

铅酸蓄电池三维网络碳化硅板栅和 极板内电流的分布 *

刘旭东 邹智敏 曹小明 张洪延 张劲松

(中国科学院金属研究所)

摘 要 用有限元方法分析了铅酸蓄电池用三维网络碳化硅板栅和极板内电流的分布。结果表明,与常规板栅相比,三维网络碳化硅板栅与极板内电流分布比较均匀。极耳的形状和位置对板栅和极板内电流分布的影响很大,当极耳具有夹心结构时,电流分布的均匀性有非常明显的改善,尤其是在厚度方向具有类似三明治的极耳夹心结构时,板栅和极板内的电流分布极为均匀,且电流的数值比较小。

关键词 无机非金属材料, 铅酸蓄电池, 三维网络, 电流分布, 三明治结构

分类号 TB321, O482

文章编号 1005-3093(2004)06-0587-06

Current distribution on 3-D SiC networks lead-acid batteries

LIU Xudong ZOU Zhimin CAO Xiaoming ZHANG Hongyan ZHANG Jinsong**
(*Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016*)

* Supported by National Key Technologies R&D Program No.2002BA314B05.

Manuscript received March 23, 2004; in revised form August 26, 2004.

** To whom correspondence should be addressed, Tel:(024)23906640,

E-mail:jshzhang@imr.ac.cn

ABSTRACT A finite element analysis of current distribution over three-dimensional networks grid and plate in lead-acid batteries is presented. Calculated results showed that the current distribution over three-dimensional networks is more uniform than that over general grid and plate of lead-acid battery. The effects of shape and locating position on current distribution over three-dimensional networks were great. Calculated results showed that a more uniform electrical current distribution over 3-D networks can be obtained when the tabs of plate are interlayer, especially when the tab interlayer is in thickness direction and similar to sandwich structure.

KEY WORDS inorganic non-metallic materials, lead-acid battery, three-dimensional networks, current distribution, sandwich structure

铅酸蓄电池极板内电流的分布对电池的性能,如活性物质利用率、放电深度和电池寿命等有极大的影响^[1~3],一直是电池领域的研究热点。W.H.Tiedemann 与 M.A.Dasoyan^[4]等提出了一

* “十五”国家科技攻关计划 2002BA314B05 重点资助项目。

2004 年 3 月 23 日收到初稿; 2004 年 8 月 26 日收到修改稿。

本文联系人: 张劲松, 研究员, 沈阳市 110016, 中国科学院金属研究所

个简单的数学理论,分析电流分布对活性物质利用率的影响.为了在大电流放电的条件下,利用优化设计板栅结构以减少其内阻, Sunu W.G. 等^[5~7]建立了数学方法来解决这些问题.但是,建立数学方法的过程非常复杂. Milan 和 Petr 等^[8~10]根据电池极板的实际情况,建立了较简单的数学方法,用来优化板栅的设计,取得较好的设计参数.三维网络板栅比表面积大,增大了板栅与活性物质的接触面积,减少接触面电阻,提高活性物质的利用率^[11].因此,具有三维网络结构的泡沫材料被认为是今后铅酸蓄电池板栅材料的一个重要发展方向.然而,由于三维网络板栅与常规板栅相比其结构复杂,从实验上测量与分析三维网络板栅内电流分布具有相当的难度.因此,用数学方法研究分析三维网络板栅内电流分布对板栅的结构设计与电池的性能研究具有一定的理论指导意义.本文用有限元方法研究三维网络碳化硅板栅和极板内电流的分布.

1 三维网络碳化硅板栅的结构和数值计算模型

具有适当成份和结构参数的三维网络碳化硅有良好的导电性.本文将它用作铅酸蓄电池的板栅材料(图1),尺寸为40 mm×65 mm×4 mm.为了进行电流分布的分析比较,同时也设计相同尺寸的常规板栅(图2).因为极耳位于极板左(右)上角不利于电流在极板内的均匀分布,本文提出在板栅宽度与厚度方向极耳夹心板栅结构(图3).

