

基于聚合物动态三螺杆挤出机的改性塑料制备新技术^{*}

何和智 闫卫斌 王 瑗 秦雪奎

(华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心,广州 510640)

摘要 利用动态三螺杆挤出机来制备增强、增韧聚丙烯,并通过对共混物性能的分析,说明了振动力场对于共混物力学性能的提高及共混组分的均匀分散起着重要的作用。

关键词 动态三螺杆挤出机 动态共混 振动力场

聚合物性能的好坏与其形态结构密切相关。填充聚合物是一种多相结构,相与相之间互相影响。填充物分散到聚合物基体中,混合越好则共混物性能越好。聚合物动态三螺杆挤出机从塑化混炼挤出机理上突破了传统设计思想的局限性,创造了一种在聚合物物料输送过程中引入振动力场以强化物料塑化混炼效果的方法,是一种多螺杆振动力场诱导的塑化混炼挤出设备。

1 动态三螺杆挤出机的研究^[1,2]

1.1 单、双螺杆挤出机的局限性

尽管单、双螺杆挤出机已有很大的发展,但仍有其局限性。单螺杆挤出机混炼功能弱,难以用于加工粉料,共混物的质量不易控制,产量相对较低。对于双螺杆挤出机来说,一方面,作为混炼使用的同向双螺杆挤出机同样无法克服螺杆的背压较低的现象,因而多用来加工密实性较低的塑料原料,而无法加工密实性较高的透明型物料。另一方面,根据常规螺纹元件几何学,对自扫型啮合同向双螺杆螺纹元件,一旦顶角和螺纹头数确定,则螺槽深度和螺杆直径的比值就相应确定。在螺杆转速一定的条件下,若想通过增加螺槽深度以提高挤出流量、增加产量,则必须相应增加螺杆直径。由于螺杆几何学的复杂性,同向双螺杆螺棱侧面角必须等于啮合角,即推进侧面和拖曳侧面形状相同,从而使得螺槽深度受到限制。

同样由螺杆几何学可知,啮合异向双螺杆常规螺纹元件的螺棱侧面角无需等于啮合角,螺杆侧面角可以在一个大的范围内自主的选择,并且在中心距一定的情况下,可以使用三头螺纹,这在一定程度上增加了螺杆的输送能力,但程度有限,不能满足生产日益增长的需要。此外,随螺槽深度的增加,由于塑料热传导性能差,物料在深的螺槽中受热不均匀,每个螺纹料腔中可能存有大量的“静态”物料,从而导致不均匀塑化。虽然提高螺杆转速可以降低“静

态”物料的存在,但速度过高,会引起层状过热,以至引起流痕变粗,使得加工出来的物料表面扭曲,制品表面质量差。若增加螺杆长径比,则因为螺杆支撑属于悬臂梁结构,如果支撑轴承和螺杆材料刚度不够,将产生螺杆径向跳动,从而长径比也受到了限制。

1.2 三螺杆挤出机及多螺杆挤出机的发展

目前虽已研发了新型螺杆来提高单、双螺杆挤出机的混合能力,在提高混合质量和产量方面都取得了很大的提高,并得到了广泛的应用。但是随着共混改性的发展,要求混合物中组分物料进一步细化,以达到更好的分布效果和分散效果,新型螺杆的提升能力还是有限。而如果采用小直径、短长径比的多螺杆组合,则可以在不产生“静态”物料的前提下,增加流道的有效横截面积,使挤出流量增加。

三螺杆挤出机除具有双螺杆挤出机的塑化能力强、混合效果好及有较好的自洁性能等优点外,与双螺杆相比,螺杆每旋转一周都会增加物料混炼、均化、揉捏和剪切的次数,设备的混炼、熔融和分散混合的能力更强,因而尤其利于多相多体系物料的共混改性和连续挤出成型。三螺杆挤出机螺杆在机筒中的排列有一字排列、V字排列和正三角形排列三种。螺杆的啮合区增多,碾压剪切面积成倍增加。螺杆在运转中可对物料构成高效的挤压、破碎、揉捏、压延和拉伸作用。正是这种高效的捏炼作用,使三螺杆无需单螺杆或双螺杆的大直径或大长径比,就可获得与大直径或大长径比的单、双螺杆挤出机同等质量同等产量的生产效能。由于三螺杆挤出机具有高效的混合特性、结构的紧凑性和良好的经济性,其在挤出机领域正被逐渐推广应用。随着挤出机的发展,目前出现了三螺杆挤出机、四螺杆挤出

