

深圳大工业区初期雨水水质污染特征研究*

赖后伟 黎京士[#] 庞志华 周秀秀 何晨晖

(环境保护部华南环境科学研究所,广东 广州 510655)

摘要 为研究深圳大工业区初期雨水水质污染特征,分别选择深圳大工业区6个功能区作为监测点监测初期雨水中污染物浓度。结果表明:深圳大工业区居住区和商业区初期雨水COD污染最严重,COD最高分别达到1 467.00、1 333.00 mg/L;出口加工区及高科技工业和现代物流业区域的初期雨水TN、TP浓度略低于其他区域。初期雨水中COD、氨氮、TP浓度与SS浓度存在线性相关关系,而TN浓度与SS浓度的线性相关性较差,不同区域随降雨历时变化规律波动各异。深圳大工业区附近河流SS、COD、TN、氨氮、TP浓度受初期雨水影响较大。

关键词 工业区 初期雨水 污染特征 附近河流 功能区

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2016.03.003

The contamination characteristics of first-flush in large industrial district of Shenzhen LAI Houwei, LI Jingshi, PANG Zhihua, ZHOU Xiuxiu, HE Chenhui, (South China Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou Guangdong 510655)

Abstract: In order to study the contamination characteristics of first-flush in large industrial district of Shenzhen, 6 different functional district such as commercial zone, drug manufacturing zone, automobile manufacturing zone, export processing zone, residential zone, Shenzhen Ping Shan River in large industrial district of Shenzhen was choosed to monitor the concentration of pollutants in first-flush. The results showed that the first-flush of residential zone and commercial zone was polluted worst with high COD concentration, the maximum COD concentration of which could reach 1 467.00 mg/L, 1 333.00 mg/L respectively. While the first-flush of export processing zone was polluted most lightly with lowest concentration of TN and TP. The COD, ammonia nitrogen, TP concentration of first-flush had certain linear relationship with SS concentration, while TN concentration had poor linear correlation with SS concentration. The variation of different regions in first-flush with duration fluctuated differently. The concentration of SS, COD, TN, ammonia nitrogen and TP in nearby river of large industrial district was deeply affected by first-flush.

Keywords: industrial district; first-flush; contamination characteristics; nearby river; functional district

初期雨水为降雨初期形成的地面径流,国外称为“first-flush”^[1]。初期雨水具有较高的污染负荷,夹带着地面残留污染物,其COD、氨氮等指标接近甚至高于典型城市生活污水的浓度^[2-3]。近年来,初期雨水所带来的面源污染问题已经引起国内外的关注。初期雨水污染除与降雨强度、季节气候相关而引起的年际变化以外^[4],还与地域和地区功能相关^[5-6]。性质不同的城市功能区,其地表所富集的污染物在数量和性质上均有所不同,初期雨水形成的径流污染特征也有所不同。有研究表明,工业区、商业区初期雨水污染较居民区污染严重得多,尤其是工业区地表径流的初次冲刷效应更显著^[7]。近年来,我国工业区逐渐发展壮大,由于工业种类多样,

下垫面及功能区不同,导致工业区初期雨水成分复杂,不同区域污染特征各异^{[8]1801、[9-11]}。目前,国内外关于初期雨水的研究主要集中于城市雨水,将工业区作为特定研究区域的较少。这主要是由于工业区复杂多样,除存在居民区、商业区外,工业制造、加工业多样,以实际工业区初期雨水作为研究对象受天气、地域等因素制约严重,而模拟不同工业区初期雨水缺乏必要的数据库,这导致工业区初期雨水处理技术研究存在较大困难。

为解决工业区初期雨水污染特征研究不足的问题,课题组选择深圳大工业区6个区域作为初期雨水监测点进行采样,分析在不同下垫面的初期雨水中常规污染物浓度,为工业区初期雨水处理技术研

第一作者:赖后伟,男,1989年生,硕士,助理工程师,主要从事水污染处理研究。[#] 通讯作者。

* 国家水体污染控制与治理重大科技专项(No.2012ZX07206-002)。

表1 深圳大工业区监测点的情况
Table 1 The details of monitoring points in large industrial district of Shenzhen

