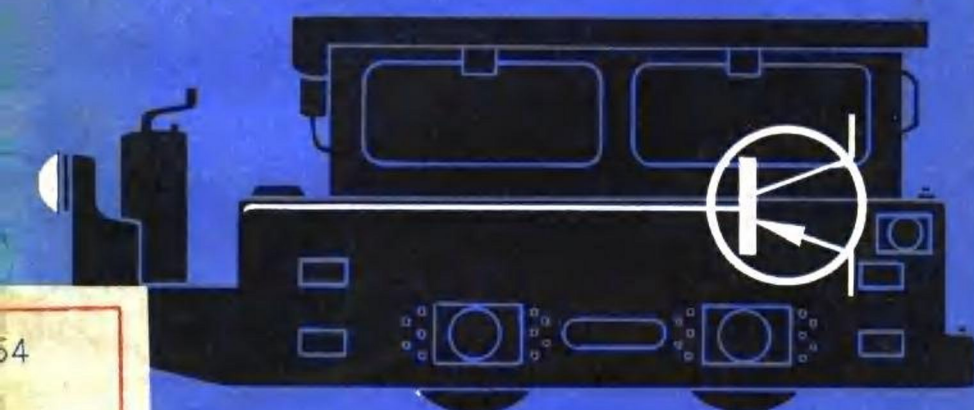


高频交流电机车

沈炳年 译 崔景岳 王美余 校

[苏] B. A. 布恩科 C. A. 沃洛特科夫斯基 Г. Г. 皮夫尼亚克



煤炭工业出版社

TD64

3

3

高频交流电机车

[苏]B. A. 布恩科 C. A. 沃洛特科夫斯基
Г. Г. 皮夫尼亚克

沈炳年译 崔景岳 王美余校

68114/19

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书叙述矿井电机车运输的安全问题。探讨了蓄电池电机车、架线式电机车以及高频交流电机车,阐述了其供电特点和保证安全运行的条件。介绍了矿井电机车供电网络的绝缘监视和漏电保护装置。评定了电路的安全火花性能。介绍了牵引和充电变电所的资料、控制和保护装置及电路的计算方法。

本书可供煤炭、冶金工业工程技术人员阅读,并推荐作为矿业高等院校和专科学校学生的参考书。

В.А.Бунько,
С.А.Волотковский, Г.Г.Пивняк
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
РУДНИЧНОЙ ЭЛЕКТРОВОЗНОЙ
ОТКАТКИ

Издательство «Недра», 1978 Москва

高 频 交 流 电 机 车

沈炳年译 崔景岳 王美余校

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $7^{13/16}$

字数 171 千字 印数 1—2,000

1982年2月第1版 1982年2月第1次印刷

书号 15035·2459 定价 0.98元

前 言

电机车运输是煤矿井下水平巷道运输的主要形式。开采强度的不断增大和综合机械化采煤工作面运输量的增长要求提高矿井轨道运输的安全性。解决井下运输安全问题的迫切性还决定于采掘工作正在向深水平转移，随之而来的是温度升高，煤尘、瓦斯涌出量增加，煤和岩石突出的危险性增大。因此，苏联许多机构（马卡耶夫煤矿安全科学研究所、煤炭工业东方科学研究所、顿涅茨煤炭科学研究所、全苏高频电力科学研究所、斯柯钦斯基矿业研究院、乌克兰科学院提升运输机械研究所、国立煤矿自动化设计院及其伏罗希洛夫格勒分院、中央矿井设计院、顿涅茨煤矿机械设计院、莫斯科和德聂伯罗彼得罗夫斯克矿业学院、顿涅茨和彼尔姆综合技术学院、德鲁日科夫斯克、亚历山大罗夫斯克和雅斯诺高尔斯克机械制造厂等）正在进行工作，以求改善现有的和创造新型的轨道运输车组和辅助设备、电源、控制装置、安全保障和防止人员触电的设备。

