

废弃线路板中非金属材料再利用的研究进展

邱 军 李 娜

刘光富

(同济大学材料科学与工程学院,上海 200092) (同济大学管理科学与工程学院,上海 200092)

摘要 概述了废弃线路板中非金属材料主要是热固性塑料再利用的研究进展,主要针对非金属材料制成粉末作为填料或改性剂添加到热固性塑料、热塑性塑料中以降低塑料的生产成本或改善塑料的力学性能。或是将粉末作为高品质填料添加到建筑材料中,如增强沥青,生产高强、低密度的增强混凝土等的应用,在总结了各种回收再利用方法的基础上提出了未来废弃线路板中非金属材料再利用的发展趋势。

关键词 废弃线路板 非金属材料 再利用 热固性塑料

当前,随着社会经济的高速发展,各类电子产品的日益普及以及更新换代速度的加快,使得人们对各种电器产品的需求也日益提高。这些电器产品包括电脑、各种家用电器(电视机、电冰箱、洗衣机、空调等)、通讯电子产品以及各种生产用机电设备。作为“电子系统产品之母”的印刷线路板(PCB)是电子工业的基础,是各类电子产品中不可缺少的关键电子互联件,广泛应用于大型计算机、办公和个人电脑、家用电器、娱乐电器及其辅助性产品等各种电子设备中。随着这些电子产品的大量生产和愈来愈短的报废周期,废弃PCB的数量也在急剧增加。因此,废弃PCB所形成的电子污染已成为严峻的环境问题。

废弃PCB中金属材料的回收利用技术已经发展得比较成熟,但其中非金属材料的再生利用问题却迟迟得不到解决,很大一部分被当作垃圾丢弃、焚烧或掩埋,不仅造成了严重的环境污染,而且导致有用资源的大量浪费。含量达76%~94%的非金属材料主要由塑料构成,少量的热塑性塑料,如聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)等具有加热软化、冷却硬化等性质,相对来说容易再生利用,关于这方面的研究和利用已有不少应用到实际生产中。而在PCB中占据主要组分的热固性塑料,像发泡聚氨酯(PUR)、玻璃纤维(GF)增强环氧树脂(EP)等则因为稳定性高、不易软化等特点难以回收,这无疑是令人头痛和亟待解决的重大难题。

结合《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》提出的“在重点行业和重点城市建立循环经济的技术发展模式,为建设资源节约型和环境友好型社会提供科技支持”和关于“环境”领域的“(13)综合治污与废弃物循环利用”的优先主题,废弃PCB作为电子废弃物中的一大部分,必须采取措施使其得到最大程度的处理。不仅要最大化的回收以达到保护环境的目的,更要注重回收以后的再生利用与处理技术,以求达到环保和资源综合利用的双重意义。这也正是体现了一种生产、销售、回收及资源化再利用的循环发展模式,是缓解当前资源压力的有效途径和保障,符合环境保护和经济可持续发展的要求,也是对我国循环经济建设的大力支持。

目前,我国对废弃热固性塑料的主要处理方式还是焚烧和掩埋,既污染了环境,又造成了土地资源的浪费。因此,废弃PCB中的热固性塑料如何得到合理的处理,并使其最大限度地得到回收和再利用是解决废弃PCB再生利用问题的重中之重,已经是迫在眉睫需要解决的问题。PCB中这些热固性塑料的典型特点是热稳定性好,并大都经过特定的化学处理,能承受较高的热力学检验和苛刻的环境条件。因此,对废弃线路板中的非金属材料的利用主要是将材料制成粉末后作为填料加入到树脂中以改善树脂力学性能或降低树脂的生产成本、作为改性剂增强沥青、作为原料投入到建筑材料中等。

