

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.09.031

聚脲涂料发展及其应用

李桂群,侯瑞,胡国祥,张宝芹,丁文皓,刘景,张岩,马晓斌

(山东非金属材料研究所,济南 250031)

摘要:聚脲涂料是一种 20 世纪 80 年代研制成功的新型涂料,并衍生出了新型的聚天门冬氨酸酯聚脲产品,在性能和施工性上有了新的突破。综述了聚脲涂料的发展历程及其现有的产品应用形式,介绍了聚脲涂料在防护、混凝土防护涂料、防水涂料、机械和汽车用涂料、木器漆、防腐涂料等领域的应用与研究现状,并对其发展提出了展望。

关键词:聚脲;涂料;防护

中图分类号:TQ633 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2019)09-0163-06

Development and Application of Polyurea Coatings

Li Guiqun, Hou Rui, Hu Guoxiang, Zhang Baoqin, Ding Wenhao, Liu Jing, Zhang Yan, Ma Xiaobin

(Shandong Institute of Non-Metallic Materials, Jinan 250031, China)

Abstract : Polyurea coating is a new type of coating developed in 1980 s. A new type of polyaspartic acid ester polyurea product has been developed, which has made a new breakthrough in performance and construction. The development history of polyurea coatings and their existing product application forms were reviewed. The application and research status of polyurea coatings in the fields of protection, concrete protective coatings, waterproof coatings, mechanical and automotive coatings, wood coatings and anti-corrosive coatings were introduced, and the prospect of its development was put forward.

Keywords : polyurea ; coating ; protective

1 聚脲简介

聚脲是由异氰酸酯组分与氨基化合物组分反应获得的一种弹性体^[1]。由于聚脲的反应原理与聚氨酯类似,且应用形式和领域也基本一致,因此广义的聚氨酯往往将聚脲包含在内,统称为聚氨酯。从分子结构上,聚氨酯与聚脲也有相似之处,因为常用的双组分聚脲也往往利用羟基与异氰酸根的反应进行预聚改性,导致分子中含有氨基酯基结构。一般来说,将由异氰酸根与氨基反应完成最终固化反应的材料称为聚脲材料,而最终固化反应是异氰酸根与羟基反应的材料称为聚氨酯材料。

聚脲的一大特点是其固化反应速度快,黄微波等^[2]总结了异氰酸酯与各种活泼氢化合物的相对反应速度,异氰酸酯同各种活泼氢化合物的相对反应速度如表 1 所示。其中脂肪族伯胺与脂肪族仲胺的反应速度远超其它活泼氢化合物,比异氰酸酯与水的反应要快出 2~3 个数量级。在实际应

用中,快速反应喷涂聚脲的固化时间往往以秒为单位,使其施工效率极高,且受环境湿度影响较小,在潮湿环境下的施工(如隧道、地下工程等)更加具有优势,基本不会受到异氰酸酯与水反应生成二氧化碳的副反应影响而产生发泡现象。

表 1 异氰酸酯同各种活泼氢化合物的相对反应速度
(25℃,无催化剂)

活泼氢化合物	相对反应速度
脂肪族伯胺	100 000
脂肪族仲胺	20 000~50 000
芳香族伯胺	200~300
伯醇	100
水	100
羧酸	40
仲醇	30
脲	15
叔醇	0.5
氨基甲酸酯	0.3
酰胺	0.1

聚脲聚合物的发现由来已久,将其以涂料的形式进行

通讯作者:李桂群,研究员,主要从事特种功能涂料及防腐涂料的研究 E-mail:13006577466@126.com

收稿日期:2019-06-20

引用格式:李桂群,侯瑞,胡国祥,等.聚脲涂料发展及其应用[J].工程塑料应用,2019,47(9):163-168.

Li Guiqun, Hou Rui, Hu Guoxiang, et al. Development and application of polyurea coatings[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(9): 163-168.

