

## 可倒摆的优化调节

张俊扬

(福建师范大学物理系, 福州 350007)

**摘要** 根据优选学理论结合可倒摆运动规律来优化调节可倒摆, 不仅能够迅速、准确地找到其正、倒挂摆动周期的共轭点, 从而有效地克服大学物理可倒摆实验的难点. 实验者也能从优选的过程中享受到实验的乐趣并拓展发散性思维.

**关键词** 可倒摆, 开特摆, 优化调节, 共轭

### 1 引言

可倒摆实验(图1)不仅是重力绝对测量的精确方法并且成为大学物理实验尤其是设计性测 $g$ 实验一个有益的课程; 但由于其正、倒挂周期共轭点调节的难度, 又成为实验物理教学上的拦路虎. 传统教育只是让学生成为知识的存储器, 因此多建议事先由教师告知串设于摆杆上重大锤A的大概较佳位置, 以减轻学生做本实验的难度<sup>[1]</sup>. 但从旨在提高学生科学素质的创造教育观点看来, 还需要在教学中能够让学生掌握具有更为深刻、广泛意义的物理实验技能.

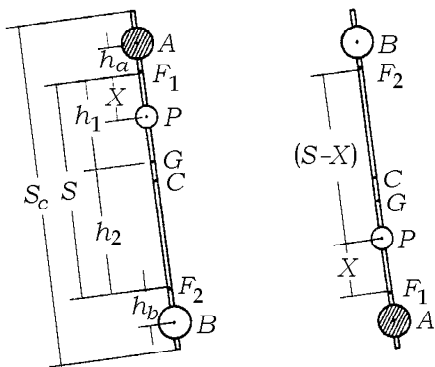


图1 可倒摆实验装置示意图

因此, 我们根据华罗庚先生倡导的优选学理论<sup>[2]</sup>结合可倒摆运动规律来优化调节可倒摆, 不仅能迅速、较精确地测定重力加速度, 更重要的是能够激发学生对实验的兴趣, 从中科学地掌握物理实验方法, 达到创造教育之目的.

### 2 可倒摆参量信息化分析

从教育信息论观点看, 创造教育目的是培养、提高学生获取、解释、简化、优化和深化信息的能力, 因

本文于1999-10-11收到.

此首先要对可倒摆各调节参量进行信息分析.

在可倒摆中, 游锤 $P$ 的位置 $X$ 作为自变量因素, 与分别在以刀口 $F_1$ 、 $F_2$ 为悬点的正、倒挂状态下所测量的摆动周期构成的 $(T_1 - X)$ 与 $(T_2 - X)$ 图线则是本实验的目标函数. 优化调节之目的是使 $(T_1 - X)$ 与 $(T_2 - X)$ 图线能够相交而且交角尽量大, 这需要通过调节 $h_a$ 、 $h_b$ 来完成. 参量 $h_a$ 、 $h_b$ 分别是串设于悬点 $F_1$ 、 $F_2$ 之外的那二部分摆杆上的重大锤 $A$ 以及轻大锤 $B$ 的质心到 $F_1$ 、 $F_2$ 的距离, 参量 $h_a$ 、 $h_b$ 既是本实验的控制因素, 也是优选的对象.

### 3 控制参量 $h_a$ 、 $h_b$ 的优选

虽然 $h_a$ 、 $h_b$ 之间互为相关, 但从简化信息角度出发, 我们首先选用了优选学中双因素的旋转法(坐标轮换法)以及单因素的0.618法、中对法等.

将 $h_a$ 、 $h_b$ 画成如图2所示的调试范围为正方形的双因素坐标图

$$n \leq h_a \leq m, \quad n \leq h_b \leq m$$

式中,  $n$ 是重大锤所能移动最接近于悬点 $F_1$ 或 $F_2$ 时的质心位置,  $m$ 是重大锤所能移动最接近于摆杆末端时质心的位置.