^{*} 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20030561014)

收稿日期:2006-09-22

机、行星螺杆挤出机等多螺杆挤出机。

1.3 动态三螺杆挤出机的发展

一直以来,传统的螺杆挤出机研究和开发的焦点主要集中在挤出机的螺杆,通过加大螺杆直径和长径比,在螺杆上增设各式各样的混合、混炼元件及改善螺杆表面质量等方法来达到改善塑化效果,提高产量的目的。然而,随着长径比和螺杆数目的增多,对机器的制造精度、结构设计和驱动功率的要求越来越高,成本相应增加,稳定性也相对降低,并且通过大长径比和增加螺杆数目来实现各种工艺要求的设计思想存在一定的局限性。为了能够顺利完成加料、输送、压缩、塑化、混炼、排气、均化等一般挤出机的功能,同时又满足制造工艺尽量简化、成本降低的要求,华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心瞿金平教授及其研发团队研制开发了新型聚合物动态三螺杆挤出机,在该方面取得了新的突破。该聚合物动态三螺杆挤出机从塑化、混炼挤出机理上突破了上述设计思想的局限性,创造了一种在聚合物物料输送过程中引入振动力场以强化物料塑化、混炼效果的方法,是一种多螺杆振动力场诱导的塑化混炼挤出设备。

1.4 动态三螺杆挤出机的结构、工作机理

(1) 动态三螺杆挤出机的结构

图1为目前已形成系列的动态三螺杆挤出机的结构示意图。

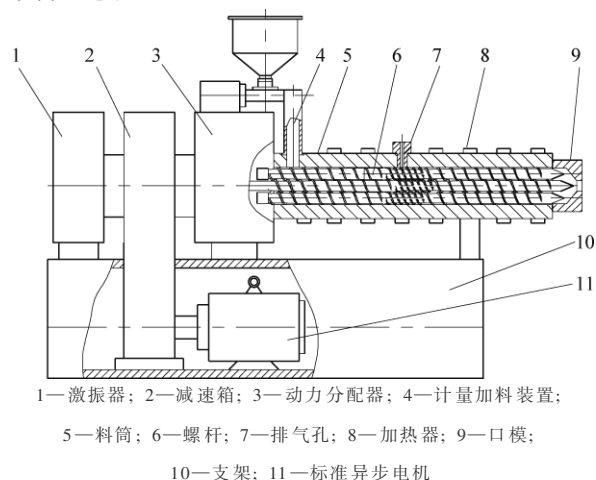


图1 动态三螺杆挤出机的结构示意图

从图1可以看出,三个螺杆一字排列,大小相等,中间螺杆的动力传递轴穿过副螺杆的动力分配器和减速箱的输出空心轴,与减速箱的输出空心轴后端连接在一起的直线滚动花键使其做旋转的同时亦可做轴向脉动。专门设计的激振器对中间主螺杆

