

重大工程装备

汽车通风盖板发白现象的大数据分析

张晓东¹, 王伟健², 陶友季¹, 张志勇¹, 陈心欣¹, 李淮¹, 祁黎¹,
曾文波¹, 曾博¹, 赵雪茹¹

(1.中国电器科学研究院股份有限公司 a. 工业产品环境适应性国家重点实验室
b. 广东省高分子材料环境适应性评价与检测技术重点实验室, 广州 510663;
2.广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院, 广州 511434)

摘要: **目的** 以某型汽车自然曝露试验过程中通风盖板老化发白现象为例, 研究建立影响汽车零部件自然老化的主要环境因素综合作用计算模型。**方法** 以试验大数据库为基础, 利用互信息理论分析方法, 确定影响汽车通风盖板发白的主要环境因素, 并推导主要环境因素综合作用计算模型。**结果** 基于不同地区试验过程中每5 min记录1次的汽车通风盖板表面太阳辐照量和温度数据, 精确计算了通风盖板出现发白现象的环境综合作用值。计算结果表明, 当光热等效辐照值大于1882.8 J/cm²时, 该通风盖板就会出现发白现象。**结论** 依据汽车外饰塑料件在典型地区的自然暴露试验结果, 通过该模型可以预估其他地区的服役寿命。

关键词: 大数据分析; 汽车自然暴露试验; 光热老化; 等效辐照

中图分类号: TJ81 文献标识码: A 文章编号: 1672-9242(2021)10-0092-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.10.015

Big Data Analysis of Whitening of Automobile Ventilation Cover

ZHANG Xiao-dong¹, WANG Wei-jian², TAO You-ji¹, ZHANG Zhi-yong¹, CHEN Xin-xin¹,
LI Huai¹, QI Li¹, ZENG Wen-bo¹, ZENG Bo¹, ZHAO Xue-ru¹

(1. a. State Key Laboratory of Environment Adaptability for Industrial Products, b. Guangdong Key Laboratory of Polymer Materials Environmental Adaptability Evaluation and Detection Technology, China National Electric Apparatus Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510300, China; 2. R&D Center of Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou 511434, China)

ABSTRACT: Taking the whitening phenomenon for the ventilation panel of some model of automobiles as an example, this paper studied and established the calculation model of comprehensive effects of main environmental factors that affect the natural aging of automobile parts. Based on the experimental database and mutual information theory analysis method, this paper determined the main environmental factors affecting the whitening of automobile ventilation cover, and deduced the comprehensive calculation model of the main environmental factors. Based on the solar radiation and temperature data recorded every 5 min on the surface of the automobile ventilation cover plate in different areas, the environmental comprehensive effect value of

收稿日期: 2021-05-14; 修订日期: 2021-06-03

Received: 2021-05-14; Revised: 2021-06-03

基金项目: 广州市科技计划项目(201707020045, 201804020089)

Fund: Guangzhou Science and Technology Planning Project(201707020045, 201804020089)

作者简介: 张晓东(1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为汽车整车、零部件及材料老化。

Biography: ZHANG Xiao-dong(1978—), Male, Master, Senior engineer, Research focus: aging of automobile, parts and materials.

引文格式: 张晓东, 王伟健, 陶友季, 等. 汽车通风盖板发白现象的大数据分析[J]. 装备环境工程, 2021, 18(10): 092-097.

ZHANG Xiao-dong, WANG Wei-jian, TAO You-ji, et al. Light-heat aging model of automobile exterior parts basing on big data analytics[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(10): 092-097.

the whitening of the ventilation cover was calculated accurately. The calculation results show that when the photothermal equivalent irradiation value is greater than 1882.8 J/cm^2 , the ventilation cover will whiten. According to the natural exposure test results of automobile exterior plastic parts in typical regions, the service life of other regions can be predicted by this model.

