

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.02.013

PE-HD/PE-LD 振动挤出预测模型及其应用^{*}

陈学锋¹,徐言生¹,胡建国¹,许中明¹,殷小春²

(1. 顺德职业技术学院机电工程学院,广东顺德 528300; 2. 华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心,

聚合物成型加工工程教育部重点实验室,广州 510641)

摘要: 基于 BP 人工神经网络,研究高密度聚乙烯(PE-HD)、低密度聚乙烯(PE-LD)材料的振动挤出加工过程,建立螺杆转速、振动及口模诸因子与挤出胀大、压力和功率等输出特性参数间精确、高效、简洁的非线性映射关系,为挤出加工参数的优化和挤出加工质量的控制提供依据。结果证明,基于 BP 神经网络模型能够很好地预测聚合物挤出加工特性参数,所建网络具有精确、高速、自适应等特点。

关键词: 人工神经网络; BP 算法; 振动; 挤出特性

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)02-0055-05

Vibration Extrusion PE-HD/PE-LD Forecasting Model and Its Application

Chen Xuefeng¹, Xu Yansheng¹, Hu Jianguo¹, Xu Zhongming¹, Yin Xiaochun²

(1. Department of Mechanical & Electrical Engineering, Shunde Polytechnic, Shunde 528300, China; 2. National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing, South China University of Technology, The Key Laboratory of Polymer Processing Engineering of Ministry of Education, Guangzhou 510641, China)

Abstract : Based on BP neural network, the vibration extrusion process of high density polyethylene(PE-HD) and low density polyethylene(PE-LD) were studied. A high efficiency, simple and precise nonlinear mapping relationship were established, which were about the screw speed, vibration and die as the input factor and the extrusion swell, pressure and power as the output factor relations. Provide the basis for the optimization of extrusion process parameters and controlling the quality of extrusion processing. The experimental results show that the BP neural network model can well predict the processing properties of polymer extrusion parameters. The neural network model has the advantages of high precision, high speed, adaptive characteristics.

Keywords : artificial neural network ; BP algorithm ; vibration ; extrusion characteristic

聚合物挤出加工过程螺杆振动的引入,能优化挤出特性,改善挤出制品质量,这已经被大量理论和实践所证明^[1-3],但振动挤出加工过程一直存在加工难度大,参数组合不易控制等问题,如果能建立相关的数学模型,将振幅、频率、转速及口模多个相关参数作为输入量,对挤出压力、胀大、流率、功率重要特性参数进行有效预测与控制,这对深化振动挤出理论与试验研究有重要意义。

BP(Back Propagation)网络是应用最成熟、最广泛的神经网络^[4],使用最优化的梯度下降算法,用迭代运算求解权,加入隐节点使得优化问题的可调参数增加,从而可以逼近精确解^[5]。

曾广胜等^[6]利用 BP 神经网络模型,准确地预测出螺杆转速和口模温度等参数对复合材料发泡过程膨胀率的影响;杨毅^[7]利用神经网络在线辨识等方法,建立导电聚合物驱动器控制系统传递函数

模型,并进行了精确的实验验证;吴海燕等^[8]利用离散正交多项式组合神经网络对聚合反应分子量分布进行建模,并进行实验验证。国外研究者中,V. Dutilh 等^[9-10]利用加工实验过程的测量结果,对训练和测试神经网络结构的方法进行研究;A. Bustillo 等^[11]则是通过建立贝叶斯网络模型来在线预测和监控实际加工过程。笔者基于 BP 人工神经网络,研究高密度聚乙烯(PE-HD)、低密度聚乙烯(PE-LD)材料的振动挤出加工过程,建立螺杆转速、

^{*} 广东省自然科学基金资助项目(S2012010010199), (华南理工大学) 聚合物成型加工工程教育部重点实验室开放课题基金资助项目(2012001),顺德区科技计划项目(20120202087),顺德区容桂科技计划项目(RGKJH2013008)

联系人:陈学锋,博士,副教授,主要研究机械装备的设计、优化和工艺设计

收稿日期:2014-11-13

振动及口模诸因子与挤出胀大、压力和功率等输出特性参数间精确、高效、简洁的非线性映射关系,为挤出加工参数的优化和挤出加工质量的控制提供依据。

1 实验部分

1.1 原材料

PE-HD: 牌号为 GPPS-205, 湖南石油化学公司;

