

# 我国内陆核电的用水安全

张爱玲<sup>1,2</sup>, 陈晓秋<sup>1</sup>, 刘森林<sup>2</sup>, 贾 祥<sup>2,3</sup>

(1. 环境保护部核与辐射安全中心, 北京 100082; 2. 中国原子能科学研究院, 北京 102413;  
3. 环境保护部核电安全监管司, 北京 100035)

**摘 要:**在介绍我国拟建内陆核电机组的安全设计和厂用水系统的基础上, 分析了内陆核电的用水需求和保证率要求。结合我国水资源条件及水资源论证现状, 对如何保障内陆核电取水水源的可靠性与可行性进行了探讨, 并提出了内陆核电用水安全保障措施的建议。

**关键词:**内陆核电; 用水安全; 厂用水系统; 水源条件; 水资源论证

中图分类号: TM623

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2015)03-0069-05

由于核电厂对厂址安全 and 环境条件的高要求, 仅在沿海地区发展核电已不能满足国家核电规划装机容量, 随着内陆省份电力需求不断增长, 近年来我国在内陆地区开展了大规模核电厂选址工作。作为第一批内陆核电选址项目, 湖南桃花江、湖北咸宁和江西彭泽核电厂址在 2009 年就已经获得国家核安全局的厂址批准书。美国核管会分别于 2012 年和 2013 年批准 Vogtle 内陆核电站和 VC Summer 核电站建设 2 台 AP1000 机组项目, 这是美国经过 30 年核电建设冰封期后重启核电建设。

为保证核电厂的核安全和环境安全, 从 20 世纪 80 年代建设核电开始, 我国已经逐步建立了一套相对完整的核电厂选址安全规定和环境影响评价标准的法规体系。法规标准中明确规定核电厂选址、建造和运行中要充分考虑到厂址所在地的地震地质、水文气象、水资源、人口分布、环境功能及要求等各种自然现象和环境条件, 要有足够防御极端事件的能力, 保障核安全和环境安全<sup>[1-3]</sup>。其中水资源条件是决定内陆核电厂选址的关键性因素之一。

2011 年 3 月 11 日, 因特大地震引发的海啸事件造成日本福岛第一核电厂大量放射性物质释放到大气和海洋环境中, 引起了世界各国对核电安全和环境安

全的深入反思, 也引起了我国各方面专家和社会公众对国内核电厂, 特别是内陆核电厂建设的安全和环境影响的大讨论。而且, 随着气候变化和能源需求增加, 近年来频繁出现的旱灾和电荒, 也让内陆核电厂的选址和建设备受关注。在内陆地区建设核电的质疑声中, 可以看到一些与水资源有关的评论, 例如, “内陆地区建造核电厂, 还有一个特殊风险, 如果一旦遭遇大旱之年, 冷却水断绝, 这将立即产生特大核电厂事故”; “我国严重缺水, 制约内陆核电的发展, ……在缺水地区, 第三代核技术并不比当前依靠电源驱动的第二代核技术更安全”<sup>[4-5]</sup>。的确, 核电如同火电一样, 都需要可靠地获取冷却水, 要求具有充足、可靠的水资源保障, 并需充分考虑特枯时期水量和水资源调度条件, 来保证核电厂的正常运行。

如何保障内陆核电的取水水源的可靠性与可行性, 满足核电厂用水安全需求, 与我国国情和水资源管理政策相适应, 成为内陆核电选址和运行安全的主要问题之一。

## 1 内陆核电厂的建设及必要性

世界电力供应约 16% 来自核电, 截至 2012 年, 法国核电占总发电量的 74.8%, 韩国占 30.4%, 美国占近

收稿日期: 2014-10-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41101511)

作者简介: 张爱玲 (1973-), 女, 山东潍坊人, 研究员, 硕士, 研究方向为水文水资源。E-mail: zhang20040701@sina.com

19.0%,我国约占2.0%。核电是安全、清洁、优质的现代能源,在保证能源供应安全、调整能源结构、改善环境质量、应对气候变化等方面发挥着不可替代的战略作用,积极发展核电是我国能源可持续发展的战略选择<sup>[6-7]</sup>。

