叶片式气动马达膨胀比与进、排气角度的关系

威墅堰机车车辆工厂　徐　勇

一、概　述

在叶片式气动马达的设计过程中，合理确定气动马达的进、排气角度是设计过程的一个重要组成部分。叶片式气动马达进、排气角度的大小分别决定着进气终了容积和膨胀终了容积的大小。虽然文献〔1〕、〔2〕从叶片式气动马达的主要性能指标的重量、功率、耗气量三个方面讨论了正反转性能相同的叶片式气动马达和单向叶片式气动马达膨胀比的确定问题，但是并没有讨论气动马达膨胀比与几何参数之间的关系。根据气动马达膨胀比的定义可知，叶片式气动马达膨胀比与进、排气角度之间存在着极为密切的关系。本文试从叶片式气动马达气腔面积、容积的计算出发，建立叶片式气动马达膨胀比与进、排气角度之间的直接关系。

二、叶片式气动马达气腔面积、容积的计算

图1是叶片式气动马达的剖面示意图。O为转子中心（或气缸外圆中心），O_1为气缸内孔中心，r为转子半径，R为气缸内孔半径，e为偏心距。转子外圆与气缸内孔相切于A，叶片Ⅰ的中心线分别与气缸内孔和转子外圆相交于B_1、C_1，叶片Ⅱ的中心线分别与气缸内孔和转子外圆相交于B_2、C_2。φ_1为进气角度，φ_2为排气角度。由图1可得：

$$r = R - e \qquad (1)$$

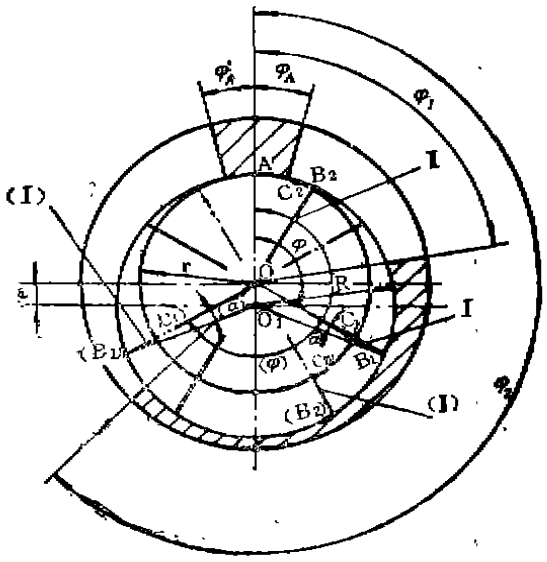

图 1

1. 曲边三角形AB_1C_1面积的计算

曲边三角形AB_1C_1的面积是扇形O_1AB_1的面积、扇形OAC_1的面积和三角形OO_1B_1面积的代数和。令：

$\angle AOB_1 = \varphi$，$\angle OB_1O_1 = \alpha$

$F(\varphi)$ = 曲边三角形AB_1C_1的面积

F_1 = 扇形O_1AB_1的面积

F_2 = 扇形OAC_1的面积

F_3 = 三角形OO_1B_1的面积　　$F(\varphi) = F_1 - F_2 - F_3$

由图 1 可知，当$0 \leqslant \varphi \leqslant \pi$时，　　在三角形$OO_1B_1$中，根据正弦定理得：

$$\sin\alpha = \frac{e}{R}\sin(\pi - \varphi) = \frac{e}{R}\sin\varphi$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)$$

$$F_1 = \frac{1}{2}(\varphi - \alpha)R^2 = \frac{1}{2}\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]R^2$$

$$F_2 = \frac{1}{2}\varphi r^2 = \frac{1}{2}\varphi(R-e)^2$$

$$F_3 = \frac{1}{2}Re\sin(\varphi - \alpha) = \frac{1}{2}Re\sin\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]$$

所以：

$$F(\varphi) = \frac{1}{2}\left\{\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]R^2 - \varphi(R-e)^2 - Re\sin\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]\right\}$$

当$\pi \leqslant \varphi \leqslant 2\pi$时，

$$F(\varphi) = F_1 - F_2 + F_3$$

在三角形OO_1B_1中，根据正弦定理得：

$$\sin\alpha = \frac{e}{R}\sin(\varphi - \pi) = -\frac{e}{R}\sin\varphi$$

$$\alpha = -\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)$$

$$F_1 = \frac{1}{2}(\varphi + \alpha)R^2 = \frac{1}{2}\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]R^2$$

$$F_2 = \frac{1}{2}\varphi r^2 = \frac{1}{2}\varphi(R-e)^2$$

$$F_3 = \frac{1}{2}Re\sin\left[2\pi - (\varphi + \alpha)\right]$$

$$= -\frac{1}{2}Re\sin\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]$$

$$F(\varphi) = \frac{1}{2}\left\{\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]R^2 - \varphi(R-e)^2 - Re\sin\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]\right\}$$

所以，在$0 \leqslant \varphi \leqslant 2\pi$范围内

$$F(\varphi) = \frac{1}{2}\left\{\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]R^2 - \varphi(R-e)^2 - Re\sin\left[\varphi - \arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]\right\} \qquad (2)$$

2. 曲边三角形AB_2C_2面积的计算

如果叶片式气动马达的叶片数为Z，则相邻两叶片之间的夹角$\angle B_1OB_2 = 2\pi/Z$。由图 1 可知，$\angle AOB_2 = \varphi - \frac{2\pi}{Z}$，所以，曲边三角形$AB_2C_2$的面积为：

$$F\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)=\frac{1}{2}\left\{\left[\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)\right)\right]R^2-\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)(R-e)^2-Re\sin\left[\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)\right)\right]\right\} \quad (3)$$

