

燃气工人技术知识

第 三 版

中国建筑工业出版社

燃气工人技术知识

第 三 版

[东德] J.科瓦蔡克等著

张 光 利 摘译

刘 宗 仑 校

中国建筑工业出版社

本书是德意志民主共和国培训燃气工人与管理人员的教材之一。书中从燃气管道施工、输配与燃烧设备装配以及安全技术等方面,详细讲解了燃气工人必备的基础知识与基本技能。全书图文并茂,并有大量例题,文字浅显易懂。是一本较实用的燃气工人技术读物。

本书可供从事城市煤气、天然气、液化石油气等燃气供应事业的工人、一般技术人员管理干部及有关中等专科学校师生参考。

Fachkunde für Gasmontöure

3. Auflage

Von J. Kowaczek

燃气工人技术知识

第三版

张光利 摘译

刘宗伦 校

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市顺义县印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 6⁵/₈ 字数: 178 千字

1982年7月第一版 1982年4月第一次印刷

印数: 1—5,500 册 定价: 0.65元

统一书号: 15040·4185

译者的话

本书摘译自德意志民主共和国J·科瓦蔡克等著《燃气工人技术知识》第三版。原书为职业教育教材共六章。摘译时，删去了与技术无关的第一章，并对其余五章中不适合我国情况的段落，也作了删节。现存内容，主要从燃气管道施工、输配与燃烧设备装配以及安全技术等方面，阐述了燃气工人必备的技术知识与基本技能，对我国燃气工人、一般技术人员与管理干部的技术培训工作，具有一定参考价值。

本书在翻译过程中，曾得到田智刚等同志帮助，在此表示衷心感谢。由于译者水平有限，错误之处望读者批评指正。

目 录

第一章 基础知识	1
一、燃气分类	1
二、燃气输配应用一般知识	1
三、工作状态、标准状态	13
四、压力和测压	17
第二章 燃气输送和分配	28
一、概论、输送和储存	28
二、燃气分配管网的敷设	36
三、管材及其附件	57
四、管网建造	75
五、带气作业	91
六、改建工作和燃气转换	95
七、管道的腐蚀与防腐	102
八、燃气调节设备	107
第三章 燃气管道的安装工艺	146
一、室内配管材料	146
二、燃气管道的安装	149
三、燃气表的安装	164
四、排烟	170
第四章 燃气应用技术	176
一、概述	176
二、燃烧器	182
三、燃气在家庭和商业中的应用	186
四、燃气在工业中的应用	190
五、燃气的合理利用	197
第五章 安全技术和劳动保护	199
一、燃气的毒性与爆炸性	199
二、安全技术	201
三、劳动保护	204

第一章 基础知识

一、燃气分类

燃气一般为混合气体，由可燃气体和惰性气体所组成。

根据其生产和来源不同，燃气可分为：高温干馏煤气、低温干馏煤气、高压气化煤气、发生炉煤气（水煤气、混合煤气）、合成煤气、裂解煤气、天然气、液化石油气等。

根据其高热值（ H_o ），燃气可分为：贫煤气（ $H_o < 1200$ 千卡/标米³）、低热值煤气（ $H_o = 1200 \sim 3000$ 千卡/标米³）、高热值煤气（ $H_o = 3000 \sim 8000$ 千卡/标米³）、富煤气（ $H_o > 8000$ 千卡/标米³）。

根据其燃烧特性，燃气可分为三类：

第一类燃气（城市煤气）用于家庭、工业和公共设施。它是以不同方式生产的混合气，具有近似的燃烧特性和恒定的燃气压力，其高热值不应低于3800千卡/标米³。

第二类燃气（天然气）是由很早以前被埋在地下的动植物的有机体生成的。其主要成分是甲烷（ CH_4 ），高热值在5000~10000千卡/标米³范围内变化。

第三类燃气（液化石油气）是低沸点的烃类及其混合物，在常温和常压下呈气态，在一定压力下液化。其主要成分是丙烷（ C_3H_8 ）和丁烷（ C_4H_{10} ）。商业用液化石油气是丙丁烷混合气，高热值大约为25860千卡/标米³。

