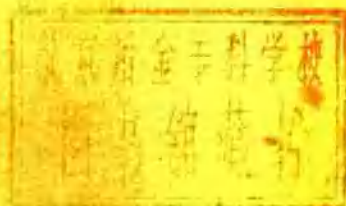


連 續 鑄 管

鞍山鋼鐵公司鑄管廠 編著

內部資料·注意保密



冶金工業出版社

連續鑄管

鞍山鋼鐵公司鑄管廠

內部資料 • 注意保密

讀者注意

本書系內部資料，只供有關部門、人員工作參考，所有材料、數據，未經冶金工業部同意，不得在公開書籍、文章上引用，亦不得翻印。

冶金工業出版社

連續鑄管

鞍山鋼鐵公司鑄管廠 編著

1960年5月第一版 1960年5月 北京第一次印刷 2,525.冊

開本850×1168•1/32•字數43,000•印張 $1\frac{30}{32}$ •插頁5•定價0.40元

統一書號15062•2215 冶金工業出版社印刷廠印 內部發行

冶金工業出版社出版(地址:北京市燈市口甲45號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

鞍山鋼鐵公司鑄管廠全體職工在廠和上級黨委的正確領導下，被除了迷信、解放了思想，從1958年大躍進以來，由於認真地貫徹了干部、工人和工程技術人員三結合的做法，經過多次試驗，終於把世界上最新的鑄管方法——連續鑄管法研究成功。本書系統地介紹了連續鑄管法的理論、設備和工藝，可供全國各鑄造廠學習參考。

目 录

引 言.....	5
第一章 連續鑄管的原理.....	7
第二章 連續鑄管机及其主要部件.....	24
第三章 連續鑄管工艺.....	44
第四章 連續鑄管的質量.....	52
第五章 連續球墨鑄鉄管.....	59

引 言

远在十九世紀中叶，就产生了連續浇鑄鋼錠的想法。这种想法系不用鋼錠模直接从液体鋼获得鋼坯或制成品，可是在实践中这个方法沒有得到实现。

近几十年来，为了从液体有色金屬（如鉛，銅，黃銅等）或鋼直接获得金屬坯或制成品，曾采用一切可能的构造的連續浇注机械，进行了一系列的大量試驗研究工作。近几年来对連續鑄錠已取得丰富經驗，并已投入生产。

关于生鉄連續鑄制成品，約在 20 年前，在苏联已开始进行直接用液体生鉄通过一套輓子鑄制成鉄板或帶形鉄板的試驗，并早已用此种方法进行生产，但对采用連續浇注的方法来鑄制鉄管尙是近几年的事。

鞍山鋼鐵公司鑄管厂曾于 1953 年末，进行过用連續鑄管法来鑄制口径 100 毫米帶承口的上水道用的鑄鉄管的試驗，但由于当时技术条件不够和政治未挂帅，故未繼續进行研究試驗。直到 1958 年，在党和毛澤东同志的正确领导下，在党的建設社会主义的总路綫的光輝照耀下，在我国掀起了轟轟烈烈的技术革命和以鋼为綱全面大跃进的運動期中，鞍鋼鑄管厂职工同全国人民一样，破除了迷信，解放了思想，树立了敢想、敢說、敢干、的共产主义风格。为了提高鑄鉄管生产的劳动生产率，加快社会主义建設和彻底改善劳动环境，在厂党委的直接领导下和党委書記亲自挂帅，积极地进行了連續鑄管的試驗研究工作。在試驗研究过程中，認真地贯彻了干部、工人和工程技术人員三結合的政策，并采取了边試驗、边研究、边改进、边总结的工作方法，从 1958 年 7 月初开始，經過了多次研究試驗，终于把世界上最新的鑄管法——連續鑄管研究成功。現对連續鑄管这项最新技术已取得比較丰富的經驗，并經几个月的試驗性生产的实践証明，連續鑄管

