

内部資料
注意保存

鉄—石墨含油轴承的 使用性能试验

63—9

第一机械工业部机械科学研究院

1963年10月

鉄—石墨含油軸承の使用性能試験

研究報告 目錄

一	序言	2
二	試験内容と試験方法	3
三	試験結果	8
四	對試験結果の討論	15
五	結論と几点意見	17
六	参考文献	18
七	附件(圖表)	20

鉄—石墨含油軸承的使用性能試驗

提 要

本報告根据有关双环型鉄基含油軸承的使用性能試驗的結果，得出下列几点結論：

(一)鉄—石墨双环含油軸承当係利用其自潤滑特性時，僅適用於輕載荷条件下工作。在这自潤滑条件下的 PV 值必須与一份油工作期联系起来考虑。 PV 值較大，則一份油工作期就較短。

本試驗采用了上海合金軸瓦厂成批試生产的204型双环鉄—石墨含油軸承，当其 PV 值为 $5 \sim 7$ 時，一份油工作期在1000小時以上， PV 值为 $10 \sim 12$ 時，一份油工作期在300小時左右。

(二)試驗結果表明，倘若采用补充潤滑措施，或者在自潤滑条件下，但是改用外环为燒結鉄，内环为鋼材的摩擦付時，都能大大提高这类含油軸承的承載能力。根据逐級加載的溫升对比試驗，從同等的軸承溫度測量值来衡量，采用这两种方法后的相应 PV 值均較内外环都是燒結鉄的軸承在自潤滑下的 PV 值提高 $3 \sim 5$ 倍。

報告还討論了提高双环型鉄基含油軸承使用性能的其他途径。

研究單位：机械科学研究院五处，滑动軸承研究室。

研究人員：孫友洪，鄺树彬，陳敬賢，王一平。

報告撰寫者：孫友洪

一 序言

含油轴承是一种多孔性材料的粉末冶金制品，它有自润滑与运转噪音小等特点，在全世界的运用已很广泛。据统计，至1959年已剧增至年用量约30亿个，为1957年的16倍。除铜基外，铁基含油轴承在苏联、民主德国以及日本等国家亦运用很广。我国于1953年开始自制青铜含油轴承，其后由于铁基含油轴承不仅可制成轴套形式，且可制成双环形式在一定范围内代替滚珠轴承，也兼有节约有色金属与滚珠轴承钢等优点，乃于1958年在全国许多地方开展了铁—石墨含油轴承的试制工作。经过在粉末冶金技术方面加以提高，到1960及1961年已有几个工厂能成批试制这种轴承，其化学成分与物理性能基本上达到第一机械工业部于1960年5月颁发的试行标准。但由于在试验阶段的研究工作，主要是从粉末冶金工艺方面，针对控制与解决轴承的化学成分与物理性能进行的，所以紧接着对这种轴承的使用性能的评介，是在推广试用中把轴承装在几种机械上直接进行的。在近两年将国产铁—石墨含油轴承安装在皮带运输机、机床、电机等机件上，进行实际使用的较长过程中，在不同的情况下显示出不同的结果。问题在于必须确定这种轴承的适用范围并且须在评介自润滑轴承的使用性能方面作进一步的探讨。

本试验采用国内成批试生产的制品作为试件，进行试验的目的为：(1)进一步探讨关于评介在自润滑情况下的双环型铁—石墨含油轴承使用性能的方法，同时对这种成批试制产品鑑定其适用的范围。(2)对这种轴承在补充润滑条件下的使用性能，与自润滑时的性能进行初步的对比。(3)在不同的摩擦付方面进行初步的使用性能的对比。

二、試驗的内容与試驗方法

1. 試件:

(1) 采用国内成批生產的鉄——石墨 204 型向心式双环合油軸承作为試件。其内环及外环均係鉄——石墨多孔性材料。浸以 45 號机油。内环内徑 20 mm 工作面直径 32 mm。外环外徑 47 mm。

試件由上海合金軸瓦厂於 1960 年 12 月提供。在 100 个試件内抽样。由机械科学研究院上海材料研究所做化学成份与物理性能檢驗的结果列於表 (一)

