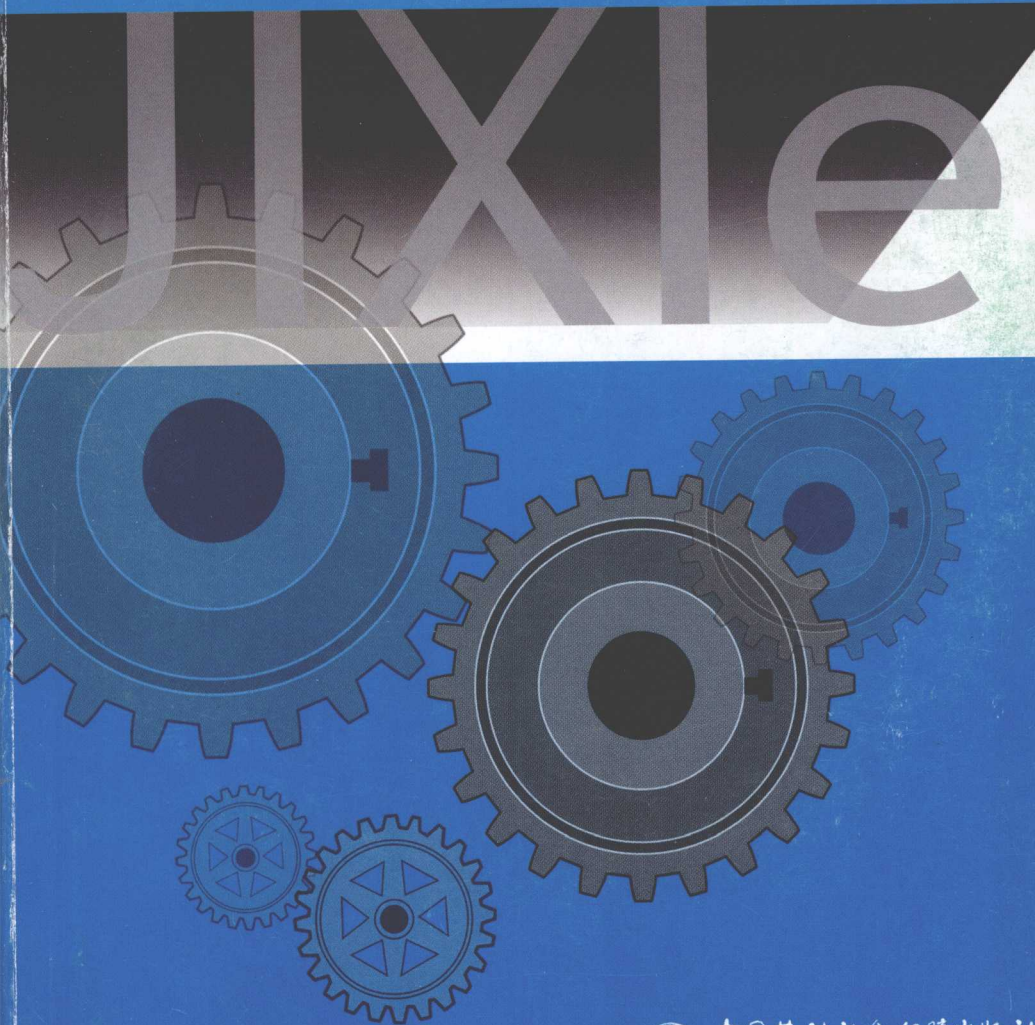




全国中等职业技术学校机械类专业

电工学课教学参考书

与《电工学（第四版）》配套使用



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校机械类专业

电工学课教学参考书

与《电工学（第四版）》配套使用

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工学课教学参考书/邵展图主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2007

全国中等职业技术学校机械类专业

ISBN 978-7-5045-6344-6

I. 电… II. 邵… III. 电工学-专业学校-教学参考资料
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 127932 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
850 毫米×1168 毫米 32 开本 5.75 印张 142 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定价: 15.00 元 (本书附光盘)

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

目 录

第一章 直流电路	(1)
一、教学要求	(1)
二、学时分配	(1)
三、教材分析	(2)
四、教学建议	(3)
五、实验与实训说明	(17)
六、教材习题选解	(18)
七、参考资料	(20)
第二章 磁场与电磁感应	(23)
一、教学要求	(23)
二、学时分配	(23)
三、教材分析	(24)
四、教学建议	(25)
五、教材习题选解	(34)
六、参考资料	(34)
第三章 单相交流电路	(40)
一、教学要求	(40)
二、学时分配	(40)
三、教材分析	(41)
四、教学建议	(43)
五、教材习题选解	(54)
六、参考资料	(55)

