

职业技能鉴定培训读本(技师)

# 仪表维修工

吉化集团公司 组织编写  
王丹均 王耿成 编



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

职业技能鉴定培训读本（技师）

# 仪 表 维 修 工

吉化集团公司 组织编写

王丹均 王耿成 编

化 学 工 业 出 版 社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

仪表维修工/王丹均, 王耿成编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 3

职业技能鉴定培训读本 (技师)

ISBN 7-5025-5308-8

I. 仪… II. ①王… ②王… III. 仪表-维修-职业技能鉴定-教材 IV. TH707

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 020467 号

---

职业技能鉴定培训读本 (技师)

仪表维修工

吉化集团公司 组织编写

王丹均 王耿成 编

责任编辑: 刘 哲 周国庆 宋 辉

责任校对: 李 林 张秋景

封面设计: 郑小红

\*

化学工业出版社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市海波装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 11 字数 294 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5308-8/G · 1401

定 价: 26.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 前 言

当今世界已步入到知识经济和市场经济时代，企业生存与发展要依靠先进的生产力和高素质复合型人才。在技术密集型企业中将新技术、新工艺、新设备广泛应用并迅速转化为优质产品，需要大批高智能技术工人的有效劳动。因此在企业中高素质的技术工人、技师、高级技师是不可缺少的人才。目前，企业中身怀绝技的技师、高级技师奇缺，所以培训技师、高级技师是企业的当务之急。

吉化集团公司组织几十名工程技术人员和高级技师编写了一套《职业技能鉴定培训读本（技师）》（以下简称《读本》），共 20 本，其中包括 7 本基础读本，分别为《化学基础》、《化工基础》、《电工电子基础》、《机械基础》、《机械制图》、《工程材料》、《检测与计量》，13 本专业技术读本，分别为《检修钳工》、《检修焊工》、《检修铆工》、《检修管工》、《热处理工》、《防腐蚀工》、《分析化验工》、《电机修理工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《在线分析仪表维修工》、《制冷工》、《污水处理工》。参加编写的同志都长期在生产一线从事工艺设计、开发、生产技术管理、设备维护检修等专业技术工作，具有较强的理论基础知识和丰富的实践经验。

这套《读本》以技师为主要读者对象，适当兼顾高级工和高级技师的需要。在编写过程中，参考了国家及有关行业高级工、技师和高级技师的职业标准和职业技能鉴定规范，比较全面地介绍了企业中现行使用的新标准、新技术、新设备、新工艺等方面的内容及应用。这套《读本》的特点如下：①知识面较宽，起点较高，尤其注意理论联系实际；②比较全面地介绍了企业，特别是化工企业中主要专业工种的检修技术；③系统阐述了各专业工种的工艺要求和操作技能；④列举了工作或生产案例，突出了实际生产操作中高、

难技艺的论述。

本书为《仪表维修工》，从基础理论着手，主要介绍了化工过程中各种仪表的原理、调校、安装、使用、维护、检修及故障处理，介绍了过程控制工程及其应用，最后简单介绍了集散控制系统和现场总线控制系统。本书作者结合工作经验，运用大量实例对问题进行说明，有较强的实用性。

