

生 物 分 离 过 程 原 理

欧 阳 平 凯 等 编

南 京 化 工 学 院 应 化 系

生 物 化 工 教 研 室

序

美国化工学会认为,今后十年,化工技术在生物技术中重点应用的领域为生物物质的分离。目前,人们已经从天然生物物质或人工生物细胞中发现了大量的化学品,因为不能进行工业分离而被白白浪费。生物物质分离技术落后于生物技术其他学科的发展。生物分离工程的重要性不仅仅因为生物分离过程是工业生物技术中最后拿出产品的必要环节,而且还因为生物分离过程的成本,投资与效率在整个生物工厂的成本、投资与效益中占有很大的比重。

此外,生物分离过程可以形成独立的产品。利用天然生物物质分离制取淀粉、糖、蛋白质、香精。各种化学品已经发展了上百年的历史,形成了一些传统的轻化工产业。

鉴于生物物质分离技术应用产品的广泛性,本书以单元操作的方式讨论现代生物物质分离技术的基本理论与实践,以推广本书的适用范围。希望从事具体分离工艺的技术人员通过研究本书的基本内容能获得更多裨益。对具体的分离工艺,本书列举了大量的实例。希望入门的化工技术人员,仔细地阅读上述举例,由此了解生物分离技术的应用。

本书主要参考了Belter等人的“Bioseparations” John Wiley
sons, Inc (1988)

考察到原书的某些错误及设备内容的不足,我们还参阅了

▲ “生物工程”(下册),上海科技出版社

▲ Comprehensive Biotechnology Pergamon Press

▲ Biochem Eng Fundamentals Second Ed

McGraw-Hill Company

本书将用作南京化工学院生物化工专业本科的教科书亦可供抗生素、生化制药、酶制剂、食品发酵的技术人员、医学农业、工业领域生物技术的研究人员参考。

殷志敏老师及生物化工专业86级的同学参加了“Bio separation”的翻译。

学部委员时钧教授对本书的编写给予了热情的关心与鼓励。

教材科徐诚洁同志对本书的印刷给予了大力支持。

在此,谨表示我们诚挚的谢意。

欧阳予凯

一九九〇年一月

目 录

序	
第一章 导言	1, 1~1, 5
第一部分 非溶解物的去除	
第二章 过滤与微过滤	2, 1~2, 34
§ 2. 1 用于传过滤的设备与结构	2, 1~2, 11
§ 2. 2 过滤前原料液的预处理	2, 12~2, 15
§ 2. 3 关于过滤的一般理论	2, 16~2, 22
§ 2. 4 连续旋转式真空抽滤机	2, 23~2, 27
§ 2. 5 过滤的实验测试方法	2, 28~2, 31
§ 2. 6 微过滤	2, 32~2, 33
习题	
第三章 离心	3, 1~3, 35
§ 3. 1 固体的沉降	3, 1~3, 5
§ 3. 2 离心机	3, 5~3, 18
§ 3. 3 离心操作的放大	3, 19~3, 24
§ 3. 4 离心过滤	3, 24~3, 32
习题	
第四章 细胞破碎	4, 1~4, 14
§ 4. 1 细胞壁	4, 2~4, 4
§ 4. 2 化学方法	4, 5~4, 8
§ 4. 3 机械破碎	4, 9~4, 13
习题	
第二部分 分离	
第五章 萃取	5, 1~5, 40
§ 5. 1 萃取化学	5, 1~5, 11
§ 5. 2 单级萃取	5, 11~5, 15
§ 5. 3 分级萃取	5, 15~5, 21
§ 5. 4 微分萃取	5, 21~5, 26
§ 5. 5 带静止相的萃取(克雷格萃取)	5, 26~5, 30
§ 5. 6 逆流多段式萃取	5, 30~5, 36
§ 5. 7 萃取设备	5, 36~5, 37
习题	

第六章 吸附	6. 1~6. 34
§ 6. 1 吸附化学	6. 2~6. 15
§ 6. 2 间歇吸附	6. 16~6. 19
§ 6. 3 连续搅拌罐内的吸附	6. 19~6. 23
§ 6. 4 固定床吸附	6. 23~6. 33
习题	

第三部分 产品纯化

第七章 流动展开色谱法 (E C')	7. 1~7. 40
§ 7. 1 色谱用固体吸附剂	7. 3~7. 4
§ 7. 2 得率与纯度	7. 4~7. 10
§ 7. 3 串级模型	7. 10~7. 15
§ 7. 4 动力学分析	7. 15~7. 22
§ 7. 5 色层分离的放大	7. 22~7. 29
§ 7. 6 流动展开色谱分离的流程与设备	7. 29~7. 38
习题	

第八章 沉析操作	8. 1~8. 16
§ 8. 1 非溶剂沉析作用	8. 1~8. 2
§ 8. 2 析析作用	8. 2~8. 6
§ 8. 3 温度的沉析作用	8. 6~8. 7
§ 8. 4 大规模沉析	8. 7~8. 15
习题	

第九章 超滤和电泳	9. 1~9. 38
§ 9. 1 基本概念	9. 1~9. 12
§ 9. 2 超滤	9. 12~9. 29
§ 9. 3 电泳	9. 29~9. 32
§ 9. 4 电渗析和等电聚焦	9. 32~9. 37
习题	

