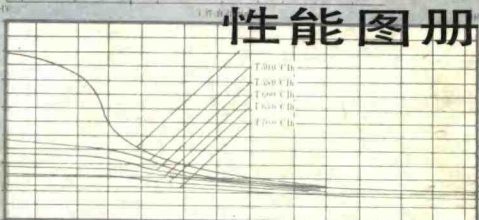


# 工程用钢 的组织转变与 性能图册



机械工业出版社

TC 142.1-64

K 24

C.1

# 工程用钢的组织转变 与性能图册

康大韬 郭成熊 编译

116.23



机械工业出版社

1122032

(京)新登字054号

### 内 容 简 介

该书是以钢棒直径为横坐标，加热温度为纵坐标的新型连续冷却转变曲线图集。用此图集可直接读出不同尺寸钢棒在空冷(0.1~2000mm)、油冷或水冷(5~600mm)后，工件心部所获得的组织与性能(硬度HV及HRC)。用书中提供的数据和计算图表可求出方截面零件或板形件的等效直径，以及圆棒表面与不同截面处的等效直径并进而求出其在不同冷却条件下所得到的组织与性能。

书中提供了172种碳素钢与合金钢的新型连续冷却转变曲线，还系统地介绍了新型连续冷却转变曲线的建立方法与基本原理，编者还增补了世界主要工业国家钢号对照表。

可供从事钢的热处理与热加工及机械设计人员使用，也可供大专院校师生参考。

## 工程用钢的组织转变与性能图册

史大钢 郭成熊 编译

责任编辑：王兴垣 责任校对：宁秀娥  
封面设计：姚毅 版式设计：冉晓华  
责任印制：王国光

机械工业出版社出版(北京华成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

人民交通出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·印张7<sup>1</sup>/<sub>2</sub>·插页2·字数193千字

1992年9月北京第1版·1992年9月北京第1次印刷

印数 0 001—1 350·定价：14.00元

ISBN 7-111-03110-5/TG·682

## 编译者序

钢的性能主要取决于其内部的组织结构。为了使钢获得某种预期的组织结构，最重要的莫过于按照预期目的准确地控制其在热处理或热加工中的冷却过程。因为钢的常温组织结构是（或基本上是）在加热（奥氏体化）之后的冷却过程中形成和完成的。

通过钢的TTT曲线图（Time-Temperature-Transformation Diagram）和CCT曲线图（Continuous Cooling Transformation Diagram）可以全面了解钢在奥氏体化后的冷却过程中的组织转变情况。其中：TTT曲线图给出的是在快冷至不同温度下，等温停留过程中的组织转变情况；CCT曲线图给出的是在不同冷却速度下的连续冷却过程中的组织转变情况。显然，通过这两类曲线图，应该能够比较准确地判断经过某种处理工艺之后，钢所获得的组织与性能。在这两种曲线图中，用处更大的是CCT曲线图。因为，绝大多数工件的内部组织结构是在连续冷却中形成的。

普通形式的CCT曲线图，以温度为纵坐标，以时间为横坐标，图中还标注着许多条冷却曲线。因此，为了预测某一钢件冷却后的组织与性能，必须预先估算或测定出这一工件在实际冷却过程中的冷却速度。作到这一点，并不是一件很容易的事情，有时会给生产单位造成很大的困难和不便。即便是在已经积累了许多冷却数据和有现成的冷却测定结果可以直接应用的条件下，也还需要将两者（CCT曲线图和实测冷却曲线）相互叠加和对比<sup>⊖</sup>，使用起来仍旧是不方便的。

