

911

气体分馏装置

苏联 П.С.庫丘莫夫著

石油工业出版社

內 容 提 要

气体汽油工业广泛使用吸收装置以分离烃气，并从中提取有用组分。这本小册子详细地介绍了炼油厂工作者在设计和使用这种吸收装置中积累的丰富的实际经验。

书中根据工业吸收装置开工和使用时获得的资料，研究了气体加工的工艺流程，吸收塔内气体的运动速度，吸收剂的用量和质量的影响及其他对吸收操作有重大影响的指标。

这本小册子可供石油加工工业和石油化学工业的工程技术人员设计和使用气体分馏装置时参考。

П. С. КУТЮМОВ

ГАЗОФРАКЦИОНИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ

根据苏联国立石油燃料科技书籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1959年莫斯科版翻译

統一書号: 15037·920

气 体 分 餾 装 置

黄 汉 生 译

石油工业出版社出版(地址:北京六部族石油工业部内)

北京市书刊出版业营业许可出字第083号

石油工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 印张2 $\frac{1}{2}$ * 53千字 * 印1—3,200册

1960年9月北京第1版第1次印刷

定价(10) 0.36元

加工烴气时得到的富气，是石油化学工业珍贵的原料，又是家用的优质燃料。

加工烴气以制取有价值组分的各种已知方法中，最广泛使用的是吸收法。但在发表的文献材料中，有关工业吸收装置工作分析的很少；如吸收塔中气体运动速度的选定，吸收剂的用量与质量，经济上合理的工艺流程及最合适的吸收压力的选择，吸收塔塔盘效率等一系列的问题，最初看来很简单，但至今却未得到彻底解决；在设计吸收装置时，往往因使用了未经实际考验的数据而产生了严重的错误。

作者在这本小书里，在加工整理三座吸收装置开工和试验生产过程中获得的实际生产的和实验的数据的基础上，对上述问题作了详尽的研讨。

这些材料可作为石油加工工作者，在探求从工业烴气中最大限度地回收有用组份的方法时参考。

目 录

气体汽油厂及吸收式气体加工装置的发展.....	1
新型吸收式气体分馏装置的使用特点.....	7
吸收基本公式的分析.....	30
分馏吸收塔.....	41
气体在吸收塔中的綫速度直.....	52
吸收剂的質量鑑定.....	58

气体汽油厂及吸收式气体加工装置的发展

为了正确地使用现有的气体分馏装置和正确地设计新的气体分馏装置，首先必须彻底研究它们的发展。

最初，修建气体汽油吸收工厂的主要目的是为了回收汽油（ C_5 以上），其次是回收气体汽油中所含的少量丁烷。气体汽油厂需用的原料是天然石油气。

在石油加工工业发展的初期还不曾大规模地研究石油的破坏加工，此时车用汽油和航空汽油均不能满足需要。从天然石油气中分离出的气体汽油被认为是直馏汽油极为珍贵的组份，因为它能改善直馏汽油的动力性质（起动性，辛烷值，对四乙铅的灵敏性等）。

在1925年兴建了许多以天然石油气为原料的气体汽油厂（主要是在美国）。结果，形成了整个单独的工业部门——气体汽油工业。

图1为这种气体汽油工厂的标准流程图。

按照此流程图，富气由吸收塔1的底部塔盘下进入，塔顶有液体吸收剂（煤油-索拉油馏分）喷淋。吸收塔中装有一定数目的塔盘，吸收剂和气体在塔盘上发生接触。吸收剂从气体中吸收汽油蒸汽，甲烷，乙烷，丙烷和丁烷。当时，因为这些烃气没有用途，故在吸收过程中总是设法创造各种条件，使烃气被吸收的数量达到最小。

因为吸收剂的吸收作用没有足够的选择性，所以在吸收过程中还是有若干数量的烃气被吸收。为了除去它们，将吸收剂送至闪蒸器2。在闪蒸器内，由于压力降低，饱和吸收剂（富油）可以脱除一部分不需要的烃气。然后将饱和吸收

剂經热交换器4,加热器3压送至蒸脫塔7,吸收剂在塔7中进行汽提,气体汽油蒸汽连同被吸收的烃气自塔頂送出,而貧吸收剂(貧油)則从塔底排出。貧吸收剂經热交换器4和冷却器5后进入貯罐6,重新供給吸收塔1。汽油蒸汽从塔7頂出来后经过冷凝冷却器14进入槽11。

