

石油化工设备手册

第三分篇 石油化工加热炉设计 上册

中国石油化工总公司石油化工规划院

重 版 说 明

石油化工设备手册，原名炼油厂设备加热炉手册，系我院组织有关单位从一九八一年开始编写的，因当时体制所限定名为炼油厂设备加热炉手册，几年来随着改革开放、工业发展和体制的变化，这套手册在石油、化工、石油化工几个行业中都得到了采用和重视。为满足广大读者的需要，决定重版这套手册，并改名为“石油化工设备手册”。

这套手册是我院委托中国石化总公司北京石油设计院主编，炼油设备设计中心站负责组织工作，并邀请了各方面专家组成编委会负责审定工作。

全书共分四个分篇：

第一分篇 石油化工设备设计资料及数据

第二分篇 石油化工设备设计

第三分篇 石油化工加热炉设计

第四分篇 石油化工设备腐蚀与防腐。

本书重版比较匆忙，对书中原有的名称、勘误，以及一些需修改的数据均来不及修改，只能以后再版时再加以改正。

这套手册由十几个工厂院校中上百名专家工程技术人员编写的，此次重版未能一一列出他们的姓名，请见谅。这套手册出版发行以来，受到各方面读者的鼓舞和支持，特此致谢。由于我们水平所限，难免还存在错误、缺点，望读者能及时指正，以便再版时改正。

中国石化总公司石油化工规划院

一九九〇年元月

目 录

第一章 LY工艺计算	1
符号说明	1
LY-100 工艺计算基础数据与热负荷计算	8
LY-200 燃烧过程计算	9
LY-300 热效率计算	26
LY-400 辐射段计算	36
LY-500 对流段计算	70
LY-600 炉管压力降计算	83
LY-700 烟囱计算	89
LY-800 计算实例	99
参考文献	120
第二章 LX炉管系统设计	122
符号说明	122
LX-100 概述	123
LX-200 炉管材料的选择	124
LX-300 炉管及其附件计算	124
LX-400 炉管焊接	155
LX-500 翅片管、钉头管的设计及选用	159
LX-600 炉管腐蚀	163
参考文献	165
第三章 LS燃料与燃烧器	166
LS-100 燃料性质	166
LS-200 燃烧器的设计和选用要求	172
LS-300 燃烧器的噪声及隔声罩设计	175
LS-400 炼油厂常用燃烧器	178
参考文献	195
第四章 LQ炉衬结构	196
LQ-100 炉衬结构概述	196
LQ-200 砌砖炉墙	197
LQ-300 拉砖炉墙	200
LQ-400 炉顶砖结构	201
LQ-500 火墙	204
LQ-600 轻质耐热衬里结构	204
LQ-700 耐火纤维炉衬	207

LQ-800 炉墙传热计算	211
LQ-900 常用结构炉墙传热图	219
参考文献	221
第五章 LG钢结构	224
LG-100 荷载计算及规定	224
LG-200 圆筒炉钢结构的设计和计算	233
LG-300 立式炉钢结构的设计和计算	250
LG-400 钢结构节点和构造要求	276
参考文献	311

第一章 LY工艺计算

符号说明

- A_C ——对流管外表面积, m^2
 A_{CP} ——当量平面, m^2
 A_{Hi} ——每个 180° 急弯弯管外表面积, m^2
 A_i ——单位长度炉管外表面积, m^2
 A_R ——辐射管外表面积, m^2
 A_{s_i} ——钉头区域内部流通面积, m^2
 A_{s_o} ——钉头区域外部流通面积, m^2
 A_w ——对流室耐火墙面积, m^2
 a_b ——每米长钉头管的光管部分的外表面积, m^2/m
 a_c ——每米长钉头管或翅片管所占流通面积, m^2/m
 a_i ——翅片表面积, m^2/m
 a_o ——每米长光管的外表面积, m^2/m
 a_s ——每米管长钉头部分的外表面积, m^2/m
 a_x ——钉头的断面积, m^2
 B ——燃料用量, kg/h 或 Nm^3/h
 B_i —— i 辐射室燃料用量, kg/h 或 Nm^3/h
 b ——对流室宽度, m
 c ——比热, $kcal/kg \cdot ^\circ C$
 c_f ——燃料比热, $kcal/kg \cdot ^\circ C$ 或 $kcal/Nm^3 \cdot ^\circ C$
 c_{ti} ——烟气进口时的比热, $kcal/kg$ 燃料 $\cdot ^\circ C$
 c_{to} ——烟气出口时的比热, $kcal/kg$ 燃料 $\cdot ^\circ C$
 c_{tp_i} ——烟气在 t_{p_i} 温度下的比热, $kcal/kg$ 燃料 $\cdot ^\circ C$
 D ——圆筒炉辐射段内径, m
 D' ——圆筒炉辐射管的节圆直径, m
 D_i ——燃烧器喉口直径, m
 D_s ——烟囱内径, m
 d ——(1) 燃料比重
 (2) 辐射管外径, m
 d_c ——对流管外径, m 或 mm
 d_e ——当量直径, m
 d_f ——翅片管翅片外径, m

