



## 关于大气污染控制技术的 几点思考\*

文 / 陈运法<sup>1</sup> 朱廷钰<sup>1</sup> 程 杰<sup>2</sup> 陈进生<sup>3</sup> 马金珠<sup>2</sup> 刘海弟<sup>1</sup>

1 中国科学院过程工程研究所 北京 100190

2 中国科学院生态环境研究中心 北京 100085

3 中国科学院城市环境研究所 厦门 361021

**【摘要】** 中国的大气污染已处于传统煤烟型污染与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{O}_3$ 等二次污染物共存的区域性复合型污染阶段。大气污染控制不仅要充分考虑治理 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、可吸入颗粒物的技术创新,更应及早布局开展形成二次污染物前体物的控制技术研究与应用。

**【关键词】** 大气污染,控制技术,可挥发有机物, $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$

DOI 10.3969/j.issn.1000-3045.2013.03.010

2013年1月,我国部分地区出现大范围、长时间雾霾天气,空气质量明显下降,引起全社会的高度关注。中科院“大气灰霾追因与控制”专项组、中国环境与发展国际合作委员会“区域空气质量综合控制体系研究”专题组对北京强霾污染过程进行了追踪观测分析,对成因进行了溯源研究,结果发现:颗粒物污染严重时, $\text{PM}_{2.5}$ 占绝对主导地位,均占 $\text{PM}_{10}$ 的90%以上,其化学成分包括水溶性无机盐、有机物、黑碳、矿尘等。导致 $\text{PM}_{2.5}$ 生成的前体物以 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 等成分为主,值得关注的是,有机物和硝酸盐所占比例显著升高, $\text{NH}_3$ 和挥发性有机物(VOCs)的排放数据出乎意料。这些分析数据表明,我国大气环境形势十分严峻,在传统煤烟型污染尚未得到有效控制的情况下,以 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{O}_3$ 和

酸雨为特征的区域性复合型大气污染日益突出。大气污染控制从 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 减排阶段跨入以雾霾治理为重点、以多污染物综合高效控制为目标的攻坚阶段,亟待加强污染物控制技术与集成应用。

### 1 严格控制燃煤污染物排放是防治大气污染的重点

巨大的能源消费量和以煤为主的能源消费结构是我国长期以来空气污染的主要成因。我国 $\text{SO}_2$ 排放量的90%、 $\text{NO}_x$ 排放量的67%、烟尘排放量的70%均来自燃煤。据预测,到2015年重点区域GDP将增长50%以上,煤炭消费总量仍将增长30%以上。按照目前的污染控制力度,将新增 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 和工业烟粉尘分别为160万吨、250万吨和100万吨,占2010年排放量的15%、22%和

\* 修改稿收到日期:2013年5月4日

基金项目:中科院战略性先导科技专项课题(XDB05050300)

17%。此外,煤炭消费存在空间分布不平衡、消费结构不合理与清洁高效利用水平较低等突出问题,现有的污染控制力度难以满足改善空气质量的迫切需求,亟待采取更加严格的控制措施。

### 1.1 燃煤电厂污染物排放控制成效显著

燃煤电厂排放是大气污染的首要污染源。“十一五”期间,尽管火电装机容量增长了10倍以上,但烟尘排放总量略有下降,SO<sub>2</sub>控制取得明显成效,烟气脱硝工程开始加速建设,NO<sub>x</sub>控制初见成效。根据中国电力企业联合会的统计,2012年火电脱硫装机容量为6.8亿千瓦,占现役燃煤机组的90%;脱硝装机容量为2.3亿千瓦,占现役燃煤机组的28%。

