

Engineering Industry and Technics

铅蓄电池现代理论

l'Industrie Mécanique et Technipue

[苏] M. A. 达索杨 著
И. А. 阿古夫

きかいこうぎょうぎじゅつとしょ

schinenbauindustrie und Technologie

Промышленности и Технике

机械工业出版社

本书在现代最新资料的基础上阐述了铅蓄电池的热力学理论及极化理论。书中对正极和负极上所进行的过程和影响铅蓄电池使用性能的各种因素进行了详细的讨论。全书分为四章：第一章叙述铅蓄电池的热力学理论。比较完整地讨论了可变氧化度的二氧化铅电极热力学理论；第二章讨论活性物质多孔结构对铅蓄电池过程的影响。对按铅蓄电池的多孔电极厚度的电流分布进行了讨论；第三章比较详细地讨论了二氧化铅电极电化学反应的各种特点。提出了改善活性物质特性的途径；第四章研究了铅蓄电池负极理论。讨论了钝化现象，硫酸盐化现象和析出三氯化锡的问题。

此书可供从事铅蓄电池的制造和研究的人员及从事化学电源的研制和教学工作的人员参考。

本书系根据苏联动力出版社由达索扬和阿古夫合著的《铅蓄电池现代理论》1975年版译出。参加翻译校对工作的有山东大学及沈阳蓄电池研究所的华寿南、吴疆、朱德庄、陈慎豪、鹿玉理、柳昌义等同志。并由山东大学化学系徐国宪教授审阅。

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ
СВИНЦОВОГО АККУМУЛЯТОРА**
М. А. ДАСОЯН, И. А. АГУФ
«ЭНЕРГИЯ» Ленинградское
отделение 1975

铅蓄电池现代理论

[苏] М. А. 达索扬 И. А. 阿古夫
华寿南 朱德庄等译 徐国宪 校

机械工业出版社出版 (北京阜成门内大街27号)
(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092 1/32·印张11⁵/₈·字数256千字

1981年12月重庆第一版·1981年12月重庆第一次印刷

印数 0,001—2,500·定价1.20元

统一书号：15033·4974

前 言

铅蓄电池已有一百多年的历史了。在此期间，它的比电特性和使用寿命已提高数倍，使用范围也明显扩大。当前，在所有的化学电源中，铅蓄电池的生产规模占首位，并且正在迅速发展。

目前，铅蓄电池电极的利用系数在长时间放电制下仅仅达到50~60%，而在短时间放电制下只达到5~10%。因此，要提高现代铅蓄电池的性能，不但要进一步改进电池结构、采用新的材料，还须提高能量输出效率。用电化学活性材料来提高铅蓄电池的电气性能，要求我们进一步深化及发展铅蓄电池理论。

在铅蓄电池电极上进行的过程是相当复杂的，所以铅蓄电池的一系列理论问题至今还没有充分研究，对许多问题还缺少一致的看法。

在现代技术文献中，广泛地讨论了铅蓄电池各方面的研究成果。有关铅蓄电池的文献虽不少，但还没有专著来批判分析已发表的文章及研究这种电源的发展远景。唯一的只有七十多年前出版的多列查列克(Долецалек)著的《铅蓄电池理论》。可是，此书已陈旧，不能解决现在提出的一些问题。

作者为了填补本国技术文献中的这一空白而写了此书。书中在现代资料的基础上，论述了铅蓄电池的热力学理论、铅蓄电池电极表面极化分布的基本概念，并详细讨论了正负电极过程以及影响电极工作性能的因素。在叙述材料时，作者把重点放在所讨论问题的电化学方面。

作者写这本书时所遇到的主要困难是发表的资料很多，但难于从中选择最有价值的著作。作者深知不能概括铅蓄电池所有著作的甚至十分之一，所以主要偏重于最近十五年到二十年来发表的著作。在战前的著作中，本书只提到了一些最基本的研究成果，而对本书作者和同事的研究成果，则作了详细的论述。

