

调节阀流量特性选择的 试验研究报告

一九七七年十二月



数据加载失败，请稍后重试！



数据加载失败，请稍后重试！

前言	1
一. 流易特性选择情况概述	2
二. 调节阀流易特性在自动调节系统中的作用	4
1. 调节阀流易特性	4
2. 调节阀在系统中的补偿作用	5
三. 试验原理和方法	9
1. 试验原理	9
2. 试验方法	12
四. 四种典型调节对象的模拟试验及结果分析	14
1. 流易调节系统	14
2. 温度调节系统	18
3. 压力调节系统	28
4. 液位调节系统	39
五. 调节阀流易特性选择的推荐准则	58
附录	64
参考资料	99

为了适应我国工业自动化发展的要求，进一步提高调节系统的调节质量，正确选择调节阀流量特性，已成为生产实践中必须解决的一个课题。因此，在广大用户、设计、研究单位的迫切要求和积极支持下，七五年“石油化工自控设计业务建设工作会议”上确定为石化部自控业务建设项目之一，由我所和兰化公司化工设计院共同负责，同年八月由我所组织上海高桥化工厂、石化部化工设计院、石化部炼油设计院、石化部炼油设计研究院、安徽省石油化工设计院等单位开展了第一阶段工作，经过调查研究和资料分析初步确定了工作内容和试验研究计划，后又于七六年五月开始第二阶段工作并主要有我所和重庆工业自动化仪表研究所承担试验研究工作。经过近一年半的研究试验，现已基本完成本课题试验研究任务，结合工业生产中常见的调节系统，提出了调节阀流量特性选择的推荐准则。

现就我们的试验研究工作的原理、方法、试验数据及试验结果整理成本试验研究报告。由于我们首次接触基础试验工作，缺乏经验，也因业务水平所限，一定有很多不当之处，希望同志们批评指正。

一. 流量特性选择情况概述

随着我国工业自动化水平的不断提高，研究、设计、使用等单位对调节阀的作用有了一定认识，但由于调节阀基础理论工作的薄弱，因此，对于调节阀流量特性在系统中的作用，还认识不够，往往被人们所忽视，甚至还持有一种流量特性可有可无的错误观点。

我国调节阀专业生产厂，六六年前都是仿制苏联和民德的产品，流量特性出厂不作检查，也没有明确规定，六七年起生产统一设计产品，具有直线，等百分比、抛物线三种流量特性，并规定了试验规程和检查标准，但生产厂因生产管理和加工方便等原因仍然主要生产直线特性，直到七二年后，才根据订货大量生产等百分比特性。国内各使用单位的情况大致是这样的，在七〇年前基本上不考虑，流量特性在系统中的补偿作用，一般都按习惯采用直线特性，后来在有关资料介绍了等百分比特性的优点后，又突然普遍的采用等百分比特性，可见，国内调节阀流量特性的选用还处于较盲目的状况，不能从补偿系统非线性的角度去有目的选用流量特性。因此，作为系统的一个重要环节，调节阀没有为进一步提高系统控制质量发挥充分的作用。

近年来在各设计、研究、使用单位的努力下，已开始借鉴和应用国外流量特性选择的方法和经验，但由于对其使用方法和原理不太清楚，致使使用不便，所以迫切要求国内开展这方面的试验研究工作，并希望结合我国工业自动化的实际情况，提出简单而可行的调节阀流量特性选择准则。

从我们所见到的资料分析，关于调节阀流量特性在系统中的补偿作用，国外早在四十年代就已提出，并为寻求正确选择调节阀流

量特性，开展了一系列的研究工作。提出了不少选择方法，但这些方法多数偏重于理论上的分析，实际应用还存在一定问题。从最近几年国外引进的石油化工装置，所提供的流量特性选择资料，也可看到这方面的工作还不很全面，有的看来也还是较初步的（见附录7）。因此，可以说调节阀流量特性的正确选择，还未得到根本的解决，特别是实际使用上还没有一个既简便又正确的方法，这仍然是国外自控工作人员所关心的一个课题。

这次课题工作中所收集的国外流量特性的选择资料见附录。

二. 调节阀流量特性在自动调节系统中的作用

1. 调节阀流量特性

调节阀流量特性系指介质流过阀门的相对流量与相对开度间的关系，即 $Q/Q_{\max} = f(l/L)$

流量特性不但决定于调节阀的结构设计，还受阀上压差变化的影响，因此，又可分为理想流量特性和工作流量特性。理想流量特性，即在调节阀前后压差一定的情况下（ $\Delta p = \text{常数}$ ）得到的流量特性，它只决定于调节阀芯及阀座结构设计。

