

# 提炼明线 抓住暗线 破解高考电路设计难题

——以2017年高考全国理综卷I、2021年高考湖南物理卷为例

张日东

(湖南师范大学附属中学 湖南 长沙 410000)

(收稿日期:2021-07-11)

**摘要:**电学实验是高考物理考查的重点,相对少见的电路设计问题开始更多地出现在新高考物理考卷上.这一现象表面上是对考生提出了更高的解题要求,背后反映的是新课程标准对物理学科核心素养特别是“科学探究”的进一步落实.传统的题海战术很难奏效,学生也容易在低效的练习中迷失方向,所以这对我们一线教师提出了更高的要求.本文梳理了电路设计问题的两条主线思路,明线是围绕核心物理量 $U$ 和 $I$ 的测量进行选材和设计;暗线是抓住题干中的关键细节进行快速切入.两线并重以期突破电路设计这一难点,进而提升“科学探究”素养.

**关键词:**高考物理 核心素养 电学实验 电路设计

## 1 问题背景

### 1.1 电学实验历来是高考物理考查的重点

统计2016—2019年全国理综卷物理部分,其中电学实验题分值的占比稳定在9.1%左右,这一比例不可谓不大,可见电学实验历来是高考实验考查的重点<sup>[1]</sup>.全国高考理综物理的实验题往往都源于教材中的实验改编、拓展、深化而来,核心实验有两个:“描绘小灯珠的伏安特性曲线”和“测量金属丝的电阻率”.其他实验往往都是从这两个实验推广、拓展而来<sup>[2]</sup>.这两个实验都要求考生熟练掌握欧姆定律(含闭合电路欧姆定律),所以这类“电学实验题”往往是披着“实验”外衣的“计算题”.而最体现探究性以及考生综合能力的题型无疑是电路设计问题.这类问题在以往的高考电学实验中出现的并不多,原因可能来自于多方面:难度较大导致区分度降低,设计往往具有一定的开放性导致阅卷难度增大,部分教育落后地区实验开展的条件有限,没有机会进行电路设计的实操性锻炼……

少见并不意味着罕见,比如2017年高考全国理科综合卷I和2021年高考湖南物理卷,这类问题是考生的痛点和难点.如何更有效地提升学生的电路设计能力,是摆在一线教师面前的棘手问题.

### 1.2 新时代的要求

2017年发布的《普通高中物理课程标准》提出:

构建以生活和自然为基础、以学科知识为支撑、以核心素养为主导、具有中国特色的普通高中物理课程<sup>[3]</sup>.物理学科核心素养包括4大方面,其中“科学探究”是指基于观察和实验提出物理问题、形成猜想和假设、设计实验和制订方案、获取和处理信息的能力.鼓励和培养这种能力,既是教育从业者的使命,也是高考命题者的重要任务.但是考试的时间有限,如何在最短的时间对这项能力进行考查,实验设计题特别是电学设计题无疑是最佳的载体.

综合以上两点,可以预见在不久的将来,电学设计题将愈来愈多的出现在高考物理的考卷上.尽管在日常教学中老师可能传授过各种形式的电路设计,但是学生依旧难以灵活的应对这一问题.本文根据常见题型提炼两条解题线索,一明一暗,帮助同学有效的突破这类难题,抛砖引玉,也为一线教师提供一种教学设计.

## 2 提炼明线思路

电路设计为什么难?常规电学实验题要求学生从“给出的电路”中计算所需的“物理量”或者分析实验图像.这是一种“从因到果”顺着学生思维进行设计的问题,所以解决的难度不大,也就是本文所说的披着“实验题”外衣的“计算题”.但是电路设计问题只给出了一个“目的”,要求学生设计一个电路来实现目的.这是一种“执果索因”的问题设计,从果到因

之间存在巨大的鸿沟!这个过程既需要考虑原理的可行性也需要考虑器材的现状,学生往往束手无策或者顾此失彼.本文以“测量未知电阻 $R_x$ ”为例,提出一个广泛可行的明线思路(图1),以供参考.