3.理论气腔面积、容积的计算

叶片式气动马达的理论气腔面积（图1中曲边四边形$B_1B_2C_2C_1$的面积）等于曲边三角形AB_1C_1的面积减去曲边三角形AB_2C_2的面积。即：

$$S^T=F(\varphi)-F\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)$$

将$F(\varphi)$、$F\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)$代入并整理得：

$$S^T=\frac{1}{2}R^2\left\{\frac{2\pi}{Z}\left[\frac{2e}{Z}-\left(\frac{e}{R}\right)^2\right]-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)+\arcsin\left[\frac{e}{R}\sin\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)\right]-\frac{e}{R}\sin\left[\varphi-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]+\frac{e}{R}\sin\left[\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)\right)\right]\right\} \quad (4)$$

引入气腔面积函数$f(\varphi)$的概念，令：

$$f(\varphi)=\frac{1}{2}\left\{\frac{2\pi}{Z}\left[\frac{2e}{R}-\left(\frac{e}{R}\right)^2\right]-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)+\arcsin\left[\frac{e}{R}\sin\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)\right]-\frac{e}{Z}\sin\left[\varphi-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]+\frac{e}{R}\sin\left[\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\left(\varphi-\frac{2\pi}{Z}\right)\right)\right]\right\} \quad (5)$$

则有：$S^T=R^2\cdot f(\varphi)$ (6)

若气缸长度为L，则理论气腔容积为：

$$V^T=R^2Lf(\varphi) \quad (7)$$

式（5）中转角φ的单位是弧度。若φ的单位用度（°）表示，则：

$$f(\varphi)=\frac{1}{2}\left\{\frac{2\pi}{Z}\left[\frac{2e}{R}-\left(\frac{e}{R}\right)^2\right]-\frac{\pi}{180^\circ}\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)+\frac{\pi}{180^\circ}\arcsin\left[\frac{e}{R}\sin\left(\varphi-\frac{360^\circ}{Z}\right)\right]-\frac{e}{R}\sin\left[\varphi-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\varphi\right)\right]+\frac{e}{R}\sin\left[\left(\varphi-\frac{360^\circ}{Z}\right)-\arcsin\left(\frac{e}{R}\sin\left(\varphi-\frac{360^\circ}{R}\right)\right)\right]\right\} \quad (8)$$

4.实际气腔面积、容积的计算

由于叶片式气动马达的叶片具有一定的厚度，使实际气腔面积小于理论气腔面积。本文同样采用气腔面积收缩系数λ来计算气动马达的实际气腔面积、容积。设叶片厚度为δ，由文献[3]可知：

$$\lambda=1-\frac{\delta Z}{2\pi R} \quad (9)$$

实际气腔面积：

$$S=\lambda S^T=\lambda R^2f(\varphi) \quad (10)$$

实际气腔容积：

$$V=\lambda V^T=\lambda R^2Lf(\varphi) \quad (11)$$

三、膨胀比与进、排气角度的关系

如图1所示，气动马达进气终了时，$\angle AOB_2=\varphi_1$，$\angle AOB_1=\varphi+\frac{2\pi}{Z}$，膨胀终了时，$\angle AOB_1=\varphi_2$。所以，进气终了容积：

$$V_1=\lambda R^2 Lf\left(\varphi_1+\frac{2\pi}{Z}\right) \qquad (12)$$

膨胀终了容积：

$$V_2=\lambda R^2 Lf(\varphi_2) \qquad (13)$$

式（12）、（13）中φ_1、φ_2的单位是弧度，$f\left(\varphi_1+\frac{2\pi}{Z}\right)$、$f(\varphi_2)$按式（5）进行计算。当$\varphi_1$、$\varphi_2$的单位用度（°）表示时，则有：

$$V_1=\lambda R^2 Lf\left(\varphi_1+\frac{360^\circ}{Z}\right) \qquad (14)$$

$$V_2=\lambda R^2 Lf(\varphi_2) \qquad (15)$$

式(14)、(15)中的$f\left(\varphi+{}_1\frac{360^\circ}{Z}\right)$、$f(\varphi_2)$按式（8）进行计算。

根据气动马达膨胀比ε的定义可知，叶片式气动马达膨胀比与进、排气角度之间的关系式为：

（1）当φ_1、φ_2的单位用弧度表示时：

$$\varepsilon=\frac{V_2}{V_1}=\frac{f(\varphi_2)}{f\left(\varphi_1+\frac{2\pi}{Z}\right)} \qquad (16)$$

（2）当φ_1、φ_2的单位用度（°）表示时：

$$\varepsilon=\frac{V_2}{V_1}=\frac{f(\varphi_2)}{f\left(\varphi_1+\frac{360^\circ}{Z}\right)} \qquad (17)$$

四、气腔面积函数表及其应用

1.气腔面积函数表

由上述研究可知，在计算叶片式气动马达进气终了容积和膨胀终了容积时都要用到气腔面积函数$f(\varphi)$。同时，叶片式气动马达膨胀比与进、排气角度之间的关系由气腔面积函数$f\left(\varphi_1+\frac{2\pi}{Z}\right)$、$f(\varphi_2)$的值所决定。所以，有必要对气腔面积函数$f(\varphi)$作进一步的讨论。

由式（5）、式（8）可知，气腔面积函数$f(\varphi)$是气动马达叶片数Z、偏心率$\frac{e}{R}$、转角φ的三元函数。由于在设计叶片式气动马达时，Z、$\frac{e}{R}$可以预选给予确定，一般$Z=4\sim6$，$\frac{e}{R}=\frac{1}{6}\sim\frac{1}{7}$（或$R/e=6\sim7$）。所以，根据Z、$R/e$和$\varphi$的取值可以作常用的气腔面积函数表见表1、表2、表3。其中Z、R/e和φ的取值范围分别是：

