

绪 论

随着近代科学技术的进步，在工业、农业和国防的现代化中，自动调节和控制技术的发展和广泛应用起着十分重要的作用。

所谓自动调节，就是在人不直接参与的情况下，利用自动调节装置使得被调节对象或过程的被调量能精确地按照预期的规律运行。在工业生产过程中，如炼钢炉的温度调节，汽轮发电机组的转速调节，锅炉设备的蒸汽压力调节，机床的程序控制，以及导弹的自动跟踪和人造卫星按规定的轨道运行等，都是自动调节和控制技术广泛运用的丰硕成果。

自动控制原理是自动调节和控制技术的理论基础。科学技术的迅速进步促进了自动调节和控制技术理论的不不断发展。根据自动调节和控制技术发展的不同阶段，自动控制原理目前存在“经典自动调节理论”和“近代控制理论”两个部分。经典自动调节理论作为一门学科，它的研究对象是自动调节系统。

对自动调节系统的研究，中心是要解决两个方面的问题：(1)已知现成的自动调节系统，研究该系统能否满足工程上提出的稳定性能和动态品质的规定指标，这是自动调节系统的分析问题；(2)已知对自动调节系统提出的性能指标，研究如何设计系统和设计出来的系统能否满足工程上提出的各种性能指标，这是自动调节系统的综合问题。总之，自动

调节理论是研究和解决自动调节系统的分析和综合问题，或精度问题。

经典自动调节理论发展较早，也较成熟。在工程上这个理论已能比较满意地用来研究单输入-单输出-类线性自动调节系统的分析和综合问题。近代控制理论是从60年代开始，由于宇航事业的突飞猛进，在经典自动调节理论的基础上迅速发展起来的。在工程上它主要用来研究多输入-多输出系统、时变系统、非线性系统，以及高精度控制系统的分析和综合问题。

无论是自动调节理论，还是近代控制理论，它们能否有效地得到应用和发展都与采用怎样的计算工具和方法有密切的关系。近年来，由于电子技术和计算数学的不断发展，以及电子计算机日益广泛的运用，使得自动控制原理的有效运用插上了强劲的翅膀，在分析研究自动调节系统中，不仅减少了繁重的人工劳动，迅速、精确地为分析和综合系统输送大量可靠的必要数据和资料，而且为人们提供了一个构成系统数学模型的新概念，这就是：如果有必要的话，可以用十几个、几十个、甚至更多较过去更为真实的数学模型来描述一个系统，而不是用数量有限的几个数学表达式对系统作近似的描述，使得理论分析或综合的结果更能精确地接近实际的系统。

为了充分运用数字计算机这个有力的工具，根据经典自动调节理论提供的有关方法，对线性自动调节系统动态性能进行分析和研究，这就是我们编写这本书的主要出发点。

本书将着重介绍数字计算机在分析研究线性自动调节系统动态性能中的应用，具体地说，就是介绍所提供的有关计

算机程序在分析研究线性自动调节系统的功能及其使用。为使读者对计算机程序的理论根据和分析方法有一个清晰的理解，在本书的开头，我们将扼要地叙述经典自动调节理论中用来描述自动调节系统动态性能数学模型的形式，以及线性系统动态性能的内容和主要的分析研究的方法。

这里介绍的程序是用BASIC语言编写而成的。包括：解特征方程根的程序；计算劳斯稳定性判据的程序；频率特性的程序；以微分方程组为基础的数字仿真程序；以传递函数为基础的数字仿真程序；以及时域和频域的绘图程序。这些程序都是作者近几年来在汽轮机自动调节系统动态特性方面的教学和科研工作中经反复验证和相互校对而成的。前三个程序完全可以应用于对任何自动调节系统动态性能的分析 and 综合；两个数字仿真程序原则上也可以应用于任何自动调节系统动态性能分析和综合。绘图程序可能对不同类型的数字计算机有所不同，但可以作为参考。两个数字仿真程序只要作适当的补充，就可以用来计算系统非线性问题，有关这一方面的问题，我们准备作专门介绍。

