 1

天然气成份： CH_4 —97.78, C_2H_6 —0.64, C_3H_8 —0.15, C_2H_4 (不飽和烃)—0.02, CO_2 —1.64,
 CO —0.03, H_2 —0.09,

$$\begin{aligned} \gamma &= (0.717 \times 97.78 + 1.357 \times 0.64 + 2.02 \times 0.15 + 1.261 \times 0.02 + 1.976 \times 1.64 + 1.25 \times 0.03 + 0.0899 \times 0.09) \times 0.01 \\ &= (70.108 + 0.868 + 0.303 + 0.025 + 3.241 + 0.038 + 0.008) \times 0.01 = 74.591 \times 0.01 \\ &= 0.7459 \text{ (千克/标米}^3\text{)} \\ \Delta &= \frac{0.7459}{1.293} = 0.5769 = 0.577 \end{aligned}$$

1-2 热值 "Q"

1 M³天然气燃烧后能发生的干卡热叫做热值。燃烧后的气体中有水蒸气，如果把水蒸

气凝结成水还可放出一些热量。所以水蒸气不冷凝时热量叫做低热值，水蒸气冷凝后的热量叫高热值。一般天然气按低热值“ Q_n^p ”计。

$$Q_n^p = 0.01 (a_1 Q_1 + a_2 Q_2 + \dots + a_n Q_n) \quad (1-3)$$

式中： Q_1, Q_2, \dots, Q_n —— 天然气中可燃气体之热热值 (大卡/标米³)

a_1, a_2, \dots, a_n —— 天然气中可燃气体之百分组成

例 隆昌. 隆2

天然气成份： CH_4 —95.84, C_2H_6 —1.5, C_3H_8 —0.41, C_2H_4 (不能和烃)—0.07, CO_2 —1.7,

CO —0.02, H_2 —0.1, N_2 —0.92,

$$Q_n^p = (8550 \times 95.84 + 15370 \times 1.5 + 22350 \times 0.41 + 14320 \times 0.07 + 3020 \times 0.02 + 2570 \times 0.1) \times 0.01$$

$$= (819432 + 23055 + 9163.5 + 1002.4 + 60.4 + 257) \times 0.01 = 852970.3 \times 0.01$$

$$= 8530 \text{ (大卡/标米}^3\text{)}$$

1-3 黏度“ μ ”

黏度在流体的运动上有重大的意义。黏度为在相邻两流体层发生相对运动时显示出来的内摩擦，其大小与分子间内聚力有关。通常以“ μ ”代表绝对黏度，单位为泊， $\frac{1}{100}$ 泊称为厘泊。“ μ ”与黏度的近似式或经验公式计算。一般可按(5)式采用。

$$\mu = \frac{(a_1 M_1 + a_2 M_2 + \dots + a_n M_n)}{\frac{a_1 M_1}{\mu_1} + \frac{a_2 M_2}{\mu_2} + \dots + \frac{a_n M_n}{\mu_n}} \quad (1-4)$$

$$\mu = \frac{a_1 \sqrt{M_1 T_{K1}} \mu_1 + a_2 \sqrt{M_2 T_{K2}} \mu_2 + \dots + a_n \sqrt{M_n T_{Kn}} \mu_n}{a_1 \sqrt{M_1 T_{K1}} + a_2 \sqrt{M_2 T_{K2}} + \dots + a_n \sqrt{M_n T_{Kn}}} \quad (1-5)$$

或 式中:

$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ 天然气中每一组份之黏度 (厘泊).
 a_1, a_2, \dots, a_n 天然气中每一组份之百分组成.
 M_1, M_2, \dots, M_n 各组份分子量
 $T_{K1}, T_{K2}, \dots, T_{Kn}$ 各组份临界温度 ($^{\circ}K$)

