山洪影响调查评价与预警体系建设方法研究

——以昌江芦溪河段为例

胡余忠[1]，姚学斌[2]，章彩霞[2]，方 泓[1]，方国基[2]

（1.安徽省水文局，安徽 合肥 230022；2.黄山市水文水资源局，安徽 屯溪 245000）

摘 要：以山洪影响调查成果为基础，评价了昌江芦溪河段受洪水影响的程度，建立了水位预警指标体系和水文预报模型。得出的主要结论有：昌江芦溪河段洪水影响机率不到5年一遇，罗村最典型，个别年份重复受灾，属典型的山洪影响威胁区；以既有水文站点为基础，建立了水文站点的水位与上下游村落淹没基础信息的量化关联，形成“1对N”的预警关联体系，标定了集合对象的成灾水位(75.50m)，分析结论与实际调查结果吻合；研究了昌江流域产汇流规律，建立了预报模型。本文的评价思路与预警体系构架方法可以作为完善山洪灾害非工程措施、中小河流水文监测系统实际应用的参考，对各地正在开展的山洪灾害调查评价工作具有参考意义。

关键词：山洪调查；影响评价；成灾水位；预警

中图分类号：P426.616；P338 文献标识码：A 文章编号：1000-0852(2015)03-0020-06

1 引言

根据财政部、水利部联合下发的《全国山洪灾害防治项目实施方案》(2013~2015)要求，山洪灾害调查评价是重点工作内容之一。鉴于2013年6月30日，安徽黄山市局地突发百年一遇暴雨洪水，发生人员伤亡[1]，安徽率先开展山洪影响调查，已经完成重点对象外业详查工作，进入评价阶段。项目伊始，我们锁定调查成果应用，首次提出围绕“同轴两线”的外业调查思想[2]，实施全要素调查。在手段上充分融合现代通信、网络、软件工程技术与专业需求，研发了《山洪灾害影响评估基础信息平台》[3]，建设了《山洪灾害影响专题数据库》，实现一线勘测与后台管理对接、调查要素与图件展布关联，特别是测区分布、洪痕+纵断面+房屋基础三要素同轴对比，集调查成果可视化、要素业务逻辑异常识别、常规计算工具、淹没影响评价方法于一体，满足质量与进程双控制的要求，试点工作开展后[4]，得到国家防办认可，在安徽召开现场会议，并改版升级为《山洪灾害调查评价成果质量过程控制系统》在全国推广应用。根据安徽省开展该项工作的经验与成果，本文选取了祁门县昌江流域特定河段为实例，基于调查成果开展山洪影响评价，明确不同量级洪水的影响人口，明确成灾水位，并基于此建立预警体系。

昌江为长江流域鄱阳湖水系的主要支流，安徽境内(倒湖以上)集水面积1 590km^2，河流长度83.4km。流域内山峦叠嶂，森林茂密。多年平均降水1 800mm，雨量丰沛，是安徽主要暴雨区域之一，主汛期暴雨洪水频繁。属地居民沿河栖息，依山伴水，山洪影响频繁，灾害严重。作为防灾减灾重要措施之一，山洪预警成为重点。此次调查祁门县覆盖全境，共涉及18个乡镇，65个行政村，94个村民组，9 425户，3.7万人，调查可能受洪水影响人口2.51万人，其中历史典型年受山洪威胁人口1.75万人。调查涉及48条河流，其中10km^{2}以下16条、10~50km^2 28条、50~200km^2 9条。受山洪影响的典型年有“80.7.31”、“91.6.30”、“96.6.30”等。

2 调查成果核心应用

2.1 典型洪水水面线

昌江芦溪河段是安徽与江西两省交界河段，受山洪影响极为典型，个别村落甚至出现一年之内多次受灾。该河段内调查了芦溪村、芦溪街、樟村、罗村、倒湖等村民组或自然村落，河段长9.23km。芦溪街、芦溪村、罗村位于昌江支流与干流交会处，虽然同时受到干支流影响，但是主要以干流影响为主，故一并融于干流