表1：$Z=4$、$R/e=6\sim7$、$\varphi=131^\circ\sim230^\circ$

表2：$Z=5$、$R/e=6\sim7$、$\varphi=131^\circ\sim230^\circ$

表3：$Z=6$、$R/e=6\sim7$、$\varphi=121^\circ\sim220^\circ$

从表1、表2、表3中可以看出：

（1）当$\varphi=180^\circ+\frac{180^\circ}{Z}$时，气腔面积函数$f(\varphi)$取最大值$f(\varphi)_{max}$。即$f(\varphi)_{max}=f\left(180^\circ+\frac{180^\circ}{Z}\right)$。所以，当$\varphi=180^\circ+\frac{180^\circ}{Z}$时，叶片式气动马达的气腔面积、容积取最大值。$S_{max}=\lambda R^2 f(\varphi)_{max}=\lambda R^2 f\left(180^\circ+\frac{180^\circ}{Z}\right)$，$V_{max}=\lambda R^2 L f(\varphi)_{max}=\lambda R^2 L f\left(180^\circ+\frac{180^\circ}{Z}\right)$。

（2）气腔面积函数$f(\varphi)$随R/e的增大而减小，即$f(\varphi)$随偏心率e/R的增大而增大。所以，在设计叶片式气动马达时取较大的偏心率e/R，可以使气腔面积、容积获得较大值，有利于气动马达功率的提高。

2.例题及说明

例题1：已知某单向叶片式气动马达的气缸内径$2R=0.13$m，偏心距$e=0.01$m，

气缸长度$L=0.2$m，叶片数$Z=4$，叶片厚度$\delta=0.006$m，排气角度$\varphi_2=210°$。试求：(1)气动马达膨胀终了时的气腔面积S_2、气腔容积V_2；（2）当膨胀比$\varepsilon=1.4$时，气动马达的进气角度φ_1（精确到1°）。

解：（1）气腔面积S_2、气腔容积V_2

根据已知条件可得：

$$R/e=\frac{1}{2}\times 0.13/0.01=6.5$$

$$\frac{360°}{Z}=\frac{360°}{4}=90°$$

气腔面积收缩系数λ

$$\lambda=1-\frac{\delta Z}{2\pi R}=1-\frac{0.006\times 4}{2\pi\times 0.065}=0.941235$$

查表1得：

$$f(\varphi_2)=f(210°)=0.4430071$$

$$S_2=\lambda R^2 f(\varphi_2)=0.941235\times 0.065^2\times 0.4430071$$

$$=0.001762\ (m^2)$$

$$V_2=LS_2=0.2\times 0.001762$$

$$=0.0003524\ (m^3)$$

（2）进气角度φ_1

因为 $$\varepsilon=\frac{f(\varphi_2)}{f\left(\varphi_1+\frac{360°}{Z}\right)}$$

$$=\frac{f(\varphi_2)}{f(\varphi_1+90°)}$$

所以 $$f(\varphi_1+90°)=\frac{1}{\varepsilon}f(\varphi_2)$$

$$=\frac{1}{1.4}\times 0.4430071$$

$$=0.3164336$$

查表1得：$\varphi_1+90°\approx 162°$

所以 $$\varphi_1=72°$$

例题2：已知某单向叶片式气动马达的$Z=5$，$\varphi_1=83°$，$\varphi_2=204°$。试求，当$R/e=6$、$R/e=6.5$、$R/e=7$时，气动马达的膨胀比ε。

解：根据已知条件得：

$$\varphi_1+\frac{360°}{Z}=83°+\frac{360°}{5}=155°$$

查表2：当$R/e=6$时

$$f\left(\varphi_1+\frac{360°}{Z}\right)=f(155°)=0.2792751$$

$$f(\varphi_2)=f(204°)=0.395331$$

$$\varepsilon=\frac{f(\varphi_2)}{f\left(\varphi_1+\frac{360°}{Z}\right)}=\frac{0.395331}{0.2792751}$$

$$=1.41556$$

当$R/e=6.5$时

$$f\left(\varphi_1+\frac{360°}{Z}\right)=0.2596246$$

$$f(\varphi_2)=0.3653538$$

$$\varepsilon=\frac{f(\varphi_2)}{f\left(\varphi_1+\frac{360°}{Z}\right)}=\frac{0.3653538}{0.2596246}$$

$$=1.40724$$

当$R/e=7$时

$$f\left(\varphi_1+\frac{360°}{Z}\right)=0.2425325$$

$$f(\varphi_2)=0.3395987$$

$$\varepsilon=\frac{f(\varphi_2)}{f\left(\varphi_1+\frac{360°}{Z}\right)}=\frac{0.3395987}{0.2425325}$$

$$=1.40022$$

例题3：在设计某正反转性能相同的叶片式气动马达时，取排气角度$\varphi_2=174°$，$R/e=7$，$\varepsilon=1.3$。问当选用叶片数$Z=4$、5、6时，气动马达的进气角度φ_1是多少度（精确到1°）？

