

鋼加熱學

下 冊

H. Ю. 塔 依 茨 著
舒均正 宋广兴 等譯

冶金工业出版社

鋼 加 熱 學

下 冊

H. Ю. 塔 依 茨 著
舒均正、宋广兴等 譯
吳 兵 校

冶 金 工 業 出 版 社

“鋼加熱學”是一本有理論有實際的較好的書，內容包括三篇：加熱的理論基礎、加熱時的溫度應力以及鋼錠和鋼坯在各種不同用途的爐內的加熱。本書已作為上冊出版，本書包括第三篇，是下冊，書末附有附錄。

下冊涉及的是加熱理論在實際生產當中的運用，通過很多例題的計算把公式和圖表如何指導實踐作了詳細的說明。

本書適於所有冶金工作者閱讀，特別是冶金工廠和設計機關的熱工人員和高等院校師生。

Н.Ю.Тайн

ТЕХНОЛОГИЯ НАГРЕВА СТАЛИ

Металлургиздат (Москва 1950)

鋼加熱學（下冊）

舒均正、宋廣興等 譯

編輯：葉建林 設計：韓晶石 周 廣 校對：楊維琴

1959年3月第一版

1959年3月北京第一次印刷 5,300 冊

850×1163·1/32·170,000 字·印張 $7\frac{8}{32}$ ·定價 0.90 元

北京五三五工廠印刷

新華書店發行

書號 1239

冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲15號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第093號

下 册 目 录

第三篇 鋼錠和鋼坯在各种不同用途的爐內的加热

一般概念	1
第十三章 加热爐爐膛內的热交换	3
1. 基本計算公式	3
2. 热交换的其他情况	10
第十四章 鋼的性质	13
1. 鋼的导热率	13
2. 鋼的比热和热含量	18
3. 鋼的比重和膨胀系数	19
4. 鋼的导温率	22
5. 鋼的机械性質	24
6. 爐內金屬的尺寸、形状和布置	27
第十五章 正确的加热工艺原理	30
1. 确定几个概念	30
2. 鋼的加热温度	32
3. 允許的加热速度	37
4. 加热制度的规定	50
5. 温度场的图示法	60
第十六章 鋼錠在均热爐內的加热	66
1. 均热爐的构造	66
2. 鋼錠在均热爐內的加热方法	71
3. 浇鑄后鋼錠的冷却	72
4. 冷鋼錠以置换的方法加热	77
5. 鋼錠在室状均热爐內的加热	80
6. 試驗研究	87
第十七章 鋼錠和鋼坯在連續式加热爐內的加热	97
1. 連續式加热爐的构造	97
2. 連續式加热爐的加热制度与計算方法	101

3. 試驗数据	113
第十八章 圓鋼錠及鋼坯在滾動式加熱爐內的加熱	119
1. 滾動式加熱爐的構造	119
2. 圓形截面物體內溫度分布	122
3. 計算方法	126
4. 工廠的研究	134
第十九章 鋼管和鋼管束的加熱	145
1. 試驗研究	145
2. 鋼管在定徑與減徑前的加熱	152
3. 焊管爐中的加熱	158
4. 鋼管束的加熱	159
5. 鋼管在浴筒中退火	167
第二十章 薄板生產中的加熱	171
1. 薄板坯和板迭加熱的特點	171
2. 計算方法	173
第二十一章 鍛造爐和熱處理爐內的加熱	176
1. 鍛造爐內加熱的特點	176
2. 鍛造爐加熱時間的標準	180
3. 熱處理時的加熱特點	183
4. 熱處理規範的確定	186
第二十二章 幾個實際的結論與說明	199
結語	196
附錄	198
參考文獻	223

第 三 篇

鋼錠和鋼坯在各种不同用途 的爐內的加热

一 般 概 念

用于加热金屬的爐子，可以根据許多特征来进行分类；其中最重要的乃是：1) 爐的用途；2) 加热金屬的形狀、尺寸及其在爐內的布置；3) 爐膛內溫度的分布；4) 金屬裝入、移动和取出的方法。

如果按爐的用途进行分类，首先应由爐子作何种工艺过程之用来决定。就此观点來說，可分軋鋼爐、鍛造爐和热处理爐。在这些爐子之中，每一种爐子的加热过程都有其独自的特点，这些特点是与对加热对象所提出的要求有关的。

