

鄱阳湖区农村面源污染控制中最佳管理措施示范研究

万金保^{1,2}, 孙 蕾^{1,2}, 刘 峰^{1,2,3}, 汤爱萍^{1,2,4}

(1. 南昌大学 环境与化学工程学院, 江西 南昌 330031; 2. 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 江西 南昌 330047;
3. 江西科技师范大学 化学化工学院, 江西 南昌 330031; 4. 南昌航空大学 环境与化学工程学院, 江西 南昌 330031)

摘 要: 鄱阳湖区农村面源污染问题日益严峻, 已威胁到湖泊的水环境安全。结合该区域农村面源污染自身的变化特征, 在星子县示范区内构建结构性最佳管理措施 BMPs (best management practices) 系统对区域内农村面源污染进行控制。结果表明, 在监测期间该 BMPs 系统对 COD、TP 和 TN 的削减量分别为 568.25、3.06 和 26.90 kg。其中人工湿地对 COD、TP 和 TN 的单位面积削减量约达 40、0.4 和 3.0 g/m², 有较稳定的污染物去除能力; 生态沟渠对各污染物单位面积削减量变化较大, 与人工湿地相比虽有更强的污染物削减能力, 但稳定性较弱。结合生态沟渠和三级表面流人工湿地的特点, 建议通过引入适宜的植物至生态沟渠提高其处理污染物的稳定性。

关键词: 鄱阳湖; 最佳管理措施 (BMPs); 农村面源污染; 生态沟渠; 表面流人工湿地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)03-0296-05

中图分类号: X703

Demonstration and Effects of Best Management Practices Applied to Control of Rural Non-point Source Pollution in Poyang Lake Area

WAN Jin-bao^{1,2}, SUN Lei^{1,2}, LIU Feng^{1,2,3}, TANG Ai-ping^{1,2,4}

(1. School of Environment and Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330031, China; 2. Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization of the Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330031, China; 3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Jiangxi Science & Technology Normal University, Nanchang, Jiangxi 330031, China; 4. School of Environment and Chemical Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang, Jiangxi 330031, China)

Abstract: Water environment security in rural areas around Poyang Lake has been threatened by increasingly severe non-point source pollution (NPS pollution). Combined with the features of NPS pollution in the areas, the structural best management practices (BMPs) are established in the demonstration area of Xingzi County to control the rural NPS pollution. Monitoring results show that in the monitoring period, the removal amounts of COD, TP and TN by the BMPs are 568.25, 3.06 and 26.90 kg, respectively. Constructed wetland maintains the better and more stable pollutant removal capability and the removal amounts of COD, TP and TN per unit area are about 40, 0.4 and 3.0 g/m², respectively. The removal amounts of the pollutants per unit area by ecological ditch vary greatly. Ecological ditch has better removal ability per unit area than constructed wetland, but has poor stability. In consideration of the advantages of ecological ditch and tri-class surface flow constructed wetland (3-SFW), the plants suitable to ecological ditch are recommended to improve its stability in pollutant removal.

Keywords: Poyang Lake; best management practices (BMPs); rural NPS pollution; ecological ditch; surface flow constructed wetland

鄱阳湖是我国最大的淡水湖也是典型的吞吐型湖泊, 其水位变幅巨大, 在维系长江水量平衡与水域生态平衡方面发挥着十分重要的作用。但由于环湖地区人类活动带来的污染物随意排放对湖泊水体已

构成巨大威胁^[1-2], 其中主要污染物的 60% 以上来自于无组织的面源排放, 且排放量逐渐超过点源排放^[3]。在湖区范围内生活污水的排入, 农田化肥和农药的大量施加, 以及畜牧与水产养殖业快速发展所带

收稿日期: 2011-07-17

修回日期: 2011-09-25

资助项目: “十一五”国家科技支撑计划项目“鄱阳湖生态保护与资源利用研究”, “水污染控制及水质保护技术与示范”(2007BAB23C02)

作者简介: 万金保 (1952—), 男 (汉族), 江西省南昌市人, 教授, 博士生导师, 主要从事水污染控制与水资源保护研究。E-mail: jbw@ncu.edu.cn。

