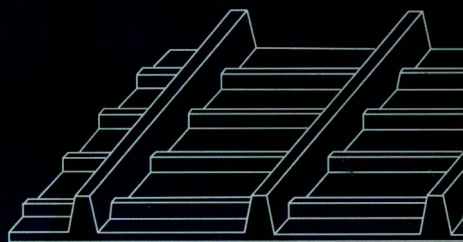
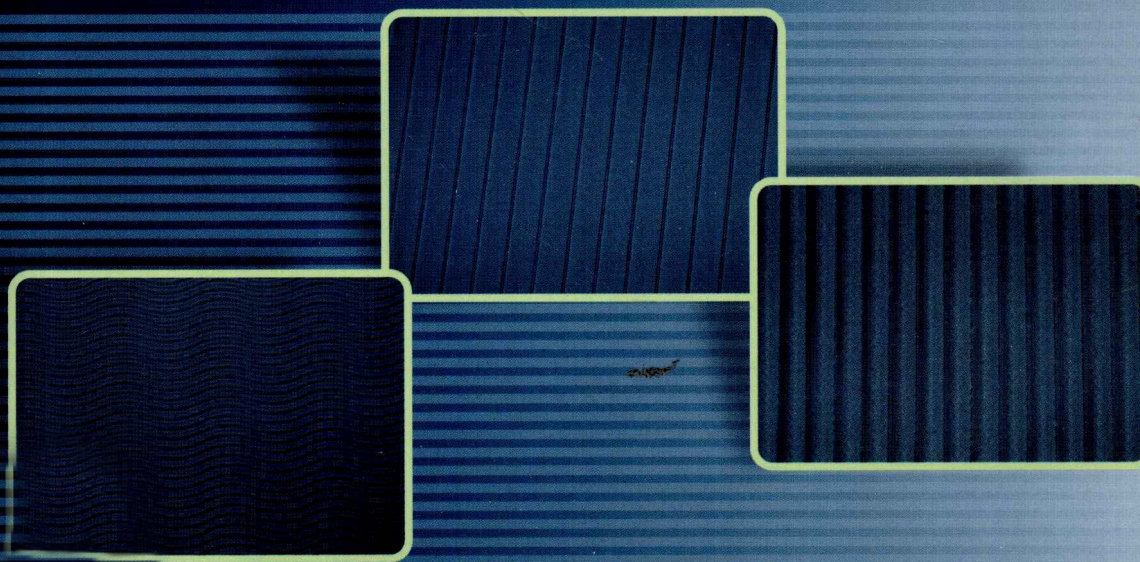


Seperator for Lead-acid Batteries



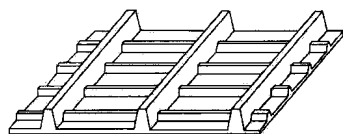
铅酸蓄电池隔板

石光 陈红雨 编著



化学工业出版社

Seperator for Lead-acid Batteries



铅酸蓄电池隔板

石光 陈红雨 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面介绍了现代铅酸蓄电池主要隔板的最新技术,重点阐述了 AGM 隔板、PE 隔板、10-G 隔板、PVC 隔板、PP 隔板、橡胶隔板、排管等的性能特点、制造工艺及应用领域,并对影响隔板性能的各种因素以及隔板影响铅酸蓄电池性能的主要方式进行了系统的介绍,还介绍了我国隔板性能的测试技术。

本书可供铅酸蓄电池隔板生产企业和铅酸蓄电池制造企业的工程技术人员、质检人员生产人员以及管理人员阅读参考,也可供高等院校相关专业师生作为教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

铅酸蓄电池隔板/石光,陈红雨编著. —北京:化学工业出版社, 2010.12

ISBN 978-7-122-09658-6

I. 铅… II. ①石…②陈… III. 铅蓄电池-隔板
IV. TK

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 200810 号

责任编辑:成荣霞

文字编辑:孙凤英

责任校对:战河红

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张9½ 字数162千字 2010年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010 64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

