

TM 912.06

2.10

391988

蓄电池快速充电的原理与实践

朱小同 赵桂先 著



煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是一本有关蓄电池快速充电的专著。书中首先分析了快速充电的电化学机理，明确指出，采取脉冲大电流充电、逆变放电去极化的方式是快速充电的最佳方案，并以此为理论基础，全面阐述了快速充电装置的电路设计原理以及充电装置的调试、使用和维修方法等。

作为一本实用技术书籍，本书可供从事蓄电池充电装置设计、研究、生产的工程技术人员和蓄电池充电工阅读参考。

D233/09



前 言

“快速充电技术”是一项新兴的技术。我国对这一新兴的技术的研究始于70年代中期,并首先在煤炭系统得以推广和应用。

任何一门科学技术,都是特定历史时期的产物。它反映着经济发展的历史进程。快速充电是充电领域的一项重大的技术改革,它把蓄电池的储能速度提高了4~5倍,并已经取得了巨大的社会效益和经济效益。为了深入探索、认识快速充电内在的客观规律,以便全方位地推广这项新兴技术,我们编写了此书。

自80年代中期以来,我们就对“脉冲大电流充电、逆变放电去极化”这一快速充电课题进行了认真地探索和研究,并开发出系列产品应用于煤矿。该书所述就是作者这10余年来技术实践的总结。

本书内容共分两部分,即快速充电技术和实现这种技术的充电装置。需要说明的是,目前在各地现场运行的快速充电装置的型号和具体电路各异,没有一个统一的模式。本书仅对“逆变放电去极化”的快速充电技术进行论述,而在论述装置的有关章节中,仅对以集成电路为核心器件的控制电路进行论述。对有关基础电路的阐述也是紧紧围绕这一写作意图来进行的。而对具体的元器件设计计算,如以蓄电池反电动势为负载的整流变压器设计、矿用隔爆型快速充电装置隔爆外壳腔体的设计计算等,则放在附录中论述。

在写作过程中，由于时间仓促，本书无论在系统性上，还是在理论性上肯定存在不少问题，同时限于我们的理论水平和实践知识，书中难免有不妥之处，欢迎读者批评指正。

本书在写作过程中，枣庄矿务局吴鸿光、禹福元、刘仲臣同志提供了第一手资料，在此表示衷心地感谢。

作 者

一九九五年十一月

目 录

第一章 概述	1
第二章 蓄电池快速充电的基本原理	8
第一节 铅酸蓄电池的工作原理	8
一、电池的电极电位	8
二、蓄电池的放电过程	9
三、蓄电池的充电过程	10
第二节 蓄电池充电电流接受比定律	11
一、第一定律	12
二、第二定律	12
三、第三定律	13
第三节 极化电压	13
一、浓差极化	14
二、电化学极化	15
三、欧姆极化	16
第四节 快速充电的基本原理和方法	17
一、快速充电的基本原理	17
二、快速充电的几种方法	19
附录 逆变的概念	25
第三章 快速充电装置的充放电电路	28
第一节 晶闸管	29
一、晶闸管的工作原理	29
二、晶闸管的主要特性	33
三、晶闸管的主要参数	35
四、晶闸管的保护措施	39

第二节 充电电路	44
一、几个基本概念	44
二、单相半波充电电路	53
三、单相半控桥式充电电路	56
四、三相半波充电电路	59
五、三相半控桥式充电电路	68
第三节 放电电路	77
附录一 单相半控桥式快速充电装置整流变压器的 设计计算	80
附录二 三相半控桥式快速充电装置整流变压器的 设计计算	83
附录三 矿用隔爆型快速充电装置整流变压器与隔爆 外壳结构参数的配合理论计算	87
第四章 快速充电装置的控制电路	99
第一节 几个基本的单元电路	100
一、RC 电路的过渡过程、微分电路和积分电路	100
二、施密特触发器	106
三、电压比较器	114
四、运算放大器	119
五、与门电路	122
第二节 门极触发电路	124
一、移相电路	126
二、脉冲形成电路	126
三、触发电路与主电路之间的相位关系	127
四、脉冲控制电路	129
第三节 程序控制电路	130
第四节 反馈控制电路	132
一、蓄电池放电去极化以后开路端电压值的检测	133
二、反馈电路	134