来的污染物无序外排,这些均是造成湖区面源污染问题日益严峻的主要原因^[4-5]。与此同时随着点源污染控制的逐渐加强,面源污染也已受到广泛关注^[6]。

在农村面源污染控制中,最佳管理措施(best management practices, BMPs)具有符合生态要求、投资少、工艺简单和能适应面源污染的复杂特性等优点,逐渐成为面源控制与管理的主要手段之一,在欧美国家已得到广泛应用^[7-8]。

本文以九江星子县示范区内构建的结构性 BMPs 控制农村面源污染为研究对象,通过对系统中主要单元单位面积污染物削减量的分析研究,为结构性 BMPs 系统在农村面源污染控制的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区基本情况

课题示范区位于星子县,总占地面积 4 hm²,以传统型农业生产为主。整个示范区所有村民的生活污水,畜禽养殖废水,农业生产废水以及水产养殖废水等均“汇”于 BMPs 系统内。

1.2 示范基地工艺简介

通过对示范区详细的 PRA 调查,确定该区面源污染主要的污染源:畜禽养殖、水产养殖、农村生活与农业生产废水分别占废水总量的34.75%,7.48%,

34.71%和 23.06%^[9]。结合农村面源污染的典型特征和示范基地实际状况,设计构建结构性 BMPs 农村面源污染控制系统,具体工艺流程图见图 1。

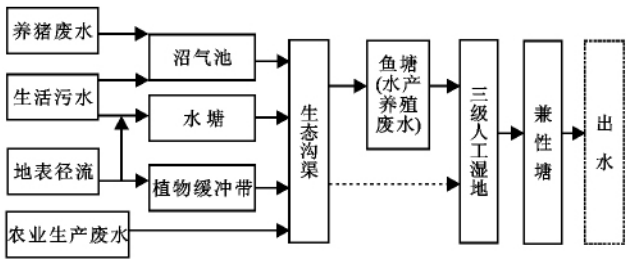


图 1 农村面源废水污染控制系统 BMPs 工艺流程

1.3 相关设计参数

示范区内遵循因地制宜原则,在 BMPs 系统内设计沼气池主要用于养猪废水和生活污水的收集及资源化;水塘主要为收集村民日常洗刷等带来的生活污水;植物缓冲带在汇集控制地表径流污染物的同时美化当地环境;生态沟渠主要沿农田边缘建设,用于沿程污染物的汇集与削减;三级人工湿地采用与自然湿地最为接近的表面流湿地类型,其因不需要砂砾等物质作填料,造价低,人工投入少^[10],根据景观、生态多样性和资源化等原则,湿地按级分别种植芦苇、菖蒲和茭白。兼性塘为稳定系统出水水质单元(表 1)。

表 1 各单元设计参数

结构单元	设计参数				
	参数 1	参数 2	参数 3	参数 4	参数 5
水 塘	长度 8.7 m	宽度 2 m	最大深度 1.5 m	有效水深 1 m	植物为水葫芦、菖蒲
生态沟渠	长度 178 m	平均湿周 0.8 m	平均深度 0.2 m	润湿面积 142.4 m ²	植物为狗牙根及多种土著植物
表面流人工湿地	长度 41 m	宽度 24 m	最大深度 0.6 m	高程差 0.2 m	植物为菖蒲、芦苇、茭白
兼性塘	面积 550 m ²	—	最大深度 1.5 m	有效水深 1.2 m	植物为水葫芦、苦草

1.4 运行期间监测及样品分析

示范区内 BMPs 系统于 2009 年 5 月建成,经 2 个月调试后整体运行状况稳定。在各单元进出口设置固定采样点,进行两周一次的水质和流量监测。

分析及观测方法如下:COD 为重铬酸钾法;TP 为钼酸铵分光光度法;氨氮为纳氏试剂分光光度法;硝酸盐氮为酚二磺酸分光光度法;总氮为碱性过硫酸钾消解分光光度法;流量测量采用便携式流速仪。