对所述各組爐子还可以按照用途进行更詳細的分类，但这种分类与其說是按照用途，还不如說是根据被加热金屬的形狀、大小及其在爐內的布置。

例如屬於軋鋼爐的有：用以加热立裝大鋼錠的均热爐；用以加热圓鋼錠或圓鋼坯的連續式滚动軋鋼爐；用以加热方形和矩形断面鋼坯的連續「推入式」加热爐。

就爐內溫度的分布方面来看，爐子可分为：1) 爐膛內具有一定的溫度，并且不随時間而变化的爐子；2) 爐膛內具有一定的溫度，但是溫度随時間而变化的爐子；3) 溫度不随時間而变，但是在爐膛內溫度是变化的（沿爐膛的长度）爐子；4) 溫度随着時間和在爐膛內都是变化的爐子。

最后，按照裝爐和出爐的方法，爐子可分为周期式爐和連續式爐。

加热爐在构造上之所以有这么多种类，不仅由于上述的特征，而且还决定于許多其他的特征（譬如象燃料的种类和燃烧方法，有无空气和煤气的預热器等等）。

在解决加热的实际問題时，就应该考虑到上述各类爐子所具有的各种特征。

如果知道爐溫，則在生产条件下要解决下面的問題：按照一定的加热時間决定金屬的溫度，或者按照一定的金屬溫度决定加热（或冷却）時間。

对于企业工作，特别是对于优质鋼工厂，选择或确定加热制度更为重要。这些問題可能在下列的情况下产生：1）在现有的爐內掌握新鋼号和新尺寸的鋼的加热；2）設計或者使用新爐子的設備；3）修改现有的加热图表与规程以达到提高生产率、节省燃料或改善产品质量的目的。

为了解决此处所提出的問題，我們將引用前两篇（本書上册）的加热理論，加热过程的試驗研究，以及工厂中的实际資料。

第十三章

加热爐爐膛內的热交換

1. 基本計算公式

加热过程的特征是从周圍介质，即从爐膛将热传至被加热物体的表面，再从表面传布至物体的内部。在冷却时，这些现象按照相反的方向进行。这样，不論是加热还是冷却，都要发生互相有联系的外部 and 内部的热交換。

本章将根据文献上的資料概略地研究外部的热交換，因为在工厂的条件下，如果内部热交換不与外部热交換相协调，則要作出加热制度的計算及其保证是不可能的。

从热交換的观点上来看，加热爐的爐膛是由爐衬、金属和爐气所组成的一个系統。

热能的主要传递介质为爐气，热借輻射和对流由爐气传至爐衬和金属。爐衬上的热也借輻射透过气体层传至金属上，并部份地向外部介质散失。

主要的問題是决定在加热过程中金属所接受的热量。为此就必须分析加热过程的整个过程，这个过程是一个非常复杂的现象。

有許多著作闡述了在密閉空間中热交換的理論研究，在这方面同时还有許多实验工作。苏联的科学家們，其中如B.H. 狄莫非也夫和Г.Л. 波略克等曾作了最詳尽的試驗工作。

M.A. 格林科夫、И.М. 拉法洛維奇和Б.И. 基泰也夫曾研究了有关爐內热交換的問題。

下面所要叙述的是B.H. 狄莫非也夫所提供的热交換的計算方法^①。

① B.H. 狄莫非也夫，科学研究工作选集 *УОБТН*，1940 年第 5 期。

在研究此項問題時，採取下列假定，以期推演簡便：

- 1) 在整个爐膛內氣體具有相同的溫度；
- 2) 金屬受熱的表面上具有相同的溫度；
- 3) 在各个方向上氣體具有相同的吸收能力；
- 4) 爐衬整个表面对輻射能具有均勻的反射能力；
- 5) 金屬的表面是平整的，并且其尺寸大小和爐底的面积相重合。

