

# 弗莱希曼和庞斯量热法述评

[美]杰德·罗斯韦尔 (Jed Rothwell) 著, 张武寿 译

LENR-CANR.org, 2020 年 8 月

原文网址: <http://lenr-canr.org/acrobat/RothwellJreviewoftha.pdf>

## 目录

弗莱希曼和庞斯量热法述评.....	1
摘要 .....	2
1. 作为实验核心的量热.....	2
2. 四种量热方法.....	3
3. 第一阶段使用的等温外套量热法.....	4
4. 电化学, 杜瓦瓶.....	8
5. 更复杂的情形.....	10
6. 热测量一例.....	11
7. 第二阶段的相变(沸腾)量热法.....	12
8. 第三阶段的冷却曲线分析.....	14
9. 弗莱希曼和庞斯的《简单》论文.....	16
10. 争议 .....	18
10.1. 混合不均匀误差.....	19
10.2. 复合反应误差.....	21
10.3. 氘氧燃烧——“打火机效应”.....	22
10.4. 数据点不够.....	23
10.5. 关于何时以及如何测量传热系数的争论.....	23
致谢 .....	26
附录 A. 18 和 19 世纪的量热计能测量冷聚变效应吗? .....	27
附录 B. 冷聚变的非科学反对意见 .....	28
附录 C. 传热系数 $[k_R]$ 符号说明 .....	29
文献 .....	30
译后记 .....	33

## 摘要

本文介绍了弗莱希曼（Fleischmann）和庞斯（Pons）在实验中使用的量热方法。从1989年到1993年，他们发表了一系列论文，描述了三种量热方法：等温外套法、相变和冷却曲线分析。这些结果在沸腾实验中达到高潮，当时电解池产生了超过100 W的超热，并在没有输入功率的情况下保持高温达数小时。1996年，庞斯报道了另一系列的实验结果，使用回流量热计测得反应产生高达101 W超热并持续70天。

本概述供普通读者阅读。它包括等温外套量热法、相变和其他方法的定义，如何进行标定的讨论以及弗莱希曼和庞斯的设备和方法的一些高级功能。

一些怀疑者声称这些量热方法不可靠或存在争议，本文也评述了其中的一些反对意见。

### 1. 作为实验核心的量热

量热计就是测量热的仪器。各种量热方法对于冷聚变研究至关重要。

为什么量热如此重要？其原因正如弗莱希曼所言，“热是反应的主要标志。”如果未检测到热量，则很可能没有冷聚变反应。冷聚变的主要核产物是氦。氦产量小，难以检测<sup>1</sup>。冷聚变也很少产生放射性。

这完全不同于等离子体聚变。等离子体聚变反应除产生与典型冷聚变实验一样多的热量外，还会产生大量贯穿辐射，从而杀死无防御的观察者。因此，使用辐射探测器确认反应要比通过量热确认容易得多。而这也成了怀疑者们提出的第一个反对意见，直到今天仍然如此。本文下面将会讨论。

热也是冷聚变最重要的特征，因为它证明反应是核而非化学的。该热量称为“超热”（excess heat）或“超焓”（excess enthalpy），因为在电化学技术中，通常会有输入功率，而输出热超过了输入热。尽管在某些情况下，没有输入功，只有输出热。

正如弗莱希曼和庞斯在其首篇论文中指出的那样，该反应每克产生的能量比任何化学反应都要多：

钡电极的焓产生可以超过  $10 \text{ W cm}^{-3}$  并维持120小时以上的实验时间，在此期间释放的典型热超过  $4 \text{ MJ cm}^{-3}$ （按电极体积计算）。这只能是核过程，其他任何原因都是不可想象的。[1]

汽油产生的热量在所有常用化学品中已是最高，达  $0.034 \text{ MJ/cm}^3$ <sup>2</sup>。换句话说，首次报道的冷聚变实验产生的热量是相同体积任何化学燃料的118倍<sup>3</sup>。随后实验产生的能量高达约300 MJ，比任何化学反应高约10,000倍，约略估计是燃烧装置所在实验台而产生的热量<sup>4</sup>。冷聚变不仅产生比化学反应更多的热量，而且电解池中也没有化学燃料，也未发生化学变化，只有实验开始时形成氘化钡算是化学变化，而其中的势能可忽略不计。

<sup>1</sup> 在D-D反应中1g氘聚变会产生345,000 MJ的热量。多项研究已证实氦产生。这极具挑战性，因为氦含量极少，而氦在大气中无处不在。

<sup>2</sup> 这忽略了燃烧汽油所需的氧气，那会降低每立方厘米的能量。汽油产生44 MJ/kg，密度为0.78 g/cm<sup>3</sup>。它每克所产生的能量几乎与异种火箭燃料一样多，后者是迄今为止设计的能量密度最高的化学品。

<sup>3</sup> 如按单位质量计算，冷聚变会产生更多的热，但计算复杂。钡不参与反应，它没有改变。钡中的氘聚变成氦，如上所述，最好的估计是它产生的热量与等离子体聚变释放的相同：345,000 MJ/g。关键是一个很小的物体产生远远超过任何化学反应所能得到的热量。它就像一根燃烧数周的火柴。

<sup>4</sup> 不是整张桌子。文献[5]描述了在158天内产生294 MJ的一个实验。该热量等价于燃烧29公斤木材。一张木制实验室台重约36公斤。

一些批评家声称，热测量不是检测核反应的有效方法。这是不对的。这些人习惯了使用粒子检测器的现代方法。他们忘记了放射性首先是用量热法进行研究的。马丁·弗莱希曼指出，居里夫妇和其他人首先表明，镭产生的热量不可能是化学的，因为它超过了化学极限，并且镭中没有化学变化。居里夫人描述了它是如何产生热量并且没有可检测的化学或物理变化的：

镭具有自发和连续释放热量的显著特性。镭盐固体会产生大量的热，每克镭盐每小时释放一百卡路里。换句话说，镭可在一小时内融化等重量的冰。当我们思考镭的这种连续作用方式时，我们对产生的热量感到惊讶，因为它无法用已知的化学反应来解释。镭显然保持不变。如果那样的话，我们假设它已经发生了转变，因此我们必须得出结论，变化非常缓慢；一个小时之内，不可能通过任何已知方法检测到变化。

由于放热，镭的温度始终高于环境。如果采取措施防止镭散热，则可以通过温度计确定这一事实。——《世纪杂志》1904年<sup>5</sup>

量热也是从事冷聚变工作时要理解的重要主题。因为量热计本身是实验的组成部分，它起着促进或抑制反应的作用。钨体材料的电化学冷聚变实验取决于拥有合适的钨材，正确制备并充入高浓度氘[2]。如果掌握了这些知识并且成功触发了反应，则常常可以通过提高温度来增强反应。你需要为此目的设计量热计，以允许更高的温度。某些类型，尤其是等温型，将阻止温度升高，从而抑制反应。这也抑制了正反馈，弗莱希曼和庞斯认为正反馈很重要。

## 2. 四种量热方法

弗莱希曼和庞斯在最初的实验中使用了等温外套量热法，下面将对此详细介绍。

他们后来进行了一系列实验，在实验的前两到三周内逐渐出现超热。在超热确立后，增加电解功率。这会加热阴极并触发更高的热量，导致电解池中的水在约 20 分钟内蒸发掉，从而使电解池干燥。在这些测试中，他们使用了三种量热法：

1. 沸腾前的等温外套量热法。
2. 水沸腾时的相变量热法。
3. 蒸发完后的冷却曲线分析。

数年后，庞斯开发了一种具有测量连续沸腾功能的等温外套回流 (reflux) 量热计。

弗莱希曼和庞斯在许多论文中讨论了这些方法。对于等温外套热量法可参阅：

文献[3] Fleischmann, M., et al., [Calorimetry of the palladium-deuterium-heavy water system](#). J. Electroanal. Chem., 1990. **287**: p. 293.

相变蒸发实验描述于下文：

文献[4] Fleischmann, M. and S. Pons, [Calorimetry of the Pd-D<sub>2</sub>O system: from simplicity via complications to simplicity](#). Phys. Lett. A, 1993. **176**: p. 118<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> “一小时即可融化等重量的冰”是指冰相变量热。我假设居里是这样确定每克镭放热为 100 卡/小时的。100 cal/h 是 0.116 W。他们的样品是 0.129 g 氯化镭 (RaCl<sub>2</sub>)，这是重量百分比为 76% 的镭 (即 0.1 g 镭)，因此产生 12 mW。我假设居里观察到每小时融化约 0.1 克冰，即 33 J，或 33 J/3600 s = 0.009 W (9 mW)。现在怀疑者有时声称无法测到这种毫瓦级热量，但是 1898 年没有人，今天也没有人怀疑居里夫妇和其他能干的科学家可以放心地测得这一热量。当然，冷聚变热通常高于输入功率，而输入功率可以非常准确地测量并减去。

<sup>6</sup> 此链接的论文已发表于 ICCF-3 会议文集，内容与 Phys. Lett. A 中相同。(本文简称该文为《简单》——译者注)

下文详细介绍了蒸发完后使用的冷却曲线方法：

文献[5] Pons, S. and M. Fleischmann. *Heat After Death. in Fourth International Conference on Cold Fusion*. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304

等温外套连续沸腾回流量热计的描述在此：

文献[6] Roulette, T., J. Roulette, and S. Pons. *Results of ICARUS 9 Experiments Run at IMRA Europe. in Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy*. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.

“回流”是指水蒸气被冷却，再凝结成水，然后流回到电解池中。

### 3. 第一阶段使用的等温外套量热法

弗莱希曼和庞斯主要使用等温外套量热法。作为初级近似，当将该方法应用于狭窄温度范围内的稳态反应时很容易理解。有人警告读者，弗莱希曼和庞斯在更困难、更复杂的反应中使用了它。弗莱希曼和庞斯这么做自有其道理。

等温外套量热计通常是一个盛水<sup>7</sup>电解池（试管）。图 1 显示了弗莱希曼和庞斯在法国 IMRA 实验室开发的 ICARUS 系统电解池。弗莱希曼给日本札幌的新氢能（NHE）实验室送了一个并附带详细的使用说明。迈尔斯（Miles）后来是该实验室的访问学者，他在一个实验中使用了该电解池。迈尔斯、弗莱希曼和伊麦姆（Imam）对结果进行了分析[7-9]。

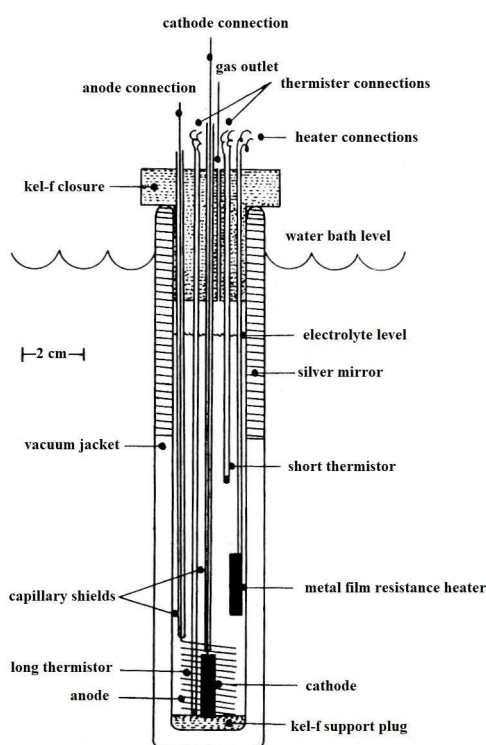


图 1. 弗莱希曼和庞斯使用的 ICARUS-2 等温外套量热型电解池。上部真空套内是镀银镜面，下部是透明玻璃。大致按比例绘制[10]。

<sup>7</sup> 本文主要讨论重水电解系统，文中说到电解池中的水或水位时通常指重水，氢也多指氘。——译者注

要量热，首先得标定。将电加热器放入电解池中，通电到某固定功率，然后查看电解池达到的温度。之后，将钯阴极放入重水电解液中。需要查看电解池是否比在标定时相同功率下更热。如若这样，说明它通过冷聚变产生了超热。通常将电解池放置在恒温水浴中，有时也放置在控温的大气环境下。弗莱希曼和庞斯通常使用所谓的“空白”测试进行标定，即在重水中使用铂电极电解进行对照测试[11]。铂不会产生冷聚变。

图 3 显示了来自初级量热计 (rudimentary calorimeter) 的数据。这是在环境空气中冷却的试管 (电解池<sup>8</sup>)。试管中有水、电阻加热器和热敏电阻 (见附录 A)。开始时电解池与环境空气温度相同。加热器以 1.1 W 的功率打开。测试约 140 分钟后，电解池中水温会升高直至稳定。它比周围空气 (右轴) 热并稳定在 4.5°C 温差。在 200 分钟时，功率增加到 1.7 W。到 270 分钟时，电解池温度已比周围空气升高了 7.2°C。

4.5°C 和 7.2°C 的稳定温差是标定点。他们与其他测试的另外三个点一起添加到标定曲线 (图 3) 中。标定曲线应该是线性的并与坐标轴上原点(0,0)相交。否则就是量热计出了问题。