需要强调指出的是不能认为铅蓄电池理论已是完善的了。就本书来说，也是这样。因此，作者所论述的许多问题的原理，并不是无可争议的和不再发展的。

本书是在现代理论的基础上，对铅蓄电池大量实验材料进行总结的初步尝试。当然，不可能没有缺点。所以，作者非常感谢读者指出不足之处。

目 录

前言

绪论	1
绪-1 铅蓄电池的产生及其发展的主要阶段	1
绪-2 铅蓄电池在俄国产生	6
绪-3 铅蓄电池在苏联的发展	9
绪-4 铅蓄电池在现代技术中的意义	15
第一章 铅蓄电池的热力学理论	20
1-1 $\text{Pb-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 体系的平衡	20
1-2 铅蓄电池电极上的电势形成过程	32
1-3 铅蓄电池的成流过程及其热力学论据	39
1-4 有可变氧化度的二氧化铅电极的热力学理论	44
第二章 活性物质多孔结构对铅蓄电池电极过程的影响	57
2-1 沿铅蓄电池电极厚度方向的极化分布	57
1) 多孔电极	57
2) 主要关系	58
3) 弱极化时电极行为的特点	66
2-2 极化曲线方程	70
2-3 表面活性物质对铅蓄电池负极极化均匀程度的影响	75
2-4 放电过程理论	80
1) 蓄电池电极的放电曲线	80
2) 容量与放电条件之间的关系	89
3) 硫酸的扩散对蓄电池电极放电的影响	95
2-5 按铅蓄电池电极高度的极化分布	98
2-6 铅蓄电池电极上极化分布的实验研究结果	103

第三章 铅蓄电池的正极	109
3-1 二氧化铅的结构和物理性质	109
3-2 二氧化铅的电化学性质	117
1) 二氧化铅电极的阳极行为	117
2) $\text{PbO}_2 \rightleftharpoons \text{PbSO}_4$ 平衡的交换电流	125
3) 二氧化铅阴极还原的机理	132
4) 二氧化铅电极的放电特性	140
3-3 正极活性物质损坏的机理	148
3-4 正极自放电	154
3-5 改进正极活性物质特性的途径	162
1) 电极容量提高的前景	162
2) 磷酸对二氧化铅电极特性的影响	164
3) 延长正极活性物质寿命的途径	175
3-6 正极板栅的腐蚀	181
1) 铅的阳极腐蚀机理	181
2) 合金添加剂对铅和铅锑合金的阳极腐蚀的影响	187
3) 用砷配制的铅合金	193
4) 用银配制的铅合金	208
5) 用钙配制的铅合金	214
6) 铅合金阳极腐蚀的某些规律	216
3-7 在铅合金阳极腐蚀过程中形成的氧化物膜的特性	225
1) 阳极膜的结构和相组成	225
2) 多层氧化物膜的热力学理论	235
3) 铅及铅合金上阳极膜的形成和阴极还原的动力学	240
3-8 正极板栅的腐蚀变形	252
1) 关于腐蚀变形的基本概念	252
2) 自由悬杆的腐蚀变形	254
3) 紧固固定的圆柱形杆的腐蚀变形理论	256
4) 机械负荷对铅合金阳极腐蚀的影响	263
5) 铅及铅合金的阳极氧化试样的变形	265

第四章 铅蓄电池的负极	271
4-1 充放电过程的机理	271
1) 铅的阳极钝化和硫酸铅还原的基本规律	271
2) 有机化合物在铅电极上的吸附作用	278
3) 表面活性物质和硫酸钡对负极放电特性的影响	287
4-2 负极的自放电	299
1) 铅自溶的基本规律	299
2) 阳极合金组分向负极的电解迁移	306
3) 负极上的氢析出超电势	313
4) 负极自放电的抑制剂	322
4-3 负极硫酸盐化及其防止方法	336
4-4 铅蓄电池充电时三氢化锑析出的动力学	339
参考文献	351

绪 论

绪-1 铅蓄电池的产生及其发展的主要阶段

在电化学发展的初期，为了寻找储存电能的方法进行了开创工作。在1800年，伏特（Volta）制成了第一个化学电源（伏特电堆），开辟了研究电流性质，特别是研究它的电解作用的广泛可能性。伏特电堆完全可以被认为是原电池和蓄电池的始祖。随后研究了伏特电堆的性质及用途，导致做成能够无多大损耗地积聚和供给电能的蓄电池。

1801年，戈德罗（Готеро）确定，在用于分解酸化了的的水的铂电极和银电极之间出现二次极化电流。而赖特（Риттер）用这种极化电流把水分解成其组成部分。赖特做成了第一个二次电池，叫做充电电堆。这个电池由五十个铜圆板组成，它们各自用食盐或氯化铵溶液浸渍过的呢子衬垫隔开。这种电池本身是不活化的，但充电以后，能在短期间内给出强电流。除了铜以外，赖特还研究了许多其它的金属。