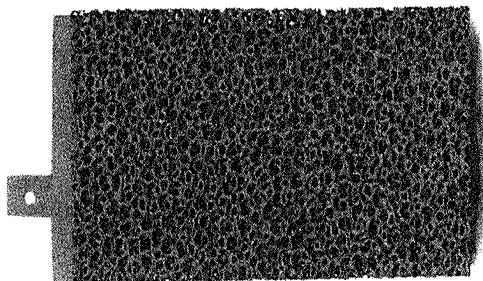


图1 三维网络板栅照片

Fig.1 Picture of 3-D networks grid

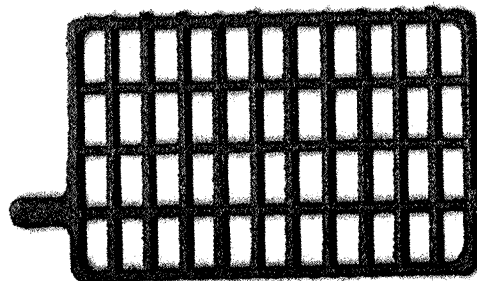


图2 常规板栅照片

Fig.2 Picture of general grid

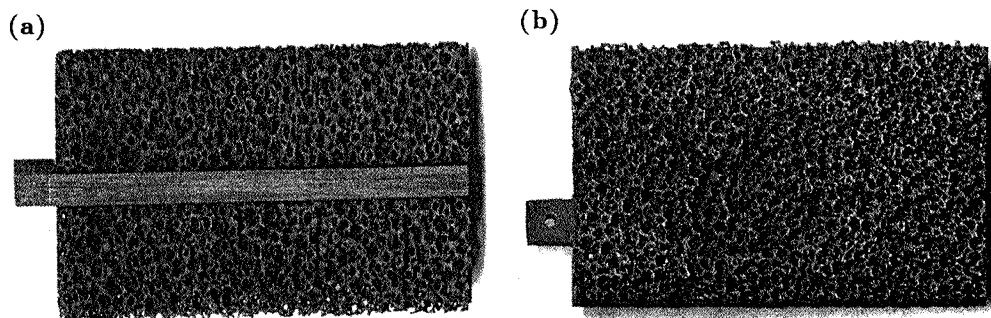


图3 极耳夹心板栅照片

Fig.3 Picture of tab interlayer of grid in width direction (a) and thickness direction (b)

建立模型时, 将板栅的每一条筋看成一个有效电阻, 在板栅内的活性物质看成是由一个个电阻组成. 正负极板均插入硫酸溶液中, 将硫酸溶液也看成是由一个个有效电阻并联而成, 正负极板栅对应的节点通过硫酸的有效电阻连接, 常规板栅与三维网络板栅的数值计算模型示意图分别如图 4、图 5 所示. 板栅筋条、活性物质和硫酸的有效电阻分别用 R_g 、 R_a 、 R_l 表示, 溶液中用图中“+”、“-”分别代表电池的正负极.