第四部分 精制

第十章 结晶	10. 1~10. 30
§ 10. 1 基本概念	10. 2~10. 13
§ 10. 2 晶体大小分布	10. 13~10. 21
§ 10. 3 批量结晶	10. 21~10. 26
§ 10. 4 重结晶	10. 26~10. 29

习题

第十一章 干燥	11. 1~11. 21
§ 11. 1 基本概念	11. 1~11. 6
§ 11. 2 干燥设备	11. 6~11. 13
§ 11. 3 传热干燥	11. 13~11. 15
§ 11. 4 绝热干燥	11. 15~11. 20

习题

第十二章 辅助操作	12. 1~12. 6
§ 12. 1 水质	12. 1~12. 2
§ 12. 2 溶剂内回收	12. 2~12. 3
§ 12. 3 废物处理	12. 3~12. 4
§ 12. 4 生物安全性	12. 4~12. 6

生物分离工程之目的在于从培养的微生物中, 动植物细胞中提取人们有用物质, 是生物技术工业化的必然目的与具体手段。现代生物技术是从40年代前期大规模深层发酵生产抗菌素开始起步的, 但从利用与培养微生物动植物细胞的一般意义而言, 生物技术产业部门已有几百年甚至上千年的历史。从酿酒到早期的利用发酵制造醋酸与柠檬酸等各种有机物的工业(虽然目前很多有机化学物已转向利用石油化学方法生产)均存在产品的分离与提取问题, 所以无论是旧的生物制品工厂, 还是生物技术新的产业技术, 生物分离工程是必不可少的重要的专门技术。

生物技术产品的主要特点就是产品品种的数量极其巨大。如果说典型的石化产品大约100种左右, 则典型的制药工业的产品至少在200种以上, 虽然并不是这200种药制品都是用生物化学方法制造的, 但很多都要用到生物化学转化。

表一列出已成熟的发酵工业产品品种数, 该表没包括近十年来许多生物技术公司发展的诸如基因工程胰岛素, 人与动物用疫苗, 荷尔蒙以及干扰素等新产品。现有的生产品种显然比这还多得多。产品的多样化使得生物分离工程的方法范围十分广泛, 不过和传统化学工业上采用的方法相比较可看出(见表二)。化工上采用的传统分离方法目前

表一 通过发酵制造的化学分子种类

分子类型	品 种 数
抗生素	85
氨基酸	18
酶	15
有机酸与溶剂	11
维生素, 生长激素等	6
葡聚糖, 类固醇等	8
	<u>143</u>

表二 生物分离工程方法的范围

分离方法	用于各种传统的化学工业	用于生物分离
物理分离	7	7
平衡控制分离	22	18
速度控制分离	13	10
	<u>42</u>	<u>35</u>

在生物分离工程中有80%以上是有效的,生物分离方法的工业化必须经过实验室小规模试验,中间工厂的试验以及市场经济可行性分析,然后才可放大到工业规模生产。

生物物质分离的难度比一般化工产品的难度大。首先,在提取原料中,被提取物浓度通常很稀;其次,往往成分复杂是粘稠的多相体系。无论是热力学特性,流变学特性还是流动、传热、传质生物体系与化工物料体系相比都要复杂得多。而对生物制品的要求,往往是要求纯度高、无色、结晶,以及能长期保存等。

由于原料是复杂的稀溶液,而产品的纯度要求高,两者之间质的差别使得生物分离过程往往成本很高。回收与提纯产品的操作往往比其他单元操作需要更多的设备。在生物制品工厂由于分离过程占有很大的投资比例,在产品成本中占有很大的比重,同时对于生物制品的质量往往有很高的要求。因此我们必须学习与研究生物分离工程的原理,仔细认真的设计生物分离过程,以提高产品的质量,提高收率与降低成本,我们必须认真考虑的问题有:

- 1、产品的价格是什么,产品可被接受的质量标准是什么?
- 2、在每步流程中产品与杂质流经的部位在哪里?
- 3、产品与主要杂质有何特殊的物化性质?
- 4、不同分离方案经济性比较的结果?

生物制品的品种虽然繁多,分离过程亦是五花八门,非常复杂,但在很多过程之间存在着相似性,这种相似性提供了我们一个考虑问题的思路,正象元素周期表给元素分类一样。

根据经验我们发现绝大多数生物产品分离都可分为相似的四个步骤:

(1)非溶解物的 降,过滤与离心操作通常用于本过程,同时可起一定的产品浓缩及改进质量的作用。

(2)产品分离 在本过程主要为驱除与产品性质不同的,各种物质而得到一定浓度与质量的产品,本过程通常运用吸附与溶剂萃取法。

(3)纯化:本过程要去除与产品化学性质非常接近的杂质,处理技术要求有高度的选择性,通常利用色谱法、超滤、电渗析等。

(4)精制产品:本过程要作成商业产品的形式,通常采用结晶法。大多数产品还必须干燥。

本课程即按以上四个步骤讲授。

该四步骤合理的组织方式之一即必须考虑产品的浓度与纯度,对于产品典型处理过程的浓度与纯度分布如表三所示。

本表中纯度可能指化学纯度或者相对活性。

请注意产品浓度的增加主要在分离阶段,而纯度的增加则在纯化阶段。某些新的处理技术将第一与第二步骤合并。在第5第6章将讨论萃取与色层分离技术在这方面的运用。

有关该步骤的实例 图1.2.1的酒精生产流程图1.2.1说明当酒精发酵后经初蒸馏,酒精与酵母被蒸发分离,进一步的纯化在蒸馏塔中进行。

表 三 抗 生 素 的 分 离 过 程 中 浓 度 与 纯 度 变 化

步 骤	典 型 过 程	产 品 浓 度 (g / l)	纯 度 (%)
最终发酵液	发 酵	0.1~5	0.1~1
固形物分离	过 滤	1.0~5	0.2~2
分 离	萃 取	5~50	1~10
纯 化	色 谱	50~200	50~80
产品精制	结 晶	50~200	90~100

