

光伏组件封装材料的研究进展

周冬兰 周 鹏 廖 丹

(南昌理工学院新能源与环境工程学院,南昌 330044)

摘 要 光伏组件已经广泛应用于大型光伏电站和分布式光伏项目,需求量快速增加。在光伏组件中,封装材料的作用是把光伏电池片分别与钢化玻璃和背板紧密粘结起来,避免光伏电池直接暴露在雨雪、风沙及灰尘等外部环境。封装材料的特性影响了光伏组件的输出效率和使用寿命。重点介绍了光伏组件中使用的主要封装材料如乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)、聚乙烯醇缩丁醛(PVB)、环氧树脂、有机硅和聚烯烃的特点及研究进展,并对光伏组件封装材料的发展前景进行了展望。

关键词 光伏组件,封装材料,特点,效率

中图分类号 TQ436+.6

文献标识码 A

文章编号:1006-3536(2020)07-0015-04

DOI:10.19817/j.cnki.issn 1006-3536.2020.07.004

Progress research on encapsulation material for PV module

Zhou Donglan Zhou Peng Liao Dan

(College of New Energy and Environmental Engineering, Nanchang Institute of Technology,
Nanchang 330044)

Abstract PV modules have been widely applied in large photovoltaic power station and distributed photovoltaic projects. The demand of PV modules is growing rapidly. Encapsulation material in the PV modules is used to bond solar cells with tempered glass and backsheet, protecting solar cells from exposure to the external environment such as rain, snow, sand and dust. Encapsulation material influences the efficiency and lifetime of PV modules. The characteristics and research progress of encapsulation material for PV modules were introduced, including ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA), polyvinyl butyral (PVB), epoxy resin, silicone resin and polyolefin. Finally, the future prospect of encapsulation material for PV modules was discussed.

Key words photovoltaic(PV) module, encapsulation material, characteristic, efficiency

光伏组件是由光伏电池片经过串并联后密封而成的。封装材料的作用是把光伏电池片分别与钢化玻璃和背板紧密粘结起来^[1],避免光伏电池片直接暴露在雨雪、风沙、灰尘等外部环境中。普通电池片的寿命一般是 30 年,而光伏组件大约少 5 年。光伏组件的输出效率和使用寿命受到封装材料的影响^[2-3]。通常情况下,光伏组件封装材料主要有以下几点要求^[4-5]:(1)密封性、电绝缘性和防水性能好;(2)封装材料与光伏电池片和背板之间牢固的粘结强度;(3)优良的抗老化、腐蚀以及机械强度;(4)透光率高;(5)工艺适应性能强;(6)成本低。

目前,光伏组件中用的封装材料主要有:乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)、聚乙烯醇缩丁醛(PVB)、环氧树脂、有机硅和聚烯烃。笔者重点讨论这几类

封装材料的特点和现阶段的研究进展。

1 乙烯-醋酸乙烯共聚物

乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)是当前光伏行业中广泛使用的封装材料,具有较高的透光率、优异的粘结性能、低的熔化温度、好的熔体流动性和柔软性、较低的成本、便于施工等优点^[6]。然而在使用过程中,EVA 在紫外光照射下由于紫外光的能量大于 EVA 中链的断裂能,因此紫外线可以迅速地使 EVA 老化;在高温和氧气的协同作用下,EVA 降解过程中生成的生色基团即烯酮结构使 EVA 变黄,降低了材料的透光率^[7],从而降低了组件的转化效率。另外,EVA 分解时产生的乙酸气体也会影响光伏组件的光电转换效率及寿命^[8]。

基金项目:江西省教育厅研究项目(GJJ171049)

作者简介:周冬兰(1980-),女,硕士,讲师,主要从事太阳能电池材料的研究。

可见,对 EVA 的改性研究显得十分重要。Allen 等^[9]研究了 EVA 中加入不同种类的抗氧化剂及其组合对 EVA 热氧老化的影响。结果表明,酚类主抗氧化剂 3114 和 1010 作为独立组分使用时,都能够提升 EVA 的抗热氧老化性;在主抗氧化剂基础上加入亚磷酸酯类作为辅助剂,其效果更加明显。Carmen 等^[10]采用 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和三聚氰胺硼酸酯对 EVA 胶膜进行改性,发现其阻燃性能和耐老化性能有所提高。李海波等^[11]用丙烯酸(AA)、甲基丙烯酸甲酯(MMA)、 γ -甲基丙烯酰氧丙基三甲氧基硅烷(KH-570)分别作为接枝单体,对 EVA 进行改性研究。研究表明:KH-570 接枝的 EVA 胶膜综合性能最佳,不仅透光率好,而且具有相对良好的耐湿热和老化性能。Donne 等^[12]研究发现 EVA 中掺杂的两种结构不同的有机钼配合物均能提高光伏组件的输出功率。

