

科技用書

液封旋轉泵浦

創新實用機型技術理論

甘利一郎著 賴耿陽譯著



復漢出版社印行

科技用書

液封旋轉泵浦

創新實用機型技術理論

甘利一郎著 賴耿陽譯著



PUMP
PUMP
PUMP
PUMP
PUMP
PUMP
PUMP
PUMP
PUMP
PUMP

復漢出版社印行

序

液封旋轉泵浦在日本以 Nash 泵浦、濕式真空泵浦見稱，封液常用水，又稱水封式真空泵浦，1964 年 3 月日本工業規格以水封式真空泵浦的名稱把一部份規格化。但因封液不限於水，用途也不只是真空泵浦，也用於氣體的壓送或壓縮，所以本書採用最普遍的名稱——液封旋轉泵浦。

筆者在戰後的日本化工廠廢墟重建中，有機會使用大型 Nash 泵浦，並在分解結合中深入瞭解。並有機會閱讀 Pfleiderer 氏的著作 *Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase* 中的 *Die Wasserringpumpe*，在其圖式解法中，試用原著者不可採用的一點，發見很能說明現場的運轉狀態。後來把運動方程式用於前端流，很能說明實際現象。

在追求泵浦性能的過程中，產生旋轉外殼型泵浦的靈感，試作後頗有成果，也取得日本專利。並有機會製造 3 台此型泵浦，追求更詳細的理論，檢討構造。那是口徑 65mm 的小型機，用為壓縮機時，絕熱效率 70%，大型化後，在構造上、效率上會更有利，可望得絕熱效率 80%。本書也詳述此型泵浦的計劃圖面。

這是全世界創新的實用機，旋轉外殼型泵浦的普及將有助於節省能源。

這是日本第一本有關液封旋轉泵浦的單行本，若能對此分野少有貢獻，實屬筆者莫大之喜。

1985 年 2 月

著 者

液封旋轉泵浦 / 目次

第一章 液封旋轉泵浦概說	1
1.1 液封旋轉泵浦	1
1.2 液封旋轉泵浦的分類	4
第二章 封液的運動與風量計算式	9
2.1 葉輪與封液在葉輪半徑方向的相對速度	9
2.2 封液表面的傾斜	11
2.3 間隙容積	14
2.4 風量計算式	16
2.5 封液蒸氣壓所致的容積效率及葉輪有效寬度	20
第三章 風壓所致前端流流速的變化	23
3.1 吐出側與吸入側的壓力差所致吸入風量的變化	23
3.2 Pfleiderer 的方法	23
3.3 $\lambda - \theta$ 曲線與前端流的兩種流態	29
3.4 Pfleiderer 的方法與 $\lambda - \theta$ 曲線的對應	32
3.5 Reynolds 應力與渦流粘度	35
3.6 旋回流及離心效果	36
3.7 前端流的運動方程式與其解	38
3.8 $d\lambda / d\theta$ 成為無限大的點	45
3.9 葉片室間無壓力無差時的前端流速度	48
第四章 封液的摩擦係數與靜壓	50
4.1 前端流摩擦係數	50
4.2 外殼摩擦係數 ζ_c	50

4.3	葉輪摩擦係數 ζ_i	54
4.4	封液的靜壓	56

第五章 泵浦的驅動動力與效率 61

5.1	葉片空氣的 Pv 線圖	61
5.2	氣體壓縮動力	62
5.3	吐出溫度與多變指數	67
5.4	封液驅動動力	72
5.5	對稱形泵浦的驅動動力	78
5.6	k_s 與葉片的彎曲	79
5.7	液封旋轉泵浦的效率及效率最大條件	82

第六章 風壓風量特性與相似律 86

6.1	Bernoulli 式求得的 $\lambda - \theta$ 曲線與實際的 $\lambda - \theta$ 曲線	86
6.2	以 $\lambda - \theta$ 曲線推定泵浦的運轉特性	88
6.3	相似律	98

第七章 液封旋轉泵浦能力的擴大 100

7.1	液封旋轉泵浦的通常使用範圍與其擴大	100
7.2	封液壓入型液封旋轉泵浦	100
7.3	有空氣噴射器的液封真空泵浦	106
7.4	空氣噴射器的設計與性能	108
7.5	二段式液封旋轉泵浦及二段壓縮	116