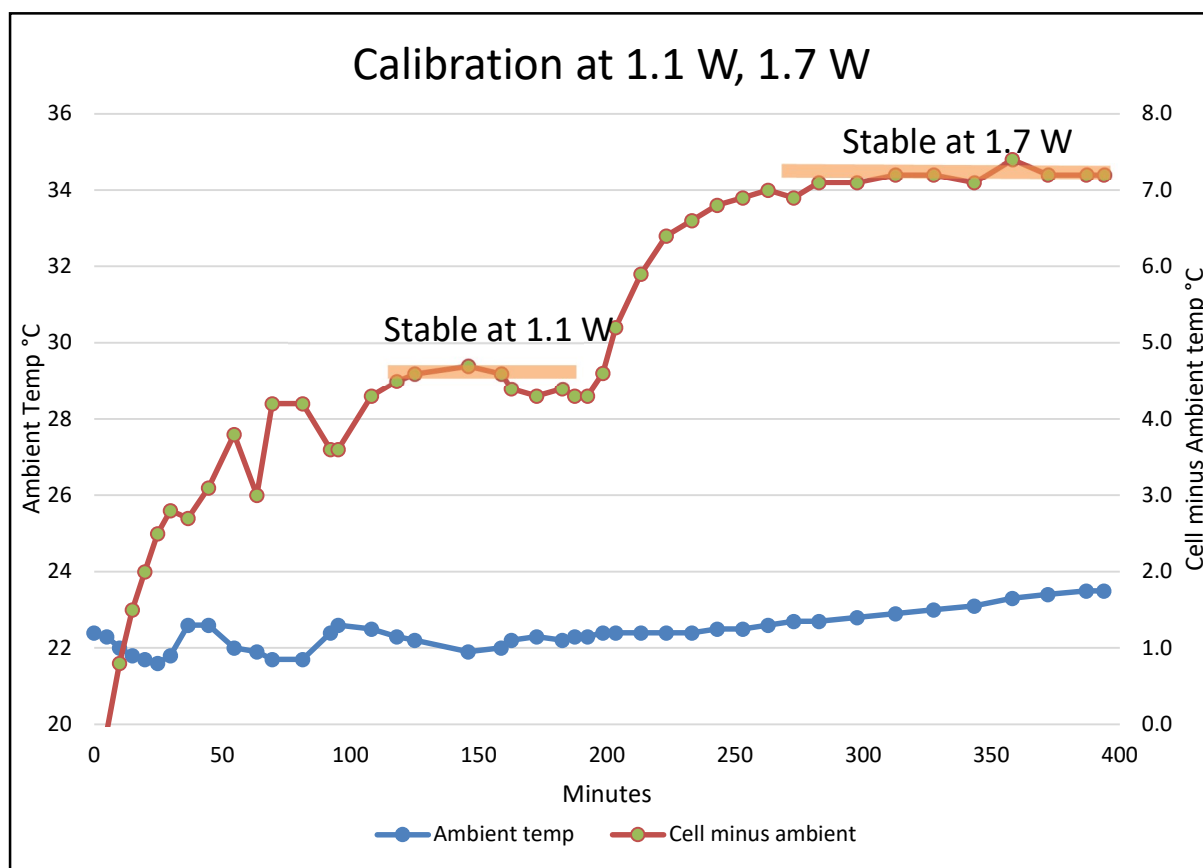


图 2.19 世纪条件的模拟。在未控温的大气中，初级量热计以 1.1 W 和 1.7 W 进行标定。

<sup>8</sup> 下面几段中的电解池 (cell) 其实就是试管，其中并未发生电化学过程。——译者注

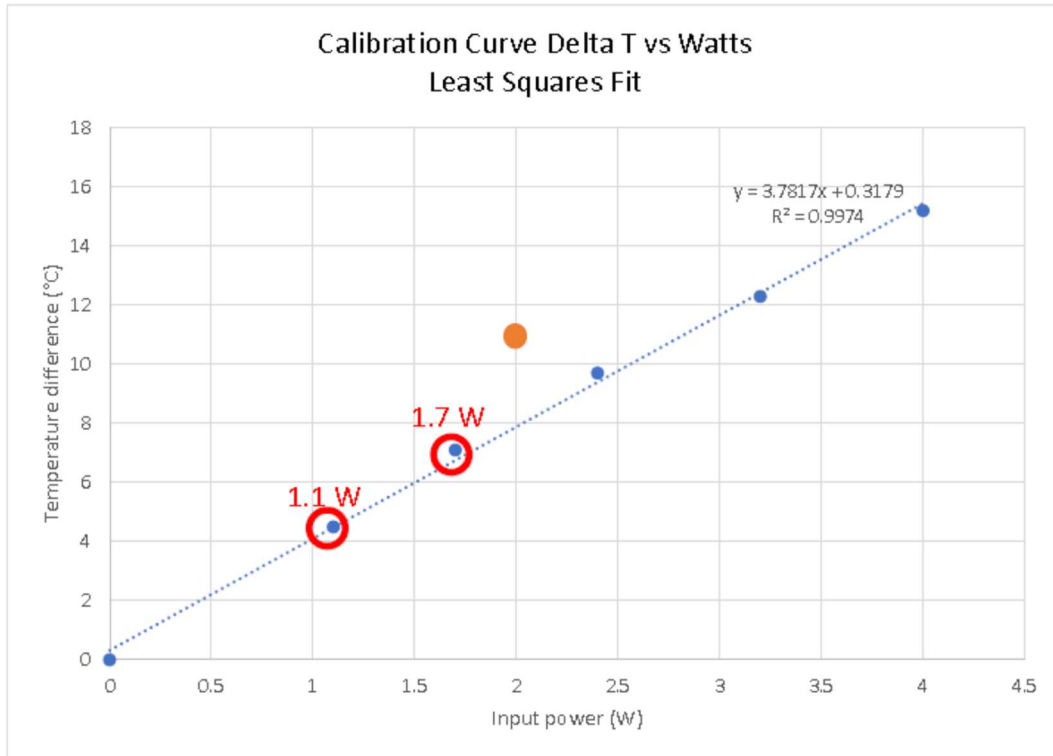


图 3. 使用图 2 中的 2 个点和在其他测试中的 3 个更高点拟合的标定曲线。图中的橙点是一个高于标定曲线的假设结果：在 2.0 W 输入和 2.8 W 输出情况下有 0.8 W 超热。曲线必须经过原点(0, 0)。本图由乔治华盛顿大学内格尔 (D. Nagel) 提供。

应在一定的温度和功率范围内控制电解池的热损失并保持一致。在一个适当构造的量热计中，在约 20°C 范围内，响应是线性的。即对于每瓦特的功率，温升相同。绘制一条标定曲线（图 3），得到传热系数（也称为标定常数），在这种情况下为 4.0°C/W，或 0.25 W/°C。设想在冷聚变测试中输入 2.0 W，温升 11°C（图 3，橙点）。它在标定曲线上方，根据传热系数，可确定电解池总输出功率为 2.8 W（11°C × 0.25 W/°C）。也就是说，输入功为 2.0 W，超热为 0.8 W。

每个电解池都有不同的标定常数，这主要取决于电解池的绝热程度。绝热越好，每瓦特输入功率的温度变化就越大。该系数是在标定期间以几种不同功率水平测量的，包括低于和高于实验预期输出热功率的水平。

精心设计的量热计将在每次输入相同的功率时回到相同的温度。它应该在合理的时间内（可能是一个小时左右）达到该温度。绝热太差的电解池可能要花费数小时甚至一天的时间，这很笨拙。校准和测试都将花费很长时间。

量热计是设计在给定的功率水平和温度范围内工作的。高于或低于该范围，它可能无法正常工作。图 4 是迈尔斯给出的曲线，显示了当功率低于预期范围（此仪器约为 0.6 W）时会发生的情况。在较低功率时，来自电解池盖的热损失开始占主导地位，曲线急剧变化。[12]

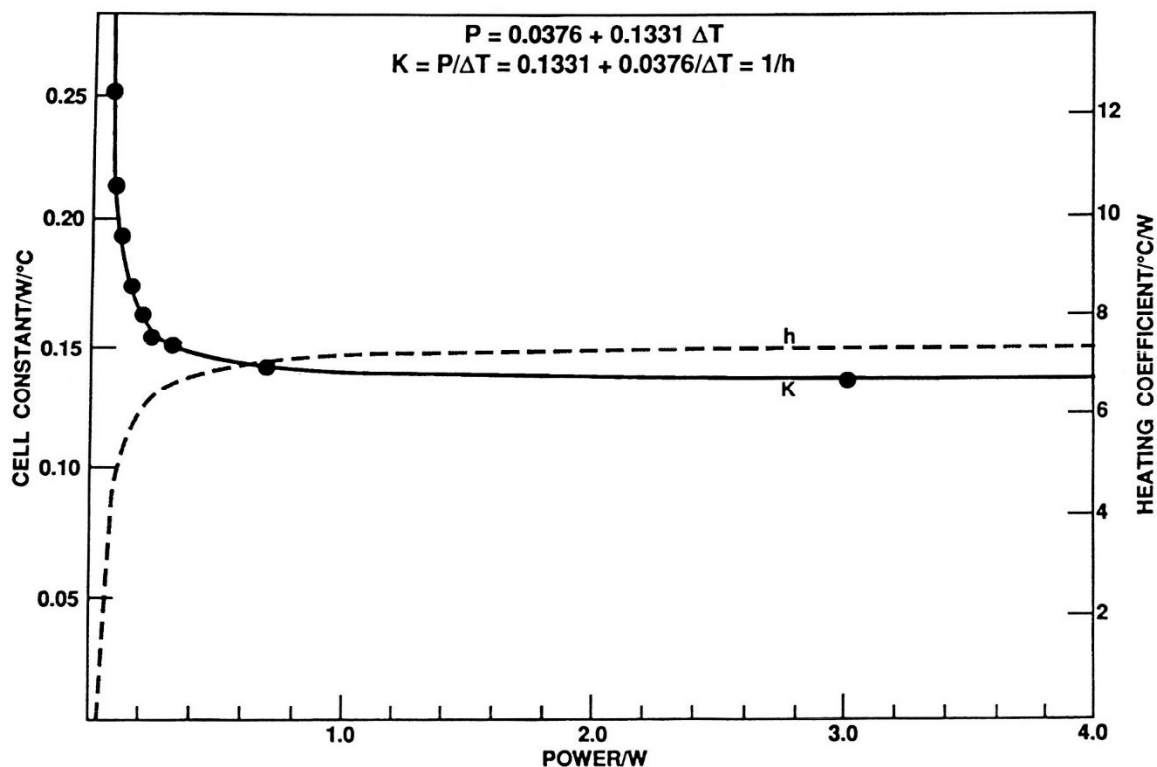


图 4. 在低功率下，电解池盖的热损耗开始占主导地位，并且响应不再是线性的。 $K$ ：表观电解池常数， $h$ ：传热系数。

在低功率下，噪声也是个问题。可以分辨 0.1 W 的量热计也许能可靠地测量 1.0 和 1.1 W 间的差别但却无法精确测量 0.0 与 0.1 W 间的差异，这就是因为噪声的干扰。

总结一下，下面是海明格 (Hemminger) 和霍恩 (Hohne) 严谨的教科书[13]对等温外套量热法的定义，我的评论用蓝字表示：

“等温外套”操作是指在恒温环境中使用量热计，且待测系统的温度可能不同。待测系统与周围环境之间存在热阻  $R_{th}$ ，等温量热计的热阻无限小，等温外套量热计的热阻是有限值…而绝热量热计的热阻则无限大…由于存在有限的  $R_{th}$ ，它以明确的方式取决于  $T_M$  (待测系统的温度) 和  $T_F$  (电解池外环境温度)…由于  $T_F$  在等温外套量热中恒定，因此热流量仅是  $T_M$  的函数，这种关系通常是线性的，可以通过标定确定。值得注意的是，待测系统的温度 ( $T_M$ ) 通过与周围环境进行热交换而变化，直到建立平衡为止。此过程需要一段时间。在一定的运行时间后，待测系统 (如长寿命放射性样品) 中不断产生的热量导致温度  $T_M$  恒定…

换句话说，当样品产生稳定功率时，待测系统的温度会升高一段时间，然后达到稳定。在标定过程中，这个稳定平台就是一个数据点。

等温外套法最适用于稳定的长期反应，例如长寿命的放射性样品。

绝热量热计是一个良好绝热的样品池。反应产生的热量尽可能保留在样品池内。将样品池比热乘以温升来计算总热量。电解池会很快冷却，因此该技术只能用于快速反应，例如快速燃烧少量样品。这些仪器有时被称为“弹式量热计”。他们不能用于冷聚变，因为冷聚变反应有时需要几天才能开始，并且可持续数周。

如图 3 所示，热流是“大致线性的”，但如下所述，它在弗莱希曼和庞斯量热计中不是线性的。

…为了进行精确测量，并非绝对必要将热损失保持在尽量低的水平。更重要的是，这些热损失可重复地依赖于待测系统（样品池内）与周围环境间的温差，在这种情况下，可以通过（电）标定精确地确定他们。当然，高的热损失会极大降低量热计的灵敏度。

正如我所解释的：“电解池的热损失应在很宽的功率水平和温度范围内得到控制并保持一致…”“灵敏度”是指每瓦升高  $1^{\circ}\text{C}$  的量热计无法像每瓦升高  $5^{\circ}\text{C}$  的量热计那样精确地量热。

#### 4. 电化学，杜瓦瓶

在详细研究弗莱希曼和庞斯等温外套量热法之前，我们需要介绍一些与实验有关的电化学特性。

在冷聚变实验中，通过电解（分解）重水<sup>9</sup>，重氢（氘）流到钨阴极，氧流到铂阳极。阴极很容易吸收氘，但铂不会吸收太多氧气。大部分氘气和氧气变成气泡逸出表面。看起来像汽水中的二氧化碳小气泡（图 5）。

将重水与锂盐混合以使其导电，这种混合物称为电解质。



图 5. 在比伯里安（Biberian）和朗查姆普特（Lonchampt）的实验中正在电解的 ICARUS 电解池近照。J.-P.比伯里安供图。

<sup>9</sup> 重水是氧化氘  $\text{D}_2\text{O}$ 。氢只有一个质子。氘是具有 1 个质子和 1 个中子的氢。氚是具有 2 个中子的氢。氢和氘稳定；氚则不然。重水约占地球上所有水的  $1/6000$ 。它比普通水沉，因此，当冷冻纯净重水并把冰块放进一杯普通水中时，它会下沉，因此名曰“重水”。

弗莱希曼和庞斯使用了所谓的开放电解池，这意味着氘气和氧气自由地离开电解池进入大气。这会带走一些输入电功率，而其余电功率会加热电解质。在重水电解条件下，总输入电解功率为  $VI$ （电压乘以电流）时，电解池中的热功率为  $(V-1.54)I$ ，其中 1.54 是重水的热中性电动势。下面是迈尔斯的一例：

电解池总电功： $10.12\text{ V} \times 0.50\text{ A} = 5.06\text{ W}$

电解池中焦耳热功率： $(10.12\text{ V} - 1.54\text{ V}) \times 0.50\text{ A} = 4.29\text{ W}$

氘气和氧气从电解池带出的热量： $0.77\text{ W}$

换句话说，氘气和氧气是燃料。如果将他们燃烧，将获得  $0.77\text{ W}$  的热。游离的氘气分子在空气中漂移，最终与氧气复合形成重水，释放出热量。

因为气体持续离开电解池，所以电解质液位逐渐下降。弗莱希曼和庞斯每两天补充一次重水。锂盐不会离开电解池，因此只需要添加重水即可。

电解质液位变化会影响量热。弗莱希曼和庞斯研制了一个简单而巧妙的电解池以避免该问题。该电解池是个杜瓦瓶。杜瓦瓶就是玻璃保温瓶（图 6），保温瓶壁内部是一个带银色镜面的真空套。对于等温外套量热计，普通杜瓦瓶将是一个欠妥的选择。大部分热量将从盖子传导出电解池而非从侧壁辐射到浴槽中。这将是不可预测的非线性热损失。弗莱希曼和庞斯使用定制的电解池，在真空夹套上部是镀银镜面，下部是透明玻璃“窗”，如图 1 所示。大部分辐射通过透明玻璃窗，只有很少部分通过镀银部分。电解质液面在镀银区内上升或下降。但它不会落在窗户中，因此辐射到浴槽中的电解池壁表面积不会改变。

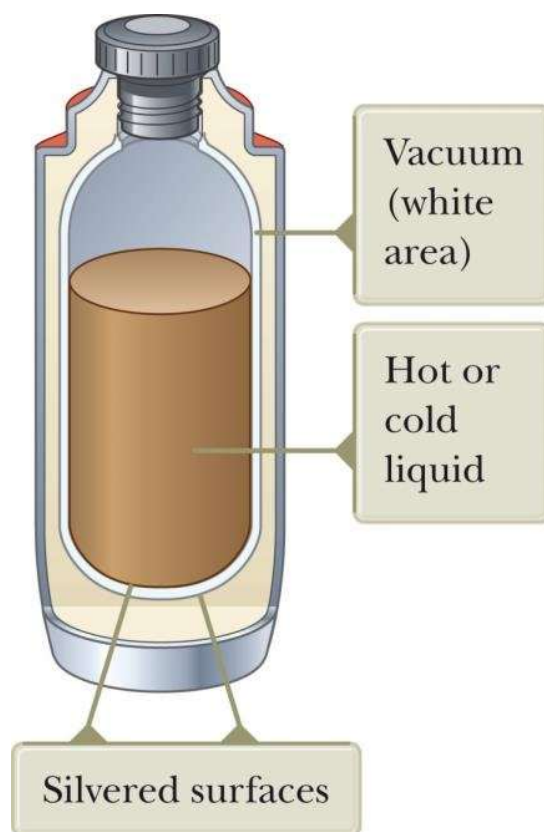


图 6. 热水瓶（杜瓦瓶），华沙大学哈桑·马里迪（Hassan Maridi）供图。

## 5. 更复杂的情形

上面描述的是等温外套法的初级近似。一个简单的转换系数(在此例中为 $0.25 \text{ W}/^\circ\text{C}$ )乘以温度即可得到功率。如教科书所述,这是一种在小温度范围内测量稳态反应(例如“长寿命放射性样品”)的好方法。

正如我警告过的那样,在弗莱希曼和庞斯那里事情变得更加复杂。他们在很宽的温度范围内测量了动态变化的反应。他们选择良好绝热的电解池,因此温差很大。在 NHE 实验中,输出功率范围为 1 至 5 W (包括电解和冷聚变热)。这使电解池温度比浴温高了约 $\sim 10^\circ\text{C}$ 到 $\sim 40^\circ\text{C}$ 。响应是非线性的。温度越高,每度产生的热量就越大,范围从低端的  $0.095 \text{ W}/^\circ\text{C}$  到高端的  $0.113 \text{ W}/^\circ\text{C}$ 。这是因为电解池的设计目的就是将近乎所有的热损失都通过下部透明窗口热辐射出去,表面辐射与温度的四次方成正比,即斯忒藩-玻尔兹曼 (Stefan-Boltzmann) 定律:

斯忒藩-玻尔兹曼系数  $\times$  电解池辐射表面积  $\times$  (电解池开氏温度<sup>4</sup> - 水浴开氏温度<sup>4</sup>)

因为热功率是四阶增量,所以表面温度的小幅增加会成比例地释放更多的热量。即使这样,当温差适度时,这也不会产生太大影响,还可以使用简单的换算系数。但是,当温差高达  $40^\circ\text{C}$  时必须使用斯忒藩-玻尔兹曼系数。

而且,事情甚至更加复杂,因为在实际电解池中,不可能照原样使用教科书系数。它只能在理想的真空度和 100% 辐射下工作。随着时间的推移,空气会泄漏到杜瓦瓶真空层内,一些热量会通过空气传导而非辐射来损失掉。迈尔斯在 NHE 使用的电解池大约有四年的历史。真空是“软”的(漏入空气了)。他进行了标定,并估计传热系数比理想真空下高约 10%。<sup>10</sup>

斯忒藩-玻尔兹曼系数告诉你电解池损失的最少热量。这是最小阈值。如果标定后发现发热量比这个离开电解池的热量还少,那肯定错了。任何实际的电解池都将耗散更多热量,并且还会从其他路径(如沿盖上引线的热传导)损失一些热量。

弗莱希曼和庞斯、迈尔斯及其他人用这种类型电解池进行标定,以确定实际的传热系数。他们称其为“伪辐射”系数,因为严格来说,它并非完全是辐射。

在高温下工作也会使量热复杂化,因为它会增加蒸发量。在低温下,蒸发可以忽略不计。但是在  $50$  或  $60^\circ\text{C}$  时,有很多蒸汽离开电解池,就必须计入其带走的焓,否则会低估输出功率。弗莱希曼和庞斯仔细记录了当地的大气压,以计算蒸发损失焓。他们测量了向电解池中添加了多少水,并确定离开电解池的水量多于电解所能解释的量。额外损失的水量与其蒸发损失估算值相符。

等温外套量热法最适合稳态反应,但正如迈尔斯指出的那样,“电化学量热法没有稳态。”条件是动态的,不断变化的。他补充说:“主要误差源自穿过电解池顶部的热流通路(图 4)、室温变化、由于气泡效应引起的电解池电压波动以及电解池内部和水浴中的液位变化。”[12]

从表面上看,你可能会认为弗莱希曼和庞斯选择了错误的量热计。它在较窄的中等温度范围内效果最佳,但他们想使用高温。它在稳态条件下效果最佳,但电化学从未处于稳态。一些评论家认为他们确实选择了错误的量热计。他们应该使用质流 (mass-flow) 型量热计或其他可以简化分析的类型。弗莱希曼不同意,强调仪器本身在实验中起着关键作用。这是实验的组成部分。你必须选择正确的量热计,否则量热计本身可能会干扰甚至阻止反应。仪器必须让样品变热。弗莱希曼批评麦库布 (McKubre) 的等温量热计,

<sup>10</sup> 斯忒藩-玻尔兹曼系数为  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ 。电解池高 25 厘米,顶部 8 厘米镀银。内径为 2.5 厘米。辐射始于内表面(直径 2.5 cm),因此辐射表面积为  $133.5 \text{ cm}^2$ ,求得系数为  $7.6 \times 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{K}^{-4}$ 。迈尔斯实际测得系数为  $8.5 \times 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{K}^{-4}$ ,高出 12%。

因为等温技术将样品保持在固定温度下。当样品产生更多热量时，周围环境会自动冷却以抵消变化。

为什么弗莱希曼和庞斯的电解池绝热良好，以至于只要几瓦的输入功率就能进入高温？因为高温和动态条件（例如快速变化的电流密度和温度）会促进反应。当满足充气和其他条件时，如果使用正确的材料，可能会发生冷聚变反应，但是当将温度保持在接近室温的水平时，会使反应变小并且难以检测。弗莱希曼和庞斯强调了正反馈的重要性，其中温度升高会促进反应，而反应会导致温度升高。

他们使用高绝热性还因为这会增加仪器的灵敏度。功率的微小变化会产生较大的温差。他们甚至可以检测到毫瓦级的反应。迈尔斯和弗莱希曼估计，使用该仪器和他们发展的公式，他们可以测量到接近 0.1 mW (0.0001 W) 的超热。[14]

## 6. 热测量一例

迈尔斯于 1997 年在日本 NHE 实验室进行了为期 69 天的实验，使用的是弗莱希曼和庞斯提供给该实验室的 ICARUS 等温外套量热计。这是该实验产生超热的示例：超热在第 52 天达到 39,100 J 的峰值，平均超功率 0.453 W<sup>11</sup>。在第 52 天，迈尔斯在他的日志中记录了这些数字：

$$T \text{ (电解池温度)} = 65.15^\circ\text{C} = 338.30 \text{ K}$$

$$T_b \text{ (浴温)} = 22.04^\circ\text{C} = 295.19 \text{ K}$$

$$I \text{ (电流)} = 0.500 \text{ A}$$

$$E \text{ (电解池电压)} = 10.12 \text{ V}$$

$$K_R \text{ (电解池的传热系数)} = 0.85065 \times 10^{-9} \text{ W/K}^4$$

电解池温度非常稳定，变化率仅约 0.080 K/h，还算不错。与快速波动的热输出相比，可以更精确地测量稳态热。

### 输出：

$$\text{温差 (电解池减去水浴)} = 43.11^\circ\text{C};$$

从电解池传递到水浴中的辐射为  $K_R(T^4 - T_b^4)$ 。其含义是：传热系数  $\times$  (电解池温度  $\text{K}^4 -$  浴温  $\text{K}^4$ )。其数值等于 4.683 W。

### 输入：

$$\text{进入电解池的总电功率为：} 10.12 \text{ V} \times 0.5 \text{ A} = 5.06 \text{ W};$$

电解池中的焦耳热为： $(10.12 \text{ V} - 1.54) \times 0.5 \text{ A} = 4.29 \text{ W}$ （迈尔斯计算到小数点后 4 位数为 4.2965 W）。游离的氘气和氧气带走 0.77 W。

### 超热 = 输出 - 输入

$$\text{超热约为 } 4.683 \text{ W} - 4.297 \text{ W} = 0.386 \text{ W}.$$

这里只考虑电解池向浴缸的辐射。在考虑其他热损失的情况下，用文献[14]给出的方程可以计算更高精度的热输出：<sup>12</sup>

<sup>11</sup> 这是本实验中等温外套量热法测得的最佳结果。在实验的最后一天，驱动电解池到沸腾，用相变热量法测得峰值时产生 118 W 的超热。

<sup>12</sup> 这比《简单》论文中的方程（如下所述）更容易理解。其中一些项是负的。文中说：“像往常一样，正值代表增加到系统（量热电解池）上的能量，负值代表耗散到周围环境的能量。”弗莱希曼可通过标记哪个为负数来简化该过程，但他很少做得使读者更容易理解。我已经为负数添加了减号。

$$P_{\text{calor}} = P_{\text{EI}} + P_{\text{H}} + P_{\text{X}} - (P_{\text{gas}} + P_{\text{R}} + P_{\text{C}} + P_{\text{W}})$$

$P_{\text{calor}}$  = 所有来源的功率平衡。输入与输出平衡且电解池温度稳定时为零。当电解池温度略微升高时（如在本例中），热量将存储于其中，因此  $P_{\text{calor}}$  为正；

$P_{\text{EI}}$  = 电解加热功率，4.2965 W；

$P_{\text{H}}$  = 内加热器功率（电阻焦耳加热器用于校准，这种情况下未打开）；

$P_{\text{X}}$  = 超功率，出现冷聚变热（这是我们要解决的问题）；

$P_{\text{gas}}$  = 气体离开电解池时带走的热量。这不是氘气和氧气带走的化学势能，那已经通过从电压中减去热中性电动势（1.54 V）而计入；

$P_{\text{R}}$  = 电解池向浴池的热辐射。这是主要的能量路径，它是大部分能量离开电解池的方法。在此例中为 4.683 W；

$P_{\text{C}}$  = 通过热传导而传输出去的功率（如盖子、电解池导线等途径）；

$P_{\text{W}}$  = 压力-容积功（气体压力的变化）。这个很小。约 0.0023 W。

迈尔斯日志中的超功率公式要简单一些。它不包括  $P_{\text{H}}$ ，因为电阻加热器未打开；不包括  $P_{\text{C}}$ ，因为它很小。超功率是：

$$P_{\text{X}} = P_{\text{calor}} + P_{\text{R}} - P_{\text{EI}} + P_{\text{gas}} + P_{\text{W}}$$

也就是说：

超功率（0.4610 W）= 量热计热平衡（0.0100 W）+ 辐射传递到浴池中的热（4.6830 W）- 电化学焦耳热（4.2965 W）+ 来自电解池的气体逸出功（0.0536 W）+ 压力-容积功（0.0109 W）

总超功率为 0.461 W，略高于 0.386 W（只考虑对浴池辐射）。额外的 0.075 W 功率来自量热计的热量平衡、逸出气体中获得的功率以及从压力-容积功获得的功率。辐射到浴池是主要的热损失路径。如果存在重大错误，则问题一定在这一项。

NHE 的其他学者认为迈尔斯测量的传热系数不对。他们认为应该降低温度，这意味着没有超热。我将在下面的“§ 10.5. 关于何时以及如何测量传热系数的争论”部分进行讨论。

## 7. 第二阶段的相变（沸腾）量热法

冷聚变量热使用两种相变：从冰到水的变化（融化）和从水到蒸汽的变化（汽化）。杜福尔（Dufour）等[47]报道了在冰量热计上用毛细管测量融化冰的体积（随着冰融化，体积减小。冰体积大于水，所以能漂浮于水上）。在其他冰量热计中，直接测量融化冰中的水。弗莱希曼和庞斯[4]、朗查姆普特等[15]、朗查姆普特和比伯里安[16]报道了沸腾量热法。沸腾相变量热法将沸腾水的重量乘以汽化热——普通水为 2259 J/g 或 44 kJ/mol，重水则为 2064 J/g 或 41 kJ/mol——来量热。

《简单》文中描述的实验在等温外套量热阶段之后，通过提高电解功率来增加超热，从而加热阴极。这会触发正反馈。然后可以关闭电源。弗莱希曼在 ICCF 会议的演讲中对此进行了描述，但我认为在他们的出版物中并未明确说明，这是一个严重的疏漏。他们应该弄清楚是如何触发沸腾的。他们说了一般意义上的正反馈，并且写了很多当温度在热脉冲后没有回到基线时，热脉冲如何表明发生了正反馈。但我不记得有一篇论文列出了他们用来触发沸腾事件的特定功率水平、温度和脉冲持续时间。比伯里安和朗查姆普特还通过电解加热电解池以引发沸腾。在他们的情况下，他们没有在选定的时间打开电源。他们让它自行增加。该电解池通常在 0.5 A 的恒电流模式下运行。电解池由硼硅酸耐热玻璃（Pyrex）制成，因此从其中浸出了一些二氧化硅。各种化合物（包括二氧化

硅和锂)逐渐沉积在阴极上。沉积物阻止电流通过,因此电压升高。随着电压升高,输入功升高,温度也升高直到沸腾。[17]

与等温外套法相比,沸腾量热的方法很简单,因此论文的标题为《简单》。

一旦电解池以正反馈方式增加冷聚变超热并驱动到沸腾,它将持续沸腾到所有水蒸发且电解池变干。

一半水沸腾大约需要 10 分钟。我们知道这么长时间是因为他们制作了事件的延时视频并在屏幕上带有时间戳。触发沸腾的时间是已知的。在视频中可以清楚地看到沸腾结束的时间,所有水都从电解池中蒸发了。录像中显示了视频的静止图像。该视频在 YouTube 上网址为 <https://www.youtube.com/watch?v=Tn9K1Hvw434>。可惜这是一个旧的录像带视频并经多次转录,因此质量下降并且图像模糊,但仍可以看到沸腾事件何时开始和结束。视频与计算机采集的温度和电解池输入功率数据同步。弗莱希曼和庞斯解释说:

由于可以在操作的任何阶段重复地快退和快进视频记录,因此也可以对电解池内容进行合理准确的估计。我们选择在这种类型的电解池中对  $D_2O$  的后半部分的蒸发/沸腾进行计时,这使我们能够针对沸点区的操作进行特别简单的热平衡计算。

下面是《简单》论文[4]中的计算结果,我的注解为蓝色字体:

### 计算方式

#### 输入焓

电解 =  $(E_{\text{cell}} - 1.54) \times \text{电解池电流} \times \text{时间}^{13} \sim 22,500 \text{ J}$ 。  $E_{\text{cell}}$  是电解池电压; 1.54 是重水的热中性电动势。

#### 输出焓

向环境的辐射  $\approx k_R [(374.5 \text{ K})^4 - (293.15 \text{ K})^4] \times 600 \text{ s} = 6,700 \text{ J}$ 。基于斯忒藩-玻尔兹曼定律,表面辐射是开氏温度的四次幂。在这种情况下,由表面积得出并通过标定确认的传热系数乘以电解池温度的四次方减去水浴温度的四次方。这就是功率 (W),因此在这里乘以 600 秒 (10 分钟) 即可得到能量 (J)。

蒸气携带  $\approx 2.5 \text{ 摩尔} \times 41 \text{ kJ/摩尔} = 102,500 \text{ J}$ 。也就是说,将 2.5 摩尔重水 (45 g) 乘以重水的汽化热。

#### 焓平衡

焓差值  $\approx 86,700 \text{ J}$ 。超热

#### 焓输入率

电解,  $22,500 \text{ J}/600 \text{ s} = 37.5 \text{ W}$ 。在沸腾事件期间的电解输入功率。这已高估,因为当水位下降到阳极和阴极以下时,电源中断。

#### 焓输出率

向环境辐射,  $6,600 \text{ J}/600 \text{ s} = 11 \text{ W}$ 。11 W 是在事件期间,从电解池到水浴的辐射功率。在蒸气中,  $102,500 \text{ J}/600 \text{ s} \approx 171 \text{ W}$ 。171 W 作为蒸汽而带走

#### 焓差额产率

超额率  $\approx 144.5 \text{ W}$

超热比率  $\approx 144.5 \text{ W}/0.0392 \text{ cm}^3 \approx 3,700 \text{ W/cm}^3$ 。功率归一化到单位体积钷

我们知道这是异常的冷聚变热,其原因如下:

- 随着沸腾的继续,水位下降到阳极和阴极以下,因此在电极之间无法形成电流。电解停止,但是沸腾仍在继续,直到所有水都蒸发为止。在空白测试中,更高的电解

<sup>13</sup> 弗莱希曼原文中少写了“时间”,此处补上。——译者注

功率足以维持沸腾，但当水位下降到阳极和阴极以下时电解停止的同时沸腾也相应停止。在电解池底部会残留一些水，不会沸腾至干。

- 将固定阳极和阴极位置的聚三氟氯乙烯(Kel-F)塑料支撑件熔化。在空白测试期间，由于沸腾停止，塑料支撑件仍在水下。但它不会融化。Kel-F 塑料在 300°C 时熔化，因此阴极必须高于该温度，这就是水持续沸腾直到全部消失的原因。
- 我们知道，沸腾的热量来自阴极。沸腾电解池的另一个特写视频显示，在阳极上没有形成沸腾的气泡，只有电解气泡。这两者截然不同：电解产生的气泡很小，并且以稳定的速度离开表面，就像汽水中的二氧化碳气泡一样。沸水气泡更大，离开也更突然（可惜没有该视频，但它确实如此显示）。在通过高功率电解进行空白蒸发测试期间，在阳极和阴极上均形成沸水。
- 我们知道几乎所有水都以蒸汽形式离开电解池。一些怀疑者推测未煮沸的水以泡沫或雾滴的形式从电解池中逸出。如果有足够的未煮沸水离开电解池，这将大大降低蒸发焓。当未煮沸的水从电解池中逸出时，它会携带锂盐，因此可以通过测量蒸发后电解池中的锂来估计有多少雾滴逸出。弗莱希曼和庞斯做了这个工作，发现仅损失了少量的锂，不足以显著减少汽化热。