採用下列各種代表符号；

T_r ——氣體的絕對溫度 ($^{\circ}\text{K}$)；

T_m ——金屬的絕對溫度 ($^{\circ}\text{K}$)；

F_m ——金屬的輻射能接受表面 (公尺²)；

F_k ——爐衬的輻射能接受表面 (公尺²)；

F_n ——爐底面积 (公尺²)；

ε_r ——氣體的黒度；

$$\sigma_r = \varepsilon_r 4.96$$

ε_m ——金屬的黒度；

φ ——角度系数^①；

Q^k ——爐衬的总輻射量；

Q^m ——金屬的总輻射量；

q_k ——爐衬所受的对流传热量 (仟卡/公尺²·小时)；

q_{nh} ——爐衬散失到外界介质的热量 (仟卡/公尺²·小时)。

作下列各項的热平衡：1) 金屬吸收的热量 Q ，2) 爐衬放散的热量 Q^k ，及 3) 金屬表面輻射的热量 Q^m ，将这些数值——代入后得出金屬吸收的热量^②的公式如下：

$$Q = \sigma_r \varepsilon_m \frac{[\varphi_k^m (1 - \varepsilon_r) + 1] - \frac{(q_{nh} - q_k) (1 - \varepsilon_r)}{\sigma_r (T_r^4 - T_m^4) 10^{-8}}}{\varphi_k^m (1 - \varepsilon_r) [\varepsilon_m + \varepsilon_r (1 - \varepsilon_m)] + \varepsilon_r} F_m (T_r^4 - T_m^4) 10^{-8} \quad (\text{XII}-1)$$

由于公式 (XII-1) 过于复杂，为了适应实际計算上的需要，

① 在角度系数旁边注有的上下指数表示相应于放散或吸收輻射热的表面。

② 气体对流传至金屬的热，此处沒有考虑在内。

可将此式加以化簡。假定由气体向爐衬的对流传热大約等于向外部介质所散失的热量, 即 $q_k = q_{BH}$, 由此:

$$Q = \sigma_r \varepsilon_M \frac{\varphi_k^M (1 - \varepsilon_r) + 1}{\varphi_k^M (1 - \varepsilon_r) [\varepsilon_M + \varepsilon_r (1 - \varepsilon_M)] + \varepsilon_r} - F_M (T_r^4 - T_M^4) 10^{-8} \quad (\text{XII-2})$$

或以相应的符号代替上式中的有关乘数, 則上式可化为下列的形式; 即

$$Q = \sigma_B F_M \left[\left(\frac{T_r}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M}{100} \right)^4 \right], \quad (\text{XIII-3})$$

式中

$$\sigma_B = 4.96 \varepsilon_r \varepsilon_M \frac{\varphi_k^M (1 - \varepsilon_r) + 1}{\varphi_k^M (1 - \varepsilon_r) [\varepsilon_M + \varepsilon_r (1 - \varepsilon_M)] + \varepsilon_r} \cdot (\text{XIII-4})$$

数值 σ_B 称为显輻射系数^①, 在公式(XIII-4)中的气体黑度 (指不发光的火焰) ε_r 由图 103 和 104 求得, 它取决于气体的温度和 (PS) CO_2 的乘积以及 (PS) H_2O 的乘积; 此处的 P 为二氧化碳和水蒸汽的分压力, 其单位为绝对大气压, 而 S 为射綫的平均有效长度, 其单位为公分。

在計算不发光火焰的黑度以前, 要根据分压力 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 (PS) H_2O 引入改正系数。

发光火焰的总黑度根据实验資料决定, 該数值取决于燃料的种类及其燃烧方法, 最高可达 0.60^②。

金屬的黑度 ε_M 可参照各有关传热学的教科書及許多冶金爐課程的参考資料予以决定。

角度系数 φ_k^M 可根据某些方法来决定; 其中有 Г. Л. 波略克^③的方法。角度系数可根据輻射表面的几何外形按照公式或图表算出。

在很多实际情况中, 可以認為由爐衬到金屬的角度系数 φ_k^M 的

① 按照 B. H. 狄莫非也夫, 显輻射系数 σ_B 包含有乘数 10^{-8} , 不过我們为了計算方便, 如公式 (XIII-3) 和 (XIII-4) 所示, 把 10^{-8} 列入在温度的因子中。

