# 1041

## 1040522 双电桥改单电桥测中电阻

## 预习要点

① 电桥平衡过程中何处体现了零示法和电压比较法？本实验中为什么要采用交换测量法？

② 什么是回路接线法？什么是安全位置？什么叫瞬态试验和“宏观”粗测？（参阅电学实验预备知识。）

③ 电桥灵敏度是怎样定义的？实验中是怎样测量灵敏度的？影响电桥灵敏度的因素有哪些？设计电路并进行参数估计。

④ 指针式检流计中的“短路”和“电计”按钮分别起什么作用？怎样使用？检流计的制动拨钮又应怎样使用？实验结束后，应将制动拨钮拨至何处？镜面上的小镜子起什么作用？怎样正确读数？

⑤ 箱式电桥ＱＪ４５选取比率Ｃ的原则是什么？检流计（电计）Ｇ的３个按钮０．０１、０．１、１各代表什么意义？测量结果应以哪个键为准？设被测电阻分别约为１５Ω、２００Ω、１５０ｋΩ，问

应如何选取ＱＪ４５型电桥比率Ｃ？

⑥ 伏安法测电阻的方法中，存在什么系统误差？如何进行修正？画出伏安法测中电阻的完整电路图并进行参数估计。

⑦ 测量电表内阻一般有哪些方法？各有什么使用条件？

⑧ 伏阻法和安阻法何处存在系统误差？各自有什么使用条件？补偿法是否存在方法误差？

## 实验仪器

电阻箱、指针式检流计、固定电阻两个（标称值相同、但不知准确值）、直流稳压电源、滑线变阻器（２００Ω）、待测电阻、开关等、ＱＪ４５型箱式电桥；ＱＪ１９型单双电桥、ＦＭＡ型电子检流计、滑线变阻器（４８Ω、２．５Ａ）、换向开关、直流稳压电源、电压表两个（０～７．５Ｖ、０～７５Ｖ）、四端钮标准电阻（０．００１Ω）、待测低电阻（铜杆）、电流表两个（０～３Ａ、０～１５０ｍＡ）、数显卡尺、待测二极管等。

## 实验原理

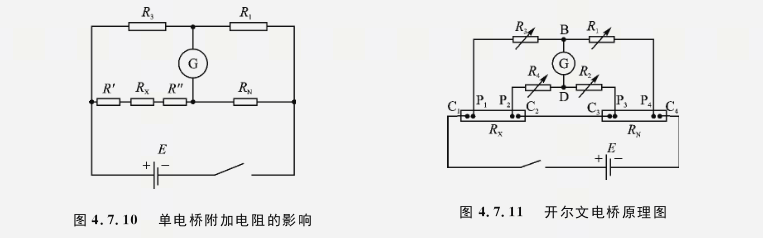
惠斯通电桥（单电桥）测量的电阻，其数值一般在１０～１０６Ω之间，为中电阻。对于１０Ω以下的电阻，例如变压器绕组的电阻、金属材料的电阻等，测量线路的附加电阻（导线电阻和端钮处的接触电阻的总和为１０－４～１０－２Ω）不能忽略，普通惠斯通电桥难以胜任。双电桥是在单电桥的基础上发展起来的，可以消除（或减少）附加电阻对测量结果的影响，一般用来测量１０－５～１０Ω之间的低电阻。

如图４．７．１０所示，用单电桥测低电阻时，附加电阻Ｒ′与Ｒ″和ＲＸ 是直接串联的，当Ｒ′和Ｒ″的大小与被测电阻ＲＸ 大小相比不能被忽略时，用单电桥测电阻的公式ＲＸ ＝Ｒ３/Ｒ１\*ＲＮ 就不能准确地得出ＲＸ 的值；再则，由于ＲＸ 很小，如Ｒ１≈Ｒ３，电阻ＲＮ 也应是小电阻，其附加电阻（图中未画出）的影响也不能忽略，这也是得不出ＲＸ 准确值的原因。

开尔文电桥是惠斯通电桥的变形，在测量小阻值电阻时能给出相当高的准确度。它的电路原理见图４．７．１１。其中Ｒ１、Ｒ２、Ｒ３、Ｒ４ 均为可调电阻，ＲＸ 为被测低电阻，ＲＮ 为低值标准电阻。与图４．７．１０对比，开尔文电桥作了两点重要改进：

1. 增加了一个由Ｒ２、Ｒ４ 组成的桥臂。

②ＲＮ 和ＲＸ 由两端接法改为四端接法。其中Ｐ１Ｐ２ 构成被测低电阻ＲＸ，Ｐ３Ｐ４ 是标准低电阻ＲＮ，Ｐ１、Ｐ２、Ｐ３、Ｐ４ 常被称为电压接点，Ｃ１、Ｃ２、Ｃ３、Ｃ４ 称为电流接点。图４．７．１０ 单电桥附加电阻的影响 图４．７．１１ 开尔文电桥原理图



