

高等学校教学用书

鑄 鐵 学

上 册

盖尔紹維奇著



机械工业出版社

高等学校教学用书



鑄 鐵 学
下 册

赵国华、馬 新合译

苏联高等教育部审定为高等技
术学校冶金专业用教学参考书



机械工业出版社

出版者的話

本書內容分四部分：1. 鑄鐵的結晶和組織的形成；2. 鑄鐵的性質；3. 各種鑄鐵件；4. 鑄鐵的熔制。

本書敘述全面，詳細，可作為高等工業學校鑄造專業教學用書，也可供鑄工技術人員參考。

中譯本分上、下兩冊出版。本書為下冊；包括第三和第四部分。

蘇聯 Н. Г. Гиршович 著 ‘Чугунное литье’ (Металлургиздат
1949 年第一版)

NO. 1708

1958 年 6 月第一版 1959 年 4 月第一版第二次印刷

850×1168 $1/32$ 字數 279 千字 印張 10 $14/16$ 4,601—4,900 冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

北京西四印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價(10) 1.60 元

序 言

「鑄鐵學」課程為「鑄造生產」課目的一部分。本課程的任務在於闡明與高質量鑄鐵件的性質和製造條件有關的一些問題。按照教學大綱本課程分為四篇：1) 鑄鐵的結晶和組織的形成；2) 鑄鐵的性質；3) 各種鑄鐵件；4) 鑄鐵的熔化。

本課程是以我國（蘇聯）的一些先進工廠，科學研究院和高等技術學校的主要教研室的現代成就為基礎而構成的。其科學基礎為物理化學、冶金學和金相學的一般原理。本課程內所述及的問題奠基在這些課目以及「鑄造生產」的一般課目的先修部分——「金屬鑄造的理論基礎」和「模型和鑄型的製造」之上。由於這個緣故，在「鑄鐵學」課程中便不再重複在一般課程內已經研究過的已知原理，這些原理只是用來作為鑄鐵鑄造範圍內一些現象的科學根據。

和本課程初版一樣，作者不把灰口鑄鐵和可鍛鑄鐵當作兩種不同的鑄造材料，而根據可鍛鑄鐵僅僅是高質量灰口鑄鐵的一種特殊形態的觀念出發。這一點在最近已完全被獲得球墨鑄鐵方面的發現所証實。

在書中也沒有把從砂型內和金屬型內獲得鑄件的方法對立起來，因為鑄型材料的影響主要是由於冷卻速度的變化。因此只把硬模鑄造當作為獲得高質量鑄件的方法之一。

當分析各種現象的機構以及作它們的估計時，作者企圖在最大程度上利用過程的動力學，作為唯一正確的辯證方法。為了這同一個目的，在任何時候都把各種現象了解為相互聯系着的：鑄件的性質是金屬和鑄型作用的結果；每一元素的影響是因為其他元素和因素存在的關係。這就使各種現象的研究變得稍為複雜，可是從考慮生產實際情況的觀點看來這却是必須的。

書中給出过程計算的原則性的方法，不过在某些情況下由於沒有足夠的數據，計算還只是近似的。這些計算的產生用來作為專門練習的課題。

作者考慮到本專業課程不僅為學生們所利用，並且為科學工作者和生產工程師所採用，故將許多問題詳細化了。對於學生不必須的材料，在書中用小號字標出。

編著本書時作者廣泛地利用了現有的一些豐富的技術文獻。這種文獻是如此之廣闊，以致作者認為引用書目內一切可資利用的書籍是不可能的，故只限於那些具有原則性意義的著作。

承蒙聶亨茲（Ю.А.Нехендзи）教授在制定課程原則性方向方面的共同工作，鮑契瓦爾（А. А. Бочвар）院士，別爾格（П.П.Берг）、布寧（К. П. Бунин）教授，克利沃謝也夫（А. Е. Кривошеев）副教授和其他許多同志在審校原稿時給以寶貴的指示，作者謹致以深切的謝意。

目 次

序言	5
緒論	1

第一篇 鑄鐵內的結晶和組織的形成

第一章 鑄鐵結晶的理論基礎	5
1 結晶的基本参数及其对鑄鐵組織的影响	10
2 鑄鐵金屬基体的結晶	24
3 石墨的結晶（石墨化）	35
4 白口鑄鐵退火时的石墨化和組織形成的过程	54
5 灰口鑄鐵內石墨化和組織形成的过程	58
6 鑄鐵內石墨的形狀和数量的估計	63
第二章 化学成分和其他因素对鑄鐵的結晶和組織的影响	67
1 化学成分的影响	67
2 冷却速度的影响	96
3 液体状态的影响	111
4 热处理的影响	124