图 1. 2. 2 说明柠檬酸的提取过程。发酵液经过蒸馏驱除非溶解物杂质，添加石灰

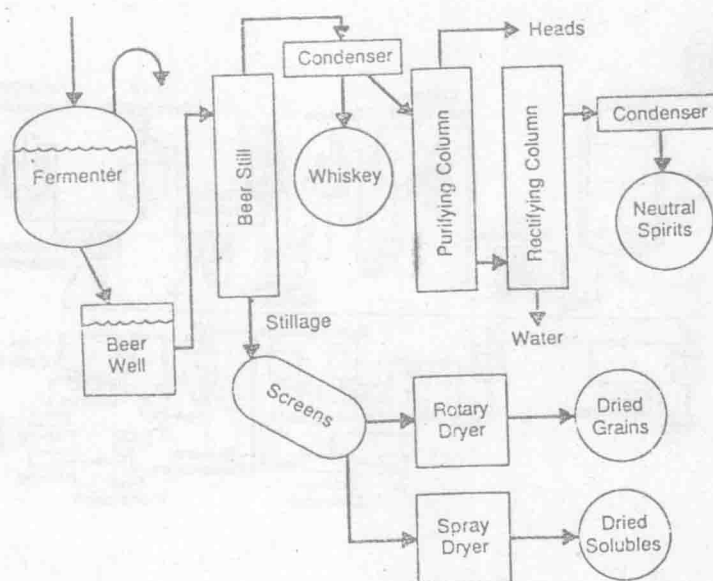


图 1. 2. 1 发 酵 法 生 产 酒 精 的 流 程 示 意 图

生成柠檬酸钙的沉淀，以去除溶解杂质，加硫酸生成柠檬酸，经脱色蒸发，结晶得柠檬酸的成品。

图 1. 2. 3 是微生物酶生产的一种流程。图中所包括的操作单元既有用匀浆器使酶从胞内释放，亦有沉析，超滤色层分离，冷冻干燥等操作。

最后我们在图 1. 2. 4 列出青霉素 (Penicillin) 的生产流程，发酵液通过过滤去除非溶解物，通过萃取进行纯化。最终的产品由结晶取得，即发酵液经过滤后酸化，用有机溶剂萃取，通过反复萃取 (调节 PH 值) 最后真空蒸发，浓缩而得结晶的青霉素。

