

脑电描记法研究技术

Л. С. 索科洛娃
Л. И. 什凡格 著

科学出版社

脑电描記法研究技术

Л. С. 索科洛娃 Л. И. 什凡格 著

刘 普 和 譯

科 学 出 版 社

1 9 6 0

Л. С. СОКОЛОВА, Л. И. ШВАНГ
ТЕХНИКА
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Издательство Ленинградского Университета Ленинград, 1954

內 容 簡 介

书名虽为“脑电描記法研究技术”，但重点則放在示波法上。这样做的
原因是：一个电生理学工作者如果没有掌握示波法的复杂仪器及其应用原
理，其实验結果就难免没有生理学上和技术上的錯誤。而不懂得电的和无
綫电的基本知識，就不可能掌握电生理学的方法。只有牢固地掌握了这些
原理之后，才能独立地解决許多理論上和实际上的問題。基于上述原因，本
书作者用淺近的語言，从电子管的构造、整流、滤波、放大等基本知識起，一
步步深入到墨水的，迴綫的及电子射綫的示波器，直讲到脑电描記及其应注
意事項。此外，重視实际也是本书的特点。

对于具有一般电学知識的电生理工作者和医务工作者，这是一本很好
的参考书。

脑电描記法研究技术

Л. С. 索科洛娃 Л. И. 什凡格著
刘 普 和 譯

*

科学出版社出版 (北京朝阳門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1960 年 2 月第 一 版

书号：2082 字数：102,000

1960 年 2 月第一次印刷

开本：850×1168 1/32

(京) 0001—5,000

印张：4

定价：0.60 元

序

近年来在脑电描記法方面出版了“电生理学的研究方法”(谷略耶夫和茹柯夫, 1948), “我国脑电描記法的首批研究”(阿尔罕格斯基編于 1949), 和“临床脑电描記法”(楚貢諾夫¹⁾, 1950) 等三本书, 这几本书都试图按照电生理学的历史、技术和临床应用等主要部分, 把电生理学所积累的大量資料系統化。

熟知这几本书的生理学家, 特别是临床医生, 若事先沒有受到訓練, 則实际上几乎不可能从事示波法的研究。一般会遇到大量方法上的問題, 而这些問題只有从生理文集、杂志和技术文献中才能找到答案。

沃多拉茲斯基(Л. А. Водолазский)的“临床电描記法”(1952)一书对上述空白多少有所补充。在书中闡明了电生理学研究的原理, 基本仪器和輔助仪器的一般結構, 和其他許多問題。这本书对有訓練的讀者具有相当的价值。可惜, 书中很少討論那些最常遇到的仪器的具体結構和使用方法, 对于怎样进行活机体中电过程研究方面的工作, 則根本沒有談到。初学者諸如此类的困难驅使我們編写这本参考书, 书的重点放在示波法研究的实际方面。本书是根据对列宁格勒大学的学生、列宁格勒卫生医学院的研究生、苏联医学科学院妇产科研究所的工作人員开这一門課的講稿扩充而成。书中除了选自現有示波法文献的資料外, 还包括作者五年來在实验工作中所获得的一些实际知識。

鉴于需要用較多篇幅來說明示波法研究的实际方面, 因之作者决定对脑电描記法的基本实际知識只扼要叙述。

1) 谷略耶夫(П. И. Гуляев), 茹柯夫(И. К. Жуков), 阿尔罕格斯基(Г. В. Архангельский), 楚貢諾夫(С. А. Чугунов)。

緒論和前六章是什凡格 (Л. И. Шванг) 写的, 其余的是索科洛娃 (Л. С. Соколова) 写的。可能讀者在其工作中使用这本书时, 会发现遺漏和闡述不清楚的地方, 对一切建議和意見, 作者将不胜感謝。

