

超级电容器聚苯胺电极材料的研究进展

杨蓉^{1,2} 康二维¹ 崔斌² 谢钢² 蒋百灵³

(1. 西安理工大学理学院, 西安 710048; 2. 西北大学合成与天然功能分子化学教育部重点实验室, 西安 710069;

3. 西安理工大学材料科学与工程学院, 西安 710048)

摘要 介绍了超级电容器及其电极材料的工作的原理, 综述了近年来导电聚苯胺电极材料的研究进展及现状, 并探讨了其发展方向和研究重点。

关键词 超级电容器 聚苯胺 电极材料

超级电容器也称电化学超级电容器, 是 20 世纪七八十年代发展起来的一种介于电池和传统电容器之间的新型储能器件, 其具有法拉级的超大电容量, 比同体积的电解电容器容量大 2 000 ~6 000 倍, 功率密度比电池高 10 ~100 倍, 具有工作温度范围宽、可大电流充放电、充放电效率高的优点, 充放电循环次数可达 10 万次以上, 循环效率高(大于 99%), 并且免维护。超级电容器可广泛应用于机动车启动、电动工具、太阳能发电、电厂峰谷平衡、国防等领域, 其优越的性能及广阔的应用前景受到了各个国家的重视^[1-3]。

根据存储电能的机理不同, 超级电容器可分为双电层电容器和赝电容器^[4]。双电层电容器使用的电极材料多为多孔碳材料, 如活性炭、碳气凝胶、碳纳米管(CNTs)等。赝电容器也叫法拉第准电容器, 其产生机制与双电层电容器不同, 通常具有比双电层高 10 ~100 倍的比容量和比能量。目前赝电容器的电极材料主要为一些金属氧化物和导电聚合物^[5]。

用导电聚合物作为超级电容器的电极材料是近年来发展起来的。常见的导电聚合物材料有聚吡咯(PPY)、聚噻吩、聚苯胺(PANI)、聚对苯、聚并苯、聚乙炔二茂铁、聚亚胺酯及它们衍生物的聚合物如聚 3-(4-氟苯基)噻吩、聚反式二噻吩丙烯酸酯等。目前对导电聚合物电容器的研究主要集中在提高其循环寿命上。

PANI 因其具有独特的电化学活性、较强的化学稳定性、原料易得、制备方法简单且条件易于控制、结构多样化、环境稳定性高等优点而成为当前研究得较多的导电聚合物之一, 也是作为超级电容器电极材料研究最多的。笔者现就 PANI 电极材料的工作原理及研究进展作一介绍。

1 导电聚合物超级电容器电极材料的工作原理及特点

导电聚合物作电化学电容器的电极材料是近年来发展起来的一个新的研究领域。其电能储存机理是通过电极上聚合物中发生快速可逆的 n 型或 p 型元素掺杂和去掺杂氧化还原反应, 使聚合物达到很高的储存电荷密度, 由于材料表面及内部分布着大量的可充满电解液的网络结构微孔, 电极内电子、离子的迁移可通过与电解液内离子的交换完成, 从而产生很高的赝电容达到储能目的。以导电聚合物为电极的超级电容器, 其电容一部分来自电极/溶液界面的双电

层, 更主要的部分来自电极在充放电过程中的氧化、还原反应。在导电聚合物的充放电过程中, 电化学反应发生在材料的三维立体结构中而非仅仅在材料的表面。PANI 在掺杂过程中, 每两个苯环结构可以得到一个电子, 在某些特定环境下还可以更高, 这意味着 PANI 中的电荷密度在掺杂状态下, 比电容量可以达到 500 F/g 以上^[6]。

导电聚合物材料具有良好的电子导电性, 因此制作的电容器内阻小; 导电聚合物电极在表面和体相均储存电荷使其作为超级电容器电极材料优于高比表面的活性炭, 其比能量比活性炭要大 2 ~3 倍。相比 RuO₂ 电极活性物质, 聚合物电容量虽然稍小, 但考虑到价格因素, 导电性聚合物在用作超级电容器电极材料方面具有较大的优势。

2 导电 PANI 超级电容器电极材料的研究进展

2.1 质子酸掺杂 PANI 电极材料

PANI 的结构和物理、化学性能强烈依赖于合成和掺杂方法。采用一系列合成和掺杂方法如化学掺杂、电化学掺杂、光诱导掺杂、离子注入掺杂、质子酸掺杂和二次掺杂均可获得具有新的物理、化学性能的导电 PANI^[7]。在盐酸介质中采用化学聚合法或电化学聚合法均可制备出质子酸掺杂导电 PANI。