二、燃气输配应用一般知识

（一）燃气的流动

能量方程是燃气流动过程的物理基础。

$$W_{pot} + W_{kin} = \text{常数} \quad (1-1)$$

式中 W_{pot} ——势能；

W_{kin} ——动能。

连续性方程如下：

$$\dot{V} = Av \quad (1-2)$$

式中 $\dot{V}$ ——体积流量（米³/秒）；

A ——面积（米²）；

v ——流速（米/秒）。

燃气在流动时会出现压力差，其压力能转化为动能。另外，为了克服燃气分子与管壁、分子与分子之间的摩擦，还需要消耗部分压力能。这一压力能不作为动能使用，而是转化为热能。

流速可以从能量方程中推导出来，即

$$W_{pot} = W_{kin}$$

$$\frac{m \Delta p}{\gamma} = \frac{m}{2} v^2 \quad (1-3)$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\gamma}}$$

式中 m ——质量（公斤）；

γ ——重度（公斤/米³）；

v ——流速（米/秒）；

Δp ——压差（公斤/米²）。

利用这个公式与连续性方程和其它有关的系数，还可以计算燃气流量、压力损失等。

(二) 燃气质量（质量标准）

燃气质量包括杂质含量、燃气成分和燃烧性能等。

燃气应用设备的工作方式、热效率、操作安全性及经济性与燃气质量有着密切的关系。

1. 杂质含量 主要是指水、焦油、萘、氨、硫化物和树脂等含量。燃气应用设备和计量仪器的设计与选择都必须了解燃气杂质含量。

2. 燃气成分 燃气成分是通过化学和物理的分析而确定的。燃气的性质都取决于其成分（表1-1）。

3. 燃气分析仪器 分析燃气成分一般使用下述仪器：奥式气体分析仪、色谱气体分析仪、 O_2 测示器、 CO_2 测示器、红外线气体分析器等。下面介绍奥式气体分析仪与色谱气体分析仪。

（1）奥式气体分析仪 用化学溶液吸收燃气组分以测得燃气成分，这个过程也可称作择优洗涤。但燃气中的微量成分（硫化氢、氰化氢等）只能得到定性分析结果，不能得到定量分析结果。