目 录

序.....	(i)
緒論.....	(1)
第 一 章 人和动物机体中电現象的簡述.....	(6)
第 二 章 电子仪器中的物理現象.....	(11)
第 三 章 放大技术.....	(18)
第 四 章 放大器电源.....	(31)
第 五 章 记录仪器.....	(41)
一、墨水示波器	(41)
二、迴綫示波器	(54)
三、电子射綫示波器	(59)
第 六 章 照相记录装置.....	(76)
第 七 章 灵敏度校准器.....	(80)
第 八 章 示波法装置和研究对象的屏蔽.....	(87)
第 九 章 生物电势的导出.....	(89)
第 十 章 生物电势的记录.....	(93)
第十一章 照相材料及其加工.....	(95)
第十二章 示波图的分析.....	(106)
結 論.....	(115)
附录一 6 伏特酸性蓄电池的充电和維護須知.....	(116)
附录二 电极氯化須知.....	(117)
附录三 查明用示波法装置工作时的干扰以及消除最簡易 的錯誤.....	(117)
附录四 电生理研究步驟的順序.....	(118)
参考文献.....	(121)

緒 論

大家知道，人体和内外环境間复杂的相互关系是借中枢神經系統的高級部位来实现的，探求高級部位的工作需要采用各种各样的研究方法。

在用来研究完整人体(特別是在其自然活动条件下)的諸方法中，最重要的是巴甫洛夫的条件反射方法。而神經活动的电生理特征在研究大脑半球皮层的分析和綜合功能时，可以作为一种重要的补充。大量研究表明，由大脑記錄下来的电現象，是作为神經过程基础的新陈代谢的反映，同时还是皮层在各种内外作用下的反应的敏感指标。

神經活动机制的电生理研究之所以具有重大意义，更是因为它能够研究极短促時間內的神經过程，这是电生理学的重要优点之一。

到現在国内外生理学界都积累了大量的实际資料。示波法作为电生理研究中一种精細的新方法，对某些实验极有价值，已广泛渗入生理学和医学。如果能克服某些理論上和应用上的困难，这些困难在許多情况下往往限制了这种方法的使用，則在它前面展开着的将是更加广泛的使用場所。

所謂理論上的困难，首先是指我們关于生物电的发生及所得結果的診斷价值等方面的知識还很缺乏，当然經過坚忍不拔的系統的工作后，这些困难将得到克服。但是如果研究者沒有掌握示波法的复杂仪器及其使用时所应用的原理，那么問題还是没有解决。要所得到的結果沒有生理学上和技术上的錯誤，熟知实验方法是最重要的条件。

电生理学是一門研究活机体中的电現象的科学。其最重要部分——脑电描記法——則研究人和动物大脑的电現象。脑电描記

法是神經中枢机能状态的、及这种状态在回答反射和体液作用时所生变化的精細标志。

脑电描記法的特点是客观和提供証据。记录活組織的电現象老早就研究生理过程的一种基本和容易做到的方法。电动势的发生,即电势差的出現是兴奋的可以作为特征的标志,并且是非常重要的标志。

因之生理学家和临床医生在其工作中运用电生理方法时,就必须掌握这种方法。但是不懂得电的和无綫电技术的基本原理,就不可能掌握电生理的方法。只有牢固地掌握了这些原理之后,研究者才可能独立地解决許多理論上和实际上的問題。

每个活細胞是活机体中电能的泉源。

巴甫洛夫于1923年在“从大脑两半球皮层諸个别点的兴奋性的变化观点看皮层的特征”一文中写道,“整个皮层是紧密而乱杂地混在一起的、阳性和阴性的兴奋点的巨大复合体。在这些或多或少的固定起来的各个点的系統上当(有机体的——原书作者注)内外环境变动时,兴奋性也就发生变化……”¹⁾。器官或細胞的兴奋或受伤部位相对其休止或完整部位是帶負电的,也就是說兴奋或受伤部位的电势低于其休止或完整部位的电势。假如这时給一根神經或肌肉纖維接連一外电路,外电路包括电极、連綫和电流計,那末电流計指針的偏轉表示有电流通过,兴奋时的电流叫动作电流,损伤时的叫休止电流*(图1)。

如图所示,取一段肌肉纖維,当有兴奋波沿纖維流动时将其电势导出。如果刺激施于A点,則A点的电势低于未兴奋点B,因而产生了电流,在外电路的方向是由B向A。照相紙記下的电流計指針的偏轉在图中用向上綫段ab表示。当兴奋到达B点时(图2),电流停止,因整段纖維的电势相同。电流計指針回到原来位置,照相紙上的曲綫向下(綫段bc)。当整段組織兴奋时,记录