第四章 三相交流电路	(58)
一、教学要求.....	(58)
二、学时分配.....	(58)
三、教材分析.....	(59)
四、教学建议.....	(60)
五、教材习题选解.....	(65)
六、参考资料.....	(67)
第五章 变压器与三相异步电动机	(72)
一、教学要求.....	(72)
二、学时分配.....	(72)
三、教材分析.....	(72)
四、教学建议.....	(74)
五、参考资料.....	(79)
第六章 工作机械的基本电气控制电路	(83)
一、教学要求.....	(83)
二、学时分配.....	(83)
三、教材分析.....	(84)
四、教学建议.....	(85)
五、实验与实训说明.....	(96)
六、教材习题选解.....	(97)
七、参考资料.....	(98)
第七章 常用电子元器件及应用电路	(115)
一、教学要求.....	(115)
二、学时分配.....	(116)
三、教材分析.....	(116)
四、教学建议.....	(118)
五、参考资料.....	(130)
附录 《电工学 (第四版) 习题册》 参考答案	(136)

第一章 直流电路

一、教学要求

1. 了解电路基本物理量的意义，熟悉它们的单位和符号。
2. 掌握欧姆定律，熟悉电路的三种状态。
3. 掌握电功、电功率的概念，了解电流热效应的应用与危害，了解负载额定值的意义。
4. 掌握电阻串联、并联电路的特点及其应用。
5. 了解基尔霍夫定律。
6. 会用万用表测量电压、电流和电阻。

二、学时分配

内 容	学时
§ 1-1 电路及基本物理量	3
实验与实训 1 练习使用测电笔和万用表	2
§ 1-2 电阻	2
§ 1-3 欧姆定律	2
§ 1-4 电功与电功率	2
§ 1-5 电阻的串联、并联和混联	3
实验与实训 2 直流电阻电路故障的检查	2
§ 1-6 基尔霍夫定律	2
总 计	18

三、教材分析

本章介绍直流电路的基本概念和基本规律，这些内容是学习本课程的基础。实际上，直流电路的许多分析方法，在一定条件下，对于交流电路也同样适用。

第1节以水压与水流的关系和电压与电流的关系做对比，引出电流、电压、电位、电动势的概念，阐述了电压与电动势的异同，介绍了在直流电路计算中设定参考方向的方法。

电阻器是各种电路中最常用的元件，本章第2节以较大篇幅做了详细介绍。对于不同物体电阻率与导电能力的关系，采用图表进行比较说明，避开了烦琐的计算。对于电阻与温度的关系也没有要求计算，而是突出其在生产实际中的应用。例如，列举了利用热敏电阻测量水温、利用温度系数小的合金材料制作标准电阻等，为了加深印象，还特别设计了一个测量热敏电阻随温度变化的实验。有关电阻的测量、选用，都尽量采用了图表说明的形式。在“工程应用”栏目中介绍了接触电阻和绝缘电阻，为后续课程做准备。

第3节介绍欧姆定律。其中部分电路欧姆定律是初中已学过的内容，全电路欧姆定律是新授内容。通过全电路欧姆定律的学习和电源外特性的讨论，要求学生能进一步理解电动势的概念，并对电路的三种状态的本质能有更为深刻的认识。

第4节介绍电功与电功率。这里讨论的是电流做功与电能转换的问题，具有重要的实际意义。电热的应用与危害、电气设备的额定值、负载获得最大功率的条件等都是生产实际中经常遇到的问题。本节由实例导入新课，同时在“工程应用”栏目中也引用了较多的实例。

第5节为电阻的串联、并联和混联，这样安排，是为了与第6节基尔霍夫定律紧紧相接，便于将复杂电路与简单电路进行比

较。电阻混联电路中既有串联方式又有并联方式，而有些电路单纯用电阻串联、并联的运算方法是无法求解的，这样就可以很自然地引入复杂电路和基尔霍夫定律。

第6节基尔霍夫定律是全新的内容。首先以看似简单的一个双电源电路和一个电桥电路为例，引入复杂电路，接着又解释了几个术语，然后介绍基尔霍夫第一、第二定律的内容。为了便于学生理解，在引入基尔霍夫第一定律（节点电流定律）时，以水流与电流做对比，并通过图形做形象的说明；在引入基尔霍夫第二定律（回路电压定律）时，也可以用类似的方法说明。有关复杂电路的求解，对学生不作过多要求，本节只以例题的形式介绍了复杂电路的一种解法（支路电流法）。