解：当$Z=4$时

$$\varphi_1+\frac{360°}{Z}=\varphi_1+90°$$

根据$R/e=7$，查表1得：

$$f(\varphi_2)=f(174°)=0.3329125$$

又 $$f\left(\varphi_1+\frac{360°}{Z}\right)=\frac{1}{\varepsilon}f(\varphi_2)$$

$$f(\varphi_1+90°)=\frac{1}{\varepsilon}f(\varphi_2)$$

$$=\frac{1}{1.3}\times 0.3329125$$

查表1得：$\varphi_1+90°\approx 151°$

所以　$\varphi_1 = 61°$

当Z = 5 时

$\varphi_1 + \frac{360°}{Z} = \varphi_1 + 72°$

查表2得：$f(\varphi_2) = f(174°) = 0.2920584$

$f(\varphi_1 + 72°) = \frac{1}{\varepsilon} f(\varphi_2)$

$= \frac{1}{1.3} \times 0.2920584$

$= 0.2246603$

查表 2 得：$\varphi_1 + 72° \approx 149°$

所以　$\varphi_1 = 77°$

当Z = 6 时

$\varphi_1 + \frac{360°}{Z} = \varphi_1 + 60°$

查表 3 得：

$f(\varphi_2) = f(174°) = 0.2568478$

$f(\varphi_1 + 60°) = \frac{1}{\varepsilon} f(\varphi_2)$

$= \frac{1}{1.3} \times 0.2568478$

$= 0.1975752$

表 1　气腔面积函数表（R/e = 6～7　Z = 4）

φ (°) \ R/e, f(φ)	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
131	0.2099015	0.2028627	0.1962653	0.1900708	0.1842451
132	0.2139201	0.2067249	0.1999829	0.1936541	0.1877033
133	0.2179591	0.2106062	0.2037181	0.1972538	0.1911770
134	0.2220175	0.2145054	0.2074700	0.2008691	0.1946652
135	0.2260939	0.2184212	0.2112373	0.2044988	0.1981669
136	0.2301872	0.2223527	0.2150191	0.2081419	0.2016809
137	0.2342963	0.2262986	0.2188143	0.2117973	0.2052065
138	0.2384199	0.2302577	0.2226215	0.2154638	0.2087423
139	0.2425566	0.2342289	0.2264398	0.2191403	0.2122873
140	0.2467053	0.2382108	0.2302677	0.2228258	0.2158404
141	0.2508645	0.2422022	0.2341043	0.2265190	0.2194005
142	0.2550331	0.2462020	0.2379484	0.2302189	0.2229666
143	0.2592096	0.2502087	0.2417985	0.2339241	0.2265374
144	0.2633928	0.2542212	0.2456535	0.2376336	0.2301118
145	0.2675813	0.2582380	0.2495122	0.2413460	0.2336886
146	0.2717735	0.2622579	0.2533732	0.2450603	0.2372667
147	0.2759682	0.2662795	0.2572354	0.2487750	0.2408449
148	0.2801639	0.2703015	0.2610972	0.2524890	0.2444219
149	0.2843593	0.2743224	0.2649576	0.2562011	0.2479966
150	0.2885527	0.2783409	0.2688152	0.2599100	0.2515677
151	0.2927429	0.2823556	0.2726685	0.2636143	0.2551341

续表 1

φ (°) \ R/e	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
152	0.2969281	0.2863652	0.2765162	0.2673128	0.2586944
153	0.3011071	0.2903679	0.2803571	0.2710042	0.2622475
154	0.3052783	0.2943627	0.2841896	0.2746871	0.2657920
155	0.3094401	0.2983479	0.2880125	0.2783603	0.2693268
156	0.3135911	0.3023222	0.2918244	0.2820225	0.2728504
157	0.3177296	0.3062841	0.2956239	0.2856722	0.2763617
158	0.3218543	0.3102319	0.2994095	0.2893082	0.2798595
159	0.3259625	0.3141645	0.3031798	0.2929292	0.2833422
160	0.3300555	0.3180801	0.3069334	0.2965336	0.2868088
161	0.3341290	0.3219774	0.3106690	0.3001203	0.2902579
162	0.3381822	0.3258547	0.3143851	0.3036878	0.2936883
163	0.3422136	0.3297108	0.3180803	0.3072348	0.2970985
164	0.3462217	0.3335439	0.3217530	0.3107599	0.3004873
165	0.3502047	0.3373527	0.3254019	0.3142619	0.3038534
166	0.3541613	0.3411356	0.3290256	0.3177392	0.3071956
167	0.3580896	0.3448911	0.3326227	0.3211904	0.3105123
168	0.3619883	0.3486177	0.3361916	0.3246144	0.3138026
169	0.3658555	0.3523138	0.3397310	0.3280096	0.3170648
170	0.3696898	0.3559780	0.3432394	0.3313784	0.3202979
171	0.3734897	0.3596088	0.3467154	0.3347086	0.3235006
172	0.3772534	0.3632046	0.3501576	0.3380095	0.3266713
173	0.3809793	0.3667641	0.3535646	0.3412765	0.3298091
174	0.3846661	0.3702858	0.3569349	0.3445078	0.3329125
175	0.3883120	0.3737678	0.3602672	0.3477025	0.3359802
176	0.3919155	0.3772090	0.3635599	0.3508589	0.3390111
177	0.3954750	0.3806079	0.3668118	0.3539759	0.3420037
178	0.3989892	0.3839629	0.3700215	0.3570522	0.3449571
179	0.4024561	0.3872728	0.3731876	0.3600863	0.3478699
180	0.4058746	0.3905359	0.3763088	0.3630772	0.3507407
181	0.4092430	0.3937509	0.3793836	0.3660234	0.3535684

