

汽车和拖拉机的 电气设备

苏联B.C.佐托夫 H.M.依里因 著

西安公路学院译

人民交通出版社

內容介紹

在本書內研究格斯-51、M-20、M-21、吉尔-150、瑪斯-200型汽車，G-80和ДТ-54型拖拉机电气設備仪表及吉尔-155和吉尔-127型大客車發電裝置的構造、工作、故障和調整。

本書可作为汽車公路中等技术学校“汽車技术使用和修理”专业学生用的教科書，且符合这类中等技术学校的教学大綱。

本教科書供学过“普通电工学”与“汽車和拖拉机的構造”課程中电工原理、汽車拖拉机电气設備仪表的一般構造和工作原理的学生使用。

汽車和拖拉机的电气設備

Б. С. ЗОТОВ И М. И. БИЧ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

Всероссийское управление учебной литературы
Автомобильно-дорожная литература
и школ высшей школы СССР
и высшей школы
для автомобильно-дорожных специальностей

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
АВТОТРАНСПОРТНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва, 1956

本書根据苏联汽車运输出版社1956年莫斯科俄文版本譯出

西安公路学院 譯

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六号

新华书店发行

人民交通出版社印刷厂印刷

1959年11月北京第一版 1954年2月北京第4次印刷

开本：850×1168 1/32 印張：7 1/2 插頁2

全書：240000字 印數：12501-15000册

統一書号：15044·4275

定价（科六）：1.20元

目 录

序 言	4
第一章 始动蓄电池	5
§ 1 对始动蓄电池的要求	5
§ 2 放电时在单格铅电池中的放电化学反应过程	5
§ 3 充电时在单格铅电池中的充电化学反应过程	9
§ 4 单格电池的内电阻	12
§ 5 单格电池的放电特性	12
§ 6 单格电池的充电特性	14
§ 7 蓄电池的构造	16
§ 8 电解液的配制	20
§ 9 单格电池和蓄电池的容量	22
§ 10 蓄电池的主要故障	26
§ 11 蓄电池的储存	32
§ 12 新蓄电池使用前的准备工作	34
§ 13 蓄电池状况的检查	35
§ 14 蓄电池的充电方法	37
§ 15 始动用酸性铁镍蓄电池	41
§ 16 充电设备	45
第二章 发电机	55
§ 17 对汽车和拖拉机发电机的要求	55
§ 18 汽车和拖拉机发电机的构造	55
§ 19 汽车和拖拉机发电机电压的调整	63
§ 20 PP-12A型调节器	70
§ 21 PP-12B、PF-12B、PP-25、PP-20、PP-24和 PF-11 型 调节器构造的特点	78
§ 22 Г-66型发电机单级电磁振荡式节压器	85
§ 23 Г30-A 2型发电机	90

§ 24	Г-2和Г-3型交流发电机	93
§ 25	Г-2型发电机的PP-2型調節器	100
§ 26	Г-3型发电机的PP-3型調節器	103
§ 27	发电机的檢查, 节压器、节流器及截流器的調整和檢查	107
§ 28	发电机、截流器、节压器和节流器的主要故障及其确定和消除方法	111
第三章	蓄电池点火	118
§ 29	用火花放电法燃燒工作混合气	118
§ 30	对点火装置的要求	119
§ 31	蓄电池点火装置的工作原理	119
§ 32	影响点火綫圈次級繞組感应电动势的因素	123
§ 33	蓄电池点火的特性	124
§ 34	点火綫圈的构造	128
§ 35	断电-分电器的构造	131
§ 36	点火時間对发动机工作的影响。調整点火提前用的仪器和设备	136
§ 37	火花塞	143
§ 38	亞斯-204型发动机火炬預热器	147
§ 39	蓄电池点火系各部件工作的檢查及其調整	148
§ 40	蓄电池点火系各部件的主要故障	153
§ 41	汽車上无綫电收音机和远距接收机干扰的减小	155
第四章	磁电机	157
§ 42	磁电机的工作原理	157
§ 43	磁电机的工作过程	157
§ 44	磁电机的特性	162
§ 45	磁电机的构造	163
§ 46	MC-22A 型点火提前偶合器	166
第五章	始动机	168
§ 47	对始动机的要求	168
§ 48	始动机启动发动机所需的功率	168
§ 49	始动机的特性	169
§ 50	始动机按照嚙合机构系統和控制方法的分类	171

