

CUI
HUO
JIE
ZHI

淬火介质

吕利太 编

中国农业机械出版社

内 容 简 介

本书全面地介绍了淬火介质的基础知识，并按介质的分类，系统地介绍了近年来国内外应用效果较好的淬火介质。全书共五章。主要内容有：对淬火介质的基本要求，影响淬火介质冷却性能的因素，水溶液淬火介质，各种性能的淬火油，不发生物态变化的淬火介质以及各种性能的测试方法。

本书可供从事热处理工作的工人、技术人员参考，也可作为高等工科院校金相热处理专业学生的参考书。

淬 火 介 质

吕利太 编

*

中国农业机械出版社出版

月坛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

*

787×1092 32开 $4^{14}/_{16}$ 印张 105千字

1982年6月北京第一版·1982年6月北京第一次印刷

印数：0,001—9,500 定价0.47元

统一书号：15216·082

前 言

零件淬火质量关系到机械产品的使用性能及其寿命。因此，严格控制淬火质量就成为提高机械产品质量的关键性问题。就目前国内淬火工艺现状来看，各种淬火缺陷几乎到处可见，有的地方相当严重。其产生原因是多方面的：其中少量与材料、加热温度、保温时间以及淬火操作有关，但绝大多数都与所采用的淬火介质有关。可是，淬火介质问题却常常被人们所忽视，质量问题长期得不到解决，以致给生产造成很大浪费。

淬火后出现的硬度不足、软点、变形和开裂等缺陷，多数与淬火介质的选择和使用有关。淬火介质选择正确和使用得当，淬火工件质量就能得到显著提高，这已被许多生产实践所证实。

事实上，目前还没有这样一种对不同钢种、不同尺寸和形状的工件都非常适用的淬火介质。由于钢的化学成分不同，工件尺寸和形状各式各样，再加上考虑安全和经济成本等多方面的要求，国内外出现了多种多样的淬火介质。本书力图对淬火介质作一全面介绍，以期对正确选择和合理使用淬火介质以及研制新型淬火介质能有所帮助。这对编者将是莫大的欣慰。

由于时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，请读者给予批评指正。

编 者

1981.6.1

目 录

第一章 绪论	1
一、临界冷却速度	1
二、理想冷却曲线	6
三、工件在有物态变化的淬火介质中的三个冷却阶段	9
四、淬火介质的冷却能力	13
五、影响淬火介质冷却能力的因素	18
六、淬火介质的分类	24
七、对淬火介质的要求	25
第二章 水及水溶液淬火介质	27
一、水	27
二、氯化钠(食盐)水溶液	30
三、氯化钙饱和水溶液	32
四、碱水溶液	36
五、过饱和硝酸盐水溶液	39
六、氯化锌—碱水溶液	43
七、三乙醇胺水溶液及亚硝酸钠—三乙醇胺水溶液	45
八、亚硫酸盐碱液酒槽水溶液	49
九、甘油水溶液	50
十、乙二醇系水溶液	51
十一、聚乙烯基吡咯烷酮水溶液	55
十二、聚丙烯—甲基丙烯酸盐水溶液	57
十三、水玻璃水溶液	59
十四、聚乙烯醇水溶液	72
十五、聚乙烯醇和聚丙烯酸钠混合水溶液	75
十六、聚丙烯酰胺水溶液	73

十七、异丁烯一无水顺丁烯二酸聚合物水溶液·····	80
十八、二烯一顺丁烯二酸衍生共聚物水溶液·····	85
第三章 淬火用油 ·····	89
一、油的性能特点·····	89
二、植物油·····	92
三、普通淬火油·····	93
四、快速淬火油·····	98
五、光亮淬火油 ·····	103
第四章 不生物态变化的淬火介质 ·····	113
一、碱浴 ·····	113
二、硝酸盐浴 ·····	115
三、氯化盐浴 ·····	123
四、气体淬火介质 ·····	125
第五章 测试技术 ·····	127
一、淬火油物理性能测定 ·····	127
二、淬火油热氧化稳定性试验 ·····	128
三、热电偶法冷却性能试验 ·····	130
四、磁性法冷却性能试验 ·····	136
五、热丝法冷却性能试验 ·····	139
六、量热计法冷却性能试验 ·····	140
七、淬透性法冷却性能试验 ·····	140
八、淬火槽冷却性能试验 ·····	142
参考文献 ·····	147

