

钢的等温转变曲线

杨克功 编 著

黑龙江人民出版社

钢的等温转变曲线

杨克功 编

黑龙江人民出版社

1981年·哈尔滨

内 容 提 要

本书是关于钢过冷奥氏体等温转变曲线方面的工具类书籍。

本书按我国钢的系列与我国常用的国外钢种，较系统地选编了四百四十余条各类钢的过冷奥氏体等温转变曲线，其中以合金结构钢、工模具钢为重点。此外还扼要地阐述了钢的等温转变曲线的基本概念、影响因素、曲线的测定方法、等温转变与连续冷却转变曲线之间的关系以及应用等。

本书可供金属材料、金相热处理等专业的有关工厂、学校、科研单位的工程技术人员、教师、学生和工人参考。

封面设计：孙锡久

钢的等温转变曲线

杨克功 编

黑 龙 江 人 民 大 学 社 出 版

(哈尔滨市道里森林街42号)

黑龙江新华印刷厂印刷 黑龙江省新华书店发行

开本 787×1092 毫米 1/32 · 印张 17 6/16 插页 3 · 字数 20,000

1981年 3月第1版

1981年 3月第1次印刷

印数 1—1,500

统一书号：15093·59

定 价：1.85 元

前 言

钢的等温转变曲线反映了钢过冷奥氏体在等温转变过程中的温度、时间及组织之间的关系。由等温转变曲线可以定性分析钢的连续冷却转变过程与转变产物(组织)。因此,钢的等温转变曲线在铸、锻、焊及热处理等整个热加工工艺中得到广泛的应用,与热处理工艺的关系尤为密切,是制定热处理工艺的重要依据。

目前我国还没有完整系统的钢的等温转变曲线图册,大部分资料都分散在各文献及书刊中。本书选编了(包括作者测定的在内)四百四十余条等温转变曲线,力图将分散的等温转变曲线按我国钢的系列整理成册,其中以结构钢与工模具钢为重点。在内容与形式上,力求规格统一、简明扼要,直观易懂、归类便查。为了使用方便,编有曲线索引目录及曲线使用说明,并扼要阐述了过冷奥氏体等温转变曲线的基本概念、影响因素、测定方法、等温转变曲线与连续冷却曲线之间的关系及其应用等。

本书由哈尔滨工业大学吴忍畊、石宏懽、崔忠圻同志审校。在搜集、编制过程中,承冶金部钢铁研究院、五机部有关研究所、哈尔滨工业大学、国营和平机器制造厂等单位有关人员的大力帮助,并得到哈尔滨工业大学金属学教研室张吉人同志、国营和平机器制造厂刘江洋同志热情指导,在此一并表示感谢。

由于编者水平不高、能力有限、经验缺乏，书中一定存在不少错误，诚恳希望广大读者批评指正。

一九七九年四月

目 录

一、等温转变曲线的基本概念	(1)
二、影响等温转变曲线的因素	(7)
1. 化学成分的影响	(7)
2. 奥氏体化温度及保温时间的影响	(41)
3. 奥氏体晶粒度的影响	(42)
4. 其他因素的影响	(44)
三、等温转变曲线测定方法简介	(50)
1. 几种测定方法	(50)
2. 钢的临界点经验算法	(52)
四、奥氏体连续冷却转变曲线	(58)
五、等温转变曲线的应用	(62)
六、钢的等温转变曲线图	(67)
附录:	
(一) 主要元素符号对照表	(531)
(二) 符号名称对照表	(532)
(三) 结构钢根据截面尺寸与强度级别选择钢种 参照表	插页
参考文献及资料来源	(535)
钢的等温转变曲线图索引	(542)
1. 碳素结构钢组	(542)
2. 低合金钢组	(542)
3. 合金结构钢组	(543)

4. 弹簧钢组	(548)
5. 轴承钢组	(549)
6. 工模具钢组	(549)
7. 不锈钢耐酸钢组	(552)