有着 150 多年历史的铅酸蓄电池在现代制造技术、新材料技术的推动下，正在以更快的速度发展并正在向更多应用领域渗透。高自动化制造、高比能量、高比功率、长寿命已成为现代铅酸蓄电池的主要发展方向，隔板作为“第三电极”对铅酸蓄电池性能和制造工艺起着至关重要的作用。隔板材料作为铅酸蓄电池的关键材料，它的每一次发展、每一次变革都强劲推动着铅酸蓄电池性能的提高和制造工艺的革新。同时，高性能铅酸蓄电池的开发、铅酸蓄电池制造新工艺的开创，都离不开而且正在呼唤着新型隔板材料，没有新的、高性能的隔板材料，铅酸蓄电池新技术就不可能真正得到实现。

绝大部分隔板产品是由无机材料（主要是 SiO_2 材料，以玻璃纤维态和粉末态存在）和有机高分子材料组成的，是无机材料和有机高分子材料完美结合的典范。铅酸蓄电池对隔板有着严格的性能要求，隔板材料同时体现着无机材料和有机高分子材料的最新进展，如超高分子量聚乙烯材料的应用、气相纳米 SiO_2 的应用等，而且在隔板的外形设计上更是体现了相关技术人员的聪明才智，所以可以说隔板行业是一个高新技术行业。一些工业发达国家在铅酸蓄电池用隔板新技术的开发和性能的研究方面远远走在了我国的前面，除 PP 隔板（国外很少有国家真正把它看作隔板）是我国开发的隔板品种外，其余的所有隔板几乎都是国外引进的技术，而且目前高性能、新型蓄电池专用隔板仍然需要进口。造成我国隔板技术落后的原因是多方面的，但我们认为其中主要有两条是最主要的：第一，铅酸蓄电池在我国被多数人认为是传统产品，政府对铅酸蓄电池相关技术的支持很少，高校和科研院所对铅酸蓄电池相关方面的研究投入也很少；第二，在我国隔板行业中具有高分子知识和技术背景的研究人员、技术人员数量非常少，而在这样传统的铅酸蓄电池行业的人就更少了，因此很难产生具有学科交叉的创新研制和有意义的开发工作。但我国隔板技术的落后的现状必须尽快改变。

编著者中石光老师毕业于中山大学高分子材料专业，获高分子化学与物理博士学位，从学生时代至今一直从事高分子材料的研究，发表了一系列高分子材料论文并取得多项高分子材料成果，自加入陈红雨教授的铅酸蓄电池

课题组以来，开展了多年的铅酸蓄电池隔板研究工作。本书编著者查阅了大量国内外相关铅酸蓄电池隔板的研究论文和专利，走访了众多铅酸蓄电池企业和隔板企业，并在新型隔板的研制工作中取得了突破性的进展。在此过程中，编著者真实感受到我国隔板技术的紧迫现状，一部较为全面地反映国内外隔板技术现状、通俗易懂的隔板书籍，将对我国铅酸蓄电池隔板技术的进步起到非常重要的指导意义。希望本书的出版能够起到上述作用。

感谢研究生周荣方同学为资料的收集方面做了大量工作。衷心感谢化学工业出版社相关工作人员为本书出版付出的辛勤劳动。由于编著者学识有限，加之时间仓促，书中难免有纰漏和不足之处，还望读者斧正。

编著者

2010年9月28日

目 录

第 1 章 铅酸蓄电池隔板简介	1
1.1 铅酸蓄电池隔板的发展历史	2
1.2 铅酸蓄电池隔板的应用现状	3
1.2.1 汽车起动电池用隔板的现状	3
1.2.2 阀控式铅酸蓄电池隔板的发展概况	5
参考文献	10
第 2 章 铅酸蓄电池隔板基本属性	11
2.1 铅酸蓄电池隔板分类	11
2.1.1 按隔板加工方法分类	11
2.1.2 按隔板材料分类	11
2.2 铅酸蓄电池隔板基本功能	13
2.2.1 隔板的作用	13
2.2.2 不同电池对隔板的要求	14
2.3 铅酸蓄电池隔板应具备的主要性能	15
2.4 隔板对蓄电池性能的影响	17
参考文献	21
第 3 章 铅酸蓄电池隔板性能的测试方法与原理	23
3.1 隔板的定量	23
3.2 隔板的厚度测定	23
3.3 隔板的孔隙率测定	24
3.4 隔板的最大孔径	26
3.5 隔板润湿性的测定	28
3.6 隔板的加压吸酸量	29
3.7 隔板浸酸失量	31
3.8 隔板毛细吸酸高度	32
3.9 电阻	33
3.10 杂质含量	36
3.10.1 还原 KMnO_4 物质含量的测定	36
3.10.2 铁含量的测定	38

