

內 部

飞 机

飞行試驗手冊

第 三 冊



第三机械工业部第六二八研究所

一九七六年十月

飞 机
飞行试验手册

第 三 册

飞行试验测试仪器及应用



30061974



307446

全 书 总 目 录

第一册

第一分册 飞机基本性能的测定

第二分册 基本飞行性能的测定

第三分册 航程续航时间

第二册

第一分册 阶跃操纵副翼和协调侧滑

第二分册 飞机飞行振动, 测量与飞机结构座力和载荷的飞行测量

第三分册 飞机操纵系统地面试验

第三册

飞行试验测试仪器及应用

目 录

第一章 参数测量	(1)
§ 1 飞行高度的测量	(1)
1.1 测量飞行高度的仪器的工作原理	(1)
1.2 C Д-726高度自记器	(1)
1.3 D型高度传感器	(2)
§ 2 飞行速度的测量	(4)
2.1 飞机飞行速度测量的工作原理	(4)
2.2 CC-76速度自记器	(4)
2.3 CC-77小惰性速度自记器	(5)
2.4 D型速度传感器	(6)
§ 3 高度速度综合测量仪器	(7)
3.1 C Д-51 高度速度光学自记器	(7)
3.2 Y G-101高度速度光学自记器	(7)
§ 4 其他压力测量	(8)
4.1 MPД 型压力传感器	(8)
4.2 P G-C型超低压传感器	(9)
4.3 C Д-52 多点压力光学自记器	(9)
§ 5 压力校准	(11)
§ 6 攻角侧滑角的测量仪器	(13)
§ 7 温度测量	(14)
7.1 阻滞温度传感器 П-5	(14)
7.2 热电偶温度测量	(15)
§ 8 过载的测量	(17)
8.1 三向过载自记器 3 П-15	(17)
8.2 M П-66 过载传感器	(18)
8.3 三向过载传感器	(18)
8.4 D型单向过载传感器	(19)
8.5 120 A单向过载传感器	(20)
8.6 И П-11 过载计数器	(21)
8.7 A M-10 加速度表	(22)
8.8 M型数码式疲劳计	(22)
8.9 过载校准及其设备	(24)
§ 9 姿态角的测量	(25)

9.1	姿态角测量的原理	(25)
9.2	CY-03 倾斜角自记器	(25)
9.3	ДК-6M 姿态角传感器	(26)
9.4	I-262 姿态角传感器	(28)
9.5	ДК-3Г 角度陀螺仪	(30)
9.6	ДК-6M 姿态角传感器主要误差分析	(31)
§ 10	角速度的测量	(31)
10.1	飞机角速度测量原理	(31)
10.2	Ж-9 三向角速度自记器	(32)
10.3	ДУС 型角速度传感器	(33)
10.4	I-14 角速度传感器	(35)
10.5	C-14 角速度陀螺	(35)
10.6	GRH 4/20—7, GRH 4/40—6 半浮角速度陀螺	(35)
10.7	关于角速度传感器(自记器)的交感误差问题	(37)
§ 11	“角位移”“线位移”测量	(37)
11.1	概 述	(37)
11.2	CY-14 机械位移自记器	(39)
11.3	MY-62 角位移传感器	(39)
11.4	CJ 角位移传感器	(40)
11.5	D-3805 线位移传感器	(40)
11.6	D-3792 线位移传感器	(41)
11.7	D-3769 角位移传感器	(41)
11.8	XC-2 线位移传感器	(41)
11.9	УЗП 角位移传感器	(41)
§ 12	操纵力的测量	(42)
12.1	概 述	(42)
12.2	CH-13 杆力自记器	(42)
12.3	CH-14 脚踏力自记器	(43)
12.4	CH-15 盘力自记器	(43)
12.5	CJ-1001-1 杆力传感器	(44)
12.6	CL-305 脚踏力传感器	(46)
§ 13	应变测量	(46)
13.1	应变测量的简单原理	(46)
13.2	8AHЧ-7M 应变放大器	(47)
13.3	W63 型直流差分放大器	(52)
13.4	F-4 直流差分放大器	(56)
§ 14	振动测量	(58)
14.1	测振传感器的分类	(58)
14.2	ITI-22F-31 型振动传感器	(64)