工作流量特性，是在调节阀前后压差变化情况下所具有的流量和开度间的关系。在实际工作中，调节阀前后的压差，一般来说都是要随着开度变化而变化的，因此，在工作时调节阀并不保持原有的理想流量特性，这种现象称为流量特性的畸变，在实际使用中，起作用的就是这种工作流量特性。

典型的理想流量特性有下述几种。

① 直线流量特性

直线流量特性是指调节阀的相对开度与相对流量成直线关系。也就是阀门的放大倍数在全行程内是一个常数。

（图 2—1）

数学表达式为：

$$\frac{d(Q/Q_{\max})}{d(l/L)} = C \text{ (常数)}$$

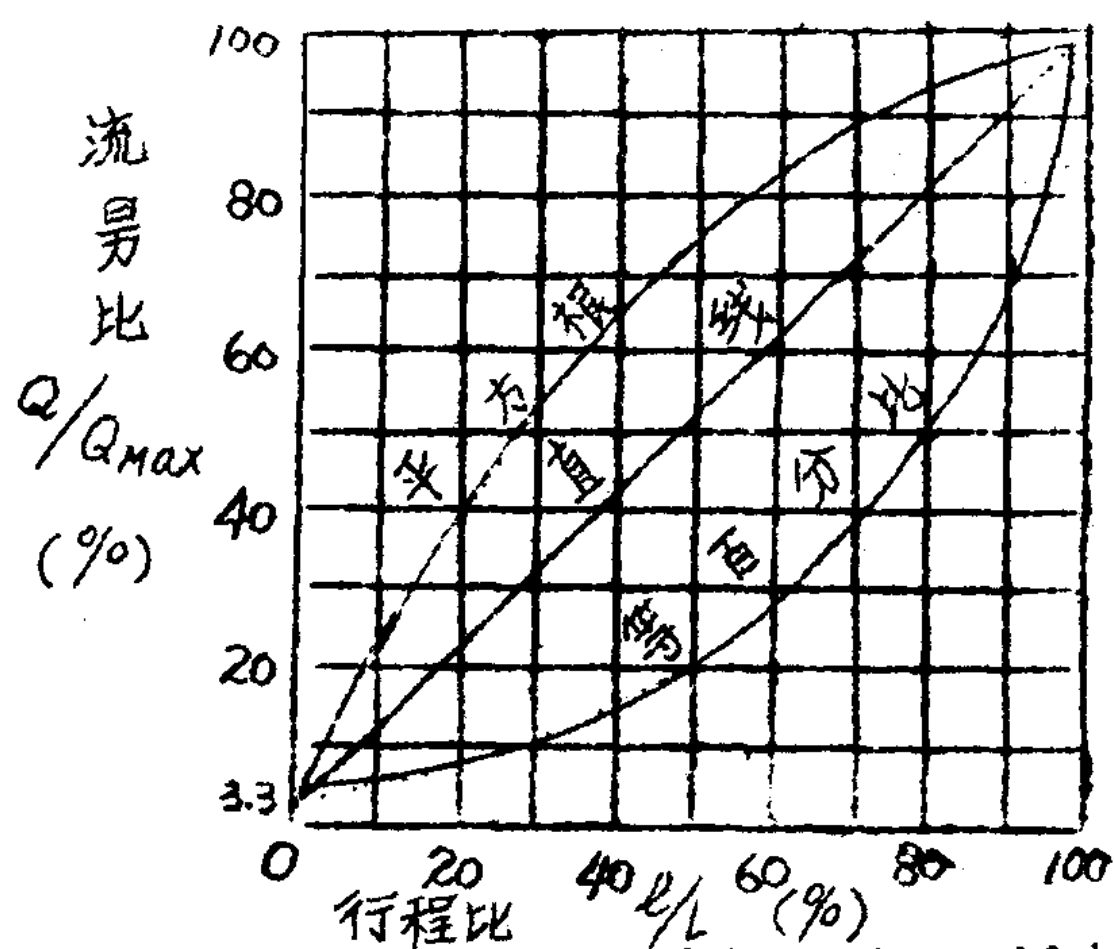


图 2—1 调节阀理想流量特性

② 等百分比流量特性

等百分比流量特性是指调节阀相对流量与相对行程之比正比于该点的相对流量。也就是阀门的放大倍数在全行程内不是常数，它与相对流量 ($Q/Q_{\max}$) 成正比。(图 2-1)

数学表达式为：

$$\frac{d(Q/Q_{\max})}{d(l/L)} = C (Q/Q_{\max})$$

③ 平方根流量特性

平方根流量特性是指调节阀相对流量与相对行程之比反比于该点的相对流量。也就是阀门的放大倍数在全行程内与相对流量成反比。(图 2-1)

