

別冊化学工業

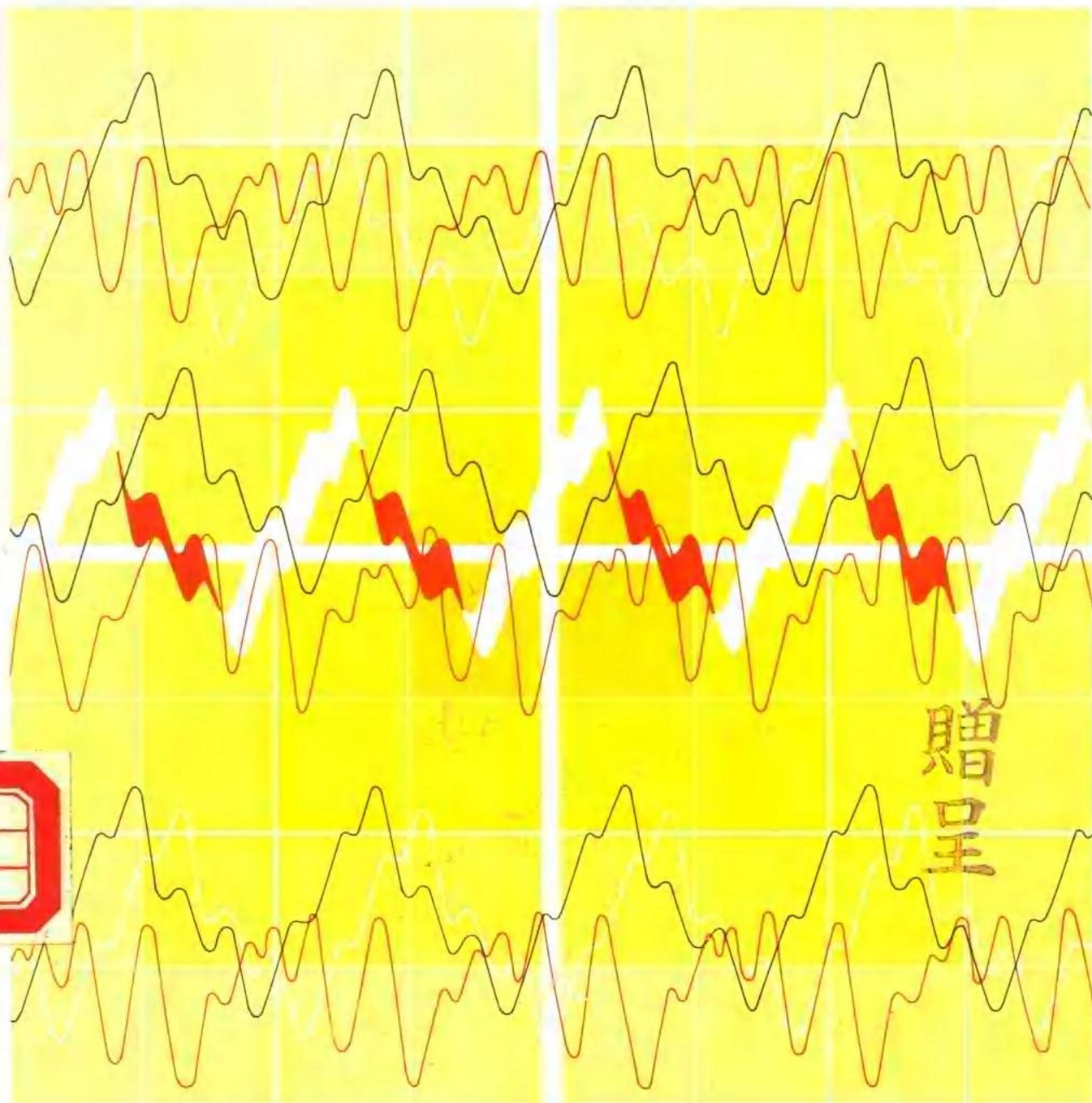
VOL. 14
NO. 4
1970

7/1

—化学プロセス機器設計・操作のための—

データのとり方と使い方

化学工業社



別冊化学工業 第14巻 第4号

＜化学プロセス機器設計・操作のための＞

データのとり方と使い方

¥1,500 千100

昭和45年7月1日 発行

編集兼発行人 原 徹

印刷所 株式会社 真珠社
東京都千代田区神保町1の69

発行所	東京都千代田区神田淡路町1-11	株式 会社	化学工業社
	電話 (253) 6451-5		
	振替 東京 13060		

26/94/13

<化学プロセス機器設計・操作のための>

データのとり方と使い方

— 目 次 —

蒸 留 装 置	 (日本化学技術(株))	佐野 司朗	 1
蒸 発 装 置	 (月島機械(株))	守田 稔	 10
吸 収 装 置	 (大阪府立大学工学部)	疋田 晴夫	 20
抽 出 装 置	 (早稲田大学理工学部)	城塚 正 川藤 義矩	 31
晶 析 装 置	 (早稲田大学理工学部)	豊倉 賢	 48
熱 交 換 器	 (三菱江戸川化学(株))	進 坦	 61
汙 過 装 置	 (名古屋大学工学部)	白戸 紋平	 72
粉碎機・フルイ分機・分級機	 (同志社大学工学部)	三輪 茂雄	 89
混 合・攪 拌 機	 (横浜国立大学工学部)	上和野 満雄 佐藤 行成 山本 一夫	 104
遠 心 分 離 器	 (理化学研究所)	山口 賢治	 124
乾 燥 装 置	 (東京工業大学)	稻積 彦二	 138
集 塵 装 置	 (中央大学理工学部)	東畑平一郎	 149
沈 降 分 離 機	 (東京農工大学工学部)	吉野 善弥	 155
真 空 装 置	 (日本真空技術(株))	飯田 俊郎	 166

蒸 留 装 置

日 本 化 学 技 術 (株)

佐 野 司 朗

1. データの種類

蒸留装置設計・操作のためのデータは、大別して、

- (1) 実験装置によるデータ
- (2) 実装置によるデータ

の2種類に分けることができる。

1-1 実験装置によるデータ

実験装置によるデータの目的は、主として装置・機器の設計に必要な諸数値・諸条件を提供することであり、これが比較的大規模な工業試験装置になった場合には操作のためのデータまでが含まれる。

現在の化学工学における蒸留の分野では、計算に必要な諸数値・諸関係さえ確実に与えられておれば、特に大規模な工業試験装置を必要とせずに実装置を設計することが可能な段階にあるので、ここでは小規模実験装置のみを対象として考えることにする。

この場合、原料・製品などの一般的物性—例えば、比重・粘度・比熱・蒸発・潜熱などまでを実験的に確かめなければならないこともあるが、蒸留装置設計のために、特に要求されるのが気液平衡データである。これが比較的単純な関係にある場合には、そのデータをとるための装置もまたとられたデータの整理も簡単であるが、平衡関係が複雑あるいは異常である場合には、理論的計算を無視したスケールアップの手段を別に考えなければならず、したがって当然そのための装置もとられるデータの種類も違ってくることになる。

1-2 実装置によるデータ