KEY WORDS: big data analysis; natural exposure test of automobiles; light-heat aging; equivalent radiation

随着我国对汽车消费需求的增加,汽车的使用变得十分普遍,加之我国地缘宽广、气候复杂多样,汽车部件老化及腐蚀的不良现象也随之增多,这对汽车主机厂商提出了不小的挑战。汽车部件的腐蚀、老化等现象不仅影响用户的用车体验,也会对汽车的行车安全产生威胁^[1-2]。因此,寻找影响汽车部件发生老化的因素、以及汽车部件材料老化的变化规律^[3]具有重要的意义。

通风盖板是连接在前风挡玻璃与发动机机舱盖之间的覆盖件,起到协助通风、为雨刮转轴机构提供防护以及覆盖装饰等功能。通风盖板的发白会严重影响车辆外观,降低用户使用评价。

文中研究了通风盖板发白的微观机理,并基于大数据互信息理论方法,以某车在海南琼海和新疆吐鲁番暴晒试验数据为基础^[1,4-5],确定自然暴露试验中导致通风盖板发白的主要环境因素,通过两地的自然环境数据,求取了该款通风盖板发白时的等效辐照量值。该研究对于通过汽车外饰塑料件在典型地区的自然暴露试验结果预估其他地区的使用寿命具有一定的指导意义。

1 试验

根据 QC/T 728—2005^[6]的要求,在海南琼海和新疆吐鲁番两地对汽车整车进行自然暴露试验,同时放置监测设备不间断地对大气环境及汽车部件表面温度变化等参数进行监测^[7],5 min 记录 1 次,定期(2 个月)对汽车外观及相关特定部件进行老化检查,并记录每次检查时部件老化情况的相关信息^[8]。采用 Hitachi S-3400N II 型扫描电镜观察试件的表面形貌。

2 结果与讨论

2.1 通风盖板样件自然暴露试验表面发白现象

在海南琼海和新疆吐鲁番两地,对汽车整车及零部件均开展了自然暴露试验,其中通风盖板样件在一定时间试验后出现了明显的变白,具体变化情况如图 1 所示。由图 1 可以看出,试验前,通风盖板整体颜色均匀;试验一段时间后,通风盖板出现明显的发白现象,部分材料颜色变白,与拼接的另一材料对比明显。



图 1 通风盖板试验前后外观变化

Fig.1 Appearance changes of ventilation cover before and after tests: a) Qionghai; b) Turpan

2.2 表面形貌分析

利用扫描电镜分别对保留的通风盖板原始样件以及试验后发白的样件表面形貌(如图2所示)进行观察。可以看出,原始样件表面比较平整光滑,说明基材对填料包覆较好;而试验后发白的样件表面基材老化,填料镶嵌在基材中,形成明显的“孤岛”结构。因此,试验后通风盖板发白是自然暴露过程中表面基材老化后白色填料外露以及填料暴露后加剧表面光线漫反射导致的。

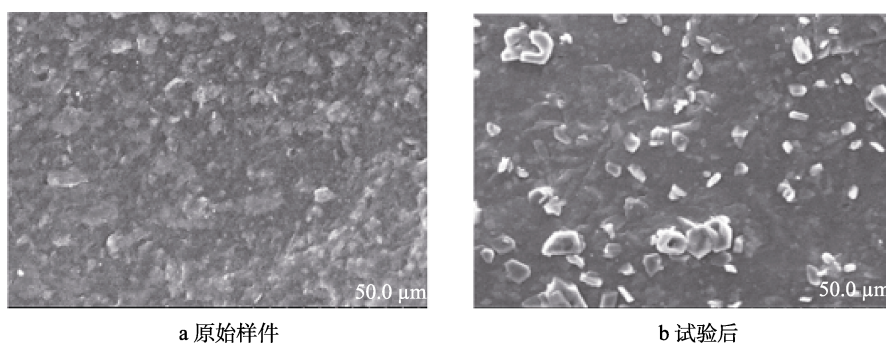


图2 通风盖板表面形貌分析

Fig.2 Analysis of surface morphology of ventilation cover: a) original sample; b) after exposure

2.3 失效影响因素分析

汽车外饰材料自然暴露试验过程中,导致汽车部件老化失效的因素比较多,如部件材料、生产加工工艺、大气环境条件等^[8-10]。由于保密方面的要求,不对部件的材料及生产工艺等信息进行披露,而以部件名称、生产厂家等信息代替,从而建立汽车外饰材料老化数据记录表,见表1。根据检测设备记录的大气环境数据和汽车微环境数据形成记录表2和表3,数据格式为5 min 一组。综合所有记录数据,形成29