一、等温转变曲线的基本概念

一种钢的化学成分确定后，通过不同的热处理方法，可以得到不同的组织与结构，反映为不同的性能。为了合理地使用材料，最大限度地发挥钢材的使用性能，不但要正确选择钢的化学成分，还必须正确制定热处理工艺规范。钢的过冷奥氏体等温转变曲线就是研究钢的性能、合理使用钢材和制定热处理工艺的不可缺少的依据。

钢加热到相变点以上获得奥氏体组织，然后迅速冷却到 A_1 点以下某一温度恒温，使奥氏体向一定的组织状态的转变，称为钢的等温转变。表示这种转变的开始和终了时间以及转变相对数量的曲线，称为等温转变动力学曲线。图 1-1a 是共析碳钢的奥氏体等温转变动力学曲线。对应每一个给定的恒温温度，都可测得该温度下的一条动力学曲线。如将每个温度下的转变起始点和终了点标记在“温度——时间”的坐标图上，并将所有转变起始的各点连结在一起，就得到过冷奥氏体转变开始曲线，连接转变终了各点即为奥氏体转变终了曲线；这两条曲线合起来称为过冷奥氏体等温转变曲线

（如图 1-1b 所示）。它们把图形分割成为三个部分：开始曲线以左的部分称为过冷奥氏体稳定区；终了曲线以右的部分称为奥氏体转变终了部分；两条曲线之间的部分称为奥氏体转变进行部分。在此图中还标有马氏体相变的开始和终了温度 M_s 和 M_z 。

