

荷叶效应研究在联邦德国的新进展

黎东良,肖丕瑛

(山东外事职业大学外国语学院,山东威海 264504)

[摘要] 荷叶仿生研究是 20 世纪 70 年代在联邦德国出现的一项涉及纳米技术的科研项目。经过近 50 年的不断积累,荷叶仿生研究在全球范围内,尤其是在联邦德国境内取得了一系列新成就。其应用领域得到了广泛的拓展,从疏水皮鞋、纺织品的纳米处理,到建筑物屋顶涂料,再到汽车玻璃和船舶的疏水以及通过激光打磨给飞机机身除冰。可以说,荷叶效应的研究意义重大,应用前景广阔。这些研究与应用对我国的相关领域同样具有重大的现实意义。

[关键词] 荷叶仿生;荷叶效应;纳米技术;机身除冰

[作者简介] 黎东良(1963—),男,湖北黄梅人,山东外事职业大学外国语学院教授,主要从事德汉科技翻译、德汉术语研究。肖丕瑛(1998—),女,山东泰安人,山东外事职业大学外国语学院助教,主要从事德汉科技翻译、德语翻译理论与实践研究。

[DOI] <https://doi.org/10.62662/kjxk0102004>

[中图分类号] TB17

[本刊网址] www.oacj.net

[投稿邮箱] kjxk999@163.com

引言

荷叶效应(lotus effect)是仿生学领域的经典研究成果,由德国波恩大学的威廉·巴特洛特(Wilhelm Barthlott)教授于 20 世纪 70 年代首次发现。在遥远的东方生长着的荷花,其叶子总是干净的;荷叶有一种迷人的自我清洁能力。在长达数十年的研究中,研究团队对这种荷叶效应进行了最详尽的研究,他们的研究成果已经申请了专利并投入到了实际运用当中。

实际上,只有在显微镜下,人们才能揭开荷叶的秘密。在荷叶的表面上,有着极小的蜡结晶体。这种结晶体赋予荷叶一种粗糙的、粒结状的结构。这种在显微镜下可见的无数小的粒结结构使得脏的粒子和水滴只能与荷叶有很小的接触面积,导致无法粘在叶片上的水滴以球状的形式滴下,与此同时该水滴还带走了脏的粒子和灰尘微粒。巴特洛特教授 1997 年也因该项研究成果荣获菲利普·莫里斯科研奖(Philip Morris Forschungspreis)和德国创新性应用奖(Karl Heinz Beckurts Preis)。在国内,来自中国科学院的江雷院士团队也曾提出“荷叶效应”的本质就是荷叶叶面上存在着非常复杂的多重纳米和微米级的超微结构,该结构具有疏水和疏油性质的超双疏效应。

荷叶的这种超微结构,使得其在日常生活中具有广泛的用途。国外一些研究机构借助一定的技术手段使得涂料、屋瓦、纺织品以及需要“自我清洁”的其他物体表面具有与荷叶表面相似的超微结构,从而实现自我清洁的目的。这些技术手段通常

采用氟化物或硅处理物体的表面,或者利用葡萄糖和蔗糖化合成聚乙二醇。德国有自洁效应的新涂料和有自洁功能的玻璃已经走向市场,并成功用于温室的屋顶等。荷叶仿生研究具有一定的市场应用价值,况且国内对该方面的研究相对比较少。本文研究的意义在于为具有自洁功能材料的开发提供一种新的视野,进而更好地服务社会经济。

一、仿生研究在德国日常生活中的运用

纳米工艺技术和纳米仿生被认为是 21 世纪关键的技术之一,它为我们提供了一种新的创新方法,该技术将会持续改变各个领域里的经济与生产活动并持续地打上其烙印。荷叶效应的应用已经进入生活、生产等诸领域之中。这里仅仅举几个例子。

首先,在德国市场上有疏水皮鞋(wasserabweisende Schuhe)的出售。这是根据荷叶效应研制出来的。其好处就是,皮鞋上再也不会有水渍了。

适用于棉花和皮革的纺织纳米密封层法(Textil Nanoversiegelung für Baumwolle und Leder mit Lotuseffekt),是一种具有较高技术的带有荷叶效应的浸渍处理方法。采用本方法处理纺织物,需要长时间浸渍,这样才能保证构建具有荷叶效应的纳米层结构。该结构可以保护鞋或者衣服免于受潮,不需要特殊的预洗。德国有关公司已经生产出了 100ml、200ml、500ml、1000ml 的纳米密封层喷剂,完全不用添加有机硅或者蜡,不用改变物体表面视觉效果。其使用方法很简单,就是将纳米密封层喷剂喷射到待处理的物体表面,干燥后即可。