14.3	CZ-102 型颤振传感器	(64)
14.4	QZB 型加速度计	(65)
14.5	TF9/3 型半导体跟随器	(65)
14.6	AB-43 振动放大器	(66)
14.7	AB-44 振动测量仪	(67)
§ 15	燃油耗量的测量	(69)
15.1	PTC-16A 油耗传感器及 ПТ-56M 闸流管断续器	(69)
15.2	MIP 型涡轮流量计	(71)
§ 16	转速测量	(74)
§ 17	光学示波器	(75)
17.1	概 述	(75)
17.2	A223H 六线示波器	(87)
17.3	紫外线示波器	(87)
§ 18	TCJ-1-B 调频式磁记录器(试用)	(89)
18.1	用 途	(89)
18.2	性 能	(89)
18.3	工作原理	(89)
18.4	检查和使用	(90)
§ 19	SCJ-1 型数码式磁记录器(试用)	(91)
	概 述	(91)
19.1	机载主机	(91)
19.2	SCJ-1-OF 低电平附件	(92)
19.3	SCJ-1 数字-频率磁记录器	(92)
19.4	SCJ-1-KZQ 主控制器	(93)
19.5	拖带机构	(93)
19.6	各部分关系	(93)

第二章 配电装置及其他 (94)

§ 1	电路的操纵, 信号, 保护装置	(94)
§ 2	电路控制和电力输送	(102)
§ 3	电力变换	(111)
§ 4	电 钟	(118)
§ 5	直流桥式测量电路计算与分析	(119)
附:		
	关于电桥电压及振子机械零位的修正问题	(123)
§ 6	仪器的动态特性	(123)
6.1	概 述	(123)
6.2	二阶线性系统的动态特性	(124)
6.3	仪器动态特性的实验	(127)

第一章 参 数 测 量

§ 1 飞行高度的测量

1.1 测量飞行高度的仪器的工作原理(指用膜盒、膜片等作敏感元件制成的仪器)

根据高度随大气压力变化的一定关系, 飞行中测出不同的大气压力, 就可得到相应的不同高度。

仪器的敏感元件(压力受感器)可用波纹膜盒, 膜片等元件制成。高度变化时, 大气压力发生变化, 借助于膜盒的弹性变形, 使压力达到平衡。膜盒的变形通过传动放大机构输出变化的信号。这信号可用指针直接记录或变成电信号输出, 根据输出信号大小就可以得到相应的高度。

目前我们用下列公式计算飞行高度:

$$P_H = P_O \left(1 - \frac{a H}{T_O} \right)^{\frac{1}{aR}} \quad (H < 11000 \text{公尺})$$

$$P_H = P_{11} e^{-\frac{H-11000}{RT_{11}}} \quad (H > 11000 \text{公尺})$$

P_H : 某高度的大气压力

a : 0.0065°K/M

P_O : 760mm Hg

R : $29.2746\text{M}/^\circ\text{C}$

P_{11} : 169.60mm Hg

T_O : 288.16°K

T_{11} : 216.66°K

1.2 CD-726 高度自记器

一、主要技术数据:

1. 测量范围:

范 围	第一指针	第二指针
0~25000M	0~12000M	12000~25000M
0~20000M	0~10000M	10000~20000M
0~12000M	0~6000M	6000~12000M
0~10000M	0~5000M	5000~10000M
0~6000M	0~6000M	

2. 以打孔方式记录在宽 100mm, 长 10m 的纸带上。

3. 两个指针在纸带上记录总高度不小于 140mm。

4. 纸带转速是不均匀的, 从每秒 2mm 到 5mm。一次可装记录纸 10m, 10m 长的纸带总的记录时间不小于 45 分钟。

5. 供电电压为 27V 直流电源, 允许误差 $\pm 10\%$; 电压为 27V 时消耗电流不超过:

电动机不大于 0.5A。记时机构不大于 0.4A。加温器不大于 2A。

6. 仪器的误差在常温情况下, 不得超过记录范围的 $\pm 1\%$ 。
 7. 壳体的密封要求: 当压力为100mmHg, 三分钟内不降5mmHg。
 8. 仪表的重量不超过5.5Kg。
 9. 仪表外形尺寸:
不带减振架 $280 \times 214 \times 130$ mm。带减振架为 $280 \times 237 \times 150$ mm。
- 二、电气原理图:

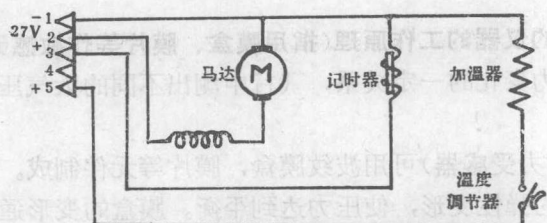


图 1-1 CD-726电路图

三、纸带运动方向: (俯视图)

四、机上安装

1. 减振框架安装尺寸

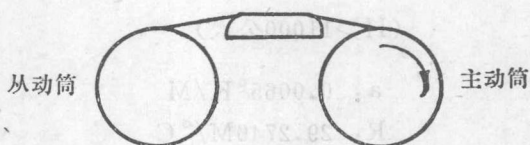


图 1-2 CD-726纸卷运动图

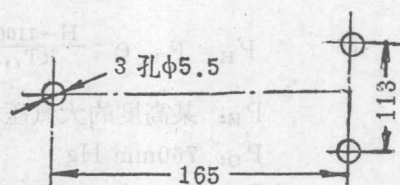


图 1-3 CD-726安装尺寸图

1.3 D 型高度传感器

此传感器的敏感元件为波纹膜盒, 感受压力后膜盒产生弹性变形, 并带动电位计上的电刷。为了提高测量精度, 采用了粗细二个电位计。

如图:

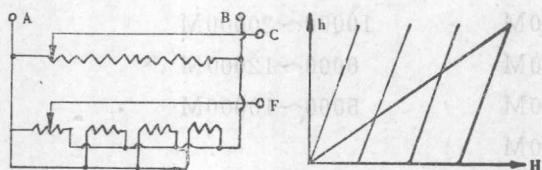


图 1-4 D型高度传感器电路图

主要技术数据

1. 外形尺寸不大于 $83 \times 83 \times 150$ mm
2. 传感器净重 400g
3. 安装尺寸: 见图 1-5

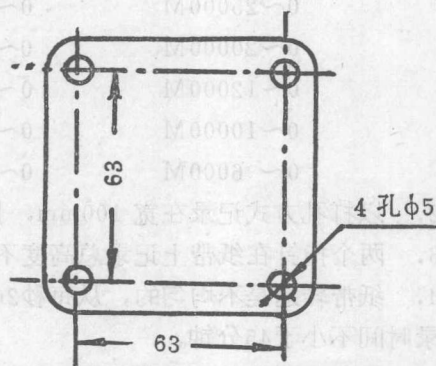


图 1-5 D型传感器安装尺寸图

4. D型系列产品技术数据列表如下:

型 号	D 3794	D 3795	D 3796	D 3797	D 5778	D 5779	D 5780
范 围	- 300~5000M	- 300~15000M	- 300~20000M	- 300~30000M	- 300~1000M	- 300~25000M	- 300~32000M
电 阻 值	粗 段	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω
	细 段	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω
精 度	I	- 300~760m $\pm 0.75\text{mmHg}$	- 300~1750m $\pm 1.125\text{mmHg}$	- 300~2020m $\pm 1.125\text{mmHg}$	$\pm 1.125\text{mmHg}$	- 300~1970m $\pm 1.125\text{mmHg}$	
	II	760~5000m $\pm 1.125\text{mmHg}$	1750~15000m $\pm 1.5\text{mmHg}$	2020~30000m $\pm 1.5\text{mmHg}$	- 300~320M	1970 - 25000M $\pm 1.5\text{mmHg}$	
电 位 计 配 置	第 1 段	760m	1750m	2020m	1000M	- 300~1970m	
	第 2 段	1950m	4330m	5150m		5050m	
	第 3 段	3300m	2900m	9900m		9600m	
	第 4 段	5000m	15000m	30000m		25000m	
	每 段 间 隔	7.5mmHg	7.5mmHg	7.5mmHg	$11.25 \pm 3.8 \text{mmHg}$	$11.25 \pm 3.8 \text{mmHg}$	11.25mmHg