收稿日期：2015-02-01
作者简介：胡余忠（1962-），男，安徽绩溪人，教高，学士，主要从事水文情报预报管理。E-mail：jxxbc@163.com

考虑。鉴于调查河段有芦溪水文站,位于调查点樟村,本文分析时各个调查点高程已经统一到芦溪水文冻结基面(吴淞),洪水纵向分布以芦溪水文站(樟村)为参照站,调查结果显示,1996 年 6 月 30 日洪水,上游芦溪村、芦溪街洪水位分别比水文站(樟村)高 1.00m、0.75m;下游罗村(河口)、倒湖村比水文站水位低 4.68、6.55m。河段山洪影响的村落布局及典型洪水水面线如图 1、2 所示。

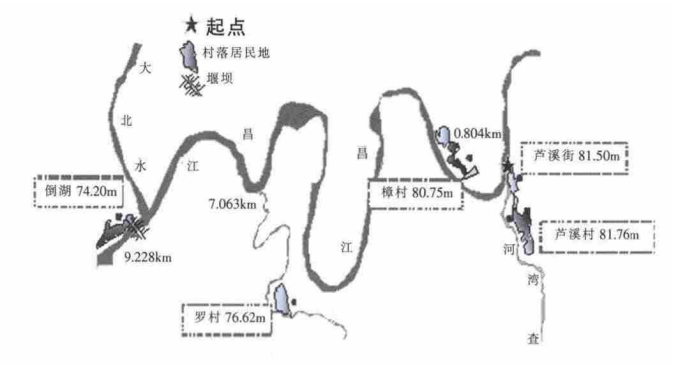


图 1　芦溪河段山洪影响村落分布图

Fig.1　Distribution of the villages influenced by the floods in the Luxi reach

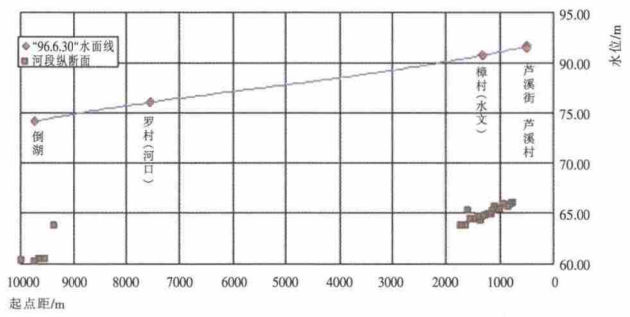


图 2　芦溪河段调查村落典型年洪水沿程分布图

Fig.2　Distribution of the typical year's floods at the villages surveyed along the Luxi reach

2.2　居民集中地高程分布

按照文献[2]的要求,调查中测绘了调查村落各户房屋基础高程、相应坐标以及各户的注册人口,基此展现村落居民分布和受洪水影响情况,其中芦溪村洪水威胁区居民布局如图 3(a)所示,各个村落高程与人口关系见图 3(b)~(f)所示。