§ 51	启动机的构造。CT-08、CT-20和CT-15B型启动机	172
§ 52	CT-15、CT-20B和CT-10型启动机	175
§ 53	CT-21型启动机	178
§ 54	CT-25型启动机	181
§ 55	启动机通电和启动机继电器的调整	187
§ 56	启动机的试验	191
§ 57	启动机的主要故障及其确定与消除方法	192
第六章	照明、信号设备及电气设备的辅助电气装置	194
§ 58	熾热灯泡、大灯	194
§ 59	灯的变换开关和开关	200
§ 60	熔絲保險器和复金屬片保險器 电綫	205
§ 61	振动式电喇叭	208
§ 62	电气刮水器	211
§ 63	安培計	213
§ 64	車速表和轉速表	214
§ 65	振动式电气机油表	216
§ 66	危險油压信号器	221
§ 67	振动式电气水温表	222
§ 68	发动机冷却系内危險水温信号器	225
§ 69	电磁式燃油表	225

附 录

1. 吉尔-150型汽車电气設備綫路图
2. 吉姆型汽車电气設備綫路图
3. M-21型汽車电气設備綫路图
4. 格斯-51型汽車电气設備綫路图
5. C-80型拖拉机照明綫路图

序 言

汽車和拖拉机新結構的創造，是与点火系、发动机始动、信号、照明的新型仪表和设备，发动机内检查油压和冷却液温度的仪表等的不断改进及其生产的掌握紧密联系着的。

对电气设备新型仪表的要求也提高了。在电机和仪表的功率同时增大的条件下减小其重量，增加电机和仪表的工作可靠性和使用寿命，保证同类的仪表和电机的另件具有最充分的互换性以及广泛统一电气设备系统仪表和器械的规格——这些就是大量生产的基本要求。对于电机和仪表另件和合件的生产工艺应加以特别的注意。

苏联学者和工程师正在创制更完善的新型的国产汽车拖拉机电气设备。

汽车上各电能使用部分（驾驶室暖气装置的电动机和玻璃刮水器、大功率的头灯灯泡、两后灯、无线电收音机等等）数量及其功率的增大，就要求提高发电机的功率。为了使发电机的功率提高而外形尺寸减小，就必须加强绕组和整流子的冷却，增大电枢的旋转速度，采用容许在较高温度下工作而不需棉织编包的高强度绝缘的电枢绕组导线，增大激磁电流以及进行其他结构上的改变。

第一章 始动蓄电池

§1 对始动蓄电池的要求

汽車蓄電池的用途是在發動機不工作時對各種電能使用部分（始動機，照明等）供電，在發動機怠速工作時供電以及當使用部分所需的電流超過發電機的額定電流值時與發電機一起供電。

裝在汽車上的蓄電池應滿足下列基本要求：

- 1) 在放電電流劇烈變動的情況下，極板彎曲和容量降低應該不大；
- 2) 在尺寸和重量很小的情況下，容量要大而內電阻要小；
- 3) 能在短時間內輸出大量的電流，且內部電壓降要小，以保證發動機起動時始動機的正常工作的；
- 4) 容器、極板和隔板的機械強度要很大，以保證蓄電池使用期限的增加；
- 5) 自放電要不顯著。

蓄電池的技術要求由全蘇標準(ГОСТ)959-51規定。

§2 放電時在單格鉛電池中的放電化學反應過程

在充電終了了的單格電池中，正極板的活性物質由暗褐色的二氧化鉛(PbO_2)組成，而負極板的活性物質由灰色的海綿狀鉛(Pb)組成。此時，電解液的比重（密度）由使用季節和地區而定，一般在1.24~1.31範圍內變動，而靜止的（與電路斷開的）單格電池的電動勢將相應地等於2.08~2.15伏特。