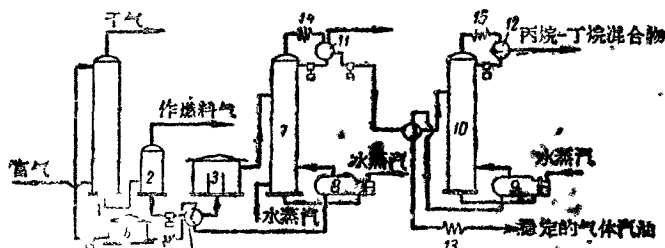


图1 回收5—10%丙烷和20—30%丁烷的气体汽油厂原理流程图

1—吸收塔；2—閃蒸器；3—加热器；4—热交换器；5—貧吸收剂冷却器；6—貧吸收剂貯罐；7—蒸脫塔；8、9—重热器；10—穩定器；11—未穩定汽油儲槽；12—丙烷-丁烷混合物儲槽；13—穩定气体汽油冷却器；14—未穩定汽油冷凝冷却器；15—丙烷-丁烷混合物冷凝冷却器。

未經穩定的汽油具有很高的蒸汽压力，因为它含有某些数量的丙烷和丁烷。所以未穩定汽油需在塔10中进行穩定处理，即脫除丙烷和丁烷，丙烷、丁烷經減压后排往燃料管線或以火焰形式燒掉。

按照图1中的工艺流程，丙烷的回收率为5—10%，丁烷的回收率为20—30%（均对潜含量而言）。

以后确定，丙烷和丁烷都是很有价值的产物，可以用作汽車汽油的代用品和家用燃料（在气罐系統中），可以供作制造高辛烷值动力燃料和多种珍貴的化工产品（酒精、橡胶、溶剂

等)的原料。从这时(1934年)起,富气的产量就开始不断增长。旧式的气体汽油吸收工厂开始改建,新建气体汽油工厂时也开始考虑到如何最大限度地回收丙烷和丁烷。同时相继出现了可以回收潜含量50—60%的丙烷和95—98%丁烷的装置。图2为这种气体汽油吸收工厂的标准流程。

按照这一流程,从闪蒸器3和回流储槽中分离出的蒸汽和气体需在再吸塔1中进行补充吸收,这种含有很多汽油蒸汽,丁烷和丙烷的气体在进入再吸塔前常用压气机预先压缩(再次压缩),以改善吸收过程的情况。

图2工艺流程和图1不同之点是,增设了再吸塔及用以提取各个馏分的补充塔10, 13和16。

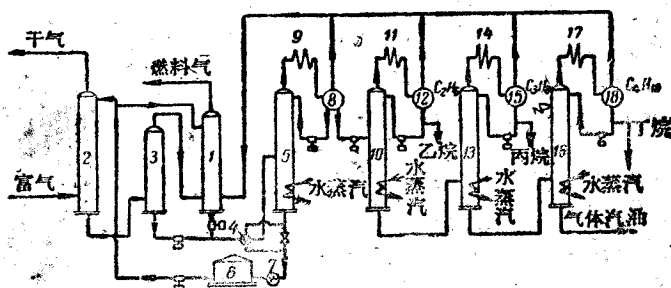


图2 回收50—60%丙烷和95—98%丁烷(均对潜含量而言)的气体汽油工厂流程图。

1—再吸塔; 2—吸收塔; 3—闪蒸器; 4—热交换器; 5—蒸汽脱塔; 6—贫吸收剂储罐; 7—吸收器冷却器; 8—未稳定汽油储罐; 9, 11, 14, 17—冷凝冷却器; 10—乙烷塔; 12—乙烷塔回流储槽; 13—丙烷塔; 15—丙烷塔回流储槽; 16—丁烷塔; 18—丁烷塔回流储槽。

很明显,为了提高丙烷,丁烷的回收率,需要进行闪蒸,再吸收和乙烷脱除处理。

与石油开采的副产品——天然石油气加工数量增长的同时，开始建造了石油加工厂副产气体的加工装置。大家都知道，在石油初级加工过程中，分离出的气体数量很少。故在石油加工工业发展的初期，汽油的稳定处理和气体烃的回收问题未曾引起注意，然而当时气体汽油厂不但已经实行了气体汽油的稳定处理，而且还制取了液化气。

