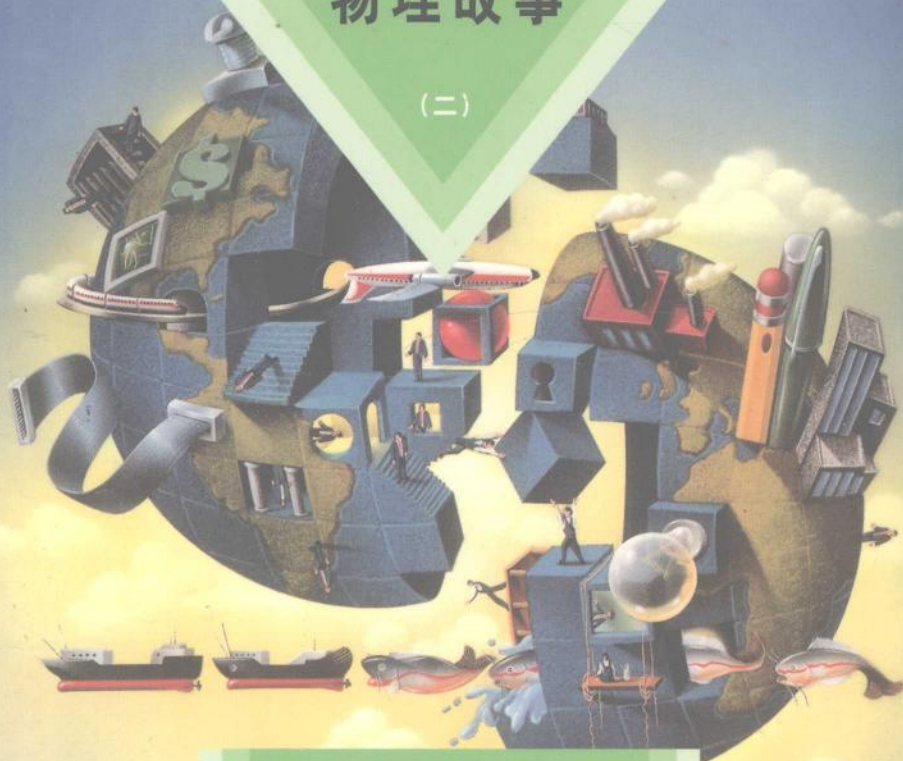


SHIJIE JINGDIAN KEXUE GUSHI

世界经典科学故事¹⁸

物理故事

(二)



本书编写组 编

中国和平出版社

N49

358/(2)

故事

物理故事

(二)

本书编写组 编

中国和平出版社

避雷针的原理

避雷针的发明是人类在电学研究为生活和生产服务的第一个实例。下面我们通过做一个小实验来了解避雷针的工作原理。器材是木柄铁锤一把、塑料唱片一张。

实验过程是：先用绒布摩擦唱片，使唱片带上大量电荷。当带电的唱片（代表带电云）从放置在地面上的铁锤（代表建筑物）上方经过，唱片会被铁锤吸引并发出放电火花。倘若在锤子上竖起一根针，放电现象就不能发生了。这是由于当带负电荷的唱片放置在铁锤的上方时，由于静电感应的缘故，铁锤上汇聚起相当数量的正电荷。带着异种电荷的唱片和铁锤靠近时，就会发生剧烈的放电，迸射出火花来。当铁锤上竖起尖针时，锤上汇聚的正电荷可以通过针的尖端放电，跑到空中去与唱片上带的负电荷中和，减弱了电场强度，因而避免了剧烈的放电发生。

雷电是地球上最普遍的一种自然现象。整个地球表面平均每秒钟有 100 余次闪电。闪电的中心温度可高达 17000°C — 25000°C ，并在 $1\mu\text{s}$ 到 $1/10$ 秒之内释放出几百万至上亿焦耳的能量……一次长距离的闪电要经历 50 次左右的转折才落到地面上，在空中留下了一条蜿蜒曲折的轨迹。闪电时电流的颠峰值可达一万安培，给地球带来 5 库仑电量。闪电的形状有树枝状、片状、条状、球状和串珠状。其中以少见的球状闪电最引起科学家们的极大兴趣。19 世纪有人做过