1826年，诺比利（Нобили）在作为一次电源的铅板阳极极化时，第一次看到在铅板上生成二氧化铅。但是，这些对以后有杰出成果的实验，当时没有被注意到。

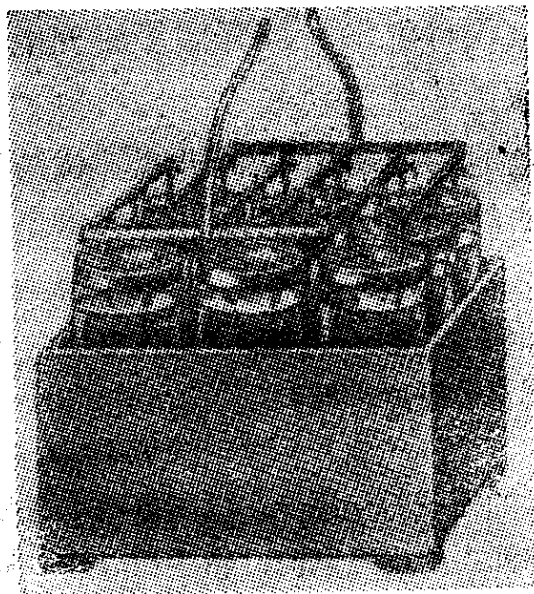
格罗夫（Грове）在以往工作的基础上，于1824年制成了有名的气体电池。在这种电池中，酸化了的水分解时产生的氢和氧又重新结合，因而得到二次电流。格罗夫电池具有蓄电池的所有性能，但因为容量小，以及必须用贵重的铂作为电极，所以没有被实际采用。以后，使用了铂和钯的海绵电极，气体蓄电池的效率才大大地提高。

铅蓄电池的出现和法国学者加斯东·普莱得（Гастон Планте）（1834~1889）的名字联系在一起。最初，普莱得研究的目的在于加强电解时的极化效应，使之能在实际需要时使用。

在普莱得以前，齐希坦登（Зинштедтен）于1850年指出，在两

个铅电极之间电解稀硫酸时，正极上生成 PbO_2 ，负极上生成海绵状铅。电路断开时，他发现电极上的电位差约为 2 伏。可是从这些观察中，齐希坦登没有作出任何实际的结论。至 1859 年，普莱得才提出了可能制造一种能积聚电能为以后使用的电化学装置的结论。这一年就被认为是发明铅蓄电池的日期。

普莱得在 1860 年将他的第一个蓄电池组（图绪-1）赠给了法国科学院（绪-1）。这个电池组按其放电电流大小来说，在当时已是突出的，并超过了以往所有的一次电源电池组。这第一个铅蓄电池组的电极总活化面积达 10 平方米，就足以说明其优点。第一个普莱得电池组的蓄电池是由两块相叠的铅薄板组成，用粗布做衬垫。这些铅薄板用螺旋线紧捆在一起，每一薄板上焊一铅条用来通电。至今，具有所谓表面极板的铅蓄电池（其活性物质是由极板本身的铅以电化学方式形成的），还采用普莱得的名字。



图绪-1 普莱得赠给巴黎科学院的第一个铅蓄电池组

由普莱得设计的铅蓄电池的工作时间很短，这是因为粗布做的隔板在酸中很快损坏，极板很快短路。以后，普莱得改进了设计。他使用了平面的极板，上面套着绝缘的橡皮圈；或以橡皮带作衬垫用螺旋线把这些平面的极板捆在一起。为了增大这种铅蓄电池的容量，普莱得对它进行了多次充电和放电，即周期性地改变电极的极性。这个被普莱得称为化成的过程，一直要继续几个月，有时甚至达两年。

这个缺点由普莱得的学生福尔（Фол）（1841~1898）所克服。福尔把在硫酸中制得的膏状氧化铅涂在铅板上，从而在 1880 年获得了制造铅蓄电池电极的专利权。福尔在 1882 年制成第一个这种类型的电

池组。这个电池组由三十五个电池组成，每个电池的容量为 168 安时，重量为 43 公斤。福尔蓄电池的主要缺点是用无毛毡做的隔板是不耐久的，而且活性物质和电极导电基体的联结很弱。

铅蓄电池的进一步发展，是以改进普莱得和福尔的蓄电池为基础的。改进普莱得蓄电池，主要是简化化成方法和通过扩大电极作用表面积来增大容量。这第一个课题由卢卡斯(Лукас)解决了。他在 1896 年提出，不是在硫酸中化成极板，而是在氯酸盐和过氯酸盐溶液中化成，从而把化成过程从几个月缩短到几天。这个化成过程，直至目前在制造表面型极板时仍被采用。

