



化工原理实验

陈作义 江涛 柳晓俊 编

HUAGONG
YUANLI
SHIYAN



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

本书出版获得广东第二师范学院“创新强校工程”项目
(应用化学专业综合改革试点)经费资助

化工原理实验

陈作义 江 涛 柳晓俊 编



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/陈作义,江涛,柳晓俊编. —广州:华南理工大学出版社,2015. 12
ISBN 978-7-5623-4840-5

I. ①化… II. ①陈… ②江… ③柳… III. ①化工原理-实验 IV. ①TQ02-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第303214号

化工原理实验

陈作义 江涛 柳晓俊 编

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学17号楼, 邮编510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 林起提 袁 泽

责任编辑: 王荷英 袁 泽

印 刷 者: 广州市穗彩印务有限公司

开 本: 787mm×960mm 1/16 印张: 9.75 字数: 180千

版 次: 2015年12月第1版 2015年12月第1次印刷

印 数: 1~1000册

定 价: 20.00元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

前 言

化工原理实验是与化工原理课程学习同步实施的重要的实践教学环节，要求学生在学习理论课程的基础上，加深理解化工单元操作的基本原理，熟练掌握常用的仪器仪表和各单元操作的设备的特性和使用方法，并能够对实验中看到的现象和结果运用已学习的知识进行分析和验证。化工原理实验的主要目的是训练学生的四种能力：理论知识运用能力、仪器仪表使用能力、实验动手操作能力、数据处理分析能力。化工原理实验不仅能验证化工原理课程的基本理论，更重要的是能为实验者提供实验技能和试验方法的基本训练，培养独立组织和完成实验的能力，树立严肃的工作作风和实事求是的科学态度，这些都是科技工作者必需的基本素质。

化工原理实验属于工程实验的范畴，具有工程科学的显著特点，有利于学生在实验过程中建立工程概念，同时也对学生提出了更高的要求。与其他实验设备相比，化工原理实验安全性相对较差。比如洞道干燥实验、喷雾干燥实验等装置开启之后，噪声较大；离心泵性能测定等实验操作不当可能会导致U形水银压差计中的水银被冲出；套管换热装置、精馏装置等涉及高温高压气体，误操作会造成玻璃组件崩裂。每次实验，实验指导老师都需要反复强调安全的重要性，指出安全隐患所在。在和生产实际更加贴近的实验场所，学生首先心理上要克服两个关卡：恐惧和大意。多数女生可能会畏手畏脚，不敢动手；少数男生可能会对安全提醒无所畏惧，毛手毛脚。笔者的经验是，分组实验时确保每组都有男女同学，以弥补各自的不足。

为了更好地达到教学目标，要求学生按部就班地完成以下几个学习步骤。首先，在实验前必须做好实验预习，了解每次实验将使用什么装置、选用什么物系、流程如何安排、需读取哪些数据。充分预习后可在电脑上完成仿真实验，在仿真实验中加深对设备的认识，正确操作、仔细观察。正式实验开始前，一定要听从实验指导老师的指导，未经许可不得擅自启动设备。在弄清楚实验装置与模拟装置的区别后，看清设备的组成、工艺流程，了解启动和使用的方法。在读取实验数据时，要等到实验现象达到稳定后采集，做好原始笔录，并留意仪器仪表的读数精度。实验过程中如果发现数据有误，需再次核验该条件下采集到的数据。最后是撰写实验报告，

