

# 高速公路生态边沟设计及处理措施研究

郑辉, 秦志斌

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 针对高速公路单调景观给驾驶人带来的视觉冲击及路面径流中的污染物对周围水体及农田的影响, 设计一种拥有集水、净化、排水多项功能的生态边沟; 根据实际情况提出砾砾石结构层、砾石结构层及复合基质结构层 3 种结构模型进行室内试验, 得出最有效的净化结构并应用于实际中, 以达到高速公路路面径流的排放要求。

**关键词:** 公路; 路面径流; 生态边沟; 净化效果

中图分类号: U417.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)01-0107-03

高速公路在给人们提供诸多方便的同时也给周围环境带来巨大压力。修建高速公路本身就改变了周围的地质、水体等环境, 破坏原有生态系统, 而且在通车后路面上会遗留下很多污染物, 如 SS、COD、重金属、P、N 营养物、氯化物、油脂和 PAHs 等, 这些污染物会随着雨水形成路面径流流到周围的水体或农田中, 对周围环境造成很大破坏, 最终导致生态环境不断恶化。该文着重介绍高速公路生态边沟结构设计及路面径流处理措施, 从 3 种设计结构方案中得出最有效的净化结构。

## 1 生态边沟设计

边沟属于高速公路路面径流处理结构, 径流通过急流槽或路面漫流流入路侧边沟的生态处治沟中。生态边沟采用砼砌筑, 两侧厚度为 150 mm、底部厚度为 300 mm, 边沟坡度为 1:0.5、纵坡为 1:100。其主体结构分为竖向净化结构及底部排水层结构。

### 1.1 生态边沟竖向结构设计

在处理池上方沿径流方向设置格栅, 格栅下放置颗粒收集袋, 用以拦截并收集路面径流中的落叶及大颗粒径杂质, 在方便清洁污染物的同时缓解下方处理池的净化压力, 达到延长材料使用寿命的功效。生态处理池沿着径流下渗的方向布置 3 层结构, 自上而下分别为种植土壤层、净化层及碎石层, 各层之间设置土工布(见图 1)。径流经过种植土壤层的拦截减缓水流对下部净化结构的冲刷, 同时降低径流的渗透速度。以将下渗速度控制在 0.3~0.6 m/h 为宜。土壤层厚度为 200 mm。径流通过种植土壤层进入净化层, 通过净化层对路面径流中

吸附的 S、N、COD、油脂及重金属等污染物进行净化。净化层厚度为 300 mm。通过净化层后水流传至下部碎石层。碎石层厚 700 mm, 采用大颗粒径块石组成。

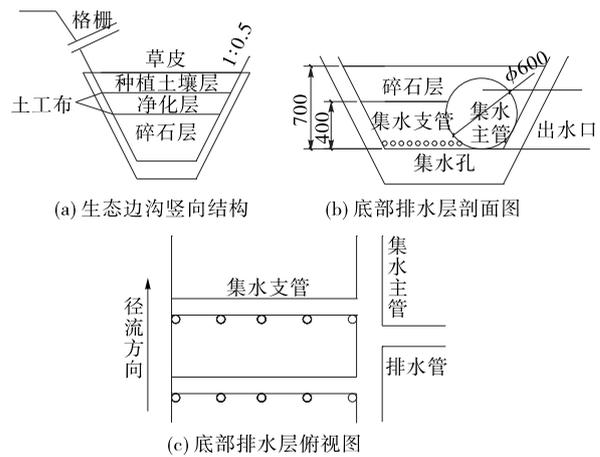


图 1 生态边沟设计(单位: mm)

### 1.2 底部排水层设计

路面径流通过处治沟的净化后流入碎石层。碎石层位于生态边沟的底层, 其主要作用是排水, 所设排水系统由集水管和排水管组成(见图 1)。在碎石层底部设置集水支管、集水主管及排水管, 支管直径为 400 mm, 相邻支管间距为 5 m; 迎着径流方向设置集水孔, 孔径为 40 mm, 相邻集水孔间距为 30 mm。径流通过集水孔进入集水支管, 在支管中顺着沟底坡度流入集水主管中。集水主管直径为 600 mm, 沿着路线方向铺设。径流在集水主管中汇集。在集水主管上每隔 20 m 设置排水管, 在排水管外可设置蓄水池。蓄水池一方面可将储存的水回收利用, 用于农田或景观灌溉; 另一方面在高速公路

