

第 40 篇 滑 动 轴 承

主 编 卜 炎
编写人 卜 炎

第 1 章 滑动轴承的类型、选择和材料

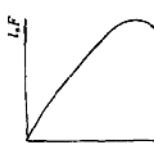
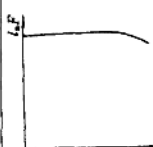
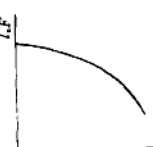
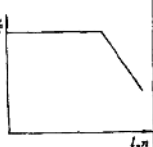
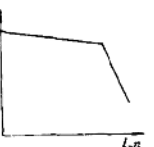
1 滑动轴承的类型(见表 40.1-1)

表 40.1-1 滑动轴承的类型

轴 承 类 型	摩 擦 状 态	润 滑 方 式	润 滑 状 态	计 算 方 法
干摩擦	无润滑轴承	固 体	固 体	考虑磨损的条件性计算
轴 承	固体润滑轴承	涂覆固体润滑剂膜	润 滑	
含油轴承	固体、边界、流体摩擦	浸渍润滑油	固体、边界、流体	近似计算或条件性计算
不完全油膜轴承	的混合状态	脂杯、滴油、油绳、油垫润滑	润滑的混合状态	
动压轴承	流 体	循 环	流 体	求解二维雷诺方程
静压轴承	摩 擦	润 滑	润 滑	解流量连续性方程

2 各种轴承的性能比较(表 40.1-2)

表 40.1-2 各种轴承的性能比较

轴承性能	动压轴承	静压轴承	含油轴承	干摩擦轴承	滚动轴承
承 载					
特 性					
运 转 性 能	阻 尼	中~大	大	较小	最小
	起动转矩	中~大	最小	大	最大
	功 耗	小~大,与润滑剂粘度、转速成正比	最小~中,与润滑剂粘度、转速成正比,另有泵功耗	较大,与载荷有较大关系	最大,与轴瓦材料有较大关系
	旋转精度	高	最高	中	低
	运 转 噪 声	很小	轴承本身很小,但泵还有噪声	很小	稳定载荷下较小
	运 转 寿 命	有限寿命,决定于起动次数	无限寿命	有限寿命,决定于轴瓦材料的耐磨性	有限寿命
环 境 适 应 性 能	高 温	温度限制决定于润滑剂的抗氧化能力或轴瓦材料		温度限制决定于润滑剂的抗氧化能力	温度限制决定于轴瓦材料
	低 温	温度限制决定于起动转矩			温度限制决定于轴瓦材料
	真 空	可以,但要用特殊润滑剂			最好
	潮 湿	好		可以,注意密封	可以,轴颈和轴瓦材料必须耐腐蚀
	尘 埃	可以,注意润滑系统密封和润滑剂过滤	好,注意润滑系统密封和润滑剂过滤	可以,注意密封	好,密封更好
	辐 射	受润滑剂限制			好

(续)

轴承性能		动压轴承	静压轴承	含油轴承	干摩擦轴承	滚动轴承
适 应 性	频繁起动	差	好			
	频繁改向	差	好	可以	很好	
	摆 动	不可以	可以			
制 造 维 护 性 能	对制造和装配 误差的敏感性	差	中	好		中
	标准化程度	较差	最差	好	较好	最好
	润 滑	循环润滑,润滑剂用 最多,润滑装置复杂	循环润滑,润滑剂 用量最多,润滑装置 复杂	简单,用油量少	无需润滑	大多数简单,润滑 剂用量有限
	维 护	经常检查,定期清洗润滑系统和更换润滑 油		定时补充润滑油	无需维护	定期清洗并更换 润滑剂
成 本		制造成本高,运转成本决定于润滑系统		较低	最低	低

表 40.1-3 常用金属轴瓦材料及其基本性能

轴 瓦 材 料		$[\rho]$ /MPa	$[\nu]$ /m·s ⁻¹	$[\rho\nu]$ /MPa·m·s ⁻¹	最高工 作温度 $\theta_{\max}/^{\circ}\text{C}$	硬 度 (HBS)	摩 擦 相 容 性	顺 应 性	耐 蚀 性	抗 疲 劳 性	一 般 用 途				
锡基合金	SnSb12Pb10Cu4	25	80	20	150	29	优	优	优	劣	用于高速、重载下工作的重要轴承,作双金属轴瓦的减摩层。循环载荷下易疲劳。价贵				
	SnSb12Cu6Cd1					34									
	SnSb11Cu6					27									
	SnSb8Cu4					24									
	SnSb4Cu4					20									
铅基合金	PbSb16Sn16Cu2	15	12	10	150	30	优	优	中	劣	用于中速、中载下工作的轴承,作双金属轴瓦的减摩层。不宜承受显著的冲击载荷				
	PbSb15Sn5Cu3Cd2	5	8	5		32									
	PbSb15SnAs														
	PbSb15Sn10	20	15	15		24									
	PbSb15Sn5					20									
	PbSb15Sn5					20									
PbSb15Sn6	12				18										
铜基合金	CuSn8Pb2	8	3	15	280	60	中	劣	良	优	制作不重要的轴承,需充分润滑				
	CuSn8P					160					用于重载、高速、冲击载荷轴承				
	CuSn12Pb2					80					适宜在有冲击载荷下工作的轴承				
	CuSn5Pb5Zn5					65					作为一般用途的轴承材料				
	CuSn7Pb7Zn3					65					制作不重要的轴承,需充分润滑				
	CuSn10P1	15	90	适宜在有冲击载荷下工作的轴承											
	CuPb9Sn5					60	中	差	良	良	一般用作汽轮机、发动机、机床、				
	CuPb10Sn10					70					汽车转向器和差速器轴承				
	CuPb15Sn8					65					中载、中到高速的冷轧机轴承				
	CuPb17Sn5					95									
	ZCuPb20Sn5					55					中	差	差	良	汽车变速箱、内燃机摇臂轴轴套
	CuPb24Sn4					80									
	CuPb30					25					12	30	25	良	良
	CuAl10Fe3	20	5	15		110	劣	劣	良	良	适宜制作在海洋环境中工作的轴承				
	CuAl10Fe5Ni5					140									
	CuAl9Fe4Ni4	15	4	12		160									
	CuZn31Si1						200	160	中	劣	优	优	用于重载、高速、冲击载荷轴承		
	CuZn37Mn2Al12Si	10	1	10		150		用于润滑不良条件下的轴承							

(续)

轴瓦材料		$[\rho]$ /MPa	$[\nu]$ /m·s ⁻¹	$[\rho\nu]$ /MPa·m·s ⁻¹	最高工 作温度 $\theta_{\max}/^{\circ}\text{C}$	硬度 (HBS)	摩擦 相容 性	顺 应 性	耐 蚀 性	抗疲 劳性	一 般 用 途
铝 基 合 金	A1Sn6Cu1Ni1					40	中	中	优	优	用于高速、中到重载轴承,如柴 油机、压气机、制冷机轴承
	A1Sn6Cu					45					
	A1Sn20Cu	35	14		170	40	良	良	良	中	
	A1Si4Cd					40					
	A1Si11Cu					60					
	A1Cd3CuNi					55					
耐 磨 铸 铁	锡铸铁					220	劣	劣	优	优	低速、不重要的轴承
	锡铜铸铁					220					
	铬铜铸铁	9				250					
	锡铸铁	9									

