

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.05.015

# 塑料管材和管件不透光性能测试仪器的研究

刘志广<sup>1,2</sup>, 刘东升<sup>1,2</sup>, 马长亮<sup>1,2</sup>, 安春茹<sup>1,2</sup>, 张香玲<sup>1,2</sup>, 王欢<sup>1,2</sup>

(1. 河北省非金属材料检测仪器技术创新中心, 河北承德 067000; 2. 承德市金建检测仪器有限公司, 河北承德 067000)

**摘要:** 为有效推动 GB/T 21300—2007《塑料管材和管件不透光性的测定》国家标准测试方法的实施, 研制了一种由平行光源、积分球及高精度光电采样系统组成的塑料管材、管件专用的“透光率测定仪”。对仪器的工作原理、结构组成进行了详细阐述, 对结构组成中的平行光源、积分球、光采样系统、试样架、试样测量移位装置、试样进出仓装置、光栅、计量装置、控制系统等设计要求进行了详细介绍。并提出了仪器准确性和重复性的评价方法。设计完成后的仪器具备试样自动进出仓、自动标定、多点位自动测量功能; 通过对仪器进行计量和重复性测试, 仪器的透光率示值误差小于 $\pm 0.05\%$ , 重复性误差小于 $\pm 0.02\%$ , 测试结果表明, 仪器的各项指标、功能均符合标准要求, 可为塑料管道行业提供自动化程度高、数据准确可靠的测试仪器解决方案, 促进国家标准测试方法的有效实施。

**关键词:** 塑料管材透光率; 工作原理; 结构组成; 积分球; 控制系统

**中图分类号:** TH873 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)05-0093-05

## Research on the Measuring Instrument for Opacity of Plastic Pipes and Fittings

Liu Zhiguang<sup>1,2</sup>, Liu Dongsheng<sup>1,2</sup>, Ma Changliang<sup>1,2</sup>, An Chunru<sup>1,2</sup>, Zhang Xiangling<sup>1,2</sup>, Wang Huan<sup>1,2</sup>

(1. Hebei Provincial Non-metallic Material Testing Instrument Technology Innovation Center, Chengde 067000, China;

2. Chengde Jinjian Testing Instrument Co. Ltd., Chengde 067000, China)

**Abstract :** In order to effectively promote the implementation of the national standard test method of GB/T 21300-2007 《Plastic pipes and fittings-determination of opacity》, an "opacity measuring instrument" dedicated to plastic pipes and pipe fittings was designed, which consists of a parallel light source, an integrating sphere and a high-precision photoelectric sampling system. The working principle and structure of the instrument were described in detail, the design requirements of the parallel light source, integrating sphere, optical sampling system, sample holder, sample measurement and shifting device, sample entry and exit device, grating, calibration device, control system, etc. were introduced in detail, and the evaluation method of the accuracy and repeatability of the instrument was put forward. After the design is completed, the instrument has the functions of automatic sample deliver in/out, automatic calibration, and multi-point automatic measurement. Through the measurement and repeatability test of the instrument, the opacity indication error of the instrument is less than  $\pm 0.05\%$ , and the repeatability error is less than  $\pm 0.02\%$ . The test results show that all indicators and functions of the instrument meet the requirements of the standard, it can provide a highly automated, accurate and reliable test instrument solution for the plastic pipe industry, and promote the effective implementation of test methods in national standard.

**Keywords :** opacity of plastic pipe ; working principle ; structural composition ; integrating sphere ; control system

影响管道内藻类或细菌滋生的主要条件是光照和温度, 与金属管材相比, 塑料管材所用的基树脂阻光性较差, 光线极易透过管壁对水中的藻类植物和微生物孢子产生光合作用, 在适宜的温度下, 加速微生物的大量繁殖, 导致管道内部存在大

量有害浮游生物和藻类, 长时间积累甚至会形成油腻絮状苔藓, 堵塞管路, 对饮用水造成污染, 影响人们身体健康<sup>[1-2]</sup>。塑料管材的不透光性涉及到人们的饮用水安全, 因此对该项性能的检测变得非常必要。塑料管材和管件的不透光性能通常采用透光

**通信作者:** 刘志广, 高级工程师, 主要研究方向为非金属材料试验机的设计和制造技术

**收稿日期:** 2023-03-05

**引用格式:** 刘志广, 刘东升, 安春茹, 等. 塑料管材和管件不透光性能测试仪器的研究[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(5): 93-97.

Liu Zhiguang, Liu Dongsheng, Ma Changliang, et al. Research on the measuring instrument for opacity of plastic pipes and fittings[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(5): 93-97.