与現用的砂型鑄管比較有下列五个优点：

1. 設備簡單，取消了造型和制泥芯用的复杂設備，厂房占用面积小，只要从連續鑄管机上部澆鉄水，下部就出管。因此建設投資少，速度快，符合多快好省的全面方針。

2. 產量高，鑄管過程簡化和高度機械化、自動化，因此產量比砂型鑄管可翻二至三番。

3. 管子質量好，機械性能高，鑄鉄組織細密，壁厚均勻，內外表面光潔，根本消滅了夾渣、夾砂、夾灰（砂型表面上塗的塗料）和壁厚不均等廢品。同時，耐水压高，以100毫米鑄鉄管為例，能承受水压高达180個大氣压，接近鋼管。

4. 低成本。由于連續鑄管設備簡單，生產工藝過程簡化，不僅取消了造型及制泥芯等复杂工序和所需要的复杂設備与大量的工器具，不需用大量泥砂，人員大大減少，而且設備維護簡易而費用少。

5. 改善了劳动环境和劳动强度，达到文明生产。厂房里粉尘、烟氣得到徹底消除，整个生产操作过程清爽，操作人員輕松而愉快。

此外，連續鑄管法不仅可用来生产各种大小口径的上水道用的鑄鉄直管，而且还可用来生产工业上用的各种管坯及其他等截面的長鑄件以及球墨鑄鉄管和鋼管等。

連續鑄管法研究成功和采用此种方法来生产各种口径的直管，尤其是用来生产大量需要的上水道用鑄鉄管，对加速我国社会主义经济建设具有极其重大的意义。

第一章 連續鑄管的原理

§ 1 連續鑄管的基本原理

連續鑄管的基本原理與連續鑄錠相同；不過連續鑄錠只有一個外結晶器，而連續鑄管除外結晶器外（鑄模），尚有一個內結晶器（水冷的金屬芯子），如圖1所示。圖2表示連續鑄管澆注時的情形。