3.10.3 氯含量的测定	39
3.11 水含量的测定	40
3.12 发泡性的测定	41
3.13 拉伸强度	41
3.14 隔板横向伸长率的测定	43
3.15 回弹性	44
3.16 压缩率	44
3.17 PE 隔板油含量的测定	45
3.18 PE 隔板抗氧化性的测定	46
参考文献	46
第 4 章 AGM 隔板	49
4.1 AGM 隔板发展历程	49
4.2 AGM 隔板用材料的选择	51
4.3 AGM 隔板的结构与性能	54
4.3.1 AGM 隔板微观形貌	56
4.3.2 隔板气体扩散性	56
4.3.3 隔板压缩性	57
4.3.4 隔板的比表面积和孔率	59
4.3.5 孔径分布	60
4.3.6 隔板的抗张强度和伸长率	62
4.3.7 毛细芯吸作用/酸吸附	63
4.4 AGM 隔板传输氧的原理	63
4.4.1 氧气复合原理	63
4.4.2 氧的传输	65
4.5 AGM 隔板制造工艺	66
4.6 AGM 隔板对电池性能的影响	68
4.7 AGM 隔板存在的问题	71
4.8 AGM 隔板新技术	75
4.8.1 有机纤维复合 AGM 隔板	75
4.8.2 聚合物乳液改性 AGM 隔板	77
4.8.3 多层玻纤隔板	78
4.8.4 复合粒子的玻纤隔板	79
参考文献	80
第 5 章 PE 隔板	85
5.1 PE 隔板概述	85
5.2 隔板用 PE 材料	87

5.3	PE 隔板的结构与性能特点	88
5.4	PE 隔板的性能指标	93
5.5	隔板的微观结构特征	94
5.6	PE 隔板成型工艺	95
5.6.1	隔板的配方组成及对性能的影响	95
5.6.2	隔板的成型加工	96
5.7	PE 隔板在起动型蓄电池中的应用	98
5.8	PE 隔板存在的问题	99
	参考文献	99
第 6 章	PVC 隔板	101
6.1	烧结法 PVC 隔板	101
6.1.1	PVC 树脂的选择	101
6.1.2	烧结 PVC 隔板的微观结构特征	103
6.1.3	隔板的制造工艺	104
6.1.4	烧结法 PVC 隔板存在的问题	106
6.2	溶剂法 PVC 隔板	107
6.2.1	溶剂法 PVC 隔板的树脂材料	107
6.2.2	隔板的生产工艺	107
6.2.3	溶剂法 PVC 隔板的结构与性能	108
6.2.4	溶剂法 PVC 隔板的应用	111
	参考文献	112
第 7 章	10-G 隔板	113
7.1	10-G 隔板与 AGM 隔板的区别	113
7.2	10-G 隔板的制造工艺	114
7.3	10-G 隔板的应用情况	115
7.4	10-G 复合隔板	115
	参考文献	116
第 8 章	PP 隔板	117
8.1	PP 隔板的结构与性能	117
8.2	PP 隔板制造方法	118
8.2.1	PP 隔板的配方组成	118
8.2.2	PP 隔板的成型加工	119
8.3	PP 隔板在起动型蓄电池中的应用	120
8.4	PP 存在的问题	120
	参考文献	121
第 9 章	微孔橡胶隔板	123

9.1 橡胶隔板的制造工艺	123
9.2 橡胶隔板的性能	125
参考文献	127
第 10 章 排管	129
10.1 排管的发展及主要特征	130
10.2 管式阳极活性物质填充对排管的性能要求	132
10.3 排管的结构和设计	133
参考文献	135
第 11 章 隔板的造型设计	137
11.1 隔板筋带的基本特性	138
11.2 汽车电池的隔板设计	139
11.3 动力电池的隔板设计	141
11.4 固定型后备电源的隔板设计	143
参考文献	144