英国钢铁公司（British Steel Corporation）的M. Atkins与共同事，以他们多年来的试验研究结果和资料积累的基础，广

⊖ 参见《大铸件热处理》第3章第7节，东北重型机械学院、第一重型机械厂、机械部情报研究所合编，机械工业出版社，1974年，第1版。

广泛吸收了已发表和未发表的千余份实验报告中的数据和分析结果，经过认真细致地核校与处理加工，编写这本以空冷（0.1~2000mm）和水、油冷（5~500mm）圆棒直径为横坐标的新型连续冷却转变曲线图集，以期使本书读者能够通过钢件的直径（或等效直径）直接读出其心部在连续冷却过程（包括空冷、油冷与水冷）中的组织转变情况，与钢在组织转变完成后所获得的性能水平（硬度，HV及HRC）。书中介绍的172个钢种，包括了最常用的碳素与合金结构钢、弹簧钢、滚动轴承钢、高铬不锈钢和多种耐热钢。这实在是作了一件非常好的事情，必将给大家带来很大的方便和启发。此外，书中的文字部分比较系统地介绍了这种新型CCT曲线图的建立方法、基本原理，以及对圆截面零件非中心部位（ $1/2R$ 处及接近表面处）和不同壁厚比的方截面零件心部等效直径的计算方法，从而更加扩大了这种新型CCT曲线图的使用范围。这本书的内容和方法对我们进一步开展CCT曲线图的研究和应用，无疑是很有帮助和富于启发作用的。

除了工艺和材料科技人员之外，本书对于从事设计工作和需要使用各种钢料的人员来说，也是十分方便和适用的。通过本书他们可以直接估计各种尺寸的钢件及其不同部位经过热加工和热处理后可能获得的组织与性能，因而可以使他们的设计和钢料选择更为合理、可靠。

总之，编译者一致认为这是一本难得的好书，特向广大读者和同行推荐。

原书中共收入了172种钢的新型CCT曲线图，它们都是非常实用和十分难得的试验研究成果，编译时全部保留下来。为了便于读者阅读和使用，编译者按照中国的钢号命名规则确定了每一钢种的中国钢号名称，并在书后增添了这172个钢种的世界主要工业国家钢号对照表。原书的文字部分写的比较繁琐，编译时作了较大的删减和重新组合，以期减少读者的困惑和精力损耗。编译者虽然都是长期从事金属材料及热处理专业工作的科技人员，但个人的学识、见解和水平终究有限，编译中的错误和不妥之处

是难免的，热诚欢迎读者给予批评、指正。

在本书的选题、立项和编译工作中，曾得到中国机械工程学会热处理学会前任理事长雷廷权教授、现任理事长樊东黎研究员级高级工程师、秘书长刘迨高级工程师和机械工业出版社王兴垣高级工程师的鼓励和帮助，特致诚挚的感谢。

康大韬 郭成熊

1992年1月

# 目 录

## 编译者序

### 第1篇 使用方法与基本原理

第1章 对新型连续冷却转变曲线图的说明	7
一、新型连续冷却转变曲线图及其使用方法	7
二、等效直径与控制截面	3
三、淬透性曲线在新型连续冷却转变曲线图中的应用	4
四、新型连续冷却转变曲线图的其他应用	5
五、注意事项	7
第2章 新型连续冷却转变曲线图的建立	8
一、实验设备与试样	8
二、对不同直径圆棒冷却过程的分析	8
三、温度区间和温度间隔	12
四、圆棒在不同冷却条件下和圆棒不同部位的等效直径	12
五、对实验数据的分析	30
第3章 估计相变进程的统计公式	35
一、加热转变的临界温度 $A_{c1}$ 和 $A_{c2}$	35
二、马氏体转变温度范围	35
三、贝氏体转变温度范围	36
四、铁素体-珠光体转变温度范围	36
五、临界冷却速度和其他有价值的冷却速度	37
六、各种转变产物硬度值的估算公式	41