这些程序虽经调试，并经过实际课题反复验证，但在广泛的使用中，难免还可能出现这样或那样的问题。同时，随着计算机日益广泛的应用，新的计算方法还会不断产生，这里提供的程序不一定是完善的，希望读者在使用过程中继续改正和创新。

如果说这个专著在一定范围内对从事自动调节技术的读者在解决自动调节系统分析和综合问题的工作中有所帮助的话，我们便感到万分荣幸。

目 录

绪论

第一章 调节系统的数学模型 (1)

§ 1-1 引言 (1)

§ 1-2 微分方程 (2)

(一) 一阶微分方程组 (3)

(二) 总体微分方程 (7)

§ 1-3 传递函数 (13)

(一) 典型环节的传递函数 (14)

(二) 系统的传递函数 (16)

§ 1-4 频率响应函数 (23)

(一) 典型环节的频率响应函数 (26)

(二) 系统开环频率响应函数 (26)

(三) 系统闭环频率响应函数 (28)

第二章 线性系统动态性能分析研究的方法 (30)

§ 2-1 引言 (30)

§ 2-2 稳定系统和不稳定系统 (31)

§ 2-3 系统稳定性的时域分析法 (32)

(一) 稳定性的数学条件 (32)

(二) 特征方程根的分析法 (33)

(三) 劳斯判据 (37)

(四) 微分方程的直接求解法 (39)

§ 2-4 系统稳定性的频域分析法·····	()
(一)频率特性的图解表示·····	(40)
(二)典型环节的频率特性·····	(41)
(三)系统开环频率特性·····	(41)
(四)稳定性判据·····	(46)
§ 2-5 动态品质评价指标·····	(52)
第三章 分析研究系统动态性能的程序 ·····	(57)
§ 3-1 引言·····	(57)
§ 3-2 求解特征方程根的程序·····	(58)
§ 3-3 劳斯稳定性判据的程序·····	(95)
§ 3-4 频率特性的程序·····	(117)
§ 3-5 以微分方程组为基础的数字仿真程序·····	(131)
§ 3-6 以传递函数为基础的数字仿真程序·····	(158)
§ 3-7 绘图程序·····	(188)
第四章 程序的应用 ·····	(197)
§ 4-1 求解特征方程根的程序的应用·····	(197)
§ 4-2 劳斯稳定性判据程序的应用·····	(214)
§ 4-3 频率特性程序及其绘图程序的应用·····	(223)
§ 4-4 以微分方程组为基础的数字仿真程序 和绘制瞬态响应程序的应用·····	(235)
§ 4-5 以传递函数为基础的数字仿真程序 的应用·····	(244)

第一章 调节系统的数字模型

§ 1-1 引言

自动调节系统是一种动力学系统。通常，它是以闭环反馈形式和“检测偏差，纠正偏差”原则进行工作的。其原理图如图1-1所示。

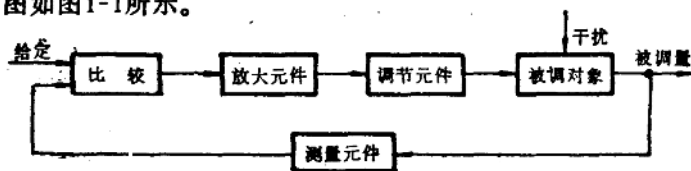


图 1-1 自动调节系统原理方框图

一般地说，一个自动调节系统至少必须由测量元件（或敏感元件）、放大元件（或执行机构）、调节元件和被调对象等四个最基本的元件组成，缺一不可。在自动调节系统中，人们把测量元件、放大元件和调节元件的组合称为自动调节装置，简称调节装置。由此可见，自动调节系统是调节装置和被调对象的总称。任何自动调节系统的复杂程度都是由调节装置的复杂程度和被调对象的复杂程度综合决定的。