我国从20世纪70年代开始研究SO<sub>2</sub>控制技术,80年代中期研发力度加大,1991年在重庆珞璜电厂2台36万千瓦机组上安装了石灰石-石膏湿法烟气脱硫装置。“十五”以后脱硫机组容量快速增长,石灰石-石膏脱硫技术被普遍认同。该工艺采用石灰或石灰石的浆液在洗涤塔内吸收烟气中的SO<sub>2</sub>,脱硫效率可达95%以上。其主要缺点是易结垢堵塞、设备部件磨损较严重,尤其副产物石膏难处理,易形成二次污染。此外,值得关注的是海水脱硫技术,可利用海水的自然碱度直接中和吸收烟气中的SO<sub>2</sub>,适用于海边电厂的脱硫,过程简单,吸收SO<sub>2</sub>后的海水经鼓入空气处理后排海。与石灰石-石膏法烟气脱硫相比,海水脱硫技术投资和运行费用低、经济优势显著,但是对燃煤品质要求高,也存在设备腐蚀和脱硫海水重金属含量升高等问题。目前全国有12个燃煤电厂共47套海水脱硫工程投运或在建,总装机容量约为20 GW。

在烟气脱硝方面,低氮燃烧技术在20世纪90年代开始得到应用。低氮燃烧技术设备投资较低,可基本满足GB13223-2003

的排放要求,但单靠该技术无法满足日益严格的排放标准,需要与其他NO<sub>x</sub>控制技术联合使用。选择性催化还原(SCR)工艺具有脱除效率高、系统简单、运行可靠、维护方便、无副产物等优点。因此,随着2012年新《火电厂大气污染物排放标准》的实施以及脱硝电价政策的出台,SCR脱硝技术正在得到快速发展与应用。目前,国内的脱硝机组70%采用了SCR技术,大都采用NH<sub>3</sub>作为还原剂,但NH<sub>3</sub>是一种化学危险品,储运安全与环境风险较高。个别电厂尝试选用尿素作为脱硝还原剂,但运行成本高。另外,运行中的SCR脱硝装置,也发现存在催化剂积灰、下游空预器结垢等问题。

从20世纪80年代中期开始,我国陆续引进FGE、Lurgi等公司的除尘器技术。通过消化吸收和创新,国产电除尘技术发展迅速。袋式除尘技术和设备已实现专业化和标准化,研制的锅炉烟气净化专用特种滤料,也已在工程中成功应用。随着环保要求的提高,布袋除尘器及电-袋复合除尘器相继在燃煤电站得到应用。电-袋复合除尘器是一种有机集成静电除尘和过滤除尘两种除尘机理的除尘装置。前部分的收尘室为电除尘方式,后部分为袋除尘方式,可以保证最大的除尘效率,特别是在控制大气细颗粒物的污染排放方面有其独特的优点。

### 1.2 燃煤工业锅炉和炉窑污染物排放控制

#### 亟待加强

燃煤工业锅炉是中国第二大煤烟型污染源,具有如下特点:首先,燃煤消耗量大,而且多为高灰分高硫煤,污染物排放量巨大;其次,烟筒低矮,烟气低空排放;第三,布局分散,排放的烟气温度高、压力低、组成复杂,含有酸性气体,腐蚀性强。近年来,我国燃煤工业锅炉粉尘控制较为有效,SO<sub>2</sub>污染治理刚刚起步,NO<sub>x</sub>控制则少之又少。因此,现阶段应高度关注燃煤工业锅炉的污染



中国科学院

排放,其难度远大于控制燃煤发电厂锅炉污染。

目前我国仅钢铁、水泥、有色、玻璃、陶瓷行业就有20万台工业炉窑,原煤耗量仅次于电站锅炉、工业锅炉,已成为城市群大气复合污染重要污染源。据估算,2008年钢铁、有色、水泥、玻璃、陶瓷等行业工业炉窑年排放约270万吨粉尘、400万吨SO<sub>2</sub>、200万吨NO<sub>x</sub>,分别占全国排放量的50%、18%、15%,同时这些工业炉窑也是氟化物、氯化物、重金属、二噁英等污染物的主要排放源。以水泥工业为例,2011年我国水泥产量达到20.9亿吨,占世界水泥产量的一半以上,是重点污染行业。随着我国全面提升《水泥工业大气污染排放标准》,水泥企业普遍采用了静电或布袋除尘技术,颗粒物排放量开始得到抑制,但分级燃烧、SNCR等技术应用还缺乏长期稳定运行经验,SCR技术尚不成熟,面临的技术挑战是巨大的,远远落后于燃煤电站锅炉和燃煤工业锅炉的烟气污染控制。