水敏感地区对于危险品泄漏可进行集中储存,防止污染进一步扩大。

## 2 生态边沟对路面径流的净化效果试验

### 2.1 净化试验

#### 2.1.1 生态边沟室内模型制作

室内试验模型采用不锈钢板制作,模拟路面径流进入两侧边沟后在竖向结构层中的处治过程。制作无净化层的碎砾石、分别设置蛭石净化层和复合基质净化层的3种结构模型,各模型竖向结构层厚度均采用足尺设计,长度和宽度均以各模型水平面内结构层面积相同为准(见图2)。

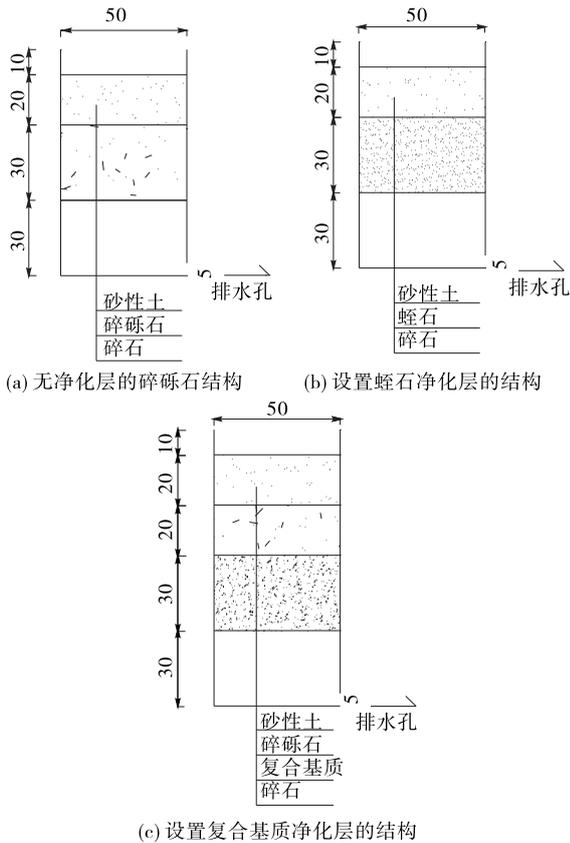


图2 各模型结构尺寸及材料(单位:mm)

#### 2.1.2 路面径流污染物的配制

试验所用路面径流水采用从人工清扫道路沉积物中称取一定量的污染物溶于自来水中均匀混合的方法配制而成。受径流及风力的影响,大部分路面沉积物分布于路面两侧,距离路缘石约50cm宽度范围内。试验所用路面沉积物来自于长沙市环保西路与芙蓉路交叉口右侧路缘带50cm路面宽度范围内,以灰尘为主。剔除沉积物中的大颗粒物及树叶、

垃圾、昆虫等杂物后称重,并等量分成若干份备用。

#### 2.1.3 检测指标

以每种结构模型为单位,每次选择一种结构模型进行试验,对初始路面径流污染物浓度及净化后径流中污染物残留浓度进行测定。路面径流中污染物主要有沉积物(SS)、重金属(Pb、Zn、Cu等)和石油等有机物污染物,故以SS、Pb、Zn、Cu、化学需氧量COD、石油类为检测指标。

各项指标的检测方法和主要检测设备见表1。为了防止样品中某些污染物发生物理化学反应,样品收集后及时密封并尽快进行测定。

表1 路面径流检测指标及检测设备

检测指标	检测方法	检测用仪器
SS	GB 11901-89	烘箱、天平
Zn	GB 7475-87	GDYS-201M 多参数水质分析仪
Pb	GB 7475-87	GDYS-201M 多参数水质分析仪
Cu	GB 7475-87	GDYS-201M 多参数水质分析仪
COD	GB 11914-89	GDYS-201M 多参数水质分析仪
石油类	SL 93.2-94	MAI-50G 红外测油仪