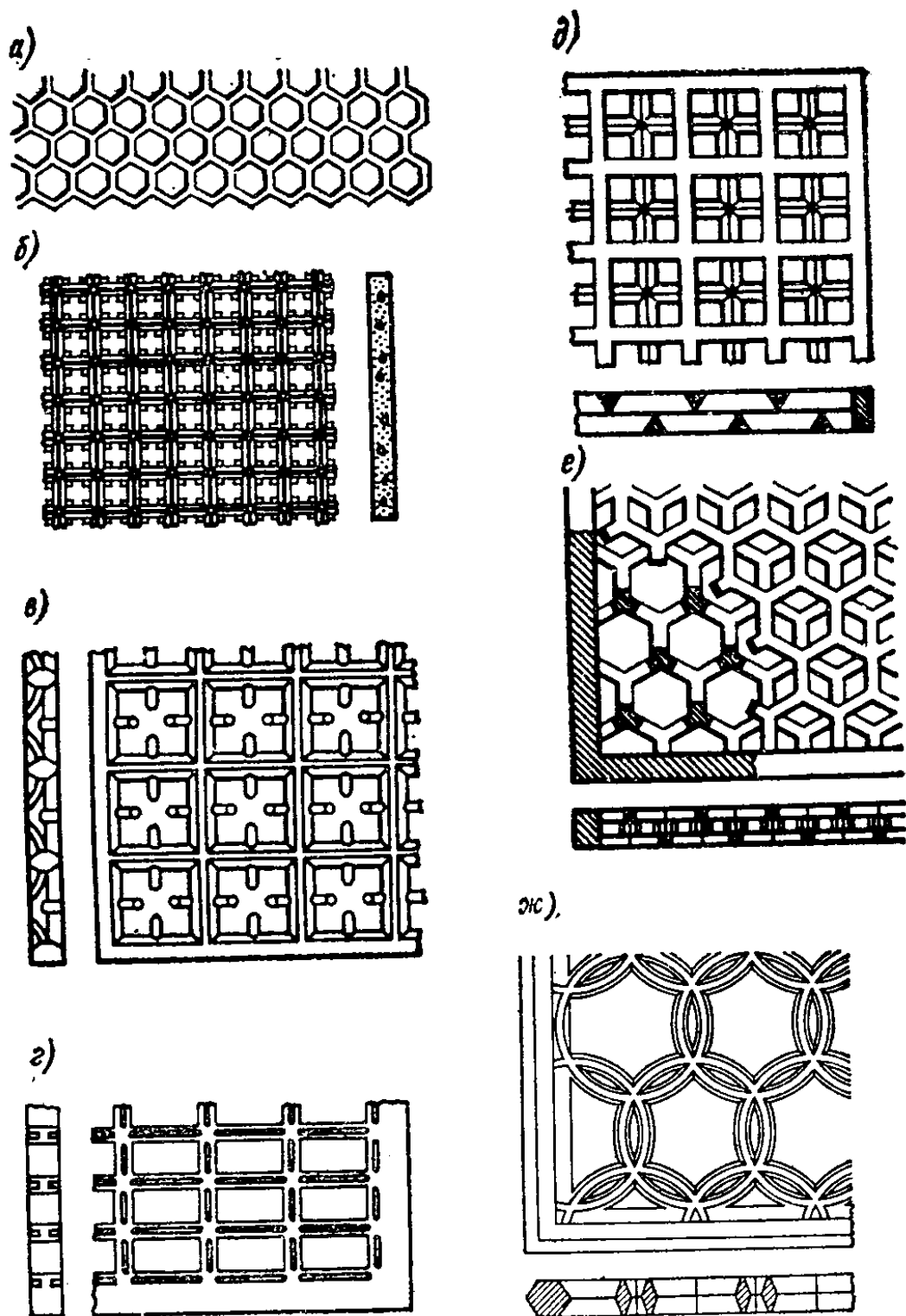
为了解决扩大电极表面积的另一问题，曾提出了许多方法。其实质都是采用薄板叠片（有时用带皱纹的薄板，或用表面起棱的整块极板）。制造起棱的表面可用冲压、在特殊机器上开槽，或在专门的模型中铸造。

铸造的方法，目前主要在欧洲采用。在英国和美国常用曼彻斯特型极板（先是通过模子压成铅条带，然后用机械方法打毛成极板）和用冲压制得的极板。经过上述改进，能制造出比能量为 15~20 瓦时/千克的普莱得型蓄电池。这种具有较长使用寿命的蓄电池不仅能在固定装置中使用，而且还能用于铁路车厢内的照明以及牵引电瓶车 and 电机车。在固定装置内，普莱得型电池组的容量可达到 50~100 千安时。

