

天然气设计资料集

△ 第一部分：高中压引射式天然气燃烧器测试和设计

2-1

1975

成都市天然气燃烧技术协作组测试
四川省工业设计院 编制

目 录

第一章	测 试 技 术		2—1	设计参数	21~28
第一节	天 然 气 流 量		2—2	燃烧器的结构及尺寸表	29~31
1—1	CWD430双波纹管差压计计量	1~2	2—3	喷嘴孔径计算	32~35
1—2	天然气流量测试记录	3~4	2—4	燃烧器燃烧的稳定	35~36
1—3	理论公式的应用	4~5	2—5	ΔI — P_n 曲线图	37
第二节	空 气 量		2—6	燃烧器设计示意图	38~50
1—4	过剩空气系数“ α ”的计算	7~11	第二节	混合器计算参考资料	40~44
1—5	测试记录	12~15	第三章	优选法在工程上应用	
1—6	几个问题探讨	14~20	3—1	图解交叉法工作原理	45~47
第二章	燃烧器的设计		3—2	工程计算应用的实例	47~55
第一节	高、中压引射式燃烧器				

第一章 技术测试气流量

流量有节处
式“广流”
差靠“广流”
压可用热录
是确未天附
的精足定册
用收就测手
常均要未计
上量主套设
业计中,配控
工格试置自
在合制装的
前验厂流厂
日检单和工
免经底习、
较要中並見
表只,毛计洋
仪等,在压可
的皆月差标,
量托7管计
流毕~5波择
气计,5波择
热量平双迭
节天流型75
一定子CWD
第测转197
计,的流不
修

1-1

式中进行

$$Q_{H_2} = K \cdot P_{H_2} T_{H_2} / 24, \quad (H M^3 / 时)$$
 《铭牌: 压差 $H = 630^{mm}$ 水柱, 静压 $P = 10^{kg/cm^2}$, 流量 $Q = 1000^{M^3/h}$ 》
 CWD 430 双波该厂下波管的计差压计量公计量方法进行
 条根据该厂下波管的计差压计量公计量方法进行
 对列用气量, 高 中 压 引 射 式 燃 烧 器 的 理 论 耗 气 量 公 式 进 行
 达应耗拟广的试, 能出
 节天流型75
 一定子CWD
 第测转197
 计,的流不
 修

K——常数,

$$K = 0.9909 \alpha d^2 \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sqrt{\frac{P_{\alpha}}{100} \sqrt{\frac{H_{\alpha}}{100}}}} = 3.312$$

$$\Delta \text{——天然气比重, } \Delta = 0.587, \therefore \sqrt{\frac{1}{\Delta}} = 1.304,$$

$$d \text{——孔板孔径, } d = 44 \text{ mm.}$$

$$P_{\alpha} \text{——差压计压力, } P_{\alpha} = 10 \text{ kg/cm}^2, \therefore \sqrt{\frac{P_{\alpha}}{100}} = 0.03162,$$

$$H_{\alpha} \text{——差压计压差值, } H_{\alpha} = 630 \text{ mm水柱} = \frac{630}{13.546} \text{ mm汞柱, } \therefore \sqrt{\frac{H_{\alpha}}{100}} = 0.0682$$

$$\alpha \text{——流量系数, } \alpha = \alpha_0 K_1 K_2 K_3 = 0.614.$$

$$\therefore m = \frac{\alpha}{D^2} = \frac{4.4}{100^2} = 0.1936, \therefore \alpha_0 \text{ (原始流量系数)} = 0.614.$$

又 K_1, K_2, K_3 ——分别为粘度、管径粗糙、孔板尖锐校正系数。

$$K_1 \approx 1, K_2 \approx 1, K_3 \approx 1,$$

$$T_{\text{修}} \text{——温度修正系数, } T_{\text{修}} = \sqrt{\frac{293}{273+t}}.$$

t (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.036	1.034	1.032	1.031	1.029	1.027	1.025	1.023	1.021	1.020
10	1.018	1.017	1.015	1.013	1.011	1.009	1.007	1.005	1.003	1.002
20	0.999	0.997	0.996	0.994	0.993	0.992	0.990	0.988	0.986	0.984
30	0.983	0.981	0.979	0.978	0.977	0.975	0.973	0.971	0.969	0.968
40	0.966	0.965	0.963	0.961	0.960	0.959	0.957	0.956	0.954	0.953