化学プラントは、あくまでも生産を目的とするものであり、化学工学的な研究あるいは解析を行なうためのものでないところから、プラントに設けられる各種計器もすべて安全および安定操作に必要なものに限られているのが普通である。

場合によっては化学工学的なチェックを行なうためのノズルなどが設けられることもあるが、これは未完成のプロセスを確立するという特別の目的があるような場合に限り、それ以外では漏洩

・腐食などの事故原因をひとつでも少なくするという観点から省略される。

したがって実装置よりのデータから化学工学的な解析を行なうことは、その正確を期し難いという問題がある。

しかしプラントによっては、原料組成が変化したり、製品の収量・品質を変えてみたり、あるいは処理量を増減させたりすることがあるので、このような場合にはそれぞれの要求に応じたような最適の操作条件を探索する必要がある。このような条件を定めようとする場合に単なる運転経験だけにたよっていると相当な回数のトライアルを繰返さなければならないし、またそのために多額の費用と多くの時間を浪費する。上のような条件変化に対する操作の変更条件は、いわゆる化工計算だけからも推定することは可能である。しかし理論と実際とには、そこにある程度、場合によっては相当な誤差のあるのが普通であり、したがってここに必要となってくるのが化工計算を修正するための運転解析データというものであり、これは絶対値の正確さよりもむしろ偏差の傾向を知ることが主体となるものである。

2. 蒸留装置の設計計算

データのとり方とその使い方を知ろうとするならば、まず最初に蒸留装置における設計計算の種類とそれによって推察することのできる操作の性格といったものをあらかじめ認識しておくことが必要になる。

蒸留装置における設計計算の種類は大別してつぎのようになる。

- (1) 段数計算
- (2) トレイダイナミックス計算
- (3) 塔まわりの物質および熱収支計算
- (4) 塔まわりの付属機器に関する化工計算
- (5) 経済評価その他

2-1 段数計算

2-1-1 設計条件の設定

計算を行なうために与えられる条件はつぎのとおりである。

- (1) 原料の組成（成分とその量）
- (2) 各成分の物性および混合溶液となった場合の特殊物性
- (3) 気液平衡関係
- (4) 製品の組成または純度および特に要求される条件（例えば色相、試薬テストなど）
- (5) 製品の量または収率
- (6) 冷却水またはその他の冷媒の条件
- (7) 熱源の種類
- (8) その他のユーティリティーズの条件
- (9) 限界加熱温度、加熱時間その他特殊条件がある時にはその条件

計算を行なうに当たってあらかじめ設定すべき条件はつぎのとおりである。

- (1) 蒸留方式
- (2) 共沸または抽出蒸留の時には添加物質の種類
- (3) 吹込み媒体を使用するときにはその種類と量

2-1-2 段数計算

段数計算にはいろいろな方法があるが、一般的に述べると、段ごとに気液平衡、物質収支、熱収支のいずれもが満足されるような条件を求めていき、要求される製品が得られる段まで逐次に追っていくことにつくる。各種の計算方法があるのは、これを簡便に求める手段にいくつかの考え方があるというにすぎない。