实验报告要求文字简明、说理充分、条理清楚、计算正确、图表规范，并要有分析和讨论。根据实验现象和数据找出工程实际问题的本质，提出问题和解决问题。

总之，化工原理实验对学生养成思考的习惯和理解工业生产工艺有很大的帮助，可为学生将来参与化工行业生产提供必要的知识储备和经验积累。

本书是编者根据十多年的教育经验积累编写的一本适合学生实际实验状况的简明教材。教材主体分两部分：实验部分和附录参数。其中实验部分分为演示性实验和验证性实验、仿真实验三部分。演示性实验包括：固体流态化实验、板式塔演示试验、喷雾干燥实验、新型膜分离实验；验证性实验包括雷诺实验、伯努利方程实验、管道阻力实验、离心泵性能测定实验、恒压过滤常数测定实验、传热实验、精馏实验、吸收实验和洞道干燥实验；仿真实验包括雷诺仿真实验、伯努利方程仿真实验、管道阻力仿真实验、离心泵性能测试仿真实验、过滤仿真实验、传热仿真实验、精馏仿真实验、吸收仿真实验、洞道干燥仿真实验。在附录部分，介绍了一些常用的仪器仪表、化工设备标准配件、实验涉及的部分物性参数，其中部分参数保留了非国标单位。本书的这种编排结构，方便学生实验过程中及时查找相关知识和参数，强调了学生在实验过程中的主体性和能动性。

本书第一章和附录由江涛撰稿，第二章由柳晓俊撰稿，第三章由陈作义撰稿，第四章由蒋辽川和邓招霞撰稿，全书由陈作义统稿，江涛副教授审稿。

编者
2015年9月

目 录

第一章 实验基础知识	(1)
第二章 演示实验	(9)
实验一 固体流态化实验	(9)
实验二 板式塔演示实验	(13)
实验三 喷雾干燥实验	(20)
实验四 新型膜分离实验	(23)
第三章 验证实验	(28)
实验一 雷诺实验	(28)
实验二 伯努利方程实验	(31)
实验三 管道阻力实验	(35)
实验四 离心泵性能测定实验	(41)
实验五 恒压过滤常数测定实验	(46)
实验六 传热实验	(53)
实验七 精馏实验	(60)
实验八 吸收实验	(69)
实验九 洞道干燥实验	(76)
第四章 化工仿真实验	(84)
实验一 雷诺仿真实验	(84)
实验二 伯努利方程仿真实验	(88)
实验三 管道阻力仿真实验	(91)
实验四 离心泵性能测试仿真实验	(98)
实验五 过滤仿真实验	(100)
实验六 传热仿真实验	(103)
实验七 精馏仿真实验	(107)
实验八 吸收仿真实验	(110)
实验九 洞道干燥仿真实验	(114)

附 录	(117)
附录一 化工设备常用管子、管件、阀门及其说明	(117)
附录二 常用测温仪表	(123)
附录三 常用测压仪表	(134)
附录四 常用流量计	(139)
附录五 干空气和水的物理性质	(145)
附录六 湿空气的湿焓图 ($H-I$ 图)	(147)
附录七 乙醇溶液的物理常数	(148)
参考文献	(150)

第一章 实验基础知识

实验人员首先必须具备实事求是的态度。实事求是要求实验者将观测到的现象、数据、规律作为第一手材料忠实地记录下来，即使其中的数据不够精确，或有错误，也要在记录原始实验数据时加以保留，而不能随便更改。在记录好数据后要立即复核，避免读错数值或写错数字。除了实事求是外，实验者必须对所开展的实验及实验设备有充分的认识，能够知晓实验原理和注意事项，对于实验装置的操作要做到准确无误。同时，在实验过程中需要团队合作时也要事先做好规划，合理分工，密切合作。在撰写实验报告时，要按规定步骤完成，并做好实验数据的分析处理工作。

一、化工原理实验的基本要求

化工原理实验属于工程实验的范畴，具有工程科学的显著特点，学生在实验过程中需要建立起工程作业的概念。化工原理实验的这些特点，也为实验教学提出了较高的要求。

1. 化工原理实验具有较强的工程性

化工原理实验的工程特点体现在三个方面：①数学模型和经验方程。在对化工单元操作过程有充分认识的基础上，建立适当的数学模型对过程进行描述，并在此基础上通过一定量的实验数据获得经验方程。②实验设备建构复杂。虽然每个实验只是涉及某一单元操作，但实验中涉及的变量参数多，加上各设备的结构特点不同，导致过程中的变量参数会相互影响，如干燥实验、精馏实验、吸收实验等。③团队合作。化工原理实验装置庞大，测控点较多，需要多人良好协作才能精准完成实验。实验中的分工与合作，考验学生的责任心、组织能力和协作精神。通过高质量地完成化工原理实验，学生可以得到实验方法、实验技能和工程能力的训练。正确掌握并灵活应用实验方法，对培养学生的工程实践能力和过程开发能力是有很大帮助的。