§ 2 飞行速度的测量

2.1 飞机飞行速度测量的工作原理

飞机飞行速度的测量是通过测量飞机飞行中总压与静压之差(如图 2.1) 来实现的。压力与速度的关系在“空动”表中已示出, 一般采用在飞机飞行时迎面气流所形成的速压。

$$P_H^* - P_H = q$$

P_H^* : 总 压

P_H : 静 压

q : 速 压

再根据速度与压力差的关系, 得出相应速度。

工作过程: 我们现用的仪器的敏感元件是用波纹膜盒、膜片等元件制成。当速度变化时敏感元件直接感受动静压产生的压差, 由敏感元件产生弹性变形, 使压力平衡; 将波纹膜盒的变形通过传动放大机构, 输出变形信号。此信号可用指针直接记录或变成电讯号输出。根据记录下来的信号大小就可以得到相应的飞行速度。在正常状况下, $P_0 = 760\text{mmHg}$, $t_0 = 15^\circ\text{C}$ 下, 仪器根据下列公式校准:

$$q = 760 \{ (1 + 0.1334 \times 10^{-6} \times V^2)^{3.5} - 1 \} \quad M \leq 1$$

$$q = 760 \left[\frac{0.8584 \times 10^{-6} \cdot V^7}{(V^2 - 214277)^{2.5}} - 1 \right] \quad M \geq 1$$

2.2 CC-76 双针速度自记器

一、技术数据

1. 速度的记录范围有二种:

- 1) 速度的记录范围: 150~800公里/小时
第一指针记录范围: 150~400公里/小时
第二指针记录范围: 400~800公里/小时
- 2) 速度的记录范围: 200~1300公里/小时
第一指针记录: 200~700公里/小时
第二指针记录: 700~1300公里/小时

2. 用打孔的方法在宽度为 100mm, 长为 10m 的纸带上进行记录。

3. 两个指针在纸带上的记录总高度不低于 140mm。

4. 纸带运动速度是不均匀的, 从 2~5 mm/sec, 10m 长的纸带连续工作时间不小于 45 分钟。

5. 电源为 27V 直流电, 允许偏差 $\pm 10\%$

6. 电压为 27V 时消耗电流如下:

马达: 0.6A、记时器: 0.4A、加温器: 2A。

7. 在常温情况下, 误差不超过全量程的 1%。

8. 在外界温度从 $+50^\circ\text{C} \sim -60^\circ\text{C}$ <接通加温器>, 自记器的温度误差不超过总记录的 1.0%。

9. 仪表的壳体是相对气密的, 在压差为 100mmHg 压力时, 三分钟下降不超过 5mmHg。

10. 仪器重量不超过 5.5kg

11. 仪器外形尺寸: 带减震架为: $280 \times 237 \times 150\text{mm}$, 不带减震架为: $280 \times 214 \times 150\text{mm}$ 。

二、电器原理图: (同 C Д-726)

三、纸带运动方向: (同 C Д-726)

四、安装仪器的减振框架安装尺寸同 C Д-726。

2.3 CC-77 小惯性速度自记器

一、主要技术数据:

1. 记录速度的范围为 $250 \sim 20000\text{km/hr}$ 。

第一指针为 $250 \sim 1000\text{km/hr}$

第二指针为 $1000 \sim 2000\text{km/hr}$

压力 <测静压系统> 测量范围为 $\pm 1000\text{mmH}_2\text{O}$ 。

2. 参数以打孔的方法记录在宽 100mm 长 10m 的纸带上。

3. 动压系统的两根指针在纸带上记录的总高度不小于 140mm。静压系统的指针记录高度不小于 60mm。

4. 纸带运动是不均匀的, 其速度范围为 $2 \sim 5\text{mm/sec}$, 长为 10m 的纸带, 其连续工作时间不小于 45 分钟。

5. 电源电压为直流 $27\text{V} \pm 10\%$ 。

6. 在电压为 27V 时, 消耗的电流为:

电动机: 不大于 0.6A

计时器: 不大于 0.4A

加热器: 不大于 2A

7. 在常温条件下, 仪器误差不超过整个记录范围的 1%。

8. 仪器具有温度补偿能力, 在接通加热器的情况下, 温度由 $+50^\circ\text{C}$ 变化到 -60°C , 附加温度误差不应超过 0.5%。

9. 仪器的壳体是相对气密的, 在压差为 100mmHg 的情况下, 在三分钟内仪器漏气不应超过 5mmHg 。

10. 全套仪器的重量不超过 5kg。

11. 仪器的外廓尺寸: 不带减振架为: $280 \times 214 \times 130\text{mm}$; 带减振架为: $280 \times 237 \times 150\text{mm}$ 。