PE-LD: 牌号 Q2000, 上海石油化工股份有限公司树脂厂。

1.2 仪器及设备

单螺杆电磁动态塑化挤出机: 自制;

聚合物电磁动态成型测量与数据采集系统: 德国 BRABENDER 流变工作站。

2 振动挤出特性参数预测控制人工神经网络模型

2.1 基于 BP 人工神经网络的振动挤出加工过程模型

为使实验结果更客观, 采用组合理论推导而成的正交表来安排设计试验, 能用少数实验方案试验结果的分析, 得到有关各因素的丰富信息, 为后续人

工网络建模提供依据, 具体实验安排见表 1、表 2。

在研究中仅考虑口模 (K)、螺杆转速 (n)、螺杆振动频率 (f)、螺杆振幅 (A) 4 因素的影响, 输出参数也是 4 项: 挤出压力 (P)、挤出胀大 (B)、挤出功率 (P_c)、挤出流量 (Q), 每因素取 5 水平, 各因素水平所对应的数值见表 1、表 2, 在决定各因素的水平时, 采用随机方式决定, 可避免产生系统误差。

设输入参数为 K 、 n 、 A 及 f , 输出参数分别为 Q 、 P_c 、 P 、 B 。

设计网络输入变量为 $X=(K, n, A, f)$, 输出变量为 $Y=(Q, P_c, P, B)=(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$ 。

$$\text{即: } X=(K, n, A, f) \rightarrow Y=(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4) \quad (1)$$

选择 Sigmoid 型函数为映射函数, 建立 4 个输入节点、10 个隐节点、4 个输出节点的前馈式三层 BP 神经网络模型, 则有:

$$Y_t = f\left[\sum_{i=1}^{10} V_{ti} f\left(\sum_{j=1}^4 W_{ij} x_j\right)\right] \quad t=1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

$$\text{其中: } f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad x \in (-\infty, +\infty), f(x) \in (0, 1) \quad (3)$$

以表 1、表 2 中数据作为学习样本, 学习过程为:

表 1 挤出加工 PE-HD 正交试验简表

序号	输入量				输出量			
	K	A/mm	f/Hz	$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	P/MPa	B	$Q/(\text{g} \cdot \text{min}^{-1})$	P_c/W
1	1 [#]	0.20	15	60	22.9423	1.6074	81.0	1900
2	1 [#]	0.15	5	40	22.3055	1.5928	69.1	1654
3	1 [#]	0	10	50	23.4637	1.6500	75.0	1862
4	1 [#]	0.10	25	20	19.9625	1.4749	55.5	1386
5	1 [#]	0.05	20	30	21.1591	1.5436	61.5	1542
6	2 [#]	0.20	5	50	20.3462	1.7120	81.9	1499
7	2 [#]	0.15	10	20	18.3823	1.6142	61.9	1181
8	2 [#]	0	25	30	19.6654	1.6774	68.4	1353
9	2 [#]	0.10	20	60	20.8104	1.7220	89.7	1615
10	2 [#]	0.05	15	40	19.9821	1.6915	74.7	1414
11	3 [#]	0.20	10	30	20.3015	1.5847	64.1	1408
12	3 [#]	0.15	25	60	22.0903	1.6221	84.7	1730
13	3 [#]	0	20	40	22.0108	1.6632	71.1	1622
14	3 [#]	0.10	15	50	22.2573	1.6562	77.0	1664
15	3 [#]	0.05	5	20	20.4556	1.5952	59.0	1389
16	4 [#]	0.20	25	40	24.6129	1.4245	60.3	1707
17	4 [#]	0.15	20	50	25.8789	1.4945	66.7	1925
18	4 [#]	0	15	20	24.6908	1.4803	51.1	1674
19	4 [#]	0.10	5	30	25.2536	1.5025	55.9	1815
20	4 [#]	0.05	10	60	28.0084	1.592	77.3	2210
21	5 [#]	0.20	20	20	20.4247	1.4159	52.6	1436
22	5 [#]	0.15	15	30	21.5373	1.4827	58.6	1617
23	5 [#]	0	5	60	25.0132	1.6309	78.6	2132
24	5 [#]	0.10	10	40	22.8198	1.5472	64.5	1754
25	5 [#]	0.05	25	50	23.0690	1.5523	70.9	1900