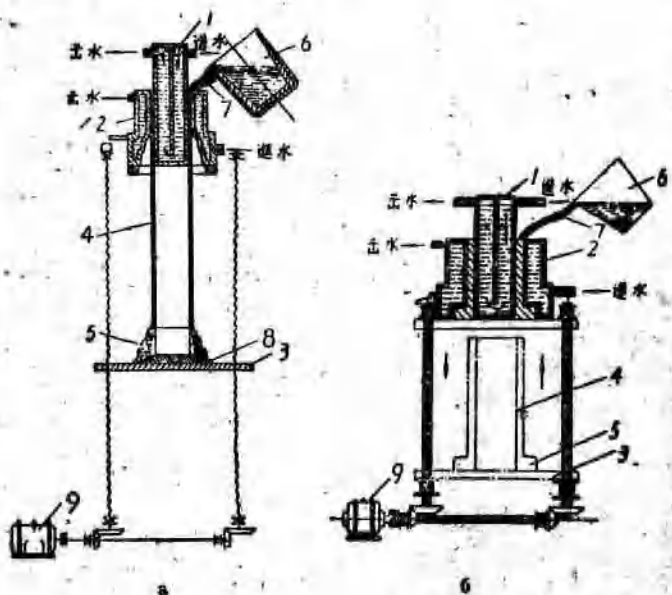


圖 1 連續鑄管示意圖

a—帶承口的水道管；b—端帶法蘭的管坯

1—內結晶器；2—外結晶器；3—升降盤；4—鑄出的管子；

5—管端部；6—鉄水包；7—鉄水流道；8—底座；9—电动机

連續鑄管实际上就是金屬型鑄造的另一种类型。它的基本原

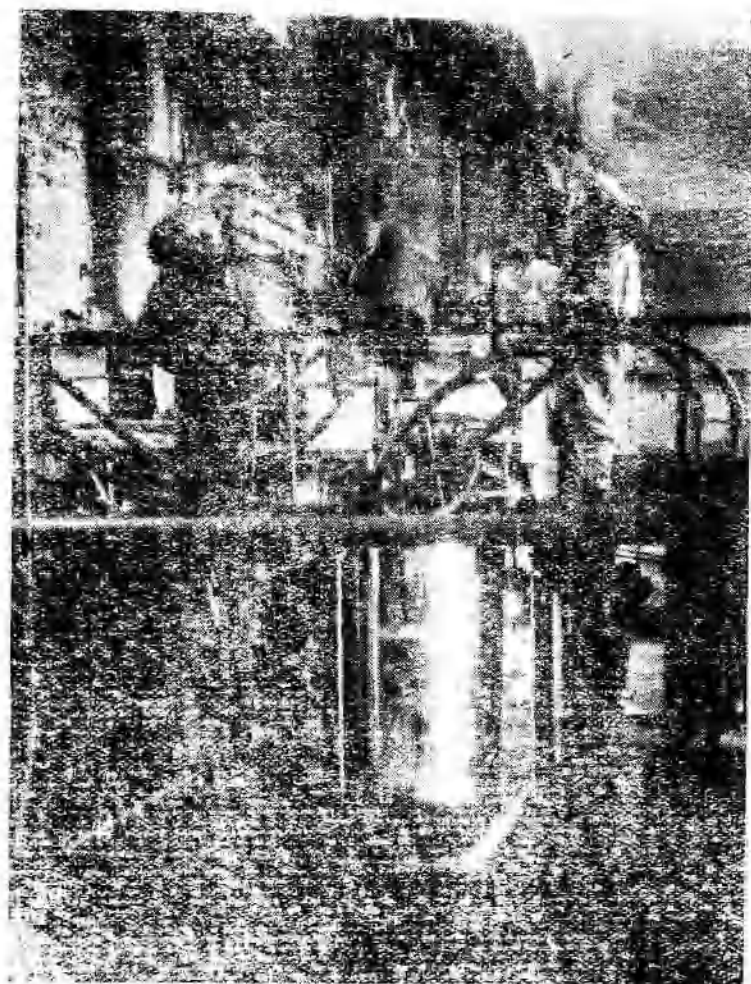


图 2 汽锅滑管绕注时的情形

理是將液体金屬借助浇注系統，均勻地注入外結晶器（2）和內結晶器（1）之間的間隙（管子的壁厚）內，並借助通過外結晶器和內結晶器內的水冷卻，使注入的液体金屬與外結晶器和內結晶器的接觸面間凝固成一层硬壳，而內部金屬尚呈半凝固状态；管子下端與底盘（8）和升降盤（3）緊固在一起，此時借助电动机（9）使升降盤下降時的拉力強使管子與外結晶器和內結晶器脫離（脫模）將管子拉出。同時在結晶器上面通過浇注系統繼續注入液体金屬，同時升降盤繼續下降，使在外結晶器和內結晶器之間凝固的金屬隨着被拉出，鑄成所需要長度的管子或管坯。連續鑄管實際上是浇注一次只能鑄出一根管子或管坯，因此嚴格說此種方法是一種半連續鑄造法。

如何才能使內外結晶器間的金屬順利脫模而不中斷，鑄成所需要的長度，而能保證鑄出的管子的質量，使脫模後的管子（指鑄鐵管而言）有較高的溫度能自行退火，內外表面上不產生白口層，這是連續鑄管要解決的根本問題。

影響管子順利脫模而不中斷，鑄成所需要長度的管子，並能保證管子的質量，有下列7個因素：

1. 脫模的方式，即幫助脫模的方法；
2. 內結晶器和外結晶器的導熱性能，即制作內外結晶器的材質和壁厚；
3. 內外結晶器內冷卻水的溫升，即進水與出水溫度之差；
4. 液体金屬的浇注溫度；
5. 脫模的快慢，即拉管子的拉下速度；
6. 浇注系統，即液体金屬注入的方式；
7. 金屬的化学成份。