应用则始于20世纪80年代,美国Texaco公司将环氧固化剂端氨基聚醚与异氰酸酯树脂组合应用,并设计专门的喷涂设备,开发了喷涂聚脲弹性体(简称SPUA),克服了喷涂聚氨酯弹性体和喷涂聚氨酯/聚脲弹性体受环境湿度影响大的问题。SPUA技术很快进入我国,其中黄微波等^[3]开发了一系列聚脲涂料产品,并获得了较好的商业应用。

喷涂聚脲涂料的发展是以其优越的性能为基础的。聚脲涂料力学性能优异,在耐磨性、耐冲击性、耐腐蚀性、耐介质性、热稳定性等方面均表现突出,使其在防腐蚀、防水、耐磨、阻尼、防护、抗震等领域都获得了应用,且聚脲涂料施工效率高,一次喷涂可达到毫米级,极大地节约了人工成本。此外,由于双组分聚脲涂料中不包含或仅含有少量溶剂,具有较好的环境友好性,是绿色涂料发展的一个重要方向。

喷涂聚脲的性能虽然广受好评,但其快速固化的特性也在一定程度上限制了其应用,早期使用的聚脲涂料凝胶时间仅有数秒到数十秒,与基材的润湿不充分,且所需的专门喷涂设备也较为复杂,价格高,稳定性不佳,需要认真维护。为了提高涂料的适用性,Bayer公司推出了聚天门冬氨酸酯树脂作为氨基化合物组分^[4],聚天门冬氨酸酯中的活泼基团为仲胺基,且由于临近基团的位阻作用进一步降低其反应活性,使聚天门冬氨酸酯聚脲的反应速度大幅下降,Bayer与飞扬公司均推出了一系列产品,已在防腐、地坪等领域获得了广泛应用,被称为第三代聚脲。

2 聚脲涂料发展现状

喷涂聚脲涂料的快速固化是一柄双刃剑,优点与缺点同样鲜明,但其优异性能又让人无法割舍,为了提高聚脲涂料的应用性能,科学家开展了很多研究,笔者选取了几个较新的改性方向进行介绍。

作为涂料的双组分之一,氨基组分的性能对涂层性能影响很大。由腰果壳油改性获得的酚醛胺类环氧固化剂具有即使在潮湿条件下也能快速、低温固化的优点,在环氧固化剂中得到了广泛的应用,并可以提供很好的附着力和防水性能,受此启发K. Wazarkar等^[5]选用六亚甲基二胺(HMDA)、异戊二酮二胺(IPDA)、二氨基二苯甲烷(DDM)及Jeffamine D-400, Jeffamine T-403等多种胺,利用常规曼尼希反应合成了腰果壳油改性酚醛胺,并将该酚醛胺与IPDI和HDI为基础的封闭型异氰酸酯混合,得到具有良好力学、化学、光学、热、防腐性能的聚脲涂料。研究表面,腰果壳油中的长碳链对防腐性能有所帮助,不同的胺改性剂性能指标有以下排序:DDM > T403 > IPDA > AG141 > D400 ≥ HMDA。

N. Iqbal等^[6]考察了在氨基组分中加入三官能团氨基对聚脲涂层的影响,通过调控三官能团交联剂的添加量控制

聚脲的力学性能。研究发现,该交联剂的引入提高了拉伸强度和拉伸弹性模量,提高了耐化学药品性,但如果超过最佳配比则力学性能会反而下降,并通过动态力学分析对样品的交联密度进行量化,认为利用仿射网络模型可较好地匹配测试数据。

王镠等^[7]利用酚醛树脂对聚脲/聚氨酯树脂进行了改性,并制备了涂料,性能测试表明,酚醛树脂含量为50%左右时,其涂膜拉伸强度由8.9 MPa提升至13.2 MPa,耐强酸性和阻尼性能得到提升,玻璃化转变温度由12℃提升至106℃。