### 1.3 燃煤烟气污染物控制急需创新技术支持

经过多年发展,烟气脱硫技术已相对成熟,脱硫设备、材料的国产化率达到95%以上,脱硫设施及运行成本大幅度降低。今后其发展重点将集中在:开展新型烟气脱硫机理、技术和工艺研究,扩大烟气脱硫技术工业应用研究;开展脱硫副产物综合利用研究,扩展应用领域。目前我国很多脱硫副产物尚无出路,不得不抛弃,从而增加了脱硫成本,导致二次污染。

面对我国NO<sub>x</sub>排放不降反升的迫切局面,烟气脱硝将步入快速发展阶段,但在脱硝技术与装置方面仍有许多问题亟待解决。首先,催化剂是SCR脱硝系统中最关键的环节,约占脱硝工程造价的40%左右,催化剂的自主创新研制、运行再生与失效处置技术有待突破;其次,NH<sub>3</sub>作为一种化学危险品,存在潜在的环境与安全风险,相比之下,CH<sub>4</sub>储量丰富且分布广泛,容易获取,故用CH<sub>4</sub>选择还原NO<sub>x</sub>的工艺具有更加广阔的实用前景和经济价值;第三,目前世界各国都在大力开发新型低温脱硝催化剂和低温脱硝技术,Shell公司研发

的商业化低温NH<sub>3</sub>-SCR脱硝技术,工作温度120℃—300℃,但应用条件十分苛刻(粉尘<10mg/m<sup>3</sup>、SO<sub>2</sub><10ppm),不能满足我国实际需求。因此,科技部“十二五”“863”主题项目“工业炉窑烟气控制”中设置单独的课题研究开发适合我国国情的低温脱硝技术。此外,采用SNCR/SCR联合烟气脱硝技术可以减少催化剂的用量,实现脱硝的经济运行,值得进一步研究;采用烟气同时脱硫脱硝技术要比单独进行脱硫脱硝经济,应加强此类关键技术研究,如活性炭吸附加氨法、电子束法、脉冲电晕等离子法等。

在烟气细粒子控制方面,燃煤电站和工业锅炉多采用电除尘器,但细粒子的粒径太小难以荷电,三电场除尘的脱除效率不高,通常采用增加电场数或将末端电场改造成布袋除尘的方式来提高细粒子的捕集效率;部分电厂新建除尘器完全采用布袋除尘技术,虽然提高了细粒子的捕集效率,但同时却增加了运行阻力和成本。目前,浙江菲达、福建龙净等行业骨干企业致力于推广如旋转电极式电除尘器、烟尘预荷电微颗粒收集装置、低温电除尘器、湿式电除尘器等高效除尘新技术。其中旋转电极式电除尘器和高频电源在电力行业显示出高效的除尘效果。工业炉窑烟气成分复杂、粉尘性质因行业不同差异较大(冶金粉尘通常比电阻更大)、湿度大、部分炉窑(如玻璃陶瓷行业)排烟温度高,决定了工业炉窑细粒子控制与常规除尘控制技术存在差别。布袋除尘在工业炉窑上应用的主要缺点是滤料的耐腐蚀耐高温性能较差。研究实践表明,一种有效的方法是在气溶胶颗粒进入除尘装置前先对其进行预处理,使气溶胶的平均粒径增大,然后在传统除尘器中进行有效脱除。气溶胶微粒在电场、磁场、温度场和声场中都可能产生团聚,声波团聚是其中较为有效的一种方法,是今后发展的一个方向。

## 2 VOCs污染控制成为空气质量改善的关键环节

VOCs排放源包括自然源和人为源。人为源



包括移动源和固定源两大类。移动源是指机动车、轮船、飞机等各种交通运输工具的尾气排放。固定源包括生活源和工业源等。生活源对象复杂,包括建筑装饰、油烟排放、焚烧、燃煤、服装干洗等;工业源涉及行业众多,包括炼油与石化生产、油品(溶剂)储存、运输和销售过程以及有机精细化工产品应用(如涂料、胶粘剂等)等多个环节,为重点控制源。2010年国务院办公厅发布的《环境保护部关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知》,首次提出开展VOCs防治工作,并将一些重点行业VOCs作为防控重点。