表 2 挤出加工 PE-LD 正交试验简表

序号	输入量				输出量			
	K	A/mm	f/Hz	$n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	P/MPa	B	$Q/(\text{g}\cdot\text{min}^{-1})$	P_c/W
1	1 [#]	0.20	15	60	9.7368	1.5571	97.20	1062
2	1 [#]	0.15	5	40	9.4029	1.5429	82.92	924
3	1 [#]	0	10	50	9.8581	1.5983	90.00	1040
4	1 [#]	0.10	25	20	8.4722	1.4287	66.60	774
5	1 [#]	0.05	20	30	8.9800	1.4953	73.80	862
6	2 [#]	0.20	5	50	8.2425	1.6695	98.28	837
7	2 [#]	0.15	10	20	7.4874	1.5742	74.28	660
8	2 [#]	0	25	30	7.9667	1.6359	82.08	756
9	2 [#]	0.10	20	60	8.4305	1.6793	107.64	894
10	2 [#]	0.05	15	40	8.0950	1.6496	89.64	790
11	3 [#]	0.20	10	30	8.616	1.5418	76.92	786
12	3 [#]	0.15	25	60	9.3752	1.5782	101.64	946
13	3 [#]	0	20	40	9.3414	1.6182	85.32	906
14	3 [#]	0.10	15	50	9.3824	1.6114	92.40	930
15	3 [#]	0.05	5	20	8.7814	1.5520	70.80	776
16	4 [#]	0.20	25	40	10.4458	1.3662	72.36	954
17	4 [#]	0.15	20	50	10.9831	1.4333	80.04	1075
18	4 [#]	0	15	20	10.4789	1.4197	61.32	935
19	4 [#]	0.10	5	30	10.7177	1.4410	67.08	1010
20	4 [#]	0.05	10	60	11.8869	1.5269	92.76	1234
21	5 [#]	0.20	20	20	8.6683	1.3723	63.12	802
22	5 [#]	0.15	15	30	9.1405	1.4371	70.32	903
23	5 [#]	0	5	60	10.6157	1.5807	94.32	1191
24	5 [#]	0.10	10	40	9.6848	1.4996	77.40	980
25	5 [#]	0.05	25	50	9.7906	1.5045	85.08	1052

(1) 将 Y 取值通过变换。

$$Y_i = (Y - Y_{\min}) / (Y_{\max} - Y_{\min}) \quad (4)$$

映射到 $(0, 1)$ 。

(2) 随机赋予式 (2) 中权数 V_{ii}, W_{ij} 的值, $t=1, 2, 3, 4; j=1, 2, 3, 4$ 。

(3) 将表 1、表 2 中输入、输出作为学习样本 $X=(K, n, A, f)$ 代入式 (2), 计算网络输出 Y 。

(4) 对表 1、表 2 的每一学习样本实际输出 dY , 与相应的网络输出 Y 相比较, 计算误差:

$$e = \sum_{j=1}^4 (dY_j - Y_j)^2 / 2 \quad (5)$$

$$(5) \text{ 计算所有样本总误差 } E = \sum_{i=1}^{25} e_i \quad (6)$$

$$\text{计算均方误差: } E = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^4 (dY_j - Y_j)^2 \quad (7)$$

(6) 总误差或学习次数未达到要求时, 根据修正权值 V_{ii}, W_{ij} , 用新的权值重复进行 (3)~(5) 步骤, 直接建立的式 (2) 模型获取一组合适的权值, 使模型输出在一定程度上逼近实际输出。

最终, 网络经过最大学习次数 20 000 次学习后收敛, 学习后的总误差为 0.08。

网络成功建立后, 选取 3[#] 口模的 14 组样本来

测试验证网络预测值的精确度, 表 3 为 3[#] 口模的 BP 神经网络预测值与实测值对比, 括弧内数字为实测值, 括弧外数值为预测值。

从表 3 中神经网络预测值与实测值数据对比中可以清楚地看出, BP 人工神经网络模型能很好地预测 PE-HD、PE-LD 两种材料振动挤出加工过程中输入与输出诸特性间关系, 且预测精度高。