1000 余次闪电观测纪录,然后报道:“这种火球直径大部分在 10—20 厘米,但也有小于 1 厘米,大至 10 米的。颜色多种多样,最普遍的是橙、红、黄三种。它顺着弯折的路径飘忽不定。移动速度比较慢,存在的时间在 1 到 5 秒之间。火球在消失的时候会发生猛烈的爆炸,具有极大的破坏力。1989 年 8 月 15 日我国青岛黄岛油库就由于球状闪电的袭击引起储油罐大爆炸。近年来科学家对球状闪电的成因,提出了很多假设和猜想。美国科学家在北美大草原陨石观测网观测了 12 万张闪电照片后认为球状闪电是从一般闪电的末端分离出来的,球状闪电是“被激发的亚稳定态分子和等离子体的凝结块”。

避雷针的发明至今已有 240 余年的历史了,因为它的保护使万千幢高楼大厦摆脱了雷电的威胁,因此为人类的繁荣和文明作出了巨大贡献。然而富兰克林发明的尖端避雷针并不是十全十美,它的效果不算太理想,并不能绝对预防闪电袭击。起初大家把这种失败归之于接地不好,或顶端不尖。后来英王乔治三世命令英国使用顶部为球状的避雷针,法国人就把避雷针的头部制成圆锥形。而美国则始终坚持使用富氏尖头避雷针,在 1977 年 7 月 13 日晚,美国纽约市遭到雷击,5 条负载 34 万 5 千伏的电缆全部都被闪电切断,整个西北地区停电达 26 小时,这一重大事故引起了美国科学家对避雷装置更新换代的重视。据《纽约时报》报道,今天美国使用的新型避雷针外形好像鸡毛掸子,它的中心是一根管子,顶端引出 2000 条细细的导线,导线呈辐射状,它可以驱散汇聚在建筑物四周的静电荷,有极强的避免形成闪电的能力。我国解广润教授发明的半导体消雷器也是一种新型的避雷装置。当建筑物上空笼罩着带电云层时,消雷器会发出 1 米高的电晕火



花,直冲云层与天空里的电中和。万一雷击发生,消雷器上的开关装置就可将巨大的电流挡住,从而保护了建筑物。

我们聪明的祖先远在西方以前就发明了避雷装置,并且在实践中应用。据《后汉书》记载,一次当时的重要宫殿未央宫和柏梁台遭雷电袭击发生火灾没多久,就有一位名叫“勇之”的方士向汉武帝建议,在宫殿的屋脊上安装“鸱鱼”来防止灾难。此后两千年来,我国古建筑的屋脊上大部分安装了这一类金属瓦饰,有的是龙、有的是雄鸡和飞鱼。虽然它们各种各样,却都有尖状物指向天空。尽管没有引导线与地面连接,但大雨淋湿的墙壁和屋檐,自然起到了接地的作用。由于这类瓦饰高于建筑物之上,即使是猛烈的落地雷,也一般只是击毁了瓦饰而保全了建筑物主体。

大概在三国时期,工匠们已意识到接地的重要性,他们在建造远远高于一般建筑的古塔时,顶部安装了钢铁制造的“葫芦串”,自然着眼于避雷的目的。而且还把它与敷了金属粉末容易导电的塔心柱连接起来,柱的下端又设置了贮藏金属的龙窟,组成了一套非常完整的避雷装置。例如江苏省高淳县的保圣寺塔始建于公元 229 年的三国时期,塔高 31.5 米,远远高于四周的建筑群,由于塔顶安装了 4 米高的铁制古刹,由覆钵、宝葫芦和相轮等部分组成,至今历经千年风雨而从没有遭雷击。明代,由金属杆、接地线组成的完好无损的避雷装置也出现了。1688 年西方传教士马卡连来华,在《中国札记》上写道:“中国有些建筑物的屋顶上有一种叫做龙的装饰物,它头部仰向天空,张着嘴。这些怪物向上伸出的舌头是根尖端的金属芯子,另一端和埋在地下的金属相连接,能让雷电跑到地面去而不损伤建筑物。”就照这位西方人的记载来算,也要比富兰克林早了 70 多年!