2012年10月国务院批复的《核安全与放射性污染防治“十二五”规划及2020年远景目标》(以下简称“核安全规划”)再次强调,核安全是核能与核技术利用事业发展的生命线。坚持在确保安全的前提下发展核电,并把握好发展节奏。同时,核安全规划中也对新申请建造许可证的核电项目提出了明确要求,即按照我国和国际原子能机构最新的核安全法规标准进行选址和设计,采用技术更加成熟和先进的堆型,提高固有安全性。通过科学选址和采取更加高效、可靠的工程措施,确保气态和液态流出物在核电机组正常运行和事故情况下对环境 and 公众均不会造成不可接受的影响<sup>[8]</sup>。

迄今为止,我国的核电建设都集中在沿海地区。但从核电长远的规模发展来看,仅在沿海地区建设核电难以满足内陆省市对绿色能源日益增长的需求和电网安全,因此内陆核电建设成为核电进一步发展的必然选择。

## 2 核电厂的安全设计

2012年10月国务院常务会议通过《核电安全规划》和《核电中长期发展规划》,并对当前和今后一个时期的核电建设作出明确部署:按照全球最高安全要求新建核电项目;新建核电机组必须符合三代安全标准。

以AP1000机组为例介绍一下第三代核电厂的安全设计。AP1000核电厂在成熟的传统压水堆核电技术的基础上采用非能动安全系统<sup>[9]</sup>。“非能动”理念的引入使核电厂安全系统的设计发生了根本性变化:在设计中采用非能动的严重事故预防和缓解措施,简化安全系统配置,减少安全支持系统,可实现事故后72小时操作员不干预,降低人为因素错误,显著提高核电厂预防和缓解严重事故的安全性能。AP1000机组在设计上为预防事故发生和缓解事故影响设置了多层纵深防御,主要体现在以下6个方面<sup>[10]</sup>:稳定运行、核电厂实体屏障、非能动安全系统、安全相关系统的多样性缓解、非安全相关系统和熔融物反应堆压力容器内滞留。

核电厂反应堆系统、设备和部件在正常运行过程中

会产生多余热量、在冷停堆过程产生衰变热,以及汽轮机发电余热等都需要外部冷却后才能正常工作。目前滨海核电厂大多数为M310“二代加”机组,均采用了与大多数火电厂一样的水冷方式。核电厂在正常运行和事故情况下的多余热量都需要依靠设备冷却系统和重要厂用水系统带走,最终热阱是环境水体,所以这两个系统都属于核安全相关系统,设计标准和抗震要求高。

内陆核电厂拟采用的AP1000机组等三代技术,因为采取了非能动的设计理念,出现事故时,核电机组通过非能动堆芯冷却系统将堆芯的热量以蒸汽的形式带到安全壳内,再借助非能动安全壳冷却系统冷凝安全壳内的蒸汽,并通过壁面热传导、液膜蒸发、空气流道的对流换热将热量带到安全壳外的环境中。即AP1000机组在严重事故情况下的最终热阱是大气,事故后堆芯余热的带出不依赖于二回路,不依赖淡水补给水源。所以,厂用水系统是一个非安全相关的系统,设计标准和抗震要求相对M310机组要低。

## 3 核电厂的用水需求和保证率要求

根据内陆核电厂用水系统和工艺设计,核电厂的用水系统主要包括厂用水系统、循环冷却水系统、化学水预处理系统、生活饮用水系统以及其他用水系统等。借鉴我国内陆火电厂直流循环冷却方式所造成热环境影响和生态影响的经验和教训,以及国外内陆核电厂和火电厂的工程实践,我国内陆核电厂发电余热的循环冷却水系统均采用二次循环冷却方式,与直流冷却相比,从环境中取水总量约减少95%,

经初步估算,一个建设4台AP1000机组的内陆核电厂,如果采用自然通风冷却塔,取水量约为 $4\text{m}^3/\text{s}$ <sup>[11]</sup>,折合成年取水总量约为 $1.2\times 10^8\text{m}^3$ ,大约三分之二的取水水量会成为消耗水量,随冷却塔蒸发、漂滴等形式进入大气,其余三分之一取水水量经多次循环复用后可能回排到地表水体中。

