

工艺设计一

如何确保操作可靠



〔美〕 N.P.里波曼 编著
化学工业出版社

8617
300

工艺设计——如何确保 操作可靠

〔美〕N. P. 里波曼 编著
冯国治 杨瑾 许家莉 译
冯国治 校



内 容 提 要

本书系根据美国海湾图书公司出版的“Process Design for Reliable Operations”一书译出。

全书共十九章，叙述了工艺设计过程的一般原则与常见的生产装置的设计理论与方法，还对安全、控制、节能和投资等一般性问题与工艺设计的关系作了简明的讨论。书中内容以谈话的形式表达，以作者的亲身经历为例证，生动形象地介绍了化工炼油装置工艺设计中的各种问题，提出了避免和解决这些问题的途径和方法。

本书以讲述故事的方式去表述作者的经验与见解，通俗易懂，是工程技术人员和有关的大专院校师生难得的一本设计指南。

N. P. Lieberman

Process Design for Reliable Operations

Gulf Publishing Co., Houston, 1984

工艺设计——如何确保操作可靠

冯国治 杨瑾 许家莉 译

冯国治 校

责任编辑：徐世峰

封面设计：张秀玲

*

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

开本850×1168¹/₃₂印张5¹/₂字数155千字

1991年2月第1版 1991年2月北京第1次印刷

印 数 1-2,030

ISBN 7-5025-0304-8/TQ·233

定 价4.50元

译 者 的 话

一九八四年十一月译者访问美国之际，有幸会见了本书作者，承蒙作者亲手赠予此书。

本书于一九八三年在美国第一次出版，读者反映良好，遂于一九八四年第二次印刷，在国外颇受欢迎。一九八四年美国《化学工程》杂志第六期的书刊评论中曾用较长篇幅对本书作了详细的介绍和推荐，并给予很高的评价。

本书作者多年从事化工、炼油方面的工艺设计，有着丰富的现场实际经验。作者根据自身的经历，以其独特的笔法，生动活泼的形式详细地阐述了由于工艺设计人员脱离实际或经验不足所造成的设计错误、给生产带来的隐患，以及给产品质量、产量、设备带来的经济损失，甚至可能出现的生产事故。从而提出了改善措施，指明正确的设计方法。

本书引用了大量实例，图文并茂，耐人细读，无一般科技书籍罗列烦杂公式、玄奥推理的枯燥之感。着重讲述了工艺设计中的实际问题，目的是想在办公室的理论和现场实际之间架设一座桥梁，确保工艺设计趋于完善可靠。

本书内容在一般教材和参考书中很少涉及、并常为人们所忽略，但它恰恰多是生产中至关重要的问题。

本书原名直译为“确保可靠操作的工艺设计”，译者根据内容实质及中文习惯，拟定为《工艺设计——如何确保操作可靠》。

本书由冯国治（第一章至第七章）、杨瑾（第八章至十三章）、许家莉（第十四章至第十九章）三位同志翻译，全书由冯国治同志统一校对。由于译校人员水平有限，谬误之处请批评指正。

本书可供化工、炼油的设计、生产操作人员以及有关师生参考。

译者

一九八六年六月

前 言

几年以前，我曾注意到绝大部分的职业工艺设计工程师没有多少工业装置的实际操作经验。而且，现场工程师常常要设计工艺设备，却也不熟悉实际的工艺设计方法。

随着计算机设计技术的发展，装置工艺设计的基本内容逐渐变得陈旧和过时。本书的主要目的，是叙述应该如何设计工艺设备，才能使其在生产中很好地发挥作用。

本书的第二个目的是逐渐向读者头脑中灌输一些疑问，引起读者思考，以使设计更符合实际。

将整个工艺装置设计的理论综合在一本书之内是有可能的——并且确实尝试过。然而，工艺设计的实际内容是如此复杂和庞大，也就不大可能将其全部地囊括于一书。

本书中所用的独特方法，可使新的设计人员认识到详细的化学工程计算仅是他职责的一部分。操作人员多年的现场经验是合理地设计装置所必须依靠的根基。只有吸收了这些经验的设计人员，才能具有实现工艺革新的实际基础。