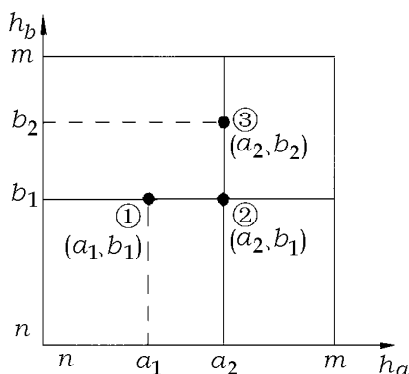


图2 可倒摆控制参数坐标轮换法优选图

考虑到重大锤 $A$ 的控制效应强于轻大锤 $B$ , 为了抓主要矛盾, 先固定 $h_b$ 于中点. 即在正方形的 $h_b = b_1 = (m+n)/2$ 的横中线上, 用单因素的0.618法选

取①及②点，它们的横坐标分别是

$$a_1 = n + 0.618 \times (m - n)$$

$$a_2 = n + 0.382 \times (m - n)$$

在图 2 所示 (①  $(a_1, b_1)$  与 ②  $(a_2, b_1)$ ) 的控制状态下，测试可倒摆正、倒挂周期  $T_1$ 、 $T_2$ 。随即画出相对应的二组  $(T_1 - X)$  与  $(T_2 - X)$  图线，示于图 3 ①和图 3 ②。适时地引导学生对这二组图线进行比较、分析、归纳出：

1) 当游锤  $P$  从刀口  $F_1$  向  $F_2$  游动时，不论正挂或倒挂， $(T_1 - X)$  与  $(T_2 - X)$  图线均呈开口向上、中部下凹的形状，并且正挂的  $(T_1 - X)$  曲率比  $(T_2 - X)$  来得大，这样二者才有可能相交。

2) 在图 2 ①控制状态下， $(T_1 - X)$  图线在  $(T_2 - X)$  图线的下方，二者尚未相交 (图 3 ①)。当

$h_a$  从  $a_1$  增至  $a_2$ ，即处于 (图 2 ②) 控制状态时，正挂的  $(T_1 - X)$  图线赶超上  $(T_2 - X)$ ，二者开始交错，但尚有一端相交得不好，即未达到共轭 (图 3 ②)，因此还须继续寻优。

依据优选法中坐标轮换法，在图 2 中  $h_a$  轴方向已选取好点  $a_2$  的基础上，轮换坐标方向至  $h_b = a_2$  的纵线。这时可以选择二种做法：第一种是采取纯数学的做法，即继续使用单因素寻优法，在该纵线的 0.382 和 0.618 点上各做一次实验，比较后再逐步缩小范围逼近；另一种做法是运用直觉思维判断，从  $A$  锤的控制效应联想到移动  $B$  锤是否也具有相似的物理规律？因此采用单因素的对中法，往  $h_b$  增大的方向选至  $h_b = (b_1 + m)/2$  形成图 2 ③  $(a_2, b_2)$  的控制状态。实验结果示于图 3 ③，此时  $(T_1 - X)$  与  $(T_2 - X)$  图线出现了二个对称分布的交点，从而生动、鲜明地表现了复摆的二个悬挂点具有共轭的特性，并且证实了轻大锤向摆杆末端移动，摆动周期随之增大。将图 3 中①与②点以及②点与③点的图像进行对比，可以看出轻大锤的控制效应不如重大锤的强，因此可以将  $A$  锤作为粗控， $B$  锤作为细控。

严格地说，在优选出图 2 ③  $(a_2, b_2)$  这个好点之后，还应通过陡度法或转轴法或单纯形法继续在③点附近寻找更优点，囿于实验教学时间的限制和本文的篇幅，这里不作进一步阐述。另外由于  $h_a$  与  $h_b$  密切相关，应考虑采用优选学中随机试验方法或正交试验设计法来进行试验。由于这些属于纯数学的方法，而使用本文所述的数学和物理相结合的优化方法也能够并且更迅速达到相当的效果，关键的是实验教学的目的旨在启迪创造性思维，因此，我们在实际教学中按以上方法进行，而对其它方法只作一般性介绍。