本书由王丹均、王耿成编写，由施引萱审核。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2004年2月

# 目 录

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第 1 章 过程控制原理和控制工程 .....          | 1   |
| 1 自控基础知识 .....                   | 1   |
| 1.1 自动调节系统的概况 .....              | 1   |
| 1.2 自动调节系统的过渡过程 .....            | 4   |
| 1.3 系统及环节的特性 .....               | 7   |
| 1.4 调节规律及对过渡过程的影响 .....          | 10  |
| 2 系统环节的动态特性 .....                | 18  |
| 2.1 各环节动态特性的数学规律 .....           | 18  |
| 2.2 传递函数及方块图 .....               | 24  |
| 3 微分方程的分析方法 .....                | 33  |
| 3.1 系统微分方程式的编写 .....             | 34  |
| 3.2 调节器特性对调节质量的影响 .....          | 45  |
| 4 简单调节系统 .....                   | 46  |
| 4.1 生产过程对自动调节系统的要求及被调参数的选择 ..... | 47  |
| 4.2 对象特性对调节质量的影响和调节参数的确定 .....   | 48  |
| 4.3 负荷变化对调节质量的影响和调节阀的选型 .....    | 51  |
| 4.4 调节规律对调节质量的影响以及调节规律的选择 .....  | 60  |
| 5 复杂调节系统 .....                   | 62  |
| 5.1 串级调节系统 .....                 | 62  |
| 5.2 均匀调节 .....                   | 73  |
| 5.3 比值调节 .....                   | 78  |
| 5.4 前馈调节 .....                   | 87  |
| 5.5 自动选择性控制 .....                | 93  |
| 5.6 分程控制 .....                   | 96  |
| 5.7 锅炉汽包多冲量控制 .....              | 104 |
| 6 典型石化过程单元的自动控制 .....            | 114 |
| 6.1 流体输送的自动调节 .....              | 114 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 6.2 传热设备的自动调节 .....          | 119        |
| 7 乙烯装置乙烯塔(T-303)的自控分析 .....  | 120        |
| 8 自动化信号传递值的计算 .....          | 131        |
| 9 自动控制系统中的典型故障分析及处理 .....    | 139        |
| <b>第2章 检测仪表 .....</b>        | <b>146</b> |
| 1 检测仪表的基础知识 .....            | 146        |
| 1.1 测量误差及误差理论 .....          | 146        |
| 1.2 测量仪表的基本技术性能 .....        | 149        |
| 1.3 数据处理 .....               | 152        |
| 1.4 常用法定单位、法定与非法定单位互换算 ..... | 154        |
| 2 检测仪表的防护 .....              | 155        |
| 2.1 检测仪表的防腐蚀 .....           | 155        |
| 2.2 检测仪表的防冻、防热 .....         | 157        |
| 2.3 检测仪表的防爆 .....            | 158        |
| 2.4 检测仪表的防尘 .....            | 158        |
| 2.5 检测仪表的防震 .....            | 158        |
| 3 温度测量 .....                 | 159        |
| 3.1 液体膨胀式温度计(玻璃液体温度计) .....  | 160        |
| 3.2 固体膨胀式温度计(双金属温度计) .....   | 163        |
| 3.3 热电阻 .....                | 164        |
| 3.4 热电偶 .....                | 167        |
| 4 压力测量 .....                 | 180        |
| 4.1 基础知识 .....               | 180        |
| 4.2 U形液柱压力计 .....            | 182        |
| 4.3 弹性式压力计 .....             | 183        |
| 5 流量测量 .....                 | 190        |
| 5.1 差压式检测流量的基本知识 .....       | 191        |
| 5.2 节流装置检测流量的简单原理、计算实例 ..... | 192        |
| 5.3 膜片式差压计的检测原理 .....        | 214        |
| 5.4 质量流量计的使用 .....           | 215        |
| 6 液位测量 .....                 | 217        |
| 6.1 浮力式液位计 .....             | 217        |
| 6.2 静压式液位计 .....             | 221        |

|                            |                                                                       |     |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 7                          | 智能式变送器的调校 .....                                                       | 230 |
| 8                          | 检测系统的典型故障、分析、处理 .....                                                 | 233 |
| 8.1                        | $N_2$ 计量仪表 $d_{20}$ 、 $\Delta p_{max}$ 的改变引起 $\Delta F$ 变化的误差分析 ..... | 233 |
| 8.2                        | 某 $N_2$ 计量表示值不准的故障分析 .....                                            | 240 |
| 8.3                        | 丙烯供收双方计量表示值不等的误差分析 .....                                              | 241 |
| 8.4                        | 热电偶检测系统示值偏低的分析与处理 .....                                               | 242 |
| 8.5                        | 锅炉液位示值不准的故障分析与处理 .....                                                | 242 |
| 8.6                        | 浮筒液位计示值漂动、测量滞后 .....                                                  | 243 |
| <b>第3章 电子技术基础</b> .....    |                                                                       | 245 |
| 1                          | 本岗位应知的电工、电子基础知识范围 .....                                               | 245 |
| 2                          | 晶体管开关特性及反相器 .....                                                     | 245 |
| 2.1                        | 晶体管反相器 .....                                                          | 245 |
| 2.2                        | RC 充放电电路的特性 .....                                                     | 254 |
| 3                          | 双稳态电路 .....                                                           | 257 |
| 3.1                        | 双稳态电路的工作原理 .....                                                      | 259 |
| 3.2                        | 稳定条件 .....                                                            | 260 |
| 3.3                        | 触发条件 .....                                                            | 263 |
| 4                          | 脉冲信号电路 .....                                                          | 269 |
| 4.1                        | 工作原理 .....                                                            | 269 |
| 4.2                        | 振荡周期的计算 .....                                                         | 273 |
| 5                          | 门电路 .....                                                             | 276 |
| 5.1                        | 二极管门电路 .....                                                          | 278 |
| 5.2                        | 与非门电路 .....                                                           | 282 |
| 6                          | 有触点开关电路的分析 .....                                                      | 287 |
| 6.1                        | 工艺要求 .....                                                            | 287 |
| 6.2                        | 自控要求 .....                                                            | 287 |
| 6.3                        | 有触点开关电路的分析 .....                                                      | 288 |
| 7                          | 综合无触点逻辑电路的分析 .....                                                    | 291 |
| <b>第4章 工业控制系统的应用</b> ..... |                                                                       | 293 |
| 1                          | 集散控制系统 .....                                                          | 293 |
| 1.1                        | 集散控制系统的基本概念 .....                                                     | 293 |
| 1.2                        | 集散控制系统的构成 .....                                                       | 296 |
| 1.3                        | 集散控制系统的操作和显示 .....                                                    | 303 |

