

伏安法测电阻内外接式判据的研究

何述平

(西北师范大学教育学院物理教育研究所 甘肃 兰州 730070)

(收稿日期:2020-06-01)

摘要:研究了伏安法测电阻内外接式的判据,结果表明:有3个不完备的条件判据;讨论了条件判据的逻辑关系,完善了条件判据;深化了伏安法测电阻内外接式判据的认识,提出了合理运用判据的建议。

关键词:伏安法 电阻 内外接式 判据 系统误差

1 引言

伏安法测电阻既是普通高中物理教学的基本内容^[1],又是历年物理高考的热点;从物理实验原理方法看,伏安法是测电阻的基本方法. 现实教学中常用的伏安法测电阻内外接式的判据为:

(1) 一般, $\frac{R_x}{R_A} > \frac{R_V}{R_x}$ 时, R_x 为大阻值电阻, 采用

内接式; $\frac{R_x}{R_A} = \frac{R_V}{R_x}$ 时, R_x 为临界值电阻, 内外接式均可;

$\frac{R_x}{R_A} < \frac{R_V}{R_x}$ 时, R_x 为小阻值电阻, 采用外接式^[2,3].

(2) 临界电阻 $R_c = \sqrt{R_A R_V}$, $R_x > R_c$ 时, R_x 为大阻值电阻, 采用内接式; $R_x = R_c$ 时, R_x 为临界值电阻, 内外接式均可; $R_x < R_c$ 时, R_x 为小阻值电阻, 采用外接式^[4,5].

还有一种改进实验效果的方法是利用冰块作为低温热源. 从前面对制冷片的分析可知, 若要提高发电片的输出电压, 需要提高发电片上下端面的温度差. 在此实验中, 如果只依靠散热器向空气散热, 散热效果不太理想, 引起热量堆积, 使得发电片两端温度差减小, 影响实验效果. 如果把散热器底面置于冰块上, 便可以大大降低散热器的温度, 提高温度差, 增强实验效果. 另外, 还可以创设任务, 让学生通过实验探究热转化电的效率问题, 并提出提高热电转换效率的方案, 培养学生实践创新能力. 笔者运用这个实验设计与探究方案进行了教学尝试, 实践表明: 在教学过程中, 学生对此温差发电实验的物理机制进行了深入的讨论, 并提出了实验改进措施, 教学效果非常好.

5 总结

根据能量转化与守恒思想, 本文以塞贝克效应为物理基础, 用制冷片作为核心部件, 设计以蜡烛为热源的发电实验, 取材方便, 成本低廉, 操作简单, 现象明显, 用于物理教学能有效激发学生的学习兴趣,

培养学生物理学科核心素养, 提高物理教学的效果. 本文详细介绍了该实验的设计方案, 分析了实验过程并提出改进措施, 希望能为物理教师利用身边的设备和材料开发物理实验资源提供参考.

参考文献

- 1 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2018. 2 ~ 4
- 2 廖伯琴. 普通高中物理课程标准(2017年版)解读[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018. 49 ~ 59
- 3 赵妍妮, 陈晨. “蜡烛电厂”实验探究设计[J]. 物理教师, 2016, 37(1): 39 ~ 40
- 4 毛杰键, 庄玲, 付金仙, 等. 塞贝克效应实验装置的设计与实验结果[J]. 上饶师范学院学报, 2015, 35(3): 23 ~ 26
- 5 谭昊, 陈天庭. 掺杂碲化铋基热电材料塞贝克系数测试与分析[J]. 超星期刊科技论坛, 2010, 21(4): 108 ~ 111
- 6 严李强, 程江, 刘茂元. 浅谈温差发电[J]. SOLAR ENERGY, 2015, 27(1): 11 ~ 15
- 7 赵建云, 朱东生, 周泽广. 温差发电技术的研究进展及现状[J]. 电源技术, 2013, 134(3): 310 ~ 313
- 8 张建中. 温差电基本理论[OL]. <https://wenku.baidu.com/view/dbd49324284ac850ad02429d.html>

式中 R_A, R_V 分别为电流表、电压表内阻, R_x 为待测电阻. 然而, 判据(1) 从哪来的? 依据是什么? 判据(1)、(2) 是两回事, 还是一回事? 两判据是否完备? 伏安法测电阻内外接式的判据究竟是什么? 就此进行相应研究, 以期明晰伏安法测电阻内外接式判据的来龙去脉, 为一线教师合理运用判据奠定有理有据的物理基础.