注:材料的加工方法有:沙型铸造、金属型铸造、离心铸造、连续铸造、烧结、轧制和挤压,表中给出的硬度是最高硬度。

3 常用滑动轴承轴瓦材料及其性能

用作滑动轴承轴瓦的材料有金属材料、粉末冶金材料和非金属材料。动、静压轴承,不完全油膜轴承一般都用金属材料,含油轴承常用粉末冶金材料,干摩擦轴承常用非金属材料。用作轴瓦的金属材料有铸铁和锡基、铅基及铝基轴承合金,表 40.1-3 列出的轴承合金有的仅能作双层轴瓦的减摩层,有的既可作减摩层还可制作单层轴瓦。

表 40.1-4 给出含油轴承常用粉末冶金材料及其

基本性能。

滑动轴承轴瓦用非金属材料有塑料、碳-石墨、陶瓷、木材和橡胶等,表 40.1-5~7 分别列出轴瓦用塑料、碳-石墨和陶瓷材料的基本性能。

碳-石墨是一种耐高温、有自润滑性的轴瓦材料,它高温稳定性好,耐化学腐蚀能力强。热导率比塑料高、线胀系数比塑料小。在大气和室温条件下与镀铬表面的摩擦因数和磨损率都很低。但是在湿度很低时,它会丧失润滑性。碳-石墨的品种和基本性能见表 40.1-6。

表 40.1-4 含油轴承常用粉末冶金材料及其基本性能

轴瓦材料		牌 号	含油率 (%)	表面硬度 (HBS)	最大许用载荷 $[\rho]/\text{MPa}$				
					线 速 度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$				
					~ 0.10	$>0.10 \sim 0.25$	$>0.25 \sim 0.50$	$>0.50 \sim 1.00$	$>1.00 \sim 1.50$
铁 基	铁	FZ1160	≥ 18	30~70	15.30	15.92	7.34	7.50	5.17
		FZ1165	≥ 12	40~80					
	铁碳	FZ1260	≥ 18	50~100					
		FZ1265	≥ 12	60~110					
	铁碳铜	FZ1360	≥ 18	60~110					
		FZ1365	≥ 12	70~120					
	铁铜	FZ1460	≥ 18	50~100					
		FZ1465	≥ 12	60~100					
铜 基	铜锡	FZ2170	≥ 18	20~50	8.20	12.20	7.36	6.53	4.81
	铅锌	FZ2175	≥ 12	30~60					
	铜锡	FZ2265	≥ 18	25~55					
		FZ2270	≥ 12	35~65					
	铜锡铅	FZ2365	≥ 18	20~50					

注:含油率为体积分数。

表 40.1-5 轴瓦用塑料的基本性能

轴 瓦 材 料			硬度(HBS)	摩擦因数	[ρ]/MPa	最高工作温度 $\theta_{max}/^{\circ}\text{C}$	说 明
热固性塑料	酚醛层压石棉布材	填充石墨	30~45	0.10~0.40	35	150~170	强度高、耐磨、耐酸
	酚醛层压布材	或 MoS_2	30~35			85	和弱碱、抗振性好
热塑性塑料	聚酰胺(尼龙)	单层轴瓦(套)	7.8~17.2	0.10~0.43	10	85~120	耐油、耐磨、耐冲击
		金属衬背轴瓦减摩层		0.17~0.43		120	与疲劳、噪声很低,但
		填充 MoS_2	—	0.20~0.42	14	90~100	易吸湿,蠕变性大,增
		填充石墨				120~158	强后性能改善
	聚醚醚酮	单层轴瓦(套)	—	—	—	—	耐磨、耐热、耐冲击
		金属衬背轴瓦减摩层		0.10~0.15	140	260	与疲劳、成型加工性
		填充固体润滑剂	100~118*	0.11			好。增强后强度高
		填充纤维					
	均聚甲醛	单层轴瓦(套)	11.4	0.25~0.35		104	耐磨、极耐疲劳
		金属衬背轴瓦减摩层				—	
		填充 PTFE				91	
						200	不耐冲击
	聚苯硫醚	无填充物	—	0.34			
		填充石墨		0.26			
	聚酰胺	无填充物	92~102*	0.29			长期耐热性好,适
	亚胺	填充石墨	68~94*	0.03~0.25			于高温工作
	聚对苯二甲酸丁二酯		132~151	0.30~0.33		150	性能稍差,价格低
氟塑料	聚四氟乙烯	无填充物	—	0.05~0.20	2	250	能耐任何化学试剂的侵蚀。但价格高,承载能力低,刚度和尺寸稳定性差。增强后,耐磨性成百倍的提高,热导率、抗压强度、压缩弹性模量均有增加
		酚醛层压材衬背		0.10~0.40	35	150	
		填充玻璃纤维	5.6~6.9	0.20~0.24			
		填充锡青铜粉	8.1	0.18~0.20			
	聚四氟乙烯	填充石墨	5.1~5.3	0.16	7	250	
		填充碳纤维	5.8	0.19			
		填充锡青铜粉、玻璃纤维和石墨	—	—			
		填充玻璃纤维和石墨	5.2~5.9	0.15~0.17			
	聚四氟乙烯	填充聚苯	6.4	0.11			
	浸渍聚四氟乙烯棉织物衬层		—	0.05~0.25	700	120	
	浸渍聚四氟乙烯玻璃丝织物衬层					150	

注:带*号为洛氏硬度 HRM。

表 40.1-6 轴瓦用碳-石墨及其基本性能

轴瓦材料	电化石墨	碳-石墨					
		—	铜粉	铜粉、铅粉	锡锡合金粉	热固性树脂	金属、 MoS_2
硬度(HS)	30~55	40~65	—	—	55~60	50~70	—
摩擦因数	0.15~0.32	0.15~0.35	0.15~0.32			0.13~0.49	0.10~0.15
[ρ]/MPa	1.4	2	4	3	2	70	
最高工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	500	350~450	350	200	300	350~500	

各种轴瓦用陶瓷材料的基本性能见表 40.1-7。

表 40.1-7 轴瓦用陶瓷及其基本性能

陶瓷材料	密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	抗弯强度 σ_{bb}/MPa	弹性模量 E/GPa	硬度 (HV)	热导率 $\lambda/(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1})$	线胀系数 $\alpha/^{\circ}\text{C}^{-1}$	最高工作温度 $\theta/^{\circ}\text{C}$
SiC	3.1	785	390	2600	79.5	3.9×10^{-6}	1400~1500
Si_3N_4	3.2	785	295	1400	16.7	3.0×10^{-6}	1100~1400
Al_2O_3	3.83~3.93	295~440	375	90~95*	19.3	$(7.90\sim 8.26)\times 10^{-6}$	1700~1750

材料的物理性能是选择轴瓦材料时的重要参考,表 40.1-8 列出各种轴瓦材料的物理性能的平均值。

4 滑动轴承型式的选择

滑动轴承的主要工况参数是载荷 F 和转速 n 。

除了静压轴承和固体润滑轴承之外,滑动轴承在工况变化时,摩擦状态会转换。在固体摩擦为主的状态下,摩擦副材料的抗压强度或疲劳强度决定轴承的承载能力;在边界摩擦为主的状态下,轴承的温升决定轴承的承载能力;在液体摩擦(动力润滑)状