二、电路图:

同 C Д-726 电路图

三、纸带运动图:

同 C Д-726

四、仪器机上安装要求同 CC-76。

五、说明:

CC-77 自记器是用来记录飞机在不稳定飞行状态下的空速。它与 CC-76 不同, CC-76 是记录总压与静压之差, 而 CC-77 是记录总压与壳体压力之差和静压与壳体压力之差。此种测量方法可消除因静压腔太大, 而引起的迟滞误差。

联结如图所示:

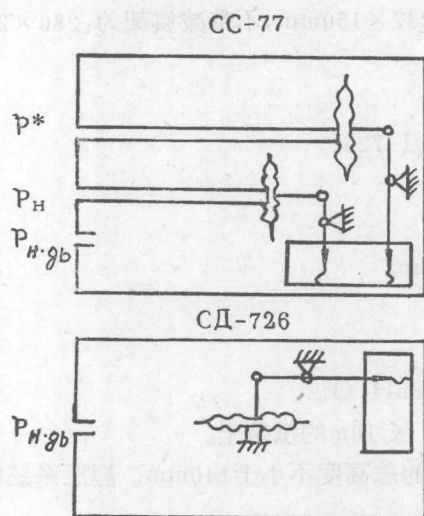


图 2—1 CC-77 原理图

P^* 飞行中总压

P_H 静压

$P_{H.gb}$ 仪器安装处的局部压力

$$\Delta P = P_H \pm P_{H.gb}$$

2.4 D 型速度传感器

此传感器的输出为电位计式。为提高精度采用粗细刻度分别记录。

原理线路及校准曲线形式, 同 D 型高度传感器。

主要技术数据

1. 外形尺寸不大于: $83 \times 83 \times 150\text{mm}$ 。
2. 传感器重量 400g
3. 安装孔位置及尺寸, 同 D 型高度传感器。

D 系列产品技术数据:

4. D 系列产品技术数据:

型 号		D3790	D3791	D3792	D3793	D5780	D5783
范 围		0~370 km/hr	0~830 km/hr	0~1110 km/hr	0~1480 km/hr	0~148 km/hr	0~2000 km/hr
电 阻 值	粗 段	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω
	细 段	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω	2.2K Ω
精 度	I	115~230 $\pm 4.6\text{km/hr}$	185~278 $\pm 3.7\text{Km/hr}$	223~270 $\pm 3.7\text{Km/hr}$	278~463 $\pm 3.7\text{Km/hr}$	56~148 $\pm 3.7\text{Km/hr}$	260~480 $\pm 7.4\text{km/hr}$
	II	230~370 $\pm 3.7\text{km/hr}$	278~830 $\pm 2.8\text{km/hr}$	270~1110 $\pm 2.8\text{km/hr}$	463~1480 2.8K m/hr		480~2000 $\pm 5.6\text{km/hr}$
电 位 器 配 置	第 1 段	185km/hr	278km/hr	316km/hr			547km/hr
	第 2 段	278km/hr	463km/hr	593km/hr			1038km/hr
	第 3 段	370km/hr	648km/hr	852km/hr			1546km/hr
	第 4 段		836km/hr	1120km/hr			2000km/hr
	每 段 隔 间	7.4 ± 3.7 km/hr	9 $\pm 3.7\text{km/hr}$	13 ± 3.7 km/hr	24 ± 5.6 km/hr		24 $\pm 7.4\text{km/hr}$

