

铅酸蓄电池快速充电

姜绍信 著

QIANSUAN
XUDIANCHI
KUAISU
HONGDIAN

天津科学技术出版社

内 容 提 要

本书是作者在研制蓄电池快速充电装置的基础上写成的。主要介绍铅酸蓄电池快速充电的基本理论及实现快速充电实用的基本线路(单相、三相充电主回路、放电主回路及它们的触发电路、控制电路等)和几种脉冲充电放电去极化系统的典型线路,并对蓄电池快速充电的有关问题进行了初步探讨。这种快速充电技术,对于其他二次电池也有一定的参考价值。

铅酸蓄电池快速充电

姜绍信 著

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷一厂印刷

天津市新华书店发行

开本 850×1168毫米 1/32 印张 5.625 插页 2 字数 132,000

一九八四年一月第一版

一九八四年一月第一次印刷

印数: 1-6,600

书号: 15212·122 定价: 1.10元

前 言

铅酸蓄电池快速充电是近二十年由于军事和生产的实际需要而发展起来的充电技术。近几年,为了解决能源和城市污染问题,城市电动交通车辆有了发展,这对蓄电池及其充电技术提出了更高的要求。

本书分为四大部分:铅酸蓄电池快速充电的基本概念、基本理论、基本线路和对于有关问题的初步探讨。本书的主要目的是向读者介绍国内、外蓄电池快速充电技术的发展情况,阐述快速充电的电化机理,介绍快速充电装置的常见线路和对有关问题一些初步的探讨性意见。

铅酸蓄电池快速充电技术处于发展阶段,由于作者水平和实践条件的限制,仅向研制和使用快速充电装置的同志介绍一点基本知识,供参考。

本书稿经夏永霖副教授审阅,还得到吴寿松高级工程师的帮助,并参考了国内有关单位的研究成果和技术资料。为本书的出版,全国机械维修学术研究会、《机械设备维修》丛书编委会的徐滨士、易新乾、宋延兰、高衡和王万年工程师以及天津科学技术出版社给予了热情的支持和帮助。作者向他们表示衷心感谢。

书中错误和不妥之处,恳切希望读者批评指正。

一九八三年九月

目 录

绪论	(1)
第一章 铅酸蓄电池快速充电的基本概念	(4)
第一节 铅酸蓄电池的类型、用途与结构	(4)
第二节 铅酸蓄电池的常规充电	(5)
第三节 快速充电的技术指标与分类	(13)
第二章 铅酸蓄电池快速充电的基本理论	(28)
第四节 麦斯定律的应用	(28)
第五节 快速充电的电化机理	(34)
第三章 快速充电系统的基本线路	(53)
第六节 单相充放电主回路及其触发电路	(53)
第七节 三相充放电主回路及其触发电路	(66)
第八节 快速充电系统的控制电路	(78)
第九节 快速充电的典型线路	(107)
第四章 蓄电池快速充电的有关问题	(149)
第十节 关于快速充电机的性能	(149)
第十一节 关于对蓄电池寿命的影响	(168)
附录 附图 1	
附图 2	

绪 论

1859年法国物理学家普兰特 (Planté) 发明了以铅和硫酸为主要成分的铅酸蓄电池。至今已有一百二十多年的历史。一百多年来, 铅酸蓄电池有了很大的发展, 在国民经济的各个领域获得了极其广泛的应用。

由于铅酸蓄电池的原料丰富、价格便宜、制造简便、使用寿命较长(充、放电几百次循环)并且具有宽广的使用温度范围($-40^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$)和电流范围、易于用电解液比重检查放电程度等优点, 至今仍为最实用的二次电池。随着各国电动运输车辆等技术的发展, 蓄电池更有极其广阔的应用前景。一百多年来, 虽然不断地出现了其它种类的蓄电池, 然而铅酸蓄电池在实用价值方面总是保持优先地位。本书将以铅酸蓄电池为主, 介绍蓄电池快速充电技术。这种快速充电技术, 对于其他二次电池的充电也有一定的参考价值。