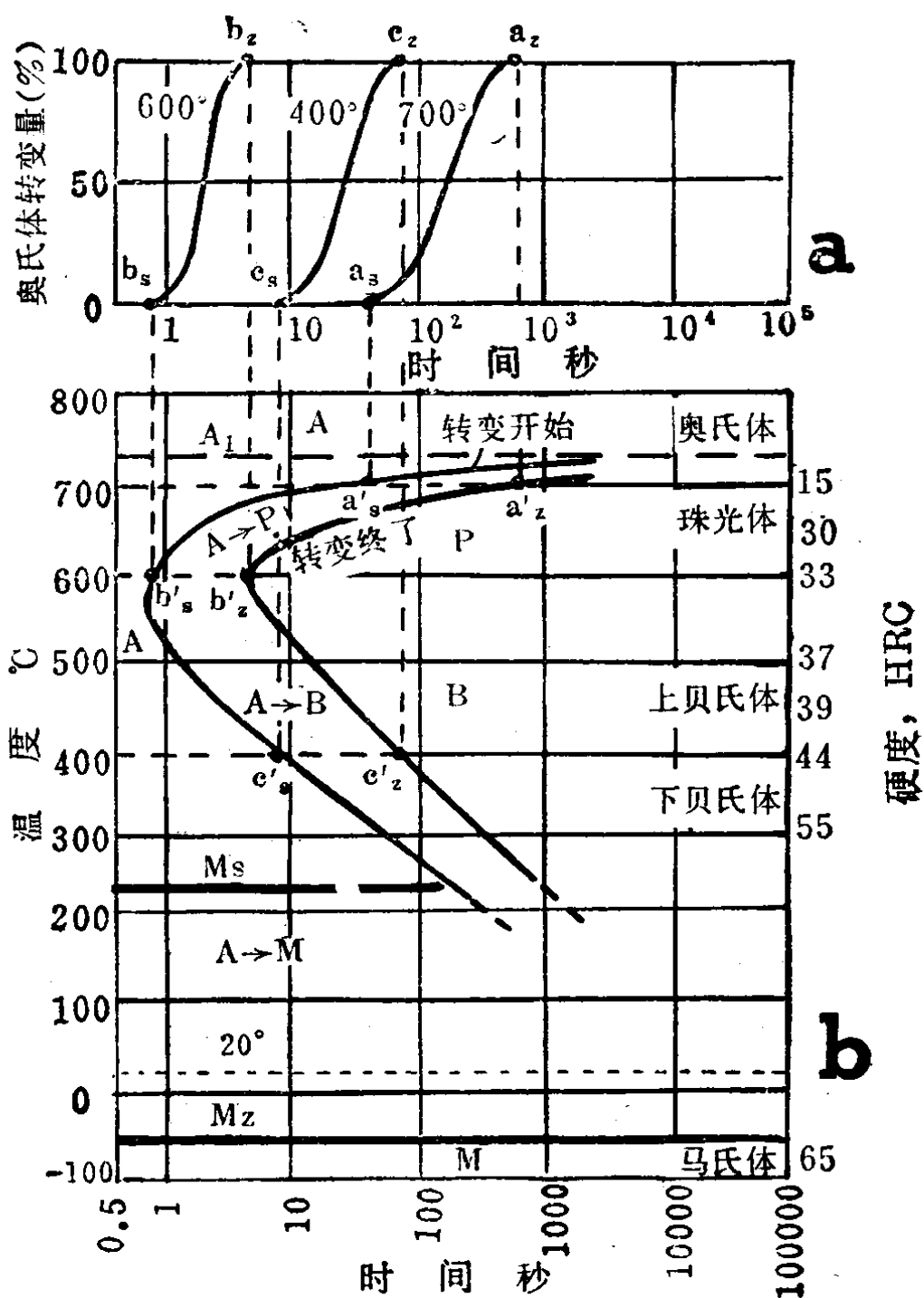


图 1-1 共析碳钢的等温转变曲线图

由于钢的等温转变曲线呈“S”或“C”形，所以人们把它称为“S曲线”或“C曲线”。

共析碳钢等温转变曲线(如图 1-1 所示)的明显特征是，约在 550℃ 时过冷奥氏体发生转变前的孕育期最短，表示奥氏体在此温度下最不稳定。对应这个温度的曲线部分称为“鼻子”。“鼻子”温度以上的曲线所在的区域是高温转变区域，即奥氏体向珠光体型组织转变的区域。转变产物为铁素体与渗碳体的机械混合物，按渗碳体片间距离的大小可分为珠光体、索氏体和屈氏体。“鼻子”温度以下的曲线所在的区域是中温转变区，即奥氏体向贝氏体转变的区域。贝氏体又按生成的温度不同分为上贝氏体和下贝氏体。马氏体转变温度 M_s 点以下的区域称为低温转变区域。这样，钢的等温转变曲线按转变的温度不同又可分为高温转变，中温转变和低温转变三个区域。

对共析碳钢来说，高温转变区域的温度范围一般在 A_1 至 550℃ 之间。珠光体型转变是扩散型相变，经成核和长大使奥氏体分解成铁素体和渗碳体二个相。转变中新相与母相的关系是非共格性的。随着奥氏体过冷度的增加，渗碳体的片间距减小，得到的组织为片间距较粗大的珠光体、片间距细小的索氏体和片间距极细的屈氏体三种组织。

中温转变区域的温度范围约在 550℃ 至 M_s 点之间，其转变的机理及组织、形态都与珠光体有显著区别。贝氏体转变是一种受溶质原子扩散速度控制而基体无扩散并以切变共格型转变的相变。对共析碳钢来说，在 550℃~350℃ 时分解产物呈羽毛状，称为上贝氏体；在 350℃~ M_s 点时分解产物呈

黑色针状，称为下贝氏体。

低温转变区域的温度范围在 M_s 点以下至马氏体转变终止点 M_z 之间。马氏体转变是共格切变非扩散型转变，从形态上看有片状和板条状二种。在含碳量高的钢中可得到片状马氏体，也称孪晶型马氏体；在低碳钢中可得到板条状马氏体，又称位错型马氏体。

不同成分的钢具有不同的等温转变曲线，曲线的形状一般可分为二类：一类具有一个最小稳定区（即一个“鼻子”）；另一类具有二个最小稳定区（即二个“鼻子”）。按等温转变曲线图形状的特点，可归纳为以下几种形式：