2 条件判据的推证

伏安法测电阻内、外接式电路分别如图1和图2所示, 图1 电流表测得的是通过待测电阻的电流, 电压表测得的是待测电阻和电流表的总电压(电流表分压引起待测电阻的系统误差); 图2 电压表测得的是待测电阻两端的电压, 电流表测得的是通过待测电阻和电压表的总电流(电压表分流引起待测电阻的系统误差). 易见, 无论哪种电路方式, 伏安法均不能同时准确测得待测电阻两端的电压和通过的电流, 即均存在电表接入引起待测电阻的系统误差. 先定量分析系统误差, 再演绎推理, 可得伏安法测电阻内外接式的条件判据.

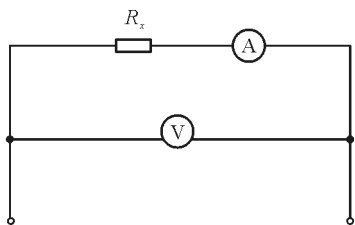


图1 内接式电路

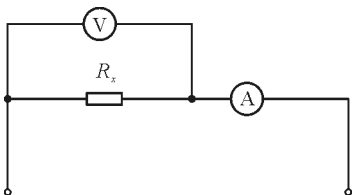


图2 外接式电路

2.1 系值判据

对图1 电路, 待测电阻的测量值为

$$R_{\text{内}} = \frac{U}{I} = R_x + R_A \quad (1)$$

式中 U, I 为电表测得值, R_A 为电流表内阻. 易见, 测量值 $R_{\text{内}}$ 大于真实值 R_x ; 相对系统误差为

$$\delta_{\text{内}} = \frac{|R_{\text{内}} - R_x|}{R_x} \quad (2)$$

由式(1)、(2) 得^[6]

$$\delta_{\text{内}} = \frac{R_A}{R_x} \quad (3)$$

式(3) 表明: 伏安法内接式测电阻, 仅电流表内阻 R_A 引起 $\delta_{\text{内}}$; R_x 比 R_A 越大, $\delta_{\text{内}}$ 越小 ($R_A \rightarrow 0$ 时, $\delta_{\text{内}} \rightarrow 0$).

对图2 电路, 待测电阻的测量值为

$$R_{\text{外}} = \frac{U}{I} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V} \quad (4)$$

式中 U 和 I 为电表测得值, R_V 为电压表内阻. 易见, 测量值 $R_{\text{外}}$ 小于真实值 R_x ; 相对系统误差为

$$\delta_{\text{外}} = \frac{|R_{\text{外}} - R_x|}{R_x} \quad (5)$$

由式(4)、(5) 得^[6]

$$\delta_{\text{外}} = \frac{1}{1 + \frac{R_V}{R_x}} \quad (6)$$

式(6) 表明: 伏安法外接式测电阻, 仅电压表内阻 R_V 引起 $\delta_{\text{外}}$; R_x 比 R_V 越小, $\delta_{\text{外}}$ 越小 ($R_V \rightarrow \infty$ 时, $\delta_{\text{外}} \rightarrow 0$).

伏安法测电阻内外接式的系值判据:

- (1) $\delta_{\text{内}} < \delta_{\text{外}}$ 时, 采用内接式;
- (2) $\delta_{\text{内}} = \delta_{\text{外}}$ 时, 内外接式均可;
- (3) $\delta_{\text{内}} > \delta_{\text{外}}$ 时, 采用外接式.

2.2 比值判据

考察式(6) 的分母项 $1 + \frac{R_V}{R_x}$. 由中学物理实验标配电表知 $R_V \geq 3 \text{ k}\Omega$, 一般待测电阻 $R_x \leq 100 \Omega$;

则 $1 + \frac{R_V}{R_x}$ 可近似为 $\frac{R_V}{R_x}$, 即式(6) 可近似为

$$\delta_{\text{外}} \approx \frac{R_x}{R_V} \quad (7)$$

$\delta_{\text{内}}$ 与 $\delta_{\text{外}}$ 的大小关系分别取 $<, =, >$, 依次对应内、内外、外接式; 由式(3) 和式(7) 得伏安法测电阻内外接式的比值判据:

- (1) $\frac{R_x}{R_A} > \frac{R_V}{R_x}$ 时, 采用内接式;
- (2) $\frac{R_x}{R_A} = \frac{R_V}{R_x}$ 时, 内外接式均可;
- (3) $\frac{R_x}{R_A} < \frac{R_V}{R_x}$ 时, 采用外接式.