第一章 绪 论

一、临界冷却速度

钢的硬化，是通过淬火工艺获得马氏体组织实现的。淬火工艺包括两个主要过程，即首先加热和随后冷却。加热是为了获得奥氏体组织，通常称为钢的奥氏体化；而冷却是将已经奥氏体化了的钢件（以下称工件）迅速冷却到 M_s 点（马氏体转变的开始温度）以下，使之发生马氏体转变，得到马氏体组织。加热与冷却两个过程对工件淬火质量都有影响，其中冷却过程影响更大，而且更为复杂。

图 1-1 为 30 钢的连续冷却转变曲线，其化学成分及奥氏体化工艺见表 1-1。图 1-1 上绘出了十条冷却速度不同的冷却

表 1-1 30 钢化学成分及奥氏体化工艺

元 素	C	Si	Mn	P	S	Cr	奥 氏 体 化 工 艺	
							温度(°C)	保温时间(分)
含量(%)	0.30	0.29	0.39	0.012	0.026	0.12	830	15

曲线，各条冷却曲线的平均冷却速度分别用 V_1 、 V_2 、…… V_{10} 表示，其中 $V_1 < V_2 < \dots < V_{10}$ 。当用最缓慢的平均冷却速度进行冷却时，冷却到室温后，得到的组织为 70% 铁素体与 30% 珠光体，这种组织的硬度为 HV175。当平均冷却速度增加到 V_3 时，铁素体与珠光体的比例保持不变。但珠光体中的片层间距变小，故硬度略有增加，此时的硬度为 HV195。

若冷却速度再增加到 V_4 ，室温下得到60%铁素体，38%珠光体，1%贝氏体，其余1%为马氏体，这种组织的硬度增加到HV210。平均冷却速度超过 V_5 以后，室温下钢组织中的铁素体、珠光体及贝氏体量不断减少，马氏体量增加，钢的硬度跟着增高。平均冷却速度增加到 V_{10} 或超过 V_{10} ，冷却到室温后，钢的组织全部是马氏体，硬度高达HV550。由此可

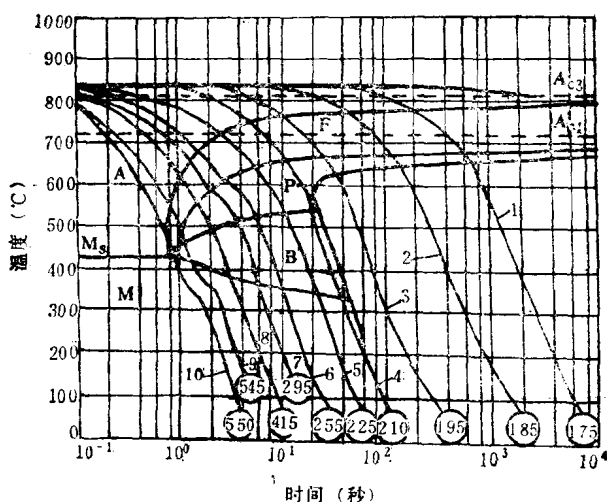


图 1-1 30钢连续冷却转变曲线

见，奥氏体化以后冷却速度不同，同一钢种的试样可获得不同的组织，这就使得它们在机械性能上有很大差异。图1-2为30钢奥氏体化后平均冷却速度与硬度的关系。

淬火介质的作用是冷却奥氏体化了的灼热工件，使工件获得足够的冷却速度，从而获得所需要的组织与性能。为了使奥氏体组织在通过 A_1 与 M_s 温度区间的冷却过程中，不出现珠光体类型的组织转变，而在冷却到 M_s 点以后全部转变

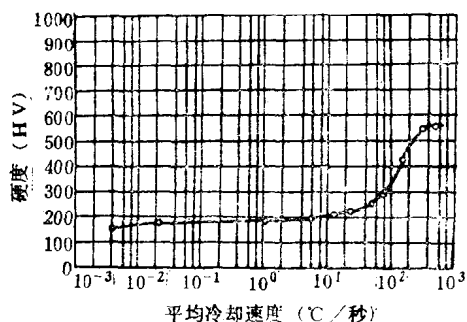


图 1-2 30钢平均冷却速度与硬度的关系

成马氏体组织，需要一定的冷却速度。冷却速度的大小，取决于钢的过冷奥氏体的稳定性。过冷奥氏体稳定性大的钢，它需要的冷却速度就小，反之，冷却速度要大。钢的连续冷却转变曲线，可以反映在给定条件下过冷奥氏体的稳定性，见图1-3。它是30CrMo钢的连续冷却转变曲线，钢的化学成