d_i ——炉管内径, m
 d_p ——管与管之间的间隙, m
 d'_p ——钉头与钉头之间的间隙, m
 d''_p ——两邻管钉头端头间的间隙, m
 d'''_p ——纵向钉头间距或翅片间距, mm
 d_s ——钉头直径或翅片厚度, m或mm
 d_{si} ——蒸汽管内径, m
 e ——液体介质通过加热炉的气化率, % (重)
 F ——(1) 炉膛内壁表面积, m^2
 (2) 交换因数
 F_{RC} ——耐火砖墙到炉管表面的交换因数
 f ——水力摩擦系数
 G_F ——管内流体的质量流速, $kg/m^2 \cdot s$
 G_g ——(1) 烟气重量, kg/kg 燃料
 (2) 烟气质量流速, $kg/m^2 \cdot s$
 G'_g ——烟气重量, kg/Nm^3 燃料
 G_{gs} ——烟气在钉头区域外部的质量流速, $kg/m^2 \cdot s$
 G_s ——蒸汽的质量流速, $kg/m^2 \cdot s$
 g ——重力加速度, m/s^2
 H ——炉膛高度, m
 H_c ——对流段高度, m
 H_H ——弯头或急弯弯管高度, m
 H_s ——烟囱高度, m
 ΔH_D ——烟囱抽力, mmH_2O
 ΔH_p ——喷咀阻力, mmH_2O
 ΔH_s ——烟囱需克服的总阻力, mmH_2O
 ΔH_1 ——对流段的净阻力, mmH_2O
 $\Delta H'_1$ ——对流段烟气所产生的抽力, mmH_2O
 ΔH_{1f} ——翅片管管排阻力, mmH_2O
 ΔH_{1b} ——交错水平排列光管管排阻力, mmH_2O
 $\Delta H'_{1b}$ ——每一排光管管排阻力, mmH_2O
 ΔH_{1s} ——钉头管管排阻力, mmH_2O
 ΔH_2 ——烟气由辐射段到对流段(圆炉)阻力, mmH_2O
 ΔH_3 ——烟气由辐射段到对流段(方炉)阻力, mmH_2O
 ΔH_4 ——烟气由对流段到烟囱的阻力, mmH_2O
 ΔH_4 ——烟气在挡板处的阻力, mmH_2O
 ΔH_5 ——烟气在烟囱中的摩擦损失, mmH_2O
 ΔH_6 ——烟气在烟囱中的动能损失, mmH_2O
 h ——液柱高度, cm

h' ——钉头或翅片高度, m
 h_{c0} ——翅片管外膜传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_i ——管内膜传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_i^* ——包括管内结垢热阻在内的内膜传热系数, kcal/m²·h·°C
 h'_i ——管壁对水蒸汽的传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_{ii} ——液体内膜传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_{iv} ——气体内膜传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_0 ——对流段管外膜传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_0^* ——包括结垢热阻在内的管外膜传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_{0c} ——对流段光管外膜对流传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_{0c}^* ——包括结垢热阻在内的光管外膜对流传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_{0r} ——对流段管外烟气辐射传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_{0w} ——对流段砖墙辐射传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_{Rc} ——辐射段对流传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_s ——钉头表面传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_s^* ——包括结垢热阻在内的钉头表面传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_{s0} ——钉头管外膜传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_{tp} ——双相流内膜传热系数, kcal/m²·h·°C
 h_2 ——对流段两端管板厚度 (包括保温), m
 I_a ——空气入炉时热焓, kcal/kg
 I_{cp}^m ——介质出炉时混相平均热焓, kcal/kg
 I_0 ——介质开始气化时热焓, kcal/kg
 I_1 ——介质进辐射段时热焓, kcal/kg
 I_{i1} ——介质入炉时热焓, kcal/kg
 I_{i2} ——介质出炉时热焓, kcal/kg
 $I_{ii}(I_i^0)$ ——介质出炉时液相热焓, kcal/kg
 $I_{iv}(I_v^0)$ ——介质出炉时气相热焓, kcal/kg
 I_{ij} ——介质入对流段时热焓, kcal/kg
 I_{kj} ——介质出对流段时热焓, kcal/kg
 I_{ji} ——介质进任一段时热焓, kcal/kg
 I_{jo} ——介质出任一段时热焓, kcal/kg
 I_m ——混合物的热焓, kcal/kg
 I_s ——雾化蒸汽入炉时热焓, kcal/kg
 K_c ——对流段总传热系数, kcal/m²·h·°C
 K_s ——钉头管总传热系数, kcal/m²·h·°C
 k_g ——三原子气体的辐射减弱系数, 1/at·m
 k_c ——炭黑粒子的辐射减弱系数, 1/at·m
 L ——(1) 辐射管直段长度, m
 (2) 烟气平均辐射长度, m