数学表达式为：

$$\frac{d(Q/Q_{\max})}{d(l/L)} = C (Q/Q_{\max})^{-1}$$

分析流量特性的意义，即可知各种流量特性都表示着某种放大倍数的变化规律，它和流量的关系可表示成下面表中形式。流量特性的选择就是根据系统非线性补偿的要求，按放大倍数的变化规律来选取的，

表 2-1

流量特性 放大倍数	直线	等百分比	平方根
$\frac{dQ}{dl}$	常数	$\propto Q$	$\propto \frac{1}{Q}$

2. 调节阀在系统中的补偿作用

在工业生产中，作为一个理想的调节系统，总是希望在整个操

作范围内保持一个较好的调节质量，在各种干扰的作用下，调节质量也不因此而变化。根据自调原理，可以知道，要达到这个目的就要系统的开环放大倍数在整个操作范围内保持不变，如图 2—2 所示的典型调节系统， K_o 、 K_v 、 K_c 分别为对象、调节阀、调节器的静态放大倍数。

系统稳定性不变的条件为：

$$K_o \cdot K_v \cdot K_c = \text{常数}$$

分析系统中的各个环节可以知道，在实际生产过程中被调对象的特性往

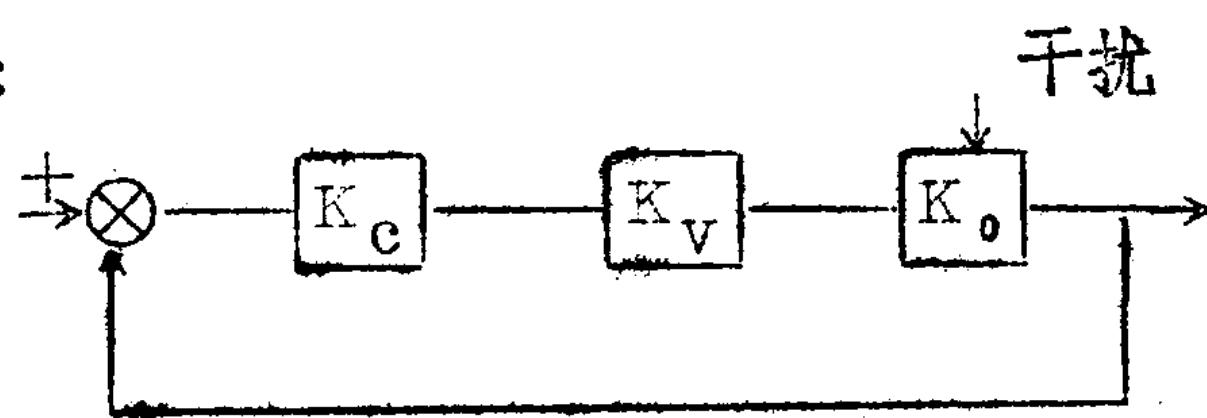


图 2—2

往不是线性的。它的静态放大倍数要随着负荷变化而变化的，因此，按某负荷下整定调节器参数，在另一负荷下就会不合适，系统的调节品质会变坏，甚至出现系统不稳定的现象，所以必须设法补偿对象特性的变化，以保证系统在负荷变化时也具有同样的调节质量。

对一般的调节系统，调节器参数整定后是不希望经常变动的，一般说来 K_o 是一个常数，所以对象特性的补偿主要是依靠调节阀来实现。

$$\text{即 } K_o \cdot K_v = \text{常数}$$

$$K_v \propto \frac{1}{K_o}$$

$$\text{其中 } K_o = \frac{dQ}{dL}$$

即调节阀的流量特性。

这就是通常所说的调节阀流量特性对对象静态特性的补偿原理

考虑对象和系统中其它各环节动态特性的影响时，调节阀流量特性的选择必须从动态出发。即按动态选择（实际上是按静、动态选择）流量特性。它的实际意义可用下面的例子来说明。