第八章 液封旋轉泵浦與其應用 120

8.1	氣體的壓送及壓縮	120
8.2	用為真空泵浦時的用途	124

第九章 對稱形及偏心形液封真空泵浦與其得失 130

9.1	對稱形液封真空泵浦	130
-----	-----------------	-----

9·2	對稱形與偏心形液封真空泵浦的得失	130
9·3	止回閥的效果	131
第十章	液封旋轉泵浦的設計資料及問題	142
10·1	泵浦的口徑與吸入風量	142
10·2	對稱形液封旋轉泵浦的基本設計	143
10·3	葉片的彎曲	146
10·4	外殼偏心率與葉輪內外徑比—葉輪內液深	148
10·5	軸及軸封裝置	154
10·6	偏心形泵浦的設計例	157
第十一章	旋轉外殼型液封旋轉泵浦	162
11·1	旋轉外殼泵浦的開發經過	162
11·2	旋轉外殼型泵浦的長短處與未來的展望	168
第十二章	旋轉外殼型液封旋轉泵浦的技術 考察	170
12·1	側壁流	170
12·2	前端流	178
12·3	外殼內的壓力與溢出封液的處置	179
12·4	軸封裝置	187
12·5	其他的技術問題	194
12·6	旋轉外殼型泵浦的效率與今後的課題	195

第一章 液封旋轉泵浦概說

1.1 液封旋轉泵浦

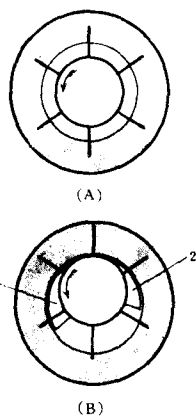
液封旋轉泵浦是藉葉輪旋轉外殼中的液體，藉該液體在葉輪半徑方向的移動吸入排出氣體，用於氣體的壓送或排除。Nash 泵浦或 Elmo 泵浦屬之。日本工業規格中以水封式真空泵浦（Water ring vacuum pumps）的名稱把一部份規格化（JIS B 8323（1964 年 3 月 1 日制））。以前氣的壓送或壓縮用濃硫酸為封液，所以泛稱液封旋轉泵浦。

液封旋轉泵浦的原理如第 1.1 圖所示，把液體裝入圓筒形或圓盤形容器中，有放射狀配置式葉片的葉輪在其中旋轉，水沿圓筒面成環狀旋轉。此葉輪與圓筒容器中心一致時，如圖(A)所示，液面與葉輪包圍的空間容積不變化。如(B)所示，葉輪對圓筒容器偏心而置時，液面與葉輪包圍的空間沿葉輪的圓周方式變化。因而，葉輪在圖中的箭頭方向旋轉時，從 1 的吸入孔吸入氣體，從 2 的吐出孔吐出氣體。

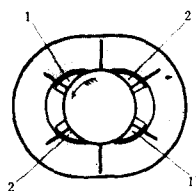
若以第 1.2 圖的長圓形或橢圓形容器取代圓形容器，在其中旋轉液體，液體沿其壁面旋轉，如圖所示，在 1 及 1' 設吸入孔，在 2 及 2' 設吐出孔，則葉輪每 1 旋轉，可吸入吐出氣體 2 次。

前者稱為偏心形或 Elmo 型或單動式。後者稱為對稱形、Nash 形、複動式。

偏心形在德國早就用於化學工業，1910 年代即已造出風量每分 40m^3 者，依處置氣體的種類，封液用水、苛性鈉溶液、石灰乳液及



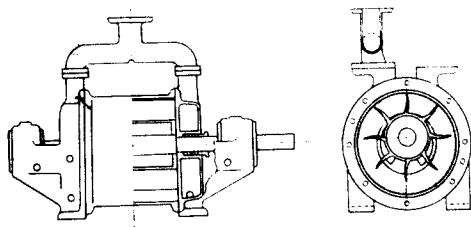
第 1.1 圖



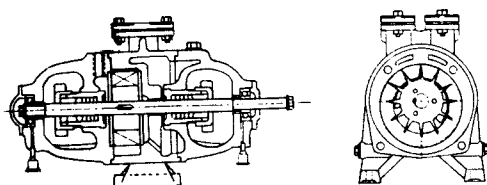
第 1.2 圖

硫酸等。

圖 1-3 為當時泵浦的圖面 (Chem Apparature 1918 S 103 Siemens-Schuckert Werke 製造)，圖 1-4 也是同樣的泵浦，這用為真空泵浦時可達真空度 95 % (Chem. Apparature 1933 S 193)。