表1 汽车外饰材料老化数据记录
Tab.1 Aging data records of automobile exterior materials

产品信息				试验信息				试验期间环境信息		失效信息	
零部件名称	产品牌号	生产厂家	生产批号	试验地点	试验开始时间	试验结束时间	失效开始出现时间	大气环境条件	微环境条件	失效现象	失效等级
通风盖板	XXXX	XXXX	XXXX	海南琼海	2015-11-24	2016-5-23				发白	
				新疆吐鲁番	2015-12-4	2016-8-3				发白	

表2 大气环境条件数据记录
Tab.2 Data records of atmospheric environmental conditions

日期	时间	空气温度/°C	空气相对湿度/%	风速/(m·s ⁻¹)	风向	太阳总辐射量/(W·m ⁻²)	紫外辐射量/(W·m ⁻²)	红外辐射量/(W·m ⁻²)	可见光/(W·m ⁻²)	降雨量/mm	降雨时数/h	日照时数/h
2015/11/25	10:00	28.7	62.5	1.0	NW	616	30	265	320	0.0	0.0	0.0833
2015/11/25	10:05	28.5	62.2	1.1	W	693	34	300	359	0.0	0.0	0.0833
2015/11/25	10:10	28.1	68.3	1.2	NW	676	35	288	353	0.0	0.0	0.0833
2015/11/25	10:15	28.6	63.0	0.5	ESE	698	34	297	366	0.0	0.0	0.0833
2015/11/25	10:20	28.5	64.2	1.7	NW	708	36	303	369	0.0	0.0	0.0833
2015/11/25	10:25	29.1	66.2	0.5	NNE	714	38	304	372	0.0	0.0	0.0833
2015/11/25	10:30	29.7	59.5	0.9	NW	745	40	317	389	0.0	0.0	0.0833
2015/11/25	10:35	28.9	58.1	0.3	WNW	779	39	338	402	0.0	0.0	0.0833
2015/11/25	10:40	30.0	57.4	0.8	WSW	827	39	359	429	0.0	0.0	0.0667
2015/11/25	10:45	29.0	56.5	0.3	W	991	48	435	508	0.0	0.0	0.0333
2015/11/25	10:50	28.2	60.6	0.0	SSW	352	14	155	184	0.0	0.0	0.0000
2015/11/25	10:55	28.0	60.5	0.4	WNW	226	9	96	122	0.0	0.0	0.0000

表 3 零部件微环境条件数据记录
Tab.3 Data records of micro environmental conditions of automobile parts

日期	时间	表面温度/℃	太阳总辐射量/(W·m ⁻²)	紫外辐射量/(W·m ⁻²)	红外辐射量/(W·m ⁻²)	可见光/(W·m ⁻²)	表面润湿时间/h
2015/11/25	10:00	45.73	616	30	265	320	0.0000
2015/11/25	10:05	46.96	693	34	300	359	0.0000
2015/11/25	10:10	47.84	676	35	288	353	0.0000
2015/11/25	10:15	47.46	698	34	297	366	0.0000
2015/11/25	10:20	47.95	708	36	303	369	0.0000
2015/11/25	10:25	48.64	714	38	304	372	0.0000
2015/11/25	10:30	49.46	745	40	317	389	0.0000
2015/11/25	10:35	50.51	779	39	338	402	0.0000
2015/11/25	10:40	51.15	827	39	359	429	0.0000
2015/11/25	10:45	51.51	991	48	435	508	0.0000
2015/11/25	10:50	49.11	352	14	155	184	0.0000
2015/11/25	10:55	44.78	226	9	96	122	0.0000

个与材料老化相关的数据要素。每年针对某具体部件的相关数据记录约有 150 万个。

本项目采用信息理论^[11-12]对大数据进行数据处理^[13-15]。将汽车通风盖板的老年化表征（即材料是否变色） X 作为决策属性^[16-18]，其他数据信息（如空气湿度、太阳辐照、风速、降雨量、降雨时数、日照时数和地域）构成条件属性集^[19-20]，则汽车通风盖板的老年化与条件属性之间的关联度 I 可以用公式（1）计算得出^[21]。计算结果（见图 3）表明，太阳辐照和部件表面温度与通风盖板发白的相关性较高，其他因素（如部件表面润湿时间等）的相关性则较弱。