1-2 天然气流量测试记录

测试时间	燃汽器 “P” (表压)	天然气温 “T” (°C)	温度修正 “T” (修正)	静压 “P” (静压)	差压 “H” (差压)	天然气流量 “Q” (m³/h)	平均 “Q” (m³/h)	理论 “φ” (m³/h)	应用 “φ” (m³/h)	公式 “Q” (m³/h)	误差 (%)
29/5 9:00~10:00'	0.6	21.5	0.998	65	4.9	438.65	439	0.739	0.75	44.4	1.13
28/5 10:30~11:30'	0.5	20.5	0.9995	56	5.1	393.93					
“ 13:45~14:45'	“	22.5	0.9965	6.9	4.1.5	393.78					
2/5 8:00~9:00'	“	21	0.999	6.0	4.8	397.04	397	0.746	“	397	0
2/6 9:00~10:00'	“	22.5	0.9965	65	4.5	402.24					
2/6 10:00~11:00'	“	25	0.992	44	6.6	397.55					
2/5 10:00~11:00'	0.4	21	0.999	4.9	5.2	351.27	356	0.746	“	356	0
30/5 9:00~10:00'	“	22	0.997	57.5	4.5.5	359.96					
30/5 14:30~15:30'	0.3	25	0.992	33	6.7	302.68	303	0.747	“	303	0
24/6 9:00~9:45'	0.2	26.5	0.989	35	5.3	253.17	253	0.772	“	244	-3.69
24/6 10:00~10:30'	0.1	26.5	0.988	32	3.8	165.96	166	0.731	“	169	1.78

说明: 1. 表上测定的数据为4个喷射式燃汽器,其喷嘴直径 $d_n=10.9^{mm}$ 。
 2. 在上表中差压计读数每4次测定的平均值。

3. 在不影响生产的情况下，以作了六种不同压力的测定，数据是足够的，但作为论证只公式用，基本可以满足要求。

1-3

理论公式的应用
通过用于天然气的材料，证明按绝热压缩的气体流量公式可以即 $Q = \frac{\gamma}{80} d_0^2 \sqrt{\frac{K}{K-1} \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right\} P_1 \sqrt{\frac{1}{\gamma_1}}} \cdot n$ (1-1)

$$\therefore \gamma = \frac{d_0^2 / \sqrt{\frac{K}{K-1} \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right\} P_1 \sqrt{\frac{1}{\gamma_1}}} \cdot n}{80 \cdot Q} \quad (1-2)$$

式中：

- Q — 天然烧气测定流量 $\frac{MM^3}{时}$ ，
- d₀ — 天然烧气喷嘴直径 d₀ = 10.9 mm.
- n — 天然烧气喷嘴数 n = 4，
- K — 绝热指数 K = 1.31
- γ₁ — 天然烧气室度 (20°C. 1 绝对大气压) γ₁ = 0.707 $\frac{kg}{m^3}$
- P₂ — 天然烧气绝对压力 P₂ = 10530 毫米水柱，

