

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2012.09.002

· 续上期 ·

美国燃气协会燃气互换性公式评述（第三部分）

□ 中国市政工程华北设计研究总院（300074）李猷嘉

5 互换性指数允许范围的确定——公式与试验结果的比较

以上所述是在各种假设限定条件下，根据试验所得数据，用数学分析方法建立以离焰、黄焰端和回火3个互换性指数公式的全过程，由此对互换性本质的了解和认识可以得到进一步的加深。但公式只能提供一个必要条件的期望值，在实际应用中，尚需有一个充分条件，即互换性指数允许范围的判定值，必须考虑到实际的使用情况，根据公式的计算与试验结果进行比较后才能确定。作为重要的研究报告，文献5中介绍了不同基础负荷天然气互换性指数的范围值，如表5所示。

由表5可知，范围分成两档，即最佳值(Preferable)和不良值(Objectionable)，在文献2和4中亦是如此。我国有的文献中⁽⁹⁾，有一中间项“勉强”但未说明出处。对中间情况在研究资料中是如何评价的问题就值得深究，由文献5可知，它涉及到许多试验中的调

定问题和数据。虽然试验数据比较繁琐，但研究中无法回避，以下根据试验结果进行较详细的分析比较。

5.1 K值

根据混合燃气的化学组分可算出K值。已知K值后，在任一火孔负荷下，不同燃气离焰时的一次空气系数可按公式(3)求得，(3)式中 $m = -0.016$ ，公式可记为： $\log R = -0.016L + K$

表6为不同燃气、取火孔负荷为 $32.6896 \text{ kJ/h} \cdot \text{mm}^2$ ($20\ 000 \text{ Btu/h} \cdot \text{in}^2$)时计算所得的L值(离焰极限的一次空气系数)与A.G.A精密燃烧器实测数据的比较。由比较可知，最大差值为3.2%，平均差值为0.9%，在试验的误差范围之内。

5.2 黄焰端极限值Y

如上所述，也可按燃气的化学组成计算。计算公式见公式(17)。计算结果与实测值的比较可见表7。

由表7可知，最大偏差为2.8%，平均偏差为1.0%。

表6和表7中列出的混合燃气都是研究中可能作为补充燃气使用的燃气，涉及的范围很广。基础负荷气

表5 3种基础负荷气的互换性范围*

互换性指数	高热值天然气		高甲烷天然气		高惰性天然气	
	最佳值	不良值	最佳值	不良值	最佳值	不良值
I_L	< 1.0	> 1.12**	< 1.0	> 1.06**	< 1.0	> 1.03**
I_F	< 1.18	> 1.2	< 1.18	> 1.2	< 1.18	> 1.2
I_Y	> 1.0	< 0.7	> 1.0	< 0.8	> 1.0	< 0.9

* 应用范围见随后的讨论

** 此值等于 $\frac{K_c}{1.105}$ ，随后有论证。

表6 不同燃气离焰极限测定值与计算值的比较

燃气类别	计算值(%)	观测值(%)
高热值天然气	58.5	59.0
高甲烷天然气	54.5	54.5
高惰性气含量的天然气	52.6	53.0
增碳水煤气(29.8MJ/m ³ 或800Btu/cf)	87.4	89.0
29.8MJ/m ³ 增碳水煤气+25%的高热值天然气	79.5	82.0
增碳水煤气(44.71MJ/m ³ 或1200Btu/cf)	69.8	69.5
44.71MJ/m ³ 的增碳水煤气+50%的高热值天然气	64.0	66.0
焦炉气+高热值天然气(29.8MJ/m ³ 或800Btu/cf)	78.2	78.0
焦炉气+高热值天然气(33.5MJ/m ³ 或900Btu/cf)	71.1	70.5
35%的丁烷+65%的发生炉气	52.6	54.0
55%的丁烷+45%的发生炉气	55.1	55.0
30%的丁烷+70%的丁烷改制气	79.0	78.5
40%丁烷+36%丁烷改制气+24%高热值天然气	69.0	70.5
50%丁烷+50%丁烷改质气	69.2	66.0
30%丁烷+70%水煤气	68.9	69.0
40%丁烷+60%水煤气	66.5	67.0
12%丁烷+18%水煤气+70%高热值天然气	61.9	62.5
12%丁烷+28%改制丁烷+60%高甲烷天然气	66.8	65.5