例 例 1

天然气成份: CH_4 —96.74, C_2H_6 —1.42, C_3H_8 —0.44, C_2H_4 (不究和差)—0.15, CO_2 —0.41, CO —0.16, H_2 —0.11, N_2 —0.38,

$$\mu = \frac{96.74 \times \sqrt{16.04 \times 190.85} \times 103 + 1.42 \times \sqrt{30.07 \times 305.1 \times 85} + 0.44 \times \sqrt{44.1 \times 368.6 \times 79.5} + 0.15 \times \sqrt{28.05 \times 282.7} + 0.16 \times \sqrt{28.01 \times 304.1} + 0.11 \times \sqrt{2.016 \times 33.1 \times 84.2} + 0.38 \times \sqrt{28.02 \times 125.87} \times 170}{(551021.366 + 11563.060 + 4459.950 + 1316.453 + 6498.869 + 1620.160 + 75.948 + 3837.240)}$$

$$= \frac{580393.846}{5635.894} = 102.98 \text{ 厘泊} = 0.01030 \text{ 厘泊}$$

气 体	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_2H_4	CO_2	CO	H_2	N_2
M	16.04	30.07	44.10	58.12	28.05	44.01	28.01	2.016	28.02
$T_K (^{\circ}K)$	190.85	305.10	368.60	425.00	282.70	304.10	132.80	33.10	125.87
$\sqrt{MT_K}$	55.3	95.8	127.5	157.2	89.1	115.7	61.0	8.2	59.4

1-4 凝界温度“ T_K ”及凝界压力“ P_K ”

在高压下，天然气可以变成液态。气态的天然气，温度必须降到一定程度，然后加压，才能变成液态；如果超过这个温度，无论怎样加压，都不能变成液态。这种力由气态凝界压力。

$$T_K = (a_1 T_{K1} + a_2 T_{K2} + \dots + a_n T_{Kn}) \times 0.01 \quad (1-6)$$

$$P_K = (a_1 P_{K1} + a_2 P_{K2} + \dots + a_n P_{Kn}) \times 0.01 \quad (1-7)$$

式中： $T_{K1}, T_{K2}, \dots, T_{Kn}$ ——天然气中每一组份之凝界温度(°K)

$P_{K1}, P_{K2}, \dots, P_{Kn}$ ——天然气中每一组份之凝界压力(大气压)

a_1, a_2, \dots, a_n ——天然气中各组份之百分组成

例 永川: 黄1

天然气成份: CH_4 —96.68, C_2H_6 —1.05, C_3H_8 —0.20, C_4H_{10} —0.20, C_2H_4 (不饱和烃)—0.08,

CO_2 —0.88, CO —0.11, H_2 —0.02, N_2 —0.47

$$T_K = (90.85 \times 96.68 + 305.1 \times 1.05 + 368.6 \times 0.20 + 425 \times 0.20 + 282.7 \times 0.08 + 304.1 \times 0.88 + 132.8 \times 0.11 + 33.1 \times 0.02 + 125.87 \times 0.47) \times 0.01 = (18451.378 + 320.355 + 73.72 + 85 + 22.615 + 267.608 + 14.608 + 0.662 + 59.159) \times 0.01 = 192.95 \times 0.01 = 192.95^\circ K.$$

$$P_K = (45.6 \times 96.68 + 48.85 \times 1.05 + 43 \times 0.2 + 37.5 \times 0.20 + 50.7 \times 0.08 + 72.9 \times 0.88 + 34.53 \times 0.11 + 12.8 \times 0.02 + 33.49 \times 0.47) \times 0.01 = (4408.608 + 51.293 + 8.6 + 7.5 + 4.056 + 64.152 + 3.798 + 0.256 + 15.74) \times 0.01 = 4564.003 \times 0.01 = 45.64 \text{ 大气压}$$

1-5 气体特性常数“R”

气体特性常数“R”是1公升气体在定压情况下加热，使温度升高1°以公升公尺计热的膨胀功。

$$R = \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{103332}{273} \times \frac{1}{Y_0} = 37.85 \times \frac{1}{Y_0} \quad (1-8)$$

式中： R —— 天然气特性常数 (千克·米/千克·°K)
 Y_0 —— 天然气重度 (千克/米³)

割 查庚巴 9

天然气成份： CH_4 —96.43, C_2H_6 —0.38, C_3H_8 —0.22, C_4H_{10} —0.33, C_2H_4 (不能燃烧)—0.24,

