

基于雨型的南方城市道路降雨径流污染负荷分析

庄景¹, 罗海琳², 雷禹¹

(1. 中国新型建材设计研究院, 浙江 杭州 310003; 2. 广州市环境保护工程设计院
有限公司贵州分公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要:为研究南方道路降雨径流污染负荷,分析对比了重庆市和苏州市4场典型降雨过程中污染物浓度及污染负荷的变化。结果表明:雨型是污染负荷分布的重要影响因素,Ⅱ型降雨的污染负荷变化相对Ⅶ型降雨与径流量(或降雨强度)变化更为相似;污染物浓度与污染负荷的相关性差,径流量(或降雨量强度)与SS/TSS、TP、Pb的污染负荷存在明显相关性。南方城市道路径流污染控制在截留高浓度的初期雨水的同时,也应从污染负荷方面进行总量控制。

关键词:降雨雨型;城市道路降雨径流;污染负荷;污染物浓度

中图分类号:X52

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2017)02-0110-05

Analysis of road runoff pollution load at Southern City based on the type of rainfall

ZHUANG Jing¹, LUO Hailin², Lei Yu¹

(1. China New Building Materials Design & Research Institute, Hangzhou 310003, China;

2. Guizhou Branch, Guangzhou Environmental Protection Engineering Design Institute Co., Ltd. Guiyang 550081, China)

Abstract: To study road rain runoff pollution load in south china, the changes of pollutant concentration and pollution load during four typical rainfalls at Chongqing and Suzhou were compared and analyzed. The results showed that the rain type was a important influence factor of the distribution of pollution load. The runoff or rainfall change tendency of Ⅶ type rainfall was similar with pollution load of Ⅱ type rainfall. The correlation of pollutants concentration and pollution load was not good. There was obviously correlation between the runoff (or rainfall) and pollution loads of SS/TSS, TP and Pb. The runoff pollution control of southern urban road should also control the pollutants total quantity while intercepting high concentration initial rain.

Key words: the type of rainfall; urban road runoff; pollution load; pollutant concentration

道路降雨径流污染物浓度高,污染负荷大,是降雨径流污染中污染最严重的一类,对地表水体的影响严重^[1],是国内外研究者研究探讨较多的径流污染类别。现国内研究较多的方向为道路降雨径流的初期冲刷效应、污染特征与规律、各类污染物的相关性、影响因素、雨水利用与处理技术等^[1-9]。控制初期雨水被认为是控制径流污染的主要手段。但是,初期雨水目前并无统一界定,实际运用中确定方法多样,例如,以降雨径流前5~10 mm作为初期雨水,降雨最初的10~30 min的径流作为初期雨水,或以30%中含有80%的污染负荷的降雨径流作为初期雨水^[5,10]。相比较,以30%中含有80%的污染

负荷的降雨径流作为初期雨水的界定方法对道路径流污染控制更有效,但实际应用中需要在当地大量实测数据的基础上获得。此外,初始冲刷现象受到多种不确定因素影响,如降雨强度、气候特征、地理条件、污染物的类型等^[1,10]。许多研究者发现道路降雨径流初期效果并不明显或非普遍存在^[3,5,11]。

鉴于以上原因,控制初期雨水并不能从根本上解决道路径流污染的问题,特别是针对大部分初期冲刷效应并不明显的地区。污染控制主要是控制污染物进入环境中的量,故通过研究降雨过程中污染物的负荷分布情况及其影响因素,控制道路径流污染负荷的输入量,可作为控制降雨径流污染新方向。

收稿日期:2016-11-14; 修回日期:2016-12-27

作者简介:庄景(1985-),女,湖南桑植人,硕士,工程师,主要研究方向为水环境治理、环境影响评价。

本文以南方山地城市重庆^[12]、平原城市苏州^[13]道路的 4 场典型降雨作为研究对象,对不同雨型降雨径流过程中污染负荷的分布特征进行对比分析。

1 研究对象选取及雨型分析

目前,共有 5 种设计雨型被广泛使用,分别是芝加哥雨型、三角形雨型、Huff 雨型、Pilgrim 和 Cordery 雨型、模式雨型^[14-15]。模式雨型的划分具有细致、定量的优势,同时能对大量降雨数据进行归类分析,具有较为准确的统计性。模式雨型具有 7 类雨型