刘子康等^[8]利用环氧树脂对聚脲材料进行了改性,并制备了聚脲超重防腐涂料。研究结果表明,以聚四氢呋喃醚多元醇与二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)进行预聚改性,控制NCO质量分数为16%,并优选了环氧树脂E-44对双组分聚脲树脂进行改性,合成的环氧改性聚脲树脂具有较好的防腐蚀性能。

关有俊等^[9]以KH540为硅源,通过Michael加成反应制备了含硅氧烷的聚天门冬氨酸酯树脂,与HDI三聚体进行预聚,获得了有机硅改性树脂,并测试了改性后聚脲漆膜的性能,认为通过引入有机硅结构单元,使得树脂的性能兼具聚天门冬氨酸酯树脂和有机硅材料的特性,提高了漆膜的耐水性、耐腐蚀性,并对漆膜外观有所提高。

颜填料是涂料中的重要组成部分,徐杰等^[10]将石墨烯添加在聚天门冬氨酸酯涂料配方中,通过测试拉拔附着力、耐盐雾性能及电化学交流阻抗,研究了石墨烯对聚天门冬氨酸酯涂层性能的影响。结果表明,添加质量分数1%的石墨烯粉末,可改善聚天门冬氨酸酯底面合一涂层的附着力及盐雾性能,电化学阻抗值在30 d内基本保持不变。

与传统涂层最多几百微米的厚度不同,喷涂聚脲厚度往往较大,对阻燃性能的研究也不容忽视。通过考察溶剂型阻燃剂和无机填料型阻燃剂的种类和添加量,吴文文等^[11]制备了力学性能、热稳定性和表面形貌等相比普通喷涂聚脲涂料都无较大差异的阻燃型喷涂聚脲涂料。相比普通喷涂聚脲涂料,阻燃型喷涂聚脲涂料的极限氧指数从18%提高至28%,拉伸强度从12.5 MPa降为11.3 MPa,断裂伸长率从430%降至422%。虽然阻燃型喷涂聚脲涂料的力学性能有所下降,但是下降幅度很小且在使用范围的要求内,而且涂料的极限氧指数升高,热稳定性和表面形貌均良好。

随着环保要求日趋严格,聚脲涂料的水性化也成为学者研究的方向之一。按照定义,聚脲涂料是由异氰酸酯组分与氨基组分反应获得的,但S. Ma等^[12]却另辟蹊径,利用无异氰酸根的方式制备水性聚脲乳液,并考察树脂与乳液的性能。

3 聚脲涂料应用

根据聚脲的材料特性,学者开发了其相关应用。快速固化聚脲涂料主要应用于防腐、防水和耐磨领域,随着聚天门冬氨酸酯聚脲的发展,地坪、机械涂料等方面的应用也不断增加。

3.1 防护领域

聚脲材料的高强度特性使其在防护领域具有极高的应用潜力,张燕等^[13]、翟文等^[14]、黄微波等^[15]、N. Lqbal 等^[16]综述了喷涂聚脲弹性体技术在军事领域的应用。

翟文等^[14]列举了喷涂聚脲弹性体的主要性能指标,如表2所示,并列出了其在军用车辆、水面舰艇及冲锋舟、潜艇与鱼雷、无人遥控海底探测器及载人水下机器人、防御工事、导弹与运载火箭和军用“地毯”方面的应用,认为喷涂聚脲弹性体在我国研发成功后,以其优异的性能和工艺引起国内材料界和工程界的极大关注,其应用领域较广,且在减少污染、降低能耗、提高材料的防护性能方面显示出以往任何施工技术都无可比拟的优势。

表2 SPUA 主要性能

项目	性能指标
拉伸强度 / MPa	5~27.5
断裂伸长率 / %	50~1000
撕裂强度 / (kN·m ⁻¹)	12~95
与钢、铝基材粘结强度 / MPa	≥ 8.0
与水泥粘接强度 / MPa	水泥破坏
与玻璃钢粘接强度 / MPa	玻璃钢分层破坏
硬度 (邵氏 A)	A30~D65
摩擦系数	0.35~0.76
阿克隆磨耗 / [cm ³ ·(1.61 km) ⁻¹]	≤ 250
耐候性能	紫外加速老化实验 3000 h 无可见失效