钟新仙等^[8]以二氧化锰为氧化剂制备的 PANI 在电流密度为 5 mA/cm²下的单电极比电容达 260 F/g, 300 次循环后比电容仍有 204 F/g, 比以过硫酸铵作氧化剂制备的 PANI 具有更好的循环性能和更高的比容量。丛文博等^[9]用盐酸掺杂 PANI, 经 NaOH 溶液去掺杂后, 以 PANI 为正极材料, 活性炭为负极材料, 在有机电解液中组装了混合电容器。当充电截止电压在 1.5 V 时, 电容器比容量最高可达 36.0 F/g, 1100 次充放电循环后比容量保持在初始容量的 94.2%。张爱勤等^[10]在低温下合成了盐酸掺杂 PANI, 聚合物呈颗粒状堆积, 颗粒粒径为 300 ~500 nm; 电流密度为 8 mA/cm²时 PANI 在酸性电解液中的单电极比电容高达 512 F/g, 100 次循环后比电容为初始容量的 94.1%, 循环性能良好。他们^[11]还制备了十二烷基苯磺酸掺杂的导电 PANI 材料, 研究了以其作为电极材料的超级电容器在不同电解液中的性能。

结果表明,电流密度为 6 mA/cm^2 时 PANI 电容器在酸性电解液 ($1 \text{ mol/L H}_2\text{SO}_4$) 中容量高达 108.4 F/g , 循环性能好。崔利等^[12] 选取了两种小分子羧酸草酸和柠檬酸为掺杂剂。这两种有机酸尺寸小,易于扩散,其掺杂过程比较好控制,而且对环境不会造成污染。将制得的草酸掺杂 PANI 和柠檬酸掺杂 PANI,与盐酸掺杂 PANI 进行了对比研究,发现3种酸掺杂的 PANI 具有不同的空间结构,电化学性能也有差异。其中草酸掺杂的 PANI 表现出更优良的电化学电容行为,单电极比电容可达 670 F/g 。米红宇等^[13] 利用乙酸为溶剂和掺杂剂制备了掺杂 PANI,发现低温 (0°C) 制备的乙酸掺杂 PANI 在 $1 \text{ mol/L H}_2\text{SO}_4$ 溶液中呈现较好的电容性质, 5 mA/cm^2 放电时电容值达 407 F/g , 比室温制备的 PANI 比电容 (212 F/g) 高 48%。

不同的掺杂物种、掺杂方式对 PANI 的结构、稳定性的影响甚大^[7]。采用小分子无机酸(如盐酸)掺杂的 PANI 具有较好的导电性,但其溶解性和稳定性较差。近年来的研究发现,用大分子有机酸,如磺酸类(对甲苯磺酸等)作为质子提供源,可以有效地解决 PANI 的加工性能和可溶解性能,这也是目前解决 PANI 加工性能的一个重要研究方向^[14-16]。

吕新美等^[14] 在低温条件下合成了樟脑磺酸掺杂 PANI 微管,苯胺单体与樟脑磺酸的物质的量比为 1:1 时所得掺杂态 PANI 电极具有较好的循环稳定性,单电极比电容达到 522 F/g 。黄惠等^[16] 则采用复合酸掺杂导电 PANI,发现质子酸阴离子越大, PANI 的电导率相对越好,复合酸掺杂的 PANI 电导率最大可达 13.5 S/cm 。复合酸掺杂的 PANI 粒度分布比较均匀,约有 90% 的 PANI 颗粒集中在 $15.4 \mu\text{m}$; 热重分析表明,复合酸掺杂 PANI 的热稳定性较单一酸掺杂 PANI 有很大提高。

研究表明^[15-18],无论是在水相电解液中还是在有机非水电解液中, PANI 电极材料的性能都相当稳定。王晓峰等^[18] 采用化学氧化聚合法制备了 PANI 电极材料,所制备的 PANI 具有高于 420 F/g 的比电容和良好的电化学特性。采用该 PANI 作正极、高比容量活性炭作负极、38% H_2SO_4 作电解液制备了复合型电化学电容器,其工作电压达 1.4 V ,最大比容量达 57 F/g ,最大比能量达 15.5 W/kg 。电容器在 200 mA/cm^2 放电条件下真实功率达到 2.8 W/g ,峰值比功率达到 20.4 W/g ,循环工作寿命超过 1000 次。

