微 少 定 流 量 装 置*

大 石 清** 和 田 次 助***

Device of Producing Small Rate of Flow

Kiyoshi OISHI, Jisuke WADA

Recently, the pilot plants has been used in the chemical engineering experiments for checking the process in the large plants. As the liquid conveyance plays an important part in the chemical industries, the necessity of mini-flow in the pilot plants has been increased.

The customary constant flow devices have some problems in their detector and controller, and it is difficult to produce the small rate of flow under 300 cm³/min.

The author has produced the constant flow of less than 10 cm³/min in good accuracy by controlling the pressure difference between the inlet side and outlet side of the gear pump within a certain allowable limit. This device is entirely different from the customary constant flow devices in principle, and it is simple in mechanism and stable in movement.

1. 緒 言

プロセス工業においては、一般に装置が大きいので、これを設計するに当たりあらかじめパイロットプラントをつくつて反応を確かめることが多い。この場合、プロセスに出入する物質は流体であることが多いだけでなく、エネルギーを運んだり、エネルギーに変換されたりする物質もまた流体であることが多いので作り得る定流量の大小によつてパイロットプラントの規模が決まることもあるといわれている。このため、精度のよい微少流量を得ることに対する要求は大きくなつてきた。

従来定流量を得るため種々の方法が試みられて来たが300 cm³/min 以下の微少流量の場合には検出ならびに操作に困難点があるために精度のよいものを得ることができなかつた¹⁾。筆者はすでに新しい方式による定流量装置により精度のよい定流量を得ることができたが²⁾、この原理を用いてあらたに2 cm³/min までの微少定流量が得られたので報告する。

2. 歯車ポンプ前後の圧力差と漏れ

歯車ポンプの回転部分とケーシングとの間に隙間があり、ポンプの前後に圧力差があると漏れが生じる。この漏れは歯車母体側面におけるもの、歯側面におけるものおよび歯先とケーシングとの間におけるものの三つが考えられるが、その大部分は歯側面におけるものであるこ

とが知られており、この大きさ q_l は歯とケーシングとの隙間を s 、液体の粘度を μ 、歯車ポンプ前後の圧力差を $p_1 - p_2$ とすれば、

$$q_l = k \frac{s^3}{\mu} (p_1 - p_2)$$

で表わされることが知られている³⁾⁴⁾。この式から漏れは、歯とケーシングとの隙間 s に大きく影響されることがわかる。しかし、 s の値を小さくすることは工作上より限度があり、本実験のような微少流量をあつかうポンプの場合には、 s の値は他の場合に比べて相対的に大きくなるから、漏れを減少させるためには、歯車ポンプ前後の圧力差を零に保つことが特に必要となる。

この圧力差の範囲を知るために、ポンプAの前後に圧力差をつけて、ポンプの種々の回転速度に対する吐出流

図 1 歯車ポンプの外観

* 昭和37年10月25日 精機学会秋季大会にて講演

** 静岡大学工学部 正会員

*** 静岡大学工学部

量をしらべた。この実験に用いた歯車ポンプAは、図1に示すものであつて、その寸法は、モジュール $M=0.5$ 、歯数 $z=16$ 、歯幅 $b=3\text{ mm}$ で理論吐出量 V_{th} は標準歯車に対し近似的に

$$V_{th}=2\pi M^2bz=0.075\text{ cm}^3/\text{rev}$$

であり用いた油はスピンドル油1号でその動粘度は 20°

表1 各回転速度に対する吐出流量吐出量，許容圧力差

回転速度 rev/min	ポンプ前後の圧力差を零としたとき		漏れ率を1%以内に保つための圧力差の許容範囲 cm 液柱 (比重 0.87)
	吐出流量 cm ³ /min	吐出量 cm ³ /rev	
400	31.5	0.0788	3.7
300	23.6	788	2.8
200	15.8	792	1.8
100	7.86	786	0.9
50	3.92	784	0.4
25	1.97	788	0.2