以后随着石油加工过程采用了裂化法，气体的产量显著增长。裂化法制得的裂化汽油含有大量的轻烃气体，因而使汽油的蒸汽压力增高。因此，石油加工工厂这时就开始采用了裂化汽油的稳定处理。因为当时气体汽油工业已经积累了相当丰富稳定气体汽油的经验，于是石油加工工业就几乎全部运用这些经验，石油加工工厂开始仿造了和气体汽油厂的稳定装置相似的稳定装置。

再后，随着轻烃应用范围的扩大，石油加工工业又开始采用了气体汽油厂的另一经验，设置吸收塔以回收丁烷-丁烯馏分。气体汽油厂的这一经验直到现在还继续为石油加工工厂所采用，特别是在美国。

在苏联，工业气体加工厂得到了广泛的发展，现在具有将工业气体加工的经验运用到天然气加工的趋势。

图3为热裂化气体分馏装置的流程图。

热裂化富气进入塔顶有贫吸收剂喷淋的吸收塔1。饱和吸收剂自塔1底部流入闪蒸器2，由于闪蒸器中的压力降低，不凝烃气被分离；但是和它们一起可能带走一部分数量相当可观的丙烷-丙烯，丁烷-丁烯和更重的烃。

因此，由闪蒸器2逸出的气体被送至再吸塔3的底部，塔顶有贫吸收剂送入。从再吸塔3底流出的饱和吸收剂和来自闪

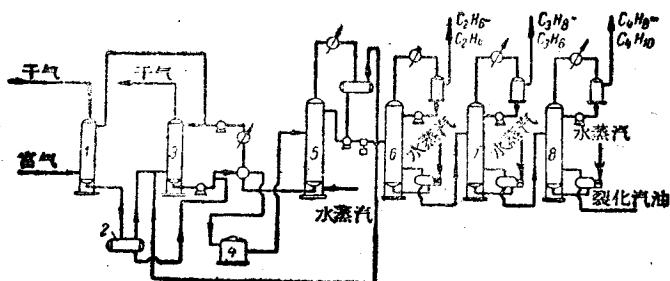


图 3 热裂化气体分馏装置流程图

1—高压吸收塔；2—闪蒸器；3—再吸塔；4—加热炉；5—蒸脱塔；6—乙烷塔；7—丙烷塔；8—丁烷塔。

蒸器2脱除了部分甲烷的吸收剂混合，然后经热交换器和加热炉4进入塔5（蒸脱塔）。在蒸脱塔中，被吸收的烃全部汽提出来，由塔顶逸出至冷凝冷却器，然后进入未稳定汽油槽。

未凝结的气体烃由此槽送入再吸塔底。含有乙烷—乙烯及其他馏份的未稳定汽油则顺序通过一系列压力依次降低的塔。由此即可分出各个馏分。气体与吸收剂的流动情况和加热的特点图3中都表示得很清楚，无需再加补充说明。

图4为催化裂化气体分馏装置的标准流程。此流程与上一流程不同之处在于：气态产物与汽油液体烃预先在一个接触器的设备4中发生接触。

饱和烃气的未稳定汽油先进入缓冲槽6，然后再送去分馏。自接触器4出来的气体进入吸收塔5，塔5起着再吸塔的作用。其内有轻气油喷淋。余下的流程在图4中已表示，此处不再重述。

研究上述所有流程以后，可以作出以下的总结：

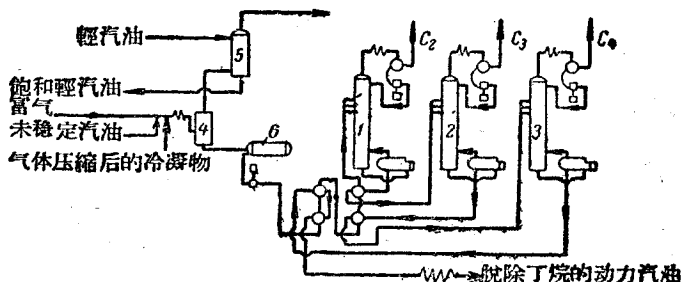


图 4 催化裂化气体分馏装置流程图

1—乙烷塔；2—丙烷塔；3—丁烷塔；4—接触器；5—吸收塔；6—不稳定动力汽油貯槽。

a) 不凝烃（甲烷、乙烷、乙烯）都是利用閃蒸作用，即降低压力的作用进行分离；

b) 所有流程都設有乙烷塔以除去残留的乙烷；

б) 为了提高有用組份的回收率所有流程中都設有再吸塔。

这种分流装置的使用經驗証明，丙烷-丙烯馏分的回收率，一般能达到計算含量的50—60%。如想进一步提高丙烷的回收率，則必須进行吸收剂的循环，这样就必須消耗大量的动力和增大設備尺寸。