如果你选择工艺装置设计师作为职业，那你是选择了一条艰苦的道路。现在，这条艰难、曲折但又是奇特、有价值的道路展现在你的面前。也许本书能使你的道路变得平坦些。

Norman P. Liberman

目 录

前言

第一章	什么是工艺设计?	1
第二章	填料塔的隐患	6
✓第三章	减压塔的设计	20
第四章	板式塔的内部构件	29
第五章	冲洗闪蒸段蒸气	38
第六章	最大弹性的分馏塔内部构件	41
第七章	分馏塔重沸器的详细设计	52
第八章	容器尺寸的确定	60
第九章	透平机的蒸汽表面冷凝器	68
✓第十章	如何抽到高真空度	81
第十一章	离心压缩机: 从设计上避免喘振	93
✓第十二章	确定离心泵的大小	100
✓第十三章	管壳式换热器——尺寸过大的隐患	109
✓第十四章	为获得最长运转周期的加热炉设计	118
✓第十五章	腐蚀控制技术	127
✓第十六章	安全	138
✓第十七章	液位控制	149
✓第十八章	灵活节能	157
✓第十九章	费用估算——如何确定安装因数	166

第 一 章

什么是工艺设计?

这是帕特先生工作的最后一天。

总工艺设计工程师帕特·麦克纳马拉向后仰靠在他的座椅上。他从那带有皱纹的前额拂去那稀疏而灰白的头发，准备好了他的一大段独白。“煤馏油 (Coal Oil) 是在 177°C 生产，航运用油 (Steamboat Oil) 是在 288°C 生产，脚子油 (Foot's Oil) 是在 343°C 生产”。

我猜想帕特·麦克纳马拉可能是使用“煤馏油”和“航运用油”这些已废除的术语来称呼石油馏分的最后一位工程师。帕特现在已经去世了，然而他积四十年的实际经验所总结出的词汇和名言仍将长久地留在我的记忆之中。

“一个工艺设计要比计算物料平衡和热平衡的总和更复杂。因为一个工艺装置比一台机器更象一个活的有机体。工艺设计师不仅是个工程师，而且是个创造者”。

帕特点燃了一支雪茄，逐渐地我们全都被包围在白色的烟云之中了。

“一种建筑物可以根据它能否站立或倒塌来判断其成败。但一个工艺装置，正象一个人一样，是一个综合性集成体，因此只能使其逐步完善。工艺设计的实质是其控制方案的设计。它在一个装置的操作中所起的作用，正象中枢神经系统在人体中的功能一样。每个工艺装置都有其独特性，而这种独特性正是该装置控制系统设计者所具有的知识和经验的反映”。

“除工艺流程之外，设备结构尺寸的确定是工艺设计的最重要部分。典型地，缺乏经验的设计人员会将装置的各部分尺寸设计得过大，而最基本的闪蒸罐或泵的尺寸又设计得过小，导致全装置的整个

操作出现卡脖子现象”。

“工艺设计需要专门确定下列设备的尺寸：

- ▲ 分馏塔。
- ▲ 闪蒸罐。
- ▲ 泵。
- ▲ 压缩机。
- ▲ 换热器。
- ▲ 气液分离器。
- ▲ 反应器。
- ▲ 加热炉。

能达到最大能源效率的设备布置和处理量之间的关系是工艺设计的另一个主要问题。一个专用泵应该安放在换热器的上游还是下游？半成品在进产品分馏塔之前进行预闪蒸是否最好？这些问题都要工艺工程师做出决定”。

“由此可见”帕特得出结论，，“一个工艺设计实际上是一个行动计划，是一张蓝图，是可供其它工程参考的版本。”。

“那么”，我问：“不由工艺工程师负责的装置设计的主要部分是什么呢？”

帕特答道：“泵、换热器、塔等的实际位置或者平面布置等，是由主管工程师来确定。通常，他是具有土建或机械师水平的人，而工艺设计师几乎总是化学工程师。主管工程师还要确定容器的厚度及管线直径”。

“仪表工程师要具备电气工程基础知识。他要决定是选用气动还是电动仪表，是采用闭合回路计算机控制特殊变量还是用人在现场开关阀门？这类问题要仪表工程师来决定”。

“工艺、主管和仪表工程师一起组成一个设计小组。这个小组最后要出版装置的管线及仪表安装图（P & ID）。

“P & ID是建设工艺装置的基础设计文件。在一个装置交付使用二十年之后，操作人员仍可参考原来的P & ID来解决操作问题。然而，P & ID是以工艺流程为基础的，它使我们回忆起工艺工程师的工