第二篇 鑄鐵的性質

第三章 鑄鐵的鑄造性質	130
1 流動性	130
2 收縮	142
3 收縮孔的形成	154
4 应力、扭曲和裂紋的形成	166
5 气体包含物和非金屬包含物的形成	188
6 偏析	203
第四章 鑄鐵的机械性質	207
1 鑄鐵机械性質的特性	209
2 基本組織成分的影响	216
3 基本机械性質之間的关系	228
4 化学成分的影响	241

5 液体状态的影响.....	256
6 热处理的影响.....	264
7 冷却速度、鑄型工藝和其他因素的影响.....	272
8 高温和低温时鑄鉄的机械性質.....	282
第五章 鑄鉄的物理、化学和工藝性質	290
1 加工性.....	290
2 耐磨性.....	294
3 抗蝕性.....	306
4 耐热性和抗長大性.....	314
5 比重和密閉性.....	324
6 熱性質和电性質.....	327
7 磁性.....	336

目 次

第三篇 鑄鐵鑄件

第六章 获得高质量和健全鑄鐵鑄件的原则	343
1 鑄鐵鑄件的一般特点和金属成分的选择	343
2 获得高质量鑄鐵件的方法	355
3 制造鑄鐵鑄件时金属的补给和导入的方法	379
第七章 灰鑄鐵和白鑄鐵鑄件	396
1 普通鑄鐵鑄件	396
2 合金鑄鐵鑄件	420
第八章 激冷鑄鐵鑄件	450
1 获得激冷鑄鐵的一般原理	450
2 軋輥	458
3 火車輪	472
第九章 可鍛鑄鐵鑄件	476
1 获得可鍛鑄鐵的理论基础	478
2 各种可鍛鑄鐵的化学成分和性質	491
3 可鍛鑄鐵的生产特点	499

第四篇 鑄鐵的熔制

第十章 鑄鐵的熔制及过热的理论基础	510
1 鑄鐵用熔爐及其熔制过程	510
2 熔爐中的燃燒过程及其相应的区域	515
3 鑄鐵的过热	528
第十一章 鑄鐵熔制时的成分的变化	541
1 在冲天爐中熔制鑄鐵时各元素的燒損的理论基础	541
2 在冲天爐中熔制的条件下鑄鐵含碳量的变化	544
3 鑄鐵在冲天爐中熔制时含硫量的变化	549
4 用特种鹽类或熔渣来使鉄水脫硫	558

5 在冲天爐中熔制鑄鐵時其他元素的含量的變化	564
6 在他種熔爐中熔制鑄鐵時其成分的變化	568
第十二章 熔制鑄鐵時所用的原料及其配制方法	577
1 金屬爐料	577
2 燃料	588
3 熔劑和耐火材料	599
4 鑄鐵的配料	603
第十三章 熔爐及其熔制狀況	615
1 普通冲天爐的構造	615
2 特種冲天爐的構造	628
3 冲天爐的計算	645
4 冲天爐的熔制規範及其控制	655
5 其他熔爐及它們的熔制規範	673

緒 論

鑄鐵是鐵和其他元素的多元合金，它具有共晶轉變的特征。碳的形态决定着鑄鐵斷面的类型，根据碳的形态，可以將鑄件分成如下几类。

1. 灰口鐵鑄件，在灰口鐵鑄件內，碳主要處於自由狀態，並經常是以片狀石墨形态存在的。

2. 白口鐵鑄件，在白口鐵鑄件內，碳處於化合狀態，是以碳化物形态存在的。

3. 冷硬鑄鐵件，在冷硬鑄鐵件內，一部分截面（外面）由白口鐵組成，而另一部分（內部）是由灰口鐵組成的。

4. 可鍛鑄鐵鑄件。可鍛鑄鐵件是由白口鑄鐵退火而成。在这一种退火过程中，可能發生碳素的氧化和脫除作用（鑄件的脫碳）或者發生碳化物的分解而形成自由碳的圓形包含物（退火碳）。按第一种方法獲得的可鍛鑄鐵具有光亮的断面，故称之为白心可鍛鑄鐵。按第二种方法獲得之可鍛鑄鐵具有暗灰的天鵝絨色的断面，故称之为黑心可鍛鑄鐵。