L_a ——辐射管有效长度, m
 L_c ——对流管有效长度, m
 L_e ——炉管当量长度, m
 L_i ——炉管单长, m
 L_k ——对流室外形长度, m
 L_m ——气化段炉管当量长度, m
 L_0 ——理论空气量(重量), kg空气/kg燃料
 L'_0 ——理论空气量(重量), kg空气/Nm³燃料
 L_s ——钉头周边长度, m
 L' ——烟气通过对流管管排的长度, m
 M ——分子量
 M_i ——混合物中 i 组分的分子量
 M_g ——烟气分子量
 M_{vcp} ——气相平均分子量
 m_b ——火焰中发光部分的分率
 m —— $m = \left(\frac{h_s L_s}{\lambda_s a_x} \right)^{0.5}$
 N ——炉管管程数
 N_c ——对流段炉管管排数
 N_s ——每一圈的钉头数
 n ——(1) 辐射管根数
 (2) 烟气中游离碳浓度, mg/Nm³
 n' ——辐射段每管程炉管根数
 n_c ——对流管根数
 n'_c ——每管程对流管根数
 n_w ——对流段每排炉管根数
 P ——烟气压力, at
 P_1 ——流体入炉压力, kgf/cm²
 P_2 ——流体出炉压力, kgf/cm²
 P_a ——油料开始气化时的压力, kgf/cm²
 P_0 ——标准压力, $P_0 = 1 \text{ kgf/cm}^2$
 P_v ——气化段气化部分平均压力, kgf/cm²
 Pr ——普朗特准数
 P_{CO_2} ——烟气中CO₂分压, kgf/cm²
 P_{H_2O} ——烟气中H₂O分压, kgf/cm²
 ΔP_a ——气化段压力降, kgf/cm²
 ΔP_L ——纯加热段或单液相流压力降, kgf/cm²
 Q ——加热炉总热负荷, kcal/h
 Q_a ——单位燃料所需空气入炉时显热, kcal/kg燃料或kcal/Nm³燃料

- Q_B ——每个燃烧器的放热量, MMkcal/h
 Q_c ——对流段热负荷, kcal/h
 Q_{c_j} ——对流段中 j 介质任何一段热负荷, kcal/h
 Q_e ——有效利用热量, kcal/kg燃料或kcal/Nm³燃料
 Q_{er} ——辐射段有效利用热量, kcal/kg燃料或kcal/Nm³燃料
 Q_f ——燃料入炉显热, kcal/kg或kcal/Nm³
 $Q_b(Q'_h)$ ——燃料高发热量, kcal/kg (kcal/Nm³)
 Q_i —— i 介质通过加热炉所吸收的热量, kcal/h
 Q_{in} ——以单位燃料为基准, 加热炉的供给热量, kcal/kg燃料或kcal/Nm³燃料
 $Q_l(Q'_l)$ ——燃料低发热量, kcal/kg(kcal/Nm³)
 Q_n ——加热炉总供给热量, kcal/h
 Q_{out} ——单位燃料为基准, 加热炉的支出热量, kcal/kg燃料或kcal/Nm³燃料
 Q_R ——辐射段热负荷, kcal/h
 Q_{Rc} ——辐射段对流传热量, kcal/h
 Q_{Rr} ——辐射段辐射传热量, kcal/h
 Q_s ——单位燃料所需雾化蒸汽带入炉内热量, kcal/kg燃料
 Q_1 ——单位燃料生成的烟气带出热量, kcal/kg燃料或kcal/Nm³燃料
 Q_2 ——燃料化学不完全燃烧损失热量, kcal/kg燃料或kcal/Nm³燃料
 Q_3 ——燃料机械不完全燃烧损失热量, kcal/kg燃料或kcal/Nm³燃料
 Q_4 ——散热损失热量, kcal/kg燃料或kcal/Nm³燃料
 q_e ——有效热强度, kcal/m²·h
 q_{Rr} ——辐射管平均表面热强度, kcal/m²·h
 q_c ——对流管平均热强度, kcal/m²·h
 q_{Lc} ——对流段热损失, kcal/kg燃料
 q_{ti} ——烟气进对流 i 段时的焓, kcal/kg燃料
 q_{to} ——烟气出对流 i 段时的焓, kcal/kg燃料
 q_{tp} ——烟气出辐射段时的焓, kcal/kg燃料
 q_{tpi} ——烟气在 t_{pi} 温度下的焓, kcal/kg燃料
 q_{ts} ——烟气出对流段时的焓, kcal/kg燃料
 R ——(1) 交换因数的校正系数
 (2) 有效热强度与平均热强度之比
 Re ——雷诺准数
 γ ——(1) 水蒸汽的凝结热, kcal/kg
 (2) 烟气中三原子气体的体积分率
 γ_{CO_2} ——烟气中CO₂的体积分率
 γ_{H_2O} ——烟气中H₂O的体积分率
 S ——辐射管管心距, m或mm
 S_c ——对流管管心距, m或mm
 S_h ——排心距, m或mm