蓄电池充电是从二次电池诞生开始的, 而且和蓄电池的发展与应用有着密切的关系。

普兰特将两块铅皮卷成筒形, 中间用布隔开, 以10%的稀硫酸作电解液, 发明了铅酸蓄电池。当时他是用原电池充电。普兰特铅酸蓄电池由于其特性不佳和极板表面电化加工制造上的困难, 并没有实际应用上的意义。

1881年福莱 (C.Faure) 等人将铅的氧化物中加入稀硫酸制成粉膏涂入铅板栅中, 制成了涂膏式极板。1882年赛隆采用铅锑合金制造板栅, 增加了板栅的机械强度。开始应用发动机带动直流发电机作电源进行充电。从此, 铅酸蓄电池具有实际应

用价值，例如，用它做电源推动三轮车、小船等。铅酸蓄电池1901年应用于潜水艇，1903年应用于飞机。1911年应用于汽车起动装置的供电电源。随着变压器技术和整流技术的发展，1914年以后，才使用交流电源供电，经过变压器变压和整流后向蓄电池充电。在蓄电池充电技术中使用最早的整流器是铁槽式水银整流器。1928年开始使用硒整流器，四十年代硒整流器的改进进入活跃时期。当时正值第二次世界大战时期，对于蓄电池的应用极为重视。探讨充电规律，总结了经验。根据当时对于蓄电池充电特性的认识提出了总结性经验法则。通常所应用的“经验规律”，是1940年以前确立的国际公认的经验法则，这些法则是：

1. 蓄电池温度为75°F (24°C) 时，充电电压应为2.3 伏。在此基础上温度每上升一度，电压应相应地降低0.004伏。
2. 充电电流（单位为安培）不应超过蓄电池待重新充入的安时数。
3. 在不减损蓄电池循环寿命的情况下，完成蓄电池满充电的时间，不能小于5小时。

这些经验法则是在当时科学技术水平上，总结出来的，一直沿用至今，对于目前常规充电技术仍具有一定的指导意义。

五十年代开始在蓄电池的充电技术中应用锗整流器和硅整流器。随着整流技术和电子技术的发展，尤其是可控硅的出现，为提供经济可靠的充电设备创造了条件。蓄电池快速充电技术，在蓄电池应用的迫切要求下，国外五十年代初期就开展研究工作，到六十年代有了发展。六十年代前期美国已完成对镍镉电池能在30~40分钟内完全充电的技术，并对蓄电池快速充电的理论进行了探讨，提出来有关的定律。六十年代后期美国莫克洛奇(Moculloch)公司对镍镉电池的快速充电采用脉冲充电放电去极化技术，在10~15分钟完成完全充电，经400多次

充、放电循环的寿命试验没有发现明显的容量衰减。该公司在1970年的研究结果表明,容量为190安时的铅酸蓄电池在充电电流为500安,放电去极化电流为1200安情况下,30分钟可以完成完全充电。七十年代日本已制作快速充电机作为汽车的附带设备投入生产。

近年来,世界各国为解决能源和公害问题,大力发展电动交通车辆。作为电动交通车辆的动力电源的蓄电池及它的充电问题成了重要课题。1972年日本电气协会、电动车辆充电系统调查研究委员会经过组织全国性的全面调研,提出数十万字的《充电系统的研究》调研成果报告,为国家制定能源政策提供依据。1979年10月17日美国国会通过94—413法律,作出关于研究电动交通车辆的决定,以解决在石油危机情况下的能源问题。美国有五十多种可以在车辆上应用的蓄电池,但大部分仍在实验室阶段,仅六种蓄电池装车使用,其中铅酸蓄电池仍占压倒优势。

铅酸蓄电池现行常规充电制度限制了其应用范围,迫切需要解决充电技术问题;以加快充电速度。日本、美国、法国、西德和苏联等国家的快速充电技术都有不同程度的发展。

我国从七十年代初期开始蓄电池快速充电技术的研究工作,并取得了一定的进展。这项工作国防、交通和工矿企业所迫切需要的,具有重要意义。铅酸蓄电池应用快速充电技术,是科学技术发展的必然结果。实现蓄电池快速充电是充电制度的重大改革。我们应当认真总结这项工作的研究成果,坚持这个正确方向,使其得到完善和发展。

