

数 字 微 量 天 平

吴直江 吴立丹 张懋弧

(中国科学院上海细胞生物学研究所)

提 要

本文介绍一种以电磁力平衡原理为基础的数字微量天平,它采用动圈式仪表的支承及其电流偏转线圈,以取代普通机械天平的平衡刀口,并以电砝码来达到电磁力平衡,最后以四位数字来显示出称量数,显示的最小称量可以达 1 微克。

天平是一种可广泛使用的称量仪器,多数的机械天平能达到较高的精度及较宽的称量范围。数字化以后的天平就更直观,更具有普及意义。D-81 型数字微量天平,它是基于电磁力平衡的原理而发展起来的。它与 TG 332 A 级机械微量天平相比,具有许多优点。其重复性与准确性均不低于普通的机械天平,然而灵敏度比 A 级天平可高一个数量级,能显示 1 微克的称量,零点调节与称量调节均快,操作方便,环境温度影响小,适合实验室微量分析之用。

一、工 作 原 理

数字微量天平是将物体的机械重力转换为电量的数字显示,电磁力平衡是一种很好的转换方法。用动圈仪表即可实现机械力与电磁力的平衡转换。

动圈仪表^[1],就是在一个永久磁铁形成的磁场中放置一个可以转动的线圈,流过线圈的电流和磁场相互作用,在动圈的两垂直边上产生了电磁力 F ,这是一对大小相等方向相反的力,并使转动轴产生了转矩,使动圈产生了偏转。实际的动圈仪表,设计永久磁铁的极靴做成同心径向形状,动圈的转动力矩为:

$$M = 2rnlBI = c_1 I$$

式中 $c_1 = 2rnlB$ 是一个常数,仅与动圈和磁铁有关,所以由上式可见,动圈的偏转力矩与流过

动圈的电流成正比。而动圈中仅存在着一个张丝或游丝所产生的反作用力矩,平衡电流产生的偏转力矩,当反作用力矩与偏转力矩相平衡时,动圈就稳定地偏转在某一角度,固定在动圈上的仪表指针也就稳定地指示在某一刻度的位置。

在数字微量天平的设计中,力平衡支承部分与通常的仪表工作程序相反。当在动圈上外加重力 F_1 产生力矩 M_1 与加进的反向电流所产生的反向偏转力 F_2 的力矩 M_2 相等时,线圈就回复到原来的位置。张丝或游丝的反向偏转力矩越小,则动圈的偏转角就越大,偏转系统就越灵敏。由于 M 与 I 为线性关系,所以外加重力 F 与 I 同样为线性关系。当有一个外加重力 F_1 存在,在平衡的条件下就有一个 I_1 的值与之相对应。电流 I_1 值就代表着相应的重量值。

二、仪器的结构与电路原理

仪器由天平动圈支承部分与机电转换电路两部分所组成。仪表动圈支承作为天平的基本支点,动圈两边延伸出的二臂,其一为称物力矩臂,是连接称物盘的一端,另一臂为平衡指示臂,如图 1 所示。在这个平衡系统中,称物力矩要承受一定的称物重量,故采用硬度较好的磷青铜丝,平衡指示臂为 $\phi < 1\text{mm}$ 的毛细直玻璃管,管头形成针尖形状,以作平衡零点指示。