更为重要的是,该喷剂不影响鞋子和服装的呼吸活动。此外,它还对皮肤具有耐受性,在纺织物上不留任何痕迹。关于纺织物纳米密封层喷剂最重要的信息是:不会在纺织物或者皮革表面留下任何斑点,且在最短的时间里起效,可用于所有的棉纺织物以及皮革(疏油疏水均可)。纺织物纳米密封层喷剂喷涂于物体表面后,可形成具有长效稳定性的防护层,显著降低脏物附着能力,使清洁过程更便捷。根据产品性能要求,该喷剂在物体表面的有效存留时间为 1~2 年。经测试,约 25ml 喷剂即可均匀覆盖 1 平方米的表面,适用于鞋类、桌布、领带、毛衣等多种纺织物材质。假如纺织纳米涂层的作用随着时间的推移而逐渐减弱,可以再喷洒微量的纺织纳米涂层剂,而且也不必抛光。

具有荷叶效应的纳米涂层喷剂,也被成功应用于道路交通中的汽车玻璃涂层。Heureka Nano 公司多年来一直从事有关荷叶效应的应用研究。通过对最小纳米粒子的特定排列,可以使纳米涂层形成具有荷叶效应的纳米微结构。此时,水、油以及其他异物就会从被涂层的物体上自我脱落,清洁起来就会变得相对简单。由于一般产品都是在有机硅的表面上进行疏水处理,其条纹的清晰度以及使用寿命的持续性存在一定劣势。而 Heureka Nano 公司的产品不含硅树脂,能有效避免上述问题,在玻璃、人工材料、石头、木材或者汽车玻璃等领域具有更广泛的应用。

此外,还有用于水上运动、摩托车、汽车领域的纳米涂层剂。它们具有更广泛的应用领域,例如可以涂在油漆、汽车轮毂上面,以及帆船或游艇、帆船发动机、载重汽车、木材、轿车、石头、水泥、陶瓷、宝石、武器、钓鱼杆滑轮(Angelrollen)、床垫等表面,同样不含有机硅、蜡或者聚四氟乙烯。

在德国的德语网站上也有介绍一种具有“荷叶效应”的疏水桌布(wasserabweisende Tischdecke mit Lotuseffekt),可供客户选择,而且客户对其疏水功能的正面评价较多。该产品采用 100% 聚酯纤维制成,具有亚麻外观质感,品牌为 Deconovo,规格尺寸为 130 cm×220 cm。

这里特别要提到具有“荷叶效应”的外墙自洁性涂料。1999 年 3 月,当时的 ISPO 公司,(现在的 Sto 公司)生产的荷花王硅树脂外墙自洁性涂料(Lotusan),后来又细分为两种建筑物立面油漆(Fassade nfarben):一种叫 Lotusan[®],另一种叫 Lotusan[®] G。其特征是,除了拥有良好的建筑物理特性外,还具有自我清洁能力,同时能够自发地对建筑物的立面湿度进行调解保护,最终使得脏物随着雨水一起以水珠的形式被带走,立面能够保持较长时间的整洁美观,藻类和菌类也因此无法立足。

Lotusan[®]立面油漆适用于混凝土、灰墙、砖石。进一步讲,它具有以下特征:成膜后可形成强憎水性,尘灰将连同雨水一起以水珠的形式落下;高透气性,它能够几乎无阻力地使水汽和二氧化碳气体向外扩散;耐候性优良;耐老性及抗紫外线性良好;抗藻防霉;涂层为钝亚光型,极佳的视觉装饰效果。

Lotusan[®]和 Lotusan[®] G 这两种油漆作为未来的新型智能油漆,能够为建筑物的立面提供干燥的、长期干净以及营养物质少的表面,这使得微生物组织无法生存。

另外,德国一家名叫 Colordach 的公司也成功研制出一种具有“荷叶效应”的屋顶涂料,主要用于建筑物屋顶的“涂层”(Dachbeschichtung mit Lotuseffekt)。将杀菌剂融入底漆,这种具有自我清洁功能的建筑屋顶“涂层剂”能够为屋顶提供一种极佳的防污与防环境侵害的保护。德国及阿联酋国的一万多座建筑物的表面涂层使用的就是利用这一原理生产的新材料。