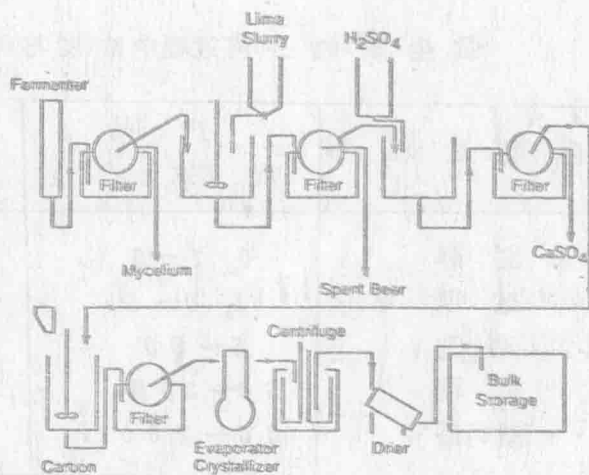


图 1. 2. 2 柠檬酸的生产流程示意图

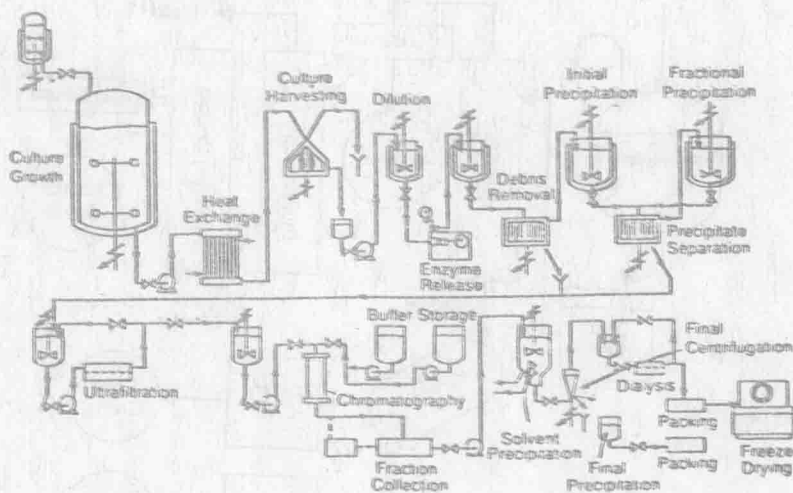


图 1. 2. 3 一种胞内酶的生产流程：用匀浆器把酶从细胞内释放出来，利用沉析法使酶分离出来，利用分级沉淀法进行纯化，最终的纯化利用色层分离操作

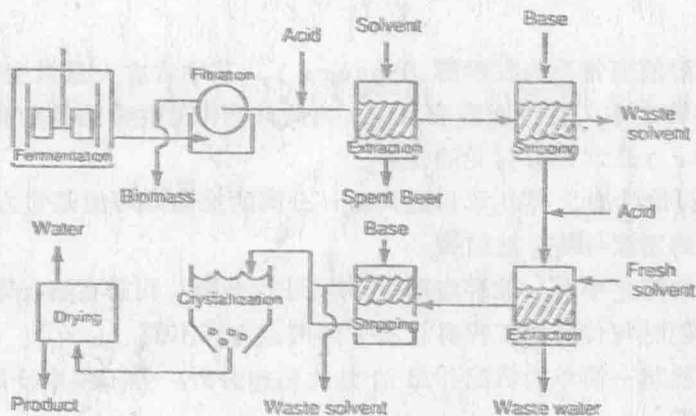


图 1. 2. 4 Penicillin 的生产

1. 3 结论

本书之所以将分离过程分成四个阶段，多考虑到生物分离过程的复杂性。前三章讨论不溶解物去除的方法与手段，当有时需要生产胞内物时，细胞破碎是必须的。至于分离手段我们则主要讨论以萃取及吸附的方法。

纯化的手段其实很多很多，本书不可以穷究，因此只讨论已获得大规模运用的色层分离法，超滤，电渗析等手段与方法。精制阶段的内容主要讨论结晶法，实在是因为结晶的内容太重要了。最后一章讨论结晶的辅助操作为蒸发与干燥。

最后我们指出，本书对各种方法的归类只是经典式的并不是绝对的，例如超滤亦可以用到纯化操作，而萃取亦可以用作纯化手段。由于生物分离过程的复杂性，本书的分类只是一般性的。

参 考 文 献

- Atkinson, B. and Mavuna, F., eds., *Biocemical Engineering and Biotechnology Handbook*. New York. Macmillan, 1983.
- Bailey, J. E. and Ollis, D. F., *Biocemical Engineering Fundamentals*, 2nd ed., New York. McGraw-Hill, 1986.
- Bejurstrom, E., Biotechnology: fermentation and downstream processing, *Chem. Engr.*, 92(4), 126 (1985).
- Belter, P. A., Recovery processes: past, present, and future, presented at 184th American Chemical Society Meeting, Kansas City, MO, September, 1982.
- Dunhill, P., Trends in downstream processing in proteins and enzymes, *Process Biochemistry*, 18(5), 9 (1983).
- Gaden, E. L., Production methods of industrial microbiology, *Sci. Amer.*, 245(3), 180 (1981).
- Michaels, A. S., Adapting modern biology to industrial practice, *Chem. Engr. Progress*, 80, 19 (1984).

第一部分 非溶解物去除

由发酵所得的发酵液通常称为发酵醪 (beers), 其中含有大量微生物, 我们所需的产品有时在微生物之中, 有时在溶液之中, 因此分离出这些微生物而得到清液 (clarified beer) 是本部分讨论的任务。

我们将在第二章讨论过滤, 第三章讨论离心。分离的推动力可能是重力, 亦可能是离心力, 因此而得清的溶液与固形浓缩物。

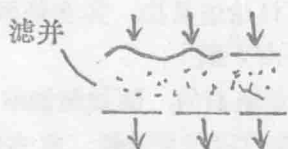
当必须的产品在细胞之中时, 破碎细胞后才能进行分离, 我们在第四章讨论该操作。在本课程讨论问题时与传统的工程科目有下则两点方式不同。

(1) 我们希望就某一简单的情况作出清楚的物理分析, 并不集中给出对某一特别化学品的专门的分析。

(2) 我们的讨论紧紧结合发酵醪的特殊性, 考虑生物细胞的生理特性, 滤瓶的可压缩性, 产品易被污染, 考虑产品 (特别是某些蛋白质) 的失活现象, 这些方面反映了生物分离过程的困难及对传统技术的挑战。

第二章 过滤与微过滤

在化工原理中我们对过滤操作已经有了一定的概念, 即某一支承物, 上放过滤介质, 让含固体颗粒的溶液通过, 固体颗粒 (如结晶体) 留下, 溶液流去。如果我们将发酵醪看成传统的过滤的话, 这种过滤却是太慢了。



因此在本章我们既要考虑到传统的过滤原理, 又要讨论生物物质过滤的特点。生物物质过滤一般都需要增加添加剂, 例如活性白土与助滤剂等。在生物物质过滤之时要特别注意滤饼形成的过程, 以及滤饼的性质。