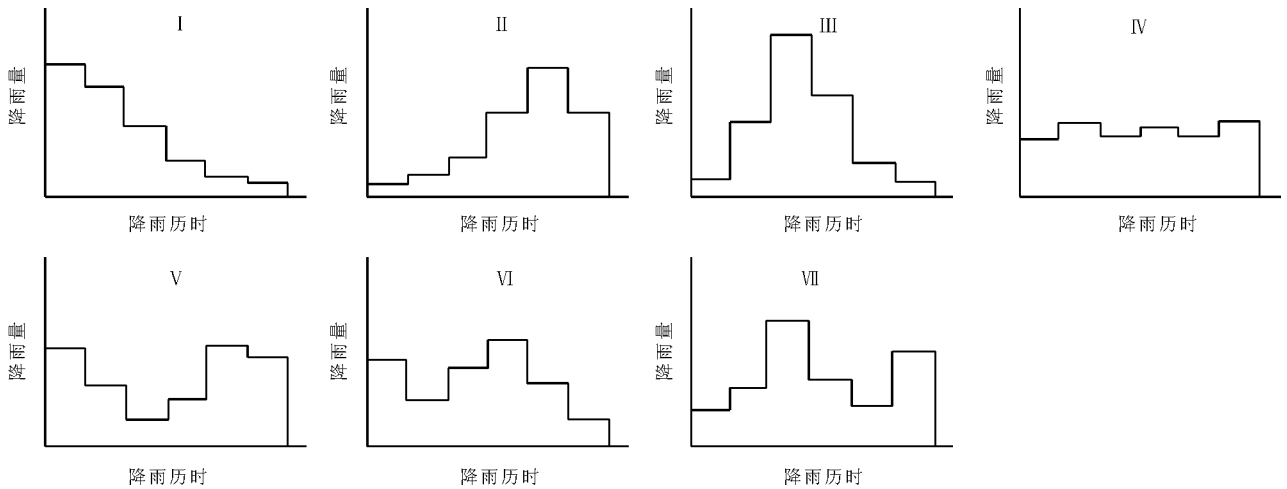


图 1 7 种雨型模式示意图

表 1 4 场降雨的降雨特征

降雨日期	城市	雨型	降雨量/mm	降雨历时/min	平均雨强/(mm·min ⁻¹)	前期晴天数/d	样品数量
2014-03-25	苏州	Ⅶ型降雨	13.7	240	0.0571	3	11
2014-05-10	苏州	Ⅱ型降雨	28.3	420	0.0674	1.5	10
2010-06-19	重庆	Ⅱ型降雨	13.7	165	0.08	8	13
2010-07-09	重庆	Ⅶ型降雨	59.4	90	0.66	3	11

2 污染负荷计算

根据采样时同步测得的径流量或者降雨强度计算对应时段的污染负荷,见公式(1)和(2)。

$$L = \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot c_i \cdot \Delta t_i) \tag{1}$$

$$L = 0.001\psi \cdot A \sum_{i=1}^n (r_i \cdot c_i \cdot \Delta t_i) \tag{2}$$

式中: L 为该场降雨的污染负荷,g; Q_i 为指地表径流在第*i*次采样时的径流量,m³/s; c_i 为指某污染物在第*i*次采样时的浓度,mg/L; Δt_i 为指第*i*次采样与上一次采样的时间间隔,s; ψ 为指径流系数; A 为指径流集雨面积,m²; r_i 为该场降雨在第*i*次采样时的降