作”。

“要记住是一个易犯错的人在操作过程装置，从而在工艺流程中必须考虑到这一薄弱环节。在工艺设计中，克服人为错误所必需的知识，只能来自于多年的现场经验”。

帕特·麦克纳马拉转身九十度，面向他那心爱的黑板，黑板上还覆盖有可能是进行最后热平衡计算所留下的粉笔末。

他在黑板上写了一些关键词和句子，然后对它们加以解释，并且还写了另外一些东西。就这样，他讲解了一个小时。

这可能是他的职业习惯，也可能是我作为他从前的学生的习惯反应，至今我也不知道为什么我会那么仔细地全都把它记下来。我的笔记如下。

整套工艺设计的各单元部分

工艺设计报告书的模式是UOP（美国环球油品公司）的规范“A”。环球油品公司是个大的工程承包公司，他们的整套规范“A”是工艺设计组成的工业标准。其组成包括：

- ▲ 工艺说明。
- ▲ 全装置的物料平衡，列出所有进料和产品。
- ▲ 工艺控制流程，表示出主要控制回路。
- ▲ 主要工艺物流的数量（公斤/小时）及其组成（以摩尔百分数计）一览表，此表是工艺流程的关键。
- ▲ 管线表，列出每条工艺及公用管线的设计粘度、比重、温度、压力、摩尔质量和每一过程及主要管线内的流量（公斤/小时）。
- ▲ 换热器数据表。
- ▲ 泵一览表，给出输送流体的体积流率、蒸汽压及其比重和粘度。
- ▲ 加热炉数据表，包括汽化曲线。
- ▲ 容器草图，表示出所有开口方位（但不必注尺寸）。
- ▲ 分馏塔的塔盘数据表。
- ▲ 压缩机数据，表示出吸入及排出状态。

工艺说明 简明地叙述装置的目的以及如何操作。只有在所有其它部分都汇编之后，才能写出工艺设计的这一部分。

全装置的物料平衡 列出装置进料的量及其物理性质，预测的产品收率和产品的有关性质。

工艺流程 是整个工艺设计程序中最重要文件——很多人通常只看这一项内容。其中有一些经艺术加工的设备外形草图可以帮助不熟悉装置的人很快理解工艺内容。还要清楚地表示出各个控制回路。

物料组成汇总表 提供每个工艺物料流组分的摩尔百分数明细表。将其列入整套工艺设计中以备将来参考。而这些数据在工艺计算过程中可以适当改动。

管线一览表 管线表的流率不需要和工艺流程上的流率相一致。设计人员应该预料到在开工时某一根管线可能要输送其正常流率两倍的流量。也可能在某一个操作部位会出现非常高的粘度。管线一览表能够确保设计人员更深入地了解装置的情况。

换热器规格表 写出每个换热器的TEMA标准换热器数据表。TEMA代表制定管式换热器标准的制造商协会。换热器的进、出口温度和粘度是主要的给定参数。结垢系数也是很重要的参数，但是很不容易确定准确。

泵的数据 表中的数据是用于选择离心泵的。如采用最大的预测比重、粘度和蒸汽压会导致安装的离心泵处于难以操作的状态。

火焰加热炉数据表 由于在工艺装置操作中加热炉很可能是费用最高的设备，因此火焰加热炉或加热炉的数据必须仔细地确定。设计者要给出允许的最大炉管热强度（以千卡/时·米²计），根据这个数字以及热负荷（以千卡/时计）来确定加热炉的尺寸。如果在炉管中可能发生汽化，那么就需要一组说明油品流动性质变化的曲线。

容器草图 应该画出每个板式塔、反应器和槽罐的草图，标出全部尺寸和所有开口的中心线距离。标出人孔位置是个好主意，总有一天你可能会从这些人孔爬进你自己设计的塔里。工艺部件的细节（如流体分配器）、正常的操作温度和压力都必须在容器草图上标出。所使用的催化剂类型及数量也要在反应器草图上详细注明。还需详细标

出分馏塔中的塔盘间距和数量。

塔盘数据表 分馏塔的塔盘要向制造商购买，他们需要知道流过塔内每层塔盘的蒸气和液体物流的密度和体积。设计人员还要确定塔盘间距，以及所要采用的塔盘形式（泡罩、浮阀或筛板）。