一个自动调节系统，不论它是机械的、电气的、液压的、气动的，还是化工的、热工的，当它对某个被调物理量执行既定的控制任务时，这个系统随即产生某种形式的运

动，在达到稳态以前，系统将一直处于动态过程，或在瞬态响应状态下工作。

系统的动态行为可以由构成自动调节系统的各个元件（或环节），根据它们各自遵循的物理学定律，如牛顿定律、能量守恒定律、物质不灭定律，以及其它物理定律，用适当的数学表达式来加以描述。数学表达式正是反映了系统的输入和输出，以及内部各参变量之间的内在联系和相互关系。

通常，人们把描述各个元件或系统动态行为的数学表达式称为元件或系统的数学模型。因此，建立元件及系统的数学模型是分析研究自动调节系统动态过程的前提。由于系统的数学模型关系到对整个系统的分析研究，因此，建立合理的数学模型，一般应根据系统的实际结构及计算所要求的精度，略去次要因素，使得数学模型既能准确地反映系统的动态本质，又能简化分析计算的工作。当元件或系统数学模型建立起来之后，就可以采用经典自动调节理论对系统进行分析 and 综合。以及利用计算机进行系统仿真和计算。

由于分析研究方法的不同，用来描述系统的数学模型可以采用各种不同的形式，如微分方程形式，传递函数形式，频率响应函数形式等等，但是，微分方程形式是描述系统运动状态最基本的数学模型。

下面我们对各种形式的数学模型进行扼要的介绍，出发点在于应用，而不在于推导和证明。

§ 1-2 微分方程

我们已经知道，任何一种自动调节系统都是由互相配合

且具有各自功能的一定数量的元件所构成，以实现某个被调物理量的控制，使其动态特性符合特定的变化规律，并能达到规定的性能指标。

事实上，人们常常是依据基本的物理学规律，推导出反映各个元件和系统在动态过程中输入量和输出量之间内在关系的微分方程(包括代数方程)，用来描述系统的动态特性。

描述系统的微分方程有两种形式：一种是一阶微分方程组的形式；一种是总体(或高阶)微分方程的形式。

(一) 一阶微分方程组

通常，描述系统动态特性可以用一阶线性微分方程组来表示，它的一般格式可以写成：

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_1}{dt} &= F(t, X_1, X_2, \dots, X_n) \\ \frac{dX_2}{dt} &= F(t, X_1, X_2, \dots, X_n) \\ \frac{dX_n}{dt} &= F(t, X_1, X_2, \dots, X_n) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中： $X_i (i=1, 2, \dots, n)$ 代表各个元件的不同物理量或参变量，它们都是时间的函数， t 为时间参变量。譬如说，对于第一个元件(或环节)而言， X_1 为输出量，而其它参变量均为输入量；对于第二个元件而言， X_2 为输出量，而其它参变量均为输入量，其余类推。