为了能更直观地了解 BP 人工神经网络模型预测值的准确性, 在选定 3[#] 口模、转速为 60 r/min、振幅为 0.20 mm 的条件下, 研究了 PE-HD 与 PE-LD 挤出流量、挤出功率、挤出压力、挤出胀大等输出特性与输入因子螺杆振动频率的关系曲线, 结果如图 1~图 4 所示。同时, 也为了便于与其它方式建立的预测模型对比, 图 1~图 4 中同时画出了利用传统多元非线性辨识模型获得的预测值, 关于利用多元非线性辨识法建立挤出加工过程的模型, 在此不论述。

从图 1~图 4 可以看出, 不论传统多元非线性辨识模型, 还是 BP 人工神经网络模型, 都能对振动挤出加工过程作出较为理想的预测, 但是, BP 人工神经网络模型的预测精度明显要高于多元非线性辨识所建模型。

表 3 3# 口模预测值(实测值)

序号 ¹⁾	输入量				输出量			
	K	A/mm	f/Hz	$n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	P/MPa	P/W	$Q/(\text{g}\cdot\text{min}^{-1})$	B
1	3 [#]	0.20	15	40	69.1(68.8)	1581(1568)	20.6231(20.7391)	1.5923(1.5910)
2	3 [#]	0.15	5	50	77.2(77.1)	1622(1616)	22.1589(22.1049)	1.7001(1.6988)
3	3 [#]	0.10	25	30	65.8(65.6)	1481(1489)	20.3334(20.4132)	1.5933(1.5928)
4	3 [#]	0.05	20	60	83.1(83.2)	1787(1766)	22.9216(22.8912)	1.6021(1.6033)
5	3 [#]	0.00	5	20	57.8(57.9)	1429(1409)	21.3345(21.2324)	1.6966(1.6988)
6	3 [#]	0.10	10	20	59.7(59.8)	1403(1387)	20.1908(20.1849)	1.6003(1.5997)
7	3 [#]	0.20	25	20	60.9(60.8)	1301(1288)	19.8593(19.8577)	1.4122(1.4101)
8	3 [#]	0.20	15	40	83.1(82.9)	825(834)	8.8237(8.8002)	1.6115(1.6109)
9	3 [#]	0.15	5	50	94.8(94.5)	991(990)	9.4690(9.3891)	1.7005(1.6994)
10	3 [#]	0.10	25	30	78.3(78.9)	729(734)	8.7261(8.7156)	1.5919(1.5911)
11	3 [#]	0.05	20	60	101.8(101.1)	1108(1094)	9.9373(9.8467)	1.6965(1.6957)
12	3 [#]	0.00	5	20	67.5(67.3)	809(817)	9.1061(9.0786)	1.5023(1.5009)
13	3 [#]	0.10	10	20	71.5(71.8)	769(765)	8.6907(8.6112)	1.5919(1.5901)
14	3 [#]	0.20	25	20	72.5(72.6)	727(731)	8.5121(8.4113)	1.5021(1.5003)