续表 1

φ (°) \ R/e	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
182	0.4125599	0.3969165	0.3824108	0.3689237	0.3563520
183	0.4158237	0.4000811	0.3853891	0.3717769	0.3590900
184	0.4190331	0.4030934	0.3883170	0.3745817	0.3617814
185	0.4221865	0.4061021	0.3911935	0.3773369	0.3644251
186	0.4252825	0.4090557	0.3940171	0.3800412	0.3670197
187	0.4283198	0.4119530	0.3967866	0.3826936	0.3695644
188	0.4312969	0.4147927	0.3995008	0.3852927	0.3720577
189	0.4342124	0.4175735	0.4021585	0.3878377	0.3744988
190	0.4370650	0.4202940	0.4047585	0.3903270	0.3768866
191	0.4398535	0.4229531	0.4072995	0.3927599	0.3792200
192	0.4425765	0.4255498	0.4097805	0.3951351	0.3814980
193	0.4452327	0.4280822	0.4122002	0.3974516	0.3837198
194	0.4478209	0.4305498	0.4145578	0.3997082	0.3858833
195	0.4503400	0.4329511	0.4168519	0.4019041	0.3879889
196	0.4527885	0.4352852	0.4190815	0.4040382	0.3900352
197	0.4551655	0.4375510	0.4212458	0.4061095	0.3920211
198	0.4574697	0.4397472	0.4233435	0.4081170	0.3939458
199	0.4597002	0.4418730	0.4253739	0.4100600	0.3958084
200	0.4618557	0.4439273	0.4273358	0.4119374	0.3976081
201	0.4639353	0.4459090	0.4292284	0.4137483	0.3993440
202	0.4659381	0.4478175	0.4310508	0.4154921	0.4010155
203	0.4678630	0.4496516	0.4328021	0.4171677	0.4026215
204	0.4697091	0.4514105	0.4344817	0.4187746	0.4041616
205	0.4714753	0.4530934	0.4360885	0.4203117	0.4056350
206	0.4731611	0.4546994	0.4376219	0.4217787	0.4070408
207	0.4747655	0.4562279	0.4390811	0.4231746	0.4083786
208	0.4762876	0.4576779	0.4404655	0.4244989	0.4096476
209	0.4777269	0.4590490	0.4417744	0.4257508	0.4108475
210	0.4790825	0.4603403	0.4430071	0.4269299	0.4119773
211	0.4803539	0.4615513	0.4441630	0.4280356	0.4130368

续表 1

φ (°) \ R/e \ $f(\varphi)$	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
212	0.4815403	0.4626814	0.4452418	0.4290873	0.4140253
213	0.4826412	0.4637299	0.4462427	0.4300246	0.4149427
214	0.4836560	0.4646966	0.4471653	0.4309070	0.4157882
215	0.4845843	0.4655806	0.4480092	0.4317142	0.4165614
216	0.4854257	0.4663819	0.4487739	0.4324456	0.4172622
217	0.4861796	0.4670999	0.4494591	0.4331008	0.4178901
218	0.4868456	0.4677341	0.4500646	0.4336798	0.4184447
219	0.4874235	0.4682846	0.4505899	0.4341822	0.4189261
220	0.4879131	0.4687507	0.4510348	0.4346077	0.4193337
221	0.4883138	0.4691324	0.4513991	0.4349560	0.4196675
222	0.4886258	0.4694296	0.4516827	0.4352272	0.4199273
223	0.4888488	0.4696419	0.4518852	0.4354209	0.4201129
224	0.4889826	0.4697693	0.4520068	0.4355373	0.4202243
225	0.4890272	0.4698118	0.4520475	0.4355760	0.4202615
226	0.4889826	0.4697693	0.4520068	0.4355372	0.4202243
227	0.4888488	0.4696418	0.4518852	0.4354209	0.4201129
228	0.4886258	0.4694296	0.4516826	0.4352271	0.4199272
229	0.4883138	0.4691324	0.4513991	0.4349561	0.4196674
230	0.4879130	0.4687507	0.4510347	0.4346076	0.4193337

表 2　气腔面积函数表（R/e = 6 ～ 7　Z = 5）

φ (°) \ R/e \ $f(\varphi)$	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
131	0.1958991	0.1892446	0.1830142	0.1771701	0.1716789
132	0.1993605	0.1925664	0.1862072	0.1802489	0.1746420
133	0.2028318	0.1958971	0.1894082	0.1833248	0.1776115
134	0.2063117	0.1992356	0.1926161	0.1864119	0.1805865
135	0.2097993	0.2025806	0.1958298	0.1896042	0.1835660
136	0.2132933	0.2059314	0.1990483	0.1926005	0.1865490

续表 2

φ (°) \ R/e	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
137	0.2167927	0.2092865	0.2022706	0.1957001	0.1895347
138	0.2202962	0.2126450	0.2054956	0.1988015	0.1925219
139	0.2238026	0.2160058	0.2087222	0.2019042	0.1955097
140	0.2273107	0.2193675	0.2119491	0.2050067	0.1984969
141	0.2308193	0.2227290	0.2151755	0.2081082	0.2014828
142	0.2343271	0.2260894	0.2184001	0.2112075	0.2044662
143	0.2378330	0.2294472	0.2216217	0.2143035	0.2074459
144	0.2413357	0.2328013	0.2248393	0.2173952	0.2104211
145	0.2448338	0.2361505	0.2280516	0.2204813	0.2133905
146	0.2483260	0.2394935	0.2312576	0.2235609	0.2163532
147	0.2518111	0.2428291	0.2344559	0.2266327	0.2193081
148	0.2552877	0.2461561	0.2376454	0.2296956	0.2222539
149	0.2587546	0.2494732	0.2408250	0.2327486	0.2251898
150	0.2622104	0.2527791	0.2439934	0.2357903	0.2281146
151	0.2656537	0.2560726	0.2471494	0.2388197	0.2310271
152	0.2690832	0.2593523	0.2502917	0.2418336	0.2339263
153	0.2724975	0.2626169	0.2534191	0.2448363	0.2368110
154	0.2758953	0.2658653	0.2565305	0.2478222	0.2396801
155	0.2792751	0.2690959	0.2596246	0.2507906	0.2425325
156	0.2826357	0.2723078	0.2627001	0.2537408	0.2453670
157	0.2859755	0.2754993	0.2657558	0.2566716	0.2481826
158	0.2892934	0.2786693	0.2687904	0.2595818	0.2509782
159	0.2925878	0.2818164	0.2718027	0.2624702	0.2537524
160	0.2958572	0.2849393	0.2747914	0.2653357	0.2565043
161	0.2991005	0.2880367	0.2777553	0.2681771	0.2592328
162	0.3023161	0.2911072	0.2806932	0.2709932	0.2619366
163	0.3055028	0.2941497	0.2836039	0.2737828	0.2646148
164	0.3086590	0.2971627	0.2864860	0.2765446	0.2672660
165	0.3117834	0.3001450	0.2893382	0.2792778	0.2698893
166	0.3148746	0.3030952	0.2921595	0.2819808	0.2724835