第1章

铅酸蓄电池隔板简介

隔板具有隔离电池内部正负极的作用，能避免电池内部因正负极的接触而造成的短路。同时隔板又要能够允许导电离子通过。因此，对于电子而言，隔板是绝缘体，但对于电解液而言，则需有足够空间与孔隙来传导离子。对于这样一种需求，只有多孔结构的绝缘材料才可能满足要求。随着电池研究的深入，人们不断认识到隔板在改善电池性能、延长电池寿命方面的重要作用。因此，隔板也被称为电池的第三极，成为开发新型电池或改善现有电池性能的一个重要手段。

铅酸蓄电池已经发明使用了一个多世纪。但时至今日，无论是在使用的数量上还是在应用的广度上，铅酸蓄电池仍然是最为重要的二次化学电源。铅酸蓄电池能在电源领域占据主导地位几十年，主要是因为它在电化学性能及价格上都有非常强的竞争实力，能够不断适应新的需求。铅酸蓄电池的生产厂家能够提供从 $1\text{A}\cdot\text{h}$ 到 $10000\text{A}\cdot\text{h}$ 不等的各类电池产品。

铅酸蓄电池大体上可以划分为三大类，分别是起动电池（SLI）、固定电池和动力（或工业）电池。除此之外还有很多特种电池不能按照上述划分进行分类。每种电池都需按照其结构的设计要求以及最终的性能要求设计并选择最为合适的隔板材料。

隔板是蓄电池的重要组成，不属于活性物质。在某些情况下甚至于起着决定性的作用。其本身材料为电子绝缘体，而其多孔性使其具有离子导电性。隔板的电阻是隔板的重要性能，它由隔板的厚度、孔率、孔的曲折程度决定，对蓄电池高倍率放电的容量和端电压水平具有重要影响；隔板在硫酸中的稳定性直接影响蓄电池的寿命；隔板的弹性可延缓正极活性物质的脱落；隔板孔径大小影响着铅枝晶短路程度。

由于隔板对铅酸蓄电池性能多方面的作用，隔板发展的每次质量的提高，无不伴随着铅蓄电池性能的提高。隔板的主要作用是防止正、负极短路，但又不能使电池内阻明显增加。因此，隔板应是多孔质的，允许电解液

自由扩散和离子迁移，并具有比较小的电阻。当活性物质有些脱落时，不得通过细孔而达到对面极板，即孔径要小，孔数要多，其间隙的总面积要大；此外，还要求机械强度好，耐酸腐蚀，耐氧化，以及不析出对极板有害的物质。

1.1 铅酸蓄电池隔板的发展历史

随着电池规格的不断演化，电池隔板的发展、改进首先经历了木质隔板（木质隔板首选雪松材质，因为含有一定量的木质素，能够增强负极活性物质的功能），之后是微孔橡胶隔板、纤维素隔板及合成纸浆复合玻纤隔板，再到聚氯乙烯隔板，以及现在的聚乙烯隔板。隔板技术的系列变化使电池充放电性能和起动能力及稳定性得到持续改善。

20世纪50年代起动用蓄电池主要用木隔板，由于必须在湿润的条件下使用，造成负极板易氧化，初充电时间长，也无法用于干荷式铅酸蓄电池。尤其是木隔板在硫酸中不耐氧化腐蚀，致使蓄电池寿命短。为了提高铅酸蓄电池寿命，提出木隔板与玻璃丝棉并用隔板，使蓄电池寿命成倍地增加，但电池内阻增加，对电池容量、起动放电有不利影响，不过还是能满足当时的标准要求。

20世纪60年代中期，出现了微孔橡胶隔板，由于它具有较好的耐酸性和耐氧化腐蚀性，明显提高了蓄电池寿命，并促进蓄电池结构改进，减小了极板中心距离，使蓄电池起动放电性能和体积比能量有较大的提高。正因为微孔橡胶隔板的优良性能，从20世纪70年代至90年代初期，微孔橡胶隔板在铅酸蓄电池行业中占统治地位。微孔橡胶隔板的缺点是：被电解液浸渍的速度较慢，除热带地区外，缺乏资源，制造工艺较复杂，成本价格贵。另外，不易制成较薄的成品（厚度在1mm以下就困难）。在微孔橡胶隔板生产的同时，还出现了烧结式PVC隔板以及后来的软质聚氯乙烯隔板，这些隔板同橡胶隔板相差不大，但在20世纪80年代很畅销。