黄微波等^[15]总结喷涂聚脲弹性体在爆炸冲击载荷下的防护进展后认为,聚脲材料不仅有突出的防护性能,还能够通过其高韧性减少爆炸碎片对人体的伤害,喷涂聚脲弹性体在结构背面加固时抗爆性能和吸能效率更加突出。

聚脲材料的防护特性与材料特性息息相关,而爆炸冲击、子弹射击等破坏形式在聚脲材料上的作用不仅作用力强,且作用时间短,在这一情况下对材料性能的考察不能仅仅依靠常规的材料性能指标(如断裂强度、拉伸弹性模量等)。C. M. Roland 等^[17]对纯聚脲的反应速率敏感性进行了详细的研究,采用分离式 Hopkinson 压杆系统对材料在大应变率(1000~4500 s⁻¹)下的应力-应变响应进行测试,观察不同应变率下应力随应变的变化,为聚脲材料在防护领域的应用奠定了实验基础。

R. Casalini 等^[18]研究了聚脲在气蚀作用下的失效特性。通过对聚脲在气蚀作用下的热响应进行实验和树脂研究, R. Casalini 发现,聚脲在气蚀作用下,不仅承受机械作用,内部

还存在较强的升温现象,该温度变化与涂层和基材的厚度有关,且材料的破坏程度也与温度升高相关。

有限元分析是仿真运算与材料设计之间沟通的桥梁之一,为材料设计提供了有益的指导。K. Kamonchaivanich 等^[19]用聚脲涂料对瓷砖进行增强,利用三点弯曲实验研究了陶瓷涂覆面和涂层厚度对陶瓷力学性能的影响,实验结果表明,与表面涂覆涂层相比,背面涂覆涂层的陶瓷抗弯强度显著提升(提高20%~25%),并用有限元分析法分析了材料的应力分布,探讨了提高材料力学性能的机理,认为涂覆在背面的聚脲涂料使支撑的应力分布更加均匀,起到了缓冲作用。

聚脲涂料在军事防护领域的应用是其非常重要的方向,也已经产生了一系列的产品并已经投入市场,但由于针对爆炸等威胁的防护材料工作状况极其复杂,运用实验手段进行测试不仅价格高昂,有能力开展相关测试的单位数量有限,且难以完全掌握材料在工作状态下的性能参数信息,而利用仿真手段进行数据处理,仍不能完全满足设计需要,从材料的设计和研发角度来说,聚脲涂料在军事防护方面的应用仍需要开展大量工作。

3.2 混凝土防护涂料

混凝土是一种应用广泛的建筑材料,在自然环境中,混凝土会遭遇表面风化、冻融破坏,不仅外观不甚美观,且介质渗入混凝土内部,还会使钢筋腐蚀,混凝土材料失效,导致安全隐患。混凝土表面喷涂聚脲材料,可以有效防止水分、盐分等的渗透,且可以耐光老化和高低温交变,是一种优良的混凝土防护涂料。

刘玉亭等^[20]以刷涂型脂肪族聚脲作为寒冷地区混凝土构筑物抗冻防护材料,采用单组份聚氨酯基材处理与高耐候聚脲面漆配合的形式对混凝土进行防护,为混凝土材料建筑物的表面防护提供了新材料和新方案。

朱祖熹^[21]分析了地铁与隧道工程中墙面的工况,认为聚脲防水涂料在隧道工程上应用很有意义,与聚脲材料快速固化、对湿度环境不敏感、无溶剂、物理性能优异、涂层致密连续、抗渗透性高的特点非常契合,特别适合于在放坡开挖的隧道或分离式侧墙的现浇混凝土箱形结构(如大型箱涵涵管)、预制混凝土管节(如沉管法隧道的管段)的顶板侧墙,以及沉井井壁外防外喷涂层。且聚脲防水涂料用来对旧隧道进行维修也十分合适,可用于混凝土的内防水、防腐蚀涂层处理已弱化的老混凝土内面。朱祖熹列举了波士顿地铁隧道、美国北卡罗莱纳州的高速公路隧道、澳大利亚布里斯班 CLEM7 道路隧道、日本东京地铁涉谷车站等工程实例,为聚脲防水涂料的应用提供了实例,也结合实例指出了其尚待解决的问题。