注:1)序号 1~7 的材料是 PE-HD,序号 8~14 的材料是 PE-LD。

这说明 BP 人工神经网络模型满足实际需要。

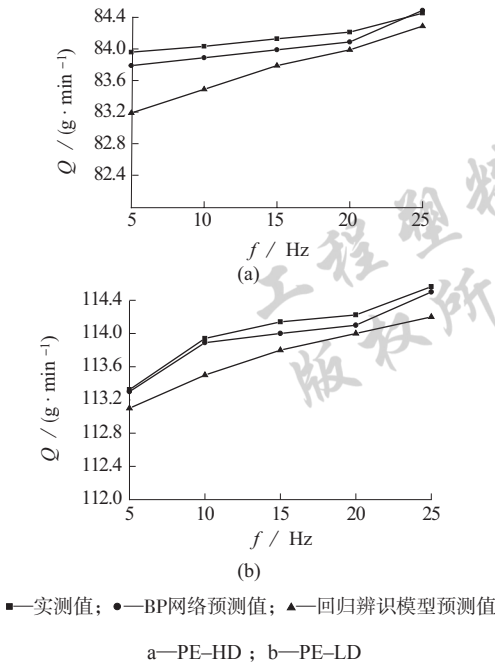


图 1 PE-HD, PE-LD 挤出产量与振动频率的关系

3 结论

(1) 分析实验数据证实,振动挤出加工输入与输出诸参数之间存在非线性映射关系,这种关系 BP 神经网络是能够学习的。

(2) 建立的多输入多输出 BP 人工神经网络具有较强的预测能力和泛化处理能力,能很好地预测口模、螺杆转速、振动频率和振幅等参数对挤出加工特性的影响规律。

(3) 挤出口模、螺杆转速、振动频率及振幅等参数均对挤出压力、挤出功率以及挤出胀大等特性有很大影响。

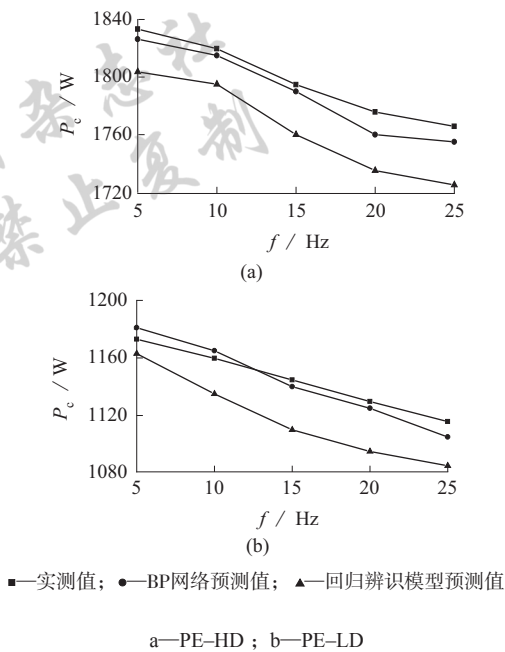


图 2 PE-HD, PE-LD 挤出功率与振动频率的关系

参考文献

[1] 瞿金平. 聚合物塑化挤出新概念[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,1992,20(4):1-8.
Qu Jinping. Novel concepts of polymer plasticating extrusion[J]. Journal of South China University of Technology : Natural Science, 1992,20(4):1-8.

[2] 瞿金平. 聚合物挤出成型的新方法与新设备[J]. 中国塑料,1997,11(3):69-73.
Qu Jinping. Novel method and equipment for the polymer extrusion processing[J]. China Plastic, 1997, 11(3):69-73.

[3] Chen Xuefeng, Qu Jinping. Extrusion characteristics of round-section dies with VFF[J]. Polymer -Plastics Technology and Engineering,47(2):203-208.