(图 1),其中 I、II、III 类为单峰雨型,雨峰分别在前、后和中部,IV 类为大致均匀的雨型,V、VI、VII 为双峰雨型。雨型与降雨历时有很大关系。

根据模式雨型采用目估法对重庆市道路 2010 年 6 月 19 日、2010 年 7 月 9 日,苏州市道路 2014 年 3 月 25 日、2014 年 5 月 10 日 4 场典型降雨进行归类:重庆道路 2010 年 6 月 19 日与苏州市道路 2014 年 5 月 10 日 2 场降雨属于 II 型降雨,重庆道路 2010 年 7 月 9 日与苏州市道路 2014 年 3 月 25 日 2 场降雨属于 VII 型降雨。4 场降雨的降雨特征见表 1。

雨强度,mm/min; n 为采样的总次数。

3 结果与讨论

3.1 污染负荷随时间变化

根据公式(1)或者(2)计算 4 场典型道路降雨过程中各时段的污染物的污染负荷,绘制 4 场典型降雨的径流量(或降雨强度)、污染物的污染负荷、浓度随降雨历时的变化图,见图 2~图 5。

II 型降雨:由图 2 与图 3 可知,除苏州 II 型降雨 Cu 外,其余 II 型降雨污染物的污染负荷最大值均出现在径流量(或降雨强度)的峰值,且各污染物负荷变化趋势基本一致;污染负荷与径流量(或降雨强度)的变化趋势相比污染浓度与径流量(或降雨强

度)的变化趋势更为相似。

Ⅶ型降雨:由图 4 可知,除 Cu 外,其余各类污染物污染负荷变化的拐点与径流量变化拐点基本一致,各类污染物污染负荷与径流量的变化趋势相比污染浓度与径流量的变化趋势更为相似。

由图 5 可知,除 Cu 与 Pb 外,其余污染物的污染负荷最大值均滞后于降雨强度的最大值,但在最大值之前的污染负荷变化的拐点与降雨量的拐点基本一致。

从雨型上对图 2~5 进行共同分析,Ⅱ型降雨污

染负荷与径流量(或降雨强度)的变化趋势相对Ⅶ型污染负荷与径流量(或降雨强度)变化趋势更为相似。此外,从城市所处的地形、典型降雨的总降雨量、降雨历时、平均雨强及前期晴天数分别进行对比分析,并未发现与污染负荷有明显的关联。