态下,最小油膜厚度决定轴承的承载能力。直径、宽度确定的一个轴承,不同转速下的极限载荷变化,见图 40.1-1。

由图可见,这种轴承最危险的区域是在中等转速范围。所以,轴承如果在载荷下启动或停车,必须很快加速或减速,以便顺利通过该危险区域。

表 40.1-8 轴瓦材料的物理性能

轴瓦材料	抗拉强度 σ_b/MPa	弹性模量 E/GPa	密度 $\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	热导率 $\lambda/\text{W}(\text{m} \cdot \text{C}^{-1})^{-1}$	线胀系数 α/C^{-1}
锡基轴承合金	80~90	48~57	7300~7380	33.5~38.5	23.1×10^{-6}
铅基轴承合金	60~80	29	9300~1020	20.9~25.1	$(24.0 \sim 28.0) \times 10^{-6}$
铜基轴承合金	150~700	75~120	7600~9000	27~71	$(16 \sim 19) \times 10^{-6}$
铝基轴承合金	100~250	71	2650~2900	184~210	$(23.0 \sim 24.0) \times 10^{-6}$
耐磨铸铁	200~350	—	—	—	—
铁基粉末冶金	200~400*	80~100	5700~6700**	41.9~125.6	$(11 \sim 12) \times 10^{-6}$
铜基粉末冶金	150~200*	60~70	6200~7800**	41.9~58.6	$(16 \sim 18) \times 10^{-6}$
酚醛层压材	150~250*	7.0	1300~1600	0.38	$(80/25) \times 10^{-6}$
聚酰胺(尼龙)	73.6~175*	2.8	1030~1700	0.04~0.26	$(80 \sim 170) \times 10^{-6}$
均聚甲醛	80.6~82.0*	3.1	1420~1540	0.23	$(14 \sim 58) \times 10^{-6}$
聚苯硫醚	127~183*	—	1340	0.29	54×10^{-6}
聚酰亚胺	124~276*	—	1430~1650	0.33~2.22	$(23 \sim 63) \times 10^{-6}$
聚醛酮	—	1.0	1320~1470	—	$(9 \sim 15) \times 10^{-6}$
聚四氟乙烯	4.9~22.6*	0.4~1.1	2180~3920	0.26~0.33	$(116/14) \times 10^{-6}$
碳-石墨	40~200*	4~28	1500~2400	11~126	$(1.4 \sim 20.0) \times 10^{-6}$
木材	8	12	680	0.19	5×10^{-6}
橡胶	—	—	1200	0.16	77×10^{-6}

注: * 为抗压强度; ** 为含油密度;

① 分子为垂直瓦面的值,分母为沿瓦面的值; ② 分子为增强后的值,分母为未增强的值。

可以参考图 40.1-2、3,按载荷和转速选择适宜的滑动轴承类型。

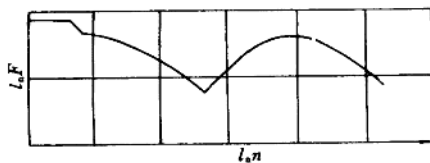


图 40.1-1 典型轴承载荷-速度曲线

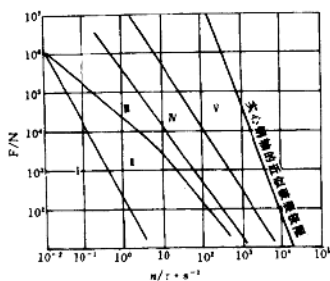


图 40.1-2 各类径向滑动轴承的适用区域

I — 干摩擦轴承、含油轴承和滚动轴承适用区 II — 含油轴承、不完全油膜轴承、滚动轴承适用区 III — 滚动轴承适用区 IV — 动压轴承、滚动轴承适用区 V — 动压轴承适用区(静压轴承各区均适用)

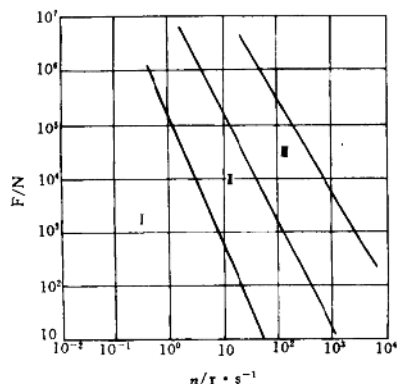


图 40.1-3 各类止推滑动轴承的适用区域

I — 干摩擦轴承、含油轴承、不完全油膜轴承、滚动轴承适用区 II — 动压轴承、滚动轴承适用区 III — 动压轴承适用区(静压轴承各区均适用)

5 滑动轴承的基本形式

径向动压轴承的基本形式见图 40.1-4, 止推滑动轴承的基本形式见图 40.1-5。

图 40.1-4 中: a、b、c 三种形式结构简单、制造方便、承载能力大,但高速稳定性差,易产生油膜振荡;在上方(非承载区)设置油槽(形式 b),有利于减少摩擦、降低温升、提高承载能力,且可收集油中杂质;两侧设置油槽(形式 c),供油量,轴承温升低;是轴承载荷方向基本不变时主要采用的形式。

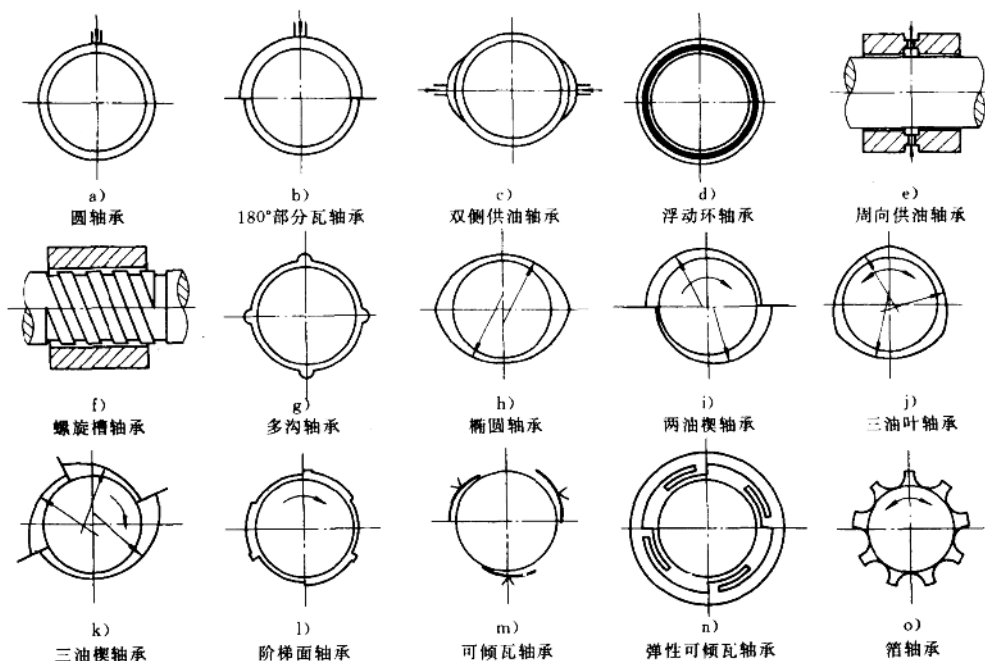


图 40.1-4 径向动压轴承的基本形式

d 形式的浮动环随轴转动, 转速约为轴转速的 $1/2$, 使轴颈与浮动环、浮动环与轴瓦间的相对速度下降, 从而降低了功耗和温升。环内外均能形成压力油膜, 故高速稳定性好。是小型高速轻载轴承采用的主要形式。