§ 2.1 用于传统过滤的设备及结构

过滤的设备种类极多, 从传统的框过滤机到旋转式真空过滤设备。

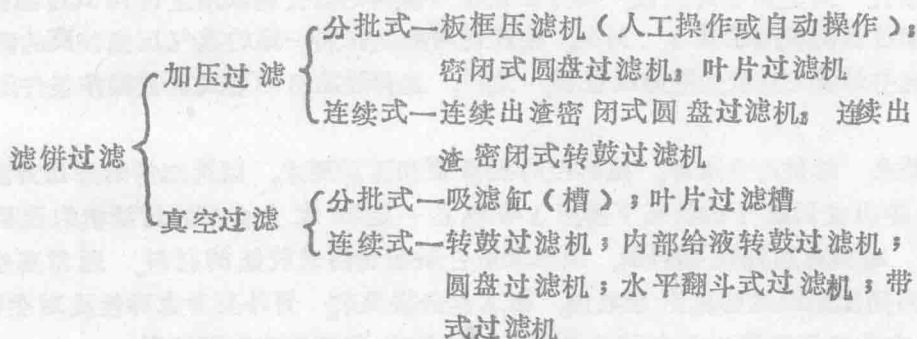
(一) 过滤设备的分类

按推动力不同可以分为四种: 重力过滤、加压过滤、真空过滤和离心过滤。重力过滤应用不多且设备简单, 这里不作介绍, 离心过滤归入离心分离中叙述, 本书主要介绍在发酵工业中常用的几种加压和真空过滤设备。

不论那一类过滤设备都有分批 (间歇) 操作式和连续操作式之分, 两者在结构上有较大的差异。加压过滤设备的连续化相当麻烦, 需要复杂的机构, 操作时也易发生故障, 故较少采用。而真空过滤设备易于连续化, 是一种常用的连续过滤设备。

过滤设备的分类如下表:

实际上, 其他各种型式的过滤设备还很多, 适用于特殊场合的变型则更多, 上表所列举的几种设备是比较常用并具有一定代表性的。



（二）过滤设备的选择

选择过滤设备时需要充分研究各方面的条件，然后决定最经济的过滤机，主要应考虑以下五个方面：

1、被过滤的过滤特性（包括所形成滤饼的特性） 这是决定所选择设备能否进行顺利操作的关键。根据滤饼形成特性，固形物的沉淀性和含量大致可将被过滤液分成五类：

A类 固形物含量 $>20\%$ ，能在数秒内形成50毫米以上厚度的滤饼的料液，其沉淀速度快，在普通转鼓过滤机的料液槽中用搅拌器不能使其保持悬浮状态。对于此类料液在大规模生产中可以采用内部给料式真空转鼓过滤机。如果由于滤饼的多孔性不能保持在过滤面上者可以采用翻斗式或带式过滤机，水平式的洗涤效果要比转鼓好。小型生产可采用吸滤槽，而采用离心过滤则更为经济。

B类 固形物含量 $10\sim20\%$ ，能在30秒内形成50毫米厚的滤饼或至少能在1~2分钟内形成13毫米以上的滤饼；滤饼能在转鼓过滤机上被真空吸住并保持一定的形状。大规模生产中采用连续真空转鼓过滤机最为普遍，也可用水平翻盘式进行更好的洗涤。加压过滤机可采用圆盘式或叶片式。小规模生产时可采用吸滤槽或间歇式加压过滤机。

C类 固形物含量 $1\sim10\%$ ，当真空度为500毫米汞柱时在5分钟内能形成3毫米的滤饼到B类下限范围内的物料。这种料液是采用连续式的极限情况。一般可采用单室式转鼓过滤机；对于有腐蚀或洗涤要求较严格的场合可采用间歇式真空叶片过滤槽（清洗时可移叶片外移）。加压过滤时可采用板框压滤机。

D类 固形物含量 $1\sim0.1\%$ ，难以连续排出滤饼。在大生产中普遍采用预涂助滤剂的方法并采用间歇式过滤设备。

E类 固形物含量 $<0.1\%$ ，这是属于澄清过滤的范围，这类料液的粘度和颗粒大小对澄清有很大关系。

大多数发酵液属于C类和D类，也有部分属于B类。

2、生产规模 对大规模生产，为了节约劳动力，采用连续式较有利；而对于小规模生产一般采用间歇式。对于中间试验，为了提供进行大生产的数据需要采用连续式操作进行小试验。

3、操作条件 对处理有挥发性、爆炸性或有毒物料的场合需采用全封闭式过滤机（如气密式连续过滤机或间歇式）。另外，在过滤时需保持一定的蒸气压或较高的温度就不能采用真空过滤而只能采用加压过滤。这样，选择过滤机的型式就被操作条件所限制。

4、操作要求 滤饼的含水率、滤出液的澄清度和洗滤要求，以及滤饼的排出方法（如可以用水冲出或面在干的状态下排出）等都在一定程度上会影响过滤机的选型。

5、材料 对具有腐蚀性的料液，要求采用合适而价格又较低的材料。通常真空过滤机的耐蚀问题比加压过滤机更难处理，加工制造很复杂。另外要考虑毒性及对生物物质的影响，在食品及医药工业中可以考虑用聚丙稀或聚酯作为工程材料。