T_a ——大气温度, K
 T_b ——烟气在烟囱底部的温度, K
 T_g ——炉膛内烟气温度, K
 T_p ——烟气出辐射段温度, K
 T_v ——管内气体平均温度, K
 T_w ——管外壁平均温度, K
 T_{wc} ——对流段管外壁平均温度, K
 t_f ——燃料入炉温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_i ——烟气进对流 i 段的温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_m ——辐射段管内介质平均温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_p ——烟气出辐射段入对流段时温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_o ——烟气出对流 i 段的温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_s ——烟气出对流段温度, $^{\circ}\text{C}$
 t_{wmax} ——最高管外壁温度, $^{\circ}\text{C}$
 Δt ——(1) 对数平均温差, $^{\circ}\text{C}$
 (2) 管外壁同管内介质间的温差, $^{\circ}\text{C}$
 u ——流体线速度, m/s
 V ——(1) 干烟气体积, Nm^3/kg 燃料或 Nm^3/Nm^3 燃料
 (2) 炉膛容积, m^3
 V_g ——湿烟气体积, Nm^3/kg 燃料
 V'_g ——湿烟气体积, Nm^3/Nm^3 燃料
 $V_0(V'_0)$ ——理论空气量(体积), Nm^3/kg 燃料或 Nm^3/Nm^3 燃料
 V_{Rmin} ——燃烧室最小容积, m^3
 W_F ——介质流量, kg/h
 W_{Fj} ——j 介质在对流段流量, kg/h
 W_g ——烟气流量, kg/h
 W_i ——i 介质流量, kg/h
 W_s ——雾化蒸汽用量, kg/kg燃料
 X ——烟气射流行程, m
 X_i ——混合物中 i 组分的重量分率
 X_0 ——烟气射流原点, m
 X_w ——单位燃料生成水的重量, kg/kg燃料
 Y_i ——气体混合物中 i 组分的体积分率
 α ——(1) 过剩空气系数
 (2) 有效吸收因数
 (3) 炉管线膨胀系数, $1/^{\circ}\text{C}$
 α' ——管排直接辐射有效吸收因数
 α_s ——温降系数
 β ——耐火墙辐射分率

γ ——重度, kg/m^3
 γ_g ——烟气重度, kg/Nm^3
 γ_i ——气体混合物中 i 组分的重度, kg/Nm^3
 γ_l ——液体重度, kg/m^3
 γ_v ——气体重度, kg/m^3
 δ ——炉管平均厚度, m
 δ_{ci} ——管内垢层厚度, m
 δ_{co} ——管外垢层厚度, m
 ε ——修正系数
 ε_b ——火焰中发光部分的辐射率
 ε_c ——火焰中不发光部分的辐射率
 $\varepsilon_{\text{CO}_2}$ ——烟气中 CO_2 的辐射率
 ε_f ——炉管表面辐射率
 ε_g ——烟气辐射率
 $\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}$ ——烟气中 H_2O 的辐射率
 ε_i ——管内垢层热阻, $1/\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
 ε_o ——管外垢层热阻, $1/\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
 ε_s ——炉膛有效辐射率
 $\Delta\varepsilon$ ——气体辐射率修正值
 η ——热效率, %
 λ ——导热系数, $\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
 λ_s ——钉头材料的导热系数, $\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
 μ ——动力粘度, cP 或 $\text{kg} \cdot \text{s/m}^2$
 μ_l ——液相粘度, cP 或 $\text{kg} \cdot \text{s/m}^2$
 μ_m ——混相粘度, cP 或 $\text{kg} \cdot \text{s/m}^2$
 μ_v ——气相粘度, cP 或 $\text{kg} \cdot \text{s/m}^2$
 ξ ——阻力系数
 τ_1 ——对流段加热介质入口温度, $^\circ\text{C}$
 τ_k ——对流段加热介质出口温度, $^\circ\text{C}$
 τ_o ——介质出对流某段温度, $^\circ\text{C}$
 τ_1 ——油品入对流温度, $^\circ\text{C}$
 τ'_1 ——油品入辐射段温度, $^\circ\text{C}$
 τ_2 ——油品出辐射段温度, $^\circ\text{C}$
 φ ——弯头的当量长度与管径之比
 Ω_f ——翅片效率
 Ω_s ——钉头效率
 ρ_g ——烟气密度, kg/m^3
 ρ_{li} ——液相密度, kg/m^3
 ρ_{vi} ——气相密度, kg/m^3