续表 2

φ (°) \ R/e	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
167	0.3179313	0.3060120	0.2949486	0.2846527	0.2750475
168	0.3209520	0.3088942	0.2977012	0.2872922	0.2775802
169	0.3239354	0.3117404	0.3004251	0.2899082	0.2800805
170	0.3268802	0.3145495	0.3031101	0.2924695	0.2825473
171	0.3297850	0.3173200	0.3057581	0.2950052	0.2849796
172	0.3326485	0.3200507	0.3083677	0.2975038	0.2873762
173	0.3354692	0.3227406	0.3109380	0.2999646	0.2897362
174	0.3382460	0.3253881	0.3134676	0.3023860	0.2920584
175	0.3409775	0.3279922	0.3159554	0.3047674	0.2943418
176	0.3436624	0.3305515	0.3184002	0.3071074	0.2965855
177	0.3462995	0.3330650	0.3208010	0.3094050	0.2987882
178	0.3488875	0.3355315	0.3231566	0.3116592	0.3009492
179	0.3514252	0.3379497	0.3254660	0.3138688	0.3030673
180	0.3539112	0.3403186	0.3277280	0.3160331	0.3051418
181	0.3563445	0.3426369	0.3299416	0.3181508	0.3071714
182	0.3587238	0.3449036	0.3321057	0.3202210	0.3091553
183	0.3610480	0.3471178	0.3342193	0.3222426	0.3110927
184	0.3633159	0.3492778	0.3362813	0.3242149	0.3129826
185	0.3655265	0.3513832	0.3382909	0.3261368	0.3148241
186	0.3676786	0.3534327	0.3402469	0.3280075	0.3166163
187	0.3697711	0.3554253	0.3421486	0.3298260	0.3183584
188	0.3718030	0.3573600	0.3439949	0.3315918	0.3200496
189	0.3737733	0.3592360	0.3457849	0.3333039	0.3216890
190	0.3756310	0.3610522	0.3475179	0.3349596	0.3232760
191	0.3775251	0.3628077	0.3491928	0.3365609	0.3248097
192	0.3793047	0.3645018	0.3508089	0.3381058	0.3262893
193	0.3810189	0.3661334	0.3523654	0.3395938	0.3277143
194	0.3826668	0.3677019	0.3538616	0.3410238	0.3290838
195	0.3842476	0.3692064	0.3552967	0.3423956	0.3303973
196	0.3857604	0.3706461	0.3566699	0.3437080	0.3316541

续表 2

φ (°) \ R/e \ $f(\alpha)$	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
197	0.3872046	0.3720204	0.3579806	0.3449607	0.3328534
198	0.3885792	0.3733285	0.3592251	0.3461528	0.3339950
199	0.3898837	0.3745693	0.3604119	0.3472841	0.3350781
200	0.3911173	0.3757435	0.3615312	0.3483537	0.3361021
201	0.3922794	0.3768491	0.3625853	0.3493613	0.3370667
202	0.3933695	0.3778863	0.3635745	0.3503062	0.3379712
203	0.3943868	0.3788541	0.3644973	0.3511880	0.3388154
204	0.3953310	0.3797524	0.3653538	0.3520063	0.3395987
205	0.3962014	0.3805805	0.3661433	0.3527605	0.3403208
206	0.3969978	0.3813380	0.3668656	0.3534507	0.3409814
207	0.3977195	0.3820246	0.3675202	0.3540760	0.3415800
208	0.3983663	0.3826398	0.3681068	0.3546364	0.3421163
209	0.3989378	0.3831834	0.3686251	0.3551315	0.3425903
210	0.3994336	0.3836551	0.3690747	0.3555611	0.3430014
211	0.3998538	0.3840547	0.3694556	0.3559251	0.3433497
212	0.4001977	0.3843819	0.3697676	0.3562230	0.3436349
213	0.4004655	0.3846365	0.3700104	0.3564549	0.3438569
214	0.4006568	0.3848186	0.3701838	0.3566206	0.3440156
215	0.4007717	0.3849277	0.3702880	0.3567202	0.3441108
216	0.4008100	0.3849642	0.3703227	0.3567533	0.3441425
217	0.4007717	0.3849278	0.3702879	0.3567201	0.3441108
218	0.4006569	0.3848184	0.3701839	0.3566206	0.3440155
219	0.4004654	0.3846366	0.3700103	0.3564550	0.3438569
220	0.4001978	0.3843818	0.3697676	0.3562231	0.3436350
221	0.3998537	0.3840546	0.3694557	0.3559250	0.3433498
222	0.3994337	0.3836551	0.3690747	0.3555611	0.3430015
223	0.3989378	0.3831834	0.3686250	0.3551315	0.3425903
224	0.3983663	0.3826397	0.3681067	0.3546364	0.3421163
225	0.3977195	0.3820245	0.3675202	0.3540760	0.3415799
226	0.3969977	0.3813380	0.3668656	0.3534506	0.3409813

续表 2

φ (°) \ R/e \ $f(\varphi)$	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
227	0.3962014	0.3805304	0.3661434	0.3527606	0.3403208
228	0.3953309	0.3797524	0.3653538	0.3520062	0.3395987
229	0.3943868	0.3788541	0.3644973	0.3511880	0.3388154
230	0.3933694	0.3778862	0.3635745	0.3503062	0.3379712

