

388668

5083
21810

调节器参数工程整定 与 调节器校验

化 工 第 五 设 计 院
石油化工自控设计建设组

一九七一年

前 言

波澜壮阔的无产阶级文化大革命，以极其雄伟的力量，推动着工业仪表和自动化突飞猛进的发展。广大工人高举毛泽东思想伟大红旗，昂首阔步、奋勇前进，与革命技术人员和革命干部实行革命三结合，坚决贯彻毛主席“独立自主、自力更生”的伟大方针，大搞工业仪表和自动化的群众运动，使自动化出现了前所未有的崭新局面。

在大搞工业自动化的过程中，新技术不断出现，新仪表越来越多，自动化水平不断提高。为了适应这种形势的需要，努力做好化工自动化的基础工作，燃化部自控技术中心站，组织了“调节器参数工程整定和调节器校验方法”编写小组，着手总结我国工人阶级有关调节器参数工程整定和调节器校验的先进经验，这是毛主席革命路线的伟大胜利。

在调节器参数整定和调节器校验的问题上，一直存在着两个阶级、两条道路、两条路线的斗争。文化大革命前，叛徒、内奸、工贼刘少奇及其在科研、高教战线上的代理人，出于他们的反革命本性和复辟资本主义的需要，大肆贩卖“专家路线”、“爬行主义”、“洋奴哲学”。他们大搞技术神秘化，死啃洋本本，死守洋框框，死搬洋教条，弄虚作假，把参数整定吹得神乎其神，奥妙莫测。他们觉得调节器校验没有什么油水可捞，就把这样一项重要的工作一脚踢开，让它处在无人过问的状态。是可忍，孰不可忍！

无产阶级文化大革命的急风暴雨，以雷霆万钧之势，荡涤污泥浊水，彻底摧毁了刘少奇的反革命修正主义路线。毛主席

“工人阶级必须领导一切”的伟大号召，犹如浩荡东风，吹进了资产阶级在各个领域的世袭领地，打破了资产阶级的一统天下。工人、革命技术员和革命教师三结合的“调节器参数工程整定和调节器校验编写小组，高举革命大批判旗帜，以两条路线斗争为纲，努力学习毛主席的哲学思想，认真总结工人师傅的经验，在有关工厂和工人师傅的大力支持下，完成了编写任务。

“调节器参数工程整定和调节器校验”这本书的第一章，介绍了有关自动调节系统的基本概念，调节系统的组成，调节对象，调节阀和测量元件的特性，并着重分析了调节器的特性及其在系统中对调节过程的影响。第二章，总结了简单调节系统调节器参数整定的临界比例度法和经验法，提出了4:1衰减曲线法。同时，还进一步提出了串级调节系统调节器参数整定的二步整定法和一步整定法，简略地介绍了调节系统的投运方法。第三章，全面地总结了各种气动、电子调节器的校验规律、主要技术指标和校验方法，并有各种调节器的校验举例。

参加本书编写工作的有：浙江大学、兰州炼油厂仪表厂、化工部第五化建公司、上海炼油厂、兰州自动化研究所、兰州303厂、兰州304厂和化工部第五设计院等八个单位。在整个编写工作中，还得到了各有关单位的大力支持，在此表示深切的感谢。

由于我们毛泽东思想水平不高，特别是学习毛主席哲学思想还很不够，加之时间匆促，业务不熟悉，本书的缺点错误一定很多，欢迎读者批评指正。

燃化部自控技术中心站“工程整定和调节器校验”小组

一九七〇年十二月二十六日

毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

没有中国共产党的努力，没有中国共产党人做中国人民的中流砥柱，中国的独立和解放是不可能的，中国的工业化和农业近代化也是不可能的。

阶级斗争、生产斗争和科学实验，是建设社会主义强大国家的三项伟大革命运动，是使共产党人免除官僚主义，避免修正主义和教条主义，永远立于不败之地的确实保证，是使无产阶级能够和广大劳动群众联合起来，实行民主专政的可靠保证。

我们是主张自力更生的。我们希望有外援，但是我们不能依赖它，我们依靠自己的努力，依靠全体军民的创造力。

要把一个落后的农业的中国改变成为一个先进的工业化的中国，我们面前的工作是很艰苦的，我们的经验是很不够的。因此，我们必须善于学习。

要认真总结经验。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。认识的能动作用，不但表现于从感性的认识到理性的认识之能动的飞跃，更重要的还须表现于从理性的认识到革命的实践这一个飞跃。