从1993年开始，由于微孔橡胶隔板成本不断提高，导致PVC隔板供不应求的局面。20世纪90年代相继出现PP（聚丙烯）隔板、PE（聚乙烯）隔板和超细玻璃纤维隔板及它们的复合隔板。也曾出现纤维纸隔板，其电阻、孔率方面均较好，但耐腐蚀和机械强度较差，孔径也较大，因此未能大批量使用。目前国际上，特别是美国、西欧汽车型蓄电池大量使用的是微孔聚乙烯袋式隔板。PE隔板具有较小的孔径、极低的电阻和极薄的基底，易

于做成袋式，适用于蓄电池的连续化生产。在世界范围内，目前 PE 隔板已占汽车蓄电池隔板 70% 以上的市场，未来必将进一步增长。

1.2 铅酸蓄电池隔板的应用现状

1.2.1 汽车起动电池用隔板的现状

在近两个世纪中，汽车蓄电池的设计经历了从片状隔板（如：木隔板、橡胶隔板、纸浆隔板、PVC 隔板、超细玻璃纤维及 PP 隔板）到微孔 PE 包封隔板的几个主要变化。而有关试验表明：PE 隔板既可增加电池的容量（酸置换量低及电池槽底部无鞍子），又可提高冷起动性能，特别符合在升温使用条件下增加隔板对于抗刺穿强度和抗氧化能力的要求。

汽车电池在所有蓄电池种类中产量最大，大概占有化学电源中蓄电池类的 30%，约占所有铅酸蓄电池的 70%。在 1970 年，世界范围内大约生产了 1 亿只汽车起动用蓄电池（SLI），所有这些电池都使用了片状隔板，主要是 PVC 和纤维素隔板。目前，汽车蓄电池的生产量增长至每年的 3 亿只，其中美国 100% 采用 PE 隔板，欧洲 95% 采用 PE 隔板，亚太地区近 80% 采用 PE 隔板，其余仍为片状隔板，如 PVC、AGM 或 PP 隔板。AGM 隔板用于起动电池的使用量不超过 1%，尽管对起动电池上引用 AGM 隔板的阀控式结构进行了不懈的努力，使用 AGM 隔板的起动电池的冷起动性能是优秀的，无论电池使用铅钙合金或铅锑合金其循环寿命非常好，但坚固的电池槽和精密的极板几何形状，多体积（与使用片状隔板相比）的隔板，非常可靠的阀乃至较低的生产效率及昂贵的灌酸工艺都是不得不考虑的电池成本因素，因此 AGM 隔板未在起动电池上得到批量使用的原因主要还是成本问题。

PE 隔板始于 20 世纪 70 年代的美国，80 年代推广至欧洲，现在已逐步推广至亚太地区，PE 隔板几乎在所有方面（孔径、孔率、电阻、耐氧化、包封性、酸置换等）都优于片状隔板。片状隔板因为配组的需要，要根据隔板材料的硬度做最小的厚度处理；由于其孔率的因素，片状隔板的酸置换量及电阻值较大，片状隔板的最大孔径多为 $15\sim 25\mu\text{m}$ ，而 PE 隔板的最大孔径则小于 $1\mu\text{m}$ 。用片状隔板的电池槽设计时底部有鞍子，为电池在使用过程中沉淀积累的活性物质留下空间而不引起极板之间的短路。使用包封（袋式）隔板可采用去掉鞍子的电池结构，提供更多有效空间，同样的电池槽空

间大约可提高 8% 的容量和冷起动性能。表 1-1 对比了起动型汽车电池常用隔板的主要性能。

表 1-1 汽车电池常用隔板主要性能比较

性能指标	烧结 PVC 隔板	纤维素隔板	PE 袋式隔板
基厚/mm	0.3	0.5	0.2
平均孔径/ μm	15	22	0.1
酸置换量/(mL/m)	200	140	110
电阻/($\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$)	150	100	55