表 3　气腔面积函数表（R/e = 6 ～ 7　Z = 6）

φ (°) \ R/e \ $f(\varphi)$	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
121	0.1508460	0.1458346	0.1411329	0.1367147	0.1325564
122	0.1537454	0.1486195	0.1438119	0.1392956	0.1350459
123	0.1566579	0.1514162	0.1465018	0.1418864	0.1375447
124	0.1595823	0.1542241	0.1492019	0.1444865	0.1400519
125	0.1625180	0.1570421	0.1519112	0.1470952	0.1425670
126	0.1654640	0.1598694	0.1546289	0.1497114	0.1450891
127	0.1684194	0.1627051	0.1573543	0.1523346	0.1476174
128	0.1713832	0.1655484	0.1600863	0.1549637	0.1501511
129	0.1743544	0.1683982	0.1628242	0.1575980	0.1526893
130	0.1773322	0.1712538	0.1655670	0.1602367	0.1552314
131	0.1803155	0.1741140	0.1683139	0.1628787	0.1577762
132	0.1833034	0.1769780	0.1710639	0.1655234	0.1603232
133	0.1862947	0.1798448	0.1738161	0.1681697	0.1628714
134	0.1892884	0.1827135	0.1765695	0.1708168	0.1654200
135	0.1922826	0.1855829	0.1793232	0.1734638	0.1679679
136	0.1952791	0.1884521	0.1820762	0.1761094	0.1705145
137	0.1982740	0.1913201	0.1848276	0.1787532	0.1730587
138	0.2012670	0.1941858	0.1875763	0.1813939	0.1755997
139	0.2042570	0.1970482	0.1903213	0.1840308	0.1781365
140	0.2072431	0.1999062	0.1930616	0.1866628	0.1806682
141	0.2102240	0.2027586	0.1957963	0.1892888	0.1831939

续表 3

φ (°) \ R/e \ $f(\varphi)$	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
142	0.2131986	0.2056047	0.1985243	0.1919080	0.1857126
143	0.2161657	0.2084430	0.2012444	0.1945194	0.1882235
144	0.2191243	0.2112727	0.2039558	0.1971219	0.1907255
145	0.2220721	0.2140925	0.2066574	0.1997146	0.1932176
146	0.2250111	0.2169014	0.2093480	0.2022964	0.1956990
147	0.2279368	0.2196982	0.2120267	0.2048664	0.1981687
148	0.2308492	0.2224819	0.2146922	0.2074234	0.2006256
149	0.2337472	0.2252512	0.2173437	0.2099666	0.2030689
150	0.2366295	0.2280050	0.2199800	0.2124948	0.2054974
151	0.2394949	0.2307423	0.2226001	0.2150071	0.2079103
152	0.2423421	0.2334619	0.2252026	0.2175023	0.2103067
153	0.2451700	0.2361624	0.2277868	0.2199796	0.2126853
154	0.2479774	0.2388431	0.2303514	0.2224377	0.2150454
155	0.2507630	0.2415024	0.2328954	0.2248758	0.2173859
156	0.2535257	0.2441395	0.2354177	0.2272927	0.2197058
157	0.2562640	0.2467531	0.2379172	0.2296874	0.2220042
158	0.2589771	0.2493420	0.2403927	0.2320590	0.2242801
159	0.2616636	0.2519052	0.2428433	0.2344064	0.2265324
160	0.2643220	0.2544415	0.2452678	0.2367284	0.2287602
161	0.2669515	0.2569496	0.2476652	0.2390242	0.2309626
162	0.2695508	0.2594286	0.2500343	0.2412928	0.2331386
163	0.2721186	0.2618772	0.2523743	0.2435330	0.2352873
164	0.2746537	0.2642944	0.2546837	0.2457439	0.2374075
165	0.2771550	0.2666790	0.2569619	0.2479246	0.2394985
166	0.2796212	0.2690299	0.2592075	0.2500740	0.2415593
167	0.2820512	0.2713460	0.2614197	0.2521909	0.2435889
168	0.2844440	0.2736262	0.2635974	0.2542748	0.2455865
169	0.2867981	0.2758694	0.2657396	0.2563244	0.2475510
170	0.2891127	0.2780747	0.2678452	0.2583387	0.2494817
171	0.2913865	0.2802408	0.2699132	0.2603170	0.2513776

续表3

R/e / φ (°)	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
172	0.2936184	0.2828663	0.2719427	0.2622583	0.2532378
173	0.2958073	0.2844517	0.2729328	0.2641616	0.2550615
174	0.2979521	0.2864943	0.2758823	0.2660260	0.2568478
175	0.3000519	0.2884938	0.2777905	0.2678507	0.2585958
176	0.3021054	0.2904491	0.2796562	0.2696347	0.2603048
177	0.3041117	0.2923592	0.2814788	0.2713773	0.2619739
178	0.3060699	0.2942233	0.2832573	0.2730775	0.2636023
179	0.3079787	0.2960403	0.2849907	0.2747344	0.2651893
180	0.3098374	0.2978095	0.2866783	0.2763476	0.2667340
181	0.3116450	0.2995297	0.2883192	0.2779158	0.2682358
182	0.3134005	0.3012003	0.2899125	0.2794386	0.2696939
183	0.3151029	0.3028203	0.2914575	0.2809152	0.2711075
184	0.3167516	0.3043890	0.2929534	0.2823446	0.2724761
185	0.3183455	0.3059055	0.2943995	0.2837263	0.2737989
186	0.3198840	0.3073690	0.2957949	0.2850596	0.2750752
187	0.3213660	0.3087789	0.2971391	0.2863438	0.2763045
188	0.3227909	0.3101342	0.2984313	0.2875783	0.2774861
189	0.3241579	0.3114345	0.2996708	0.2887624	0.2786194
190	0.3254663	0.3126789	0.3008571	0.2898955	0.2797039
191	0.3267154	0.3138668	0.3019894	0.2909772	0.2807391
192	0.3279046	0.3149977	0.3030673	0.2920067	0.2817244
193	0.3290331	0.3160709	0.3040902	0.2929837	0.2826592
194	0.3301005	0.3170858	0.3050575	0.2939075	0.2835432
195	0.3311062	0.3180420	0.3059688	0.2947778	0.2843760
196	0.3320494	0.3189389	0.3068234	0.2955940	0.2851570
197	0.3329299	0.3197760	0.3076211	0.2963558	0.2858858
198	0.3337470	0.3205528	0.3083614	0.2970627	0.2865622
199	0.3345005	0.3212691	0.3090440	0.2977145	0.2871858
200	0.3351897	0.3219244	0.3096684	0.2983107	0.2877562
201	0.3358145	0.3225184	0.3102343	0.2988511	0.2882732