3.2 相关性分析

利用 SPSS19.0 软件对污染物浓度、径流量(或降雨强度)与同时段的污染负荷之间 Pearson 相关性进行统计分析,得到的相关性见表 2。

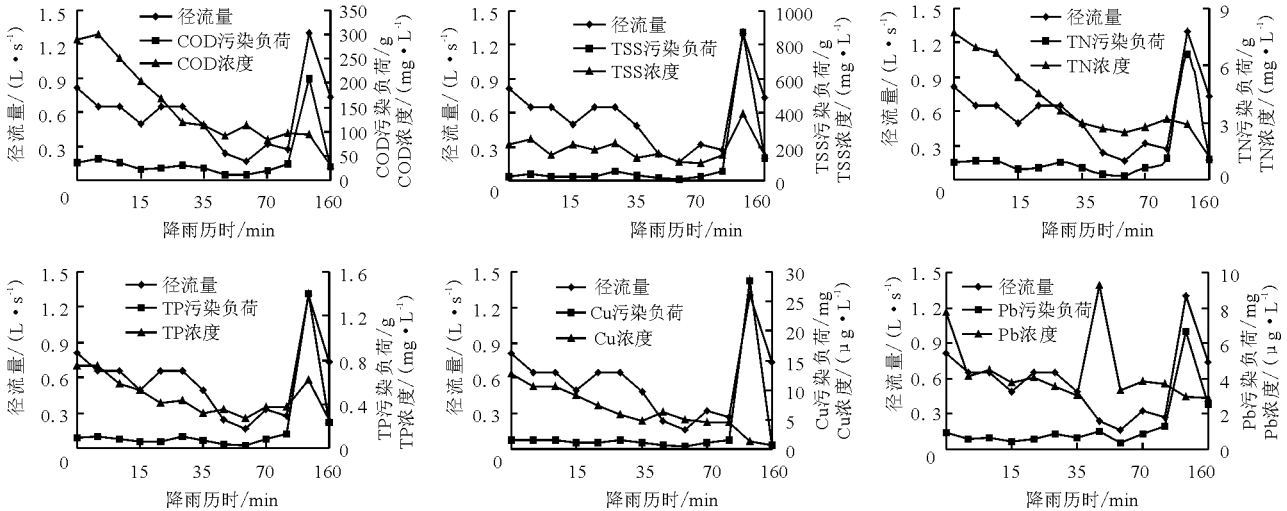


图2 重庆Ⅱ型降雨路面雨水径流污染负荷随降雨径流量的变化

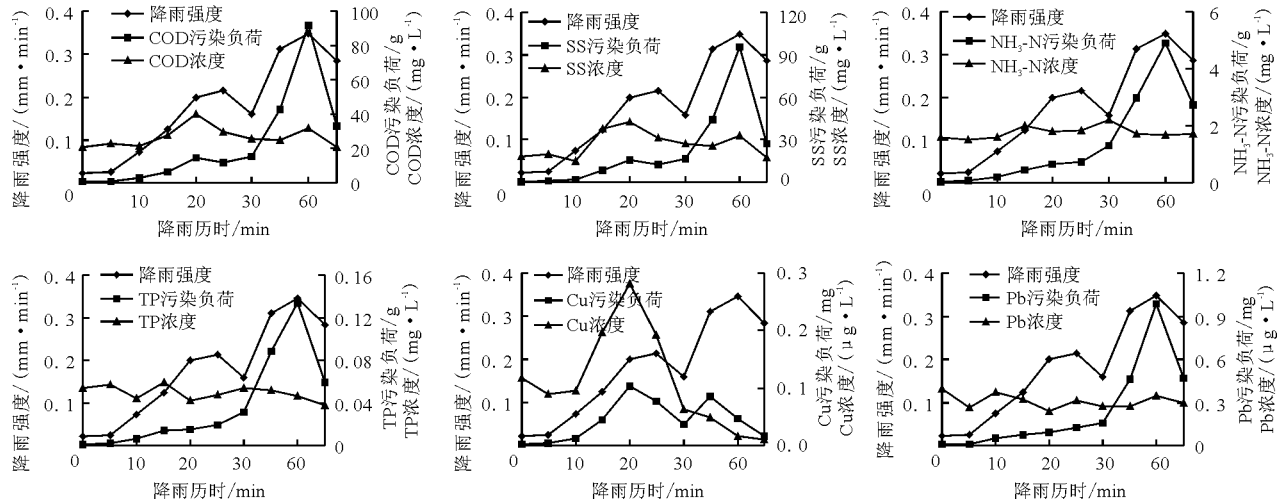


图3 苏州Ⅱ型降雨路面雨水径流污染物负荷随降雨强度的变化

由表 2 可知,Ⅱ型降雨径流量(或降雨强度)与 COD、SS/TSS、TN/NH₃—N、TP、Pb 的污染负荷 Pearson 相关性在 0.749~0.888 之间,且均在 0.01 水平(双侧)上显著相关;Ⅶ型降雨径流量(或降雨强度)与 SS/TSS、TP、Pb 的污染负荷 Pearson 相关性在 0.615~0.830 之间,且在 0.01 或者 0.05 水平(双

侧)上显著相关。Ⅱ型降雨和Ⅶ型降雨的污染物浓度与污染负荷 Pearson 相关性在 -0.525~0.830 之间变化,相关性差。SS/TSS、TP、Pb 污染负荷与径流量(或降雨强度)在Ⅱ型降雨和Ⅶ型降雨中 Pearson 相关性在 0.615~0.843 之间,且在 0.01 或者 0.05 水平(双侧)上显著相关。