或

- (1) $\frac{R_A}{R_x} < \frac{R_x}{R_V}$ 时,采用内接式;
- (2) $\frac{R_A}{R_x} = \frac{R_x}{R_V}$ 时,内外接式均可;
- (3) $\frac{R_A}{R_x} > \frac{R_x}{R_V}$ 时,采用外接式.

2.3 临界判据

若有一电阻 R_c 使内外接式的相对系统误差相等,即 $\delta_{内} = \delta_{外}$,则由式(3)、(6)可知: $R_x > R_c$ 时, $\delta_{内} < \delta_{外}$,采用内接式; $R_x < R_c$ 时, $\delta_{内} > \delta_{外}$,采用外接式. R_c 称为内外接式判据的临界电阻.由式(3)、(6)可得 R_c 的方程

$$R_c^2 - R_A R_c - R_A R_V = 0$$

进而得有意义的解^[6]

$$R_c = \frac{R_A + \sqrt{R_A^2 + 4R_A R_V}}{2} = \frac{R_A}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4R_V}{R_A}} \right) \quad (8)$$

由中学标配电表参量知 $\frac{R_V}{R_A} \gg 1$, 进而得

$$R_c \approx \frac{R_A}{2} \cdot 2 \sqrt{\frac{R_V}{R_A}} = \sqrt{R_A R_V} \quad (9)$$

由式(8)或式(9)可确定临界电阻 R_c 的大小(易见:仅由所用电表内阻确定).

伏安法测电阻内外接式的临界判据:

- (1) $R_x > R_c$ 时,内接式;
- (2) $R_x = R_c$ 时,内外接式;
- (3) $R_x < R_c$ 时,外接式.可概括为“大内小外”.

3 条件判据的讨论

3.1 逻辑性

由推证过程知,系值判据为基本判据,比值判据、临界判据为系值判据的推论(即推论判据);系值判据为准确判据,比值判据、临界判据为近似判据;3个条件判据的实质是依据相对系统误差大小;因此,伏安法测电阻内外接式的3个条件判据实质相同、形式各异.

鉴于系值判据既可知内外接式相对系统误差大小,又可知大小关系;比值判据、临界判据仅可知内外接式相对系统误差大小关系,且需熟知和运算相应关系式;因此,伏安法测电阻内外接式条件判据的

简捷程度(由简到繁)依次为:系值判据、临界判据、比值判据.这为伏安法测电阻内外接式条件判据的运用奠定了方法基础.

3.2 完备性

由推证过程知,伏安法测电阻内外接式的条件判据是严谨合理的;但是否十全十美,还是美中不足?回顾伏安法测电阻内外接式条件判据的推证依据,均仅考虑了内外接式的相对系统误差;若相对系统误差超过了合理范围(如大于2.0%),那么该怎么办?由误差理论的基本要点(对于已定的系差分量,必须进行修正^[7])知,此时应修正测量值,由式(1)、(4)分别得内外接式的修正值

$$R_{内修} = R_{内测} - R_A \quad R_{外修} = \frac{R_V R_{外测}}{R_V - R_{外测}}$$

因此,伏安法测电阻内外接式的完备判据为:条件判据[即系值判据、临界判据、比值判据;推证时已默认或暂不考虑相对系统误差控制于合理范围(如小于等于2.0%)]+范围判据(即合理误差范围).

通过实例说明如下:由中学物理实验标配电表参量(直流安培计J0407型:2.5级,0.6A挡, $R_A = 0.12 \Omega$;直流伏特计J0408型:2.5级,3V挡, $R_V = 3 k\Omega$)和待测电阻 $R_x = 15.0 \Omega$ (定值),依据上述3个条件判据依次可得:

- (1) $\delta_{内} = 0.8\% > \delta_{外} = 0.5\%$, 外接式;
- (2) $\frac{R_x}{R_A} = 125 < \frac{R_V}{R_x} = 200$, 外接式;
- (3) $R_x = 15.0 \Omega < R_c = 19.0 \Omega$, 外接式.