單格電池靜止的電動勢 $E_{\text{靜止}}$ 根據位於極板空隙內的電解液比重而變動，並且可按下列經驗公式確定：

$$E_0 = 0.84 + \gamma,$$

式中： γ ——15°C時電解液的比重。

極板空隙內電解液比重的改變，會引起單格電池靜止的電動勢的改變。

單格電池放電時在負極板上的化學過程。在電解液中一部分硫酸通常分解為正的氫離子 2H^+ 和負的硫酸根離子 SO_4^{--} （圖1）。

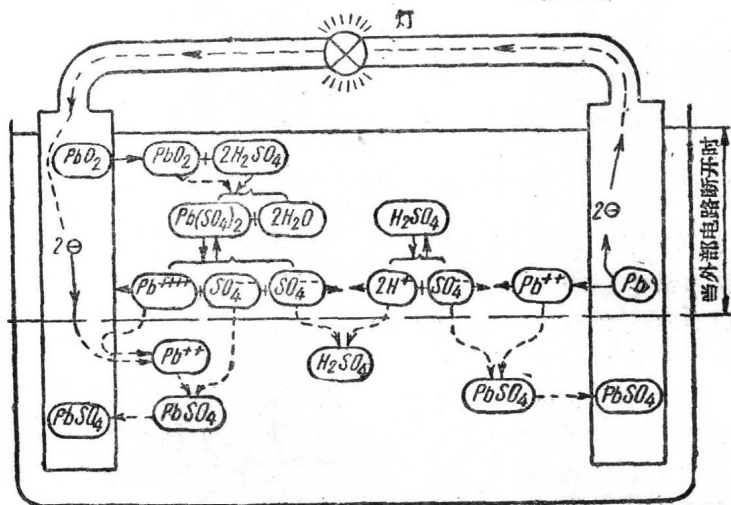


图1 放电时在单格铅电池中的化学反应过程简图

在拖拉机上日益采用价格便宜、结构简单和工作可靠的带有永久磁铁的交流发电机。这类发电机的使用寿命基本上仅仅取决于滚珠轴承的磨损。

在吉尔-155和吉尔-127型大客车上采用的电磁激发的同步交流发电机，最近也要安装在载货汽车上，首先用在柴油车上。该型发电机的主要优点是轮廓尺寸和重量不大，另件磨损小，以及在发动机怠速低转速下都能保证蓄电池的充电和使用寿命很长（行驶里程达200,000公里）。

新结构的调节器的特点是轮廓尺寸与重量小和所保持的电压的稳定性提高。

新型调节器正在设计中，其轮廓尺寸小，作用可靠，且能保证发电机激磁电流增大，即能保证发电机功率增大。调节器中采用更加完美的磁系统，以及用金属丝电阻替换碳质电阻等等的改进，使发电机在负载和转速变动时其调整电压保持稳定，并能延长调节器使用寿命。

始动用的碱性铁—镍蓄电池与铅蓄电池比较，前者使用寿命较长，而故障较少，因此在汽车上安装这种蓄电池能保证电气设备的可靠性较大。

为了延长铅蓄电池的使用寿命以及提高其在电解液温度低时的始动容量，今后将增大极板数量并减小其厚度，减小隔板厚度并改善其质量，采用新的塑料制作容器及采取其他改进方法。

目前正准备生产新结构的分电器。在这类分电器中，当发动机曲轴转速

和負荷變動時，點火提前的自動調整只用一個真空自動器來實現。在這類分電器中，斷電器的凸輪就是導軸的一部分，因而減少了點火提前角的偏移，此外，這類分電器的輪廓尺寸和重量較小。為了延長經常損壞的分電器轉子和蓋的使用壽命，開始採用以云母填充物代替木粉的塑料，這樣就提高了這些零件的絕緣強度。

輪廓尺寸小且完全密閉的容電器已經出產了。在這類容電器內，將噴在低電介質兩面的金屬薄層當作電極。當容電器內敷過金屬的電介質被击穿時，由於金屬被電火花破壞，容電器的電極不致短路，因而容電器自動修復。

正準備生產一種充滿油質的點火綫圈，由於綫圈絕緣質量的改善和其他結構上的改變，這能提高點火綫圈工作可靠性及延長其使用壽命。

為了提高發動機的經濟性，火花塞電極之間的間隙將增大至1公厘。此時，為了保證發動機工作的可靠性，必需有新型結構的點火綫圈，其次級電壓應增大，與目前出產的點火綫圈內次級電路的電壓相比較，應增大25%左右。

目前正在設計的始動機結構中，為了使其在功率最大時降低電耗和轉速將增大電樞鐵心的槽數，減小導線的截面，因而可以採用容量較小的蓄電池。同時，採取使齒輪沿軸的螺紋槽強制移動的方法，以保證齒輪與飛輪齒圈無撞擊地嚙合。採用這種傳動方式，能使始動機牽引繼電器的輪廓尺寸減小。