本书专讲近年来在矿井电机车运输安全供电方面所进行的工作。与第一版相比，书中作了修订，并补充了新的材料。

本书的总编辑是乌克兰功勋科学技术工作者 C.A. 沃洛特科夫斯基教授。

技术科学博士 C.A. 沃洛特科夫斯基教授撰写第二章；技术科学博士 B.A. 布恩科教授撰写第三章；技术科学副博士 Г.Г. 皮夫尼亚克撰写第一和第四至第八章。

目 录

第一章 矿井机车概论	1
第一节 井下机车运输的现状	1
第二节 改善矿井电机车运输的工作方向	5
第二章 蓄电池电机车运输	7
第一节 概论	7
第二节 蓄电池组	7
第三节 蓄电池组的排气	11
第四节 防爆型蓄电池箱	18
第五节 蓄电池组的漏电	22
第六节 电机车蓄电池组的充电和放电	24
第七节 依靠蓄电池电机车提高矿井运输的安全性	30
第三章 架线式电机车运输	33
第一节 矿井牵引网路	33
第二节 架线网路的参数	35
第三节 杂散电流	39
第四节 短路电流保护	42
第五节 牵引网路中预防触电的方法	51
第六节 在绝缘电阻下降时保证快速切断架线网路	55
第七节 漏电对保护装置影响的补偿	78
第四章 高频交流电机车运输	84
第一节 作用原理和基本关系	84
第二节 高频交流电机车的工作状态和特性	96
第三节 变频器的负荷参数	108
第四节 电机车可控硅控制系统	114
第五章 控制高频交流电机车的可控硅变换器	120
第一节 可控整流器	120

第二节	受电器交流电路中的变换器	125
第三节	直流脉冲变换器	141
第四节	传动动力学和故障状态	151
第五节	控制电路的计算和比较	156
第六章	为高频交流电机车运输系统供电的变频器	160
第一节	变频器原理和选择	160
第二节	倍频谐振逆变器的稳态过程	165
第三节	断续电流状态下逆变器的过渡过程	174
第四节	变频器的计算	177
第五节	起动和保护系统	180
第六节	变频器的工业样品	183
第七章	采用高频交流电机车的安全性	188
第一节	总论	188
第二节	邻近回路中的电流和电压	192
第三节	高频电流的点燃能力	196
第四节	电路安全火花性能的评定	205
第五节	牵引网路的绝缘监视和漏电保护	210
第六节	电机车电路的绝缘监视和漏电保护	218
第八章	电机车运输的经济技术指标	232
第一节	新型电机车的试验	232
第二节	运输的经济效果	237
参考文献		241

第一章

矿井机车概论

第一节 井下机车运输的现状

苏联的煤炭工业中，就运输巷道的长度而言，约有85%使用电机车运输，其所担负的运输量达80%以上。这种运输形式应用于纵向坡度在5‰以下的线路上，在各种不同距离内运输任何运载物。目前，广泛应用的，基本上是粘着重量在10吨·力以下的电机车。重型电机车约占机车总数的10%。机车总数的大约75%是蓄电池电机车，其中防爆型的约占17%，此外，架线式电机车占21%，其它型式的机车占4%。

按照供电方式分类，矿用电机车可分为蓄电池电机车、架线式电机车和高频无接触架线式电机车。国外还有架线蓄电池复合式电机车。按照型式划分可分为：普通型、安全型和防爆型。

由于科研、设计和实验工作的成果，电机车运输的技术水平正在提高。现在正在解决提高电机车速度、蓄电池组电能容量，改善机车牵引和制动特性，零部件标准化，保证安全运转和为司机创造舒适工作条件等项任务。

目前正在推行合理的运输系统，缩减其多级运输环节。采煤工艺过程的改进要求创造可靠的高效能的运输工具，为煤炭、矸石、辅助材料和人员的运输创造一种连续的、无需转运的运输系统。井下运输的劳动量在减轻。电机车的某些部件、矿车和轨道线路的结构在改进，对矿井车组运行动力学正在进行综合研究。

现在正为利用电子计算机的矿井生产自动控制系统拟定

井下运输分支控制系统，同时正在创制一种自动控制无人驾驶列车的设备。据了解，瑞典的埃赛埃公司（ASEA）现已研制了一种借助架线蓄电池复合式无人驾驶电机车实现矿物运输自动化的系统。列车运行的控制装置由发射机、轨道天线和设在电机车上的接收机组成。采用工业电视监视矿车的装车和自动卸车过程。这种系统在《斯塔什茨》矿（波兰）使用以来，使线路的通过能力和连续作业的程度得到了提高，车组数量减少了，劳动的安全条件得到了改善，说明这是有发展前途的一个方向。