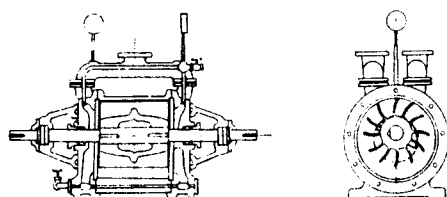
第 1-3 圖



第 1-4 圖

此種泵浦的初期機有圖 1-4 的直線葉片，但因彎曲葉片的性能良好，目前不用直線葉片。

為增多風量而增大葉輪寬度時，為促進葉片室（葉輪相鄰兩葉片與側板、封液面分隔的空間部份）的氣體排出，在葉輪轂部設圖 1-5 的推拔（taper）（德國專利 DRP 269531）。



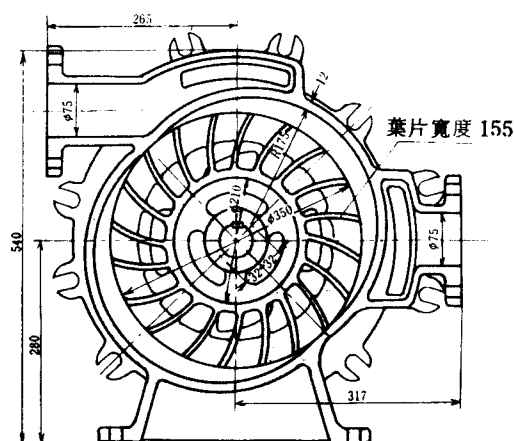
第 1-5 圖

圖1·5 是在高壓乙炔合成中，用於乙炔氣壓縮的 Elmo 泵浦。

對稱形由美國人 Jenings 發明，由美國 Nash Engineering Co. 製造，以 Nash pump 品名上市。

Jenings 就此泵浦的改良發明，在 1929 年 4 月也向日本政府申請專利。

圖 1·6 是當初輸入日本的 Nash Engineering Co. 製口徑 3 吋的泵浦斷面圖。

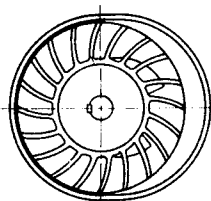


第 1·6 圖

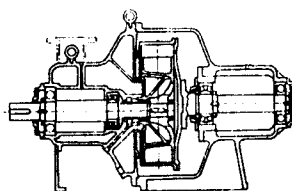
液封旋轉泵浦不大有理論上的探討，未見顯著的技術進步，但因構造簡單，便於使用，所以廣用於化學工業或食品工業。

也有特殊構造的單動式。

圖 1·7 是外殼非圓形的長圓形單動式泵浦。



第 1·7 圖



第 1·8 圖

圖 1·8 是旋轉殼型液封旋轉泵浦，保持成偏心形液封旋轉泵浦的外殼可自由旋轉。葉輪旋轉封液時，封液旋轉外殼，因而封液與外殼間的摩擦損失減少。左右此種泵浦性能的前端流（葉輪外周與外殼內面形成的新月形部份中的流動封液）的流速增大，顯著改善泵浦性能。缺點是構造複雜，此型泵浦由筆者發明，詳後述。

1.2 液封旋轉泵浦的分類

液封旋轉泵浦因外殼形狀所致構造、動作的差異、吸排氣樣式的差異、吸排氣口構造的差異等，可如下分類。

(1) 外殼形狀、構造、動作的差異

偏心形（單動式）…… $\begin{cases} \text{Elmo 型（圖 1·3 ~ 5，圖 1·12）} \\ \text{特殊型（圖 1·7，圖 1·8）} \end{cases}$