监测点	具体地点	功能区	备注
1#	坪山文化广场—国惠康	商业区	典型商业区域
2#	兰竹路—创景路	工业区	以化妆品、药物、电子等为主的制造业区域
3#	比亚迪路	工业区	以汽车为主的制造业区域
4#	金牛路—荔景南路	工业区	出口加工区及高科技工业和现代物流业区域
5#	田头老围村	居住区	典型的工业区城中村
6#	坪山河(上洋段)	环境水体	上洋污水处理厂出水口的上游

表2 深圳大工业区1#~5#监测点初期雨水污染情况
Table 2 The concentrations of conventional pollutants in first-flush in large industrial district of Shenzhen mg/L

监测点	COD			TN			氨氮			TP			SS		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
1#	1 333.00	933.30	1 133.00	10.79	6.81	8.65	9.64	6.11	7.95	3.11	2.53	2.86	1 142.00	682.00	968.70
2#	933.30	533.30	711.10	9.93	6.27	7.78	6.82	4.29	5.96	1.45	1.02	1.27	484.00	308.00	402.00
3#	800.00	533.30	711.10	12.49	7.86	10.05	7.46	4.29	5.44	1.40	1.05	1.23	358.00	248.00	318.70
4#	933.30	733.30	822.20	8.47	5.66	6.92	5.70	4.40	4.93	1.10	0.72	0.91	370.00	282.00	324.00
5#	1 467.00	1 000.00	1 178.00	29.43	16.75	21.71	19.64	12.57	15.95	3.16	2.33	2.79	362.00	300.00	323.30

究提供必要的基础数据支撑。

1 材料与方法

1.1 监测点

以深圳大工业区坪山文化广场—国惠康、比亚迪路、兰竹路—创景路、金牛路—荔景南路、田头老围村、坪山河(上洋段)6个区域为主要监测点,分析初期雨水中常规污染物浓度。采样时间集中在7—11月,每月采样1次,每次降雨总量均超过50 mm,7—11月每次采样初期小时降雨强度分别为30.2、25.4、52.5、30.3、35.7 mm,监测点的情况见表1。

1.2 分析方法

暴雨时期在各监测点收集初期雨水,在10、20、30 min时进行取样,而坪山河(上洋段)监测点分别在暴雨期30 min、60 min、1 d进行取样,检测初期雨水中污染物情况,检测指标包括COD、TN、氨氮、TP、SS等常规污染物以及双酚A、汞、铜、锰等毒性有机物和部分重金属指标。

2 结果与讨论

2.1 深圳大工业区各功能区初期雨水的污染特征

深圳大工业区1#~5#监测点前30 min的初期雨水污染情况见表2。

从总体数据上看,深圳大工业区各监测点的初期雨水常规污染物指标已经接近典型城市生活污水处理厂进水水质,甚至COD最高可达1 467.00 mg/L,高于典型城市生活污水的COD,不过略低于中国台湾中心区工业园区的初期雨水COD^{[8]1805}。

由于下垫面与人口流量不同,大工业区商业区的SS质量浓度最高,平均达到968.70 mg/L;商业区及居住区的COD远高于工业区。居住区的TN、氨氮、TP浓度最大值最高,其原因主要是该居住区管理水平低,城中村人口集中,路面堆积物、垃圾较多,污水直排严重,造成氮、磷污染严重,其TN、氨氮、TP最高质量浓度分别可达到29.43、19.64、3.16 mg/L。以汽车为主的制造业区域与以化妆品、制药、电子等为主的制造业区域初期雨水污染情况相近,出口加工区及高科技工业和现代物流业区域的初期雨水TN、TP浓度略低于其他区域。

有研究表明,地面道路径流SS浓度与COD、TN、TP浓度存在一定的线性相关性^[12]。通过对比深圳大工业区初期雨水的SS浓度与COD、氨氮、TN、TP浓度,发现SS浓度与COD、氨氮、TP浓度存在线性相关关系,而SS浓度与TN浓度的线性相关性较差,见表3。

表3 初期雨水中的污染物与SS的线性相关性¹⁾

Table 3 Linear correlation between pollutant ingredient and SS in first-flush

指标	方程	R ²	线性相关性
COD	$Y=0.838\ 1X+310.2$	0.961 2	较好
氨氮	$Y=0.012\ 6X+1.058\ 3$	0.777 4	一般
TN	$Y=-0.002\ 4X+12.821$	0.000 2	较差
TP	$Y=0.002\ 6X+0.281\ 2$	0.928 2	较好