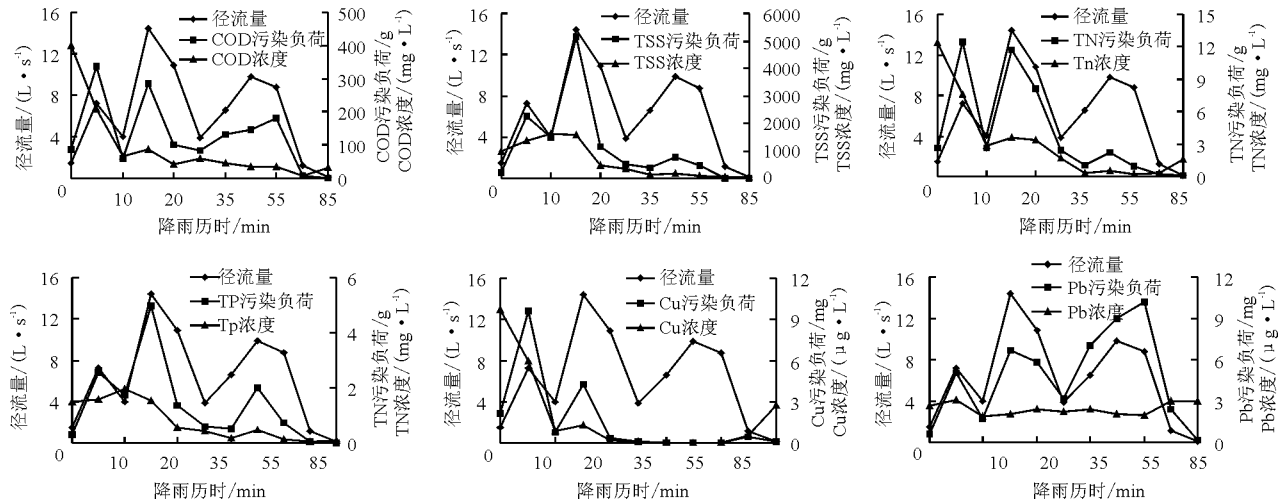


图 4 重庆Ⅶ型降雨路面雨水径流污染物负荷随径流量的变化

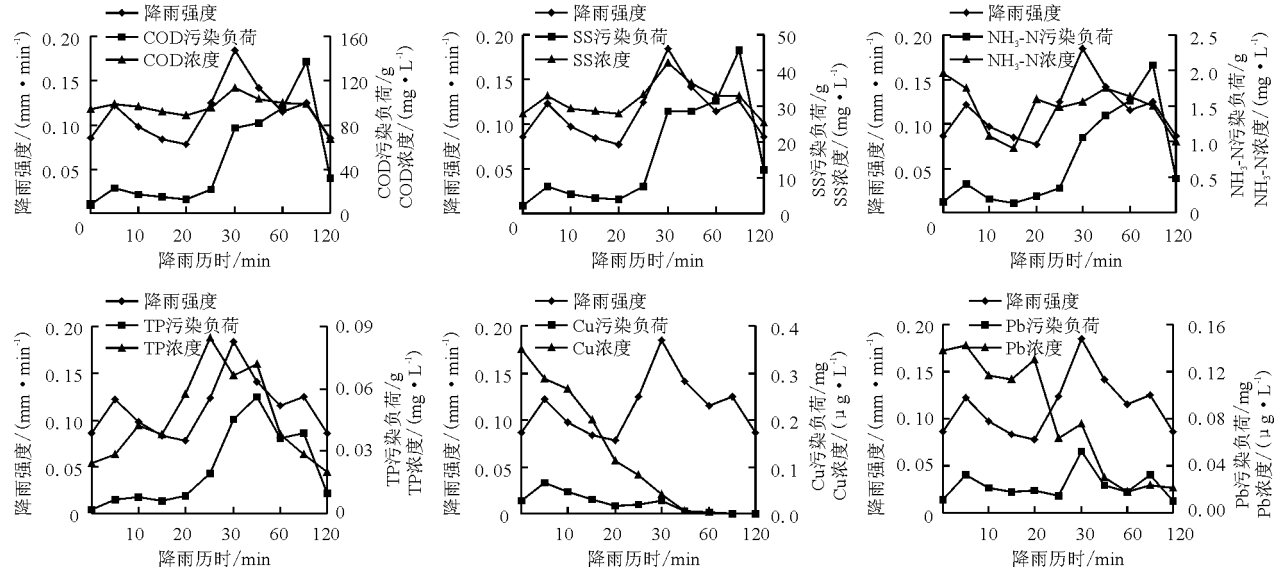


图 5 苏州Ⅶ型降雨路面雨水径流污染物负荷随降雨强度的变化

表 2 路面雨水径流污染物浓度、径流量(或降雨强度)与污染物负荷相关性

污染负荷指标	Ⅱ型降雨				Ⅶ型降雨			
	径流量(或降雨强度)		污染物浓度		径流量(或降雨强度)		污染物浓度	
	重庆	苏州	重庆	苏州	重庆	苏州	重庆	苏州
COD	0.806 **	0.840 **	-0.077	0.278	0.716 *	0.577	0.238	0.415
SS/TSS	0.762 **	0.822 **	0.810 **	0.279	0.719 *	0.615 *	0.737 **	0.590
TN/NH ₃ —N	0.798 **	0.888 **	-0.114	0.021	0.645 **	0.548	0.418	0.272
TP	0.771 **	0.871 **	0.273	0.289	0.785 **	0.780 **	0.599	0.463
Cu	0.746 **	0.572	-0.401	0.512	0.240	-0.009	0.538	0.759 *
Pb	0.749 **	0.843 **	-0.227	0.047	0.793 **	0.830 **	-0.525	0.001

注：“**”在 0.01 水平(双侧)上显著相关;“*”在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