（三）过滤介质及助滤剂

1、过滤介质的种类及其选择 过滤介质的种类很多，主要有以下几种：

（1）颗粒 无烟煤、砂、颗粒活性炭、铁矿砂等，充填于过滤器内作澄清过滤用。

（2）成形颗粒 烧结金属、烧结塑料、以及用合成树脂粘结的硅砂、塑料颗粒等，做成圆筒形或板状用于澄清过滤。

（3）非金属织布 棉、化纤（维尼纶、尼龙等）、玻璃纤维的织成品，滤饼过滤都采用这种过滤介质。

（4）金属织布 不锈钢丝及铁丝等的织布，主要用于预涂助滤剂的场合。

（5）无纺品 纸、毡、石棉板以及合成纤维无纺布等，大多用于精密过滤。

滤饼过滤采用非金属织布的材料，要求强度高、耐用、价格低，在特定的操作条件下要保持稳定，如耐温、耐腐蚀等。滤布在过滤液中的耐温、耐蚀情况需经较长期时的浸渍试验并测定它的强度变化。因为过滤时要确保过滤介质中的有效通路，试验滤布时要试验它被所过滤颗粒堵塞的情况并求出它的阻力系数，以此决定它的清洗条件，对于连续过滤这个条件更应特别注意。另外，还需试验滤布从滤布上的剥离是否容易，清洗效果如何等。一般而言，如有细微颗粒进入滤布的毛细孔中就难以清洗掉，过滤阻力亦将增加。

2、助滤剂种类及其选择 助滤剂是一种具有特殊性能的细粉或纤维，它能使某些难于过滤的物料变得容易过滤。目前常用的助滤剂有硅藻土、纤维素、石棉粉、破粒等，其中最常用和效果最佳的是硅藻土。其使用方法是在过滤开始前先在过滤介质表面预涂一层涂层，同时在料液中也添加一些助滤剂使操作能长期进行下去。

选择助滤剂的要点如下：

（1）粒度选择 这要根据料液中的颗粒和滤出液的澄清度决定。当粒度一定时，过滤速度与澄清度成反比，过滤速度大，澄清度差；过滤速度小，则澄清度好。颗粒较小的滤液应采用细的助滤剂。在试验时，可先取中等粒度的助滤剂进行，如能达到所需要求的澄清度可取再粗一档的做试验；反之，如不能达到所要求的澄清度则要取细一档的做试验，如此数次即可决定。

（2）根据过滤介质和过滤情况选择助滤剂的品种 当使用粗目滤网时易泄漏，过滤时间长或压力有波动时亦易泄漏，这时可加入石棉粉或纤维素或两者的混合物，就可

以有效地防止泄漏。采用细目滤布时可采用细硅藻土，因如采用粗粒硅藻土时料液中的细微颗粒仍将透过预涂层到达滤布表面，从而使过滤阻力增大。

采用纤维素预涂层可使滤饼易于剥离并可防止堵塞毛细孔（如用于烧结或粘结材料的通滤介质）。

滤饼较厚时（50~100毫米），为了防止龟裂，可加入1~5%纤维素或碳粒。

（3）用量选择 间歇操作时助滤剂预涂层的最小厚度是2毫米。在连续过滤机中要根据所需过滤速度来确定。

加入料液中的量：使用硅藻土时，通常细粒用500克/米³；粗粒用700~1,000克/米³；中等粒度用700克/米³。使用时要求在料液中均匀分散不允许沉淀，故一般设置搅拌混合槽。

（4）助滤剂中的某些成份会溶于酸性或碱性液体中，故对产品要求严格时，则需将助滤剂预先进行酸洗（用于酸性液体）或碱洗（用于碱性液体）。

（四）板框压滤机

板框压滤机是一种老式的过滤设备，但至今仍在各个工业部门中广泛应用，发酵工业中以抗菌素工厂用得最多。与其他设备比较，它的特点是结构简单，装配紧凑，过滤面积大，允许采用较大的操作压力（16公斤/厘米²），辅助设备少，动力消耗少；过滤和洗涤的质量好，能分离某些含固形物较少的较难过滤的悬浮液或胶体悬浮液，但对固相含量大的悬浮液也能适用，故其应用范围较广。滤饼的含水率较少并可洗涤，维修方便，可用不同材料制造以适应具有腐蚀性的物料。板框压滤机的缺点是设备笨重，间歇操作，装拆板框及卸饼时劳动强度很大，占地面积多，辅助时间长，生产效率低。