计算结果见上表，通用公式见中压引射式燃烧器喷嘴计算。

也可用下面的图解法求得。即根据无假定的“ ψ ”值作出流量线，找出与测定流量相应的“ ψ ”值。

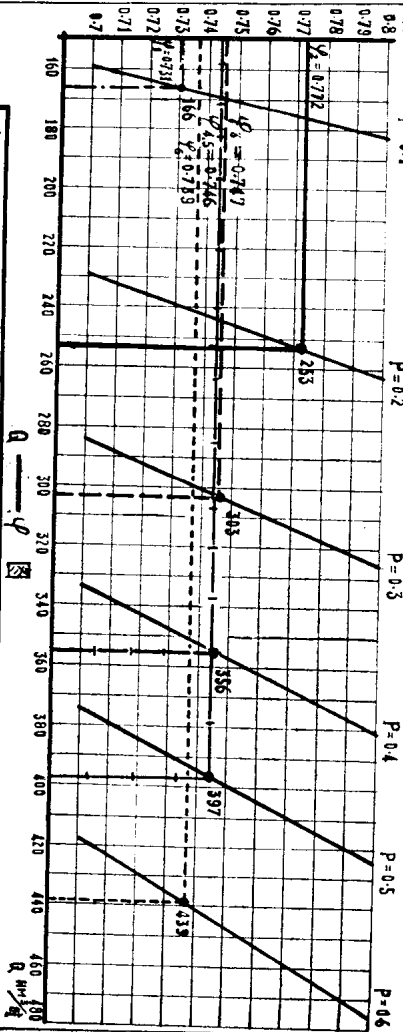


图 1-1-1

喷嘴前天然气绝对压力 P_1 (MPa)		备 注									
相 对 压 力 P_1 (MPa)		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6				
$\sqrt{\frac{K}{1 - (\frac{P_1}{P_2})^2}} P_2$ 值		52.16	46.38	57.45	67.40	75.40	84.16				
Q m³/h	$\psi = 0.7$	159	229	284	335	373	416	限定下限“ ψ ”值			
	$\psi = 0.8$	182	262	325	381	426	476				
测 定	$\psi = 0.746$	166	255	303	356	397	439	基本符合要求			
	$\psi = 0.746$	169	244	303	356	397	444				

(是动然然 压以带天天 度较射 式)虎的 主寸的 浓
 造介天气断 来射用空中 (精然 测定成分 方样别 氧
 威寅然带时 他果为 干结气 测定成分 方样别 氧
 出喷系以应 仅分天 的物或 化数 二氧余
 咀。应许供 速气用。 常合同 二氧余
 从器一才然 用用(途最用物 的空
 度射，下天 虽身定新 其利煎 中刺过
 速引定况在，但，测它，是可 物过
 离入而情皮 大值的其的式的 合的
 以吸力的， 根均量无份方中 漏程
 质质压低施 差乎风尚成定样 气过
 介介之别措 相共器前的测试 烟境
 射射者待的 度取境目气种皮 干蔗
 量 喷注两力殊 速定煎外，烟这和 是出
 气 由被视压持 风测式析定，湿 据示
 要射气，气些压 进夷射分测积原 数计
 空(主)空然一自旁多引气 未容的 要以
 器量是天取成各)在烟用的效， 室用
 烧能以在未形口管此于是气吸的 的並
 燃的可有要致风托因助新烟别行析)。
 射式身也只时不逆毕，籍分定分进分积
 二射本气，这内于仪大除气测体来气容
 第引靠然气，管由速太)烟是气则烟(度
 即天空气气 风入质 要别原 度

1-4 过剩空气“ α ”的计算

I. 近似算法:

(1) 碳平衡: $\alpha' = \frac{CO_{2最大}}{CO_2} \quad (1-3)$

式中: CO_2' ——烟道气中实际二氧化碳量(%), 当发生不完全燃烧时(即烟道气中含有 CO 、 H_2 、 CH_4) CO_2' 应作修正即 $CO_2'(\%) = CO_2 + CO + CH_4(\%)$.

$CO_{2最大}$ ——理论燃烧情况(当 $\alpha' = 1$) 的二氧化碳量, 最大是燃料所含燃料成分, 中烧, 因此 $CO_{2最大} < 21$, 一般用性

$CO_{2最大} = \frac{21}{1+\beta} (\%)$

$\beta_1 = \frac{0.79 \times (m + \frac{1}{2}) C_m H_n + 0.335 (CO + H_2) + 1.19 H_2 S - 0.79 O_2 + 0.21 N_2}{2m \cdot C_m H_n + CO + CO_2 + H_2 S}$

持在系数“ β ”值随燃料和氧化剂的成份而不同, 下面就介绍

天然气按天然气组分计算

式 中: $C_m H_n$ 、 CO 、 H_2 、 $H_2 S$ 、 CO_2 、 O_2 、 N_2 ——天然气中各组分体积百分比(%)

7

b)

按天然气中碳原子数计标

$$\beta_2 = \frac{0.21(6.6\bar{n} + 1.9 + \frac{100-\delta}{\delta})}{\bar{n}\delta + CO_2} - 1 \quad (1-5)$$