使用铅钙合金增加了活性物质脱落的趋势，因而就要求使用包封隔板，电极上沉淀的二氧化铅及硫酸铅粒子在循环使用中其直径是 PE 隔板孔径的 10 倍，这样 PE 隔板相当于一种筛子或过滤网的作用而使活性物质粒子保留下来，不仅在竖直两边而且在底部也有防止短路的包封保护，因为其孔径小也会阻止铅粒子的直接贯穿。因此可以说用包封隔板的起动电池允许使用所有可能的合金配方：正极、负极都是铅-镉合金；或者正极是铅-镉合金，负极是铅-钙合金；或者正极、负极都是铅-钙合金等。也可以使用更薄、更轻、更低成本的拉网式铅-钙合金板栅。片状 PVC 隔板和包封 PE 隔板对汽车电池的性能影响如表 1-2。

表 1-2 片状 PVC 隔板与包封 PE 隔板对汽车电池性能的影响

正/负板栅合金	Pb-Sb1.6/Pb-Sb1.6	Pb-Ca/Pb-Ca
隔板类型	烧结 PVC 隔板	PE 袋式隔板
冷起动电压/V	9.2	9.45
水损耗/[g/(A·h)]	4	0.5
循环寿命/次	120	300

在 -18°C 冷起动试验中，电压反映出了隔板电阻之间的差异。由于用包封隔板的电池可以获得更大的电极表面，可以测出它比使用最好的片状隔板的电池的终止电压增加约 50mV，而 PE 包封隔板具有低电阻的特点，可使终止电压增加至 100mV。

包封隔板的明显优点还在于循环寿命，特别是升高温度时的循环寿命试验更能说明问题。因底部短路，片状隔板的电池失效相对早一些。用 PE 隔板的电池容量开始下降的时间更迟，而且不是由于隔板周围或穿透隔板引起的短路，而是由于活性物质间导电性触损减少而引起的活性物质容量下降、板栅腐蚀或活性物质脱落，甚至是这三种因素的综合作用引起的电池容量下

降。所用的包封隔板在电池失效后并未受损，而且也不是限制电池寿命的因素。

在通常使用条件下，隔板不是 SLI 电池的寿命限制因素，然而在升温时，特别是对于循环使用，用片状隔板的电池经常因底部短路而过早失效。而使用包封隔板的电池则是因为正极板活性物质容量损失而导致寿命极限的。

近几年来，起动电池使用环境温度的升高及车辆在热带地区使用的份额增加都导致隔板的氧化大大加剧。拉网板栅的使用，其尖锐的边缘和突出的筋条都对隔板造成极大的威胁，要求增加隔板的抗刺穿阻力。高性能 PE 隔板有别于普通 PE 隔板，大大提高了抗刺穿阻力，从 7~8N 提高到大约 13N，抗氧化性也得到较大幅度提高，而仍保持了较低的电阻。

汽车起动电池面临着前所未有的成本压力，同样的压力也必然转嫁给隔板行业。很多隔板企业设法通过减小隔板厚度来降低成本，这是相当危险的。因为隔板的抗刺穿强度及抗氧化性能都会随着隔板厚度的减小而显著下降。因此如果没有在隔板配方和制造工艺上取得突破，不能确保隔板性能的情况下，不能随意减小隔板的基底厚度。目前已有公司推出了通过更优化的制造工艺生产的抗刺穿性能和抗氧化性能都明显改善的 PE 隔板，这种隔板虽然基底厚度减小，但性能仍比普通工艺制造的隔板好。可见 PE 隔板的性能提升仍然有较大空间。

未来汽车有望考虑使用两只电池，均为 12V 结构，一只在瞬间提供非常高的冷起动电流，为了使冷起动内阻最小，采用薄极板、窄的板间距；而另一只则在发动机较长时间不运转时对用电设备如警灯等提供能量，这种电池采用厚极板，板间具有足够量的酸。对于使用薄极板的电池，要求隔板具有微孔，以防止穿孔造成的短路，而窄的板间距对隔板的抗氧化性有特殊要求，在现有 PE 隔板的基础上开发高性能抗氧化性隔板，符合未来汽车电池发展的趋势。对于采用相对厚的极板和有足够板间距的电池，应采用复合隔板，即在 PE 隔板或其他片状隔板的一面加附玻璃纤维或有机纤维来防止正极活性物质脱落。

