

仪器使用说明

TEACHER'S GUIDEBOOK



FD-JSBR-B

冷却法金属比热容测量实验仪

中国. 上海复旦天欣科教仪器有限公司

Shanghai Fudan Tianxin Scientific & Educational Instruments Co., Ltd.

FD-JSBR-B 型 冷却法金属比热容测量实验仪

一、概述

单位质量的物质，其温度升高 1K (1°C) 所需的热量叫做该物质的比热容，其值随温度而变化。根据牛顿冷却定律，用冷却法测定金属的比热容是量热学中常用方法之一。若已知标准样品在不同温度的比热容，通过作冷却曲线可测量各种金属在不同温度时的比热容。FD-JSBR-B 型冷却法金属比热容测量实验仪对于传统的实验方法与实验装置都做了很大的革新。在实验方法上，样品的冷却条件不再仅是室温环境下的自然冷却，还增加了利用风扇制造强制对流来进行冷却的环境，从而可以比较分析两种冷却条件的优劣；在实验装置上，加热器采用了工作于安全电压且自带限温功能的 PTC 加热板，温度传感器则以 PT100 铂电阻取代了传统的需要以冰水混合物作为冷端的铜-康铜热电偶，且加热器与样品室由传统的上下竖直结构改为了左右横向结构，加热器在样品室内外的上下移动改为了样品在加热器与样品室间的左右滑动，使得实验操作更为便捷。

本仪器以铜作为标准样品，在两种不同冷却环境下，测量铁、铝样品在 100°C 时的比热容，使学生了解金属的冷却速率与冷却环境的关系，并掌握冷却法测量金属比热容的实验方法，可用于高校基础物理热学实验和设计性、综合性物理实验。

二、仪器简介

FD-JSBR-B 型冷却法金属比热容测量实验仪主要由实验主机、加热器、样品室、风扇、PT100 铂电阻等组成，仪器装置如图 1 所示。



图 1 冷却法金属比热容测量实验装置

三、技术指标

1. PTC 加热器

工作电压:	AC 30V
稳定温度:	>150℃, 依室温略有浮动
限制温度:	230℃

2. 数字欧姆表

量程:	0-199.99Ω
分辨率:	0.01Ω

3. 金属样品

数量:	铜、铁、铝各一个
直径:	8mm
长度:	65mm

四、实验项目

1. 学用 PT100 铂电阻测量物体的温度;
2. 在强制对流冷却的环境下测量铁、铝样品在 100℃时的比热容;
3. 在自然冷却的环境下测量铁、铝样品在 100℃时的比热容。

五、注意事项

1. FD-JSBR-B 型冷却法金属比热容测量实验仪实验主机供电电压为交流 220V/50Hz, 电源插座位于实验主机后方;
2. 实验前建议先开启加热器预热 20 分钟左右;
3. 加热器工作时请保持其周围散热孔的畅通, 请不要用任何物体遮挡散热孔;
4. 更换样品前请开启风扇对当前样品进行降温, 务必等到温度降低至 50℃以下再动手更换, 以免烫伤;
5. 开启风扇制造强制对流冷却的实验环境时, 请不要使任何热源靠近进风口, 并保持进、出风口的畅通。

冷却法金属比热容测量实验

【实验目的】

1. 学用 PT100 铂电阻测量物体的温度；
2. 在强制对流冷却的环境下测量铁、铝样品在 100℃ 时的比热容；
3. 在自然冷却的环境下测量铁、铝样品在 100℃ 时的比热容。

【实验原理】

1. PT100 铂电阻

导体的电阻值随温度变化而变化，通过测量其电阻值可推算出被测物体的温度。PT100 就是利用铂电阻的阻值随温度变化而变化这一特性来进行测温。在 0℃ 时，PT100 的阻值为 100Ω，它的阻值会随着温度上升而成近似匀速的增长，但它们之间的关系并不是简单的线性关系，而更趋近于一条抛物线，通常可通过查表的方式来得到较为准确的温度值。

2. 冷却法金属比热容测量原理

单位质量的物质，其温度升高 1K (1℃) 所需的热量叫做该物质的比热容，其值随温度而变化。根据牛顿冷却定律，用冷却法测定金属的比热容是量热学中常用方法之一。若已知标准样品在不同温度的比热容，通过作冷却曲线可测量各种金属在不同温度时的比热容。本实验以铜为标准样品，测定铁、铝样品在 100℃ 的比热容。通过实验了解金属的冷却速率和它与环境之间的温差关系以及进行测量的实验条件。单位质量的物质，其温度升高 1K (1℃) 所需的热量叫做该物质的比热容，其值随温度而变化。将质量为 M_1 的金属样品加热后，放到较低温度的介质（例如：室温的空气）中，样品将会逐渐冷却。其单位时间的热量损失 ($\frac{\Delta Q}{\Delta t}$) 与温度下降的速率成正比，于是得到下述关系式：