在两篇论文中对这一点进行了讨论，但他们彼此矛盾。首先是 1990 年，说有些锂少了，这使得用相变量热法难以估计焓：[3]

但是，在此阶段无法对[蒸发期间]的热输出进行定量估计，因为电解池和仪器不适合在该条件下进行估计。还应注意的是，尽管电解电压最初会降低（与猝发情况相同），但当电解池被驱动至沸点时，电压通常会随时间而增加，这可能是由于电解质随雾滴离开电解池。

比伯里安也报道说，在沸腾过程中，一些锂随雾滴损失了。[18]

另一方面，1993 年的第二份报告说，锂的损失可以忽略不计。也许他们在写这篇文章时重新评估了电解池中残留的锂：[19]

道格拉斯·莫里森（Douglas Morrison）首先提出一个问题，即在强加热的后期，部分电解池内含物是否可能以液滴的形式被带走。通过滴定电解池残留内含物可以很容易地解决这个问题：根据我们先前的工作，回收了约 95% 的残留氟氧化锂。在这种“侵略性”物质与玻璃组分的反应中，无疑会损失一些，从而形成无法滴定的残留。

## 8. 第三阶段的冷却曲线分析

电解池沸腾后有时会保持高温，持续时间从几小时到一天不等。弗莱希曼和庞斯将此阶段称为“死后发热”（heat after death）。《简单》论文描述的死后发热持续了 3 小时。

在此阶段没有输入功率。因为没有电解质，所以阴阳极间也没有电流。如果一个物体比周围环境更热，当没有功率输入且该物体内部本身不产生热量时，它必然冷却。根据牛顿冷却定律，冷却曲线是单调的，这意味着它总是下降而从不上升。

在本文所述的死后发热期间，电解池内部不会按照牛顿定律所述方式冷却。相反，它在某温度下保持一段时间，然后温度上升。我们知道钡阴极是电解池中唯一产生热量的物体。可以通过将冷却曲线与使用铂和重水的空白测试进行比较来估算热量。

图 7 显示了空白测试的冷却曲线。冷却迅速开始，然后逐渐减慢，直到曲线在 11,000 秒（3 小时）变得几乎平坦。冷却是单调的。

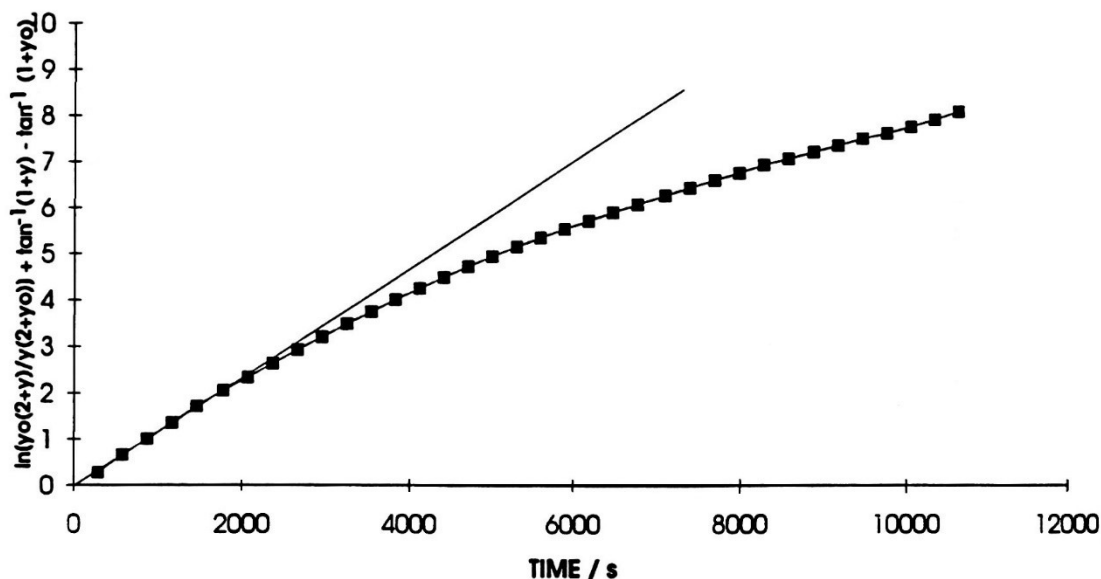


图 7. “空白电解池”的冷却曲线分析。曲线上升表示温度下降。（冷却上升，而非下降）。[5]

图 8 显示了死后发热期间的冷却曲线。该事件持续的时间更长，大约 32,000 秒（9 小时）。它以快速冷却开始，但在大约 15,000 秒时冷却趋于平稳，然后在 18,000 秒时反转。电解池开始变热而非变凉。之后，电解池逐渐冷却，但速率比空白电解池低得多，这意味着它会产生超热。在 25,000 秒时，又有一次反转。再一次，电解池产生的热量多于它耗散到周围环境中的。最后，在 34,000 秒时，它开始以与空白电解池相同的速率冷却，这意味着阴极不再产生超热。

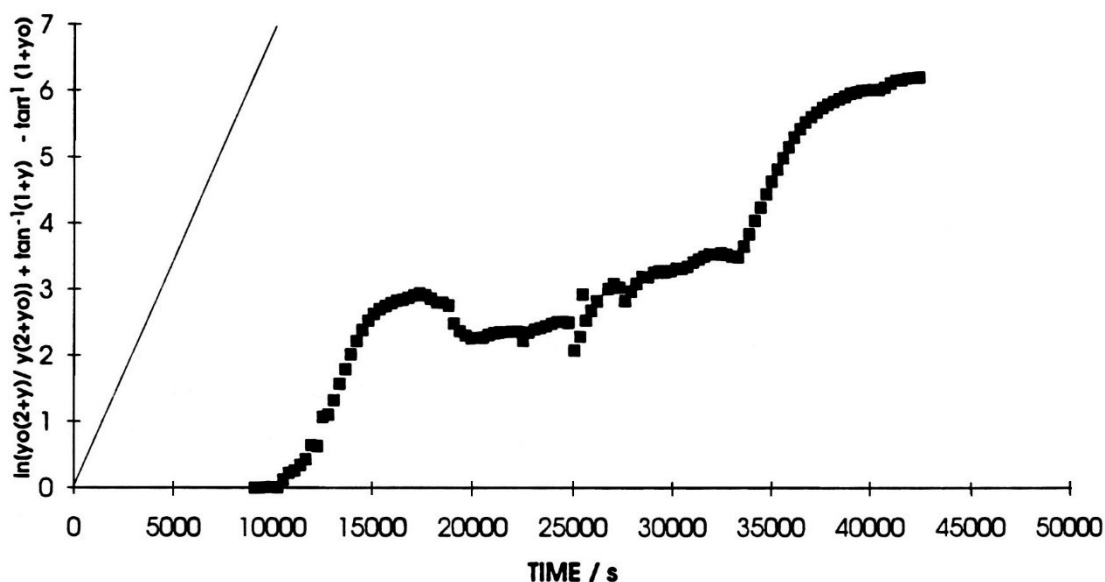


图 8. 死后发热的冷却曲线分析。同样，上升曲线表示温度下降。（冷却上升，而非下降）。[5]。

下图 9 是相同数据转换成超热和冷却速率。18,000、22,000 和 25,000 秒的冷却速率为负，表示电解池正在加热而非冷却。

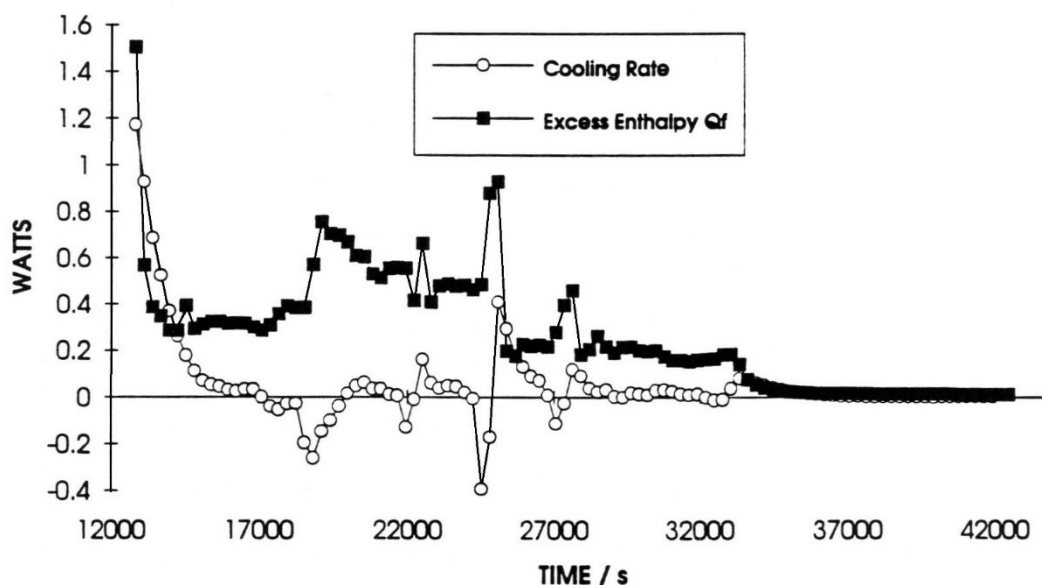


图 9. 图 8 数据转换为超热和冷却速率。与前两图不同，该图中冷却时曲线下降。[5]

## 9. 弗莱希曼和庞斯的《简单》论文

论文《Pd-D<sub>2</sub>O 系统量热：从简单通过复杂再到简单》[4]描述了三种方法。乍看之下，本文并不十分简单。“量热计建模”部分从一个长方程开始。它看起来很可怕，但这只是教科书中电解热的定义，多了一个附加项：超焓。即冷聚变产生的异常超热。为了帮助读者，作者对方程进行描述：

$$\text{量热计的焓值} = \text{电解引起的焓输入} - \text{气流的焓值} + \text{超焓} + \text{标定脉冲} \\ - \text{与时间有关的传热系数} \times (\text{辐射效应} + \text{热传导效应})$$

该公式中的符号在该论文末尾的所用符号表中列出。读者可能会对这个公式中以及弗莱希曼和庞斯的大多数其他论文中的  $k_R$  表示法感到困惑。它意味着传热系数。它具有下标，例如  $[k_R]_{11}$ 。在本文的附录 C 中对此进行了说明。

在公式下面的部分中，解释了各个术语。这是一个非常详细的分析。它包含一些项，因为他们数值很小，因此几乎不需要考虑。例如，有两项与电解池中电解质液位的变化有关。随着电解的进行，水以游离氘气和氧气的形式离开电解池。水位下降。每两天补充一次水。这些水位的变化以两种方式影响量热：改变了电解池的热容量，改变了辐射散热壁的表面积。在该公式中，这两个效应由两项表示。第一项  $\left[1 - \frac{(1+\beta)It}{2FM^0}\right]$  “允许随时间变化的水当量。”这意味着计算了电解池中所有水、金属和玻璃的热容量，并将其转换为以摩尔为单位的重水热质量当量。当加热电解池时，温度变化乘以重水的比热就可以告诉我们电解池本身保留了多少能量。第二项（除  $\lambda$  替代  $\beta$  外，其余均相同）， $\left[1 - \frac{(1+\lambda)It}{2FM^0}\right]$  “允许辐射表面积随时间减小。”当液位下降时，加热的电解池壁表面积变小，因此从该壁辐射到水浴中的热量也变少。这两种影响都在毫瓦级别。后者几乎被电解池上部的镀银和透明玻璃窗口完全否定：“…正如我们已经注意到的，对于在上部镀银的量热计，该项可以忽略（但是，该项对于在未镀银的杜瓦瓶中进行的测量非常重要）…”

弗莱希曼和庞斯从第一性原理分析了他们的量热方法。他们分析了从电解池到周围环境的每条可测量的热传递路径。这是如此困难和严峻，以至于许多学者根本没有尝试这样做。如前所述，他们只需进行标定，然后使用标定曲线确定是否存在超热。

弗莱希曼和庞斯不仅根据基本原理进行了分析，还进行了广泛的标定，并显示出超热高于标定曲线。

他们对细节的追求是不懈的。以至于在某种意义上说，这会对读者不利。人们可能会觉得，你必须用许多描述详细物理学的方程来确定冷聚变效应。你必须考虑液位的变化，这只会产生微小的影响。读者可能会想：“如果只能通过跟踪这么小的细节才能检测到冷聚变，那肯定是很小的影响。他们为什么要付出如此艰巨的努力将其测量到毫瓦。一定很难发现。这可能是一个错误。所有这些深奥的物理学和所有这些参数都可能隐藏着一些误差。”

我多么希望弗莱希曼和庞斯首先强调，在第一近似中，超热很容易通过简单的分析来检测。他们制造了极其精确的仪器，并通过许多细微因素的复杂分析来提高了精确度。他们的仪器非常简单，但是非常好，可以检测到毫瓦的热量。他们这样做不是因为必须具有毫瓦的精度才能看到冷聚变，而是因为他们想仔细观测。他们要详细检查反应，并且想在反应出现时能立即检测得到。他们之所以这样做，是因为弗莱希曼喜欢“简单的硬件和复杂的软件”，正如他所说的那样，“软件”通常是指他用铅笔和纸进行的计算，包括方格纸上的铅笔图。（弗莱希曼喜欢图；他说眼睛是最好、最重要的分析工具。见文献[20]第 14 页。）

让-保罗·比伯里安认为，如果没有如此精确的仪器，他们将不会发现该效应。他写道：“通过开发新仪器已经取得了许多新发现：用显微镜看到微生物，用望远镜看到木星的卫星，有很多例子。就冷聚变而言，这是一种高精度电化学量热计的创建。没有如此精确和简单的仪器，他们就不可能做出发现。”[21]

该论文充满了技术细节。很多公式聚焦于水位问题。还有其他一些几乎无法产生可测量结果的细节。甚至有关于不可能发生事情的讨论。例如，他们对不同大气压的可能影响投入了大量精力。在一张图中，他们显示了一个模拟结果，说明如果不沸腾，水是如何从电解池中蒸发的。这将需要 2.3 个小时。大气压必须不同于当天的实际记录值。他们写道：

下一节将讨论操作最后阶段的电解池内含物随时间变化的证据。图 7C 显示出使用两个假设大气压 0.953 和 0.97 bar 计算的 $(k_R)_{11}$ 的值。选择第一个值是为了使电解池内含物平稳蒸发( $M_0 = 5.0 \text{ D}_2\text{O}$ )，即直至电解池变干时刻(50,735 s)之前没有沸腾。但是，这种特殊的操作模式将要求电解池在变干前 2.3 h 时已充满一半。另外，此时的环境压力为 0.966 bar。因此，我们认为，必须排除这种运行模式。

事实是，水确实烧开了。他们看到它沸腾了。并且半瓶沸腾的时间只有 10 分钟，而不是 2.3 小时。假设的 2.3 小时场景与实际情况有很大不同，这对我来说似乎是人为的。他们总在竭尽全力地表明自己的严谨性，并告诉读者：“看，我们啥都想到了！”

与该量热计相关的分析和软件很复杂，但样品池本身却优雅，简单，并且具有难以置信的精确度。它具有许多优点，请参见文献[22]中的描述：

- 价格便宜，因此你可以轻易制造多个电解池并进行同时测试，如《简单》论文和视频所示。
- 将电解池放在玻璃外壳的水浴中时，可以通过底部窗口看到电解池内部。这在沸腾实验中尤其重要。