根据 Kirchhoff 定律, 对于任意两相邻的两节点 i 和 j ,

$$I_{ij} = (U_i - U_j)/R_{ij} \quad (1)$$

其中 I 为电流 (A), U 为节点电势 (V), R 为电阻 (Ω). 对于内部任意一节点 i ,

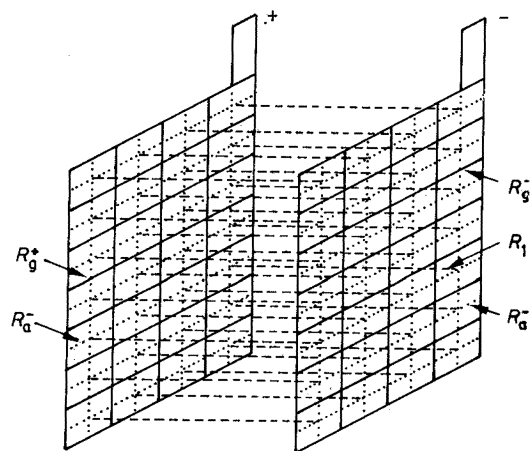


图 4 常规极板电流分布计算模型

Fig.4 Schematic diagram of circuit model for general lead-acid battery

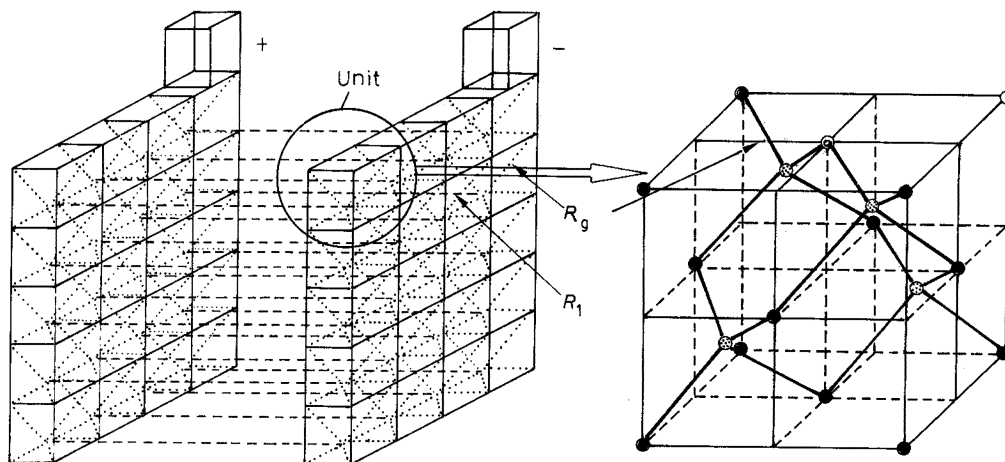


图 5 三维网络极板电流分布计算模型

Fig.5 Schematic diagram of circuit model for 3-D networks battery

$$\sum_k I_{ik} = 0 \quad (2)$$

其中 k 为与节点 i 相邻的节点. 确定边界条件为: 在正积极耳处, $U_i = V_+$, 在负积极耳处, $U_j = V_-$. 根据以上条件可以计算出极板内的电流分布.

2 结果与讨论

2.1 板栅结构对电流分布的影响

根据上面所建立的有限元计算模型, 针对常规板栅与三维网络板栅的不同结构特征, 计算板栅与极板内电流分布情况, 结果分别如图 6 和图 7 所示. 由图 6 可知, 板栅结构对电流分布的影响较大. 虽然图 6(a) 和 (b) 中的电流均集中于极耳附近, 但是, 常规板栅内电流主要集中于板栅右上角的极耳附近, 而三维网络板栅内电流分布要相对均匀些, 在整个板栅内大部分面积有电流通过, 而且电流变化梯度相对较小. 常规板栅内电流值变化为 0~13 A, 而三维网络板栅内电流值变化为 0~7.2 A. 图 7 表明, 在考虑了活性物质作用的情况下, 板栅结构对极板内的电流影响较大, 常规极板与三维网络极板内电流分布与板栅内电流分布相似. 只是由于活性物质的影响, 使得极板内的电流值要小于板栅内电流值, 常规极板内电流值变化为 0~7.0 A, 而三维网络极板内

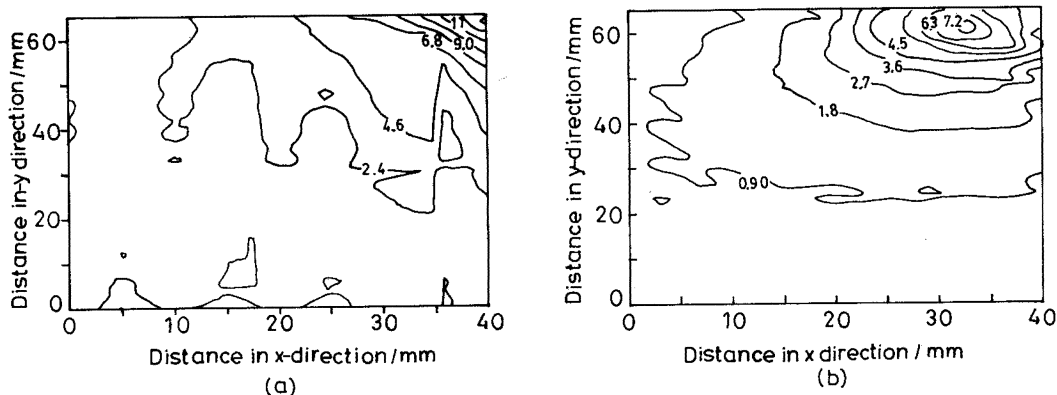


图 6 板栅结构对板栅内电流分布的影响

Fig.6 Effect of structure on current distribution of (a) general grid and (b) 3-D networks grid