目 录

前 言

第一章 自动调节理论基础

- 1.1 调节器校验及调节器参数整定的意义……(1)
- 1.2 调节器参数整定与调节系统设计的关系……(2)
- 1.3 自动调节系统的组成和传递函数……(3)
- 1.4 对象、调节阀和测量元件的特性……(7)
 - 1.4.1 对象特性……(7)
 - 1.4.2 调节阀的特性……(10)
 - 1.4.3 测量元件的特性……(11)
- 1.5 调节器的特性……(12)
 - 1.5.1 比例作用……(13)
 - 1.5.2 积分作用……(19)
 - 1.5.3 微分作用……(28)
- 1.6 调节系统的质量指标……(36)

第二章 调节器参数工程整定方法

- 2.1 自动调节系统的投运……(40)
- 2.2 简单调节系统调节器参数的整定方法……(43)
 - 2.2.1 临界比例度法……(43)
 - 2.2.2 衰减曲线法……(45)
 - 2.2.3 经验法……(52)
 - 2.2.4 各种方法的比较……(56)

2.3	串级调节系统调节器参数的整定方法	(59)
2.3.1	概述	(59)
2.3.2	二步整定法	(63)
2.3.3	一步整定法	(67)
2.3.4	有关问题	(75)
2.4	比值调节系统调节器参数的整定方法	(80)
2.4.1	概述	(80)
2.4.2	整定方法	(81)
2.5	均匀调节系统调节器参数的整定方法	(82)
2.5.1	概述	(82)
2.5.2	整定方法	(83)

第三章 调节器校验

3.1	概述	(95)
3.2	气动调节器校验	(97)
3.3	典型气动调节器的校验方法	(106)
3.3.1	04型气动调节器	(106)
3.3.2	QDZ—1 型比例积分调节器	(114)
3.3.3	比例积分调节器闭环校验	(124)
3.3.4	微分器	(127)
3.3.5	QDZ—II 型三作用调节器	(135)
3.4	电子调节器校验	(142)
3.5	典型电子调节器的校验方法	(152)
3.5.1	基地式电子调节器	(152)
3.5.2	DDZ—II 型三作用调节器	(164)

毛主席语录

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。认识的能动作用，不但表现于从感性的认识到理性的认识之能动的飞跃，更重要的还须表现于从理性的认识到革命的实践这一个飞跃。

第一章 自动调节理论基础

1.1 调节器校验及调节器参数整定的意义

在自动调节系统中，调节器好比是大脑。当被调参数受干扰影响而偏离给定值后，调节器就接受被调参数的偏差讯号，按一定的规律指挥执行机构动作，去克服干扰的影响，使被调参数逐渐回到给定值上。从而保证生产在较好的情况下进行。

要达到上述要求，除合理设计和正确安装这个自动化系统外，调节器的校验及调节器参数整定是项极其重要的工作。

在调节器未装上仪表盘之前，我们对调节器进行必要的调整和检查，以达到一定的指标，这些工作就是调节器的校验，它也包括调节器的比例度、积分时间和微分时间的测试。

对一只比较完善的调节器来说，应该达到下面的要求，当被调参数与给定值基本上相等时，也就是调节器的输入讯号基本上为零时，调节器的输出讯号能随生产负荷的要求而稳定在任一值上。如果调节器没有进行必要的校验，要达到上述要求是困难的。我们常见到用04型调节器的自动调节系统处于稳定状态时，测量指针与给定指针有比较大的距离，这就是调节器

沒有校验好之故。调节器未进行很好的校验甚至于不能发挥其应有的作用，还会给调节器参数整定工作带来一定的困难。严重的还会给生产和安全带来损害。

要使自动调节系统较好地工作，将已校好的调节器装上仪表盘后，还需要进行调节器参数整定工作。这个工作就是决定调节器的比例、积分和微分三个作用的具体数值，也就是决定上述三个刻度的具体位置。