压缩机数据表 必须将吸入压力和温度、排出压力、气体的可压缩性以及比热比详细地填写在压缩机数据表上。排出温度是压缩机效率的函数，可由生产厂家计算出来。

帕特陷入了沉默。他在摆弄他的计算尺。这把计算尺已年久发黄，磨得连刻度数都模糊不清了。他把这把过时的计算尺扔到桌子的抽屉里，把纸揉成团扔到废纸堆里。我悄悄地离开了他。这就是帕特工作的最后一天，我们永远不能再谈话了。

第二章

填料塔的隐患

在通往炼厂经理办公室的马路上，散乱地堆放着金属环填料。经理哈塞尔贝克先生向窗外凝视着那些弯曲和破碎的填料环。

“你知道”，哈塞尔贝克先生开始说：“这座塔很好地运转了16年，日复一日地为我们生产出合格的汽油、煤油和柴油。后来从芝加哥到这里来的一位工程师告诉我们，他能使原油处理量提高20%”。

哈塞尔贝克先生从扭曲的金属环堆上收回他的目光，转过身来继续说：“就这样从芝加哥来的那个狂热者，叫我们务必采用76毫米的金属环来取代原油蒸馏塔中的塔盘。于是，我们拆除了32层完好的双流浮阀塔盘，用由76毫米多孔环组成六段填料层来代替”。

提起这个话题，哈塞尔贝克先生满脸怒气。“正是按照那个狂热北方佬的要求，我们改造了原油蒸馏塔的内部构件。只有一件事他是错的——我们能使原油蒸馏塔处理更多的原油了。麻烦也只有一个，那就是这个塔不再起分馏作用了。我们无法控制作为重整原料的石脑油的干点，煤油不能满足闪点规格，柴油中含有那么多的瓦斯油以至于销售不出去了”。

“现在填料的原油蒸馏塔在北方可能很好地工作”，哈塞尔贝克先生作出结论：“然而在我们德克萨斯这里需要的是板式塔。那么你马上返回芝加哥告诉副总裁去为我们的原油蒸馏装置购买一套新的浮阀塔”。

我明白了事情的症结。在原油装置开工期间，炼厂的操作人员太疏忽大意了。压力急剧波动（可能由于水突然闪蒸和膨胀成蒸汽）冲坏了塔内的金属填料环。我极力不去看那些堆在马路上的一大堆毁坏的脏金属环，我摊开图纸开始解释填料塔较之板式塔的优点。

“填料的特点是处理的气液负荷比板式塔大。在填料塔内蒸气是连续相。然而在板式塔中液相是连续相。液体在塔盘之间传递需要有降液管。如图2-1所示，一般塔盘横截面的30%用于降液管。对于填料塔，液体是直接淋洒到填料上的。