|     |                      |     |
|-----|----------------------|-----|
| 1.4 | 集散控制系统应用实例 .....     | 306 |
| 1.5 | 集散控制系统的维护及故障处理 ..... | 321 |
| 2   | 现场总线控制系统 .....       | 330 |
| 2.1 | 现场总线控制系统的基本概念 .....  | 330 |
| 2.2 | 现场总线控制系统的特点 .....    | 331 |
| 2.3 | 现场总线控制系统的应用 .....    | 334 |

# 第 1 章 过程控制原理和控制工程

## 1 自控基础知识

### 1.1 自动调节系统的概况

石化企业近年来不断引进外国先进技术，如 30 万吨/年和 40 万吨/年等乙烯项目，促进了我国石化行业自动化的发展。石化生产过程往往是在密闭的管道、塔器内进行各种物理变化、化学反应，常处在高温、高压、易燃、易爆状态，还有的有毒、有腐蚀性，有刺激性臭味，为了确保安全生产，改善劳动条件，发展过程自动化尤为重要和迫切。

所谓的过程控制原理和控制工程即是借助自动化工具（仪表、调节器、计算机），运用控制原理来实现过程自动化，以确保生产过程安全、优质、高产。

#### 1.1.1 自动调节系统和环节的构成

自动调节系统应包括三大部分：首先是检测、变送被调参数（电、气信号）；其次是自动调节器将变送来的信号与工艺参数的控制指标即给定值（电、气信号）加以比较，按预计的运算规律算出结果，发出指令；最后命调节阀开大、关小或进行越限参数的处理。从以上分析得知，自动调节系统应包含的内容为：自动检测、自动调节、程序控制和自动联锁保护。在调节系统中，工艺生产设备叫做调节对象，在生产中保持不变的工艺技术指标称为给定值。

为更清楚地表述自动调节系统，习惯上运用系统方块图表示各组成环节间的相互影响和信号联系。每个方块图之间用一条带有箭头的线条表示其相互关系，箭头的方向表示进入或离开这个方块，

线上的字母表示相互间的作用信号。

图 1-1 中被控设备用一个“对象”方块表示，控制设备中的参数温度、压力、流量、液位统称为被调参数，并用  $y$  表示。从图中看到，被调参数便是对象的输出信号。而影响被调参数的外来因素在自调系统中叫做干扰，在方块图中用  $f$  表示。由于干扰作用于对象的输入信号，故箭头是指向对象。调节阀的动作是引起出料流量的改变，方块图中的调节阀的出料流量为输出参数。图 1-1 中测量、变送的输出信号为  $z$ ，进入调节器的比较机构，与给定信号  $x$  进行比较，经比较后其偏差信号为  $e$  ( $e = x - z$ )。调节器根据偏差信号  $e$  的大小，按预先设计好的调节规律进行调节，并发出信号  $p$  (电、气信号) 命调节阀动作克服干扰的影响，实现调节作用。 $q$  的变化实现了调节的作用，其参数称为调节参数。