② Н. М. 拉法洛維奇 “火焰爐的热計算”, 1949。

③ 參看「鍋爐設備」, 1941 年第一卷和 1946 年第二卷。

大小約等于金屬吸热的有效表面与爐衬表面的比值，即

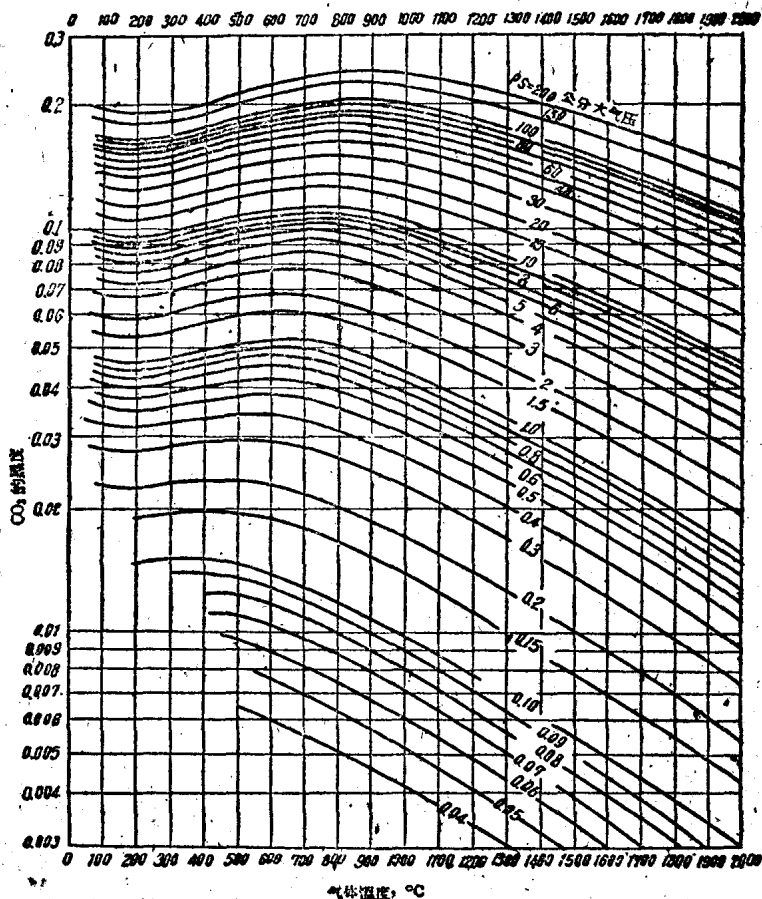


图 103 CO₂ 层的黑度

$$\varphi_K^M = \frac{F_M}{F_K} \quad (\text{XV}-5)$$

上述公式系假定爐底布滿金屬反金屬具有平整的表面。

当金屬的表面不平整或不能完全充滿爐底时（如象在加热有間隙距离的方鋼坯或圓鋼坯时），在上述公式中的 F_M 用金屬的計算表面或有效表面 F'_K 来代替。

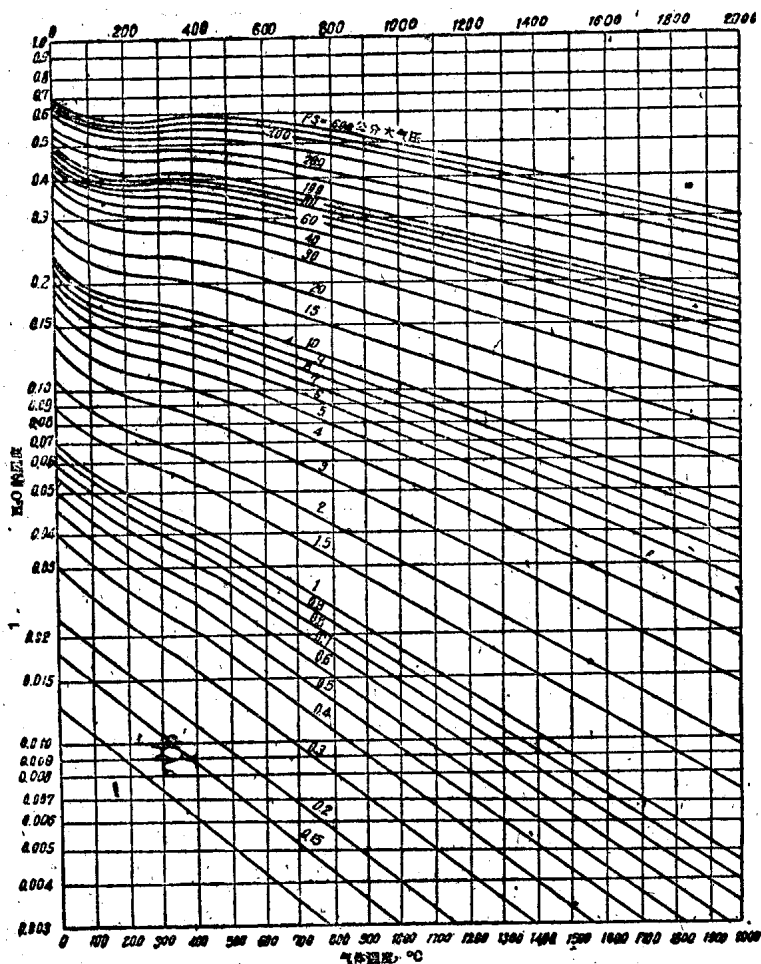


图 104 H_2O 层的黑度

F'_M 的大小可以按照表 6 所列出的 F'_M 和 F_M 的比值来决定。当在公式(Ⅷ-3)中, F'_M 代替 F_M 的同时, 在公式(Ⅷ-4)中, 金属的黑度 ϵ_M 应该以有效黑度来代替, 即

$$\epsilon'_M = \frac{\epsilon_M}{1 - (1 - \epsilon_M) \phi_M}, \quad (\text{Ⅷ-6})$$

$\frac{F'_M}{F_M}$ 比值 (按照 Г. И. 波略克方法) ①

表 6

鋼錠或鋼坯橫斷面的形狀	間隙寬度與鋼坯厚度之比										
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
方形.....	1.00	0.99	0.98	0.95	0.91	0.82	0.74	0.67	0.61	0.56	0.52
圓形.....	1.00	0.98	0.97	0.93	0.89	0.79	0.71	0.63	0.60	0.55	0.51

① 本表由 Л. Б. 布德林制定。

式中 φ'_M ——金屬對其本身的角度係數。可以取 $\varphi'_M = 1 -$

$$\frac{F'_M}{F_M}。$$

爐內表面的溫度不包含在上述公式之內，按照 B. H. 狄莫非也夫方法可以由下列公式決定：