奥式分析仪将吸收容器（吸收管、洗瓶）都集中安装在一个木箱中。

城市煤气奥式分析仪（图1-1），用于测定城市煤气成分（ CO_2 、 C_mH_n 、 O_2 、 CO 、 H_2 、 CH_4 、 N_2 ）。

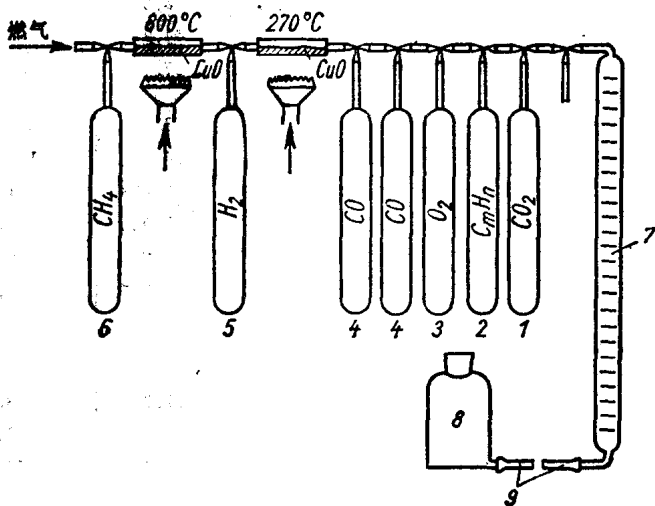


图 1-1 城市煤气奥式分析仪

1—氢氧化钾溶液；2—溴水；3—焦性没食子酸；4—氯化亚铜；5—25%的硫酸；6—氢氧化钾溶液；7—刻度管；8—水准瓶；9—橡皮管

烟气奥式分析仪（图1-2），用于测定烟气的成分（ CO_2 、 O_2 、 CO 、 N_2 ）。

燃气成分分析

分析和参数	符 号	单 位	高炉 煤气	发生炉煤气 I (气化原料-焦煤、气 化剂-空气)	发生炉煤气 II (气化原料-焦 煤、气化剂-空 气和水蒸气)
CH_4		体积%			
C_mH_n		体积%			
C_2H_4		体积%			
C_2H_6		体积%			
C_3H_8		体积%			
C_4H_{10}		体积%			
C_5H_{12}		体积%			
CO		体积%	29.5	32.3	27.0
H_2		体积%	3.0		13.0
O_2		体积%			
CO_2		体积%	8.0	3.0	5.0
N_2		体积%	59.5	64.7	55.0
惰性气体 ($\text{CO}_2 + \text{N}_2$)		体积%	67.5	67.7	60
高热值	H_g	千卡/标米 ³	982	976	1212
低热值	H_d	千卡/标米 ³	968	976	1149
重 度	γ	公斤/标米 ³	1.276	1.273	1.137
比 重	d_v	1	0.987	0.985	0.879
O_2 需要量	$\text{O}_{2\min}$	标米 ³ /标米 ³	0.162	0.200	0.163
空气需要量	$L_{\min}$	标米 ³ /标米 ³	0.774	0.775	0.952
烟气分析(当 $\lambda = 1$ 和完全燃 烧时)					
CO_2		体积%	23.3	21.9	13.3
H_2O		体积%	1.9		7.4
N_2		体积%	74.8	78.1	74.3
烟气量(湿)	$V_{f\min}$	标米 ³ /标米 ³	1.611		1.752
烟气量(干)	$V_{f\min}$	标米 ³ /标米 ³	1.581	1.611	1.622
干燥及没有稀 释的烟气中 CO_2 含量	$\text{CO}_{2\max}$	体积%	23.7	21.9	19.7
华 白 数	W		990	983	1292
燃烧速度	$v_{\max}$	厘米/秒			

及 参 数 (例 子)

表 1-1

发生炉煤气Ⅲ (气化原料-褐 煤饼、气化剂- 空气和水蒸气)	焦炉 煤气	城市 煤气	重油裂 解 气	O ₂ - 高压 气化 煤气	天然 气 I	天然 气 II	石油伴 生 气	液 化 石油气
1.8	12.7	15.95	17.0	24.6	48.8	92.0	39.1	
0.4			3.5	1.3	2.05			
	1.6	1.08				1.5	12.9	
	0.48	0.38				0.75	11.3	80
	0.48	0.72				0.75	2.3	20
28.1	14.8	43.00	18.0	19.0				
16.6	35.8	45.3	51.0	50.5	0.35			
	0.5	0.55	0.5	0.3	0.2		0.9	
7.7	21.0	8.0	7.0	2.1	2.0	2.2	1.5	
45.4	12.64	15.02	3.0	2.2	46.6	2.8	32.0	
53.1	33.64	23.02	10.0	4.3	48.6	5.0	33.5	
1642	3290	3800	4634	4819	5046	9435	9380	25860
1540	2950	3380	4173	4321	4550	8490	8530	23780
1.112	0.931	0.724	0.662	0.568	1.012	0.794	1.189	2.155
0.860	0.72	0.56	0.512	0.439	0.782	0.614	0.92	1.668
0.284	0.613	0.708	0.875	0.914	1.056	1.979	1.939	5.300
1.353	2.92	3.37	4.17	4.35	5.022	9.410	9.22	25.200
18.5	14.9	10.5	11.65	10.27	19.38	9.82	10.5	11.6
10.05	19.2	20.9	19.75	20.63	77.03	18.70	16.7	15.4
71.45	65.9	68.60	68.60	69.10	3.59	71.48	72.8	73.0
2.131	3.688	4.100	4.839	5.013	6.022	10.435	10.431	27.330
1.917	2.985	3.245	3.884	3.977	4.999	8.483	8.695	23.130
20.6	18.4	13.3	14.52	12.9	11.3	12.1	12.6	13.85
1770	3870	5080	6170	7270	5700	12040	9780	20000
	63	74					32	