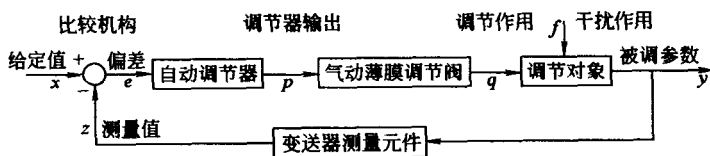


图 1-1 自动调节系统方块图

从图 1-1 看到，调节对象有两个输入信号：调节参数和干扰参数。如某一时刻无干扰信号输入，此时系统暂时处于稳定状态，输出为恒定不变的信号值。但干扰是客观存在不可避免的外来因素，其作用是破坏平衡状态，引起被调参数变化，多数调节系统均有数种干扰同时存在。经实践研究表明干扰作用进入系统的位置、形式、幅值大小、频繁程度均对被调参数有不同的影响。为考虑安全、研讨方便，在调节系统中假设一种幅值最大又是突变的、一经此干扰加入后便持续不再消除，而对被调参数又产生最大的影响的一种阶跃干扰，如图 1-2 所示。如果一个调节系统能克服最严重、幅值最大、又是最恶劣的干扰，那么其他干扰便迎刃而解了。

在自调系统中，只要有一个方块是单方向性的，则整个系统便

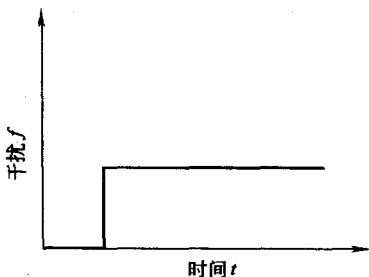


图 1-2 阶跃干扰作用

是单方向性的。方块间的连线，仅代表自动化系统中的信号传递，并不表示物料的联系，连线上的箭头只代表信号的传递方向。

从图 1-1 看到，在自动调节系统中，信号沿箭头方向前进，又回到原来的起点，构成一个信号传递的闭合回路。另外从图 1-1 看到，测量变送的方块图的输出信号为  $z$ ，旁边有一个负号“-”，在给定值  $x$  旁有一个正号“+”，调节器的偏差信号  $e = x - z$ 。在调节系统中将输出信号引回到输入端的方法称之为反馈，而当系统是闭合的，反馈信号  $z$  又是负值时，此系统称为“闭合的负反馈”。为何选择负反馈的形式呢？因为当被调参数  $y$  增加时，反馈信号  $z$  向负值方向增加， $e = (x - z) < 0$ ，则调节器为负偏差信号  $e$  输入，经预定的调节规律计算后输出信号减少，促使被调参数较原先下降，反馈结果使被调参数恒于给定值。反之，如选用正反馈形式，其反馈结果使被调参数越来越偏离给定值，生产过程越来越恶化，这样不但破坏了正常的生产，并可能导致事故。

### 1.1.2 自动调节系统的类别

理论上可按工艺参数、调节规律等进行分类，但在分析调节系统特性时，由于给定值形式不同将涉及不同的分析方法，故习惯上调节系统按给定值不同情况进行分类，有定值调节系统、随动调节系统、程序调节系统。

(1) 定值调节系统 定值调节系统是恒定给定值调节系统的简

称。在生产过程中往往规定不变的技术指标，工艺上的技术指标折算到自控系统中的给定值。

(2) 随动调节系统（跟踪系统） 这种调节系统要求给定值不断变化，如航天控制系统，串级调节系统中的副调即为跟踪调节系统。

(3) 程序调节系统 给定值亦是变化的，但它是时间的函数。在石化工艺过程中，有不少的工艺技术指标要求按一定的时间程序进行变化。

## 1.2 自动调节系统的过渡过程

### 1.2.1 系统的静、动态

在调节系统中，被调参数不随时间变化的平衡状态称为系统的静态。被调参数随时间而变化的不平衡状态称为系统的动态。系统的静态与平时认为静止不动的静态是不相同的，系统中的静态为输入参数（给定、干扰）暂时恒定不变，此时的调节系统暂时处于相对平衡状态，但生产仍在进行，各种物料、能量仍然进进出出，只是整个生产过程暂时平稳地进行。如液位调节系统，流入量恒为流出量，液位暂不变，整个系统亦暂处于相对平衡状态，即为系统的静态。这就表明自动化中的静态是指各参数（信号）的变化率为零。此外，从数学观点看，常数的导数为零，所以系统中静态的核心是参数的变化率为零，而输入参数暂恒定不变。