第一章 铅酸蓄电池快速充电的基本概念

第一节 铅酸蓄电池的类型、用途与结构

一、铅酸蓄电池的主要类型与用途

铅酸蓄电池广泛用于国防和国民经济各个领域，其主要类型与用途是：

1. 起动型铅酸蓄电池 用作启动内燃机而配用的起动电动机的动力源。起动电流通常为150~500安，要求能在低温下启动内燃机。使用寿命一般为1~5年。

2. 固定型铅酸蓄电池 用于开关操作、通讯和仪器仪表电源、发电厂贮备电源等。要求这类蓄电池有较长的寿命，一般为15~20年。

3. 电动车辆用蓄电池 作为驱动车辆（叉车、搬运车、电动交通车等）的动力源。

二、铅酸蓄电池的结构

图1所示为一种6伏铅酸蓄电池的结构。它由三个单格电池组成，每个单格电池的电压为2伏。相邻单格电池之间间壁隔开，并用连接条连接起来。每个单格电池内有正极板、负极板、隔板、电解液和保护板等。

1. 极板 蓄电池的充、放电过程是靠正、负极板上的活性物质和电解液之间的电化学反应来实现的。正极板为二氧化铅 PbO_2 ，呈棕红色；负极板为海绵状纯铅 Pb ，呈青灰色。在开始制造时，正、负极板均是以糊状氧化铅 PbO 涂敷在栅架上，

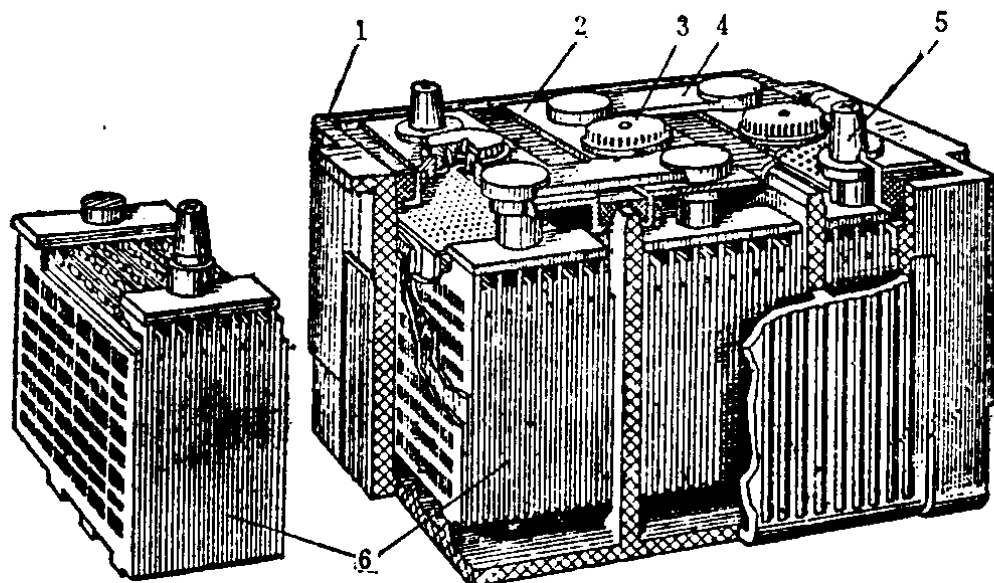


图1 铅酸蓄电池的结构

1.外壳 2.盖子 3.加液孔盖 4.连接条 5.极柱 6.极板组

再经化成处理而成。栅架由铅锑合金（含锑5~7%）铸造而成，其作用是支承活性物质和导电。加入锑的目的是为了提高栅架的浇铸性能和机械强度，但会加速氢气的析出和自放电。

2.隔板 为了增大蓄电池的容量，正、负极均用多片极板组成为极板组放在电池槽内。隔板是夹在正、负极板之间的绝缘板，其作用是防止正、负极板短路。隔板具有多孔性，以使电解液通畅无阻。隔板的种类有：木隔板、细孔塑料隔板、细孔橡胶隔板和玻璃纤维隔板等。