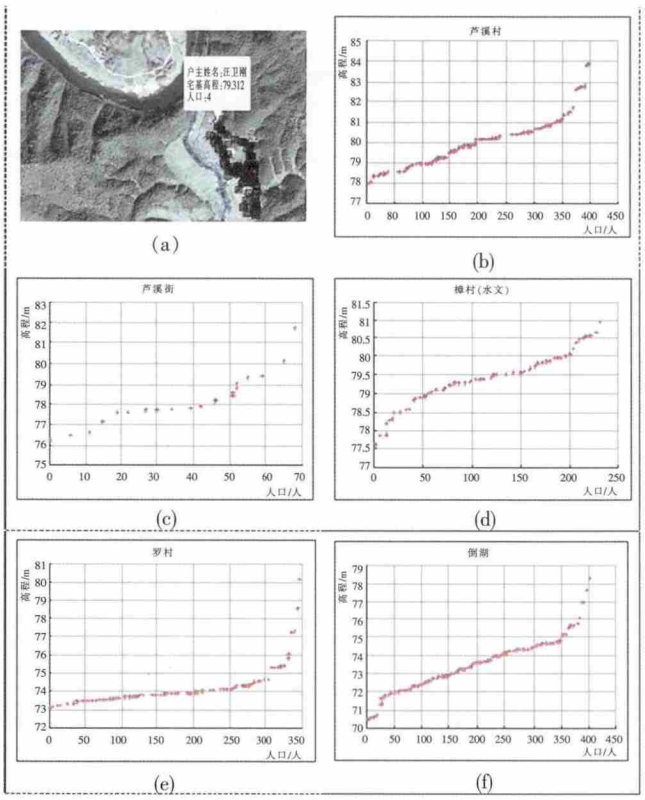


图 3　村落居民布局 & 村落高程与人口关系图

Fig.3　Distributions of the village residents, village altitude and population

3　山洪影响评价

3.1　水文特征统计

评价河段干流调查点水文计算涉及芦溪和倒湖两处,大断面见图 4(a)。芦溪水文站建于 1958 年,测验项目有降水、蒸发、水位、流量,断面以上配套雨量站点 9 处。根据实测与调查资料,《黄山水文手册》[5]分析了该站洪峰流量水文统计成果,按照图 4(b)推算相应水位,不同重现期洪峰流量对应的水位成果如表 1 芦溪部分所示。

芦溪下游 9.23km 处有大北水加入,倒湖断面位于两河交汇口下游,无实测径流资料。倒湖流量计算采用两种方法,其一是典型年流量比拟,按照"1996.6.30"洪水倒湖调查流量:4 680m^3/s,以其与上游芦溪水文站实测洪峰流量:3 540m^3/s 比,得比例系数 K=1.32,同乘芦溪站不同频率流量,得倒湖断面设计流量;其二是依据文献[5]综合经验公式,以流域面积、河道平均坡度为参数直接计算。经对比综合采用《黄山水文手册》成果,并按照倒湖洪水调查分析的水位流量关系图 4(c)推算倒湖设计水位,成果见表 1 倒湖部分。

3.2　设计洪水水面线

以表 1 推算的不同频率设计水位,按照图 2 典型年洪水水位沿程变化,并参照水文站同期历史经验校准,以考虑沿程断面变化、集水面积变化、干支流洪水组合对比降的影响,考虑内容是:当芦溪水文站 75.50m 时,罗村开始进水,依据实际调查,典型年罗村支流水面比降 0.236‰,罗村与河口距离 2.32km,落差

表1 水文特征统计成果表

Table1 The statistics of the hydrological characteristics

站名	面积/km²	河道坡度	项目	均值	Cv	Cs/Cv	1%	2%	5%	10%	20%	备注
芦溪	988	1.353/‰	Q/m³·s⁻¹	1255	0.59	2	3579	3195	2667	2249	1800	
			Z/m				80.74	80.18	79.43	78.40	76.97	
倒湖	1589	1.307/‰	Q/m³·s⁻¹	典型年比拟《水文手册》			4724	4217	3520	2968	2376	采用
							4616	4102	3451	2929	2368	
			Z/m	假定基面			71.1	70.35	69.24	68.12	66.85	
				吴淞基面			74.09	73.34	72.23	71.11	69.84	

0.55m,推算罗村河与干流交会处水位为72.61m,综合以上因素推算沿河段各个村落不同频率洪水的水位,成果如表2、图5所示。

3.3 不同频率洪水淹没评价

按照表2、图5的分析成果,在不考虑村落内测区上下游(村头村尾)局部水位落差条件下,各个村落不同量级洪水淹没人口分析见表3、图6所示。分析表明,该河段总体上受山洪影响的重现期不到10年一遇,其中罗村、芦溪街不到5年一遇。当发生20年一遇洪水时,注册人口41%将直接受到洪水威胁,50年一遇洪水时,直接威胁人口达到61%。