(1) 高温与中温转变区域两曲线重叠在一起。其中高、中温转变速度的最大值温度相差不大。碳钢的等温转变曲线都是这种形式（如图 1-2a 所示），但曲线的位置则受碳含量的影响而有所不同。属于这个类型的曲线图，还有钢中含有弱碳化物形成元素、非碳化物形成元素（如 Cu、Ni、Si 等）或极少量强碳化物形成元素（如 Ti、Cr、V、Mo、W 等）的低合金钢的等温转变曲线。

(2) 显示出高温、中温、低温三个转变区域。图 1-2b、d 这类图形是等温转变曲线图中较完善的基本形式大部分合金钢都属于这类图形。如铬钢、铬镍钢、钼钢、钨钢、钒钢、含锰量较高的锰钢、铬锰硅钢等许多合金结构钢具有图 1-2b 的形式。图 1-2d 的图形以合金工具钢居多。

(3) 只有中温与低温转变区域（如图 1-2c 所示）。由于加入的某些合金元素（如钼、钨）对珠光体相变的推迟作用比对贝氏体相变的影响大，因此加入一定数量的钼、钨后，

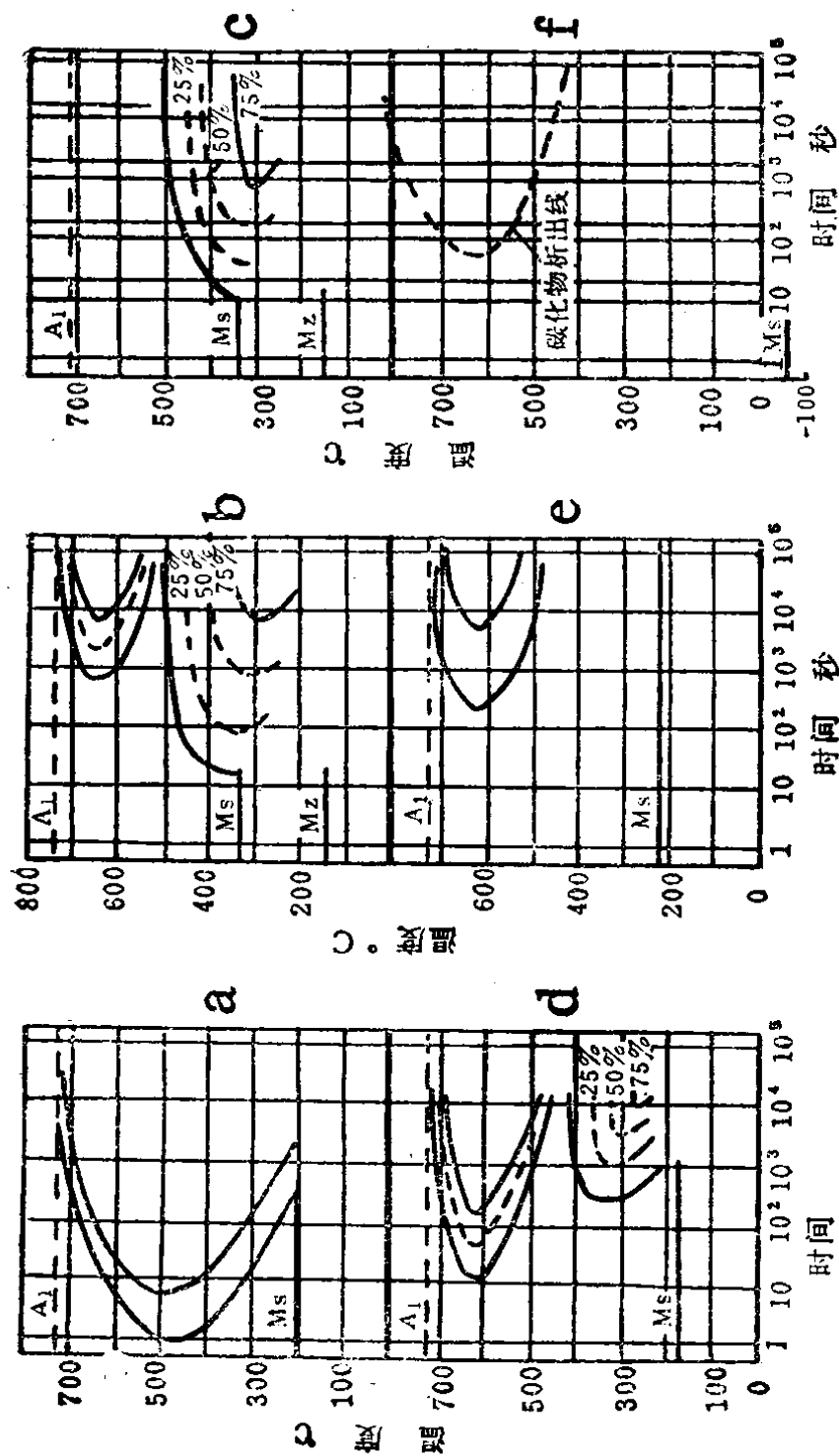


图 1-2 奥氏体等温转变曲线的基本形式

a-碳钢与不含碳化物形成元素的低合金钢； b-合金结构钢；
c-含高 Ni 或 Mn 的多元合金结构钢； d-合金工具钢；
e-高 Cr 钢； f-有碳化物析出的奥氏体钢

将会抑制珠光体相变的进行，使曲线的高温转变区域消失。如 18CrNiMoA, 18CrNiW, 18Cr2Ni4W 等含有较高镍或较高锰的多元素合金结构钢都属于这个类型。

(4) 只有高温和低温转变区域（如图 1-2e 所示）。钢中的有些元素（如铬）对贝氏体相变的推迟作用比对珠光体相变的作用更大，当其含量高时将会抑制贝氏体相变的进行，使曲线只有高温和低温转变区域。如 1Cr13、2Cr13、3Cr13 等高铬钢就属于这种情况。