表7 不同燃气黄焰端极限值的测得值与计算值的比较(%)

燃气类别	计算值Y	观测值(Y)
增碳水煤气(29.8MJ/m ³ 或800Btu/cf)	32.5	33.0
增碳水煤气(29.8MJ/m ³ 或800Btu/cf)+70%高热值天然气	29.3	29.7
增碳水煤气(37.26MJ/m ³ 或1000Btu/cf)+25%高热值天然气	32.6	34.0
增碳水煤气(52.16MJ/m ³ 或1400Btu/cf)	49.5	50.0
焦炉气(29.8MJ/m ³ 或800Btu/cf)+高热值天然气	22.2	22.2
焦炉气(37.26MJ/m ³ 或1000Btu/cf)+高热值天然气	24.7	25.0
35%的丁烷+65%的发生炉气	39.4	39.4
55%的丁烷+45%的发生炉气	45.5	47.0
30%的丁烷+70%的改制丁烷	43.4	43.0
15%丁烷+35%改制丁烷+50%高热值天然气	34.4	36.0
50%丁烷+50%改质丁烷	47.9	50.0
25%丁烷+25%改制丁烷+50%高热值天然气	39.0	40.0
30%丁烷+70%水煤气	42.0	43.0
9%丁烷+21%水煤气+70%高热值天然气	30.7	31.0
50%丁烷+50%水煤气	47.2	50.0
25%丁烷+25%水煤气+50%高热值天然气	38.6	38.0
高热值天然气	25.7	28.0
高甲烷天然气	22.0	20.5
高惰性气体含量天然气	23.9	24.1
80%增碳水煤气(37.26MJ/m ³ 或1000Btu/cf)+20%高甲烷天然气	32.9	34.5
15%丁烷+35%丁烷改制气+50%高甲烷天然气	31.2	29.6
27.5%丁烷+22.5%发生炉气+50%高甲烷天然气	37.6	38.2

有3种，以基础负荷气作调定气，再以表中列出的混合燃气按不同的比例作为补充燃气对3种调定气作置换实验，并逐个的对其互换性进行分析。对上述3种基础负荷气之间，也按以一种为调定气，另两种为置换气的方法作置换实验，对其互换性进行分析，以这样的实验数据作为互换性指数的确定基础无疑是很有意义的。由于3种调定气是置换研究中的核心，将其相关数据先用表8列出，可加深对其差异的理解。

5.3 计算所得互换性指数与燃具燃烧器实测结果的比较

为了便于比较，用可控燃烧器的运行数据与计算结果进行比较。 I_L 表示离焰、 I_Y 表示黄焰端， I_F 表示回火的极限值指数。对每一混合燃气在燃具燃烧器上的运行数据用一次空气因数、离焰极限常数和黄焰端极限Y在表上列出。

表9为以高热值天然气，表10为以高甲烷天然气、表11为以高惰性天然气作调定气时与各种类型的补充气互换时的计算值和运行数据的比较。

在表9、表10、表11中均出现了表5中最佳值与不良值之间的互换范围，值得注意^[9]，说明如下：

(1) 当离焰互换性指数 $I_L < 1.0$ 时，无离焰现象发生。但当 $I_L > 1.0$ 时，在整个研究中发现，离焰也只发现于某些燃烧器上，对多数燃烧器而言，只要经过一定的加热时间，燃具仍能获得满意的性能。对3种调定气， I_L 的不良值究竟如何确定就值得研究。研究表明， I_L 的超过值是随调定气， K_a 值的降低而减小的，其间明显有一个数量关系，这就是调节气离焰极限常数 K_a 值与互换性指数 I_L 之间的比值是一个常数，即1.105。由表8可知，高热值天然气的 $K_a=1.238$ ，高甲烷和高惰性天然气的 K_a 值分别为1.172和1.142，因此， I_L 的极限值就分别为=1.12，和1.06和1.03，不同