的动力传递轴来进行激振,实现了振动频率和振幅可作为两个独立的参数进行分别控制。减速箱的输出空心轴的前端驱动动力分配器,动力分配器再驱动另外的两个副螺杆。

(2) 动态三螺杆挤出机的工作机理

图2为同向动态三螺杆挤出机物料流动示意图。

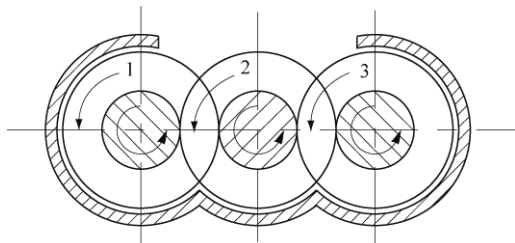


图2 同向动态三螺杆挤出机物料流动示意图

在动态三螺杆挤出机中,一字排列的三个螺杆的啮合区有两个,而双螺杆仅有一个啮合区,因此动态三螺杆挤出机的组合相当于两个双螺杆。对于同向旋转的动态三螺杆挤出机来说,相互啮合的螺杆之间的固体输送类似于同向双螺杆挤出机,但又有所不同。从图2看出,当物料位于第一根螺杆的位置时,将被第1根螺杆带向第1根螺杆与第2根螺杆的啮合区的下方,在此物料受到一定的阻力进行预压,然后又被第2根螺杆接过去带回上方进行输送。如果该物料还未被输送,结果又被第2根螺杆带向第2根螺杆与第3根螺杆的啮合区的下方,物料再次受到一定阻力的预压,最后被第3根螺杆接过去带回上方进行强制输送。当物料位于第2根螺杆的位置时,物料被第2根螺杆带向第2根螺杆与第3根螺杆的啮合区的下方,在此物料受到一定的阻力进行预压,然后被第3根螺杆接过去带回上方进行强制输送。因此物料在螺槽中既有单螺旋型,又有双螺旋型前进。这个过程与单螺杆挤出机类似,主要靠物料与料筒的摩擦力来输送。如果物料与螺杆的摩擦系数大于物料与料筒的摩擦系数,物料将在螺槽中出现打滑现象,此时螺杆每旋转一圈物料前进不到一个螺距,但三螺杆啮合区多,一根螺杆的螺棱有阻止另一根螺杆上的物料打滑的趋势。并且由于振动力场的引入,减小物料的内摩擦系数,增加其“流动性”,因而物料快速堆积,松散度变小,在摩擦拖曳和正位移输送的作用下,物料的轴向输送能力就比较强。

聚合物动态三螺杆挤出机的工作特点是在中间螺杆上引入振动力场,使其在转动的同时并做轴向

脉动。振动的引入对于分散混合区来说不再是小尺度的扰动,而是剪切速率随时间周期性变化,导致分散混合区物料界面拉伸,产生相应的振动。在压延间隙内,熔体被两螺杆间的运动拉入压延间隙进行动态压延混合,物料被强化混炼;在螺棱侧间隙内,拉伸力场与剪切力场的共同存在,使得螺棱侧间隙内混合效果显著提高,振动还会导致侧间隙内流量增大。由于中间螺杆的轴向脉动,螺杆之间形成的轴向齿间啮合间隙实现周期性变化,使物料在输送过程中受到复杂的剪切作用的同时还受到周期性脉动积压研磨作用,瞬时变化的剪切速率和压力将产生耗散热能,使物料的熔融和混炼加强,达到强化分散混合的目的。周期性的振动对高分子链及链段可产生周期性的、多方向的瞬时负压冲量与扩散,使熔体的粘性和弹性降低,输送熔体时阻力减小,挤出压力减小,挤出胀大减少。又由于物料在振动状态下相界面更新频率显著增加,相间的传质与传热大大加强,从而塑化混炼挤出过程所需要的能量减少,在机筒内停留时间短,挤出温度低。

目前虽然已出现了多种类型的动态三螺杆挤出机,但还是以啮合同向的动态三螺杆挤出机为主。一方面,啮合同向三螺杆挤出机因其优异的分散性混合和分布性混合性能,主要用于聚合物改性,如共混、填充、增强和反应挤出等混合作用。另一方面,啮合同向三螺杆挤出机具有良好的自洁性能,其通过两根全啮合的螺杆在转动过程中相互清洁彼此螺杆表面,使得整个挤出流道内不存在死角,缩短物料停留时间。在某些高速高扭矩应用中,停留时间可以缩短至 5~10 s,可以避免物料在挤出过程中,停留时间过长导致过热降解。因而其共混物性能均一,且产量高,能耗低。

2 动态三螺杆挤出机在共混、混炼中的应用

动态三螺杆挤出机由于其优异的塑化混炼性能已成功应用于生产改性塑料。如(乙烯/丙烯/二烯)共聚物(EPDM)/聚丙烯(PP)共混物的制备、 CaCO_3 填充PP及尼龙6增韧PP等。下面对用动态三螺杆挤出机制备的EPDM/PP共混物的性能进行分析,来反映新设备的塑化混炼效果。

2.1 振频对EPDM/PP共混物性能的影响^[3]