1 非金属粉末用于热固性塑料及其复合材料

热固性材料具有轻质、高强、可设计性、耐化学药品性、优良的电性能和热性能等特点,广泛应用于社会生产中,但由于其需要加入的填料成本较高限制了它的应用,废弃线路板中非金属粉末可以加入到热固性塑料中以降低其生产成本。这种将废弃PCB制成粉末,作为复合材料的原材料,加入到新的复合材料制品中,进而形成原料-产品-原料的封闭循环,是废弃材料资源化利用方式的最高层次。不仅为废弃电器电子产品的回收利用提供了发展方向,解决了废弃PCB带来的环境污染问题,又节约了一次资源,降低了制造成本,具有明显的环境、社会、经济效益。

周玉敬等^[1]以废弃PCB回收处理过程中得到的非金属粉末作为增强填料,采用模压成型的方法制备不饱和聚酯复合材料。研究填料形状、加入量及尺寸大小对复合材料性能的影响。结果表明,用非金属粉末与短切GF作为组合增强体制得的不饱和聚酯复合材料的力学性能远大于仅用非金属粉末作为增强体的力学性能;颗粒长度为1~3 mm的非金属粉末对复合材料性能的提高远远大于颗粒长度为0.25 mm的非金属粉末对复合材料性能的提高,且填充量质量分数可达65%,弯曲强度和冲击强度可达150 MPa、18 kJ/m²。刘学平等^[2]将废弃PCB回收的非金属粉末作为增强填料,与基体、其他填料和增稠剂按照一定的比例混合,经过模压

成型,最后脱模得到复合材料。这种方法制得的复合材料与用 GF 增强的复合材料相比,弯曲强度和冲击强度都有很大程度的提高,而与滑石粉作为填料的复合材料相比,又有较高的弯曲性能和压缩性能。非金属粉末的质量分数最高可达 30%~40%。加入如此大量的非金属粉末不仅提高了复合材料的性能,还为资源化回收废弃 PCB 提供了一种新的方法。邓欣等^[3]将线路板非金属粉末填充于热固性塑料,结果表明,复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量随着非金属粉末含量的增加而增大,而且填充非金属粉末的复合材料的硬度要高于纯树脂的硬度,并且随着填充量的增加而增大,且粉末质量分数为 25% 时,弯曲强度、弯曲弹性模量和硬度最大。

Guo Jie 等^[4]将废弃 PCB 中的非金属粉末用于生产酚醛塑模化合物。非金属粉末的质量分数为 40% 时,酚醛塑模化合物的弯曲强度、缺口冲击强度、热变形温度和介电强度分别为 82 MPa、2.4 kJ/m²、175℃和 4.8 MV/m。经济学家分析表明,非金属粉末的加入可以有效降低酚醛塑模化合物的生产成本,用这种方法回收利用非金属粉末可以获得环境和经济的双重利益。刘勇等^[5]将非金属粉末与 EP、其他的添加剂按照一定的比例混合,加热固化得到新的产品。当非金属粉末与 EP 的体积比为 70% 时,得到的制品易切割、易加工成不同形状的产品。戎国林等^[6]以废弃 PCB 粉末为填料,采用模压成型的方法制备团状模塑料(BMC),探讨了废弃 PCB 粉末的添加量对 BMC 性能的影响。结果表明,当加入的短切 GF、废弃 PCB 粉末、不饱和聚酯树脂的质量比为 30:45:30 时,所得材料达到最优性能,弯曲强度和压缩强度分别为 63.8 MPa 和 101.5 MPa。向东等^[7]用废弃 PCB 的非金属粉末制作玻璃钢制品,按照要求设计模具,将不饱和聚酯树脂或 EP 和酚醛树脂与非金属粉末以及填料加入到模具中,用压力机模压成型得到玻璃钢制品。经测试得出,非金属粉末中的短 GF 使玻璃钢的综合性能提高,尤其是压缩强度提高了 35%,该方法工艺简单,并使成本降低。将废弃 PCB 中的非金属粉末作为填料加入到热固性塑料及其复合材料的大量研究表明,这是一种可行的方法,既节约了资源,降低了成本,改善了制品的性能,又很大程度地解决了废弃 PCB 的污染问题,收到了“一石二鸟”之功效。