鑄鐵的特点是具有較低的熔点和良好的鑄造性質。因此它老早就被用來作为一种鑄造材料以制造各种各样的和形狀复雜的鑄件。

許多研究証明，还远在紀元前六世紀，在中國就已經知道灰口鐵和白口鐵鑄件了。在中國由於礦石的天然特性，曾可以煉出含磷較高（7%以下）和熔点較低（約 950° ）的鑄鐵。

在俄國正和在西歐一样，鑄鐵件的生產开始於中世紀。十六世紀華西里三世和伊万雷帝時，鑄造生產才开始在莫斯科，在土拉和卡西尔近郊等处得到廣泛的發展。

从那时起，由於俄國工匠們的頑强劳动和才能，鑄鐵的鑄造生產在我國不断地擴展起來了。在彼得大帝时代，由於烏拉爾冶金工業的發展，俄國在鑄

铁的產額上超过了世界上所有的國家。

随着在烏拉尔（聶維揚斯基，卡緬斯基，阿拉帕也夫斯基，尼日聶塔吉爾斯基等工厂）和奥朗聶茲州（彼得罗夫斯基等工厂）許多工厂的建成，俄國在十八世紀的前二十五年內就已开始向國外輸出鉄和鑄鉄件。現在制造复雜的藝術鑄件的卡斯林斯基工厂，在当时就已經以其薄鑄件而馳名了。

在这一个时期內應該特別提出的是巴塔謝夫（Баташев）的活动，他在奧卡河中游和下游地区建立了許多工厂，並使其產品適應於市場的要求。他在1774年首先建立了專門的鑄造工厂（古謝夫斯基工厂），而在这个工厂內应用着在特別的轉動立式爐（型式簡單的冲天爐）內重熔的鑄造方法。

在我們这里也用独特的方法建造成磚砌的八面立式爐形狀的固定式冲天爐，所以就把它叫做「八面爐」。因此，後來在英國發給維爾金松所謂發明冲天爐的專利权这件事，並不能推翻我國在这方面的毫無疑義的优先地位。

十九世紀初鑄鉄鑄造生產方面的特点是：鑄造車間与鼓風爐車間分开，最后肯定了鑄鉄的重熔；把需要鑄鉄件最多地方（大城市內）的鑄造車間，組織在机器制造厂之內。

除此而外，鑄造車間進行着專業化和机械化。出現了專門的鑄管車間，鑄造可鍛鑄鉄、藝術品鑄件和上釉鑄件等的鑄造車間。

在这些鑄造車間內根据燃料的种类和鑄件的类别用坩堝爐、火焰爐和冲天爐作为熔化設備。例如，鑄造大型零件时需要大量低碳低矽的鑄鉄，那末就採用火焰爐；對於小型鑄件和可鍛鑄鉄則用坩堝爐；其他情况就用冲天爐。冲天爐在当时需要大量燃料因而工作起來不經濟，但以后却漸漸完善起來了。尤其是在十九世紀末聶伊馬伊也尔（К.Ф.Неймайер）在俄國的留勤諾夫斯基工厂和达摩夫（С.А.Дамов）在阿聶日斯基工厂已經採用了冲天爐的預熱送風。

十九世紀中叶，鋼鑄件的生產發展起來。这一点給予鑄鉄鑄造生產領域內的科学探求一个有力的推动，在十九世紀最后的二十五年內确定了用焦炭氧化鉄时矽的作用，研究出碳素，加入合金以及鑄鉄热处理對於鑄鉄性質的影响等。

俄國的技师和学者在許多問題上奠定了基礎並促使鑄造生產科学的發展。十九世紀后半期切爾諾夫（Д.К.Чернов）教授——現代金相學的創始人——在这方面曾進行过最突出的工作。拉符罗夫（А.С.Лавров）和卡拉庫茨基（Н.В.Калакуцкий）在偏析和內应力形成等方面的工作也起很大的作用。