根据工艺设计,AP1000核电厂正常运行时的用水系统与核安全无关,正常运行期间淡水供水保证率按照97%设计。这与大型火电厂的淡水供水保证率要求是一致的<sup>[12]</sup>,不需要对核电厂提出特殊要求。这与目前我国已经建成运行的第二代核电机组的安全厂用水系统(SEC)在核电厂正常运行和事故工况下淡水供水保证率为100%的要求是不同的。

除了循环冷却水外,核电厂还需要两种水质的水,即生活水质的水(包括生活用水、消防水、生产和施工

用水)和除盐水原水,以满足不同用户对不同水质用水的要求。通常核电厂通过自建水处理设施解决水质要求问题,所以环境水体的水质不是内陆核电厂选址的制约因素。

## 4 我国内陆核电厂用水安全的保障措施

### 4.1 严格的水资源管理政策

我国对水资源实行统一管理。为了解决我国日益复杂的水资源问题,实现水资源高效利用和有效保护,2011年中央1号文件和中央水利工作会议明确要求实行最严格水资源管理制度,确立水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三条红线”,从制度上推动经济社会发展与水资源水环境承载力相适应<sup>[13]</sup>。2012年1月12日,国务院以国发[2012]3号文件发布了《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》,成为指导当前和今后一个时期我国水资源工作十分重要的纲领性文件。主要内容概括来说,就是确定“三条红线”,实施“四项制度”,加强水资源开发利用控制红线管理,严格实行用水总量控制,严格实施取水许可;加强用水效率控制红线管理,全面推进节水型社会建设;加强水功能区限制纳污红线管理,严格控制入河湖排污总量。以切实发挥政策效力,实现水资源管理的新跨越,以水资源的可持续利用保障经济社会长期平稳较快发展。

依据全国水资源综合规划配置方案和全国用水总量控制方案,2020年全国用水总量控制在 $6\,700\times 10^8\text{m}^3$ 以内,2030年控制在 $7\,000\times 10^8\text{m}^3$ 以内。其中,核电作为国家战略性产业,列入《全国水中长期供求规划技术大纲(试行)》<sup>[14]</sup>的东中部核电开发带,作为能源开发类型已纳入能源基地供水保障方案。这成为内陆核电用水安全的政策保障。

### 4.2 合理的核电厂选址布局

水资源时空分布不均是我国的基本国情和水情,从时间上来看,我国的大部分地区降雨量年内和年际变化均较大,水资源年内年际分配不均。这造成我国旱涝灾害频繁,水资源供需矛盾突出,径流量的年际变化存在明显的连续丰水年和连续枯水年。水资源空间上分布不平衡性与全国人口、土地和资源分布的差异性,这种不协调严重影响着我国水资源的利用,制约着经济的发展以及社会的进步<sup>[15-17]</sup>。

我国拟选30个内陆核电厂址,均已通过初步可行性研究审查确定为优先候选厂址,部分厂址正在开展

可行性研究。30个厂址中26个为滨河厂址、4个为滨水库厂址,绝大部分选择在水资源较为丰富的长江流域、珠江流域和松花江流域。在26个滨河厂址中5个厂址的年平均流量介于 $150\sim 500\text{m}^3/\text{s}$ ,11个厂址的年平均流量介于 $500\sim 5\,000\text{m}^3/\text{s}$ ,10个厂址的年平均流量大于 $5\,000\text{m}^3/\text{s}$ ,而且大多数厂址所在河流97%的枯水流量在 $100\text{m}^3/\text{s}$ 以上,个别厂址的97%的枯水流量小于 $20\text{m}^3/\text{s}$ 。在4个滨水库厂址中,水库的库容均在 $10\times 10^8\text{m}^3$ 以上,属于大型水库,同时,水库的入库径流量均在 $10\times 10^8\text{m}^3$ 以上<sup>[18]</sup>。相对于内陆核电厂运行所需取水量 $4\sim 6\text{m}^3/\text{s}$ 而言,其所占河流或水库的水量比例是很小的。

### 4.3 深入的水资源论证研究

根据国务院第460号令《取水许可和水资源费征收管理条例》的规定,“建设项目需要取水的,申请人还应当提交由具备建设项目水资源论证资质的单位编制的建设项目水资源论证报告书。论证报告书应当包括取水水源、用水合理性以及对生态与环境的影响等内容”;“实施取水许可必须符合水资源综合规划、流域综合规划、水中长期供求规划和水功能区划,遵守依照《中华人民共和国水法》规定批准的水量分配方案;尚未制定水量分配方案的,应当遵守有关地方人民政府间签订的协议”<sup>[19-20]</sup>。

