

内陆核电厂选址阶段水资源约束条件指标体系

黄 军,赵 静,谭炳卿,张 磊,余 济

(合肥工业大学土木与水利工程学院,安徽 合肥 230009)

摘要:简要介绍了构建内陆核电厂选址阶段水资源约束条件指标体系的原则和基本思路,从水资源配置与管理要求、取水水源条件、低放射性废液排放受纳水域水文条件、水资源安全 4 个方面构建了水资源约束条件指标体系。应用实例分析结果表明,水资源约束条件指标体系可作为内陆核电厂厂址选择的约束条件,可为选址阶段解决内陆核电建设与运行可能面临的水资源问题提供技术依据。
关键词:内陆核电厂;水资源配置;取水水源条件;低放射性废液排放;水资源安全

中图分类号:TV213.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2012)06-0011-04

Indexing system of water resources constraints in the siting of inland nuclear power plants//HUANG Jun,ZHAO Jing,TAN Bingqing,ZHANG Lei,YU Ji(*School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China*)

Abstract: The indexing system of essential water resource constraints in the sitting of inland nuclear power plants was established from four aspects, including water resources configuration and management, the water intake condition, hydrological conditions of the receiving water region of the low radioactive liquid effluents, and water resources safety, based on a brief introduction to the basic principle and framework of the system. Application of the indexing system in actual cases shows that the indexing system can be used as the constraints in the siting of inland nuclear power plants, and it can provide technical support for solving the water resources problems encountered during the construction and operation phases of inland nuclear power plants.
Key words: inland nuclear power plants; essential water resource constraints; water intake condition; low radioactive liquid effluents; water resources safety

随着国民经济的发展和资源环境问题的突显,国家提出调整能源结构、加快发展新能源、节能减排的战略,核电因其发电成本低、发电小时数长、电网接入稳定、低碳环保等特性,成为目前最能有效改善我国能源结构的新能源^[1]。我国内陆核电将进入稳步发展阶段,《核电中长期发展调整规划(2011—2020 年)》提出到 2020 年核电运行装机容量达到 5 800 万 kW,在建核电装机容量保持在 3 000 万 kW 左右的目标^[2]。我国《国民经济和社会发展规划纲要》也提出在确保安全的基础上高效发展核电^[3]。湖南桃花江、湖北咸宁以及江西彭泽已被列入首批兴建内陆核电站的厂址,正开展相关前期研究工作。湖南、湖北、江西、安徽、河南、重庆、广西、四川等省(自治区、直辖市)也不同程度地开展了核电厂址的比选工作。

内陆核电建设项目取水量大,保证率要求高,退水中含有低放射性废液,水资源条件是核电建设布局的关键性因素之一,如何处理好核电建设与水资源管理和保护之间的关系,保障内陆核电建设与运行期间水资源安全,实现内陆核电建设与水资源安全的可持续协调发展,是当前我国水资源管理和内陆核电发展面临的新课题。本文通过对内陆核电厂选址阶段水资源约束条件的初步分析,构建了内陆核电厂选址阶段水资源约束条件指标体系,为指导内陆核电项目的选址与建设、促进内陆核电的合理布局、保障内陆核电建设与运行期的水资源安全提供参考。

1 水资源约束条件指标体系

当前我国内陆核电厂选址阶段水资源条件面临

基金项目:水利部中央分成水资源费项目(201140002);国家科技重大专项(2009ZX07632-01)

作者简介:黄军(1989—),男,安徽合肥人,硕士研究生,主要从事水资源管理、水资源论证工作。E-mail:huangjun393@126.com

通信作者:赵静(1980—),女,安徽黄山人,讲师,主要从事水资源管理、水资源论证工作。E-mail:zj_hfut@163.com

水利水电科技进展,2012,32(6) Tel:025-83786335 E-mail:jz@hhu.edu.cn http://kkb.hhu.edu.cn

• 11 •

如下问题:①2010 年批准发布的《全国水资源综合规划》并未考虑内陆核电取水,核电取水可能会对区域水资源配置及其他用户取水产生影响;②核电厂取水量大,保证率要求高,面临厂址取水水源断面的来水量能否满足核电取水需求的问题;③核电低放射性废液排放需要大量的水进行稀释,面临受纳水体能否承载低放射性废液排放的问题;④鉴于核电事故的危害性,面临如何保障核电的安全用水以及饮用水安全等问题。

1.1 水资源约束条件的定义

内陆核电厂选址阶段需要充分考虑区域水资源配置与管理要求、取水水源条件、低放射性废液排放受纳水域水文条件以及水资源安全等因素,以便为促进核电项目的合理布局、保障核电的用水安全和区域水资源安全以及经济社会的可持续发展提供技术依据。内陆核电厂选址阶段水资源约束条件的初步定义为^[4]:在确保水资源可持续开发利用、经济社会可持续发展的前提下,保障内陆核电的用水安全和核电厂建成运行后核电所在区域的水资源安全,在选址阶段必须满足的管理规定和技术要求。

