# 例析高考物理实验中的系统误差分析

中学物理是一门以实验为基础的学科，实验教学贯穿整个教学过程的始终，是物理教学的重头戏和高考命题的重要组成部分。物理实验追求的目标是测量值与真实值尽可能地接近，然而物理实验中的误差是不可避免的。

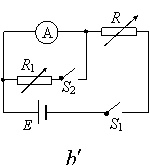
　　误差分为系统误差和偶然误差。系统误差是由于仪器本身不精确，或实验方法粗略，或实验原理不完善而产生的，其特点是多次重复同一实验，误差总是同样的偏大或偏小，可通过校准测量仪器，改进实验方法，设计在原理上更为完善的实验减小系统误差。偶然误差是由各种偶然因素对实验者、测量仪器、被测物理量的影响而产生的，其特点总是有时偏大，有时偏小，并且偏大偏小的概率相同，可通过多次测量求平均值来减小偶然误差。

　　系统误差的分析涉及到实验器材的选择、原理的选择、方案的设计和数据的处理等一系列问题，具有一定的开放性，有利于培养其发散性思维，提高学生理论联系实际的能力。因此成为物理实验教学所关注的焦点和近年来高考实验命题的重要方向。本文结合部分典型例题对系统误差的分析进行了探讨，供大家参考。

**一、从仪器选择角度考查系统误差分析**

　　实验中常会遇到仪器选择的问题，尤其是电学实验，选择的目的是为了使实验过程进行得更加顺利、实验条件控制更加灵活、仪表读数更加准确，最大限度地保证实验的精密度。

**例1**（2007全国Ⅱ）有一电流表http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511519607116.jpg，量程为1mA，内阻*r*g约为100http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511520386270.gif。要求测量其内阻。可选用的器材有：电阻箱*R*0，最大阻值为99999．9；滑动变阻器甲，最大最值为10khttp://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511520386270.gif；滑动变阻器乙，最大最值为2khttp://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511520386270.gif；电源*E*1，电动势约为2V，内阻不计；电源*E*2，电动势约为6V，内阻不计；开关2个，导线若干。采用的测量电路图如图所示，实验步骤如下：a、断开S1和S2，将*R*调到最大；b、合上S1，调节*R*使http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511519607116.jpg满偏；c、合上S2，调节调节*R*1使http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511519607116.jpg半偏，此时可以认为http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511519607116.jpg的内阻*r*g=*R*1。试问：（ⅰ）上述可供选择的器材中，可变电阻*R*1应该选择      ；为了使测量尽量精确，可变电阻*R*应该选择       ，电源*E*应该选择     。（ⅱ）认为内阻*r*g=*R*1，此结果与的真实值相比       。（填“偏大”、“偏小”或“相等”）

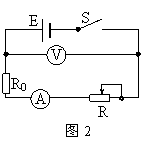


**解析：**本题围绕测定电流表内阻常用的“半偏法”，重点考查电路的系统误差。设电流表满偏电流*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521011351.gif*，第c步：由于*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521329762.gif*并联入电路，使得电路总电阻减小，干路总电流I随之增大，调节*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521329762.gif*使http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511519607116.jpg半偏，通过*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521329762.gif*的电流http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521486478.gif=I-http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521487984.gif＞http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521487984.gif。*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521329762.gif*两端的电压仍为http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521639901.gif（http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521793524.gif为电流表满偏电压），故电阻箱的示数*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521329762.gif=*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521799097.gif＜*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521953815.gif*，即*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522104462.gif＜http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521953815.gif*。为了提高测量精度，要求可变电阻*R*»*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521953815.gif*，要求*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521329762.gif*并联入电路时干路电流几乎不变，此时调节*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521329762.gif*使http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511519607116.jpg半偏，通过*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521329762.gif*的电流http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521486478.gif= I-http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521487984.gif≈http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521487984.gif，才可以认为http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511519607116.jpg的内阻*r*g=*R*1，所以电阻箱选择*R*0，滑动变阻器选择甲。*R*»*http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511521953815.gif*和电流表满偏的条件共同决定电源应选择E2。

**二、从实验方案设计角度考查系统误差分析**

　　实验时，根据现有的实验仪器和装置设计实验方案，当有多个方案可供选择时，要本着将误差降至最低的原则，择优考虑。

**例2**（2009年安徽）用图2所示电路，测定一节干电池的电动势和内阻。电池的内阻较小，为了防止在调节滑动变阻器时造成短路，电路中用一个定值电阻R0起保护作用。除电池、开关和导线外，可供使用的实验器材还有：



　　电流表（量程0．6A、3A）

　　电压表（量程3V、15V）

　　定值电阻（阻值1高考资源网( www.ks5u.com)，中国最大的高考网站，您身边的高考专家。、额定功率5W）

　　定值电阻（阻值10高考资源网( www.ks5u.com)，中国最大的高考网站，您身边的高考专家。，额定功率10W）

　　滑动变阻器（阻值范围0-10高考资源网( www.ks5u.com)，中国最大的高考网站，您身边的高考专家。、额定电流2A）

　　滑动变阻器（阻值范围0-100高考资源网( www.ks5u.com)，中国最大的高考网站，您身边的高考专家。、额定电流1A）

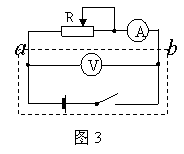
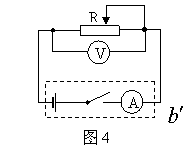
　　那么（1）要正确完成实验，电压表的量程应选择     V，电流表的量程应选择     A；R0应选择     高考资源网( www.ks5u.com)，中国最大的高考网站，您身边的高考专家。的定值电阻，R应选择阻值范围是     高考资源网( www.ks5u.com)，中国最大的高考网站，您身边的高考专家。的滑动变阻器。