3.壳体（电池槽） 壳体一般用硬橡胶或塑料等耐酸材料制成。

4.电解液 铅酸蓄电池的电解液是由专用硫酸和蒸馏水配制而成的，其比重一般为1.24~1.285（15℃）。

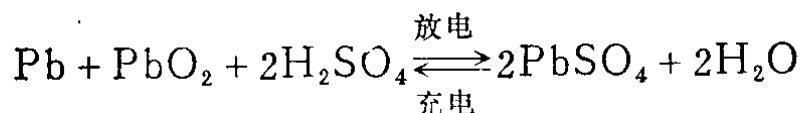
第二节 铅酸蓄电池的常规充电

一、制订常规充电制度的依据

铅酸蓄电池快速充电技术是在其常规充电技术的基础上发

展起来的一种新技术。

不论采用哪种充电制度进行充电，铅酸蓄电池充电的成流过程都必须遵守双极硫酸盐化理论。双极硫酸盐化理论是1882年格拉斯通和查依伯提出来的，其化学反应方程式如下：



此方程式是双极硫酸盐化理论的基础，根据这个理论，已充电的铅酸蓄电池正极板上活性物质是二氧化铅 PbO_2 ，负极板上的活性物质是海绵状金属铅 Pb 。放电后，两极板上的活性物质均转化为硫酸铅 PbSO_4 。不论采用何种充电方法，充电成流反应均使正、负极板上的硫酸铅转化为二氧化铅和金属铅。蓄电池的电解液在充电过程中，由于水 (H_2O) 的成分减小，生成硫酸 (H_2SO_4) 而使其比重上升。放电时电解液的比重下降。电解液中硫酸含量的变化与通过的电量成正比。建立双极硫酸盐化理论是以实验观测为依据的；经过多年的实践也证明，双极硫酸盐化理论是正确的，它能够确切地说明铅酸蓄电池的氧化还原过程。

目前蓄电池常规充电制度还都是依据1940年前国际公认的经验法则设计的。这些经验法则中规定“充电电流安培数，不应超过蓄电池待充电的安时数”，也就是著名的安培小时规则。

实际上，常规充电制度的充电速度为充电中的温升和气体的产生所限制。这个现象对蓄电池充电所必须的最短时间具有重要意义。多次试验结果证明，假如对蓄电池开始充电的电流安培数比蓄电池充电前输出电量的安培小时数低时，则蓄电池电解液的温度和产生气体的情况是符合要求的。例如，某蓄电池先前的放电量为100安培小时，可以用比100安培稍低的电流作为对它开始充电的电流。在充电过程中，随着蓄电池容量的

增加和待充入容量的减少，充电电流也应当逐步地降低，使其总是遵循充电电流的安培数低于蓄电池达到100%充电容量所不足的安培小时数。这样，就可保持在整个充电过程中，产生气体和温升的状况符合要求。

实际上，符合安培小时规则的充电并不都能充分利用应缩短的充电时间。只有逐级降低充电电流，因为级数很多，并使充电电流恒等于待充入容量的安培小时数，才能完全利用应缩短的充电时间。逐级降低充电电流的方法与安培小时规则的接近程度，实际上决定于分级的数目。从理论上说，在级数极多的情况下，充电电流将遵循下列方程式所示的指数规律

$$I = C^{-t}$$

式中 I —— 充电电流，安培；
 t —— 充电时间，小时；
 C —— 蓄电池开始充电（ $t = 0$ 时）前输出的安培小时数。

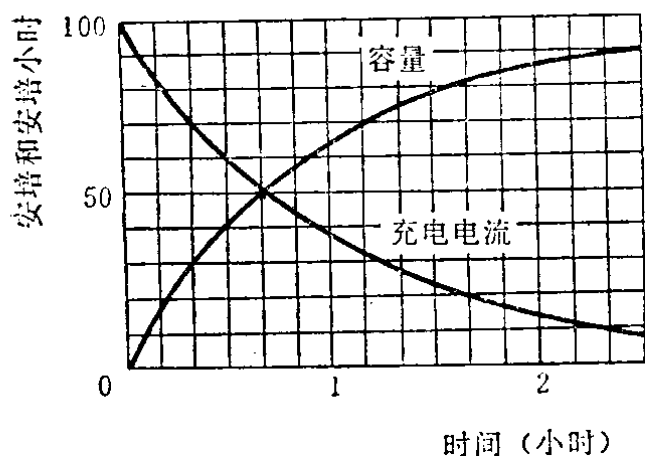


图2 遵循安培小时规则的充电

铅酸蓄电池按照安培小时规则的充电(图2)，可以在2小时20分钟内充入蓄电池输出容量的90%。试验证明，按此规则充电所需的最少时间(包括15%过充电)约为4小时。但是，实际使用中的充电是不可能做到严格遵

