

热力过程自动调节 装置的计算

M. M. 戈登 著

刘豹 译

冶金工业出版社

热力过程自动调节装置的計算

M.M.戈 登 著

刘 豹 譯

冶金工業出版社

本書敘述了自動裝置某些元件的計算方法及實例，並列舉了最常見的冶金工業熱力過程自動調節網的穩定性計算。穩定性計算是用可以作出調節器最佳調整的近似結論的形式而列出的。書中所提出的計算方法只用代數運算法就能進行。

本書適用於在熱力過程自動化領域內工作而又熟悉儀表及調節器構造的工程技術人員。本書對冶金工業高等學校及中等專業學校中高年級學生也有幫助。

М.М.ГОРДОН

РАСЧЕТЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Металлургиздат (Свердловск—1956)

熱力過程自動調節裝置的計算

編輯：歐陽惠霖

劉豹譯

設計：趙香苓

責任校對：陳一平

1958年2月第一版 1959年1月北京第二次印刷 1,800冊

(累計3,800冊)

850×1168 • 1/32 • 87,528字 • 印張4 $\frac{16}{32}$ • 定價 0,58元

中央民族印刷廠印

新華書店發行

書號 0756

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

目 录

著者的話	6
第一章 调节对象的特性	7
1. 关于调节对象及被调节参数的概念	7
2. 反应曲线	7
3. 对象的放大系数及对象的自动均衡	11
4. 确定反应曲线形状的规律	14
无自动均衡和有自动均衡的(不定和静定)自动调节对象	14
容量、阻力、反应时间	15
多容量对象, 滞后	21
5. 调节对象反应时间的计算实例	24
第二章 自动调节器的特性	26
1. 调节器的一般工作条件	26
2. 差数、差数度、放大系数	28
3. 重定时间(加倍时间), 伺服机全行程时间	31
4. 调节器构造形式的例子	33
喷射式不定压力调节器	33
喷射式静定压力调节器	34
喷射式重定压力调节器	36
第三章 调节网的特性	38
1. 关于调节网的一般概念	38
2. 调节过程	39
3. 反应曲线和传动函数	39
4. 传动函数的相乘	42
5. 调节器的传动函数	45
6. 调节网的传动函数	47
7. 研究调节网传动函数的方法	49
第四章 常見调节网的計算	53
1. 不定调节器用在静定调节对象上	53
2. 静定调节器用在静定调节对象上	55
3. 静定调节器用在不定调节对象上	58
4. 重定调节器用在不定调节对象上	60

5. 重定調節器用在靜定調節對象上	63
第五章 液動伺服機油管的計算	66
1. 伺服機及油管的一般工作條件	66
2. 液動伺服機油管的管徑的計算	68
3. 液動伺服機油管最大長度的計算	70
4. 局部阻力的計算	75
5. 液動伺服機油管的計算程序	78
6. 油管計算實例	79
第六章 自動調節器和測量儀表脈衝導管的計算	87
1. 脈衝導管的一般工作條件	87
2. 確定機械模型的係數	91
確定係數 m	91
確定係數 β	94
確定係數 k	95
3. 確定電力模型的係數	98
確定係數 L	98
確定係數 R	100
確定係數 C	102
4. 在一個自由度的系統中（相當於圖 28 及 30 中機械模型或電力模型的情況）脈衝導管的計算方法	105
5. 在某些並不相當於最簡單的機械模型或電力模型的情況中的計算方法	110
在一根脈衝導管上連接兩個相同的儀表	110
在一根脈衝導管上連接兩個不同的儀表	113
環式差壓計脈衝導管的計算	114
6. 脈衝導管的計算程序	115
具有一個自由度的系統	115
具有兩個自由度的系統	117
7. 脈衝導管的計算實例	119
第七章 自動調節器和測量儀表氣動導管的計算	131
1. 氣動導管的一般工作條件	131
2. 確定氣動導管電力模型的係數	133
確定係數 R_0	133