电流与伽伐尼

所有事物都具有这样的特点,运动着的客体都要比它处于相对静止时,更能显示出它的本质和丰富多彩的性质。所以,电流的发现不只是对电荷本身认识有质的飞跃,开拓了一个动电学的新领域,而且也打开了探索电现象与别的物理现象内在联系的大门。

最先发现电流的是意大利波洛尼亚大学的解剖学教授伽伐尼。大概在 1780 年,他和助手作解剖青蛙实验的时候,意外地发现用解剖刀具与蛙体神经相接触时,有时会发现蛙腿抽动的现象。最初认为这也许与附近的起电机有关,于是又变换了条件,把起电机拿走了,用铁和铜的器械去接触蛙体神经,也同样产生抽动现象。后来又考虑到可能是空中外来电引起的,因此避开雷雨天,在密闭的房间中,同样有时也出现这种现象。最后,又用各种非金属的用具做实验,却不能看到上述现象。这样反复作了上百次实验,连续观察 6 年之久,伽伐尼才下了结论。他认为:电来自蛙体的神经,而两种金属的导体只不过起传导作用。他把这种电称之为“动物电”,并公开在波洛尼亚大学 1791—1792 年的工作纪要上发表了。从 1780 年开始发现电流现象到正式发表,前后经历了十几年,这充分说明了伽伐尼严谨治学的态度。尽管当时对这种现象的本质还不特别清楚,但这种现象却出乎意料地引起了科学



界的关注。引起了广泛的注意,纷纷进行有关研究与实验。

伽伐尼的发现也引起了他的好友意大利物理学教授亚历山得罗·伏打的注意。他首先做了大量的重复性实验,他发现用不同金属接触动物不光是引起神经的运动,而且还会引起视觉和味觉的效应。例如,用一根由两种金属构成的弯杆,其两头分别与头部和上颚接触的瞬间,会使眼睛有光亮的感觉;又例如,用舌头舔一个金币和银币,如将两者接触在一起,会产生一种酸味。于是,他联想到瑞士的苏尔查在 1762 年向柏林科学院提交的一篇题为《愉快和不愉快感觉理论》论文中,谈到铝和银金属小片与舌头接触时,会使人感到有一种硫酸铁的味道。于是,他提出电来自两种金属,而湿润的动物体,只是起着传导作用的主张。同时,他建议伽伐尼所发现的电流,不要称为“动物电”,而应称做“金属电”。他为了尊重伽伐尼最先发现权,他将这种电流称之为“伽伐尼电流”。虽然对电流的来源有不同的看法,但电流的客观存在则是两个人取得的共同结论。

发现电流的过程表明,一些重大的发现往往是偶然的,这就要求从事科学研究的人员,要具有严谨的科学态度和细致的工作作风,才能及时发现这种偶然出现的现象,才能从偶然现象里,去追寻现象间的必然联系。

电灯与爱迪生

1879年10月22日的深夜时分,万籁俱寂,一片漆黑。而美国新泽西门罗公园的实验室里却洋溢着一片欢乐。房间里一群衣衫不整的青年人正聚精会神地注视着桌上一盏明亮、可爱的白炽灯——世界上第一盏不是“昙花一现”的白炽灯。它已经亮了接近40个小时了,大家虽然都很疲劳,但谁也不肯去休息。一个个都喜笑颜开,“老头子,我们真的成功了!”突然有人兴奋地说。这位被大家称呼为“老头子”的人就是发明大王爱迪生。其实他只有30多岁。爱迪生点点头,不由得热泪盈眶。几年来他为了发明白炽灯,经常连续工作,有时甚至连续5个昼夜都不合眼。查资料光笔记就记了400册。寻找做灯丝的材料,先后作了1600多种试验,甚至连朋友的红胡子都拔下来试过了,可是还是没有成功。他耗费了很多精力用炭化的纸条做灯丝的那只白炽灯,一共只亮了8分钟,但在爱迪生的眼里失败只是走向成功的起点,他最喜欢说这样一句话:“天才是血汗和灵感的结合。”

几天前的一个晚上,他独自一人坐在实验室里,默默地思考着这上万次失败的教训,桌上正好放了一堆从煤油灯罩上刮下来的油烟(是一种未经充分燃烧的碳)。他不经意地拿在手里搓揉,不知不觉就搓成了一条细线。突然一个灵感在他脑中出现:这不就是一种碳丝吗?啊!用棉线烧出的碳丝不