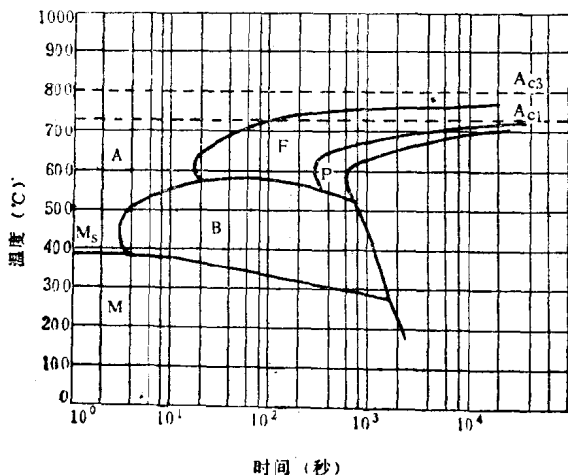


图 1-3 30CrMo钢连续冷却转变曲线

分及奥氏体化工艺见表1-2。图1-3与图1-1相比，曲线的位置向右移动了，这是因为奥氏体中含有了Ni、Cr、Mo等合金元素，使过冷奥氏体变得比30钢的较为稳定。一般来说，钢的含碳量、合金元素种类与数量、奥氏体化温度和保温时间，都影响连续冷却转变曲线的形状与位置。

表 1-2 30CrMo钢的化学成分及奥氏体化工艺

元 素	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	奥氏体化工艺	
									温度 (°C)	保温时间 (分)
含量(%)	0.30	0.21	0.64	0.011	0.012	0.11	1.01	0.24	850	10

为了避免出现非马氏体组织，淬火时的冷却速度不能低于某一最低值，如图1-1中的 V_{10} 。我们把这个冷却速度称为临界冷却速度，通常用 V_c 表示。由图可见，临界冷却速度是与连续冷却转变曲线开始转变线相切的冷却速度，是不发生过冷奥氏体分解（珠光体转变或贝氏体转变）的最低冷却速度。碳钢的临界冷却速度与含碳量有关，一般在100~600°C/秒范围内；而合金钢的则比较小，一般为0.1~100 °C/秒。

实际上，工件淬火时，表面的冷却速度常常超过临界冷却速度。这是因工件蓄热量很大，心部的冷却速度比表面缓慢得多，见图1-4与图1-5。工件的冷却速度，受它本身的尺寸和介质冷却能力的影响。单就工件尺寸而言，表面积(S)愈大，体积(V)愈小，介质就愈容易夺走工件的热量。因此，工件的S/V比值愈大，工件的冷却速度就愈大。例如，圆柱形零件的S/V比值为：

$$S/V = \frac{2\pi RL}{\pi R^2 L} = \frac{2}{R}$$

式中 R ——圆柱体的半径;

L ——圆柱体高度。

R 与 S/V 成反比变化, R 愈大, 则冷却速度愈小, 见图1-4与图1-5。为了达到所要求的硬化层深度, 就必须加速工件表面的冷却, 这样才能使一定深度层内的冷却速度都在临界冷却速度以上。

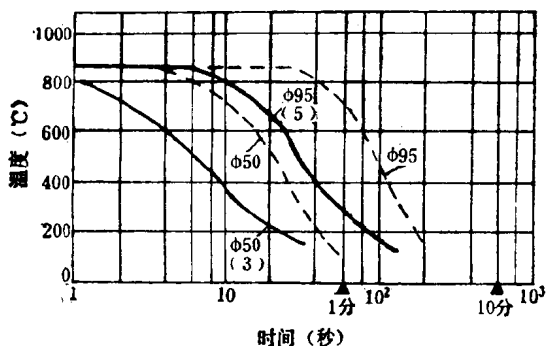


图 1-4 不同尺寸试样的冷却曲线(水冷)

() 内数字表示离表面的深度(毫米) ----试样中心

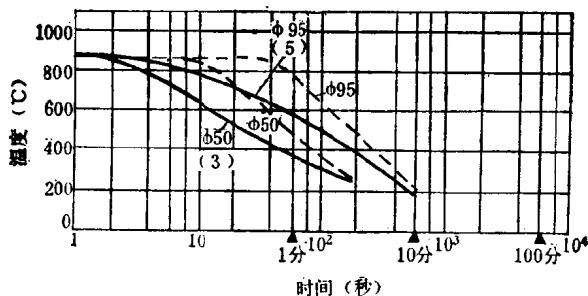


图 1-5 不同尺寸试样的冷却曲线(油冷)