(5) 只有低温转变区域（如图 1-2f 所示）。这类图形的特点是，当提高奥氏体稳定性的合金元素含量很高时，不但阻止了奥氏体的分解，而且使 M_s 点降至室温以下，即使经过较长时间的保温后，高温与中温转变区域也没有转变产物，只在低温转变区域中发生相变。奥氏体钢等温转变曲线都是这类图形。这类图形的另一个特点是一般都有碳化物析出线。

二、影响等温转变曲线的因素

1. 化学成分的影响

(1) 含碳量的影响

含碳量对等温转变曲线的影响可归纳如下：

①在小于共析成分范围内，含碳量的增加将提高过冷奥氏体的稳定性。但含碳量超过共析成分后则作用相反。因而亚共析钢、共析钢及过共析钢三者相比，共析钢的过冷奥氏体最稳定。图 2-1 中共析钢的等温转变曲线位置在最右边，即可说明。

有人认为_[70]：当钢中含碳量在 0.45~1.0% 时，含碳量对珠光体转变“鼻子”温度没有明显影响；当含碳量小于 0.45% 或大于 1.0% 时，随着含碳量的增加，珠光体“鼻子”温度有所下降（如图 2-2 所示）。

亚共析钢或过共析钢在高温区域等温转变时，首先析出的是铁素体或渗碳体，而后奥氏体才开始转变成珠光体。因此在等温转变曲线上多了一段表示铁素体或渗碳体的析出线。不过一般情况下过共析钢的奥氏体化温度在 A_{c1} 至 A_{cm} 之间，因此不必测定渗碳体（碳化物）的析出线。

②碳能明显地推迟奥氏体向贝氏体的转变，使贝氏体转变区域的曲线向右推移。含碳量越高，影响越大。从铬钢、铬钼钢等温转变曲线中（如图 2-3、2-4 所示）可以看出，随