就可以当灯线吗？爱迪生心里一热，马上让助手找来了棉线。他把棉线放在一个镍制的模型里，送到高温密闭的炉中加热，当炉内温度升到摄氏 800 度时，棉线就被烤成一根碳线。可是这种细碳丝实在太脆弱了，一碰就断，于是烧了断，断了再烧新的。就这样，爱迪生和助手们一直连续工作了整整 3 天，终于在玻璃工的帮助下，把一根碳化后的棉线，顺利地装到灯泡里。这时爱迪生命令所有的助手们好好睡一觉。10 月 21 日的清晨爱迪生在二楼实验室将助手召集在一起，开始发起这场光明向黑暗的决战。一位助手先用性能良好的抽气机抽出灯泡里的空气，再把抽气口封闭好，接通电流，灯泡亮了。一小时、二小时、五个小时过去了，那明亮的光辉还没有一点收退的迹象，所有人终于忍不住地欢笑起来。

45 小时后灯灭了，爱迪生与他的助手们流着热泪拥抱在一起。高兴之后，爱迪生拿过记事本在上面写了一行醒目大字：“1879 年 10 月 21 日，灯泡寿命 45 小时。下个目标——1000 小时。”后来爱迪生依据棉线的性质，集中力量考察了大量植物纤维的性能，先后试用了 6000 多种植物纤维，最终在 1880 年初春，发现用竹丝烧成的碳丝来做灯丝，电灯亮了 1200 小时(50 天)，巨大的成功使爱迪生格外激动，他马上派人跑遍东方各国采集材料，大量制造灯泡，供应市场。1882 年，爱迪生在纽约建立了首家发电站，从此人类在白炽灯的光明中，开始了新的生活。

碳丝灯泡太脆弱，略有震动灯丝就会断裂。到 1910 年美国库利奇发明用钨丝来做灯丝，这就是如今的白炽灯。早期的钨丝灯泡里面是真空，用不了多久，玻璃泡里就发黑，灯丝也断了。原来钨丝受热后，钨原子蒸发跑到了玻璃泡上，灯



丝逐渐变细,最后就断了。为了使灯泡寿命长一些,只好将灯丝的温度降低一些,这时灯丝把大部分电能都转化为热能,只有小部分转化为光,所以灯很暗。1913年一位熟悉化工材料的工程师想到将碘元素涂在玻璃泡的内壁,制成了碘钨灯。在高温下从灯丝蒸发出来的钨蒸气会与涂在泡壁上的碘化合,生成碘化钨。但是碘化钨不稳定,它经不住 1400°C 的高温,于是再分解,这样钨就会重新回到灯丝上来。在碘的作用下,钨的蒸发处在一种动态平衡的状态,灯泡的寿命便大大延长了。但美中不足的是碘蒸气带紫红色。后来专家们用溴、氟、氯等卤族元素来代替碘,制成了形形色色的卤钨灯。卤钨灯能发出强光,拍摄电视和电影都离不开它。

1901年法国化学家克洛德发明了一种不用灯丝的新光源,就是把正、负电极装进充有氖气的玻璃管里,电极之间放起电来,氖气的原子受到激发,发出明亮的红光。氖灯是最早的霓虹灯,霓虹灯内充上不同的气体,就会放出各种色彩的光,把城市的夜晚点缀得五光十色。

1939年德国人又发明了一种新型的荧光灯。在玻璃管的内壁涂上荧光粉,荧光粉有一种本领,当紫外线照到管壁的荧光粉上时,灯管便会发出类似日光颜色的光,所以也叫它“日光灯”。它是一种“冷”光源,发光效率相当于白炽灯的四倍,工作时稍有微热,光线的分布也挺均匀。是家庭里使用的一种理想光源。50年代科学家又在荧光粉里掺入钨酸钇,同时加大了灯管里空气的压力,制成了高压汞灯,最大限度地把紫外线转变为可见光,功率可以达到几千瓦。

60年代复旦大学蔡祖泉教授发明了长弧氙灯。它的两个电极相距100毫米以上,在高频脉冲电流的作用下,灯管内

火花放电的同时产生大批量的电子、离子形成弧光放电。它功率大、亮度强。最大的长弧氙灯功率有几十千瓦,用一只5千瓦的长弧氙灯相当于一千只100瓦的日光灯哩,难怪大家称它是“小太阳”。