() 内数字表示离表面的深度(毫米) ----试样中心

由此可见，工件获得马氏体组织的难易程度与以下三个因素有关：

- (1) 钢的过冷奥氏体的稳定性；
- (2) 工件的表面积与体积之比，即 S/V ；
- (3) 淬火介质的冷却能力。

钢的临界冷却速度愈小或工件的 S/V 值愈大，则愈容易获得马氏体组织，反之则困难。

前两个因素在一些教科书和杂志中有所论述，本书仅讨论有关淬火介质问题。淬火介质的冷却能力不足，会出现非马氏体组织，造成工件金相组织、硬度和硬化层深度不合格等缺陷。但也不是冷却能力愈强愈好。如果冷却速度过大，则会引起工件变形或开裂，以致产生废品，故也应尽量避免。

二、理想冷却曲线

工件的淬火变形、开裂都与冷却过程中产生的内应力有关。依据形成的原因，内应力分为热应力与组织应力。

热应力，是由于工件表面与心部存在着温度梯度、表面和心部收缩不一致而引起的。表面层因先冷却，故先收缩，但又受到温度高于表面层的心部的阻碍。心部限制表面层收缩，结果使表面层受拉应力作用，而心部受压应力作用，见图1-6。这类内应力称为热应力。在继续的冷却过程中，随着工件内外温差的减小，应力逐步减小到零。冷至最后，心部收缩又受到表层的制约，结果出现与开始冷却时相反的结果，心部受拉应力，表面受压应力作用。

当奥氏体向马氏体转变时，由于新旧两相的比容（单位质量所占据的容积）不同，而产生的内应力称为组织应力。因为奥氏体的比容比马氏体的小，随着转变产物——马氏体

——数量的增加，表面层体积膨胀。此时，体积增大的表面层，受到体积未发生变化的心部牵制，因而受压应力的作用，而心部则受拉应力的作用。当心部开始向马氏体转变时，早已经转变成马氏体的表面层由于心部膨胀又开始受拉应力，而心部受压应力的作用，见图1-7。

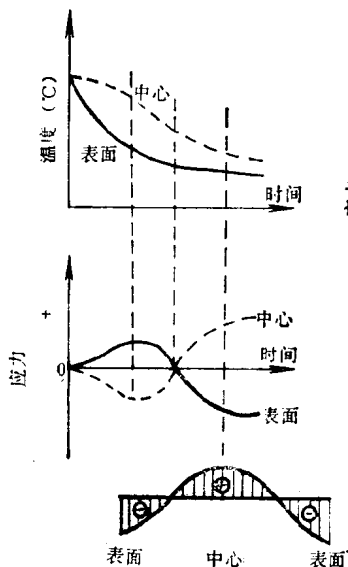


图 1-6 圆柱试样急冷时温度和热应力随时间变化的曲线
+拉应力 -压应力

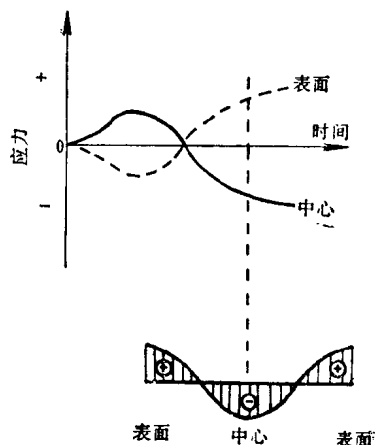


图 1-7 圆柱试样组织应力随时间变化的曲线
+拉应力 -压应力

在发生马氏体转变之前的冷却过程中，工件内部只有热应力。这时温度较高，钢的塑性好，塑性变形可以松弛部分应力。当工件的温度降低到 M_s 点以后，除热应力外，又出现组织应力。两者的叠加使内应力分布较为复杂。此时钢的塑性又低，工件不仅变形而且容易开裂。因此，马氏体转变

温度区域，通常被认为是淬火的危险温度区域。

综上所述，淬火介质一方面应当有足够的冷却能力，保证工件淬硬和获得一定的淬硬层深度，另一方面也要尽量减小热应力与组织应力的有害作用。为了解决这两方面的矛盾，淬火介质应当在不同冷却阶段具有不同的冷却能力，理想的冷却曲线如图1-8所示。依据过冷奥氏体的稳定性，可把温度