e 形式由中间周向油槽向两侧供油, 承载能力较低, 是载荷方向变动, 尤其是旋转载荷轴承能采用的形式。

f 形式利用螺旋槽的泵入作用给轴承供油, 并且槽与台构成阶梯, 可以形成动压油膜。它供油充分、轴承温升低、高速稳定性好。

g~l 形式都是固定瓦多油楔轴承形式, 运转时形

成多个压力油膜。与圆轴承形式比较, 承载能力有所下降, 功耗有所上升, 但旋转精度和定心性较好, 刚度和阻尼较大, 高速稳定性提高。是高速轻载轴承常常采用的形式。

m、n 形式是可倾瓦多油楔轴承形式, 能随载荷、速度的变化自动调整瓦块斜度, 是稳定性最好的一种轴承形式, 主要是高速、轻载轴承采用。

o 形式是箔轴承形式, 它工作稳定可靠、承载大、功耗低, 对环境污染、温度变化、表面变形及外部冲击载荷、振动等有较强承受能力。要求的制造精度较低。

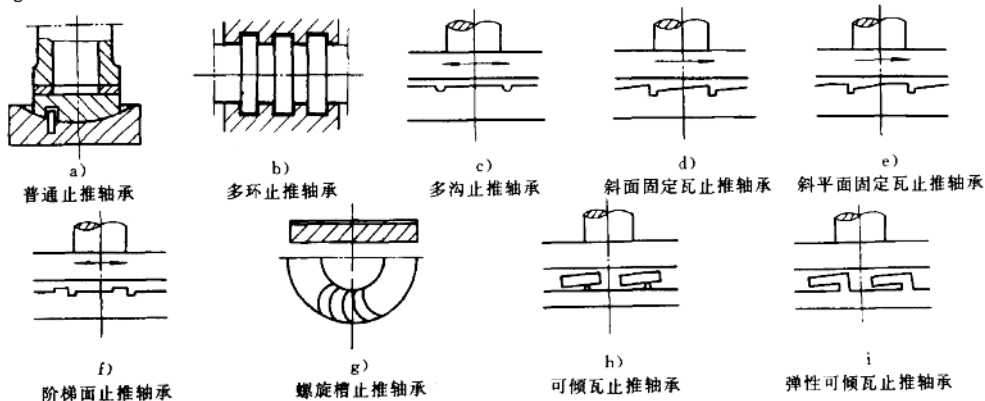


图 40.1-5 止推轴承基本形式

图 40.1-5 中: a、b 形式为普通止推轴承, 不易获得完全油膜润滑, 只是不重要轴承采用的形式。其中 a 为端轴颈, 轴承直径受轴直径尺寸的限制, 承载能力有限。b 是环面轴颈, 采用多环以增加支承面积。

c~g 形式为固定轴瓦止推轴承形式, 是止推轴承的最主要形式, 其中 d 形式只适用于卧式轴承。

h、i 形式为可倾瓦止推轴承形式, 是大、中型, 重要止推轴承常采用的形式。

径向止推轴承采用的主要形式是 H 形和锥形, 见图 40.1-6。

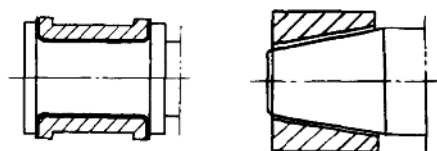


图 40.1-6 径向止推轴承的形式

6 滑动轴承设计资料(表 40.1-9)

表 40.1-9 滑动轴承设计资料

机 器 名 称	轴 承 形 式	许用压力 ^① [p]/MPa	许用速度 [v]/m·s ⁻¹	许用 pv 值 [pv] /MPa·m·s ⁻¹	适宜粘度 η/Pa·s	(ηn/p) _{min} /10 ⁻⁹	相对间隙 ψ	宽径比 B/D
金属切削机床	主轴承	0.5~5.0	—	1~5	0.04	2.5	<0.001	1~3
传 动	轻载轴承	0.15~0.30	—	1~2	0.025~0.06	230	0.001	1~2
装 置	重载轴承	0.5~1.0	—	—	—	66	—	—
减速机	各轴轴承	0.5~4.0	1.5~6.0	3~20	0.03~0.05	83	0.001	1~3
轧钢机	主轴承	5~30	0.5~30	50~80	0.05	23	0.0015	0.8~1.5
冲压机、 剪床	主轴承	28	—	—	0.1	—	0.001	1~2
	曲柄轴承	55	—	—	—	—	—	—
铁 路	货车轴承	3~5	1~3	10~15	0.1	116	0.001	1.4~2.0
车 辆	客车轴承	3~4	—	—	—	—	—	—
发电机、 电动机、 离心泵	转子轴承	1~3	—	2~3	0.025	416	0.0013	0.8~1.5
汽轮机	主轴承	1~3	5~60	85	0.002~0.016	250	0.001	0.8~1.25
活塞式 压气机和泵	主轴承	2~10	—	2~3	—	66	0.001	0.8~2.0
	连杆轴承	4~10	—	3~4	0.03~0.08	46	<0.001	0.9~2.0
	活塞销轴承	7~13	—	5	—	23	<0.001	1.5~2.0
精纺机	锭子轴承	0.01~0.02	—	—	0.002	25000	0.005	—
汽车发动机	主轴承	6~15	6~8	>50	—	33	0.001	0.35~0.7
	连杆轴承	6~20	6~8	>80	0.007~0.008	23	0.001	0.5~0.8
	活塞销轴承	18~40	—	—	—	16	<0.001	0.8~1.0
航空发动机	主轴承	12~22	8~10	>80	—	36	0.001	0.4~0.6
	连杆轴承(排形)	13~20	8~10	>100	0.007~0.008	23	0.001	0.7~1.0
	连杆轴承(星形)	20~26	8~10	>100	—	23	0.001	0.7~1.0
	活塞销轴承	50~85	—	>100	—	13	<0.001	0.8~0.9
2 冲程柴油机	主轴承	5~9	1~5	10~15	—	58	0.001	0.6~0.75
	连杆轴承	7~10	1~5	15~20	0.02~0.065	28	<0.001	0.5~1.0
	活塞销轴承	9~13	—	—	—	23	<0.001	1.5~2.0
4 冲程柴油机	主轴承	6~13	1~5	15~20	—	47	0.001	0.45~0.9
	连杆轴承	12~15	—	20~30	0.02~0.065	23	<0.001	0.5~0.8
	活塞销轴承	15~20	—	—	—	12	<0.001	1~2