2 结果与分析

现根据 2010 年 1—6 月系统整体运行状况,以水塘、生态沟渠、人工湿地和兼性塘 4 个典型结构单元为研究对象,通过污染物单位面积削减量来探讨各单

元的水质净化能力(图 2)。

由图 2 可知,水塘内多数污染物的单位面积削减量呈负值,即水体内污染物含量上升,氮与磷的增长尤为突出。根据图 1 所示,水塘处于系统的前端,是村民生活污水和地表径流的收集口,在系统中整体表现为“源”的性质,但在植物生长最佳的 5、6 月,虽然农事活动频繁导致由径流引入的污染物量增大,可水塘内除 NO₃⁻—N 以外的各污染物单位面积削减量增大,COD 单位面积削减量达到正值 30 g/m² 左右,体现了该时段植物对污染物较好的去除能力。

生态沟渠在 3 月和 5 月对 COD 单位面积削减量达到 690 g/m² 左右,并在 5 月对 TP 和 NO₃⁻—N 单位面积削减量分别达到 1.5 g/m² 和 1.2 g/m² 左右,单位面积削减污染物的能力超过了人工湿地,初步分

析原因为生态沟渠在示范区原有沟渠的基础上改造而成,相对于整个新建系统在生物群落和渠体发育方面均处成熟阶段,且沟渠 178 m 的流程为水体提供足够的反应空间,有利于对污染物的去除。

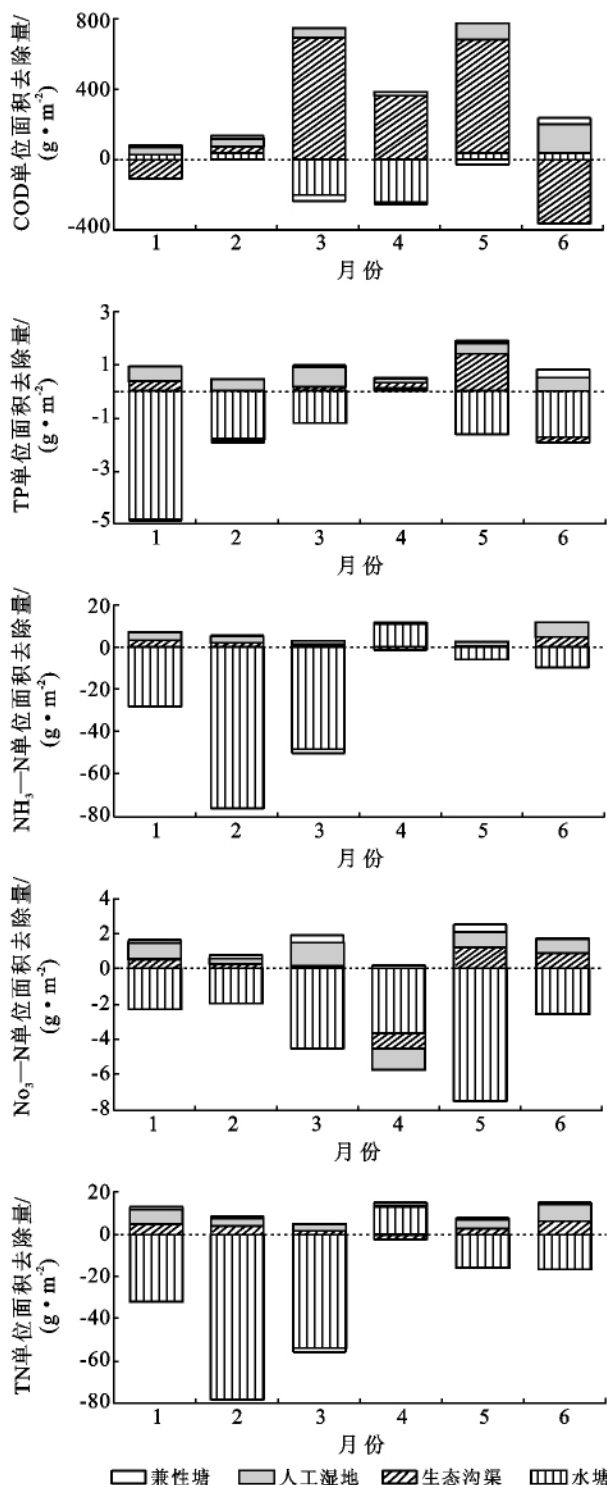


图 2 主要单元对各污染物削减能力

生态沟渠作为该系统中畜禽养殖废水、生活污水和农业生产废水的一个间接汇集端口,4 月农田内施用了大量尿素引起了渠内 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量升高,导致 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量间接升高,均表现为单位面积削减量