このようにして求められた計算上の段数は理論段数であって、実際段数はこれを段効率で除した値とされる。ここで問題は段効率であり、現在ではいくつかの推算する方法もあるが、その精度は一般に相当不正確である。

また複雑な系については理論段数を求めること自体にも誤りがないとはいえない。

したがって実際に運転した場合に、もし設計条件と違って来た場合には、段効率か段数計算のいずれか、もしくはその両方に原因があると考えられる。ここで設計時に求めた結果と実際の状態とが表面的に違って出てくるのは、還流比と分離度とである。前者は要求された分離度を維持するために実際にかけられた還流比の設計値に対する過不足としてあらわれ、後者は設計還流比における分離度としてあらわれる。また場合によっては装置としての許容限界能力までの還流比をかけてもなお分離不可能といった現象としてもあらわれる。

2-2 トレイダイナミックス計算

2-2-1 設計条件

トレイダイナミックス計算とは、段数計算によって与えられた上昇蒸気量、溢流液量およびその他の諸条件に対しこれらを満足させるような塔各部寸法を定めることであり、この計算に際して与えられるべき設計条件はつぎのとおりである。ただしこれらはすべて塔内における量的変動、物性変化が明らかにできる数個の段に対してそれぞれ与えられることを原則とする。

- (1) 上昇蒸気組成
- (2) 上昇蒸気量
- (3) 上昇蒸気モル数
- (4) 上昇蒸気温度および圧力
- (5) 溢流液組成
- (6) 溢流液量
- (7) 溢流液密度
- (8) 溢流液粘度
- (9) 溢流液表面張力
- (10) 溢流液の特殊物性、例えば泡沫性、固形物の存在など

} または密度

(11) 許容圧力損失

(12) 操作範囲

計算を行なうに当たってあらかじめ設定すべき条件はつぎのとおりである。

- (1) トレイの型式—例えば、泡鐘トレイ、バルブトレイ、多孔板トレイなどの別
- (2) 液流れの型式—例えば、リバースフロー、カスケードフロー、ダブルパスフローなどの別、ただしこれは計算の過程において変更されることがある。
- (3) 計算区分—蒸気および溢流液の量の変化によって厳密には各段ごとにトレイの仕様がわずかわずかわっていきはざであるが、実際にはそういうこともできないので、塔を何区分かに区切り、その間は同一仕様のトレイが採用できるように決めること。ただし、これも圧力損失などの関係から計算の過程において変更されることがある。

2-2-2 トレイダイナミックス計算

トレイダイナミックス計算の順序はつぎのとおりである。

- (1) 飛沫同伴を対象として与えられた式からトレイの最小必要有効面積または気液接触部面積を求める。これはトレイの型式、段間隔、気液密度、取扱い物質の性状または塔の用途などをもとにして計算される。
- (2) 溢流部面積を求める。これは段間隔および液の発泡性から計算される。
- (3) 必要な溢流堰の長さ、堰上の液高、静液頭などの関係から液流れの型式を決定する。
- (4) 必要なトレイオープニングの大きさ、すなわち泡鐘トレイにあってはキャップスロットの面積、バルブトレイにあってはリフト部面積、多孔板トレイにあっては孔の総面積などを求める。

これより必然的に必要なキャップ、バルブ、孔の数などが与えられる。

- (5) (3)、(4)よりキャップ、バルブ、孔の配置を作図することによって（または計算することによって）塔径をチェックする。
- (6) トレイにおける圧力損失を計算する。

これは一般につぎの項目の合計によって与えられる。

- i) トレイオープニングにおける圧力損失（乾き圧力損失という）
- ii) 液シールによる圧力損失
- iii) その他の圧力損失

- (7) トレイにおける圧力損失およびダウンカマ出口における液の圧力損失よりダウンカマ内の液高を求め、これより段間隔を決定する。
- (8) 最後にトレイの操作可能範囲を示す性能曲線なるものを計算結果に基づいて作図する。
- (9) 塔の各部寸法が定まれば、これより段効率を推算することもある。

2-3 塔まわりの物質および熱収支計算

塔に出入する物質および熱は一般に図-1に示すとおりであってこれをまとめればつぎのようになる。

物 質 収 支		熱 収 支	
〔入〕			
原料供給量	F, F'	F_i, F'_i	供給原料の熱量
還流液量	R	R_i	還流液の熱量
塔底蒸気量	Y	Y_i	塔底蒸気の熱量
吹込み媒体量	M	M_i	吹込み媒体の熱量
〔出〕			
塔頂蒸気量	V	V_i	塔頂蒸気の熱量
塔底液量	X	X_i	塔底液の熱量
側流拔出し物量	L	L_i	側流拔出し物の熱量
—	—	l_i	熱損失