上述因素均相互關連，如何配合一致，則須通過技術分析和多次試驗方可掌握它們之間的相互關聯和規律。

§ 2 連續鑄管的金屬結晶和熱交換

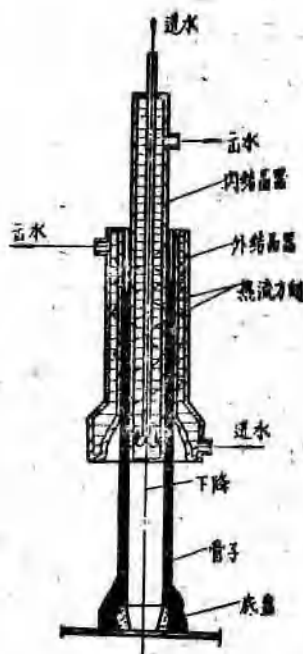
連續鑄管的澆注可分為兩個階段：第一個階段是以液體金屬借助澆注系統，開始注入外結晶器和內結晶器之間的間隙內起，到在結晶器內液體金屬的液面達到一定的高度時，管子開始脫模下降為止；第二個階段是從管子開始脫模下降起，至管子鑄成所需要的長度為止。在第二階段內，注入的液體金屬量是隨管子拉出的速度使外結晶器和內結晶器之間的間隙內的金屬液面保持一定的高度。雖然這兩個階段在澆注速度上和要求的目的上有所不同，但它們具有一個主要的共同點，即注入的液體金屬在結晶器內進行熱交換。液體金屬內的熱量通過結晶器的壁傳導給結晶器內的冷卻水，由冷卻水把熱量帶走，液體金屬就沿着結晶器壁下降逐漸進行結晶而凝固。

不論是第一個階段和第二個階段，連續鑄管的熱交換亦可分為兩個時期；第一個時期是管子未脫模前在結晶器內結晶時的熱交換，在這個時期內的熱交換主要是借助於熱傳導的方式來完成的；即借助於內外結晶器內冷卻水來把熱量帶走；第二個時期是管子脫模後在空氣中冷卻的熱交換，在這個時期內的熱交換，主要是借助於熱輻射和熱對流的方式來完成的。

第一個時期內的熱交換，對連續鑄管起着最主要的作用。在這個時期內的熱交換關係着連續鑄管全部工藝過程。當液體金屬注入外結晶器和內結晶器之間的間隙內時，由於注入的液體金屬的溫度與外結晶器和內結晶器的內外壁的溫度相差很大，則注入的金屬內的熱量主要从兩個方面傳導：一方面通過外結晶器的內壁導熱；另一方面通過內結晶的壁導熱；如圖 3 所示。

由於連續鑄管時一方面管子不斷地由結晶器拉出，同時液體金屬不斷的注入結晶器內，因此在第一時期內的熱交換是非常複雜的。

图 3 連續鑄管第一期的
的导热



在第一个时期内的热交换是液体金属内的热量首先通过金属凝固层，其次通过金属凝固层与外结晶器壁和内结晶器壁間形成的空隙（此空隙是由于空气或瓦斯薄膜或内结晶器本身的强度而形成的），最后通过外结晶器的内壁和内结晶器壁而导入冷却水，由冷却水的流动将热量带走。因此在这个时期内热交换可视为多层圆筒壁的預热的热交换，如图 4 所示。

假设层与层之間接触得很好，不同层相接触的两表面有着同样的温度，并假设連續鑄管的热交换是在稳定状态下进行的，即通过每一层的热量均相等，同时由于連續鑄管的热交换的每层均不太厚，因此可视为多层平壁的导热。按多层平壁的导热原理，則通过每层的热流量为：

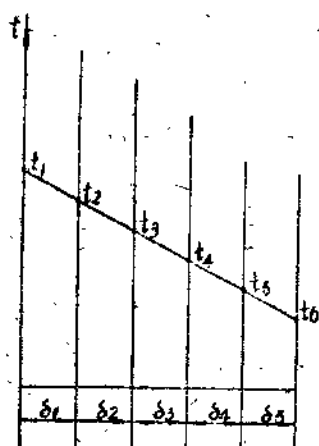


图 4 連續鑄管的热交换

δ_1 —液体金属; δ_2 —金属凝固层;
 δ_3 —空气或瓦斯間隙; δ_4 —內結晶器
 或外結晶器壁厚; δ_5 —冷却水

$$\left. \begin{aligned} q &= -\frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_1 - t_2) \\ q &= -\frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_2 - t_3) \\ q &= -\frac{\lambda_3}{\delta_3} (t_3 - t_4) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} q &= -\frac{\lambda_4}{\delta_4} (t_4 - t_5) \\ q &= -\frac{\lambda_5}{\delta_5} (t_5 - t_6) \end{aligned} \right\}$$