改进福尔蓄电池的工作的目的，一方面是改进氧化铅和基板的粘附，另一方面是尽可能地改进活性材料的质量。

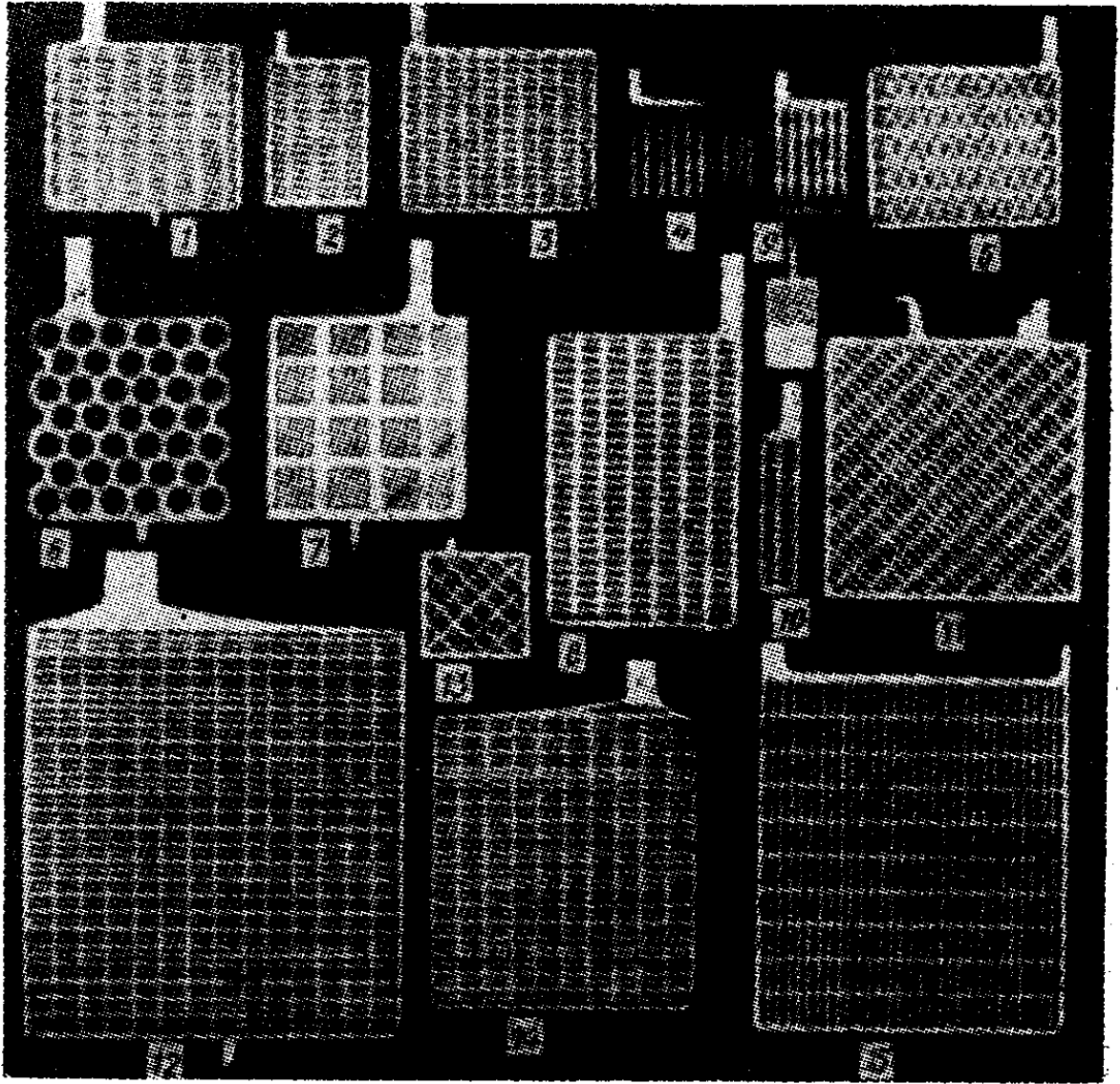
采用栅状结构的基板代替密实的铅板，解决了使活性物质保持在导电基体上的问题。福克马(Фолькмар) (1847~1884) 于 1881 年获得了具有栅状基板极板的铅蓄电池的第一个专利权。以后塞伦(Селон)又得到另一种蓄电池的专利权，这种蓄电池中，铅极板被铅-锑合金极板所代替，这样就大大加强了电极的机械强度。那时的板栅样品如图绪-2 所示。这些板栅早已不再使用。但是，其结构的某些原理，在制造现代导电基板(图绪-3)时仍然有用。

在改进制造电极材料方法的同时，还研究了铅蓄电池本身。按照福尔的方法，把铅丹和硫酸溶液搅混，制成铅膏，得到铅的氧化物同



图绪-2 1881年至1892年间的铅蓄电池板栅结构

а) 斯旺 (Сван) (1881) 板栅 б) 塞伦 (Селон) (1889) 双层板栅 в) 金 (Кинг) 和克拉克 (Кларк) 板栅 г) 赫里 (Хейли) (1889) 板栅 д) 科林 (Коррен) (1889) 板栅 е) 拜尔 (Бейер) 和哈根 (Хаген) (1889) 带双层网的板栅 ж) 费伯克 (Ферберк) 和申南克 (Шененк) (1886) 板栅



绪图-3 各种类型的现代蓄电池板栅

1、2和5—玻璃容器内的小型蓄电池板栅 3—牵引车蓄电池板栅
 4—铅甲极板栅，集合的和分散的 6—曼彻斯特正极板板栅 7—框形
 负极板栅 8—牵引车蓄电池板栅 9和10—小型实验用蓄电池板栅
 11和13—固定用蓄电池的加强板栅 12和14—泰捷克斯型固定用蓄
 电池的加强板栅 15—固定蓄电池的铅钙板栅