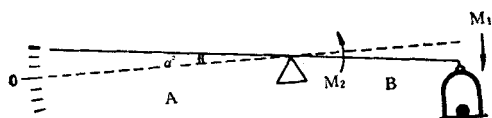


图1 电磁力平衡原理

A为指针臂，B为称物臂， M_1 为称物力矩， M_2 为平衡力矩。

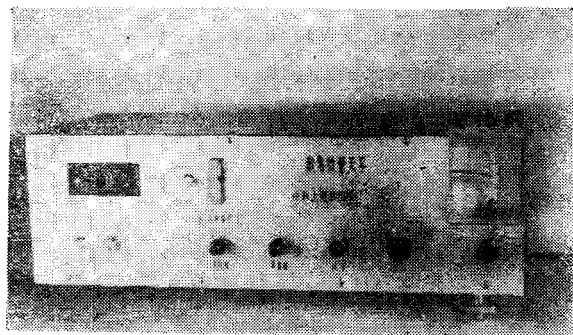
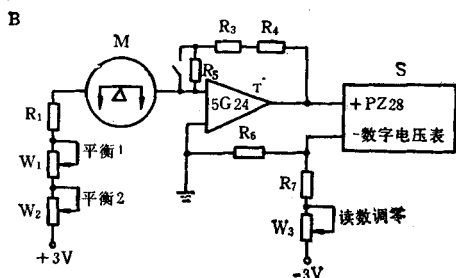
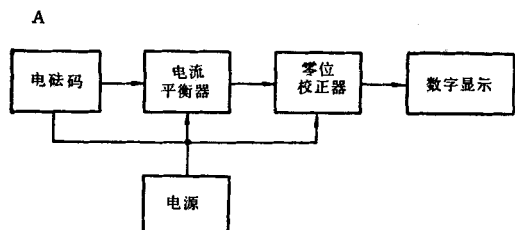


图2 A为电原理框图。B为转换显示环节电路，其中M为动圈电流平衡器，T为电流电压转换器，S为数字显示器。C为数字微量天平外形结构

动圈的张丝是铍青铜，成矩形，承受力较大。采用规格为M1.6的铍青铜片，这是力矩较小的一种，故灵敏度较高，然而承受力仍然较大。

通常二臂越长，其称量指示的精度及灵敏度也就越高，但长度是有限的，因为受到仪器整体及平衡支承的限制。

在实际的平衡系统里，当指示臂 $A = 20$ 厘米，称物臂 $B = 5$ 厘米时，于称物臂的一端加上 0.03 毫克的重量，指针偏转 $\alpha = 0.288^\circ$ ，指示

端偏转 1 毫米以上，所以该系统即使在 0.009—0.001 毫克范围内，仍能分辨出。

系统电路由晶体管电路、运算放大器、张丝式电流平衡器以及面板式数字电压表等组成。

由图 2 可知，当所称物放入天平盘内时，物体的重量使天平盘的一端下沉，此时，在电流平衡器内注入可以连续调节的反向平衡电流，它可以使天平的平衡臂产生一个反向力矩，从而使称盘重新抬起，回到起始位置，指示端又指到零点，这里称这样的功能为加入“电砵码”，这好比机械天平称量时，为了要平衡加入物体后引起一方称盘下沉，故需在另一称盘内加入与物体相当重量的砵码，使天平指示回到零一样。金属砵码代表称物重量。这里加入的反向平衡电流数值或电砵码即代表物体的重量，经电路转换就可以显示出物体实际的重量。这是因为电流与物体的重量成线性关系，故反向电流的数值通过运算放大器转换成电压，然后可以由数字电压表直接显示出毫克或微克数值^[2]。

三、仪器的主要技术指标与性能

1. 称量范围：0—1 毫克（四位数字显示）。
0—20 毫克（实际最大显示毫克数为 19.99 毫克）。
2. 最小显示数：0.001 毫克
3. 测量误差：千分之三以下（在正确、无冲击操作时）。

四、讨 论

数字微量天平比普通机械天平有其优越性，数字化能使操作人员感到直观方便，D-81 型数字微量天平还是半自动化的，尚需进行人工的几种调节，对于批量较大的样品测试，所花的时间就要长些，在称量范围上还不能达到克数量级，这是由于仪表轴承的承受力有限所致。在仪器中如能增加光电自动调节系统，以及增加 CPU 电路，就能达到全自动化，自动去皮，自动记录。多数用户希望称量范围应向上扩展，使用价值会更大。实际上，向高端扩展要比向