率表征,即用透过试样的光通量与入射到试样的光通量的百分率表示。

欧美等国家对塑料管材透光率的测试开展较早,早在1992年就起草了ISO7686-1992,要求管材和管件的透光率应不大于0.2%,通过仪器测定,客观评价管材的不透光性能。早期,我国对塑料管材透光率的测试通常采用手影法,通过目测主观判定管材或管件的透光率是否合格,无法测定管材或管件透光率的真实数据,缺少客观判定依据。基于该项性能测试的重要性,2007年我国等同引用ISO7686:2005,制定了GB/T 21300-2007的国家标准,该标准规定了塑料管材透光率的测试方法及测试要求<sup>[3]</sup>。市场上常见的测试透光率的仪器,如光度计、雾度仪等产品,主要用于测试薄膜、玻璃、树脂、油漆等较高透光率的材料,由于塑料管材的透光率非常低,一般小于0.2%,且要求测试误差应小于 $\pm 0.05\%$ ,上述产品的测试范围和测试精度均不能满足测试要求,需研发塑料管材专用的透光率测定仪。塑料管材透光率测定仪的设计难度较大,主要是因为塑料管材本身的透光率相比其他材料要低很多,且标准又要求入射光源为540~560 nm(绿)的窄带单色光源,相比其他产品采用全频谱光源,其光强被数倍衰减,导致透过试样的入射光极为微弱。因此对光源的稳定性及对微弱光信号的采集方式和采样精度均提出了更高要求。

在仪器的研究方面,伊特纳(北京)仪器科技有限公司最早开展研发工作,采用了基于平行光源、积分球、硅光电池的仪器结构。太原理工大学物理与光电工程学院,研究一种基于单片机的透光率检测仪,选用可编程的光频转换器实现光电采集,具有电路结构简单的特点<sup>[4]</sup>。基于此,为推动GB/T 21300-2007《塑料管材和管件不透光性的测定》标准的有效实施,笔者研制了一种由平行光源、积分球及高精度光电采样系统组成的塑料管材、管件专用的“透光率测定仪”。

## 1 仪器的工作原理

从管材和管件上截取试样,用540~560 nm特定波长的窄带光照射试样,采用带有积分球的光通量测量装置测试透过试样的散射和非散射的光通量,以该光通量对无试样透过的最大光通量的百分率表示<sup>[5-6]</sup>。

$$\text{透光率} = \frac{I}{I_m} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $I$ 为透过试样的光通量; $I_m$ 为无试样时来自光源的最大光通量。

## 2 仪器的结构组成

塑料管材透光率测定仪由平行光源、积分球、光探测器、试样架及控制系统等组成<sup>[7]</sup>,如图1所示。

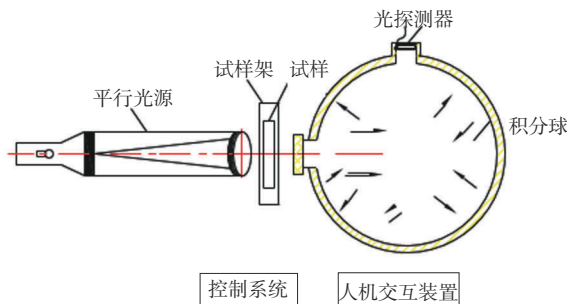


图1 系统结构图

### 2.1 平行光源

根据几何光学原理,无限远处的物体经过透镜后将成像在焦平面上,反之,从透镜焦距平面发出的光线经透镜后将形成一束平行光,平行光经540~560 nm的滤光片过滤后得到标准要求的单色平行光源。图2为平行光源的原理图,由白炽灯光源、毛玻璃、单色滤光片、物镜等组成<sup>[8]</sup>。

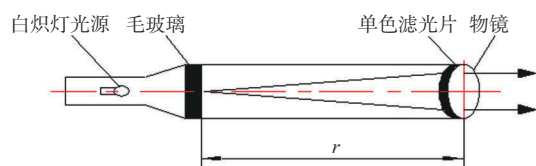


图2 平行光源原理图

根据GB/T 21300-2007标准中要求平行光源的光强度应稳定在 $\pm 1\%$ ,为实现该项指标,系统采用高精度恒流源为平行光源供电,且恒流源的电流波动应小于 $\pm 0.1\%$ <sup>[9]</sup>。