当系统暂处于平衡状态时，由于干扰作用改变了原平衡状态，平衡状态转为不平衡状态。被调参数也发生变化，此时用改变调节参数的方法来克服干扰的影响。在调节系统中从干扰发生，经调节作用又建立新的平衡状态，在这段时间内整个系统的各环节和参数都处于变动状态，在自动化中称这种状态为动态。在研究系统的动态时，主要研究系统能否建立和怎样建立新的平衡状态。

从哲理的观点看平衡和静态是暂时的、相对的、有条件的，不平衡和动态才是普遍的、绝对的、无条件的。

在生产过程中，干扰总是不断地发生，而自动调节总是不断地去克服干扰对被调参数的影响，最后结果使被调参数恒定于给定值（工艺上的技术指标），因此，自动化研究的过程便是研究动态的过程。

### 1.2.2 系统的过渡过程及质量指标的评定

综上所述，研究调节系统主要是研究动态过程，在动态过程中被调参数总在不断地变化，通常把被调参数随时间变化的过程称为自动调节的过渡过程。在自动调节系统的过渡过程中，调节作用不断克服干扰作用，最终经调节作用达到新的平衡状态。系统的过渡过程一般表现为振荡过程，现将过渡过程的曲线归结为如下4种曲线，如图1-3所示。

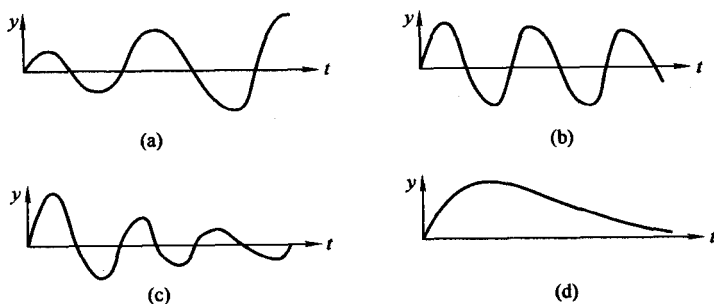


图 1-3 过渡过程的 4 种曲线形式

(a) 发散振荡；(b) 等幅振荡；(c) 衰减振荡；(d) 单调过程

图 1-3 (a) 发散振荡过程，表明被调参数将逐渐增大，最后超越限值造成事故，此种振荡最危险，不符合要求。(b) 等幅振荡过程，此过程不稳定，一般不采用。(c) 衰减振荡过程，经衰减振荡后最终经一定时间能趋向一个新平衡状态，此过程宜采用。(d) 非振荡过程（单调过程），当被调参数不允许大量波动情况下可采用，但由于变化较慢，多数情况下不宜采用。从图 1-3 看到，曲线 (a)、(b) 是不稳定过程，曲线 (c)、(d) 为稳定过程。图 1-4 为

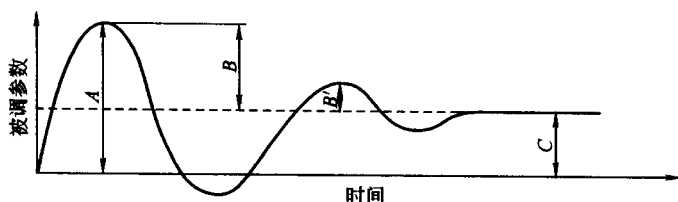


图 1-4 过渡过程质量指标示意图

过渡过程质量指标示意图，因过渡过程是衡量系统质量的依据，为进一步研讨在干扰作用下衰减过渡过程的质量，现以如下几个指标进行评定。

(1) 衰减比 从前面分析得知，自动调节系统希望能得到衰减振荡的过渡过程，但衰减到什么程度较为合适呢？一般用  $n:1$  表示衰减比，表示衰减的程度。实践证明取  $n=4\sim10$  为宜，在工程上一般取  $n=4$ ，衰减比为  $4:1$ 。

(2) 余差 所谓的余差是指过渡过程终了的残余偏差，即被调参数达新稳态值与给定值之差，图 1-4 中用“C”表示。原则上余差越小越好，但有的被调参数如工艺指标为液位，即使有点余差亦无妨。可是对于易燃易爆的石化过程中的温度、压力控制指标较为严格的情况，不允许有残余偏差的存在，需设法消除余差。