为了提高矿井轨道运输的效率，现已提供一系列新的矿用直流电机车，就其粘着重量而言，有7（600，900）^①、10（600）、14（900）和28（900）吨·力的蓄电池电机车；有10（600，900）、14（900）和28（900）吨·力的架线式电机车。在一定条件下，对重载列车采取两台电机车双机牵引，可在其中任何一个司机室内进行驾驶的方法是合理的。因此，为使蓄电池电机车的粘着重量达到28吨·力，可将两台粘着重量各为14吨·力的机车串联起来。

蓄电池电机车由于需要一套昂贵、复杂的充电设施，使用时排出氢气，而氢气的聚集又可能形成有爆炸危险的空气氢气混合物，所以使用起来有所不便。在使用过程中，其技术特性也有极大恶化，需要经常更换蓄电池组，在运输量大的矿井里使用这种电机车不经济。蓄电池机车运输的优点是：独立供电，触电可能性较低。

德鲁日科夫斯克苏维埃乌克兰五十周年机械制造厂业已研制出一批АРП10-600、АРП14-900和АРП28-900型蓄电池电机车，所采用的是可控硅控制系统，备有新型牵引蓄电

①括号中所示数字为轨距——600和900毫米。

池组，目前已进行过局部试验。采用可控硅变换器(斩波器)的电机车在试验中表明，与采用变阻器控制系统的电机车相比，其传动装置的控制系統运行质量要高得多。目前正成批生产2AM8Д型现代化的电机车，AM8型两台重联式蓄电池电机车和AM8Д型电机车。

采用轨道电磁制动的13AΠ1-TM型和AM8-TM型电机车已经通过工业检验，在进行制动时与作用于车轮的制动器结合起来可使电机车的制动力提高1~2倍，从而使运输的安全性得到提高。还研制出一种新式的Y3A型可控硅充电装置供牵引蓄电池组充电之用。

架线式电机车运输的特点是：因可能触及架线而触电的危险性较高；可能发生火灾；存在杂散电流；由于产生有引起爆炸危险的外露火花，在瓦斯矿井中的使用有局限性。鉴于架线式电机车的运转效率高，目前正在改进供电方式、提高安全性和扩大使用范围的工作，现在在矿井中推行的AMT-3型瓦斯保护系统有助于这一工作的进展。半导体牵引变流所正进行现代化，矿井牵引网路的电压质量在改善，半导体整流设备也在设计之中。还在研究依靠采用双弓形集流器以减少集流时产生的火花的装置。采用可控硅控制系统的架线式电机车也正在制造。所有成批生产的电机车均具有电气动力制动。

粘着重量为10和13吨·力的B10和B10Б型高频交流无接触架线式电机车已通过工业试验，现已投入使用。正准备试生产一批安全型的B10-600和B14-900型电机车。高频交流电机车运输对于运输量大、运输线路断面复杂的煤矿最有发展前途。使用这种电机车可以提高安全性和劳动生产率，保证较高的运输经济技术指标，而且能使运输作业简化。同

时，还可以为矿工创造更良好的劳动条件，并为易于实现运输自动化和大大降低井下运输的劳动量提供了可能。为了有效地利用电机车，正在拟定保证无接触架线式运输同矿井通讯、自动化及遥控装置系统协同工作和设备安全运转的标准规范。

含有沼气的矿井大气，在一定的条件下，可能由于蓄电池组连接处的火花而引起爆炸。因此，正在制造一种防爆结构的蓄电池箱，以便设计APB型的防爆型蓄电池电机车。目前正在成批生产的5APB型电机车就是为在有煤或瓦斯突出危险的矿井和有大量瓦斯涌出的矿井里供在通风巷道和准备巷道进行运输之用的。现在正在研制APB7和 APB14-900 型电机车。