2 聚乙烯醇缩丁醛

聚乙烯醇缩丁醛(PVB)是由聚乙烯醇和正丁醛在催化剂作用下通过缩合反应而成的聚合物,通常为白色或微黄色粉末,具有化学稳定性好、透明性能优异、断裂延伸率性能良好的特点,是一种适用于建筑一体化中光伏组件的封装材料^[13-14]。2009 年,杜邦公司研发的 PVB 封装材料 PV5200 和 PV5300 系列,可快速有效地生产模块,同时有较长的使用寿命^[15]。然而,PVB 制备工艺相对复杂,成本相对较高,而且在层压过程中会发生蠕变现象。

为了使 PVB 材料的特性更加符合光伏组件的要求,王俊武等^[16]采用新型混合分散机制备 PVB,同时在制备过程中滴加聚乙烯醇-正丁醛混合溶液和盐酸。此方法的特点是:操作工艺相对简单,分散效果优良,制备的产物为粉末状,整个过程缩短了反应时间,提高了生产效率。朱晓亮等^[17]发现在 PVB 材料中添加适量的抗氧化剂和紫外光稳定剂,可以提高 PVB 薄膜的耐老化及抗紫外性能。Huang 等^[18]通过溶液共混法制备了 PVB/石墨烯复合材料,通过检测其用作太阳能电池封装材料的导热性能发现:当石墨烯质量分数为 30%时,PVB/石墨烯复合材料的热导率相当于 PVB 的 20.55 倍;当工作温度在 70℃ 以下时,PVB/石墨烯复合材料表现出良好的热稳定性。

3 环氧树脂

环氧树脂有着优良的粘结性和机械性能,同时

兼具固化收缩率低、透光率高、耐腐蚀等特点,也被用作光伏组件的封装材料^[19]。王艳红等^[20]设计了一种以环氧树脂为封装材料的光伏电池封装结构,用于高温工作环境。该结构能够保证在外界高温环境下光伏组件的工作温度仍可处于室温,确保光伏组件的正常工作。

但是环氧树脂的密封性相对较差,在长期的光照下容易发生老化而变黄,致使光伏组件的转换效率也随之降低。可见,对环氧树脂进行改性研究尤为重要。Pellegrino 等^[21]为了避免氧气的渗入,在环氧树脂中加入环氧基-立方低聚倍半硅氧烷(POSS),明显地提高了环氧树脂的耐热氧老化性能。朱桂林^[22]在环氧树脂中同时加入 EVA、丙烯酸羟乙酯共聚物、 α -羟基丙酸钠和硫酸铵作为辅助改性剂,不但提高了封装材料的耐候性,而且有效地增强了封装材料暴露在户外时的粘结性。此外,还减少了封装材料对透光率的影响,保证了光伏组件的转换效率和寿命。范斌等^[23]首先将石墨烯加入到环氧树脂中,制备石墨烯改性环氧树脂,然后再加入一定量的固化剂制得环氧树脂组合物,用于太阳能电池的封装。该发明具有高效水氧隔绝的能力,可有效地保护光伏组件,从而提高光伏组件的寿命。

4 有机硅

有机硅的主链中含有无机的 Si—O 键,其侧基则通过硅与有机基团 R(甲基、乙氧基、苯基等)相连。有机硅具有独特的分子结构,其聚合物链上不仅含有“有机基团”,还有“无机结构”。这些独特特点使得有机硅材料能有效地阻挡氧气和紫外线的渗透。因此,有机硅材料不仅具有高的透光率和折射率、良好的疏水性和电气绝缘性能;并且吸湿率低、耐热和紫外老化性能优良,适用的温度范围相对较宽^[24]。