测电笔和万用表是电工最常用的测量仪表。本章将“练习使用测电笔和万用表”作为实验与实训的第一个课题，不仅是为完成后续实验与实训课题做准备，同时也是保证安全用电的一项重要措施。

本章重点是欧姆定律，难点是基尔霍夫定律。本章主要内容及相互关系如下：



四、教学建议

本章除基尔霍夫定律外，其他内容基本都是初中物理学中相应内容的重提和深化，属于复习、巩固和提高的性质。但不可因

学生已具基础而掉以轻心，一定要认真对待。教学中需注意以下两点：

(1) 正确处理复习与提高的关系。复习旧知识不是简单的重复，而是为了温故而知新。要做到使学生对旧知识的理解更加全面和深刻，从而为学习新知识打下良好的基础。

(2) 强调与实际应用相结合。物理学中相应内容大多是以电磁场理论为基本出发点的，所以用相当篇幅来讨论静电学基本原理，而本书是以实际电路中的物理现象为基本出发点，避开了静电学的有关内容，所以无论是导入、举例或设计习题，都要力求向实际应用方面扩展。

§ 1—1 电路及基本物理量

1. 简单直流电路以小灯泡电路导入，可以做演示实验，也可以采用电子课件辅助教学。

从对电路的说明中自然引出电流的概念：电荷的定向移动形成电流。

形成电流必须具备两个条件：第一个条件是要有能够自由移动的电荷。教材图 1—5 举例说明，金属中移动电荷是电子，电解液中移动电荷是离子。第二个条件是导体两端要有电压。这一点要在讲解电压、电位和电动势时才详细讨论，在这里只能简单提到。

2. 电流的大小和电流的测量紧密结合，要强调进制和单位。

3. 讲解电流的方向时可参考教材图 1—5，由于电流的方向规定为正电荷定向移动的方向，所以，在金属导体中，自由电子移动的方向与电流方向相反；而在电解液中，既有正离子，又有负离子，则电流的方向与正离子的移动方向相同。

由电流方向是否变化，引导学生认识稳恒电流和交流电流，结合波形图进行比较，对交流电流有初步认识即可，目的是为后面学习交流电做准备，不必过多讲解。

参考方向是电工计算中的一个重要概念，要让学生弄清参考方向与实际方向的关系，并应用于电路计算。讲解时可代入具体数值，如对应于教材图 1—8a，设 $I=3\text{ A}$ ，电流实际方向与参考方向相同；对应于教材图 1—8b，设 $I=-3\text{ A}$ ，电流实际方向与参考方向相反。还可以改变参考方向，再设计数值进行讨论，反复练习加深印象。

4. 电压、电位和电动势作为一组概念集中讲解，便于比较。先由电场力移动单位正电荷做功给出电压的概念，电位和电动势则借助电压的概念推出。教材图 1—9 与图 1—10 有一一对应的关系：水压对应电压，水流对应电流，水泵对应电源，水车对应电灯（还可增加阀门对应开关）。

电压采用双下标记法，例如 U_{ab} 表示 a、b 两点间的电压，并且表示参考方向是由 a 指向 b，此外还可用箭头或用极性符号表示电压参考方向。如果以 b 点为参考点（零电位点），则 a 点与 b 点之间的电压（可记为 U_{a0} ）即为 a 点的电位。

“电路中某点的电位与参考点的选择有关，但两点间的电压（电位差）与参考点的选择无关。”这一结论仍然可以通过对教材中图 1—9 与图 1—10 的比较分析得出。也可以设计例题，通过简单计算得出这一结论。

电动势的概念是掌握全电路欧姆定律的关键，但电动势的概念比较抽象，学生较难掌握，教学中可以先以水泵为例，说明水泵的作用是产生水位差（水压），从而保证水管中能有持续的水流；继而说明电源必须在正、负极之间保持一定的电位差（电压），才能保证电路中有持续的电流。电动势就反映了电源产生电压的能力。最后要强调：电源电动势在数值上等于电源没有接入电路时两极间的电压（即电源两端的开路电压）。电动势的方向规定为在电源内部由负极指向正极。如果能再辅以动画课件，通过电源内外电荷的移动来显示电动势和电压的区别，效果会更好。