从安培小时规则的。所以，在常规充电的经验法则中规定完成完全充电时间不应小于5小时。

现在，日本常规充电可在8小时左右完成一次完全充电。我国常规充电要用16小时至24小时，和国际公认的经验法则的

要求相比，尚有较大的差距。

二、恒流充电法与分级恒流充电法

1. 恒流充电法 恒流充电法是用调整充电装置输出电压或改变与蓄电池串联电阻的方法，保持充电电流强度不变的充电方法。

通过蓄电池的充电电流 I 决定于蓄电池的电动势 E 、内电阻 r 和充电装置输出电压 U 之间的关系，即

$$U = E + Ir, \quad I = \frac{U - E}{r}$$

随着充电的进行，蓄电池的电动势 E 是上升的，蓄电池内电阻 r 是下降的（不起主导作用），如果充电电源的电压不变，则充电电流将下降。为了保持充电电流恒定，必须在充电过程中提高充电电源电压或减小与蓄电池串联的电阻。

若恒流充电法的充电电流选小了，将使充电时间过长；选大了，在充电末期电流多用于电解水，产生气体，使出气过甚。恒流充电法的充电电流难以适应常规充电的全过程，因而一般采用分级恒流充电法。

2. 分级恒流充电法 分级恒流充电法是按充电时间分为几个阶段逐级减小充电电流，而且要使每级充电电流均符合安培小时规则的要求。我国一般采用两个阶段，第一个阶段蓄电池允许采用较大的充电电流进行充电。为了缩短充电时间，也应该在充电初期尽量选择较大的充电电流。在这个阶段，一般限制充电电流的主要原因是温升。当蓄电池电压上升到2.3~2.4伏以后，有大量气体析出，限制充电电流的主要原因将是产生气体。这时，必须改用较小的充电电流，转为第二阶段充电，直至充电结束。

第一阶段的充电电流一般为蓄电池10小时率标称容量（以 C 表示）的10~20%，即 $(0.1 \sim 0.2) C$ 安。第二阶段的充电

电流一般为第一阶段充电电流之半。表1列出了各种型号启动型铅酸蓄电池常规充电时初次充电和正常充电的充电电流值及其所需要的时间。可见，在实际使用中，各种铅蓄电池在全放电后的正常充电时间为27小时以上。充电容量应是10小时率标称容量的1.2~1.4倍，才能充足电。

在充电过程中，必须仔细观察蓄电池电解液的温度变化。当电解液温度达到45℃时，应当立即停止充电，并采取降温措施，例如用水冷却或用风扇降温，要等到电解液温度降至35℃时方可再接通充电电路继续充电。

表1 启动型铅蓄电池常规充电电流

蓄 电 池 型 号	初 次 充 电				正 常 充 电			
	第一阶段		第二阶段		第一阶段		第二阶段	
	电 流 (安培)	时 间 (小时)	电 流 (安培)	时 间 (小时)	电 流 (安培)	时 间 (小时)	电 流 (安培)	时 间 (小时)
3-Q-70	4	40~50	2	40~50	12~8	14~20	4	13~18
3-Q-84	5	40~50	2.5	40~50	15~10	14~20	5	13~18
3-Q-98	6	40~50	3	40~50	18~12	14~20	6	13~18
3-Q-112	7	40~50	3.5	40~50	21~14	14~20	7	13~18
3-Q-126	8	40~50	4	40~50	24~16	14~20	8	13~18
3-Q-140	9	40~50	4.5	40~50	27~18	14~20	9	13~18
3-Q-154	10	40~50	5	40~50	30~20	14~20	10	13~18
3-Q-168	11	40~50	5.5	40~50	33~22	14~20	11	13~18
3-Q-182	12	40~50	6	40~50	36~24	14~20	12	13~18
6-Q-70	4	40~50	2	40~50	12~8	14~20	4	13~18
6-Q-84	5	40~50	2.5	40~50	15~10	14~20	5	13~18
6-Q-98	6	40~50	3	40~50	18~12	14~20	6	13~18
6-Q-112	7	40~50	3.5	40~50	21~14	14~20	7	13~18
6-Q-126	8	40~50	4	40~50	24~16	14~20	8	13~18
6-Q-140	9	40~50	4.5	40~50	27~18	14~20	9	13~18
6-Q-154	10	40~50	5	40~50	30~20	14~20	10	13~18
6-Q-168	11	40~50	5.5	40~50	33~22	14~20	11	13~18
6-Q-182	12	40~50	6	40~50	36~24	14~20	12	13~18