因为需要测定的烟气成分项目少，所以烟气奥式分析仪的吸收容器的数量比城市煤气奥式分析仪少。

为了吸收燃气成分，通过多次抬高水准瓶，将燃气通入各个洗瓶的吸收溶液中。必须正确操作（旋塞位置正确），使洗涤按规定的顺序（如图1-1和1-2）进行。

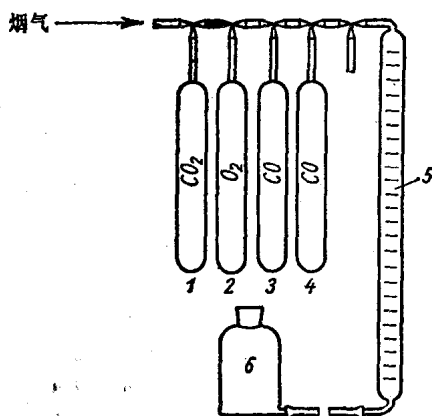
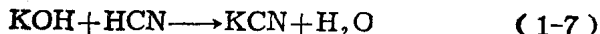
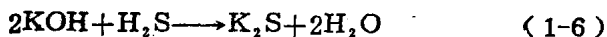
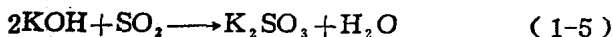
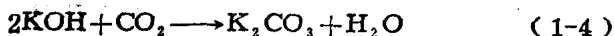


图 1-2 烟气奥式分析仪

1—氢氧化钾溶液；2—焦性没食子酸；
3—氯化亚铜；4—氯化亚铜；5—刻度管；6—水准瓶

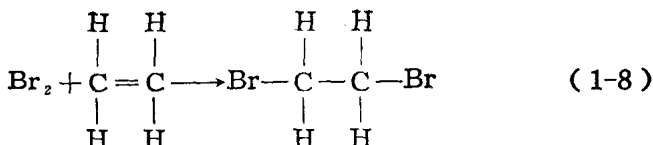
每次洗涤结束后，在刻度管上可读出气量的减少值，此值即为相应的气体成分。按排列顺序，各洗瓶中会发生下列化学变化（分析城市煤气）：