§ 1—2 电阻

电阻是电子电路中应用最多的元件，故本节用较多的篇幅加以介绍。

1. 电阻是反映导体对电流阻碍作用的物理量。要强调导体的电阻是导体本身的一种性质，当导体的材料、粗细、长度、温度等因素确定后，导体的电阻也就确定了。它与导体两端所加电压和通过的电流大小无关。由 $I=U/R$ ，可得 $R=U/I$ ，容易误以为 R 的大小与 U 和 I 有关，这一点要帮助学生加以辨析。

2. 由电阻的计算式 $R=\rho \frac{l}{S}$ 引出了材料的电阻率。教材中用图表的形式对导体、半导体、绝缘体三类 9 种材料的电阻率进行了比较，没有给出具体数值，除教材中所举实例外，教师还可以多举出一些实例，帮助学生加深印象。例如，可以让学生观察印制电路板，然后展开讨论，指出基板是用环氧树脂制成的，这是绝缘体；基板上粘有铜箔，元件之间靠铜箔连接，铜箔是导体；电路板上的晶体管和集成电路则是用半导体材料制成的。还可以提出一些问题启发学生思考，例如，为什么印制电路板接口处铜箔要镀上银或金，为什么作为地线的铜箔面积较大？又如，某质检部门对部分电线电缆进行质量检查时，发现线材使用了再生铜或杂质很多的铜；有些虽然铜材料质量合格，但线材截面积缩小；还有些使用了再生塑料做电线外皮。结合电阻计算公式，分析上述质量问题会带来什么后果。

“小资料”栏目介绍了“电导率”的概念，作为知识的扩展。

3. 各种材料的电阻率都随温度而变化，各种导体的电阻值也随温度而变化。为了加强教学的直观性，可做如下实验：把日光灯或白炽灯的灯丝（钨丝）固定在支架上，并与电源和电流表接成串联电路。缓慢地给灯丝加热，可以看到，电路中的电流减小了，说明灯丝的电阻增大了，温度系数反映温度对电阻的影

响。教材介绍了正温度系数和负温度系数，但未给出计算公式，不要求计算。热敏电阻的应用很广，如测温、报警、保护、自动控制等，可引导学生多举实例。有必要向学生指出，今后在涉及电阻值的计算时，为使问题简化，若无特别说明，通常不考虑温度对电阻的影响。

4. 用万用表测电阻是电工必须掌握的基本技能，应要求学生熟练掌握。不但要掌握单个电阻器的测量，还要掌握电位器的测量以及电路板中某一电阻的测量。应该了解，对于不同的电阻要选用不同的测量方法，用万用表测电阻通常仅限于 $1\ \Omega \sim 100\ \text{k}\Omega$ 中的电阻，而且测量误差也较大。对于阻值很小或很大（如绝缘电阻）的电阻，则要用电桥或兆欧表测量。

5. 电阻器的选用宜采用实物教学，可选择不同类型不同规格的电容器，先认识外形，再结合电阻值的测量了解电阻器的主要指标。

§ 1—3 欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

初中物理课讨论电压 U 、电流 I 、电阻 R 三者之间关系时，给出了欧姆定律，当时还强调，这里 U 、 I 、 R 三个量必须是表示同一段电路的三个物理量，而这一段电路是不包含电源的。为了与包含电源的全电路相区别，我们称其为部分电路。同时也把公式 $I=U/R$ 称为部分电路欧姆定律。引入了参考方向后，对欧姆定律的理解应提高一步。在教材图 1—23a 中，电压和电流方向相同，即为关联参考方向，所以欧姆定律的表达式为 $I=U/R$ ，而在教材图 1—23b 中，电压和电流方向相反，即为非关联参考方向，欧姆定律的表达式就应该改为 $I=-U/R$ 。

在实际应用中，常用纵坐标表示电流 I ，横坐标表示电压 U ，这样画出的图像称为导体的伏安特性曲线。某一金属导体在温度没有显著变化时，电阻可以看做是不变的，它的伏安特性曲

线是通过坐标原点的一条直线，具有这种伏安特性的电阻称为线性电阻。

欧姆定律是在金属导电的基础上总结出来的实验定律。实验表明，欧姆定律对电解液也适用，但对气态导体（如日光灯管、霓虹灯中的气体）和半导体元件就不适用。也就是说，在这种情况下电流与电压不成正比，具有这一特性的电阻称为非线性电阻。