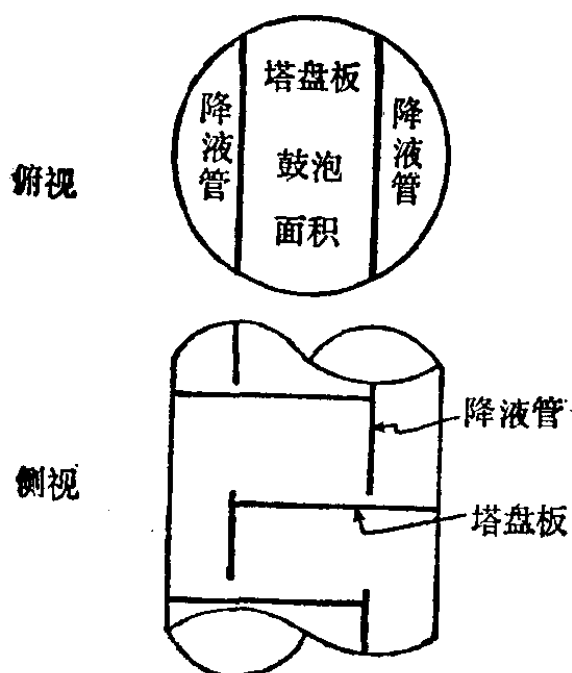


图 2-1 在板式塔中塔截面有很大的百分数用于降液管

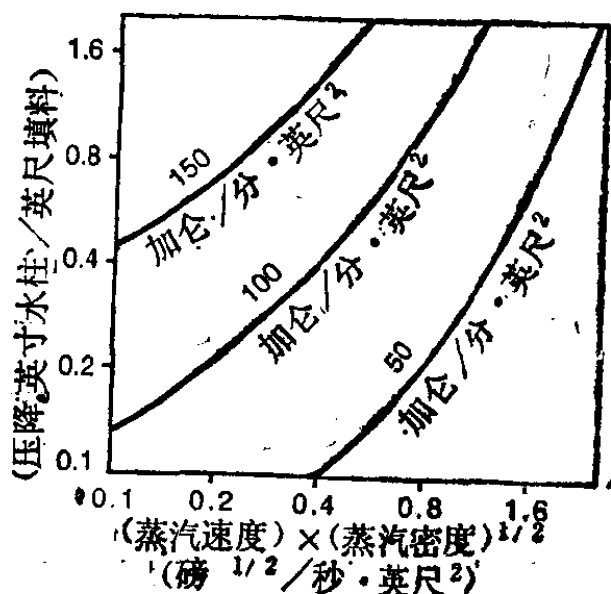


图 2-2 在64毫米水柱压降处所测得的结构填料在液泛时的处理能力

我没有考察过制造商各种说法之间的矛盾，但基于我的设计和操作经验，在同等分馏精度的情况下设计适宜的填料塔可比板式塔处理能力提高20~40%。

结构型填料

“某公司结构型填料的处理量曲线如图2-2所示。这种填料是由薄的网状垫层材料组成的，压成波纹状的多孔金属板垂直排放。在一些原油分馏塔上取得的现场数据与用这些曲线所做出的计算是一致的。

“这家公司的结构型填料可能不是最佳可供选用的材料，但是它确实象预计的那样达到了压降与分馏两方面的效果。另外几个销售商也出售可与之竞争的填料。

“对于上述某公司的填料，估算其分馏效率的可靠经验为：

- 2*填料每760毫米提供一个平衡分馏梯度级；
- 3*填料每1076毫米提供一个平衡分馏梯度级；
- 4*填料每1372毫米提供一个平衡分馏梯度级。

环型填料与结构型填料的对比

“尽管阶梯环的成本比结构型填料低廉，但大多数炼厂还是选用结构型填料。

“结构型填料的图片如图2-3所示。结构型填料主要的优点是它能组装成一个大块（例如，高610毫米，长1220毫米和宽610毫米）。而填料环直径只几十毫米，高度25~76毫米。

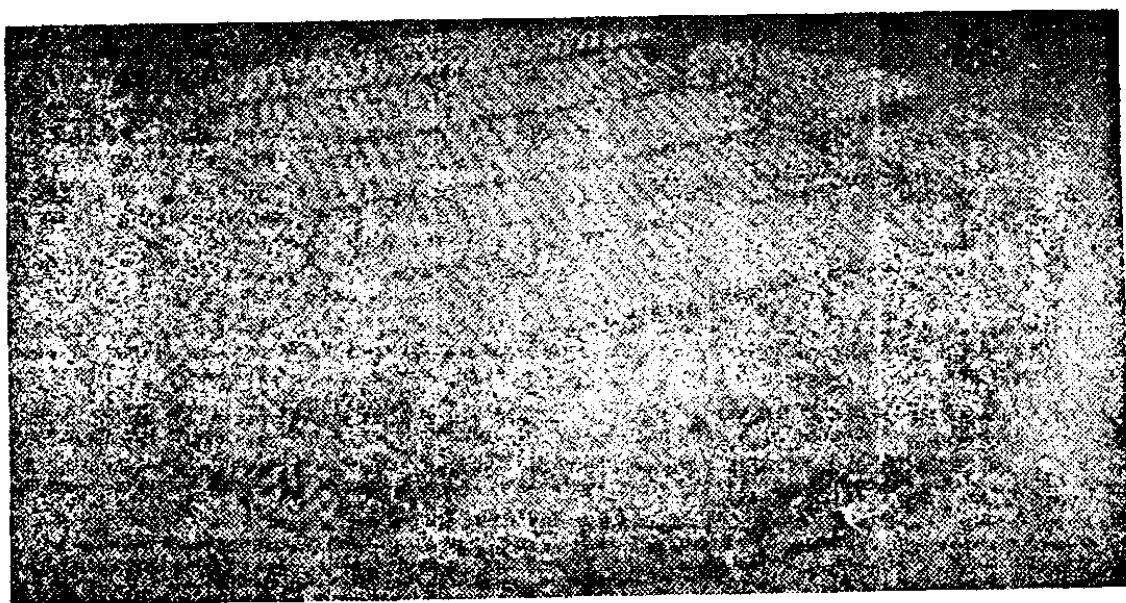


图 2-3 FLEXIPAC填料

“填料环的床层通常是用扁钢条格栅支承，（曲型的是76毫米高，9.5毫米厚）。扁钢条的排列要比所支承的填料环尺寸稍微密一些（见图2-4）。然后将填料环用铁丝网压住。这种布置可使填料环稳固地就位。而且，实际上也没有再出现什么问题。