1.2.2 阀控式铅酸蓄电池隔板的发展概况

阀控式铅酸蓄电池目前有两种形式：一种是在两极间灌注的电解液能被高孔率的隔板吸收，例如 AGM 隔板，这类电池可称为富液式阀控铅酸蓄电池；另一种是将电解液制成胶体的形式，例如，气相二氧化硅被制成一种三维晶格，所采用的隔板与 AGM 不同，为溶剂法的 PVC 隔板，这类电池可

称为胶体式阀控铅酸蓄电池。

(1) 超细玻璃纤维隔板

目前，在富液式阀控铅酸蓄电池中普遍使用超细玻璃纤维隔板 (AGM)，该隔板可固定电解液并能使电极间的离子流动，具有极高的孔隙率、大的比表面积及良好的润湿性，能够吸附最大量的电解液是这类隔板的主要特性。隔板在电池内必须具有长期稳定的耐化学及电化学腐蚀的能力，它不能释放出任何增加气体析出速率、腐蚀或自放电的物质。总之，它在电池中应是足够地坚固耐用，在电池的生产装配过程中容易处理，不应被尖锐的边缘或小颗粒刺穿。为满足这种要求可以使用黏合剂，但会损害润湿性，因此最好不用。由于 AGM 隔板在两电极间沿隔板平面的小孔径影响毛细力，将限制电池的高度在 30cm 以下。电解液在充电阶段会形成较高密度的酸，进而引起电解液的层化。特别是对深循环应用的电池，缺乏在充电后期形成的气泡所带来的搅拌作用，因此对要求电池寿命长或较大的电池高度而言，应使用胶体电解液，AGM 隔板的应用有局限性。

近几年来，随着阀控电池技术的发展，对隔板的改进也做了大量的工作。一项新的开发是在超细玻璃纤维中添加少量有机纤维以简化电池的灌酸过程，即不用准确地定量加酸。电池在化成前可以加入稍微过量的酸，只是在化成后将电池翻转过来将酸倒出即可。有机纤维的憎水性会促进氧气传输的同时足以使隔板用超声波、热或机械工具焊接成袋子。已开发出一种含 30% 特殊合成纤维的 AGM 隔板，用这种有机纤维增强的 AGM 隔板在电池性能上有较大改进。这种特殊纤维由双组分纤维构成，内部的纤维芯是一种很好的聚合物，在酸和热的环境条件下其形状和结构不会改变，外包覆纤维是一种能在制造过程中被熔化的聚合物，熔化的聚合物能使特殊纤维粘在任意的玻璃纤维上，当温度降到室温或电池工作温度，被熔化的部分又重新变得坚韧且加强了玻纤混合结构。用这种特殊有机纤维增强的 AGM 隔板，在电池装配过程中能够承受在自动化机器上被拉伸的机械力，较之 AGM，增加了机械强度并减少由于隔板强度差所导致的问题。特殊纤维用量的增加可以增加隔板在干、湿态下的抗刺穿强度，同样也可以提高隔板的抗张强度。在电池工作期间，AGM 隔板有效面积的变化导致极板活性物质体积的变化，而要求隔板必须能适应这种变化，以便使隔板保持与极板和电解液之间的良好接触。隔板在电池工作期间必须具有回弹性。试验表明，加入的特殊纤维越多，隔板的回弹性越好，但是，这些特殊纤维的加入也会带来一些问题，因为特殊纤维的直径较玻璃纤维大，几乎是 10 倍多，当加入的量过多时，则会影响孔的结构。在毛细作用和酸分层方面有一些影响，因为有机纤

维的加入会影响隔板的润湿性。这种隔板目前使用的特殊纤维的比例大约为 8%。总之, AGM 隔板中加入了特殊纤维可提高电池的生产效率, 降低电池装配过程的废品率, 提高电池内压和在电池工作期间隔板与电解质及极板之间良好接触的性能。实验证实隔板/正极板和隔板/负极板两个界面上存在硫酸浓度差, 即平行方向的分层化, 过去人们只知道沿电池高度方向的分层化现象。这一差别导致酸浓度极化, 也导致阀控式密封铅酸蓄电池的电压和容量衰减。