如果所有电机车都装有必备的专门装置，电机车运输能够做到不间断工作和安全运转。普罗科比耶夫矿井自动装置工厂研究制造了ΦPЭ-4型新式前灯。这种前灯具有白色和红色灯泡。红色灯泡在停车时接通。前灯设有远光和近光转换装置。照明和灯光信号由输出电压为24伏的稳压器供电。试验表明，ΦPЭ-4型前灯的照明技术指标符合要求。

亚历山大罗夫斯克伏罗希洛夫机械制造厂生产了 CP-35型矿用车速计的试制品。在K10和K14型架线式电机车上所作的试验证明，其技术特性符合指定条件的要求。

供全苏国家标准15174-70规范中各种类型矿车使用的新式车钩已经通过工业检验。其所规定的从司机室里对自动车钩进行遥控可以提高电机车的生产率，降低工伤事故。

在国外，许多国家除了电机车外，还广泛应用柴油机车。其优点是：具有极大的独立性；无触电危险和能源储备不受限制。苏联已经制成粘着重量为8吨·力的Д-8型防爆柴油机

车，用在有瓦斯或煤尘危险而不准使用电力的矿井里，在通风巷道中进行运输。柴油机车的缺点是：排出气体的有毒成分污染巷道；必须加强运输巷道的通风；音响和振动大。因此，某些外国公司正在发展采用可控硅控制的电机车井下运输。

矿井用贮能式机车是靠飞轮积蓄的能量运转的惯性机车。在根据安全规程不准使用安全型蓄电池电机车的有瓦斯或煤尘危险的矿井里，在其通风巷道中可以使用这种贮能式机车。德鲁日科夫斯克机械制造厂生产轨距600毫米的ГР-4型贮能式机车和轨距900毫米的ГР-5型贮能式机车。其主要优点是防爆，缺点是行驶距离短，不能经常处于工作准备状态。

苏联没有采用压气机车运输，因为这种运输方式基本费用和运行费用都高，而且效率低。

第二节 改善矿井电机车运输的工作方向

提高矿井电机车运输效能的主要任务之一是提高其效率和通过能力，保证安全的运转条件。这个任务可以通过下述途径解决：制造具有改进了牵引、速度和制动特性的重型电机车；采用载重量大的底卸式矿车和分组编车；合理组织列车运行；改善轨道状况；改进供电系统；研制可靠的保护装置和安全运行仪表。

建议研究矿井列车动力学及其与轨道的相互关系；制造新型矿用列车；研究蓄电池的充电和放电过程，提高其电能容量；研制自动化的可控硅牵引和充放电变流器，矿用架线式电机车的无火花集流装置；推广可控硅整流设备。可控硅控制的电机车和无人驾驶列车的自动控制系统很有发展前途。

必须使采用可控硅控制的新型电机车，诸如A ПП10、A ПП14和A ПП28型蓄电池电机车；K14和K28型架线式电机车；B10和B14型高频交流电机车和APB7和APB14型防爆型电机车投入工业生产。

采用自动车钩、速度计和道岔控制装置是提高井下运输安全性的一个重要方向。电机车应设有在司机失去工作能力的不允许开动的闭锁装置，应该设有封闭的司机室和完善的制动系统。为了消除触电事故、防止火灾和提高轨道运输设备和供电系统的可靠性，必须制造快速有效的半导体触电和故障状态保护装置，制定电机车安全运转和维修规范，保证电气系统具有安全火花性能。必须在制造可靠的电机车控制系统和在鉴定安全保障效能方面继续进行科学研究。

迫切需要解决的还有下列一些任务：制订对机车制动系统的统一要求和利用电子计算机进行轨道运输供电的合理设计和计算方法；明确规定制动距离标准；确定电气安全的初步标准和绝缘电阻指标；寻求直流和交流电气设备包括高频电气设备的绝缘状况鉴定方法。

上述各项主要任务，在将先进的科学技术成就运用到矿井运输的设计和和生产实践的基础上是可以得到解决的。

第二章

蓄电池电机车运输

第一节 概 论

蓄电池电机车的电气设备是按防爆型制造的，因此可以在有瓦斯或煤尘危险的矿井中使用。但是，在矿用电机车的主要结构中蓄电池组是安全型的，属于例外情况。

在设计牵引蓄电池组时，应认真注意防止蓄电池箱内产生引爆火花的可能性。但是，大量的研究和经验表明，这种火花的产生是可能的。由于个别蓄电池绝缘状况恶化而产生的漏电或短路电流可能引起危险的火花或发热，以致引起火灾。制造防爆型蓄电池箱可使蓄电池电机车能够在所有矿井，直至超级瓦斯矿井的运输巷道中使用。