使用动态三螺杆挤出机制备EPDM/PP共混物,实验结果表明,振动力场对共混物性能有很大的影响。

(1) 振频对EPDM/PP共混物力学性能的影响

图3为不同振幅(A)时,振频(f)对EPDM/PP共混物力学性能的影响,其中EPDM/PP=15/85。

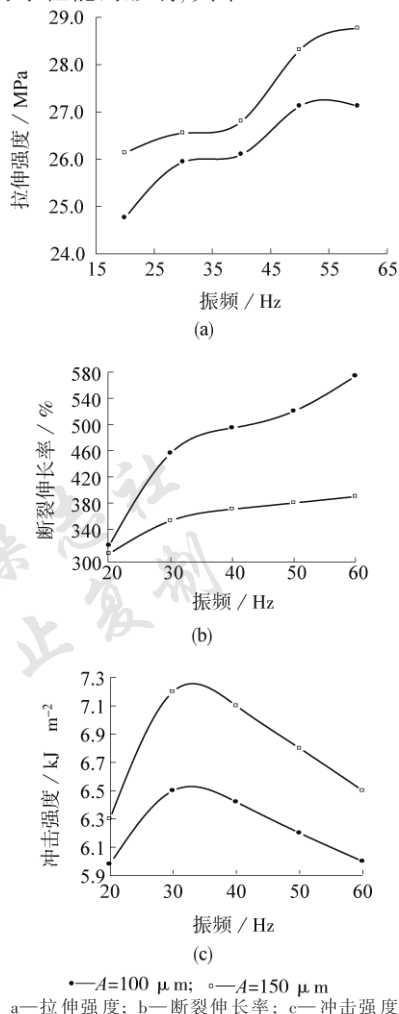


图3 振频对共混物力学性能的影响(转速为100 r/min)

由图3a可知,随着振频的增加,共混物的拉伸强度不断增加。一般而言,拉伸强度与橡胶相EPDM的交联密度有关,EPDM的交联密度越大,共混物的拉伸强度也会增大。由于三螺杆挤出机有两个啮合区,相当于两套同向旋转的双螺杆,经定量送料系统进入的物料被两套螺杆间的运动拉入压延间隙和侧间隙并进行高的剪切作用和拉伸作用,在振动力场的作用下,该间隙随时间作周期性变化,使得剪切速率和拉伸速率也产生周期性变化,随着振频的增加,剪切速率和拉伸速率的变化也增加,且变得更为复杂,在复杂而又增强的剪切作用下,EPDM的交联密度不断增大,形成的物理交联点越来越多,故宏观上表现为共混物的拉伸强度增大。

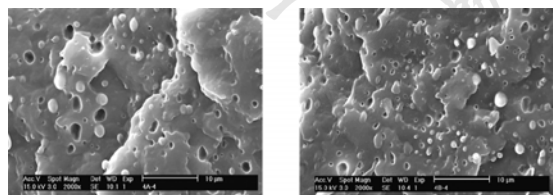
由图3b可知,随着振频的增加,共混物的断裂伸长率有一定程度的增加。根据聚合物动态三螺杆

挤出机的工作特点,即其中间螺杆的轴向脉动,使螺杆之间形成的轴向齿间啮合间隙实现周期性变化,物料在输送过程中受到复杂的剪切作用的同时受到周期性脉动积压研磨作用,瞬时变化的剪切速率和压力将产生耗散热能,使物料的熔融和混炼加强。随振频的增加,振动强度不断增大,振动力场在整个体系的共混剪切作用增强,交联的 EPDM 颗粒在高剪切力下粒径变得更加细小,在 PP 基体中分散得更加均匀,故共混物的断裂伸长率也有所增加。

由图 3c 可知,随着振频的增加,共混物的冲击强度是先上升后下降。这是因为随振频的增加,剪切作用越来越强烈,橡胶相粒径越来越小,分布越均匀,所以冲击强度上升。但是在剪切过程中还存在着连续相即塑料相高分子链的断裂过程,当振频超过一定值时,剪切作用过强,塑料相的分子量减小掩盖了橡胶相粒径变小和分布均匀这些有利因素,导致共混物的冲击强度下降。

(2) 不同振频时 EPDM/PP 共混物的形态结构

图 4 为当 $A = 150 \mu\text{m}$, 转速为 100 r/min 时,不同振频下 EPDM/PP 共混物的放大 2000 倍的扫描电镜照片。