#### 4 可倒摆共轭点的精细测定

大锤的最佳控制位置选定后，只要在共轭点附近仔细调节游锤  $P$  的位置  $X$  便可以进行精细测量了。这时自然会想到通过反复调节  $X$  来使  $T_1 = T_2$ 。但实际上这样做存在一些问题：一方面由于悬挂刀架滑动、共振等因素容易造成共轭点漂移<sup>[2]</sup>，另一方面这是在测量上是一个无穷试凑过程，从科学方法角度看并不可取。因此在实际的重力绝对测量科学研究中常采用算法。只要将可倒摆调试至使  $T_1$  尽可能接近  $T_2$ ，测出其重心位置，通过文献 [3] 中公式 (10.5) 就可以精确计算出  $g$ 。但是单单这样做尚不能达到培养形象思维和发散性思维之目的，因此我们采用作图法<sup>[4]</sup> 与算法并举的教学法。选择交角相对大的点所对

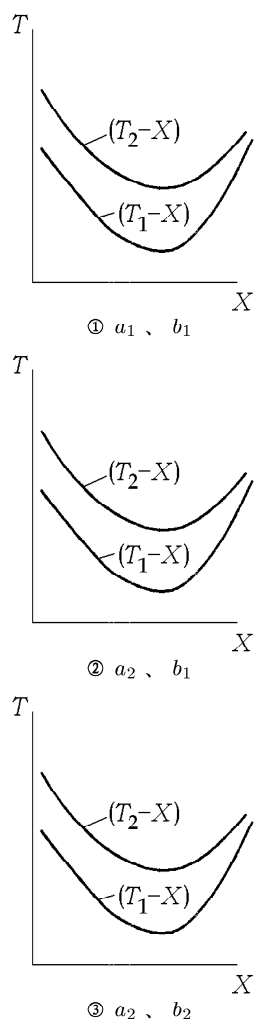


图 3 正挂与倒挂图线图

应的  $X$  值附近多选取几点测试, 再在放大标度的坐标纸上画出图线 ( $T_1 - X$ ) 与 ( $T_2 - X$ ). 如果两个交角差不多大, 可以在二个共轭点附近都进行细分测试. 然后将这二点所得结果进行平均 (图 4). 如果认为第一次作图的结果还不够精确, 可以在第一次作图初步确定的共轭点附近再次细分几点, 进行第二次测定并作图. 然后将作图法结果与计算法结果进行比对.

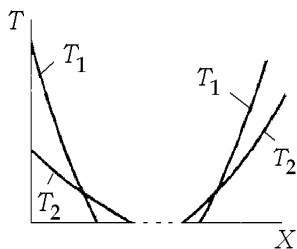


图 4 交点放大图

## 5 结 语

通过可倒摆优化调节的实验物理教学, 有助跳出单纯为了实验而进行具体操作的教学框框, 从而有条

理、有依据地以最短的路径并以最少的试验次数迅速找到可倒摆最佳共轭点, 让实验者从中享受到实验的乐趣. 通过每一阶段实验图像的对比, 形象生动地感受复摆的共轭性及质量分布对周期影响等物理规律. 通过坐标轮换法、0.618 法、对中法、作图法、计算法等多种科学方法的训练, 拓展发散性思维, 以培养思维的流畅性、灵活性及新奇性.

**致谢** 笔者十分感谢黄志高、赖恒、徐永对本文提供宝贵意见.

## 参 考 文 献

- 1 杨述武等. 普通物理实验 (一) 力学、热学部分. 北京: 高等教育出版社, 1982
- 2 方俊. 重力测量与地球形状学 (上册). 北京: 科学出版社, 1965
- 3 林杼, 龚镇雄. 普通物理实验. 北京: 人民教育出版社, 1981
- 4 林润生, 卓乐茵. 普通物理实验指导 (力学、热学、分子物理学部分). 兰州: 甘肃人民出版社, 1984