### 2.2 积分球

由于透过试样的光由平行光和散射光组成的,且光强非常微弱,采用分光光度计这种无积分球结构的仪器测试时误差较大。积分球的作用是将透过试样的平行光和散射光通过积分球内部漫反射材料进行多次反射,在内壁上形成均匀照度,便于光接收器准确采集<sup>[10]</sup>。积分球的结构如图3所示。

积分球内壁应是良好的球面,球面各处内径偏差不得大于理想球面内径的0.2%。内壁上涂上理想的漫反射材料,使积分球的漫反射率大于85%。常用的材料是硫酸钡或氧化镁,将它和胶质黏合剂混

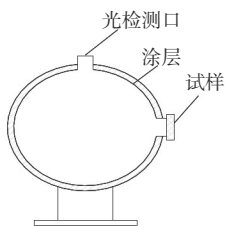


图3 积分球

合均匀后,喷涂在内壁上,可满足内壁漫反射大于90%。若实现更佳的漫反射,可采用聚四氟乙烯粉末压制,内壁漫反射可达到97%以上<sup>[11]</sup>。

### 2.3 光采样系统

光电探测器主要有光电倍增管、硅光电池、光电三极管、光电二极管等器件。硅光电池是半导体光电探测器的一种,硅光电池是一个大面积光电二极管,较光敏二极管、光敏三极管、PIN管有更宽的频谱响应(400~1100 nm),而且光电转换效率更高、工作性能稳定、寿命长、无污染,被广泛应用于光强度测量<sup>[12]</sup>。经过综合考虑,本系统采用硅光电池作为光电探测器。硅光电池结构示意图如图4所示。

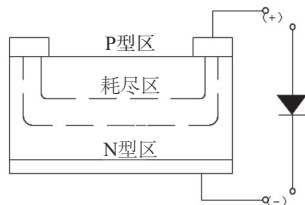


图4 硅光电池结构示意图

硅光电池的特性曲线如图5所示。由图5可知,短路电流与照度呈线性关系,利用该关系实现光照度线性采集。采集电路需要将硅光电池的输出电流信号转换成电压信号,即I-V转换。

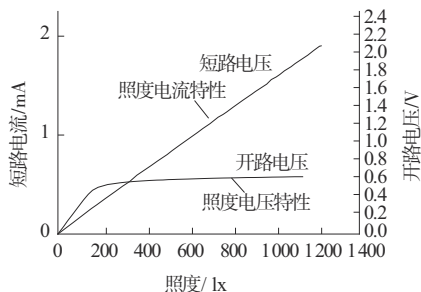


图5 开路电压和短路电流与光照的关系曲线

图6为硅光电池的基本I-V转换电路。运算放大器I-V转换电路应具有良好的频率响应特性和较低输出阻抗特性。由于仪器应能精确测量0.2%及更低的透光率,测量误差小于 $\pm 0.05\%$ ,透过试样的光强非常微弱,硅光电池采集的光电流仅为PA级,

运算放大器选型时,应注意器件需具备超低偏置电流和低噪声特性<sup>[13]</sup>,以符合上述性能要求。

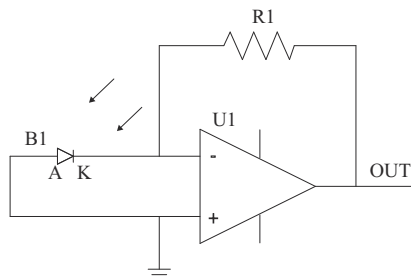


图6 I-V转换电路

### 2.4 试样架

试样架由光栅、试样测量移位装置、试样进出仓装置、标定装置等组成。

#### (1) 光栅。

光栅是根据试样的直径加工有矩形孔的阻挡片,确保所有的光都能照射在试样上,以避免从试样边缘漏光,矩形孔的尺寸不应大于试样外径的0.25倍~0.3倍,且不应超过积分球入口直径的0.5倍~0.7倍,如图7所示。

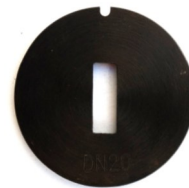


图7 光栅

不同管径的试样需采用不同的光栅,常用的光栅有DN20, DN25, DN32, DN40等几种类型。

#### (2) 试样测量移位装置。

标准要求同一试样应连续测量3个不同位置,计算3个位置测量结果的算数平均值,所以需要设计试样移位装置。移位装置具有多种实现方式,如采用丝杠、齿条、皮带、手动抽板等方式实现。