尽管有这一切成就，但是由於生產地区(烏拉尔，西伯利亞)跟机器制造厂离得很远，所以在十九世紀時，鑄鐵鑄造生產的發展是緩慢的。旧俄的鑄造技術並不是在烏拉尔，也不是在西伯利亞得到進展，而是在机器制造的中心完善起來的，机器制造業的中心都建立在較大的城市內，首先是在彼得堡及其近郊。在这些地方曾經建立起許多重熔外來生鐵錠的鑄造工厂。

最古老的鑄造工厂計有：設有火焰爐，年產約 1200 噸鑄件，主要產大砲和砲彈的克郎施塔德斯基工厂；設有冲天爐，年產各種机器零件約 1600 噸的彼得堡工厂；制造战艦零件的依若尔斯基(柯尔品斯基)工厂；設有火焰爐和冲天爐，出產各種鑄鐵件的別尔德工厂等。

二十世紀的鑄造工作者們，利用過去豐富的遺產，繼續改進了自己的工作。俄國學者們〔巴甫洛夫(М.А.Павлов)、巴依柯夫(А.А.Байков)、格魯姆-克爾齊馬伊洛(Е.В.Грум-Гржимайло)、庫爾納柯夫(Н.С.Курнаков)、維托爾佛(Н.М.Витторф)、施廷別格(С.С.Штейнберг)、奧克諾夫(М.Г.Окнов)、鮑契瓦爾(А.М.Бочвар)等〕的勞動在很大程度上促進了這一結果，他們在鐵及其合金的金相學和冶金學的科學上寫下了許多光輝篇幅。俄國的專家們〔克納勃(В.Н.Кнаббе)、葛夫利連柯(А.П.Гавриленко)、叶萬古洛夫(М.Г.Евангулов)等〕也直接地在鑄鐵鑄造生產方面作了許多工作。現在蘇聯科學家們正在廣泛地發展着這些豐富的遺產。

鑄鐵件的主要消費者是机器制造、冶金、建築和國防工業部門。對於這些鑄件的需求究竟有多大，可由下述事實判斷出來：鑄鐵件在机器制造業中的比重約為机器重量的50%，而且在200噸机器制造產品中約占一百萬盧布。目前所生產的鑄件是非常多樣性的，其厚度在2到500公厘之間變動，重由10克到250噸，尺寸由1公分到30公尺。

斯大林五年計劃的年代，鑄造工業表現出特別蓬勃的發展。

目前蘇聯的鑄造生產就其絕對出產量來講已經超過所有的歐洲國家，而就發展速度（經過每一個五年計劃鑄件產量增加一倍）來講也超過了美國。這種發展之所以可能是由於社會主義經濟制度的巨大優越性，它保證了許多強大的、機械化的鑄造工厂得以建成。這些蘇聯工業的巨大工厂就其設備和產額來講已超過資本主義國家

的最好的鑄造工廠。

我國社会主义經濟制度還以最好的方式保證着科學研究院和工廠的共同工作。由於這種巨大的集體工作奠定了鑄造生產的科學基礎，同時在鑄鐵件質與量的發展上也達到了巨大的成就。由於這種結果，才有可能來滿足現存的和每日都在增長着的對於鑄鐵件的技術要求。

在所有合金鑄件的總數中，鑄鐵件佔70~75%以上。各種鑄件價格的平均比率可列舉如下：

鑄件材料	灰口鑄鐵	可鍛鑄鐵	鋼	有色合金
相對成本 (%)	100	130	160	600

鑄鐵是價格最廉的鑄造材料。

為繼續提高鑄件質量和降低成本而鬥爭是蘇聯鑄造工作者最重要的任務。蘇聯機器不僅應該是世界上最好的，還應該是最便宜的。

第一篇 鑄鐵內的結晶和組織的形成

第一章 鑄鐵結晶的理論基礎

關於在平衡条件下合金結晶时所形成的組織成分的基本概念，可由狀態圖得到。對於鑄鐵來說，为了这个目的可利用同时表示出介穩平衡線（Fe-Fe₃C）和穩定平衡線（Fe-C_{Fe}）的二元狀態圖（圖1）。