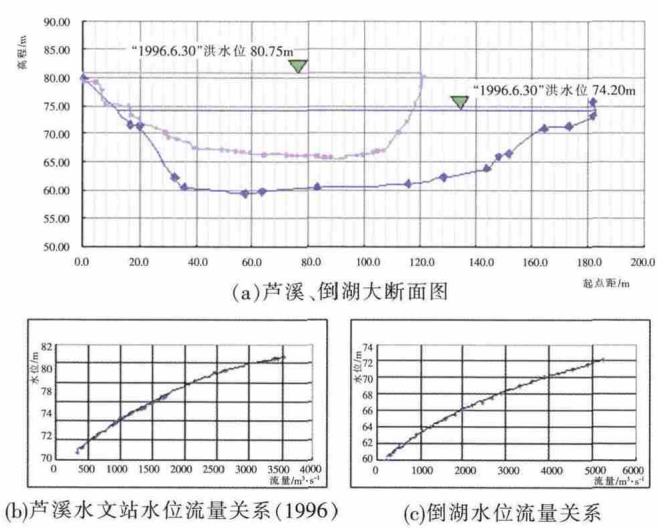


图4 水位流量关系图

Fig.4 The relationship between the stage and discharge

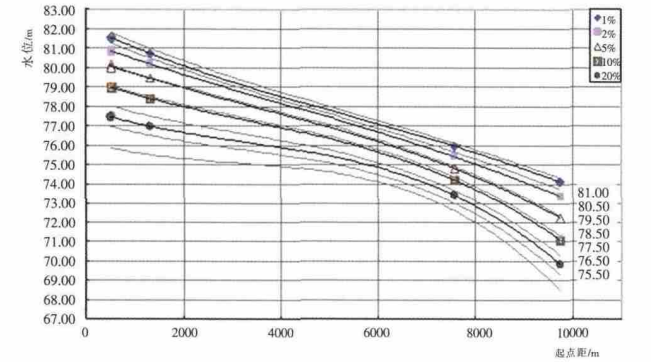


图5 芦溪河段不同频率洪水水位沿程分布图

Fig5 The distribution of the flood stages at different freguencies along the Luxi reach

表2 芦溪河段不同频率洪水各个村落洪水位计算成果表 (m)

Table2 The calculated results of the flood stages at different frequencies in the Luxi reach (m)

断面	起点距	1%	2%	5%	10%	20%
芦溪村	500	81.60	80.90	80.10	79.00	77.50
芦溪街道	500	81.50	80.80	80.00	78.90	77.40
樟村(水文)	1304	80.74	80.18	79.43	78.40	76.97
罗村(河口)	7563	75.95	75.40	74.80	74.20	73.40
倒湖	9228	74.09	73.34	72.23	71.11	69.84

表3 芦溪河段不同重现期洪水淹没人口统计表

Table3 The statistics of the flood and population in the different recurrence intervals in the Luxi reach

重现期 \ 断面	芦溪村	芦溪街	樟村	罗村	倒湖	合计	占注册人口比例(评价结论)
100	365	65	227	333	246	1236	68%
50	332	65	200	331	183	1113	61%(危险区)
20	196	59	112	308	80	773	41%(高危险区)
10	111	52	18	304	21	506	28%(高危险区)
5	0	15	0	165	0	180	10%(极高危险区)
注册人口	390	270	320	350	490	1820	

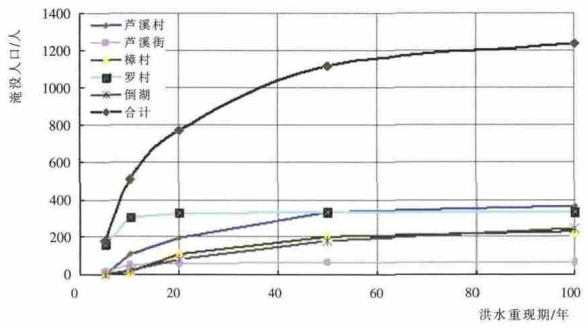


图6 芦溪河段不同重现期洪水与淹没人口关系图

Fig.6 The relation between the floods and population in the recurrence intervasl in the Luxi reach

4　预警量化体系

4.1 成灾水位分析

成灾水位分析分三步。首先是按照村落居民高程人口分布图 3(b)~(f)分别确定各个村落最低居民高程,作为“村落成灾水位”,见表 4 中下划线标注;其次是按照不同频率设计洪水的水面比降,由“村落成灾水位”以及村落与预警站的距离,推算对应“村落成灾水位”相应的预警站(水文站)水位,即表 4 中樟村(水文)行中数值。各个“村落成灾水位”不同,故预警站水位也不同,如芦溪村开始淹没高程 78.02m,对应水文站水位 77.47m; 芦溪街淹没高程 76.25m, 对应水文站水位 75.95m 等;最后在预警站水位中取其最低值作为河段各个村落集总防御对象的成灾水位, 综合后取 75.50m, 成灾水位及以上不同量级洪水水位沿程变化如图 5 中细线簇。

表4　芦溪河段村落成灾水位分析成果表 (m)