伏打与电池

把两根材料不同的金属线一端焊接起来,组成一根长金属导线。导线的一端放进嘴里,另一端跟眼睛的上方接触,在接触的瞬間,眼睛能够感觉到光亮闪烁。

将一片银元和一个铜钱夹放舌头的上、下面,然后用导线把它们连接起来,舌头会感到有些麻木和酸味。

伏打认为实验中产生的“光亮”和“酸味”,都是因为电刺激了神经而产生的反应。上面所讲的实验里既没有青蛙腿,也没有动物的肌肉,这电又从哪里来的呢?电的来源只有一种可能:两种不同金属的接触。它才起到了真正莱顿瓶的作用,而蛙腿的抽搐仅仅是电刺激的一种表现,就如眼看见的光亮和舌尝到的酸味一样。为了证实自己的设想,他用一种金属代替伽伐尼实验中的铁杆和铜勺,重复“蛙腿”实验。结果蛙腿的抽搐、收缩差不多完全消失了。于是伏打宣称在伽伐尼实验中所发现的电流不应该叫“动物电”,而应该叫“接触电”或“金属电”。伏打的观点得到了法国科学家库仑等电学专家的大力支持,却受到生理学家洪堡等人的反对。围绕着“动物电”和“接触电”的学术争论居然延续了几十年之久。

伏打坚信自己的观点,决心要用事实来说话。经过7年含辛茹苦的钻研,1794年他在“接触电”的研究上又取得了新的突破。他提出了一种序列:铝、锌、锡、镉、铅、锑、铋、汞、铁、

铜、银、金、铂、铍等。只要把序列前面的金属与后面的金属相互连接在一起,前者带正电,后者带负电。同时他还发现把不同的金属浸入电解液中时,也会产生电流。

1800年6月26日在伦敦皇家学会的演讲大厅里,伏打向大家介绍了由他发明的新仪器,这种新仪器由17枚银币和17块锌片组成。他把一枚银币和一块锌片叠放起来,片与片之间隔了一层浸透了盐水的马粪纸。如果把34片小圆片叠起来也有几十厘米高。然后在顶、底两片金属片引出两根导线,令人惊异的是这些天天看到的银币和锌片叠放起来以后,果然产生了电。当把两根引线的端点靠近时,也响起了噼啪声,迸发出火花来。伏打认为如果用30、40、50或更多的铜片和锌片,最好是用银片来做实验,效果会更佳。它产生的电击虽然在爆炸声和火花的强弱和放电的距离也许比莱顿瓶要稍差一点,但它的优点却是莱顿瓶不能和它相比的。它不需要依靠外界的电来预先充电,只要我们一碰它,它就能产生电击,而且不论碰它的次数是多么频繁……从此伏打名扬四海,大家把这种新仪器称为“伏打电堆”。欧洲的科学杂志上也开始长篇大论地报告和介绍这种“电堆”。很多学者也想试制这种新玩意儿。俄国科学院彼得罗夫院士,别出心裁,竟用4200片金属片叠放起了这个“伏打电池”之最。

1801年10月伏打应法国科学院的邀请来巴黎进行演讲。这回在讲台上放的不是电堆,却是几只小碗,碗里盛了盐水,他在每只小碗里浸入一片锌片和一片铜片,然后再用导线将它们串联起来,他边安装边解释:“这种装置叫做‘怀冕’,比以前的电堆更好,因为金属不放电、竖起来放时,不会被腐蚀,寿命可以长得多。”在这次演讲中伏打受到拿破仑的接见,并授



予他一枚金质奖章。

伏打虽然在实验上取得了显赫的成果,可是他的“接触电”理论却是不正确的。他认为只要两种金属接触就能产生电,显然违反了能量守恒定律。伏打电堆中产生的电流是由于电解液内部发生了化学反应,是由化学能转化成了电能。

伏打的发明和实验使大家对电的认识产生了一个飞跃,跳出了“静电”的领域。现在人们知道的不光只是摩擦引起的树脂电和玻璃电,以及雷雨时云层带的电,莱顿瓶里储藏的电,也并非动物电,而是一种能控制的流动的电。伏打电池就给人们提供了产生电的装置。不久,法国化学家盖·吕萨克改进了伏打电池:在一个大木槽里,每隔一定距离开出一条槽沟,把两种不同的金属片按间隔顺序插入槽沟内,然后在槽里注入硫酸溶液。著名化学家戴维利用这种低效电池发现了十几种化学元素。大科学家法拉第用它发现了电解定律。而霍耳用它发明了电解法生产出铝。伏打电池在历史上的功绩还挺大呢!