- 辐射作为传热方法具有诸如“无记忆”之类的优势。在电解池内壁上形成的气泡或静水层对辐射传热系数没有影响。可以将热电偶和小型核探头插入电解池而不影响量热法。
  - 量热中的两个主要参数是：1. 传热系数 ( $k_R$ ) 在实验过程中不变；2. 电解池的总热质量 ( $C_p M$ ) 确实会改变，但它可精确测量。它是所有电解池组件（包括玻璃、重水、电极、热敏电阻、电阻加热器等）的热质量，换算成一个数，等效于具有该热质量重水的摩尔数。（有趣的是，焦耳也曾将样品池中所有物质都转换为等效的水热质量。[23]）
- 其他硬件，例如水浴，价格昂贵。温控器将温度保持在 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 以内。[14]

## 10. 争议

1990年代，怀疑者们对弗莱希曼和庞斯的工作提出了许多异议。这些反对意见分为三类：

1. 情感和人身攻击，例如说冷聚变研究者是疯子和罪犯。从《华盛顿邮报》[24]到维基百科，成千上万种，到处都有。但我这里不予讨论。一些样本可参考文献[25]。
2. 许多论文断言这种效应违反了理论，因此结果不可能是对的。例如，说在该类功率水平的聚变必须产生高中子流，其量大到足以杀死观测者，但没有出现这么多中子，所以这不可能是核聚变。这是一个逻辑错误。它违反了科学方法。当重复实验与理论冲突时，只能是实验正确，理论错误。怀疑者犯了许多其他逻辑错误。但是，这些错误也不在本文视野之内，因此将其归入附录 B。
3. 断言量热计器和方法中存在错误。这些批评大多数是在非正式场合中进行的，例如会议和互联网讨论组。据我所知，只有莫里森和沙纳汉 (Shanahan) 发表了五篇同行评审的论文，试图发现量热错误[26–30]（另请参见对沙纳汉的反驳[31,32]）。在我看来，这些论文没有任何优点。敬请读者阅读并自行判断。

批评者们声称中子检测有误，这是对的。弗莱希曼和庞斯错误地使用了 BF3 计数器。弗莱希曼在首篇论文发表后不久就承认了这一点。

在这里引用的五篇论文以及无数非正式场合中，批评家声称热测量存在错误，超热也非真实。在本文的剩余部分，我将讨论《简单》文中使用的三种量热方法的要求。我将试图证明这些说法是错误的。据我所知，没有人在《简单》一文发表之后撰文尝试指出回流量热计中存在的错误。

在讨论具体错误之前，让我指出这些批评的普遍问题。据我所知，除了沙纳汉之外，没有任何怀疑者试图找出其他学者如斯托姆斯 (Storms) [33]、麦库布[34]或迈尔斯[35]的工作，或意大利国家实验室 (ENEA) 论文[36]独立重复性实验中出现的错误。怀疑者只专注于弗莱希曼和庞斯的早期报告，好像其他文献都不存在。事实上，许多怀疑者们声称实验从未重复过，而且也没有其他文献。尽管有许多示例，他们在其他使用等温外套热量法的实验中没有发现任何错误。他们没有发现质流型量热、塞贝克量热、沸腾和冰相变量热或红外热像检测超热的错误。

怀疑者也许认为，在所有这些使用不同技术的实验中寻找错误是徒劳的。理由不错

---

实验科学的基础之一是，当用两个或多个不同系统检测到同一种效应时，那就不会是系统误差。用等温外套、质流和塞贝克量热计检测到超热，就是基于三种不同物理原理的三种不同系统。如果他们都是错误的，则必须存在三个单独的系统误差。你不仅必

须找到三个不同的误差，还必须解释为什么他们显示相同的基本行为。他们都符合麦库布的经验公式，即超热随充气率、电流密度和气流而增加[37]。你必须证明为什么钯和重水会产生效应，而铂和重水却没有。这是不可能完成的任务。难以想象的是，电流密度的变化，或者选择钯而非铂，会在物理上使不同的仪器中以某种程度触发相同类型的误差。即使你假设钯的选择可能会影响放置在电解液中的热敏电阻，也不会：

- 以同样的方式影响热电偶；
- 或电解池外的热电偶，这些热电偶放置在铜护套中，铜护套紧靠在电解池周围；
- 或质流量热计中的热电偶，它放置在距电解池一定距离的冷却水流中；
- 或塞贝克量热计中以一定距离包围电解池的热电器件。

想象一下，所有这些不同器件的设备都以相同的**错误**方式响应，并且仅当钯中氘含量高且电流密度也高时，他们才会这样响应。这真是神奇的想法。

让我们谈谈在《简单》文件中出现的具体、可量化的错误。这种说法可以辩论和证伪。

弗莱希曼和庞斯公布这一发现之后，许多科学家有理由怀疑他们是否犯了一个错误。他们提出可能想到的会暴露出严重问题的每个疑问。四个与量热有关的主要问题是：

1. 混合不充分会产生看起来像超热的温度变化。
2. 可能出现的复合反应误差。
3. 阴极未热到足以发生聚变。这不是有效的反对意见。这样说的科学家混淆了功率和能量。
4. 争论何时以及如何测量传热系数。

这些反对意见很快得到答复和解决，但直到今天，这种反对意见仍在继续。

### 10.1. 混合不均匀误差

对量热的第一个异议是声称电解质可能未充分混合均匀。如若这样，则温度会从电解液中的一个点到另一点而变化。如果温度传感器恰好放在热区，研究者可能得出错误结论，即电解池正在产生超热。

如果电解液在某些区域比其他地方更热。设想将一个仅能检测液体中有限空间中温度的小型温度探头放入电解池，该位置的液体温度恰巧高于平均值。如果将此温度与标定曲线进行比较，则可能会得出错误结论从而认为存在超热。

这是一个合理的问题。但是，在公布实验结果之前，弗莱希曼和庞斯就已仔细考虑了如何进行实验并如何避免该错误及其他诸问题。他们进行了测试和标定，以确保电解液混合均匀。当有人提出反对意见后，他们立即回应批评，解释了他们的所作所为，并随后详细描述了这些步骤。他们证明，由于流体混合均匀，电解液温度没有明显变化。他们使用了两种方法：

他们制作了一段录像，记录了一滴红色染料掉入电解池中的情况。他们使用视频来测量搅拌染料所需的时间[3]。电解产生的气泡把染料迅速混合到剩余电解质中，水平混合时间不到 3 秒，垂直混合时间不到 20 秒。这是在他们使用最低电解功率下完成的。功率越高，混合越快。他们还通过使用 5 个热敏电阻温度传感器阵列（Thermometrics Ultrastable Thermoprobes）解决了这一问题。该阵列可以垂直或水平设置，以测量任一方向的温度变化。他们发现，液体中温度变化最高为  $0.005^{\circ}\text{C}$ ，只有电解池底部的温度变化为  $0.01^{\circ}\text{C}$ 。

我想大多数阅读这些论文的科学家都会相信搅拌不是个问题。那些不相信的人可以通过使用普通电极进行电解来确认这些方法。他们本身不必做冷聚变。他们也不需使用钯。他们可以在相同形状和配置的电解池中使用钢电极，并使用染料或热敏电阻阵列以

相同的功率水平电解。他们将证实，在这些功率水平下，电解产生的气泡足以搅拌电解池，从而消除任何明显的温度变化。

你还可以通过阅读论文并思考结果来确认液体混合均匀。假设液体没有混合，将温度探头放在温暖区会产生假超热，但同样有可能将其放在寒冷区并看到假超冷。这是不可能的。这些材料没有如此大的吸热电化学反应。你会知道这只是仪器错误。此外，在用铂电极和重水进行“空白”标定测试期间，弗莱希曼和庞斯将会看到虚假的超热或超冷现象。实际上他们在这些测试中没有发现任何热量。

开始提出这些反对意见是合理的，但一旦给予回答，后面还继续重复这类反对意见就变得无理取闹了，尤其是当你自己可以进行电解来验证搅拌时。然而，仍有许多人继续提出这些反对意见。事实上，即使在弗莱希曼和庞斯在国家电视台上播放了染料混合的视频之后，这种“激动人心的”争议也是该实验在 1989 年初被驳回的原因之一。

即使到现在，仍有人继续提出这一反对意见。评论家继续认为存在混合问题[38]。他们无法观看录像或听取弗莱希曼和庞斯发言。他们嘲笑弗莱希曼和庞斯，后来嘲笑罗伯特·哈金斯（Robert Huggins），据说也是这个错误。有人念叨过一首贬损的顺口溜：

“这是千万美元的干系，  
亲爱的兄弟，  
因为有些科学家把温度计  
放在此地而非彼地。”

引自《冰中之火》[39]第 144 页。

作者加里·陶布斯（Gary Taubes）将此论点极端化：

…视频显示沸腾的冷聚变电解池，其中注入了红色染料。在二十秒内，染料已均匀地分布在烧瓶中。弗莱希曼说，这证明了“混合不充分的论据不成立”。

演示令人印象深刻。但那是假的。即使冷聚变电解池具有很大的温度梯度（例如，一侧比另一侧高 50 度），红色染料也将在很短时间内均匀扩散。烧瓶中的温度梯度与所谓的红色染料梯度完全无关。

引自《坏科学》[40]第 271 页。

这是不可能的。如果将水混合，温度怎么会不同呢？当你把凉牛奶倒入热咖啡中并搅拌时，陶布斯会认为牛奶仍很凉吗？他是否认为麦克斯韦妖在咖啡中奔波，将高能分子从一侧推向另一侧？此外，当水中存在可测量温差时，它永远不会高达 50°C，最多是几分之一度。它从不在水平方向“从一侧到另一侧”变化。在已经放置了一段时间且存在静置热梯度的液体中，可能会存在一个小的垂直温差。只要搅拌液体，梯度就会消失。陶布斯显然认为会发生以下情况：搅拌一杯咖啡，使其在几秒钟内完全混合。你把它端起来，啜一口，你发现它很热。放下杯子，将其转过来，再次端起，然后从杯子的另一侧喝一口。你发现它处于室温，温度低了 50°C！

陶布斯、沙纳汉和其他人提出的想法不仅违反了基本的物理学定律，而且还违反了五岁小儿也能理解的常识。

陶布斯不是职业科学家。他的观点并不重要。但他的书很重要，因为它告诉我们有很多科学家反对冷聚变。这本书给很多人留下了深刻的印象，包括两位诺贝尔奖获得者为之撰写推介。他们可能没有仔细阅读它，因为它充满了诸如 50°C 温差一类的错误和奇谈怪论。

此外，该书基于附录中列出科学家的访谈。几乎他们所有人都强烈反对冷聚变。陶布斯说，他们告诉他该书所载的许多奇特东西，例如，冷聚变研究者测量电压而非电流。在美国国家公共广播电台（NPR）上，他说有人告诉他，冷聚变研究者在周末发现过超热，因为工厂关闭且电力供应更多。这在许多层面上是错误的。从来没有“更多的电力”。

当需求下降时，电力公司会减少输出。电源供应在时刻调节，即使电压升高也不会产生更多的电能。在实验中监视并记录功率，因此，如果有多余的电力，也会将其记录下来。最后，如果发生这种情况，则也将在标定期间发生，并予以记录。陶布斯相信这种胡说八道的事实并不重要。重要的是，职业科学家告诉他这一事实，诺贝尔奖获得者也给与认可。

## 10.2. 复合反应误差

在该实验的第一阶段，开放电解时可能会出现所谓的“复合反应误差”。它不会出现在第二阶段和第三阶段。

如上所述，电解将水分解成氢气和氧气，这些气体从开放电解池逸出进入大气。部分电能加热水。根据上面迈尔斯给出的例子：

$$\text{总电功率: } 10.12 \text{ V} \times 0.5 \text{ A} = 5.06 \text{ W}$$

$$\text{电解池中的焦耳热: } (10.12 \text{ V} - 1.54) \times 0.5 \text{ A} = 4.29 \text{ W}$$

$$\text{氘气和氧气从电解池带走的热量: } 0.77 \text{ W}$$

这里假设气体离开电解池。如果没有，假设氧气气泡不是离开电解池而是旋转并在水下与阴极接触并与氘结合形成水。或者，假设在水面上方的顶部空间中有催化金属网。氧气和氘气从水中冒出后撞击到金属上形成水，然后再回流到电解池中。这样就没有气体离开电解池。这称为再复合，而金属网称为复合催化剂。这就是封闭电解池的工作原理。如果没有复合催化剂，密闭电解池顶部空间中的气压会逐渐增加，直到电解池破裂。

想象一下，迈尔斯没有意识到气体是在水下或在顶部空间复合催化剂上复合。他不知道气体并未逸出，错误地以为有 0.77 W 的异常冷聚变热<sup>14</sup>。这就是复合反应误差。只要输出功率少于总输入电功率，那结果就可能来自复合反应。我们如何知道他和其他研究者没有犯此错误呢？因为：

1. 在此电压和电流条件下，复合反应不会产生大于 0.77 W 的误差。如果看到超过此限制的热，则可以确保并非全部来自复合。文献中的许多实验都产生了超过复合极限的热<sup>15</sup>。
2. 如果在电解中断或电解池沸腾变干后继续产热，该热更不可能来自复合。复合只能在电解过程中发生。在该实验的第二和第三阶段，电解中断。文献中还有其他实验，其中电解中断，但继续产热，有一例持续约 4 天。[41]
3. 最能确定的是，电化学家测量逸出电解池的气量。迈尔斯、弗莱希曼和庞斯及其他人证实电解池中没有明显的复合。他们以各种方式做到这一点。最常用的方法是测量电解质液位。它每天都按预测高度下降，表明氘气和氧气离开了电解池。当他们补充电解液时，记录了添加到其中的重水量。他们中的一些人还使用气体流量计或气体冒泡进入固定在水下的倒置试管中来测量气体流速。
4. 许多其他研究人员，例如斯托姆斯和麦库布，都使用封闭电解池，并在顶部空间安装复合催化剂。这些就不会有复合反应误差。当没有异常热时，电解池释放的热量必须等于输入电功率。
5. 由于在该实验的第二和第三阶段不可能发生复合误差，并且由于在这些阶段中也都产热，所以第一阶段很可能一样产生热。第一阶段的热不太可能是仪器假象，但真正的热在第二阶段突然启动并在第三阶段持续。不可能所有这三个阶段的热量都是由单一假象所致。测量方法完全不同。量热不可能在同一个方向出

<sup>14</sup> 可以想象，一半的气体在水下再复合，而迈尔斯没有注意到这一点，他会认为存在约 0.39 W 的异常热。

<sup>15</sup> 即输出热功率大于总输入电功率——译者注

错。为了表明所有这三个阶段都是错的，必须存在三种产生大致相同水平超热的系统误差。那将是一个奇妙的巧合。

### 10.3. 氘氧燃烧——“打火机效应”

一些批评者推测，弗莱希曼和庞斯可能已经观察到批评者所说的“打火机效应”。即，氘从钨中脱气时燃烧。19世纪的一些香烟打火机就是用充氢钨制成的。

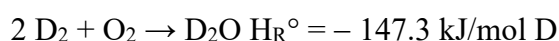
克雷萨（Kreysa）等报道，当把充氘或氢的钨阴极片放在一块木头上时，燃烧产生的热量能使木头烧焦[42]。他们正确地说，每摩尔氘可释放燃烧热 147.3 kJ，这是教科书中重水的形成热。但克雷萨无法理解功率与能量间的区别。所以他们的说法毫无意义。根据基本化学原理，他们应该已经意识到，即使有足够的能量来烧焦木材，阴极产生的能量也比弗莱希曼和庞斯在首篇论文中报道的少数百倍，当时电极在超过 120 h 的时间内释放出达  $4 \text{ MJ cm}^{-3}$  的体密度超热。