图 2—3 是一个典型的二阶系统，由一阶对象和比例积分调节

器构成， K_0 是调节阀的放大倍数。

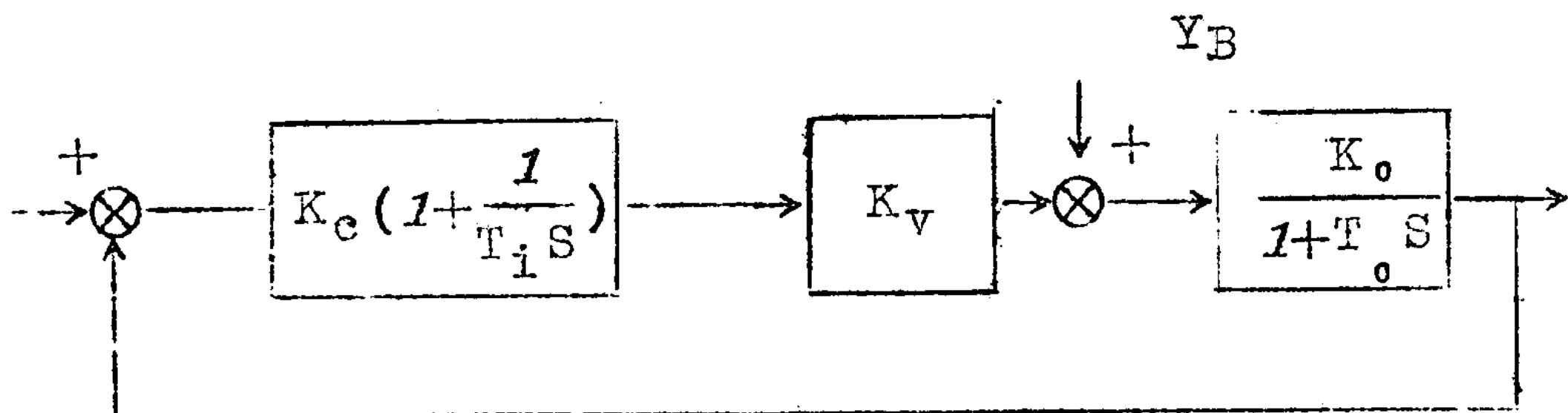


图 2—3

扰动 Y_B 通道的闭环传递函数为：

$$Y_B(s) = \frac{\frac{K_0}{1+T_o(s)}}{1 + \frac{K}{1+T_o(s)} \cdot K_v \cdot K_c \left(1 + \frac{1}{T_i(s)}\right)}$$

$$= \frac{\frac{K_0}{1+T_o S}}{\frac{T_i S(1+T_o S) + K_c K_v K_0(1+T_i S)}{(1+T_o S) T_i S}}$$

$$= \frac{K_0 T_i S}{T_o T_i S^2 + T_i (1 + K_c \cdot K_v \cdot K_0) S + K_c K_v K_0}$$

系统的特征方程式：

$$T_o T_i S^2 + T_i (1 + K_c \cdot K_v \cdot K_0) S + K_c \cdot K_v \cdot K_0 = 0$$

与二阶段标准形式：

$$S^2 + 2\xi\omega_0 S + \omega_0^2 = 0$$

相比较得：

$$\xi = \frac{1 + K_0 \cdot K_V \cdot K_C}{2T_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{K_0 \cdot K_V \cdot K_C}{T_i T_0}}}$$

或：

$$\frac{(1 + K_0 \cdot K_V \cdot K_C)^2}{K_0 \cdot K_V \cdot K_C} \cdot \frac{T_i}{T_0} = 4 \xi^2$$

ξ 是系统的衰减系数，其值的大小表示系统加入干扰后过渡过程的稳定，当 ξ 不变时，即表示系统稳定性不变，因此，系统稳定性不变的条件为：

$$\frac{(1 + K_0 \cdot K_V \cdot K_C)^2 T_i}{K_0 \cdot K_V \cdot K_C T_0} = \text{常数}$$

其中 K_0 、 K_V 、 K_C 是系统中各环节的静态放大倍数， T_0 是对象的时间常数， T_i 是调节器的积分时间，可见当按动态考虑时，不但要补偿对象静态放大倍数的变化，还必须补偿时间常数 T_0 的影响，即对象动态特性的变化。（严格的讲应考虑系统各环节时间常数对动态特性的影响）

应该指出的是对象特性的非线性，不仅可以用调节阀补偿，也可采用其它非线性校正元件或者自整定调节系统，甚至按数学模型工作的计算机最优控制系统来实现。

对于常见的调节系统，用调节阀流量特性来补偿系统，可以说是一种最经济和有效的方法。因为它不需要再增加任何元件装置，只是对本来应该采用的调节阀加以正确选择就可以了。

三、试验原理和方法

1. 试验原理

我们这次试验，首先根据调节参数将工业对象分成四类。即液位、流量、压力、温度四类对象。然后对每类对象结合实际使用情况，分析其特点，确定各种干扰条件，按补偿原理将三种流量特性分别与对象及其他环节组成闭环系统，在一个较大的工作范围内对系统做干扰试验，测取各种干扰下的过渡过程曲线。最后通过对过渡过程曲线的分析，根据各种流量特性对同一系统的补偿效果，确定最佳流量特性。