2. 了解相关参数及掌握仪表的选型和使用方法

实验过程中会涉及或需要测量多种参数,其中包括密度、黏度、比热、比容等物性参数,温度、流量、压力、浓度等操作参数,管长、管径、管子排列等设备结构参数,阻力系数、传热系数、传质系数、功率、效率等设备性能参数。这些数据,有些物性参数可以通过文献或手册查取,但另一些必须通过实验过程中相应的测试仪表进行测量。对测试仪表正确选型和使用是获得测量结果的必备能力。

3. 熟悉并掌握化工典型单元设备的操作

化工原理实验中各单元装置的基本结构和原理,是与化工实际生产的装置一致的,因此学生必须熟练掌握化工实验装置的操作技巧,了解影响过程的有关参数,根据实验现象调整操作参数,并据此对参数变化对设备性能的影响做出预测。

4. 熟悉和掌握实验数据的处理方法

大多数化工原理实验的结果都不能从实验测到的数据直接得出,而必须经过数据处理和分析才能获得。这就要求学生在实验中认真观察和分析实验现象,严肃忠实地做好原始数据的记录。在此基础上,掌握实验数据处理的基本方法,对原始数据进行整理、分析,得出实验结果。

二、完成实验的基本步骤

化工原理实验属于综合性较强的实验科目。要高质量地完成化工实验,必须按照既定的规律有步骤地把实验任务、实验观测的结果用表、图、公式、文字描述出来,并将讨论结果简练、明确地表达出来,不能含糊,要使阅读者一目了然。

虽然各个实验步骤对应的要求各不相同,但有三个基本要求是一致的。一是核实实验方案的合理性;二是确认实验数据的可靠性;三是校核实验记录的真实性。为确保达到上述三个要求,写出合格的报告,对实验过程中各个步骤、各个问题,提出如下的说明和具体要求:

1. 实验准备和实施方案

(1)认真阅读实验指导书,弄清本实验的目的与要求,并根据本次实验的具体任务,研究实验的做法及其理论依据,分析应该测取哪些数据,并估计实验数据的变化规律。

(2)到现场观看设备流程、主要设备的构造、仪表种类和安装位置,审查设备是否合适,了解它们的使用方法(但不要擅自启动,以免损坏仪表设备或发生其他

事故)和注意事项。

(3)根据实验任务及现场设备情况或实验室可能提供的其他条件,拟定实验方案,安排好实验步骤,弄清操作条件、设备的启动程序以及如何调整,最后确定应该测取的数据。

(4)确定每个实验的具体参与人数,做好组织工作。实验小组既有分工,又有合作;既能保证实验质量,又能获得全面训练。每个实验小组要有一个组长,组长负责实验方案的执行、联络和指挥。实验方案应该在组内讨论,使得人人知晓,每个组员各有专责(包括操作、读取数据及现象观察等),而且要在适当时间进行轮换(操作要求较高的实验可以不在实验中轮换,而在演习时加以训练)。

2. 测取实验数据

(1)凡是影响实验结果或在数据整理过程中所必需的数据都要测取,包括大气条件、设备有关尺寸、物料性质以及操作数据等。

(2)并不是所有数据都要直接测取,凡可以根据某一数据导出或从手册中查出的其他数据,不必直接测定。例如水的黏度、密度等物理性质,一般只要测出水温后即可查出,因此不必直接测定水的黏度、密度,而应该改测水温。