填料环的串动

“填料环有堵塞泵入口和控制阀入口以及卡住闸阀座的缺点。每当出现这些问题时，都可能使装置停工。操作人员时常不知道为什么会在远离分馏塔装置的工艺管线中找到这些填料环。

“填料环以两种方式串动。首先，填料环容易变形。在安装时组装塔内部构件的工人脚下可能踩坏一定数量的填料环。另外，环在麻袋中装运受到损坏。一旦填料环被部分压扁就会从支承格栅中滑落出来。然后它们被冲过抽出塔盘而进入抽出槽。有一次，这些环从抽出斗串到离装置很远的地方去了。

“由于操作混乱造成填料环串位就更为严重。下述不同型式事故都可能弄翻分馏塔的内部构件：

▲ 一股水与一槽热油相接触。这是在低压分馏塔开工时常遇到的事故。

▲ 减压阀开启时，塔顶压力突然降低。

▲ 液面升高到重沸器蒸汽返回线之上，使填料层被上升的气泡冲乱，从而引起液面不断升高。

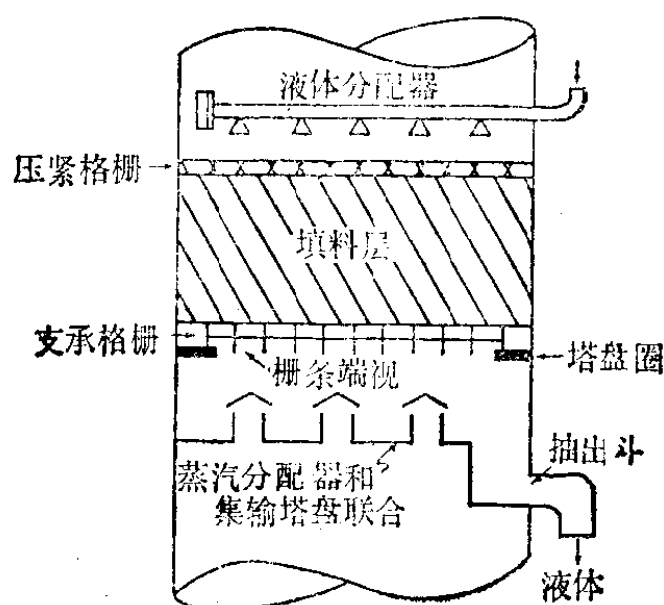


图 2-4 分馏塔填料层总体布置

塔内部构件的设计

“对于填料塔，内部构件的适宜设计是与选择填料本身同等重要的。这些构件包括有：

- ▲ 支承格栅。
- ▲ 压紧格栅。
- ▲ 蒸气分布器。
- ▲ 液体分布器。
- ▲ 液体集输塔盘。

“一个典型的构件排列如图2-4所示。

支承格栅

“支承格栅的设计要对机械强度和最大处理量加以综合考虑。填料塔的处理量大体上与填料的开孔率成正比。

“例如，一个制造厂商列出76毫米多孔环的开口面积为75%（环开孔的目的是增加其开口面积）。填料环用由6.35毫米的扁钢制成间距为32毫米的格栅作支承。按这种方法，格栅的开口面积为80%。那么在格栅与填料环相接点的塔板开口面积为：

塔的开口面积 = 格栅开口面积 × 填料环的开口面积。

$$60\% = 80 \times 75\%$$

“由计算可见，设计人员应使支承格栅的横截面积尽量的小从而使塔的处理能尽可能的大。这是因为填料与支承格栅之间的接触面通常是塔的“收缩”点。液泛从这一收缩点开始，其状态尤如部分出口被堵塞的水槽向上返水。液泛大多数开始产生在这种相同结构的收缩点上。处于收缩点以下部分的塔的处理能力不受上部液泛的影响。