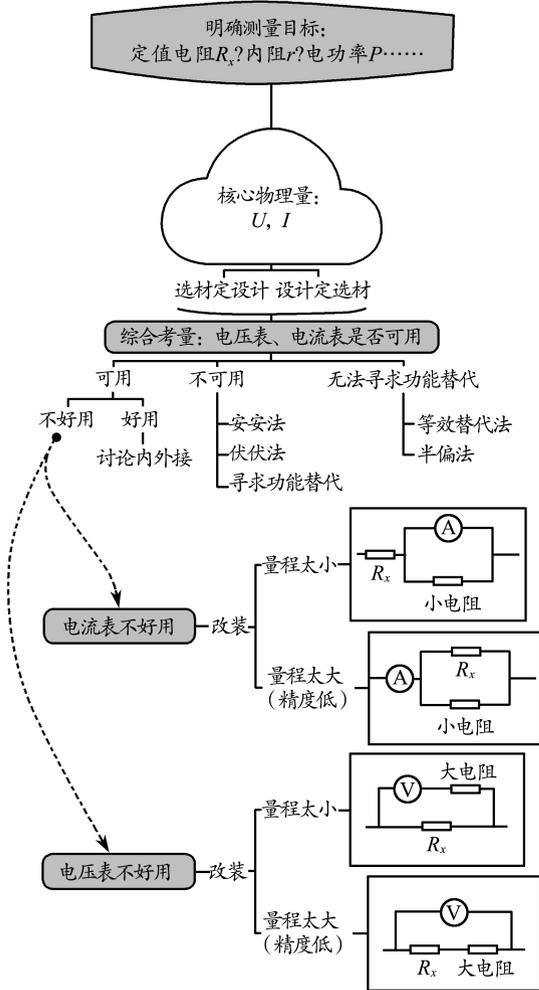


图1 电路设计主线思路图

设计电路一般包括两部分:其一是测量电路,为了测量某一物理量,这是设计电路的初衷,所以这一部分是必须的,本文重点阐述该部分的设计;其二是控制电路,为了获得更多数据,往往需要不停地调整电路的参数,这一部分电路是为了让结果更准确,有时候因为器材条件所限并不能实现,所以并不是必须的.高中阶段的控制电路一般包括分压式和限流式电路,这部分已有很多讨论,不再赘述.

## 2.1 明确测量目标 把握核心物理量

这是电路设计的第一步,正如受力分析必须明确研究对象一样,如果一个实验的目的都没有把握清楚,那么设计肯定是不成功的.无论是测量未知电阻 $R_x$ ,测量电源内阻 $r$ 、电动势 $E$ ,还是电功率 $P$ 乃

至伏安特性曲线,其实都是围绕着电压 $U$ 和电流 $I$ 的测量展开的,那么就自然而然地引出下一个问题:如何测量?

## 2.2 综合考量电压表和电流表是否都可用及好用

实验设计需要同时考虑的还有器材,有些教辅推荐根据设计选器材,也有些推荐根据器材定设计方案.笔者认为不可一概而论,主线思路还是考虑“能否实现测量核心物理量”,预估被测电阻的数量级,先判断电压表、电流表是否“可用”(量程)、是否“好用”(精度、读数),这是题目设置障碍的主要环节.若电压表、电流表都有且量程、精度均满足条件,那么只需要考虑电流表内外接的误差即可,这类问题很容易但是考查的频率较低.

大部分题目会设计缺电流表或者电压表的场景,若是有两个电流表或者两个电压表则很容易联想到利用定值电阻设计串联分压或者并联分流测得核心物理量电压 $U$ 和电流 $I$ ,这类问题也比较简单,不难想到.

相对难一些的场景,就是电压表、电流表都有,但是量程、精度无法满足条件.所以需要“寻求功能替代”.量程太小,就要用到我们所学的改装电表的知识;量程太大可以使用,但是指针偏转太小,相对误差太大,那么我们就需要对未知电阻进行改装,等效地将被测物理量“放大”,减小相对误差.

如果器材所限,确实无法完成功能替代,那么就只能考虑等效替代法<sup>[4]</sup>或者半偏法进行等效测量.

## 3 典例分析

**【例1】**(2017年高考全国理综I卷的电学实验题)某同学研究小灯泡的伏安特性,所使用的器材有:小灯泡 $L$ (额定电压 $3.8\text{ V}$ ,额定电流 $0.32\text{ A}$ ),电压表(量程 $3\text{ V}$ ,内阻 $3\text{ k}\Omega$ ),电流表(量程 $0.5\text{ A}$ ,内阻 $0.5\Omega$ ),固定电阻 $R_0$ (阻值 $1\ 000\Omega$ ),滑动变阻器 $R$ ( $0\sim 9.0\Omega$ ),电源 $E$ (电动势 $5\text{ V}$ ,内阻不计),开关 $S$ ,导线若干.