#### 2.1.4 试验过程

整个试验过程包括配制污水、添加污水、污水收集、污染物检测和试验结果分析。试验步骤为:将采集的路面沉积物预处理后,称取2.5kg放入干净的大桶内,向桶内加入160L自来水,并不断搅拌桶内污水,将其配制成路面模拟径流污染物浓度污水;用600mL塑料瓶收集500mL水样,用于测试污染物浓度初始值;边搅拌边加入一定污水到模拟的结构模型中,待出水口有水流出时开始计时并收集水样。考虑到大部分路面径流均存在初期冲刷效应(径流中污染物浓度最高值出现在降雨初期,往后浓度逐渐下降,一般30min后径流中污染物浓度降至较低值且趋于稳定),水样每隔10min收集一次,共收集40min,依次按初始、0、10、20、30、40min进行编号排列;分别对各收集瓶中的水样进行污染物浓度检测,记录检测结果。

#### 2.2 处治效果分析

对收集瓶中的水样进行污染物浓度检测,根据各时刻的污染物均值计算污染物去除率。各时刻3种结构模型对污染物的去除率对比见图3。

由图3可知:各种模型结构对污染物的净化效果随时间的变化规律相似,且去除率呈现上升的状态并在20min后趋于稳定,说明生态边沟结构对污

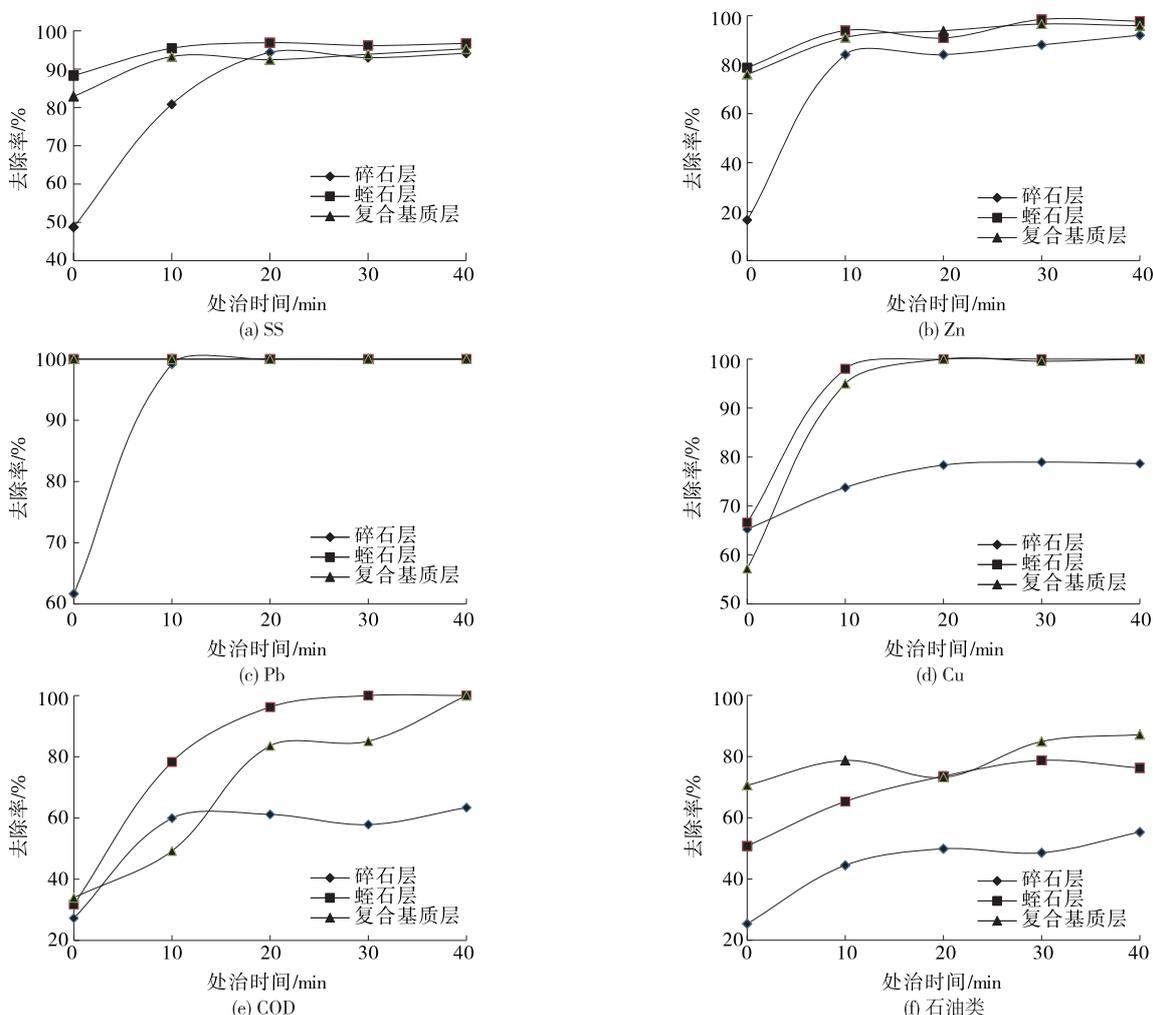


图 3 各结构模型对污染物的去除率变化情况