(2) 聚合物超细纤维隔板

德国一家公司开发了一种全部由有机纤维(聚丙烯)制成的吸附隔板, 并在有机纤维的加工中精制出其直径低于 $1\mu\text{m}$ 的精细纤维, 而且取得了持续的亲水性。这种由 100% 有机纤维构成的聚合物纤维棉隔板是用一种熔喷工艺生产的, 同时已取得了在精细纤维的含量与生产效率之间的最佳处理, 对于亲水性有若干工艺可选, 但大分子的接枝处理其成本很高, 因此只限于特殊的应用, 聚丙烯的挤压和亲水性则占据了相当大的成本。

聚丙烯超细纤维隔板可以通过其优秀的抗张强度及抗刺穿强度特点进行辨认, 它们能进行超声波焊接、热合或机械封袋, 因此能适合于高自动化装配过程(简化包封极板的处理)。因其制造成本高, 目前仍作为一种概念化的隔板产品。表 1-3 是聚丙烯超细纤维隔板与 AGM 隔板的性能对比情况。

表 1-3 聚丙烯超细纤维隔板与 AGM 隔板性能对比

性 能	AGM 隔板	聚丙烯超细纤维隔板
基重/(g/m^2)	240	185
孔率/%	93~95	90~92
平均孔径/ μm	5~10	5~15
纤维直径/ μm	0.5~5	0.5~30
注酸厚度(10kPa)/mm	1.7	1.8
注酸厚度(35kPa)/mm	1.3	1.3
抗刺穿强度/N	7.5	15
抗张强度 MD/(kN/m)	0.32	0.75
抗张强度 CMD/(kN/m)	0.25	0.92
封口强度/(kN/m)	无	0.7

(3) 阀控式铅胶体电池隔板

具有液体电解质的阀控式密封铅酸蓄电池(VRLA 蓄电池)仍未能超过某若干个极限寿命, 主要原因是电解液分层, 隔板易受铅枝晶穿透而短

路。而将电解液以凝胶形式存储在阀控式密封铅酸蓄电池中，则可以改善这些缺陷。在电解液中加入大约 5%~8%（质量分数）的气相二氧化硅，形成胶体结构，由于其有巨大的内表面积，借助于范德华力使稀释的硫酸分子固定在晶格网络内，形成胶体。这种胶体具有触变性，也就是说，可通过机械搅拌使它们液化来灌装电池，而在电池内几分钟后它们即可再成胶。最初，这些电池在过充电时有一些水损耗，胶体因此而部分干裂且形成裂纹，使氧气达到负极，在此发生内部氧循环，因而预防了额外的水损耗和干涸。

研究表明胶体电解质电池需要一种新型隔板，既应满足在极板间安全可靠地固定，又能防止电池短路，而后者是由微孔隔板来实现的，对微孔隔板来说重要的一项是最低限度的酸置换，因为这种胶体电池与液体电解质电池相比缺少电解液体积的份额，而这部分体积是由胶体及形成的裂纹占据。阀控式胶体电池隔板的主要性能指标如表 1-4。

表 1-4 阀控式胶体电池的微孔隔板的主要性能指标

性 能	指 标
基重/(g/m ²)	0.3
孔率/%	70
平均孔径/μm	0.5
酸置换量/(mL/m ²)	145
电阻/(mΩ·cm ²)	120

目前，国内外阀控式胶体电池使用的隔板几乎都是由卢森堡比斯坦公司生产的溶剂法 PVC 隔板。在阀控胶体电池隔板的研制上，华南师范大学已经取得了突破性进展。已成功制备了微孔 PVC 隔板，对隔板的各项指标都进行了详细测试，在孔隙率、孔径分布、吸酸量、酸置换量及电阻等方面都优于进口 PVC 隔板，并已进行了胶体电池组装及检测，各项性能理想，能满足阀控胶体电池的要求。

(4) 酸凝胶隔板

对于深放电循环负荷来说，如电动牵引电池，要求阀控免维护，但是电池使用铅钙合金易发生早期容量损失。试验表明，如果对电极连续施加压力，早期容量损失现象可以得到延缓或根本不发生。就像铅锡合金可增加循环寿命一样，但在循环寿命期间伴随着电池槽的膨胀而产生容量损失，当使用常规的超细玻璃纤维隔板（AGM）试图对电极施加相当大的压力（反之也对隔板施压），隔板在高压下经受了纤维断裂并且在厚度上不可逆地受损，