在测量低电阻时，ＲＮ 和ＲＸ 都很小，所以与Ｐ１～Ｐ４、Ｃ１～Ｃ４ 相连的８个接点的附加电阻（引线电阻和端钮接触电阻之和）Ｒ′Ｐ１～Ｒ′Ｐ４、Ｒ′Ｃ１～Ｒ′Ｃ４，ＲＮ 和ＲＸ 间的连线电阻Ｒ′Ｌ，Ｐ１Ｃ１ 间的电阻Ｒ′ＰＣ１，Ｐ２Ｃ２ 间的电阻Ｒ′ＰＣ２，Ｐ３Ｃ３ 间的电阻Ｒ′ＰＣ３，Ｐ４Ｃ４ 间的电阻Ｒ′ＰＣ４，均应给予考虑。于是，开尔文电桥的等效电路如图４．７．１２（ａ）所示。其中Ｒ′Ｐ１远小于Ｒ３，Ｒ′Ｐ２远小于Ｒ４，Ｒ′Ｐ３远小于Ｒ２，Ｒ′Ｐ４远小于Ｒ１，均可忽略。Ｒ′Ｃ１、Ｒ′ＰＣ１、Ｒ′Ｃ４、Ｒ′ＰＣ４可以并入电源内阻，不影响测量结果，也不予考虑。需要考虑的只有跨线电阻Ｒ′＝Ｒ′Ｃ２＋Ｒ′ＰＣ２＋Ｒ′ＰＣ３＋Ｒ′Ｃ３＋Ｒ′Ｌ。简化后的电路如图４．７．１２（ｂ）所示。调节Ｒ１、Ｒ２、Ｒ３、Ｒ４ 使电桥平衡。此时，Ｉｇ＝０，Ｉ１＝Ｉ３，Ｉ２＝Ｉ４，Ｉ５＝Ｉ６，ＶＢ＝ＶＤ，且有Ｉ３Ｒ３ ＝Ｉ４Ｒ４＋Ｉ５ＲＸ

Ｉ１Ｒ１ ＝Ｉ２Ｒ２＋Ｉ６ＲＮ

Ｉ２Ｒ２＋Ｉ４Ｒ４ ＝（Ｉ５－Ｉ４）

三式联立求解得

ＲＸ ＝Ｒ３Ｒ１ＲＮ＋Ｒ′Ｒ２Ｒ２＋Ｒ４＋Ｒ′Ｒ３Ｒ１－Ｒ４Ｒ（ ）２（４．７．２０）

表面看来只要保证Ｒ３Ｒ１＝Ｒ４Ｒ２，即可有ＲＸ ＝Ｒ３Ｒ１ＲＮ ，附加电阻的影响就可以略去。然而绝对意义上的Ｒ３Ｒ１－Ｒ４Ｒ２＝０实际上做不到，这时ＲＸ 可以看成Ｒ３Ｒ１ＲＮ 与一个修正值Δ的叠加。不难想见，再加上跨线电阻足够小Ｒ′≈０，就可以在测量精度允许的范围内忽略Δ的影响。通过这样两点改进，开尔文电桥将ＲＮ 和ＲＸ 的接线电阻和接触电阻巧妙地转移到电源内

阻和阻值很大的桥臂电阻中，又通过Ｒ３Ｒ１＝Ｒ４Ｒ２和Ｒ′≈０的设定，消除了附加电阻的影响，从而保证了测量低电阻时的准确度。为保证双电桥的平衡条件，可以有两种设计方式：

① 选定两组桥臂之比为Ｍ＝Ｒ３Ｒ１＝Ｒ４Ｒ２

，将ＲＮ 做成可变的标准电阻，调节ＲＮ 使电桥平衡，则计算ＲＸ 的公式为ＲＸ＝ＭＲＮ。式中，ＲＮ 称为比较臂电阻，Ｍ为电桥倍率系数。

② 选定ＲＮ 为某固定阻值的标准电阻并选定Ｒ１＝Ｒ２ 为某一值，联调Ｒ３ 与Ｒ４ 使电桥平衡，则计算ＲＸ 的公式变换为ＲＸ ＝ＲＮＲ１Ｒ３　　 或 　　ＲＸ ＝ＲＮＲ２Ｒ４ （４．７．２１）此时Ｒ３ 或Ｒ４ 为比较臂电阻，ＲＮＲ１或ＲＮＲ２为电桥倍率系数。实验室提供的ＱＪ１９型单双电桥采用的是第②种方式。

电阻率是半导体材料的重要电学参数之一，它的测量是半导体材料常规参数测量项目，四探针测量金属薄膜面电阻是当今微电子技术领域中常用的方法。

## 实验内容

（１）测线性电阻

自行选择用伏安法或电桥法测量高电阻、中电阻、低电阻或电表内阻，设计相应的实验电路，确定实验方案，完成电阻的测量。

（２）测非线性电阻

自行设计电路测量二极管的伏安特性。

提示１：测二极管伏安特性曲线时，需根据其正、反向电阻的大小分别采用电流表内接或外接方法。思考：如何利用单刀双掷开关实现内、外接的转换操作？

提示２：测量非线性曲线时，需注意不宜均匀取点，而应遵循曲线变化慢处取点疏、曲线变化快处取点密的原则，以便准确绘制曲线。

提示３：使用二极管时要注意加在其上的反向电压不得超过最大反向工作电压。

（３）数据处理

① 列表记录原始数据；

② 计算线性电阻的阻值及其不确定度；

③ 用坐标纸绘制二极管伏安特性曲线；

## 思考题

① 试借助一个电阻箱，采用伏安法测出电压表的内阻ＲＶ 和电流表的内阻ＲＡ ，请说明测量方法。

② 假设连接惠斯通电桥电路时混入了一根断线，如果这根断线接在桥臂上，操作中检流计有什么现象？若断线在电源Ｅ回路，又会怎样？如果已经分析出电路中有一根断线，但无三用表或多余的好导线，用什么简便方法查出这根断线的位置？（提示：将可能是断的导线与

肯定是好的导线在电路中的位置交换，视检流计的状态变化判定。）

③ 用一个滑线变阻器、一个电阻箱、一个待测毫安表、一个约１．５Ｖ的甲电池、两个开关，自组电桥测一毫安表的内阻（约３０Ω、量程３ｍＡ），要求画出电路图并说明测量原理与步骤。

④ 将一量程Ｉｇ＝５０μＡ、内阻Ｒｇ＝４．００×１０３Ω的表头改装为一个量程为５Ａ的安培表，并联的分流电阻是多少？应如何正确连接？