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = C_1 M_1 \frac{\Delta \theta_1}{\Delta t} \quad (1)$$

(1) 式中 C_1 为该金属样品在温度 θ_1 时的比热容， $\frac{\Delta \theta_1}{\Delta t}$ 为金属样品在 θ_1 时的温度下降速率。根据冷却定律有：

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = a_1 s_1 (\theta_1 - \theta_0)^m \quad (2)$$

(2) 式中 a_1 为热交换系数， s_1 为该样品外表面的面积， m 为常数， θ_1 为金属样品的温度， θ_0 为周围介质的温度。由式 (1) 和 (2)，可得：

$$C_1 M_1 \frac{\Delta \theta_1}{\Delta t} = a_1 s_1 (\theta_1 - \theta_0)^m \quad (3)$$

同理，对质量为 M_2 ，比热容为 C_2 的另一种金属样品，可有同样的表达式：

$$C_2 M_2 \frac{\Delta \theta_2}{\Delta t} = a_2 s_2 (\theta_2 - \theta_0)^m \quad (4)$$

由上式 (3) 和 (4), 可得:

$$\frac{C_2 M_2 \frac{\Delta \theta_2}{\Delta t}}{C_1 M_1 \frac{\Delta \theta_1}{\Delta t}} = \frac{a_2 s_2 (\theta_2 - \theta_0)^m}{a_1 s_1 (\theta_1 - \theta_0)^m}$$

所以:

$$C_2 = C_1 \frac{M_1 \frac{\Delta \theta_1}{\Delta t} a_2 s_2 (\theta_2 - \theta_0)^m}{M_2 \frac{\Delta \theta_2}{\Delta t} a_1 s_1 (\theta_1 - \theta_0)^m}$$

如果两样品的形状尺寸都相同, 即 $s_1 = s_2$; 两样品的表面状况也相同 (如涂层、色泽等), 而周围介质 (空气) 的性质当然也不变, 则有 $a_1 = a_2$ 。于是当周围介质温度不变 (即样品室内温度恒定) 而样品又处于相同温度 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 时, 上式可以简化为:

$$C_2 = C_1 \frac{M_1 (\frac{\Delta \theta}{\Delta t})_1}{M_2 (\frac{\Delta \theta}{\Delta t})_2} \quad (5)$$

若使两样品的温度下降范围 $\Delta \theta$ 相同, (5) 式可进一步简化为:

$$C_2 = C_1 \frac{M_1 (\Delta t)_2}{M_2 (\Delta t)_1} \quad (6)$$

如果已知标准金属样品的比热容 C_1 质量 M_1 ; 待测样品的质量 M_2 及两样品在温度 θ 时冷却速率之比, 就可以求出待测的金属材料的比热容 C_2 。

几种常见金属材料的比热容公认值为:

铜: $C_{Cu} = 0.39 J / (g \cdot ^\circ C)$

铁: $C_{Fe} = 0.46 J / (g \cdot ^\circ C)$

铝: $C_{Al} = 0.88 J / (g \cdot ^\circ C)$

3. 传统实验方法的误差分析及改进

①. 样品表面状况及环境温度变化的影响

实验原理中为确保计算公式的成立作了几个关于实验条件的假设。对于标准样品与待测样品形状与尺寸相同这一假设可通过精密的加工手段来实现, 而有两项假设在传统的实验条件中就很难严格成立了。

首先是样品表面状况相同的假设。对于金属材料来讲，不同的金属有着不同的色泽，为了使它们能拥有同样的表面状况，有时可采用同样的表面处理方式。但并非所有的金属都适合同一种表面处理方式，如铜、铁等材料均可表面镀铬后抛光，而铝表面镀铬则容易脱落。不同的表面处理方式会使得金属样品表面的色泽及粗糙度有所不同，从而导致辐射传热的速率产生差异，影响实验结果。

还有样品周围介质温度不变的假设，即样品室内的环境温度没有改变。实验过程中，物体在样品室内冷却的过程中会不断散发热量，而在自然冷却的传统实验条件下，这些热量会在样品室内积聚从而引起样品室内温度的提升。因此，以自然冷却的条件来进行实验时，样品所处的环境温度 θ 会逐渐变大，就不能严格符合 $\theta_1 = \theta_2$ 实验条件了。