(1)实验要求在 $0\sim 3.8\text{ V}$ 的范围内对小灯泡的电压进行测量,画出实验设计电路原理图……

我们沿着明线思路进行思考,该问题属于需要测量核心物理量电压 $U$ ,电流 $I$ 的场景.这里电压

表、电流表都有,接下来看是否“可用”和“好用”,显然,发现电压表量程不够,那么我们就自然而然地利用定值电阻进行电表改装.再考虑到小灯泡电阻更接近电流表的量级,那么应当将电流表外接.最后思考控制电路,这里需要电压从零开始,那么分压式的控制电路是必须的<sup>[5]</sup>.设计的电路图如图2所示.

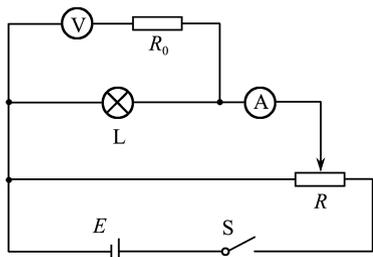


图2 例1电路设计

**【例2】**(2021 高考湖南物理卷的电学实验题)某实验小组需测定电池的电动势和内阻,器材有:1节待测电池,1个单刀双掷开关,1个定值电阻(阻值为 $R_0$ ),1个电流表(内阻为 $R_A$ ),1根均匀电阻丝(电阻丝总阻值大于 $R_0$ 并配有可在电阻上移动的金属夹),导线若干.由于缺少刻度尺,无法测量电阻丝长度,但发现桌上有一个圆形时钟表盘.某同学提出将电阻丝绕在该表盘上,利用圆心角来表示接入电路的电阻丝长度.主要实验步骤如下:

……

(5)为进一步确定结果,还需要测量单位角度对应电阻丝的阻值 $r_0$ .利用现有器材设计实验画出实验电路图(电阻丝用滑动变阻器符号表示).

我们主要看第(5)问电路设计.分析实验目的,我们只需测到特定角度电阻丝的阻值即可求出 $r_0$ ,所以同样属于关注核心物理量 $U$ 和 $I$ 的电路设计问题.这里只有一个电流表,没有电压表,电表没有提到量程,所以只能默认“可用”且“好用”.确实有一个定值电阻,可以将电流表改装成电压表使用,但是一旦改装了这个唯一的电流表,就必须把新的电表和被测电阻并联,无法获得通过被测电阻电流的大小.这里就属于典型的“无法完成功能替代”,那么我们就只能考虑等效替代法和半偏法.这里似乎等效替代和电流半偏法都可用,那么我们需要比较一下更优方案.电流半偏法需要默认外电路电压几乎不变,这个实验最初是为了测电源内阻,可见电源内阻无法忽略,所以半偏法误差较大.我们优先考虑等效

替代(恰好电阻丝可以改变电阻调到和 $R_0$ 一样大,这也是一个暗示).最后思考控制电路,这里由于器材不够,没办法实现控制电路的设计了.所以最终设计如图3所示.

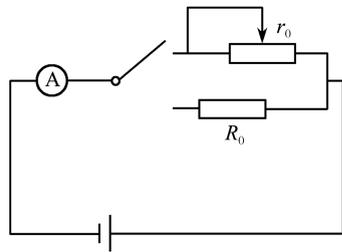


图3 例2电路设计

#### 4 抓住暗线 快速切入问题

需要指出的是,电路设计是一种开放性很强的探究活动,时长把控上具有很强的不确定性.为了满足考试时长的要求,题干中往往会留下一些不寻常的细节,以此为暗线可以帮助考生快速切入(也可能是出题人为了避免开放性太强,出现太多可行的设计给阅卷增加难度).比如:

(1)电表的内阻一般只给出一个大致的量级帮助考生判断误差,如果题干中明确给出了某电表内阻等于某值,那么很有可能这个电表可以实现“一表多用”,比如例1完全可以将电流表内接(图4),误差甚至更小.