1.2 水资源约束条件指标体系的构建原则

a. 保障核电设计安全原则。内陆核电近几年才在我国大规模兴起,牵涉面广,敏感要素多,必须坚持核电设计安全为首要原则,严格执行国家现有的相关法律、法规、标准及规程规范。

b. 保障核电用水安全原则。核电发展第一要务为安全,要在保证核电安全的前提下又好又快地发展核电。当前我国已开工建设或者运行的核电厂均位于滨海地区,可以利用海水进行冷却,水量有保证。而内陆核电厂布局于内陆,相对来说淡水资源有限,增加了内陆核电用水的调度难度。考虑到核电的特殊性,有必要优先保障核电用水安全。

c. 符合水资源配置与水功能区管理要求原则。内陆核电取水和低放射性废液排放将会对现有流域、区域水资源配置格局产生较大影响,也会对现有用水户和水资源规划用水户产生影响。内陆核电建设过程中要符合水资源配置与水功能区管理要求,协调好核电建设取用水后与其他用水户之间的关系,减轻或者降低核电建设对水资源配置和其他用水户的影响。

d. 内陆核电布局与水资源条件相适应原则。我国当前拟规划布局建设的内陆核电均采用 AP1000 核电机组,采用循环冷却方式后 4 台核电机组设计年需水量约为 1.6 亿 m³,核电在正常运行期间排放的低放射性废液也需要大量水进行稀释。虽然我国水资源条件较为丰富,但人均占有量较低,南

北差异较大,因此内陆核电布局应与水资源条件相适应,充分保障内陆核电取水和低放射性废液排放稀释用水的需求。

e. 保障饮用水安全原则。核电站退水中含有低放射性废液,会对下游水质安全构成影响。低放射性废液的长期排放会造成在水流交换弱的地区形成放射性元素的富集,通过底泥吸附、食物链传递、地下水侧渗等方式影响下游水质,对水资源的安全构成威胁。考虑到饮用水安全敏感度高,关注度大,必须保障内陆核电在正常运行工况和非正常工况下的居民饮用水安全。

1.3 水资源约束条件指标体系的基本框架

基于目前内陆核电厂选址阶段面临的问题和水资源约束条件指标体系的构建原则,结合水资源约束条件的定义,着重考虑核电突发事件及低放射性废液排放对水资源的影响,根据我国最严格的水资源管理要求和水功能区管理规定,初步建立包括一级指标与二级指标在内的水资源约束条件指标体系(表 1)。一级指标包括 4 个,即水资源配置与管理要求、取水水源条件、低放射性废液排放受纳水域水文条件和水资源安全。一级指标是与内陆核电厂选址阶段水资源约束条件有直接关系的指标,它直接反映内陆核电厂在选址过程中所遇到的核电取水对区域水资源配置产生影响的问题、低放射性废液排放对水功能区产生影响的问题、核电运行取水需求问题、受纳水体承载低放射性废液能力的问题、核电突发事件对水资源安全产生影响等问题。二级指标是在一级指标基础上的细化,将一级指标具体到可操作、可定性和可定量的程度。需要指出的是,在针对不同区域不同水资源条件下的核电厂选址研究时,应根据当地的水资源条件和面临的主要水资源问题,在采用专家咨询与模型模拟计算分析等方法

表 1 内陆核电厂选址阶段水资源约束条件指标体系

一级指标	二级指标
水资源配置与管理要求	取水、用水控制指标
	水资源配置条件
	饮用水源区、饮用水源保护区、缓冲区、生态湿地等保护区
取水水源条件	97% 和 99% 保证率可供水量
	连续枯水年可供水量
	核事故安全用水水源条件
低放射性废液排放受纳水域水文条件	河流最小流量
	河流最小流速
	湖(库)最小水深
	湖(库)最小流速
水资源安全	湖(库)最小水量
	与饮用水源地的安全距离
	核事故条件下备用饮用水源条件
	核事故条件下生产用水安全