為了增高頭燈的光度，又要減少迎面運輸車輛駕駛員的眩目，準備採用其他形狀的散光玻璃、反射鏡和熾熱燈絲，以改變頭燈的發光部分。在輕型汽車上應用完全密閉的玻璃頭燈已逐漸增多。

為了減少迎面運輸車輛駕駛員眩目，保證汽車行駛安全，正在設計一種偏振照明系統。採用這種照明系統時，在頭燈散光玻璃中心和風窗上固定着微觀的、方向相同的人造偏振片的結晶體。這樣一來，迎面汽車的光幾乎完全被吸收，而駕駛員見到的只是很弱的光跡。

為了提高汽車內部照明的經濟性，應用發光燈泡代替熾熱燈泡，以降低發電機的功率。

現在要大大重視設計一些更可靠而輪廓尺寸小的測量、檢查儀表和信號儀表，開關和變光開關，以及其他電氣設備儀表。

標準型式的汽車電氣設備儀表的平均使用壽命在40000~75000公里行駛里程的範圍內變動。

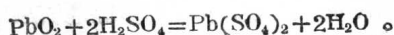
汽車拖拉機電氣設備製造廠已提出一項任務：在最近的時間內生產出更完美的輪廓尺寸小的，耐磨的和作用可靠的汽車電氣設備儀表和電機。這類儀表和電機在大修前的使用壽命應不小於100000公里行駛里程。

在結構和工作原理上不同的大量的汽車與拖拉機電氣設備的儀表和器械，要求技術員具有高深的知識和實際經驗，以保證汽車和拖拉機保持經常的技術準備狀態和增長機器修理間隔的行駛里程。

大家知道，汽車和拖拉機全部故障的20~30%是由電氣設備系統引起的。為了預防和消除這些故障，必需精通電氣設備儀表的原理和結構，善於確定和消除故障，為了預防故障的產生，必需及時和仔細地進行技術保養，只有這樣才能減少機器的停頓，從而有利於完成一項主要的任務——提高生產率 and 改善汽車和拖拉機在蘇聯國民經濟中的利用。

單格電池放電時，負極板活性物質的鉛Pb，一部分溶解於電解液中，並使兩價鉛的正離子 Pb^{++} 析入電解液；此時，在鉛極板上留下過剩的電子，因而這些極板就具有負的電位。

正極板活性物質的二氧化鉛 PbO_2 溶解於電解液的數量，較負極板的鉛少。二氧化鉛 PbO_2 與硫酸 H_2SO_4 起化學反應，形成四價鉛的硫酸鹽 $Pb(SO_4)_2$ 和水 $2H_2O$ ：



此時， $Pb(SO_4)_2$ 分解為四價鉛的正離子 Pb^{++++} 和硫酸根的負離子 $2SO_4^{--}$ 。四價鉛的正離子 Pb^{++++} 在極板上析出，因而也就使極板具有正的電位。在外電路斷開的情況下，過程到此為止。

單格電池的兩個電樞閉合時，在電動勢作用下在外部電路中形成自由電子從負電樞向正電樞的定向運動。

正離子 Pb^{++} 在負極板處與負的硫酸根離子 SO_4^{--} 結合，而形成硫酸鉛 $PbSO_4$ （硫化鉛）。硫酸鉛以很小的結晶體形狀沉附在負極板活性物質的表面上。隨著單格電池的放電，負極板的活性物質由海綿狀鉛pb轉變為硫酸鉛 $PbSO_4$ ，而其顏色也由灰色變為淺灰色。

單格電池放電時在正極板上的化學過程。從外部電路向正極板流動的電子，與四價鉛的正離子 Pb^{++++} 結合（在極板活性物質中），並使其轉變為兩價的鉛離子 Pb^{++} 。兩價的鉛離子移入電解液，與負的硫酸根離子 SO_4^{--} 結合，形成硫酸鉛 $PbSO_4$ 。硫酸鉛以很小的結晶體形狀沉附在正極板活性物質的表面上。因而，正極板的活性物質隨著單格電池的放電由二氧化鉛