式中 q ——通过每层壁的热流量, $\text{大卡}/\text{米}^2 \cdot \text{小时}$;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ ——相应层的导热系数, $\text{大卡}/\text{米}^2 \cdot \text{小时} \cdot ^\circ\text{C}$;

小时 $\cdot ^\circ\text{C}$;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$ ——相应层的厚度, 米;

$t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ ——相应层内外表面上的温度, $^\circ\text{C}$ 。

若通过每层的热流量 q , 相应层的导热系数 λ , 相应层的厚

度 δ 及 t 为已知数, 则每层表面上的温度就可用下列各式求得:

$$\left. \begin{aligned} t_2 &= t_1 - q \frac{\delta_1}{\lambda_1} \\ t_3 &= t_2 - q \frac{\delta_2}{\lambda_2} = t_1 - q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \\ t_4 &= t_3 - q \frac{\delta_3}{\lambda_3} = t_1 - q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \\ t_5 &= t_4 - q \frac{\delta_4}{\lambda_4} = t_1 - q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right) \\ t_6 &= t_5 - q \frac{\delta_5}{\lambda_5} = t_1 - q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \right) \end{aligned} \right\} (2)$$

若各层的导热系数 λ 、各层的厚度 δ 、及 t_1 和 t_6 为已知数, 则通过各层的热流量可用下式求出:

$$q = \frac{t_1 - t_6}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5}} \quad (3)$$

$$\text{或: } \bar{q} = K (t_1 - t_6)$$

$$\text{而: } K = \frac{1}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5}} \quad (4)$$

式中 K ——各层的总导热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ 。

$$\text{或: } \frac{1}{K} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \quad (5)$$

式中 $\frac{1}{K}$ ——各层的总热阻力, 等于各层热阻力的总和;

$\frac{\delta_1}{\lambda_1}$ ——液体金属的放热阻力;

$\frac{\delta_2}{\lambda_2}$ ——金属凝固层的放热阻力;

$\frac{\delta_3}{\lambda_3}$ ——空氣或瓦斯空隙的放熱阻力；

$\frac{\delta_4}{\lambda_4}$ ——結晶器壁的放熱阻力；

$\frac{\delta_5}{\lambda_5}$ ——冷卻水層的放熱阻力。

在連續鑄管的情況下，一邊系液體金屬熱流体，而另一邊系冷卻水的冷流体。若熱流体一邊的總放熱系數為 α_1 ，而冷流体一邊的總放熱系數為 α_5 ，則液體金屬總放熱阻力 $\frac{\delta_1}{\lambda_1}$ 可用 $\frac{1}{\alpha_1}$

來代替；冷卻水總放熱阻力 $\frac{\delta_5}{\lambda_5}$ 可用 $\frac{1}{\alpha_5}$ 來代替，則公式 (3)

及 (4) 可寫成

$$q = \frac{t_1 - t_5}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_5}} \quad (6)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_5}} \quad (7)$$

从上式可看出通過各層的热量 q 是与液體金屬的溫度 t_1 和結晶器內冷卻水的溫度 t_5 之差成正比，而与各層的總熱阻力 $\frac{1}{K}$ 成反比。各層的總熱阻力取決于液體金屬層的放熱系數 α_1 ，金屬凝固層的厚度 δ_2 和它的導熱系數 λ_2 的比值，空氣或瓦斯空隙的寬度 δ_3 和它的導熱系數 λ_3 的比值，結晶器的壁厚 δ_4 和它的導熱系數 λ_4 的比值，以及冷卻水層的放熱系數 α_5 。同時在連續鑄管的情況下， t_1 、 t_5 、 δ_2 及 δ_3 ，則随着注入結晶器內的液體金屬沿着与結晶器的接觸面向下移动而增減。它們沿着与結晶器的接觸面向下移动而增減的关系尚待探討。