#### (3) 试样进出仓装置。

进出仓装置应能够将试样运送至积分球入口和光源处,要求装置能够精确定位,进出操作灵活、噪声低,可采用丝杠、齿条、皮带等传动方式实现。

#### (4) 标定装置。

该装置主要由阻挡片组成,实现完全不透光的采样定值(0.00%)和完全透光的采样定值(100.00%),控制系统自动控制阻挡片遮光和通光,从而实现标定的自动控制。

#### (5) 控制系统。

控制系统用于完成数据采集、数值转换、试样进出仓控制及显示和数据处理等,如图8所示。

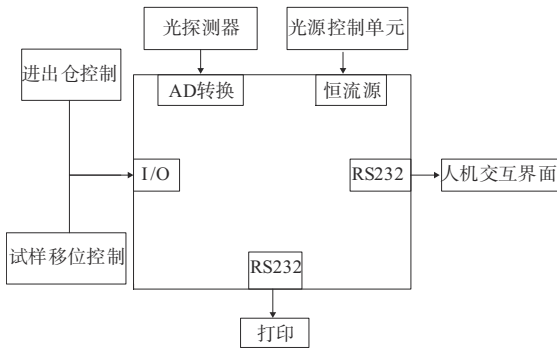


图8 塑料管材透光率控制系统框图

试验控制软件流程如图9所示。

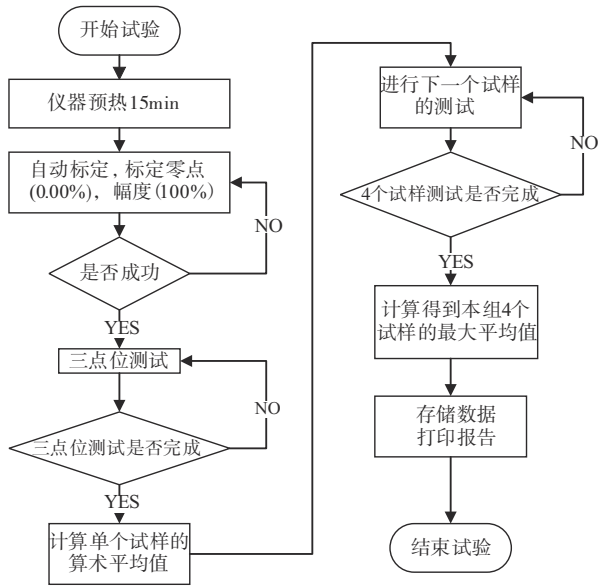


图9 控制流程图

### 3 仪器的准确性和重复性测试

通过对塑料管材透光率测定仪的标定,分别得到 0.00% 和 100.00% 对应的光通量数据,测试时系统采集透过试样的光通量数据,根据以下公式进行计算:

$$T = \frac{P - L_0}{L_1 - L_0} \times 100\% \quad (2)$$

$T$ 为管材透光率; $P$ 为透过试样的光通量采样值; $L_0$ 为完全不透光即 0.00% 对应的光通量数据; $L_1$ 为完全透光即 100.00% 对应的光通量数据。

采用 0.048%, 0.196%, 0.984% 标准中性滤光片 (由国家标准物质机构提供) 对塑料管材透光率测定仪进行校准,分别采用 DN20, DN25, DN32, DN40 的光栅片进行准确性测试,测试结果见表 1。

GBT 21300-2007《塑料管材和管件不透光性的测定》标准中要求的测试误差小于 $\pm 0.05\%$ 。上述数据表明,采用不同管径的光栅测试的数据准确性

及一致性符合标准要求。

表1 不同管径光栅测试数据

| 光栅   | 滤光片标称值/% | 实测值/% |      |      |      | 平均值/% | 误差/% |
|------|----------|-------|------|------|------|-------|------|
| DN20 | 0.048    | 0.06  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.002 |      |
|      | 0.196    | 0.18  | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.016 |      |
|      | 0.984    | 0.96  | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.024 |      |
| DN25 | 0.048    | 0.05  | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.008 |      |
|      | 0.196    | 0.18  | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.016 |      |
|      | 0.984    | 0.96  | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.024 |      |
| DN32 | 0.048    | 0.05  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.002 |      |
|      | 0.196    | 0.18  | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.016 |      |
|      | 0.984    | 0.96  | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.024 |      |
| DN40 | 0.048    | 0.05  | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.002 |      |
|      | 0.196    | 0.19  | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.006 |      |
|      | 0.984    | 0.98  | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.004 |      |