CO_2 —0.47, CO —0.04, H_2 —0.06, N_2 —1.91,

$$Y_0 = (0.717 \times 96.43 + 1.357 \times 0.38 + 2.02 \times 0.22 + 2.673 \times 0.33 + 1.261 \times 0.24 + 1.976 \times 0.47 + 1.25 \times 0.04 + 0.0899 \times 0.06 + 1.251 \times 1.91) \times 0.01 = (69.140 + 0.516 + 0.444 + 0.882 + 0.303 + 0.929 + 0.050 + 0.005 + 2.389) \times 0.01 = 74.658 \times 0.01 = 0.7466 \text{ (千克/米}^3\text{)}$$

$$R = 37.85 \times \frac{1}{0.7466} = 50.7 \text{ (千克·米/千克·°K)}$$

1-6 气体压缩系数“Z”

在高压气体输送时(6大气压以上),所有实际气体均与理想气体定律有误差,理想气体定律在高压气体输送时,其压力将用理想气体的特性方程中引入实际气体“Z”即压缩系数,因误差,就需要在理想气体的特性方程中引入实际气体“Z”即压缩系数,即

$$Z = \frac{P}{RT} \quad (1-9)$$

各种温度及压力下的压缩系数均用实验方法确定,天然气的压缩系数可按下图求取:

例 求出“永川黄1”天然气 $P_1=1$ 大气压, $t_1=0^\circ\text{C}$ 时的体积。当 $P_2=40$ 大气压, $t_2=20^\circ\text{C}$ 时其体积为 1000 m^3 。

临界温度及压力的计算见 1-4

$$T_k=192.95^\circ\text{K}; P_k=45.64\text{ 大气压};$$

换算系数:

$$T_{1比} = \frac{T_1}{T_k} = \frac{273}{192.95} = 1.42,$$

$$P_{1比} = \frac{P_1}{P_k} = \frac{1}{45.64} = 0.02,$$

$$T_{2比} = \frac{T_2}{T_k} = \frac{293}{192.95} = 1.52,$$

$$P_{2比} = \frac{P_2}{P_k} = \frac{40}{45.64} = 0.88,$$

从 $T_{1比}$ 及 $P_{1比}$ 得出 $Z_1=1$,

$T_{2比}$ 及 $P_{2比}$ 得出 $Z_2=0.92$,

$$\therefore V_1 = V_2 \frac{Z_1 T_1 P_2}{Z_2 T_2 P_1}$$

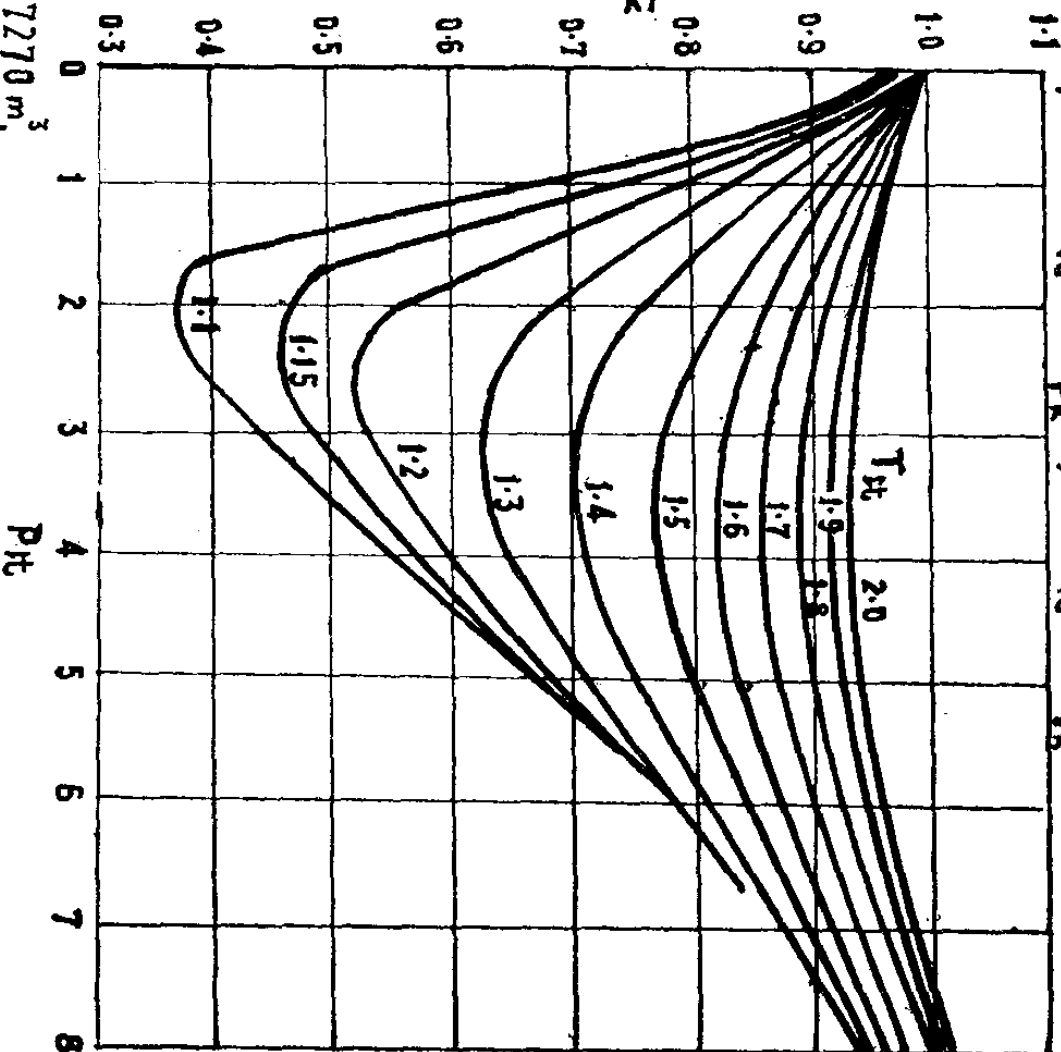
$$= 1000 \frac{1 \times 273 \times 40}{0.92 \times 293 \times 1} = 40960\text{ m}^3$$

若不考虑压缩系数, 则

$$V_1' = V_2 \frac{T_1 P_2}{T_2 P_1} = 1000 \frac{273 \times 40}{293 \times 1} = 37270\text{ m}^3$$

则其误差为 $\frac{V_1 - V_1'}{V_1} \times 100 = \frac{40960 - 37270}{40960} \times 100 = 9\%$, 以换算系数表示的天然气的压缩系数图

实际温度和压力与其临界值之比, 称作换算系数, 即: $P_{比} = \frac{P}{P_k}$; $T_{比} = \frac{T}{T_k}$;



1-7 比热“ C_v ”及绝热指数“ k ”

$$C_v = 0.01(\gamma_1 C_1 + \gamma_2 C_2 + \dots + \gamma_n C_n) \quad (1-10)$$

$$\therefore C_p - C_v = AR, \text{ 及 } k = \frac{C_p}{C_v}$$

$$k = 1 + \frac{AR}{C_v} = 1 + \frac{37.85}{427 C_v Y_0} \quad (1-11)$$

式中： C_1, C_2, \dots, C_n 天然气中每一组份之定容比热 (千卡/千克度)

$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ 之重量百分组成,

R 天然气特性常数 (千卡·米/千克·K)

A 热功当量 ($A \approx \frac{1}{427}$)

Y 天然气重量 (千克/标准米³)