针对板框压滤机操作劳动强度大和辅助时间长的缺点，近年来已有全自动板框压滤机问世，使这种加压过滤设备获得了新的发展。

（1）板框压滤机的结构和操作

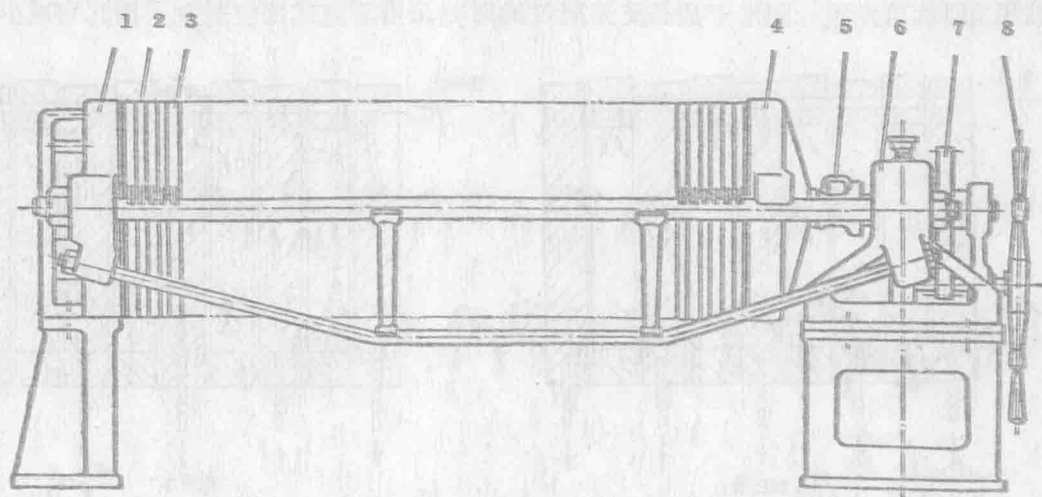


图 2.1.1 板框压滤机外形

1—固定端板；2—滤板；3—滤框；4—活动端板；5—活络接头；
6—支承；7—传动齿轮；8—手轮

定，通常为 10~60 块框，如果过滤物料的量不多，可用一无孔道隔板插入其中使后面的滤板不起作用。手动小型板框压滤机的外形见图 2. 1. 1 板 2 和框 3 架在支架上，其一端为固定端板 1，另一端为活动端板 4，可以让板框在支架上移动。板与框之间有滤布，用压紧装置自活动端向固定端方向压紧。压紧装置有手动、电动和液压三种，大型板框压滤机均用液压装置。进料口和出料口均装在固定端板上。

滤板和滤框的工作情况见图 2. 1. 2 板与框的角上有孔，当板框重迭时即形成进料进洗涤液或排料、排洗涤液的通道。操作时物料自滤框上角之孔道流入滤框中，通过滤布沿板上的沟渠自下端小孔排出。所生成的滤留在框内形成滤饼。滤饼装满后，放松活动端板，移动板框将滤饼除去。然后洗净滤布和滤框重新装合。大多数情况在滤饼装满后还有洗涤过程，有时还需用压缩空气吹干。故板框压滤机的一个工作周期包括：装合、过滤、洗涤（吹干）、去饼、洗净等过程。其中过滤和洗涤操作过程的情况见图

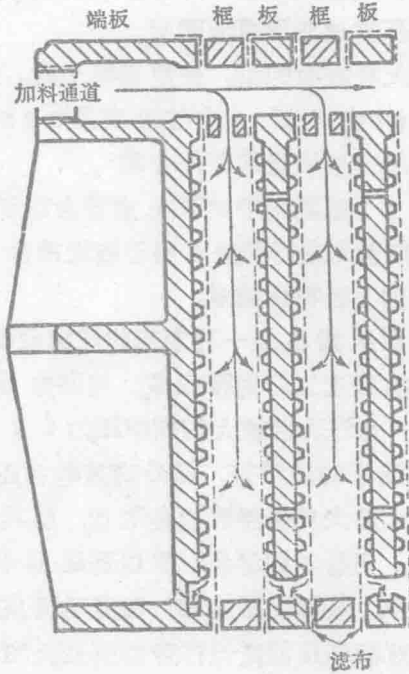


图 2. 1. 2 滤板与滤框的工作情况

2. 1. 3 .

板框压滤机分为明流和暗流两种型式，滤出液直接从每块滤板的出口流出时为明流式，滤出液从固定端板的出口集中流出的为暗流式。发酵工厂中大多采用明流式，因为能直接观察每组板框的工作情况，如滤布有破损立即就可发觉。但用于成品及无菌过滤时则采用暗流式比较适宜，因其可减少料液

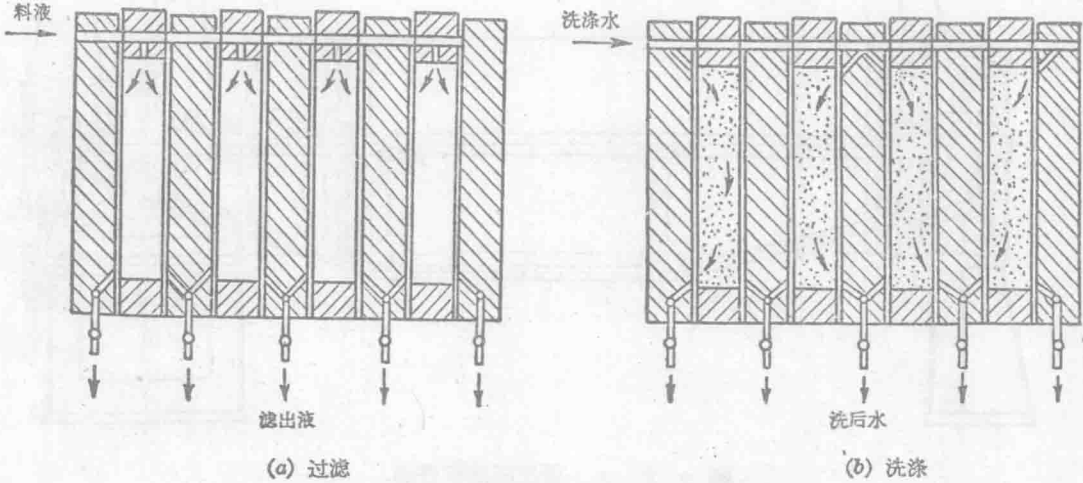


图 2. 1. 3 板框压滤机的过滤和洗涤过程

与外界接触的机会以防止污染。

滤板和滤框通常为正方形，也有圆形的（大多用于小型设备）。圆形板框的优点是在过滤面积相等的情况下，密封周边最短，因而所需压紧力最小，但在同样过滤面积时其外廓尺寸较大。