ρ_m ——混相密度, kg/m³

ν ——运动粘度, cst或m²/s

LY-100 工艺计算基础数据与热负荷计算

LY-101 基础数据

在进行加热炉工艺计算时, 应首先给出LY-100-表1中所列各项基础数据。

LY-100-表 1 工艺设计基础数据

一、工艺条件						
项 目	符 号	单 位				
介质名称						
流 量	W _i	kg/h				
入炉温度	t ₁	℃				
出炉温度	t ₂	℃				
入炉压力	P ₁	kgf/cm ²				
出炉压力	P ₂	kgf/cm ²				
允许压降	ΔP	kgf/cm ²				
比 重	d ₄ ²⁰					
特性因数	K					
分子 量	M					
粘度在 ℃时	μ	cP				
在 ℃时	μ	cP				
实沸点蒸馏或 恩氏蒸馏数据						
气体进料组成	X _i	%(重)				
	Y _i	%(体)				
出炉气化率	e	%(重)				
气化后液体比重	d ₄ ²⁰					
气化后气体分子量	M					
二、燃料性质			三、一般条件			
项 目	单 位	数 值	项 目	单 位	数 值	
燃料温度	℃		环境空气温度	℃		
燃料压力	kgf/cm ²		空气入炉温度	℃		
燃料油比重	d ₄ ²⁰		过剩空气系数			
粘 度	cP		辐射			
元素组成	%(重)		对流			
燃料气组成	%(体)		雾化蒸汽温度	℃		
			压力	kgf/cm ²		
			要求热效率	%		
			海拔高度			
四其它要求						

LY-102 热负荷计算

加热炉的热负荷等于所有被加热的气体、液体、水蒸汽等介质通过加热炉所吸收的热量之和：

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (\text{LY-100-1})$$

式中 Q ——加热炉热负荷, kcal/h;

Q_i ——各被加热介质通过加热炉所吸收的热量, kcal/h。

通过加热炉无相变化的介质所吸收的热量按下式计算：

$$Q_i = W_i(I_{i2} - I_{i1}) \quad (\text{LY-100-2})$$

式中 W_i ——被加热介质流量, kg/h;

I_{i1}, I_{i2} ——被加热介质在进、出加热炉状态下的热焓, kcal/kg。

通过加热炉有气化的液体介质所吸收的热量按下式计算：

$$Q_i = W_i[eI_{iv} + (1 - e)I_{il} - I_{i1}] \quad (\text{LY-100-3})$$

式中 e ——液体介质通过加热炉的气化率, % (重量)；

I_{iv} ——在出炉状态下介质汽相部分的热焓, kcal/kg;

I_{il} ——在出炉状态下介质液相部分的热焓, kcal/kg。

石油馏分热焓可由LY-100-图 1 查得。

水蒸汽热焓可由LY-100-图 2 查得。

轻的纯烃理想气体热焓由LY-100-表 2 查得；常用气体在低压下的热焓由 LY-100-表 3 及LY-100-图 3 查得；高压下的热焓可用LY-100-图 4 进行压力校正。

混合物的热焓一般按加和法计算：

$$I_m = \sum_{i=1}^n X_i I_i \quad (\text{LY-100-4})$$

式中 I_m ——混合物的热焓, kcal/kg;

I_i —— i 组分的热焓, kcal/kg;

X_i —— i 组分的重量分率。

通过加热炉有气化的油品，应按LY-100-图 5 求出气化后气、液两部分的比重，再分别查得其热焓。

每种介质出、入炉时热焓的基准温度应相同。

LY-200 燃烧过程计算

LY-201 燃料的发热量

燃料的发热量是指单位重量或单位体积的燃料完全燃烧时的热效应，即最大反应热。按照燃烧产物中水蒸汽所处的相态（液态还是汽态），有高、低发热量之分。

高发热量是燃料完全燃烧，并当燃烧产物中的水蒸汽（包括燃料中所含水分和氢燃烧生成的水蒸汽）凝结为水时的反应热。其值由测量得到。

LY-100-表 2 纯烃理想气体焓值kcal/kg〔1〕

名 称	化学式	-40℃	10℃	60℃	98.9℃	160℃	260℃	360℃	460℃	760℃	1204.4℃
甲 烷	CH ₄	153	180	208	232	271	341	419	503	795	1335
乙 烷	C ₂ H ₆	157	177	199	218	251	312	381	458	729	1211
丙 烷	C ₃ H ₈	147	166	187	205	237	296	364	440	705	1170
正 丁 烷	C ₄ H ₁₀	141	159	180	198	229	288	356	431	693	1148
异 丁 烷	C ₄ H ₁₀	135	154	175	193	225	284	352	427	691	1145
正 戊 烷	C ₅ H ₁₂	137	155	176	194	225	284	350	425	684	1133
异 戊 烷	C ₅ H ₁₂	130	148	169	187	218	277	344	419	680	1133
环 戊 烷	C ₅ H ₁₀	131	142	157	171	196	245	304	370	608	1026
乙 烯	C ₂ H ₄	149	167	187	204	233	286	345	410	636	1028
丙 烯	C ₃ H ₆	146	163	181	198	226	278	337	403	633	1033
丁 烯-1	C ₄ H ₈	140	157	176	193	221	275	336	403	638	1043
顺 丁 烯-2	C ₄ H ₈	143	158	175	191	217	268	327	392	623	1025
反 丁 烯-2	C ₄ H ₈	146	163	182	199	227	280	341	408	641	1046
异 丁 烯	C ₄ H ₈	144	162	181	199	228	282	343	410	646	1052
戊 烯	C ₅ H ₁₀	135	153	172	189	218	273	334	403	641	1051
环 戊 烯	C ₅ H ₈	78	89	103	115	138	183	236	295	509	881
丙 二 烯	C ₃ H ₄	182	199	218	234	260	308	361	420	619	954
丁二烯-1.2	C ₄ H ₆	164	180	199	215	241	291	346	407	616	973
丁二烯-1.3	C ₄ H ₆	152	169	188	205	232	283	340	402	616	974
乙 炔	C ₂ H ₂	208	229	251	268	296	344	396	450	628	916
丙 炔	C ₃ H ₄	147	165	184	199	226	274	327	385	581	914
苯	C ₆ H ₆	138	150	164	176	197	237	284	335	517	826
甲 苯	C ₇ H ₈	133	146	160	173	195	238	286	341	532	857
乙 苯	C ₈ H ₁₀	130	144	159	173	197	241	293	350	549	888
邻 二 甲 苯	C ₈ H ₁₀	134	148	164	178	201	246	297	354	552	890
间 二 甲 苯	C ₈ H ₁₀	131	144	160	173	196	240	291	347	545	882
对 二 甲 苯	C ₈ H ₁₀	129	142	158	171	194	238	288	344	541	878