3. 读取数据,做好记录

(1)每个学生都准备一个实验记录本。所做的记录要保证数据原始、完整,条理清楚,物理量名称、符号和单位要完整,避免张冠李戴。

(2)实验时,一定要在现象稳定后再开始读数据。同一条件下至少要读取两次数据,而且只有当两次读数相近时才能改变操作条件,以便在另一条件下进行观测。条件改变后,要稍等一会再读取数据,避免因仪表存在滞后现象带来的误差。每个数据记录后,应立即复核,以免发生读错或写错数字等现象。

(3)实验数据记录必须真实地反映仪表的精确度,一般要估读并记录至仪表上最小分度以下一位数。例如温度计的最小分度为 1°C ,如果当时温度读数为 24.8°C ,这时就不能记为 25°C ,如果刚好是 25°C 整,则应记为 25.0°C ,而不能记为 25°C 。当然,用上述温度计时也不能记为 24.75°C ,因为它超出了所用温度计的精确度。

(4)记录数据要以当时的实际读数为准,例如规定的水温为 60.0°C ,而读数时实际水温为 60.5°C ,就应该记 60.5°C 。如果数据稳定不变,也应照常记录,不得留空不记;如果漏记了数据,应该留出相应空格。

(5)实验中如果出现不正常情况,以及数据有明显误差时,应在备注栏中加以

注明。

4. 整理实验数据

(1) 同一条件下, 如有几次实验的数据比较稳定, 但稍有波动, 应先取其平均值, 然后加以整理。不必逐个整理后再取平均值, 以节省时间。

(2) 整理数据时应根据有效数字的运算规则, 舍弃一些没有意义的数字。一个数据的精确度是由测量仪表本身的精确度所决定的, 它绝不会因为计算时位数增加而提高。但是, 任意减少位数却是不允许的, 因为它降低了应有的精确度。

(3) 整理数据时, 如果过程比较复杂, 实验数据又多, 一般宜采用列表整理法, 同时应将同一项目做一次性整理。这种整理方法不仅过程简单明了, 而且节省时间。

(4) 要求以其中一次实验的数据为例子, 把各项计算过程列出, 以便检查。

(5) 整理数据时还可以采用常数归纳法, 将计算公式中的常数归纳, 作为一个常数看待。例如, 计算固定管路中流速改变后的雷诺数的数值时, 因为 $Re = \frac{du\rho}{\mu}$, $u = \frac{4q_v}{\pi d^2}$, 故 $Re = \frac{4\rho q_v}{\pi d\mu}$, 而 d 、 μ 、 ρ 在实验中可视为不变, 作常数处理, 可令 $A = \frac{4\rho}{\pi d\mu}$, 则 $Re = Aq_v$ 。计算时先求出 A 值, 再依次代入 q_v 值, 即可求出相应的 Re 值, 这样就可以大大提高计算速度了。

5. 实验过程注意事项

有的学生在做实验时, 只管读取数据, 其他一概不管, 这是不对的。实验过程中除了读取数据外, 还应做好下列工作:

(1) 实验操作者必须密切注意仪表指示值的变动, 随时调节, 务必使整个操作过程都在规定条件下进行, 尽量减小实验操作条件和规定操作条件之间的差距。操作人员不要擅离岗位。

(2) 读取数据后, 应立即和前次数据相比较, 也要和其他有关数据相对照, 分析相互关系是否合理。如果发现不合理的情况, 应立即同小组成员查找原因, 明确误差类型, 以便及时发现问题, 解决问题。

(3) 实验过程中还应注意观察过程现象, 特别是发现某些不正常现象时更应抓紧时机, 研究产生不正常现象的原因。

6. 编写实验报告

一份好的实验报告, 必须写得简单明白、一目了然。这就要求数据完整, 条理

清楚, 结论明确, 有讨论, 有分析, 得出的公式或图表有明确的使用条件。报告的格式虽然不必强求一致, 但一般应包括下列各项:

- (1) 实验题目;
- (2) 报告人及其合作者的姓名;
- (3) 实验任务;
- (4) 实验原理;
- (5) 实验设备说明(包括流程示意图和主要设备、仪表的类型及规格);
- (6) 实验数据记录(包括原始数据记录表格和整理后的数据记录表格);
- (7) 数据整理及计算示例, 引用其中一组数据(要注明来源), 列出这组数据的计算过程作为计算示例;
- (8) 实验结果, 要根据实验任务明确提出本次实验的结论, 用图示法、经验公式法或列表法均可, 但都要注明实验条件;
- (9) 分析讨论, 要对实验结果做出估计, 分析误差大小及其原因, 对实验中发现的问题进行讨论, 对实验方法、实验设备有何改进建议也可写入此栏;
- (10) 回答思考题。

三、实验误差分析和数据处理

由于种种原因, 实验所测得的数值和真值之间, 总存在一定的差异, 即使是非常精密的仪器, 也只能测出真值的近似值, 这种差异在数值上表现为误差。对测量误差进行估计和分析, 对评判实验结果和设计方案具有重要的意义, 是我们应该熟练掌握的内容。

(一) 测量误差的基本概念

1. 真值与平均值

任何一个被测量对象的物理量总具有一定的客观真实值——真值, 但真值一般不能直接测出。实验科学给真值下了这样一个定义: 无限多次的观察值的平均值, 称为真值。由于实验观测的次数是有限的, 因此有限的观测次数所观测到的平均值只能接近于真值, 称为最佳值。实际工作中, 一般取高一级的仪器的示值作为真值。

2. 绝对误差与相对误差

(1) 绝对误差: 用测量值(x)减去真值(A), 所得余量为绝对误差。记为

$$\Delta x = x - A \quad (1-1)$$

(2) 相对误差：衡量某一测量值的准确度的高低，应该用相对误差 δ 来表示。记为

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-2)$$

3. 误差的性质及其分类

(1) 系统误差：是指在测量或实验过程中未发觉或未确认的因子所引起的误差。这些因子影响的结果永远朝一个方向偏移，其大小及符号在同一组实验测量中完全相同，在条件改变时，按某一确定规律变化。例如，水银温度计的零位变动偏低了 0.1°C ，用这支温度计进行多次测量，每次都会偏低 0.1°C 。

(2) 随机误差：又称偶然误差，是指在相同条件下测量同一量时，误差的绝对值时大时小，其符号时正时负，没有确定的规律，也不可预测，但具有抵偿性的误差。如果对某一量做多次的精度测量，还会发现随机误差完全服从统计规律，误差的大小或正负的出现完全由概率决定。因此，随着测量次数的增加，随机误差的算术平均值趋近于零，故多次测量的算术平均值将更接近于真值。

(3) 过失误差：又称粗差，往往是由于操作失误引起的，常表现为误差特别大。由于这是人为产生，只要细心操作便可避免，故这类误差在数据处理时应予以剔除。

(二) 实验数据整理

1. 有效数字的概念

在实验数据记录和实验数据处理中，应该用几位数字来表示，这是一个很重要的问题。那种认为小数点后面的数字越多越准确或者是运算结果保留的位数越多越准确的想法是错误的。测量值所取的位数，应正确反映所用的仪器和测量的方法可能达到的精度。

记录测量数值时，一般只应也只能保留一位估计数字。例如，微压计的读数为 145.8mmHg ^①，前三位数字 145 是准确知道的，0.8 是估读出来的。为了能清楚地表示出数据的准确度和方便运算，可将读取的数据写成指数的形式。在第一位有效数字后加小数点，而其数值数量级则由 10 的幂次方来确定。比如刚才读的 145.8mmHg ，可记为 $1.458 \times 10^2\text{mmHg}$ ，它表示其有效数字为四位。这时，即使有效数字末位为零，也要记取。例如，微压计读数恰为 145.0mmHg ，则可记为