① 干扰和干扰范围

使调节阀静态工作点发在变化的工艺参数叫做干扰因素，干扰因素的变化范围叫做干扰范围。

干扰分给定干扰和其它工艺参数的干扰二类。做给定干扰试验时，干扰是在调节器给定旋扭上加入，给定旋扭从小到大或从大到小，每次增加或减小5%。其它参数的干扰试验，干扰是在模拟机上加入的，利用模拟机上的标准电压部件，每次加或减5%或10%。干扰的加入尽可能快，使其基本上具有阶跃特性。

干扰范围的选定要考虑到，在干扰范围内使调节阀流通能力 C_v 值变化范围尽可能大些，即要求 C_v 值尽可能在20%~80%范围内，这样可以使系统的放大系数有较大的变化，便于鉴别调节阀各流量特性对系统稳定的影响。

② 试验结果的评定

生产过程中调节质量的好坏，可以根据过渡过程的最大偏差，过渡时间、余差等指标来评定。对于一个调节系统，要使所有的质

量指标都达到最好，那是难于实现的。在实践中，人们根据经验总结出一种折衷方法，即通过参数整定使系统具衰减振荡的过渡过程，并使其衰减比在 $4:1$ 附近，这样可使各项指标都有较好的质量。因此衰减比可以作为过渡过程质量评定的一个依据，同时过渡过程的衰减比还可以衡量系统的稳定性，如衰减比越大，系统越稳定，反之为不稳定。所以我们这次采用衰减比指标来评定调节阀流量特性在系统中的补偿效果。例如，采用某种流量特性，系统在干扰范围内过渡过程衰减比不变或者变化最小，那么说明这种流量特性使系统得到最好的补偿。

在实际生产中也有不要求衰减比，而仅以某一质量指标为要求的，但若要求这个质量指标在系统干扰范围内，保持不变或变化最小，这实际上还是要求系统得到最好的补偿，因此，还是和衰减比有关。从试验数据来看，一般来说按衰减比不变的原则来选择流量特性，其结果，最大偏差和过渡过程时间等指标也是比较好的。另外，在总结试验数据时，若遇到几种流量特性的衰减比变化相近时，也注意到了最大偏差和过程时间的比较，这样也可使我们对质量的评定更加全面。