洗瓶 1：利用氢氧化钾溶液（KOH）测定 CO_2 ，包括酸性成分（ SO_2 、 H_2S 、 HCN 等）。



洗瓶 2：利用溴水裂解双键（溴化作用），测定不饱和的烃

类：



然后再返回洗瓶 1 中除去过量的溴蒸气：

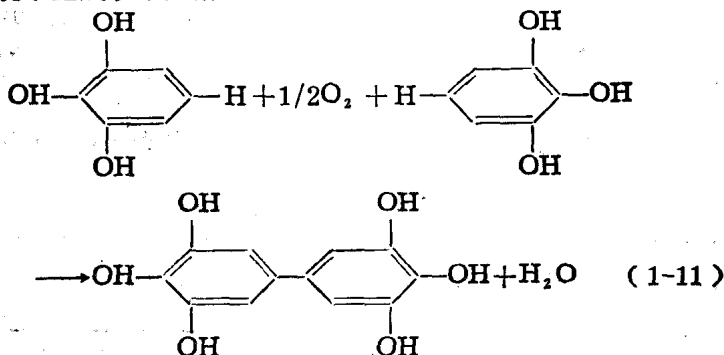


洗瓶 3：利用碱性焦性没食子酸（三元酚）溶液测定 O_2 。

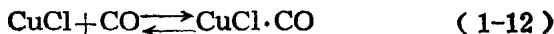
碱性焦性没食子酸的结构式是



脱水生成联苯六酚



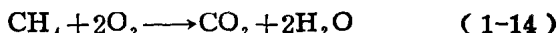
洗瓶 4：用氯化亚铜溶液进行两次洗涤测定一氧化碳



洗瓶 5：经过一个装有热氧化铜（ 270°C ）的容器燃烧，并用 25% H_2SO_4 溶液吸收水蒸气以测定 H_2 。



洗瓶 6：经过一个装有热氧化铜（ 800°C ）的容器燃烧，并用 KOH 溶液吸收 CO_2 以测定 CH_4 。



【例 1-1】给出了城市煤气在体积为 100 厘米³ 时的分析结果。

吸 收 燃 烧	刻度管上的指示 (厘米 ³)	计 算	含 量 (体积%)
CO ₂	4	—	CO ₂ =4
C _m H _n	6.6	6.6...4.0	C _m H _n =2.6
O ₂	7.0	7.6...6.6	O ₂ =0.4
CO	26.0	26.0...7.0	CO=19
H ₂	71.0	71.0...26.0	H ₂ =45
燃烧前的体积	29.0	100.0...71.0	
烷烃燃烧和吸收H ₂ O后的 体积	66.0	—	
还存在的体积	34.0	100.0...66.0	
吸收燃烧二氧化碳后的 乙烷含量	83.0	34.0...29.0	5% C ₂ H ₆
还存在的体积	17.0	100.0...83.0	
甲烷含量		29.0...5.0...17.0	7% CH ₄
氮气含量(剩余量)	17.0	—	17% N ₂

利用所给的燃气成分可以算出城市煤气的参数(表 1-2)。

高热值、低热值和比重的计算表

表 1-2

成 分	百分比 (%)	高 热 值 (千卡/标米 ³) H ₀ /100	计算值	低 热 值 (千卡/标米 ³) H _u /100	计算值	比 重 (空气=1) d _v /100	计算值
CH ₄		95.2		85.5		0.005545	
C ₂ H ₆		152.9		143.2		0.00975	
C ₃ H ₈		168.2		153.7		0.01049	
C ₄ H ₁₀		243.2		223.5		0.01562	
n-C ₄ H ₁₀		320.1		295.1		0.02091	
i-C ₄ H ₁₀		320.1		295.1		0.02064	
C ₅ H ₁₂		349.5		335.2		0.0269	
CO		30.2		30.2		0.009669	
H ₂		30.5		25.7		0.00895	
O ₂		—	—	—	—	0.011053	
CO ₂		—	—	—	—	0.015291	
N ₂		—	—	—	—	0.009697	
Σ	100	—		—		—	

燃气完全燃烧后，烟气中含有二氧化碳 CO_2 、氮气 N_2 和水蒸气 H_2O 。如果在过剩空气量下燃烧，烟气中还会含有氧气 (O_2)。在不完全燃烧时废气中会含有一氧化碳 CO 。城市煤气奥式分析仪的工作原理和化学变化也适用于烟气奥式分析仪。烟气分析直接影响到燃气应用设备的正确调节和燃气的最佳应用。

