

# 三角活塞转子发动机轴温的测量试验报告

中国科学院北京力学研究所九室  
北京摩托车制造厂

## 前言

在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，我们走开门办所，与工农相结合的道路，在74年底与北京摩托车厂共同协作，对内风外水转子发动机轴温进行了初步的实测。

实测的目的是了解三角活塞转子发动机在不同工况下轴温的情况，不至于产生轴过热，也为设计轴选择适当的材料提供依据。

轴温测量的方案很多，我们所用的方法是将温度转换为频率，通过电容耦合的方式把讯号传送出来。整个测量装置比较简单可靠而不受转速的限制。

在测量中，高压火花塞的点火干扰影响很大。为了使测量准确就要排除干扰的影响，采取了一些措施使干扰减小到满足测量的要求。

## 一、测量装置的简介

### 1.总方框图

### 2.工作原理

感温元件是热敏电阻，其电阻值随温度而变化。自激多谐振荡器的振荡频率在其它参数固定的情况下，由充放电回路中的热敏电阻的阻值决定。

热敏电阻装在偏心轴上，当偏心轴的温度升高时，热敏电阻的阻值相应减小，自激多谐振荡器的脉冲频率就相应增大。这脉冲通过电容耦合板传输出来。为了减小干扰，将传输出来的脉冲经差动放大器

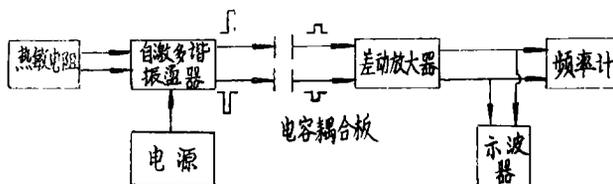


图 1



图 2 实验时设备和测量装置照片

进行差动放大，然后分别送入示波器和数字式频率计显示记录。

事先将这套装置在实验室里进行温度、频率的标定，画出 $f_{\text{频}} = f(t^{\circ}\text{C})$ 标定曲线。因此在实验时通过测得的频率就可知偏心轴的温度了。

### 3.测量装置的组成部分及总结构图

测量装置由下面几部分组成：

(1) 过敏电阻：作为感温元件，其特点是温度系数大、灵敏度高、体积小、感受温度的热惯性小、结构也简单。我们采用上海精益仪表厂玻璃密封的珠状热敏电阻，最高温度达 $300^{\circ}\text{C}$ 。热敏电阻的安装位置见(图3)所示。

在偏心轴上测式位置钻出 $\phi 2\text{mm}$ 小孔，孔深度控制在使钻头尖端离偏心轴颈面 $2\text{mm}$ 处。然后将热敏电阻放入孔内与轴紧密接触，最后在孔内灌注E-4胶，防止热敏电阻脱落。