调定气有不同的 I_L 极限值，且随 K_a 的降低而减小。

对高热值天然气而言，当 I_L 在1.0—1.12之间时，会出现点火和火孔间传火困难的情况，如果只是短期发生也被认为允许。特征是火焰只有少量离焰，当燃烧器被加热后，火焰仍将稳定在火孔上。高甲烷与高惰性天然气 I_L 在1.0—1.06和1.0—1.03范围内的状态也与上述相似。

对满意性能的不同极限值作上述解释实际上也很简单。如果在可控燃烧器上做运行试验时，确实是按基础负荷燃气的离焰极限值调定，则只要 I_L 大于1.0就是离焰的不良值。但如动了可控燃烧器的风门，则一次空气量可以在很大的范围内变化，甚至使燃烧器在离焰极限值时不会有离焰发生。因而当今在燃气互换性的定义中规定了对燃烧器不能变动的要求。还有一种可能发生的情况是可控燃烧器的运行试验中，调定的一次空气系数只是大致接近基础负荷气的离焰极限值，从而处于调定气的最低极限值的范围。

(2) 同理，互换研究中所说明黄焰端形成的公式也是基于假设可控燃烧器是根据黄焰端限值调定的。也即用 I_Y 表示的任一互换值，只要小于1.0，就会产生黄焰端。如用高热值燃气在正常的范围内调定，则其他燃烧器就没有必要再对其黄焰端极限值重新调定。从表9可知，只要互换所得的结果 I_Y 值大于0.7就可获得满意的运行性能。如果 $I_Y < 0.7$ ，则在一些燃烧器上就会出现黄焰端。

如用高甲烷天然气作调定气，由于风门可略为关小，某些燃烧器的调定会正好接近其黄焰端限值。与用高热值天然气调定的情况相比，就更不易有黄焰端的情况发生。如果基础负荷气中加有较多的高甲烷天然气，则 I_Y 的值在未达0.8之前，就完全不会有黄焰端产生。当使用置换气的 I_Y 值在0.7—0.8之间时，不会

表8 3种基础负荷气的有关互换数据

基础负荷气	热值 MJ/m ³	相对密度 d	燃烧所需空气量 A m ³ /m ³	沃泊指数 MJ/m ³	一次空气因数 f	黄焰端极限值 Y %	离焰极限常数 K	离焰极限值* L %
高热值天然气	41.54	0.64	10.575	51.93	0.717	25.7	1.238	58.56
高甲烷天然气	35.73	0.558	9.0	47.83	0.779	22.0	1.172	54.44
高惰性天然气	37.26	0.693	9.37	44.76	0.834	23.9	1.142	52.56