1) “巴甫洛夫全集”,第3卷,第2册,1952年俄文版第11頁。

* 有些生理学书上叫损伤电流——譯注。

是橫綫 oi (图 3)。当 A 点回到休止状态时, 电流向反方向流动 (綫段 id)。最后, 当整段都恢复休止状态时, 电流停止, 电流計指針回到零位 (图 4 綫段 de)。

量值极小是这种电动势的特点, 用一伏特的千分之一 (毫伏) 或百万分之一 (微伏) 量度。生物对象的另一特征是內阻大 (几万或几十万欧姆)。电振动的持續時間也很短 (十分之几或百分之几秒)。

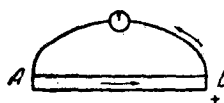


图 1 由肌肉纖維导出电势, 兴奋波由 A 向 B 运动

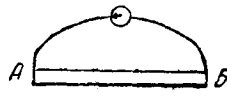
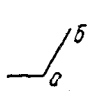


图 2 由肌肉纖維导出电势, 整段纖維兴奋

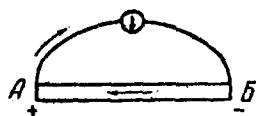
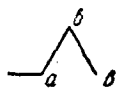


图 3 由肌肉纖維导出电势, 兴奋波由 B 向 A 运动*

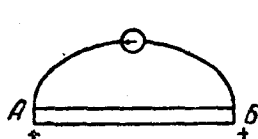
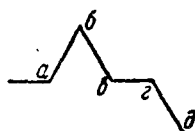
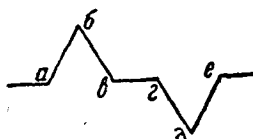


图 4 由肌肉纖維导出电势, 整段休止



在实际工作中多半会遇到的不是一根纖維 (肌肉的或神經的), 而是整个器官。在整个器官内分离的部分, 即分离的电源可能互相并联或串联。大家知道, 当电池串联时, 电池組的电动势等于各个电池电动势之和; 而并联时电池組的电动势則等于一个电池的电动势。在活組織中也有相同的關係。例如, 魚的电器官就

* 此时并没有兴奋波的运动, 而是整段纖維逐渐恢复休止状态, 可能說明有誤——譯注。

是串联的,它能发出高达 450 伏特的电压;最常见的并联是肌肉和神经。在这种情况下,应该考虑由整个神经(或整个肌肉)所导出的电势差低于所预料的价值,即低于由一根神经纤维所导出的电势差。这种现象说明存在着结缔组织膜和细胞间液,它们和神经纤维并联,因而起着分路电阻¹⁾的作用,我们知道,并联时总电阻会小些。

由此可见,整个器官所发出的电动势*低于单个细胞的电动势,因为整个器官的电阻低于单个细胞的电阻。

在研究人的生物电现象时,特别是在研究脑电流时,应注意皮肤的导电性,因为脑电图的记录一般是通过未损伤皮肤进行的。

各种活组织导电性的研究指出,活组织不仅有欧姆电阻(有功电阻),还有容抗(无功电阻)。现今常用图 5 所示的电路来表示组织(如皮肤)的整个电阻,电路中的电容既和电阻并联又和它串联。

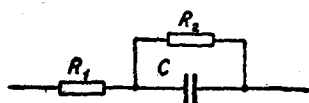


图 5 皮肤整个电阻的电路图
说明见正文

皮肤电阻主要决定于两个具有不同生理作用的因素——发汗和皮脂腺分泌。发汗多则皮肤电阻变

小,而皮脂腺分泌多则电阻变大。第二因素在记录脑电图时特别显著,因头的多髮部分含有大量的皮脂腺。

皮肤电阻还决定于施于皮肤电流强度的变化。应注意,皮肤电阻不是常数,其大小决定于作用电流的量值、频率和形态。这些是影响皮肤电阻的外因,其项目还可以列举下来。皮肤电阻可变的另一原因是,皮肤电阻还和机体的整个机能状态有关。

当电流通过皮肤时,物理-化学状态有变化。发生了所谓极化电动势,其方向和外加电动势方向相反,因而影响皮肤电阻的增长。极化电动势能改变通过皮肤的直流电和交流电的特征。在直流电情况下,皮肤电阻主要是欧姆电阻(图 5 中 R_1 和 R_2);在交流电