硫酸铅的混合物。这个最初的方法，基本上还保留到现在。在福尔的发明以后，曾颁发过许多铅膏配方和制造方法的专利权，但只有少数得到实际使用。

英国《蓄电池公司》，在福尔、福克马和塞伦专利的基础上，成功地制成了能实际使用的有铅膏极板的铅蓄电池样品。这种蓄电池大

为推广，并取名福尔-塞伦-福克马蓄电池，用各种结构形式生产。

从福尔以后，有铅膏极板的铅蓄电池的技术性能不仅在比能量上，或在使用寿命上都有了根本改进。当时最好的铅蓄电池样品的比能量为7~8瓦时/千克，能经受约100个充放电周期；而现代的铅蓄电池样品能达到35~40瓦时/千克和400~500周期。特别是管形（铠甲）电极的蓄电池，其使用寿命一般为1200~1800周期。因此铅蓄电池的使用范围明显扩大了。

如果说，以普莱得开创性实验开始的铅蓄电池诞生在1859年；那么，工业生产铅蓄电池的产生是在上世纪八十年代初。因为在这以前，仅是在实验室里探索铅蓄电池最合适的结构、寻找降低铅蓄电池制造过程及其充电成本的途径。直至1881年开始，在顺利解决以上问题以后，并出现了比较廉价的给电池组充电的直流发电机，几乎同时在法国、英国、美国和俄国等一些国家开始工业生产铅蓄电池。以后可以看出，在俄国，铅蓄电池技术的发展走过了一条不借鉴外国的独特的道路。

绪-2 铅蓄电池在俄国产生

在1881年底，与福克马蓄电池的最初报道出现的同时，在喀琅施塔得城的地雷军官学校中，开始了制造铅蓄电池的实验，为了把它用于地雷爆炸和甲板上照明。这些实验都是在俄国有名的电工学家约尔丹斯基（Н. Ф. Иорданский）的领导下进行的。他在1882年积极地参加了航行时试验第一个铅蓄电池样品的工作。约尔丹斯基去世（1883年）以后，制造和试验铅蓄电池的工作，由他的同事有名的俄国电工学家特维里季诺夫（Е. П. Тверитинов）领导[绪-2]。

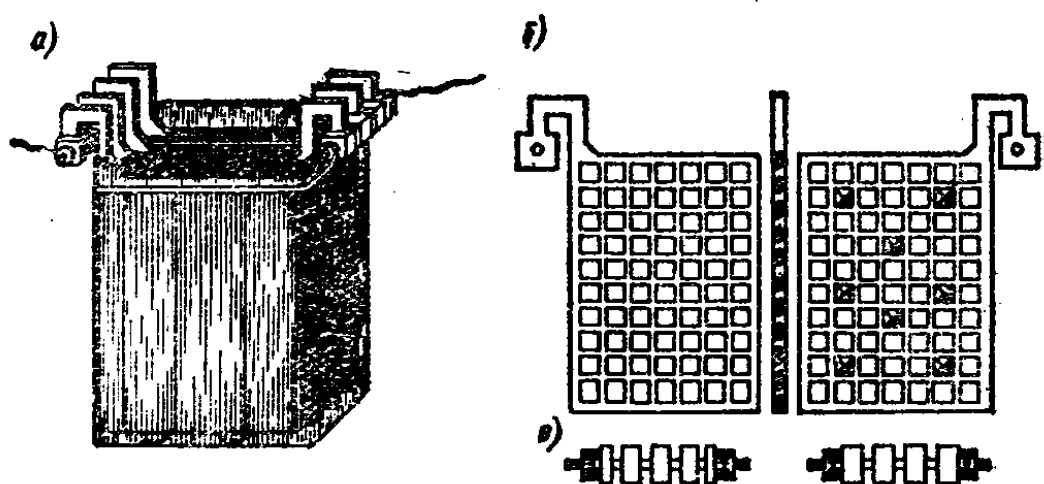
在特维里季诺夫领导下，制造了МОК模型铅蓄电池。这些电池的电气性能和工作性能，不仅不差于当时外国公司的最好样品，甚至还超过它们。