Table4　The warning water levels at the various villages in the Luxi reach (m)

断面	成灾水位					综合
芦溪村	78.02					
芦溪街道		76.25				
★ 樟村(水文)	77.47	75.95	77.59	75.5	77.7	75.5
罗村/河口				73.16/72.61		
倒湖					70.5	

4.2　预警水位与淹没人口量化关联

以综合预警指标(75.50m)为起点,设定水位变化步长,按照不同频率设计洪水水面线,推算各个村落与预警站点对应的水位数值, 各个村落按照推算的水位查读图 3(b)~(f),得到相应的淹没人口,成果见表 5、图 7 所示。其中图 7(a)确立了芦溪水文站不同水位与各个村落淹没人口关系,图 7(b)确立了不同水位与芦溪河段集总淹没人口关系。2013 年 6 月,芦溪水文站水位 77.46,对应罗村淹没水深 1m 有余,与实际调查相符合。

表5　水位预警站不同水位与村淹没人口关系表

Table5　The relation between the early warning stations' stages and flood population

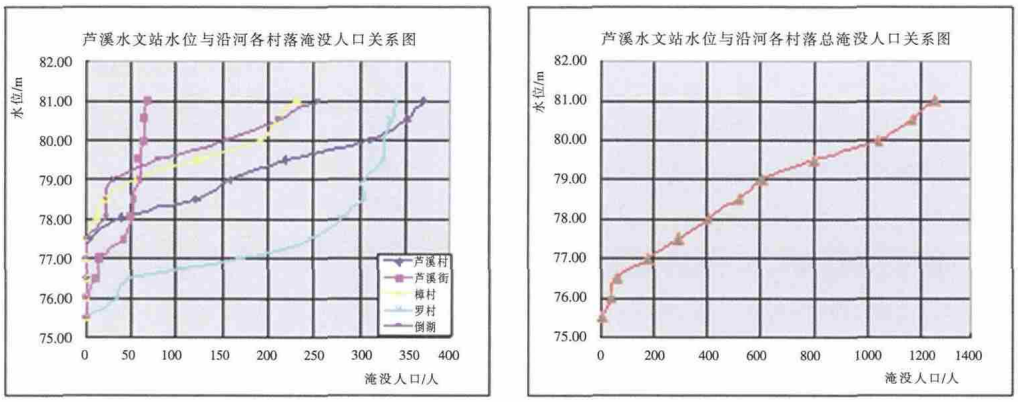
预警水位	芦溪村		芦溪街		樟村		罗村		倒湖		河段合计
	水位/m	人口/人	水位/m	人口/人	水位/m	人口/人	水位/m	人口/人	水位/m	人口/人	
75.50	75.9	0	75.80	0	75.50	0	73.16	0	68.50	0	0
76.00	76.4	0	76.30	0	76.00	0	73.40	34	69.00	0	34
76.50	77	0	76.90	11	76.50	0	73.55	46	69.30	0	57
77.00	77.5	0	77.40	15	77.00	0	73.95	171	70.00	0	186
77.50	78.05	5	77.95	42	77.50	0	74.20	247	70.30	0	294
78.00	78.6	39	78.50	51	78.00	12	74.50	280	70.80	21	403
78.50	79.1	121	79.00	52	78.50	20	74.90	304	71.30	21	518
79.00	79.6	159	79.50	59	79.00	54	75.10	304	71.80	31	607
79.50	80.15	220	80.05	59	79.50	122	75.45	326	72.35	80	807
80.00	80.7	310	80.60	65	80.00	191	75.75	326	73.00	155	1047
80.50	81.3	350	81.20	65	80.50	210	76.20	333	73.70	210	1168
81.00	81.85	370	81.75	68	81.00	231	76.65	340	74.30	254	1263

4.3　水文预报

芦溪水文站拥有 50 年的降水径流资料,属于典型的湿润地区,适应新安江模型,根据文献[6]的分析成果, 流域模型参数以及流域内分单元模块演算时段参数如表 6、表 7 所示,模型采用 90 年代后 9 个雨量站点与径流配套,率定成果见表 8,洪峰合格率 80%,确定性系数 0.91, 预警特征水位 75.5m 以上对应流量的洪水场次洪峰合格率 85%, 确定性系数 0.95, 如表 8 中下滑线部分,成果满足预警要求。