由于内陆核电项目规模大,建设周期长,多台机组连续建设,施工期、调试期和运行期往往发生重叠;再加上核电厂址所在河流往往受上游水资源开发程度、江河可利用水量、水电站和调水工程、河流不同水期水量差异等的影响,内陆核电的水资源论证工作显得更加重要、复杂和任务艰巨。

通常,水资源论证通过对核电建设项目所在区域水资源及其开发利用状况的分析和调查,总结现状水资源开发利用中存在的主要问题;根据国家和地方产业政策、水资源管理要求、水资源规划、水资源配置方案以及用水流程、用水指标,论证核电工程取水合理性;根据核电工程取水水源的来水量、用水量、可供水量和水资源供需平衡情况以及水质状况,分析评价核电工程取水的可靠性和可行性;根据核电工程取水地点、取水量、取水方式、用水工艺、退水方式以及入河排污口设置,分析工程取用水与退水对周边环境和其他用水户的影响,提出相应的解决、补偿措施以及水资源保护措施,从而达到保证建设项目合理取水、提高水资源利用效率和效益,减少建设项目取水和退水对周边

的不利影响,促进流域水资源的优化配置和可持续利用的目的。

目前,得到国家发改委批准开展前期工作的湖南桃花江、湖北大畈和江西彭泽3个核电厂址均由有资质的专业技术单位按照法规和导则要求开展了深入的水资源论证工作,初步研究结论表明核电厂的淡水供水是可以得到保障的,核电厂取水对区域水资源产生影响甚微。

#### 4.4 可靠的工程保障措施

尽管我国内陆核电厂布局在长江流域以及其他水资源丰富的地区,但是鉴于对河流或湖泊水生生态系统的保护,环境保护相关技术规定要求内陆核电厂采取二次循环冷却方式,避免了大量的直流冷却水量对水资源和水环境的破坏或影响。

美国、法国等核电发展国家,对于内陆核电厂取水工程的设计和运行具有非常成熟的工程经验<sup>[11]</sup>。采用降低核电厂的用水量和耗水量的水冷却方案,通过工程技术措施,如采用闭式循环冷却(湿式或干式冷却塔)、增设厂内专用储水构筑物、中水循环再利用技术等,可进一步减少电厂的用水需求、消耗和增加供水保障,保护水生生态系统。

在2011年福岛核事故后,国家核安全局组织开展了我国核电厂的核安全综合检查<sup>[21]</sup>,总体结论是,我国运行核电机组安全业绩良好,迄今未发生国际核事件分级(INES)2级及其以上的运行事件,安全风险处于受控状态,运行核电厂的安全是有保障的。同时,为了汲取日本福岛核事故的经验和教训,进一步提高我国核电厂的安全水平,国家核安全局编制和发布了《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求(试行)》<sup>[22]</sup>,其中对核电厂应急补水及相关设备设置提出技术要求,主要包括采用二回路或一回路应急补水、乏燃料水池应急补水等措施带出余热的技术要求,并提出了移动泵、补水管线和水源的技术要求。目前各核电厂正按照有关要求和技术改进,为核电厂取水安全及事故后余热导出提供了更可靠的设备和工程保障。

#### 4.5 健全的异常环境条件应急机制

近些年,随着气候的变化和旱灾频繁发生,我国水资源时空分布不均的用水矛盾越发突出。例如2006~2007年,西南地区的四川、重庆发生了严重的干旱;2009~2010年,西南五省(自治区、直辖市)相继发生夏、秋、冬连旱迭加,干旱持续的时间之长、涉及的

范围之广、影响程度之深,均为历史罕见。2011年,长江中下游地区江苏、安徽、江西、湖北、湖南等省遭受不同程度的旱灾,鄱阳湖、洞庭湖、洪湖等遭受了不同程度的旱灾,使得生产生活受到影响。因此,除了在水资源论证分析中对这种极端干旱天气进行深入分析论证外,内陆核电厂的水资源安全应急管理还应充分考虑这种异常环境条件进行充分的风险评估,预先考虑诸如连续枯水状态等外部条件的异常性变化的应急对策,建立健全异常环境条件下的用水安全的应急机制。