PbO_2 轉变为硫酸鉛 PbSO_4 ，而其顏色也由暗褐色变为褐色。

因此，在单格电池放电过程中，正負极板活性物質的海綿狀鉛 Pb 和二氧化鉛 PbO_2 都轉变为硫酸鉛 PbSO_4 。

在单格电池放电时期，在外部电路中电子不断地沿着自由电子的方向运动，而在电解液中离子也不断地沿着离子的方向运动。

实际上在单格电池容許放电的情况下，极板上参加化学反应的活性物質不会超过20~25%，因为电解液由于活物質的多孔性不足而不能渗透到活性物質的内层。 PbSO_4 結晶体沉附在活性物質孔隙壁的表面，也会妨碍电解液渗透到活性物質的内层。

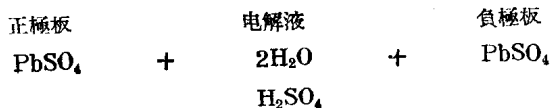
在放电过程中，由于硫酸 H_2SO_4 消耗于形成硫酸鉛 PbSO_4 ，且同时析出了水 H_2O 来代替硫酸 H_2SO_4 ，所以电解液的比重便由1.24~1.31降为1.12~1.19。

电解液比重的改变是单格电池放电程度的基本指标之一。

由于电解液的比重随着单格电池的放电而减小，单格电池的靜止电动势降到1.96~2.03伏特。

由于放电时在极板上—部分活性物質由 PbO_2 和 Pb 轉变为 PbSO_4 ，以及电解液比重的减小，单格电池的内电阻便增大若干倍（見§4）。

放电終了的单格电池的情况可用下列正負极板和电解液的化学成份来表示：



此时，电解液的比重 $\gamma=1.12\sim1.19$ ，单格电池靜止的电动势 $E_0=1.96\sim2.03$ 伏特。

§3 充电时在单格鉛电池中的充电化学反应过程

为了保证单格电池正确的充电，单格电池应并联接入直流电源（发电机，整流器）的电路。直流电源的电压必須超过所接入的单格电池（或蓄电池）的电动势。

蓄电池充电时，在电源过剩电压作用下形成自由电子从充电电源向被充电单格电池負极板的定向运动。

正負极板上的一小部分硫酸鉛 PbSO_4 在电解液中分解为正离子 Pb^{++} 和負离子 SO_4^{--} ，而一部分硫酸 H_2SO_4 分解为正离子 2H^+ 和負离子 SO_4^{--} （图2）。

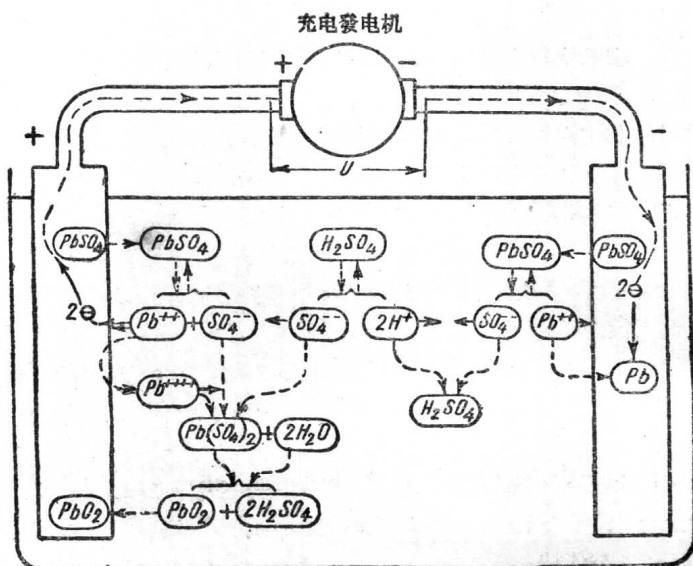


图2 在单格铅电池中的充电化学反应过程简图

单格电池充电时负电极上的化学过程。单格电池充电时，由电源流向负极板的自由电子吸引两价铅的正离子 Pb^{++} ，而两价铅的正离子与电子结合，转变为铅的中性原子。

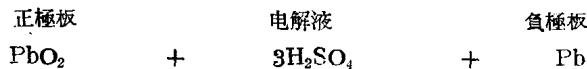
负的硫酸根离子 SO_4^{--} 与正的氢离子 $2H^+$ 结合，形成硫酸 H_2SO_4 ，而析入电解液中。