図2 歯車ポンプの前後の圧力差と吐出流量との関係

Cにおいて約 20 cSt 、比重は約 0.87 である。

実験の結果を図2、表1に示す。図2から圧力差と流量との関係はほぼ直線状であることが確かめられ圧力差 $\Delta h\text{ cm}$ (液柱) と、漏れ $\epsilon\text{ cm}^3/\text{min}$ との関係は、

$$\epsilon = 0.084 \Delta h$$

となることが知られた。したがって、歯車ポンプの回転速度を $n\text{ rev/min}$ 、一回転の吐出量を $V_0\text{ cm}^3$ とした場合、漏れを1%以内に保つた

めには、

$$\epsilon/nV_0 < 0.01$$

であることが必要である。よつて、

$$\Delta h > \frac{0.01 n V_0}{0.084}$$

となる。これから種々の回転速度に対する圧力差の許容範囲は表1のように計算される。

3. 実験装置

実験装置は図3(a)、(b)に示すように歯車ポンプAを一定回転速度で回転させ、ポンプAの前後の圧力差をこれと直列にそう入した圧力差調整部によつて零に保たせる。

タンクは断面積約 50 cm^2 の筒であり、液面を一定に保つ実験のために、オーバ・フローを付属した。また圧力差を階段状に上昇させるために圧縮空気を用いた。予備タンクに圧縮空気を満し、この圧力をU字管で確かめる切換えコックを急にまわして油の上面に圧縮空気を導くとタンク圧力の変化は空気膨張の速度で行なわれるから、実用上圧力変化は階段状に行なわれたと見なして差

図3 (b) 実験装置

支えない。このさい膨張によつて圧力の減少が起こるが、本実験においては予備タンクの容積 V が 20l で本タンクの液面より上部の容積 v が 50cm^3 であるから圧力降下の率 $\Delta h/h$ は

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{-v}{V} = -\frac{50}{20,000} = -0.0025$$

であつて、実験上は無視して差支えない。

圧力差検出器は図4に示すようなダイヤフラム型を用

図4 圧力検出器

いた。ダイヤフラムは、直径が約 2.75cm のやわらかいポリエチレン膜を用い、その下方に中心にねじとナットとで銅線を取りつけ、その下端に軟鉄製のコアを取りつけた。ダイヤフラムの両側の圧力差によつてコアは上下に移動し、その移動量は差動トランスの出力信号としてとり出される。

圧力差調整部は、図3に示すように歯車ポンプBと歯車ポンプCとを並列に組合せたものを用い、これを歯車ポンプAと直列にそう入した。歯車ポンプBはポンプAと同一のシンクロナス・モータで回転させられる。歯車ポンプCの回転方向を一定方向にするため歯車ポンプBは歯車ポンプAより回転速度を幾分大きくする。

差動トランスからの信号を増幅器によつて増幅し、PK分割によつてこの電圧信号の位相を調整してタコジェネレータからの信号と逆相にし、電圧加算を行なつてこれをサーボ・モータに加え、負フィード・バックをかけて系の安定をはかつた。

用いた増幅器1は、 $12\text{A} \times 7$, $12\text{AU}7$, 増幅器2は $6\text{SN}7 \times 3/2$, $6\text{AR}5$, $6\text{L}6 \times 2$, サーボ・モータは 4W の2相制御モータである。

4. 実験結果

実験1 ヘッドおよび歯車ポンプAの回転速度をかえ

て、それに対する吐出流量を測定した。

吐出流量は、あらかじめ容積を測定しておいた容器に出口から流出する液体を受けて、その容器が満たされるまでの時間をストップウォッチで測定して求めた。ヘッドは出口の位置を基準としてはかり、 $-25, 0, 25, 50, 75\text{cm}$ の5段階とした。回転速度は、シンクロナス・モータの回転速度を減速し、 $400, 300, 200, 100, 50$ および 25 rev/min の六つの場合とした。実験の結果歯車ポンプA前後の圧力差は 2mm (液柱) 以内に保たれ、吐出流量は表2に示されるようにヘッドおよび回転速度を

表2 各回転速度におけるヘッドと吐出流量との関係

回転速度 rev/min	ヘッド (cm 液柱)				
	-25	0	25	50	75
400	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5
300	23.6	23.7	23.6	23.6	23.6
200	15.8	15.8	15.8	15.8	15.9
100	7.85	7.86	7.86	7.88	7.86
50	3.93	3.92	3.92	3.92	3.92
25	1.97	1.97	1.97	1.97	1.98