一立方厘米 ( $1 \text{ cm}^3$ ) 的钨电极重 11.9 克。一摩尔钨重 106 g，因此一立方厘米是 0.11 摩尔。假设钨以 1:1 的比例充满氢气，则 0.11 摩尔的钨可容纳 0.11 摩尔的氢 (0.11 g) 或氘 (0.22 g)，其燃烧生成 0.06 摩尔的  $\text{H}_2\text{O}$ 。水的形成热为每摩尔 285,800 J，因此燃烧这么多的氢气可产生 16,000 J。这比弗莱希曼观察到的热量少 250 倍。事实上，除非在极低温度下，否则很难充到 1:1。用克雷萨的方法实际充氢到  $1 \text{ cm}^3$  钨样品可能产生的能量比弗莱希曼报道的要少 500 倍。

此外，在随后的论文中，弗莱希曼等人报道了每立方厘米产生更多的能量。

克雷萨应该已经明白这一点。他应该意识到，观测到的热量只会持续很短的时间，而不是 120 个小时。他写道：

我们必须在这里报告，当从电解池中取出充氘的钨片并将其放在桌子上时，它烧焦了桌面。仍然可以说这是由于氘聚变。因此，我们使用仅含普通水（不含浓缩的重水）的电解质将钨阴极片充氢，然后将其放在一块木头上，在那里也烧焦了（见图 2）。这定性证明，如果存在氧，充氢钨释放的氢可以催化氧气为水。该催化复合反应为



弗莱希曼和庞斯没有考虑这一点。

弗莱希曼和庞斯是电化学家，他们当然考虑到了这些。克雷萨也是一名电化学家，因此他应该知道这产生的能量比他们所报道的要少数百倍，尽管它瞬间产生的能量足以烧焦木材。但任何高中生都应该知道功率与能量间的区别。

克雷萨肯定知道，在相同数量的材料中，核反应通常比化学反应产生的功率要少，但能量却更大。如前所述，居里夫妇从 0.1 g 镭样品中测得 0.012 W。该功率密度太低而无法烧焦木材。木制厨房火柴重 0.2 g。它能产生约 40 W 的热，是镭的 3,300 倍，当然会烧焦木头。它在 25 秒内烧尽，产生约 1,000 J 的能量。镭可保持温暖，每年产生 378,000 J。半衰期为 1600 年，因此从现在起的一千年后，它仍将每年产生 245,000 J。

其他科学家也犯了同样的错误，如乔治·查普林（George Chapline，劳伦斯利弗莫尔国家实验室）说：“弗莱希曼和庞斯重新发现了具有 150 年历史的德国打火机。”（1989 年 5 月，文献[39]第 102 页）

道格拉斯·莫里森反复引用“打火机效应”，很久以前人们就向他指出正在混淆功率和能量。他在 1994 年的一篇同行评议论文中发表了对“打火机效应”的冗长讨论，并引用了克雷萨的话。莫里森声称这种效应可解释弗莱希曼等人在《简单》论文中描述的沸腾和死后发热。[2,19]

…人们已经忘记了“打火机效应”…在用于第三阶段[死后发热]的简单计算中，忽略了氢与氧催化复合产生热量的重大影响。氧通过电解从阳极释放出来，并在电解快结束，电解池即将干涸时从空气中进来。弗莱希曼和庞斯的论文中没有提及任何测量离开试管的气体和蒸气中的氧气、氘气和水分含量的尝试。

在莫里森发文之前，弗莱希曼提出了反驳：

首先，我们注意到克雷萨等人的解释不可能应用于所质疑的实验：仅  $D_2O$  的汽化就将需要约 1.1 MJ 的能量，而钯中所有 D 的燃烧最多能产生约 650 J（假设阴极中 D/Pd 已达到 1 左右），相差约 1700 倍。其次，需要解释的时间尺度是不可能的：扩散弛豫时间约为 29 天，而该现象最多花费约 6 小时…第三，克雷萨等人将功率(W)与能量(J)的概念混淆了，这又是一个错误，批评家们一直在寻求“冷聚变”的“化学解释”…

弗莱希曼还指出，即使氢以最快的速度扩散，也需要几个小时才能释放出来，并且燃烧产生的热只有 5 W，而这种效应是 145 W。莫里森看到了弗莱希曼的反应，他重写了论文的部分内容来解释这一点，但继续进行并发表了“打火机效应”部分。

克雷萨、莫里森和其他人怎么犯了这个错误？莫里森是欧洲核子中心（CERN）的职业科学家，CERN 是世界顶级实验室。他一定懂得高等物理学才能胜任这个职位。功率和能量之间的区别属于中学物理。他不会不理解这一点，或者说克雷萨不太可能，但是我不能排除这一点。人们的教育水平存在差距和盲点。尽管如此，这就像不知道电流和电压之间的差异一样。这是一个令人难以相信的错误。

我确信莫里森没有犯过粗心的错误，即他忘记了仔细检查。莫里森看到弗莱希曼的回应。通过比较莫里森评论的不同草稿以及分发日期，我们可以看到莫里森纠正了弗莱希曼指出的一些其他问题，但不是这一点。莫里森要么不理解功率与能量之间的区别，要么他出于恶意而试图说服读者存在一个他知道没有的问题。

陶布斯的动机很明确。他告诉埃德蒙·斯托姆斯，他不在乎冷聚变是否真实。他写这本书只是赚钱。

#### 10.4. 数据点不够

史蒂文·琼斯（Steven Jones）、莫里森和其他批评家抱怨说，《简单》论文中数据的时间尺度不够。数据点间隔 5 分钟，他们说这不够密。数据点之间可能存在尖峰和功率漂移。莫里森首先在 ICCF-3 会议上提出了这一反对意见。作为回应，弗莱希曼展示了示波器的功率曲线，其分辨率更高，也没有峰值。

可以通过其他两种方式解决此问题。首先，在没有超热的情况下以及在超热开始后的数周内，获取许多数据，直到沸腾为止。如果出现峰值和漂移，即使他们相距 5 分钟，也会出现在某些数据点中，因为在 16 天之内有 4,600 个数据点。假设峰值以随机间隔发生，那也足以显示峰值。其次，沸腾进行一段时间之后，水位会降到阳极和阴极之下，因此没有电流再通过电解池。然而，沸腾仍在继续。在此阶段，没有输入功率，当然也不会出现尖峰或漂移。

#### 10.5. 关于何时以及如何测量传热系数的争论

迈尔斯在 NHE 实验室进行了为期 69 天的实验，根据他和弗莱希曼计算出的传热系数，他得出结论，实验产生了超热。NHE 的其他学者计算出较低的传热系数，并得出结论说没有超热。

1989 年，加州理工学院的刘易斯（Lewis）等人进行了一项实验，得出结论是未产生超热。他们从一个传热系数开始，然后反复增加其数值，总共增加了 14%，因此结果

总是为零。弗莱希曼、迈尔斯、诺尼斯基（Noninski）和其他人指出，该系数更有可能保持不变，并且有 14% 的超热。

在这两种情况下，研究者在如何测量该系数以及在实验过程中何时进行测量上未达成一致。下面讨论这两种情况。

弗莱希曼和庞斯首先在空白实验中用重水和铂阴极测量传热系数。重水的热质量和热中性电动势与普通水略有不同，因此，这比使用普通水进行空白测试的准确性更高。

在重水中使用钯进行测试后不久，他们再次测量了传热系数，这称为动态标定。他们通常用加热脉冲来完成此操作（参文献[20]第 14–18 页）。如果在脉冲后温度回落到与脉冲前相同的水平，则他们认为脉冲显示出每瓦引起电解池温度的变化。只要热量稳定，即使有超热也可以工作。脉冲位于超热之上。

许多研究者在实验开始不久就通过测量每瓦输入功率引起的温度变化来进行动态标定。该技术之所以有效，是因为在最初的几天中，钯体材的电化学冷聚变实验很少产生热量。因此，没有超功率，温升仅由输入功引起，与空白测试中的铂阴极一样。但这可能不适用于薄膜实验，薄膜实验有时充气很快，立刻就开始发热。NHE 的迈尔斯使用的钯-硼阴极也很快产热，有时是第一天。这使事情复杂了。

以图 3 所示为例，系数为  $4.0^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。假设你不知道该系数。想在实验开始后即时进行测量。假设没有超热，并且输入 2 W（橙色点）测得温差为  $11^{\circ}\text{C}$ 。你想传热系数为  $11^{\circ}\text{C}/2\text{ W} = 5.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。为避免此错误，您需要寻找整个实验的传热系数下限，而不仅仅是一次。假设你测量：

第 1 天： $11.0^{\circ}\text{C}$ ，输入 2 W，系数  $5.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$

第 2 天： $13.0^{\circ}\text{C}$ ，输入 3 W，系数  $4.3^{\circ}\text{C}/\text{W}$

第 3 天： $4.2^{\circ}\text{C}$ ，输入 1 W，系数  $4.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$

下限为  $4.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，你假设这是没有超热时的系数。回到第 1 天并应用： $2\text{ W} \times 4.2^{\circ}\text{C}/\text{W} = 8.4^{\circ}\text{C}$ ； $11^{\circ}\text{C} - 8.4^{\circ}\text{C} = 2.6^{\circ}\text{C}$ ，这意味着超热为 0.6 W。实际上，你有点儿不对。你低估了超热，因为没有意识到在最后一次测量中会有 0.05 W 的超热，否则，温度将是  $4.0^{\circ}\text{C}$  而非  $4.2^{\circ}\text{C}$ 。

系数下限为整个实验设置了零线。你不小心把零线调高 0.05 W。但此方法是安全的，因为即使可能低估了热量，也永远不会高估它。该方法适用于弗莱希曼和庞斯的量热计，因为大多数传热是通过辐射进行的，因此你知道该值不能低于理想的斯忒藩-玻尔兹曼系数。如果是这样，则仪器或数据分析出了问题。

当你设想没有超热并且仅测量一回系数时，此方法将不起作用。这就是 NHE 的学者们做的。他们在实验第 3 天测量了温差；他们认为那天没有超热。他们得出的系数下限小于迈尔斯和弗莱希曼的。事实证明，在第 3 天有超热。他们还忘记了计入电阻加热器提供的 0.25 W 功率；他们还低估了电解池的热质量；并且他们犯了弗莱希曼已详细描述过的一些其他错误。[9]

数据图显示 NHE 的系数有问题。

迈尔斯在整个实验中每 5 分钟测量一次系数，发现最低值是在第 61 天，就是下图 10 中红色圆圈所示的数据点。他计算出当天的热系数下限为  $0.85065 \times 10^{-9}\text{ W}/\text{K}^4$ ，他将其应用于所有数据点。图 11 显示了用 NHE 系数  $0.793504 \times 10^{-9}\text{ W}/\text{K}^4$  绘制的相同数据。这个结果是不可能的。它显示电解池在某些天产生了超热，而在另一些天产生负超热（吸热反应）。这些正向和负向偏移的净结果大约为零：未产生净超热。由于在这种条件下不可能发生吸热反应，因此 NHE 研究人员得出结论：量热计存在问题，或者弗莱希曼建议的方法存在问题。他们得出结论，迈尔斯没有观测到超热。

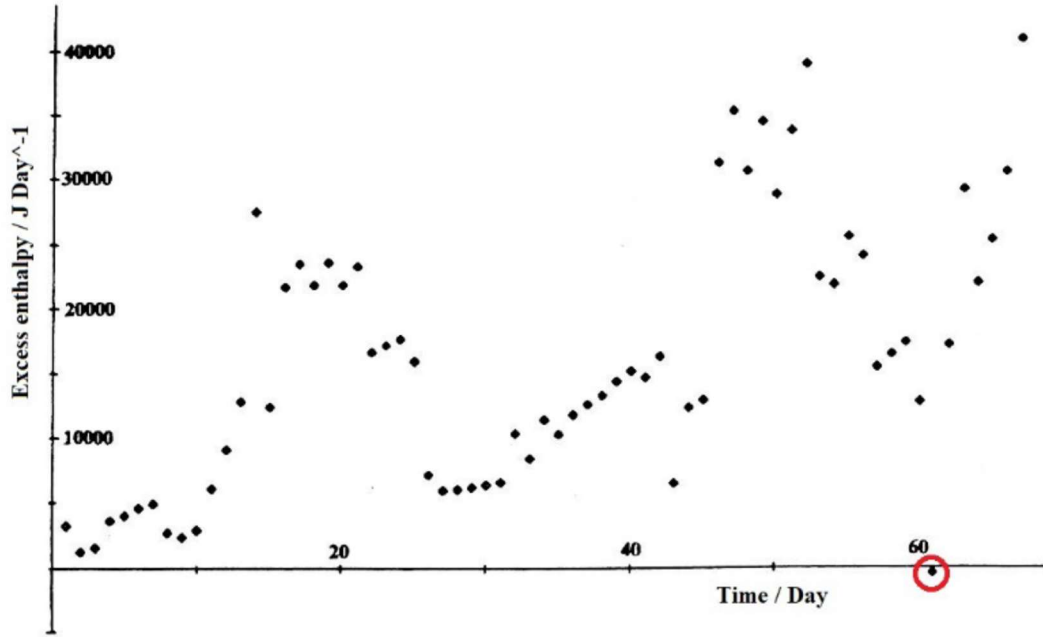


图 10. NHE 实验中的超焓是根据弗莱希曼给的 ICARUS 方法说明并使用传热系数下限值计算得出的。第 61 天的数据点（红色圆圈）在零线上，没有超热。

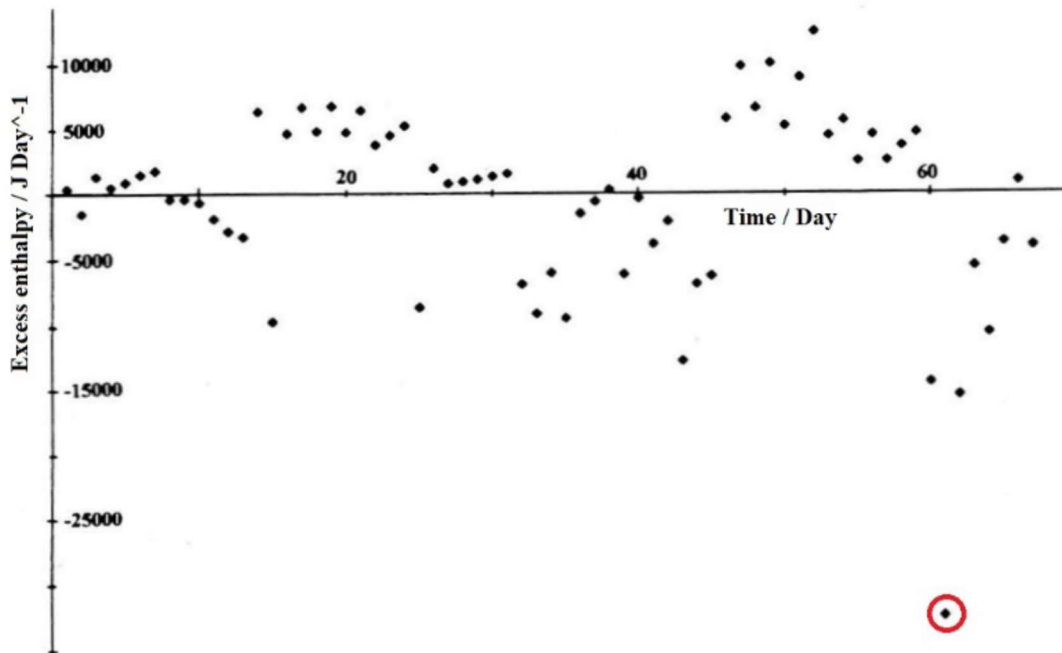


图 11. 使用 NHE 程序计算的超焓。第 61 天的数据点（红色圆圈）显示 -30,000 J，这是不可能的。NHE 系数将零线上移 30,000 J。

在冷聚变的早期，加州理工学院的刘易斯就犯了类似错误[43]。他一直在调高零线。在相同的输入功率下，他看到温度逐渐升高 14%。但他并没有设想这是由超热引起的，而是假设传热系数正在变化。他认为，在测试开始时，1 W 会使温度升高 14.0°C，但后来又使温度升高 15.9°C。Lewis 如此描述系数变化：

