

染整与化学品

酸性染料微胶囊的研究与应用进展

张梦星¹ 高晶^{1,2} 王富军^{1,2} 王璐^{1,2} 薛海军³

(1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620; 2. 东华大学 纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620;

3. 海澜之家股份有限公司, 江苏 江阴 214400)

摘要: 简单介绍酸性染料、微胶囊技术的基本概念及其分类, 详述微胶囊的制备方法、壁材芯材的选取原则与种类, 介绍染料微胶囊的释放机制, 总结近年来微胶囊化染料在羊毛织物染色方面的研究应用情况, 以及能够有效解决印染中存在的一些问题。采用微胶囊化酸性染料可实现无助剂、免水洗染色, 绿色环保, 节能减排等目标。阐述了目前微胶囊技术存在的主要问题, 指出微胶囊技术在染整加工中的重要性以及应用前景与潜力。

关键词: 微胶囊; 酸性染料; 羊毛; 染色

中图分类号: TS 193

文献标志码: A

文章编号: 1003-1456(2016)03-0032-05

Research and application progress of acid dyes microcapsules

ZHANG Mengxing¹, GAO Jing^{1,2}, WANG Fujun^{1,2}, WANG Lu^{1,2}, XUE Haijun³

(1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Key Laboratory of Textile

Science and Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China;

3. Heilan Home Co., Ltd., Jiangyin, Jiangsu 214400, China)

Abstract: It introduces the basic concept and the classification methods of acid dyes and the microcapsule technology, detailing the preparation methods of microcapsule, the selecting principle of shell material for wall and the release mechanism, focusing the dyeing research application of the microcapsule dyes on wool fabric in recent years. It can effectively solve some problems existing in the printing and dyeing. Using disperse dye microcapsules can achieve without additives, avoiding water dyeing. At the same time, it expounds the main problems of microcapsule technology and discusses the importance of microcapsule technology in dyeing and finishing, as well as application prospects.

Key words: microcapsule; acid dyes; wool; dyeing

目前绿色环保和节能减排已成为我国经济建设的发展目标, 同时也影响人民生活的质量。纺织业严重的印染废水污染和资源环境压力成为制约其发展的显著因素, 因而备受关注, 因此工业废水处理成为了一大难题^[1-5]。研究染色的学者围绕节能减排问题以技术创新、高效节能为主导, 通过使用微胶囊染色技术、非水溶剂染色、小浴比染色、超临界二氧

化碳染色等^[6]。充分发挥纤维绿色、生态等优良特性, 在这些努力和尝试中, 微胶囊染色技术利用了其自身壁材的良好缓释和隔离作用, 减少现有染色工艺中分散剂、匀染剂等多种助剂的使用, 染浴排液只需经简单过滤即可循环使用; 染色结束后纤维表面浮色极少, 从一定程度上解决了工业化的废水排放的问题, 并有可能实现零排放, 将节能、节水和环保相结合^[7]。

在众多染料中, 酸性染料广泛用于羊毛、丝绸、羊绒等蛋白质类纤维的染色, 上染效果具有深浓色调、着色强度高、耐光、耐气候和湿牢度好的优点, 但因含有害重金属、废水难于处理, 对人体健康和

收稿日期: 2015-05-20

作者简介: 张梦星, 在读硕士研究生, 主要研究方向为微胶囊的制备方法与技术。通信作者: 王富军, E-mail: wfg@dh.edu.cn。

环境造成严重危害,故受到较大范围的限制。将微胶囊技术应用于酸性染料中可使羊毛染色技术走上清洁生产的可持续发展轨道,有效地扩大微胶囊的应用范围,提高印染效率^[8]。

1 酸性染料

传统情况下,染整学中将分子链上带有酸性基团的水溶性染料称为酸性染料,其中多数酸性基团又以磺酸钠盐的形式出现在分子链中,而少数是以羧酸钠盐形式存在。同时又因其在酸性条件下对织物或纤维进行染色,故将其称为酸性染料^[9]。