确定系数 R_1	135
确定系数 C_1	136
确定系数 C_2	136
3. 气动导管的计算方法	137
4. 气动导管的计算程序	137
5. 气动导管的计算实例	139
参考文献	144

热力过程自动调节装置的計算

M.M.戈 登 著

刘 豹 譯

冶金工業出版社

本書敘述了自動裝置某些元件的計算方法及實例，並列舉了最常見的冶金工業熱力過程自動調節網的穩定性計算。穩定性計算是用可以作出調節器最佳調整的近似結論的形式而列出的。書中所提出的計算方法只用代數運算法就能進行。

本書適用於在熱力過程自動化領域內工作而又熟悉儀表及調節器構造的工程技術人員。本書對冶金工業高等學校及中等專業學校中高年級學生也有幫助。

М.М.ГОРДОН

РАСЧЕТЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Металлургиздат (Свердловск—1956)

熱力過程自動調節裝置的計算

編輯：歐陽惠霖

劉豹譯

設計：趙香苓

責任校對：陳一平

1958年2月第一版 1959年1月北京第二次印刷 1,800冊

(累計3,800冊)

850×1168 • 1/32 • 87,528字 • 印張4 $\frac{16}{32}$ • 定價 0,58元

中央民族印刷廠印

新華書店發行

書號 0756

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

目 录

著者的話	6
第一章 调节对象的特性	7
1. 关于调节对象及被调节参数的概念	7
2. 反应曲线	7
3. 对象的放大系数及对象的自动均衡	11
4. 确定反应曲线形状的规律	14
无自动均衡和有自动均衡的(不定和静定)自动调节对象	14
容量、阻力、反应时间	15
多容量对象, 滞后	21
5. 调节对象反应时间的计算实例	24
第二章 自动调节器的特性	26
1. 调节器的一般工作条件	26
2. 差数、差数度、放大系数	28
3. 重定时间(加倍时间), 伺服机全行程时间	31
4. 调节器构造形式的例子	33
喷射式不定压力调节器	33
喷射式静定压力调节器	34
喷射式重定压力调节器	36
第三章 调节网的特性	38
1. 关于调节网的一般概念	38
2. 调节过程	39
3. 反应曲线和传动函数	39
4. 传动函数的相乘	42
5. 调节器的传动函数	45
6. 调节网的传动函数	47
7. 研究调节网传动函数的方法	49
第四章 常見调节网的計算	53
1. 不定调节器用在静定调节对象上	53
2. 静定调节器用在静定调节对象上	55
3. 静定调节器用在不定调节对象上	58
4. 重定调节器用在不定调节对象上	60

5. 重定調節器用在靜定調節對象上	63
第五章 液動伺服機油管的計算	66
1. 伺服機及油管的一般工作條件	66
2. 液動伺服機油管的管徑的計算	68
3. 液動伺服機油管最大長度的計算	70
4. 局部阻力的計算	75
5. 液動伺服機油管的計算程序	78
6. 油管計算實例	79
第六章 自動調節器和測量儀表脈衝導管的計算	87
1. 脈衝導管的一般工作條件	87
2. 確定機械模型的係數	91
確定係數 m	91
確定係數 β	94
確定係數 k	95
3. 確定電力模型的係數	98
確定係數 L	98
確定係數 R	100
確定係數 C	102
4. 在一個自由度的系統中（相當於圖 28 及 30 中機械模型或 電力模型的情況）脈衝導管的計算方法	105
5. 在某些並不相當於最簡單的機械模型或電力模型的 情況中的計算方法	110
在一根脈衝導管上連接兩個相同的儀表	110
在一根脈衝導管上連接兩個不同的儀表	113
環式差壓計脈衝導管的計算	114
6. 脈衝導管的計算程序	115
具有一個自由度的系統	115
具有兩個自由度的系統	117
7. 脈衝導管的計算實例	119
第七章 自動調節器和測量儀表氣動導管的計算	131
1. 氣動導管的一般工作條件	131
2. 確定氣動導管電力模型的係數	133
確定係數 R_0	133