その他の物質収支

$$V = R + D$$

$$X = Y + W$$

ここで R, D, W は段数計算で与えられているから V が求められる。 X と Y はリボイラーにおける蒸発率を決めることにより自然に求まってくる。

その他の熱収支

コンデンサーにおける冷却熱量

$$C_i = V_i - (R_i + D_i)$$

リボイラーにおける供給熱量

$$B_i = Y_i - (X_i - W_i)$$

2-4 塔まわりの付属機器に関する化工計算

塔まわりの付属機器は、そのプロセスによって、またその範囲をどこまで考えるかによって違って来るが、一般にはつぎのとおりである。

(1) 原料供給関係

原料供給ポンプ

原料予熱器（単独および留出物との熱交換）

(2) 塔頂関係

コンデンサー

クーラー

還流槽

還流ポンプ

(3) 塔底関係

リボイラー

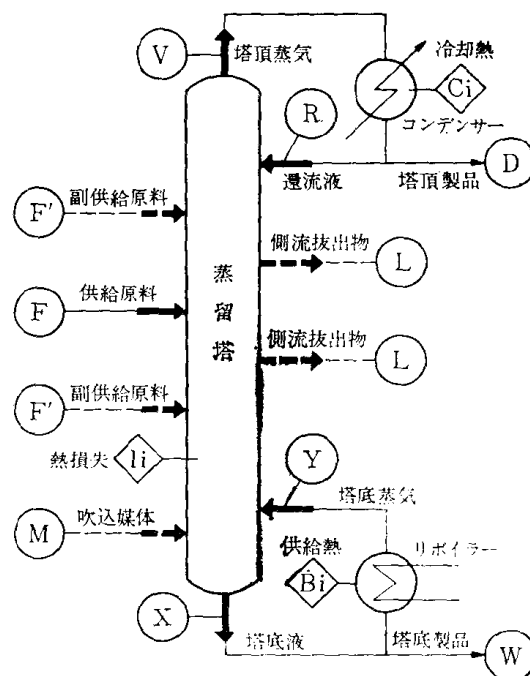


図-1 塔まわりの物質および熱収支図（熱量をあらわす時には、それぞれの記号に添字をつける）

塔底ポンプ

(4) その他

サイドカットのある場合はストリッパーなど

これらに関する化工計算あるいは仕様の決定方法については、ここでは省略するが、とにかく上記の機器を組合わせて一つの蒸留装置としての機能が果されるのはむろんである。

2-5 経済評価

機械、装置の設計において重要なことは、操作条件の最経済点を見つけ出すことである。蒸留装置において特に問題となるのは、 λ 段数—還流比、の相関関係から導かれる塔およびその付属機器のコストとそれに基づく運転費とであって、この両者が経済評価額のほとんどすべてを占める。具体的には、還流比を少なくすると塔径および付帯設備は小さくなり運転費も節約できるが、あまり還流比を少なくすると段数が急激に増加して設備費が高くなる。還流比を大きくするとこれの逆になるから、その間に経済最適の還流比が存在するはずである。しかし実際の塔においては、段数または還流比のいずれか、または両方に若干の余裕をもたせて設計されているのが普通である。

3. 採取されるデータとその使い方

設計あるいは操作のために採取されるデータとその使い方はつぎのとおりである。

3-1 実験装置におけるデータ

前述したとおり蒸留装置の設計において特に問題となるのが正確な気液平衡データである。

この測定には各種の測定装置があるが、ここで特に注意されるべきは、実験種類と測定範囲とである。

前者の実験種類とは、例えば多成分系混合物で、そこに含まれている各成分間に共沸を生ずる場合、それぞれの、また混合系としての共沸関係をいかにすれば解明できるかという実験種類の組合わせを考えてみることなどである。

また後者の測定範囲とは、設計に役立たせることのできるデータを得るためには、実験装置にかけるべき仕込み原料の組成範囲をどれくらいの種類に分けなければならないかということである。

気液平衡データをとることは、文献値のない場合、設計の前段階として絶対に必要な作業であるが、しかし原料液の性質あるいは製品の性質によってはせっかくとったデータが実際の設計に何ら役立たないこともあり得る。例えば気液平衡からの段数計算にまったく関係しない極微量成分の製品品質におよぼす影響などである。このような場合には、塔式の実験装置により、それらの悪影響をおよぼす成分を除去するためには、何段のトレイが必要であるかを直接に知らなければならなくなってくる。このような場合に採取すべきデータとしては λ 充てん高さ（または段数）—分離度—操作条件の相互関係、ということになる。この相互関係を求めるためには三者の組合わせをよく考えることが必要である。

なお上記における分離度とは、分析器で測定できる組成のほか微量成分に対する化学的検査の含まれることがある。また操作条件とは圧力—温度であって実際装置における条件に合致させるこ

とが望ましい。

3-2 実装置におけるデータ

3-2-1 平常運転時におけるデータ

平常運転時におけるデータ採取の目的は、生産の要求に応じた運転条件が保持されているか、また安定運転に対する異常がないかを確認するためのものであり、一般に最小限としてつぎのような値が記録される。