* 按公式(3)， $R=2$ 时 $L = \frac{K - \log 2}{0.016} = \frac{K - 0.301}{0.016}$ 。

表9 用热值为41.54MJ/m³, 相对密度为0.64的高热值天然气调定后,
燃具使用不同补充燃气时的运行性能和互换性指数的比较

补充燃气	补充燃气在供出燃气中的%	满意性能燃烧器数	不满意性能燃烧器数			一次空气因数“f”	一次空气因数“f”	离焰极限常数“K”	互换性指数**		
			黄焰端	离焰	回火				黄焰端“ <u>I_v</u> ”	离焰“ <u>I_L</u> ”	回火“ <u>I_F</u> ”
高热值天然气	100	18	0	0	0	0.717	25.7	1.238	1.0	1.0	1.0
29.80MJ/m ³ (800Btu/cf) 增碳水煤气	100	13	0	0	5	0.925	32.5	1.70	1.07	0.926	<u>1.599</u>
	75	14	0	0	4	0.86	30.3	1.572	1.047	0.927	1.438
	30	18	0	0	0	0.766	29.3	1.367	0.942	0.955	1.198
37.26MJ/m ³ (1000Btu/cf) 增碳水煤气	100	14	0	0	4	0.841	35.4	1.507	0.885	0.96	<u>1.419</u>
	75	14	0	0	4	0.808	32.6	1.442	0.91	0.958	<u>1.327</u>
	40	18	0	0	0	0.763	29.4	1.351	0.935	0.965	1.199
44.71MJ/m ³ (1200Btu/cf) 增碳水煤气	100	11	6	0	2	0.735	45.0	1.397	<u>0.597</u>	0.902	<u>1.269</u>
	50	15	3 (微)	0	0	0.728	35.8	1.326	<u>0.732</u>	0.944	1.171
	40	18	0	0	0	0.726	33.9	1.308	0.766	0.955	1.149
52.16MJ/m ³ (1400Btu/cf) 增碳水煤气	100	11	7	0	0	0.661	49.5	1.468	<u>0.482</u>	0.796	1.295
	20	18	0	0	0	0.697	29.7	1.3	0.845	0.94	1.113
29.8MJ/m ³ 焦炉气—高热值天然气	54.4***	15	0	0	3	0.895	22.2	1.552	1.491	0.97	<u>1.401</u>
33.53MJ/m ³ 焦炉气—高热值天然气	37.1***	16	0	0	2	0.826	23.6	1.439	1.261	0.964	<u>1.271</u>
37.26 MJ/m ³ 焦炉气—高热值天然气	19.8***	18	0	0	0	0.77	24.7	1.335	1.116	0.974	1.159
37.26 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	0	0	18	0	1.138	48.2	1.193	0.937	<u>1.561</u>	1.53
	20	18	0	0	0	0.804	29.4	1.221	0.99	1.103	1.157
44.71 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	2	0	16	0	0.97	49.2	1.2	0.764	<u>1.365</u>	1.439
	20	18	0	0	0	0.781	30.3	1.224	0.933	1.078	1.146
52.16 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	6	2	7	3	0.85	49.9	1.205	<u>0.645</u>	1.23	<u>1.367</u>
	40	18	0	0	0	0.794	36.2	1.218	0.805	1.112	1.208
59.61 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	9	3	4 (微)	3	0.759	50.3	1.21	<u>0.578</u>	1.13	<u>1.31</u>
	50	18	0	0	0	0.757	39.8	1.218	0.707	1.092	1.21
67.07 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	7	9	0	2	0.688	50.6	1.213	<u>0.51</u>	1.041	<u>1.262</u>
	50	16	2 (微)	0	0	0.716	40.8	1.22	<u>0.646</u>	1.04	1.19
	30	18	0	0	0	0.721	35.6	1.228	<u>0.737</u>	1.026	1.15
35%丁烷 65%发生炉气	100 10	1 18	0 0	17 0	0 0	0.913 0.745	39.4 27.4	1.143 1.224	0.851 1.036	<u>1.298</u> 1.036	1.3 1.092
45%丁烷 55%发生炉气	100 20	9 18	5 0	6 0	0 0	0.761 0.74	43.0 30.4	1.165 1.211	<u>0.655</u> 1.043	<u>1.143</u> 1.043	1.236 1.107
55%丁烷— 45%发生炉气	100 30	5 18	13 0	0 0	0 0	0.66 0.709	45.5 34.1	1.183 1.210	<u>0.535</u> 1.023	1.022 1.02	1.191 1.115
高甲烷天然气	100	14	0	4 (微)	0	0.779	22.0	1.172	1.267	<u>1.113</u>	1.006
高惰性天然气	100	12	0	6	0	0.834	23.9	1.142	1.249	<u>1.193</u>	1.073
30%丁烷— 70%改制丁烷	100 50	10 18	5 0	0 0	4 0	0.765 0.745	43.4 34.4	1.565 1.425	<u>0.669</u> 0.795	0.877 0.915	<u>1.478</u> 1.287
40%丁烷— 60%改制丁烷	100	11	6	0	2	0.673	46.2	1.475	<u>0.548</u>	0.844	<u>1.364</u>
	60	16	2 (微)	0	0	0.692	38.9	1.405	<u>0.655</u>	0.884	1.259
	40	18	0	0	0	0.70	35.0	1.359	0.73	0.913	1.207
50%丁烷— 50%改制丁烷	100	5	12	0	2	0.607	47.9	1.408	<u>0.473</u>	0.818	<u>1.281</u>
	50	15	3 (微)	0	0	0.656	39.0	1.349	<u>0.615</u>	0.882	1.199
	20	18	0	0	0	0.692	31.8	1.291	0.785	0.942	1.128
30%丁烷— 70%水煤气	100 30	12 18	0 0	0 0	6 0	0.853 0.764	42.0 30.7	1.402 1.304	0.769 0.899	1.053 1.00	<u>1.451</u> 1.193
40%丁烷— 60%水煤气	100 30	10 18	5 0	0 0	4 0	0.728 0.728	45.1 32.6	1.365 1.292	<u>0.605</u> 0.806	0.957 0.975	<u>1.349</u> 1.17
50%丁烷— 50%水煤气	100	4	12	0	2	0.643	47.2	1.410	<u>0.508</u>	0.848	<u>1.351</u>
	50	15	3 (微)	0	0	0.681	38.6	1.353	<u>0.646</u>	0.903	1.242
	30	18	0	0	0	0.697	34.2	1.318	0.738	0.933	1.182