酸性染料在一定意义上可以分为弱酸性染料和强酸性染料,这主要是因为上染织物的日晒牢度和湿处理牢度会由于使用了不同品种的酸性染料而产生比较大的不同。2种类型的染料中,弱酸性染料具有的特点是:日晒和湿处理牢度较好,上染的织物耐缩绒性好,但存在分子结构相对比较复杂,结构上磺酸基少,在水中的溶解度差,织物上染的匀染性不佳等缺点,故弱酸性染料又称为耐缩绒酸性染料。强酸性染料具有的特点是:分子链上磺酸基团相对较多,但分子结构相对简单,染料匀染性、溶解度和日晒牢度较好,但湿处理牢度较差,故又可将强酸性染料称为匀染型酸性染料^[10-12]。

目前,酸性染料的应用场合主要集中于羊毛、蚕丝等蛋白质类纤维的染整工艺中,同时也可用于纸张、皮革、食品色素和色淀颜料、化妆品和墨水的着色中。在实际生产中,由于酸性染料对蛋白质类纤维的亲合力,随染料分子量的增加而增大,上染效果色泽鲜艳且色谱齐全^[13]。弱酸浴酸性染料染浅色织物或纤维时具有工艺简单、色泽鲜艳、色牢度较好等特点,因此广泛应用于散毛染色生产中^[14],弱酸性染料在上染蛋白质纤维时具有良好的提升性能的功效^[15]。

弱酸性染料是分子量较大的染料,在弱酸性的环境中用于羊毛、羊绒的染色,即上染环境的pH值范围4~6,在此条件下,最接近于羊绒、羊毛的等电点(pH值4.2~4.8),对羊绒、羊毛的强力、手感损失影响最小,弱酸性染料同羊绒、羊毛的结合是依靠分子间力,即范德华力,而非正负电荷的库仑引力,所以它同羊绒、羊毛等纤维的结合比较牢固,被选作上染羊绒、羊毛的常用染料^[16]。

2 微胶囊技术

微胶囊技术是指通过物理法、化学法、物理化

学法将不同状态下(固体、液体、气体等)物质和材料作为芯材进行封装,使用天然的或者化学合成的高分子材料,将其组装成为一种具有半透性或密封性的微小囊状物或微球,在特定条件和环境中使其以一定的控制速率释放芯材物质,通常条件下微胶囊的直径为1~5 000 μm ^[17]。随着微胶囊技术的不断发展和改进,制备的微胶囊粒径也趋于小粒径范围,目前有数据表明,粒径可达1~1 000 nm,可实现小于1 μm ,学者将这种粒径在纳米范围的微胶囊称为纳米微胶囊或纳米微球^[18-19]。

微胶囊制造具有制备简单、损耗小、生物互适性好和后处理方便等良好特性,它的机械强度是实际应用中的重要性能指标^[20]。微胶囊作为一种多功能载体和微型反应器,可以将其广泛地应用于细胞培养、药物释放、基因运载工具、织物染色等各项生活科研应用领域^[21-28]。

2.1 微胶囊制备方法

一般情况下,根据不同的微胶囊造粒原理,微胶囊制备大致有2种分类方法,一种是按照传统与新型方法来分类;另一类是化学法和物理法。有些具体方法属于交叉的,因此分类又是相对的。

传统微胶囊制备方法包括了界面聚合法、原位聚合法、复凝聚法、相分离法(又分为油相分离法和水相分离法);新型制备方法分为喷雾干燥法、分子包埋法、高压静电法、超临界流体快速膨胀法等^[29]。传统制备方法与新型制备方法对比见表1。

表1 微胶囊传统制备方法与新型制备方法对比

分类方法	制备方法	优点及缺点
传统法	界面聚合法	工艺简单,反应速率快,包覆率高,时间可控;单体活性要求高,要求芯材能耐酸碱,并能进行缩聚反应
	原位聚合法	工艺简单,成本低,可控制粒径;单体、聚合物要求高
	复凝聚法	对非水溶性芯材高效、高产,可用于非水溶性固体粉末或液体;成本高
	油相分离法	芯材含量高;成本高,危险性高
	水相分离法	设备简单,微胶囊规则;成本高
新型法	喷雾干燥法	操作成本低,可选壁材种类多,产品质量好,包埋量大,生产能力高,工艺简单;包埋率低,设备尺寸大,造价高,能耗大
	分子包埋法	产品稳定性高,成本低;包覆率低
	高压静电法	操作简单,包覆率高,粒径可控性强;制备条件要求高
	超临界流体快速膨胀法	微胶囊粒径小,且粒径分布均匀;制备硬件条件要求高