^① $1\text{mmHg} = 133.32\text{Pa}$ ，下同。

1. $450 \times 10^2 \text{ mmHg}$ 。

如果是非直接测量值，即必须通过中间运算才得到结果的数据，可按有效数字的运算规则进行运算。

(1) 加法运算：在各数中，以小数位数最少的数为准，其余各数均凑成比该数多一位。例如：

$$20.2 + 10.05 + 11.333 + 17.0572 \rightarrow 20.2 + 10.05 + 11.33 + 17.06 = 58.64$$

(2) 减法运算：当相减的数差得较远时，有效数字的处理与加法相同。但如果相减的数非常接近，这样相减则会失去若干有效数字。因此，除了保留应该保留的有效数字外，应对计算方法或测量方法加以改进，使之不出现两个相接近的数相减的情况。

(3) 除法运算：在各数中，以有效数字位数最少的数为准，其余各数及积(或商)均凑成比该数多一位。例如：

$$301.25 \times 0.55 \div 5.015 \rightarrow 301 \times 0.55 \div 5.02 = 33.0$$

(4) 计算平均值：若为四个或超过四个数相平均，则平均值的有效数字位数可增加一位。

(5) 乘方及开方运算：运算结果比原数据多保留一位有效数字。例如：

$$16^2 = 256, \quad \sqrt{5.6} = 2.37$$

(6) 对数运算：取对数前后的有效数字位数应相等。例如：

$$\ln 1.789 = 0.5817, \quad \ln 1.7890 = 0.58166$$

2. 实验数据的处理

化工原理实验测量多数是间接测量，实验数据一般处理的程序是：首先将直接测量结果按前后顺序列出(以表格形式)；然后计算中间结果、间接测量结果及其误差，并将这些结果列成表格；最后按实验要求将结果用图形或经验公式表示出来。

(1) 实验曲线的绘制。

实验数据图形表示法的优点是直观清晰，便于比较，容易看出数据中的极值点、转折点、周期性、变化率以及其他特性。实验曲线也有助于我们找出它的数学模型。根据数据作图，通常要考虑两个问题：坐标系的选择和坐标的分度。

化工专业常用的坐标有直角坐标、对数坐标和半对数坐标等，根据数的关系或预测的函数形式进行选择。若是线性函数，则采用直角坐标；若是幂函数，则采用对数坐标，以使图形线性化；若是指数函数，则采用半对数坐标；若自变量或者因

变量中的一个最小值与最大值之间数量级相差太大，可以选用半对数坐标。

坐标的分度应与实验数据的有效数字大体相符，最适合的分度是使实验曲线坐标读数和实验数据具有同样的有效数字位数。其次，横、纵坐标之间的比例不一定要取得一致，应根据具体情况选择，使实验曲线的坡度介于 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间，这样的曲线坐标读数准确度较高。

(2) 经验公式及待定系数的确定。

经验公式法又称数学模型法，它直观地描述了过程或现象的自变量和因变量之间的关系，也是一种重要的方法，尤其在广泛应用计算机的今天。经验公式的确定通常采用图形比较法，即将实验数据绘成实验曲线，并与典型曲线相对比，看实验曲线与哪种函数曲线相似，据此确定经验公式的类型。

凡可以在普通坐标系上把数据标绘成直线或经过适当变换后在对数坐标系上可化为直线的，均可以采用直线图解法求常数(求斜率或求截距后根据相互关系计算出来)。确定经验公式类型后，利用 Origin 软件进行作图，可方便地求出经验公式及待定系数。

第二章 演示实验

实验一 固体流态化实验

一、实验目的

- (1) 观察二维床内流态化的实验现象。
- (2) 测定气固系统的 $\Delta p - u$ 关系。

二、实验原理

流态化技术是近几十年来日益广泛应用的一种新技术。它是一种使固体与流体接触而转变成类似流体状态的一个过程。该过程将大量固体颗粒悬浮于流动流体之中，使颗粒在流体作用下作类似于液体沸腾的翻滚运动，这种操作称为固体流态化。根据目的不同，工业上对流态化的应用有多种方式。