§ 3 高度速度综合测量仪器

3.1 CД-51 高度速度光学自记器

CД-51 是具有三个检流计及带高度、速度的光学自记器,用于在飞机飞行时记录飞行高度速度和其他三个变化的电参数。

一、技术数据

- 1) 用分为二个阶段记录飞机飞行速度范围 $200 \sim 1500 \text{ km/hr}$ 。
 - 2) 用分为二个阶段记录飞机飞行高度范围 $0 \sim 20000 \text{ m}$ 。
 - 3) 借助于检流计记录三个任意参数,记录电流范围 $0 \sim 1.1 \text{ mA}$ 。
 2. 温度在 $-60^{\circ} \sim +50^{\circ} \text{C}$ 范围内记录误差:
 - 1) 在记录高度速度时的误差是每个阶段最大值的 $\pm 1\%$;当飞行高度记录范围 $18000 \sim 20000 \text{ m}$ 时,飞行速度是 $200 \sim 350 \text{ km/hr}$ 时,记录误差增至 $\pm 1.5\%$ 。
 - 2) 在记录电流时其误差是最大值的 $\pm 1\%$ 。
 3. 检流计电阻值 $10 \Omega \pm 10\%$ 。
 4. 检流计的阻尼时间是 0.25 sec 。
 5. 参数记录的高度为 80 mm 。记录线宽度 $0.3 \sim 1 \text{ mm}$ 。
 6. 感光纸平均运动速度 $10; 5; 1 \text{ mm/sec}$ 。
 7. 当感光纸厚度是 0.15 mm ,暗盒内可以装 10 m 感光纸。
 8. 在以下振动频率下仪器工作是稳定的。
 - 1) 频率为 $10 \sim 35 \text{ c/s}$,振幅不超过 0.5 mm 。
 - 2) 频率为 $35 \sim 80 \text{ c/s}$,振幅相当于过载为 2.5 g 。
- 在振动时记录线宽度不超过 1 mm 。
9. 垂直于底座方向的过载为 6 g 时,参数记录附加误差不超过记录范围的 1.5% 。
 10. 仪器在 $27 \text{ V} \pm 10\%$ 电压下工作,消耗电流 4 A 。
 11. 配套仪器重量不超过 9 kg 。
 12. 仪器的外形尺寸: $298 \times 196 \times 138 \text{ mm}$ 。
 13. 仪器是远距离操作的。

二、电气原理图:

3.2 YG-101 高度速度光学自记器

YG-101 是具有四个振子的高度速度的光学自记器,用于在飞机飞行时记录飞行高度、速度和其它四个变化的电参数。

一、技术数据

1. 高度范围: 20000 m
2. 速度范围: 1200 km/hr
3. 振子:
 - 灵敏度: $5 \text{ mm/ma}; 12 \text{ mm/ma}; 16 \text{ mm/ma}$ 。
 - 允许电流: $1 \text{ ma}; 0.1 \text{ ma}; 0.1 \text{ ma}$ 。
 - 内阻: $35 \Omega; 27 \Omega \sim 40 \Omega$ 。
 - 自振频率: $160 \text{ c/s}; 365 \text{ c/s}; 70 \text{ c/s}$ 。