在染整加工应用中,化学法是在合成聚合物时,将聚合物包覆在芯材上,形成壁膜,主要包括界面聚合(界面定位聚合和有限凝聚聚合)、原位聚合、分子包埋法、辐射包囊法等;物理方法是通过机械方式借助专门的设备,首先将芯材与壁材溶液或物质在外加机械力作用下混合均匀,为细化造粒做好准备,然后使壁材在芯材表面凝聚固化后形成微胶囊^[30-31],主要有喷雾干燥法、喷雾凝冻法、空气悬浮法、真空蒸发沉淀法、静电结合法等;物理化学法是添加溶剂及第三物质,或改变温度、pH值等条件,使高分子溶解度降低而沉淀披覆在芯材上形成壁膜,包括挤压法、复相乳液法、水相分离法、油相分离法和锐孔凝固浴法等^[32-33]。

2.2 微胶囊的芯材和壁材

微胶囊是由芯材和壳材2部分组成,其中不同壁材会赋予微胶囊不同的性能,因而壁材成为决定微胶囊各项性能的关键性影响因素^[34]。制作壁材的材料很多,一般为天然高分子材料、半合成高分子、合成高分子材料及无机材料^[35]。这些化合物最大的特点就是具有很好的成膜性,且在常温下很稳定。在制备微胶囊时,通常情况下需要根据芯材的性质选择壁材。若芯材是亲油性的,则宜选用亲水性聚合物;若芯材是亲水性的,则宜选用亲油性聚合物。同时,材料的渗透性、稳定性、溶解性、黏度、电性能、吸湿性、成膜性等也是需要考虑在内的^[36]。

组成染料微胶囊的芯材和壁材的主要原料如表2所示。

表2 染料微胶囊的芯材和壁材

微胶囊	可选原料物质	原料举例
芯材	水溶性物质	水溶性香料、维生素
	非水溶性物质	粉末染料、油状药粉
壁材	水溶性胶类	阿拉伯胶、海藻胶
	淀粉衍生物	麦芽糖精、环状糊精
	合成高分子材料	聚酰胺、环氧树脂

微胶囊外观会因芯材、壁材和制备方法的选择不同呈现出多形多样的形态和结构,一般情况下,微胶囊芯材的结构可以是单核,也可以是多核;同样,囊壁可以是单层结构,也可以是多层结构,外形可以是球形、谷粒状、絮状、块状等不同的形状。

2.3 酸性染料微胶囊

2.3.1 染料微胶囊

微胶囊化染料又可称为染料微胶囊,它是通过使用微胶囊技术将染料作为芯材被壳材包裹起来,

使得作为芯材的染料与外界环境相隔开,通过微胶囊壳材的保护作用进而免受外界的温度、气体、pH值、紫外线等各项因素的影响,然后在特定条件下再通过微胶囊壳材的缓释作用或使囊壁破裂,染料分子缓释进入到囊壁外部环境中,扩散到纤维或织物表面而达到染色的目的。微胶囊染色技术由于在染色过程中几乎不添加任何助剂,因而不存在助剂的增溶作用,微胶囊的缓释及包覆作用也使得染浴中染料含量相对较少,近于单分子吸附层的染料分子贴附于纤维或织物表面。微胶囊染料的制法目前多采用物理法中的相分离法,该法制备的酸性染料微胶囊,内芯为酸性染料,外膜为高分子物。由于外膜存在的机械作用,使得微胶囊染料在印浆中各自保持独立,互不混溶。在高温汽蒸时,胶囊外膜破裂,内芯染料释出并上染纤维^[37]。

2.3.2 酸性染料微胶囊的释放和染色机理

酸性染料微胶囊的释放机制一般情况下有膜释放、溶剂溶胀、撕裂或剥开、外部施压4种方式。其中膜释放会受到微胶囊壁厚、囊壁两侧浓度差、活性成分透过壁的渗透率及扩散等因素的控制。溶剂溶胀中溶剂一般是水,水溶液通过壁材浸透进入胶囊内部使其发生溶胀,从而使得微胶囊附近的溶剂浓度不断发生变化,进而来控制微胶囊内部芯材的释放。当微胶囊溶胀到一定程度后,壁膜胀破或破裂,加速酸性染料释放到外部环境中。一般采用的方法是撕裂或剥开,这个过程是将胶囊置于2层薄膜类物质之间的黏合剂层中,形成夹层效果,而后将薄膜撕开,此时由于薄膜间的黏合剂对微胶囊的黏附作用使微胶囊破裂,使得芯材暴露出来。另一种是外部施压释放机制,它是对微胶囊施加外力或压力使囊壁破裂从而释放出芯层物质^[38]。