　　（2）引起该实验系统误差的主要原因是              。

**解析：**由于电源是一节干电池（1．5V），所以选量程为3V的电压表；因干电池的内阻一般几欧左右，加上保护电阻，最大电流在0．5A左右，故选量程为0．6A的电流表；由于电池内阻很小，所以保护电阻不宜太大，否则会使得电流表、电压表偏转范围很小，使误差增大；限流电路中一般滑动变阻器的最大阻值比电池内阻大几倍即可，取0-10Ω即可很好地控制电路中的电流和电压，若取0-100Ω，则会出现滑动过程电表读数开始几乎不变最后突然变化的现象。

　　本实验中由于电压表的分流作用造成电流表读数总是比测量值小，造成http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522574745.gif＜http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522578299.gif，http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522104462.gif＜http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522885346.gif。http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522886297.gif为进一步分析误差产生原因请看例3。

**例3** 用图3与图4所示哪种电路测定电源电动势和内电阻更有利于减小实验误差？

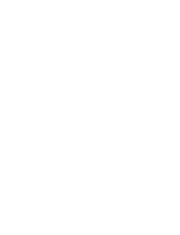
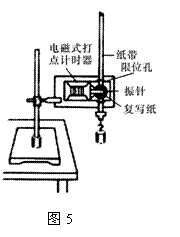
    

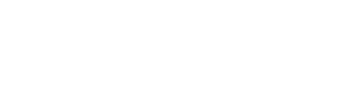
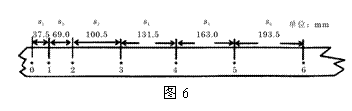
**解析：**本题考查实验装置原理图的优劣选择问题，属与系统误差问题。这里采用等效电源的方法来讨论。图3电路中将变阻器看成外电路，电压表看成电源内电路的一部分（如图3虚线框内），故实际测得的电源内电阻http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522104462.gif和电动势http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522574745.gif是电源和电压表并联电路整体的等效电阻和电压。由于电压表和电池并联，故等效内阻http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522104462.gif=http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511523679255.gif＜http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522885346.gif；当外电路断开时，电压表与电源构成闭合回路，实际测得的电源电动势http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522574745.gif是电压表两端的电压（即电源的路端电压http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511523824978.gif），故http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511523824978.gif＜http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522578299.gif，即http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522574745.gif＜http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522578299.gif。图4电路中将变阻器看成外电路，电流表内阻http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511523829582.gif看成电源内电阻（如图4虚线框内），实际测得的电源内电阻http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522104462.gif和电动势http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522574745.gif是电池和电流表串联电路整体的等效电阻和电动势。电流表和电池串联，故等效内阻http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522104462.gif=http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511523829582.gif+http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522885346.gif＞http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522885346.gif，由于电流表内阻和电源内阻较接近，所以电源内阻测量值与其真实值相差非常大；当外电路断开时http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511523980873.gif两点间电压http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511524130289.gif=http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511522578299.gif。图3电路测得的电动势和内阻与真实值都不相等，但由于电压表内阻远大于电源内电阻，使得测量值与真实值非常接近；图4电路测得电源电动势的测量值和真实值相等，但电源内阻测量值与其真实值相差太大，比较可知图3电路更有利于减小系统误差。

**三、从数据处理方法角度考查系统误差分析**

　　数据处理是实验过程的重要环节，处理方法得当，才能有效利用所测数据，保证测量值与真实值尽可能地接近，更准确的反映物理现象和规律。

**例4**（2006年重庆）某同学用如图5所示装置测量重力加速度g，所用交流电频率为50 Hz。在所选纸带上取某点为0号计数点，然后每3个点取一个计数点，所测量数据及其标记符号如图6所示。





　　该同学用两种方法处理数据(T为相邻两计数点的时间间隔)：

　　方法A：由http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511524602639.gifhttp://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511524768887.gif

　　……，http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511524920941.gif取平均值g=8．667 m/s2；

　　方法B：由http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511525076370.gifhttp://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511525073972.gifhttp://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511525073802.gif取平均值g=8．673 m/s2。

　　从数据处理方法看，在*S*1、*S*2、*S*3、*S*4、*S*5、*S*6中，对实验结果起作用的，方法*A*中有\_\_\_\_\_\_\_；方法B中有\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。因此，选择方法\_\_\_\_\_\_\_\_\_（*A*或*B*）更合理，这样可以减少实验的\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_(系统或偶然)误差。本实验误差的主要来源有\_\_\_\_\_\_\_\_\_（试举出两条）。

**解析：**本题避开常规的直接利用“逐差法”求解匀变速直线运动加速度，而是提供了两种处理数据的方法，通过比较两种方法所产生的误差大小让考生作出优劣选择。

　　方法A：g=http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511525230051.gif；

　　方法B：g=http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511525239880.gif=http://www.pep.com.cn/gzwl/rjbgzwl/rjgzwlwd/201008/W020100831511525380877.gif。显然，所测的六个实验数据S1、S2、S3、S4、S5、S6中，方法A只用到S1和S6；而方法B中六个测量数据都用到了。方法B充分利用了测量数据，具有较好的取平均的效果，所以选择方法B更合理，可减小实验的系统误差。误差主要来自阻力（空气阻力，振针的阻力，限位孔的阻力，复写纸的阻力等），交流电频率波动，长度测量，数据处理方法等。