式中:

$\bar{n}$ ——天然气中碳原子数, $\bar{n} = \frac{CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + \dots}{100 - B}$;

B——天然气中烃类含氧体积百分数(%) $\delta = CH_4 + C_2H_6 + C_3H_8 + \dots$;

δ ——天然气中烃类含氧体积百分数(%) $\delta = CH_4 + C_2H_6 + C_3H_8 + \dots$;

C,

按容积相等定律

$$\beta_3 \approx 2.37 \frac{H - \frac{N}{8} + \frac{25.6}{C}}{H - \frac{N}{8} + \frac{25.6}{C}} \quad (1-6)$$

成都天然气中“ β ”式

中: $H_2O, C =$ 分别为天然气中的重量含量;

成分	C	H	N	O	S
天然气	83.01	9.8	0.2	0.02	0.02
天然气	83.01	9.8	0.2	0.02	0.02

特征数	公	式	计	标	式	数值
β_1	$0.73 \frac{(m+1)}{2} C_m H_m + 0.375 (CO + H_2) + 0.21 H_2$	0.79	$0.79 (2.37 \frac{H - \frac{N}{8} + \frac{25.6}{C}}{H - \frac{N}{8} + \frac{25.6}{C}} + 0.02) + 0.02 + 0.02 + 0.02$	0.79	0.79	0.79
β_2	$0.21 (6.6\bar{n} + 1.9 + \frac{100-\delta}{\delta}) \delta - 1$	0.79	$0.21 (6.6 \times 0.13 + 1.9 + \frac{100 - \frac{94.06}{94.06}}{94.06}) - 1$	0.79	0.79	0.79
β_3	$2.37 \frac{H - \frac{N}{8} + \frac{25.6}{C}}{H - \frac{N}{8} + \frac{25.6}{C}}$ (一般“N”可忽略不计)	0.78	$2.37 \frac{11.49 - \frac{0.13}{11.49}}{11.49 - \frac{0.13}{11.49}}$	0.78	0.78	0.78

(2) 氧平衡: $\alpha' = \frac{21}{21 - O_2'} \quad (1-7)$
 式中: O_2' ——烟气中所含游离氧(%), 当发生不完全燃烧时(即烟气中含有 CO, H_2, CH_4), O_2' 应作修正即

$$O_2'(\text{修}) = O_2' - 0.5 CO - 0.5 H_2 - 2 CH_4 (\%)$$

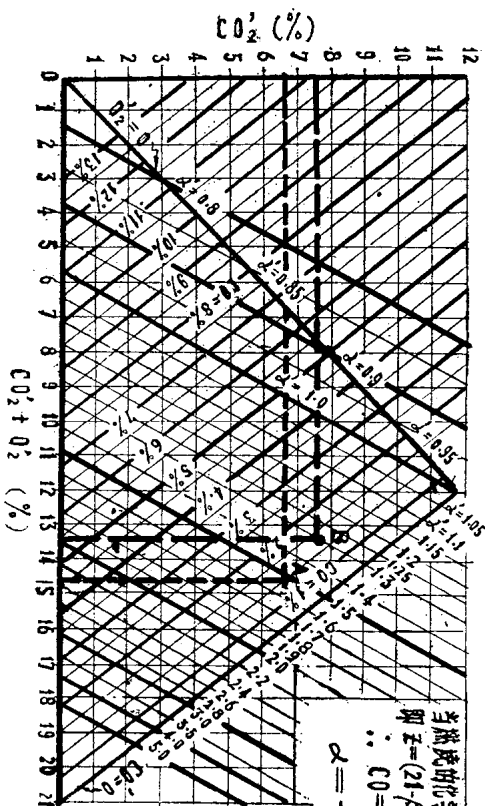
(3) 氮平衡: $\alpha' = \frac{N_2'}{N_2' - \frac{79}{21} O_2'} = \frac{N_2'}{N_2' - 3.762 O_2'} \quad (1-8)$
 式中: N_2' ——烟气中含氮量(%),
 O_2' ——同上.

(4) 图解法:

图解法是按甲烷绘制的燃烧产物简图, 从烟气分析中的 O_2' 和 CO_2' 空燃系数 α' 及 CO' 含量(%).