注:1)Y为初期雨水中各污染物质量浓度,mg/L;X为SS质量浓度,mg/L。

大工业区初期雨水除包含常规污染物外,还含有毒性有机物及重金属^[13]。对初期雨水中的

汞、铜、锰重金属进行监测,其结果见图1。从图1可看出,深圳大工业区各监测点初期雨水均检测出汞、铜、锰3种重金属,且汞质量浓度较接近,维持在 $0.06\sim 0.09\text{ }\mu\text{g/L}$;以汽车为主的制造业区域的铜质量浓度最高,达到 0.37 mg/L ;出口加工区及高科技工业和现代物流业区域的锰质量浓度最低,为 0.17 mg/L 。

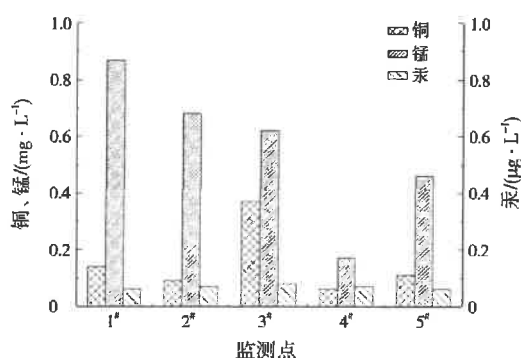


图1 深圳大工业区初期雨水中重金属质量浓度
Fig.1 The heavy metal content of first-flush in large industrial district of Shenzhen

2.2 深圳大工业区初期雨水污染物随时间的变化

深圳大工业区1#~5#监测点COD、TN、氨氮、TP、SS随时间的变化见图2。一般认为,随着降雨历时的进行,雨水径流污染物浓度呈现递减的趋势。从图2可以看出,污染物在不同区域随降雨历时的变化规律是不同的,各监测点初期雨水污染物浓度呈现不同的波动状态。1#监测点在30 min内COD与SS浓度均先降后升,而5#监测点COD与SS浓度先升后降。氨氮、TN浓度在1#监测点呈现先升后降趋势;氮、磷浓度在2#监测点30 min内总体呈上升趋势;氮、磷浓度在3#监测点总体呈下降趋势;在4#监测点TN浓度随时间下降,而氨氮、TP浓度先升后降;5#监测点氨氮浓度先升后降,TN浓度持续上升,而TP浓度总体略有下降。

针对多监测点出现初期雨水污染物浓度随时间波动甚至持续上升的情况,日本学者在对城市初期雨水污染特征研究时也发现,污染物浓度存在随时间上升的现象,其原因可能是:(1)由于下垫面各类污染物浓度不同,降雨强度变化,导致初期雨水中各类污染物浓度出现不一致的波动;(2)由于居住区、商业区、典型城中村地区人口流动大,人为因素将导致初期雨水污染物浓度的波动;而以化妆品、药物、电子等为主的制造业区域的车辆运输,易造成初期雨水污染物浓度暂时增加^[14]。即使有部分功能区

初期雨水污染物浓度在30 min内存在波动,基于国内外研究结果推测,初期雨水污染物浓度在30 min后将逐渐下降并趋于稳定。一般认为,由于降雨强度较大的雨水径流冲刷彻底,将造成初期雨水中污染物浓度在较短时间内达到峰值^[15]。根据检测数据,深圳大工业区初期雨水各污染物浓度在暴雨强度较大的情况下,在更短时间内达到污染物浓度最大值,并在更短时间内达到污染物浓度下降状态。

2.3 深圳大工业区初期雨水对附近水体的影响

深圳坪山河位于深圳大工业区,由于初期雨水冲刷所携带的污染物部分流入坪山河,为探究大工业区初期雨水对附近水体水质的影响,对从降雨开始至降雨结束1 d内的坪山河(上洋段)水质变化情况进行了监测,坪山河(上洋段)在降雨过程中水质变化情况见表4、图3。

表4 坪山河(上洋段)正常情况与降雨时期水质对比
Table 4 The water quality of Ping Shan River between the normal period and rainfall period mg/L