酸性染料微胶囊在上染毛织物时的机理为:微胶囊置于水溶液中,水分子逐步渗透穿过囊壁,将囊内的部分染料溶解,这个过程的水分子渗透量不断增加,此时在囊壁内外形成染料浓度梯度,溶液中分子浓度不同产生的分子运动助力作用下,被水分子不断溶解的染料分子不断运动扩散到染浴的大环境中。此时,进入染浴中的染料分子由于染料分子结构上的酸性基团与羊毛纤维中逐渐打开的二硫键之间的作用力和亲和力,将染料分子逐步吸附到纤维或织物表面,不断堆积形成染料单分子吸附层,再扩散到毛纤维内部直到染料分子与纤维成为一体^[39-40]。酸性染料微胶囊的染色机理见图1。需要说明的是,微胶囊壳材芯材在一定条件中形成的隔

离性和缓释性,在一定程度上可防止染料颗粒或高浓度染料溶液直接接触纤维或织物,避免了沾染或斑渍,同时2种性能使得羊毛纤维表面吸附的染料会保持较为合适的吸附量,不会形成和出现染料堆积现象,同时也使织物或纤维具有很好的色牢度,从而实现了织物和纤维较好的匀染性^[41]。

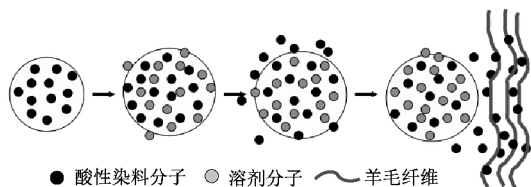


图1 酸性染料微胶囊的染色机理

2.3.3 酸性染料微胶囊主要影响因素

在酸性染料染色初期,温度影响较为显著,溶液中释放出的染料浓度相对较大,羊毛纤维表面空白染座较多,染料的吸附扩散速率较大,这是因为随着染色时间的延长,温度逐渐升高,羊毛纤维分子结构上的二硫键逐渐打开,纤维内部的溶胀不断增加,同时染浴中酸性染料溶解度增加,溶液中分子热运动加剧,从而加快了染料扩散运动速率,增加了染料的上染率;另一方面,水的表面张力降低可使纤维表面润湿变得更加容易,促进了染料上染纤维或织物,以此可以通过提高染浴水温得以实现^[41]。

需要指出的是,作为一类两性天然蛋白质高聚物,羊毛纤维具有等电点^[42],在酸性染料微胶囊上染羊毛纤维过程中染浴中溶液的pH值决定了上染纤维或织物的表面电荷性,而pH值对其染色效果具有较大的影响。此外,毛织物微胶囊染色废水因没有使用任何助剂而不存在COD、BOD的污染,采用简单的沉淀或过滤即可对染色后的残液与染液分离,无须使用其他专门设备^[43]。

3 酸性染料微胶囊的应用

采用微胶囊化技术染羊毛纤维,可以使纤维获得较好的匀染性,与此同时染料与微胶囊化技术结合后,可以获得特定的附加性能,包括尺寸、形状和组成等^[44]。微胶囊的隔离缓释作用也可以降低酸性染料中重金属铬离子对环境的污染等^[45]。El-Zawahry M M等^[46]使用类似于酸性染料的活性染料微胶囊对羊毛进行染色,研究结果表明,染色后的羊毛产品各项染色指标都比常规羊毛染色要高。此外,使用微胶囊染料染色后的残液几乎无色,染浴可以回收再利用^[47-48]。

4 结 语

随着人们环保意识的不断加深,纺织印染行业中有关无助剂免水洗天然绿色染色的研究会逐渐成为人们关注的焦点和重点。微胶囊技术以其独特的特性在毛织物染整加工中降低重金属等对水质的污染方面突出显示优越性,同时研究学者对微胶囊膜内外物质传递规律的认识也更加深入,规模化生产的制备技术、专项仪器设备的开发成功,各种材料稳定性、重复性、安全性、生物相容性也在不断提高。但目前该技术也存在少许亟待证明和解决的问题,例如微胶囊在织物上的附着牢度和加工成本、纳米级微胶囊技术制成的织物中带有纳米级物质有可能在使用过程中渗入到人体皮肤上的毛孔等健康问题。但是,随着科学研究人员对微胶囊技术的进一步研究和不断发展,微胶囊技术在毛织物染色的清洁生产方面具有巨大的潜力和应用前景。