對稱形（複動式）……Nash 型（圖 1·6，圖 1·9 ~ 11）。

(2) 吸入樣式的差異

單吸入型……只從葉輪一側面進行氣體的吸排（圖 1·11）。

雙吸入型……從葉輪兩側面進行氣體的吸排（圖 1·9，圖 1·10，圖 1·12）。

(3) 吸排氣口構造的差異

口板型……口設於平面者（圖 1·10）。

口圓筒型……口設於圓筒面者（圖 1·9 (A)）。

口圓錐型……口設於圓錐面者（圖 1·9 (C)）。

口板型（port plate）、口圓筒型（port cylinder）及口圓錐型（port cone）有時分別稱為側口式（side port）、圓筒口式（cylindrical port）、圓錐口式（conical port）。

圖 1·9 ~ 1·12 是 JIS B 8323-1964（水封式真空泵浦）例示的泵浦，這些泵浦可依上述分類法分類如下：

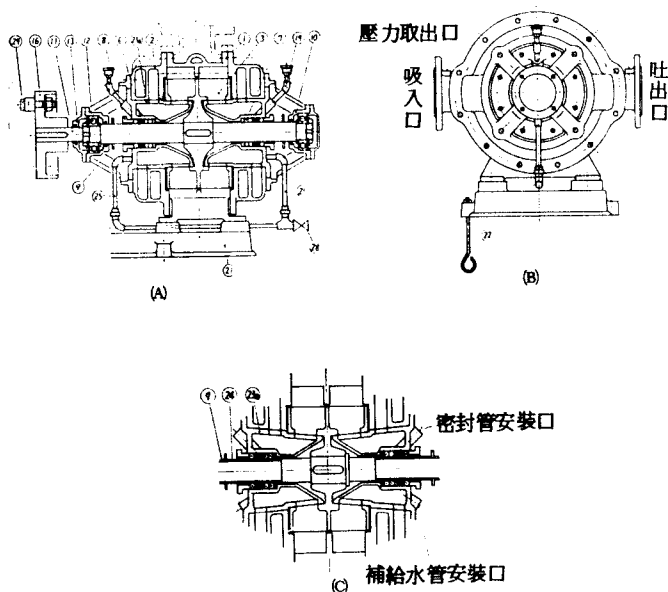
圖 1·9 (A)……對稱形雙吸入口圓筒型

圖 1·9 (C)……對稱形雙吸入口圓錐型

圖 1·10 ……對稱形雙吸入口板型

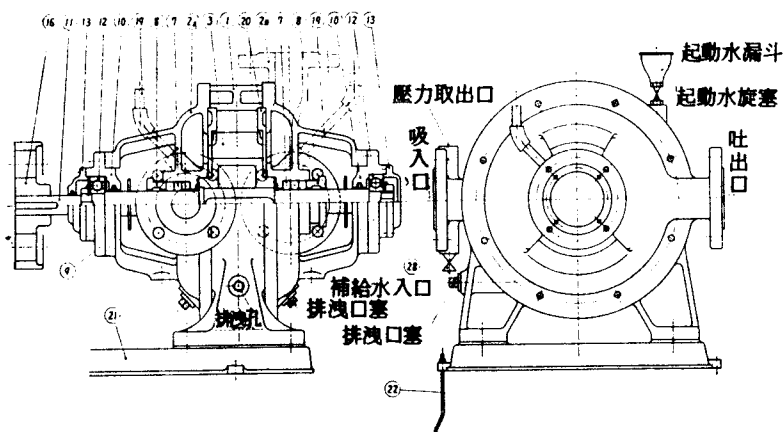
圖 1·11 ……對稱形單吸入口圓筒型

圖 1·12 ……偏心形雙吸入口板型

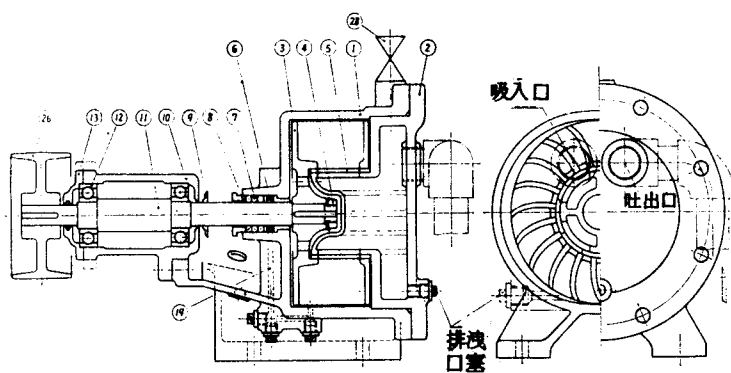


	名 稱		名 稱		名 稱
1	外殼	11	主軸	23B	□圓錐
2	蓋	12	滾珠軸承	24	套筒
3	葉輪	13	軸承蓋	25	補給水管
6	封水環	16	聯軸節	26	皮帶輪
7	迫緊	19	密封管	27	外軸承
8	迫緊壓蓋	21	共通床	28	補給水節流裝置
9	隆起緣	22	地腳螺栓	29	聯軸節螺栓
10	軸承	23A	□圓筒		