然而，化学工业需用丙烷和丙烯的数量逐年不断增长，这一情况在最近几年来变得特别显著，因为現在已經掌握了利用丙烷热分解大量制取乙烯以供生产乙醇，以及以丙烯为基础制造合成洗滌剂的工业方法（主要是在美国）。

因此，就产生了創立新方法和新工艺流程的技术思想，以求在經濟合理的基础上保証达到很高的丙烷-丙烯回收率（达潛含量的85—95%）。

阿塞拜疆石油加工工厂曾利用新方法創制了几种吸收式气体加工装置，提高了丙烷-丙烯馏分的回收率。这种新方法的实质在于采用了分馏式吸收塔。

这种新装置的设计計算和使用方法有某些特点，这些特点在此以前还没有人加以敘述。因此，設計部門在計算时若仍旧采用只适用于設計气体汽油吸收工厂的公式和系数，那就必然会造成严重的錯誤。

本書以下各节，是在加工整理1947年至1955年間建造的三座工业吸收式气体加工装置开工和試生产时获得的实际生产資料和实验資料的基础上，研究用吸收法加工工业燃气的問題。

新型吸收式气体分馏装置的使用特点

1947年，阿塞拜疆石油工业設計院設計了一种新型吸收式气体分馏装置。这种装置不需用閃蒸和再吸的方法，就可以从热解气体中回收潜含量80—90%的丙烷-丙烯，它的原理图如图5所示。

热解气体由压气机在20大气压35°C下压送至吸收塔1底，塔頂有輕吸收剂噴淋。由于吸收的結果，温度將大为升高，所以为了避免吸收条件恶化，吸收剂需进行中間冷却，半飽和吸收剂从吸收塔的第21层塔盘，在60°C温度下进入冷却器14，冷却至35°C以下再送入吸收塔的第20层塔盘。

飽和吸收剂在60°C下从吸收塔底流出，用泵压送至冷却器15冷却至40°C以下再送入蒸脫塔，在蒸脫塔内进行气体的汽提，保証脫除全部C₂。蒸脫塔的馏出物与富气混合送入吸收塔。蒸脫过程所需的热量由带汽空間的管式加热炉6供

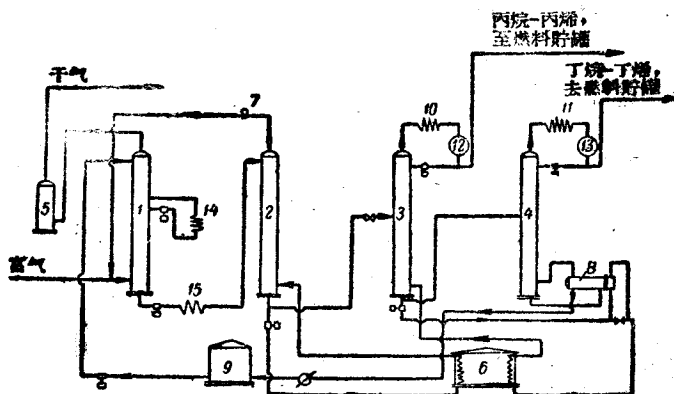


图 5 分馏装置流程图

1—吸收塔；2—蒸脱塔；3—丙烷塔；4—丁烷塔；5—干气分离器；6—管式加热炉；7—气体流量计；8—丁烷塔重热器；9—贫吸收剂罐；10与11—冷凝冷却器；12，13—回流储槽；14—中间冷却器；15—贫吸收剂冷却器。

給。饱和吸收剂則从蒸脱塔底自流入丙烷塔3。

从塔3頂餾出的 丙烷-丙烯餾分，經過冷凝冷却器收集于回流槽。一部分 丙烷-丙烯餾分从回流儲槽回流入塔3，另一部分丙烷-丙烯則送往成品工段。丙烷塔所需的热量亦由管式加热炉6供給。

温度为 195°C 的分餾残液自流入丁烷塔。自丁烷塔頂餾出的丁烷-丁烯餾分凝結并冷却至 35°C 以下。丁烷塔的分餾残液經過冷却器自流入貯罐，然后重新送往塔1进行吸收。