** 满意性能的极限值: I_v 应大于0.7; I_L 应小于1.12; I_F 应小于1.2。最佳值可见表5。

*** 指焦炉气所占的%。

表10 用热值为35.73MJ/m³, 相对密度为0.558的高甲烷天然气调定后, 燃具使用不同补充 燃气时的运行性能和互换性指数的比较

补充燃气	补充燃气在供出燃气中的%	满意性能燃烧器数	不满意性能燃烧器数			一次空气因数“f”	黄焰端极限“Y”	离焰极限常数“K”	互换性指数**		
			黄焰端	离焰	回火				黄焰端“I _Y ”	离焰“I _L ”	回火“I _F ”
高甲烷天然气	100	18	0	0	0	0.779	22.0	1.172	1.0	1.0	1.0
37.26MJ/m ³ 的增碳水煤气	100	14	2	0	2	0.841	35.4	1.507	<u>0.698</u>	0.853	<u>1.38</u>
	80	16	0	0	2	0.83	32.9	1.451	<u>0.737</u>	0.875	<u>1.309</u>
	60	18	0	0	0	0.818	30.1	1.389	0.785	0.893	1.228
29.8MJ/m ³ 焦炉气—高甲烷天然气	37.5***	18	0	0	0	0.884	20.5	1.42	1.249	0.925	1.23
30%丁烷—70%丁烷改制气	100	10	7	0	2	0.765	43.4	1.565	<u>0.527</u>	0.783	<u>1.436</u>
	50	16	2	0	0	0.775	33.3	1.411	<u>0.68</u>	0.858	1.245
	40	18	0	0	0	0.778	32.1	1.369	<u>0.724</u>	0.88	1.198
40%丁烷—60%水煤气	100	6	11	0	2	0.728	45.1	1.365	<u>0.476</u>	0.86	<u>1.31</u>
	80	11	7	0	0	0.742	41.7	1.342	<u>0.521</u>	0.878	1.27
	15	18	0	0	0	0.776	26.6	1.222	<u>0.833</u>	0.965	1.058
52.16 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	8	7	4	1	0.85	49.9	1.205	<u>0.515</u>	<u>1.097</u>	<u>1.328</u>
	50	12	2	4	0	0.84	37.8	1.198	<u>0.655</u>	<u>1.07</u>	1.198
	20	18	0	0	0	0.815	28.9	1.186	0.811	1.036	1.082
55%丁烷—45%发生炉气	100	2	16	0	0	0.66	45.5	1.183	<u>0.421</u>	0.918	1.158
	50	11	7	0	0	0.72	37.6	1.18	<u>0.553</u>	0.968	1.1
	10	18	0	0	0	0.77	26.2	1.178	0.835	0.995	1.017
高热值天然气	100	16	2	0	0	0.717	25.7	1.238	<u>0.789</u>	0.898	1.025
高惰性天然气	100	14	0	4	0	0.834	23.9	1.142	0.986	<u>1.07</u>	1.043