## 2.1 工业VOCs控制技术已具备技术积累

VOCs的排放控制技术主要分为回收技术和销毁技术。回收技术包括吸附技术、吸收技术、冷凝技术及膜分离技术等;销毁技术主要有热力燃烧、催化氧化、生物氧化、光催化氧化、等离子体技术等。VOCs的种类繁多、性质各异,所涉及到的污染行业、工艺过程繁杂,污染气体排放情况差异很大,单一的治理技术不可能满足所有VOCs废气的治理要求。目前发展的主流技术有吸附回收技术、催化氧化技术以及由吸附和催化技术集成的吸附浓缩/氧化燃烧技术。

吸附技术利用固体吸附材料选择吸附工业废气中的VOCs进而回收或后续处理,常用于回收高浓度的VOCs和吸附浓缩等工业废气排放控制过程。目前常用的吸附材料有活性炭、活性炭纤维、分子筛等,治理工艺有固定床、移动床、流化床吸附器等。吸附法具有设备简单、操作灵活、去除效率高等优点,是经济和有效的回收技术之一,但存在运行费用较高、易产生二次污染等缺陷。VOCs吸附材料也存在一些技术难点需要突破,如常用吸附材料活性炭存在的着火点低、床层阻力大及成型困难;不可燃硅

系分子筛替代吸附剂的生产成本高、成型难;高湿度条件下吸附剂吸附能力下降等。同时,针对低浓度、大风量VOCs的控制,吸附材料要满足吸附脱附的动力学性能、吸附床层的气流阻力较低等要求,需要发展吸附材料的整体化成型技术。

催化氧化技术是指VOCs在催化剂的作用下完全氧化为 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 等产物的处理技术,可以高效、彻底地处理含有复杂组分的VOCs气体。催化氧化净化装置一般包括传统的催化氧化装置和蓄热式催化燃烧装置。高性能的催化材料是催化氧化技术的关键。一般来说,催化剂活性成分主要包括钯、铂等贵金属,铜、锰、钴等单一过渡金属氧化物和镧、铈等稀土氧化物以及复合氧化物(钙钛矿、尖晶石等)。载体主要有氧化铝、氧化硅、氧化铈、氧化锆等氧化物,沸石,蜂窝陶瓷,金属载体,活性炭纤维等。尽管国内外已有不少催化氧化VOCs的工业实践,但仍缺乏低温起燃性好、稳定性好、抗中毒性能与适应性强的广谱性催化材料与专用催化材料。

## 2.2 餐饮油烟排放应当引起高度关注

有关餐饮过程中VOCs的研究始于20世纪70年代,科学家陆续发现餐饮中VOCs的排放特征及其与健康的相互关系。随后详细的研究发现,油烟中含有100多种有机污染物,包括醛、酮、烃、脂肪酸、醇、芳香族化合物、杂环化合物等。针对2013年1月发生在京津冀的严重雾霾天气,中科院“大气灰霾成因与控制”专项组的检测数据表明,餐饮排放占 $\text{PM}_{2.5}$ 的13%以上,餐饮油烟污染治理成为重要技术需求。

早在2002年,我国就颁布了餐饮油烟中颗粒物的排放标准,由于中国特色高温烹饪,餐饮油烟成分复杂,目前来看执行并不理想。单独强调末端治理,在管理上存在困



中国科学院

难,油烟净化的效果无法保证。因此,要减少餐饮油烟的排放,首先应对抽油烟机进行规范和改造,从源头上控制餐饮油烟的排放。“十一五”期间,科技部“863”计划针对餐饮业排放油烟中油雾及VOCs同时高效去除需要,在《指南》中强调研究开发光催化、等离子体以及其他先进净化技术与成套设备;优化介质或催化材料的结构和性能以及反应器结构与工艺参数的集成,提高油雾净化效率和设备运行可靠性,并进行技术和工程示范。经过多年的实践,发现活性炭吸附法和机械过滤法均存在堵塞清理的难题,需频繁更换吸附材料和过滤材料,成本高,目前已很少使用。等离子体技术和湿法洗涤技术的效果好,易于操作和管理,目前应用最广。