注：1.基准焓值为-129℃时饱和液相的焓等于0。

2.焓值估计误差在1%以内，在-17.8℃以下时，误差有时可达10%。

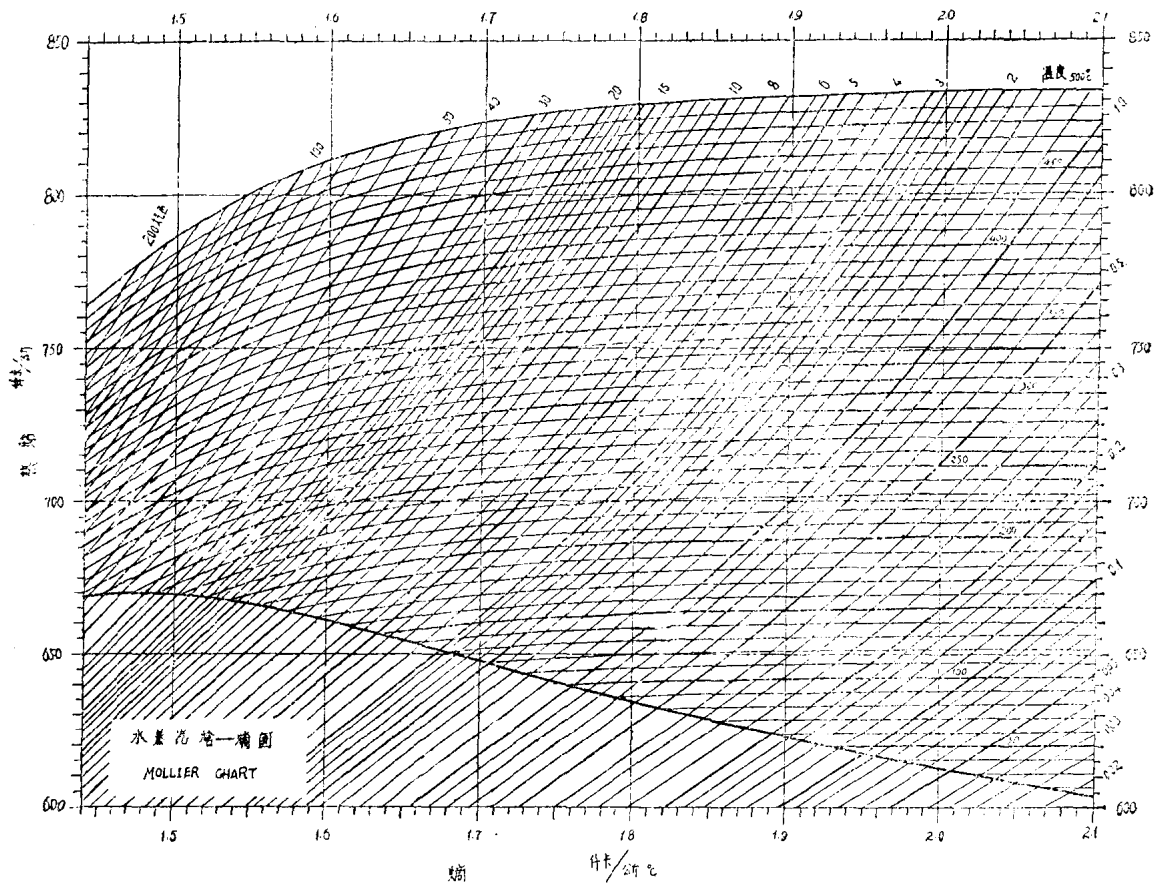
低发热量是燃料完全燃烧，其燃烧产物中的水仍以汽态存在时的反应热。它等于高发热量减去水蒸汽的凝结热。其值由计算得到：