的下降。6 月生态沟渠对 TP 的单位面积削减量为负值,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 TN 表现出较好的削减效果,初步分析原因为,在生态沟渠的运行状态下氮的去除主要通过植物吸收和微生物硝化/反硝化作用,而磷的去除主要通过基质的吸附作用。6 月温度升高且植物生长逐渐旺盛,增强了植物对氮的吸收能力和提高了硝化/反硝化微生物的活性^[11],关于水体中磷的变化结合洪林等^[12]、杨育红等^[13]人的研究得出:6 月由降雨量增大引起土壤的侵蚀严重,使得原本吸附在基质土壤颗粒表面的吸附态磷随径流的流失量增大,并且还有研究表明有植物根系系统比无植物根系系统有更好的除磷效果^[14-15],鉴于生态沟渠内植物以狗牙根为主,根系不发达,减弱了对磷的去除。整体上生态沟渠部分时间段内虽然对 COD、TP 等污染物的削减量表现突出,但受外界干扰较大,当入渠污染物含量变化幅度较大时,它对污染物单位面积削减效果变化幅度也加大。

人工湿地采用三级跌水表面流工艺,根据系统中表面流人工湿地基质—植物—微生物 3 个主要元素的设计及配置,其污染物主要通过植物—微生物的协同作用去除。该湿地单元充分利用了地势条件,每级人工湿地间的高程差为 0.2 m,以三角跌水堰相连增强水体复氧。

在 1—6 月该区域气温逐渐升高,湿地内植物逐渐进入生长旺盛阶段,微生物活性提高,单元对污染物净化能力也随之提高。该时间段内 COD 单位面积削减量稳定且呈上升趋势,除 4 月由施肥引起的波动外均保持在 40 g/m^2 以上。人工湿地对 TP 和 TN 的单位面积削减量基本在 0.4 g/m^2 和 3.0 g/m^2 以上。人工湿地内氮的主要存在形式有有机氮, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$,它们之间的转化主要通过氨化、硝化、反硝化和生物吸收完成。

由于 4 月施肥原因(肥料以尿素为主)导致 $\text{NH}_3\text{-N}$ 大量迁入,但在表面流人工湿地特性和跌水堰复氧的联合作用下,较高的 DO 值为湿地内微生物硝化作用提供良好反应环境,因此表面流人工湿地对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 具有较好的去除能力,但较高的 DO 值一定程度上抑制了反硝化作用,并且 $\text{NO}_3\text{-N}$ 只有少部分被植物吸收,大部分靠反硝化去除,因此在入水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量较大幅度上升,较高 DO 值促进硝化作用、抑制反硝化作用三者联合作用下引起湿地系统内 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积^[16-17]。人工湿地在整个系统中是主要的污染物削减单元,能适应农村面源污染水质水量的不稳定性,抗冲击负荷能力较强。

兼性塘为系统后续稳定单元,保证整个系统的出

水水质,出水中各污染物浓度:COD 约为 20 mg/L, $\text{NH}_3\text{—N}$ 约为 0.5 mg/L,TP 浓度小于 0.1 mg/L, TN 浓度约为 1.0 mg/L。由于兼性塘中部和下部的缺/厌氧层为微生物反硝化作用提供良好的反应环境,兼性塘对 $\text{NO}_3^- \text{—N}$ 有较稳定的单位面积削减能力,基本维持在 0.15 g/m^2 。综合以上分析,对水塘、生态沟渠、人工湿地及兼性塘单位面积污染物削减量统计分析结果见表 2。