现在用分析温度调节系统在干扰作用下（ T ，干扰）的过渡过程，以说明三种特性对调节质量的影响，过渡过程曲线如下：

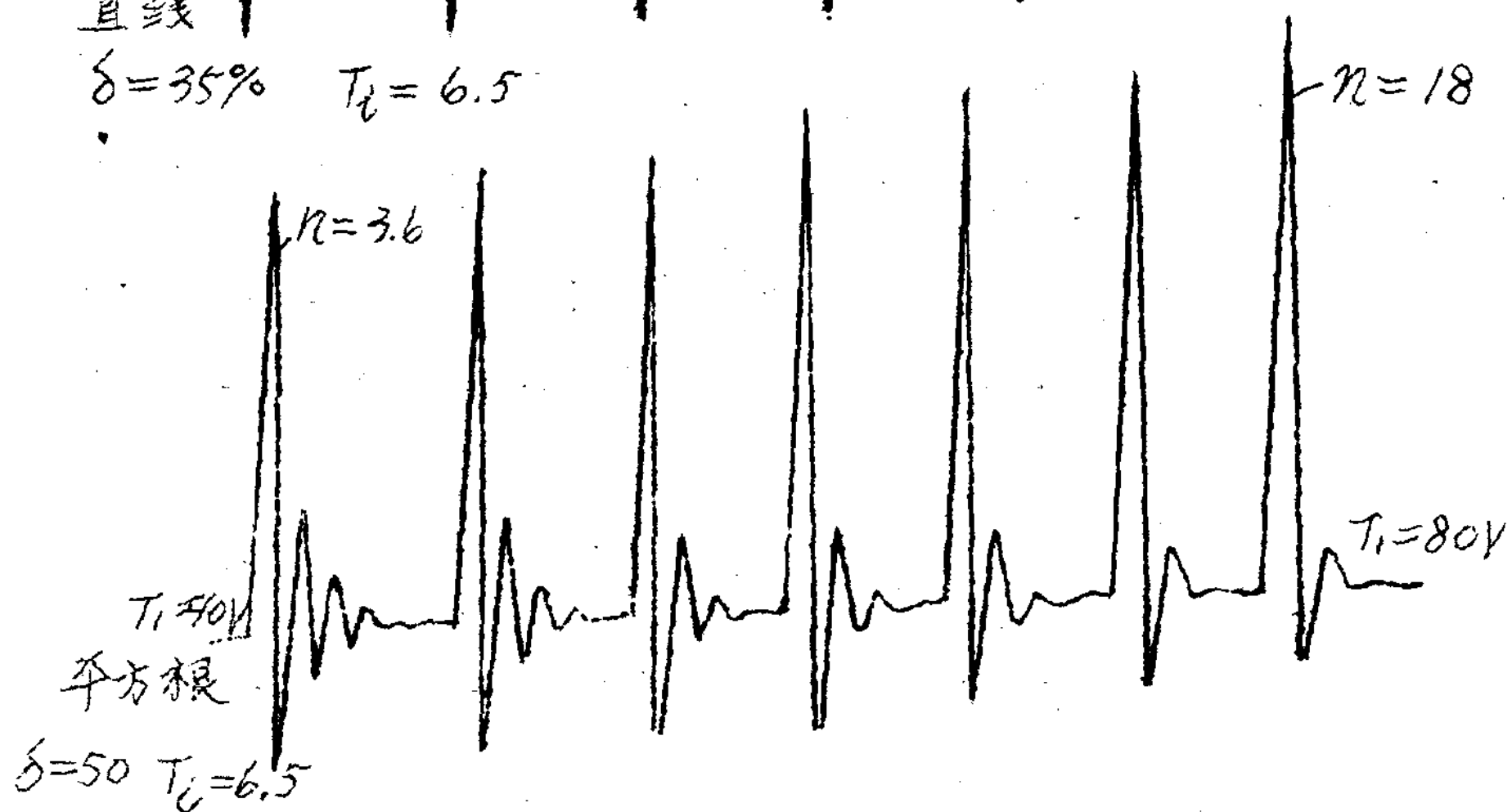
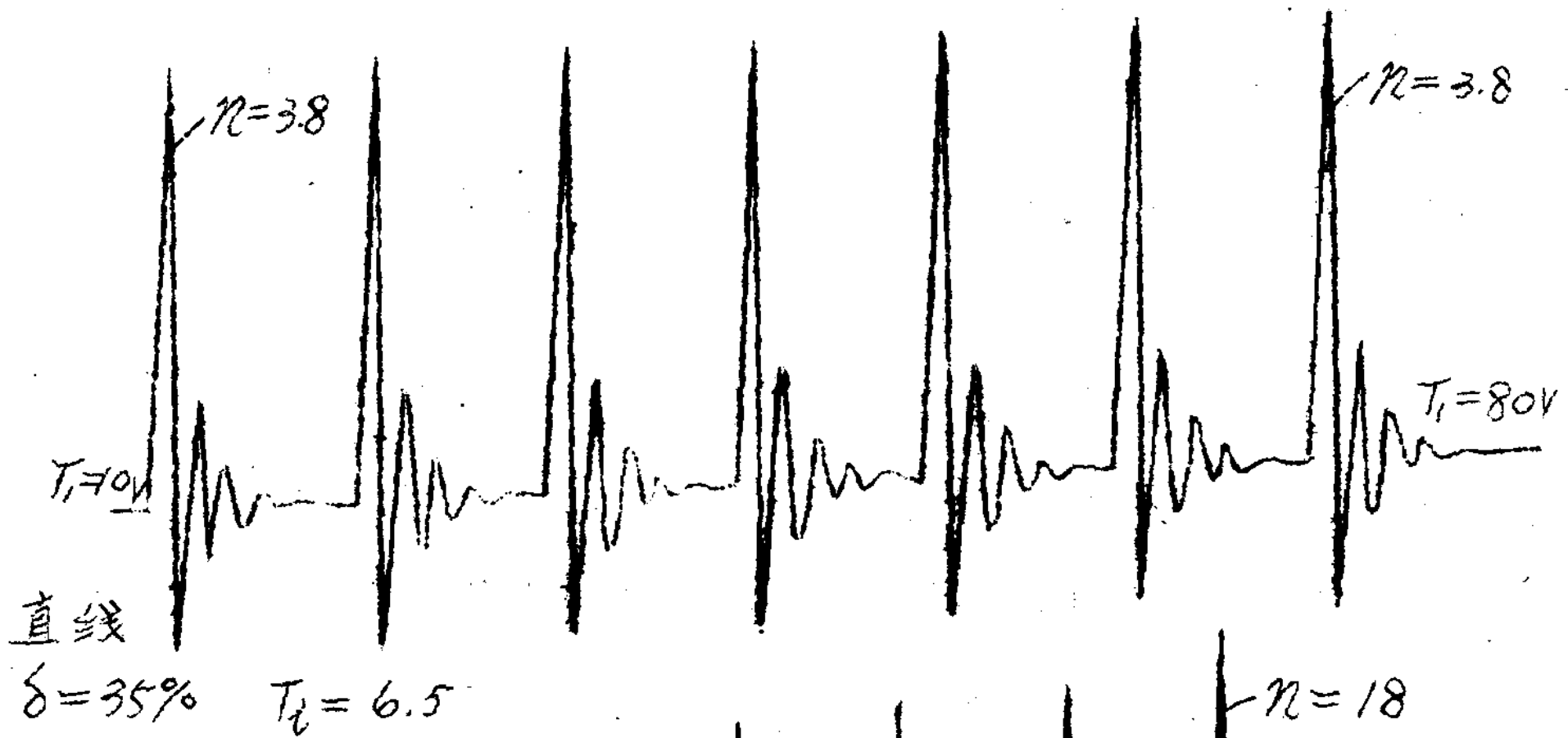
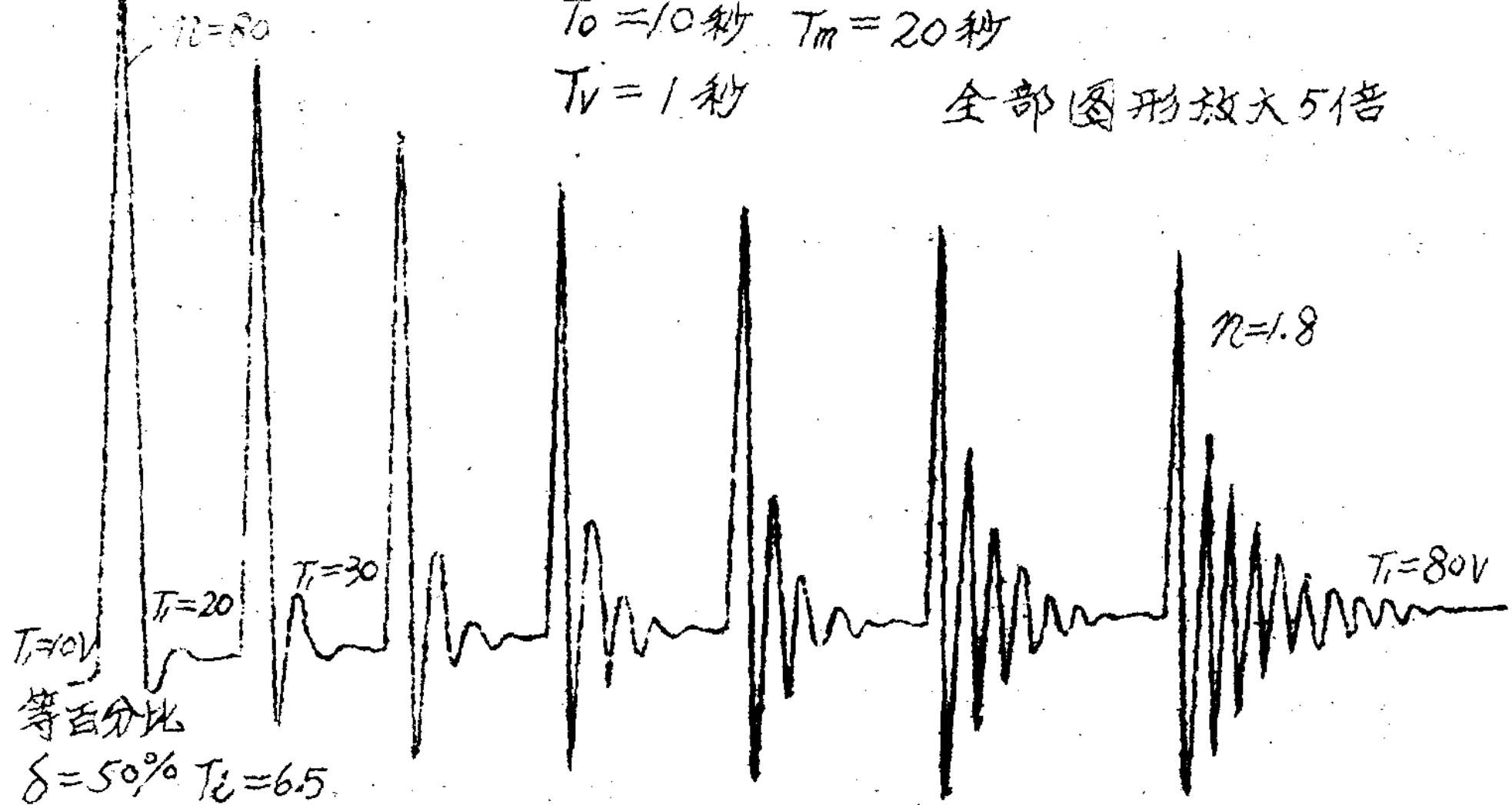
从过渡过程曲线可以看出：采用直线特性时，衰减比是不变的 $n=2.2 \sim 3.8$ ，采用等百分比时，衰减比变化最大 $n=0.3 \sim 1.8$ ，所以采用直线特性时系统可以得到完全补偿。另外直线特性的最大偏差和过渡时间也是不变的，而等百分比和平方根特性的衰减比、最大偏差和过渡时间都是变化的。因此应该采用直线特性。