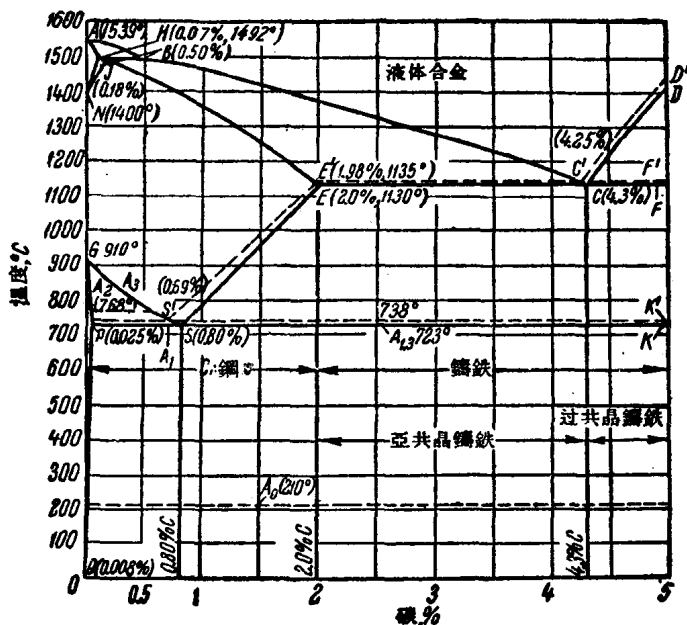


圖1 鐵碳合金的二元狀態圖。

但是，在利用這些狀態圖時必須注意到，合金的真實狀況與平衡狀況是有所區別的。尤其是，鑄鐵通常可按穩定系結晶，也可以

按介稳定系結晶，而相应地形成石墨和滲碳体。應該認識到，平衡圖只是給予我們关于成分的概念，而不能給出关于形成相的形狀的概念，并且也只說明合金的最后形狀而并不涉及到結晶过程的速度和機構，因此就不可能根据状态圖来判断結晶过程的機構。

鑄鐵的結晶与再結晶（初生和次生結晶）过程，在大多数的情況下是扩散的过程，并且受下面两个基本参数控制：

a) 晶芽自生形成的速度 (N_0) 和已成晶芽，或者所謂非自生晶芽的数量 (W)；

6) 这些晶芽長大的綫速度 (V)。

無論在甚么情況下，結晶过程只有在达到一定程度的过冷以后方才进行，虽然在实验上不时常發現过冷，那是由于其值不大或者是只具有局部性質的緣故（在金屬的任何單元体积範圍內）。

过冷的多少在極大程度上是依冷却速度而定，即近似地依鑄件的換算厚度 ($R = \frac{V}{O} = \frac{\text{体积}}{\text{表面面积}}$)，鑄型的热物理常数和金屬的状态而定。

換算厚度与金屬的含热量对冷却表面面积的比值是成正比的，并且在一定程度上，可决定鑄件的冷却速度。当鑄件的長度 (l) 很大时，則其兩端的冷却表面面积与側面比較起来可略而不計。在这种情况下，形狀簡單的鑄件，其換算厚度 (R) 可由鑄件断面面积 (F) 与周界 (u) 之比来决定：

$$R = \frac{V}{O} \cong \frac{Fl}{ul} \cong \frac{F}{u}。$$

例如，直徑为 D 或壁厚为 S 的平板、平方条、圓柱体、和球体等，其換算厚度为：

鑄件形狀	立方体	球体	圓柱体	平方条	平板	空心圓柱体
$R = \frac{V}{O} \text{ 或 } \frac{F}{u}$	$\frac{S}{6}$	$\frac{D}{6}$	$\frac{D}{4}$	$\frac{S}{4}$	$\frac{S}{2}$	$\frac{D-D'}{4} = \frac{S}{2}$

能决定鑄件冷却速度的鑄型的热物理常数有制型材料的导热率、热容量和比重，以及相应的导温性系数和热量积儲系数。將各种鑄型的这些数据加以对比，即能看出，鑄件在金屬型內的冷却速度較在砂型內的冷却速度为大。

鑄型的 材料	導熱率 λ	熱容量 c	比重 d	導溫性 系 數	熱量積 儲係數
	(卡/公分秒°C)	(卡/克°C)	(克/公分 ³)	$\left(\alpha = \frac{\lambda}{dc} \right)$ (公分 ² /秒)	$\left(b = \frac{\lambda}{\sqrt{a}} = \sqrt{\lambda cd} \right)$ (卡/公分 ² 秒 ^{1/2} °C)
鑄鐵	0.12	0.14	7.2	0.120	0.350
制型混 合物	0.0018	0.26	1.7	0.004	0.029