表 (一) 鉄——石墨合油軸承試件的化学成份与物理性能

試件號	化学成份 (%)		密 度 (g/c.c)	含油率 (%)	硬 度 (25mm/62.5 kg)		徑向压潰 負荷(kg)
	化合炭	总炭					
120 外环	/	/	/	/	64	69	625
129 "	/	/	/	/	60.1	60.1	400
177 "	/	/	/	/	61.2	60.1	410
184 "	0.58	2.06	6.0	15.8	/	/	/
197 "	0.31	2.13	5.9	17.3	/	/	/
120 内环	/	/	/	/	57	56	510
129 "	0.66	1.43	/	/	61.2	60.1	545
163 "	/	/	5.7	20.3	/	/	/
177 "	0.23	0.43	/	/	48.4	49.2	485
184 "	0.18	0.46	/	/	/	/	/
197 "	/	/	5.5	24.0	/	/	/

附註: 204 型外环的压潰負荷按规定計祇不低於 398 kg。

内环不低於 388 kg。

試件的金相显微組織如下：(1)試件 184 號外環——除孔隙、石墨及夾雜物外，為鐵素體及珠光體（約佔 30~40%），珠光體極粗，部份已成為顆粒較粗游離狀滲碳體（低於 5%）。(2)試件 197 號外環——显微組織同上，只是珠光體較多（約佔 35~40%）亦極粗。(3)試件 184 號內環——除孔隙、石墨及夾雜物外，基體為鐵素體及少量珠光體（約佔 10~15%）。

上述情況說明，外環含油率一般偏低，還不到 18%，內環的總炭量有的低達 0.43%，而且含碳量低的幾乎全部為鐵素體，化合碳太低。

(2)在進行不同的摩擦付的對比性試驗時，除上述燒結鐵內環配燒結鐵外環的試件外，再用一種 45 號鋼淬火的內環，熱處理硬度為 Rc 40~42，磨加工後表面光潔度 $\nabla \nabla \nabla$ 8~9，以與燒結鐵外環配合，作為另一種摩擦付。