例 计算

天然气成份	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₂ H ₄	CO ₂	CO	H ₂	共计
体积 (%)	97.78	0.64	0.15	0.02	1.64	0.05	0.09	
体积 × 重量	70.108	0.868	0.303	0.025	3.241	0.038	0.008	74.591
重量 (%) “g”	94.00	1.16	0.41	0.03	4.34	0.05	0.01	100.0

$$C_v = (0.406 \times 94.00 + 0.345 \times 1.16 + 0.394 \times 0.41 + 0.292 \times 0.03 + 0.156 \times 4.34 + 0.18 \times 0.05 + 2.42 \times 0.01) \times 0.01$$

$$= (38.164 + 0.400 + 0.162 + 0.009 + 0.677 + 0.009 + 0.024) \times 0.01 = 39.445 \times 0.01 = 0.394 \text{ (千卡/千克度)}$$

$$k = 1 + \frac{37.85}{427 C_v Y_0} = 1 + \frac{37.85}{427 \times 0.394 \times 0.7459} = 1 + \frac{50.7}{427 \times 0.394} = 1 + 0.301$$

$$= 1.30$$

1-8 导热系数“λ”

低压下的气体的导热系数可用下式计算

$$\lambda = B C_V \mu \rho \quad (\text{千卡/米} \cdot \text{小时} \cdot \text{°C}) \quad (1-12)$$

式中： C_V —— 气体的定容比热 (千卡/千克·°C)

μ —— 气体的粘滞度 (千克·秒/米²)

ρ —— 加速度 = 9.81 (米/秒²)

B —— $\frac{9.81-5}{4}$

ρ —— 绝热指数

例 在1-7中，已知运送天然气：

定容比热 $C_V = 0.394$ (千卡/米·小时·°C)，

绝热指数 $\rho = 1.30$

$$B = \frac{9.81-5}{4} = \frac{9 \times 1.50-5}{4} = 1.68$$

又 天然气的粘度可按公式(1-5)求出

$$\mu = \frac{97.78 \times 55.3 \times 103 + 0.64 \times 95.8 \times 85 + 0.15 \times 127.5 \times 79.5 + 0.02 \times 89.1 \times 98.5 + 1.64 \times 115.7 \times 97.78 \times 55.3 + 0.64 \times 95.8 + 0.15 \times 127.5 + 0.02 \times 89.1 + 1.64 \times 115.7 + 0.03 \times 61 + 0.09 \times 8.2}{590213.983}$$

$$\times 137 + 0.03 \times 61 \times 166 + 0.09 \times 8.2 \times 84.2 \quad \frac{103.88}{5681.769} \quad \text{米} \cdot \text{秒} = 103.88 \text{ 微泊} = 103.88 \times 10^{-4} \text{ 达因} \cdot \text{秒} / \text{米}^2$$

$$\frac{103.88 \times 10^{-4}}{9810} \quad (\text{千克} \cdot \text{秒} / \text{米}^2)$$

$$\therefore \lambda = 1.68 \times 0.394 \times \frac{103.88 \times 10^{-4}}{9810} \times 9.81 \times 3600 = 1.68 \times 0.394 \times 103.88 \times 10^{-7} \times 3600 = 0.0248 \text{ (千卡/米} \cdot \text{小时} \cdot \text{°C)}$$

第二节 天然气的燃烧：(四川省各地天然气燃烧所需空气量、生成烟气体积及I-T图见附图I~III)

1-9 天然气燃烧所需空气量及生成烟气体积，“V₀”及“V_r”

理论空气量 $V_0 \equiv 0.0476 \{ 0.5(CO) + 0.5(H_2) + 2(C_2H_4) + \sum (m + \frac{n}{4})(C_m H_n) + 1.5(H_2S) - O_2 \}$ (1-13)

三原子体积 $V_{R_{O_2}} \equiv 0.01 \{ CO_2 + CO + CH_4 + \sum m(C_m H_n) + SO_2 + H_2S \}$ (1-14)

二原子体积 $V_{R_2} \equiv 0.79V_0 + 0.01N_2$ (1-15)

水蒸汽体积 $V_{M_{H_2O}} \equiv 0.01 \{ H_2 + 2(C_2H_4) + \sum \frac{n}{2}(C_m H_n) + H_2S \} + W_r + W_0 V_0$ (1-16)

烟气体积 $V_r \equiv V_{R_{O_2}} + V_{R_2} + V_{M_{H_2O}}$ (1-17)