至於金屬的狀態，則決定於已成（非自生）晶芽的數量，而已成晶芽的數量，則在很大的程度上又能決定合金的過冷程度。

鑄件完全凝固的時間（ τ ）可粗略地按下述公式決定：

$$\tau = \frac{R^2}{q^2} \quad (1)$$

式中 R ——鑄件的換算厚度（公分）；

q ——凝固常數（公分/秒^{1/2}）。其值等於在第一個單位時間內凝固層的厚度。●

對於凝固時增長着的固體層厚度而言，這種關係也成立。

$$x = q\sqrt{\tau}, \quad (1a)$$

式中 x ——在時間 τ 內凝固了的金屬層。

這樣一來， q 值在全部凝固過程的期間內是不變的，但是在後期由於已凝固部分的冷卻作用，凝固常數的顯著增加則是例外。

隨着澆注溫度（金屬含熱量）的增加和鑄型導熱率的減少，凝固常數也就減小。因此，對於砂型或預熱過的鑄型，其 q 值就較金

- 除了換算厚度以外，還必須借引用相應的係數 $\tau = K \frac{R^2}{q^2}$ 來考慮其他的因素（鑄件的重量與形狀）。例如，拉賓諾維奇（В. В. Рабинович）曾經指出，換算厚度（ R ）相同的鑄鐵件，其凝固時間隨着鑄件重量的增加而增長，這是因為流入的金屬將鑄型加熱較多的緣故：

鑄件重量（當 $R=1.1$ 公分）（公斤）	2.18	3.60	5.0	7.6	10.0
凝固時間（秒）	410	470	560	560	570

古里亞也夫（В. В. Гуляев）曾把 τ 值分別決定為：板—1.0；圓柱—0.76；球體與立方塊—0.47。

屬型和冷的鑄型為小。根據上述情況，鑄鐵的凝固常數的絕對值在 $q = 0.1 \sim 0.3$ 公分/秒^{1/2} 之間變動。

鑄鐵的第一層凝固薄膜，通常並不是在澆注以後立刻形成，而是在澆注以後經過一些時間後才形成的。正如某些研究所指出的，鑄件愈厚和鑄型的導熱性愈小，則這一中間時間的間隔也就愈大（圖2）。在金屬型內，這種外殼經過1.5~9.0秒以後形成，而在砂型內，這種外殼則要在10~40秒或更多的時間以後形成。

制型混合物的成分對於鑄件的凝固速度也有相當的影響。砂-油混合物能促使鑄件凝固

加快。加入炭粉可以形成隔層，而使凝固減慢。鑄件與鑄型間縫的形成，尤其是在金屬型時，也有此同樣的作用。縫的形成是由於金屬收縮的結果，因而使散熱顯著降低。增加澆注溫度，也就是增加金屬的含熱量（ Q ）或者增加鑄型的預熱，就能夠相應地減低鑄件的凝固速度和在初生結晶過程中鑄鐵的過冷。

鑄件在固體狀態下的溫度變化可以按照下列公式近似地決定出來：

$$t = (t_m - t_\phi) e^{-k\tau}, \quad (2)$$

式中 t_m ——澆注溫度；

t_ϕ ——鑄型的溫度；

τ ——時間；

k ——決定冷卻速度的係數，根據作者的試驗，對於小型鑄鐵件此係數可取做 $k = \frac{0.015}{R}$ 。

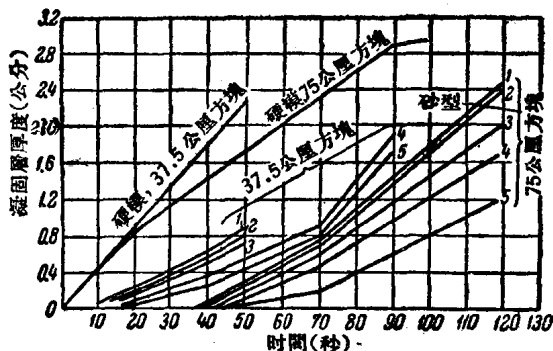


圖2 厚度為37.5和75公厘的鑄鐵件在砂型和金屬型內凝固的動力學：

- 1—砂-油混合物；2—粒度為140~200的制型混合物；
3—同前，粒度為100~200，並含有4.5%炭粉；4—同前，粒度為70~140，並含有2.4%炭粉；5—同前，粒度為40~100，並含有6.5%炭粉。