表 2 各处理单元单位面积污染物削减量统计分析

项 目		COD	TP	$\text{NH}_3\text{—N}$	$\text{NO}_3^- \text{—N}$	TN
水 塘	最大值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	34.40	0.13	10.72	-1.93	12.87
	最小值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	-204.89	-4.80	-75.95	-7.48	-78.14
	平均值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	-53.80	-1.82	-26.02	-3.72	-30.50
	标准偏差	132.43	1.62	31.65	2.07	31.94
生态沟渠	最大值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	694.90	1.42	4.83	1.25	6.13
	最小值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	-368.00	-0.19	-1.28	-0.88	-2.21
	平均值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	212.01	0.32	1.79	0.38	2.94
	标准偏差	429.70	0.57	2.17	0.73	2.93
人工湿地	最大值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	169.50	0.72	6.42	1.26	7.95
	最小值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	10.71	0.122	0.58	-1.24	0.81
	平均值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	68.10	0.46	2.58	0.47	4.36
	标准偏差	55.25	0.20	2.10	0.90	2.54
兼性塘	最大值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	33.20	0.33	0.44	0.45	1.69
	最小值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	-37.90	-0.06	-2.12	0.13	-1.92
	平均值/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	-2.83	0.07	-0.10	0.26	0.56
	标准偏差	27.31	0.14	1.00	0.14	1.28
监测期各单元对 污染物削减总量	水塘/kg	-5.62	-0.19	-2.72	-0.39	-3.18
	生态沟渠/kg	181.14	0.28	1.53	0.32	2.51
	人工湿地/kg	402.06	2.75	15.26	2.77	25.72
	兼性塘/kg	-9.33	0.22	-0.33	0.85	1.85
BMPs 系统总体削减量合计/kg		568.25	3.06	13.74	3.55	26.90

由表 2 中各处理单元单位面积污染物削减量统计分析可知:在该时间段,对 COD 的单位面积削减量的最大值和最小值均在生态沟渠单元出现,平均值和标准偏差在四者中也为最大,再通过比较 4 个单元的标准偏差统计数据以及各单元对污染物削减总量统计数值,得出生态沟渠虽具有较好的污染物去除能力但缺乏稳定,人工湿地在面源污染控制中对各种污染物削减总量最高且稳定性良好,兼性塘具有良好的稳定出水水质功能。各单元有机的组合赋予该 BMPs 系统较好的处理农村面源废水能力。

3 结 论

在示范区 BMPs 系统运行中,该系统对 COD,TP 和 TN 的削减量分别为 568.25,3.06 和 26.90 kg。系统在早期投资和后期稳定运行中单位废水处理费用远低于常规污水处理工艺。

(1) 针对鄱阳湖区农村面源污染特性,由各单元有机组合而成的结构性 BMPs 系统能较好地适应农村面源污染水质水量随季节、气候、农事活动等因素

引起的较大幅度的波动,对各污染物均有较好的削减能力且出水水质良好、稳定。

(2) 该 BMPs 系统中各单元均发挥出各自的水质净化功能,但由于结构上的差别,各单元净化能力也存在较大差异,结合数据统计分析结果可知,生态沟渠具有较好的污染物削减能力但缺乏稳定性,人工湿地对各污染物的削减量能力和稳定性较好,较能适应农村面源污染水质水量的波动。

综合考虑鄱阳湖区生态沟渠和三级表面流人工湿地在农村面源污染废水控制中各自的优点,建议在生态沟渠中根据水流的方向、污染物的浓度分布等因素选择种植适当的植物,提高其处理污染物的稳定性。

[参 考 文 献]

[1] 罗珍珍,傅春.鄱阳湖区农村面源污染现状及成因分析[J].安徽农业科学,2009,37(22):10625-10627.
[2] 廖萍,黄国勤,黄秋萍,等.鄱阳湖区发展畜牧业造成的农业面源污染及其防治对策[J].江西农业大学学报:社会科学版,2006,5(1):76-78.