最具有代表性的有机硅材料是聚二甲基硅氧烷(PDMS),目前已成为国内外太阳能电池公司关注和研究的热点。庞文键等^[25]发明的烷氧基封端的聚二甲基硅氧烷封装材料强度高、弹性好、粘结性能优异,并且具有很好的耐候性能,在长期的紫外线、高温高湿及含有盐雾的环境中性能保持率高于 80%,适合用于光伏双玻组件的密封。王强等^[26]公开发明了一种以(α, ω)二羟基聚二甲基硅氧烷为主要成分的高性能光伏组件用有机硅密封胶及其制备方法。该有机硅胶综合性能比较好,能延长光伏组

件的使用年限。Mcintosh 等^[27]对比了 PDMS 和 EVA 的湿热和紫外老化性能。实验结果表明,PDMS 的吸湿率低于 EVA,而透光率略高于 EVA。

然而,有机硅封装材料的成本相对较高,而且生产过程中需要使用特殊的设备以及技术,导致有机硅封装材料的使用范围还相对比较小。目前,有机硅封装材料常用在质量要求高的一些特殊场合,如太空应用。

5 聚烯烃

聚烯烃是由烯烃类和烯烃类衍生物通过聚合或共混反应生成的热塑性材料,其特点是稳定性好、水汽透过率比较低及体积电阻率高。用聚烯烃封装材料制作的光伏组件在高温高湿环境下工作时漏电流比较低,在老化过程中不会产生醋酸,因此不会腐蚀组件的电极以及导线^[28-29]。

2010 年,美国陶氏公司率先推出了商业化聚烯烃封装材料产品,商品牌号为 ENLIGHT。López-Escalante 等^[30]将聚烯烃封装材料应用在光伏组件的生产线上,并对组件进行电势诱导衰减效应(PID)的测试。结果发现,使用聚烯烃封装材料的光伏组件能够成功地克服 PID 效应。石俊杰等^[31]研究了不同含量的抗氧化剂对聚烯烃封装材料热氧老化性能的影响,红外光谱分析表明抗氧化剂能有效地阻止 POE 的自我氧化过程。洪利杰等^[32]以乙烯- α -烯烃共聚物(POE)为基体、制备了硅烷偶联剂改性 POE 胶膜(S3),由 S3 封装的光伏组件的功率衰减为 5.2%,远低于传统 EVA 封装的光伏组件。

目前,光伏组件中使用的聚烯烃材料主要分为交联型和非交联型聚烯烃。交联型聚烯烃在使用过程中需加入较多的交联剂,组件在层压过程中产生气泡的可能性相对比较大;而非交联型聚烯烃在老化过程中的抗热蠕变性能较差。为了改进聚烯烃材料的性能,徐晓龙等^[33]公开发明了一种光伏组件用聚烯烃封装材料,具有良好的光学性能及耐紫外和湿热老化性能,可以有效地解决聚烯烃封装材料出现的气泡和抗热蠕变性能较差的问题,并且生产过程容易控制。阳志荣等^[34]研究了一种阻水性能好的白色聚烯烃封装材料,有效地改善了水汽对光伏双玻组件侧面的渗透问题,避免了光伏电池的腐蚀和蜗牛纹的产生,使得双玻组件的使用寿命得以增加。