1) 在电工技术中,将一电路和某一电路或仪器并联以导出其中的部分电流,这电路叫分路。

* 电动势恐系电势差之误,本书对电动势、电势差、电压等术语使用不严格,以下将照原文译,不再注明。

情況下,还应加上容抗。

交流电路中的电容(C)将使电压和电流間出現所謂周相差,換句話說,即电流在時間上比电压超前。在皮肤中也看到类似的現象。并且极化电动势*越大,周相差就越大;欧姆电阻越小,周相差也越小。

大家知道,带电电容器的电动势和电路中充电电压的方向相反。电路中的現象和組織中的电現象之間的显著相似性导致組織电容器的概念。不过这种电容器多少有些漏电,其漏电电阻在图5中用 R_2 表示。应注意,容抗和通过电容交流电的頻率成反比。

如上所述,皮肤的导电率很小,它的这种特性要求自动記錄器(更准确些——放大器)有較大的輸入电阻。此时进入放大器的分路电流小,待研究过程和記錄过程間的周相差不显著并与过程的頻率无关。

由上述生物对象的特点看来,对供研究生物电現象的記錄仪器,須提出某些确定的要求,因之示波法的历史是和电生理技术的发展紧密联系着的。

* 此处极化电动势比物理学中的有更广泛的意义——譯注。

第一章 人和动物机体中电現象的簡述

生理學歷史証實我國學者在生理學發展上曾作出巨大的貢獻。謝切諾夫、巴甫洛夫、維金斯基(Н. Е. Введенский)、烏赫湯姆斯基(А. А. Ухтомский)和其他許多人曾用新的非常寶貴的事實豐富了生理學,特別是中枢神經系統生理學;人和動物高級神經活動生理學。他們為神經系統的活動和意義的現代概念奠定了牢固的基礎。

在示波法方面,特別是在腦電描記法(電生理學的最重要部分)方面,許多基本發現都是俄國學者作出的,並遠遠超過國外科學界。但俄國研究者的著作卻幾乎是默默無聞的,原因是刊載這些著作的出版物的發行量小,但主要是由於外國學者的故意置之不理。

關於生物電現象的起源這一和興奮本性問題緊密聯着的問題,雖已有百年的歷史,但至今仍是最複雜問題之一。在19世紀前半葉,關於神經沖動的本性已有片斷的報導,隨後有許多研究者,主要是外國研究者,開始把神經現象和電現象混為一談。持有不同見解的是俄國科學界某些杰出代表人物,如菲羅馬菲脫斯基(А. М. Филомафитский),他寫道,“雖然有許多生理學家,特別是英國生理學家,陶醉於活神經的活動方式同電的顯著相似性,從而認為二者就是同一因素。但是許多生理學家所做過的有決定性意義的實驗,這些實驗並為許多人一再成功地重復過,毫無疑問地指出,電和神經活動方式是完全不同的因素”。

索科洛夫斯基(А. А. Соколовский)曾在其著作中提出當時是嶄新而富有興趣的問題,例如,他在“用杜薄-雷蒙(Du Bois-Reymond)理論說明不同實物對神經系統的作用”一文中就曾提到生物電現象對新陳代謝的依賴性。

1869年因研究魚的電器官而稱著的巴布亨(А. И. Бабухин),他堅持和外國作者相反的意見,斷言“神經力”不是象物理學所理解的那樣的電能,而是一種“特殊形式的運動”。

由此可見,早在19世紀前半葉,菲羅馬菲脫斯基、索科洛夫斯基、巴布亨等俄國學者就已經反對把神經過程和電過程混為一談。

到上世紀90年代,杜薄-雷蒙的分子學說已得到傳播,它代替了赫爾曼(Hermann)的變異學說。只是在1896年察高維茨(В. Ю. Чаговец)發表了一篇論文,在這篇文章中我們看到了關於神經興奮的物理-化學法則的現代觀念的萌芽,察高維茨把興奮的基本作用歸之于氧化過程和形成二氧化碳的過程。這些過程引起了離子的轉移,從而產生了擴散電勢差。

1901年出現了柏爾斯坦(Bernstein)的薄膜學說,這學說現已大大動搖。從1899到1905年期間列布(Леб)發表了許多篇文章,論及單價和雙價離子對於興奮過程的作用;享有較大聲譽的是拉札烈夫(П. П. Лазарев)的離子學說(1912—1922)及其他。