変更しても十分 $\pm 1\%$ 以内の精度で一定に保ち得ることが確かめられた。

実験2 タンクの圧力を階段状にかえ、それに対する系の応答をしらべた。実験においては装置の前後に圧力差のないときの歯車ポンプCの回転速度を 150 rev/min , 歯車ポンプAの回転速度は 300 rev/min , 歯車ポンプBの回転速度は 450 rev/min の場合について操作端である歯車ポンプCの応答を電磁オシログラフにより記録した。

タコジェネレータの励磁電圧をかえることによつて、歯車ポンプCの回転速度の過渡応答を変化させることができるが、この過渡変化の減衰係数 ζ が1の場合と、 0.5 の場合についての実験の結果を図5に示す。

図中央のものは、コック切換えの時刻を示し、つぎが増幅器1の出力 e , 外側が歯車ポンプCの回転速度 $n_c \Delta h$ である。加えた圧力は 20 および 50cm 液柱である。実験の結果から階段状圧力変化に対する整定時間は1秒以内でプロセス制御としては満足すべきものであつた。

また、漏れを ϵ , 歯車ポンプCの1回転当たりの吐出量を V_0 , 回転速度の増加を Δn_c とすればこれらの間には、

$$\epsilon = 0.084 \Delta h \times 2 = V_0 \Delta n_c$$

したがつて、

図5 タンク圧力を階段状に変化させた場合の歯車ポンプCの回転速度の変化

$$\Delta n_c = \frac{0.084 \Delta h \times 2}{V_o} = \frac{0.084 \Delta h \times 2}{0.079} = 2.1 \Delta h$$

の関係があり、圧力差を Δh としたときの歯車ポンプCの回転速度の整定値 $n_{c\Delta h}$ は、

$$n_{c\Delta h} = n_{co} + 2.1 \Delta h$$

で表わされる。ここに n_{co} は圧力差零のときの回転速度である。この式によつてもとめられた種々の圧力差に対する $n_{c\Delta h}$ の計算値を表3に示す。この値は電磁オシログラフによる結果から計算した値とよく一致する。

5. 本方式の特長

1) 主ポンプ前後の圧力差を零に保つたものである。

本方式は歯車ポンプAを主ポンプとして、その前後の圧力差を零に保つて一定回転速度で回転させたものである。このことは、本装置が圧力状態の変化を直接受ける操作端をもつ他の方式に比べて、はるかに安定した条件を備えていることを示し、定流量装置の方式としては全く新しいものといことができる。

2) 圧力差検出器が簡単である。

表3 装置前後の圧力差と歯車ポンプCの回転速度

$\Delta h \cdot \text{cm}$ 液柱	$n_{c\Delta h} \cdot \text{rev/min}$
50	255
40	234
30	213
20	192

本方式においては、検出器のダイヤフラムの両側の圧力差は常に零の近くに保たれるから、薄膜の作動は圧力差零の点を中心に狭い範囲内だけに留まる。このことは本方式の大きな利点であつて、比較的簡単につくられた検出装置によつても所期の検出目的を達することができる。流量測定にオリフイスまたは面積式流量計を用いた場合には、このような方法を用いることはできないから、検出器の設計に種々の配慮が必要となり殊に本実験のように微小流量をとりあつかう場合には、精度のよい検出を行なうことは一層困難であると思われる。

3) 脈動がほとんどない微小流量である。

現在微小流量のフィードには往復式定容積ポンプを使用することが多いが、これは弁の効率などに問題があると共にフィードが脈流であるという大きな欠点がある。しかるに本定流量装置は回転式であるために脈動は実用上ほとんど考えなくてもよい。

4) 粘度による影響が少ない。

差圧式または面積式流量計を流量検出部に用いた場合には測定値が粘度に影響されることが知られているが、本装置においては歯車ポンプは一種の容積式流量計と考えられ、かつ、これの前後の圧力差を零の近くに保つて漏れをなくすものであるから粘度による影響はほとんど無視することができる。