$$I(X, Y) = \sum_{i=1}^n I(X, y_i) \quad (1)$$

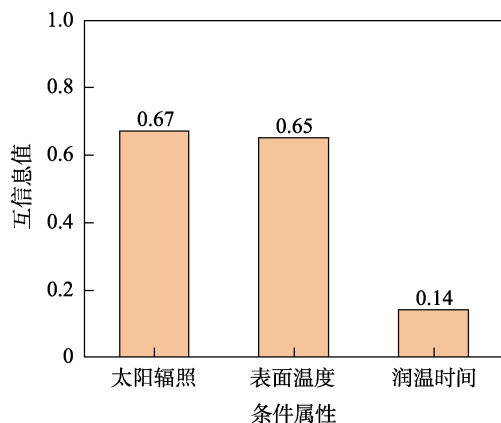


图 3 试验车通风盖板发白条件属性互信息值

Fig.3 Conditional mutual information value of ventilation cover whitening

2.4 等效辐照量的计算

一般情况下，对于除温度以外还包含其他应力 S 的普通情况，材料老化寿命可以用式（2）广义 Eyring 模型^[21]进行描述：

$$\eta = \frac{A}{T} \exp\left(\frac{-Ea}{kT}\right) S^{-n} \quad (2)$$

式中： η 为特征寿命； A 、 n 为待定常数； Ea 为反应活化能； T 为绝对温度，K； k 为波尔兹曼常数， $k=1.380\ 648\ 52 \times 10^{-23}$ J/K； S 为温度以外的其他应力。

因此，针对汽车通风盖板老化现象，其老化寿命模型可以表示为式（3）^[21]。

$$\eta = \frac{A}{T} \exp\left(\frac{Ea}{kT}\right) R^{-n} \quad (3)$$

式中： R 为样品表面辐照量，J/m²。

取 n 值为 1，并分别用下标 u 和 t 表示户外大气暴露试验和对比试验，则得到式（4）和（5）。

$$\eta_u = \frac{A}{T_u} \exp\left(\frac{Ea}{kT_u}\right) R_u^{-1} \quad (4)$$

$$\eta_t = \frac{A}{T_t} \exp\left(\frac{Ea}{kT_t}\right) R_t^{-1} \quad (5)$$

当材料在不同地区受到同等程度的破坏时，特征寿命 η 应该相等，故令 $\eta_u = \eta_t$ ，得到式（6），进一步整理得到式（7）。

$$\frac{A}{T_u} \exp\left(\frac{Ea}{kT_u}\right) R_u^{-1} = \frac{A}{T_t} \exp\left(\frac{Ea}{kT_t}\right) R_t^{-1} \quad (6)$$

$$R_t = \frac{T_u}{T_t} \exp\left[\frac{Ea}{k} \left(\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_u}\right)\right] R_u \quad (7)$$

在整车自然暴晒过程中，汽车部件表面温度是随太阳辐照和周边空气温度的变化而变化的。在琼海和新疆两地，通风盖板表面温度变化的三维图形见图 4。从图 4 可知，通风盖板的表面温度基本呈现周期性变化。把试验时记录的实时监测数据带入式（8）进行累加计算，最终得出等效环境的对比试验辐照量。

$$R_t = \sum_{\text{开始}}^{\text{结束}} \frac{T_u}{T_t} \cdot R_u \cdot \exp\left[\frac{Ea}{k} \left(\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_u}\right)\right] \quad (8)$$