如果初始条件 $X_i(0)$ 为已知，则可以根据微分方程论求解这个微分方程组，从而可以得到在动态过程中参变量随时间变化的瞬态响应特性(或过渡过程特性)。

下面举一个实际的例子。某一汽轮发电机组速度调节系统如图1-2所示。在这个系统中，被调对象是汽轮发电机组，

调节装置是由调速器(敏感元件)、断流式滑阀和油动机(放大元件)、以及蒸汽调节阀门(调节元件)组成。在建立数学模型时,作为被调对象——汽轮发电机组,如果略去不计调

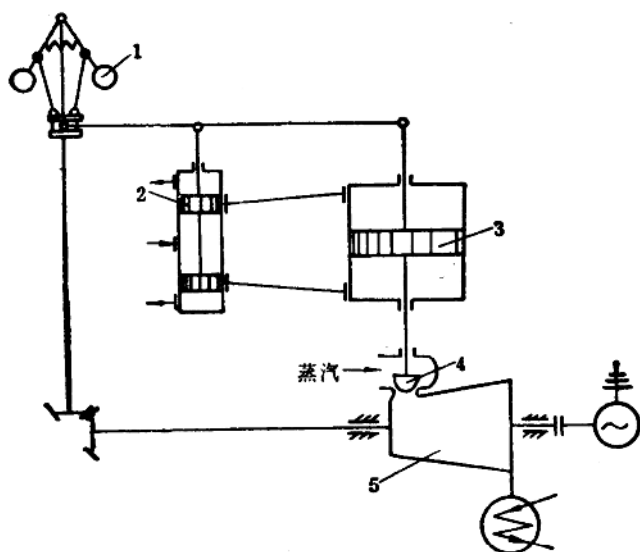


图 1-2 汽轮发电机组速度调节系统

1.调速器 2.断流式滑阀 3.油动机

4.调节阀 5.汽轮发电机组

节阀门后蒸汽容积的影响,被调对象便可看作简单的对象。这时,系统原理方框图用图1-3(a)来表示,系统的数学模型可以写成:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{转子} \quad T_A \frac{d\varphi}{dt} + \lambda\varphi = \mu - \Psi(t) \\
 \text{调速器} \quad \delta\zeta = \varphi \\
 \text{滑阀} \quad \sigma = -\zeta - \mu \\
 \text{油动机} \quad T_s = \frac{d\mu}{dt} = \sigma
 \end{array} \right\} \quad (1-2)$$

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{或} \quad T_A \frac{d\varphi}{dt} + \lambda\varphi = \mu - \Psi(t) \\
 \quad T_s \frac{d\mu}{dt} + \mu = -\frac{\varphi}{\delta}
 \end{array} \right\} \quad (1-3)$$

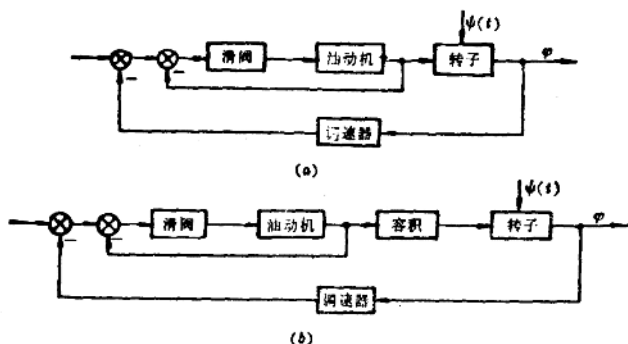


图 1-3 速度调节系统原理方框图

式中： φ 、 ζ 、 σ 、 μ 分别为转速、调速器位移、滑阀位移和油动机位移的相对值，在动态的过程中，它们都是时间的函数。对于速度调节系统， φ 是系统的被调量。 T_A 、 T_s 为时间常数， δ 、 λ 为动态系数。 $\Psi(t)$ 为扰动输入，就汽轮发电机组而言，它是指外界负荷变化的相对值。

显然，这个系统的数学模型是用两个一阶微分方程来表示的。

前面用来表示输入量和输出量之间函数关系的微分方程是标准的形式，即在方程中把与输入量有关的各项放在方程的右边，而与输出量有关的各项放在方程的左边。

在上列微分方程组的基础上，不难将微分方程式表示成如方程式(1-1)所示的一般形式，即

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= \frac{1}{T_A} [\mu - \lambda\varphi - \Psi(t)] \\ \frac{d\mu}{dt} &= \frac{1}{T_s} \left(-\frac{\varphi}{\delta} - \mu \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