调节器参数整定和调节器校验一样，在生产过程自动化中是一项重要的工作。在生产过程投产阶段，往往因为调节器参数整定得不好而不能发挥自动化设备的作用，从而不能顺利完成投产任务。在正常生产过程中，也往往由于调节器参数整定得不好，而降低了自动调节的质量，因而不能严格保持工艺生产条件，造成产品质量的降低和数量的减少。正确地整定调节器的参数，可以加快工业生产的速度和提高产品的质量，是保证优质高产的一项重要工作。

1.2 调节器参数整定与调节系统设计的关系

调节器参数的整定虽然重要，对自动调节过程的好坏起着很重要的作用，但也不能误认为参数整定是万能的。对于一个自动调节系统来说，调节质量的好与坏是相对的。如果这个系统设计得不好，要想通过调节器参数的选择来满足工艺生产的要求是不可能的。所以调节系统的设计是调节质量能否满足工艺要求的主要工作，调节器参数的整定是在调节系统设计好了以后，寻求一个相对最佳的过程。举个例子来说，对一个沒有侧线出料的精馏塔的控制，一种方案是选择调节塔顶的温度，这

样设计的结果可能不够理想。另外两种方案是选择调节塔的中端温度或塔上部的一个温度差。假若对塔的操作要求较高，前一种方案往往难于达到要求，在这种情况下，调节器参数的整定也就无能为力了。对后面两种方案，经过调节器参数的整定，可以找到一组适合的参数，在这组数据下，调节器很可能就满足了生产上的要求。最后再重复一下，一个自动调节系统能否满足要求，关键在于系统的设计，当系统设计好了，仪表经过校验和正确安装之后，调节器参数整定才成为改进调节质量的重要工作。

1.3 自动调节系统的组成和传递函数

在讨论自动调节系统组成之前，让我们用一个人工调节的例子来加以说明。图 1.1 是一个恒温反应器的人工控制示意

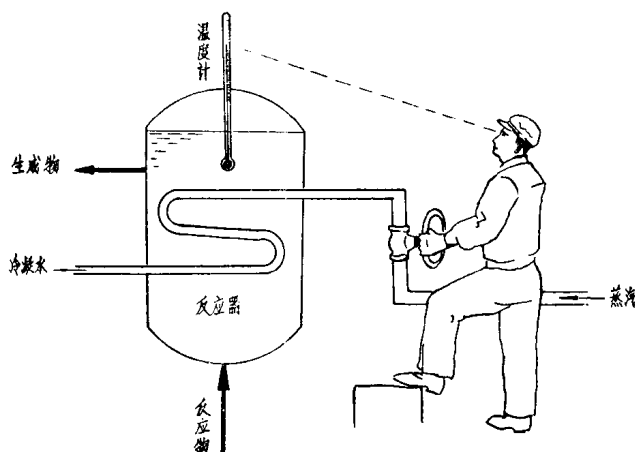


图 1.1 人工控制反应器温度示意图

图。反应物是连续不断地进入反应器中进行化学反应，得到的生成物则连续不断地取出。反应器的温度是用蒸汽通过加热盘管而保持的。在人工操作的时候，工人师傅首先是观察反应器上的温度计，看其指示值（也叫测量值）与预定要保持的恒定值（也叫给定值）有无偏差。假若没有偏差，他就不会采取任何调节措施。假若由于外界原因（如反应物流量或温度变化，蒸汽压力改变等）引起反应器温度偏离，他必然要转动阀门改变蒸汽量来消除偏差。在正偏差时（给定大于测量）他要开大蒸汽阀门，负偏差时（给定小于测量），关小蒸汽阀门。这种动作一直进行着直到测量回复到给定值为止。

假若在上述操作中用仪表代替人的各项工作，这就从人工调节转变为自动调节了。这时人就可以不直接参与维持温度恒定的工作，而是让其自动地进行了。在上述例子中反应器称为调节对象或对象，相当于人的大脑的仪表叫调节器，代替温度计和人的眼睛的仪表叫做测量元件，代替人的手及蒸汽阀门的仪表叫做调节阀，使温度产生偏离的种种外界原因都叫干扰。为了清楚地看出一个自动调节系统中各组成部分的相互关系和影响，一般用方块图表示如图 1.2。