三、自动关机电路	136
附录一 单相可控整流电路门极触发电路的设计	138
附录二 同步信号为锯齿波的触发电路	141
第五章 MKC 系列快速充电装置	152
第一节 型号、规格和主要技术参数	152
一、MKC— $\frac{1}{2}$ 型快速充电装置	152
二、MKC—180/0— $\frac{75}{180}$ —dI 型矿用隔爆型快速 充电装置	154
三、KMKC—102 型矿灯快速充电装置	156
四、BMKC 型快速充电装置	157
第二节 电路结构	159
第三节 安装、使用与调试	162
一、安装程序	162
二、使用	163
三、调试	166
第四节 故障与维修	170
附录 KMKC—102 型矿灯快速充电装置检测 蓄电池组空载端电压的可行性分析	174

第一章 概 述

蓄电池作为一种可移动的能源已被广泛地应用于国民经济的各个领域。据调查，在煤矿井下、承担巷道运输作业的以蓄电池为动力的电机车数量约占总机车数量的 70%。

蓄电池是一种储能装置，它的储能过程很慢，一般新蓄电池初次储能需 72h（小时），正常使用储能需 12h（小时）。因此，对于用蓄电池作为动力的车辆以及其它装置来说，车辆以及有关装置的使用会因蓄电池的储能所需的时间而受到限制。因此，提高蓄电池的储能速度具有重大的经济意义。

蓄电池的储能过程就是充电过程。我国从 70 年代中期开始，就对蓄电池的快速充电技术进行研究，目前已有为数众多的蓄电池快速充电装置投入运行，产品已呈商品化。

快速充电技术是对传统的充电技术的重大变革，它可以大大提高蓄电池的储能速度。新蓄电池的初次充电时间约 24h（小时），正常使用的蓄电池的复充电约 2~3h（小时）。充电速度可提高 4~5 倍。

任何快速充电的最终目标是安全和快速，即在确保蓄电池的使用循环次数的必要前提之下，尽可能地缩短充电时间。

快速充电之所以具有生命力，是因为传统的充电技术既不安全又不快速。

60 年代末期，美国科学家马斯（Mascc）提出了以最低出气率为前提的蓄电池可接受充电电流曲线，如图 1-1 所示。

按照该曲线，使蓄电池以一定的电流值进行充电。该电

流值仅供电池接受而不会有气体析出。假设蓄电池的充电电流为 I_c ，蓄电池可接受的电流值为 I_a ，如果在蓄电池整个充电过程中 $I_c = I_a$ ，那么充电电流中不仅没有产生气体的电流值，而且充电持续的时间也可以减到最小。上述的蓄电池可接受充电电流形成了一条轨迹。这条轨迹是一条指数函数曲线。

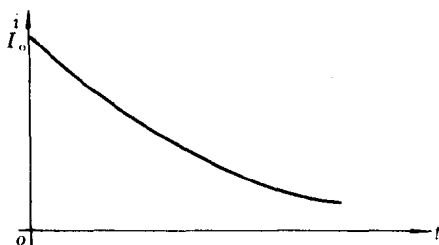


图 1-1 蓄电池可接受充电电流曲线

在充电过程中任何时间 t 上的电流可表示为：

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (1-1)$$

式中 I_0 —— $t=0$ 时的最大初始电流值；

α ——衰减常数。我们将其定义为蓄电池充电电流接受比。

在该指数函数曲线以上的任何电流，均不能提高充电率，而只会增加出气量；反之，在指数函数曲线以下的任何电流只会增加充电时间。

传统的充电方法，不论是定电压充电法还是定电流充电法，其起始的充电电流总是低于电池的接受能力，造成充电效率低、充电时间长。而在充电后期，最终的充电电流总是高于电池的接受能力，因而蓄电池内气体析出率不断增加、直到充电接近结束，所有的充电电流全部供给气体析出。因此，