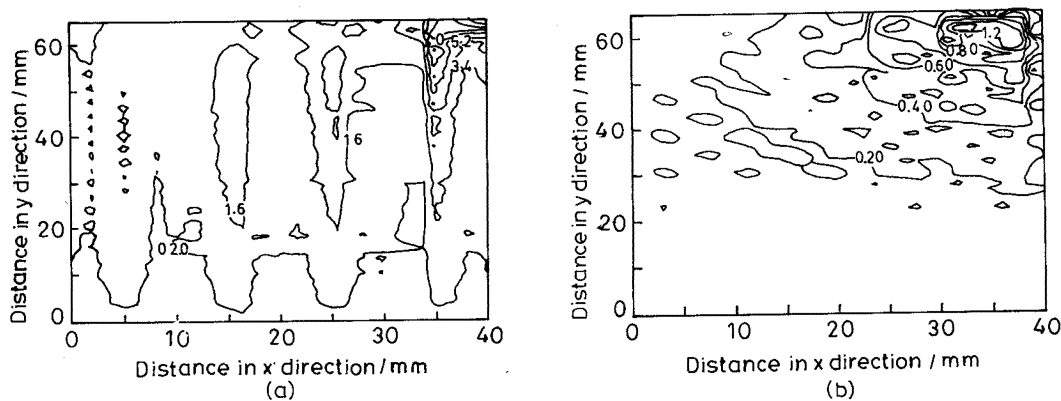


图 7 板栅结构对极板内电流分布的影响

Fig.7 Effect of structure on current distribution of (a) general plate and (b) 3-D networks plate

电流值变化为 0~1.2 A. 由于三维网络碳化硅本身在电流分布方面具有三维连通的特点^[12], 在空间上能将通过单位体积的电流分解, 而得到较小且较为均匀的电流分布. 因此, 将其作为铅酸蓄电池板栅有利于得到均匀的电流分布和电池内化学反应的进行, 从而提高活性物质的利用率和电池的大电流充放电性能, 延长电池放电时间和提高电池的使用寿命. 总之, 电流分布计算模型的建立与分析, 为三维网络材料用作蓄电池板栅的可行性提供必要的理论依据.

2.2 极耳的形状和位置对电流分布的影响

板栅极耳的形状和位置是板栅的一个主要结构参数, 对充放电时的电阻和电流在板栅上的分布有重要的影响. 为此, 本文利用三维网络的结构特征, 设计新的极耳形状和安装位置, 形成了类似三明治的两种不同的夹心板栅结构(图 3), 并根据建立的有限元模型, 计算不同板栅与极板的电流分布. 计算结果分别如图 8 与图 9 所示. 可以看出, 在板栅宽度方向做成极耳夹心结构时, 电流以极耳为中心对称分布, 电流分布的均匀性有了非常明显的改善, 电流值变化为 0.2~0.6 A

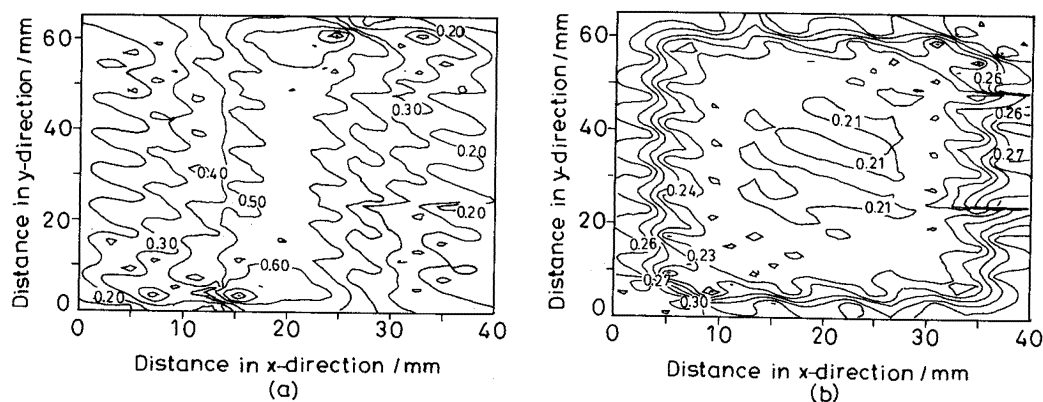


图 8 极耳位置对板栅内电流分布的影响

Fig.8 Effect of tab location on current distribution of (a) tab filling grid and (b) sandwich grid