在充电过程中，负极板的活性物质逐步由硫酸铅 $PbSO_4$ 转变为海绵状铅 Pb 。

单格电池充电时正电极上的化学过程。单格电池充电时，两价铅的正离子 Pb^{++} （因 $PbSO_4$ 在电解液中分解而形成的）将两个电子输入电路（因而就保证电路中电流的流动），而转变为四价的铅离子 Pb^{++++} 。四价的铅离子与负的硫酸根离子 $2SO_4^{--}$ 结合，形成四价铅硫酸盐 $Pb(SO_4)_2$ 。四价铅的硫酸盐与两个水分子 $2H_2O$ 反应，并在交换过程中转变为二氧化铅 PbO_2 ，同时析出两个硫酸分子 $2H_2SO_4$ 。因而，在充电过程中，正极板的活性物质由 $PbSO_4$ 转变为 PbO_2 （暗褐色的）。

在单格电池中，电解液中的化学反应不仅在极板间进行，而且还在每一极板活性物质的空隙中进行。

充电終了的单格电池的情况可用下列正负极板和电解液的化学成分来表示:



此时, 电解液的比重 $\gamma = 1.24 \sim 1.31$, 而单格电池靜止的电动势 $E_0 = 2.08 \sim 2.15$ 伏特。

因此, 在单格电池充电过程中, 负极板的活性物質由硫酸鉛 PbSO_4 轉变为純洁的海綿狀鉛 Pb , 而正极板的活性物質由 PbSO_4 轉变为二氧化鉛; 电解液的比重由 $1.12 \sim 1.19$ 增至 $1.24 \sim 1.31$ 。

单格电池充电和放电时极板化学状况, 电解液比重及靜止电动势的变动情况, 可作为充电放电的概况表。

实綫和虚綫的箭头表示单格电池充电和放电时所进行的各种相应的变化。

单格电池充电-放电概况表

单格电池的 情况	化 学 成 分			电 解 液 比 重	靜 止 的 电 动 势
	正極板	負極板	电 解 液		
放电 ↓ ↑	PbSO_4 ↓ ↑	PbSO_4 ↓ ↑	$2\text{H}_2\text{O}$ ↓ ↑	$1.12 \sim 1.19$ ↓ ↑	$1.96 \sim 2.03$ ↓ ↑
充电 ↓ ↑	PbO_2 ↓ ↑	Pb ↓ ↑	$2\text{H}_2\text{SO}_4$ ↓ ↑	$1.24 \sim 1.31$ ↓ ↑	$2.08 \sim 2.15$ ↓ ↑

极板的活性物質剛一变為 PbO_2 和 Pb , 在单格电池繼續充电时电解液的比重和单格电池的电动势便立刻停止提高。这种现象可作为单格电池充电終了的标志。繼續充电, 只会引起水的分解为氢气和氧气。这些气体以气泡形式从电解液中放出, 而引起电解液的“沸騰”。

應該指出, 在充电过程中当充电电流很大时。在正极板活性物質的空隙內激烈地形成硫酸(同样, 在放电过程中当放电电流很大时激烈地形成水), 因此就要求电解液迅速地通过活性物質的空隙, 由于这个緣故, 隔板上肋骨形的一面必須朝向正极板。

由于充电时电解液比重的增加和正负极板活性物質化学状况的改变, 单格电池的电动势增至 2.15 伏特。

在充电过程中, 正极板活性物質空隙中电解液的濃度提高。这种情况会引起单格电池电动势的額外增高。

充电结束时，在极板上和活性物质的空隙中析出大量氢离子和氧离子，此时单格电池的电动势还要额外增加0.33伏特左右，而达到2.7伏特左右。

§ 4 单格电池的内电阻

始动机和其他使用部分所需的电流值与蓄电池的内电阻有关。

完全充电的蓄电池的内电阻约等于0.0015~0.0001欧姆，在单格电池放电过程中，因电解液比重的减小和极板活性物质中 PbSO_4 数量的增加，而逐渐增高至0.02欧姆。

单格电池的内电阻随着极板数量和尺寸的增大、极板间距离的减小、隔板多孔性的提高、电解液比重的增高、极板活性物质中 PbSO_4 结晶体数量的减小及电解液温度的提高，而逐渐减小。