采用分级恒流充电法的充电时间和恒流法相比可以缩短，蓄电池可以得到完全充电，在充电电流和阶段转换时机选择较好的情况下，有利于延长蓄电池寿命。

3. 充电终止的判断 定电流充电法充电终止可根据以下几个特征判断：

(1) 铅蓄电池电压在充电过程中不断增高，直至这一电压达到最大值（即充电终止电压），且保持三小时以上不变。充电终止电压的大小取决于电解液比重规定标准数值的大小、充电电流值、温度以及蓄电池的内电阻等因素。各种型号的蓄电池不全一样，同一型号的蓄电池因技术状况不同也有差异。

(2) 电解液比重已经达到最大值（应是本地区规定的标准数值），且保持三小时以上不变。

(3) 正、负极板均大量而均匀地析出气体，强烈的气泡使电解液呈“沸腾”状态。

(4) 充入容量达到规定标准。完全放电后又充电的蓄电池，其充电容量应当为该蓄电池标称容量的1.2~1.4倍；没有完全放电的蓄电池，其充电时的充入容量也应该是它前次放电量的1.2~1.4倍。就充电容量达到规定标准而言，往往被充电工所忽视，致使蓄电池长期处于充电不足状态，这对于蓄电池的寿命是不利的。

三、恒压充电法

采用恒压法充电时，充电电源的电压在全部充电时间里保持一定的数值，因而蓄电池每个单格电池的电压也是一定的。图3所示为车用发电机蓄电池定电压充电特性。对于完全放电后的蓄电池，在恒压充电初期，充电电流很大，远远超过正常恒流充电电流值。充电过程中，随着蓄电池电动势的上升，充电电流下降。在充电后期，比正常恒流充电电流值要低。充电结束时，比两级恒流充电第二阶段的充电电流还要低。

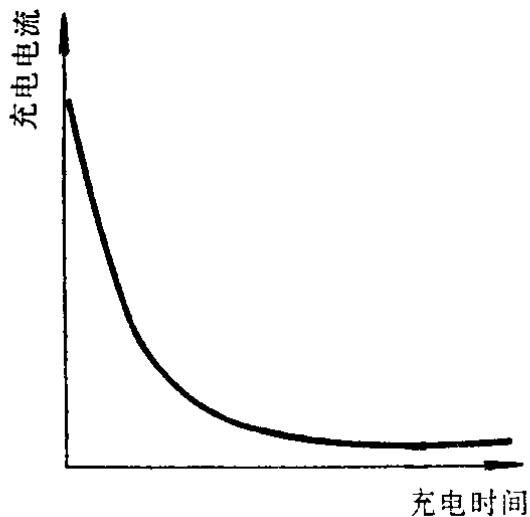


图3 铅酸蓄电池恒压充电特性

铅酸蓄电池采用恒压充电时，每个单格电池端头上测得的电压，最大不应超过2.35伏，最低不应低于2.25伏。平均电压约为2.3伏。这是国际公认的经验法则确立的原则。

当蓄电池每个单格的平均电压为2.3伏时，蓄电池可以在任何放电程度的放电状态下转换为充电状态，而不致产生

大量气体或过高的温升。蓄电池的内电阻是很小的，恒压充电中，电源电压的微小波动，都会引起充电电流的很大变动。例如，汽车、拖拉机等车辆上的起动型蓄电池在车辆上的充电，就是一种采用了恒压和限流措施的恒压充电。发电机输出电压由电压调节器保持恒定，此恒定值应当按照规定值调整准确。