我们…有时观察到这些电解池热损失速率突然或逐渐变化，这大概是由于气体逸出速率和/或形式的变化造成的。这些变化通常会导致电解池持续温度升高（这可

解释为超焓产生), 但是在此期间使用负载电阻器方法进行的重新标定并未显示任何异常超功率的证据, 即使在已超过报道的 Pd 棒激活时间以后。

刘易斯推测该变化是由气体逸出变化引起的, 但他并没有通过测量气体流量或通过测量电解质损失来确认这一点。在对超热进行的重新标定测试中, 他认为冷聚变热与电流密度正好成比例, 并且它会立即对电流密度变化做出响应。为了寻找超热, 他降低了电解输入功率 (从而降低了电流密度), 并增加了相同水平的电阻加热功率进行补偿, 使进入电解池的总功率总是相同。他希望降低电流密度以减少异常热。他没有看到。温度没有下降。因为他的假设是错的: 冷聚变热并不总是与电流密度成正比。它也不立即响应。在某些情况下, 如死后发热中, 它会在关闭电源后持续几个小时。即使在电流密度降低后, 如果冷聚变热持续处于相同水平, 刘易斯的检查方法也不会显示出任何变化。

迈尔斯用技术语言这样描述: [12]

刘易斯的实验观察表明,  $P'_{EL} + P'_{Re} \approx P_{EL}$  不能简单地证明没有超功率, 而只能证明  $P_X - P'_X \approx 0$ , 即当电解功率由电阻功率部分取代时  $P_X$  变化很小。有趣的是根据表 2 我们注意到, 在刘易斯较高电流密度的实验中, 维持恒定电解池温度所需输入功率 ( $P'_{EL} + P'_{Re}$ ) 始终较小。这种效应与异常超功率的存在相一致, 该异常功率随电流密度的增加而增加, 接近弗莱希曼等人报道的幅度。

并且: [22]

加州理工报告中最令人不安的方面涉及 Pd/D<sub>2</sub>O + 0.1 M LiOD 实验中的加热系数, 该系数从 14.7 小时的  $14.0 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$  ( $0.0714 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ ) 增加到 115.0 小时的  $15.9 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$  ( $0.0629 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ )。这也可解释为 13.6% 的超功率效应。加州理工进行的 Pd/H<sub>2</sub>O + 0.1 M LiOH 实验得出较低的加热系数 ( $h = 12.5 \pm 0.7 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$ ), 但该系数并未显示出随时间的大幅增加。使用  $14.0 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$  的恒定  $h$  值会产生超功率, 该功率会随着电解时间而增加, 直至 76 mW。分析给出刘易斯实验的超功率密度为  $1.0 \text{ W}/\text{cm}^3 \text{ Pd}$ , 这与其他弗莱希曼和庞斯实验中使用类似电流密度下报道的结果极为一致。

我更简单地总结如下: [44]

刘易斯可能已经观察到弗莱希曼和其他人在类似材料和电化学条件下所产生的超热。但是, 刘易斯并没有断定自己看到 14% 的超热, 而是断言仪器性能改变了 14%。他没有确定引起更改的可能原因, 也没有进行再标定测试来确认该变化并查明仪器误差来源。

马洛夫 (Mallove) 形容得最好:

站在秤上就别归零了。

弗莱希曼、迈尔斯和其他人向《自然》杂志的编辑林德利 (Lindley) 去信指出了这些问题。诺尼斯基等人还发现其他问题。林德利说, 他把批评寄给了刘易斯本人以寻求“建议”。换句话说, 他问刘易斯应该接受还是拒绝对自己论文的批评, 刘易斯认为自己的工作还可以。这不是同行评议的工作方式。

敬请读者阅读[刘易斯、林德利、弗莱希曼等人的评论](#), 并自行决定谁对谁错。

## 致谢

感谢梅尔文·迈尔斯和让-保罗·比伯里安的许多有益建议和更正。他们都有使用 ICARUS 量热计的实际经验, 并且撰写了许多描述量热及其结果的优秀论文。埃德蒙·斯托姆斯也提出了许多有益建议。

## 附录 A. 18 和 19 世纪的量热计能测量冷聚变效应吗？

马丁·弗莱希曼曾经指出，他们的量热方法是焦耳在 1840 年代开发的。焦耳测量电阻加热器产生的热量后发现了焦耳定律（热量 = 电流<sup>2</sup> × 电阻）。后来测量电解产生热量的是弗莱希曼和庞斯。[23]

本评述促使我想知道焦耳可否用他的仪器检测到冷聚变。我决定用与他的装置（图 12）相似的电解池进行测试。焦耳对环境温度变化无可奈何。我则有意在春天打开房屋门窗，以免控制环境温度。

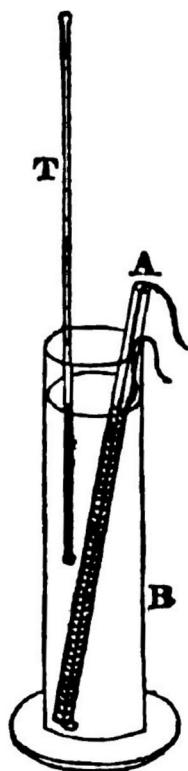


图 12. 焦耳用于建立焦耳定律的装置。A：线圈（电阻加热器）；B：部分装满水的玻璃瓶；T：温度计。

我使用了精度为 0.1°C 的热敏电阻以及模拟电压表和电流表。电源可以设置为 1.1 到 4.0 W 的 5 个级别。每个级别我都尝试几次，测量环境和电解池温度，然后计算电解池与环境空气间平均温差（表 1）。图 2（上方）显示了 1.1 和 1.7 W 时的标定，图 3 显示了标定曲线。

表 1. 基本量热计的平均温差

输入功 (W)	温差 (°C)	温差/功率	功率/温差
1.1	4.4	4.091	0.244
1.7	7.1	4.177	0.239
2.4	9.7	4.042	0.247
3.2	12.3	3.844	0.260
4.0	15.2	3.800	0.251
平均值		3.991	0.251

焦耳描述了不受控制的环境空气温度变化：“在做实验的不同日子里，使室内空气保持在安静、湿度等相同状态是困难的。”焦耳的温度计灵敏度大约是我的两倍，我的刻度为 0.1°F。焦耳采用绝热而非等温外套法。在其他方面，他的实验确实类似于弗莱希曼和庞斯的。

我得出的结论是，即使用我的粗笨仪器或焦耳 1841 年的仪器也可有把握地检测到许多冷聚变反应。我确信这些仪器可以测量 1 W 或约 0.5 W 的功率。斯托姆斯观测到 124 个非常成功的实验，超过 1 W 的有 84 个，超过 0.5 W 的有 20 个。[45]

不用说，弗莱希曼和庞斯的量热计比焦耳的仪器或我设计的原始仪器要精确得多。我故意让环境温度变化高达 2°C。他们将浴温控制在 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 内。他们使用了高稳定度热敏电阻，年稳定度在 0.02% 内，并根据 NIST 温度计进行了校准。因此，他们可以在毫瓦级别进行可靠的测量。他们的分析比我的初级近似值精确无比，也更复杂。它基于第一原理，而我使用的是初中教科书的近似值。

我做测试的部分目的是为了反驳那些怀疑者，他们宣称该效应难以检测。我证明，过去 150 年中任何有能力的科学家都可以检测到许多冷聚变反应。事实上，用拉瓦锡（Lavoisier）和拉普拉斯（Laplace）于 1780 年制造的第一台现代量热计可能已经测量了许多反应，这就是冰量热计[13]。他们用它来测量豚鼠的新陈代谢，确认新陈代谢热与二氧化碳的比例与燃烧中的比例相同。来自豚鼠的热量在 10 个小时内融化了 447 g 水，这是 149,097 J 的热释放。除以 10 个小时得到 3.91 W。这与现在估计的豚鼠代谢热 2.67 W 接近[46]<sup>16</sup>。他们称量水的精确度至 4 g（1 德拉克马）。因此，他们可测量的最小热释放为  $4\text{ g} \times 333.55\text{ J/g} \sim 1,334\text{ J}$ 。如果在 10 个小时内只有 4 g 的融水，我想它会蒸发掉，从而难以精确测量。我想他们可以在 1 小时（3600 秒）内测量出 4 g 的重量，这不难，这意味着他们可以测量最小  $1,334\text{ J}/3,600\text{ s}$  或 0.37 W 的功率，令人印象深刻。这足以确认 1 W 以上的冷聚变热。

壳牌石油公司的研究人员制造了一种类似于拉瓦锡冰量热计的仪器，它当然更灵敏。他们用它测量了冷聚变反应产生的热量。[47]

## 附录 B. 冷聚变的非科学反对意见

有些人对冷聚变提出了许多非科学的反对意见。最常见的是它违反了理论，因为它不像等离子体聚变那样产生辐射。因此，它不会是聚变，所以这必须是实验误差。这将科学方法颠倒了。科学的基本原则是，实验是真理的唯一标准。实验定义了这种现象。他们表明冷聚变不可能是化学的，因为电解池没有化学燃料且产生的热量比任何化学反应都要多数千倍。它产生的氦与热的比率与等离子体聚变的比率相同，因此从定义上讲就是聚变。它不产生辐射，因此它的模式不能与等离子体聚变相同。

当然，必须以高信噪比广泛重复实验，然后才能依赖他们。不应相信一次性冷聚变的报告。但这些实验已在 180 多个实验室中进行了数百次重复[45]。如果这些实验与物理学定律相抵触，那只能意味着这些定律是不正确的。

实验是否真的与理论冲突是一个悬而未决的问题。一些理论家这样说，而其他人，如朱利安·许温格（Julian Schwinger）和彼得·黑格尔斯坦（Peter Hagedorn）则认为并非如此。无论哪种方式，理论都不能成为拒绝重复实验的基础。

---

<sup>16</sup> 冰量热计很冷，所以豚鼠在其中可比平常产生更多的热。但是，它放在巢中（应该是连窝带鼠一起放入量热计中——译者注），拉瓦锡和拉普拉斯向我们保证，“在这些实验中，动物似乎没有遭罪。”

美国能源部 ERAB 小组负责人约翰·休曾加 (John Huizenga) 于 1989 年否决了冷聚变, 他的书中有 6 点总结[48,49]。第 5 点是无论实验结果如何, 都不能违反核理论。因此第 6 点是, 由于影响不能是核的, 也不能是化学的, 因此我们先验地知道所有冷聚变正超热结果必然是误差:

5. 如果报告的核产物强度比超热要求的小几个数量级, 那么超热不是来自核反应过程。
6. 此外, 如果所宣称的超热超过了其他常规过程 (化学、机械等) 可能的热量, 则必须得出结论, 在测量超热时出现了误差。

休曾加认为没有义务展示实验中的技术错误。根据他对核理论的解释, 他们一定是错的。博德特 (Beaudette) 如此总结第 5 点和第 6 点: [50]

在第 5 句中, 他含蓄地否认了未知过程存在的可能性, 因为在他表述的逻辑中没有留下任何位置。对于那些没有注意到缺失要素的读者来说, 他的陈述导致了对该领域认识的普遍混乱。

最后的第 6 句与第 5 句紧密相关。前 5 个否定了常规聚变能源的可用性, 第 6 个否定了非核能源的可用性。瞧, 没有异常能源之类的怪力乱神。

第 5、6 句断言, 核测量是科学, 而量热不是科学。丢掉他们的测量但保留我的。我奇怪在科学中是否可以找到比这些句子更狭隘, 更省事的专业观点。

关于科学方法, 还有许多其他混淆的概念, 例如, 只有在任何人都可以轻松重复之后, 才接受实验。相反, 许多实验只能由专家来重复, 但难度很大。例如, 下一组托卡马克等离子体聚变实验将需要数千专家在数十亿美元的 ITER 反应堆上工作。世界上没有其他机构可以从事这些实验。无人因为难以重复就声称不存在等离子体聚变。一个相关的想法是, 除非重复几乎总是成功, 否则无法接受实验。如果采用了该标准, 则没有人在 1950 年代初期会相信晶体管是真实的, 当时许多晶体管都失败了; 或者说 1950 年代后期大多数火箭爆炸时, 火箭是真实的; 或只有千分之一的婴儿能够存活下来, 克隆动物是真实的。如果你算出产生一个顶夸克所需的 200 亿个质子-反质子碰撞, 那么找到顶夸克的失败率将是天文数字般高的。

批评者犯了许多其他逻辑错误, 特别在 2004 年美国能源部 (DoE) 审查中。罗斯韦尔和梅利奇 (Melich) 列出了 14 个最严重的错误。[51]

## 附录 C. 传热系数 $[k_R]$ 符号说明

弗莱希曼和庞斯使用符号 $[k_R]$ 表示辐射传热系数, 该变量带有 2 或 3 个下标 $[k_R]_{i,j,l}$ 。下标表示:

$i$  表示分析方法: 1 = 微分; 2 = 向后积分; 3 = 前向积分

$j$  如果存在: 测量周期。如果只有两个下标, 则不包括该项。

$j = 5$ , 比原点高一点的时间

$j = 6$ , 比  $t_1$  稍高的时间[施加标定脉冲]

$j = 7$ , 比  $t_2$  稍高的时间[停止标定脉冲]

$j = 8$ ,  $j = 6$  和  $j = 7$  的时间组合

$l$  表示 1 = 下限; 2 = 真值

因此:

$[k_R]_{11}$  表示: 微分, 下限。

$[k_R]_{262}$  表示: 向后积分; 时间段 6; 真值。

$k_R'$  顶上的单横条表示这是 11 点平均值, 其中每 5 分钟 (共 55 分钟) 测量一次值:  $\overline{k_R'}$

其他文件中使用的双杠表示两重平均。也就是说，在 11 点平均值基础上再进行 6 点平均（ $6 \times 55 =$  共 330 分钟）： $\overline{\overline{k_R}}$

文献来源：Miles, M., M. Fleischmann, and M.A. Imam, [\*Calorimetric Analysis of a Heavy Water Electrolysis Experiment Using a Pd-B Alloy Cathode\*](#) 2001, Washington: Naval Research Laboratory, pages 4-5。所述平均值在第 12 页。

## 文献

1. Fleischmann, M., S. Pons, and M. Hawkins, *Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium*. J. Electroanal. Chem., 1989. **261**: p. 301 and errata in Vol. 263 <http://lenr-canr.org/acrobat/Fleischmanelectroche.pdf>.
2. McKubre, M.C.H., et al. *Concerning Reproducibility of Excess Power Production*. in *5th International Conference on Cold Fusion*. 1995. Monte-Carlo, Monaco: IMRA Europe, Sophia Antipolis Cedex, France <http://lenr-canr.org/acrobat/PonsSproceeding.pdf#page=31>.
3. Fleischmann, M., et al., *Calorimetry of the palladium-deuterium-heavy water system*. J. Electroanal. Chem., 1990. **287**: p. 293 <http://lenr-canr.org/acrobat/Fleischmancalorimetr.pdf>.
4. Fleischmann, M. and S. Pons, *Calorimetry of the Pd-D<sub>2</sub>O system: from simplicity via complications to simplicity*. Phys. Lett. A, 1993. **176**: p. 118 <http://lenr-canr.org/acrobat/Fleischmancalorimetra.pdf>.
5. Pons, S. and M. Fleischmann. *Heat After Death*. in *Fourth International Conference on Cold Fusion*. 1993. Lahaina, Maui: Electric Power Research Institute 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304 <http://lenr-canr.org/acrobat/PonsSheatafterd.pdf>.
6. Roulette, T., J. Roulette, and S. Pons. *Results of ICARUS 9 Experiments Run at IMRA Europe*. in *Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy*. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan <http://lenr-canr.org/acrobat/RouletteTresultsofi.pdf>.
7. Miles, M., NEDO Final Report - Electrochemical Calorimetric Studies Of Palladium And Palladium Alloys In Heavy Water. 2004, University of La Verne <http://lenr-canr.org/acrobat/MilesMnedofinalr.pdf>.
8. Miles, M., *Report on Calorimetric Studies at the NHE Laboratory in Sapporo, Japan*. Infinite Energy, 2000. **5**(30): p. 22 <http://lenr-canr.org/acrobat/MilesMreportonca.pdf>.
9. Miles, M., M. Fleischmann, and M.A. Imam, *Calorimetric Analysis of a Heavy Water Electrolysis Experiment Using a Pd-B Alloy Cathode*. 2001, Naval Research Laboratory <http://lenr-canr.org/acrobat/MilesMcalorimetrd.pdf>.
10. Miles, M., M.A. Imam, and M. Fleischmann. *"Case Studies" of Two Experiments Carried Out With the ICARUS Systems*. in *8th International Conference on Cold Fusion*. 2000. Lerici (La Spezia), Italy: Italian Physical Society, Bologna, Italy <http://lenr-canr.org/acrobat/MilesMcasestudie.pdf>.
11. Mosier-Boss, P.A. and M. Fleischmann, *Thermal and Nuclear Aspects of the Pd/D<sub>2</sub>O*