另外,非金属粉末可以直接作为原料制得复合材料。许振明等^[8]以废弃 PCB 的非金属粉末为原料,或是再加入不超过 10% 的固化剂混合物作为原料,通过成型模具将原料压实,最后制成再生板材,广泛用于家具、组合板、地板砖等装饰材料。吴国清等^[9]发现这种复合材料板材中非金属粉末的质量分数为 75% 时,其弯曲强度达到 50 MPa,冲击强度可达 18 kJ/m²,远优于市场上销售的本塑建筑板。随着自然资源的日益减少,人造合成板已被广泛应用于汽车、家具和装潢材料等领域,慎义勇^[10]提出了制造人造合成板的一种方法,将废弃 PCB 中的非金属粉末与 GF、木屑等填料以适当的比例混合,再加入适量的胶粘剂,然后冷压,最后进行热

压成型,可以制得人造木材。这种木材的优点是抗折性好,易弯曲,容易成型,与滑石、云母和硅胶材料做成的木材相比,其表面更光滑^[11]。人造木材的出现大大减轻了树木等自然资源的过度砍伐现象,符合当今时代绿色环保的理念,是一种很有前景的应用方向。

2 非金属粉末用于热塑性塑料及其复合材料

热塑性塑料由于其易加工、易回收、成本低等优点已应用于社会生产中的各个领域,但是其强度低、耐热性差等缺点限制了其在工程材料方面的应用,这时需要加入一些刚性填料来提高它的力学性能。而废弃 PCB 中的非金属材料恰可以做到这一点,因此大大扩展了热塑性塑料的应用范围。

Zheng Yanhong 等^[12]研究了非金属粉末填充 PP 的性能。结果表明,非金属粉末可以很大程度地改善材料的拉伸性能和弯曲性能。拉伸强度、拉伸弹性模量、弯曲强度和弯曲弹性模量的最大增加值分别为 28.4%、62.9%、87.8% 和 133.0%。另外,非金属粉末可以提高 PP 的耐热性,从而使复合材料在更高的温度下仍可以继续使用。综合机械性能、经济效益、环境因素和技术要求等各种因素,废弃 PCB 的非金属粉末颗粒要均匀,粒径要小,其最佳质量分数为 30%。沈志刚等^[13]用非金属粉末改性 PP,也得到了相似的结果。王新杰等^[14]对非金属粉末改性 PP 的研究也表明,非金属粉末中含有的 GF 和树脂聚合物,与 PP 具有很好的相容性,有效提高了 PP 的弯曲强度和维卡软化温度,增加了 PP 的阻燃效果,且随着非金属粉末含量的增加,PP 的弯曲强度有增大的趋势。用废弃 PCB 中的非金属粉末增强热塑性树脂效果显著,从经济角度考虑,一方面降低了改性剂的成本,另一方面避免了处理废弃 PCB 的费用,是一种很有前景的应用方向。也有研究者对非金属粉末增强 PP 的机理进行了研究。Zheng Yanhong 等^[15]发现非金属粉末中的 GF 是一种很好的增强体,能够产生大量的微裂纹。这些微裂纹一方面停止继续扩展,另一方面在增长时如遇到其他 GF 会使 GF 断裂。而裂纹的产生、增长和纤维的断裂都会吸收大量的能量。这些因素将阻止或延缓非金属粉末增强 PP 复合材料中裂纹的继续扩展,从而起到增强的作用。郑艳红等^[16]将非金属粉末填充的 PP 与用磨碎的 GF 增强的 PP 进行比较,发现废弃 PCB 的非金属粉末填充的 PP 材料的综合力学性能优于磨碎的 GF 增强的 PP。由于 PCB 主要是由 EP、酚醛树脂、不饱和聚酯以及一些 GF 和芳纶纤维构成,这些纤维起到增强体的作用,在提高性能的基础上降低了原料纤维的用量,从而带来了很大的经济利益。