确定系数 R_1	135
确定系数 C_1	136
确定系数 C_2	136
3. 气动导管的计算方法	137
4. 气动导管的计算程序	137
5. 气动导管的计算实例	139
参考文献	144

著者的話

热力过程的自动調节現在已成為冶金工業中不可分割的一部分。

著者在冶金工業的自动化領域內工作多年之後，深信阻碍迅速采用自动学的主要原因之一是低估了理論的作用。

提供給讀者們的這本書，是系統敘述和論証著者在調整、設計、安裝及管理冶金热力过程自动調节裝置時的個人計算經驗的一個嘗試。

讀者們在本書中可見到自动裝置某些元件的近似計算方法，以及自动調节器本身調整計算的方法。

只有在运算時不化費很多時間的簡單計算方法對实际工作才有價值。著者從這個要求出發，在選取本書材料時儘量考慮到使每個熟悉代數方法的讀者都能應用所提出的公式。

很多在实际上很重要的問題，例如測量孔板的計算、凸輪輪緣的計算等等在本書不作說明，因為這些問題在文獻中已有足夠的說明^①。

為了儘可能敘述得更清楚，著者的注意力主要放在說明計算公式的物理意義上，而對於推演它們的嚴格數學證明做得較少，這些證明可以在專業文獻中找到。

本書也不想對讀者提出現時在自动調节理論中應用的全部術語和定義。在書中僅討論著者根據自己的实际工作經驗而認為對生產工作人員有用的東西。

本書的目的在於幫助從事冶金工業热力过程自动化工作的人員，縮小實驗的範圍和時間，激起实际人員對於工程計算的重視。

^① 參閱參考文獻 [1, 2]。（這兩本書的中譯本已由冶金工業出版社出版，書名為：“節流裝置計算”和“平爐自动調节經驗”——編者註。）

第一章 調節对象的特性

1. 關於調節对象及被調節参数的概念

在冶金工厂中經常需要將下列各参数自动保持为恒定值：

(1) 溫度，(2) 压力，(3) 流量，(4) 液面。

調節对象也按上述各种参数而分成溫度調節对象，液面調節对象等等。

需要保持恒定的数值一般都叫做“被調節参数”或“对象的輸出量”。

一般都用改变流入对象的物質流量的方法来保持物質液面的恒定。为保持恒定的溫度，經常要改变送入爐中的燃料量。有时候也用改变冷却介質数量的方法来得到溫度的恒定。例如在某些構造型式的鍋爐中，調節蒸汽溫度就要改变流入蒸汽冷却器中的水量。同样，在保持其他各参数的恒定时，是用改变某一特选数值（物質流量、能量进入量等等）的方法得到的。

在保持被調節参数恒定值时所改变的数值叫做“調節值”或“对象的輸入量”。

为要正确地选取調節器的类型以及正确地調整調節器，很需要了解調節值的变动對於被調節参数作用得多快以及在什么範圍中作用。

2. 反应曲綫

調節值（輸入量）和被調節参数（輸出量）間之关系用所謂反应曲綫或过渡傳动函数来表示是最方便的。

反应曲綫是用实验方法在切断調節器时从調節对象上取得的。曲綫示明在調節值瞬时波形变动后，被調節参数是怎样变动的。

例如，蒸汽鍋爐的水鼓作为液面調節对象时的反应曲綫就可

按下列方法取得。

在蒸汽流量恒定时，給水流量在一定時間內被保持得等於蒸汽的流量。水位在这时保持不变。此后，推动給水閥使水的流量迅速改变，並保持它的新流量值不变，而这时蒸汽流量仍旧如前（鍋爐負載不变）。液面开始上升並得到像圖 1 所示 那样的曲綫。这根曲綫的特征如下。

在水的流量改变后（即 t 时后），液面以某一速度开始变动，而且並不趋向一个新的平稳值。水的流量及蒸汽流量在实际上和液面並無关系。

因此，在水的流量改变了，而且不等於蒸汽流量以后，液面將变动到使水鼓全部充滿或全部洩空为止。用像圖 1 所示的反应曲綫表示特性的調节对象叫做無自动均衡对象或不定对象。