传统的充电方式不论是从效率的角度还是安全的角度分析都不是一种比较好的充电技术。

图 1-1 所示的曲线为我们指出了一条以最低出气率为前提的提高充电速度的途径。这条曲线具有重要意义，为快速充电技术奠定了理论基础。

理论和实践都已证明，快速充电技术充分地挖掘了蓄电池固有的可接受充电电流的潜能，因而，较之传统的充电技术，具有如下优点：

1) 充电时间短、充电质量好。快速充电一般初次充电 24h 左右。正常充电 2h 左右。由于充电时间得到了绝对的保证，因而完全避免了蓄电池在容量不足的状况下投入运行的弊病，普遍地提高了蓄电池的使用循环次数。北京矿务局长沟峪煤矿在矿灯充电这一领域里全面推广快速充电技术，10 余年来矿灯使用的“红灯率”几乎降为零。该矿使用的 KJ-12 型碱性矿灯蓄电池使用寿命已达 5 年。

表 1-1 是一组山东省枣庄矿务局山家林煤矿掘进一区 223 上车场 2.5t 电机车蓄电池组的快速充电（以 2h 率充电）记录。

淮北矿务局沈庄煤矿为加快井下开采进度，在下料 2 场采用快速充电技术，蓄电池组为湘潭蓄电池厂生产的 DG-330，额定电压 48V。表 1-2 列出了一次充电数据，根据该数据画出了充电电流、蓄电池温升轨迹，如图 1-2 所示。从表 1-2 及图 1-2 可看出，充电电流基本上按照符合要求的指数函数衰减。充电后期，电解液比重从 1.13 上升至 1.27~1.28，说明极板及电解液电化学反应充分，容量符合要求。整个充电过程蓄电池的极限温度始终处于符合要求的范围之内。

表 1-1 充 电 记 录

电池号	起始/终止			电池号	起始/终止		
	电压, V	比重	温度, °C		电压, V	比重	温度, °C
1	1.95/2.2	1.26/1.28	27/39	13	2.0/2.25	1.24/1.27	28/40
2	1.95/2.2	1.26/1.28	27/39	14	1.95/2.2	1.25/1.28	27/39
3	1.95/2.2	1.25/1.28	27/39	15	1.95/2.2	1.25/1.28	27/39
4	2.0/2.2	1.25/1.28	28/39	16	2.0/2.25	1.24/1.27	27/39
5	1.95/2.2	1.24/1.27	28/39	17	2.05/2.3	1.24/1.27	28/40
6	2.0/2.2	1.24/1.27	28/39	18	2.0/2.25	1.24/1.28	28/40
7	2.0/2.25	1.24/1.27	26/38	19	2.0/2.25	1.25/1.28	27/39
8	2.0/2.3	1.24/1.28	26/38	20	1.95/2.3	1.25/1.27	28/40
9	1.95/2.2	1.25/1.28	27/39	21	1.95/2.2	1.24/1.28	28/40
10	1.95/2.3	1.25/1.28	27/39	22	2.0/2.25	1.26/1.28	28/40
11	1.95/2.3	1.24/1.27	27/39	23	1.95/2.2	1.26/1.28	28/40
12	2.0/2.25	1.24/1.28	28/40	24	2.0/2.25	1.26/1.28	27/39

表 1-2 充 电 记 录

充 电 时 间	充电电流, A	充电电压, V	电池温度, °C
9 : 35	200	63	27
10 : 05	160	64	27
10 : 35	140	65	30
11 : 05	100	68	33
11 : 35	80	70	39
12 : 05	60	73	40

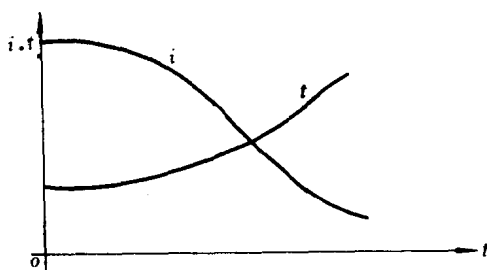


图 1-2 充电曲线

2) 提高了设备利用率,节省了设备投资。采用快速充电技术,充电时间缩短了 4~5 倍,因而加速了蓄电池的周转。枣庄矿务局山家林煤矿掘进一区 223 上车场,采取在交接班空隙时间进行充电,该巷道的掘进运输任务、原来需要 3 台机车,采用快速充电技术以后,仅需 2 台就可以满足运输任务。北京矿务局长沟峪煤矿矿灯充电房已经全面实行快速充电,矿灯充电架从原来的 18 台减至 6 台。据了解,小型地方煤矿采用快速充电经济效益更为显著。一般下井工人为 600 人的小型煤矿仅需一台矿灯快速充电装置。