（2）板框压滤机的型号

国产板框压滤机的型号有BAS、BMS和BMY等。其字母符号代表意义为：B——板框压滤机，A——暗流式，M——明流式，S——手动压紧。其后面的数字表示过滤面积〔毫米〕/框厚〔毫米〕。

例如：BAY40—635/25，这表示暗流式油压压紧板框压滤机，其过滤面积为40米²；框内尺寸为635×635毫米；滤框厚度为25毫米。滤框块数=40/0.635×0.635×2=50块；滤板为50-1=49块；框内总容积=0.635×0.635×0.025×50=0.5米³。此过滤机的操作压力为8公斤/厘米²；油缸工作压力为300公斤/厘米²。

（五）真空转鼓过滤机

真空转鼓过滤机在减压条件下工作，它的型式和变型很多，最典型和最常用的是外滤面多室式真空转鼓过滤机。下面即以此种型式的过滤机为例说明它的结构和工作原理。

1、结构和工作原理

真空转鼓过滤机的过滤面是一个以很低转速旋转（通常0.1~2转/分）的圆筒，许多小孔或用筛板组成的圆筒（转鼓），外面覆有金属网及滤布，将此转鼓范于液槽中，转鼓内部抽真空，滤饼即在滤布上形成，而滤液则经中间的管路和分配阀流出。它的外形见图2.1.4。

整个工作周期是在转鼓旋转一周内完成的，根据过滤要求，转鼓旋转一周可以分为四个区（图2.1.5）。为了使各个工作区不致互相干扰，用径向隔板将其分隔成若干过滤室（故称多室式），每个过滤室都有单独的通道与轴颈端面相连通，而分配阀则平装在此端面上。分配阀分成I—IV四个室（参看图2.1.5图中涂黑部分为分隔处）分别与真空和压缩空气管路相连。转鼓旋转时，每个过滤室相继与分配阀的各室相接通这样就使过滤面形成四个工作区。

（1）过滤区——浸没在料液槽中的区域。这个区内的过滤室与分配阀的I室相接通（I室连接真空管路），在真空下，料液槽中悬浮液的液相部分透过过滤层进入过滤室，经分配阀流出机外进入贮槽中，而悬浮液中的固相部分则被阻挡在滤布表面形成滤饼。

为了防止悬浮液中固相的沉降，料液槽中设有摇摆搅拌器，搅拌器有自己单独的传动装置。

（2）洗涤吸干区。在此区内用洗涤液将滤饼洗涤并吸干，以进一步降低滤饼中溶质的含量。有些特殊设计的转鼓过滤机上还设有绳索（或布）压紧滤饼（图2.1.6）或用滚筒压紧的装置，用以压榨滤饼，降低液体含量并使滤饼厚薄均匀防止龟裂。洗涤液用喷嘴均匀喷洒在滤饼层上，透过滤饼置其间的滤液，再经过一段吸干段进行吸干。

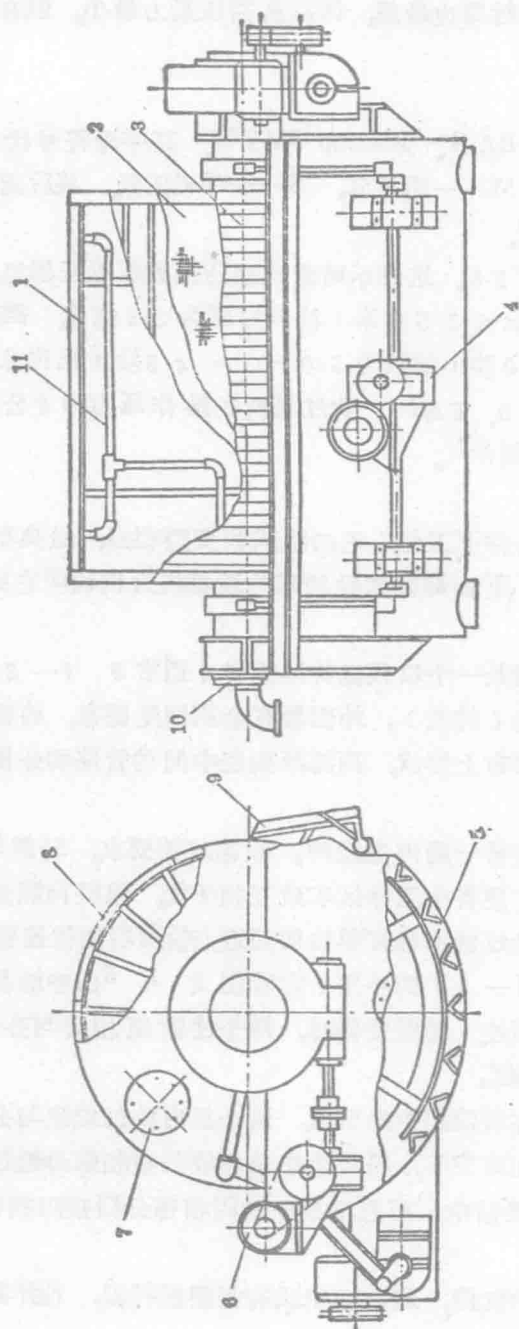


图 2. 1. 4 真空转鼓过滤机
 1—转鼓; 2—滤布; 3—金属网; 4—搅拌器传动; 5—摇摆式滤料器; 6—传动装置;
 7—手孔; 8—过滤室; 9—刮刀; 10—分配阀; 11—滤液管路