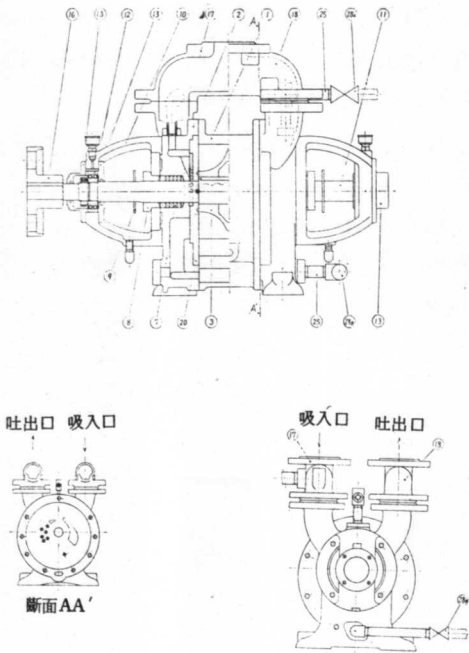
第1-9圖



第 1·10 圖



第 1·11 圖



名 稱		名 稱	
1	外殼	13	軸承蓋
2	蓋	16	聯軸節
3	葉輪	17	吸入連結管
7	迫緊	18	吐出連結管
8	迫緊壓蓋	20	口板
9	隆起緣	25	補給水管
10	軸承	25A	補給水節流裝置或旋塞
11	主軸	28B	補給水節流裝置或旋塞
12	滾動軸承		

第 1·12 圖

JIS B 8323 規定製品的公稱，記述規格編號、泵浦口徑、泵浦的額定（連續額定為 C，短時間額定為 L）、吸入方式（單吸入為 S，雙吸入為 D）、驅動方式（電動機直結式為 M，V 皮帶型式為 R，平皮帶式為 B，內燃機直結式為 E）、轉速及原動機額定輸出。例如

JIS B 8323-50 CSM 1500 × 3.7

（泵浦口徑 50，連續額定，單吸入，電動機直結，1500 rpm，3.7 kW）

JIS B 8323-100 LDB 1200 × 7.5

（泵浦口徑 100，短時間額定，雙吸入，平皮帶式，1200 rpm，7.5 kW）

第二章 封液的運動與風量計算式

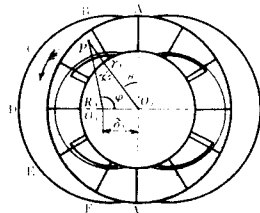
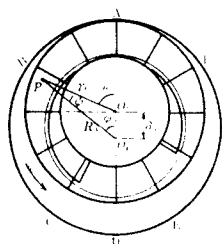
2.1 葉輪與封液在葉輪半徑方向的相對速度

葉輪與封液間的葉片半徑方向相對速度得自葉輪中心與外殼內面的曲率中心不一致。

圖 2·1 中，設葉輪中心為 O_r 、外殼的曲率中心為 O_R 時， $\overline{O_r O_R}$ 稱為偏心距離，以 δ 表示。封液因此偏心，從葉輪與外殼的最接近點 A 旋轉到 B，C，從面移向葉輪外方。離開葉輪外周，在外殼與葉輪之間的新月形部份流動的封液稱為前端流。前端流在接近外殼壁面的部份是以外殼曲率中心 O_R 為中心而旋轉。