1. 原料供給量
2. 原料供給温度
3. 原料供給段温度
4. 塔頂製品量
5. 還流量
6. 塔頂温度
7. 還流温度
8. 塔頂圧力
9. 塔底製品量
10. 塔底温度
11. 塔底圧力
12. 熱媒体流量
13. 熱媒体出入口温度（熱媒体がスチームの時はその圧力）
14. 側流がある場合には，
 側流拔出物の量
 側流段の温度
15. 吹込み媒体がある場合には，
 吹込み媒体の量および吹込み条件
16. 各製品の組成

図-2は代表的な計装例を示したものであり、これ以外には、適当な位置に温度計挿入口とか圧力計取付口とかが設けられる。

3-2-2 運転に対するデータの使い方

例えば原料組成が変わったことによって塔頂製品の純度が低下したとすれば、そこでとられる対策は一般に還流量を増加させることである。この場合、純度に対する温度の影響が顕著であれば自動温度記録調節計によって自動的に純度が保持されるが、こ

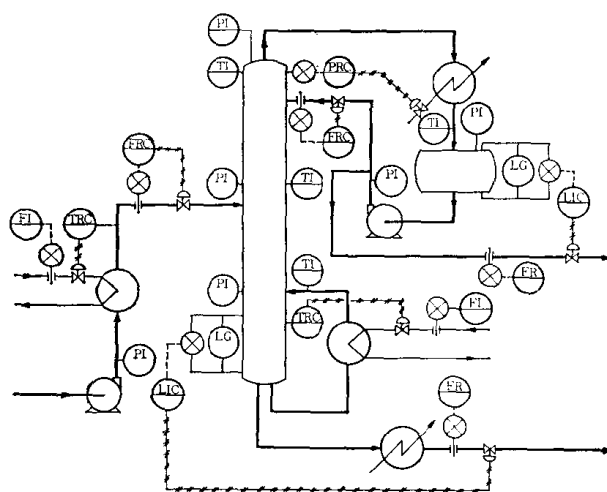


図-2 代表的な計装例

れに伴う熱源の増量は必ずしも自動的に行なわれるとは限らず、製品収率の点から手動的に最適点を見つけ出すようにしていかなければならない。

また逆に純度に対する温度の影響が顕著でない場合には、自動温度記録調節計が役立つたないので、還流量および熱源供給量を見合わせながら最適条件を探していくことになる。しかし実際運転において、その都度両流量を変えていくことは手数を要するので、過剰の還流、熱源をあらかじめ与えておいて少々の条件変動に耐えられるようにしているのが普通である。もっとも計算機制御ですべてを自動的にコントロールすることも可能であるが、いずれにしてもその基となる数値は、原料および各製品の組成と還流量、熱源との諸関係が明らかにできるものとなる。

その他圧力の異常増あるいは異常変動は、負荷の限界、塔内構造物の故障などを推察するのに役立つ、塔内各部の異常温度変化は、その原因となる何らかの内外乱があることを示してくれる。

要するに実装置におけるデータの運転に対する目的は、

- (1) 安定運転
- (2) 安全運転
- (3) 最適運転

を行なわしめることにある。

3-2-3 蒸留操作解析に対するデータの使い方

その蒸留操作の性格を解析するためには、3-2-1 であげたデータのみでは不足することが多い。このような場合には間接的にでも推算することのできるデータを集めるべきであって、そのために圧力計、温度計を適当に挿入できる口、あるいはサンプリングノズルなどを設けておくことが必要になってくる。

しかし、実装置におけるデータを用いてその操作解析しようとする、どうしても誤差が大きくて明らかに間違いであるという結果しか得られないこともある。

例えばリボイラー入熱などであって、熱源消費量と塔のバランスから求めた値との間には全然折合いのつかない場合がでてきたりする。したがってこのようなおそれのある値については、少なくとも違った2つ以上の面からチェックのできるデータを採取することが

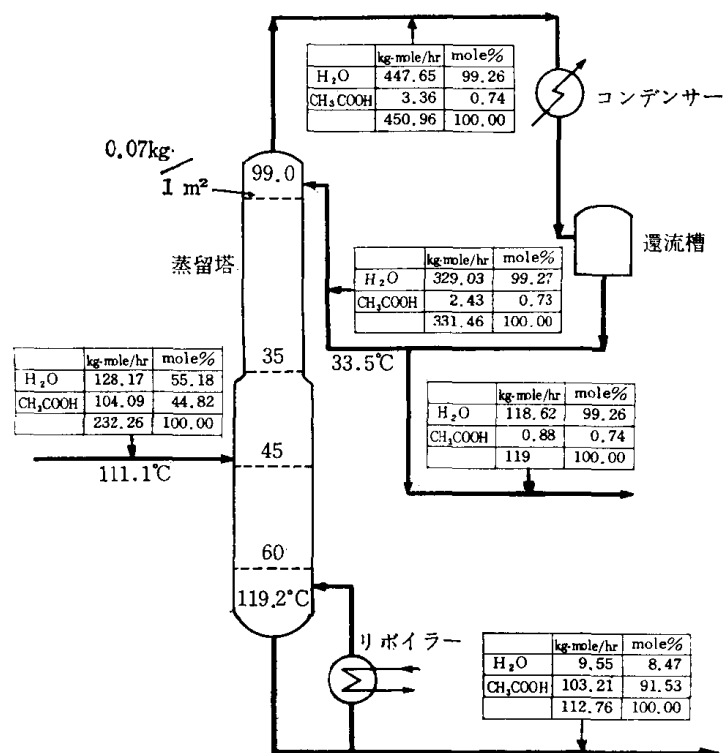


図-3 段効率推算のためのデータ

望ましい。とはいえ、すでに述べてきたように実装置で満足のできるまでのデータをとることは不可能であり、その解析に当たっては文献値などを借用して答を出さなければならないことが多いのである。したがって場合によっては実際現象とまったく違った現象における計算を行ってしまう危険性もあり得る。