王媛怡等^[22]讨论了水工混凝土大坝表面防护涂层的

应用情况,指出由于水利工程的特殊性,水工混凝土大坝长期处于含砂高速水流冲刷侵蚀、气温变化大、冻融频繁等恶劣环境下,其耐久性直接影响着水利工程的安全性和服役寿命。在混凝土表面涂覆防护涂层可有效阻止有害介质渗入混凝土毛细孔内部,从而达到提高混凝土耐久性的目的,被广泛应用于大坝表面的防护领域,其中由长江科学院开发的CW系列聚天门冬氨酸酯聚脲纳米复合材料,能对混凝土裂缝进行修补,并显著提高混凝土的抗冲磨、抗渗、抗冻融和耐化学侵蚀等性能,已成功应用于南水北调工程、宜昌汤渡河水库、重庆万盛板辽水库等众多水利工程中,起到除险加固与表面防护作用。

除了应用在混凝土工程表面,聚脲涂料还可以用来提升混凝土内钢材的耐久性。E. Komurlu 等^[23]在岩石锚杆上喷涂聚脲涂层,测试了其防腐蚀性能,测试结果表明,用普通硅酸盐水泥将锚杆浇筑成型六个月后,喷涂聚脲的钢筋承载力没有下降,证明聚脲与钢、水泥的结合力良好。

3.3 防水涂料

聚脲材料耐水性好,涂层致密,具有作为防水涂料应用的潜力。郁维铭^[24]综述了聚氨酯和聚脲防水涂料的研究现状,介绍了相关应用,指出聚脲材料中的C—N键比聚氨酯中的C—O键更加稳定,端氨基聚醚的耐水解性和疏水性也要强于羟基聚醚,因此在防水涂料方面性能更优。邱小勇^[25]开发了一种无溶剂型聚天门冬氨酸酯聚脲防水涂料,该涂料由A、B两个组分组成,A组分为多异氰酸酯和封端异氰酸酯预聚体,B组分为聚天门冬氨酸酯、聚合型改性聚天门冬氨酸酯、填料和少量助剂。该涂料凝胶时间长、拉伸强度大、断裂伸长率高,防水防腐性能优异且耐候性好,无溶剂、对环境友好。同时,该涂料可手工施工,不需要专门的大型喷涂设备,应用领域较广。

罗学禹等^[26]以六亚甲基二异氰酸酯(HDI)三聚体、改性端氨基聚环氧丙烷醚(ED600)以及扩链剂二乙基甲苯二胺(E100)、二甲硫基甲苯二胺(E300)为原料,并调整改性端氨基聚醚和扩链剂的物质的量之比制备不同的聚脲涂料。通过傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪对聚脲涂膜的分子结构进行分析,并测试不同配方聚脲涂料的凝胶时间和表干时间;同时对聚脲涂膜的耐水性、电气强度、拉伸性能进行了测试。结果表明:聚脲涂膜具有良好的耐水性和隔水性,其电气强度最高可到110.82 kV/mm,且具有较好的拉伸性能。

喻学斌等^[27]介绍了喷涂聚脲弹性防水涂料在塞内加尔竞技场摔跤场看台中的应用,重点阐述了看台部位的防水施工工艺及注意事项,并对穿结构管、看台座椅等工程特殊节点部位的施工要点进行了详述。