（下转第62页）

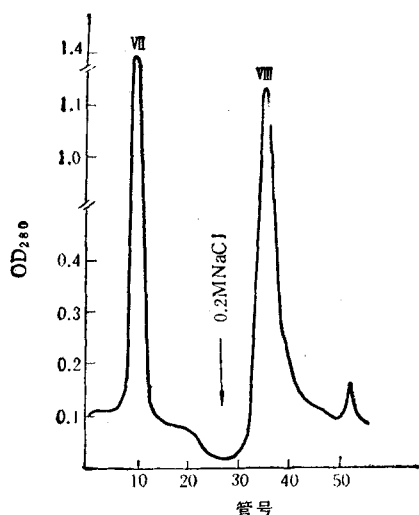


图6 相思豆毒素 A、B 链分离

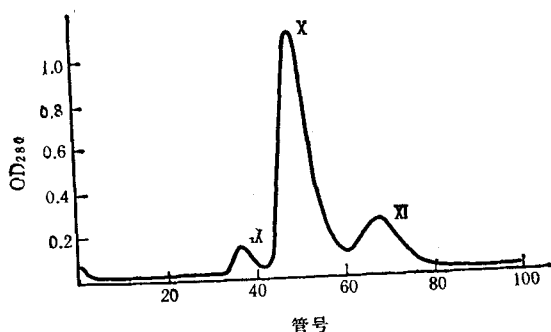


图7 Sephadex-G75 纯化相思豆毒素

了在原毒素中所具有的活性。

讨 论

本文介绍的相思豆毒素提取纯化及 A、B 链分离纯化,方法比较简单,一般实验室都可进

行。提取毒素关键是把凝集素除去。与一般文献不同,我们采用 Sephadex-G75 凝胶过滤,使凝集素、毒素分离,从而得到较纯的毒素。为此做了如下实验:把毒素粗样品直接进行 Sepharose-4 B 亲和层析,然后进行 Sephadex-G75 凝胶过滤分离,得到的蛋白洗脱曲线见图 7,是三峰型蛋白组分,分别称之为峰 IX、X、XI。经鉴定和比较^[3,4]可以确定,峰 XI 是毒素,无红细胞血凝作用,约 0.25 μg 就可致死小鼠;峰 X 是凝集素,具很强凝集作用,含量为 1 μg 不致死小鼠。上述“方法”中凝胶过滤提纯毒素所收集的体积范围,就是由此结果推算得到的。

以往文献都是用 SDS 电泳鉴定毒素纯度,我们采用聚丙烯酰胺凝胶电泳方法。实验结果证明:后者比前者容易将毒素和凝集素分离开来(见图 5)。

采用 A 链的间接活性测定法简便可靠,在无同位素参入示踪无细胞系统 (Cell-free systems) 蛋白合成的抑制实验条件下,是一种很好的取代方法。它不需要昂贵设备,在普通实验条件下都可进行。这对毒素 A 链的制备及其应用研究是很有价值的。

参 考 文 献

- [1] 李时珍:《本草纲目》。
- [2] Lin, J. -Y. et al.: *J. Formosan Med. Assoc.*, 68, 518, 1969.
- [3] Olsnes, S. et al.: *Eur. J. Biochem.*, 35, 179, 1973.
- [4] Olsnes, S.: *Methods of Enzymol.*, 50, 323, 1978.
- [5] Yamaizumi, M. et al.: *Cell*, 15, 245, 1978.
- [6] Eiklid, K. et al.: *Expl. Cell Res.*, 126, 321, 1980.
- [7] Fodstad, ϕ . et al.: *Cancer Research*, 44, 862, 1984.

[本文于 1986 年 9 月 19 日收到]

(上接第 78 页)

低端扩展容易。

本工作承施履吉教授指导,孙慧芳同志曾参加研制工作,特此感谢。

参 考 文 献

- [1] 纪树赓:《自动显示技术及装置》,机械工业出版社,

p. 28, 1979.

- [2] Biétry, L. Zurich et al.: *Dictionary of Weighing Terms*, Switzerland, Mettler Instrument AG, p. 48, 1983.

[本文于 1986 年 11 月 10 日收到]