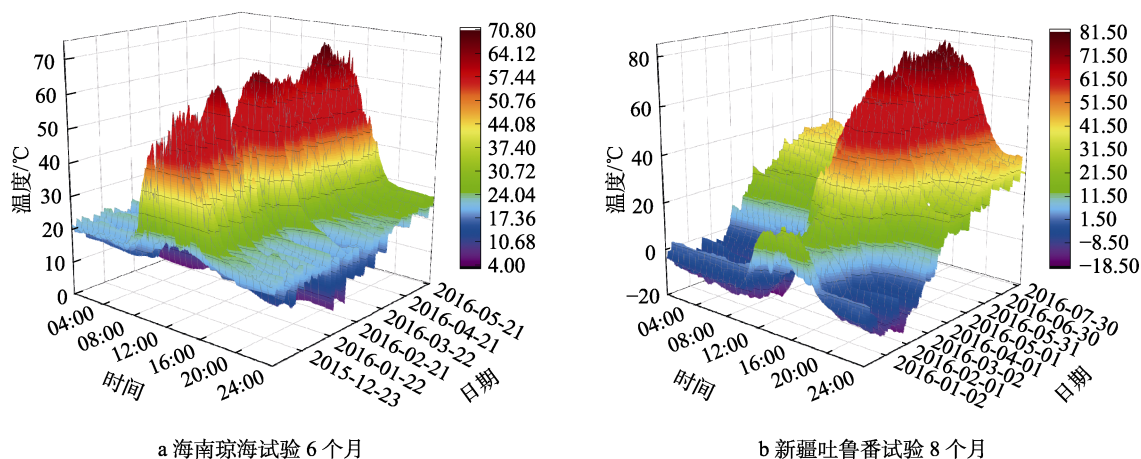


图4 通风盖板表面温度变化

Fig.4 Surface temperature of ventilation cover: a) after 6 months exposure at Qionghai, Hainan; b) after 6 months exposure at Turpan, Xinjiang

采用每5 min记录一次盖板表面的紫外辐照量和温度数据,计算海南琼海和新疆吐鲁番两地试验过程中部件所受到的等效辐照值(如图5所示)。结果表明,等效辐照值大于 1882.8 J/cm^2 时,该种配方工艺通风盖板就会产生发白现象。根据该数值可以预测该通风盖板发白的时间。

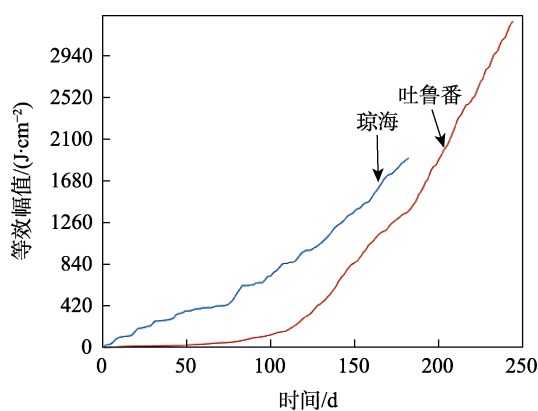


图5 不同试验场通风盖板发白时表面等效辐照值

Fig.5 Temperature equivalent radiation value of ventilation cover in different test sites

3 结论

1) 通过通风盖板表面形貌分析,确定其自然暴露试验发白的原因在于表面基材老化导致填料暴露。

2) 根据大气环境和汽车微环境大数据,采用互信息理论的相关性分析方法,分析了部件老化与各因素之间的强弱关系。通风盖板发白与太阳辐照、部件表面温度的相关性较大。

3) 根据整车在两地的自然暴露试验结果,确定当光热等效辐照值大于 1882.8 J/cm^2 时,该通风盖板就会出现发白现象。

参考文献:

- [1] 张晓东,王俊,揭敢新,等.汽车整车在海南湿热环境下的大气暴露试验研究[J].汽车工艺与材料,2014(11):40-43.
ZHANG Xiao-dong, WANG Jun, JIE Gan-xin, et al. Research on outdoor exposure test for automobile in Hainan damp-hot climate[J]. Automobile technology & material, 2014(11): 40-43.
- [2] 王剑,潘晓涛,郑俊,等.某车型在海南湿热环境中的整车耐候性[J].腐蚀与防护,2019,40(2):131-136.
WANG Jian, PAN Xiao-tao, ZHENG Jun, et al. Weather resistance of a new vehicle in damp-hot environment of Hainan[J]. Corrosion & protection, 2019, 40(2): 131-136.
- [3] 李秋魁,黄少仪,林旭彬,等.整车大气暴露试验失效分析的运用[J].环境技术,2015,33(6):15-18.
LI Qiu-kui, HUANG Shao-yi, LIN Xu-bin, et al. The application of failure analysis on atmospheric exposure test for vehicles[J]. Environmental technology, 2015, 33(6): 15-18.
- [4] 王俊,张晓东,揭敢新,等.汽车产品在我国典型干热环境下的自然暴露试验研究[J].环境技术,2017,35(2):31-33.
WANG Jun, ZHANG Xiao-dong, JIE Gan-xin, et al. Research on outdoor exposure test for automobile products in typical arid climate in China[J]. Environmental technology, 2017, 35(2): 31-33.
- [5] LIU Jie, LI Zhao, ZHANG Lun-wu, et al. Degradation behavior and mechanism of polyurethane coating for aerospace application under atmospheric conditions in South China Sea[J]. Progress in organic coatings, 2019, 136: 105310.
- [6] QC/T 728—2005, 汽车整车大气暴露试验方法[S].
QC/T 728—2005, Road vehicle test method of exposure to weathering[S].
- [7] 闫杰,刘丽红,纪春阳,等.国内外自然大气环境试验的发展[J].中国腐蚀与防护学报,2009,29(1):69-75.