4. 感光纸速度: 0.7, 3.5, 7, 35mm/sec
其它同CД-51。

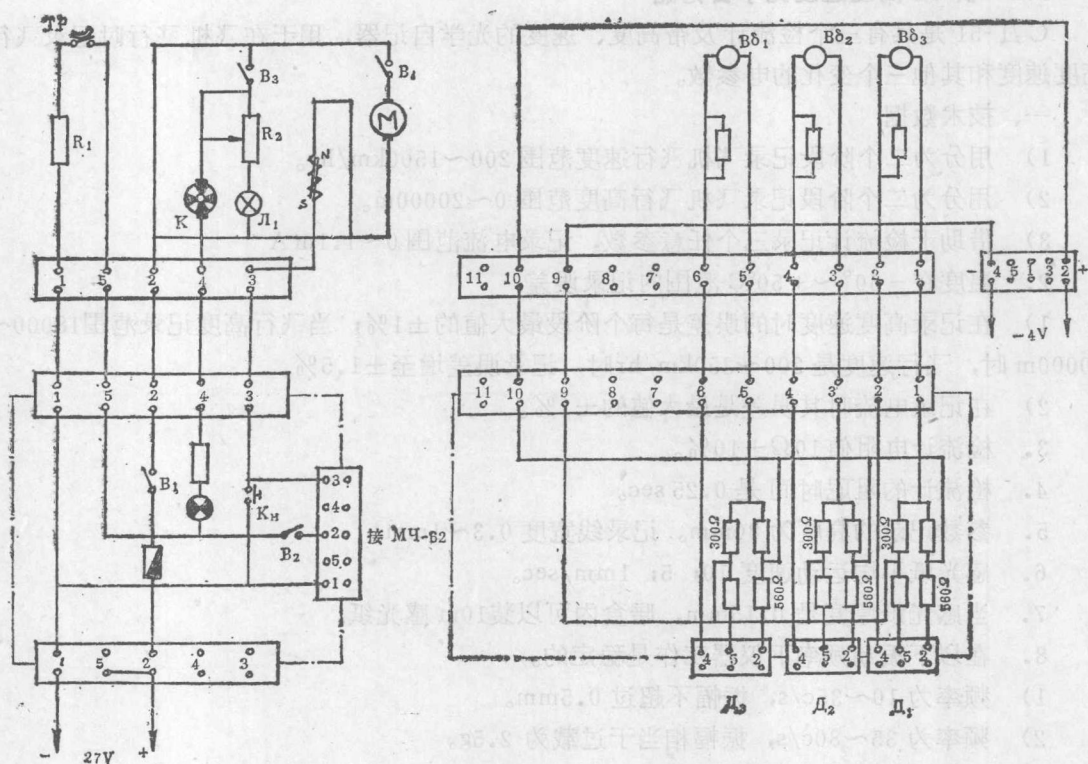


图 3-1 CД-51 电气原理图

§ 4 其他压力测量

4.1 МРД 小型压力传感器

1. 主要技术数据:

型 号	范 围	误 差	允许电压	重 量	阻 值
МРД-7	0 - 1kg/cm ²	±1.5%	15V =	300g	1018Ω
МРД-14	780~200mmHg	±1.5%	15V =	300g	847Ω
МРД-16G	760~5mmHg	±1.5%	15V =	300g	
МРД-106	0~0.6kg/cm ²	±1.5%	15V =	300g	960±250Ω

2. 使用注意事项:

校准和检查数据时, 应在蜂鸣振动下进行。

4.2 PG-C 型超低压传感器

PG-C 型超低压传感器的感受部是膜盒, 采用非接触式电阻丝 (张线式) 组成电桥输出电信号。

测量压力: $0.01 \sim 0.05 \text{ kg/cm}^2$ 。

输入阻抗: $120 \Omega \pm 0.5\%$ 。

允许电源电压: 不超过 4 伏。

传感器重量: 400g。

外形尺寸: $\phi 60 \times 130 \text{ mm}$ 。

线路图:

主要技术数据:

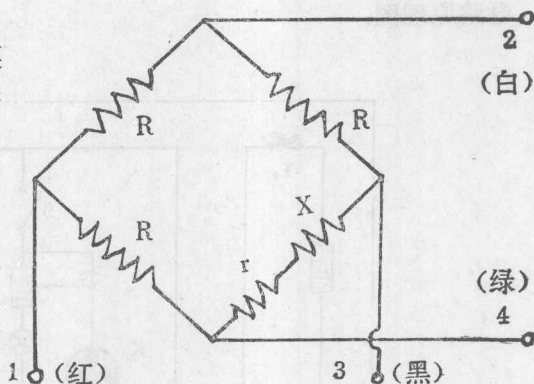


图 4—1 PG-C 电路图 图中 r 为补偿电阻

仪 器 型 号	压 力 范 围	感 受 应 变 $K_S = 2.00$		固 有 频 率	使 用 温 度
		1mmH ₂ O 压 力时	最 压 力 大 时		
PC-10CC	0~100mmH ₂ O	25×10^{-6}	2500×10^{-6}	300C/s	+50°~ -60℃
PC-50GC	0~500mmH ₂ O	6×10^{-6}	3000×10^{-6}	300C/s	~

使用注意事项:

1. 安装方向与振动方向相垂直。
2. 因受感部电阻丝易断, 故运输保管切勿受剧烈冲击。
3. 因灵敏度高, 加压时勿过载。

4.3 CD-52 多点压力光学自记器

主要技术数据

1. 记录范围:

- 1) 5 个气压膜盒适于 $\pm 200 \text{ mmHg}$
- 2) 5 个气压膜盒适于 $\pm 300 \text{ mmHg}$
- 3) 4 个气压膜盒适于 $\pm 500 \text{ mmHg}$