图中每个方块代表调节系统的一个组成部分，每条带有箭

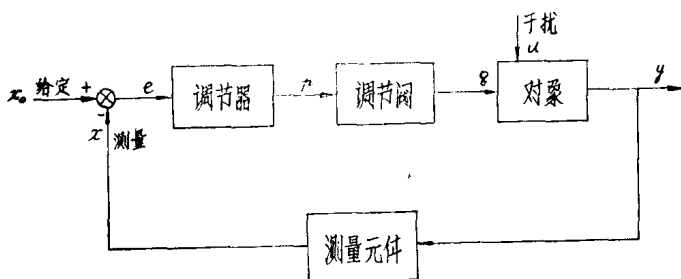


图 1.2 调节系统方块图

头的直线代表一个信号或物料，箭头表示进入还是离开这个方块，线上的字母是用来表示各信号或物料的符号。从图中可以明确地看到各参数之间的关系和各元件之间的联系。假若每个元件的特性方程式是知道的话，就可以把它填入每个方块中去，这样各参数间定量的关系也就很清楚地表达出来了。这就是应用方块图表示一个自动调节系统的优点。

用方块图来定量地表示各参数之间的关系时，在每个方块中填写上去的是一个表示特性的数学形式，基本的形式是微分方程式。但由于微分方程式在运算中比较复杂，很不方便，而当微分方程式经过拉氏变换以后，就会改变成为代数方程式，因为代数方程式的运算简单和一些其他的性质，现在都采用拉氏变换式的特性表示形式。这种表示形式称为传递函数。下面以图 1 中的反应器为例，说明传递函数与输入输出间的关系。对这个反应器通过热量平衡计算可以得到下列微分方程式：

$$T \frac{dy}{dt} + y = Kq \quad (1.1)$$

其中 T 及 K 都是常数， T 叫做时间常数， K 叫做放大系数。 y 是输出参数（反应器温度）， q 是输入参数（蒸汽流量）， t 是时间变量， d 是微分符号。

上面这个式子就是反应器的特性方程。应用求解微分方程式的办法，可以将特性方程的解求出来，这个解就是当输入参数 q 改变以后，输出参数 y 随时间 t 变化的具体规律。这就是反应器的特性。

假若将上式进行拉氏变换，可以得到下面的代数方程式：

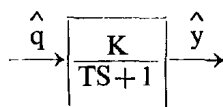
$$TS\hat{y} + \hat{y} = K\hat{q} \quad (1.2)$$

其中 $\hat{y}$ 是 y 的拉氏变换式, $\hat{q}$ 是 q 的拉氏变换式, S 是代替 $\frac{d}{dt}$ 的算子, 其他符号如前。

上式可以改写成:

$$\hat{y} = \frac{K}{TS+1} \hat{q} \quad (1.3)$$

或用方块表示之如下:



上面的 $\frac{K}{TS+1}$ 就叫做反应器的传递函数。

在研究自动调节系统的时候, 尤其是讨论调节器参数整定的时候, 往往都有将调节系统按工艺参数分类的做法。但是按调节系统的特性来进行分析研究将更好。毛主席教导我们说: “我们看事情必须要看它的实质, 而把它的现象只看作入门的向导, 一进了门就要抓住它的实质, 这才是可靠的科学的分析方法。”我们看一个调节系统要看它的组成和每一个组件的特性, 然后经过综合再看整个系统的特性, 这种从特性出发的研究方法, 才能看到一个系统的实质。例如在整定调节器参数的时候, 常常发现两个不同工艺参数的系统, 可以用一组相同的调节器参数来满足生产要求。根本的原因就是两个系统虽然有不同的工艺参数, 但是两者的特性是一样的, 因而可以选用相同的调节器参数。令人遗憾的是, 在目前全面地定量地从特性的角度来研究问题还是受到限制的。虽然这样, 能定性地分析和研究也是很有益处的。下面将分别简述系统各组成部分的特性及其应用。

1.4 对象、调节阀和测量元件的特性

1.4.1 对象特性

表示对象的方法很多，现在结合调节器参数整定的工作采用放大系数及滞后的表示方法。首先以图 1.1 中蒸汽加热的反应器为例加以说明。当蒸汽阀开大以后，反应器的温度应该上升，但不会马上改变，而要经过一段时间后才开始上升。这个温度的上升往往是缓慢的，并上升到一定的数值就不再变化了。用曲线把上述的过程表示出来，将如图 1.3 所示。图中的