設施加於封液表面的壓力均勻，不考慮葉片所致的阻力損失，則吐出部、吸入部都成同樣的封液流動狀態。

現考慮葉輪內封液中的 1 點 P，此點的封液以通過 O_r 點與 O_R 點的直線上 1 點 O_x 為中心進行旋轉運動。



第 2·1 圖

$$O_r P = r_x, O_R P = R_x, \angle O_r P O_x = \phi$$

$$\angle O_r O_x P = \phi, \angle A O_r P = \theta,$$

$$O_r O_x = \delta_x$$

則，

$$r_x^2 = R_x^2 + \delta_x^2 - 2 R_x \delta_x \cos \phi \quad \dots\dots (2 \cdot 1)$$

P 點以 O_x 點為中心進行旋轉運動， R_x ， δ_x 一定，葉輪半徑方向的相

對速度爲 r_x 的時間性變化，所以

$$\frac{dr_x}{dt} = \frac{R_x \delta_x \sin \varphi}{r_x} \frac{d\varphi}{dt} \quad \dots\dots (2.2)$$

其中，

$$r_x \sin \theta = R_x \sin \varphi \text{ [偏心形]}, \quad r_x \sin \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right) = R_x \sin \varphi \text{ [對稱形]}$$

(2.2)式成爲，

$$\frac{dr_x}{dt} = \delta_x \sin \theta \cdot \frac{d\varphi}{dt} \text{ [偏心形]}, \quad \frac{dr_x}{dt} = \delta_x \cos \theta \cdot \frac{d\varphi}{dt} \text{ [對稱形]} \quad \dots\dots (2.3)$$

因， $\theta = \varphi + \psi$ [偏心形] $\theta + \frac{\pi}{2} = \varphi + \psi$ [對稱形] 設葉輪的角速度爲 ω ，

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega - \frac{d\psi}{dt} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

其中， $R_x \sin \psi = \delta_x \sin \theta$ [偏心形]，或 $R_x \sin \psi = \delta_x \cos \theta$ [對稱形]。偏心形的場合爲 ω ，

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= \frac{\delta_x \omega \cos \theta}{R_x \cos \psi} = \frac{\delta_x \omega \cos \theta}{R_x \sqrt{1 - \sin^2 \psi}} \\ &= \delta_x \omega \cos \theta \left/ \sqrt{1 - \frac{\delta_x^2}{R_x^2} \sin^2 \theta} \right. \end{aligned}$$

δ_x 比 R_x 小時，

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\delta_x \omega \cos \theta}{R_x} \text{ [偏心形]}$$

同樣，

$$\dots\dots (2.5)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{-\delta_x \omega \sin \theta}{R_x} \quad [\text{對稱形}]$$

設葉輪與封液的葉輪半徑方向之相對速度為 w_r ，由 (2.3)，(2.4)，(2.5) 式得，

$$w_r = \delta_x \omega \sin \theta \left(1 - \frac{\delta_x \cos \theta}{R_x} \right) \quad [\text{偏心率}]$$

同樣，

$$w_r = \delta_x \omega \cos \theta \left(1 + \frac{\delta_x \sin \theta}{R_x} \right) \quad [\text{對稱形}]$$

$$\dots\dots (2.6)$$

δ_x / R_x 比 1 小時，

$$w_r = \delta_x \omega \sin \theta \quad [\text{偏心率}]$$

$$w_r = \delta_x \omega \cos \theta \quad [\text{對稱形}]$$

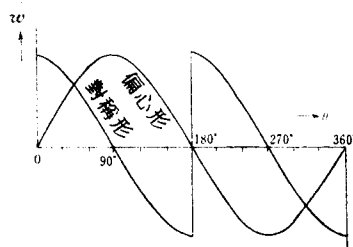
$$\dots\dots (2.6')$$

δ_x 通常接近 δ ，實際上可當成 $\delta_x \doteq \delta$ 。

對稱形時

$$0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$$

在 θ 為 0° 與 180° 的點，封液的運動成為不連續，偏心率是連續，封液滑順流動（圖 2.2）。



第 2.2 圖

2.2 封液表面的傾斜

封液在葉輪的半徑方向進出，所以被加速減速，因而，葉片室內的封液表面躍動。

現考慮葉片無厚度而葉片數無限大的理想葉輪，此時的封液面躍動