注: 本表仅供参考。

① 与轴瓦材料和润滑方法有关: 小值用于滴油、油环或飞溅润滑, 轴瓦材料强度较低者; 大值用于压力供油润滑, 轴瓦材料强度较高者。

7 普通滑动轴承的润滑

普通滑动轴承在大多数应用中矿物油和润滑脂是最合适的润滑剂。如果轴承的工作温度很高,则需用合成油。在基些应用场合,气体、水和经加工的液体也能作润滑剂用。

矿物油有较宽的粘度范围,可以加入各种添加剂,获得需要的性能,适用于各种载荷和速度。

合成油可以耐高温,挥发性低,粘温特性好,不易燃,但粘度范围有限,价格高,只在某些场合应用。

润滑脂仅用于运转速度 $1\sim 2\text{m/s}$ 以下及断续运转的场合,它能适应有污物和潮湿的环境。

气体和经过加工的液体只在特殊场合使用。

7.1 润滑剂粘度

对于滑动轴承,润滑剂最重要的性质是它的粘度。如果粘度太低,轴承的承载能力就不够;如果太高,功率损耗和运转温度就高。图 40.1-7 给出在一定范围的速度和载荷内许用的最小粘度值(轴承平均温度下的粘度)。

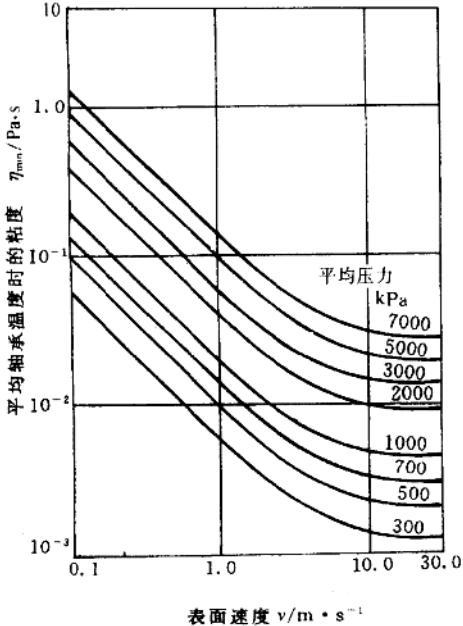


图 40.1-7 滑动轴承的润滑剂粘度

矿物油的粘度随温度升高而降低,如果没有精细的资料,图 40.1-8 可作为参考。

润滑脂的性能在很大程度上决定于基础油的粘度和稠化剂的种类。常用润滑脂的主要性能概括地列在

表 40.1-10 上,供选择时参考。

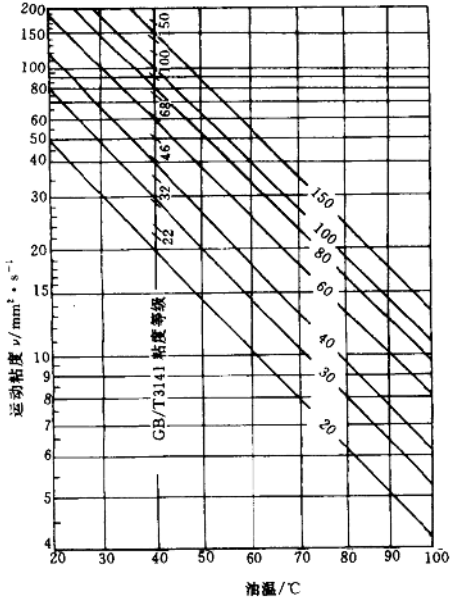


图 40.1-8 润滑油粘度-温度近似关系

表 40.1-10 润滑脂的主要性能

润滑脂品种	工作温度范围	特 性
锂基润滑脂	$-30\sim 135\text{ }^{\circ}\text{C}$	一般用途
钙基润滑脂	$-5\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	价格便宜
膨润土润滑脂	$-30\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$	温度范围大

7.2 供油方法

普通滑动轴承最常用的供油方法见表 40.1-11。

表 40.1-11 润滑剂的供给方法

油 润 滑		
供给方法	主 要 特 性	应 用
手 工 加 油	非自动、不规则的。原始成本低而维护成本高	低速、廉价的轴承
滴 油 或 油 绳 供 油	非自动、可调节的。中等有效,价廉	低速、不重要的轴承
油 环 或 油 盘 供 油	自动、有效、可靠、价廉。主要用于水平轴	$p \leq 1.7\text{MPa}$, $v \leq 1.0\text{m/s}$ 的泵、风扇、大型电动机的轴承
油 池 或 溅 油 供 油	自动、有效、可靠。需要不漏油的壳体,最初成本高	一般用途轴承、推力轴承、机床轴承
压力供油	自动、准确可调、有效、可靠。最初成本高	高速、重载轴承,如机床、发动机、压缩机等

(续)

脂 润 滑		
供给方法	主 要 特 性	应 用
供脂方法	适用锥入度等级	供脂量/ $\text{cm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
脂枪压入	0~3	$4d \times 10^{-2}$ d —轴颈直径(m)
压力脂杯	0~5	
集中润滑	0~2	
油池润滑	≥ 6	

8 线速度与压力

8.1 径向轴承

线速度

$$v = \pi d n \quad (40.1-1)$$

式中 d ——轴颈直径； n ——轴颈转速。

压力

$$p = F / (BD) \quad (40.1-2)$$

式中 F ——轴颈上的载荷； B ——轴瓦宽度； D ——轴瓦孔径。

8.2 止推轴承

$$\text{线速度} \quad v = \pi D_m n \quad (40.1-3)$$

$$D_m = (D_1 + D_2) / 2$$

式中 D_1 ——轴承内径； D_2 ——轴承外径。

$$\text{压力} \quad p \approx 0.4F / (BD_m) \quad (40.1-4)$$

式中 B ——轴瓦宽度。

第 2 章 压力供油径向圆轴承和部分瓦轴承

普通径向轴承轴颈横截面呈圆形,若轴瓦包角为 360° ,称为圆轴承,若轴瓦包角小于 360° ,称为部分瓦轴承。当轴颈中心偏离轴承孔的中心时,轴承间隙具有收敛楔形。压力供油提供充足的润滑油,可以构成动压轴承。间隙最大处的油膜厚度为最大油膜厚度 h_1 ,间隙最小处的油膜厚度为最小油膜厚度 h_2 ,轴颈中心偏离的距离称为偏心距 e ,它与半径间隙 h_0 之比称为偏心率 ϵ 。

表 40. 2-1 供油槽形式及其特点

油槽形式	单 轴 向 油 槽		双 轴 向 油 槽	周 向 油 槽
简 图				
特 轴 承 座	整 体	对 开	对开/整体	对开/整体
轴 颈 转 向	单 向		双 向	向
点 载 荷 方 向	不 变		变 化	变 化

1 供油槽与供油装置

润滑油以 $0.07\sim 0.35\text{MPa}$ 的压力泵入轴瓦的油槽中。供油温度决定于循环润滑系统的冷却效果,对于高速轴承,供油温度定为 40°C 左右是合适的。