$$T_K^4 = T_M^4 + \frac{\varepsilon_r [1 + (1 - \varepsilon_r) \varphi (1 - \varepsilon_M)]}{\varphi (1 - \varepsilon_r) [\varepsilon_M + \varepsilon_r (1 - \varepsilon_M)] + \varepsilon_r} \times (T_r^4 - T_M^4)。 \quad (\text{XII}-7)$$

在公式 (XII-3) 中，從氣體向金屬的對流給熱並未考慮在內。如考慮到此對流給熱在內時，則公式 (XII-3) 應採用下列的形式：

$$Q = \sigma_B F_M \left[\left(\frac{T_r}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M}{100} \right)^4 \right] + \alpha_K F_M (T_r - T_M)， \quad (\text{XII}-8)$$

式中 α_K ——對流給熱係數。

因為按照試驗資料，在加熱爐內的對流熱交換大約為金屬所獲得總熱量的 8~10%①，所以按照 B. H. 狄莫非也夫方法，代替輻射公式中的附加項而加入考慮對流的係數 m_K ，降低輻射傳熱的各種因素亦考慮在此係數內。

因此，熱交換公式 (XII-8) 可寫成下列的形式：

$$Q = \sigma_B F_M m_K \left[\left(\frac{T_r}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M}{100} \right)^4 \right]。 \quad (\text{XII}-9)$$

① 當氣體的流速大時，例如為了加速爐內物體的加熱，則對流熱交換顯著地提高，可達金屬所獲得的總熱量的 20%。

从公式 (XII-9), 可以求出 T_r 和 T_m 成一次方温度差的給热系数:

$$\alpha = \frac{Q}{F_M (T_r - T_m)} = \sigma_B m_K \cdot 10^{-8} (T_r^3 + T_m^2 T_r + T_r T_m^2 + T_m^3) \quad (\text{XII-10})$$