5　结束语

本文洪水评价来自水文站点的基础资料和文献[5]的发布成果, 预警站设计水位由该站水位流量关系推求, 沿河调查点设计水位依据典型年水面线及调查点水位流量关系推算。评价河段的村落沿河纵向长度相对河段尺度相对较小,且洪水比降不大,文中忽略了村



(a) (b)

图 7 预警站水位与村落淹没人口关系图

Fig.7 The relation between the early warning stations' stage and flood population

表6 芦溪以上流域新安江水文模型参数表

Table6 The parameters of Xin' anjiang model for the watershed above the Luxi station

参数名称	*K*	*IM*	*KK*	*B/N*	*WM*	*UM*	*LM*	*C*	*SM*	*EX*	*KI*	*KG*
参数值	0.9	0.001	0.8	0.3	120	30	40	0.4	30	1.5	0.5	0.15
参数名称	CI	CG	C0	C1	C2	CS0	α1	β1	l0	α2	β2	DI
参数值	0.45	0.8	0.14	0.72	0.14	0.82	0.17	−0.24	0	0	0	24

表7 芦溪以上流域水文预报模型流域参数表

Table7 The parameters of the hydrological model for the watershed above the Luxi station

序号	雨量站名	演算段数	经度	纬度	设站年份
1	芦溪	2	117°30′	29°42′	1958
2	舍会山	3	117°35′	29°37′	1977
3	贵溪	3	117°36′	29°47′	1966
4	汊口	5	117°42′	29°42′	1963
5	乔山	6	117°43′	29°46′	1980
6	寺前	7	117°37′	29°55′	1976
7	北坑	7	117°52′	29°51′	1976
8	大洪岭	8	117°42′	30°00′	1980
9	联枫	8	117°45′	29°57′	1958

落内部由“高程与淹没人口关系”向“水位与淹没人口关系”转化环节，对洪水比降大、村落沿河布局长、存在堰坝等阻水建筑物的村落还应进行转化。受建设投资、管理运维因素限制，不可能每个村落均具备水位预警条件，本文分析的案例，是一站预警多点的方法，对距离预警站相对较远的村落，由于沿河集水面积变化，干支流洪水交互影响，水面比降随之变化，预警精度会受距离影响，故选择哪个站、什么样的预警方式应由属地

表8 新安江模型率定成果表

Table8 The calibrated results of the Xin′anjiang model

洪号	$R_{实}$ /mm	$R_{计}$ /mm	径流误差/%	$Q_{实}$ /$m^3 \cdot s^{-1}$	$Q_{计}$ /$m^3 \cdot s^{-1}$	洪峰误差/%	dy 系数
950530	230.83	203.38	−11.89	1120	1148.06	2.51	0.87
900626	204.68	201.47	−1.57	1700	1790.7	5.34	0.98
910518	206.21	186.99	−9.32	1480	1272.58	−14.02	0.91
910702	240.05	230.37	−4.03	1830	1776.47	−2.93	0.98
920701	125.1	100.44	−19.71	958	1015.89	6.04	0.89
930618	226.39	195.9	−13.47	1680	1434.31	−14.62	0.96
930629	394.45	384.57	−2.5	2130	2090.12	−1.87	0.98
940608	123.44	122.06	−1.12	1480	1560.38	5.43	0.96
900614	105.43	79.79	−24.32	1550	1271.79	−17.95	0.91
950519	136.4	121.07	−11.24	2110	2113.99	0.19	0.98
990622	618.17	630.17	1.94	2770	2631.63	−5	0.98
950619	195.56	189.22	−3.24	856.29	1124.73	31.35	0.89
960617	197.04	215.93	9.59	1720	2455.04	42.73	0.83
960629	437.07	441.08	0.92	3540	3190.58	−9.87	0.97
970706	204.98	237.46	15.85	703	926.13	31.74	0.85
980422	74.03	51.56	−30.36	664.62	358.33	−46.08	0.58
980623	350.74	347.04	−1.05	2350	2494.93	6.17	0.99
980721	392.96	470.82	19.82	1490	2157.46	44.8	0.82
990519	140.75	144.8	2.88	782	809.21	3.48	0.98
940612	147.75	132.03	−10.63	1570	1349.96	−14.02	0.94