共测两点在(图3)的“1、2”。引出导线用聚四氟乙烯耐高温屏蔽线(双芯)，用E-4胶封固，导线通过轴孔引出。

(2) 电源：用锌汞电池，容量为 $350\text{mAh}$ ，体积小，电池使用温度在 $60^{\circ}\text{C}$ 以下，常州电池厂生产。

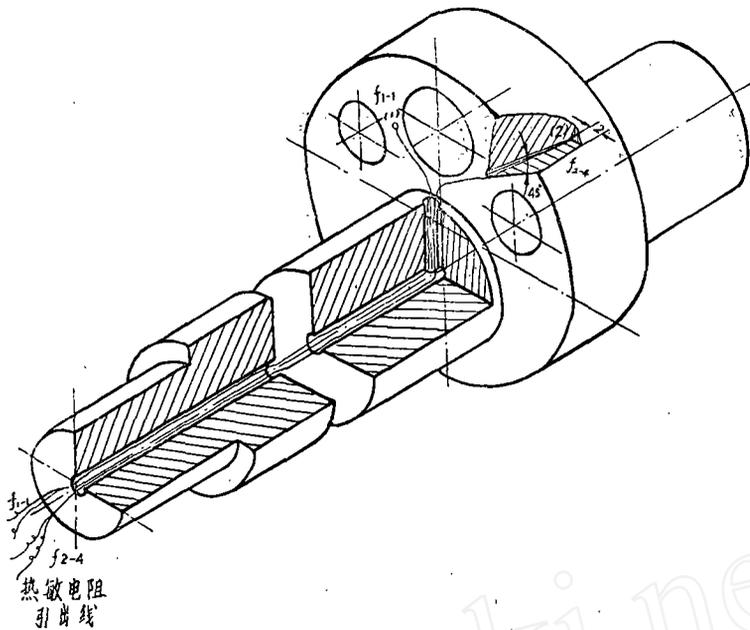


图3 转子发动机偏心轴及热敏电阻的安装位置 (1) (2) 处为热敏电阻

供自激多谐振荡器的电压为10.3伏。

(3) 自激多谐振荡器:

该自激多谐振荡器由两级共发射极放大器加上正反馈网络构成。整个振荡器只有一个耦合电容C, 它的充放电过程控制着电路工作状态的翻转, 随着电容C的周期性充放电, 电路就获得周期性振荡。

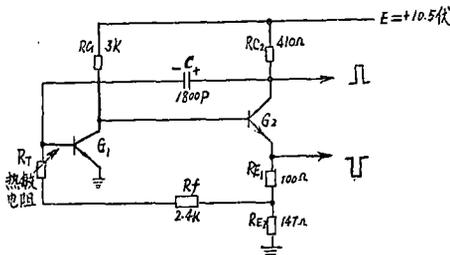


图4 自激多谐振荡器线路图

电容C充电时间常数为 $\tau_{充} = RC_2 \cdot C$

电容C放电时间常数为 $\tau_{放} = (R_f + R_{E1} + R_T) \cdot C$

• C

自激多谐振荡器之振荡周期T为:

$$T = RC_2 \cdot C \ln \left[ 1 + \frac{I_{C2} R_{C2}}{V_{bes1} - V_{be临}} \right] + (R_f + R_{E1} + R_T) \cdot C \cdot \ln \left[ 1 + \frac{I_{C2} R_{C2}}{I_{C2} R_{E2} - V_{be临}} \right]$$

• 2 •

$$\text{则振荡频率为 } f = \frac{1}{T}$$

从上公式可看出, 当电路参数确定后, 该振荡器之振荡频率即由 $R_T$ 决定。

电阻采用精密金属膜电阻, 其电阻温度系数为 $\pm 2.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ , 电容为1800P的云母电容, 它的电容温度系数为 $\pm 50 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}$ ,  $G_1, G_2$ 管均为硅管3DG4D。振荡器处于常温工作状态, 而采用的电阻、电容和管子常温下是很稳定的。

(4) 电容耦合板: 是由一块动片(直径 $\phi 160\text{mm}$ )和两块静片(直径 $\phi 180\text{mm}$ )组成。振荡器采用浮地输出, 从 $G_2$ 管的集电极输出高电位正脉冲,  $G_2$ 管的发射极输出低电位负脉冲, 都接到动片上, 通过电容耦合, 其电容约为40P。输出讯号从静片引出。

(5) 差动放大器: 是由源极跟随器、差动放大器和射极跟随器组成。为了消除干扰(为共模电压)放大有用信号(正、负极性相反), 采用差动放大器进行放大。

本装置的差动放大器由集成电路5G922构成, 为了放大脉冲, 采用深度负反馈和微分校正以扩展频率, 将频带由100KHZ扩展到数兆周, 然而该差动放大器的输入阻抗很低, 仅3.2K $\Omega$ 。为了接收内阻很高的讯号源的讯号, 必须具有很高的输入阻抗。为此加结型场效应管源极跟随器进行阻抗转换。该场效应管源极跟随器的输入阻抗为500K $\Omega$ , 输出阻抗为



作为实用系统。最后对所有系统进行误差分析。

静态标定的装置图见(图7)。

恒温器: 0~300℃用以对热敏电阻升温, 加温介质是花生油, 它具有沸点高、凝点低, 其蒸气对人的刺激小等优点。所使用的温度计是配套的, 每支是50℃的范围, 0.1℃分度。