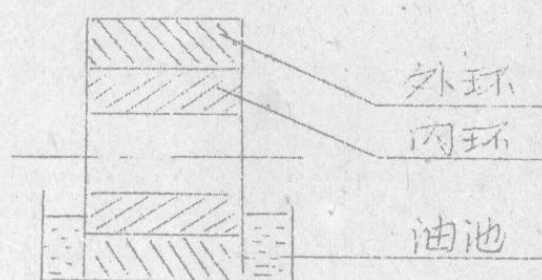
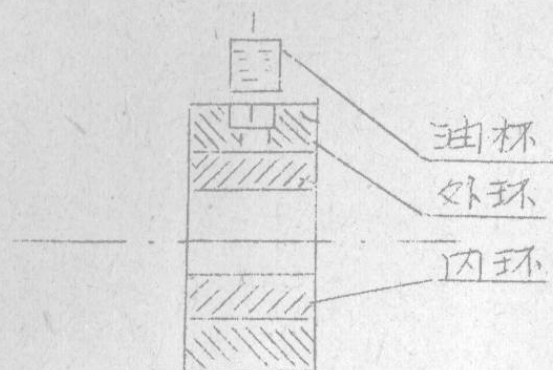
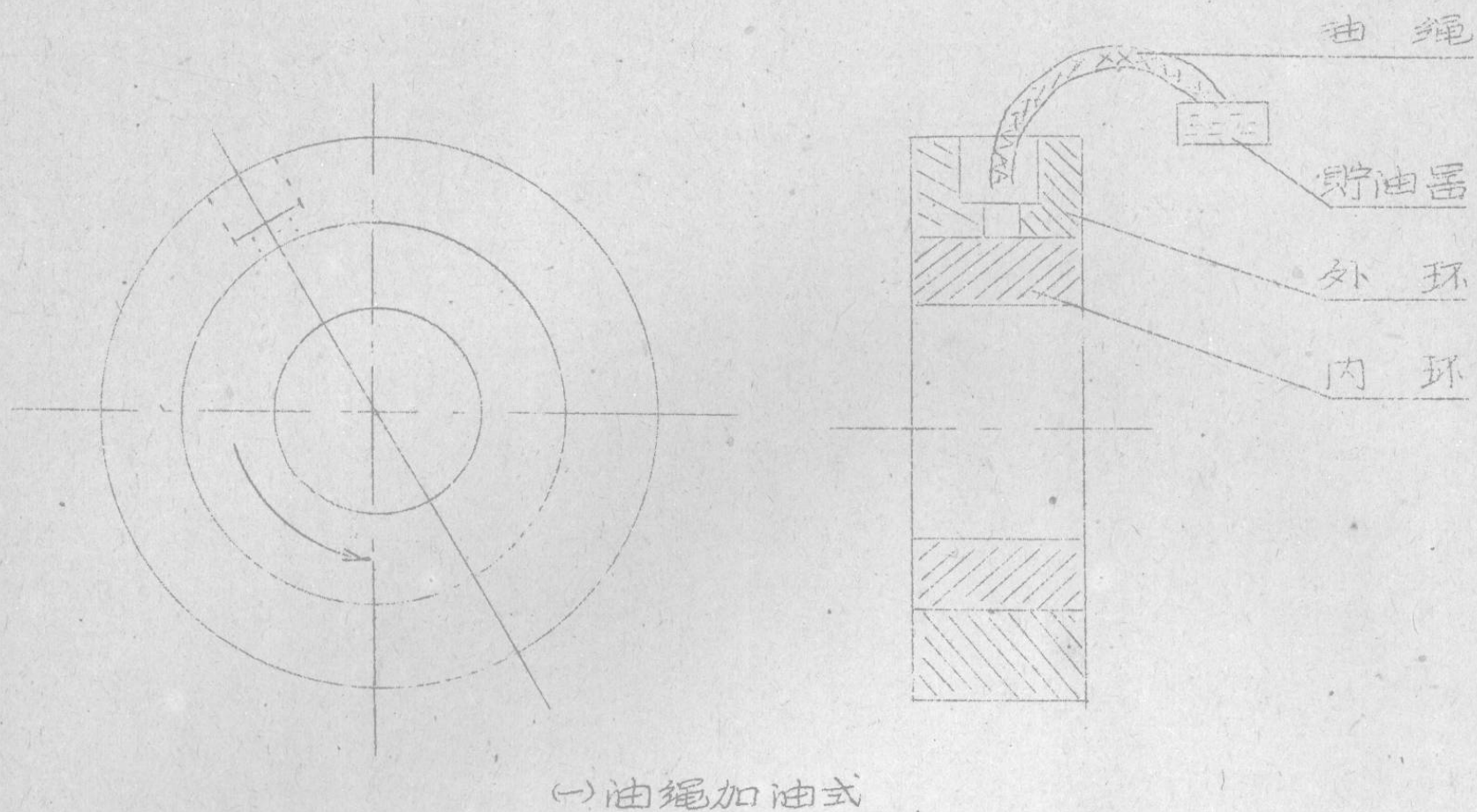
2. 試驗內容：

(1) 試件的結構形式：

固定軸承的結構形式，試件為前述 204 型向心式雙環鐵—石墨含油軸承，安裝後的工作面的配合間隙選擇在 0.10 mm 至 0.12 mm 的範圍內。

(2) 潤滑方式

本試驗以自潤滑情況下的軸承使用性能為主，在此基礎上進行補充潤滑下的一部份性能比較。補充潤滑的方式有：(一)用油繩吸油，(二)油杯滴油，(三)試件外環浸在潤滑油中的油池式（如下圖）。



各种不同的补充加油润滑方式示意图

(3) 转速:

根据采用204型向心式双环铁——石墨含油轴承最广泛的应用皮带运输机与机床等产品的转速情况，本试验选定以下四种转速（见表）。

转速 (转/分)	510	717	1130	1930
204 型轴承工作面上的线速度 (米/秒)	0.855	1.2	1.89	3.23

因试验台是用三角皮带变速，在较长的试验过程中，转速有一定幅度的变动，将在有关数据中列出其实测转速。

(4) 試驗項目

(一) 在試件自潤滑的情況下，對前述雙環型鉄—石墨含油軸承，在4種轉速下進行軸承載荷、軸承溫昇、油耗情況與一份油工作期等軸承使用性能的試驗（一份油是指含油軸承本身所含的那一份油）。

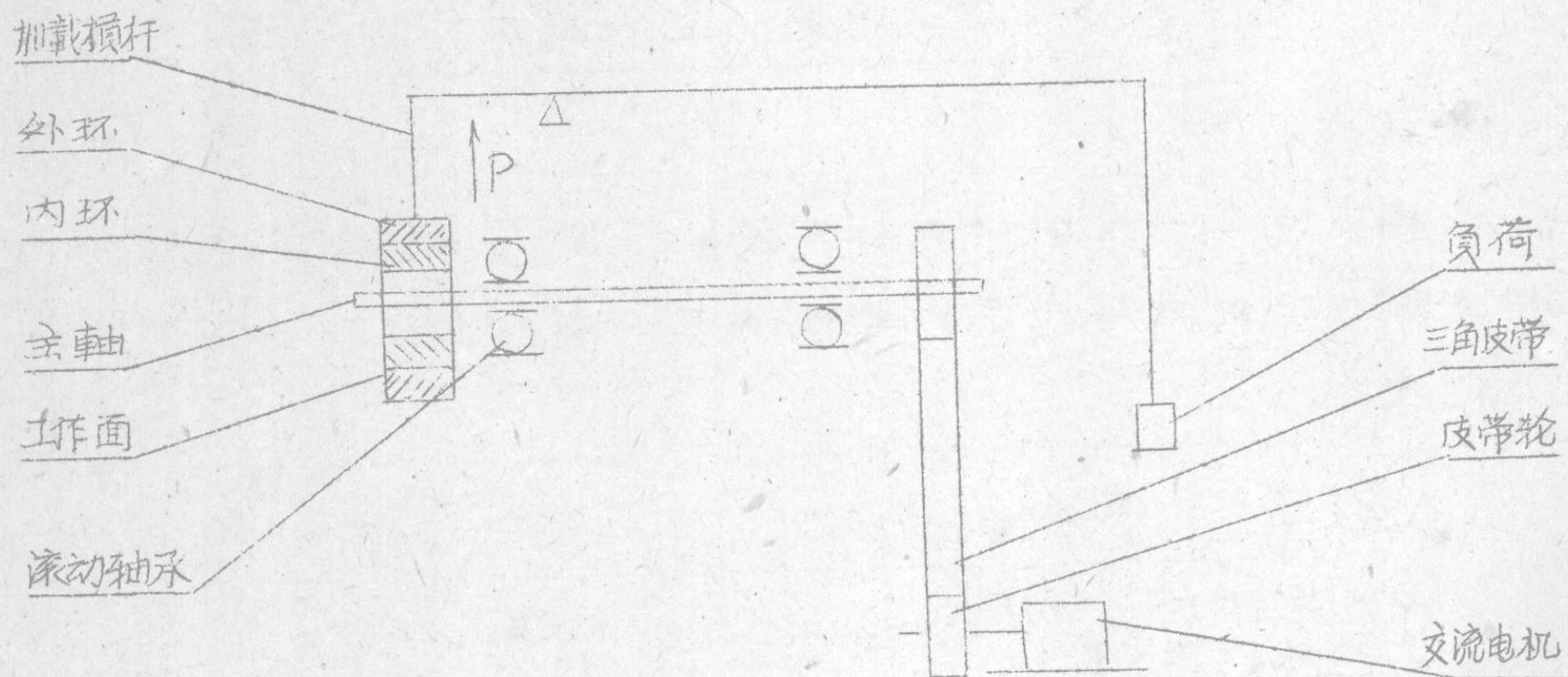
(二) 對前述的同一種試件在補充潤滑下進行其載荷與軸承溫升的試驗，以與自潤滑下的情況對比。