(a) (b)

a— $f = 20 \text{ Hz}$; b— $f = 40 \text{ Hz}$

图 4 不同振频时共混物的扫描电镜照片

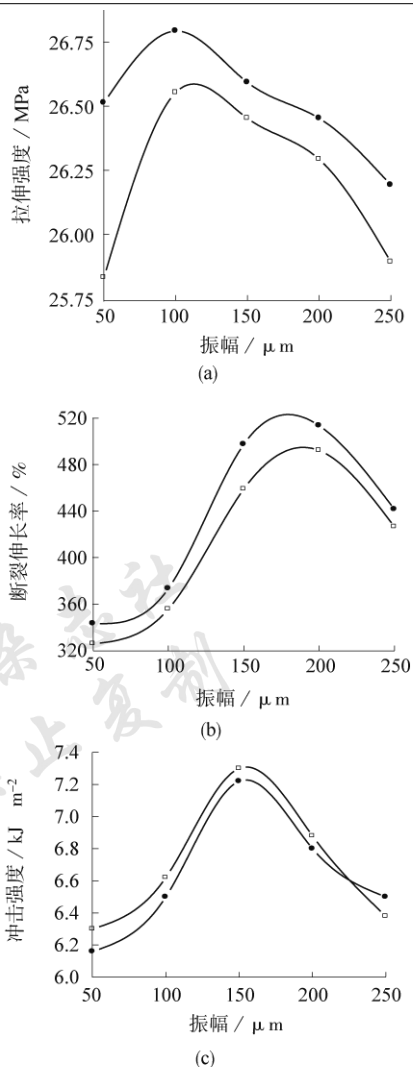
由图 4 可知,频率为 40 Hz 时,共混物试样断面更为光滑,EPDM 颗粒分布得更均匀一些,表现出较好的微观形态结构,这与其较好的力学性能相一致。

由以上分析可知,振频高一些的共混物其力学性能也好一些,这是因为其混合作用增强了。随着振频的增加,剪切速率增加,剪切作用增强,粘度降低,熔体混合得更为均匀。

2.2 振幅对 EPDM/PP 共混物性能的影响

(1) 振幅对 EPDM/PP 共混物力学性能的影响

图 5 为振幅对共混物力学性能的影响。从图 5a 可以看出,随振幅增加,拉伸强度先增大而后减小。这是由于振动力场对 EPDM/PP 共混物的影响机理相当复杂,其不仅影响 EPDM 相的交联密度,对基体 PP 也有重大的影响作用。随着振幅增加,



●— $f = 30 \text{ Hz}$; □— $f = 40 \text{ Hz}$

a—拉伸强度; b—断裂伸长率; c—冲击强度

图 5 振幅对共混物力学性能的影响(转速为 100 r/min)

振动强度迅速增大,当振幅超过 $100 \mu\text{m}$ 以后,振动力场的强剪切作用使得 PP 断链,分子量减小,从而导致共混物的拉伸强度下降。

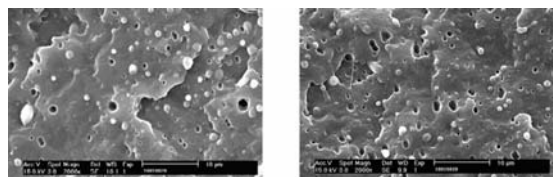
从图 5b 可以看出,随振幅增加,共混物的断裂伸长率先增加后减小。振动力场的引入对共混物产生了重大的影响,随着振幅的增加,振动强度变大,振动力场对整个体系的共混剪切作用大大增强,交联的 EPDM 颗粒被粉碎得更细小,导致分散相 EPDM 的交联密度增加,在 PP 基体中分散得更加均匀,因而共混物断裂伸长率也有了增加的趋势。同样,当振幅较大时,其断裂伸长率略有下降,原因是高强度的振动使 EPDM 颗粒被剪切得过细,故其断裂伸长率有所降低。