- YAN Jie, LIU Li-hong, JI Chun-yang, et al. Development of natural atmospheric environmental test in the world[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2009, 29(1): 69-75.
- [8] 陆启凯. 汽车气候老化试验技术[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2010.
LU Qi-kai. Automotive weathering test technology[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2010.
- [9] 马坚. 汽车气候老化应用技术[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2013.
MA Jian. Automotive weathering application technology[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2013.
- [10] 陈浩. 汽车高分子材料老化分析[J]. 汽车工程师, 2020(4): 15-17.
CHEN Hao. Aging analysis of automotive polymer materials[J]. Auto engineer, 2020(4): 15-17.
- [11] SHANNON C E. The mathematical theory of communication 1963[J]. M D computing: Computers in medical practice, 1997, 14(4): 306-17.
- [12] 刘城霞, 朱敏玲, 刘玮琪. 基于互信息的属性约简算法研究与实现[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版), 2020, 35(1): 38-42.
LIU Cheng-xia, ZHU Min-ling, LIU Wei-qi. Study and implementation of attribute reduction algorithm based on mutual information[J]. Journal of Beijing Information Science & Technology University, 2020, 35(1): 38-42.
- [13] 车金星. 复杂数据的变量选择与预测方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2019.
CHE Jin-xing. Variable selection and forecasting method for complex data[D]. Xi'an: Xidian University, 2019.
- [14] 何宇廷, 高潮. 基于试验数据与使用数据融合的产品寿命可靠性分析方法[J]. 航空工程进展, 2015, 6(2): 205-210.
HE Yu-ting, GAO Chao. Method of reliability life analysis for product based on the fusion of test data and usage data[J]. Advances in aeronautical science and engineering, 2015, 6(2): 205-210.
- [15] 邵臻. 基于特征分析和数据降维的复杂数据预测与分类方法研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
SHAO Zhen. Characteristic identification and dimensionality reduction based complex data forecasting and classification research[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2015.
- [16] 赵思雨, 钱婷, 宋笑雪. 基于决策属性粒度树提取决策规则[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2020, 44(4): 288-294.
ZHAO Si-yu, QIAN Ting, SONG Xiao-xue. Extraction of decision rules based on granularity tree of decision attributes[J]. Journal of Hebei Normal University (natural science), 2020, 44(4): 288-294.
- [17] WANG Zheng, ZHENG Xu, PAN Hong-guang, et al. Information entropy multi-decision attribute reduction fuzzy rough set for dust particulate imagery characteristic extraction[J]. IEEE access, 2020, 8: 77865-77874.
- [18] 许丽婷, 林艺东. 多决策模糊信息系统的属性约简[J]. 闽南师范大学学报(自然科学版), 2019, 32(4): 16-22.
XU Li-ting, LIN Yi-dong. Attribute reduction of multi-decision fuzzy information systems[J]. Journal of Minnan Normal University (natural science), 2019, 32(4): 16-22.
- [19] 谢印宝, 张佑生. 数据库关键条件属性集确定方法及应用[J]. 计算机工程, 2000, 26(12): 150-151, 154.
XIE Yin-bao, ZHANG You-sheng. Method of specifying key condition attribut set in a database[J]. Computer engineering, 2000, 26(12): 150-151, 154.
- [20] 刘禹. RFID 基准测试系统设计及性能分析研究[D]. 北京: 中国科学院自动化研究所. 中国科学院研究生院, 2010.
LIU Yu. Research on RFID Benchmarking System Design and Performance Analysis[D]. Beijing: Institute of Automation, 2010.
- [21] 张晓东, 王伟健, 祁黎, 等. 基于大数据分析的汽车外饰部件光热老化模型研究[J]. 环境技术, 2020, 38(3): 97-100.
ZHANG Xiao-dong, WANG Wei-jian, QI Li, et al. Research on light-heat aging model for automobile exterior parts basing on big data analytics[J]. Environmental technology, 2020, 38(3): 97-1000.