(三) 對外環為燒結鉄，內環為45鋼淬火的試件，在自潤滑情況下進行其載荷與軸承溫升的試驗，以與前述的內外環都是燒結鉄的試件作對比。

3. 試驗方法

(1) 試驗台

用砝碼通過橫杆加載，傳動系統是由交流電動機通過皮帶輪改變轉速，帶動試驗台主軸。試件內環緊裝在試驗台的主軸上，而與主軸一同旋轉。試件外環固定在座套內，與內環相配合，內環在外環中迴轉，載荷即通過外環的座套而加至試件。加載與傳動的示意圖如下：



試件加載與傳動示意圖

(2) 試件安裝配合情況與軸承工作面的間隙：

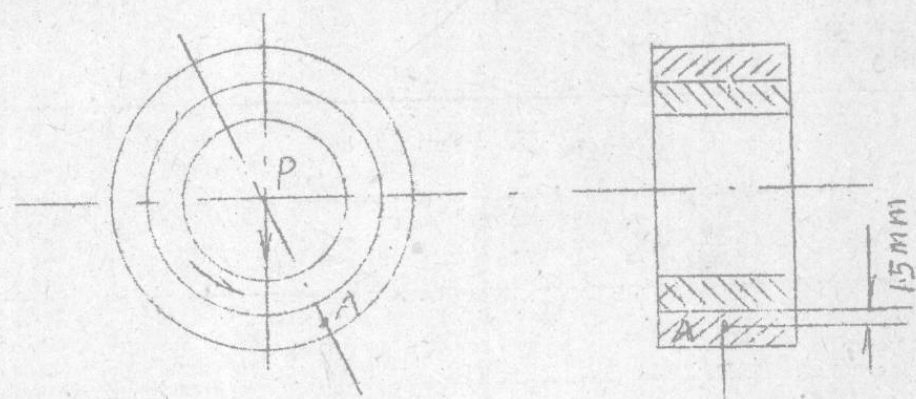
外環外徑與軸承座套的內徑係滑配合，以便於拆卸稱重。另在端面用蓋瓦位該外環，使外環不至在座套內轉動。內環係壓入試驗主軸，過盈約為 0.02 mm 。在安裝後的內外環的工作面的配合間隙（即外環與內環的相對滑動面的間隙）一般在 0.12 mm 左右。

(3) 試件的預跑合

每个試件都先經過低載荷的預跑合，約4小時，待其溫升穩定後再進行各項目的試驗。

(4) 試件溫度的測量

利用熱電偶與電位差計測量試件的溫升，即試件工作溫度與室溫之差。試件工作溫度是指測量點的溫度，本試驗的測量點選擇在軸承的負荷區的最高壓力點附近，是在外環內部距工作面 1.5 mm 的A點（見圖）。



軸承溫度測量點示意圖

(5) 油耗量的測定：

試件在試驗之前都需放入45號機油內補浸過一星期以上。根據鉄——石墨含油軸承的含油率按容積18%計稱，對試件的含油率按重量的3%標出含油量的基數作為100%，根據此基數計稱油耗的百分率。

試件的内环係压入試驗主軸，但装卸内环時引起的油耗量比較小，所以略而不計。

(6) 試件的人工吸油方法

在一份油工作期与油耗率的試驗中，为减少試件在試驗台上的实际运转時間，曾采用人工吸油方法，使試件内环的含油量人为地加以减少。吸油方法是将試件置于空燒杯内，再将此燒杯置于热油中，以间接加热試件，使試件中所含的油受热挤出，而适量地减少。控制加热温度与加热時間，以得到一定的人工吸油量。

三、試驗結果：

1. 轉速与載荷对軸承温升的影响

試件在一定的轉速下运转，在继续运转过程中逐级递增其載荷（每級載荷的运转時間约为 3 ~ 5 小時），则從測另点測得的温度亦随之而增加，例如，132 號試件的运转数据见表(二)