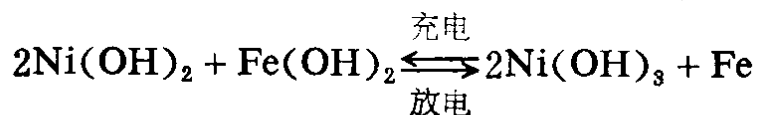
制造防爆设备最有效的办法是将可能产生引爆火花的部件放入防爆外壳里。但是，为矿用电机车蓄电池组制造这样的外壳有一定的困难，原因是目前所使用的蓄电池在工作过程中不断排出氢气。如果不将这些氢气从蓄电池箱里排出，最终会产生比甲烷-空气混合物更有爆炸危险的混合气体。

下面将比较详细地探讨一下有关提高蓄电池电机车运输的安全性方面的各种问题。

第二节 蓄 电 池 组

矿用电机车的牵引电动机由镍铁碱性蓄电池供电。

蓄电池充电和放电的过程可以概略用下列方程式表示：



在碱性蓄电池进行充电和放电时，电解液的成份和浓度实际上不发生变化，它只是在极板间起一个导电体的作用。

蓄电池结构是由正、负极板组、外壳（容器）和配有附件的外壳盖组成的。正、负极板

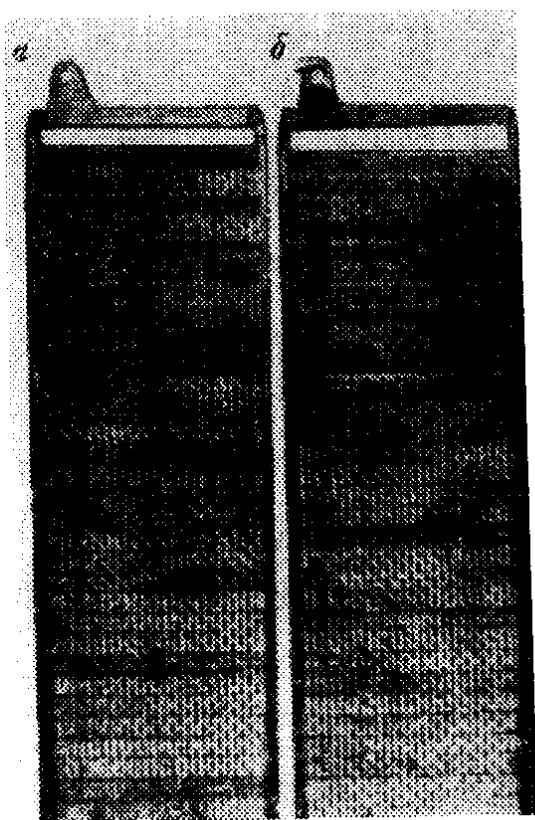


图 2-1 THЖIII-550型碱性 蓄
电池的正极板（薄片）
a—中极板；б—边极板

板是镀镍框架（薄片），上面固定着扁平的袋子（图2-1）。每个扁袋是由穿有小孔的钢带制成的，里面装有活性物质。极板用钢杆串在一起，用螺母固定起来，极板之间用垫圈隔开。

这样装配起来的极板，构成极板组。正负极板彼此间隔排列。镍铁蓄电池的负极板数量通常比正极板多一个，因此负极板组有边极板。不同极性的极板彼此用硬橡皮棒、橡皮线和塑料线互相绝缘。装配好的极板组放入蓄电池外壳，用

绝缘衬垫将其与外壳隔开。

蓄电池的外壳和外壳盖是用镀镍钢板焊接的。螺栓用硬橡皮作绝缘穿过外壳盖，上面设有接线端子。蓄电池外壳盖上有一个自动阀门孔。阀门的作用是用来补充电解液，防止其溅出，当蓄电池内压力高于大气压时即将气体排出，同时还可防止电解液与空气接触，以免因之产生碳酸盐而损坏电解液。