向轴瓦内最合适的供油方法,是在轴瓦不受载的一侧开一横跨轴承大部分宽度的轴向油槽。压力供油径向轴承常用供油槽形式及其应用场合见表 40. 2-1。

2 稳态性能计算

计算目的在于确定使轴承在液体动力润滑状态下

安全运转的有关参数。这样,轴承可以产生一个完全的承载油膜(图 40. 2-1)。

本计算适用于压力供油、稳定载荷。

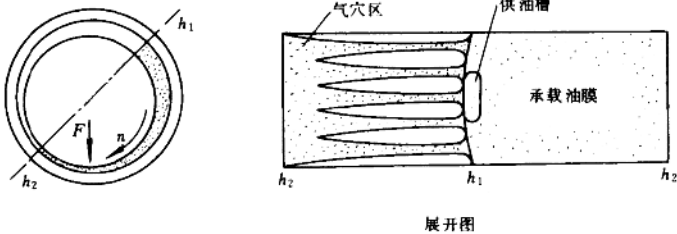


图 40. 2-1 完全油膜

2.1 承载能力

轴承上的平均载荷 $p_m = F/(BD)$, 相对间隙 $\psi = h_0/r$, η_e 为有效油温下的油粘度, n 为转速, $[(p_m\psi^2/(\eta_e n))]$ 是个量纲为 1 的数群, 令载荷因数

$$\bar{F} = p_m\psi^2/(\eta_e n) \tag{40. 2-1}$$

它与偏心率 ϵ 、宽径比 $\bar{B} (= B/D)$ 、轴瓦包角 α 有关。

$\alpha=360^\circ$ 时, 在不同宽径比 $\bar{B}$ 下, 载荷因数 $\bar{F}$ 与偏心率 ϵ 的关系曲线见图 40. 2-2。

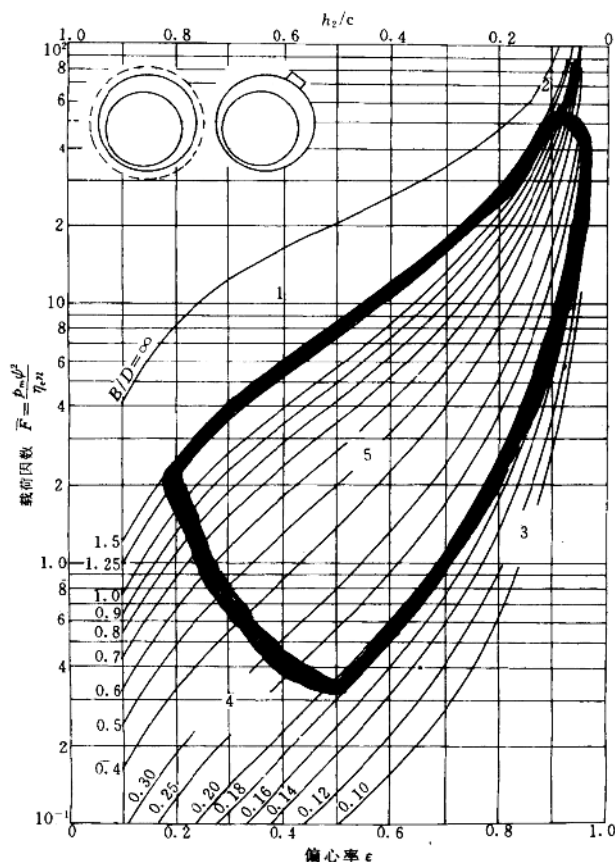


图 40.2-2 压力供油径向圆轴承的承载能力

1—轴承过宽 2—载荷过大 3—轴承过窄 4—有油膜振荡危险
5—推荐使用范围(对周向油槽,图中的 B/D 应为 $B/2D$)

已知转速,选定润滑油,确定轴承间隙后,可由图 40.2-2 得出许用最大偏心率下允许的最大载荷,或者给定载荷下的偏心率。
 $\alpha \neq 360^\circ$ 时,可用式(40.2-2)近似计算不同轴瓦包角下的载荷因数 $\bar{F}$:

$$\begin{aligned} \bar{F}/(2\pi) = & A_1 x + A_2 x \bar{B} + A_3 x \bar{B}^2 + A_4 x \bar{B}^3 + A_5 \bar{B}^2 + A_6 (1 - \bar{B})^2 + A_7 \bar{B}^3 + A_8 \epsilon + A_9 \epsilon^6 + A_{10} \epsilon^7 \\ & + A_{11} (\epsilon + B_3)^2 + A_{12} \epsilon (B_4 - \bar{B}) + A_{13} \epsilon^2 \bar{B}^{1/2} + A_{14} \epsilon^3 (\bar{B} + B_5)^{1/2} + A_{15} \epsilon^5 \bar{B}^{1/2} + A_{16} \epsilon (\bar{B} + B_6)^{-1} \\ x = & \bar{\epsilon} \bar{B}^2 [\pi (1 - \epsilon)^2 + 16 \epsilon]^{1/2} (\epsilon - 1) B_1 / [2(1 - \epsilon)^2 (\epsilon + B_2)] \end{aligned} \quad (40.2-2)$$

式中 $A_1 \sim A_{16}, B_1 \sim B_6$ 是 22 个常数,可查表 40.2-2。

表 40.2-2 用于近似计算部分瓦轴承特性数的各 A, B 常数值

常数	α			
	180°	150°	120°	90°
A_1	0.988573753	0.703823256	1.31583192	1.27172763
	0.31081226	0.601506483	0.808291103	0.803513347
A_2	-3.26418691	-2.34882067	-4.53977618	-4.28651878
	-0.561581221	-1.03498689	-1.36348617	-1.40956078

(续)

常 数	α			
	180°	150°	120°	90°
A_3	4.17804273	3.06900339	6.03056193	5.62173132
	0.368236227	0.668512226	0.862090637	0.926330394
A_4	-1.92452476	-1.44853529	-2.85551669	-2.65298400
	-0.085513387	-0.152852611	-0.192847252	-0.21471117
A_5	-20.9849028	-22.5216723	-15.8386219	-10.5316623
	-4.17653864	-2.92995210	-3.70433733	-2.63328437
A_6	-0.682883643	-0.745301544	-0.497037779	-0.284616456
	0	0	0	0
A_7	0.079479758	0.052343477	0.028913947	0.067056983
	0.031384639	0.013466269	0.025547057	0.017363602
A_8	-15.7919058	-17.5534406	-12.1970941	-7.67361324
	0.16958317	1.05858567	-0.497081725	-0.813486172
A_9	-41.1721761	-48.2708522	-35.3137032	-25.4734487
	-40.0564779	-17.0875581	-14.7857171	-11.1377733
A_{10}	17.8189579	24.268799	15.6976009	11.8050232
	36.2343930	13.5642899	9.57403865	7.93326856
A_{11}	0.034903997	0.036695599	0.03201132	0.018996975
	0.009058714	0.005881982	0.009481231	0.003930798
A_{12}	-1.78426471	-1.67269454	-1.46174293	0.359002396
	0.699476324	0.389991377	1.12771454	0.993811382
A_{13}	41.0471292	43.5520846	30.6795016	20.8788616
	6.51442831	4.69598547	6.72182844	4.94017703
A_{14}	-50.1257269	-52.7170703	-38.2938215	-25.6489848
	-6.11057158	-4.33041636	-7.10380095	-5.04961599
A_{15}	34.3158854	35.7700013	27.6323659	21.1641448
	8.53473019	6.51924860	7.38194009	5.59563335
A_{16}	18.5083337	20.1939484	15.7454073	6.30979659
	-4.93830196	-3.82199170	-3.49285732	-2.56430783
B_1	2.02	2.01	2.04	1.99
	2.02	2.04	2.05	1.99
B_2	-1.02	-1.01	-1.04	-1.04
	-1.02	-1.06	-1.1	-1.09
B_3	1.38	1.39	1.34	1.34
	1.45	1.36	1.30	1.42
B_4	2.01	1.99	2.04	2.05
	2.00	2.06	2.02	2.04
B_5	-0.01	-0.01	0	-0.04
	-0.03	-0.04	0.1	0.02
B_6	0.97	0.99	1.06	0.94
	1.03	1.00	0.98	1.06