2. 正常温度下记录误差: $\pm 1\%$

3. 工作温度范围: $-60 \sim +50^\circ \text{C}$

4. 电源电压: $24 \text{ V} \pm 10\%$

5. 消耗电流: 带加温不大于 4 A, 不带加温不大于 2 A。

6. 对于每个气压膜盒记录宽度不大于 30mm。

7. 光学压力自记器外廓尺寸: $274 \times 168 \times 124 \text{ mm}$ 。

8. 重量: 连操纵盒、电缆、外套。全部记入共 10kg。

9. 纸卷移动速度为: 0.7 mm/sec ; 3.5 mm/sec 7 mm/sec 。

10. 每次可装宽 100mm 的感光纸 10m。

电路原理图:

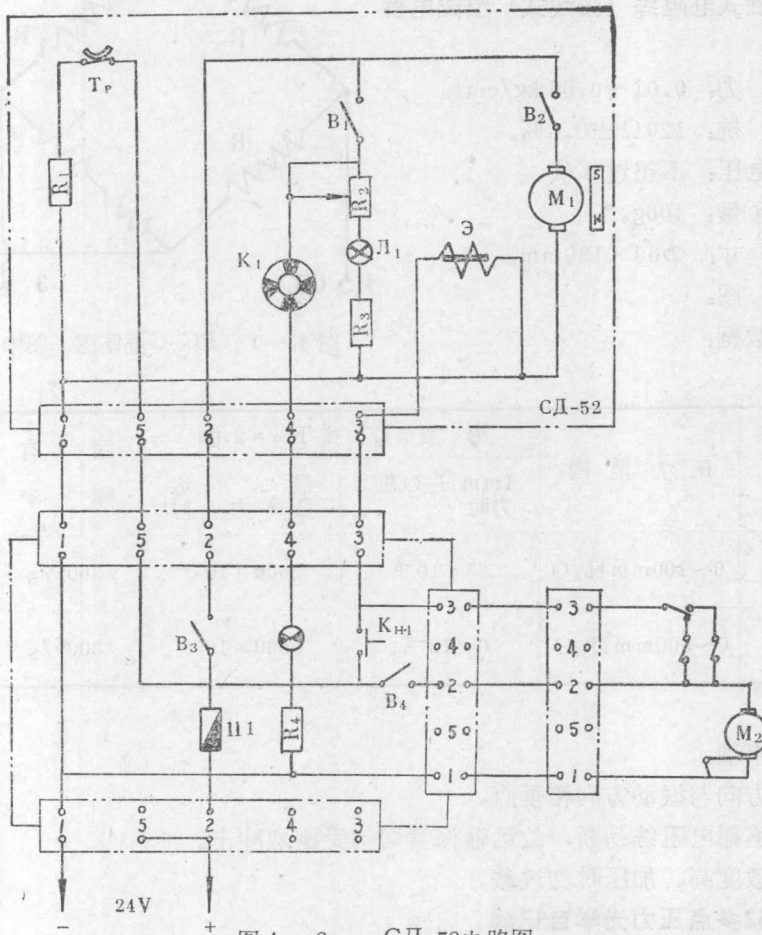


图 4—2 CD-52 电路图

安装要求:

安装位置便于接近, 检查; 不受滑油浸蚀和燃油浸蚀的机内任意空间; 用带减震垫的支架在飞机上安装, 仪器安装后检查光点, 折装暗盒要方便, 并带上保温套。

安装尺寸图:

CD-52 滚筒运动方向图:

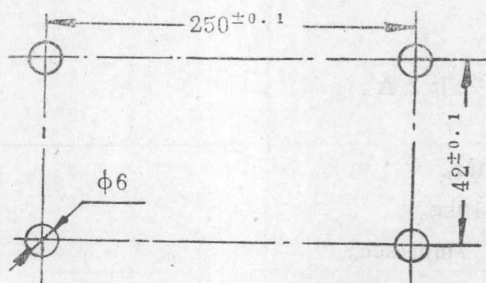


图 4—3 CD-52 安装尺寸图

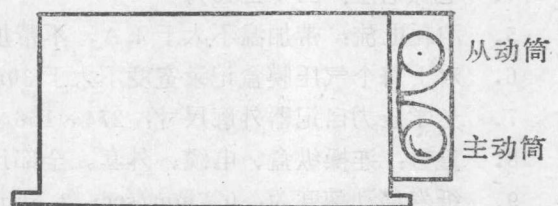


图 4—4 CD-52 感光纸运动示意图