当调节阀门后的蒸汽容积对系统动态存在影响时，被调对象就不能看成是简单对象。在这种情况下，系统原理方框图应由图1-3(b)来表示，并且用下列的数学模型来描述。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{转子} & T_A \frac{d\varphi}{dt} + \lambda\varphi = \rho - \Psi(t) \\ \text{蒸汽容积} & T_V \frac{d\rho}{dt} + \rho = \mu \\ \text{调速器} & \delta\xi = \varphi \\ \text{滑阀} & \sigma = -\xi - \mu \\ \text{油动机} & T_s \frac{d\mu}{dt} = \sigma \end{array} \right\} \quad (1-5)$$

$$\left. \begin{array}{l} T_A \frac{d\varphi}{dt} + \lambda\varphi = \rho - \Psi(t) \\ T_V \frac{d\rho}{dt} + \rho = \mu \\ T_s \frac{d\mu}{dt} + \mu = -\frac{\varphi}{\sigma} \end{array} \right\} \quad (1-6)$$

式中 ρ 表示蒸汽容积的相对值。

还可以写成一般形式的微分方程组，即

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= \frac{1}{T_A} [\rho - \lambda\varphi - \psi(t)] \\ \frac{d\rho}{dt} &= \frac{1}{T_V} (\mu - \rho) \\ \frac{d\mu}{dt} &= \frac{1}{T_S} \left(-\frac{\varphi}{\delta} - \mu \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

显然，被调对象越复杂，描述系统的一阶微分方程个数就越多。同理，调节装置越复杂，或考虑的影响因素越详尽，描述系统的一阶微分方程的数目也就越多。

对于同样的一个系统，可以用二阶微分方程对系统动态过程作近似描述，还可以用三阶或更高阶微分方程来表示系统的动态性质，建立多少阶数的微分方程对系统动态过程加以描述，除了要求所建立起来的数学模型能尽可能反映系统的实际情况外，在一定的程度上还取决于所用的计算工具。

以后将要介绍的以微分方程组为基础的数字仿真程序就是采用上述形式的微分方程。

必须指出：对于任何自动调节系统，原则上，都可以推导出—阶微分方程组形式的数学模型，并用来描述系统的动态特性。

(二) 总体微分方程

一般地说，对于任何线性自动调节系统，用来描述系统动态过程的数学模型可以写成 n 阶常系数非齐次线性微分方程的形式，这就是：

$$a_0 \frac{d^n c(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} c(t)}{dt^{n-1}} + \cdots + a_{n-1} \frac{dc(t)}{dt} + a_n c(t)$$

$$= b_0 \frac{d^n r(t)}{dt^n} + b_1 \frac{d^{n-1} r(t)}{dt^{n-1}} + \dots + b_{n-1} \frac{dr(t)}{dt} + b_n r(t) \quad (1-8)$$

如果用 $p = \frac{d}{dt}$, $p^2 = \frac{d^2}{dt^2}$, $p^3 = \frac{d^3}{dt^3}$, ... 对微分方程进行取代, 则微分方程(1-8)还可以写成算子的形式, 即

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n) c(t) = (b_0 p^n + b_1 p^{n-1} + \dots + b_{n-1} p + b_n) r(t) \quad (1-9)$$

通常, 式(1-9)用下列的数学表达式来表示

$$N_1(p)c(t) = M_1(p)r(t) \quad (1-10)$$

其中:

$$N_1(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n$$

$$M_1(p) = b_0 p^n + b_1 p^{n-1} + \dots + b_{n-1} p + b_n$$

上述形式的微分方程通称为系统的总体微分方程, 它是一个非齐次线性微分方程。式中的 $r(t)$ 为系统的输入量, $c(t)$ 为系统的输出量, 它们都是时间的函数。 $a_i (i=0, 1, 2, \dots, n)$, $b_j (j=0, 1, 2, \dots, m)$ 为微分方程式的常量系数。在研究实际系统时, 微分方程式的阶次总是 $n > m$ 。