此种流程和前述所有流程有原則上的不同，这种区别就在于饱和吸收剂是运用了精餾的原理，借加热法脫除不凝烃气。此外，蒸脱气体与富气混合重回吸收塔，从而形成了吸收塔-蒸脱塔系統の蒸脱气体循环。

为了掌握这种新工艺流程，費了很長時間（將近半年之久）。只是在闡明了这种气体分餾装置中发生的新現象的本質以后，装置的工作才开始轉入正常。

首先必須提到的是，按照設計要求，吸收剂应使用比重为0.74，初餾点=100°C，終餾点=184°C的直餾汽油。在开始使用这种分餾装置的第一天，一昼夜内就被干气带走了120吨吸收剂。因此当时决定改用比重較大（0.8）的里格罗因作为吸收剂。

采取了这种措施以后，就沒有吸收剂被干气带走的現象了。但是装置工作情况还是不很良好。当吸收塔塔底和塔頂到达一定温度时，丙烷塔内就会发生噴出現象，即在丙烷塔的回流儲槽内，除了无色的液体丙烷外，还发现了黄色的油状液体——饱和C₄以上的吸收剂。这种工艺制度遭受破坏的情况每隔2—4小时就要出現一次。

当时针对这种情况召开了技术會議，会上提出了很多不同的看法，其中最多的是：

1. 丙烷塔中的塔盘 安装得不对，因此气流运动遭到破坏，結果发生了噴出現象。

2. 丙烷塔原料进口設置不正确，从而使精餾塔盘的工作受到破坏，造成噴出現象。

3. 塔底加热系統不合适，使被加热产物沸腾，因而自塔頂噴出。

但是在消除了这些缺陷以后，塔的工作情况仍不見有显著的改善。

以后，又提出了一种見解：压气机站的“巴庫工人”式热交换器不严密，因此有大量水渗入气体，从而引起石油产

品沸騰，产生噴出現象。根据这样意見，决定每隔30分鐘就將系統中的水分完全排出，如此二昼夜并未得出肯定的結果，噴出現象的原因仍未查明。

在更仔細地觀察了裝置的工作情况以后，发现：安装在蒸脫塔气体出口的流量計（此流量計在本書的工艺流程图5中以符号7表示）記錄的流量有些異常，出現周期性的波动。图6即为此流量計記錄下的气体流量图。下表則为蒸脫塔出口气体中的水分含量的数据（每1000米³蒸脫塔頂逸出气体中所含水分的公斤数）。試样是每隔2小时取一次。

試样編號	水分含量	試样編號	水分含量
1	0.448	7	0.650
2	0.024	8	1.570
3	0.982	9	1.944
4	0.120	10	0.34
5	0.540	11	0.29
6	0.330	12	0.052

由此表中的数据可以看出，气体中水份的含量随時間有很显著的变化，当时將表中的数据与图6中的記錄对照，发现流量計的記錄图上波动增大的时刻，与气体中水分含量达到最大值的时刻相符合。相反地，随着流量波动的平复，气体水分含量也降低。根据这一发现，得出了这样的結論：裝置工作的破坏起因于系統中聚积的水份。水份是由热解气体

帶入系統的，因為熱解氣體從工廠輸送來時，中間要通過濕式儲氣罐，從而飽和了水蒸汽。

送入吸收塔的吸收劑與含有少量水蒸汽的氣體相遇時，即為此水蒸汽飽和。濕吸收劑自吸收塔底進入蒸脫塔頂，在向下噴淋時被加熱。在蒸脫塔保持溫度可使水份完全蒸發，而塔頂的溫度則可使水蒸汽凝結。

在開始的時候蒸脫塔中的水份還不多，水份的蒸發與凝結及與之同時發生的烴的蒸發與凝結，還不致引起操作條件有很大的破壞，這時，蒸脫塔底部蒸發的水份來得及在塔頂完全凝結。在塔頂聚積了水份以後，水份就開始強烈蒸發，此時吸收氣體的分壓即急驟降低，結果，蒸脫塔頂有水蒸汽和氣體一同噴出。