3.4 机械和汽车用涂料

姚学民等^[28]在汽车底盘喷涂了环氧富锌底漆配套聚脲面漆涂层,获得了较好的防护效果,在耐盐雾和耐老化性能上达到了很高的标准,并对导电防腐底漆/阴极电泳漆/聚脲面漆和阴极电泳漆/聚脲面漆的性能进行了测试,认为聚脲涂料的低温固化特性和优异的性能,非常匹配汽车底盘需要节能降耗和提高涂膜防护效果的要求。

修亚茹等^[29]对海外出口车的底盘防护工艺进行了研究,并对底盘聚脲清漆整体喷涂工艺的防腐性能进行了应用验证,认为聚脲涂料可弥补车底盘局部表面处理的不足,有效减少磕碰伤,提高防腐性能。

田铁梁等^[30]分析了汽车涂装对涂层性能的要求,讨论了聚脲涂料在汽车涂装上的发展和应用基础,特别对聚脲涂料作为底盘涂料、汽车中涂漆、汽车面漆的性能进行了检测,认为聚脲汽车涂料在综合施工性能、节能降耗、耐老化性方面完全能够满足汽车涂料实用要求。

廖志雄等^[31]针对起重机机械的腐蚀防护需求,设计了一种聚脲涂料,并对起重机金属结构上喷涂聚脲的涂层性能进行了测试,讨论了聚脲涂层厚度对其力学性能的影响。

刘寿兵等^[32]设计了一种聚天门冬氨酸酯聚脲涂料,施工固含量大于70%,比丙烯酸涂料高35%,在45℃烘烤干燥速度比丙烯酸聚氨酯涂料快一倍以上,且耐磨性、硬度和耐老化性能都有所提高。

3.5 木器漆

木器漆是涂料的一个重要应用分类,从最初的天然木器漆到醇酸、聚酯、聚氨酯木器漆,应用范围覆盖家具、地板等。杨春嘉等^[33]选配了不同胺基扩链剂和聚醚多元醇,制备了适用于木质音箱的聚脲涂料,克服了现有音箱用醇酸类涂料溶剂含量高、施工复杂,以及水性涂料施工效率低的问题,并对聚脲涂料性能进行了考察,结果表明,漆膜性能可以满足音箱使用需要。此外,还介绍了喷枪操作对聚脲喷涂效果的影响。

M. J. Konkler 等^[34]将聚脲涂料涂覆在夏威夷的道格拉斯杉木上,评价了聚脲对木材的保护作用,结果证明聚脲涂料对真菌和腐蚀的防护作用较大,而对白蚁则作用有限,涂层防护需要与木材的防腐处理结合使用。

3.6 防腐涂料

聚脲防腐涂料是聚脲材料的重要应用方向,主要是基于聚脲的高耐候性和高致密性,从树脂材料上分类,聚脲防腐涂料又可分为纯聚脲防腐涂料和聚天门冬氨酸酯聚脲防腐涂料,前者是基于SPUA技术,涂装厚度大,受限于树脂和种类而仅添加少量或不添加固体颜填料,后者的涂料配方与施工工艺与传统聚氨酯涂料类似。

黄微波等^[35]开展了海洋腐蚀环境下纯聚脲重防腐涂层耐久性研究,通过加速老化实验验证,认为纯聚脲防腐涂层与基体结合力牢固,对外力产生的细小缝隙有自愈效果,防腐效果优异,该涂层已成功应用于青岛海湾大桥承台、港澳大桥沉管隧道接缝等防护工程。鲁晓东^[36]、孟庆莉等^[37]也针对喷涂聚脲弹性体的防腐性能进行了研究。

张超智等^[38]综述了海洋防腐涂料的研究现状,认为SPUA在海洋防腐中的应用潜力巨大,但也指出在后续研究中应更加关注聚脲涂料反应速度过快,耐高温耐腐蚀性与氟碳涂料存在差距等问题,并提出了喷涂聚脲的喷涂本身技术难度较大,对施工人员的素质、技术要求较高,是涂层性能不足的隐患之一。