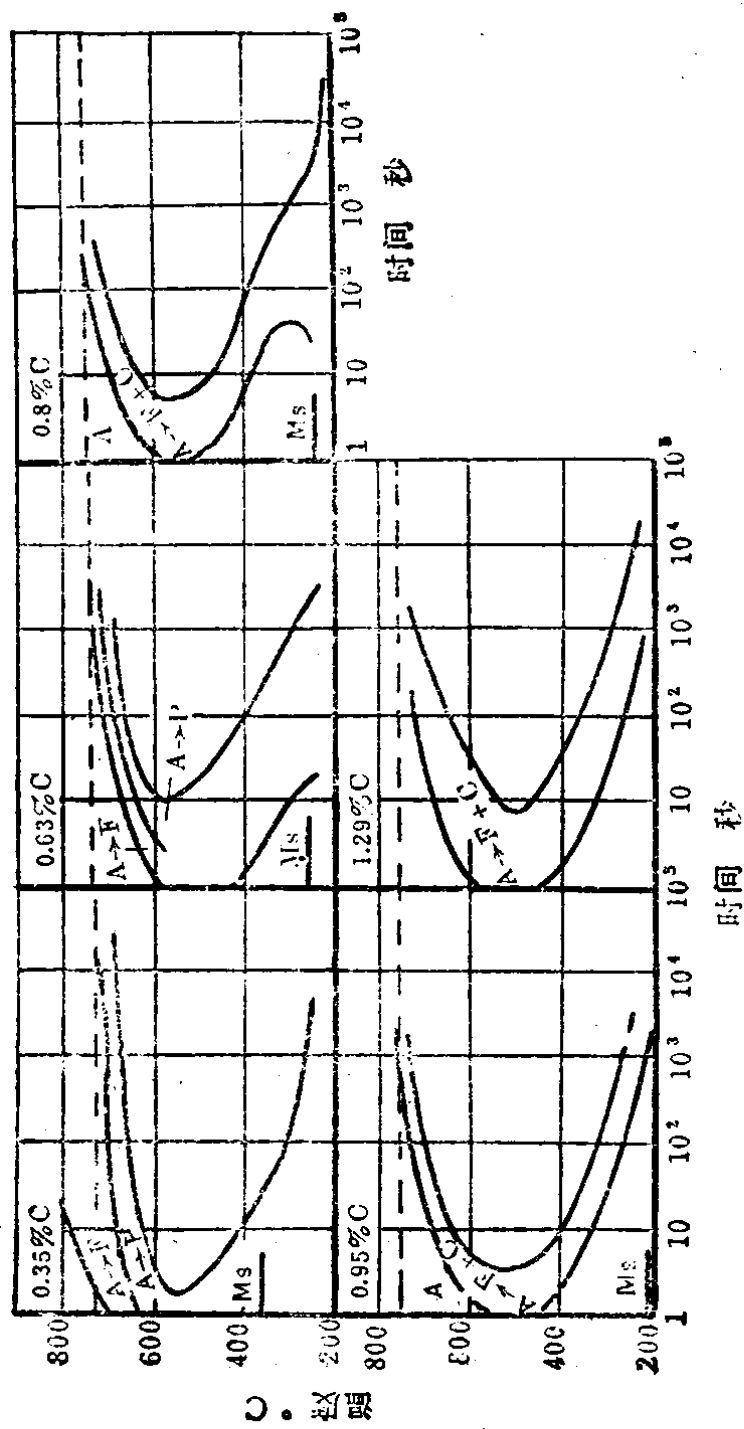


图 2-1 碳对碳钢等温转变曲线的影响

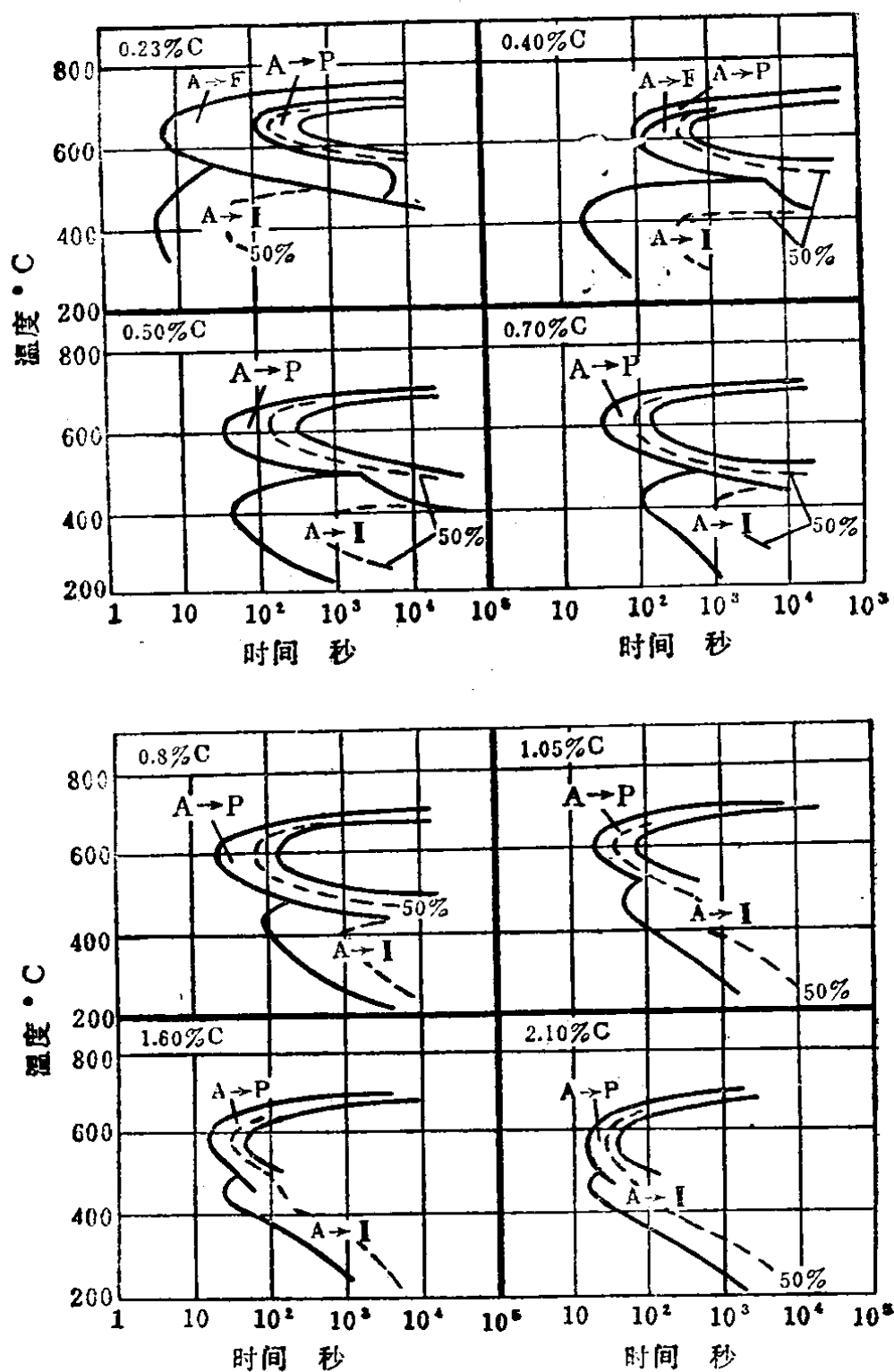


图 2-2 碳对铬锰钢奥氏体等温转变曲线的影响

钢的成分: si 0.37%; Mn 1.13%; Cr 1.17%

加热温度: 870℃

钢	C%	si%	Mn%	Cr%	钢	C%	Si%	Mn%	Cr%
a	0.15	0.12	0.24	2.91	d	0.69	0.12	0.22	3.00
b	0.26	0.23	0.31	3.11	e	1.02	0.35	0.33	2.90
c	0.38	0.18	0.20	2.98	f	1.28	0.37	0.29	2.90