(2) 色谱气体分析仪 燃气通过分离柱，各种成分以不同的时间到达分离柱终端，这样就可进行燃气成分分析。其流程如图 1-3 所示。

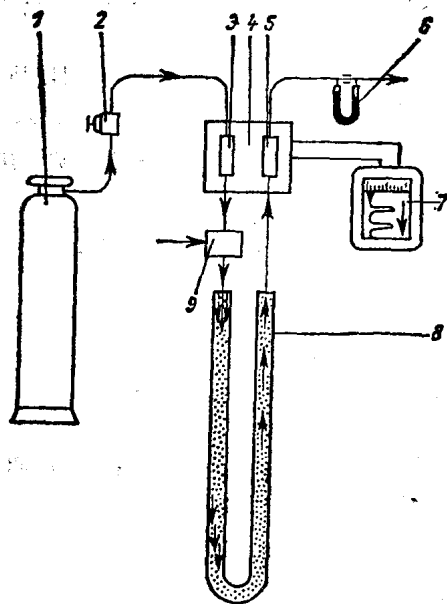


图 1-3 色谱气体分析仪流程

1—高压气瓶；2—调节器；3—对比管；4—探测器；5—测量管；6—流量计；7—记录仪；8—分离柱；9—定量盒

气体载体或辅助气体从高压气瓶 1 流入调节器 2，将其调节成稳定的气体流量。气体载体通过对比管 3（探测器 4）流入定量盒 9。在这个盒中，气体载体形成一定量的用于分析的混合气体。混合气流到分离柱 8，在此分离混合气的成分（色谱分

析)，随后各种成分就会按顺序从分离柱8流出并通过探测器4、测量管5进行测量，然后经过流量计6放出。各种成分的浓度差别在探测器4中显示出不同的流量信号或压力信号，这些信号控制着相连的记录仪7。

4. 参数 所有物理数据和燃烧数据都称为参数。最重要的参数（表1-1和表1-2）如下：

（1）高热值 高热值 H_0 是1标米³的燃气完全燃烧时产生的总热量。

（2）低热值 低热值 H_u 是从总热量中去掉水蒸气所带走的热量后剩下的热量。

高热值及低热值的单位是千卡/米³，可利用热量计测出（图1-4），亦可根据表1-2计算。计算中的困难是，对不饱和烃 C_mH_n 的热值难以确定。一般按经验视 C_mH_n 为下述的某一组成分：