数字欧姆表: 用以记录热敏电阻的阻值变化, 精度为0.05%。

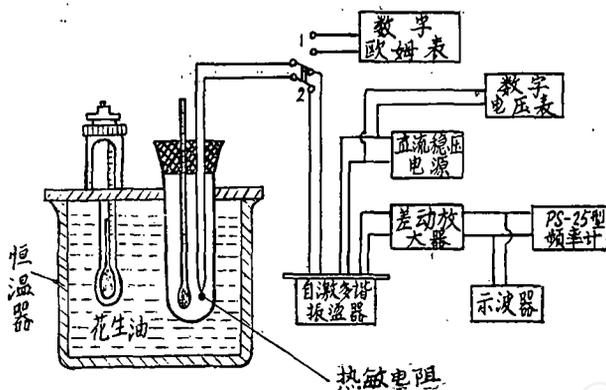


图7 静态标定的装置图

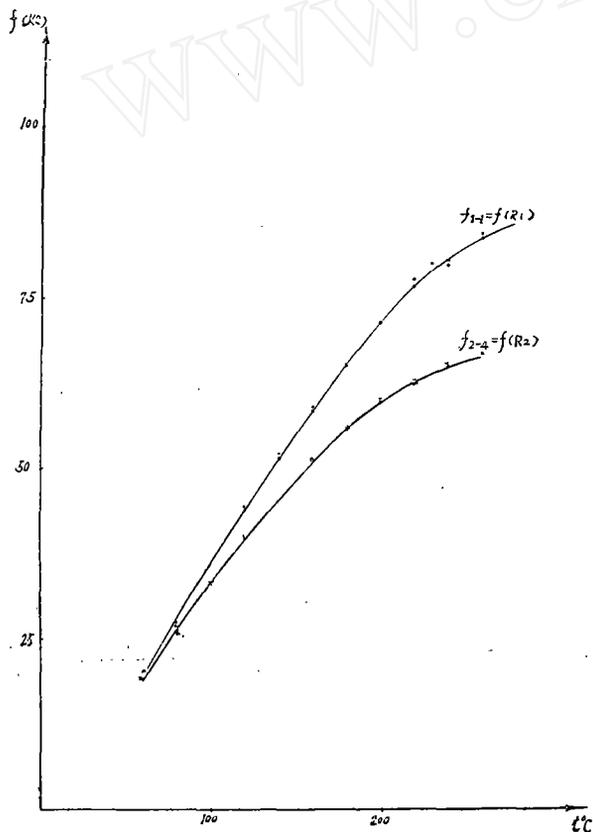


图8 热敏电阻——振荡器系统的温度——频率特性曲线

PS-25型数字频率计: 用以记录振荡器的频率变化, 精度在所使用的范围内小于0.05%。

当闸刀在“1”的位置时是标定热敏电阻, 当在“2”位置时是标定振荡器。

### (一) 热敏电阻的标定

标定了六个热敏电阻, 均求出每点对其均值的差值及这差值占均值的百分比, 选择了两个热敏电阻作为实测用。

从标定结果可以看出, 在低温度时, 测点的离散较大, 这是由于热敏电阻本身的特性决定的, 它的阻值随温度的变化是按指数曲线  $R_T = Ae^{\frac{B}{T}}$ 。由于在60—100℃时曲线很陡, 有一点温度差值就会有相当大的阻值变化, 故较难重复, 差值偏高。

### (二) 振荡器标定

把选择好的热敏电阻接到振荡器上, 然后对热敏电阻逐点升温, 记录出振荡器的频率变化  $f_{\text{频}} = f(t, \text{℃})$  的标定曲线, 见(图8)。

### (三) 静态标定误差

均方根法求出温度频率变化曲线最大误差点对满量程的比作为系统的最大误差。标定的温度为60—260℃范围, 从标定看出在220℃时误差最大。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta f^2}{n-1}} = 0.72$$

$$\delta_1 = \frac{\sigma}{a} (\text{最大量程}) = \frac{0.72}{84.40} \approx 0.85\%$$