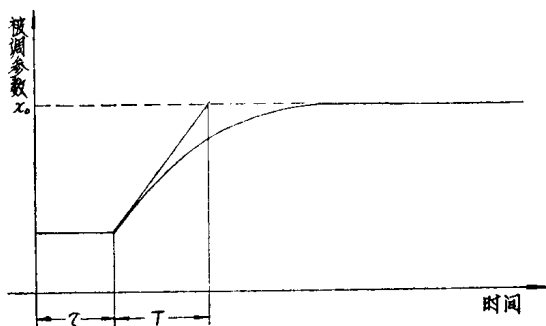


图 1.3 调节器的特性曲线

曲线叫做对象的特性曲线也叫做对象的过渡过程。图中的 τ 这段时间是从调节阀开始开大到反应器温度开始变化这一段时间，一般叫做纯滞后或纯时延。从温度开始变化这一点作一条切线，并与新的稳定值 x_0 相交，切点和交点间的时间 T 就叫做传递滞后或时间常数。

当蒸汽阀开大以后，反应器温度就上升了，温度最终上升的数值与蒸汽流量增大的数值的比就叫做放大系数。说得更具

体一些，放大系数就是蒸汽流量（输入）每改变一公斤时，反应器温度（输出）改变的度数。

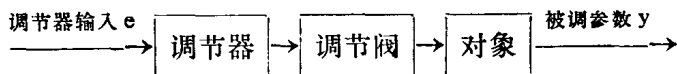
对象的放大系数和滞后分别叫做对象的静态特性及动态特性，这是从特性是否随时间变化而定的。不随时间变化的部分称为静态特性，随时间变化的部分称为动态特性。对象的放大系数在工况及负荷不变的情况下，是不随时间而变的，因为不管是现在测量或另一时间测量，放大系数的数值都是一样的，即当蒸汽流量改变一公斤，反应器温度总是改变同样的度数。这个数值是不随时间而变的，所以叫做静态特性。但是滞后则不然，当蒸汽流量改变后，反应器温度会慢慢上升（或下降），在整个过渡期间，随着时间的不同温度是变化的直至达到稳定为止。所以滞后是一种随时间而变化的特性，叫做动态特性。在表示动态特性的时候，假若每次都用象图 1.3 中的整条曲线，那就未免太复杂了，习惯上用两个特征数值表示，即纯滞后及时间常数。因为图 1.3 中的曲线部分是所谓的指数曲线。对于这种曲线只要知道时间常数就可以通过数学计算而把整条曲线画出来了。

对象的静态及动态特性并不是永恒不变的，工况改变、负荷变化、设备老化等原因都可以造成特性的改变。如图 1.1 中的对象，当负荷加大，流过反应器的流速就大，每单位时间带出去的热量就大，在蒸汽流量加大一公斤时，反应器温度上升的数值就较低，因而放大系数就变小了。又如当设备老化后，传热的效率降低了，这时在蒸汽流量改变后，反应器温度的上升速度就变慢了，因而滞后就加大了。

对象的放大系数与自动调节有很大的关系，放大系数小的对象调节起来比较不灵敏，但较稳定；对于放大系数大的对象则比较灵敏，但稳定性差。例如一个圆长形的容器用作液面调

节的对象，假若直立安装，放大系数就大，横放着放大系数就小。这是因为加入同样数量的液体，直立容器的液面高度增加大，而横卧容器增加少。对于前者调节起来就比较灵敏但难稳定，后者则相反。

在一个自动调节系统中不管对象放大系数的具体数值是多少，在极大多数情况下，都可以用选取适合的比例度来达到满意的调节质量。选取的原则是：对象放大系数大的用大的比例度，对象放大系数小的用小的比例度。选取的理由可以简述如下。在一个系统中调节器与对象总是串联的，可以用方块图表示为：



或用符号表示如下（只考虑静特性）：

$$e[K_{\text{调}}K_{\text{阀}}K_{\text{对}}]=y$$

其中 $K_{\text{调}}$ ， $K_{\text{阀}}$ ， $K_{\text{对}}$ 分别为调节器，调节阀和对象的放大系数。

从上式可以看出，假若调节质量指标相同，调节器放大倍数和对象放大系数的乘积是不变的。所以大的对象放大系数必须配上小的调节器放大倍数，这样两者的乘积才会不变。又因为调节器放大倍数和比例度成倒数的关系，放大倍数小则比例度就大，所以对于放大系数大的对象要选用大的比例度。根据相同的理由，对于放大系数小的对象要选用小的比例度。