Wang Xinjie 等^[17]研究了废弃 PCB 中的非金属粉末填充 PVC 的性能,结果表明,机械粉碎的废弃 PCB 非金属粉末在无需经表面处理的条件下就可以有效地提高 PVC 的拉伸强度和弯曲强度。粉末的粒径越小改善的效果越好。当粉末的质量分数为 20%、平均粒径为 0.08 mm 时,达到最好的效果,拉伸强度与弯曲强度分别达到 22.6 MPa 和 39.83 MPa,与纯 PVC 相比增加了 107.2% 和 123.1%。断裂伸长

率也达到了151.94%。林芝等^[18]对废弃PCB中的EP对PVC改性进行了研究。结果表明,用废弃PCB中的非金属材料改性PVC具有可行性,当不加任何增容剂时,废弃PCB中的EP与PVC按7:3的质量比共混时制得的复合材料仍有很好的力学性能,有效地解决了废弃EP的再利用问题。袁海兵等^[19]研究了非金属材料对高密度聚乙烯(PE-HD)的改性。结果表明,非金属材料对PE-HD有很好的增强效果,当质量分数为50%时,弯曲弹性模量达到1915 MPa,增加了243%,弯曲强度增加了32%。

废弃PCB不仅可以对热塑性树脂进行改性,而且可以对热塑性树脂的复合材料进行改性。徐敏等^[20]用废弃PCB非金属材料填充制备PP复合板材。结果表明,用废弃PCB回收的非金属材料填充制备的复合板材力学性能优良,当加入适量的马来酸酐接枝PP时,填料粒子与树脂基体有更好的界面粘结强度,当填料的粒径较小时,拉伸性能与冲击性能都好于粒径较大的填料。有人研究过用非金属材料部分代替木粉的聚乙烯或PP的复合木塑托盘,结果表明,其韧性、抗冲击性都有很大程度的提高。当塑料、非金属材料、木粉的质量比为40:20:20时,制得的托盘综合性能最好。因为非金属材料中含有GF增强的热固性塑料,解决了木粉与塑料间相容性的问题,这体现了传统填料难以达到的优势^[21]。万荣科技与北京化工大学、湖南省塑料研究所联手成功地将废弃PCB中的非金属材料用于物流托盘、室内景观材料等,并提出了成熟的生产工艺。首先将非金属材料进行活化处理,然后与回收的塑料共混造粒,经过挤出机挤出成型,最后组装成制品。这样制作的新型复合材料外形美观,经久耐用^[22]。

利用非金属材料填充制备复合材料板材已得到广泛应用。王新杰等^[23]研究了利用废印刷线路板非金属材料、木粉和PVC制备的复合材料的物理、力学性能。结果表明,非金属材料颗粒较大时,复合材料的各项性能较好,当非金属材料与木粉的质量比为30:20时,静曲强度和内结合强度分别为31.74 MPa和2.10 MPa,符合相应的使用标准。在非金属材料与木粉的质量比为15:35时,24 h吸水厚度膨胀率优于国家标准,而24 h吸水率优于地板基材用纤维板行业标准。将非金属材料用于生产复合材料的应用实现了原料-产品-原料的封闭循环,不但降低了生产复合材料的成本,还获得了较好性能的制品,若对非金属材料进行表面改性处理,则得到的制品性能会进一步提高。

3 非金属材料用于建筑材料

将废弃PCB制成粉末,作为高品质填料加入到混凝土等建筑材料中,可制备出性能优异的高强、低密度增强混凝土。这些方式不仅起到大量回收热固性塑料的目的,而且能够节约原材料的成本,符合国家倡导的节约型社会和可持续发展战略的要求。日本学者S. Yokoyama等^[24-27]在20世纪90年代就利用废弃PCB中回收出来的树脂粉末作为填充剂制备出EP产品,这些产品可以深加工成粘结剂、装饰材料