図-3は、段効率推算のために採取されたデータであるが、これより段数計算の結果得られた塔効率はそれぞれつぎのとおりであった。すなわち、

濃縮部 47.8% 回収部 37.5%
塔平均 45.0%

これに対し段効率推算式によって求めた答は、

- (A) 亀井・高松の式によれば、 200%以上
- (B) A. I. Ch. E の式によれば、 41~43%
- (C) ウェストの式によれば、 約100%

となり、(B)を除いては非常に違った値がでてきている。これは段効率の推算に当たって、塔内現象が不明なるため適当な仮定を用いたことに起因するものである。このほかにもまだ多くの推算式があるが、残りについてはデータの不足でまったく使用できるようなものではなかった。

すなわち、たとえどうにか計算のできるデータが与えられたとしても肝心の値が不正確あるいは不明であれば、その答はとんでもない値になってしまうという好例である。

このような点から、工学的な解析は二の次として、段数—還流比—製品純度—製品収率の関係を一般的に求め、これをつぎの計画に対する設計資料、あるいは運転資料とすることもある。

蒸 発 装 置

月 島 機 械 (株)

守 田 稔

蒸発装置は古典的な単位操作なので、古くから多くの解説書があり、特に基本的な試験方法について米国化学工学協会の編集になるものがある¹⁾。一方、蒸発装置の形式も多く、そのおののについての試験法を記載することも困難なので、現場における実運転の際の指針と、パイロットよりのスケールアップに当たって当然パイロット運転の際に予知しなければならない事項についてのみここでは言及したい。特に数値的な表現のできない経験的な注意点を述べてみたいが、ページ数の関係上蒸発装置の中でも単に蒸気加熱式のもの、また晶析機については蒸発と関係のある点のみに限定したい。

1. 蒸発装置の能力とテスト順序

普通、蒸発装置の性能を検討する場合にはつぎの項目を考慮する。

- (1) 蒸発能力
- (2) 熱経済
- (3) 伝熱係数
- (4) 飛沫同伴と製品の損失
- (5) 洗缶の頻度
- (6) 製品の品便

この上記の各性能に関してテストを行なう場合には、通常つぎのような段階を経て実施される²⁾。

- (1) テストの目的を明確にすること
- (2) 実験計画と実測すべき項目を決定すること
- (3) 計器類の調整
- (4) 予備運転（水運転）漏洩試験も含む
- (5) 定常状態下における実液運転

蒸発装置の場合、基本的に取り扱う物質が水溶液のことが多いので、水運転を行なうことにより装置の特性が判明する。したがって水運転によって具体的にデータを取り、実液運転で得ようとする項目の計算を実施することが好ましい。

以上のテストをするために必要な蒸発装置の大きさは $0.1 \sim 3\text{m}^2$ 程度のものが普通で、加熱管の寸法（直径と長さ）を実装置のそれと同様にしたものを選定することが多い。これは後述するように管内での流動状態をなるべく同じにして実験を行ないたいからである。

2. 蒸発装置についての具体的検討

図-1に比較的良好に利用される強制循環型蒸発缶を示すが、本図に基づいて多管式加熱器を持った蒸発缶の一般的な議論をしたい。

2-1 蒸気側に対する考慮

2-1-1 蒸気の性質

加熱蒸気中に加熱管の外側を汚染して伝熱係数を低下させるものが存在することがある。これは多重効用缶を利用する場合の問題で、昇華物としてのイオウ化合物がその一例であり、また飛沫同伴によって運ばれる不溶解物、たとえばファイバーなどがあげられる。

2-1-2 イナートガスのベント

イナートガスの抜き方によって伝熱係数が異なることはよく知られている。多重効用缶を設計する場合には、溶液中に存在するガス、あるいは加温されて分解するガスなどに対する知識が必要である。機械設計上では、当然このガスベントの方法が、一方操作上ではベントの量をどのように制御するかが問題となる。この抜き出し速度の最適点の決定には種々の試みがなされているが、いずれも完成していない。したがってパイロットや実装置での最適と考えられている現在の方法は、バルブあるいはオリフィスを用いて、決められた抜き出し速度によってある期間、蒸発缶を運転し、伝熱係数がどのように変化したかを調査して運転を続行することしかない。このベントの量が増大すれば、イナートガスのみならず、蒸気を同伴するので、直接熱経済に関連するので注意を要する。