染物能起到净化作用;放有蛭石或复合基质净化层的模型对于污染物的净化效果优于无净化层的碎砾石结构;对于重金属和 COD 的净化效果蛭石净化层优于复合基质净化层,对于石油类的净化效果则复合基质净化层优于蛭石净化层;对各污染物的去除率波动较大,可能是由于室内配制的污水中各项污染物含量较少所致,试验中水样浓度出现变化,去除率就会随着出现较大波动。

### 3 结论

(1) 从径流净化速率来看,3 种边沟模型净化快慢顺序依次为碎砾石结构、蛭石层结构、复合基质层结构,说明更加密实的净化层会对净化速率产生影响,同时边沟纵向结构深度增加也会造成净化速率减慢。

(2) 3 种结构模型对污染物的净化效果随时间

的变化规律相似,去除率均呈现递增的状态,差别在于递增速度快慢及最终去除率不同。不布置净化结构层时边沟对路面径流中的污染物也具有一定净化效果,在加有蛭石、复合基质净化材料时边沟的净化效果得到明显提升。

(3) 总体来说,设置蛭石层的净化结构模型效果最好,其次是设置复合基质层的净化结构模型;但对于石油类污染物,后者的净化效果优于前者,其原因可能是复合基质层中含有的淤泥对石油类的吸附能力更强。

### 参考文献:

[1] Stotz G. Investigations of the properties of the surface water runoff from federal highways in the FRG[J]. The Science of the Total Environment, 1987, 59.

(下转第 117 页)