和建筑材料。研究表明,树脂粉末填充剂相比其他填充剂材料(滑石、碳酸钙、GF等),对于提高EP的力学性能和热膨胀性能更加显著。Phaiboon Panyakapo等^[28]将热固性的三聚氰胺塑料颗粒、粉煤灰和铝粉等混合制得塑料混凝土。研究表明,当水泥、沙子、粉煤灰与热固性塑料的混合比例为1.0:0.8:0.3:0.9时,得到压缩强度和密度分别为4.14 MPa和1395 kg/m³,能满足ASTM C 129 - 05 Type II的标准规定。而H. S. Dweik等^[29]将三聚氰胺-甲醛(MF)替代0~60%的砂用量,结果表明,当替代率从0增至30%时,混凝土的密度随替代率的增大而降低,而压缩强度随替代率的增大而提高,其原因是再生MF颗粒的形状、级配、强度等均比天然砂要好。研究表明,利用废弃PUR作粗骨料制备混凝土,可使混凝土的干重降低29%~36%,而且有很高的透气性和扩散系数。这种混凝土的力学性能和密度均达到了建筑用混凝土的标准^[30]。

国内对非金属材料用于建筑材料的应用也取得了很好的成绩。Li Jia等^[31]通过两步粉碎、电晕静电分离技术,将废弃PCB中质量分数70%的非金属材料提取出来,然后添加一些外加添加剂,合成出一种非金属模板(NMP),然后经过热压烧结,制得NMP板材。测试发现废弃PCB非金属材料在NMP中的质量分数为80%,所制备的NMP能够应用到建筑材料中做瓷砖或绝缘板等。苏州顺惠有色金属制品有限公司利用非金属材料生产了复合材料标准砖、多孔砖和砌块。它们主要是以非金属材料中的EP粉末作为主要原料,添加水泥、白泥、粉煤灰等各种辅料,通过一系列简单的工序制成成品。非金属粉末的添加量能达到12%,与传统的砖块相比,这种砖块有较低的成本,节约了资源^[21]。王武生^[32]提出了一种利用废弃PCB制作建筑模板的方法,他将废弃线路按照建筑模板的厚度和大小拼接,然后涂上树脂胶,在两面铺设GF布将板包在里面,再刷树脂胶,最后在模具中固化成型。这种方法利用了线路板自身的强度和韧性,达到了很好的使用效果,既节约了资源降低了成本,又为废弃PCB的回收提供了一种可行的方法。Mou Peng^[33]研究指出,非金属材料与钢筋、水泥、沙子等传统建筑材料相比具有质轻、高强的优点,并且粉末的颗粒度均匀,含有大量杂乱的GF使得它具有很好的增强效果。杨佳俊等^[34]研究了掺废电子线路板非金属残渣水泥砂浆的安全性。研究表明,将废弃PCB非金属材料作为原料配制水泥砂浆,不仅可以充分利用废弃PCB中的非金属材料,而且制得的水泥砂浆具有较高的抗折和抗压强度。水泥砂浆中重金属离子浸出量很低,不会对环境产生不良影响。

虽然用非金属材料作为原料生产建筑材料是一种很好的方法,但由于与传统的水泥沙子等建筑材料相比没有明显的经济优势,因此现在很少有人使用这种建筑材料,目前研究的还比较少。

4 非金属材料用于改性沥青

沥青是一种被广泛用于铺路等的材料,但由于其具有很

好的流变性能,使得它对温度的敏感性很大,较难满足高温或低温路况。因此为了使沥青应用范围更广泛,就需要对其进行改性以满足日益增加的交通载荷及承受苛刻的环境条件,一般来说会加入一些聚合物对其改性。废弃 PCB 中的非金属粉末作为改性剂对沥青改性,一方面降低了改性的成本,另一方面又充分利用了废弃的线路板,是一种符合环保要求的可行性方法。