式中：W_r, W₀ 分别为天然气及空气中所含水份。

一般可直接用燃烧反应方程式求出较为清晰，如以自质自1为例

在100MM ³ 天然气含有(MM ³)	气体的燃烧反应	燃烧所需氧分子数	燃烧所需空气量	空气量	燃烧生成H ₂ O	燃烧生成CO ₂	燃烧生成N ₂	燃烧生成O ₂	烟气体积
CH ₄ 97.78	CH ₄ + 2O ₂ → CO ₂ + 2H ₂ O	2CH ₄ = 195.56	198.58 × $\frac{21}{21}$		2CH ₄ = 195.56	1CH ₄ = 97.78			
C ₂ H ₆ 0.64	C ₂ H ₆ + 3.5O ₂ → 2CO ₂ + 3H ₂ O	3.5C ₂ H ₆ = 2.24	= 747.04		3C ₂ H ₆ = 1.92	2C ₂ H ₆ = 1.28	747.04 (来自空气)		
C ₃ H ₈ 0.15	C ₃ H ₈ + 5O ₂ → 3CO ₂ + 4H ₂ O	5C ₃ H ₈ = 0.75			4C ₃ H ₈ = 0.60	3C ₃ H ₈ = 0.45			
C ₄ H ₁₀ 0	C ₄ H ₁₀ + 6.5O ₂ → 4CO ₂ + 5H ₂ O								
C ₂ H ₄ 0.02	C ₂ H ₄ + 3O ₂ → 2CO ₂ + 2H ₂ O	3C ₂ H ₄ = 0.06			2C ₂ H ₄ = 0.04	2C ₂ H ₄ = 0.04			
H ₂ 0.09	H ₂ + 0.5O ₂ → H ₂ O	0.5H ₂ = 0.05			1H ₂ = 0.09				
CO 0.03	CO + 0.5O ₂ → CO ₂	0.5CO = 0.02			1CO = 0.03				
CO ₂ 1.64	不 燃 烧						1.64		
N ₂ 0	“ ”						0		
O ₂ 0	作为氧化剂参与燃烧								
W _r 0									
100MM ³		198.58	747.04	945.62	198.21	101.22	747.04	0	1046.47

	燃 烧 产 物	空 气 量	燃 料	生 成 烟 气	总 烟 量		
	O ₂	N ₂	H ₂ O	CO ₂	N ₂	O ₂	总 烟 量
180 HM ³	198.58	747.04	198.21	101.22	747.04	0	1046.47
1 HM ³	1.99	7.47	1.98	1.01	7.47	0	10.46
空气中所含水份 0.0161 V。			0.15				
			2.13	1.01	7.47	0	10.61
			2.13	1.01	7.47	0	10.61
	$\alpha=1.0$		2.13	1.01	7.47	0	10.61
			2.14	"	7.84	0.1	11.09
			2.15	"	8.22	0.2	11.58
			2.15	"	8.59	0.3	12.04
			2.16	"	8.96	0.4	12.53
			2.17	"	9.34	0.5	13.02
			2.18	"	9.71	0.6	13.50
			2.21	"	11.20	1.0	15.42
			2.24	"	12.71	1.4	17.36

$\Delta V_0 = 0.473$
 $\Delta N_2 = 0.373$
 $\Delta O_2 = 0.100$
 $\Delta V_{H_2O} = 0.008$

1-10 天然气燃烧温度

燃烧产物的过程是在实际定压的情况下进行，所以取用定压的气体平均比热的数据。在各种烟气中，双原子气体（空气、CO、N₂、O₂），三原子气体（CO₂、SO₂）及水蒸气（H₂O）的比热，为各种气体的平均比热。此不相同，而且都有定压比热而变化的关系，因此烟气的比热，由于各种气体的比热与水蒸气比热相加而决定。虽然三原子气体及SO₂的比热，由于不同，但SO₂的比热与水蒸气比热相加而决定。RO₂（=CO₂+SO₂）的比热。

$$I_T = \sum (V_T C_T) t = (V_2 C_2 + V_3 C_3 + V_{H_2O} C_{H_2O}) t \quad (1-18)$$