矿用电机车碱性蓄电池的电解液用的是氢氧化钠溶液

(NaOH)，其浓度在 20°C 时为 $1.23\sim 1.25$ 克/厘米³。每公升溶液中至少加入20克氢氧化亚镍。这种混合电解液可以改善活性物质的特性，保证电池组长期工作。

按照全苏国家标准19484-74的规定，蓄电池厂为矿用电机车生产各种容量的THЖIII型（牵引、镍铁、矿用型的）[●]碱性薄层蓄电池。在型号字母前面的数字表示蓄电池组中串连的蓄电池数。例如，96THЖIII500型蓄电池组就是说，它是一个容量为500安培·小时的镍铁牵引蓄电池组，由96个蓄电池组成（图2-2）。电机车蓄电池组的标准容量为：300、350、500、550和650安培·小时。

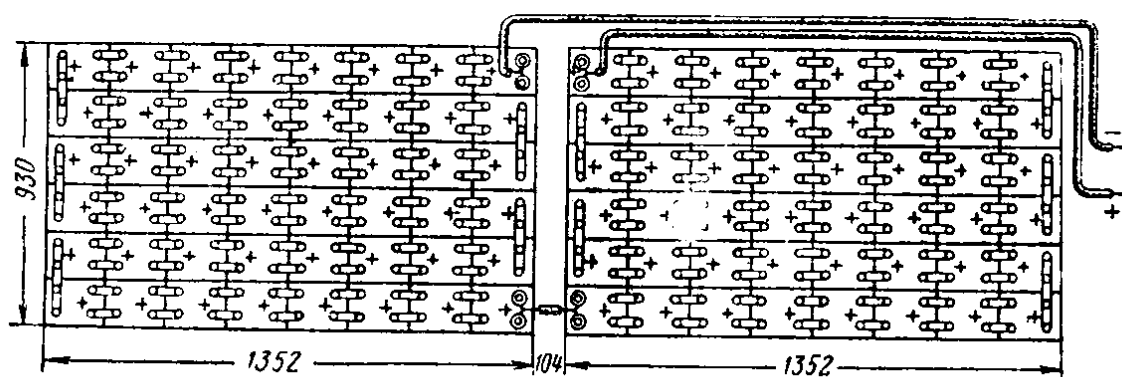


图 2-2 96THЖIII-550型蓄电池组的蓄电池安装布置图

THЖIII型蓄电池的容器（箱）由金属制成，具有绝缘、抗碱的聚合物覆盖层。容器的上部和下部箍着聚乙烯套靴（图2-3）。极板组与蓄电池金属容器之间的绝缘采用轧光的聚氯乙烯绝缘衬垫。蓄电池单元之间彼此用带有锥形帽的弯曲镀镍黄铜跨线连接起来。

应该指出，1975年以前为矿用电机车生产了TЖH型碱性蓄电池，这种蓄电池的特点是电能容量低，耐久性较差，而且在矿井条件下防火性能也差。这一切均对矿用电机车的

● 括号内的文字是说明THЖIII型各字母的缩写字含意的——译者，

效率和可靠性产生了不利影响。由于碱性蓄电池有了新的结构设计和制造工艺的改善, THЖIII 型 蓄电池组在同样的外形尺寸下, 电能容量要比 TЖH 型 蓄

电池组大 0.5 倍。

目前, 已研制一种新型的碱性蓄电池, 其型号标志是 THЖК (牵引、镍铁、联合型的)。这种蓄电池, 其正电极是薄片式的, 负电极是非薄片式的。现在 THЖК-650 型电机车蓄电池组的试制品正在进行工业试验, 不久将投入成批生产。

蓄电池电解液在充电时温度升高超过 45°C 会使蓄电池容量受损失, 减少其服务期限。

说明蓄电池特性的主要数据是电压、内阻和容量。在实践中, 容量效率(有效系数)平均为 55%, 能量效率为 40%。额定容量是指制造厂所保证

的在蓄电池温度为 15° 至 35°C 时, 在稳定的放电状态下, 至最终电压为 1 伏时的容量。例如, TЖH-350 型 蓄电池组在五小时放电状态下至最终电压为 1 伏时以 70 安电流放电, 其额定容量就等于 350 安培·小时。