2. 全电路欧姆定律

结合教材图 1—24，首先说明，所谓全电路就是包括电源的整个闭合电路。同时讲清内电路、内电阻、外电路、外电阻等概念，并复习电动势的概念。

全电路欧姆定律的内容直接给出，不需要进行理论推导。教材图 1—25 只作说明用，注意电路图上方图形与相应物理量的对应关系：与内电路（图中灰块部分）对应， E 为电源电动势， $U_{内} = Ir$ 为内电路的电压降；与外电路负载电阻 R 相对应， $U_{外} = IR$ 为外电路的电压降。图中 E 上升的高度与 $U_{内}$ 和 $U_{外}$ 下降的总高度相等，即 $E = IR + Ir = U_{内} + U_{外}$ 。

3. 电源的外特性

电源的端电压随负载变化而变化是一个重要的应用问题，讨论好这个问题既有助于加深对电源电动势的认识，对于理解和运用全电路欧姆定律也很有好处。讨论中要让学生弄清 E 和 r 是不变的量，通常负载电阻是自变量， I 、 U 是因变量。要引导学生掌握分析推理的逻辑顺序，运用公式变形来分析说明。例如，当负载电阻 R 增大时，分析过程如下：

$$R \uparrow \xrightarrow{I = E / (R + r)} I \downarrow \xrightarrow{U_{内} = Ir} U_{内} \downarrow \xrightarrow{U_{外} = E - U_{内}} U_{外} \uparrow \quad (U_{外} \text{ 即电源端电压})$$

讨论中还可举一些应用实例引导学生思考。例如，为什么在一些供电质量不太好的地区，傍晚用电多的时候，灯光发暗，而当夜深人静时，灯光特别明亮？为什么使用时间较长的干电池，用万用表测量电压并不为零，放入收音机中，却不能让收音机正

常发声?

利用全电路欧姆定律讨论电路的三种不同状态,是全电路欧姆定律的一个典型应用。可以利用讨论电源外特性的结论加以引申,说明断路是负载电阻 R 增大的特例 ($R \rightarrow \infty$),短路是负载电阻 R 减小的特例 ($R=0$)。

讨论中注意以下两个问题:

(1) 学生可能会误以为当电路断开时 $I=0$,由 $U=IR$ 便得出电源端电压为零的结论,这是错误的,因为 R 既已断开,电源端电压与 R 上的电压就不相等。实际上,当外电路断开时, I 变为零, Ir 也变为零,这时 $U=E$,即断路时候的电源端电压等于电源电动势,我们常根据这一特性测量电源电动势。

(2) 当电源两端短路时,外电路 $R=0$,电流 $I=E/r$ 。电阻内阻 r 一般都很小,例如,铅蓄电池的内阻只有 $0.005 \sim 0.1 \Omega$,干电池的内阻通常也不到 1Ω ,所以短路时电流很大。电流过大会烧坏电源,甚至引起火灾。因此,绝对不允许将电源两端用导线直接相连。有时为了某种需要,会将电气设备的某一部分短路,但并不是将电源短路,这一点需要注意。

为了避免学生产生误解,建议在上述两个问题的讨论中采用 $U=E-Ir$,而不用 $U_{\text{外}}=IR$ 。

电路三种状态的特点归纳如下表:

电路状态	负载电阻	电路电流	外电路电压
通路	R 为正常值	$I=E/(R+r)$	$U=E-Ir=IR$
断路	$R \rightarrow \infty$	$I=0$	$U=E$
短路	$R=0$	$I=E/r$	$U=0$

§ 1-4 电功与电功率

1. 电功

电流做功的过程,实质上就是将电能转化为其他形式的能的

过程。可先由学生就电能的转化充分举例，然后再进行归纳小结。直接给出 $W=UIt$ ，作为基本公式。介绍 W 的单位为焦，即 J，同时介绍另一个常用单位千瓦时，即 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，并可简要介绍电能表。