参考文献:

- [1] 姜传福. 壳聚糖在环境污染防治上的应用[J]. 锦州师范学院学报, 2001, 22(4): 33-35.
- [2] H Ganjidoust. Effect of synthetic and natural coagulant on lignin removal from pulp and wastewater[J]. Water Sci. Technol, 1997, 35/36(S2/3): 291-296.
- [3] B A Joson, B Gong, W Bellamy et al. Pilot plant testing of dissolved air flotation for treating boston's low-turbidity surface water supply[J]. Water Sci. Technol, 1995, 31/32(S3-4): 83-92.
- [4] Muzzarelli R A A, Pariser E R. Proceedings of the 1st International Conference Chitin/Chitosan [M]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1978: 406.
- [5] 胡林. 金属有机化合物 $M_3[Co(CN)_6]_2$ 纳米粒子的合成和应用研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2012.
- [6] 朱启忠, 赵亮云, 赵宏, 等. 壳聚糖对酸性染料的吸附性能[J]. 资源开发与市场, 2006(2): 101-102.
- [7] 陈水林. 无助剂免水洗染色新技术[J]. 针织工业, 2009(1): 62-64.
- [8] 夏姚姚. 甲胍型铁络合染料合成工艺研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
- [9] 陈荣圻. 酸性染料和中性染料的重金属问题[J]. 染料与染色, 2009(5): 7-20.
- [10] 杨新玮, 杨薇. 酸性染料发展近况(续)[J]. 丝绸, 1998(2): 46-49.
- [11] 虞波. 酸性和活性染料对大豆纤维染色性能的探讨[D]. 苏州: 苏州大学, 2005.
- [12] 陈玉梅. 雄蚕丝的结构及染色性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2010.
- [13] 钱国砥, 范秉宪, 童克锦, 等. 酸性染料的物理形态对染色性能的影响[J]. 染料工业, 1995(3): 35-41.
- [14] 王利平, 董亦滨, 石大为, 等. 活性染料及酸性染料羊绒染色