2.2 纳米结构 PANI 电极材料

较小的粒径可使材料具有较大的比表面积,有利于电极活性物质的充分利用。丛文博等^[19] 合成的纳米 PANI 在 $1 \text{ mol/L H}_2\text{SO}_4$ 溶液中的电容性能表明,放电电流密度为 1 、 4.5 、 10 mA/cm^2 时,比容量分别为 654 、 591 、 525 F/g 。经恒定电流 10 mA 充放电循环 1 000 次,衰减仅为初始容量的 10.7%。V. Gupta 等^[20-21] 在恒电位下于不锈钢表面沉积出大面积的 PANI 纳米线网络,该电极在 $1 \text{ mol/L H}_2\text{SO}_4$ 溶液中获得比电容 742 F/g ,比功率 16 kW/kg 。由于 PANI 纳米线

形成的多孔网络使其拥有了更大的表面积进行氧化还原反应,因而在大电流密度放电下比非纳米线结构的 PANI 更具有更好的电化学稳定性。宏宏等^[22] 采用脉冲电流方法合成了具有一维纳米结构的 PANI 纳米纤维,其与颗粒状 PANI 相比具有更大的电容量,比电容可达 699 F/g ,比能量为 54.6 Wh/kg ,且该材料具有良好的充放电性能和循环寿命。辛凌云等^[23] 利用界面扩散聚合法制得了樟脑磺酸掺杂 PANI 纳米管或纳米纤维。测试结果表明, PANI 纳米管在 5 mA/cm^2 放电时比电容值可达 249 F/g ,比相同条件下 PANI 纳米纤维的比电容高 14.7%,而比 PANI 粉末的比电容高 41.5%。

2.3 PANI 复合电极材料

(1) PANI/PPY 复合型电极材料

有机导电高分子如 PANI、PPY 和聚 吩等是比较理想的超级电容器电极材料。但由于掺杂剂分子往往比较小,容易从单层导电高分子膜内扩散出来,导致膜的电容稳定性差^[24]。

朱日龙等^[25] 通过分层聚合方法在不同单体溶液中制备了由 PPY 和 PANI 复合的多种导电高分子膜,研究了 PPY 和 PANI 的沉积顺序对导电高分子材料电容性能的影响。发现以 PPY 为底层的复合型电极的电容性能远高于其它复合型电极或单层膜电极。PANI/PPY/不锈钢和 PPY/PANI/PPY/不锈钢电极的比电容分别高达 196.08 F/g 和 212.53 F/g 。

复合型导电高分子具有多层膜结构,能够增加扩散阻力,且热稳定性好^[26-27],有可能提高电极材料的电容性能^[28-29]。

(2) PANI/活性炭复合电极材料

PANI/活性炭复合电极材料可分为两类:一类是将 PANI 与 CNTs 或碳纤维复合,另一类是将 PANI 与高比表面积的活性炭电极材料复合。

CNTs 分为单壁 CNTs 和多壁 CNTs (MWCNT),由于其独特的结构、良好的导电性能和力学性能,吸引了众多研究人员的关注。PANI/MWCNT 的复合较为多见^[30-34],该复合材料电容保持性较好,而且有很好的稳定性。Zhou Y. K. 等^[35] 通过原位化学聚合法制备了 PANI/单壁 CNTs 复合电极材料,发现 CNTs 和 PANI 颗粒之间形成了紧密的电荷传输混合体,而不是单纯的弱分子连结。这种电子传输混合体降低了离子扩散阻抗,有利于电荷的传输,改善了电极的功率特性。在 1 mol/L NaNO_3 电解液中,单壁 CNTs 含量仅为 8% 时,复合电极的比电容达到 190.6 F/g 。V. Gupta 等^[34,36] 还分别用化学聚合法和静电位法将 PANI 沉积在单壁 CNTs 上,发现 PANI 的沉积量会影响复合材料的微观形貌,进而影响电容行为。

上述复合材料利用碳材料的良好导电性形成稳定的导电网络,降低由超级电容器电极材料所引起的内阻值。同时通过在 CNTs 或碳纤维表面原位聚合生成 PANI,从而改善 PANI 一次颗粒的形貌与分散度^[35],起到控制离子嵌入路