站点布局条件和洪水特征而定。预警指标体系是一个不断完善的过程，评价的初步结果有待实际积累经验后修正。本文的技术路线可以作为山洪灾害防治非工程措施完善的依据，也是可以作为中小河流水文监测系统实施应用的依据。

参考文献:

[1] 胡余忠,章彩霞,张克浅,等. 安徽黄山市“2013.6.30”洪水致灾原因及防治思考 [J]. 中国防汛抗旱, 2013,(5). (HU Yuzhong, ZHANG Caixia, ZHANG Keqian,et al. The cause of “2013.6.30” flood disaster and discuss on its prevention [J].China Flood & Drought Management, 2013,(5). (in Chinese))

[2] 安徽省防汛抗旱总指挥部办公室. 安徽省山洪灾害调查外业手册[R]. (Office of Flood Control and Drought Relief Headquarters of Anhui Province. Flash flood disaster investigation field manual for Anhui province [R]. (in Chinese))

[3] 胡余忠,洪刚,杨晓明,等. 山洪灾害影响评估基础信息平台[Z]. 2014. (HU Yuzhong, HONG Gang, YANG Xiaoming,et al. Basic information platform of effects assessment of flash flood disaster [Z]. 2014. (in Chinese))

[4] 胡余忠,杨晓明,洪继承. 安徽黄山市呈坎示范点山洪灾害情况调查[J]. 中国防汛抗旱, 2014,(3).(HU Yuzhong, YANG Xiaoming, HONG Jicheng. Investigation of mountain torrents disaster in Chengkan site, Huangshan city, Anhui province [J]. China Flood & Drought Management, 2014,(3). (in Chinese))

[5] 黄山市水文水资源局. 黄山水文手册[R]. 2013. (Hydrology Bureau of Huangshan City. Hydrology handbook for Huangshan city [R]. 2013. (in Chinese))

[6] 胡余忠.黄山地区汇流参数分析[J].水文, 1993,(6). (HU Yuzhong. Parameter of flow concentration in Huangshan city [J]. Journal of China Hydrology, 1993,(6). (in Chinese))

Investigation and Assessment of Flash Flood Effect and Research on Construction of Early Warning System: Take Luxi Reach of Chang River as A Case

HU Yuzhong[1], YAO Xuebin[2], ZHANG Caixia[2], FANG Hong[1], FANG Guoji[2]

(1.*Hydrology Bureau of Anhui Province, Hefei* 230033, *China*;

2.*Huangshan Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Tunxi* 245000, *China*)

Abstract: Based on the survey results of flash flood impact, this paper evaluated the flood influence in the Luxi reach of the Chang River and established the water level warning index system and a hydrologic forecasting model. The main conclusions include: (1), the risk of flood is less than once in every five years in the Luxi reach of the Chang River, which belongs to the typical area affected by the threat of flash flood; (2) the warning water level of flash flood in the Luxi reach is 75.5m; and (3) the real-time and forecasting results of the Luxi station can be used as the guidance of flood warning for the adjacent reaches. The method of evaluation and framework of warning system can be used as a reference for improving the non-engineering measures against flash flood disasters and operational application of hydrology monitoring system in small and medium-sized rivers.

Key words: flash flood survey; impact assessment; water level of flood disaster; early warning

(上接第 73 页)

Water Utilization Safety of Inland Nuclear Power Plants in China

ZHANG Ailing[1,2], CHEN Xiaoqiu[1], LIU Senlin[2], JIA Xiang[2,3]

(1. *Nuclear and Radiation Safety Centre of Ministry of Environment Protection, Beijing* 100082, *China*;

2. *China Institute of Atomic Energy, Beijing* 102413, *China*;

3. *Department of Nuclear and Radiation Safety Regulation of Ministry of Environmental Protection, Beijing* 100035, *China*)

Abstract: This paper introduced the safety design and the service water system of the inland nuclear power plants, analyzed the requirement in water supply and the guarantee rate of water. Based the conditions of water resources in China and present situation of water resources assessment, how to guarantee the reliability and feasibility of water source were discussed and some suggestions of guarantee measures were made.

Key words: inland nuclear power plant; safety of water utilization; service water system; water source condition; water resources assessment