許多作者(主要是我國作者)曾仔細研究過興奮時所發生的最密切的過程,由他們的大量工作中可得出如下的結論:“……引起電活動性的過程是很多的,但所有這些過程歸根到底都和非常複雜及善于運動的細胞代謝的酶過程有聯繫,在這些過程中起着主要作用的是細胞酶和類激素實物,如乙酰膽鹼、組織胺、三磷酸腺甙等等……”。

現在毫無疑問,化學過程是產生電勢差的原因,在這些過程中發生了電子的轉移以及細胞微膠粒極化的變化。

杜薄-雷蒙在1848年指出,腦的橫截面相對其表面是帶負電的,此後在1875年克統(Кэтон)確定,大腦皮層的興奮部分和處於安靜狀態部分相較呈負電性。

達尼列夫斯基(В. Я. Данилевский)於1876年首先研究神經系統在其功能狀態發生變化時的電現象,他借着刺激周圍神經系統的方法,研究了大腦皮層的活動性。達氏在其工作中所用的是杜薄-雷蒙電流計,這儀器由一個磁針和一綫圈組成,沿綫圈流

动的是待研究的生物电流。这仪器既没有足够的灵敏度，也没有足够的活动性，但当时缺乏更完善的仪器。尽管如此，达氏还是对注射过箭毒素的狗作过实验并确定；和大脑皮层活动联系着的其电活动性是兴奋状态的标志。达氏写道，“脑的电动机过程的研究应是中枢神经系统生理学最重要任务之一，因为它们性质上的确定变化可以作为脑的某一确定部位处于兴奋状态的标志。现在不必怀疑；大脑的‘电动机探索’使我们能够用准确的方法研究神经生理过程的物质基础，并对神经细胞确定类似神经纤维所具有兴奋规律”。

謝切諾夫于1882年証明蛙延髓的电活动有节律性，用他的研究能推測中枢神经系统中的兴奋和抑制过程并研究它们的本性。謝氏在其研究中用过罗盘，但只是由于他的高超实验技术才使他有可能会确定新的规律性。

維金斯基于1884年証实了这些规律性。他用的是自己拟定的电话研究方法。在这种情况下，电话机中听到的短而低的声音相当于神经中枢的自发电振动，这种电振动謝切諾夫也观察过。当刺激周围神经时则听到的是类似重物滚动的声音。

維里高(Б. Ф. Вериге)于1889年用电生理方法証明，蛙脊髓在反射运动中对腰和肱骨的肥大起着主导作用。米斯拉夫斯基(Н. А. Миславский)的独创工作証实了脊髓中枢在传导上的单向性，当刺激蛙的脚掌或坐骨神经时，米氏观察到蛙脊髓的负性振动，若切除后根或刺激前根，则振动停止。拉里昂諾夫(В. Е. Ларионов)根据自己的工作于1899年作出如下的結論：即电势的振动“表明当感觉器官有所感觉时在大脑中发生了物质的变化”。特里夫斯(С. А. Тривус, 1900)的工作，特别是卡烏弗曼(П. Ю. Кауфман)的工作是很惹人注目的。卡氏于1912年发表了大量的論文，他得到如下的結論：第一，脑电势与其生理活动有联系；第二，可能不损伤脑盖而引出脑电流。卡氏研究了在血液循环发生变化、血液中二氧化碳浓度发生变化、大脑皮层受到破坏等情况下的脑电势，他还研究了麻醉、癫痫发作、刺激感觉神经等对脑电势

的影响。此外,他阐明了“脑电流的随意振动”,这些振动把它们自己和脑的内在活动联系起来。最后,卡氏根据自己的研究完全正确地预言,脑电生理学将要获得独特的重要性。

俄国学者,从維里高起到卡烏弗曼止,在他們的电生理学研究工作中都使用鏡式电流計。这种仪器虽有足够高的灵敏度,但和电流計及罗盘一样,还没有达到足够完善的程度。鏡式电流計的主要缺点是它具有較大的慣性,其工作原理基于永久磁鉄的磁場和綫圈磁場的相互作用,后一磁場是待测电流通过綫圈时建立的。毛細管靜电計也不能作出令人滿意的結果。絃綫电流計的发明以及在生理学实践中引用絃綫电流計是向前跨进了一大步,其特点是相当高的灵敏度和活动性,其作用也是基于永久磁鉄的磁場和交变磁場相互作用原理。絃綫电流計和鏡式电流計的差别在于:第一,在前者中,交变磁場是由于待测电流通过絃綫时建立的,而在后者中则是通过綫圈;第二,在前一情况下,記錄下来的是投到照相紙上的阴影,在后一情况下,記錄下来的是由电流計小鏡反射到照相紙上的光綫。弦綫电流計的較高灵敏度和活动性在电生理学的发展上起着很大的作用。