6 结语

目前研究的封装材料都存在一些局限性,科研

工作者以后将致力探索以下方面:(1)研发新型高性能封装材料,使其更符合光伏组件封装材料的要求;(2)相对于单一封装材料而言,研发复合或混合型封装材料更能满足生产实践使用需要;(3)封装材料的制备工艺设计及优化将有助于封装材料的进一步开发与应用。在国家政策的鼓励下,光伏扶贫项目的推进,光伏组件已经广泛应用于大型光伏电站和分布式光伏项目,需求量大幅增加。因此,为了降低光伏发电的成本,研究开发高性能低成本的封装材料具有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 祝丽娟,张蒙蒙.光伏组件封装用 EVA 胶膜的粘结及交联性能研究[J].广东化工,2018,45(16):83-84.
- [2] 任毅,姚雪容,马蓓蓓,等.太阳能电池封装膜的应用现状及发展趋势[J].石油化工,2014,43(5):481-490.
- [3] Michael O B, Daniel M C, Zhu J, et al. Influence of viscoelastic properties of encapsulation materials on the thermomechanical behavior of photovoltaic modules[J]. IEEE Journal of Photovoltaics, 2018, 8(1): 183-188.
- [4] Einsla M L, Teich C I, Bender M T, et al. Acrylic/urethane hybrid liquid encapsulants for photovoltaic modules[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2017, 165: 103-110.
- [5] 刘峰,张俊,李承辉,等.光伏组件封装材料进展[J].无机化学学报,2012,28(3):429-436.
- [6] 周先国,韩继昌,康裾昆,等.EVA 封装胶膜研究进展与发展趋势[J].太阳能,2017(9):16-20.
- [7] 朱威武.功能复合 EVA 封装胶膜的制备及耐老化性能研究[D].上海:华东理工大学,2017.
- [8] Badiee A, Ashcroft I A, Wildman R D, et al. The thermo-mechanical degradation of ethylene vinyl acetate used as a solar panel adhesive and encapsulant[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2016, 68: 212-218.
- [9] Allen N S, Edge M, Rodriguez M, et al. Aspects of the thermal oxidation, yellowing and stabilization of ethylene vinyl acetate copolymer[J]. Polymer Degradation and Stability, 2007, 90(1): 1-14.
- [10] Carmen H, Gacelle F, Sophie D, et al. The combination of aluminum trihydroxide(ATH) and melamine borate(MB) as fire retardant additives for elastomeric ethylene vinyl acetate (EVA)[J]. Polymer Degradation and Stability, 2015, 115: 77-88.
- [11] 李海波,戚嵘嵘,冯杰,等.太阳能电池用 EVA 封装胶膜的性能研究[J].中国胶粘剂,2016,25(4):22-25.
- [12] Donne A L, Dilda M, Crippa M, et al. Rare earth organic complexes as down-shifters to improve si-based solar cell efficiency[J]. Optical Materials, 2011, 33: 1012-1014.
- [13] 周大鹏,王笑平.聚乙烯缩丁醛生产及应用研究进展[J].精细石油化工进展,2018,19(4):41-45.

- [14] 张继钢,秦高原,文淑美,等.太阳能电池封装材料聚乙烯醇缩丁醛合成工艺研究[J].精细与专用化学品,2018,26(6):29-32.
- [15] 李国东,张泓,李亚宁,等.聚乙烯醇缩丁醛树脂的研究进展[J].材料导报,2013,27(12):93-96.
- [16] 王俊武,蒋文伟,朱亚敏,等.聚乙烯醇缩丁醛合成新工艺研究[J].中国胶黏剂,2016,25(3):13-17.
- [17] 朱晓亮.太阳能电池封装用PVB胶膜的制备及性能研究[D].广州:华南理工大学,2013.
- [18] Huang X, Lin Y X, Fang G Y, et al. Thermal properties of polyvinyl butyral/graphene composites as encapsulation materials for solar cells[J]. Solar Energy, 2018, 161: 187-193.
- [19] Jin F L, Li X, Park S J, et al. Synthesis and application of epoxy resins: a review[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2015, 29: 1-11.
- [20] 王艳红,武京治.一种用于高温环境的光伏电池的封装结构:中国,CN106653899A[P].2017-05-10.
- [21] Pellegrino M, Mario A, Marianna P, et al. Improving the photo-oxidative stability of epoxy resins by use of functional POSS additives: a spectroscopic, mechanical and morphological study[J]. Polymer, 2012, 53(22): 5016-5036.
- [22] 朱桂林.太阳能光电子板装配用的耐老化封装胶:中国,CN105694788A[P].2016-06-22.
- [23] 范斌,田清勇,白华,等.一种太阳能电池的封装方法:中国,CN104201251A[P].2014-12-10.
- [24] 周树东,金正东.光伏组件封装材料综述[J].太阳能,2013(23):23-28.
- [25] 庞文键,李福中,陈何国,等.用于光伏双玻组件的有机硅密封胶及其制备方法:中国,CN108059945A[P].2018-05-22.
- [26] 王强,李琼,张有刚,等.一种高性能光伏组件用有机硅密封胶及其制备方法:中国,CN108624281A[P].2018-10-09.
- [27] McIntosh K R, Powell N E, Norris A W, et al. The effect of damp-heat and UV aging tests on the optical properties of silicone and EVA encapsulants[J]. Progress in Photovoltaics, 2011, 19(3): 294-300.
- [28] 徐晓龙,范云峰.光伏用聚烯烃封装胶膜交联体系研究[J].信息记录材料,2013,14(5):11-16.
- [29] 陈磊,刘晶如,俞强.双固化交联体系对聚烯烃弹性体封装胶膜交联行为及性能的影响[J].高分子材料科学与工程,2017,33(3):89-94.
- [30] López-Escalante M C, Caballero L J, Martín F, et al. Polyolefin as PID-resistant encapsulant material in PV modules[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2016, 144: 691-699.
- [31] 石俊杰,余鹏,汪加胜,等.聚烯烃封装胶膜的热氧化性能研究[J].广东化工,41(12):257-258.
- [32] 洪利杰,程斌君,张祥洲,等.太阳能电池组件用POE封装胶膜的研制[J].中国胶粘剂,2017,26(5):30-33.
- [33] 徐晓龙,范云峰,郑凯,等.一种光伏组件用聚烯烃封装胶膜:中国,CN104263285A[P].2015-01-07.
- [34] 阳志荣,李伟博,郭森,等.一种阻水性能好的白色聚烯烃封装胶膜及其制备方法:中国,CN106752997A[P].2017-05-31.
- 收稿日期:2019-04-01
修回日期:2020-04-29