必须强调指出，福克马蓄电池的构造和制造工艺，任何地方都没

有确实的记载。特维里季诺夫除了知道有这种蓄电池外，对其它情况也不清楚。因此，MOK 模型铅蓄电池和福克马蓄电池的共同之处只在于板栅的使用[绪-3]。

MOK 铅蓄电池用于固定装置（图绪-4）和活动装置（图绪-5）。其中第一个是由三个正极板和四个负极板组成，它们的结构是同一型式的。极板板栅的七十个孔是用铅在铜模中铸造出的。板栅的水平筋条和垂直棱条有相同的六角截面。一氧化铅和铅丹的膏剂涂在极板的两面。先在极板上包层细棉布，再压紧，然后使其硬化，并放在比重为 1.035 的酸溶液中。负极板的化成是与空载电极成对单独进行，并延续 70~80 小时。把三个化成好的极板和四个没化成的极板一起放在玻璃容器内。为了把不同极性的极板按一定距离间隔固定下来，把没有化成极板上的几个小格里的膏剂除去，并有橡皮塞塞在这些小格中。再把装配好的蓄电池补充化成 80 小时，在这过程中，三个中间极板上的铅变成二氧化铅，而其它四个极板上的铅膏还原成海绵状铅。为了防止酸溶液飞溅，电解液表面覆盖一层 5~6 毫米的液态石蜡。

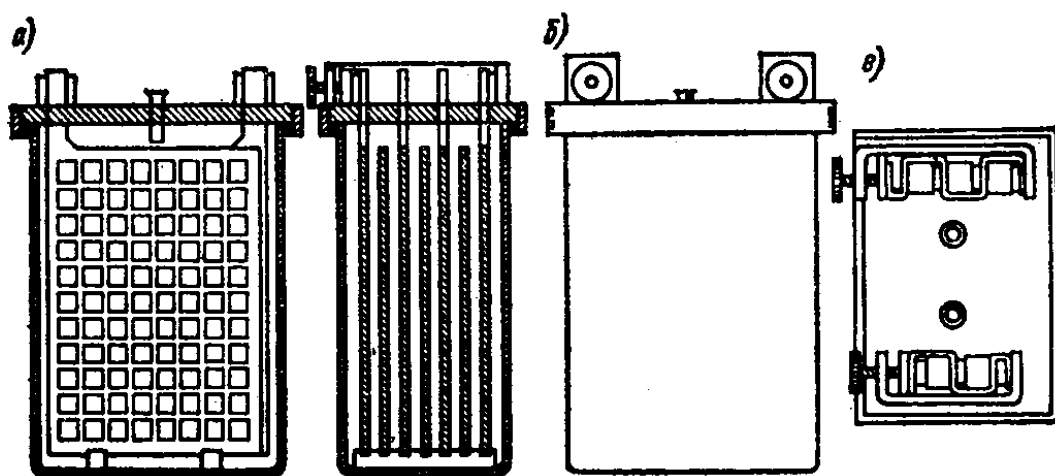
上述资料表明，MOK 体系铅蓄电池的构造和制造工艺是独特的。结构独特之处是极板板耳的形状、固定的方法、格子的大小、用石蜡覆盖电解液等等。在制造 MOK 铅蓄电池时更有创新，它们是：稠度为液态膏状物的一氧化铅铅膏、把铅膏牢牢涂在板栅的两面、紧压极



图绪-4 开口式 MOK 模型铅蓄电池

a) 全貌 b) 蓄电池板栅 c) 固定极板的杆

板、极板压紧后无限期地使其硬化、用更小的电流密度使正极板同空载电极一起化成、用未化成的负极板装配电池、蓄电池第一次充电时使未化成的负极板与正极板一起化成、和在蓄电池槽里直接化成等。



图绪-5 封闭式 MOK 模型铅蓄电池

a) 截面 b) 侧面 c) 俯视图

MOK 铅蓄电池，除了上述用途外，还能使地雷雷管着火、用于潜水灯、电动艇及信号气球等等。1884 年，在特维里季诺夫领导下，试验了世界上第一艘用 MOK 铅蓄电池发动的汽艇。这艘汽艇的速度每小时达 4.5~6 浬。铅蓄电池容量保证中速行程为 30 余浬。特维里季诺夫认为，其优点是安全不爆炸、清洁、无烟、无火星、完全无噪声等。

同年，MOK 铅蓄电池用于信号装置，17.5 立方米的气球把铅蓄电池送到 90~120 米的高度，因此很远的地方都能看到亮光。

俄国蓄电池技术的摇篮——地雷军官学校的学者们，除了做一些实际工作外，还进行了一些重要的理论研究来了解铅蓄电池中进行的电极过程的性质。其中最突出的是在切尔佐夫(И. М. Чельцов)领导下，由别克列麦绍夫(М. Н. Беклемешев)和卡宁(В. А. Канин)进行的测量二氧化铅的生成热。由这些研究成果，可计算出铅蓄电池工作时的反应热和铅蓄电池的电动势。齐文斯基(Г. Цивинский)测量普莱得蓄电池的电动势和内阻、列维茨基(П. Левицкий)测定铅蓄电池利用系数以及容量和放电电流的关系、洛津斯基(А. Т.