** 满意性能的极限值: IY应大于0.8; IL应小于1.06; IF应小于1.2。最佳值可见表5。

*** 指焦炉气所占的%。

表11 用热值为37.26MJ/m³, 相对密度为0.693的高惰性天然气调定后, 燃具使用不同补充燃气时的运行性能和互换性指数的比较

补充燃气	补充燃气在供出燃气中的%	满意性能燃烧器数	不满意性能燃烧器数			一次空气因数“f”	黄焰端极限“Y”	离焰极限常数“K”	互换性指数**		
			黄焰端	离焰	回火				黄焰端“I _Y ”	离焰“I _L ”	回火“I _F ”
高惰性天然气	100	18	0	0	0	0.834	23.9	1.142	1.0	1.0	1.0
29.8MJ/m ³ 增碳水煤气	100	15	1 (微)	0	3	0.925	32.5	1.70	<u>0.855</u>	0.763	<u>1.488</u>
	50	18	0	0	0	0.875	27.6	1.392	0.93	0.87	1.218
37.26MJ/m ³ 增碳水煤气	100	15	2	0	2	0.841	35.4	1.507	<u>0.709</u>	0.794	1.321
	60	17	1	0	0	0.838	30.6	1.36	<u>0.805</u>	0.863	1.192
	10	17	1 (微)	0	0	0.834	25.0	1.18	<u>0.961</u>	0.975	1.032
29.8MJ/m ³ 焦炉气—高惰性天然气	42.9***	17	0	0	2	0.941	21.8	1.40	1.275	0.915	<u>1.238</u>
33.53MJ/m ³ 焦炉气—高惰性天然气	21.5***	18	0	0	0	0.882	23.0	1.26	1.115	0.955	1.108
30%丁烷—70%丁烷改制气	100	6	11	0	2	0.765	43.4	1.565	<u>0.535</u>	0.726	<u>1.375</u>
	80	10	8	0	0	0.779	39.5	1.489	<u>0.593</u>	0.783	1.308
	10	17	1 (微)	0	0	0.825	25.9	1.192	<u>0.923</u>	0.963	1.042
30%丁烷—70%水煤气	100	9	8	0	2	0.853	42.0	1.402	<u>0.615</u>	0.874	<u>1.352</u>
	50	16	2	0	0	0.847	33.2	1.298	<u>0.755</u>	0.92	1.2
37.26 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	8	1	10	0	1.138	48.2	1.193	<u>0.75</u>	<u>1.297</u>	1.425
40.98 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	9	1	9	0	1.048	48.6	1.196	<u>0.676</u>	<u>1.212</u>	1.378
44.71 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	10	3	6	0	0.97	49.2	1.2	<u>0.613</u>	<u>1.134</u>	1.339
48.44MJ/m ³ 丁烷—空气	100	10	5	3	1	0.907	49.5	1.202	<u>0.566</u>	<u>1.082</u>	<u>1.304</u>
52.16 MJ/m ³ 丁烷—空气	100	7	10	0	1	0.85	49.9	1.205	<u>0.523</u>	1.028	<u>1.287</u>
	50	16	2	0	0	0.856	37.3	1.183	<u>0.685</u>	1.022	1.165
	30	17	1 (微)	0	0	0.852	32.6	1.171	<u>0.769</u>	1.015	1.11

(续表)

补充燃气	补充燃气在供出燃气中的%	满意性能燃烧器数	不满意性能燃烧器数			一次空气因数“f”	黄焰端极限“Y”	离焰极限常数“K”	互换性指数**		
			黄焰端	离焰	回火				黄焰端“I _Y ”	离焰“I _L ”	回火“I _F ”
35%丁烷 65%发生炉气	100	9	4	6	0	0.913	39.4	1.143	<u>0.681</u>	1.083	1.21
高甲烷天然气	100	18	0	0	0	0.779	22.0	1.172	1.014	0.935	0.94
高热值天然气	100	16	2	0	0	0.717	25.7	1.238	<u>0.799</u>	0.839	0.984