布拉甫济奇-尼明斯基(В. В. Правдич-Неминский)于1913年然后在1925年用絃綫电流計記下狗的大脑皮层的电势,他把这記錄叫脑电图(электроцеребротрам),他仔細地分析过所得到的曲綫,发现可以作特征的頻率成分,后来被称为 α 波, β 波和 δ 波,由此可見,布氏为現代脑电描記法奠定了基础。只是由于当时絃綫电流計还不够完善,他才沒有着手研究人的脑电势振动。

柏格(Berger)于1929年記下人的第一张脑电图,从而为临床脑电描記法奠定了基础。

近年来,随着放大技术的发展以及它們在生理学上的应用,因之有可能利用灵敏度低然而实际上沒有慣性的記錄仪器。現在和放大系数大的放大器一道使用的有墨水的、迴綫的¹⁾、电子射綫的

1) “迴綫”和“迴綫示波器”等术语現今都为“振荡器”及“电磁示波器”等术语所代替。

等三种形式的自动记录器，前两种(特别是墨水示波器)还有点惯性，第三种则实际上没有惯性。

电生理技术的发展引起电生理研究进一步的成长。葛利柯夫(Н. В. Голиков)，里瓦诺夫(М. Н. Ливанов)，柯岗(А. Б. Коган)，楚贡诺夫(С. А. Чугунов)，鲁信诺夫(В. С. Русинов)，拉普捷夫(И. И. Лоптев)以及其他许多苏联学者，继承我国研究先驱者的传统，正在有成效地利用电生理学的方法来研究活机体活动的最复杂的机制。

第二章 电子仪器中的物理现象

为了更好地理解示波法装置组成部件的结构和作用原理,首先必须仔细研究电子管的结构及其中所进行的基本过程,因为电子管是任何电子仪器最重要的元件。

每一个电子管(图6)都是个玻璃(或金属)泡,其中至少有两个电极——阳极和阴极,它们之所以这样称呼,因阳极连于电源的正极,而阴极连于负极。阴极是绕灯丝(在直热式中阴极又叫丝极),或是由灯丝围以两个圆筒组成,首先是瓷筒,然后是金属筒,金属表面积有一层特别的盐。当灯丝中通有电流并将它自己和两筒烧红时,这层盐就发射电子。这种阴极叫傍热式阴极。

阳极可能是一个套在阴极之外的金属筒,或具有平板形。

应指出,对于供整流和放大用的电子管,一般都将其内部空气很仔细地抽空。

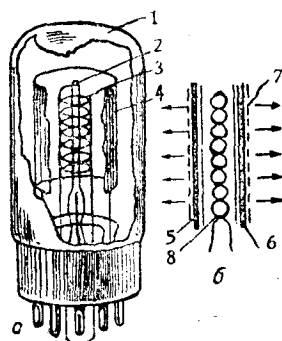


图6 三极电子管(a)和其阴极
1—玻璃泡, 2—阴极, 3—栅极,
4—阳极, 5—瓷筒, 6—镍筒,
7—氧化物质层, 8—灯丝

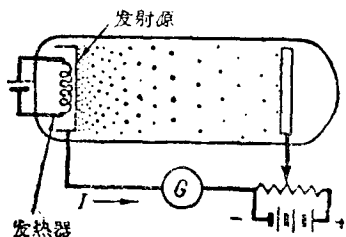


图7 有两极的电子管中的物理现象
说明见正文

现讨论两极——阳极和阴极——电子管中所发生的现象(图7)。如果将两极电子管、蓄电池、电流计和连线接成如图7所示的电路,则热阴极是电子源(热电子发射现象),电子趋向连于蓄电池正极的阳极(带负电的电子为带正电的阳