表(二) 轉速 717 轉/分的試件的逐级加载的
載荷与温升

試件號	載荷(公斤)	軸承平均温升		平均室温 (°C)
		毫伏	°C	
132	5	0.50	14.8	12.5
	10	0.70	19	12.5
	15	1.00	25	13.5
	20	1.20	29	14.5
	25	1.50	35	13.5
	30	1.65	38	12.5
	35	1.90	43	14
	40	2.15	47	13

几种轉速下的載荷与軸承溫升關係的試驗結果見圖(1)至圖(4)

2. 試件的含油量对其运转性能的影响

将充份含油之試件，经过人工吸油方法得到不同含油量的試件，然后固定轉速，对不同含油量的試件逐个进行加载与溫升試驗，得到不同的結果。例如在轉速1930 轉/分下的不同含油量的試驗数据見表(三)及表(5)

表(三)轉速1930 轉/分的試件在不同含油量下的載荷与溫升。

試件號	內外環合計 的人工吸油率 (%)	加 載 (公斤)							備 註
		5	1.0	15	20	25	30	35	
		溫 升 (毫伏)							
282	9.3	0.52	8.00	1.08	1.40	1.50	1.60	3.50	平均室溫 12℃
286	21.8	0.40	1.00	1.38	1.70	1.90	3.48		" 11℃
283	39.2	0.80	1.65	2.40	3.20				" 11℃
278	73	0.70	1.70	4.00					" 10℃

從上例可看出在同一轉速下，由於各試件的含油量有相当程度的不同，所以对同一載荷所得到的各試件的軸承溫升亦不同，剩油率愈低（相当于表中所列的人工吸油率愈高）則軸承溫升愈高。從另一角度来看，这亦显示出試件的剩油率愈低，則其能夠維持正常溫升的最高載荷的公斤数亦較原先的為小。

其他試件，在轉速510 轉/分及757轉/分情况下的試驗結果見圖(6)及圖(7)。

3. 試件的运转油耗試驗：

(1) 將試件在自潤滑的工作条件下以及在一定的轉速与載荷情况下运转，測得其含油量是随运转時間的增加而降低，亦即原先所含的油在逐漸消耗。例如試件287 號的油耗情况見表(四)及圖(8)。

表(四) 試件287號的運轉期的油耗情況
轉速717 轉分 載荷35 公斤 平均室溫 12℃

累計運轉時間 (小時)	油耗率(%)		軸承平均溫升	
	外環	外環及內環合計	毫伏	℃
10	0.98	/	0.35	11.6
36.5	2.21	3.7	1.4	33
66.5	3.1	/	1.2	29
134	4.57	/	1.2	29
195	5.52	7.3	1.3	30
257.5	8.12	/	1.5~1.8	35~41
304.5	10.12	13.8	2.0~3.2	45~68

本試件運轉至200小時前後時，軸承的溫升即不再維持穩定，而是顯著地不斷上升。例如在195至257.5小時的期間，溫升就從1.5毫伏逐步增加至1.8毫伏，繼續運轉至304.5小時，溫升增達3.2毫伏，相當於68℃，加室溫後達80℃。油耗率亦急劇增加，並且從運轉的試件可看到有黑色的鉄——石墨膠屑從工作面的邊緣處研出，試件表現出不再是穩定運轉的情況。

(2)在同一轉速下，試件在不同載荷下長期運轉，其油耗情況不同，載荷愈大，則油耗愈快，即同一運轉期內的油耗率隨載荷之增加而增加。

例如在轉速717轉分，几个不同載荷下的試件外環的運轉油耗情況的比較，見表(五)及圖(9)