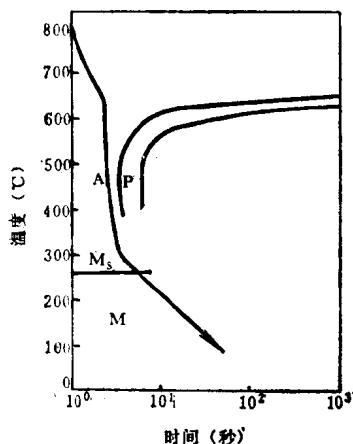


图 1-8 理想冷却曲线

度划分为高温、中温及低温三个区域。连续冷却转变曲线的鼻子以上部分为高温区域，鼻子附近为中温区域，鼻子以下部分为低温区域。在高温区域，过冷奥氏体比较稳定，工件应当缓慢冷却，以减少热应力的不利作用。中温区域，即鼻子附近，是过冷奥氏体最不稳定的区域（通常在 $650\sim 400^{\circ}\text{C}$ ），工件的冷却速度必须大于临

界冷却速度，以防止发生珠光体或贝氏体转变。在低温区域（低于 400°C ），工件应当以缓慢的冷却速度通过淬火危险温度区域，防止由于巨大的组织应力和热应力而造成变形与开裂。为了叙述上的方便，以后把中温区域称为淬火危险温度区域，低温区域称为淬火危险温度区域。

工件在冷却过程中，能否获得上述理想的冷却速度，与介质的某些物理性质有关。在有物态变化的淬火介质中，通常出现几个冷却方式不同的阶段。

三、工件在有物态变化的淬火介质中的三个冷却阶段

水和油这类淬火介质，它们在冷却工件过程中，出现三个冷却阶段。图 1-9 为圆柱形银试样（直径24.8毫米，长度87毫米）加热后在油中的冷却曲线。灼热的试样进入淬火介质后，经历如图所示的三个特点不同的冷却阶段：蒸气膜阶段、沸腾阶段和对流阶段。

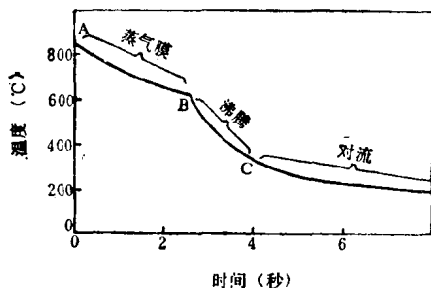


图 1-9 圆柱银试样在油中的冷却曲线

1. 蒸气膜冷却阶段

试样进入淬火介质后，高温的试样表面上立即形成一层过热的蒸气膜，它紧紧包围住工件，形成一层蒸气膜外套。这层蒸气膜使工件与淬火介质不能直接接触。因为蒸气膜的热传导系数很小，是热的不良导体，工件的热量主要靠表面通过蒸气膜的辐射传递给介质，冷却受到限制，所以这阶段的冷却速度比较慢。最初，工件放出的热量大于淬火介质从蒸气膜吸走的热量，蒸气膜的厚度不断增加。随着冷却的进行，工件温度逐渐降低，放出的热量不断减少。当淬火介质从蒸气膜外套吸走的热量大于工件放出的热量时，蒸气膜的

厚度开始变小，变得不稳定了。当工件放出的热量不能满足形成蒸气膜所需要的热量时，蒸气膜发生破裂，工件表面就直接与淬火介质接触。B点的温度对应蒸气膜崩溃的温度，称为特性温度。由B点开始，冷却过程进入到下一个阶段。

2. 沸腾冷却阶段

蒸气膜破裂以后，淬火介质就直接与工件表面接触。在接触处，淬火介质剧烈沸腾，不断逸出气泡带走大量热量。此时，工件温度急剧下降，冷却速度剧增。这个阶段的初期，冷却速度最大。随着工件温度的降低，冷却速度减慢，而沸腾一直持续到工件表面温度低于淬火介质的沸点为止。

液体介质的沸腾根据温度可分为饱和沸腾和表面沸腾。

(1) 饱和沸腾：液体的温度和沸点相等，如壶中正在沸腾的水，液体在被加热表面上生成气泡并不断上升。

(2) 表面沸腾：液体的平均温度比沸点低，液体在被加热表面上产生的气泡在上升过程中破灭。

根据沸腾液体的流动性质来分，可分为自由对流沸腾与强制对流沸腾。

(1) 自由对流沸腾：在大容器内沉入高温物体，物体表面产生沸腾，由于液体的密度差和气泡浮力而使液体对流；

(2) 强制对流沸腾：用泵强制液体对流循环。

淬火时，淬火介质的温度比沸点低，它是属于表面自由对流循环。

为了加深对沸腾的理解，下面分析如图1-10所示的水的沸腾特性曲线。它通过改变通入放在水中的白金丝的电流量，改变白金丝的发热量。曲线表明传热面上的热负荷 q 和换热系数 h 随试样表面与水之间的温差 ΔT 变化的规律。AB段曲线是未沸腾的普通自然对流传热状态。 ΔT 再增加，小气泡数