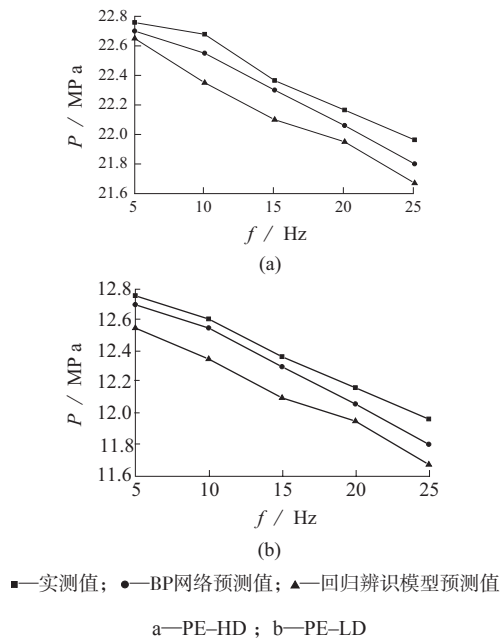


图3 PE-HD, PE-LD 挤出压力与振动频率的关系

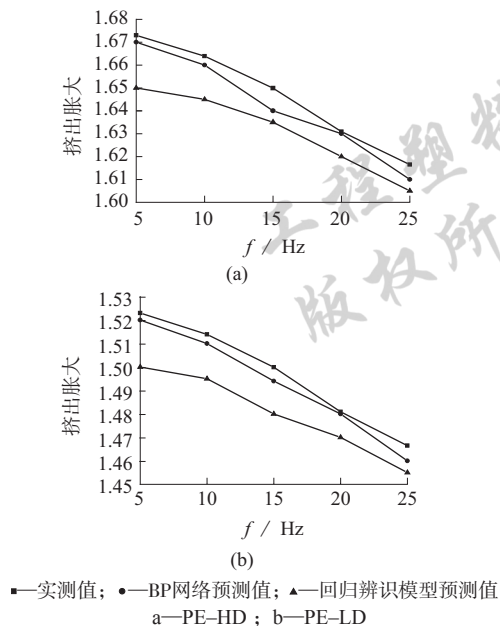


图4 PE-HD, PE-LD 挤出胀大与振动频率的关系

匈牙利生产出全球首辆电动塑料公交车

位于匈牙利布达佩斯的 Evopro Holding 公司已生产出全球首辆电动塑料公共汽车——Modulos。这个项目耗时三年,总计成本 325 万欧元,其中包括欧盟资助的 40 万欧元。

目前已有 25 辆这样的电动塑料公交车正在生产中。相比传统型金属公交车, Modulos 公交车在质量上减轻 2 t,而且车壁更薄。这类塑料电动公交车可以承载 65 名乘客,车内地板较低,方便乘客进入,充一次电能行驶 100 km。此外,该公交车还有一种混合动力版本。

Modulos 分为几大模块:前端的一个驾驶员仓,尾部装有发动机的模块以及中间的乘客模块。Evopro 公司说道,通

- [4] 丛爽. 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2009.
- Cong Shuang. The theory and application of artificial neural network for MATLAB toolbox[M]. Hefei:University of Science & Technology China Press,2009.
- [5] 马锐. 人工神经网络原理[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- Ma Rui. The principle of artificial neural network[M]. Beijing:Mechanical Industry Press,2010.
- [6] 曾广胜,孙刚. 工艺参数对淀粉/EVA 生物质材料挤出发泡的影响及 BP 神经网络的预测[J]. 复合材料学报,2014,31(2):512-517.
- Zeng Guangsheng, Sun Gang. Influence of technological parameters on extrusion foaming of starch/EVA biologic materials and BP neural network forecast[J]. Acta Material Compositae Sinica,2014,31(2):512-517.
- [7] 杨毅. 导电聚合物驱动器的系统辨识和运动控制[J]. 中南大学学报:自然科学版,2014,45(4):1085-1090.
- Yang Yi. Model identification and motion control for conducting polymer actuators[J]. Journal of Central South University: Natural Science,2014,45(4):1085-1090.
- [8] 吴海燕,曹柳林. 利用离散正交多项式组合神经网络建立聚合物分子量分布灰箱模型[J]. 化工学报,2009,60(11):2833-2837.
- Wu Haiyan, Cao Liulin. Grey box model of polymer molecular weight distribution using hybrid discrete orthogonal polynomial neural network[J]. CIESC Journal,2009,60(11):2833-2837.
- [9] Dutilh V, Dessein G, Alexis J, et al. Links between machining parameters and surface integrity in drilling ni-superalloy[J]. International Journal of Advanced Materials Research,2010,112:171-178.
- [10] Popa A, Dessein G, Baili M, et al. Investigation of tool failure-modes and machining disturbances using monitoring signals[J]. International Journal of Advanced Materials Research,2012,423:128-142.
- [11] Bustillo A, Correa M. Using artificial intelligence to predict surface roughness in deep drilling of steel components[J]. J Intell Manuf,2012,23:1893-1902.

过模块的细分,就可以采用相同的制造工艺来生产不同尺寸的公交车,尽管目前车身最大长度为 9.5 m。

欧洲委员会强调, Modulos 是 12 个环境指示物之一,环境指标是评估欧洲绿色资本奖项(European Green Capital Award)的一部分。

因汽车尾气排放造成的空气污染已成为全球共同关注的问题。大量研究表明,电动车相比常规燃油汽车在能效和减排方面有明显优势。公交车作为主要城市交通工具,其电动化和塑料化,对实现交通能源结构多元化,维护国家能源安全,减轻汽车排放污染,保障社会可持续发展有着重要意义。(中国色母粒网)