为了解决这两个问题，可在实验装置中增加一个风扇，将样品所处的冷却环境由自然冷却改变为强制对流冷却。此时强制对流成为样品向环境传递热量的主要传热方式，从而大幅减小辐射传热速率差异带来的影响；同时还能不断带走样品室内的热量，若实验过程中室温及风扇的转速均不变且没有其他干扰因素，那么样品所处的环境温度 θ 以及气流场亦都是稳定不变的，从而避免因样品室内温度变化引起的实验误差。

②. 热电偶测温的误差

热电偶测温需要一个恒定为 0°C 的冷端温度环境，一般由冰水混合物提供。而冰水混合物中若加入的冰块不够多，会因为冰浮于水面使得保温杯内的温度并不均匀，且在实验过程中冰块会逐渐融化，亦可能使得热电偶冷端所处位置的温度有所升高——这些都会使热电偶测温产生误差。

而若是用高精度的 PT100 铂电阻替代热电偶，则无需冰水混合物，从而减少误差产生的来源，亦能省去用于存放冰水混合物的保温杯，使实验装置也得到了精简。

③. 计时引入的误差

实验过程需用计时器手动记录样品温度下降 $\Delta\theta$ 所用的时间 Δt ，而无论是指针式的还是数显的电压表或欧姆表，对于所测对象的变化都有一个反应时间或者刷新频率。特别是数显的指示表，为了使人眼能够捕捉并记录到其示值，其刷新频率一般不超过每秒 3-4 次，在加上记录者自身反应时间的影响，所记录的时间 Δt 越是短，误差就所占的比例就会越大。

因此，为了减小计时引入的误差，除了利用多次测量取平均的数据处理方法，还要适当增加 Δt 。首先可增加样品的质量，使得整个样品的热容增大，从而增加样品下降相同温度所需的时间 Δt ；同时，还可增加下降温度 $\Delta\theta$ 的区间，例如由传统的 $98^{\circ}\text{C}-102^{\circ}\text{C}$ 适当增加至 $95^{\circ}\text{C}-105^{\circ}\text{C}$ ，这样既能保证测温范围内 $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 的近似线性，又能增加 Δt 以减小计时带来的误差。

【实验仪器】

FD-JSBR-B 型冷却法金属比热容测量实验仪主要由实验主机、加热器、样品室、风扇、PT100 铂电阻等

组成，仪器装置如图 2 所示。



图 2 冷却法金属比热容测量实验仪

【实验过程】

1. 将实验装置上的加热器与风扇通过电缆线分别连接至实验主机面板上的相应位置，位于滑杆末端的两根引线为 PT100 铂电阻的两端，通过手枪插与实验主机面板上的欧姆表相连。
2. 开启实验主机，将滑杆拉到底，而后开启加热器电源，预热 20 分钟左右。
3. 用物理天平或电子天平分别称量铜、铁、铝三个金属样品的质量，并记录下来（可根据相同体积下 $M_{Cu} > M_{Fe} > M_{Al}$ 这一特点来区分这三种样品）。
4. 在强制对流冷却的环境下测量铁、铝样品在 100℃ 时的比热容
 - ①. 开启风扇电源，打开样品室上盖，将铜样品套在封装有 PT100 铂电阻的不锈钢圆柱上，并手动旋上样品底部的螺纹（注意不必旋得很紧），盖回样品室上盖；
 - ②. 将滑杆推到底使样品进入加热器，注意观察 PT100 铂电阻的阻值。当铂电阻温度超过某一定值（如 120℃ 即 146.07Ω）时，立即拉出滑杆，此时风扇刚好正对样品进行强制对流冷却。因热传导产生的延后性，铂电阻所测得的温度会上升一端时间后才开始下降。当温度降低到 105℃（即 140.40Ω）时按下秒表开始计时（由于欧姆表示值并不连续，因此当其示值一降到小于等于 140.40Ω 时就可立即按下秒表），降低到 95℃（即 136.61Ω）时，再次按下秒表停止计时，记录所需时间 Δt ，并重复测量 5 次；
 - ③. 待样品温度降至 50℃（即 119.40Ω）以下，更换样品，测量铁、铝样品的 Δt ，并利用式（6）计算铁、铝样品的比热容。
5. 在自然冷却的环境下测量铁、铝样品在 100℃ 时的比热容
关闭风扇电源，用实验过程 4 中所述同样的方法测量并计算铜、铁、铝三个样品的比热容，并与实验过程 4 所测得的结果作比较（更换样品时可用风扇冷却）。
6. 实验完成后关闭加热器，可利用风扇为样品降温，而后取下样品，关闭风扇及实验主机电源。

【实验数据】(注：以下数据不作为仪器验收标准，仅供实验时参考)