但实测范围是在100~160℃之间, 在这个温度范围内选出最大误差点, 作为实测情况下的误差较为合理。

$$\therefore \delta_{\text{实}} = \frac{\sigma}{|a|} = \frac{0.164}{59.135} = 0.278\%$$

由于CRI型数字欧姆表及PS-25型频率计的精度都很高, 比系统误差要高一~二数量级, 故计算误差时它们所造成的误差是可忽略的。

## 三、实验情况

### 1. 高压点火的干扰

#### (1) 点火系统的原理

当触点相接触时, 蓄电池中的低压电流(12伏)就流过低压线圈, 当凸轮转动而使触点打开时, 则低压电流切断, 在打开的一瞬间

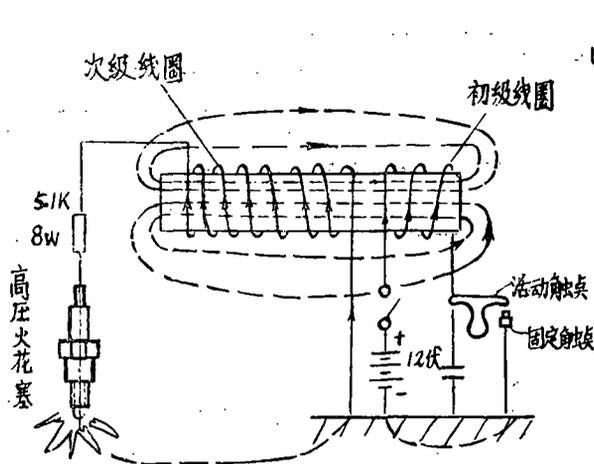


图9 点火系统装置

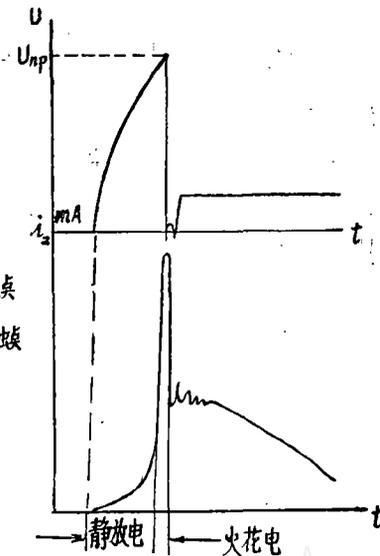


图10 当点火装置火花放电时电压和电流的变化

高压线圈中就感应而产生高压约10000~20000伏。将火花间隙击穿，为放电的第一阶段。其特征为时间很短，小于 $10^{-6}$ 秒，电流波峰很大，可达几十安培，发生蓝色明亮之火花。电压急剧降低到很小值，此后并伴有高频率的振荡。

击穿以后，由于间隙中已发生电离，电阻减小，因之可在小电压（1500~2000V）下维持放电即放电第二阶段。其特征为电流小约为30~60mA此时电压差不多保持不变，电流不断下降，当电流下降到某一最小值时放电停止。

(2) 干扰的影响：

由于高压点火时伴随有高频率的振荡，以电磁波形式在空间传播，当示波器的输入导线靠近高压点火系统，就有干扰波形在示波器上显示出来。室内收音机，也发出卡卡声。

在测量中这带来了很大的干扰，当发动机启动后，未接输入讯号时，频率计的读数应为零。但实测中由于高压点火的干扰，在频率计已有3.02~3.212KHZ（在4000转/分7.48马力工况下）的频率输出，是我们所不希望的，为了使测量准确就要排除干扰的影响，减小到满足测量的要求。

(3) 排除干扰的办法：

a) 采用了差动放大器，在实验室曾用交流整流子电机进行实验，由于电枢转动而产生火花干扰，接此差动放大器后可完全消除，但在发动机上高压点火干扰影响用此放大器并不能完全解决。

b) 把高压火花塞及高压导线屏蔽：详见图(11)