$$Q_l = Q_h - \gamma \cdot X_w \quad (\text{LY-200-1})$$

式中 Q_l ——燃料的低发热量，kcal/kg；

Q_h ——燃料的高发热量，kcal/kg；

γ ——水蒸汽的凝结热，kcal/kg；一般取 $\gamma = 595$ （约600）kcal/kg。

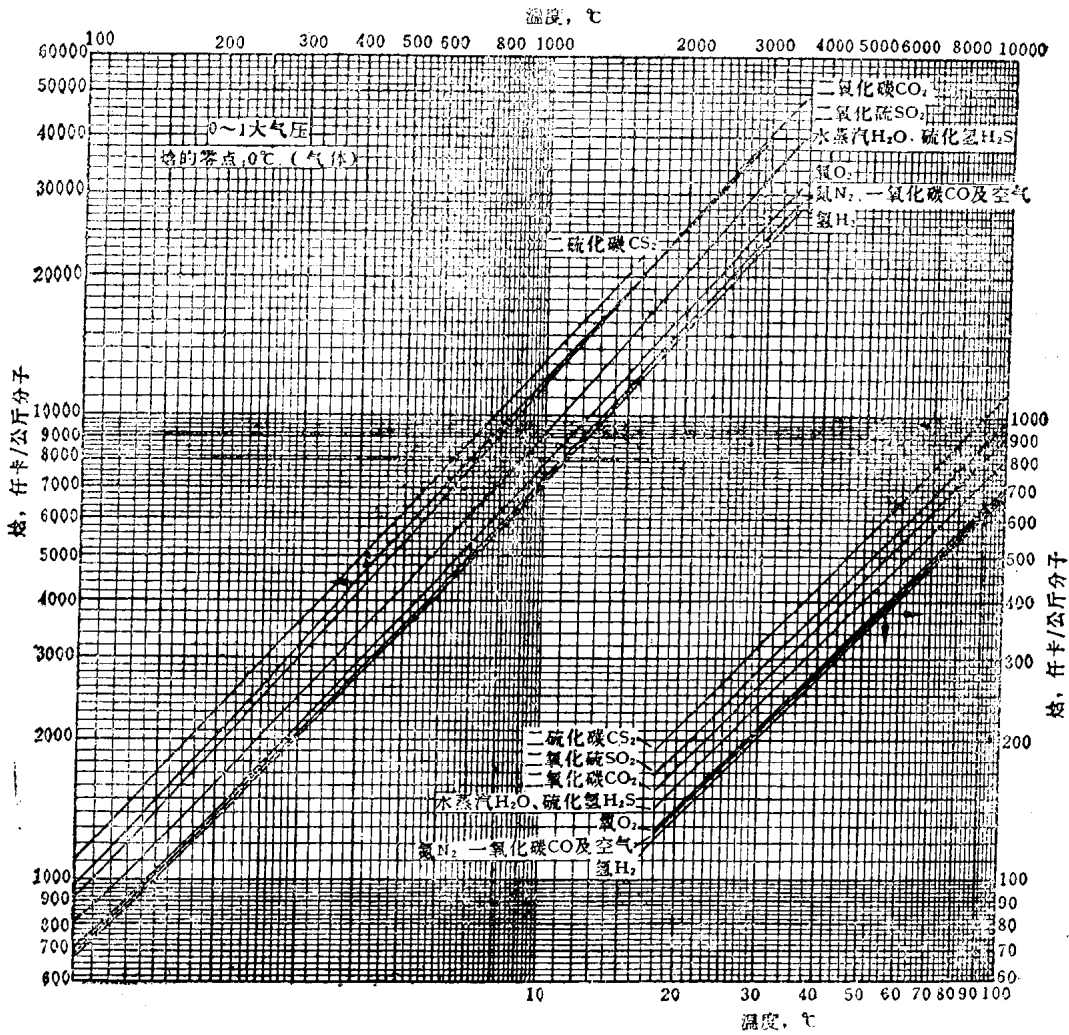


LY-100-图 2 水蒸汽的焓-熵图

LY-100-表 3 常用气体热焓kcal/kg(2)

气体	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	空气
温度℃						
25	6.2	5.8	4.4	11.1	9.9	6
100	24.9	22	20.8	44.1	15.2	24
200	50.0	41.7	43.9	90.1	31.7	48.4
300	75.4	63.0	68.6	136	49.3	73.3
400	103.2	92.2	94.6	185	67.7	98.3
500	127.6	117.1	122.2	235	86.7	124
600	154.3	142.3	150.4	286	106.3	150.6
700	181.7	168.1	179.5	339	126.2	177.2
800	209.8	194.3	209	394	146.3	204.8
900	238.2	220.7	240	450.5	166.8	232.8
1000	267.3	247.5	269.8	509	187.4	260.8
1250	341	315.1	348.3	660	239.6	332.5
1500	416	384.1	428.1	819	292.2	390