样品质量： 铜 $M_{Cu} = 18.34g$

铁 $M_{Fe} = 18.07g$

铝 $M_{Al} = 6.50g$

1. 在强制对流冷却的环境下测量铁、铝样品在 100℃时的比热容

表 1 三种样品在强制对流冷却的环境下由 105℃降至 95℃所需时间表

	$\Delta t / s$					平均值 $\overline{\Delta t} / s$
	1	2	3	4	5	
铜	16.97	17.22	17.25	17.16	17.25	17.17
铁	20.40	20.54	20.38	20.22	21.13	20.53
铝	12.84	13.38	13.56	13.47	13.94	13.44

以铜样品为标准： $C_1 = C_{Cu} = 0.39J / (g \cdot ^\circ C)$

计算得铁样品的比热容： $C_2 = C_1 \frac{M_1(\Delta t)_2}{M_2(\Delta t)_1} = 0.39 \times \frac{18.34 \times 20.53}{18.07 \times 17.17} = 0.47J / (g \cdot ^\circ C)$

计算得铝样品的比热容： $C_3 = C_1 \frac{M_1(\Delta t)_3}{M_3(\Delta t)_1} = 0.39 \times \frac{18.34 \times 13.44}{6.50 \times 17.17} = 0.86J / (g \cdot ^\circ C)$

2. 在自然冷却的环境下测量铁、铝样品在 100℃时的比热容

表 2 三种样品在自然冷却的环境下由 105℃降至 95℃所需时间表

	$\Delta t / s$					平均值 $\overline{\Delta t} / s$
	1	2	3	4	5	
铜	29.72	30.81	31.53	32.16	32.84	31.41
铁	38.34	39.44	39.82	40.41	41.12	39.83
铝	22.25	23.19	23.75	23.94	24.10	23.45

以铜样品为标准： $C_1 = C_{Cu} = 0.39J / (g \cdot ^\circ C)$

计算得铁样品的比热容： $C_2 = C_1 \frac{M_1(\Delta t)_2}{M_2(\Delta t)_1} = 0.39 \times \frac{18.34 \times 39.83}{31.41 \times 18.07} = 0.50J / (g \cdot ^\circ C)$

计算得铝样品的比热容： $C_3 = C_1 \frac{M_1(\Delta t)_3}{M_3(\Delta t)_1} = 0.39 \times \frac{18.34 \times 23.45}{6.50 \times 31.41} = 0.81J / (g \cdot ^\circ C)$

可见，相比较而言，在强制对流冷却的环境下测量得到的铁、铝样品的比热容更接近于公认值。

(20180904 修订)

【附录】

Pt100 铂电阻分度表（-40℃—299℃）

温度 /℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电阻值/Ω									
-40	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70
-30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67
-20	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62
-10	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55
0	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52
80	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33
90	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13
100	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91
110	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69
120	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46
130	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21
140	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95
150	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68
160	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40
170	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11
180	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80
190	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49
200	175.86	176.22	176.59	176.96	177.33	177.69	178.06	178.43	178.79	179.16
210	179.53	179.89	180.26	180.63	180.99	181.36	181.72	182.09	182.46	182.82
220	183.19	183.55	183.92	184.28	184.65	185.01	185.38	185.74	186.11	186.47
230	186.84	187.20	187.56	187.93	188.29	188.66	189.02	189.38	189.75	190.11
240	190.47	190.84	191.20	191.56	191.92	192.29	192.65	193.01	193.37	193.74
250	194.10	194.46	194.82	195.18	195.55	195.91	196.27	196.63	196.99	197.35
260	197.71	198.07	198.43	198.79	199.15	199.51	199.87	200.23	200.59	200.95
270	201.31	201.67	202.03	202.39	202.75	203.11	203.47	203.83	204.19	204.55
280	204.90	205.26	205.62	205.98	206.34	206.70	207.05	207.41	207.77	208.13
290	208.48	208.84	209.20	209.56	209.91	210.27	210.63	210.98	211.34	211.70



上海复旦天欣科教仪器有限公司

FD-JSBR-B 型 冷却法金属比热容测量实验仪

装 箱 清 单

您购买的产品与装箱清单中是否符合，请验收。

日期： 年 月 日

编号	名称	数量	备注
1	实验主机	壹台	
2	实验装置	壹台	包含加热器、风扇、PT100
3	实验样品	叁个	铜、铁、铝各一个
4	连接线	贰根	
5	电源线	壹根	
6	秒表	壹个	
7	合格证	壹张	
8	说明书	壹本	
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

此装箱清单所列内容是指包装箱内应包括的设备和资料，不包括您选用的其它配件，如您还选用其它配件，请您在购机时一并检查清楚。