当过剩燃烧不完全, 即烟气分析中含有 CO, H_2, CH_4 时, 则 O_2' 及 CO_2' 应修正为: $O_2'(\text{修}) = O_2' - 0.5 CO - 0.5 H_2 - 2 CH_4$; 及 $CO_2'(\text{修}) = CO_2' + CO + CH_4$;

例 1. 烟气分析: $CO_2' = 6.8\%$, $O_2' = 7.9\%$, $N_2' = 85.3\%$; $\therefore CO_2' + O_2' + N_2' = 100\%$
 当 $CO_2' + O_2' = 6.8 + 7.9 = 14.7\%$, 在图中横座标找到 $CO_2' + O_2' = 14.7$, 向上引垂线, 与纵座标 $CO_2' = 6.8$ 引出的水平线交于 A 点, 查得 $\alpha' = 1.55$, $CO' = 1.25\%$.



当燃烧的化学反应不完全时
 即 $Z = (21 - 8R_{O_2}) - (R_{O_2} + O_2) \cdot 40$
 $\therefore CO = \frac{Z}{0.6 + \beta} \%$
 $\alpha = \frac{1 - 3\beta}{100 - (R_{O_2} + O_2)}$

例 2.

烟气分析:

$CO_2 - 6.01\%$, $O_2 - 9.09\%$, $N_2 - 83.18\%$, $CH_4 - 1.72\%$,
 $\therefore CO_2 + O_2 + N_2 + CH_4 = 100\%$,

因烟气中含有 CH_4 , $\therefore O_2$ (原) $= 9.09 - 2 \times 1.72 = 5.65\%$, CO_2 (原) $= 6.01 + 1.72 = 7.73\%$,
 当 $CO_2 + O_2 = 7.73 + 5.65 = 13.38\%$, 在图中横座标找到 $CO_2 + O_2 = 13.38$, 向
 上引垂线至纵座标 $CO_2 = 7.73$ 引出的水平线交于 B 点, 查得
 $\alpha' = 1.32$, $CO' = 1.5\%$

II. 较 精 确 的 计 算 法 法 应 用 综 合 公 式 一 定 限 制 因 为 按 干 烟 气 作
 出 物 差 刺 平 的 中 就 余 衡 近 氧 氢 特 数 关 系 公 分 者 严 出 密 求 的 计 算 成 最 求 平 的 别 其 余 的 计 算 法 根 据 法 在 往 多 计 和 即 应 容 时 示 最 下 在 概 面 何 估 介 的 培 公 均 式 燃 氧 式 可 合 一 引 氢 化 剂 以 公 式 定 起 化 剂 以 公 式 一 定 限 制 的 燃 插 量 方 面 为 差 或 气 面 按 当 氧 在 的 境 于 可 化 内 燃 剂 的 境 气 混 的 的 物 作 合 误 过 有

$$\alpha' = \frac{\delta_{\frac{8}{3}} C_T + 8 H_T - O_T}{\frac{8}{3} C_T + 8 H_T - O_T} = \frac{2 \leq O_T - \leq H_T}{4 \leq C_T} \quad (1-9)$$

当 碳 燃 烧 时 分 子 中 的 因 数 $\delta_{\frac{8}{3}}$ 。

式 中：
 $\leq O_T, \leq H_T, \leq C_T$ 的 值，要 根 据 气 体 分 析 的 数 据 去 复 核，
 并 等 于 以 下 数 值 的 和（当 气 体 分 析 的 成 份 数 据 较 复 杂 时）：
 $\Sigma C_T = CO_2 + CO + CH_4 + 2 C_2H_6 + 3 C_3H_8 + m C_m H_n,$
 $\Sigma O_T = 2 O_2 + CO + 2 CO_2 + n N_m O_n,$
 $\Sigma H_T = 2 H_2 + 4 CH_4 + n C_m H_n,$
 C_T, H_T, O_T —— 分 别 为 天 然 气 中 的 全 量 含 量；