此外,德国的科研人员还研制了一种硅树脂蜡,可以直接涂到例如遮帘或者火车里的容易污染的物体例如行李架上。

德国的 CTC 纳米科技有限股份公司(CTC Nanotechnology GmbH)已经研发出了一种名叫 NANOIDENT[®]的系列产品,适合水上运动和游艇:水上冲浪、滑雪、喷气式滑雪(Jetskiberei)、帆船、机动船、救生艇、高速救生艇、帆船、游艇领域等。该公司生产的 NANOIDENT[®] SKIGUARD CCP 喷涂材料就适用于水上冲浪或者人工材料,它可以使物体表面更光滑,防水、防海水腐蚀并且更利于清洗剂性能的稳定。其使用量是每平方米大约 3 到 10 毫升。

根据德国化学网站 2025 年 5 月 15 日的报道,德国慕尼黑工业大学(TUM)生物工程学院的奥利弗·列里克教授(Oliver Lieleg)领导的一个生物水凝胶科研团队就利用荷叶效应来研究生物膜,并在专业杂志 *NPJ Biofilms and Microbiomes* 里讲到了他们的最新研究,即用共焦反射光显微镜(konfokalen Reflexions-Lichtmikroskopen)精确测量生物膜的表面。研究者们提出了大胆的设想,即对生物膜的疏水特性进行攻击。假如一个抗细菌的物质因为疏水而根本不能抵达生物膜的表面,那么它无法附着。根据该假设,人们必须获得具有表面疏水作用的生物膜。采用“荷叶效应”原理,就能够除掉像管道、导尿管表面上的细菌或者感染伤口的细菌。

二、目前联邦德国正在进行的重大荷叶仿生研究

近年来,国外出现了一个新兴领域和研究热点,那就是在具有高表面能的金属或合金基体上构

建具有“荷叶效应”的疏水表面。

根据 2025 年 5 月 15 日德语网站上的报道,德国德累斯顿弗劳恩霍夫材料与喷净技术研究所(Fraunhofer IWS Dresden)的工程师们与德国德累斯顿工业大学以及欧洲空中客车公司的工程师们已经研发了一种具有“荷叶效应”的激光处理方法,即带有高通过能力的结构化了的表面可以使物体表面污染变得难以实现。飞机表面上的、借助金银细丝工艺产生的凹槽应该可以确保气流平滑流动,使得飞机的空气阻力维持在很小的程度。这个由德国德累斯顿弗劳恩霍夫材料与喷净技术研究所和空中客车公司一块合作的欧洲项目 Laser4Fun(激光 4 娱乐)的目的在于,对飞机机翼上挑选的部位进行纳米结构处理,最终可以得到疏水、抗虫、抗污以及阻止一般的不希望出现的污染。

其具体的做法是,借助微观纳米结构来实现除脏。我们知道,一道光束在穿过一道双缝隙时会形成由浅色线和深色线组成的花纹样板,也就是所谓的“干涉条纹图”。激光干涉条纹图把柱子和沟刻入钛金属里。这种来自德累斯顿的直接激光干涉图案生成(DLIP-Optikmodule)模式,简单地说,特殊的光把一光束分成多个光束,这些光束稍后为了使之结构化又重新聚集在材料表面,借助这种方法可以生产非常精确的并且也是可控的光纹板。假如这个干涉图案聚焦在一个钛金属板上,则这个高能激光将融化并且切除浅色领域里的材料,而处于阴暗面的材料却不受影响。就这样,上述机构的科学家们在钛金属表面制造出非常微小的结构,它们仅在显微镜下可以观察得到。刻入的柱子的距离可以在 150 纳米(百万分之一毫米)和 30 微米(千分之一毫米)之间自由调节。该结构最终使得污染物难以在金属表面的纳米微观结构上立足。这就是来自大自然的“荷叶效应”。跟其他表面疏水方法相比,这种“直接激光干涉图案生成法”带来的优势就是疏水功能持久,且对环境无害。

虽然借助激光技术可以生产具有荷叶效应的纳米结构,但该制造方法的速度非常慢。激光束得像铅笔一样,一个接一个地物体表面分别“画”每一个导槽和柱子。对于面积较大的机翼而言,这或许要花太多的时间。德累斯顿弗劳恩霍夫研究所和德累斯顿工业大学的开发者们采用干涉技术,针对钛金属、聚合物或者其他工业材料,使其加工速度都有了很大提高。“直接激光干涉图案生成法”加工速率大约为 $1\text{m}^2/\text{min}$,这是全球最快的速度。此外,直接激光干涉图案生成法所使用的激光头也可以集成到一般的商用工业机器上去,中型企业也可以使用这种技术。现在,空中客车公司正在实践中测