### 第2篇 工程用钢的新型连续冷却转变曲线图

一、钢的化学成分	43
二、新型连续冷却转变曲线图	49

第1组	碳素钢(23种)	49
第2组	锰钢(10种)	72
第3组	锰易切削钢(3种)	82
第4组	锰钨钢(8种)	85
第5组	锰铬钢(3种)	91
第6组	锰镍钨钢(1种)	94
第7组	锰铬镍钨钢(5种)	95
第8组	钨钢(7种)	100
第9组	镍钢(10种)	107
第10组	镍锰钢(1种)	117
第11组	镍钨钢(5种)	118
第12组	镍铬钢(11种)	123
第13组	镍铬钨钢(25种)	134
第14组	铬钢(10种)	159
第15组	铬钨钢(17种)	169
第16组	铬钨钼钢(4种)	186
第17组	弹簧钢(7种)	190
第18组	滚动轴承钢(2种)	197
第19组	高铬不锈钢(6种)	199
第20组	耐热钢(16种)	205
世界主要工业国家钢号对照表		221
参考文献		230



# 第1篇 使用方法与基本原理

## 第1章 对新型连续冷却转变曲线图的说明

在美国，工业用钢分为两类：以化学成分为基准的和以机械性能为基准的。对于后一类钢，经常还标明在圆棒心部能够获得某些性能的最大直径，即临界直径。对一些复杂形状的锻材或截面有变化的机械零件，则以某一截面不同部位的等效圆棒直径。

等温转变曲线图的建立，对我们了解钢的组织转变行为提供了帮助。但是，只有少量热处理过程（包括阶段冷却）便于使用这种图，大多数工件的组织是在连续冷却过程中生成的。如果冷却速度很慢，转变产物比较接近等温转变曲线上部区域所指示的组织；冷却速度快时将使转变开始温度和转变过程发生明显改变，这就导致了对连续冷却曲线的需求。

将工件的实际冷却曲线叠加在普通的连续转变曲线图上，即可通过两者的交点来推断冷却转变的情况。但是在本书中没这样做，而是采用了一种以圆棒直径作为横坐标的新型连续转变曲线。这种曲线图可以直接用于实际生产过程，对于一定尺寸的圆棒，可以直接读出冷却终止后圆棒心部的组织和硬度。

### 一、新型连续冷却转变曲线图及其使用方法

新型连续冷却转变图是以描述钢在空冷、油冷或水冷中的组织转变过程的方式建立的。图的横坐标是圆棒直径，图中所示的组织与性能相当于圆棒心部冷却后的组织与性能。对于同一直径的不同部位，冷却后的组织与性能可通过“等效直径”来确定。

在新型连续冷却转变图中，以空冷直径作为基本坐标，同时添加与其相对应的油冷直径与水冷直径坐标。图中，油冷指的是在冷速中等的标准淬火油中的冷却过程。本书中未考虑盐水淬火的情况。

下面通过图1-1-1说明新型连续冷却图的使用方法。可以看出，对于38钢(060A37)，当转变温度高于660℃时，转变产物为铁素体和珠光体；在660℃至 $M_s$ 温度区间形成贝氏体；在 $M_s$ 温度以下形成马氏体。