1-5 烟气测试记录 (毛巾床单厂熬虎器) 1975年

項目 P ² % cm	煙 氣 分 析 (%)						道 徑 空 氣				條 件	綜 合 公 式
	(十 花 票 百 分 比 %)											
0.6	3.3	6.8	7.4	85.54	0.26	—	$\alpha_1' = \frac{2.1}{21 - 0.2}$ $= 0.1$ $= 74.7 \times 10^{-6}$ $\alpha_1' = \frac{2.1}{21 - 0.88} = 1.63$	$\alpha_2' = \frac{\text{N}_2}{\text{N}_2 + 3.762 \text{O}_2}$ $= \frac{85.54}{85.54 + 3.762 \times 0.26} = 25.98$	$\alpha_3' = \frac{\text{CO (體積)}}{\text{CO}_2}$ $= \frac{0.26}{7.4} = 3.51 \times 10^{-2}$ $\alpha_3' = \frac{\text{CO}_2 + \text{CH}_4}{\text{CO}_2}$ $= \frac{6.8 + 0.26}{7.4} = 1.06$	$\alpha_4' = 6.88$ $\alpha_4' (\%) = 7.06$ $\alpha_4' (\%) = 7.06$ $\alpha_4' = 1.43$	$\alpha_5' = 7.06$ $\alpha_5' = 7.06$ $\alpha_5' = 7.06$	
0.5	6.8	7.9	85.3	—	—	—	1.63	1.43	1.66	1.43	1.58	
0.4	6.5	8.6	85.3	1.6	—	—	1.35	1.54	1.72	1.53	1.58	
0.3	6.9	8.3	85.41	1.39	—	—	1.36	1.33	1.41	1.32	1.54	
0.2	6.87	8.12	85.06	2.15	—	—	1.22	1.16	1.46	1.18	1.24	
0.1	6.81	8.09	85.10	1.72	—	—	1.37	1.34	1.52	1.32	1.36	
0.05	5.9	9.59	82.37	1.94	—	—	1.4	1.38	1.52	1.38	1.39	

测试汇总表 <兰开夏锅炉>

名 称	单 位	燃 烧 器 前 天 然 气 压 力 P_0 (kg/cm^2)							备 注
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6		
锅炉蒸发量	kg/hr	1.4	2.0	2.5	3.1	3.5	3.63	原始记录	
蒸汽压力	kg/cm^2	3.2	4	4	5	5.5	6		
蒸汽流量	kg/hr	655.4	657.3	657.3	659.3	660.1	660.9	原始记录	
蒸汽温度	$^{\circ}\text{C}$	26	26	21	22	20	20	原始记录	
天然气流量 (20 $^{\circ}\text{C}$)	Nm^3/hr	16.9	24.4	30.3	35.6	39.7	44.4	原始记录	
天然气温度	$^{\circ}\text{C}$	26.5	26.5	25	21.5	22.5	21.5		
烟气成分	%			5.6	6.01	6.9	6.8	见1-5“测试记录”	
CO_2				9.89	9.09	8.3	7.4		
N_2				82.37	83.18	83.41	85.64		
CH_4				1.94	1.72	1.39	0.26		
CO				—	—	—	—		
过剩空气系数	α			1.39	1.36	1.34	1.49	原始记录	
空气温度	$^{\circ}\text{C}$	30	30	32	21.5	27	24		
排烟温度	$^{\circ}\text{C}$	235	260	280	250	300	300		
排烟损失	%			14.14	12.74	15.03	16.69		
化学不完全燃烧损失	%			23.82	20.63	16.41	3.44		
散热损失	%			3.1	2.8	2.1	2.0	可按锅炉装置的散热量测	
排烟效率	%	64	64	65	68	69	64	$\eta = \frac{D(1-x)}{D_0} \times 100$	
蒸汽耗气量 B/D	Nm^3/kg	121	122	121	115	113	122		
每 Nm^3 天然气出给蒸汽量 V/kg	kg/Nm^3			12.58	12.31	12.13	13.48		

附注：天然气发热值 $Q_H^P = 8139 \text{ kcal}/\text{Nm}^3$

1-6 几个问题探讨

1. 从燃烧着的火的浓度：(即混合体过度和过富均不武燃烧)