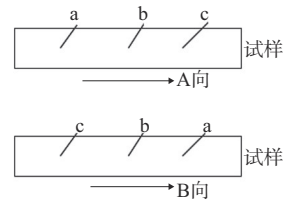


图10 试样放置方式示意图

塑料管材透光率测定仪的重复性测试,可采用同一根样品,进行平行测试。选择 25 mm 管径,灰色 PP-R 试样。测试时试样采用 A 向放置,如图 10 所示。入仓后,仪器按由里到外的顺序分别测量试样 c, b, a 位置点的透光率,记录为  $T_1, T_2, T_3$ 。前后翻转试样,采用 B 向放置,入仓后,依然按由里到外的顺序分别测量试样 a, b, c 位置点的透光率,同样记录为  $T_1, T_2, T_3$ 。按同样的方法,连续测试 3 组平行数据。测试数据见表 2。

表2 试样测试数据

| 试样编号 | 试样放置方向   | $T_1/\%$ | $T_2/\%$ | $T_3/\%$ | $T$ 平均值/% |
|------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 1    | 试样 A 向放置 | 0.01(a)  | 0.06(b)  | 0.03(c)  | 0.03      |
| 2    | 试样 B 向放置 | 0.03(c)  | 0.05(b)  | 0.01(a)  | 0.03      |
| 3    | 试样 A 向放置 | 0.01(a)  | 0.05(b)  | 0.03(c)  | 0.03      |
| 4    | 试样 B 向放置 | 0.03(c)  | 0.05(b)  | 0.01(a)  | 0.03      |
| 5    | 试样 A 向放置 | 0.01(a)  | 0.06(b)  | 0.03(c)  | 0.03      |
| 6    | 试样 B 向放置 | 0.02(c)  | 0.05(b)  | 0.02(a)  | 0.03      |

上述数据表明,相同位置多次测量结果的最大差值 $\pm 0.01\%$ ,仪器具有较好的重复性,能够灵敏地反应试样微弱的透光率变化,测试数据稳定、可靠。

### 4 结论

塑料管材透光率测定仪采用积分球和硅光电

池作为光探测器,通过设计具有高精度恒流源供电

的平行光源、高精度 I/V 及 AD 转换电路和其他辅助装置,实现塑料管材不透光性能的数据化、自动化测试,为塑料管道行业提供专用的检测仪器,对塑料管材透光性能的评价和标准的有效实施具有非常重要的意义。