3) 节省电能。据现场测试,充电 1 次可节电 20% 左右。在边远缺电地区采用快速充电效果更为显著。贵州省安龙县龙山煤矿矿灯充电房采用柴油发电机组供电,采用快速充电技术以后,节省了大量发电用柴油。据该矿反映,仅半年节省的柴油就收回了快速充电装置的投资。

4) 出气量低。据测试,采用传统的小电流充电,单格电池的出气量为 15000~16000ml,脉冲大电流快速充电,单格电池的出气量为 4000ml 左右、仅为前者的 1/4,因而可以减

小有害物质对环境空气的污染，减小了对充电工人的身体的危害。

蓄电池的生产和应用已有百余年历史。马斯提出的蓄电池可接受充电电流曲线奠定了快速充电的理论基础。有关资料表明，国外的充电技术已从 2~3h 的快速充电发展到高速充电（以 $1c^*$ ~ $10c$ 的速度充电）和瞬时充电（对小型蓄电池充电已达 $500c$ 和 $4000c$ ，充电时间分别为 5s 和 1s）。充电手段趋于现代化。蓄电池脉冲充电采用计算机控制，对充电装置和蓄电池组成的闭合环路系统的实时控制和数据采集用计算机来设计，取得采用普通的充电方法不容易取得的数据资料。为制定最佳充电参数提供可靠的依据。

我国对快速充电技术的研究已走过了 20 余年的历程，其间生产出为数不少的快速充电装置投入现场运行，使用良好，解决了生产现场急需，取得了很好的效益。但是，从总的来讲，普及率还不高，不少使用单位对快速充电技术能否保证蓄电池的使用寿命这一问题还心存疑虑。这说明快速充电技术尚存在一定的问题需要进一步加以探讨和解决。

快速充电技术和快速充电装置设计参数尚缺乏一个统一的标准。不少厂家生产的快速充电装置对蓄电池充电率的要求，线路、型号、规格各不相同，充电效果也不尽相同，影响了快速充电技术的深入普及。

蓄电池的制造工艺和结构必须与快速充电技术相适应。由于快速充电与常规充电方法不同，因而对蓄电池的结构、工艺要求也不同。而现有的蓄电池结构是按照常规的充电方法设计和制造的。这就存在一个不相适应的问题。例如，对现

* c 为蓄电池组的额定容量。

有的蓄电池采取快速充电，由于蓄电池极间连接板截面积是按小电流充电率设计的，难于承受大电流，易引起连接板发热甚至熔化，而这部分热量传给蓄电池内的电解液。促使蓄电池在充电过程产生高温，影响充电的正常进行。在生产现场曾发生过蓄电池外壳胀裂的现象，其原因就是大电流所产生的热量造成气体膨胀，外壳强度不够造成胀裂。本书对快速充电初始电流参数定为 $0.6c \sim 0.7c$ ，就是综合考虑了现有的蓄电池的结构和制造工艺这一影响快速充电时间的因素而制定的。快速充电技术既然是对传统的充电技术的变革，毫无疑问，它必然要对蓄电池的制造工艺提出变革，只有这样，才能使这一新兴的技术得到广泛深入的普及和应用。

本书将论述蓄电池快速充电的基本原理和方法，介绍蓄电池快速充电装置的设计原理，最后简要介绍 MKC 系列快速充电装置的使用方法。

第二章 蓄电池快速充电的基本原理

蓄电池按其组成电解质物质的不同分为酸性蓄电池和碱性蓄电池两大类。酸性蓄电池占绝大多数。本章将以酸性蓄电池为论述对象，其原理同样适用于碱性蓄电池。

第一节 铅酸蓄电池的工作原理

一、电池的电极电位

铅酸蓄电池是一种原电池，是借助化学反应而直接产生电流的一种装置。从能量变化的角度看，原电池过程无非是兑现了化学能到电能之间的转变。

铅酸蓄电池由正、负极板，电解液和电解槽组成。正极板的活性物质是二氧化铅 (PbO_2)，负极板的活性物质是灰色海绵状的金属铅 (Pb)，电解液是浓度为 27%~37% 的硫酸水溶液。