2-1-3 ドレンの排出不良に起因する問題点

ドレンの排出不良の原因としては、①蒸発缶が過負荷で運転された場合 ②ドレン配管に空気留りがある場合 ③スチームトラップあるいはドレンポンプの故障か、その能力

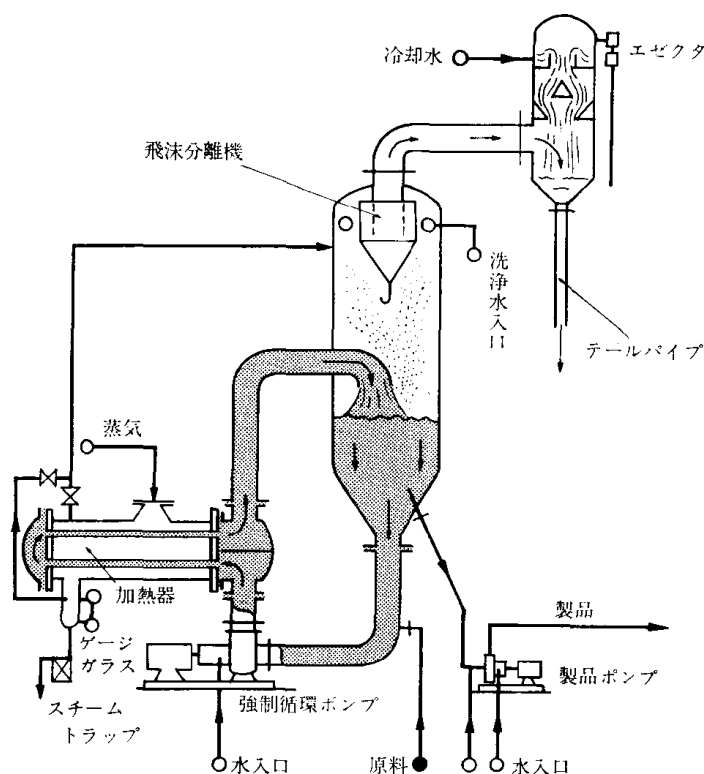


図-1 蒸発装置の一般概念図

不足などがあげられる。このような場合にはドレンが加熱管群を浸してしまうので、有効な蒸気加熱面積は減少し、かつドレン配管とほぼ同じ位置にあるベントパイプがドレンによって閉塞されるので、イナータガスの排気が困難となり、蒸発能力は著しく低減される。したがって試験に当たってはドレンのレベルを常に監視できるようにゲージグラスを加熱器に取付ける必要がある。また実装置では、ドレンの蓄積はウォーターハンマーの原因となり、蒸発缶に破壊的な力を与えるので注意すべきである。

2-2 溶液側に対する考慮

2-2-1 スケール

蒸発缶の一番の問題点は溶液側にスケールが付着するか否かである。スケール付着の有無は溶液中に温度に対して逆勾配の溶質がある場合、また有機物の熱変成したもの、高分子重合物等々の存在がある場合には、当然覚悟しなければならない。一般にこのようなスケールの付着速度は遅いので2、3日の連続テストでは洗缶のサイクルを決定できない。したがって長期運転を行わずに装置を決定する場合には、薬液洗浄の方法を実験室的にたしかめる必要がある。

2-2-2 塩類による加熱管の閉塞

溶質が結晶となって析出する場合には、加熱管内で蒸発が起こらないように、液柱を取るのが普通であり、当然強制循環を採用するのがよい。ただし実装置での問題点は、装置内に付着した結晶板や、固形物塊が加熱管に閉塞した場合で、このような管は流動状態が悪いので、その管内で蒸発が起こり、生じた結晶物は管外に排出されないで、完全にパイプを閉塞する。このような現象は缶内に結晶が付着するかどうかを観察することにより予測できる。

2-2-3 管内流速

伝熱速度を上げるためには、管内の流速があればよいことは自明のことであるが、蒸発缶の型式によって流速の制御が問題となるので、簡単に各型式についての注意点を述べたい。

(a) 自然循環型

循環量は、温度差、温度、液高によって決定される。このためテストでは、上記の値を記録しておく必要がある。

(b) 一回通過型

流入する流量によって、流速は決定されたように考えられるが、実際上は、上昇流型、下向流型の型式と、入口、出口におけるベーパーと液の比率によって、流速は著しく変化するので、これらの数値を記録しなければならない。

(c) 強制循環型

強制循環型の伝熱係数は加熱管全体にわたって蒸発が押えられている時は、Dittus-Boeltus の式によく一致する。この際の物性としては液体全体の温度を採用してよい。工業的に強制循環型を採用した場合の問題点は、①キャビテーションの発生による運転不能 ②ポンプ回転数の低下、主としてVベルト駆動の場合 ③グランドパッキン取替えのための運転停止などであり、これらの点は、①液のレベルを上げること、ボルテックスを作らないこと ②定期的な検査 ③ス