俞佳平等^[35]对废弃 PCB 粉末作为沥青改性剂进行了研究,发现改性沥青体系的最佳温度为 180℃,最佳剪切时间是 1 h,此时的针入度、软化点等综合性能最佳。Guo Jiuyong 等^[36]用废弃 PCB 中的 GF 和树脂粉末增强沥青。与聚酯纤维特别是无机填料相比,它的优势是成本几乎可以看作是零。一方面,废弃 PCB 中的 GF 和树脂粉末由于组成的关系可以增强沥青,另一方面,这种粉末的加入可以降低沥青的成本,从环境和经济两方面带来双赢的结果。

改性沥青时最重要的是研究沥青对温度的敏感性,郭久勇等^[37]通过研究废弃 PCB 非金属粉末改性沥青,发现非金属粉末可以降低沥青的温度敏感性,使其可以在高温或低温下使用。非金属粉末的颗粒越小,对沥青的改性效果越好。当非金属粉末质量分数为 25%、粒径为 0.07 ~ 0.09 mm 时,改性沥青的综合性能最好,其极限使用温度达到 69.4℃。用非金属粉末改性沥青取代了用木粉改性的传统方法,是一种环境友好型的方法。

5 非金属粉末在其他方面的应用

郭久勇^[37]还提出非金属粉末可以作为粘弹性材料的改性剂。研究发现,与滑石粉、碳酸钙和硅土相比,废弃 PCB 的粉末能够更有效地提高 EP 塑模的力学强度和热膨胀性能。废弃 PCB 粉末的粘性与滑石粉的相差不多,但比碳酸钙和硅土的要大一些。这种粘性可以阻止复合材料的滴落,可以有效地改善粘弹性材料的性能。由于非金属粉末中的 EP 与 PVC 有一定的化学相容性,故可用于 PVC 管的加工中,与无机的碳酸钙相比,具有一定的性价比优势。经检验,用非金属粉末部分代替碳酸钙加工的 PVC 管具有很好的加工性能,制品表面光滑、质轻,降低了成本。非金属粉末的主要成分是 EP、酚醛树脂和杂乱的 GF 等,利用这些树脂粉末高热值的特点,将其研成细小颗粒,可以像煤粉一样燃烧,而烧后的残渣成分与煤粉的灰渣成分很相似,不会对环境产生不利的影响^[38]。目前杭州大洲物资再生利用有限公司已经实现了用非金属粉末部分替代煤粉作燃料的应用,这种方式不但减少了煤粉的消耗量,节约了珍贵的煤炭资源,而且很好地解决了废弃 PCB 的处理问题。Mou Peng^[33]将废弃 PCB 粉末作为主要材料来制作模型,并用装饰性的胶粘剂作为粘合剂,目前已制作出计算机鼠标等模型,与普通材料相比,它有更好的力学性能,但质量重、表面粗糙,如果可以对表面进行进一步的处理,可以使废弃 PCB 的非金属材料得到更多的应用。用这种粉末作为主要材料制作模型是一种很好的利用方式,可以最大限度地利用废弃 PCB 材料,但产品的综

合性能还有待于进一步提高,对模型的后处理工作比较复杂。韩洁等^[39]研究废弃 PCB 的回收利用时指出,印刷线路板中的塑料部分起着支撑和绝缘的作用,因为价格低廉,密度较低,力学、化学、电学性能都很优异,在电子工业中得到了广泛的应用。另外,由于这些塑料主要是由热稳定性优异的聚合物构成,能够承受化学处理,承受较高的热力学检验和苛刻的外界条件的要求,可以作为良好的阻燃剂和建筑物材料。

6 结语

目前,废弃 PCB 的回收主要以物理方法为主,将其制成粉末作为填料或改性剂应用于各个领域,从国内外对废弃 PCB 中非金属材料回收的研究现状可以看出,将废弃 PCB 制成粉末,作为复合材料的原材料,加入到新的复合材料制品中,形成原料-产品-原料的封闭循环,可以实现最高层次的废弃材料资源化利用;另外,作为高品质填料加入到混凝土等建筑材料中,可制备出性能优异的高强、低密度增强混凝土。这些方式不仅起到大量回收热固性塑料的目的,而且能够节约原材料的成本,符合节约型社会和可持续发展战略的要求,是最有发展潜力的回收方式。