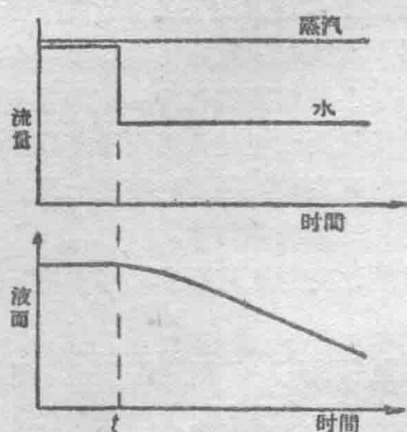


圖 1 蒸汽鍋爐的水鼓作为液面調节对象时的反应曲綫
無自动均衡的对象（不定对象）

在必須測取溫度調节对象（例如灶式爐）的反应曲綫时，可按下述方法进行。

在金屬通过爐中的速度以及燃料的流量恒定时，等到溫度达到平稳值。此后急速地改变燃料及空气的流量，即改变送入爐中的热量。金屬通过速度（爐的負載）在这时仍旧保持不变。

溫度开始变动，就得到像圖 2 所示的曲綫。由此可見，在这里溫度在热量进入量减小后的变化是趋向於新的平稳值的。这是由於当溫度降低时热損失也减小，因而限制了溫度的下降。

圖 2 曲綫所表示的对象叫做自动均衡对象或靜定对象。

測取反应曲綫是确定調节对象参数的一个很重要的实验方法。在測取这根曲綫时必须遵守一定的規程，以得到对实际有用

的結果。

調節值的变化值有重大意义。

在着手測取曲線之前，需要研究在給定对象上最常見的被調節参数的变化。在實驗時应当造成参数的变化，例如使参数变化值相当於对象中被調節参数的平均扰动值。（只有在絕對綫性的对象上在實驗时候的扰动值才沒有重要关系，在所有別的情况下，測取到的对象参数和扰动值有关）。

此外，極重要的是要在無其他变动因素影响的条件下进行實驗。例如在測取作为液面調節对象的蒸汽鍋爐水鼓的反应曲線時，必須使水鼓中蒸汽压力在實驗期中保持不变。不然的

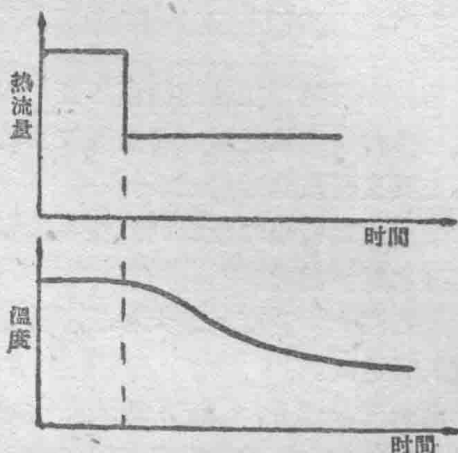


圖 2 灶式爐作为溫度調節对象时的反应曲線
自动均衡对象（靜定对象）

話，液面不但將因为蒸汽流量与水流量間失却平衡而改变，也將由於蒸發面下蒸汽泡体积的改变而变动，這將完全歪曲測取的結果。

在測取作为溫度調節对象的灶式爐的反应曲線時，开啓爐門也將完全歪曲測取結果。

我們在以后可以知道，分析反应曲線就可以确定計算穩定調節过程所必需的对象全部特性。但是測取反应曲線並不是闡明我們所要的特性的唯一方法。用所謂振幅頻率特性曲線也可以闡明这些特性。我們以液面及溫度調節的例子來說明它的物理意义。

假設在蒸汽流量恒定时，进入蒸汽鍋爐的供水量从 0 到 100% 作週期性（正弦）变动。這可以适当地推动給水閥門来做到。在这時液面也將週期性地变动，而液面变动振幅是最大可能变动