如今,我们在实验室里看到的是传统的铅酸蓄电池。它用铅和二氧化铅组成电偶,而电解质是硫酸。60年代美、英等国的科学家开始试制用液态钠(阳极)和液态硫(阴性)做电极,中间用固体物质(电解质)隔开,制成钠-硫酸电池,它的寿命要大大超过3000个充放电周期,每磅电池发电能力也比传统铅酸蓄电池高6.3倍,缺点是安全性能比较差。80年代美国有很多家公司研制用锂合金作阳极、硫化铁作阴极,以氯化锂和氯化钾混合液为电解液。在实验室里这种蓄电池能够连续发电5000小时。

在宇宙飞船上使用的是一种燃料电池。这种电池正、负极



之间并不存在电解液,而是传递离子。这种离子是内部的燃料在燃烧的时候产生的。一般的燃料是氧与氢的混合物。只要给蓄电池供应充分的特种燃料和水,它就可以不停地工作而不需要充电。现在美国正在建造规模巨大的燃料电池堆,为市区供电。

欧姆与电阻

欧姆出生在德国巴伐利亚州，父亲是个技术熟练的锁匠，还爱好哲学和数学。父亲对他的技术启蒙，使欧姆养成了勤于动手的好习惯，他心灵手巧，无论做什么都像样。物理是一门实验学科，倘若只会动脑不会动手，那么就如同是用一条腿走路，走不快也走不远。欧姆有这一手好手艺，钳工、木工、车工样样都能来一手，这是他取得成功的一个重要条件。欧姆自幼就有很高的志向，但他只能在科隆的一所中学里任教。繁重的教学使他仅能利用极少的业余时间从事研究。学校里图书资料匮乏，现成的仪器没有几件。然而，这些困难并没有使他气馁，反到磨练了他的意志。

当时伏打电堆已悄悄地走进了实验室，化学家用它来做电解实验，发现了很多的新元素。所以人们希望能确定电流的基本单元，使它定量；同时可发明一种测定电流强度的精密仪器。1820年，德国物理学家施韦格发明了一种检测计，由一个螺线管和中央小磁针组成，当电流流经螺线管的时候，产生的磁场使小磁针偏转。这样虽然可以知道回路里有无电流，但还无法确定电流强度的值。欧姆掌握了这些情况，觉得改进检流计使之能定量测量电流强度，是一个切实可行的研究课题。于是他便着手研究起来，起初他想利用电流的热效应会使导线热胀冷缩的事实来测电流，但这种效应



实在太微弱。还是施韦格的检流计启发了欧姆，电流的磁效应会使小磁针发生偏转。这是电流的一个特别显著的效应，可见度相当大，就是无法定量。可不可以通过小磁针偏转角度跟电路中电流强度的值——对应起来，通过偏角的大小来知道相应的电流强度呢？他想去查资料，中学里没有，科隆市也没有。他毫不犹豫地辞去了科隆的教职，孤身来到柏林，寄居在弟弟家中，从此专心致志地做学问。欧姆在柏林市图书馆里很快地找到了有关用磁针偏角来测定电流的仪器资料——库仑扭秤原理。并按图索骥地做了一架扭力秤，但是效果并不理想，因为用作实验的电源是伏打电堆。电堆特别容易极化，给出的电动势不稳定。正当他处在束手无策的时候，能够提供稳定电压的温差电源诞生了。当他原来的学生波根多夫将一架崭新的温差电源送到欧姆的寓所时，欧姆激动得热泪盈眶，连声说：“好，现在从理论上讲，已是万事俱备了。”然而，从理论上说通到实际上做成，两者之间还隔着千难万阻呢。他凭着自己一双灵巧的手，又经过了好几个月的锉啊、敲啊、磨啊，竟用手工制成了一个漂亮而精致的仪器。

经过一系列实验他得出了一个经验公式 $X = \frac{a}{b + X}$ 。式中 X 表示导线的长度， x° 表示电流的电磁力（由小磁针的偏角读数可知）， a 和 b 是依赖于激发力（如温差）及电路其余部分的长度。显然这个公式与今天我们学到的欧姆定律在外形上差别很大。但是我们把它剖析一下，用现代的术语来解释： a 代表电源的电动势， $b + X$ 代表电路中的总电阻， X 代表电流强度，那么它就可以改写成读者所熟悉的全