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(%)	93.01	0.8	0.2	0.05	0.4	0.02	0.02	5.5

$$L'_F = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} = \frac{93.01 + 0.8 + 0.2 + 0.05 + 0.02 + 0.02}{\frac{93.01}{5} + \frac{0.8}{3} + \frac{0.2}{2.1} + \frac{0.05}{3} + \frac{0.02}{12.5} + \frac{0.02}{4.1}} = 4.56\%$$

$$L'_L = \frac{93.01 + 0.8 + 0.2 + 0.05 + 0.02 + 0.02}{\frac{15}{14} + \frac{14}{3.5} + \frac{16}{16} + \frac{0.02}{7.5}} = 14.98\% \quad \text{式中: } L_1, L_2, \dots, L_n \text{ 分别为组成成分的 } L \text{ 下限}$$

其中不燃烧成份 $\Sigma = \text{CO}_2 + \text{N}_2 = (0.4 + 5.5)\% = 5.9\% = 0.059$

$$\therefore \text{着火浓度下限: } L_F = L'_F \frac{(1 + \frac{1-E}{1-E}) \times 100}{100 + L'_F (\frac{1-E}{1-E})} = 4.56 \frac{(1 + \frac{0.059}{1-0.059}) \times 100}{100 + 4.56 (\frac{0.059}{1-0.059})} = 4.85\%$$

$$L_L = L'_L \frac{(1 + \frac{1-E}{1-E}) \times 100}{100 + L'_L (\frac{1-E}{1-E})} = 14.98 \frac{(1 + \frac{0.059}{1-0.059}) \times 100}{100 + 14.98 (\frac{0.059}{1-0.059})} = 15.38\%$$

$$\text{又 浓度 } L = \frac{\text{天然气量}}{\text{天然气量} + \text{空气量}} = \frac{1}{1 + 0.05\alpha'}, \therefore \alpha' = \frac{1-L}{0.05L}$$

$$\text{当 } L_F = 4.85\%, \quad \text{相应的过剩空气系数 } \alpha' = \frac{1-0.0485}{0.05 \times 0.0485} = 2.18$$

$$L_L = 15.38\%, \quad \alpha' = \frac{1-0.1538}{0.05 \times 0.1538} = 0.61$$

因此, 当过剩空气系数 α' 在 0.61 ~ 2.18 间均能燃烧。

2. 从天然气的元素分析来计算综合公式 α_3' 值及燃料特性 β_3 值:

$$C^P = \frac{0.54 [CO + CH_4 + CO_2 + n(C_n H_m)]}{Y} \quad \%$$

$$H^P = \frac{0.09 H_2 + 0.18 CH_4 + 0.045 (C_n H_m)}{Y} \quad \%$$

$$O^P = \frac{0.715 CO + 1.44 (CO_2 + 1.429 O_2)}{Y} \quad \%$$

$$N^P = \frac{1.251 N_2}{Y} \quad \%$$

$$C^P + H^P + O^P + N^P = 100 \quad \%$$

成烟天然气

$$C^P = \frac{0.54 \{ 0.02 + 93.01 + 0.4 + 2 \times 0.8 + 3 \times 0.2 + 2 \times 0.05 \}}{0.759} = 68 \quad \%$$

$$H^P = \frac{0.09 \times 0.02 + 0.18 \times 93.01 + 0.045 (0.8 + 0.2 + 0.05)}{0.759} = 22 \quad \%$$

$$O^P = \frac{0.715 \times 0.02 + 1.44 \times 0.4 + 1.429 \times 0}{0.759} = 1 \quad \%$$

$$N^P = \frac{1.251 \times 5.5}{0.759} = 9 \quad \%$$

将计算值代入公式(1-6)及(1-9)

$$\beta_3 = \frac{2.37}{5.9 C_c + 8 H_c - 0.7} = \frac{2.37}{5.9 \times 68 + 8 \times 22 - 1} = \frac{22 - \frac{1}{68} + \frac{9}{35.5}}{68} = 0.78$$

$$\alpha_3' = \frac{9}{9 C_T + 8 H_T - 0.7} = \frac{9}{9 \times 68 + 8 \times 22 - 1} = \frac{181.5 + 175}{356} = 0.5085 + 0.49$$