- 工艺[J]. 毛纺科技, 2009, 37(3): 17-20.
- [15] 陆英, 张振华, 王黎明, 等. 羽绒纤维的弱酸性染料染色工艺[J]. 印染, 2015(2): 22-26.
- [16] 李疆川, 江松森, 赵军. 元明粉在弱酸性染料上染丝光羊毛中的作用[J]. 染整技术, 2004(6): 15-17.
- [17] 李晓岩. 基于海藻酸钠的微胶囊构建技术及其在干态乳酸菌中的应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [18] Mark Herman F. Encyclopedia of Polymer Science and Technology: 3th ed[M]. New York: Wiley Press, 2004: 724.
- [19] 刘文波, 宋湛谦, 于钢. 壳聚糖单凝聚法制备超细胶囊研究[J]. 林产化学与工业, 2005(3): 115-119.
- [20] 王家荣, 金谊, 刘望才, 等. 海藻酸钠-壳聚糖-海藻酸钠生物微胶囊的制备[J]. 宁波大学学报(理工版), 2007(4): 516-519.
- [21] Fujimoto N, Fujita S, Tsuji T, et al. Microencapsulated feeder cells as a source of soluble factors for expansion of CD34 (+) hematopoietic stem cells [J]. Biomaterials, 2007, 28(32): 4795-4805.
- [22] 马颖, 张英, 赵伟, 等. 粒径对微胶囊成膜及微囊化细胞生长代谢的影响[J]. 现代生物医学进展, 2012, 31: 6006-6010.
- [23] 张英, 王为, 吕国军, 等. 体外培养和冷冻保存对微囊化细胞生长和内皮抑素表达的影响[J]. 生物工程学报, 2007, 23(2): 303-309.
- [24] Cheng D, Sefton M V. Dual delivery of placental growth factor and vascular endothelial growth factor from poly (hydroxyethyl methacrylate-co-methyl methacrylate) microcapsules containing doubly transfected luciferase-expressing L929 cells [J]. Tissue Eng Part A, 2009, 15(8): 1929-1939.
- [25] Murua, Orive G, Hernández R M, et al. Xenogeneic transplantation of erythropoietin-secreting cells immobilized in microcapsules using transient immunosuppression [J]. J Control Release, 2009, 137(3): 174-178.
- [26] Zhang Xu-lan, Wang Wei, Yu Wei-ting, et al. Development of an in vitro multicellular tumor spheroid model using microencapsulation and its application in anticancer drug screening and testing [J]. Biotechnol Prog, 2005, 21(4): 1289-1296.
- [27] Luo D, Pallela S R, Marquez M, et al. Cell capsules with tunable transport and mechanical properties [J]. Biomicrofluidics, 2007, 1(3): 34102.
- [28] Rosinski D S, Wójcik L M, Orive G, et al. Mass transfer characteristics of poly-lysine, poly-ornithine and poly-methylene-co-guanidine membrane coated alginate microcapsules [J]. J Membrane Sci, 2005, 254: 249-257.
- [29] 唐杰, 吴赞敏. 微胶囊技术在毛织物染整加工中的应用[J]. 毛纺科技, 2013, 41(11): 26-30.
- [30] 纪俊玲, 汪信. 微胶囊化染料及其在纺织上的应用技术[J]. 纺织学报, 2006, 27(10): 112-116.
- [31] 蒋艳强. 芳香整理在锦纶织物上的应用研究[J]. 黑龙江纺织, 2011(2): 8-11.
- [32] 蔡涛, 王丹, 宋志祥, 等. 微胶囊的制备技术及其国内应用进展[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2010(2): 20-26.
- [33] 冯喜庆, 刘文波. 化学法制备微胶囊机理及过程控制[J]. 化学与粘合, 2014(5): 378-383.
- [34] 李孟轩, 刘星, 王瑞, 等. 药物微胶囊在纺织品中的应用研究[J]. 轻纺工业与技术, 2014(4): 74-77.
- [35] 邱水来, 朱雨露, 黄峥琦, 等. 聚合物微胶囊的研究与应用进展[J]. 化工新型材料, 2014(9): 204-206.
- [36] 常英, 李龙. 微胶囊技术及其在医疗保健纺织品中的应用新进展[J]. 纺织科技进展, 2005(3): 8-9, 27.
- [37] 汪建雄, 吕新芬. 酸性染料微胶囊的研制[J]. 丝绸, 1989(1): 32-34.
- [38] 关新杰, 张海燕. 微胶囊技术在染整工艺中的应用[J]. 纺织科技进展, 2011(2): 21-23.
- [39] 唐杰, 吴赞敏. 大豆分离蛋白在微胶囊分散染料染色中的应用[J]. 印染, 2013(20): 12-15.
- [40] 唐杰, 吴赞敏. 分散染料微胶囊无助剂免水洗染色的研究进展[J]. 印染助剂, 2014(3): 6-10.
- [41] Torini L, Argillier J F, Zydowicz N. Interfacial polycondensation encapsulation in miniemulsion [J]. Macromolecules, 2005, 38(8): 3225-3236.
- [42] 贺宝元, 薛海燕, 朱海棠. 酸性染料对羽绒纤维的染色性能[J]. 毛纺科技, 2014, 42(10): 22-26.
- [43] Zhong Yi, Feng Jihong, Chen Shuilin. Dyeing of polyester using microencapsulated disperse dyes in the absence of auxiliaries [J]. Color Technol, 2005, 121: 76-80.
- [44] 张维, 李秋瑾, 张健飞. 微胶囊染料的制备方法与应用进展[J]. 印染, 2014(16): 49-53.
- [45] 叶峰. 新型环保的羊毛染色技术展望[J]. 上海毛麻科技, 2014(4): 39-45.
- [46] El-Zawahry M M, El-Shami S, Hassan El-Mallah M. Optimizing a wool dyeing process with reactive dye by liposome microencapsulation [J]. Dyes and Pigments, 2007, 74: 684-691.
- [47] 郭宗琴, 何国琼, 施亦东, 等. 纺织品新型染色技术的开发与应用[J]. 毛纺科技, 2012, 40(2): 56-61.
- [48] 朱建康, 姬巧玲, 陈焱涛, 等. 微胶囊技术及其在纺织领域中的应用进展[J]. 天津工业大学学报, 2012, 13(4): 44-50.