由图 5c 可知,随振幅增加,共混物的冲击强度有上升的趋势。但是,当振幅超过 $150 \mu\text{m}$ 时,冲击

强度下降,这与 PP 基体中分子链段的断裂而导致分子量的减小有关。

(2) 不同振幅时 EPDM/PP 共混物的形态结构

图 6 为当振频为 20 Hz、转速为 100 r/min 时,不同振幅下共混物放大 2000 倍的扫描电镜照片。



(a) (b)

a— $A = 100 \mu\text{m}$; b— $A = 150 \mu\text{m}$

图 6 不同振幅时共混物的扫描电镜照片

比较图 6a 和图 6b 可知,振幅为 150 μm 的比振幅为 100 μm 的粒度直径更小一些,且分布得更为均匀一些,这与其较好的力学性能相一致。

总之,随着振幅的增加,共混物的力学性能有所

上升。因为振幅增加,剪切作用增强,粘度降低,熔体混合得更为均匀。

3 结语

动态三螺杆挤出机避免了传统双螺杆挤出机的许多缺陷,是一种加工制造方便、能耗低、成型共混制品质量高的新一代塑料成型加工设备,有着优异的塑化、混炼功能。它的产业化研究与开发对目前国内外传统的塑料成型加工技术及设备是一大促进,将产生较好的社会效益、经济效益和环境效益。

参考文献

- 1 瞿金平. 聚合物动态塑化成型加工理论与技术(上、下卷). 北京: 科学出版社, 2005.
- 2 瞿金平, 何和智. 多螺杆振动力场诱导塑化混炼挤出方法和设备. 专利申请号: CN 20051003262507. 2005-01-20
- 3 陈军辉. 振动力场下作用下同向三螺杆挤出机计量段流场的数值模拟与实验研究: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2006

NEW FABRICATION TECHNIQUE OF MODIFIED PLASTIC BASED ON POLYMERIC DYNAMIC TRI-SCREW EXTRUDER

He Hezhi, Yan Weibin, Wang Yuan, Qin Xuekui

(The National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing,

South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT Dynamic tri-screw extruder was used to blend and prepare toughened reinforced PP. The property of the product was analyzed. Results showed that vibrating force field played an important role in improving the mechanical property of cross blend material and distributing ingredients evenly.

KEYWORDS dynamic tri-screw extruder, dynamic blending, vibrating force field

诚邀 2007 年中国工程塑料加工应用技术研讨会共同主办单位

中国工程塑料工业协会加工应用专业委员会隶属于中国工程塑料工业协会,是一个跨地区、跨部门、跨行业、跨学科的,本着自愿原则,以工程塑料加工应用为纽带,集工程塑料原料生产、加工、应用,仪器设备及模具制造的企事业单位于一体的社团组织。其宗旨是贯彻为行业、为企业服务的原则,产学研相结合,通过经济技术研讨,新产品开发、技术改造、难题招标等多种交流形式,推动我国工程塑料行业的发展,同时促进大专院校、科研院所与生产企业之间的相互了解和合作。

中国工程塑料工业协会加工应用专业委员会自 1999 年 12 月在上海成立以来,每年均举办一次技术研讨会,历届研讨会参会代表均在 200 多人。参会代表既有从事塑料生产加工应用、设计的工程技术人员,又有相关管理人员及市场开拓、销售人员,参会单位覆盖塑料行业的上、中、下游的相关企事业单位及大中专院校。中国工程塑料加工应用技术研讨会已成为塑料行业人士进行技术、信息交流,产品宣传推介及技术成果转让等活动的平台,得到了塑料行业人士的广泛认可。

中国工程塑料工业协会加工应用专业委员会自成立后不久,其影响力及宣传广告效应便被塑料行业的相关企事业单位所看重,许多单位要求同专委会共同举办中国工程塑料加工应用技术研讨会。事实也证明,研讨会的召开对宣传共同主办单位的产品、扩大其在塑料行业内的影响力及知名度等均起到了极大的作用。例如专委会已分别同北京福田建材机械有限责任公司、郑州大学橡塑模具国家工程研究中心、余姚市人民政府、四川大学、泰山玻璃纤维股份有限公司、承德市金建检测仪器有限公司等单位进行过密切合作。

为高质、高效的举办好 2007 年中国工程塑料加工应用技术研讨会,中国工程塑料工业协会加工应用专业委员会拟于 2007 年起公开邀请并优选共同主办单位,有意向的单位请尽快与我们联系。

联系人: 李桂珍 张 锐 孙安垣

联系电话: 0531-85878057, 85878278

传真: 0531-85947355, 85878224

E-mail: epa@epa1973.com 网址: www.epa1973.com