2. 电功率

电流在单位时间内所做的功称为电功率，所以由电功公式 $W=UIt$ ，直接就可以推出 $P=W/t=UI$ 。

由公式 $P=I^2R$ ，当电流 I 不变时，电阻的功率与电阻值成正比。

由公式 $P=U^2/R$ ，当电压 U 不变时，电阻的功率与电阻值成反比。

3. 电流的热效应

电能转化为哪一种形式的能，要看电路中具有哪种类型的元件。如电流经过纯电阻（如白炽灯、电炉）电路做功，电能就全部转化为热能，电流在这电路中所做的功 W 就等于这电路发出的热量 Q ，即 $Q=W=UIt$ ，根据欧姆定律 $U=IR$ ，又可得到 $Q=I^2Rt$ ，最后可以得到电功率（这时也可称热功率） $P=I^2R$ 。如果不是纯电阻电路，例如，电路负载为电动机，那么电能除了要转化成热能外，还转化为机械能，这时，利用 $P=I^2R$ 计算的结果只是电能转化为热能的那部分功率，要计算总功率还应该用 $P=UI$ ，电动机所做机械功的功率则为二者之差，即， $P_{\text{机}}=P_{\text{总}}-P_{\text{热}}=UI-I^2R$ 。

4. 负载的额定值

(1) 要着重讲清用电器的额定功率和实际功率的关系，强调只有当实际电压等于额定电压时，实际功率才等于额定功率，电气设备才能安全可靠、经济合理地工作。当实际电压大于额定电压时，通过电气设备的电流将大于额定电流，会影响电器使用寿命；而当实际电压小于额定电压时，也会导致电气设备不能正常工作。

(2) 在实际应用中,某些电器(如白炽灯)的电阻值与温度关系很大,但为了简化计算,通常都把它们电阻值作为定值来处理。此外,电气设备的额定值还与散热条件有关,如果通风散热条件很差,可能当实际功率还未超过额定功率时,设备即已因过热而不能正常工作了。

(3) 不能简单地认为“实际电压高或实际电流大的电器所产生的热量一定大(或发光强度一定高)”,应看功率的大小。例如,60 W/36 V 的白炽灯和 40 W/220 V 的白炽灯,当它们都分别处于正常状态时,虽然前者的电压比后者低,但前者却比后者亮。又如,60 W/36 V 的白炽灯和 100 W/220 V 的白炽灯,当它们都分别处于正常状态时,虽然前者实际电流比后者大(具体数值可由学生计算),但后者却比前者亮。

(4) 建议由学生广泛收集常用电器(如电烙铁、电饭煲、电冰箱、洗衣机、空调器、电动机等)的数据,进行比较,使学生增加对电功率的感性认识。

5. 负载获得最大功率的条件

全电路欧姆定律是讨论这一问题的基础,可依如下层次分析:

(1) 由 $E=Ir+IR$, 两边同乘以 I , 可得:

$$EI = I^2r + I^2R$$

式中, EI 为电源的功率, 即 $P = EI = E^2/(R+r)$ 。

(2) 分配给内电路的功率称为电源内阻消耗的功率, 即:

$$P_{\text{内}} = I^2r = rE^2/(R+r)^2$$

(3) 分配给外电路的功率称为电源输出功率, 即:

$$P_{\text{出}} = I^2R = RE^2/(R+r)^2$$

(4) 电源输出功率随外电路电阻变化的规律如下:

当外电路电阻小于电源内电阻时, 电源输出功率随外电路电阻的增大而增大。

当外电路电阻大于电源内电阻时, 电源输出功率随外电路电

阻的增大而减小。

当外电路电阻等于电源内电阻时，电源输出功率最大，其值为 $P_m = E^2/4r$ 。

必须说明，虽然这时输出功率最大，但是效率并不高，只有 50%。某一电路是否要求负载与电源匹配，要由电路的功能和性质来决定。

课程进行到这里，可以将电路中的主要物理量进行一次小结，帮助学生疏理和巩固所学的知识。

电路中的主要物理量

名称	符号	物理意义	国际单位制的单位及符号
电流	I	单位时间内通过导体横截面的电荷量 $I = \frac{Q}{t}$	安培 (A)
电压	U	电场力移动单位正电荷所做的功	伏特 (V)
电位	U	电路中某点与参考点之间的电压	伏特 (V)
电动势	E	非静电力把单位正电荷从电源的负极移到电源正极所做的功	伏特 (V)
电阻	R	导体对电流的阻碍作用 $R = \rho \frac{l}{S}$	欧姆 (Ω)
电能	W	电流在一段时间内所做的功 $W = UIt$	焦耳 (J)
电功率	P	电流在单位时间内所消耗的能量 $P = UI$	瓦特 (W)