§ 3 連續鑄管熱交換的近似計算法

如上所述，在連續鑄管的情況下，熱交換過程是很複雜的。但在連續鑄管的工藝過程中，管子脫離結晶器時，管壁結晶厚度、管壁表面溫度、金屬在結晶器內所行走的時間（即關係着結晶器的材質和有效高度與管子拉下速度）、冷卻水的溫升和流量，以及金屬澆注溫度等相互關係，具有決定性的作用。它們互相間的關係可用下面的近似計算公式表達出來。下列的近似計算公式是在根據通過結晶器體采平均熱流量的前提下作出的。

結晶器熱平衡微分方程式：

$$q_{cr} \times \Delta S \times dr = \Delta S \times d\delta \times r \times q_{xp}^* \quad (8)$$

式中 ΔS ——在 dr 時間內結晶器的導熱面積；

q_{cr} ——通過結晶器的平均熱流量；

r ——金屬的比重；

q_{xp}^* ——管體金屬發出的結晶熱 (q_{xp}) 和物理熱 (q_{ens})，

即

$$q_{xp}^* = q_{xp} + q_{ens} \text{ 大卡/公斤}$$

$$q_{ens} = 0.5c(t_{na} - t_n) + 0.5c_1(t_{na} - t_{xp})$$

式中 c ——固體金屬接近熔化溫度時的热容量，大卡/公斤；

c_1 ——液體金屬的热容量，大卡/公斤；

t_{na} ——金屬熔化溫度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_n ——管子脫離結晶器時的表面溫度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_{na} ——金屬澆注溫度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_{xp} ——金屬結晶溫度， $^{\circ}\text{C}$ 。

將 (8) 式積分，則得管子脫離結晶器時的結晶厚度 δ 和金屬在結晶器內行走的時間的關係：

$$q_{cr} \int_0^{\delta} dr = r q_{xp}^* \int_0^{\delta} d\delta$$

$$q_{\text{cr}} \tau = r q_{\text{kp}}^{\text{z}} \delta$$

$$\text{或} \quad \delta = \frac{q_{\text{cr}} \tau}{r q_{\text{kp}}^{\text{z}}} \quad (9)$$

如结晶器的有效高度（即在结晶器内液面的高度）为 h （米），管子拉出速度为 v （米/小时），则金属在结晶器内所行走的时间 τ 为

$$\tau = \frac{h}{v} \text{ 小时} \quad (10)$$

将公式 (10) τ 之值代入公式 (9)，则得

$$\delta = \frac{q_{\text{cr}}}{r q_{\text{kp}}^{\text{z}}} \times \frac{h}{v} \quad (11)$$

上式表明管子距结晶器时，管壁内外表面的结晶总厚度 δ ，结晶器有效高度（即液体金属在结晶器内的液面高度） h ，管子拉出速度 v ，和通过结晶器的平均热流量 q_{cr} ，以及管体金属发出的结晶热和物理热 q_{kp}^{z} 与金属的比重 r 的近似的相互关系。

通过结晶器体系的平均热流量 q_{cr} 则可按通过结晶器内冷却水所带走的热量 Q 除以结晶器的有效面积 F （平方米）求得：

$$q_{\text{cr}} = \frac{Q}{F} \text{ 大卡/米}^2 \cdot \text{小时} \quad (12)$$

$$F = \pi (D_1 + D_2) h$$

式中 D_1 ——外结晶器内表面的直径（米）；

D_2 ——内结晶器外表面的直径（米）。

$$Q = C m \tau \Delta t \text{ 大卡/小时} \quad (13)$$

式中 C ——水的热容量，约等于 1 大卡/米³·°C；

m ——小时水耗量，米³/小时；

r ——水的比重，等于 1000 公斤/米³；

Δt ——结晶器内冷却水的温升，即进水温度与出水温度之差，°C。