4 结论和展望

(1)雨型是污染负荷分布的重要影响因素。Ⅱ型降雨污染负荷的变化相对Ⅶ型降雨,与径流量(或降雨强度)变化更为相似。城市所处的地形、典型降雨的总降雨量、降雨历时、平均雨强及前期晴天

数对污染负荷的影响并未发现。

(2) 径流量(或降雨强度)与 SS/TSS、TP、Pb 的污染负荷存在明显相关性; II 型降雨径流量(或雨量强度)与 COD、TN/NH₃-N 污染负荷存在明显的相关性; 污染物浓度与污染负荷的相关性差。根据这一性质, 利用当地的降雨资料, 可分析 SS/TSS、TP、Pb 的污染负荷随时间的变化, 通过对径流的截取、净化、排放, 有效控制 SS/TSS、TP、Pb 等污染物的总量。

(3) 借鉴点源污染控制从污染物浓度和总量双管齐下的控制方法, 城市道路降雨径流污染在截留高浓度的初期雨水的同时, 也应从污染负荷方面进行总量控制, 才能有效地减少对环境的污染。

参考文献:

- [1] 张千千, 李向全, 王效科, 等. 城市路面降雨径流污染特征及源解析的研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(2): 352-358.
- [2] 王俊良, 任玉芬, 王雪梅, 等. 城市道路径流的排污特征[J]. 环境科学, 2015, 36(10): 3691-3696.
- [3] 陈莹, 赵剑强, 胡博, 等. 西安市城市主干道路面径流初期冲刷效应[J]. 环境工程学报, 2012, 6(3): 929-935.
- [4] 彭亮, 魏桃员. 武汉市路面径流特征及道路雨水利用分析[J]. 市政技术, 2013, 31(1): 77-79+101.