表(五) 转速717转/分的不同载荷下的试件外环的运转油耗率

试件号	169号		287号		288号		202号	
载荷(公斤)	40		35		20		20	
累计运转时间(小时)	小时	%	小时	%	小时	%	小时	%
	5	2.94	10	0.98	10	1.37	/	/
	32	5.75	36.5	2.21	/	/	/	/
	62	6.00	66.5	3.1	53	1.43	/	/
	93	6.15	/	/	99	1.46	97.5	0.55
	130	7.08	134	4.57	151	1.69	/	/
	166	7.63	/	/	/	/	/	/
	205	8.55	195	5.52	213	1.80	201	1.52
	236	15.9	/	/	/	/		
	267	20.4	257.5	8.12	255	3.81		
			304.5	10.2	333	5.78		
					413	7.95		
平均室温	10℃		11℃		25℃		28℃	

表(五) 中列各试件运转时的温度显著变化的情况, 可从表(六)看出, 在表(六)中的温度值, 是温升加室温以后的数字。

表(六) 转速717转/分的不同载荷下的试件温度变化情况

试件号	169号		287号		288号		202号	
	小时	℃	小时	℃	小时	℃	小时	℃
累计运转时间及试件测量点的温度	130	52℃			151	39.6	97.5	44.6
	160小时前后	从57℃迅速升至67℃						
	205	77℃	195	41.5℃			201	43.6℃
			257	53℃				
			304.5	81℃	333	41.6℃		
					413	41.6℃		

4. 鉄——石墨含油軸承在自潤滑条件下运转的一份油工作期問題：

鉄——石墨含油軸承在自潤滑情况下运转时，其剩油率随运转时间的增加而降低，而且在一定的转速和载荷下，运转至一定时间后，軸承温升即显著增高，油耗率亦急剧上升，且有黑色的鉄——石墨胶屑从試件工作面研出。若立刻适当降低载荷，則試件温度又能回降至 60°C 以下，在此它原先载荷为低的情况下继续维持正常运转。这一情况是与前面曾述及的“含油量对試件运转性能影响的試驗”的结果相符合的。試件的运转性能与所含油量有关，当試件的剩油率降低到一定程度时，若载荷不变，則軸承温升显著增高，若須保持原来的温升，則载荷必須减小。

所以在自潤滑的条件下，含油軸承以其原来所含的油量为基礎，對一定转速与载荷下的試件，都有一定的稳定运转期，在此期内，試件的温度与油耗率都维持稳定，超过此运转期，則温度显著上升，油耗率激烈增加。試件在自潤滑条件下能维持稳定运转的工作期称为一份油工作期。

在同一种转速的条件下，载荷愈大，則一份油的工作期愈短，载荷愈小，則一份油的工作期愈長。

例如從表(五)表(六)及图(9)可看出，各試件的转速都是 717 轉/分，試件 169 號的载荷为 40 公斤，实际运转至 200 小时附近，即发生前述的显著变化。試件 288 號的载荷为 20 公斤，运转至 413 小时，仍保持运转的稳定状态，在此稳定运转期内，用精度为 0.005mm 的 4 分表，量不出軸承工作面的磨损量。

5. 鉄——石墨含油軸承在补充潤滑情况下的加载与温升試驗：

對內環與外環均為燒結鐵的鉄——石墨含油軸承，在補充潤滑情況下，以一定轉速進行逐級加載的短期運轉試驗。在繼續運轉的過程中，逐級遞增其載荷（每級的運轉期一般為5～8小時），並且測量各級載荷下的試件的溫升，四種轉速下的試件的PV與溫升的變化情況見圖（10）至圖（13）。

試件測量點的溫升，隨載荷之增加而逐漸提高，在試驗中觀察到試件溫度（溫升加室溫）到達60℃附近時，就呈現溫度劇增的現象。

以試件測量點的相同的溫度值為基礎，對補充潤滑下的PV值與自潤滑下的PV值進行比較，其試驗數據見表（七）。

表（七） 鉄——石墨雙環含油軸承在補充潤滑下與自潤滑下的PV值比較

轉速（轉/分）	500	510	680	717	1180	1130	1770	1930
潤滑情況	補充潤滑	自潤滑	補充潤滑	自潤滑	補充潤滑	自潤滑	補充潤滑	自潤滑
PV值	35~40	6.7	40	8	40	11.4	35~40	12.3
軸承平均溫升℃	22~26	35	18	35	30~35	35	37	35
平均室溫（℃）	23	14	18	14	20	14	14	12
軸承平均溫度℃	45~49	49	36	49	50~55	49	51	47
潤滑形式	油池式	/	油繩式	/	油杯式	/	油池式	/
備 註								