- [3] 李家科,李怀恩,李亚娇,等.基于 AnnAGNPS 模型的陕西黑河流域非点源污染模拟[J].水土保持学报,2008,22(6):81-88.
- [4] 张小兵,张洁,计勇,等.鄱阳湖农业面源污染现状及对策措施[J].亚热带水土保持,2006,18(4):12-14.
- [5] 柴世伟,裴晓梅,张亚雷,等.农业面源污染及其控制技术[J].水土保持学报,2006,20(6):192-195.
- [6] 方志发,王飞儿,周根娣.BMPs 在千岛湖流域农业非点源污染控制中的应用[J].农业环境与发展,2009(1):69-72.
- [7] 陈洪波,王业耀.国外最佳管理措施在农业非点源污染防治中的应用[J].环境污染与防治,2006,28(4):279-282.
- [8] 万金保,余敏.江西农村面源污染现状及控制措施[J].广东农业科学,2010(11):239-241.
- [9] 万金保,刘峰,汤爱萍,等.小流域典型面源污染最佳控制措施(BMPs)研究[J].水土保持学报,2010,24(6):181-184.
- [10] Srinivasan N, Weaver R W, Lesikar B J, et al. Improvement of domestic wastewater quality by subsurface flow constructed wetlands [J]. Bioresource Technology, 2000,75(1):19-25.
- [11] Xu Hang, Chen Huanzhuang, Xiong Qiquan, et al. Studies on the effective and mechanisms of N and P removal in macrohydrophyte[J]. Journal of Harbin University of C. E. & Architecture, 1999,32(4):69-73.
- [12] 洪林,李瑞鸿.南方典型灌区农田地表径流氮磷流失特性[J].地理研究,2011,30(1):115-124.
- [13] 杨育红,阎百兴.降雨—土壤—径流系统中氮磷的迁移[J].水土保持学报,2010,24(5):27-30.
- [14] 张军,周琪,何蓉.表面流入人工湿地中氮磷的去除机理[J].生态环境,2001,13(1):98-101.
- [15] Greenway M. Nutrient content of wetland plant in constructed wetland [J]. Water Science Technology, 1997,35(5):135-142.
- [16] Horne A J. Nitrogen removal from waste treatment pond or activated sludge plant effluents with free-surface wetlands[J]. Water Science Technology, 1995,31(12):341-351.
- [17] Fleming-Singer M S, Horne A J. Enhanced nitrate removal efficiency in wetland microcosms using an episodiment layer for denitrification[J]. Environment Science Technology, 2002,36(6):1231-1237.

(上接第 270 页)

5 结论

(1) 三眼峪沟流域山高坡陡,沟壑密集,沟床纵比降大,以崩塌为主的可补给泥石流的松散物质总量达 $2.69 \times 10^7 \text{ m}^3$,为山洪泥石流形成提供充分的条件。2010 年 8 月 8 日凌晨 40 min 降雨量达 77.3 mm,高强度降雨激发了三眼峪沟特大山洪泥石流。

(2) 三眼峪沟流域具备良好的拦砂和控制泥沙输出条件,对该沟泥石流治理应以拦挡为主,拦排结合。弱化或者舍弃拦挡工程,采取以排导为主的措施,不利于舟曲县城灾后重建及白龙江流域的防灾减灾。

(3) 根据三眼峪沟泥石流形成条件及“8·8”特大泥石流活动特征,其泥石流拦挡工程宜采取中、高坝,以确保足够的拦砂库容,最大限度的拦蓄泥砂,稳定以崩塌为主的松散固体物质。坝体宜采用抗冲击力强的钢筋混凝土重力坝、格栅坝等类型,确保工程的安全可靠性。

(4) 三眼峪沟流域各沟段固体松散物质储存条件、泥砂补给及冲淤特征不尽相同,拦挡工程应根据

各沟段特征,科学合理地予以部署。据此,在流域内规划了 18 座拦挡坝,将形成比较完善的拦挡工程体系,有效地防治泥石流灾害。

(5) 泥石流发生属于山地环境发展过程中的自然产物,其形成机理及过程十分复杂。从防灾减灾,保护舟曲县城安全长远考虑,对三眼峪沟泥石流应在治理的同时部署监测预警工程,防治结合,构成完善的防灾系统。

[参 考 文 献]

- [1] 甘肃省地质矿产局.甘肃省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989:12-46.
- [2] 胡向德,李军,李瑞冬,等.甘肃省舟曲县三眼峪沟泥石流灾害勘察报告[R].兰州:甘肃省地质环境监测院,2010.
- [3] 赵玉春,崔春光.2010 年 8 月 8 日舟曲特大泥石流暴雨天气过程成因分析[J].暴雨灾害,2010,29(3):289-295.
- [4] 唐邦兴,李宪文,吴积善,等.山洪泥石流滑坡灾害及防治[M].北京:科学出版社,1994:202-218.
- [5] 胡向德,黎志恒,魏洁,等.舟曲县三眼峪沟特大型泥石流的形成与活动特点[J].水文地质工程地质,2011,38(4):82-87.