注:各常数上行的值适用于 $0.25 \leq \bar{B} < 0.75$, 下行的值适用于 $0.75 \leq \bar{B} < 1.5$ 。

2.2 流量

轴承上需要有供油槽,供油槽分轴向油槽和周向油槽两种。通过供油槽径向轴承的供油量与油槽形式有关。

2.2.1 轴向油槽的供油量

供油量 q 由 q_v 和 q_p 两部分组成, q_v 是因轴颈旋转从供油槽带入轴承间隙的速度供油量, q_p 是靠供油压力从油槽压向轴承间隙的压力供油量。

通过轴承间隙的计算流量为 q_E , 若 $q_v + q_p \geq q_E$, 则润滑油能充满轴承间隙, 形成完全油膜, 否则只能形成不完全油膜。令计算流量因数

$$\bar{q}_E = q_E / (\psi n B D^2) \quad (40.2-3)$$

$\alpha = 360^\circ$ 时, 它与 ϵ 的关系曲线见图 40.2-3、4, 令速度供油量因数

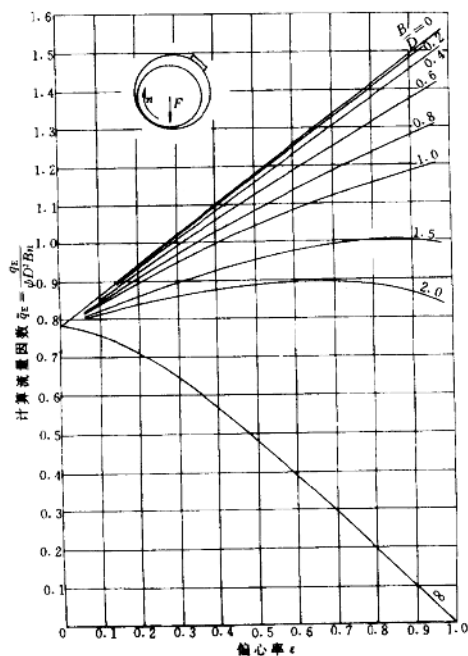


图 40.2-3 压力供油径向圆轴承的计算流量因数 $\bar{q}_E$
(单轴向油槽, 位于最大油膜厚度处)

$$\bar{q}_v = q_v / (\psi a n D^2) \quad (40.2-4)$$

式中 a —— 供油槽长度 (见图 40.2-3)。

它与 ϵ 的关系曲线见图 40.2-5、6。

压力供油量因数 $\bar{q}_p$ 的表达式为

$$\text{单轴向油槽} \quad \bar{q}_p = \eta q_p / (\rho_s h_1^3)$$

$$\text{双轴向油槽} \quad \bar{q}_p = \eta q_p / [\rho_s (h_{11}^3 + h_{12}^3)] \quad (40.2-5)$$

式中 η —— 进口油温下油的粘度;

ρ_s —— 供油压力;

h_1 —— 油槽处油膜厚度, 由图 40.2-8 可查出 $(h_1/h_0)^3$ 值。

$\bar{q}_p$ 与油槽形状和尺寸的关系曲线见图 40.2-7。

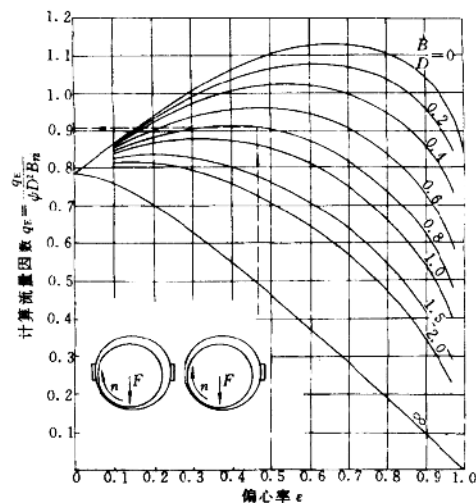


图 40.2-4 压力供油径向圆轴承的计算流量因数 $\bar{q}_E$
(单或双轴向油槽, 位于与载荷作用线垂直的直径上)

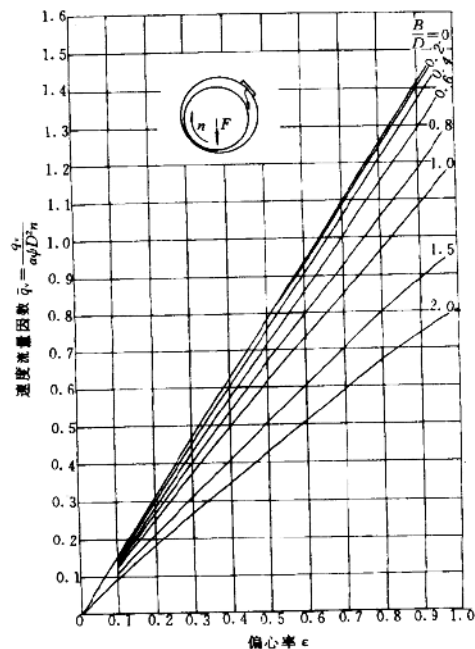


图 40.2-5 压力供油径向圆轴承的速度流量因数 $\bar{q}_v$
(单轴向油槽, 位于最大油膜厚度处)

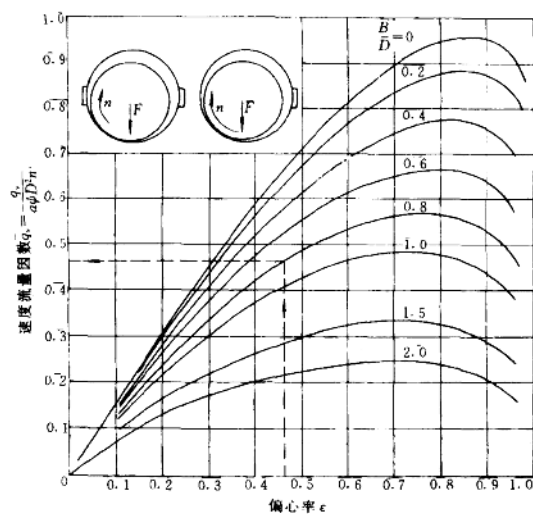


图 40.2.6 压力供油径向圆轴承的速度流量因数 $\bar{q}_v$ (单或双轴向油槽, 位于与载荷作用线垂直的直径上)