值的百分之几。如果在恒定振幅下改变水流量的振幅频率，那末液面波动振幅将不是常数值。一般在频率增大时，液面波动振幅就减小。液面波动振幅和频率间的关系就叫做水鼓作为液面调节对象时的振幅频率特性曲线。

我们来研究温度调节对象上的这种关系，假设在金属通过灶式炉的速度不变时使燃料流量作正弦变化（空气流量同时也成比例变动）。

假设燃料流量变动的振幅不变，而其频率有改变。这时炉中温度也将作周期性变动，而温度波动的振幅在燃料流量振荡频率增加及其振幅恒定时将减小。

温度波动振幅和频率间的关系就是作为温度调节对象的炉的振幅频率特性曲线。

应当注意，温度的最大和最小值并不和燃料流量的最大和最小值同时达到。

在蒸汽锅炉上，液面的最大值在时间上也并不恰好和水流量的最大值相符合。这就表明在被调节参数振荡和调节值振荡之间有相位差。

相位差和振荡频率间的关系就是对象的相位频率特性曲线。

一起取得的振幅频率特性曲线和相位频率特性曲线完全确定了对象的所有特性，这些特性从自动调节观点看来是很重要的。以上面所提的特性曲线为基础，也可以像以反应曲线为基础那样来确定调节对象的特性。

知道了对象的反应曲线，就可以不用再做额外的实验而以图解或计算的方法将它化到频率特性曲线。反之，知道了频率特性曲线，也可确定反应曲线。

由此可见，用哪一种特性曲线来求对象特性更好只有从实际考虑才能确定。

上述材料的证明可以在文献〔3〕中找到。

基于测取频率特性曲线的计算方法是首先在电子仪器的研究中得到发展的。事实上，在实验室条件下测取这些仪器的频率特

性曲綫一点也不复杂。

但要在冶金工業的对象（爐、鍋爐等等）上創造實驗室条件是困难的，严格地說，在实际对象上是不可能的，而要将这些对象模型化則很复杂。在另一方面，在实际对象上造成被調节参数的正弦振盪一般說是不希望的，因为要避免破坏工艺过程。

而在測取反应曲綫时却只要將輸入量作瞬时变动。輸入量不大的变动，一般地說，对工艺过程只有很小的影响。由此可見，在冶金自动調节对象上測取反应曲綫的方法是更好的。

3. 对象的放大系数及对象的自动均衡

为了有可能比較各种不同的調节对象，也为了今后計算的方便起見，輸入量和輸出量应当不用絕對單位（ $^{\circ}\text{C}$ 、毫米水柱、 $\text{米}^3/\text{时}$ 等）而以某一常数值值的百分率表示。这些常数值最好是用这些数值中最大的可能变化来充任。

例如，在鍋爐水鼓中水位允許变化为 ± 50 毫米时，蒸汽鍋爐中水流量可以在 $0-200$ 吨/时 限度內变动。这时輸入量的变化將以 200 吨/时的百分率表示，而輸出量則以 100 毫米的百分率表示。

如果溫度調节对象是灶式爐，那就以下述方法进行。

設在自动控制时流入爐中的气态燃料流量可在 1000 到 8000 $\text{米}^3/\text{时}$ 的限度內变动。輸入量的变化在这时就以 $8000-1000=7000$ $\text{米}^3/\text{时}$ 的百分率表示。

我們也可相应地确定輸出量的变动限度。例如气体流量 1000 $\text{米}^3/\text{时}$ 对应着溫度的平穩值 300°C ，而气体流量 8000 $\text{米}^3/\text{时}$ 則对应着溫度的平穩值 1500°C 。这时輸出量的变化以 $1500-300=1200$ $^{\circ}\text{C}$ 的百分率表示。

註：在气体流量的極限值下測取溫度的平穩值一般都很困难。因此，較方便的是在爐子正常工作下常有的兩個气体流量下确定平穩溫度，而極限溫度則可認為在气体流量和平穩溫度間有着綫性关系而以測取到的数值来求得。（这就是所謂对象的綫性化）。