注：1. 焓的零点为0℃时的气体；
2. 压力为0~1大气压。



LY-100-图 3 常用气体焓图

X_w ——每公斤燃料燃烧生成水的公斤数。

对液体燃料

$$Q_i = Q_h - 54H - 6W \quad (\text{LY-200-2})$$

式中 H 、 W ——分别为燃料中氢和水分的重量百分数。

对气体燃料

$$Q'_i = Q'_h - 4.7(H_2 + 1/2 \sum n C_m H_n + H_2O) \quad (\text{LY-200-3})$$

式中 Q'_h 、 Q'_i ——分别为气体燃料的高、低发热量, kcal/Nm³;

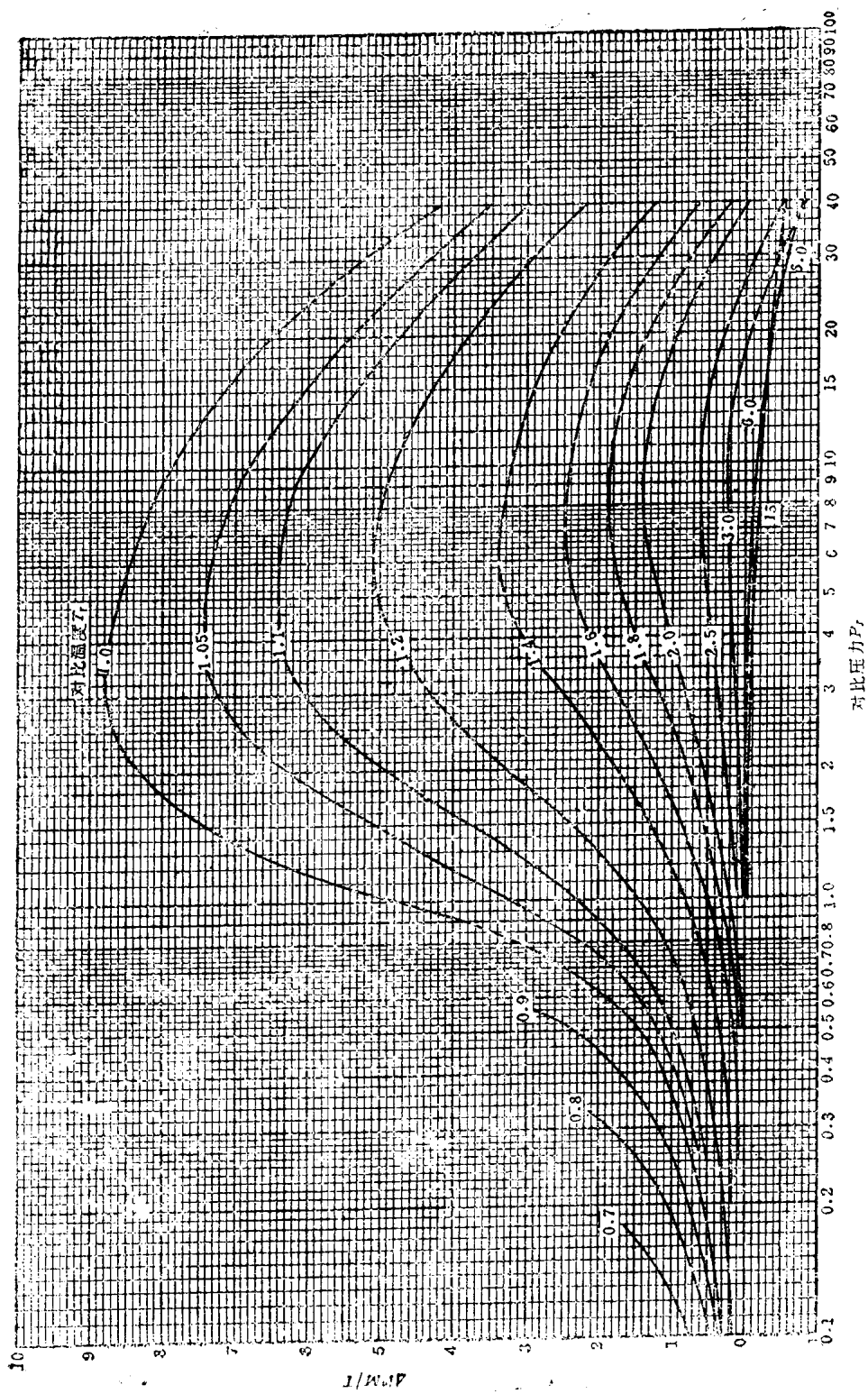
H_2 、 $C_m H_n$ 及 H_2O ——气体燃料中氢气、碳氢化合物及水蒸汽的体积百分数。

如无测量数据,可用下列各方法分别估算液体和气体燃料的发热量。

1. 液体燃料发热量的估算

1.1 已知燃料的比重指数 (°API)

由 LY-200-图 1 查取发热量。



Δp^* —校正的校正值, 自 1 大气压时的焓值减去, M —分子量, T —温度 $^{\circ}K$ 。

LY-100-图 4 短蒸气及气体焓校正图