对象的滞后对调节过程也要有影响，仍以图 1.1 的例子来说，加热蒸汽压力的波动也会引起反应器温度如图 1.3 中曲线那样变化。假若压力是加大了，流过的蒸汽量相应地也要增

大。在 τ 的一段时间内，虽然加热的蒸汽量加多了，传送到反应器的热量增多了，但是由于反应器的温度还暂时没有反映出来，调节器不会动作，从而调节阀也不会采取校正措施，一直要等 τ 这段时间过去了，开始进入到T的这段时间，调节器才感受到偏差，因而开始动作，调节阀也才开始校正。这样必然不能克服蒸汽压力早就产生的影响，结果会使温度较大地偏离给定值，较长时间得不到平稳，这就是滞后对于调节过程的影响。

对象的滞后是有害的，滞后越大，影响就越大，调节质量就越差。克服滞后的方法是采用微分作用，或更好地采用串级调节方案。当然，在设计调节系统的时候，千方百计选取滞后最小的一部分设备作为对象，这才是根本的措施。

1.4.2 调节阀的特性

调节阀的特性也可以和对象一样用放大系数及滞后来表示。它们对调节系统的影响也和对象一样。但是对于调节阀来说，特性是可以在设计系统的时候自由选择的，因而在较大的限度内避免了放大系数及滞后的不良影响。

调节阀的放大系数具体就相当于阀的尺寸，它是可以选择的，假若选不到适合的尺寸或选择不当，可以选取适当的比例度进行匹配，匹配的原则和理由与对象一节中的讨论一样，也就是阀尺寸小比例度小，尺寸大比例度大。但是往往也有不可克服的困难，尤其是滞后。例如从调节器到调节阀的距离很远，选用的调节阀尺寸又很大，这时阀的滞后就是不可避免地过大了。调节阀滞后会使得调节器的作用不能及时得到贯彻，从而降低了系统的调节质量。克服调节阀滞后的方法往往是采用阀门定位器。

1.4.3 测量元件的特性

与前述对象一样，测量元件的特性也用放大系数及滞后来表示，它们对调节质量的影响也和对象一样，因而在选取测量元件的时候，应尽可能地选用滞后小的元件。除了元件的选择外，装配和安装方法也有很大的影响。例如一个热电偶如何装配在一个套管中，就有很大的差别。假若一个是悬空地套在管子里，另一个的热点是与管壁焊接在一起的如右面图1.4所示。后者的滞后将远远小于前者。又如对于精馏塔塔顶温度的测量，温度计的安装位置有如图1.5中的几种可能。除了有星号的一种安装位置外，其他几种都由于有死角，反应不灵敏等原因，不能真实反应塔顶部的温度，降低了测量的质量。

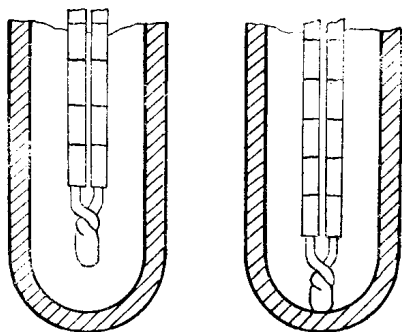


图 1.4 热电偶的装配

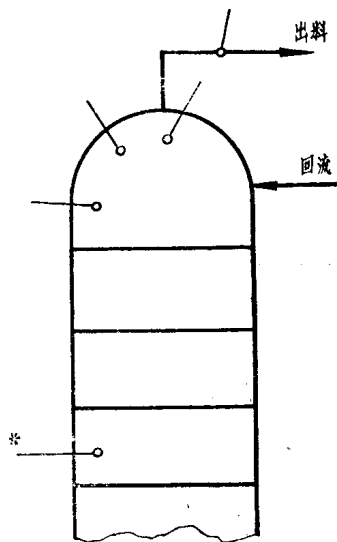


图 1.5 测温元件的安装