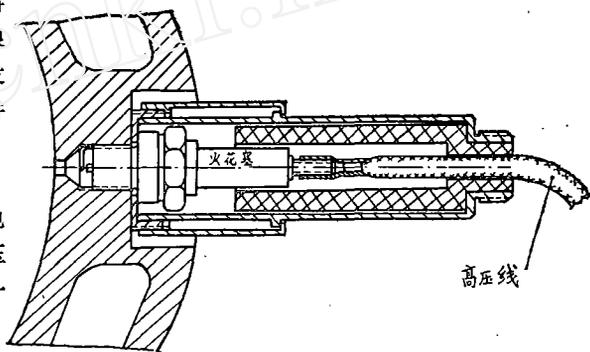


图11 高压火花塞的屏蔽

所示的结构。

c) 在高压线路中再串联电阻：5.1KΩ，8W 串联电阻的目的就是减少高频率的振荡，使放电的第二个过程缩短。

d) 整个测量系统需良好的接地。

(4) 实测干扰大小：

采用了以上四种办法，干扰大小可以控制在一定范围内。

将实测干扰大小做一比较，整个系统是在良好接地的情况下获得的。

a) 空载时：

在发动机不加负载时，在同样转速下，把高压点火系统屏蔽和同时串电阻比单用差动放大器时干扰小10倍。

	加差动放大器 (1)	差动放大器+屏蔽 (2)	差动放大器+屏蔽+串电阻(3)		
转速(转/分)	3000	3000	3000	2200	4500
干扰大小 (KHZ)	0.314~0.508	0.053~0.062	0.049~0.053	0.038~0.041	0.078~0.088
比 较		比(1)小10倍	比(1)小10倍		

(b) 有负载时:

	加差动放大器	差动放大器+屏蔽	差动放大器+屏蔽+串电阻	
转速(转/分)	4000	4000	4000	2900
负载(kg)	2.8	2.9	8	1.4
功率(马力)	7.48	7.94	8.2	
干扰大小(KHZ)	3.02~3.212	0.400~0.650	0.200~0.269	0.150~0.204
比 较		比(1)减小5倍	比(1)减小12倍	

在有负载时,用差动放大器再加上屏蔽比单用差动放大器干扰减小5倍,再串电阻其效果更好,比单用差动放大器干扰减小12倍。

从以上实验可看出:

- (1) 加负载比空载时干扰为大。
- (2) 排除干扰采取以上四种措施是有效的。
- (3) 随转速增加,点火次数增加,干扰增大。

## 2. 总的误差

(1)  $f_{\text{频率}} = f(t^{\circ}\text{C})$  曲线的静态标定误差。

在使用温度100~160℃时:

$$\delta_{\text{实}} = 0.278\%$$

(2) 高压点火的干扰所带来的误差,  $\delta_2$

在转速4000转/分,功率为8.2马力工况下,其干扰大小为0.200~0.269KHZ。

在此点下的误差为:

$$\delta_2 = \frac{0.269\text{KHZ}}{47\text{KHZ}} = 0.57\%$$

因为在每个工况下干扰大小不同,故取 $\delta_2$ 为1%更可靠。

$$\text{总误差} = \sqrt{\delta_{\text{实}} + \delta_2} = \sqrt{0.278^2 + 1^2} \%$$

$$\text{即总误差} \delta = 1.03\%$$

## 3. 实测轴温数据

测偏心轴上两个位置的温度,详见图8所示。

表 3

	转速(n) (转/分)		负载(P) (kg)		功率(马力) $N_{ie} = \frac{P \cdot n}{1500}$		频率KHZ		温度℃		工 况 时间(分)	
	第1次	第2次	第1次	第2次	1次	2次	1次	2次	1次	2次	1次	2次
f <sub>1-1</sub> 在轴 上“左” 位置	2200	2200	2.35	2.25	3.44	3.3	35.664	36.550	100	102.5	7	5
	2900		2.75		5.30		37.538		105		7	
	3800	3800	3	3	7.6	7.6	45.268	47.147	123	126.7	6	5
	4400	4400	3.35	3.3	9.83	9.69	49.631	50.680	133.7	136.5	4	5
	5000	5000	3.25	3.2	10.83	10.67	51.872	52.342	139.5	141.5	5	