孔振英等^[39]优选了聚天门冬氨酸酯树脂与IPDI三聚体作为树脂基体,筛选了颜填料、助剂和溶剂,开发了聚脲重防腐涂料,并将其应用在海洋环境中,性能测试表明,聚脲与环氧富锌底漆配套的涂料体系完全满足ISO20340的要求。

除了以上应用,聚脲涂料在防附着^[40]、路面标线^[41]等方面也有所应用。

4 结语

喷涂聚脲弹性体成型于20世纪80年代,而聚天门冬氨酸酯聚脲的第一份涂料专利也是在20年代90年代初期公开,几十年间,聚脲涂料已经逐步覆盖了各种应用场景。聚脲涂料的优点与特点同样鲜明,高强度、高耐候、环保、高效的特点在涂料领域得到好评,而其施工工艺的复杂又限制了其推广,即使是固化速度相对较慢的聚天门冬氨酸酯聚脲体系,适用期也比传统涂料短很多,不能完全满足施工人员的要求。

一方面,对聚脲体系的研发仍应继续,特别是针对其适用期、附着力和外观方面的性能要求进行分子结构设计或加强相关助剂的开发,以及对其专门喷涂设备的性能改进;另一方面,要求某一种树脂体系拥有完美的性能不现实,应重视对聚脲涂料的应用研究,加强聚脲涂料在其适用领域的产品开发,进一步提升涂料产品的性能。只有双管齐下,聚脲涂料的市场才能够进一步发展壮大。

参考文献

- [1] 赵庆贵,等.弹性体,2018,28(6):80-82.
Zhao Qinggui, et al. China Elastomerics, 2018, 28(6):80-82.
- [2] 黄微波.上海涂料,2006,44(4):29-33.
Huang Weibo. Shanghai Coatings, 2006, 44(4):29-33.
- [3] 黄微波,等.现代涂料与涂装,2004(4):10-15.
Huang Weibo, et al. Modern Paint & Finishing, 2004(4):10-15.
- [4] Zwiener C, et al. Process for the production of polyurethane coatings:US, 5126170[P].1992-06-30.
- [5] Wazarkar K, et al. Progress in Organic Coatings, 2017, 106:96-110.
- [6] Iqbal N, et al. Progress in Organic Coatings, 2018, 123:201-208.
- [7] 王缪杨,等.涂料工业,2018(1):17-21.
Wang Liuyang, et al. Paint & Coatings Industry, 2018(1):17-21.
- [8] 刘子康,等.腐蚀与防护,2015(4):325-328.
Liu Zikang, et al. Corrosion and Protection, 2015(4):325-328.
- [9] 关有俊,等.涂料技术与文摘,2014,35(7):19-22.
Guan Youjun, et al. Coatings Technology & Abstracts, 2014, 35(7):19-22.
- [10] 徐杰,等.现代涂料与涂装,2018,204(6):24-26.
Xu Jie, et al. Modern Paint and Finishing, 2018, 204(6):24-26.
- [11] 吴文文.表面技术,2016,45(6):22-27.
Wu Wenwen. Surface Technology, 2016, 45(6):22-27.
- [12] Ma S, et al. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 2018, 56(10):1 078-1 090.
- [13] 张燕,等.表面技术,2012,41(4):110-112.
Zhang Yan, et al. Surface Technology, 2012, 41(4):110-112.
- [14] 翟文,等.工程塑料应用,2012,40(10):28-32.
Zhai Wen, et al. Engineering Plastics Application, 2012, 40(10):28-32.
- [15] 黄微波,等.工程塑料应用,2019,47(1):148-153.
Huang Weibo, et al. Engineering Plastics Application, 2019, 47(1):148-153.
- [16] Iqbal N, et al. RSC Advances, 2016, 6(111):109 706-109 717.
- [17] Roland C M, et al. Polymer, 2007, 48(2):574-578.
- [18] Casalini R, et al. Polymer, 2012, 53(6):1 282-1 287.
- [19] Kamonchaivanich K, et al. Strength of Materials, 2018, 50(5):687-694.
- [20] 刘玉亭,等.化学推进剂与高分子材料,2018,16(4):74-79.
Liu Yuting, et al. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2018, 16(4):74-79.
- [21] 朱祖熹.中国建筑防水,2010(21):43-48.
Zhu Zuxi. China Building Waterproofing, 2010(21):43-48.
- [22] 王媛怡,等.材料导报,2016,30(9):81-86.
Wang Yuanyi, et al. Materials Review, 2016, 30(9):81-86.
- [23] Komurlu E, et al. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2015, 48(5):2 179-2 182.
- [24] 郁维铭.新型建筑材料,2009,36(12):64-67.
Yu Weiming. New Building Materials, 2009, 36(12):64-67.
- [25] 邱小勇.中国建筑防水,2016(9):1-3.
Qiu Xiaoyong. China Building Waterproofing, 2016(9):1-3.
- [26] 罗学禹,等.绝缘材料,2018,51(3):35-39.
Luo Xueyu, et al. Insulating Materials, 2018, 51(3):35-39.
- [27] 喻学斌,等.中国建筑防水,2018(22):26-30.
Yu Xuebin, et al. China Building Waterproofing, 2018(22):26-30.
- [28] 姚学民,等.天津科技,2018(7):77-79.
Yao Xuemin, et al. Tianjin Science & Technology, 2018(7):77-79.
- [29] 修亚茹,等.重型汽车,2018(2):36-37.
Xiu Yaru, et al. Heavy Truck, 2018(2):36-37.