单格电池放电时的内电阻 $r_{\text{акк}}$ 单格电池可按下式确定：

$$r_{\text{акк}} = \frac{E_0 - U}{I_p},$$

式中： E_0 ——单格电池静止的电动势；

U ——放电时单格电池的端电压；

I_p ——放电电流值。

当电解液温度为 $+20^\circ\text{C}$ 时完全充电的单格电池的内电阻可以按下列经验公式足够精确地确定：

$$r_{\text{акк}} = \frac{0.1161}{Q_{\text{HOM}}},$$

式中 Q_{HOM} ——蓄电池的额定容量。

§ 5 单格电池的放电特性

蓄电池试验时，为了确定蓄电池的额定容量，使完全充电的蓄电池在电解液温度为 $+30 \pm 2^\circ\text{C}$ 时以相当于0.1蓄电池额定容量的电流放电至落后单格电池终了的端电压为1.7伏特时为止。在试验过程中，利用变阻器使放电电流值保持不变，并测量电解液比重和每一单格电池的端电压。按照测得的数据画出曲线（图3）——蓄电池的放电特性曲线。

单格电池的容量按公式 $Q_p = I_p \times t_p$ 确定，它是完全充电的蓄电池在其放电至容许限度时所能输出的电量（安培-小时）。

在单格电池放电初期，由于在正极板活性物质空隙内形成水，在这些极

板孔隙中电解液的比重迅速减小,而引起单格电池电动势的减小。在单格电池整个放电时期内,因在极板活性物质孔隙内和极板周围的电解液比重不同,而发生电解液向极板孔隙内的扩散。因为放电电流值是不变的,所以在单位时间内因二氧化铅转变为硫酸铅和在正极板活性物质孔隙内形成水而消耗的硫酸数量也是不变的;因此,电解液的比重将按直线变化规律而减小。可看出,在这个放电时期内单格电池静止的电动势 E_0 降低的直线,与电解液比重降低的直线是相平行的。

单格电池放电终了时,在极板活性物质孔隙内的电解液的扩散速度降低,因而在极板孔隙内的电解液的比重减小,与此同时,单格电池的电动势 E 剧烈降低。

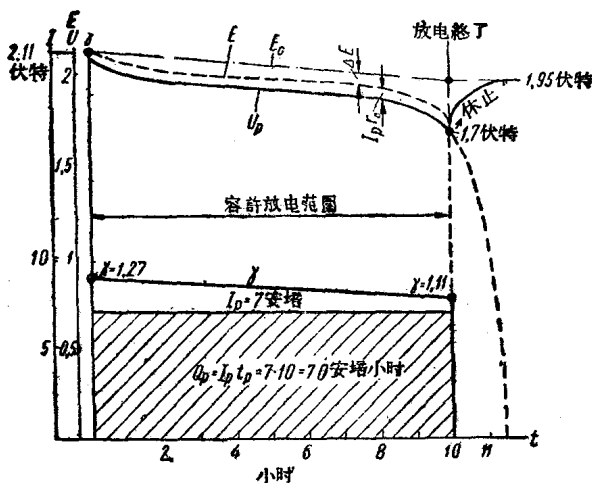


图3 单格电池的放电特性曲线

电解液扩散速度减小的原因,是 $PbSO_4$ 结晶体沉积在活性物质孔隙的表面上,而且因为 $PbSO_4$ 的体积大于 PbO_2 和 Pb 的体积,所以孔隙逐渐缩小,而使电解液难于扩散。

孔隙的减小首先发生在活性物质的表面层中,因为表面层与电解液化学接触的条件比较好,而且放电较内层快。如果继续放电,则当活性物质内层起化学反应时,表面层的孔隙逐渐缩小,而使电解液难于进入活性物质的内层;因此,孔隙内的电解液的比重剧烈减小,与此同时,单格电池的电动势和电压剧烈下降。

放电时，由于单格电池内部的电压降低值 $I_p r_o$ 和电动势降低值 ΔE ，单格电池的端电压 U_p 要比静止的电动势 E_o 小。

$$U_p = E_o - I_p r_o - \Delta E。$$

式中，电动势降低值 ΔE 由极板活性物质内电解液比重的减小值而定。

当电压降低至1.7伏特时，必须停止单格电池继续放电，以免极板迅速硫化。此外，如果单格电池再继续放电时，由于未被利用的容量很小，电压剧烈降低，并且从单格电池上只能取得很小的能量。

停止放电时，单格电池的电压立刻增加 $I_p r_o$ ，达到单格电池电动势的值，而由于活性物质空隙内的电解液继续扩散，极板孔隙中的电解液的密度增高，因此单格电池的电动势逐渐增高至静止的电动势值 E_o ，等于1.95伏特。这种现象称为单格电池“休息”。