径,提高循环性能的目的。目前尽管通过将 PANI 与 CNTs 复合可以在一定程度上改善电极材料的循环性能,但由于 CNTs 本身贡献的容量很小,所以必须以牺牲一定的能量密度为代价。

已有报道用 PANI 对活性炭进行修饰改性^[3],得到的 PANI/活性炭混合电容器兼具了法拉第准电容和双电层电容的优点,但是 PANI 的循环稳定性及大电流充放电能力较差。赵瑜等^[37]通过添加钴盐对 PANI/活性炭材料进行改性,在 6 mol/L KOH 电解液中,以 Hg/HgO 为参比电极对复合材料进行了电化学性能的测试。发现添加钴盐改性时 PANI 在活性炭表面包覆更均匀,复合材料的电化学活性提高,其电容量从不添加钴盐改性时的 387 F/g 提高到了 530 F/g,提高了将近 38.2%,并且显示出良好的大电流充放特性。

毛定文等^[38]采用苯胺在改性活性炭表面原位聚合的方法,制备了 PANI/活性炭复合物,制得单电极的比电容值由纯活性炭的 239 F/g 提高到 409 F/g,比电容提高了 71.1%。黄震雷等^[39]采用原位聚合法制备了 PANI/活性炭复合材料,复合材料中 PANI 的质量分数为 46.4%。分别采用复合材料电极和活性炭电极为正负电极组装了混合型电容器。该混合型电容器在 0 ~1.35 V 电势范围内电容性能良好。310 mA/cm² 电流密度下,比电容为 83.1 F/g,比活性炭电容器提高 82%,电容器的能量密度可达 21.0 W/kg,是活性炭电容器的 3 倍以上。丛文博等^[40]采用循环伏安法在活性炭电极表面合成 PANI,结果表明,在 1 mol/L H₂SO₄ 溶液中 PANI/活性炭电极呈现较好的电容性质,比电容从炭电极的 82 F/g 提高到 175 F/g;将 PANI/活性炭电极作为负极,可将电化学窗口由 0.6 V 扩展至 1 V。

Wang Y. G. 等^[41]在中孔炭表面生长了有序晶须状的 PANI。复合材料在 0.5 A/cm² 的充放电电流密度下得到的比电容为 900 F/g,复合材料电极在 3 000 次循环后,容量损失为 5%,且库仑效率保持在 100%,说明该复合材料有好的电化学稳定性。Xing W. 等^[42]在有序中孔炭表面包覆薄层 PANI,得到材料的比电容达到 602.5 F/g,几乎是中孔炭材料本身比电容的两倍。Chen W. C. 等^[43]用电化学方法在多孔炭材料表面沉积 PANI,周章华等^[44]通过原位化学沉积法将 PANI 均匀地沉积在多孔活性炭表面,在 1 mol/L H₂SO₄ 溶液中复合材料的比容量达到 240 F/g,较纯粹的活性炭(120 F/g)提高 1 倍。

PANI/介孔炭复合材料^[45]与纯的介孔炭电极材料相比,其比电容值显著提高。它结合了介孔炭比表面积大和 PANI 本征比电容高的优点,以及介孔炭的大尺寸介孔为 PANI 的负载提供了便利。

张钦仓等^[46]采用溶液聚合原位复合法制备出不同配比的 PANI/活性炭复合材料。复合材料呈现较高的热稳定性,当炭含量达到 20% 时复合材料的导电性最好;50% 活性炭含量的电极比电容高达 400 F/g,电极反应可逆性良好。

PANI 修饰活性炭电极既可利用活性炭的双电层电容又可利用 PANI 的赝电容,能够提高电容器的比电容。由于复合电极材料能利用各组分间的协同效应提高整体性能,所以比单一电极材料具有更好的应用前景。