表 4

	转速	负载	功率	频率	温度 (°C)	工况时间
f <sub>2.4</sub> 在轴“右”位置	2500	2.65	4.41	38.181	114.8	4
	3000	2.35	4.7	38.285	115.2	5
	3800	2.9	7.35	47.263	144	6
	4200	3.2	8.95	49.851	154	9
	5000	3.15	10.5	50.590	156.7	4

从表 3, 4 可看出:

(1) 发动机的功率从 3.3~10.83 马力变化, 温度在 100~156.7°C 变化, 随功率增加温度升高。

(2) 由于在实验时是通的自来水冷却的, 其温度为 10°C 左右, 比普通发动机冷却水温 (60~90°C 左右) 要低很多, 因此使测得的轴温偏低, 但偏心轴并不被水直接冷却, 因而由此造成的温度变化不会太大, 估计不会超过 50°C。

(3) 测量数据与冷却水的流量大小有关, 水的流量大温度就低。我们的实验中对冷却水流量没有测量, 每次实验水的流量大小不同, 故也影响测量的准确性。但冷却水流量造成的温度波动是不大的, 估计

在 10°C 以下。

(4) 测量数据与每个工况保持的时间有关, 时间愈长愈稳定。

(5) 实验中热敏电阻对温度的反映很敏感, 整个测量系统还很稳定。

振荡器经受离心加速度最大为 2094g 处于常温状态运转 11 小时工作正常。

水银电池经受离心加速度 837g 运转 12 小时工作仍正常。

## 四、存在问题

1. 结构上安装拆卸不方便。

2. 本装置是根据此发动机的结构位置进行设计安装的, 所以测其他发动机时, 这套装置的结构需要改变。

3. 采用了电容耦合方式, 由于空间的限制耦合板的电容量很小, 现为 30~40p 从输出端看, 振荡器相当于一个高内阻的讯号源。这在电路是不利的, 这要求接收部分具有很高的输入阻抗几百千欧, 如果输入阻抗太高, 火花塞点火形成的干扰也大, 造成的测量误差也随之增大。

4. 在转子发动机上实测的数据次数还不多, 有待今后进一步的研究。

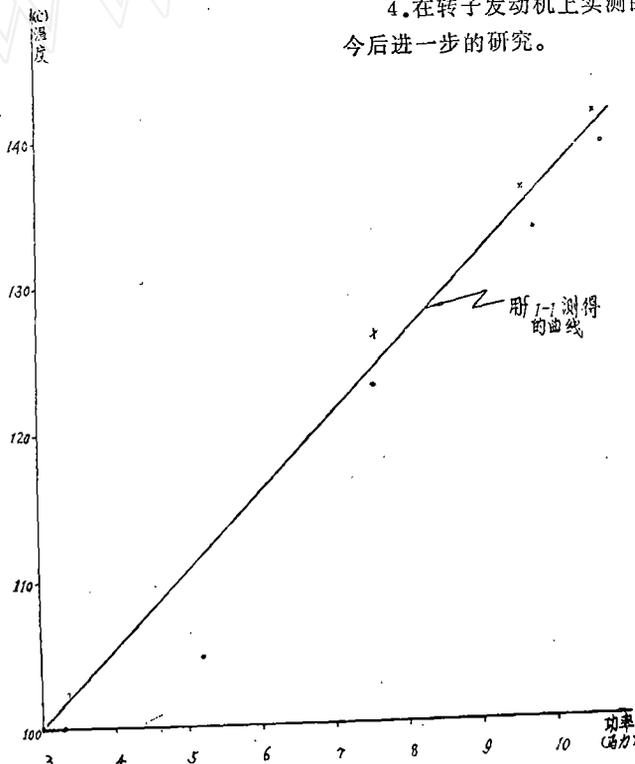


图 12 实测轴温曲线