表中的：P 指試件工作面的單位投影面積上的平均壓力
公斤/平方厘米。

V 指試件內環的外徑上的線速度 米/秒。

从上表的数据可看出，倘以试件测量点的相同温度值来衡量，则试件在补充润滑情况下的PV值较自润滑情况下的PV值的提高3倍至5倍。

6. 试件的内环改用45号钢在白润滑情况下的加载与温升试验：

改变双环铁——石墨含油轴承的摩擦付，外环仍为多孔性烧结铁，本身含油，内环改用45号钢淬火，硬度Rc 40~42，磨加工后表面光洁度VV 8~9，内外环配合间隙为0.12~0.15 mm。

对上述摩擦付的试件，在白润滑情况下，以一定转速进行逐级加载的短期运转试验，在继续运转过程中逐级递增其载荷（每一级的运转期约为五小时），并且测量各级载荷下的试件温升。

在试验中观察到，当试件的载荷递增而其温度（温升加室温）到达60℃附近时，轴承温度即呈现剧增的现象。

表(八) 铁——石墨含油轴承不同摩擦付的轴承性能比较表

摩擦付种类	钢内环	烧结铁 内环	钢内环	烧结铁 内环	钢内环	烧结铁 内环	钢内环	烧结铁 内环
润滑情况	自润滑		自润滑		自润滑		自润滑	
转速(转/分)	500	510	680	717	1180	1130	1770	1930
线速度(米/秒)	0.84	0.855	1.12	1.2	1.975	1.89	2.96	3.23
PV值	45~50	9	45~50	11.2	50~35	15.2	55~66	16.7
轴承平均温升(℃)	25~38	46	25~38	46	25~33	46	33~40	46
平均室温(℃)	23	14	23	14	25	14	23	14
轴承平均温度(℃)	48~61	60	48~61	60	50~58	60	56~63	60

註：两种摩擦付的外环都是烧结铁，含油。

从上表所列数据，可看出倘以试件测量点的相同的温度值

来衡量，则内环为45钢的第二种摩擦付的试件，在同样的自润滑条件下，其PV值较第一种摩擦付的试件（内环与外环均为烧结铁）的提高4~5倍。

7. 钢内环试件的跑合性能：

根据对上述第二种摩擦付试件（内环为45钢淬火外环为含油烧结铁）进行跑合性能试验的结果，显示出这种摩擦付必须经过充分的预跑合，才能发挥其应有的性能。例如当试件在低载预跑合后，一次逐级加载至PV值达50时，试件因温升剧增而很快就破坏。其后改为在PV达20时增加一次充分跑合，约8小时，再加至PV为50，试件就能保持稳定运转，试件累计运转时间达200小时以上，仍能保持正常。

四、对试验结果的讨论：

(一) 在铁—石墨含油轴承的自润滑试验中，当试件的PV值增大时，则其温升增高，油耗亦加快，稳定运转期缩短。这可能是因为：(1) 轴承的多孔基体内除含有润滑油外，还有残存的空气；轴承运转工作面的摩擦热与微孔内空气的受热膨胀作用，使润滑油从轴承内部挤出；PV值愈大，温升愈高，则挤出的油愈多。(2) 润滑油粘度随温度增高而降低，亦使其容易析出。(3) 轴承温升增高后，使润滑油的挥发亦加快，而且润滑油的氧化作用亦因温度增高而加速，弄污润滑油，加速其变坏的过程。所以PV值愈大，试件的温升愈高，耗油愈多，保持稳定运转的一份油工作期就愈短。

为提高含油轴承的自润滑性能，获得较长的一份油工作期，可从以下一些方面考虑改进：

(1) 对于一定孔隙度的多孔轴承，采用真空浸油的方法，可以提高其浸透度，增加储油量。