这也可以从欧洲和美国的运行实践中得到借鉴和启发。例如,2006年的热浪席卷欧洲,一批核电厂为避免向水中排放热量导致水温超标,被迫停运或降功率运行;2007年在美国东南部地区,几座核电厂由于河流低水位不得不将功率降至50%<sup>[23]</sup>。可以看出,尽管受到了长时间干旱条件或热浪天气的影响,也只是影响到了核电厂的发电功能和效率,由于核电厂自身设计的高安全性能,并没有造成任何核安全和环境安全影响。但从本质上看,“干旱”或“热浪”均属于缓发的自然现象,而不是一种突发事件,这使得营运单位和监管部门有足够的决策和应对时间,确保核电厂的安全。

### 5 结论和建议

(1)根据目前内陆拟建核电厂的基本安全原理和系统工艺设计,核电厂正常运行期间淡水供水保证率按照97%设计,这与大型火电厂的淡水供水保证率要求是一致的。

(2)由于核电厂事故工况下堆芯余热的排除不依赖于外部电源和外部水源实现,而是靠设立专项设施的重力补水及最终建立堆内自然循环来实现堆内余热的排除。因此,基于上述安全设计,即使在发生异常干旱天气情况下,不会由于厂外淡水供水能力不足而额外增加核电厂安全风险和环境风险。

(3)核电厂通常自建水处理设施来满足用水水质要求,环境水体水质不是内陆核电厂选址和用水安全的制约因素,核电厂用水安全的评价重点是区域水资源量和可供水量。

(4)从已经开展水资源论证的内陆核电项目来看,我国内陆核电厂的建设单位在选择厂址时,能充分考虑在水文条件较好和水资源相对充沛的地区选址,以保证核电厂用水安全性。内陆核电厂供水水源和用水安全完全可以通过合理布局厂址来得以保障。