四、蓄电池快速充电的必要性

自从铅酸蓄电池诞生后，100多年来，根据应用的需要，人们一直在探索和研究其充放电速率，以便寻求新的充电方法。例如，1897年普克尔特从蓄电池两种速率放电的状态中，预测到以各种速率放电时的放电容量。现在，我们可以以某一种放电速率获得的蓄电池容量，推算出任何放电速率下的放电持续时间。放电电流 I 和放电持续时间 t 的关系方程式为：

$$I^\nu \cdot t = \text{const}$$

式中 ν ——是一个与蓄电池的容量和型式无关的常量，对于铅酸蓄电池 $\nu = 1.2 \sim 1.6$ 。

然而在没有充分认识蓄电池充电规律的情况下，仍被迫采用小电流常规充电方法。常规充电制度的缺点是，充电时间长，效率低，出气量大，蓄电池的周转利用率低，充电管理制

度繁杂等。

铅酸蓄电池的常规充电制度，从对蓄电池的电气性能和寿命的影响来讲，也不是一种理想的充电方法。蓄电池电气性能发挥的好坏及使用寿命的长短，在很大程度上决定于蓄电池的充电方法。

正极板的板栅腐蚀，常常成为蓄电池使用寿命终止的重要原因。造成正极板栅腐蚀的原因是板栅中的铅和锑长期处于热力学的不稳定状态，有被氧化的可能。整个正极板相当于用二氧化铅活性物质做正极和用板栅合金做负极组成的许多个电池，而且这些电池的两个电极处于短路状态。在蓄电池充电时，正极板栅处于阳极极化的条件下，电极电位向正方向偏移，加速了正极板栅腐蚀。用蓄电池常规充电制度充电时，蓄电池处于充电的时间太长，尤其在充电后期，正极板处于高温、高浓度的

表 2 快速充电与常规充电的比较

项 目		种 类	
		快速充电	常规充电
充 电 时 间	初次充电	5~10小时	60~70小时
	补充充电	<1.5小时	5~14小时
	维护充电	1.5~5小时	15~24小时以上
出气量 (升)		快速充电为常规充电出气量的1/5~1/10	
瞬时出气率 (毫升/分)		较 大	
容量效率		较 高	较 低
耗 电		节电10~40%	
温 升		稍 高	
寿命循环数*		340次	460次

* 按JB1058-67规定寿命合格标准为220~280次，这里仅列出一次寿命试验的结果。

电解液中。这种过充电，要求电压、比重三小时不变，进一步加速了正极板栅腐蚀。如果经常这样过充电，将造成正极板严重腐蚀。

研究蓄电池快速充电技术，不只是寻求一种应急的充电措施，而是为了探讨最佳充电制度和办法。它有着非常明显的经济效果（表2）。

第三节 快速充电的技术指标与分类

一、快速充电的技术指标

1.快速性 评述铅酸蓄电池快速充电的重要技术指标是完成充电的时间。一般认为，充电时间在5小时之内者，为快速充电。各种蓄电池所采用的充电电流和它的容量有关，通常用蓄电池10小时率标称容量C的数值表示充电电流的大小。例如，我国常规充电所用充电电流为0.1C安或0.2C安。用这样小的电流充电，完成一次完全充电的时间至少要用15小时。

国外正研究用大电流充电，以便使蓄电池的完全充电在1小时以内完成，这样的充电称为高速充电。也有采用极大的电流充电，从而使蓄电池的完全充电在1分钟以内完成，这样的充电称为瞬息充电。高速充电和瞬息充电仅适用于小容量蓄电池。对起动型或动力型等大容量蓄电池采用高速充电或瞬息充电时，要求充电电源提供相当强大的电流，因而使得快速充电设备相当庞大，我国蓄电池的结构也不适应如此强大的电流。

2.出气量和出气率 出气是蓄电池充电过程中极其重要的问题。出气量是指完成蓄电池完全充电的整个充电过程中，在一个大气压下，正负极板析出气体的总和，单位为“升”。出气率是指蓄电池充电的某一阶段，在一个大气压下，单位时间