镍铁碱性混合电解液蓄电池在各种不同状态下(周围温度 25°C) 的充电和放电曲线如图 2-4 所示。

蓄电池的服务期限取决于其所能承受的循环数。蓄电池的一个充电放电过程叫作一个循环。服务期限的长短在相当大程度上取决于对蓄电池组的使用是否正确。经常充电不足

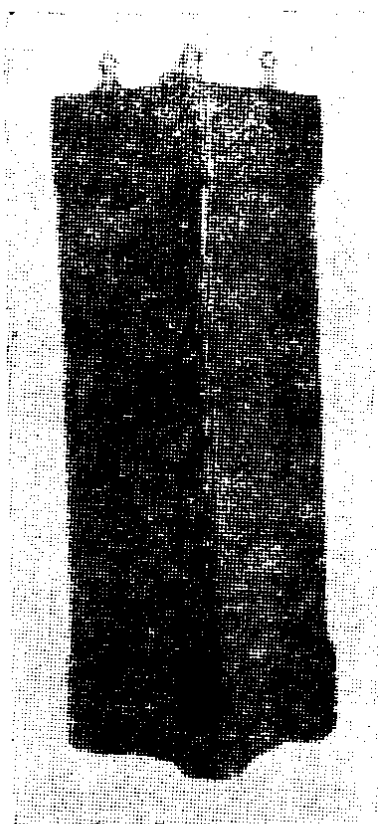


图 2-3 THЖIII 型碱性蓄电池外貌

和过度放电会大大缩短蓄电池的服务期限。依照工厂的规程，THЖIII型和 THЖK 型蓄电池在试验台上的工作量应不

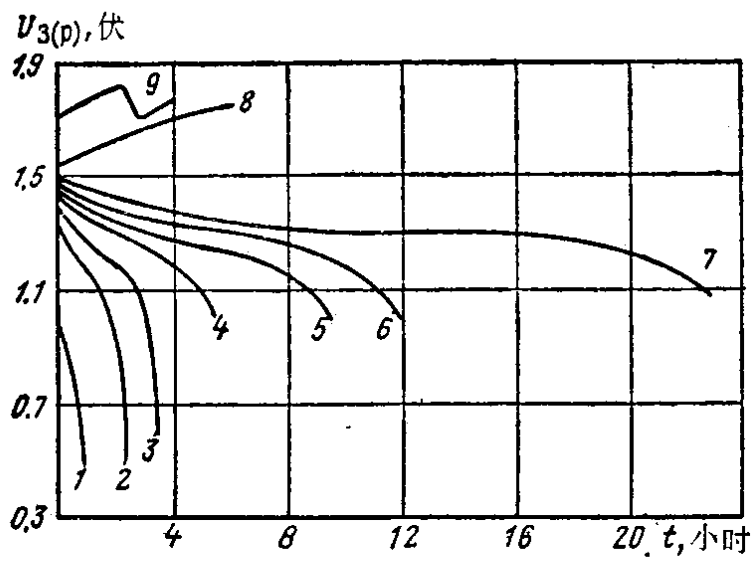


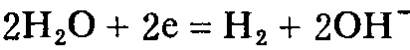
图 2-4 THЖIII型碱性蓄电池充电和放电曲线

1—一小时放电；2—二小时放电；3—三小时放电；4—五小时放电；
5—八小时放电；6—十小时放电；7—二十小时放电；8—正常充电；
9—加速充电

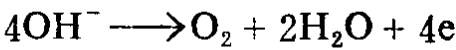
少于1000个循环。在用户遵守维护规程的条件下，蓄电池组工作的保证期限应不少于一年。

第三节 蓄电池组的排气

在充电时，除了铁还原和氢氧化镍氧化这个电流生成的基本过程外，电解液中的水发生电解，在负电极产生氢气：



在正电极产生氧气：



多次的研究表明，碱性蓄电池在充电结束后大约一个小时还有气体析出。

蓄电池放在充电室里充电，将蓄电池箱盖打开。充电室