式中：
 V_2, V_3, V_{H_2O} 分别为双原子、三原子气体及水蒸气总容积比热（ $\frac{HM^3}{kg} \times \frac{t}{HM^3 \cdot ^\circ C}$ ）
 C_2, C_3, C_{H_2O} 分别为双原子、三原子气体及水蒸气总容积比热（ $\frac{HM^3}{kg} \times \frac{t}{HM^3 \cdot ^\circ C}$ ）

烟名 温度 (°C)	$\lambda = 1$ 烟气热焓										$\lambda = 0.05$ 过量空气热焓											
	三原子气体			二原子气体			水蒸汽				总热焓			N ₂			O ₂			H ₂ O		
	V _{g0}	C _{R0}	VC	V _{g1}	C _{R1}	VC	V _{H2O}	C _{H2O}	VC	ΣVC	ΣVt·t	ΔW _{N2}	C _{N2}	E·ΔV	ΔV _{H2O}	C _{O2}	E·ΔV	ΔW _{H2O}	C _{H2O}	E·ΔV	ΣVC	ΣVt·t
800	1.01	0.5110	0.516	7.47	0.3266	2.440	2.13	0.3985	0.849	3.005	3044	0.372	0.3266	0.122	0.100	0.3464	0.035	0.005	0.3585	0.093	0.160	120
1000	•	0.5280	0.534	•	0.3325	2.484	•	0.4115	0.876	3.894	3894	•	0.3325	0.124	•	0.3529	0.035	•	0.4115	0.093	0.162	162
1200	•	0.5433	0.549	•	0.3380	2.525	•	0.4244	0.904	3.978	4774	•	0.3380	0.126	•	0.3584	0.036	•	0.4244	0.093	0.165	198
1400	•	0.5553	0.561	•	0.3430	2.562	•	0.4367	0.930	4.053	5674	•	0.3430	0.128	•	0.3631	0.036	•	0.4367	0.093	0.167	234
1600	•	0.5655	0.571	•	0.3473	2.594	•	0.4482	0.955	4.120	6592	•	0.3473	0.130	•	0.3673	0.037	•	0.4482	0.094	0.171	274
1800	•	0.5744	0.580	•	0.3511	2.623	•	0.4590	0.978	4.181	7576	•	0.3511	0.131	•	0.3712	0.037	•	0.4590	0.094	0.172	310
2000	•	0.5820	0.588	•	0.3545	2.648	•	0.4689	0.999	4.235	8470	•	0.3545	0.132	•	0.3747	0.037	•	0.4689	0.094	0.173	346
2200	•	0.5887	0.594	•	0.3574	2.670	•	0.4780	1.018	4.282	9420	•	0.3574	0.133	•	0.3781	0.038	•	0.4780	0.094	0.175	385
2400	•	0.5947	0.601	•	0.3601	2.690	•	0.4864	1.036	4.327	10385	•	0.3601	0.134	•	0.3810	0.038	•	0.4864	0.094	0.176	422

烟名 温度	烟气总热焓 $\lambda = 1.0 \sim 1.7$						
	1	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3
800	3044	3172	3300	3428	3556	3684	3812
1000	3894	4056	4218	4380	4542	4704	4866
1200	4774	4972	5170	5368	5566	5764	5962
1400	5674	5908	6142	6376	6610	6844	7078
1600	6592	6866	7140	7414	7688	7962	8236
1800	7526	7836	8146	8456	8766	9076	9386
2000	8470	8816	9162	9508	9854	10200	10546
2200	9420	9805	10190	10575	10960	11345	11730
2400	10385	10807	11229	11651	12073	12495	12917

1-11 天然气着火浓度极限

天然气混合气体中任何浓度的可燃气体与空气混合后，即可着火或燃烧，混合气体过贫和过富均不能引起燃烧。天然气混合气体着火浓度极限，即指最小浓度或最大浓度而言，它和混合气体的组成、压力和混合气体的种类有关。天然气混合气体着火浓度极限，即指最小浓度或最大浓度而言，它和混合气体的组成、压力和混合气体的种类有关。

$$L' = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{\frac{a_1}{L_1} + \frac{a_2}{L_2} + \dots + \frac{a_n}{L_n}} \quad (1-19)$$

$$L = L' \frac{(1 + T \frac{b}{b_0}) \times 100}{100 + L' (\frac{b}{b_0})} \quad (1-20)$$