(3) 金属氧化物与 PANI 复合电极材料

近年来,为提高材料的电化学性能,复合电极材料的研究越来越受到重视^[47~50]。宋建梅等^[51]制备的 DBSA-PANI/V₂O₅ 复合材料为片状,V₂O₅ 和 DBSA-PANI 之间有化学键形成;当电流密度为 0.2 ~0.8 mA/cm²,电压范围为 -0.2 ~0.8 V,电解液为 1 mol/L KNO₃ 溶液时,材料具有良好的电容特性,其比电容比单独的 V₂O₅ 明显提高,而循环性能比单独的 DBSA-PANI 好。电压范围为 -0.2 ~0.8 V,以 2 ~10 mV/s 扫描速率进行循环伏安测试时,该复合材料表现出良好的赝电容性能。陈高峰等^[52]通过溶胶-水热法制得纳米 RuO₂ 粒子,然后在 RuO₂ 溶胶体系中由苯胺氧化聚合制备 PANI/纳米 RuO₂ 复合材料,RuO₂ 质量分数为 5% 时复合材料形成致密的表面包覆型结构,电极电容很小。RuO₂ 质量分数大于或小于 5% 时,RuO₂ 粒子呈弥散状分布在 PANI 中;RuO₂ 质量分数为 3% 时,复合材料比电容达到极值 374.6 F/g,这种复合材料具有很好的电化学特性,适于用作超级电容器电极。

3 结语

对 PANI 胺电极材料而言,高电极比电容量是其最显著的优点,但直接用导电聚合物作电化学电容器电极材料时,会出现诸如电阻过大、因高分子链的破坏比电容量迅速衰减、循环性能变差等缺点。为拓展 PANI 在超级电容器领域的应用,现在这方面的研究包括两方面:通过对合成工艺条件和掺杂剂的优化,可进一步明晰在氧化还原过程中 PANI 分子链上发生的结构变化,制备出稳定的 PANI 骨架,在保证 PANI 电极材料高比电容量的同时,改善其循环性能;将导电聚合物作为修饰膜,复合在导电性良好的物质上,减少电阻,或与薄膜高分子电解质联用制备出薄膜超级电容器,将会在集成电路等微电子领域进一步拓展超级电容器的应用领域。

参考文献

- [1] 朱磊,等.稀有金属,2003,27(3):385-389.
- [2] Gupta V, et al. Mater Lett, 2006, 60(12):1482-1485.
- [3] 冯继成,等.上海工程技术大学学报,2009,23(3):270-276.
- [4] Conway B E. Electrochemical Supercapacitors Scientific Fundamentals and Technological Applications[M]. New York: Plenum Publishers, 1999.
- [5] 陈英放,等.电子元件与材料,2008,27(4):6-9.
- [6] 袁国辉.电化学电容器[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [7] 吴丹,等.工程塑料应用,2006,34(9):70-73.
- [8] 钟新仙,等.电源技术,2009,33(9):781-783.
- [9] 丛文博,等.电子元件与材料,2007,26(8):46-48.
- [10] 张爱勤,等.化工新型材料,2009(17):61-63.