虽然依据3个条件判据可获得一致的结论,即外接式;但从相对系统误差控制于合理范围的角度看,内接式也完全合理、可行($\delta_{内} = 0.8\% < 2.0\%$).

因此,伏安法测电阻内外接式判据不仅仅是条件判据,而且更重要的是范围判据.

4 释疑解惑

基于伏安法测电阻内外接式条件判据的讨论和现实高中物理教学的运用,释疑解惑如下.

(1) 伏安法测电阻内外接式比值判据的运用中提及了待测电阻为大、临界、小阻值电阻^[2,3],此时的大、临界、小似乎相对于临界阻值而言,但临界阻值却事先未明确;此时的实质是近似比较相对系统

误差大小;因此,待测电阻阻值大小的界定没有必要而显得多余.

(2) 尽管数学形式上也可由比值判据推得临值判据,但比值判据、临值判据的近似条件不同,且临值判据的近似条件较比值判据的更具一般性[参见式(7)、(8)的推证近似];因此,比值判据、临值判据是两形式不同的判据. 比值判据有两形式是基于不等式的关系不同(尽管两形式可以简便相互推证).

(3) 伏安法测电阻内外接式判据的相关运用或讨论仅关注条件判据^[2~6],几乎不考虑范围判据,从而使判据欠完备,可能导致电阻测量值明显偏大或偏小(难免学生质疑伏安法测电阻的可行性);由上述讨论知,伏安法测电阻内外接式的完备判据是条件判据和范围判据的综合.

5 运用建议

基于上述研讨,有如下运用伏安法测电阻内外接式判据的建议.

(1) 不仅要关注条件判据,而且要考虑范围判据,即综合运用条件判据和范围判据.

(2) 明确各个条件判据(系值判据、比值判据、临值判据),合理运用相应条件判据,勿使条件判据的运用“庸俗”化.

(3) 伏安法测电阻内外接式电路选择时,更宜运用系值判据. 不仅可明确内外接式相对系差的各自大小和相互大小,而且避免了“熟知”比值判据、

临值判据(若不明怎么来的,仅凭判据本身而运用,似有“死记硬背,照猫画虎”之势)的辛劳;但需有明晰的物理思维方法,以侧重物理思维之培养.

(4) 仅测量一次,实质是估测(不如直接运用多用电表测量简捷);不仅应进行多次测量(如大于等于6次),以减小测量的随机误差;而且应规范运用数据处理方法(如图像法、平均法^[8]),以合理确定待测电阻.

参考文献

- 1 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书物理选修3-1(第3版)[M]. 北京:人民教育出版社,2010. 52,56
- 2 孙其成. 伏安法测电阻实验电路的设计方法[J]. 物理教师,2012,33(4):33~34
- 3 张巍. 伏安法测电阻如何减小系统误差的分析[J]. 物理教师,2012,33(4):36~37
- 4 蒋守培.“伏安法测电阻”的重点、难点剖析[J]. 物理教师,2014,35(2):42~44
- 5 汪松元. 核心素养培育导向的进阶式问题驱动教学探索——以“伏安法测电阻”教学为例[J]. 中学物理教学参考,2018,47(12):12~16
- 6 陶洪. 物理实验论[M]. 南宁:广西教育出版社,1996. 172~174
- 7 朱鹤年. 基础物理实验教程:物理测量的数据处理与实验设计[M]. 北京:高等教育出版社,2003. 100
- 8 何述平. 伏安法测电阻的方法研究[J]. 物理通报,2020(1):65~68

Study on Criterion of Internal and External Connection For Measuring Resistance by Voltammetry

He Shuping

(Research Institute of Physics Education, College of Education, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract: The criteria of internal and external connection for measuring resistance by voltammetry are studied, and the results show that there are three incomplete conditional criteria. The logical relationship of conditional criteria is discussed and the conditional criteria are perfected. The understanding of the criteria of internal and external connection for measuring resistance by voltammetry is deepened, and the suggestions for reasonably applying the criteria are put forward.

Key words: voltammetry; resistance; internal and external connection; criterion; systematic error