### 2.3 VOCs 控制技术的创新需求

现有 VOCs 控制材料、技术、工艺、设备仍需不断创新发展;VOCs 吸附和催化材料、设备和控制等技术有待突破和创新,核心技术需有机整合和优化;多组分 VOCs 和实际排放条件下的反应规律及反应动力学研究有待加强;现有 VOCs 处理单元设备处理能力小,尚未形成系列化;其工艺设计水平与国外差距较大,关键组件使用寿命短、热效率低、运行可靠性差。开发新型治理设备,提高运行可靠性,发展安全、稳定和高效的自动控制系统是目前的研究重点。

因餐饮油烟含气液固三相,液固相为 0.10—10 $\mu\text{m}$  之间可吸入气溶胶,多数在 1 $\mu\text{m}$  以下,且成分复杂,如脂肪酸、烷烃、烯烃、酮、醛、醇、芳香族化合物、挥发性亚硝胺等,今后的研究重点在于明确油烟颗粒的动态和化学行为,了解对雾霾的贡献机制,重点研究油烟高效分离技术、气相高效分解净化技术和烟气梯级利用排放技术。

## 3 加强大气污染控制前沿技术研究,满足生态建设需求

改革开放以来,我国经济快速增长,但也付出了沉重的资源和环境代价。科技创新可以加快产

业结构的优化升级,有助于破解生态环境保护中的瓶颈问题。面对大气污染的严峻形势,需要及早布局研发一些前沿污染控制技术。

### 3.1 移动源排放前沿控制技术

机动车及船舶等移动源排放已成为导致我国空气质量下降的突出因素。根据近期研究结果,在城市群地区,移动源对 PM<sub>2.5</sub> 的贡献高达 25% 左右。目前,重点关注的解决途径包括:加速提高燃油品质,推进车用燃料的低硫化和无硫化,严格机动车排放法规;加速淘汰“黄标车”,降低在用车尾气排放;发展新能源汽车,推广使用清洁代用燃料;建立全新的城市可持续交通体系。与此同时,建议加强下列技术和政策研究:关注低速汽车和非道路移动源的污染排放,强化车船用柴油发动机排放氮氧化物净化技术和油品品质研究(包括汽油中芳香物等其他污染源),开发颗粒物捕集技术及其联用技术等;从流行病学和毒理学的角度来讲,汽油机的排气颗粒相对柴油机来说,其粒径更小,为此应研发汽油发动机排放污染物高性能三效催化技术、前置吸附-催化技术和后置过滤器等;加强对汽车及加油过程中的 VOCs 排放控制技术研究。

### 3.2 多污染物耦合协同控制技术

目前我国已基本实现主要 SO<sub>2</sub> 源头企业的强制达标排放,而对含 NO<sub>x</sub> 尾气的治理正在积极推进。由于目前多数脱硫装置之后的工业尾气的温度很低,以致于经脱硫后的废气难以采用常见的钒-钨-钛系催化剂进行催化还原脱硝,因此很多企业将使用钒-钨-钛系催化剂进行催化还原脱硝的工段安置在脱硫工段之前,以满足其催化剂 320℃ 以上的起活温度要求。而这样安置带来的直接后果就是脱硝催化剂要耐受废气中高浓度和高碱度粉尘的考验。

在此基础上,很多学者考虑能否设计一些新的功能耦合技术减少各单元的简单串联组合。值得关注的是,通过耐高温的无机模块,在一个反应装置中完成除尘、脱硫和脱硝等多种污染物的去

除操作,这样既缩减了三个独立装置的冗长组合,又能在处理过程中实现三重操作的有效协同。其主要实现方式是:利用多孔无机陶瓷膜材料去除废气中的颗粒物,这样可以有效防止无机粉尘对后续催化模块的毒化和摩擦损害;脱硫层一般选择经特殊金属掺杂和活化的活性炭层,可有效完成 $\text{SO}_x$ 的捕捉;脱硝层则是负载有宽温度范围SCR催化剂的多孔无机膜材,可以在低气阻条件下完成脱硝并实现污染气体的彻底净化。可以乐观地估计,通过一个复合无机膜设备完成多污染物的净化去除将是新型工业尾气净化处理技术的热点之一。