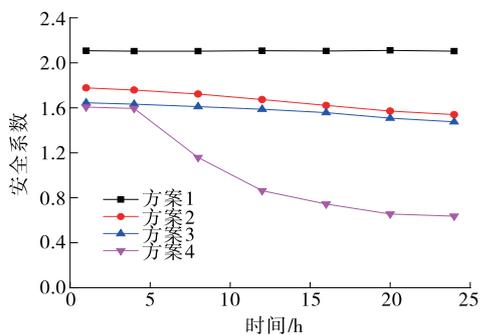


图 7 降雨条件下不同密度分区边坡的安全系数

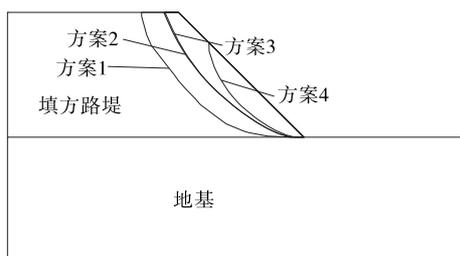


图 8 降雨 1 d 时不同密度分区边坡的滑移面范围

侧密度越低,与中间的密度差越大,对边坡的稳定性越不利;当两侧土体密度过低,如方案 4(两侧密度为  $1.28 \text{ g/cm}^3$ ),降雨过程中极易在边坡内部形成贯通的水流通道,使入渗雨水向坡脚处汇集,从而大幅降低边坡的稳定安全系数,导致水毁破坏;两侧密度与中部密度差异越大,造成滑动的滑弧范围越小,边坡更易因为浅层土体滑动而导致失稳。

#### 4 结论

(1) 密度分区对花岗岩残积土填方路堤边坡稳定性的影响显著,当临空面两侧土体密度较低时,持续的降雨会使土体内部的基质吸力迅速消散,造成土体强度弱化,导致边坡安全系数降低。

(2) 考虑密度分区时,若坡面表层密度较低,容易使雨水在边坡浅层范围内形成贯通通道,导致水

流往坡脚处汇集,引起边坡发生水毁破坏。边坡治理中应重视边坡排水,并对坡脚进行特别处理。

(3) 未考虑密度分区路堤边坡的安全评价通常会高估稳定安全系数,延误采取防治处理措施的时机,最终导致不必要的水毁与滑坡灾害。

#### 参考文献:

- [1] 胡梦玲,姚海林,刘杰,等.干密度对路基性能的影响研究[J].岩土力学,2012,33(增刊 2).
- [2] 申春妮,方祥位,王和文,等.吸力、含水率和干密度对重塑非饱和土抗剪强度影响研究[J].岩土力学,2009,30(5).
- [3] 王铁行,卢靖,张建锋.考虑干密度影响的人工压实非饱和黄土渗透系数的试验研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(11).
- [4] 伊盼盼,牛圣宽,韦昌富.干密度和初始含水率对非饱和和重塑粉土土水特征曲线的影响[J].水文地质工程地质,2012,39(1).
- [5] 胡小明,余学明.高填方黄土路堤的最优填筑密度分区研究[J].四川大学学报:工程科学版,2002,34(1).
- [6] 娄一青.降雨条件下边坡渗流及稳定有限元分析[J].水利学报,2007(增刊 1).
- [7] Fredlund D G, Rahardjo H. Soil mechanics for unsaturated soils[M]. John Wiley and Sons INC, 1993.
- [8] 高涛,毛巨省,罗建峰,等.SLOPE/W 程序在土质边坡稳定性分析中的应用[J].西安科技大学学报,2006,26(2).
- [9] 詹良通,李鹤,陈云敏,等.东南沿海残积土地区降雨诱发型滑坡预报雨强-历时曲线的影响因素分析[J].岩土力学,2012,33(3).
- [10] Rahimi A, Rahardjo H, Leong E C. Effect of antecedent rainfall patterns on rainfall-induced slope failure[J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 2011, 137(5).

收稿日期:2016-09-27

(上接第 109 页)

- [2] Drapper D, Tomlinson R, Williams P. Pollutant concentrations in road runoff, southeast queensland case study [J]. Journal of Environmental Engineering, ASCE, 1999, 126(4).
- [3] 赵剑强.路面径流污染特性及排污规律的研究[D].西安:西安建筑科技大学,2000.
- [4] 陈伟伟,张会敏,张建斌,等.城区路面径流水质特征与初期径流量研究[J].水利与建筑工程学报,2013,11(5).

- [5] 韦小慧,秦志斌.长沙市路面径流污染特征研究[J].交通建设与管理:下半月,2014(11).
- [6] 王雪梅,胡金朝.公路路面径流污染特征及控制措施研究进展[J].绵阳师范学院学报,2013,32(5).
- [7] 聂发辉,李田,向速林,等.不同结构生态浅层渗滤系统净化路面径流的效果与机理[J].给水排水,2012,38(6).

收稿日期:2016-05-15