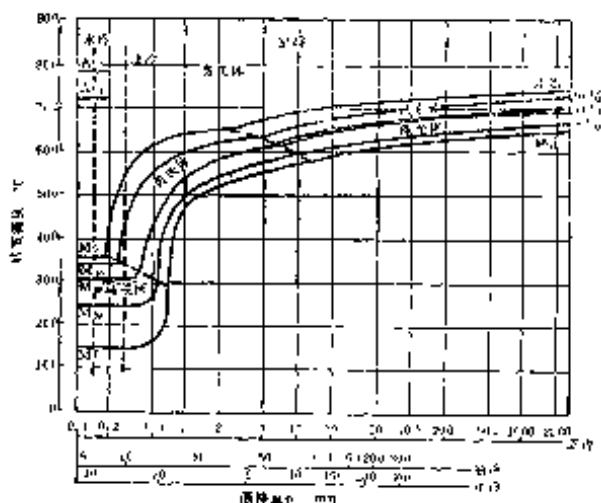


图1-1-1 38钢(060A37)的连续冷却转变图

图中的垂直虚线是为了说明不同冷却条件下的组织转变产物添加的

由图1-1-1清楚地看出，空冷时只有直径小于0.18mm的圆棒才能得到马氏体组织；直径小于2mm时为贝氏体组织；直径大于

2mm时贝氏体逐渐减少，铁素体与珠光体逐渐增多。与此相似，可以断定由空冷改为油冷或水冷时所得到的组织。

再看10mm圆棒空冷时的情况。在代表空冷的横坐标上找到10mm的位置，自此点向上画一垂线点到奥氏体区。可以看出，冷却转变过程自700°C开始，首先析出铁素体，至640°C时转变量接近60%并开始析出珠光体，至600°C时生成少量贝氏体，最后在560°C结束转变。用同样的方法可以得知，10mm圆棒油冷时在560°C开始转变为贝氏体，至350°C时转变量达到40%，剩余的奥氏体将转变为马氏体，在150°C结束转变过程。10mm圆棒水冷时转变过程自380°C开始，150°C终止，全部变为马氏体。

综观全图可知，全部得到马氏体组织的圆棒直径：空冷时小于0.18mm，油冷时小于8mm，水冷时小于13mm。

## 二、等效直径与控制截面

等效直径指的是：在某一定温度范围内，其轴心处的冷却速度与另一不规则形状物体中冷却最慢处的冷却速度完全相同的圆棒直径。通过等效直径，从我们能够利用新型连续冷却转变曲线图，对任何复杂形状物体的热处理组织转变作出判断。在英国标准5040:1974中，概述了等效直径的计算方法，其要点将在本书有关章节介绍。

各种钢的热处理工艺曲线和要求达到的拉伸与冲击性能，以及临界控制截面等，均载于英国标准BS970和其他有关标准中。

图1·1-2给出了35Mn1.5Mo钢(605M36)的新型连续冷却转变曲线图和几种控制截面的最低抗拉强度。可以看出，直径为10mm的圆棒在油淬中将全部变为马氏体。因此，在回火后将保证得到最高的抗拉强度。圆棒直径为30mm时，油淬后将含有少量贝氏体，经同样回火处理后，抗拉强度要低一些。当控制截面更大时，油淬后贝氏体占的比例更大，经同样回火处理后，钢所能达到的抗拉强度也就更低。

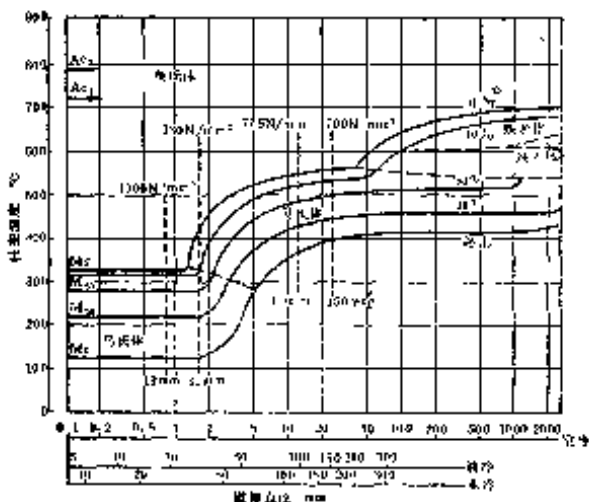


图1-1-2 15Mn1.5Mo钢(615M11)的新型连续冷却转变曲线图  
 图中的垂直虚线是与不同直径圆棒冷却速度可以达到的组织与性能而附加的

### 三、淬透性曲线在新型连续冷却转变曲线图中的应用

钢的淬透性大多采用Jominy末端淬火试验测定。该试验是将一个加热好的棒形试样进行一端喷水冷却，然后沿轴向测量试样表面硬度，作出距末端距离与硬度的关系曲线。由于距末端不同距离处的冷却速度不同，得到的组织不同，便使得距末端不同距离处的硬度发生由高到低的变化。