只要科学、客观地评估内陆核电厂可能带来的环境风险,深入开展核电厂用水安全的水资源论证工作,并通过采取可靠的取水和供水工程措施,建立水资源突发事件的应急对策,在我国内陆地区建设核电厂的用水安全完全是可以得到保障的。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国放射性污染防治法 [S]. 2003.6.28. (The People's Republic of China Law on the Prevention and Control of Radioactive Pollution [S]. 2003.6.28. (in Chinese))
- [2] 国家核安全局. 核电厂厂址选择安全规定(HAF101)[S]. 1991. (The National Nuclear Safety Administration. Safety Regulations of Nuclear Power Plant Sitting(HAF101)[S]. 1991. (in Chinese))
- [3] GB6249-2011, 核动力厂环境辐射防护规定 [S]. (GB6249-2011, Regulations for Environmental Radiation Protection of Nuclear Power Plant [S]. (in Chinese))
- [4] 何祚庥. 坚决反对在内地建核电站 [J]. 中国三峡, 2012,(3):51. (HE Zuoxiu. Resolutely opposed to build nuclear power plants in inland [J]. China Three Gorges Construction, 2012,(3):51. (in Chinese))
- [5] 王亦楠. 内陆核电不宜启动 [J]. 能源, 2012,(8):66-68. (WANG Yinan. Inland nuclear power should not start [J]. Energy, 2012(8): 66-68. (in Chinese))
- [6] 潘自强,马忠海,毋涛,等. 我国煤电链和核电链对健康、环境和气候影响的比较[J]. 辐射防护, 2001,21(3):130-145. (PAN Ziqiang, MA Zhonghai, WU Tao, et al. Comparative study of impacts of coal chain and nuclear power chain in China on health, environment and climate [J]. Radiation Protection, 2001,21(3):130-145. (in Chinese))
- [7] 叶奇蓁. 中国核电发展战略研究 [J]. 电网与清洁能源, 2010,26(1): 3-8.(YE Qizhen. Studies on the development strategy of China's nuclear power [J]. Power System and Clear Energy, 2010,26(1):3-8. (in Chinese))
- [8] 环境保护部(国家核安全局),国家发展改革委,财政部,国家能源局,国防科技工业局. 核安全与放射性污染防治“十二五”规划及2020年远景目标 [Z]. 2012.10. (Ministry of Environmental Protection, National Development and Reform Commission, Ministry of Finance, National Energy Administration, State Administration of Science Technology and Industry for National Defence. “Twelfth Five Year Plan” and 2020 Long-Range Objectives of Nuclear Safety and Radioactive Pollution Prevention and Control[Z]. 2012.10. (in Chinese))
- [9] Westinghouse. AP1000 Design Control Document (Rev.16)[Z]. May, 2007.
- [10] 孙汉虹. 第三代核电技术 AP1000 [M]. 中国电力出版社, 2010.9. (SUN Hanhong. AP1000 - the Third Generation on Nuclear Power Technology [M]. China Electric Power Press, 2010, (in Chinese))
- [11] International Atomic Energy Agency (IAEA). Efficient water management in water cooled reactors [R]. 2012.
- [12] DL5000-2000, 火力发电厂设计技术规程 [S]. (DL5000-2000, Technical Code for Designing Fossil Fuel Power Plants [S]. (in Chinese))
- [13] 中华人民共和国水利部. 实行最严格水资源管理制度 [S]. 2012. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Applying the Strictest Water Resource Control System [S]. 2012. (in Chinese))
- [14] 水利部水利水电规划设计总院. 全国水中长期供求规划技术大纲 [R]. 2012. (General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design. The technology outline of long - and medium-term water supply and demand planning [R]. 2012. (in Chinese))
- [15] 中华人民共和国水利部. 2000~2011年水资源公报 [Z]. 2012. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China Water Resources Bulletin (2000-2011) [Z]. 2012. (in Chinese))
- [16] 张利平,夏军,胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009,18(2):116-120. (ZHANG Liping, XIA Jun, HU Zhifang. Situation and problem analysis of water resource security in China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009,18(2):116-120. (in Chinese))
- [17] 陈西庆,陈进. 长江流域的水资源配置与水资源综合管理[J]. 长江流域资源与环境, 2005,14(2):163-167. (CHEN Xiqing, CHEN Jin. Water resources allocation and integrated water resources management in the Yangtze river basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005,14(2):163-167. (in Chinese))
- [18] 中国核能行业协会. 内陆核电厂环境影响的评估报告 [R]. 2013. <http://www.docin.com/p-662494846.html> (China Nuclear Energy Association. Inland Nuclear Power Plant Environmental Impact Assessment Report [R]. 2013. <http://www.docin.com/p-662494846.html>. (in Chinese))
- [19] 国务院第460号令. 取水许可和水资源费征收管理条例[S]. 2006. (the State Council Decree No. 460. Regulations on Management of Water Permits and Water Resources Fee [S]. 2006. (in Chinese))
- [20] 中华人民共和国水利部,国家发展计划委员会. 建设项目水资源论证管理办法 [S]. 2002. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, State Development Planning Commission. Water Resources Argumentation Management Methods of Construction Projects [S]. 2002. (in Chinese))
- [21] 环境保护部(国家核安全局),国家能源局,中国地震局. 关于全国民用核设施综合安全检查情况的报告 [R]. 2012. (Ministry of Environmental Protection, National Energy Administration, China Earthquake Administration. The comprehensive safety inspection report of national civil nuclear facilities [R]. 2012. (in Chinese))
- [22] 国家核安全局. 关于印发《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求(试行)》的通知 [Z]. 2012. (National Nuclear Safety Administration. General Technology Action Requirements of Nuclear Power Plants After Fukushima Nuclear Accident(Trial)[Z]. 2012. (in Chinese))
- [23] Frauke Urban,Tom Mitchell. Climate change, disasters and electricity generation [DB/OL]. Strengthening Climate Resilience Discussion Page 8, website: [www.csdrn.org](http://www.csdrn.org),2011.

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<sup>1</sup>, YAO Xuebin<sup>2</sup>, ZHANG Caixia<sup>2</sup>, FANG Hong<sup>1</sup>, FANG Guoji<sup>2</sup>

(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<sup>1,2</sup>, CHEN Xiaoqi<sup>1</sup>, LIU Senlin<sup>2</sup>, JIA Xiang<sup>2,3</sup>

(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