试验条件 $T_2 = 90V$ $T_1 = 10-80V$

$T_0 = 10秒$ $T_m = 20秒$

$T_V = 1秒$

全部图形放大5倍



2 试验方法

调节阀流易特性选择的试验工作，可用二种方法来实现。即现场试验和模拟试验。现场试验具有直观、真实等优点，但由于现场干扰因素多（往往是几个干扰同时出现）干扰易的大小和形式很难控制，以及调节阀流易特性在工作条件下要发生变化等原因，使试验结果的分析很困难，另外，因现场生产条件的限制，不能在短时期内得到较大负荷的变动，试验周期很长；还必须筹备一系列试验用仪表，可见采用现场试验的方法有一定困难，也是不经济的，特别是要对较多方案进行试验更是难以实现。

我们这次试验工作，采用的是模拟试验方法，它具有简单、方便、灵活等优点，没有现场试验的一系列困难。便于我们深入细致的进行大易试验。现就电子模拟计算机试验介绍如下。

① 各环节的模拟

控制对象的模拟：实际工业对象大下分是非线性的，它的放大倍数和时间常数是随着对象工作点的变化而变化的，在自控理论中，一般处理非线性对象时，要把对象微分方程进行简化，即进行线性化处理，并把对象近似为一阶或二阶对象。这种简化对研究对象某一点或者这一点附近的工作情况，是足够正确的。但这次试验要研究的是对象在不同工作点上的工作情况，这种简化会造成很大的误差。所以这次试验是按对象的代数方程或微分方程直接进行模拟的。

测易仪表的模拟：一般当作一阶非周期环节模拟，其传递函数为 $\frac{K_m}{T_m S + 1}$ ，式中 K_m 是测易仪表的放大倍数， T_m 为它的时间常数在模拟中都作常数处理。当对象时间常数 T_o 很大， T_m 可以忽略

时，也可近似为比例环节。

气动调节阀模拟：也可近似为一阶非周期环节，其传递函数为 $\frac{K_V}{T_V S + 1}$ ， T_V 是气动薄膜执行机构的时间常数，当对象时间常数 T_0 很大时， T_V 可忽略，可以作为比例环节。 K_V 是调节阀的放大倍数，流量特性不同， K_V 的变化规律也不一样，在模拟机上是用通用函数下件来实现的，由十一段直线段组成。

调节口：为了便于参数的整定，采用的是 DDZ—II 型调节口，直接串联在模拟线路中。因此，我们的试验实际上是半模拟性质的。

② 系统的模拟

按试验系统的方块图将各环节连接起来，即为系统的模拟。试验是在 DMJ—3A 20 阶电子模拟计算机上进行的。系统中每个环节按其传递函数来模拟，每个环节工艺参数的数值，用系数设置来实现。DDZ—II 型调节口和模拟机的联系是这样实现的，在调节口输入回路串接适当的电阻，使输入阻抗为 $10\text{ K}\Omega$ ，这样就可将模拟机的输出信号由 $0\sim 100$ 伏变为 $0\sim 10\text{ MA}$ 的调节口输入信号，在调节口输出端接入 $1\text{ K}\Omega$ 的负载电阻，即可将 $0\sim 10\text{ MA}$ 的输出变为 $0\sim 10$ 伏，再用模拟机上的比例口放大十倍，得到 $0\sim 100$ 伏的输出电压信号，作为模拟机的输入，为了避免因调节口输出超过 $0\sim 10\text{ MA}$ ，也即输出电压超过 100 伏，而引起模拟机过载影响计标的连续进行，还采用了限幅下件，将输出电压限制在 100 伏内。

模拟试验的结果，即系统在干扰作用下的过渡过程曲线是在测录仪表后测取，并由高精度记录仪画出曲线。