美国汽车工程师学会(SAE)提出了Jominy淬透性曲线与圆棒直径的相互关系。图1-1-3给出了小于100mm圆棒油淬时，圆棒心部与Jominy试样位置的关系曲线。显然，把上述结果应用到新型连续冷却转变曲线图上，就可得到相应的一条等效直径与硬度间的关系曲线。也就是说，我们可以将每个钢种的淬透性

将每个试样的淬透性曲线加在该钢的新型连续冷却转变图上，成为一条硬度曲线。必须指出，这种关系是近似的，在图的左半部比较准确。当钢的化学成分超出钢号的成分范围或落在界限外时，必须参照成分更为接近的钢号的新型连续冷却转变图。

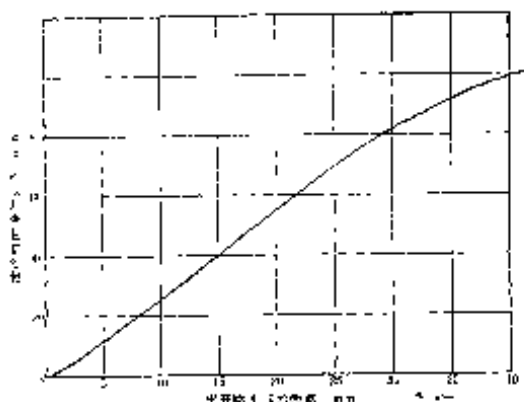


图1-1-3 45钢淬透性曲线与连续冷却转变图的关系

#### 四、新型连续冷却转变曲线图<sup>①</sup>的其他应用

这种图可直接应用于线、带等小截面钢材热处理工艺的制订，以免其获得后续加工或热处理过程所需要的组织。对于那些在热加工后需要缓冷，以避免生成低温组织的零件，也可借助于新型CCT图制订一个合适的热处理工艺曲线，并通过预期的组织和硬度来估计钢的切削加工性。例如，由图1-1-1，55钢10mm圆棒空冷后90%以上为铁素体和珠光体，可以满足绝大多数工艺过程对切削加工性的要求。此外，由图1-1-4可以看出，对于各种尺寸的40CrNi1.6Mo钢，在切削加工之前都需要进行软化处理，因为尺寸小于1000mm的零件，空冷组织的硬度均超过250HV。

<sup>①</sup> 连续冷却转变曲线图的英文名称为：Continuous Cooling Transformation Diagram，通常简称为CCT图。