根据上面列出的不同表达形式的总体微分方程, 对应的齐次微分方程可以由如下各式来表示:

$$\left. \begin{aligned} & a_0 \frac{d^n c(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} c(t)}{dt^{n-1}} + \dots \\ & + a_{n-1} \frac{dc(t)}{dt} + a_n c(t) = 0 \\ \text{或 } & (a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n) c(t) = 0 \\ \text{或 } & N_1(p) c(t) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

齐次微分方程式代表系统自由运动的方程，它与总体微分方程右端扰动输入无关。因此，描述系统的特征方程式可以写成如下的形式：

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \cdots + a_{n-1} p + a_n = 0 \quad (1-12)$$

这里值得注意的是，上式的符号 p 这时不具有算子的意义，它仅代表 n 阶特征多项式的因子。

下面，我们仍然用前面介绍过的系统作为实例。

建立系统总体微分方程的基础是已知描述系统的一阶微分方程组的数学模型。

从方程式(1-2)或式(1-5)可以看出，不同的调节系统所包含的参变量是不同的。在汽轮机自动调节系统中，人们最关心的是动态过程中转速的特性，即被调量 φ 随时间变化的情况。因此，在建立总体微分方程时，我们将保留参变量 φ ，而消去其它的中间参变量。如果需要了解其它参变量在同样的条件下变化的规律，只需在消去中间参变量的过程中，保留这个需要了解的参变量即可。

消去中间参变量需要进行数学运算，通常是采用算子法，

即把微分运算符 $\frac{dX}{dt}$ 写成 pX ， $\frac{d^2X}{dt^2}$ 写成 p^2X ，……，这

时 p 和 X 可以分开作为独立的符号参加运算。在运算结束后，再按上述的规则使它们复原。

我们利用三阶系统的微分方程组(1-5)作为典型例子进行消去中间参变量的数学运算。方程组(1-5)写成算子的形式为：

$$\left. \begin{aligned} (T_A p + \lambda) \varphi &= \rho - \Psi \\ (T_V p + 1) \rho &= \mu \\ \delta \dot{\epsilon} &= \varphi \\ \sigma &= -\xi - \mu \\ T_S p \mu &= \sigma \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

在这个方程组中有三个一阶微分方程和二阶代数方程，除了 $\Psi(t)$ 为外界扰动输入量外，有五个参变量，即： φ 、 ρ 、 ξ 、 σ 和 μ 。在消去中间参变量的过程中，我们将保留参变量 φ ，消去其它四个中间参变量。

先将后三个方程进行合并，得：

$$(T_S p + 1) \mu = -\frac{\varphi}{\delta}$$

从上式解出参变量 μ 并把它代入方程组中的第二个方程得：

$$(T_V p + 1) \rho = -\frac{\varphi}{\delta(T_S p + 1)}$$

将上式的 ρ 参变量分解出用来取代方程组中第一个方程的 ρ ，这样便可求得：

$$(T_A p + \lambda) \varphi = -\frac{\varphi}{\delta(T_S p + 1)(T_V p + 1)} - \Psi$$

对前面式子移项合并改写成：

$$\begin{aligned} & [\delta(T_A p + \lambda)(T_S p + 1)(T_V p + 1) + 1] \varphi \\ & = -\delta(T_S p + 1)(T_V p + 1) \Psi \end{aligned}$$

展开上列表达式，并经整理后写成如下的表达式：

$$\begin{aligned} & [\delta T_A T_V T_S p^3 + \delta(T_A T_V + T_A T_S + T_V T_S \lambda) p^2 + \delta(T_A \\ & + T_V \lambda + T_S \lambda) p + (\lambda \delta + 1)] \varphi = -\delta[T_V T_S p^2 + (T_V \\ & + T_S) p + 1] \Psi \end{aligned}$$