续表3

R/e / $f(\varphi)$ / φ (°)	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00
202	0.3363745	0.3230507	0.3107414	0.2993354	0.2887364
203	0.3363693	0.3235210	0.3111895	0.2997632	0.2891457
204	0.3372987	0.3239291	0.3115784	0.3001345	0.2895008
205	0.3376623	0.3242749	0.3119078	0.3004489	0.2898018
206	0.3379602	0.3245579	0.3121776	0.3007065	0.2900482
207	0.3381920	0.3247783	0.3123874	0.3009069	0.2902399
208	0.3383576	0.3249357	0.3125375	0.3010502	0.2903769
209	0.3384571	0.3250302	0.3126276	0.3011361	0.2904592
210	0.3384902	0.3250618	0.3126576	0.3011648	0.2904866
211	0.3384571	0.3250303	0.3126276	0.3011361	0.2904591
212	0.3383577	0.3249357	0.3125376	0.3010501	0.2903768
213	0.3381920	0.3247783	0.3123875	0.3009068	0.2902398
214	0.3379601	0.3245580	0.3121776	0.3007064	0.2900481
215	0.3376623	0.3242748	0.3119078	0.3004490	0.2898018
216	0.3372986	0.3239291	0.3115784	0.3001345	0.2895010
217	0.3363693	0.3235210	0.3111895	0.2997632	0.2891458
218	0.3363745	0.3230506	0.3107415	0.2993353	0.2887364
219	0.3358145	0.3225184	0.3102343	0.2988511	0.2882732
220	0.3351893	0.3219244	0.3096684	0.2983108	0.2877562

查表3得：$\varphi_1 + 60° \approx 147°$

所以 $\varphi_1 = 87°$

从上述三个例题中可以看出：

（1）使用气腔面积函数表可以很容易地计算叶片式气动马达的气腔面积、容积；

（2）偏心率e/R对气动马达膨胀比与进、排气角度之间的关系影响较小；

（3）当气动马达的Z、e/R一定时，ε与φ_1、φ_2之间的关系是唯一的。根据φ_1、φ_2的大小，可以通过气腔面积函数$f\left(\varphi_1 + \frac{360°}{Z}\right)$、$f(\varphi_2)$的值求解ε。在设计过程中，当$\varphi_2$已确定时，可以根据ε的大小求解$\varphi_1$。

五、结　论

1.本文推导了叶片式气动马达气腔面积、容积的计算公式，建立了叶片式气动马达膨胀比与进、排气角度之间的关系式。

2.使用气腔面积函数$f(\varphi)$的概念及常用气腔面积函数表可以使叶片式气动马达的设计计算得到简化。

3.叶片式气动马达膨胀比与几何参数之

23-33

螺杆式气动马达相似设计计算

东北工学院热能系　李富成

TH138.51

一、前　言

螺杆式气动马达转矩大、转速高、运转平稳，大有发展前途．但在设计计算方面至今尚无成熟可靠的设计计算方法，各种设计计算方法正处于探索研究阶段。本文提出了螺杆式气动马达的一种相似设计计算方法，这种方法简单可靠，但要有适当的模型作为设计计算依据。

螺杆式气动马达相似设计计算的基础是相似理论。本文结合螺杆式气动马达具体情况简要地叙述一下相似理论，推导出螺杆式气动马达相似设计计算的几个公式。为了使读者便于掌握运用这种方法，列有数值例题。

二、螺杆式气动马达模型与实物示意图

为了便于讨论螺杆式气动马达的相似起见，先用下面四个图来说明模型与实物之间的一些关系。图1至图4的（a）图代表模型，（b）图代表实物。模型可以比实物大，也可以比实物小。

1.螺杆式气动马达气流通道示意图

图1表示螺杆式气动马达气流通道示意图。压缩气体自进气接管5经进气孔口3进入阳、阴螺杆1、2的气腔，然后膨胀。膨胀至一定程度后，气体经排气孔口4从排气接管6排出。图1中的7为阳螺杆轴，即输出轴，8为机壳。在进气、膨胀过程中，气体对气动马达的阳、阴螺杆做功，产生一定的转速与转矩，即产生一定功率，该功率由输出轴7输出。

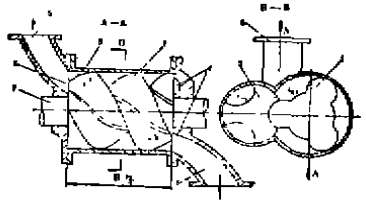

图1 a

间存在着极为密切的关系。当Z、e/R一定时，ε与φ_1、φ_2之间的关系是唯一的。

4.从例题中可以看出：本文同时也解决了在叶片式气动马达设计过程中，当R、e、L都是未知的情况下，如何根据φ_2、ε去确定φ_1的问题。

参 考 文 献

1　徐勇．正反转性能相同的叶片式气动马达膨胀比的确定．凿岩机械气动工具，1989（3）

2　徐勇．单向叶片式气动马达膨胀比的确定．凿岩机械气动工具，1990（4）

3　李富成．单向叶片式风马达主要参数的设计计算．凿岩机械与风动工具，1976（4）

4　李富成．正反转性能相同的叶片式风马达主要参数的设计计算．凿岩机械与风动工具，1977（1）

5　黄午．应用“弯角面积函数”计算滑片式风马达．凿岩机械与风动工具，1979（3）