Лозинский) 检验硫酸参加铅蓄电池总的电流形成反应等工作, 对铅蓄电池理论都有重要意义。

这里必须提及特维里季诺夫的名著《蓄电池》[绪-3]。在培养几辈蓄电池研究人员方面, 该书曾起过重要的作用。该书叙述了铅蓄电池的理论和性质、制造和使用的实际知识。原是俄国第一部蓄电池原著, 其中不少原理至今还有价值。世界著名物理学教程的作者赫沃尔松 (О. Д. Хвольсон) 对这本书曾有很高的评价。奇科列夫 (В. Н. Чиколев) 的专著[绪-4]也是铅蓄电池初期的重要著作。

以上材料足以说明, 俄国在1881年开始制造蓄电池。就是说, 蓄电池的生产, 在俄国和在西方是同时开始的。在俄国建立独特的蓄电池技术的荣誉, 应归于海军部门的工作人员。研究历史资料也使我们确信, 喀琅施塔得城的地雷军官学校的实验室是俄国蓄电池技术的第一个科学研究中心。它的两个学者(切尔佐夫和特维里季诺夫), 因写了蓄电池理论和生产的经典著作, 而永远记入苏联电工技术的史册。

绪-3 铅蓄电池在苏联的发展

МОК 式蓄电池, 由海军部门在喀琅施塔得城进行工业生产。这种独立发明的蓄电池, 很长一个时期曾在军舰上使用。几乎与这同时, 电烛发明者亚勃洛奇科夫 (П. Н. Яблочков), 在下诺夫戈罗德 (现高尔基城) 组织了这种蓄电池的小批量生产, 把这种电池安装在伏尔加河的轮船上。在彼得堡, 铅蓄电池在格乃特 (Гернет) 工厂, 后又在波罗的海造船厂生产。

在这期间, 蓄电池生产仅是小规模。到1897年, 德国蓄电池公司《图德 (Tudar)》购买了格乃特工厂并扩大了生产以后, 蓄电池才开始在工业上较大量生产。

在更晚一些时候 (1911~1912), 彼得堡又开设了两家蓄电池工厂——法国的《单姆 (Тем)》和俄国的《雷克斯 (Рекс)》。但是这些年轻的工厂在蓄电池市场上的作用不大, 市场主要是由居多工厂供应[绪-5]。

革命前俄国的蓄电池工业, 大部分依靠外国资本, 发展很慢。上

面提到的一些工厂中,主要是手工劳动,地雷军官学校的奠基工作,实际上已被忘却。工厂主知道,革命前俄国秩序很不稳定,因此并不想发展蓄电池事业,只满足于使用当时已积累起来的生产技术资金。

伟大的十月社会主义革命以后,蓄电池工厂收归国有。开始重新建立蓄电池工业。1924年底,在列宁格勒组织了科学中心——中央蓄电池实验室(ЦАЛ),并在1964年改组成蓄电池科学研究所(НИАИ)。

二十余年来,ЦАЛ和НИАИ,一直由费多罗夫(В. Ф. Федьров)领导,它们在建立和发展苏联蓄电池工业中起着特别重要的作用。

对ЦАЛ和НИАИ的活动已有一系列的论文[绪-6]~[绪-8],因此不需详细叙述。我们只简单提及这两个科学中心战前和战后在铅蓄电池理论和生产方面所进行的某些工作。

1932年开始,ЦАЛ的研究题目中,铅蓄电池占主要地位。

这时期首先进行的工作是在国内寻找蓄电池原料的来源,不再进口铅和铅丹。拟定了制造蓄电池所用的铅丹、一氧化铅和铅粉的工艺过程。在已有的和新建的蓄电池工厂中,采用了一氧化铅-铅丹铅膏和铅粉铅膏的新配方。这些工艺,在很大程度上消除了当时在国内和国外生产铅蓄电池方法上的脱节,并为以后在本国工厂大力发展铅蓄电池事业打下了基础。在科索勃柳霍夫(Б. А. Кособрюхов)领导下,由罗津茨维格(С. А. Розенцвейг)、基尔玛洛娃(Н. А. Кирмалова)、克列芭科娃(Е. И. Крепакова)、谢苗诺夫(А. П. Семенов)、库兹涅卓娃(Н. Г. Кузнецова)、加尔佩林(С. И. Гальперин)等实现了以上的工作。

还制成了一些新型的蓄电池,如军舰上用的短放电电池组、潜水艇用的大功率蓄电池、电瓶车上用的铠甲蓄电池、无线电阳极和无线电加热电池组、汽车上的起动用电池组等等。在制造这些新型的蓄电池中,鲍尔库诺夫(Г. В. Болькунов)、莫克也夫(А. Н. Мокеев)、洛连茨(А. К. Лоренц)等人作出了很大的贡献,这些工作是由奥孔(Г. О. Окунь)领导的。