“然而，若想使格栅的横截面达到最小，就会减弱格栅的机械强度”。

哈塞尔贝克先生打断了我的讲话：“要知道，你是对的。我记得当我还是个年轻的工程师时，当时我在路易斯安娜州曾遇到过类似的事情”。

我觉得我已经拨动了这位炼厂经理的心弦，我接过他倒的一大杯热气四溢的咖啡，继续听他这一段有趣的技术故事。

“二十年来我一直想解决这件事”哈塞尔贝克先生开始说：“你一提到它，立即就唤起了我的回忆。当时我在南路易斯安娜州的一个小原油装置中担任装置工艺工程师。在一个塔的填料段有一个煤油循环回流。我记得，无论何时，只要我们把煤油的循环回流量提到1910米³/日以上，填料段就出现液泛。”

“你怎么知道是液泛呢？”

哈塞尔贝克先生将他杯中的咖啡一饮而尽说：“塔顶温度突然上升，汽油的ASTM干点升高。你瞧，塔内煤油准是冲到塔顶气体管线

中去了。

“我知道减少原油进料可以解决液泛问题，但不可避免的问题是，填料串到煤油泵入口过滤网中去了。让我画一张图来说明。”尽我最大努力所回忆起的哈塞尔贝克先生的草图如图2-5所示。

“对76毫米的金属拉西环，我们用一种扁钢制成的格栅作填料支承。一次我有机会爬进塔里，我挤在支承格栅的下面，去观察一些填料环是如何通过不规整扁钢的间距中滑落出去的。”

“为了纠正这个问题，我告诉操作负责人圣·皮埃尔先生必须在扁钢上边放置一个重负载的不锈钢网，以阻止填料环从支撑格栅滑落。”

哈塞尔贝克先生暂停了他的故事，又为我们两人各倒了一杯咖啡。咖啡使人兴奋，但回忆更使他激动。他继续说道：“唔，圣·皮埃尔是心胸狭窄的阿加底亚人的后裔，他对我的主意毫无兴趣，因此我越过他直接找到炼厂经理——一个从西德克萨斯州来的精通石油的行家。他能正确地断定钢丝网如何防止填料从格栅中掉出来。

“所以我们在格栅上边安装6.35毫米直径的25毫米×25毫米间距的钢丝网。这种结构的钢丝网开孔面积约为75%。

“几天后的一个凌晨，二点钟时电话铃响了起来。我从床上爬起来与圣·皮埃尔先生通话。他要我解释为什么以往煤油循环回流段的泛点在1910米³/日循环量上，而现在降到1430米³/日就出现液泛。”

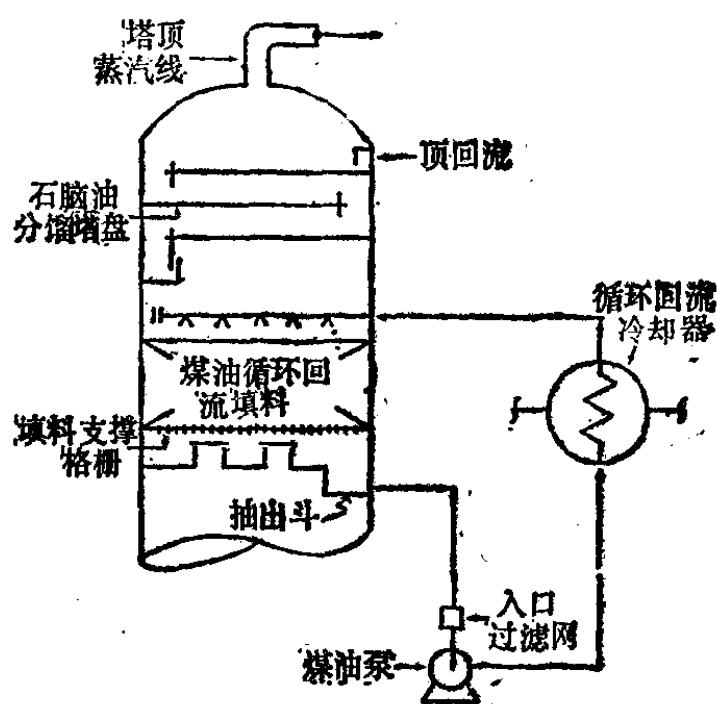


图 2-5 泵吸入网被环堵塞就是填料床支承不当的征兆