将前面表达式复原，最后，我们可以得到用来描述同一个三阶系统的总体微分方程为：

$$\begin{aligned}
& \delta T_A T_V T_S \frac{d^3 \varphi}{dt^3} + \delta (T_A T_V + T_A T_S + T_V T_S \lambda) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} \\
& + \delta (T_A + T_V \lambda + T_S \lambda) \frac{d \varphi}{dt} + (\lambda \delta + 1) \varphi \\
& = -\delta \left[T_V T_S \frac{d^2 \Psi}{dt^2} + (T_V + T_S) \frac{d \Psi}{dt} + \Psi \right] \quad (1-14)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{或 } a_0 \frac{d^3 \varphi}{dt^3} + a_1 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + a_2 \frac{d \varphi}{dt} + a_3 \varphi \\
= b_0 \frac{d^2 \Psi}{dt^2} + b_1 \frac{d \Psi}{dt} + b_2 \Psi \quad (1-15)
\end{aligned}$$

式中:

$$\begin{aligned}
a_0 &= \delta T_A T_V T_S \\
a_1 &= \delta (T_A T_V + T_A T_S + T_V T_S \lambda) \\
a_2 &= \delta (T_A + T_V \lambda + T_S \lambda) \\
a_3 &= \lambda \delta + 1 \\
b_0 &= -\delta T_V T_S \\
b_1 &= -\delta (T_V + T_S) \\
b_2 &= -\delta
\end{aligned}$$

系统特征方程可以写成:

$$N_1(p) = a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0 \quad (1-16)$$

根据同样的道理, 我们可以求得上述二阶系统的总体微分方程和特征方程分别为:

$$\begin{aligned}
& \delta T_A T_S \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \delta (T_S \lambda + T_A) \frac{d \varphi}{dt} + (\lambda \delta + 1) \varphi \\
& = -\delta \left(T_S \frac{d \Psi}{dt} + \Psi \right) \quad (1-17)
\end{aligned}$$

$$\text{或 } a_0 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + a_1 \frac{d \varphi}{dt} + a_2 \varphi = b_0 \frac{d \Psi}{dt} + b_1 \Psi \quad (1-18)$$

$$N_1(p) = a_0 p^2 + a_1 p + a_2 = 0 \quad (1-19)$$

式中: $a_0 = \delta T_A T_S$, $a_1 = \delta(T_S \lambda + T_A)$, $a_2 = \lambda \delta + 1$,
 $b_0 = -\delta T_S$, $b_1 = -\delta$ 。

从上面的总体微分方程可以得出如下的结论:

(1) 总体微分方程中的系数都取决于系统各时间常数或动态系数, 由于时间常数或动态系数均认为是近似不变的, 因此, 总体微分方程的各系数都可当作常数。显然, 总体微分方程是一个常系数线性微分方程。

(2) 总体微分方程的阶数 n 不仅与调节对象或调节装置的复杂程度有关, 而且还与建立各基本元件(或环节)数学模型时所考虑的因素有关。一般地说, 调节对象或调节装置越复杂, 建立各基本元件数学模型时考虑的因素越详尽, 总体微分方程的阶数也越高。

(3) 非齐次微分方程代表着调节系统的输入量与输出量之间的关系, 也就是说, 表达了调节系统在外界输入量的作用下, 被调量的变化规律。齐次微分方程表达了调节系统在不外界输入量的作用下, 被调量自由运动的规律。通常, 不论系统是否受外界输入量作用, 动态过程都是以被调量随时间变化的过渡过程特性形式出现的。

顺便指出, 如果我们有必要分析某一其它参变量在动态过程中的特性, 根据同样的方法, 不难得出类似的总体微分方程(包括非齐次方程和齐次方程), 并且可以验证, 对于同一个调节系统而言, 任何一个参变量的齐次微分方程的形式是完全相同的, 仅是方程式右端的输入函数有所差别而已。齐次微分方程的形式相同, 意味着, 不论研究哪一个参变量自由运动的规律, 都可以用同一个特征方程式来描述。或者说, 一个系统只有一个特征方程式, 它给出了该系统动态性