熱水蒸汽和氣體進入吸收塔底，會使塔底溫度升高，從而使吸收作用大大惡化。但是因為並非全部水份都來得及在蒸脫塔底部蒸發，有一部分水分進入丙烷塔。在丙烷塔中部和底部適當的溫度下，由於輕烴氣所含的水份蒸騰，開始出現吸收劑的噴出現象。丙烷塔頂溫度開始上升。此時試圖用增加冷回流量的辦法降低溫度不但無效，相反地增加塔頂回流量會使塔頂溫度更形上升，因為由於丙烷的蒸發，吸收劑的噴出必更劇烈。

弄清楚了操作條件破壞的原因之後，就相應地制訂了消除它的措施。

最初決定趕造氣體的干燥裝置。但是，有關的測量數據和計算表明，聚積在系統中引起操作條件破壞的水量並不多，所以要求吸收劑也應加以干燥。這樣勢必要增加投資費用。因此不得不放棄干燥氣體的方案，決定採用變換蒸脫塔

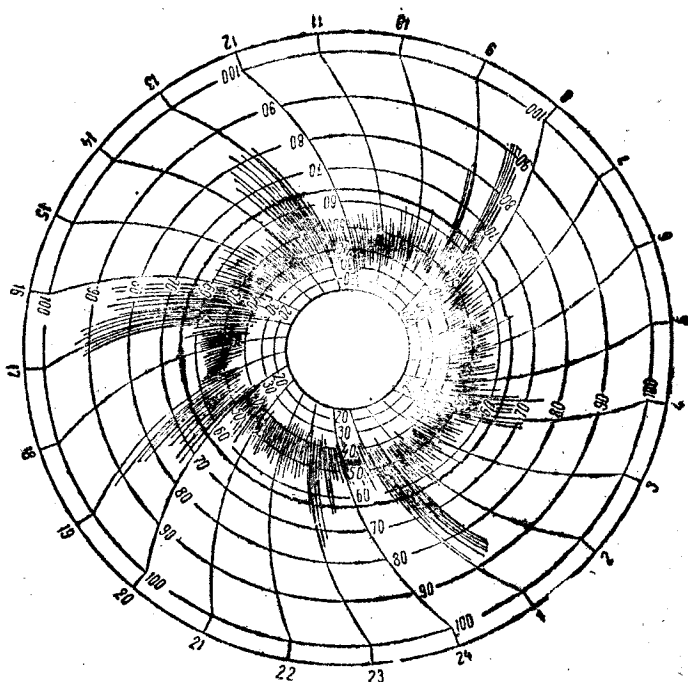


图 6 气体流量图

和丙烷塔的温度来进行工作。

因此，这种型式的气体分馏装置的第一个特点是，它只能在变换温度的条件下才能正常工作。调节这种温度条件的困难在于，操作人员应能根据情况及时看出什么时候需要提高温度，什么时候需要降低温度。

事实上，系统中排除了水份以后，就形成了新的平衡条件。在这种新的条件下，被吸收剂吸收的乙烷-乙烯馏分的数量可以达到很高，以致它能随吸收剂进入丙烷塔，而使压

力升高，工艺制度破坏。这就是說，操作人員这时应当注意防止乙烷-乙烯馏分大量“潛入”丙烷塔。

在掌握分馏装置操作的初期，这种現象还不曾充分加以考察。

当时根据对装置工作状况的了解，为操作人員制定了特殊的操作規程。在这一規程里指明了，蒸脫塔塔頂和塔底及其他設備的温度、压力和流量达到什么数值时，操作过程將因系統中水份的存在开始显著破坏工艺制度，为了防止工艺制度遭受破坏規定了操作人員所必須遵行的事項。

例如，系統中有水存在时，蒸脫塔頂的温度較无水时高5—10℃，蒸脫塔頂排出的气体量增加2—3倍。操作規程中規定，这时操作人員应將蒸脫塔底的温度降低20—25℃，即改用所謂的“有水”制操作。水份进入丙烷塔同样也可改变塔內的平衡条件，故操作人員也应將此塔底部的温度降低30—40℃。

在排除系統中的水以后，操作人員应將装置逐漸轉为“无水”制工作。

应当着重指出，在实际生产的条件下，装置状态因水的聚积和排除的改变并不是突然发生的，温度的升高和气体蒸脫作用加强是慢慢开始的。所以，操作人員工作了一个月的時間以后，就可以积累到相当多的操作經驗，就可以学会調节装置的工作状况，其熟練程度与花同样多時間学会調节相类似的装置的恆温工作状况所能达到的熟練程度是不相上下的。

最后，在学会掌握这种分馏装置的过程中，还发现了一个在此以前未曾充分了解的現象。