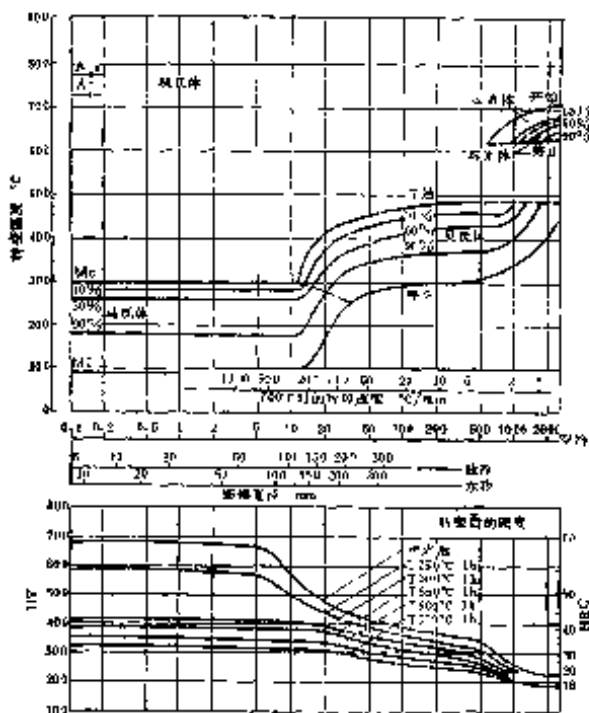


图 1-4 40CrNi1.5Mo 钢的等温连续冷却转变曲线

对于淬火过程，首要的是选择最低淬火冷却速度，以尽可能减小在淬火过程中的变形与开裂。对于形状复杂的零件和变截面体应先估算出其最主要部分的等效直径，即可在图中找出其淬火临界冷却速度。例如，由图 1-4 可知，对于 40CrNi1.5Mo 钢，直径小于 100mm 的任何零件，皆可通过油冷获得马氏体组织，更快的

冷却是无益的。

### 五、注意事项

在这类图的应用中，要注意先行工艺过程的影响，奥氏体晶粒大小的影响，以及奥氏体实际化学成分的影响。当钢中含有强碳化物形成元素并形成未溶碳化物时，或因快速短时升温碳化物来不及溶解时，奥氏体的化学成分与钢的化学成分是不一致的。所以在将CCT图用于奥氏体化条件与轧制条件有差别时，应特别小心。

图中的图不能直接用于感应加热、火焰加热等表面淬火情况。焊接时热影响区的温度短时可达1300~1350℃，在随后的快速冷却过程中，曲线图的形状将发生重大改变。因此，在焊接中，CCT图仅用于对热影响区的Ms点温度的大致估计。

另一个在CCT图中无法表述的重要因素是淬火介质的搅动，无论空气、油、还是水，搅动的作用都很大。搅动程度主要取决于容器的大小和工件的尺寸与形状，实际作用程度只能通过实验测定。然而，如果能够得到一个具体工艺过程的冷却曲线的话，即可通过下一章所述的方法，将其转换成一个相应的圆棒直径，然后就可以通过本书提供的新型连续冷却转变曲线图，对其在冷却过程中的组织转变作出定性与定量地判断了。

## 第2章 新型连续冷却转变曲线图的建立

在研究冷却转变时,大多采用记录试样长度变化的热膨胀法,补以显微组织分析和硬度测量。美国某实验室<sup>[1]</sup>采用了切断端淬试样测量硬度补以显微组织的研究的方法。近来,由于快速冷却膨胀仪和快速电子记录技术的进步,热膨胀分析法得到了重大的发展<sup>[2]</sup>。在实验中,冷却速度范围由小直径圆棒的油淬或水淬扩大到了大截面零件退火后的缓慢冷却。

### 一、实验设备与试样

最新式的热膨胀仪,附有各种现代化的测试仪表、控制与记录装置,以及对试样的加热与冷却装置<sup>[2]</sup>。如图1·2-1~1·2-3。

试样为 $\phi 3 \times 10\text{mm}$ 圆棒,一端之尾部有一个 $\phi 2 \times 2\text{mm}$ 的小孔,用于焊接测量试样温度的热电偶。对试样表面的加工精度要求不高,但上下两个端面必须平行,端面与圆柱体表面必须相互垂直。

### 二、对不同直径圆棒冷却过程的分析

对圆棒冷却过程的研究,包括测量圆棒截面中心处、 $\frac{1}{2}$ 半径处和接近表面处( $0.8R$ 处)的冷却过程并找到它们之间的联系。



图1·2-1 膨胀仪的操纵控制台



图 1-3 和千乐的冷油池和油中用

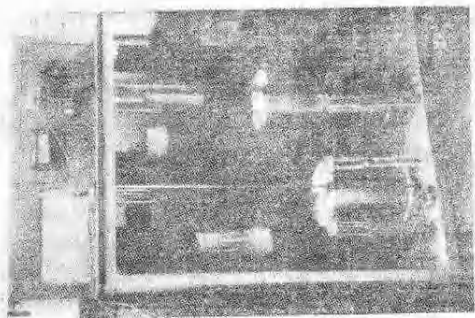


图 1-4 和千乐的冷油池和油中用