最典型的流态化装置是沸腾燃烧炉，这种设备从炉底鼓入空气，使得炉床上的煤粉在流动状态下得以充分燃烧。因为处于流动状态下的煤粉床层的孔隙率显著提高，增大了气体与燃料的接触面积。这样既有利于提高燃烧效果，又有利于改善环境。此外，利用流态化技术还可对粉粒状固体物料进行加热、干燥及输送等操作。

当流体通过颗粒床层时，随着流体流速的增加而引起压强降的变化，可明显观察到下述三个阶段：①固定床阶段。当流速较低时，固体颗粒静止不动，流体从颗粒间的空隙穿过，随着气速的增加，气体通过床层的摩擦阻力相应增加，压强降增大。当流速增至某一定值，这时床层压强降恰好等于单位床层的净重力，流体在垂直方向上给予床层的作用力刚好能够将全部床层颗粒托起，使得床层变松，但固体颗粒间仍保持相互接触，此即固定床阶段。②流化床阶段。当流速继续增大，床层孔隙率增大，颗粒开始悬浮在流体中自由运动，床层高度亦随气速的提高而增高，

此时便进入流化床阶段。在这一阶段内，整个床层的压强降基本保持不变，随着流体速度的增加，颗粒运动加剧且作上下翻滚，如同液体在沸腾时的沸腾现象，故流化床又称为“沸腾床”。这样的床层具有类似流体的性质，如具有与流体相同的流动性，它的形状随容器的几何形状而变，床层表面自行保持水平等。当降低流化床气速时，床层高度、孔隙率也随之降低，所对应的流速则称为临界流化速度。③气力输送阶段。在流化床阶段内，若流速继续增大至某一极限值后，床层上界面消失，固体颗粒分散悬浮于气流中，并不断被气流带走，气流中颗粒浓度由密相转为稀相，形成两相同时流动，即进入气力输送阶段。在这一阶段内，颗粒开始被带走的速度称为带出速度，其数值等于颗粒在该流体中的沉降速度。

需要指出的是，由于颗粒与流体之间密度差的大小不同，决定了绝大多数的液固系统属于散式流化，气固系统属于聚式流化。但这并非绝对，当固体颗粒粒度和密度都很小，而气体密度很大时，气固系统的流化可能呈散式流化；当固体密度很大时，液固系统也可能呈聚式流化。

流化床会出现两种不正常现象，一种是沟流现象，另一种是腾涌现象。沟流现象是指流体通过床层时形成短路，大量气体没有与固体颗粒很好接触，而沿沟道上升。沟流现象使床层密度不均且气固接触不良，不利于气固两相的传热、传质和化学反应；同时，由于部分床层变成死床，颗粒不是悬浮在气流中，其压强降始终低于单位面积上床层的重力。沟流现象的产生主要与颗粒的特性和气体分布板的结构有关。粒度过细而密度过大且具有胶黏性的颗粒，以及气体在分布板处的初始分布不均匀，都容易引起沟流。腾涌现象主要发生在气固流化床中。若床层高度与床层直径的比值过大，或气速过高，或气体分布不均匀，会引起气泡合成大气泡。当气泡直径增加到与床层直径相同时，气泡将床层分割为一段气泡、一段颗粒层相互间隔，颗粒被气泡向上推动，达到界面后，气泡破裂而颗粒分散下落，这种现象称为腾涌现象。这是因为气泡向上推动颗粒层时，颗粒与器壁的摩擦造成压强降大于理论值，而气泡破裂时压强降又低于理论值。

流化床发生腾涌时，不仅使气固接触不均，而且还会引起设备强烈震动，因此，应采用适宜的床层高度与床径比及适宜的气速，避免腾涌现象的发生。流化床 $\Delta p-u$ 关系曲线可以帮助判断流化床的操作是否正常。流化床正常操作时，压强降波动小，若波动较大，可能形成了大气泡。若发现压强降直线上升，然后又突然下降，则表明发生了腾涌现象。反之，若压强降比正常操作时低，则说明产生了沟流