指标	正常	降雨
COD	31.11	33.33
TN	5.01	6.03
氨氮	3.11	1.42
TP	0.71	0.45
SS	40.33	66.67

由表4可以看出,坪山河(上洋段)正常情况下的COD、TN、氨氮、TP、SS平均质量浓度分别为14.60、5.01、0.50、0.22、40.33 mg/L,而监测的降雨期间坪山河(上洋段)COD、TN、氨氮、TP、SS平均质量浓度分别为33.33、6.03、1.42、0.45、66.67 mg/L,分别升高128.3%、20.4%、184.0%、104.5%、65.3%,降雨及产生的雨水径流对坪山河(上洋段)造成了影响,说明雨水初期冲刷所携带的污染物是影响坪山河水质的因素之一,尤其是在降雨间隔较大的情况下,前30 min雨水径流对附近水体造成的影响巨大。

从图3可以看出,在降雨过程中,坪山河SS、COD浓度受初期雨水影响有所上升,TN浓度在30 min内有所下降后逐渐上升,其中SS浓度影响巨大,降雨历时60 min即升高48.8%;而坪山河氨氮、TP浓度受初期雨水影响较小,变化不大。前30 min初期雨水SS、COD、TN、氨氮、TP平均值分别为467.10、911.10、10.56、8.04、1.81 mg/L,分别比降雨前附近河水高1 058%、2 829%、111%、159%、155%,说明坪山河水质受初期雨水影响大。据此,