试这一德国成果,也就是在机翼的钛金属处刻上了柱式结构。这样,水滴和冰晶体就无法停留在飞机的机翼和飞机的机身上,故也就可以省去令人心烦的冬季除冰的工作了。

最后,德累斯顿弗劳恩霍夫材料与喷净技术研究所与德累斯顿工业大学的工程师们还打算把类似“荷叶效应”的纳米结构应用到防伪图章的制作中去,并且把该技术也应用到和生物兼容性更好的牙齿植入体所用的植入螺栓里去。

三、结语

总之,荷叶的这种结构特征及其应用,为涉及国计民生和军事领域的疏水疏油、防尘除冰等诸领域的研究和应用提供了广阔的空间,可以说这方面的深入研究利国利民。我国有关部门不妨设立相关研究小组,深化该领域的研究。据我们目前所知,我国这个领域的研究在创新层面仍有上升空间,可进一步探索与突破,比如涉及冬天飞机机翼除冰,这里不仅是民用飞机,就是战机同样面临这样的除冰难题。根据我们 2025 年 5 月 1 日对中国知网的最新检索,截至 2024 年 9 月 6 日,在输入“荷叶仿生的研究”之后,这个领域的研究成果仅仅 26 篇,其中博士论文 1 篇,硕士论文 4 篇。研究领域的广度很欠缺,在涉及国计民生的重大领域例如建筑物表面的疏水疏油、飞机机身除冰等,国内的研究都是空白。因此,我国相关领域的“荷叶仿生”研究在追赶国际学科前沿方面还有很大的空间,可以大有作为。

参考文献:

- [1] Daniels Albert et al. Mittelpunkt B2 Arbeitsbuch[M]. Beijing: Foreign Language Teaching and Research Press, 2016: 83.
- [2] Karl Heinz Beckurts - Preis [EB/OL]. <https://www.tum.de/ueber-die-tum/daten-und-fakten/auszeichnungen-und-ehrungen/weitere-auszeichnungen/karl-heinz-beckurts-preis>, 2025-5-1.
- [3] 荷叶效应 [EB/OL]. <https://baike.baidu.com/item/%E8%8E%B2%E8%8A%B1%E6%95%88%E5%BA%94/3702289>, 2025-5-1.
- [4] 荷叶效应原理与应用 [EB/OL]. https://m.baidu.com/bh/m/detail/ar_9058864292310094644, 2025-5-1.
- [5] Autoglas Versiegelung Lotuseffekt im Strassenverkehr [EB/OL]. <https://www.auto-glaser.de/ratgeber/tipps-tricks/scheibensiegelung-lotus-effekt-autoglaserde-samrt-repairde.html>, 2025-1-15.
- [6] Intelligente Farben mit Lotus - Effect [EB/OL]. https://www.s-v-bau.de/fileadmin/user_upload/Broschuere-Lotusan.pdf, 2025-5-15.
- [7] 德国的 Sto·迪诺瓦涂料 [EB/OL]. <https://www.>

docin.com/p-388399.html, 2025-5-15.

[8] 莲花自洁之谜 [EB/OL]. <https://www.fjdh.cn/wumin/2009/04/00204843420.html>, 2025-5-15.

[9] 李晶. 多元耦合仿生疏水金属表面制备原理与方法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2012.

[10] 王明光. 先进航天器轨道快速优化 [D]. 西安: 西北

工业大学, 2005.

[11] Laser mustern Lotuseffekt auf Flugzeug [EB/OL]. <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/wasser-und-schmutz-abweisende-nanostrukturen-mit-neuem-laserverfahren-a-760141/>, 2025-5-15.

New Progress in the Research of Lotus Effect in the Federal Republic of Germany

LI Dong-liang, XIAO Pi-ying

(School of Foreign Languages, Shandong Vocational University of Foreign Affairs,
Weihai Shandong 264504, China)

Abstract: Lotus leaf bionics is a research project in the Federal Republic of Germany in the 1970s. After nearly 50 years of continuous accumulation, the research on lotus leaf bionics has made a series of new achievements in the world, especially in the Federal Republic of Germany. Its application has been extensively expanded, from the nano-processing of hydrophobic leather shoes and textiles, to roof coatings for buildings, to the hydrophobicity of automotive glass and ships, and to the deicing of aircraft fuselage by laser polishing. It can be said that the study of lotus effect is of great significance and has broad application prospects. The research and applications are also of great practical significance to the relevant fields in China.

Key words: lotus leaf bionics; lotus effect; nanotechnology; fuselage deicing