### 参考文献

- [1] 宁月辉,佟晓芳,时圣永,等.塑料给水管材对水质安全的影响[J].黑龙江科学,2022(4):144-145.  
Ning Yuehui, Tong Xiaofang, Shi Shengyong, et al. Study on the influence of plastic water supply pipe on water quality and safety [J]. Heilongjiang Science, 2022(4): 144-145.
- [2] 李凌,赵启辉,丁勇,等.塑料管材不透光性对输送水质的影响[J].给水排水,2008,34(z2):324-326.  
Li Ling, Zhao Qihui, Ding Yong, et al. Influence of plastic pipe opacity on water quality[J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(z2): 324-326.
- [3] 凌伟,徐红越,朱丽萍,等.塑料管材和管件不透光性测试方法的研究[J].中国塑料,2002(9):70-72.  
Ling Wei, Xu Hongyue, Zhu Liping, et al. Determination of opacity for plastics pipes and fittings[J]. China Plastics, 2002(9): 70-72.
- [4] 朱子鹏.一种基于单片机的透光率检测仪的设计和测试[J].电子技术(上海),2014,43(10):73-75.  
Zhu Zipeng. Design and testing of a transmittance detector based on microprocessor[J]. Electronic Technique(shanghai), 2014, 43(10): 73-75.
- [5] 温变英,等.塑料测试技术[M].北京:化学工业出版社,2019.  
Wen Bianying, et al. Plastic testing technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2019.
- [6] 林艳.透光率/雾度测定仪原理解析及应用[J].上海计量测试,2014(2):53-55.  
Lin Yan. Principle analysis and application of transmittance/haze tester[J]. Shanghai Measurement and Testing, 2014(2): 53-55.
- [7] 施伟,李志珂,伍猷福.积分球系统和分布光度计系统在光通量测试中的应用研究[J].中国照明电器,2021(4):36-40,45.  
Shi Wei, Li Zhike, Wu Xianfu. Investigation of luminous flux measurements using integrating sphere and distributed photometer [J]. Chinese lighting appliances, 2021(4): 36-40, 45.
- [8] 王磊,王守印,周虎.平行光管的基本原理及使用方法[J].仪器仪表学报,2006,27(6):980-982.  
Wang Lei, Wang Shouyin, Zhou Hu. Basic principles and use method of collimator[J]. Journal of Instrumentation, 2006, 27(6): 980-982.
- [9] 刘洪兴,孙景旭,李俊秋,等.曲面透明件雾度和透光率实时测试仪[J].光学精密工程,2018(12):2 881-2 887.  
Liu Hongxing, Sun Jingxu, Li Junqiu, et al. Haze and transmittance real-time tester for curved-surface and transparent samples[J]. Optics and Precision Engineering, 2018(12): 2 881-2 887.
- [10] 颜台永.积分法测量光通量的原理[J].福建轻纺,2011(3):51-55.  
Yan Taiyong. Principle of measuring luminous flux by integral method[J]. Fujian Light Textile, 2011(3): 51-55.
- [11] 陈鹏,王海波,朱月华,等.用于大功率LED模块光通量测试的积分球装置及其测试方法的研究[J].照明工程学报,2015(2):15-20.  
Chen Peng, Wang Haibo, Zhu Yuehua, et al. Integrating sphere device and test methods of the flux test of power led modules for research[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2015(2): 15-20.
- [12] 黄锦前.浅谈分光光度法和分光光度计的原理及其应用[J].华东科技:学术版,2016(11):20.  
Huang Jinqian. Discussion on the principle and application of spectrophotometry and spectrophotometer[J]. East China Science & Technology, 2016(11): 20.
- [13] 李政凯,张旨遥,李和平,等.高速高精度光学模数转换技术研究进展[J].空间电子技术,2020(4):117-125.  
Li Zhengkai, Zhang Zhiyao, Li Heping, et al. Research progress of high-speed and high-resolution photonic analog-to-digital conversion[J]. Space Electronic Technology, 2020(4): 117-125.
- [11] Liu L, Zhao H, Wang F, et al. Rheological behavior and flow instability in capillary extrusion of ultrahigh-molecular-weight polyethylene/high-density polyethylene/nano-SiO<sub>2</sub> blends[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, DOI: 10.1002/APP.47713.
- [12] 冯彦洪,江翎雯,张桂珍.超高分子量聚乙烯分子链缠结调控技术研究进展[J].高分子通报,2022(6):13-21.  
Feng Yanhong, Jiang Lingwen, Zhang Guizhen. Research progress in chain entanglement regulation of ultrahigh molecular weight polyethylene[J]. Polymer Bulletin, 2022(6): 13-21.
- [13] 王吉辉,郑威,郭雁,等.低缠结超高分子量聚乙烯微观结构与拉伸性能[J].高分子材料科学与工程,2009,35(1):48-52.  
Wang Jihui, Zheng Wei, Guo Yan, et al. Microstructure and stretch performances of disentangled ultra-highmolecular weight polyethylene[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2009, 35(1): 48-52.
- [14] Litvinov V M, Xu J, Melian C, et al. Morphology, chain dynamics, and domain sizes in highly drawn gel-spun ultrahigh molecular weight polyethylene fibers at the final stages of drawing by SAXS, WAXS, and <sup>1</sup>H solid-state NMR[J]. Macromolecules, 2011, 44(23): 9 254-9 266.
- [15] 于俊荣,胡祖明,刘兆峰.超拉伸 UHMWPE 纤维的超分子结构变化[J].高分子材料科学与工程,2005,21(4):260-263.  
Yu Junrong, Hu Zuming, Liu Zhao Feng. Super molecular structure changing of UHMWPE fibers during ultra-drawing process[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2005, 21(4): 260-263.
- [16] Ismail Karacan. Molecular structure and orientation of gel-spun polyethylene fibers[J]. J Appl Polym Sci, 2006, 101: 1 317-1 333.

(上接第 85 页)