- [30] 田铁梁,等.汽车工艺与材料,2018(10):5-8.
Tian Tieliang, et al. Automobile Technology & Material, 2018 (10):5-8.
- [31] 廖志雄,等.热加工工艺,2017(20):158-160.
Liao Zhixiong, et al. Hot Working Technology, 2017(20):158-160.
- [32] 刘寿兵,等.中国涂料,2018(5):51-55.
Liu Shoubing, et al. China Coatings, 2018(5):51-55.
- [33] 杨春嘉,等.表面技术,2017(7):213-218.
Yang Chunjia, et al. Surface Technology, 2017(7):213-218.
- [34] Konkler M J, et al. International Wood Products Journal, 2019, 10(1):31-36.
- [35] 黄微波,等.上海涂料,2013,51(4):1-5.
Huang Weibo, et al. Shanghai Coatings, 2013, 51(4):1-5.
- [36] 鲁晓东.化工管理,2017(33).DOI:CNKI:SUN:FGGL.0.2017-33-158.
- Lu Xiaodong. Chemical Enterprise Management, 2017(33). DOI:CNKI:SUN:FGGL.0.2017-33-158.
- [37] 孟庆莉,等.现代涂料与涂装,2018,21(12):18-20,52.
Meng Qingli, et al. Modern Paint and Finishing, 2018, 21(12):18-20, 52.
- [38] 张超智,等.腐蚀科学与防护技术,2016,28(3):269-275.
Zhang Chaozhi, et al. Corrosion Science and Protection Technology, 2016, 28(3):269-275.
- [39] 孔振英,等.涂料技术与文摘,2017(10):28-34.
Kong Zhenying, et al. Coating and Protection, 2017(10):28-34.
- [40] 姚国友,等.水力发电学报,2016,35(5):31-39.
Yao Guoyou, et al. Journal of Hydroelectric Engineering, 2016, 35(5):31-39.
- [41] 葛晓,等.涂料工业,2006,36(3):37-38.
Ge Liang, et al. Paint & Coatings Industry, 2006, 36(3):37-38.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过20个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名、学历或职称、主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以200~300字为宜,英文摘要可略详。关键词要求3~8个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将*.opg, *.dwg, *.eps等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少15篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过3人时可全部著录,超过3人时,只著录前3位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆杂志社网站(<http://www.epa1973.net>),点击“作者投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过3个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。