式中：

- L' 天然气中无惰性气体时浓度极限(上限或下限)
- L 天然气中无惰性气体时浓度极限(上限或下限)
- a_1, a_2, \dots, a_n 各可燃成分的含量(体积%)
- L_1, L_2, \dots, L_n 各可燃成分的浓度下限(或上限)
- b, b_0 不燃成分的含百分数

可燃气体着火浓度极限表

气体	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₂ H ₄	CO	H ₂
下限 (%)	5.0	3.0	2.1	1.5	3.0	12.5	4.1
上限 (%)	15.0	14.0	9.5	8.5	16.0	75.0	75.0

注：本表系摘自“气体燃料输配与安全技术”一书

例 泸州

天然气成份	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₂ H ₄	CO ₂	CO	H ₂	N ₂
体积 (%)	96.38	1.57	0.42	0.20	0.94	0.15	0.11	0.23

$$L_1 = \frac{96.38 + 1.57 + 0.42 + 0.20 + 0.15 + 0.11}{\frac{96.38}{5} + \frac{1.57}{3} + \frac{0.42}{2.1} + \frac{0.20}{1.5} + \frac{0.15}{12.5} + \frac{0.11}{4.1}} = \frac{98.83}{19.276 + 0.523 + 0.200 + 0.133 + 0.012 + 0.027} = 98.83$$

$$L_2 = \frac{98.83}{20.171} = 4.90\%$$

$$L'_2 = \frac{\frac{96.38}{15} + \frac{1.57}{14} + \frac{0.42}{9.5} + \frac{0.20}{16} + \frac{0.15}{7.5} + \frac{0.11}{7.5}}{\frac{98.83}{6.597}} = \frac{6.425 + 0.112 + 0.044 + 0.013 + 0.002 + 0.001}{98.83}$$

当不燃成份 E = CO₂ + N₂ = (0.94 + 0.23)% = 1.17% = 0.0117

$$\therefore L_T = \frac{4.90}{100 \pm 4.90 \left(\frac{0.0117}{1-0.0117} \right)} = \frac{4.90 \left(\frac{1+0.012}{100+4.90 \times 0.012} \right)}{100 + 0.059} = 4.95\%$$

$$L_2 = \frac{14.98}{100 + 14.98 \times 0.012} = \frac{14.98}{100 + 0.180} = 15.16\%$$

结论：由于天然气中含不燃物成份较少可忽略不计，其上下限值可直接按下式求出

$$L = \frac{100}{\frac{a_1}{L_1} + \frac{a_2}{L_2} + \dots + \frac{a_n}{L_n}} \quad (1-21)$$

式中：符号代表意义同上

第二章 耗气量

第一节 民用燃料耗气量

供城市居民生活用的天然气耗量，应根据年耗量及全年使用小时数而定。在缺乏调查资料时，可参照下表选用。

1. 居民住宅用气热设计定额

城市名称	用气热设计定额 (万大卡/人年)	
	无集中采暖设备	有集中采暖设备
上海	48~52	
大连	38~44	53~61
沈阳	40~46	56~64
哈尔滨	42~48	59~67
北京		

2. 几种公用设施用气热设计定额

类别	单位	用气热设计定额
职工食堂	大卡/斤粮食	2000~2400
饮食业	万大卡/座·年	160~200
幼儿园: 全托	万大卡/人·年	50~55
托儿所		20~28
医院	万大卡/床·年	65~70
旅馆(无锅炉)	万大卡/床·年	15
理发店	大卡/人·次	850

2-1 民用耗气量的确定:

在设计住宅用户耗气量时应根据住宅户数及住宅中燃气设备的类型而定。在仅装有燃气灶的住宅中同时工作系数 $K=1$ ，而通过气总管及进户管时的 K 值推荐按下表采用（在皮用中修正）耗气量按下式进行计算：

$$Q = K \sum q_i \quad (2-1)$$