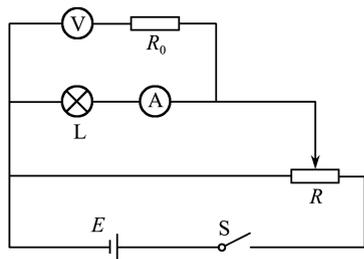


图4 例1的另一种电路设计

(2)有些特殊的元件,可能会起到关键性的作用.比如例题2中反常规的提到了“单刀双掷开关”.如果考生抓住了这个暗示,就可以迅速联想到等效替代法.

#### 5 总结

总而言之,电路设计问题考查的能力较为全面,需要学生具备比较高的知识水平以及“执果索因”的

(下转第88页)

续表 3

作答结果	思维层次	认知过程
物体在摩擦力作用下向前加速,当物体加速到与传送带速度相同时,运用以前学过的知识计算出物体第一段所用的时间和位移大小,再运用匀速直线运动速度-时间公式计算出物体第二段位移所用时间	关联结构水平	学生能够灵活处理“动静”突变问题,运用隔离法先对物体进行受力分析,再运用整体法将物体整个运动过程分为匀加速和匀速两个部分,学生头脑中所储存的物理知识具有较为清晰的框架,经过逻辑编排应用于解决具体问题

## 5 教学反思

SOLO 理论是基于大量实验总结出的思维结构理论,在教学中应用 SOLO 理论有助于因材施教。“摩擦力”一节内容有其内在的复杂性,以 SOLO 理论为导向进行教学设计能够使本节教学内容由简单的摩擦力概念到复杂的动摩擦力计算,由具体的刷毛形变展现“相对运动趋势”到抽象的 DIS 探究最大静摩擦力,层层递进。根据学生的作答情况,教师反思教学设计过程,以优化整个教学活动,并给处于各个水平的学生有针对性地布置习题。但是 SOLO 理论并不完善,如各个思维结构水平的定位标准不一,每个学生的思维层次都有各自的特点,而教学只能考虑大部分学生的思维水平。因此,教师应在教学

的各个环节中有选择地利用 SOLO 理论,有效促进学生思维发展。

### 参考文献

- 1 John Biggs. Individual differences in study processes and the Quality of Learning Outcomes [J]. Higher Education, 1979, 8(4)
- 2 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. 5
- 3 王较过,赵欢苗. SOLO 分类理论在物理教学设计中的应用[J]. 当代教师教育, 2012, 5(1): 57~62
- 4 干伟,袁令民,刘玲,等. 量变到质变,基于 SOLO 分类评价导学案提高课堂效率的研究[J]. 物理教师, 2018, 39(7): 8~12
- 5 韩艳华. SOLO 视野下高中生物理思维发展能力的研究[J]. 中学物理, 2018, 36(3): 15~17

(上接第 82 页)

应用能力. 笔者认为如果要想提升学生应对这类难题的能力,主要应当从 3 个方面着力:

(1)如果教师在一线教学实践中有意识地锻炼学生“树立全局意识、提明线、抓暗线的能力”,可以有效地提升学生的电路设计能力。

(2)更好的方式是:教师逐步引导学生,总结出属于自己的“主线思路图”,尽管不一定全面,但是学生分析、应用的能力会得到较大的锻炼。

(3)最好的方式:教师带学生走进实验室,多开展各种探究实验. 学生在实际操作中会遇到各种故障、器材缺乏等等问题,学生置身于情境之中,结合教师的指导,会更加全面地锻炼到寻找证据、交流、

评估、反思的能力,这也正是核心素养中“科学探究”所倡导的培养模式。

### 参考文献

- 1 黄秋丹. 2016—2019 年全国卷理综物理电学实验分析及复习策略[D]. 重庆:西南大学, 2020. 10
- 2 闫培新. “伏安法”测电阻的电路设计实验拓展[J]. 中学物理教学参考, 2018, 47(7): 67~70
- 3 廖伯琴. 以学生发展为本改进普通高中物理课程——《普通高中物理课程标准(2017年版)》解读[J]. 人民教育, 2018(10): 43~46
- 4 陈君达. 把握电路设计方法 提高实验设计能力[J]. 物理教学探讨, 2002(4): 47~48
- 5 周文阔,宋连义. 关于 2017 年高考全国物理 I 卷实验题电路设计的讨论[J]. 物理教学, 2018, 40(6): 66~67