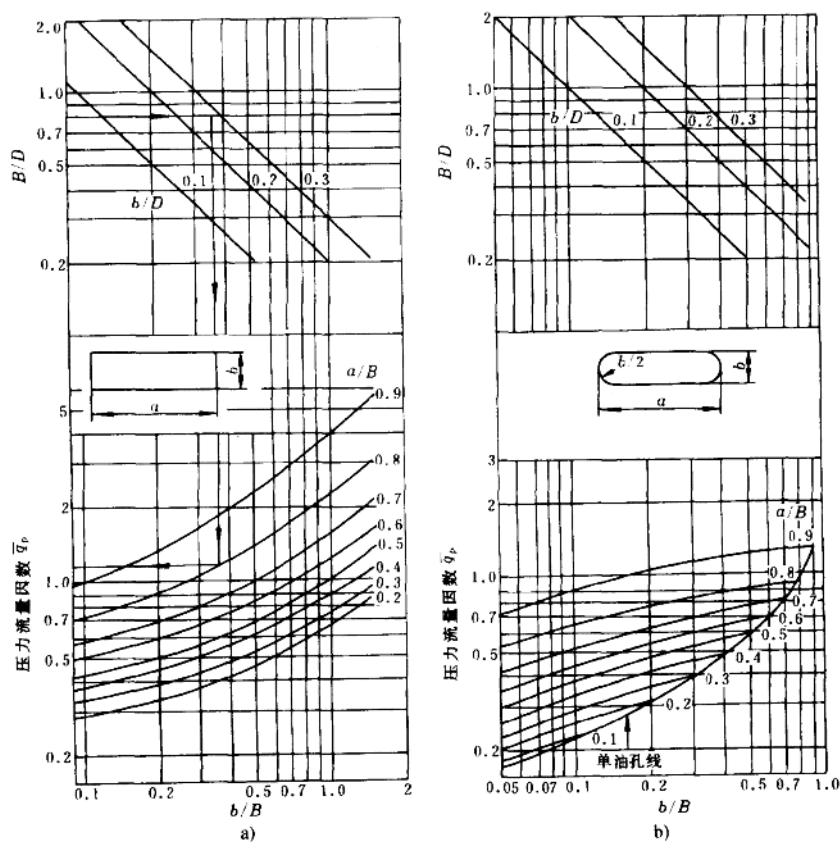
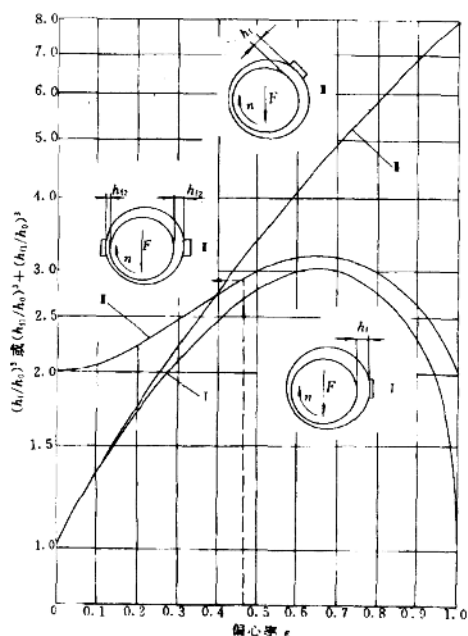


图 40.2.7 压力供油径向圆轴承的压力流量因数 $\bar{q}_p$
a) 方头轴向供油槽 b) 圆头轴向供油槽

图 40.2-8 油槽处的相对油膜厚度 $(h_1/h_2)^3$

$\alpha \neq 360^\circ$ 时, 可用式 (40.2-6)、(40.2-7) 近似计算不

同轴瓦包角下油的总流量, 式中 $\bar{q}$ 是总流量因数, A_i 是 12 个常数, 可查表 40.2-3。

$$2\pi\bar{q} = \epsilon \sum_{i=1}^3 A_i \bar{B}^i + \epsilon^2 \sum_{i=1}^3 A_{i+3} \bar{B}^i + \epsilon^3 \sum_{i=1}^3 A_{i+6} \bar{B}^i + \epsilon^4 \sum_{i=1}^3 A_{i+9} \bar{B}^i \quad (40.2-6)$$

$$q = \bar{q} D^3 n \psi \quad (40.2-7)$$

2.2.2 中间周向供油槽的供油量

周向供油槽只有压力供油量 q_p , 其计算公式为

$$q_p = 0.5232 p_0 h_0^3 (1.5\epsilon + 1) / (\eta_m \bar{B}) \quad (40.2-8)$$

式中 p_0 ——供油压力;

η_m ——温度为 $\theta_m = (\theta_c + \theta_i)/2$ 下油的粘度, θ_c 为轴承承载区的有效油温, θ_i 为进口油温。

2.3 摩擦功耗

摩擦功耗用下式计算

$$P_\mu = \bar{P}_\mu \eta_c B D^2 n^2 / \psi \quad (40.2-9)$$

其中 $\bar{P}_\mu$ 为摩擦功耗因数。当 $\alpha = 360^\circ$ 时, 不同 B/D 下它与 ϵ 的关系曲线见图 40.2-9~11。

$\alpha \neq 360^\circ$ 时, 摩擦功耗因数用下式计算

$$\bar{P}_\mu = \pi \bar{F}_\mu / \psi \quad (40.2-10)$$

表 40.2-3 用于近似计算部分瓦轴承总流量因子的 A_i 常数值

常数	α			
	180°	150°	120°	90°
A_1	0.247848390	0.181172095	0.164218686	0.139785702
	0	0.216704486	0.167115996	0.198834929
A_2	0	0.240245675	0.171844890	0.06667613
	0.459985409	0	0	-0.163999887
A_3	-0.07755919	-0.284905151	-0.240202362	-0.152774636
	-0.231993454	-0.038176123	-0.035091243	0.044759607
A_4	-0.216098048	0.146455377	0.121314875	0.071974139
	1.547864410	0.177317579	0.215973038	-0.335623073
A_5	0.254337077	-1.579216390	-1.518913750	-1.149480460
	-3.357718870	-0.836529421	-0.869205937	0.257323577
A_6	-0.539777394	1.364289710	1.347137540	1.091436685
	1.437065650	0.381045047	0.416031490	-0.063658878
A_7	0.495907706	-0.207957998	-0.222358243	-0.159270687
	-2.421613560	-0.265212145	-0.478145821	0.396922772
A_8	-0.805971279	2.352433850	2.334808470	1.668018270
	5.194170950	1.109782060	1.409333550	-0.336738138
A_9	1.050825660	-2.163632500	-2.173333510	1.604271530
	-2.247794180	-0.510126464	-0.652535233	0.084128337
A_{10}	-0.376337145	0	0.023053088	0
	1.023032930	-0.041993851	0.148874618	-0.235682531
A_{11}	0.393589866	-1.166423150	-1.128167530	-0.682794972
	-2.444867650	-0.353362512	-0.592626913	0.221396615
A_{12}	-0.449492902	1.146123340	1.141711680	0.728515811
	1.088733130	0.190474702	0.287176412	-0.058919673

注: 各常数上行的值适用于 $0.25 \leq \bar{B} < 0.75$, 下行的值适用于 $0.75 \leq \bar{B} < 1.5$ 。