§6 单格电池的充电特性

充电特性是在单格电池以恒定电流充电的过程中取得的（图4）。单格电池充电时，电源的电压必须超过单格电池的电动势。在等流充电过程中，因为在单位时间在极板活性物质空隙内析出的硫酸数量是相同的，所以电解液的比重和单格电池静止的电动势 E_o 将按直线变化规律增高至最大值，此后在继续充电时，电解液的比重和单格电池静止的电动势 E_o 就不改变了。

正极板的活性物质已由 $PbSO_4$ 转变为 PbO_2 ，以及负极板的活性物质已由 $PbSO_4$ 转变为 Pb ，单格电池再继续充电便即刻无益了，因为此时电能仅仅消耗于将水分解为氢气和氧气的上。

在充电过程中，一部份氢气和氧气没有与极板活性物质起化学反应而逸入空气。在这部分气体的形成上损耗了若干份电能，因此，在单格电池充电上消耗的电量要比放电时输出的电量大10~15%。

充电时，单格电池的端电压较其静止的电动势高出电压降低值 $I_s r_o$ 。

单格电池静止的电动势在单格电池充电过程中根据极板活性物质孔隙中电解液的比重而变动。在活性物质孔隙中析出的硫酸，引起孔隙中电解液比重的增加，因此在单格电池中电动势增高 ΔE 值，这样，充电时单格电池的端电压可按下式确定：

$$U_s = E_o + \Delta E + I_s r_o。$$

单格电池充电终了时，极板的活性物质转变为 PbO_2 和 Pb ，此时氢离子

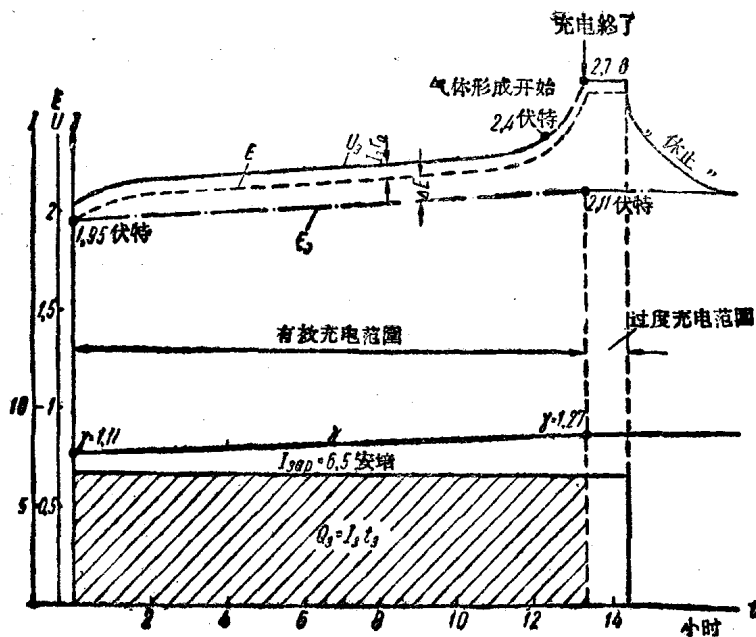


图4 单格电池的充电特性曲线

和氧离子在极板上继续析出，阻止活性物质的化学变化。此后，在负极板上析出的每一正的氢离子吸引本身不足的电子，这一过程不是立刻就完成的。因此在单格电池充电終了时，在负极板的周围集中大量正的氢离子，由于这个缘故，在负极板和电解液间产生0.83伏特左右的电位差，而相应地增加了单格电池的电动势。同时，单格电池的电压也增高，且在充电结束时达到2.7伏特。

充电时，极板活性物质由 PbSO_4 向 PbO_2 和 Pb 的转变进行得比较快，而内层的化学变化迟后；因此，一部分氢离子和氧离子来不及与极板的活性物质起化学反应，而被中和，并以气泡形式逸入空气，引起电解液的“沸腾”。这种“沸腾”在单格电池端电压为2.4伏特左右时激烈增长，并且一直继续至充电停止时为止。

在充电过程中，单格电池的内电阻随着极板活性物质中 PbSO_4 数量的减小和电解液比重的增大，而逐渐降低。

充电停止后，单格电池的端电压迅速降 FI_r 值，直至电动势的值为 E 时止，然后单格电池的电动势因氢离子和氧离子中和以后氢气和氧气逸入空