タフニングボックスの改良とメカニカルシールの採用などにより解決しているが、パイロットでの注意点として記憶すべきであろう。

2-3 蒸発缶の圧力

伝熱の駆動力としての温度差は蒸発装置の場合には、蒸発缶の圧力によって左右される。また蒸発装置ではこの圧力を変化させる要因があるので特に注意すべきである。

① 装置の漏洩と真空発生装置の不具合

真空缶などに利用されることが多いので、このような事故はただちに缶内の真空度を下げて、温度差が小さくなり、伝熱量は低下する。

② ベーパパイプと飛沫分離器の閉塞

結晶を含んだ溶液を処理する場合に起こることが多く、飛沫同伴で運ばれた固形物が、ベーパパイプや分離器全面あるいは排出管に付着して蓄積する場合がある。これは B.P.R. の高いものを取り扱う場合にはよく起こることがあるが、この閉塞によって蒸発缶の真空度は下がり、有効温度差が減少する。

3. 蒸発装置における希釈問題

工業的に用いられる蒸発装置の蒸気消費量については、十分検討する必要がある。これは装置内部および外部より予期しなかった水が流入するからである。この主たる要因として、

①ポンプ類からの漏洩と流入：結晶の輸送ポンプ、あるいは強制循環ポンプの軸封水が一番大きく、特にスタフニングボックスの構造を考慮すべきである。このポンプに起因する流入水の問題は水運転で必ず装置内の水収支を計算して調査すべきである。

②装置の洗浄により発生するもの：④蒸発装置全体の洗浄（装置全体の洗いびき）⑤蒸発缶内の洗浄（主として缶壁）⑥配管ポンプなどの閉塞に対する洗浄、および機内の衛生洗浄などが考えられるが、④⑤についての確実なデータを得るためには化学工場内での連続テストを行なう以外に方法がなく、小さなパイロットからの予測は特に困難である。

③加熱管よりの漏洩：これは、管板と加熱管の締付けのゆるみによるもの、あるいは管の破損によるものなどによりドレンあるいはスチームが液側に浸出あるいは噴出することに発生し、この漏洩量は多管式の数多いパイプよりわずかの数本が漏洩すること、また実際の運転になんら差支えないこと、自然循環型の場合には漏洩する方が伝熱係数が増加することなどにより、漏洩量が少ない場合には普通非常に発見できにくい。

④バロメトリックコンデンサーよりの冷却水の逆流：この信じられない現象の起こる頻度は高い。原因は冷却水の過剰供給やテールパイプの設計不良による場合が多い。この逆流が起これば、缶内の溶液が汚染されて、運転不能となったり、海水を冷却水として使用している場合には装置の腐食を伴う場合がある。

⑤関連機器よりの流入：これは汙過機あるいは遠心分離機より由来するもので、結晶に付着する母液を除去するために置換洗浄を行なうに必要とする水量と、これらの固液分離機自体の洗浄水が

多量に発生する。通常これらの洗浄水はすべて蒸発装置の負荷となることを銘記すべきである。以上の諸項目についての予測に基づいて全蒸気消費量が決定される。

4. 製品の収率

蒸発装置内での製品の損失は、装置からの漏洩とペーパー中に液滴が同伴して散逸するものに限定される。蒸発装置に特有の飛沫同伴の発生と防止法については下記の通りである。

- (1) 液体の性質：発泡しやすいものには消泡剤の利用
- (2) 缶内上昇速度の増加：過負荷運転を避けること
- (3) 液高の不適切：自然循環型の場合は特に注意
- (4) 装置内から漏洩：発泡を助長させる
- (5) 真空度の変化：急激に真空度が上がると発泡する
- (6) 飛沫同伴分離機の閉塞：ドレンパイプが閉塞すると捕集された液滴はペーパーにふたたび同伴される

5. その他の注意事項

装置設計のための注意事項としては、つぎの点を強調したい。

- (1) 法規の適用：大気圧よりも高いペーパーを発生する場合には第一種圧力容器になること。このための年一回の定期検査がでること。このため操業上の2, 3の改良をすれば低圧ペーパーを得ることができる。
- (2) 加熱管の材質：各材質の熱伝導度が著しく異なっているので、この数値が支配的な因子となる場合がある。

6. 蒸発装置のデータのとり方と使い方

この項に関しては、基本的な問題についてはすでに教科書に記載してあるので省略し、実例をあげて実用的な考え方と取扱いの方法を強調したい。

6-1 多重効用缶

多重効用缶のデータシートのうち、よく使用されるものを表-1に示す。このようなデータシートより代表的な数値を採用して実際に計算を行なうのであるが、では多重効用缶と単缶について解析を行なう。

A 多重効用の計算例：工場建設の完了した有機薬品の蒸発装置の検収運転を行ない、図-2に記載した代表的数値を得た。このデータの範囲内で各缶の蒸発量と総括伝熱係数を知りたい。

図-2のデータにより、各缶に出入りする流量を仮定して以下述べる計算を実施する。

物質収支	供給量	45,000kg/hr	10%全固形物=4,500kg/hr	固形物
	製品量	18,000kg/hr	25%	" =4,500kg/hr "
	蒸発量	27,000kg/hr		