(3) 最大偏差 偏差是被调参数的示值与给定值之差。对于衰减振荡的过渡过程，其最大偏差为第一个波的峰值，如图 1-4 中以 A 表示。从图 1-4 看到最大偏差是系统偏离给定值的程度，如偏离越大，偏离时间越长，调节系统离开规定的生产状态就越远，其结果越不利工艺控制指标。

从图 1-4 还可看出超调量 B 亦可表征被调参数的偏离程度，它与最大偏差 A、余差 C 的关系为  $A=B+C$ 。

(4) 过渡时间 从干扰发生起到被调参数达新稳态值止的时间叫做过渡时间。但由于过渡过程时间较长，并受仪表灵敏度的限

制，实际计算过渡过程时间是从干扰开始作用时起，直至被调参数达新稳态值的 $\pm 5\%$ 的范围之内所历经的时间。从生产角度看，希望过渡过程时间越短越好，如过渡时间长，则旧干扰尚未克服新干扰又随之而来，其结果形成几个干扰叠加起来影响被调参数，最终使其无法达到新稳态值。

此外，还把过渡过程从第一个波峰到第二个波峰的时间叫周期，其倒数称为振荡频率。从以上的分析得知，过渡过程的主要质量指标为衰减比、余差、最大偏差或超调量、过渡时间。

### 1.3 系统及环节的特性

过渡过程的质量指标主要取决于系统本身的特性，亦是系统各环节特性的综合表征。系统的输入无论是干扰或给定作用引起输出变化，均是外因，而系统本身的特性才是系统变化的内因。这就说明研究系统特性的重要性和必要性。系统的特性由静态特性和动态特性两部分组成，其中以动态特性更为主要。

#### 1.3.1 调节对象的静、动态特性

在生产过程中，有的设备易操作，有的设备难以操作，这主要是各对象有不同特性的结果。研究对象的特性主要研究对象受到外来干扰作用后，被调参数如何变化，变化多少，以及怎样将对象的物理、化学性质表征为对象的特性。

(1) 对象的静态特性 假设对象有一阶跃变化，其幅值为  $\Delta f$ ，对象的输出最后稳定在  $y(\infty)$ ，则  $\frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta f} = K$ ，其中  $y(0)$  为干扰改变前对象输出的稳态值，计算所得的常数  $K$  表征对象的静态特性，一般称为对象的放大系数。

干扰是调节对象的输入参数。输入、输出和放大系数  $K$  的关系示于图 1-5。从图 1-5 看到  $K$  愈大，表示输入对输出的稳态值影响愈大，反之则影响小。如  $K$  值为常数，则对象为线性对象，其输入与输出的关系可用直线表示。如  $K$  不为常数，即为非线性

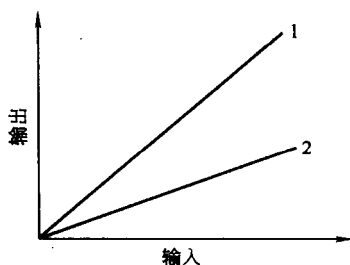


图 1-5 对象静态特性示意图

1— $K$  大；2— $K$  小

对象。

(2) 对象的动态特性 当对象受到干扰作用后，其输出随时间变化可用一条反应曲线表示。从反应曲线看，开始输出的变化率大，以后逐渐下降，最后至零。从反应曲线的初始点作一切线，将其延伸到与新稳态值相交，交点所对应的时间即为对象的时间常数  $T$ ，它是确定对象动态特性的一个特定常数，如图 1-6 所示。反应

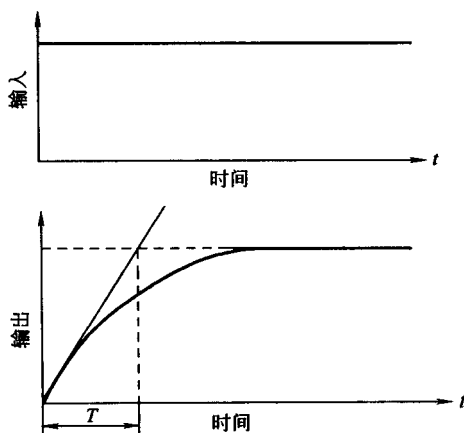


图 1-6 直接蒸汽加热器反应曲线