### 3.3 环境大气中典型致霾前体物光催化去除技术

虽然通过各种技术进行末端控制可大幅度削减排放进入大气中的各种污染物,但大气中各种气态致霾前体污染物,如 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、VOCs等浓度仍可达到ppb甚至ppm水平。若从源排放控制技术角度出发,进一步提高排放标准,势必对现有经济技术体系提出严峻的挑战。发展针对大气中低浓度气态致霾前体污染物的环境光催化净化技术具有重要的意义。

光催化技术作为一种“绿色”技术广泛应用于大气和水污染处理。在光子的照射

下,半导体价带中电子受激发跃迁到导带,在价带中形成空穴,电子和空穴分别与 $\text{O}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 或表面羟基作用形成强氧化性的超氧自由基和羟基自由基,从而降解污染物。日本、欧洲等较早地开展了光催化剂去除大气中低浓度NO的研究,开发的光催化剂应用在路面、隧道和建筑物表面,能够有效去除20%—60%的NO。目前已应用的催化剂基本为 $\text{TiO}_2$ ,由于其较宽的禁带(3.2eV)需要紫外光(只占太阳光谱的3%—5%)照射才能激发活性,从而限制了对可见光的利用( $400\text{nm} < \lambda < 750\text{nm}$ ,占太阳光谱的43%)。因此开发具有可见光响应的光催化剂,从而充分利用太阳光能量是光催化领域的研究重点。另外在复杂的大气污染条件下,光催化建筑材料的寿命及对大气环境的影响也是其能否广泛应用的关键。

#### 参考文献

- 1 中国环境与发展国家合作委员会. 信息专报, 2013, (1).
- 2 王志轩, 潘荔, 张晶杰等. 我国燃煤电厂“十二五”大气污染物控制规划的思考. 环境工程技术学报, 2011, 1(1): 63-71.
- 3 王海林, 张国宁, 聂磊等. 我国工业VOCs减排控制与管理对策研究. 环境科学, 2011, 32(12): 3462-3468.
- 4 栾志强, 郝郑平, 王喜芹. 工业固定源VOCs治理技术分析评估. 环境科学, 2011, 32(12): 3476-3486.

### Perspectives on Air Pollution Control Technologies

Chen Yunfa<sup>1</sup> Zhu Tingyu<sup>1</sup> Cheng jie<sup>2</sup> Chen Jinsheng<sup>3</sup> Ma Jinzhu<sup>2</sup> Liu Haidi<sup>1</sup>

(1 Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China)

**Abstract** The air pollution in China has been characterized by the concurrent pollutants of the emissions mainly from burning fossil fuels (such as coal, petrol, and diesel) and the secondary pollutants (Particulate Matter ( $\text{PM}_{2.5}$ ),  $\text{O}_3$ , et al.) formed in atmosphere. The research and development on controlling air pollution should



中国科学院

therefore not only be concentrated in the treatment technologies of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , and respiratory particulate matter but also more importantly in the technology innovation and implementation to reduce the primary emissions that form the secondary pollutants.

**Keywords** air pollution, control technology, particulate matter ( $\text{PM}_{2.5}$ ),  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , VOCs

**陈运法** 中科院过程工程所党委书记、副所长、研究员、博士生导师。1965年出生。法国路易-巴斯德大学材料科学博士。主要从事环境净化材料与应用技术、纳米复合功能材料等研究工作。兼任中国颗粒学会理事长,国家“863”资源环境领域主题专家、国家纳米指导协调委员会委员、*J. Sol-Gel Sci. & Tech.* 副主编等职。发表学术论文200余篇,申请发明专利60余项,获2011国家技术发明奖二等奖等多项奖励。E-mail: yfchen@home.ipe.ac.cn

### 记者证公示

《中国科学院院刊》编辑部杨柳春(女)通过了2012年度新闻记者证核验,特此公示。  
本刊监督举报电话:010-68597111,82614939;新闻出版总署监督举报电话:010-83138277;  
北京市新闻出版局监督举报电话:010-64081164。