当黑体輻射 $\sigma_B = 4.96$ 时, 黑体輻射的給热系数为

$$\alpha_s = 4.96 \times 10^{-8} (T_r^3 + T_m^2 T_r + T_r T_m^2 + T_m^3) \quad (\text{XII-11})$$

由此, (XII-10) 可化为下列的形式:

$$\alpha = \frac{\sigma_B}{4.96} \alpha_s m_K \quad (\text{XII-12})$$

α_s 的数值取决于 t_r 和 t_m , 见图 105 的图解①。

在生产条件下, 通常所謂爐溫系指用热电偶所測得的溫度而言。热电偶热接点所測得的溫度是介于气体, 爐衬和金屬之間的溫度。

当然, 热电偶所測到的溫度是視其热接点的位置而定的, 热接点的位置愈接近金屬及当金屬的溫度愈低时則热电偶所指示的溫度愈低。

Д. В. 布德林推荐使用遮热板将热电偶的热接头与金屬隔开, 此时热电偶所指示的溫度 (Тпечи) 与气体和爐衬的溫度的关系, 可以公式表示如下:

$$\left(\frac{T_{\text{печи}}}{100} \right)^4 \approx \varepsilon_r \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 + (1 + \varepsilon_r) \left(\frac{T_K}{100} \right)^4 \quad (\text{XII-13})$$

不过, 应当指出, 在工厂的爐子中所使用的热电偶通常均未安装有遮热板。

德涅伯尔冶金学院冶金爐教研室和鋼管科学研究所的加热實驗室②, 在連續式加热爐和均热爐中进行金屬加热的研究指出: 如果爐膛的溫度用安装在距爐頂大約 $\frac{1}{3}$ 爐頂高度的普通热电偶进

① 在边界曲綫上部所得的 α_s 值不应采用——編者。

② НИТИ——冶金工业部鋼管科学研究所。

行測量時，則顯輻射系數熱的數值為從 3.5~3.8 至 3.0~2.8 其值隨着金屬溫度的增高而降低^①。

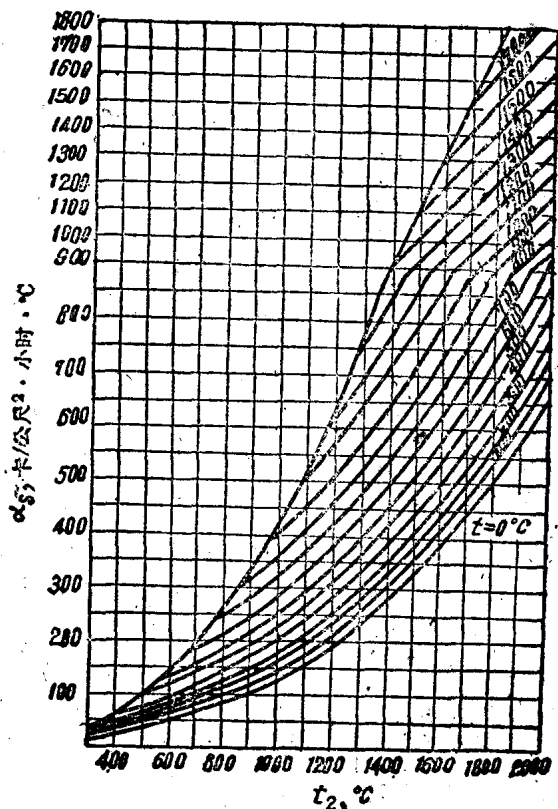


图 105 黑体辐射的給热系数

由于我們是由实际資料採用 σ_s 值，所以以下我們所指的 T_s ，即是由热电偶所指示出的爐溫。

2. 热交換的其他情况

决定物体在空气中冷却时的給热系数也是很重要的。

根据所熟知的金屬在空气中冷却时传热理論的資料，可知給

^① 用类似的方法所計算出的 σ_s 值要超过在該条件下由燃料燃燒的理論溫度所求得的 σ_s 值（而非由爐溫所算出者）——編者。

热系数

$$\alpha = 4.96 \varepsilon_m 10^{-8} (T_m^3 + T_m^2 T_n + T_m T_n^2 + T_n^3) + \alpha_k \quad (\text{XIII}-14)$$