第一组， $C_mH_n = 100\% C_2H_4$ ，

第二组， $C_mH_n = 80\% C_2H_4 + 20\% C_2H_6$ ，

第三组， $C_mH_n = \frac{2}{3} C_2H_4 + \frac{1}{3} C_2H_6$ ，

第四组， $C_mH_n = \frac{1}{3} C_2H_4 + \frac{2}{3} C_2H_6$ 。

（3）重度 重度 γ 的单位是公斤/米³。按照下列公式，根据分析数值可计算重度。

$$\gamma = \sum \gamma_i r_i \quad (1-15)$$

式中 γ ——重度；

γ_i ——混合气中各成分的重度（表1-3），

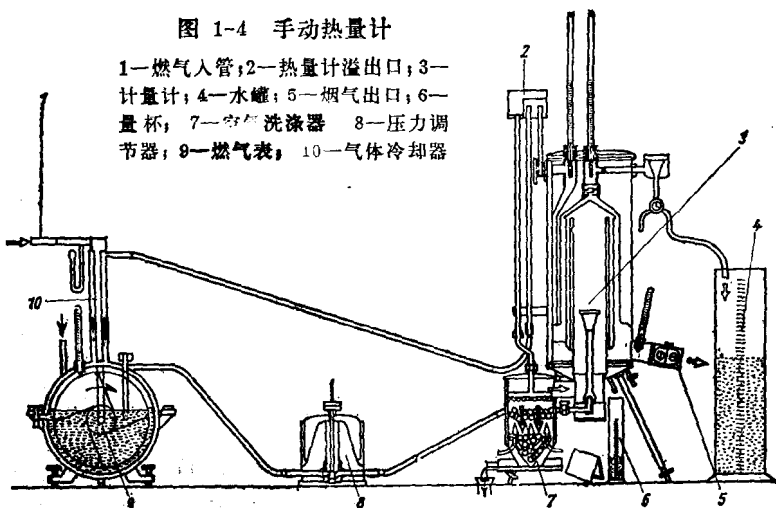
r_i ——混合气中各成分的体积（分析值）。

常用气体重度测量仪测定气体重度。仪器的工作原理是利用浮子测量装置测量出空气柱与燃气柱间的压差。

（4）比重 比重是指燃气重度同空气重度之比。

$$dv = \frac{\gamma_a}{\gamma_L} \quad (1-16)$$

图 1-4 手动热量计



燃气的物理参数

表 1-3

物 质	符 号	原子数	分子量 M	在15°C和1 个大气压时 的重度 γ_1	标准状 态时的 重度 γ_0	比 重 d_v	气 体 常数 R
氧 气	O ₂	2	32	1.310	1.429	1.1053	26.50
氮 气	N ₂	2	28.02	1.147	1.251	0.9721	30.26
氢 气	H ₂	2	2.016	0.0826	0.090	0.0695	420.75
一氧化碳	CO	2	28	1.147	1.250	0.9669	30.28
二氧化碳	CO ₂	3	44	1.801	1.977	1.5291	19.28
水 蒸 气	H ₂ O	3	18.016	0.738	0.804	0.622	47.10
甲 烷	CH ₄	5	16.032	0.655	0.717	0.5545	52.90
乙 烷	C ₂ H ₆	6	28.032	1.148	1.261	0.975	30.25
空 气	—	—	28.96	1.188	1.293	1.000	29.27
乙 炔	C ₂ H ₂	4	26.04	1.074	1.171	0.9057	32.30
乙 烷	C ₂ H ₆	8	30.07	1.234	1.356	1.049	27.90
苯	C ₆ H ₆	12	78.05	3.190	3.480	2.69	10.87
丁 烷	C ₄ H ₁₀	14	58.12	2.478	2.700	2.091	14.01
丙 烷	C ₃ H ₈	11	44.09	1.852	2.019	1.562	18.74
二氧化硫	SO ₂	3	64.06	2.681	2.925	2.2635	12.92
硫化氢	H ₂ S	3	34.08	1.412	1.539	1.1906	24.59

式中 γ_L ——空气重度 (公斤/米³) ;

γ_g ——燃气重度 (公斤/米³) 。

参照表1-2所示的燃气分析值进行重度计算。另外, 利用本生·席林仪测定重度 (图1-5) 。

$$dv = \left[\frac{\text{燃气流出时间}}{\text{空气流出时间}} \right]^2 = \left(\frac{t_g}{t_L} \right)^2 \quad (1-17)$$

(5) 华白数 华白数W的定义如下:

$$W_u = \frac{\text{低热值}}{\sqrt{\text{比重}}} = \frac{H_u}{\sqrt{dv}}$$

$$W_o = \frac{H_o}{\sqrt{dv}} \quad (1-18)$$

热值、燃气压力、燃气比重对燃气燃烧设备的热负荷是极为重要的参数。华白数是燃气在恒压时的特征参数。也就是说, 热值、比重的变化影响华白数的变化, 从而引起燃具热负荷的变化。

计算燃具的燃气供应也要利用广义华白数:

$$W_{u,p} = \frac{\text{低热值} \sqrt{\text{燃气压力}}}{\sqrt{\text{比重}}}$$

$$= \frac{H_u \sqrt{p}}{\sqrt{dv}} \quad (1-19)$$

图 1-5 本生·席林测定仪

如果华白数和燃气压力相同, 则不同的燃气可提供同样的热负荷, 但燃烧特性不一定相同 (火焰稳定性、完全燃烧程度)。燃气的燃烧特性 (例如燃烧速度和理论空气需要量) 会影响燃气应用设备 (燃烧器) 的最佳功能。可用焰锥长度表示燃烧特性。

华白数对于鉴定燃气质量来说, 是一个经常使用的特征参数。常用燃气的华白数 (高热值时的华白数) 已在表 1-1 中给出。