—————
(上接第 14 页)

- [17] 王维,林大伟.一种车窗玻璃防雾剂的制备方法与流程:中国,201710265557.1[P].2017-04-21.
- [18] Du X, He J. Structurally colored surfaces with antireflective, self-cleaning, and antifogging properties[J]. J Colloid Interface Sci, 2012, 381(1): 189-197.
- [19] 张锋.透明自清洁玻璃和油水分离滤网的制备与研究[D].苏州:苏州大学,2017.
- [20] Han Z, Feng X, Jiao Z, et al. Bio-inspired antifogging PDMS coupled micro-pillared superhydrophobic arrays and SiO₂ coatings[J]. RSC Advances, 2018, 8: 26497-26505.
- [21] Han Z, Mu Z, Li B, et al. Active antifogging property of monolayer SiO₂ film with bioinspired multiscale hierarchical pagoda structures[J]. ACS Nano, 2016, 10(9): 8591-8602.
- [22] 王军军.纳米结构 TiO₂ 薄膜的制备及其超亲水自清洁特性研究[D].兰州:西北师范大学,2011.
- [23] Chen J, Zhang L, Zeng Z, et al. Facile fabrication of antifogging, antireflective, and self-cleaning transparent silica thin coatings[J]. Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects, 2016, 509: 149-157.
- [24] Thompson C S, Fmleing R A, Zou M. Transparent self-cleaning and antifogging silica nanoparticle films[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2013, 115(10): 108-113.
- [25] Gao S J, Shi Z, Zhang W B, et al. Photoinduced superwetting single-walled carbon nanotube/TiO₂ ultrathin network films for ultrafast separation of oil-in-water emulsions[J]. ACS Nano, 2014, 8(6): 6344-6352.
- [26] Zhao J, Meyer A, Ma L, et al. Acrylic coatings with surprising antifogging and frost-resisting properties[J]. Chemical Communications, 2013, 49(100): 11764-11766.
- [27] Zhao J, Ma L, Millians W, et al. Dual-functional antifogging/antimicrobial polymer coating[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2016, 8(13): 8737-8742.
- [28] 张欣宇,陈铁群.纳米二氧化钛光催化功能薄膜的制备[J].中国有色金属学报,2004,14(s1):173-177.
- [29] Xu F C, Li X, Li Y, et al. Oil-repellent antifogging films with water-enabled functional and structural healing ability[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2017, 9: 27955-27963.
- [30] 王凤平,单金环,刘照斌.长效玻璃防雾剂制备与性能研究[J].辽宁师范大学学报,2007,30(2):188-190.
- [31] 徐欢,熊丽萍,吴奕锋,等.一种新型含纳米氧化铈玻璃防雾剂的研究[J].武汉理工大学学报,2011,33(3):32-35.
- [32] 赵镛一,张城勋,朴贞玉.防雾耐磨涂料组合物及其涂覆的合成树脂制品:中国,94104440.8[P].1994-04-15.
- 收稿日期:2019-03-13
修回日期:2020-03-26