量增多, 换热系数 h 增大, 传热速度如曲线 BC 段急剧上升, 这种倾向一直延续到 D 点为止。在 BD 段范围, 白金丝表面上产生点状气泡, 故称为核沸腾状态。

在 D 点, 现象发生急剧变化, 白金丝表面被蒸气膜包围, 热传导困难, 结果使白金丝变成红热状态, 温差急剧增大, 由 D 点直接到达 F 点, 表面被蒸气膜包围, 这时的沸腾称为膜沸腾, 它的换热系数和自然对流时一样。由 F 点开始减小电流, 冷却到 E 点之前仍保持膜沸腾状态。在 E 点, 沸腾状态突然改变, 容易传热的核沸腾开始, 温差立即降到 C 点。再减小电流, q 沿 CB 线变化。如图所示, C 与 E 点在同一水平线上, 但 C 点传热速度大。这符合工件淬火的情况。灼热的工作冷却到 E 点时, 核沸腾开始, 并快速移向 D 点, q 与 ΔT 的关系沿 DCB 线变化。E 点对应热负荷极小值, 它所对应的温度, 就是前面曾提到过的特性温度。AD 之间及 EF 之间的现象是可逆的, 而 DE 之间的现象一般是不可逆的。ED 之间的现象, 介于膜沸腾与核沸腾之间, 故称为迁移沸腾。由此可见, 蒸气膜阶段就是膜沸腾状态的阶段, 而沸腾阶段主要指核沸腾状态, 也包括迁移沸腾状态的阶段。因为介质汽化产生气泡流动, 核沸腾的换热系数非常大, 所以它是淬火冷却时的重要传热方式。在固体表面上进行的核沸腾, 受一些物理

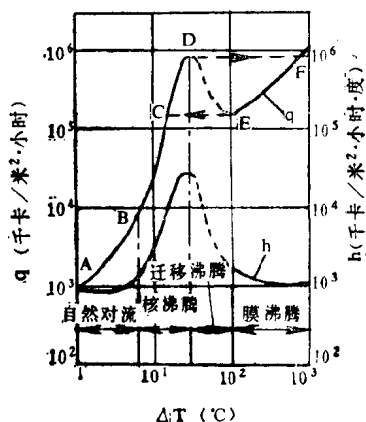


图 1-10 水的沸腾特性曲线

因素的影响，有人提出一个表面自由对流沸腾时换热系数的计算公式。

$$h = 8.0 \left[f_s f_p^2 \frac{1}{M^2 N} \frac{C_p K^2 \rho_L^2}{\sigma \lambda \rho_v} \right]^{1/3} q \left(\frac{T_w - T_s}{T_w - T_o} \right)^{3/4} \quad (1)$$

式中 h ——换热系数（千卡/米²·小时·度）；

C_p ——液体的比热（千卡/公斤·度）；

K ——液体的导热系数（千卡/米·小时·度）；

λ ——汽化热（千卡/公斤）；

ρ_L, ρ_v ——液体及蒸气的密度（公斤/米³）；

q ——传热面上的热负荷（千卡/米²·小时）；

T_w ——传热面温度（°C）；

T_s ——液体沸点（°C）；

T_o ——液体温度（°C）；

σ ——液体的表面张力（公斤/米）；

f_s ——气泡产生频率；

f_p ——压力比 P_s/P ， P 气体分压（大气压）， P_s 大气压（大气压）；

M ——常数 900 米⁻¹；

N ——常数 1.699 千卡/小时。

由上式可见，淬火介质的汽化热小，液体与蒸气的密度比 ρ_L/ρ_v 大，液体的导热系数 K 大和表面张力 σ 小是最理想的。

3. 对流冷却阶段

这阶段的开始温度，对应淬火介质的沸点。工件表面温度降低到淬火介质沸点以下时，进入对流冷却阶段。这个阶段的冷却速度比蒸气膜冷却阶段还要缓慢。影响这个阶段冷却速度的因素，主要是工件表面与淬火介质的温差、介质的