或

$$\alpha = \varepsilon_m \cdot \alpha_r + \alpha_k, \quad (\text{XIII}-14a)$$

式中 ε_m ——金属的黑度；

α_r ——由图 105 决定；

T_n ——周围空气的温度 (°K)。

黑度 ε_m 可以采用平均为 0.8 的数值，而对流给热系数由公式决定：

$$\alpha_k = A \sqrt[4]{T_m - T_n}, \quad (\text{XIII}-15)$$

式中系数 A 的数值由表 7 求得。

系数 A 值

表 7

对于平板表面				对于水平圆柱体					
	垂直的	朝上水平表面	朝下水平表面	d , 公厘	5	10	50	100	200
A	2.2	2.8	1.13	A	4.85	3.53	1.94	1.80	1.73

在图 106 中，提供了用于决定给热系数 α 与物体表面温度关系的图解①。

当物件在浴中加热时，表面几乎瞬时即达到浴中液体的温度。其中，对于铅加热至 600~800°C，氯化钡 (BaCl_2) 加热至 1200°C 及氯化钠 (NaCl) 加热至 940°C 时，其给热系数大致与在火焰炉中温度为 1450°C 时的给热系数相等。

对于由 50% 的硝酸钾 (KNO_3) 和 50% 的硝酸钠 (NaNO_3) 所组成的盐类加热到 600°C 时，其给热系数与炉温为 1200°C 时的给热系数相等。最后，在温度为 400°C 的铅浴内和在 785°C 的氯化钠浴内的给热系数，与炉温在 1000°C 时的给热系数相同。

当物体淬火时，其给热系数可以由图 107 决定。

① 在计算给热系数时，物体的形状采用正方形断面。

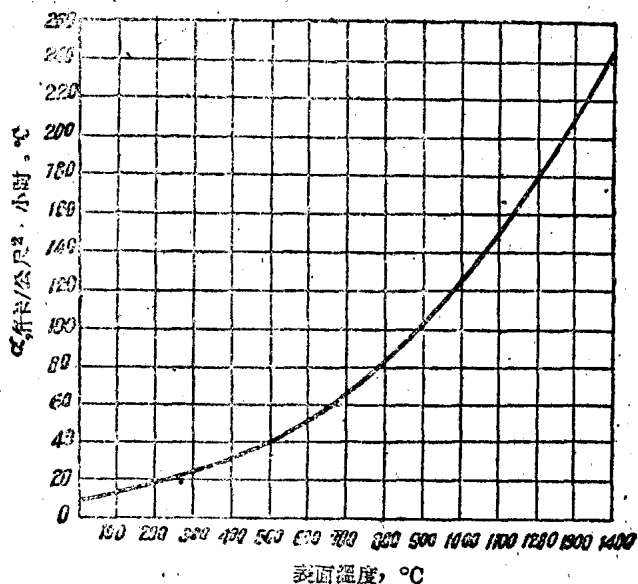


图 106 在冷却时的给热系数

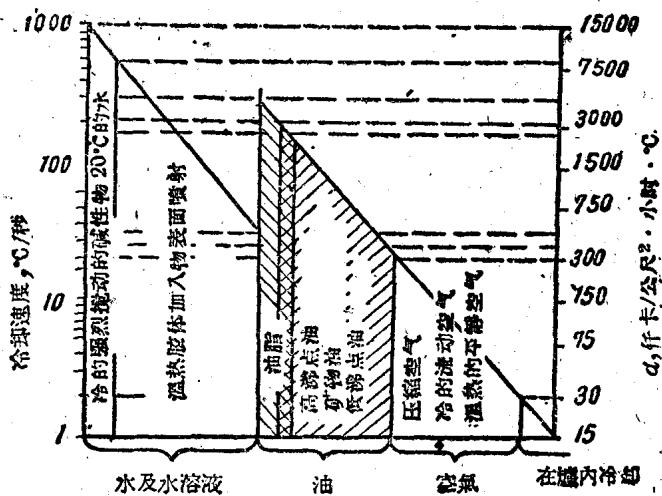


图 107 淬火时决定给热系数的图解