- [5] 张书函, 孟莹莹, 陈建刚, 等. 城市机动车道路面初期效应及初期径流弃除量探讨[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(9): 100-104.
- [6] 龚敏红, 刘凌. 深圳市振环路南段雨水工程低冲击设计[J]. 中国给水排水, 2014, 30(18): 93-95.
- [7] 范功端, 陈丽茹, 张显忠, 等. 道路雨水污染控制与利用系统研究[J]. 中国给水排水, 2014, 30(11): 151-155.
- [8] 冯萃敏, 米楠, 王晓彤, 等. 基于雨型的南方城市道路雨水径流污染物分析[J]. 生态环境学报, 2015, 24(3): 418-426.
- [9] 徐剑. 道路路面径流污染生态化处治技术应用研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2015.
- [10] 张琼华, 王倩, 王晓昌, 等. 典型城市道路雨水径流污染解析和利用标准探讨[J]. 环境工程学报, 2016, 10(7): 3451-3456.
- [11] 徐沛斌. 高速公路路面沉积物及径流污染特性研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [12] 张千千, 王效科, 郝丽岭, 等. 重庆市路面降雨径流特征及污染源解析[J]. 环境科学, 2012, 33(1): 76-82.
- [13] 袁艳. 苏州城区路面降雨径流污染特征及控制措施研究[D]. 苏州: 苏州科技学院, 2014.
- [14] 范泽华. 天津市降雨趋势分析及设计暴雨研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.
- [15] 牟金磊. 北京市设计暴雨雨型分析[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2011.

(上接第 109 页)

- [9] Wang W L, Blum P, Boulay S, et al. Mineralogy and sedimentology of pleistocene sediment in the south China Sea (ODP Site 1144) [J]. Proc ODP Sci Results, 2003, 184(2): 1-21.
- [10] 薛积彬, 钟巍. 干旱区湖泊沉积物粒度组分记录的区域沙尘活动历史: 以新疆巴里坤湖为例[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 647-654.
- [11] 鹿化煜, 安芷生. 前处理方法对黄土沉积物粒度测量影响的实验研究[J]. 科学通报, 1997, 42(23): 2535-2538.
- [12] Prins M A, Postma G, Weltje G J. Controls on terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the late Quaternary: the Makran continental slope [J]. Marine Geology, 2000, 169(3-4): 351-371.
- [13] 向荣, 杨作升, Saito Y, 等. 济州岛西南泥质区近 2300a 来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化[J]. 中国科学: 地球科学, 2006, 36(7): 654-662.
- [14] 郑洪波, 陈国成, 谢昕, 等. 南海晚第四纪陆源沉积: 粒度组成、动力控制及反映的东亚季风演化[J]. 第四纪研究, 2008, 28(3): 414-424.
- [15] 孙永传, 李蕙生. 碎屑岩沉积相和沉积环境[M]. 北京:

地质出版社, 1986.

- [16] 孙千里, 周杰, 肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(1): 93-95.
- [17] 金章东, 王苏民, 沈吉, 等. 岱海地区近 400 年来的“尘暴”事件——来自岱海沉积物粒度的证据[J]. 湖泊科学, 2000, 12(3): 193-198.
- [18] 沈吉, 汪勇, 羊向东, 等. 湖泊沉积记录的区域风沙特征及湖泊演化历史: 以陕西红碱淖湖为例[J]. 科学通报, 2006, 51(1): 87-92.
- [19] 陈桥, 刘东艳, 陈颖军, 等. 粒级-标准偏差法和主成分因子分析法在粒度敏感因子提取中的对比[J]. 地球与环境, 2013, 41(3): 319-325.
- [20] 马龙, 吴敬禄, 吉力力·阿不都外力. 新疆柴窝堡湖沉积物中环境敏感粒度组分揭示的环境信息[J]. 沉积学报, 2012, 30(5): 945-954.
- [21] 徐树建. 风成沉积物环境敏感粒度指标的提取及意义[J]. 2007, 21(3): 95-98.
- [22] 马龙, 吴敬禄, 温军会, 等. 乌梁素海湖泊沉积物粒度特征及其环境指示意义[J]. 沉积学报, 2013, 31(4): 646-652.