- System (2)*, ed. S. Szpak and P.A. Mosier-Boss. Vol. 2. Simulation of the Electrochemical Cell (ICARUS) Calorimetry. 2002: SPAWAR Systems Center, San Diego, U.S. Navy <http://lenr-canr.org/acrobat/MosierBosssthermalanda.pdf>.
12. Miles, M. and B.F. Bush. *Calorimetric Principles and Problems in Pd-D<sub>2</sub>O Electrolysis*. in *Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion"*. 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan <http://lenr-canr.org/acrobat/MilesMcalorimetr.pdf>.
  13. Hemminger, W. and G. Hohne, *Calorimetry Fundamentals and Practice*. 1984: Verlag Chemie.
  14. Miles, M. and M. Fleischmann. *Precision and Accuracy of Cold Fusion Calorimetry (paper and PowerPoint slides)*. in *233rd ACS National Meeting*. 2007. Chicago, IL <http://lenr-canr.org/acrobat/MilesMprecisiona.pdf>.
  15. Lonchamp, G., L. Bonnetain, and P. Hieter. *Reproduction of Fleischmann and Pons Experiments*. in *Sixth International Conference on Cold Fusion, Progress in New Hydrogen Energy*. 1996. Lake Toya, Hokkaido, Japan: New Energy and Industrial Technology Development Organization, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan <http://lenr-canr.org/acrobat/LonchampGreproducti.pdf>.
  16. Lonchamp, G., et al. *Excess Heat Measurement with Pons and Fleischmann Type Cells*. in *The Seventh International Conference on Cold Fusion*. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT <http://lenr-canr.org/acrobat/LonchampGexcessheata.pdf>.
  17. Personal communication, 2020.
  18. Personal communication, 2020
  19. Fleischmann, M. and S. Pons, *Reply to the critique by Morrison entitled 'Comments on claims of excess enthalpy by Fleischmann and Pons using simple cells made to boil*. *Phys. Lett. A*, 1994. **187**: p. 276 <http://lenr-canr.org/acrobat/Fleischmanreplytothe.pdf>.
  20. Fleischmann, M. and M. Miles, Letters from Martin Fleischmann to Melvin Miles. 2018, LENR-CANR.org <http://lenr-canr.org/acrobat/Fleischmanlettersfroa.pdf>.
  21. Personal communication, 2020.
  22. Miles, M. and M. Fleischmann. *Isoperibolic Calorimetric Measurements of the Fleischmann-Pons Effect*. in *ICCF-14 International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2008. Washington, DC <http://lenr-canr.org/acrobat/MilesMisoperibol.pdf>.
  23. Joule, J.P., *On the Heat evolved by Metallic Conductors of Electricity, and in the Cells of a Battery during Electrolysis*. *Philosophical Magazine*, 1841. **19**(124): p. 260 <https://books.google.com/books?id=hJEOAAAIAAJ&pg=PA260#v=onepage&q&f=false>.
  24. Park, R.L., *BOOK WORLD The Fizzle in the Fusion*, in *Washington Post*. 1991.
  25. Mallove, E., *Classic Nasty, Incompetent, and Stupid Statements About Cold Fusion*. 1991 <http://lenr-canr.org/acrobat/MalloveEclassicnas.pdf>.
  26. Shanahan, K., *Comments on Thermal behavior of polarized Pd/D electrodes prepared by co-deposition*. *Thermochim. Acta*, 2005. **428**: p. 207.
  27. Shanahan, K., *A Critique of the Student's Guide To Cold Fusion*. 2003, LENR-CANR.org <http://lenr-canr.org/acrobat/ShanahanKacritiqueo.pdf>.

28. Shanahan, K., *A Possible Calorimetric Error in Heavy Water Electrolysis on Platinum*. *Thermochim. Acta*, 2002. **387**(2): p. 95-101 <http://lenr-canr.org/acrobat/ShanahanKaposiblec.pdf>.
29. Shanahan, K., *Reply to 'Comment on papers by K. Shanahan that propose to explain anomalous heat generated by cold fusion,' E. Storms*. *Thermochim. Acta*, 2005. **441**: p. 210.
30. Morrison, D.R.O., *Comments on claims of excess enthalpy by Fleischmann and Pons using simple cells made to boil*. *Phys. Lett. A*, 1994. **185**: p. 498.
31. Storms, E., *Comment on papers by K. Shanahan that propose to explain anomalous heat generated by cold fusion*. *Thermochim. Acta*, 2006. **441**: p. 207-209 <http://lenr-canr.org/acrobat/StormsEcommentonp.pdf>.
32. Marwan, J., et al., *A new look at low-energy nuclear reaction (LENR) research: a response to Shanahan*. *J. Environ. Monit.*, 2010. **12**(9): p. 1765-1770 <http://lenr-canr.org/acrobat/MarwanJanewlookat.pdf>.
33. Storms, E. *Measurement of Excess Heat from a Pons-Fleischmann Type Electrolytic Cell*. in *Third International Conference on Cold Fusion, "Frontiers of Cold Fusion"*. 1992. Nagoya Japan: Universal Academy Press, Inc., Tokyo, Japan <http://lenr-canr.org/acrobat/IkegamiHthirdinter.pdf#page=32>.
34. McKubre, M.C.H., et al., *Isothermal Flow Calorimetric Investigations of the D/Pd and H/Pd Systems*. *J. Electroanal. Chem.*, 1994. **368**: p. 55 <http://lenr-canr.org/acrobat/McKubreMCHisothermala.pdf>.
35. Miles, M., B.F. Bush, and K.B. Johnson, *Anomalous Effects in Deuterated Systems*, Final Report. 1996, Naval Air Warfare Center Weapons Division <http://lenr-canr.org/acrobat/MilesManomalousea.pdf>.
36. ENEA, *COLD FUSION The History of Research in Italy*, ed. A. Rosati, F. Scaramuzzi, and V. Violante. 2009, Rome, Italy: ENEA <http://lenr-canr.org/acrobat/ENEAcoldfusion.pdf>.
37. McKubre, M.C.H. *Cold Fusion (LENR) One Perspective on the State of the Science*. in *15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2009. Rome, Italy: ENEA <http://lenr-canr.org/acrobat/McKubreMCHcoldfusionb.pdf>.
38. For example, Bill Nye said this in an interview on Fox News, June 19, 2020. Bill Nye 'The Science Guy' reveals funny encounters with fans, how many bow ties he owns. <https://www.foxnews.com/entertainment/bill-nye-the-science-guy-bow-ties-exploravision>
39. Mallove, E., *Fire From Ice*. 1991, NY: John Wiley <http://lenr-canr.org/acrobat/MalloveEfirefromic.pdf>.
40. Taubes, G., *Bad science. The short life and weird times of cold fusion*. 1993, NY: Random House.
41. Dardik, I., et al. *Ultrasonically-excited electrolysis Experiments at Energetics Technologies*. in *ICCF-14 International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2008. Washington, DC <http://lenr-canr.org/acrobat/DardikIultrasonic.pdf>.
42. Kreysa, G., G. Marx, and W. Plieth, *A critical analysis of electrochemical nuclear fusion experiments*. *J. Electroanal. Chem.*, 1989. **266**: p. 437.
43. Lewis, N.S., et al., *Searches for low-temperature nuclear fusion of deuterium in palladium*. *Nature (London)*, 1989. **340**(6234): p. 525.

44. Rothwell, J., How Nature refused to re-examine the 1989 CalTech experiment. 2012, LENR-CANR.org <http://lenr-canr.org/acrobat/RothwellJhownaturer.pdf>.
45. Storms, E., *The Science Of Low Energy Nuclear Reaction*. 2007: World Scientific Publishing Company <http://lenr-canr.org/acrobat/StormsEthescience.pdf>.
46. Poczopko, P., *Metabolic Rate and Body Size Relationships in Adult and Growing Homeotherms*. Acta Theriologica, 1979. **24**(12)  
<https://core.ac.uk/download/pdf/194219985.pdf>.
47. Dufour, J., et al. *A simple calorimetric method to avoid artifacts in a controversial field: The ice calorimeter*. in *ICCF-14 International Conference on Condensed Matter Nuclear Science*. 2008. Washington, DC <http://lenr-canr.org/acrobat/DufourJasimplecal.pdf>.
48. ERAB, Report of the Cold Fusion Panel to the Energy Research Advisory Board. 1989 <http://lenr-canr.org/acrobat/ERABreportofth.pdf>.
49. Huizenga, J.R., *Cold Fusion: The Scientific Fiasco of the Century*. 1992, Rochester, NY: University of Rochester Press.
50. Beaudette, C.G., *Excess Heat: Why Cold Fusion Research Prevailed*. 2002, Concord, NH: Oak Grove Press <http://lenr-canr.org/acrobat/BeaudetteCexcessheat.pdf>.
51. Rothwell, J. and M.E. Melich, Responses to DoE Review Panel Comments. 2008, LENR-CANR.org <http://lenr-canr.org/acrobat/RothwellJresponsest.pdf>.

## 译后记

本文作者罗斯韦尔是冷聚变界著名的编辑，他创办的 lenr-canr.org 网站是全世界冷聚变文献中心，他本人著有《冷聚变与未来》(Cold Fusion and the Future)。自 2005 年 ICCF-12 以来，译者发表在冷聚变会议文集或《凝聚态核科学杂志》(Journal of Condensed Matter Nuclear Science)<sup>17</sup>上的论文都由他润色。其人沉默寡言，但思维缜密，言必有据，是一位真正的学者。

本文亮点如下：

(1) 作者诉诸历史，以居里夫妇用量热法发现镭放射性为例说明热测量本来就是核物理研究的看家本领，核辐射测量反而是后起之秀，现代核专家们执念于核探测这唯一标准是数典忘祖。其实现在不仅冷聚变需要量热，核废料的精确测量也必须使用量热法（比放射性测量精度高一个量级），而用量热法探测粒子也是核测量中的前沿课题。所以说量热在整个核物理研究与应用中大有可为。

(2) 本文再次确立弗莱希曼和庞斯及等温外套量热法在冷聚变中的地位。弗莱希曼和庞斯是冷聚变的发现者，1989 年以后他们还活跃了一段时间，但后来因财政枯竭等种种原因再未亲自进行钡-重水电解量热实验，逐渐边缘化。虽然弗莱希曼以后还参加冷聚变会议直到 2009 年的 ICCF-15，但他在冷聚变界已成了象征。很多人只把弗莱希曼和庞斯的开放杜瓦瓶电解池—等温外套量热法当作历史，一直坚持他们技术路线到如今的只有迈尔斯。虽然迈尔斯在每次 ICCF 会议上都有大会报告，但基本上是自说自话，缺乏更多参与者。戴施 (Dash) 型钡-重水电解量热其实也是等温外套式的，但也追随者寡。这是冷聚变进展不畅的一个重要原因。

弗莱希曼最初技术路线边缘化的另一个最重要原因是，自从 1992 年 ICCF-3 以后，由于麦库布用质流量热计证实钡-重水电解系统中的超热与充气值、氘流、电流密度等

<sup>17</sup> 现在该刊是 EI 源期刊，国内工科的冷聚变学者（特别是研究生）可发文满足论文考核要求。——译者注

“伪劳森判据”直接相关，此后的钷-重水系统研究方向就由麦库布主导，结果是超热重复越来越难，超热幅值却越来越小，可以说麦库布路线使冷聚变研究耽误了一代人的功夫。

直到 20 年之后人们才逐渐意识到，弗莱希曼和庞斯的方法仍是冷聚变的正途。译者在 2005 年的实验中首次发现温度变化才是钷-氘系统产生超热的关键，而弗莱希曼和庞斯装置正好能满足这一条件。但这一点形成共识几乎又花了 10 年以上的时间。之所以如此费功夫，原因主要还是实验重复性不够，导致言人人殊，无法形成主流意见。

(3) 即使在冷聚变界也存在一个普遍误解，即钷-重水电解系统的超热很小，没有应用价值。本文再次说明，在死后发热阶段，钷本身已经实现了热自持，功率密度达到  $\text{kW/cm}^3$  级别。这不是弗莱希曼和庞斯的孤立发现，就译者所知，中、日、法、意、美等国多家实验室都曾独立观察到类似现象。就已报道的结果而言，钷-氘系统的超热密度仍是最高的，镍-氢系统其次。即使是各种合金-氢（氘）气系统，容易重复的也少不了钷的参与。此外，钷-氘系统已经积累了充分的数据，所以对钷-氢（氘）系统继续深入研究意义重大。

当然，本文也存在一些问题：

(1) 本文谈到反对者未区分功率和能量，其实本文亦然，说到热，有时指温度高，有时指功率大。说到超热有时指超功率，有时指超热量。当然这是人类自身经验所限，人体就是一个功率传感器，人的新陈代谢较慢（如睡眠）时主要是塞贝克量热计，新陈代谢很快（如感冒发烧，扛麻包，跑马拉松）或环境温度高时是蒸发量热计。我们感知的冷热其实不是温度而是热功率，所以才有体感温度这个说法，一般说热的时候就是指功率大。但这些知识还不是常识，所以生活中混淆这些概念也不奇怪。本文毕竟不是严格的研究型论文，不好强求。作为译文，笔者尽量保持原文风格，只在容易引起误解的地方使用标准物理量。

(2) 就热测量而言，作者为冷聚变辩护而列举的各种理由在逻辑上是没有问题的。但正如库恩在《科学革命的结构》中所言，一个新范式的确立不仅仅是一个事实问题，还涉及观念问题。作为业内人士，译者只能把提高重复性和效应显著性，实现第三方可重复的超热-核产物关联测量作为首要任务。

(3) 如文中所言，弗莱希曼本人喜欢用“简单硬件和复杂软件”，这样做的后果就是表述复杂化，这是其量热结果难以获得承认的原因之一。另一点是等温外套量热法对温度代表性的要求很高，就译者自己的经验而言，只有弗莱希曼和庞斯、迈尔斯、比伯里安等人用的细杜瓦瓶因为热损失小而温度代表性强，后来很多人用等温外套量热法测量大体积样品的超热，因温度代表性不足而导致超热偏大时有发生。可以说量热问题一直伴随着冷聚变的研究，笔者这些年也一直研究该问题，目标是用“复杂的硬件和简单的软件”，即尽量简化用户操作，使量热计变成傻瓜式设备，目前看来这一理想很快就可实现。

(4) 本文另一个尚存疑问的地方是开放电解过程中锂盐到底会不会离开电解池，我们在实验中发现经过一整天接近沸点的电解后锂离子浓度下降了，所以本文结论还有待继续探讨。

我们这些年来一直在用塞贝克型量热计测量戴施型、弗莱希曼和庞斯型电解池这种具有温度跃变特征系统的超热，翻译本文正是为了让中文读者能对此能加深理解，期望本译文能有所助益。在翻译过程中已与作者交流过一些细节问题，经其同意修改了原英文版本中的一些文字或表述错误，虽然如此，错误肯定仍有不少，不当处敬请批评指正！

译者 于 2020-10-28