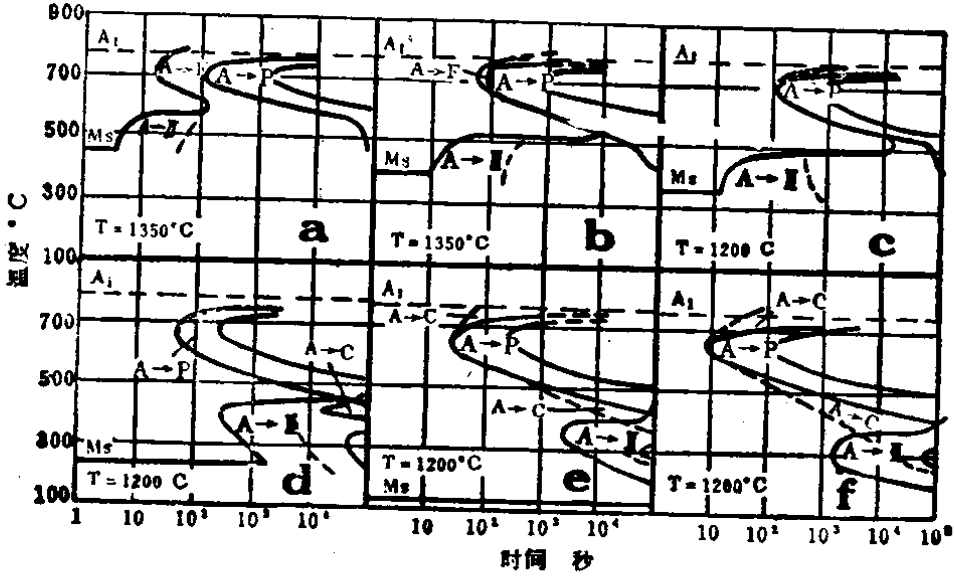


图 2-3 碳对铬钢奥氏体等温转变曲线的影响

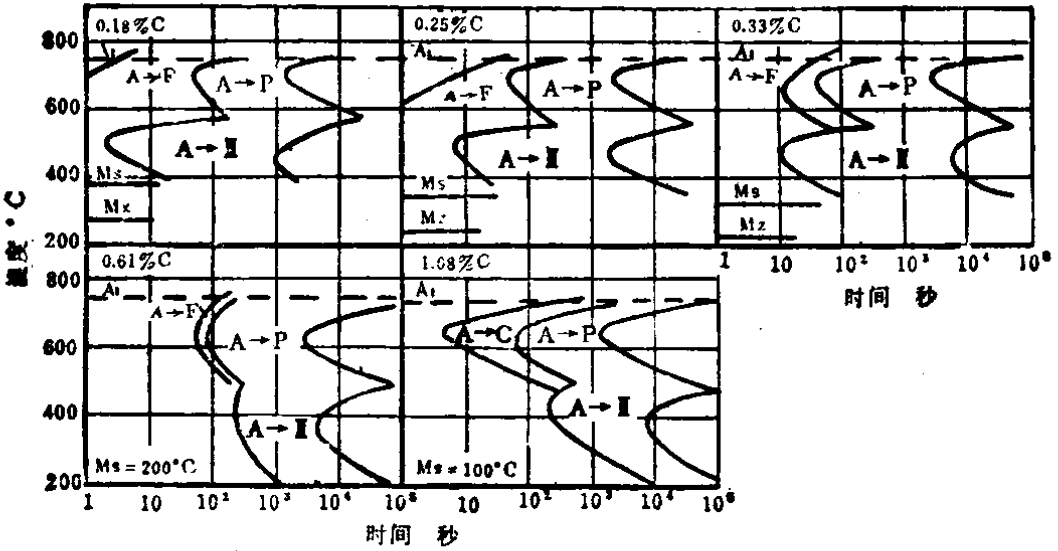


图 2-4 碳对铬钼钢奥氏体等温转变曲线的影响

钢的成分：0.21%Si， 0.62%Mn， 0.81%Cr， 0.08%Ni，
0.27%Mo， 0.003%N， 加热温度：875℃