6. 総括

1) 本装置による実験によつて $\pm 1\%$ 以内の精度で定

流量をつくり得ることが確かめられ、結果として満足すべきものであつた。

2) 系は安定であつて、階段状の圧力変化に対し整定時間は1秒以下であり、流量プロセスの制御としては満足すべきものであると思う。

3) 現在 $300 \text{ cm}^3/\text{min}$ 以下が問題になっている微少流量において、 $2 \text{ cm}^3/\text{min}$ までの微少定流量を安定に、かつ精度よく得ることができたのは、本方式によつて、従来問題とされていた微少流量の検出端、操作端の問題を解決し得た結果であると思う。

おわりにのぞみ本研究を行なうに当たつて、終始懇切

な御指導を賜つた東洋大学芝亀吉教授、東京大学磯部孝教授に厚く御礼申し上げると共に、有益な御助言をいただいた東京工業大学伊沢計介教授、味之素株式会社山下直氏、ならびに本研究に対して多大の便宜を賜つたオーバル機器工業株式会社に深く感謝の意を表する。

(1962, 12月11日受付)

文 献

- 1) 山下：機械学会誌，Vol.63，No.503，1960.
- 2) 大石：精密機械，Vol.26，No.6，1960.
- 3) 市川：機械学会論文集，Vol.17，No.60，1951.
- 4) 市川：機械学会論文集，Vol.18，No.66，1952.

—表紙写真説明—

"デルタ" 表面あらさ計 (サーフコム)

"デルタ" サーフコム EMD-R 型は、セラミック利用の触針式表面あらさ計で、検査室内での測定は勿論、小型携帯用にして安価で、特に現場用として誰でも容易に使用できることを目的とした表面あらさ測定機で、これまでの表面あらさ測定機にない種々の優れた特長をもっている。

本機の表示方法は中心線平均あらさ (Ha.....Center Line Average) で、その表示方式はメータ積分方式であるため、整流型電流計で直読できる触針電氣的拡大表面あらさ測定機である。なおピック・アップ用変換器はセラミックによる圧電型であるため、零調整、定速度等のわずらわしさは解消され、工場内で誰にでも簡単に使用測定できる。又、記録は"デルタ" 記録計と駆動部との使用によつてプロファイル記録のほか、中心線平均記録も正確にできる。

○特 長

1. セラミックを変換器として用いているためピックアップは勿論、全体に小型軽量のため現場用といえる。
2. セラミック利用の圧電型変換器でメータ積分方式を用いているため、零調整、定摺動速度が不必要で、メータを直読できる。
3. $0.075 \mu\text{Ha}$ まで測定出来る高精度を誇り、駆動

部、記録計と共にプロファイル記録、中心線平均あらさが記録できるので検査室用としても使える。

4. 各種アタッチメントを備えているため、内面 $6.5 \text{ mm}\phi$ 以上、外面極小径、その他どんな形状のワークでも安定した測定ができる。

○仕 様

1. 検出器 (ピックアップ)
 - 触針.....ダイヤモンド、先端半径 5μ または 12.5μ
 - 測定圧.....1 gr 以下
 - スキッド.....半径 8 mm
 - 大きさ..... $6.35 \text{ mm}\phi \times 65.5 \text{ mm}$
2. 指示部 (アンプ)
 - 測定範囲.....0.075, 0.25, 2.5, $7.5 \mu \text{ Hc.L.A.}$
 - フルスケール
 - カットオフ.....0.75, 0.25, 0.075 mm
 - 記録.....プロファイル及び中心線平均値
 - 大きさ.....175 mm (高) 135 mm (巾) 120 mm (奥)
3. 駆動部 (トレイシング・ドライバー)
 - 摺動速度.....3 mm/sec. (0.3 mm/sec にて記録可)
 - ストローク.....2 mm~50 mm
 - 大きさ.....130 mm (高), 140 mm (中), 175 mm (奥)
 - 重量.....4.5 kg

株式会社 東京精密

本 社 東京都三鷹市下連雀 337 TEL. ムサシノ (0422) 局 5145 (代) ~ 9
 東京営業所 東京都港区芝浜松町 2 の 7 朝日ビル TEL. (431) 2 0 3 7, 4 4 7 7
 大阪出張所 大阪市北区堂島中 1-41 ニュージャパビル TEL. (362) 5 7 3 8 ~ 9
 名古屋出張所 名古屋市中村区広小路西通り 2-26 三井物産ビル TEL. (57) 4 3 5 6 ~ 8