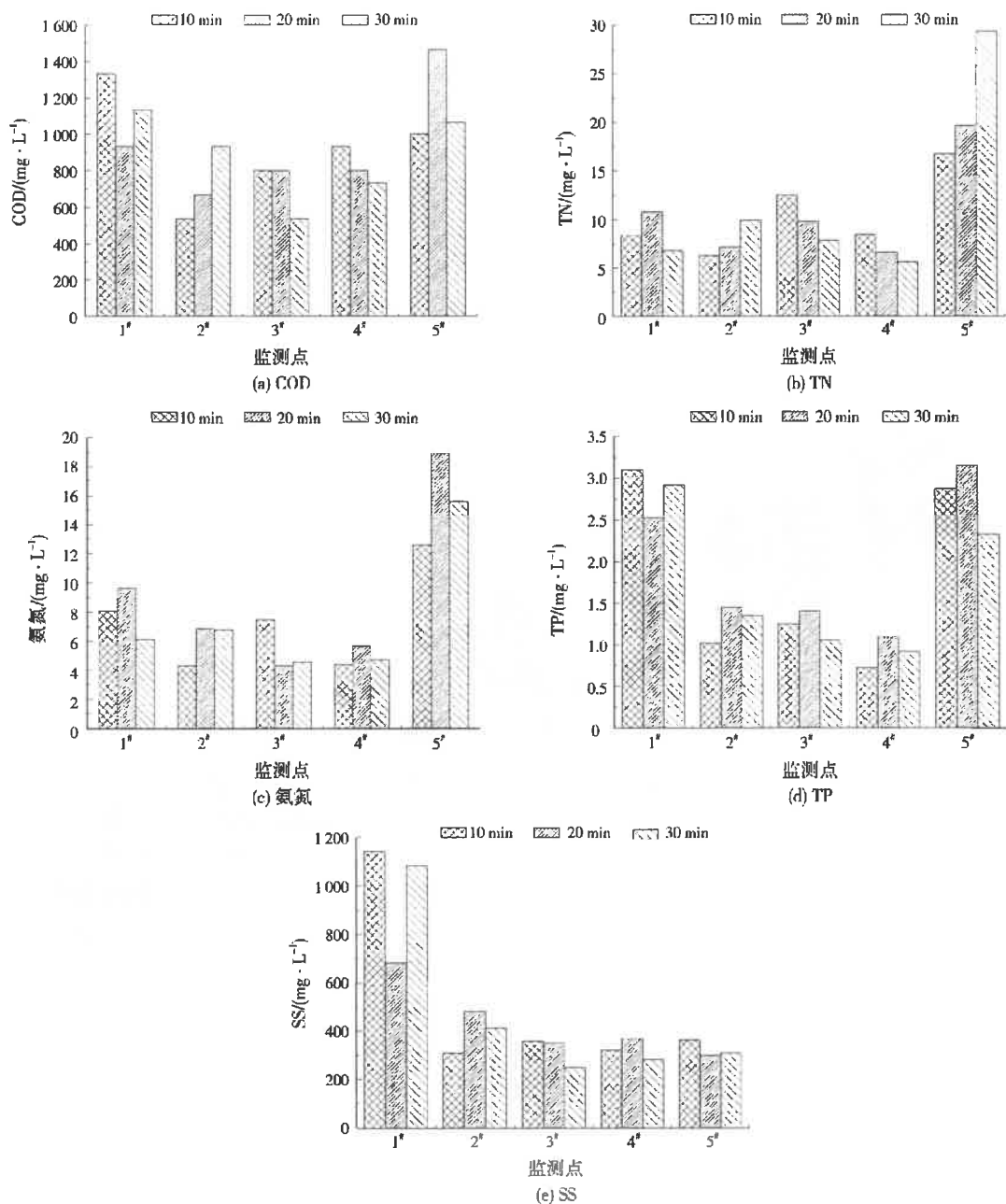


图 2 各监测点常规污染物随降雨历时的变化

Fig.2 The changes in concentration of conventional pollutants in each monitoring points with rainfall

对初期雨水中的毒害性有机物双酚 A 进行监测,发现其达到 $1.49 \sim 4.89 \mu\text{g}/\text{L}$,而河水中的双酚 A 质量浓度为 $165 \text{ ng}/\text{L}$,相差 10 倍以上,推测坪山河水中的双酚 A 浓度受附近大工业区初期雨水的影响大。

3 结 论

(1) 深圳大工业区初期雨水污染严重,COD 浓度高于典型城市生活污水 COD 浓度。深圳大工业区

居住区和商业区初期雨水 COD 污染最严重,出口加工区及高科技工业和现代物流业区域的初期雨水 TN、TP 浓度略低于其他区域。整个大工业区初期雨水中 COD、氨氮、TP 浓度与 SS 浓度存在线性相关关系,而 SS 浓度与 TN 浓度的线性相关性较差。大工业区各区域均检测出微量的汞、铜、镉重金属。

(2) 污染物在深圳大工业区不同区域随降雨历时的变化规律是不同的,各区域初期雨水污染物浓度呈现各异的波动变化。

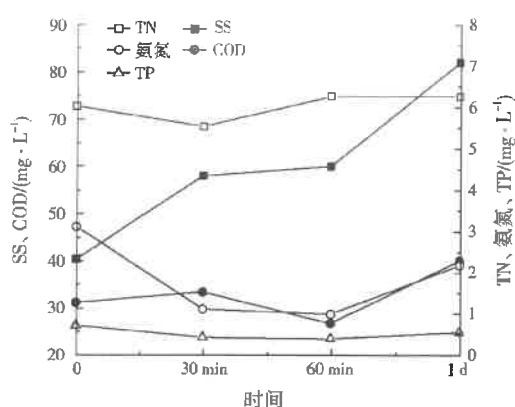


图3 坪山河(上段)在降雨过程中水质变化情况
Fig.3 The changes in water quality of Ping Shan River with the precipitation process

(3) 深圳大工业区各区域初期雨水 SS、COD、TN、氨氮、TP 浓度远高于附近河水,一定程度上影响了附近河水水质。

参考文献:

- [1] 邓志光,吴宗义,蒋卫列.城市初期雨水的处理技术路线初探[J].中国给水排水,2009,25(10):11-14.
- [2] 王肖军.初期雨水调蓄池在城市排水系统中的应用[J].中国给水排水,2012,28(10):45-47.
- [3] LI Liqing, YIN Chengqing, HE Qingci, et al. First flush of storm runoff pollution from an urban catchment in China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, 19(3): 295-299.
- [4] LEE H J, LAU S I, KAYHANIAN M, et al. Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges[J]. Water Research, 2004, 38(19): 4153-4163.
- [5] OBERMANN M, ROSENWINKEI. K H, TOURNOUD M G. Investigation of first flushes in a medium-sized mediterranean catchment[J]. Journal of Hydrology, 2009, 373(3/4): 405-415.
- [6] 吴蓓,汪羽翔,黄玮,等.苏州城区不同功能区地表径流污染特征[J].水资源保护,2007,23(2):57-59.
- [7] KIM S W, PARK J S, KIM D, et al. Runoff characteristics of non-point pollutants caused by different land uses and a spatial overlay analysis with spatial distribution of industrial cluster: a case study of the Lake Sihwa watershed [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 71(1): 483-496.
- [8] CHONG N M, CHEN Y C, HSIEH C N. Assessment of the quality of stormwater from an industrial park in central Taiwan[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, 184(4).
- [9] KACZALA F, MARQUES M, VINROT E, et al. Stormwater run-off from an industrial log yard: characterization, contaminant correlation and first-flush phenomenon[J]. Environmental Technology, 2012, 33(14): 1615-1628.
- [10] 朱凤荣,孙成余.曲靖冶炼厂初期雨水资源循环利用实践[J].云南冶金,2009,38(1):62-64.
- [11] 汪齐,钟良生,何霞.码头机械保养场初期雨水的收集与处理[J].工业用水与废水,2013,44(3):49-50.
- [12] 孙昆鹏,许萍,张雅君,等.深圳市道路径流雨水典型污染物特征及其相关性分析[J].市政技术,2014,32(3):125-128.
- [13] 陆荣海.工业企业初期雨水收集和处理探讨[J].给水排水,2008,34(增刊):262-264.
- [14] ZUSHI Y, MASUNAGA S. First-flush loads of perfluorinated compounds in stormwater runoff from Hayabuchi River basin, Japan served by separated sewerage system[J]. Chemo-

sphere, 2009, 76(6): 833-810.

- [15] 刘华祥.城市暴雨径流面源污染影响规律研究[D].武汉:武汉大学,2009:38-42.

编辑:贺锋萍 (收稿日期:2015-07-02)

(上接第10页)

确定了一种最佳的固化剂配合比,即水泥掺量 10%、粉煤灰掺量 10%、硅灰掺量 15%。该配合比一方面可以解决赤泥堆场占用良田、污染环境、存在安全隐患等一些列问题,同时也使粉煤灰、硅灰等工业污染物得到了合理利用。与传统的二灰法固化技术相比,本研究的创新之处在于掺加硅灰,在一定程度上减小了水泥掺量。并且硅灰颗粒极细,可有效提高赤泥固化体的抗压强度和抗渗性,延长道路使用寿命。固化剂中的粉煤灰和硅灰在不影响固化效果的基础上应以最大量使用,从而节省水泥掺量,达到环境效益和经济效益双赢的目的。

在道路基层施工中,由于赤泥中的碱性成分较高,加入固化剂和水后,容易形成颗粒状的碱性沉淀物。因此,要充分注意固化剂的消解。若在施工过程中,固化剂内部出现未消解的颗粒状物质,将会影响路面的使用寿命和养护条件。另外,参照水泥稳定土的施工规定,赤泥道路基层宜在春末和气温较高季节组织施工。施工期的日最低气温应在 5℃以上。在冰冻地区,应在第 1 次重冰冻到来之前半个月到 1 个月完成施工。在雨季施工时,应特别注意气候变化,勿使赤泥固化体遭雨淋。采用路拌法施工时,应采取措施排除下承层的表面水,勿使道路基层材料过分潮湿。

参考文献:

- [1] 石莉,王宁,庞程.赤泥在建筑材料方面应用的研究进展[J].新型建筑材料,2009,36(1):20-23.
- [2] 谢源,付毅,冷杰彬,等.赤泥道路基层材料配制与成型工艺研究[J].矿冶,2002,11(1):4-7.
- [3] 齐建召,杨家宽,王梅.赤泥做道路基层材料的试验研究[J].公路交通科技,2005,22(6):30-33.
- [4] 张泽,张泰志,史磊.粉煤灰、赤泥生产烧结砖的研究[J].墙材革新与建筑节能,2006,6(1):47-49.
- [5] 付毅.固化赤泥制备高等级道路材料技术试验研究[J].有色金属,2001,53(2):10-13.
- [6] 毕诗文,于海燕.氧化铝生产工艺[M].北京:化学工业出版社,2006:103-106.
- [7] 景英仁,景英勤,杨奇.赤泥的基本性质及其工程特性[J].轻金属,2001,27(4):80-81.
- [8] 张增新.利用赤泥制备硫酸铝盐快硬水泥的研究[J].环境污染与防治,2000,22(6):16-18.
- [9] 刘振清,黄凡.弃尾矿料在路面(底)基层中的应用[J].交通运输工程学报,2002,2(4):11-16.

编辑:徐婷婷 (收稿日期:2015-07-03)