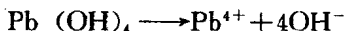
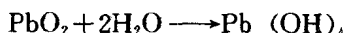
将金属插入含有金属盐的溶液中时，由于荷电粒子在两相之间的转移而产生了一定的界面电位差，这就形成了铅酸蓄电池的电极电位。

在蓄电池中注入一定浓度的电解液后，正负极板活性物质金属晶格上的原子因受到液相中水分子的极化、吸引，最终有部分脱离晶格并以水合离子的状态进入溶液，同时，电解液中的金属离子也部分地吸附到极板金属的表面上来。负极板表面的活性物质 $[\text{Pb}]$ 发生溶解，产生铅离子：



铅离子 (Pb^{2+}) 进入电解液, 在此过程中, 由于负极板表面积累了过剩的电子而获负电。溶液中的 Pb^{2+} 必将被吸引而较多地分布在负极板表面。当离开负极板和沉积在负极板上的 Pb^{2+} 相等时, 达到平衡。此时, 负极板不再发生溶解。于是, 在两相之间的界面层就形成一个类似电容器那样的界面双电层。因双层电位相反, 故而两相间必存在一定的界面电位差。显然, 发生在负极板和电解液周围的溶解过程荷电粒子的转移是溶液中的正离子被吸附, 界面双电层形成了蓄电池的负极电位。

同样, 在蓄电池中注入一定浓度的电解液后, 正极板上的二氧化铅 (PbO_2) 与电解液中的水作用, 生成氢氧化铅 ($\text{Pb}(\text{OH})_4$)。氢氧化铅是一种可以离解的不稳定物质, 又生成了四价铅离子。反应式为:



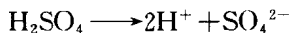
和上述负极板的溶解相反, 在正极板, Pb^{4+} 留在极板上, OH^- 以负离子的形式进入溶液。那么, 由于极板固相表面积累了过剩的正离子而荷正电, 在极板表面形成的界面双电层就形成蓄电池的正极电位。

显然, 当正、负极板和电解液组成一个蓄电池时, 在正、负极板各自形成了正、负电极电位。这种电极电位是由离子扩散所引起的, 是一个热力学的不可逆过程。电解液的浓度一经确定, 电极电位随之确定。整个电池的电动势就是正负极板上所有界面电极电位的代数和。

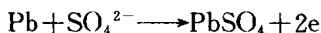
二、蓄电池的放电过程

由于正负极板各自存在电极电位, 蓄电池形成了电动势。在蓄电池不接负载的情况下, 电极电位各自处于一种平衡状

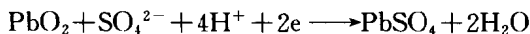
态。若在蓄电池两端接上负载。则在蓄电池的电动势作用之下，产生电流。在电池内部，电解质发生电解：



正离子 H^+ 通过溶液向正极迁移，负离子 SO_4^{2-} 也以相反方向向负极迁移。在电池外部，在蓄电池电动势作用之下、负极上的负电荷源源不断地经过负载流向正极。整个系统形成了一个回路。与此同时，在电池负极发生氧化反应：



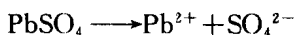
在电池正极上发生还原反应：



由于正极上的还原反应，正极板电极电位逐渐降低，同时负极板上的氧化反应又促使电极电位的升高。整个过程将引起蓄电池电动势的下降。在氧化还原反应中，正负极板上的活性物质 Pb 及 PbO_2 都不断地变成硫酸铅 (PbSO_4)，分别沉积在极板表面。同时，电解质溶液 H_2SO_4 逐渐变成水，引起了电解质溶液比重的下降。

三、蓄电池的充电过程

蓄电池的充电过程是其放电过程的逆转。在外加电场的作用之下，电流的输送是通过正负离子各向两极迁移，并在电极溶液界面处发生化学反应来实现的。这个过程就是电解。电解进行时，在充电电流的作用下，水分子 (H_2O) 被离解为氢离子 (H^+) 和氢氧离子 (OH^-)。 H^+ 在外电场作用下向负极板迁移， OH^- 向正极板迁移，同时正负极板上的硫酸铅亦发生离解：



正极板上的 Pb^{2+} 在外电场的作用下释放出电子而形成 Pb^{4+} 。