- [11] 张爱勤, 等. 化工新型材料, 2008, 36(9): 82-84.
- [12] 崔利, 等. 功能高分子学报, 2008, 21(3): 301-305.
- [13] 米红宇, 等. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(4): 128-131.
- [14] 吕新美, 等. 物理化学学报, 2007, 23(6): 820-824.
- [15] 游军飞, 等. 电池, 2007(13): 178-180.
- [16] 黄惠, 等. 化学通报, 2009(8): 744-748.
- [17] 徐磊, 等. 材料开发与应用, 2009(4): 25-28.
- [18] 王晓峰, 等. 化学物理学报, 2005, 18(4): 635-640.
- [19] 丛文博, 等. 电子元件与材料, 2007, 26(1): 65-67.
- [20] Gupta V, et al. Electrochem Solid - State Lett, 2005, 8(12): A 630 - A 632.
- [21] Gupta V, et al. Mater Lett, 2006, 60(12): 1466-1469.
- [22] 陈宏, 等. 物理化学学报, 2004, 20(6): 593-597.
- [23] 辛凌云, 等. 高分子学报, 2005(3): 437-441.
- [24] Iroh J O, et al. Journal of Power Sources, 2003, 117(1/2): 267-272.
- [25] 朱日龙, 等. 湖南大学学报: 自然科学版, 2008, 35(3): 58-61.
- [26] Tan C K, et al. Corrosion Science, 2003, 45(3): 545-557.
- [27] Iroh J O, et al. Surface Engineering, 2000, 16(6): 481-486.
- [28] Abreu N H D, et al. Journal of the American Chemical Society, 1981, 103(1): 1-5.
- [29] Gao Z, et al. Synthetic Metals, 1993, 55(2/3): 1477-1482.
- [30] Mi H Y, et al. Electrochemistry Communications, 2007, 9(12): 2859-2862.
- [31] Dong B, et al. Materials Science and Engineering, 2007, 143(1-3): 7-13.
- [32] Siva K S R, et al. Journal of Power Sources, 2007, 171(2): 1062-1068.
- [33] Gupta V, et al. Electrochimica Acta, 2006, 52(4): 1721-1726.
- [34] Gupta V, et al. Journal of Power Sources, 2006, 157(1): 616-620.
- [35] Zhou Y K, et al. Electrochim Acta, 2004, 49(2): 257-262.
- [36] Deng M G, et al. J Mater Sci, 2005, 40(18): 5021-5023.
- [37] 赵瑜, 等. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2009, 36(6): 57-60.
- [38] 毛定文, 等. 电源技术, 2007, 131(8): 614-616.
- [39] 黄震雷, 等. 电源技术, 2007, 131(8): 605-608.
- [40] 丛文博, 等. 哈尔滨工程大学学报, 2004, 25(6): 809-813.
- [41] Wang Y G, et al. Adv Mater, 2006, 18(19): 2619-2623.
- [42] Xing W, et al. Mater Lett, 2007, 61(23/24): 4627-4630.
- [43] Chen W C, et al. Electrochim Acta, 2003, 48(6): 641-649.
- [44] 周章华, 等. 广州化工, 2009, 37(2): 90-93.
- [45] 高秀丽, 等. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2009, 23(3): 1-3.
- [46] 张钦仓, 等. 电源技术, 2008, 32(2): 109-112.
- [47] Frackowiak E, et al. Journal of Power Sources, 2006, 153: 413-418.
- [48] Chen W C, et al. Journal of Power Sources, 2003, 117: 273-282.
- [49] Rak Y S, et al. Journal of Power Sources, 2007, 166: 297-301.
- [50] Zhou Zhangua, et al. Materials Chemistry and Physics, 2005, 94: 371-375.
- [51] 宋建梅, 等. 电源技术, 2009, 33(3): 200-203.
- [52] 陈高峰, 等. 石油化工高等学校学报, 2009, 22(4): 1-4.

PROGRESS IN RESEARCH ON CONDUCTIVE POLYANILINE ELECTRODE MATERIALS FOR SUPERCAPACITORS

Yang Rong^{1,2}, Kang Erwei¹, Cui Bin², Xie Gang², Jiang Bailing³

(1. School of Science, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Key Laboratory of Synthetic and Natural Functional Molecule Chemistry, Ministry of Education, Northwest University, Xi'an 710069, China;

3. Faculty of Material Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

ABSTRACT The principles and characteristics of supercapacitor and its electrode material are presented. The recent progress, research emphasis, development direction of the conductive polyaniline electrode polyaniline materials for supercapacitors are reviewed.

KEYWORDS supercapacitor, polyaniline, electrode material

帝斯曼研制出两款工程塑料新产品

Stanyl CR——新一代无卤耐高温高流动性聚酰胺, 阻燃等级为 UL94 V-0, 适用于电子工业, 深受连接器生产商欢迎。无卤素阻燃等级 Stanyl CR 的产品开发基于帝斯曼的专门技术。Arnitel XG——一系列环保型热塑性弹性体产品家族。此类材料将取代 PVC 成为电线电缆的解决方案(绝缘性能、二次注塑、护套和应变消除)。此类材料完全符合 UL 标准有关软电缆交流和直流电通过的规定及数据应用场合。Arnitel XG 是可靠的高性能材料, 完全可以取代 PVC。

(田)

高阻隔包装袋可有效延长化学品保质期

河北省雄县旭日纸塑包装有限公司引进国外先进设备, 日前分别生产出 7 层、9 层共挤高阻隔包装袋, 有效解决了对阻隔性、防腐性要求高的化工产品包装问题。

这种高阻隔包装袋采用聚乙烯(PE)/TIE/尼龙(PA)/(乙烯/乙烯醇)共聚物(E/VOH)/PA/TIE/PE 结构, 具有阻隔能力强、保质时间长、抗压抗摔强度高、耐拉伸等特点, 解决了化工产品吸潮结块、氧化变质、污染环境及易发生化学反应等诸多包装问题, 延长了化工产品的保质期。

(化工网)