但目前大多数研究只是简单添加,没有进一步考虑到如何使材料的性能最大化,研究不够深入和具体,更不要说高品质的相关产品。因此,面对着国内越来越多的废弃 PCB 资源,如何最大限度地发挥其作用,既节约资源,又保护环境,将是我们面临的具有社会、环境和经济效益的重大课题。

参考文献

- [1] 周玉敬,等. 复合材料学报,2008,25(4):29-33.
- [2] 刘学平,等. 利用废旧线路板中回收的非金属材料制作的复合材料:中国,200910107913.2[P].2009-11-04.
- [3] 邓欣,等. 化学世界,2006(增刊):41-42,52.
- [4] Guo Jie, et al. Journal of Hazardous Materials,2008,153(1/2):728-734.
- [5] 刘勇,等. 中国资源综合利用,2009,27(3):11-13.
- [6] 戎国林,等. 当代化工,2009,38(4):329-331.
- [7] 向东,等. 一种利用废弃线路板的非金属粉末制作玻璃钢制品的方法:中国,10011117.5[P].2006-06-28.
- [8] 许振明,等. 破碎废旧印刷电路板的基板材料颗粒再生板材的制备装置:中国,200510023787.4[P].2005-08-17.
- [9] 吴国清,等. 新材料产业,2009(1):29-31.
- [10] 慎义勇. 中国环保产业,2006(6):34-36.
- [11] 庄燕,等. 上海化工,2008,33(6):1-4.
- [12] Zheng Yanhong, et al. Journal of Hazardous Materials,2009,163(2/3):600-606.
- [13] 沈志刚,等. 化学工程,2006,34(10):59-63.
- [14] 王新杰,等. 化工学报,2010,61(3):795-799.
- [15] Zheng Yanhong, et al. Journal of Applied Polymer Science,2010,118(5):2914-2920.
- [16] 郑艳红,等. 复合材料学报,2009,26(2):59-66.
- [17] Wang Xinjie, et al. Journal of Environmental Management,

- 2010, 91(12): 2 505 – 2 510.
- [18] 林芝,等. 废环境科技, 2009, 22(5): 1 – 3.
- [19] 袁海兵,等. 塑料制造, 2009, 9: 48 – 50.
- [20] 徐敏,等. 上海第二工业大学学报, 2009, 26(1): 17 – 21.
- [21] 张杜杜,等. 再生资源与循环经济, 2009, 2(10): 38 – 40.
- [22] 明果英. 印制电路信息, 2007(7): 47 – 50, 63.
- [23] 王新杰,等. 环境科学研究, 2010, 23(2): 227 – 230.
- [24] Yokoyama S, et al. Recycling of thermosetting plastic waste from electronic component production process [C] //Proceeding of 1995 IEEE international symposium on electronics and the environment. USA, 1995: 132 – 137.
- [25] Yokoyama S, et al. Recycling of printed wiring boards with mounted electronic parts[C] //Proceeding of 1997 IEEE international symposium on electronics and the environment. USA, 1997: 109 – 114.
- [26] Iji M. Journal of Materials Science, 1998, 33: 45 – 53.
- [27] Yokoyama S, et al. Recycling system for printed wiring boards with mounted parts[C] //Proceeding of 1999 environmentally conscious design and inverse manufacturing. Tokyo, 1999: 814 – 817.
- [28] Phaiboon Panyakapo, et al. Waste Management, 2008, 28: 1 581 – 1 588.
- [29] Dweik H S, et al. International Journal of Polymeric Materials, 2008, 54(11): 635 – 656.
- [30] Amor B F, et al. Construction and Building Materials, 2010, 24: 1 069 – 1 077.
- [31] Li Jia, et al. Environ Sci Technol, 2007, 41: 1 995 – 2 000.
- [32] 王武生. 一种利用废旧线路板制作建筑模板的方法: 中国, 200810039096. 7[P]. 2009-12-23.
- [33] Mou Peng. Tsinghua Science and Technology, 2007, 12(3): 276 – 283.
- [34] 杨佳俊,等. 新型建筑材料, 2010(6): 64 – 65, 68.
- [35] 余佳平,等. 化学世界, 2007(增刊): 105 – 106.
- [36] Guo Jiuyong, et al. Journal of Hazardous Materials, 2009, 168(2/3): 567 – 590.
- [37] 郭久勇. 废弃电路板非金属材料填充不饱和聚酯团状模塑料及改性沥青研究[D]. 上海: 上海交通大学材料科学与工程学院, 2009.
- [38] 查建宁,等. 污染防治技术, 2009, 22(1): 22 – 25.
- [39] 韩洁,等. 城市环境与城市生态, 2001, 14(6): 11 – 13.