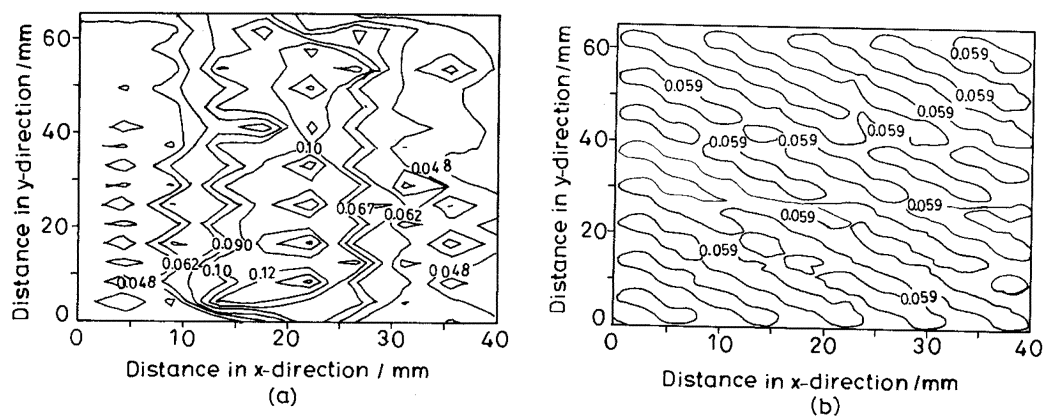


图 9 极耳位置对极板内电流分布的影响

Fig.9 Effect of tab location on current distribution of (a) sandwich plate and (b) tab filling plate

(图 8a). 在板栅厚度方向做成极耳夹心结构时, 板栅内的电流分布非常均匀, 基本上呈中心对称分布特征, 电流值变化为 0.21~0.28 A(图 8b). 由图 9 可见, 极耳的形状与位置对极板内电流分布的影响与板栅内电流分布相似, 只是由于活性物质的作用, 使得极板内电流值减小, 在板栅宽度方向做成极耳夹心结构时, 电流值变化为 0.048~0.12 A, 而在板栅厚度方向做成极耳夹心结构时, 电流分布非常均匀, 基本上为 0.059 A.

由此可见, 夹心结构基本上消除了板栅与极板内电流值为 0 的死区, 改变了电流的路径与方向, 减小板栅内的电阻, 在厚度方向做成极耳夹心结构时, 更有利于得到均匀的电流分布. 因此, 电流分布计算模型的建立, 为板栅结构参数的设计与确定提供了必要的理论性指导, 为实验方案提供正确的设计方向.

3 结 论

铅酸蓄电池的三维网络碳化硅板栅能给出比常规板栅更为均匀的电流分布, 电流的数值也比较小. 极耳的形状和位置对板栅和极板内电流分布的影响很大, 在厚度方向做成极耳夹心结构, 板栅与极板内的电流分布非常均匀, 且电流值相对较小.

参 考 文 献

- 1 I.M.Steele, J.J.Pluth, J.W.Richardson, *J. Power Sources*, **95**, 79(2001)
- 2 N.E.Bagshaw, *J. Power Sources*, **67**, 105(1997)
- 3 M.Taguchi, H.Sugita, *J. Power Sources*, **109**, 294(2002)
- 4 W.H.Tiedemann, J.Newman, F.DeSua, *Power Sources*, **6**, 15(1977)
- 5 W.G.Sunu, B.W.Burrows, *J. Electrochem. Soc.*, **129**, 688(1982)
- 6 W.G.Sunu, B.W.Burrows, *J. Electrochem. Soc.*, **131**, 1(1984)
- 7 R.J.Ball, R.Evans, R.Stevens, *J. Power Sources*, **103**, 213(2002)
- 8 P.Král, P. Křivák, P.Bača, M.Calábek, K.Micka, *J. Power Sources*, **105**, 35(2002)
- 9 M.Calábek, K.Micka, P.Bača, P.Křivák, *J. Power Sources*, **85**, 145(2000)
- 10 Y.Guo, Y.Li, G.Zhang, H.Zhang, J.Garche, *J. Power Sources*, **124**, 271(2003)
- 11 ZOU Zhimin, ZHANG Jinsong, CAO Xiaoming, *Chinese Journal of Materials Research*, **18**(6), 635(2004)
(邹智敏, 张劲松, 曹小明, *材料研究学报*, **18**(6), 635(2004))
- 12 LIU Xudong, CAO Xiaoming, ZHANG Hongyan, ZHANG Jinsong, *Chinese Journal of Materials Research*, **18**(4), 365(2004)
(刘旭东, 曹小明, 张洪延, 张劲松, *材料研究学报*, **18**(4), 365(2004))