** 满意性能的极限值: I_Y应大于0.9; I_L应小于1.03; I_F应小于1.2。最佳值可见表5。

*** 指焦炉气所占的%。

产生带烟的火焰或不完全燃烧。

(3) 由于回火互换性公式完全按经验导出, 补充燃气与天然气混合物I_F的满意性能极限值可取为: 对以高热值天然气调定的燃烧器回火互换性限值为1.2。如I_F > 1.2, 说明有回火趋势。对高甲烷和高惰性天然气同样取限值为1.2, 如大于1.2, 也将出现回火。作为安全的范围取1.18, 代表互换性指数的最佳值。由此可见最佳值与满意性能极限值的区分在于对安全性的考虑。

对一种燃具用一种混合气作样本进行燃烧试验的过程中, 曾有以下的少数情况出现: 在用其他燃气置换高热值和高甲烷天然气时, 发生火孔负荷改变、严重的黄焰端或离焰现象有所增加; 在燃烧产物中CO的浓度超过了美国标准的允许值。但是, 如能充分增大基础负荷气在混合气中所占的比重, 也可以改进火焰的特性, 在所有的可控燃烧器上可得到满意的火焰性能。在用高惰性天然气作调定气后, 若置换使用其他补充燃气, 则所需的一次空气因数可低于在某些燃烧器上仅使用高惰性天然气时所需的空气量, 因而风门可适当关小。

上述介绍的一些限值规定值, 不能看作是绝对的或固定不变的。许多数据来自在实验室条件下所得的试验数据。在实验室中一次空气的调节范围往往很大, 而制定燃具性能的标准又很严格。用户临时性可接受的燃烧性能特性, 往往与实验室达到的满意要求有很大的差异。导出的公式是期望一个燃气混合问题的数学分析方法能对大家有所帮助, 但要令人满意的运用这些公式解决现场实际中的问题, 从而做出完善的评估, 有能力的工程师和运行人员尚须以对燃气工业中的许多问题和运行情况有充分的认识作为前提^[5]。

前述曾经指出, 不满意的运行结果可作为与燃烧器原始调定情况互换后所得结果不同的一个例子。当燃气引入的空气量不能满足一次空气系数的要求时, 也即一次空气因数较低(如高热值天然气的一次空气为0.717), 可以增大风门的开度以获得正常的火焰特性; 如燃气引入空气的一次空气系数过高(例如, 一次空气因数达0.8), 则可减小风门开度以获得相类似的火焰特性。于是, 黄焰端、离焰和回火等的许多困难虽不能在先前的调节中解决, 却可在后续的调节中消除。

调定气的燃烧性质同样也影响到互换性的极限范围。缓燃型调定气常有较低的离焰极限曲线。假设有2个完全相同的燃烧器, 在相同的火孔负荷和一次空气系数条件下用两种不同的燃气调定; 其中使用缓燃气的一个燃烧器按接近于其离焰极限值调定, 其I_L值应接近于1.0。用速燃型调定气在同样的燃烧器上调定时, 则通常远离于离焰极限值。

代表满意性能的I_Y值通常也根据调定气的燃烧特性调定。任何燃烧器, 只要按基础负荷燃气的黄焰端极限值调定, 如互换中I_Y的值小于1.0就会产生黄焰端。对火孔负荷值较高的燃烧器, 常按黄焰端的极限值调定。特别是缓燃气也可按其较低的离焰极限调定。

当调定气的一次空气因数很高(在0.8以上), 易于产生不满意的燃烧性能已成为一个难题。为达到满意的运行性能就应减小风门的开度。在此条件下, 任何有较低一次空气因数的补充燃气的完全置换均好于调定气通常给出的不完全燃烧情况。

结论是, 对调定气和置换气有不同一次空气因数的特点, 及其离焰特性和黄焰端极限曲线, 必须在选定互换范围之前, 做好全面仔细的分析。

(未完, 续见下期)