PROGRESS IN RESEARCH OF REUSING OF NONMETALLIC MATERIALS IN WASTE PRINTED CIRCUIT BOARD

Qiu Jun, Li Na

(School of Materials Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Liu Guangfu

(Institute of Management Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

ABSTRACT The reusing of the non-metallic materials in the waste printed circuit board, especially the reusing of the thermosetting resins was reviewed. The grinding non-metallic materials to powder as a filler and used as modifier added to the thermosetting resins or thermoplastic resins to reduce the production costs or to improve the mechanical properties were summarized in detail. The application of the material used as a filler added to the high-quality building materials, such as enhanced asphalt, production of high strength, low-density reinforced concrete was discussed also. On the basis of various recycling methods, the recycling trends of the non-metallic materials in waste printed circuit board was discussed.

KEYWORDS waste printed circuit board, nonmetallic materials, reuse, thermosetting resin

2010 年 11 月中国挤出机进出口情况

据中国海关统计, 2010 年 11 月, 中国出口塑料造粒机近 200 台, 同比增加 8%, 金额约 300 万美元, 同比降低 4%。同期, 其他挤出机出口约 450 台, 金额约 200 万美元, 同比分别增长 58% 和 74%。2010 年 11 月, 中国进口塑料造粒机 18 台, 同比减少近八成, 金额 137 万美元, 同比减少 5%。其他挤出机进口约 100 台, 金额近 300 万美元。2010 年 1 ~ 11 月, 中国累计出口塑料造粒机近 2000, 金额 0.3 亿美元, 其他挤出机出口约 4000 台, 金额 1.6 亿美元。2010 年 1 ~ 11 月, 中国累计进口塑料造粒机 120 台, 金额约 1 亿美元; 其他挤出机进口约 800 台, 金额为 2.5 亿美元。(塑协)

全球阻燃剂需求年均增速将达 6%

据美国弗里多尼亚集团的最新研究报告显示, 未来 4 年

全球阻燃剂市场需求将以年均 6% 的速度快速增长, 到 2014 年该市场需求将达到 220 万 t。亚太地区将是全球范围内阻燃剂需求增长最为迅速的市场, 预计将以年均 7.5% 的速度快速增长, 到 2014 年亚太地区的阻燃剂需求将占到全球市场需求的 50%。北美和西欧地区的需求增速相对较慢, 分别为年均 5.5% 和 3.5%。

(工塑网)

佛塑股份成功研发 TPE 无孔防水透湿膜

佛塑股份自主研发开成的 TPE 无孔防水透湿膜目前已研发成功, 正式推出市场。据了解, TPE 无孔防水透湿膜与布料复合成面料可用于服装、鞋材、户外运动用品等, 具有防风保暖、防水和透气的功能。与无纺布复合成面料, 可用于高防护要求的医疗卫生及其他防护产品、干燥剂包装等。

(中聚)