的基础上,对指标进行筛选,以确定适合不同内陆核电厂选址阶段的水资源约束条件指标体系。

2 水资源约束条件指标含义及风险度分析

2.1 指标含义

2.1.1 水资源配置与管理要求

a. 取水、用水控制指标。考虑核电拟取水水域其他用户用水以及生态用水等,核电厂应严格遵守取用水量控制的要求,在选址阶段应充分考虑核电厂建设所在区域取水、用水总量控制要求,是否有取水、用水指标,如果没有,则需考虑取水、用水控制指标是否有条件解决。

b. 水资源配置条件。定性分析厂址与所在区域水资源规划与配置的关系,分析厂址取水与用水总量和水量分配指标的关系,明确提出解决拟建内陆核电厂水资源配置条件或用水总量控制指标的具体措施和方案,并对方案的可行性和实施效果进行评价。

c. 水资源管理要求。根据《水功能区管理办法》^[5]、GB 8978—1996《污水综合排放标准》^[6]、EJ/T 1127—2001《核电厂厂址选择基本程序》^[7],明确规定饮用水源区、饮用水源保护区、缓冲区以及具有饮用水功能的水库(湖泊)内禁止设置核电低放射性废液排放口;设有生活取水设施的饮用水源区下游 1 km 范围内禁止设置低放射性废液排放口;在重要河流的干流、河流型饮用水水源地保护区、生态湿地上下游一定距离内禁止或限制设置低放射性废液排放口,具体需要结合区域水资源条件、核电厂址实际情况确定。

2.1.2 取水水源条件

依据内陆核电厂供水保证率和用水需求,考虑核电在连续枯水条件下的用水需求,结合内陆核电防洪以及核电核事故条件下的安全用水水源条件,明确内陆核电厂选址阶段的取水水源条件:①内陆核电厂供水设计保证率为 97%,校核保证率为 99%,可供水量需满足核电厂取水需求;②核电厂址所在区域河段连续枯水年可供水量需满足核电厂取水需求;③计算可能最大暴雨和最大洪水,厂坪高程应在可能最高洪水位以上;④满足核事故条件下的安全用水,保障事故救援冷却水、消防用水和其他处理工作用水等。

2.1.3 低放射性废液排放接纳水域水文条件

依据 GB 6249—2011《核动力厂环境辐射防护规定》^[8]、GB 14587—2011《核电厂放射性液态流出物排放技术要求》^[9]对内陆核电低放射性废液排放总量、排放浓度以及排放方式的控制要求,通过对河流、河口、湖泊、水库等不同接纳水域水力学特征的分析,明确内陆核电厂低放射性废液排放接纳水域

水文条件:①核电厂低放射性废液排放需通过数值模拟或试验模拟低放射性废液在水体中的输运、扩散及衰减过程,估算河流、湖泊的稀释扩散能力;②需要对低放射性废液排放风险进行分析,对可能产生排放事故的概率和影响程度进行定量分析并提出具体的防范措施和控制预案;③分析低放射性废液排放、放射性沉积物累积对接纳水域的影响,提出减缓或消除不利影响的补救措施或补偿措施。

2.1.4 水资源安全

a. 与饮用水源地的安全距离^[10]。考虑内陆核电具有其特殊性以及核事故条件下的区域饮用水安全,有必要定量考虑核电与饮用水源地的安全距离。具体结合历史上发生的核事故、我国人口现状分布、人口增长潜力以及当前我国新农村规划建设和城镇化进程等方面的因素加以确定。

b. 核事故条件下备用饮用水源条件。核电站发生事故以后将会导致放射性元素外泄,需要考虑设置一个可供当地受影响范围内人口一定时间内饮水量的备用水源,以保证核电事故应急期的居民用水安全,备用水源水量根据当地人口密度并做适当调整确定。

c. 核事故条件下生产用水安全。在综合 AP1000 安全设计的基础上,建议新建内陆核电厂在“纵深防御”的原则下,备用一定量的事故应急冷却水作为核事故条件下的安全生产用水。

2.2 风险度分析

指标体系中一级指标直接与选址阶段水资源约束条件相关,而在厂址水资源条件评价过程中各个指标所占权重不同,需要通过风险度分析将指标体系的重要程度定性与定量化,确定指标体系的主次及优先顺序。内陆核电厂选址阶段水资源约束条件指标体系风险度大小依次为:水资源安全、低放射性废液排放接纳水域水文条件、水资源配置与管理要求、取水水源条件。

3 水资源约束条件指标体系的应用实例

在内陆核电厂选址阶段水资源约束条件指标体系中,水资源配置与管理要求可以根据核电厂选址所在流域(区域)的取水、用水总量控制指标和水功能区管理规定直接判别;取水水源条件,如 97% 和 99% 保证率可供水量、连续枯水年可供水量和核事故安全用水源条件,需要通过分析计算来确定;低放射性废液排放接纳水域水文条件与低放射性废液排放方式关系密切,需要根据设计排放方案专题研究后确定;反之,也可根据接纳水域的水文条件,调整和优化低放射性废液排放方案;水资源安全条件可

表 2 桃花江、咸宁、彭泽核电厂水资源约束条件指标初步分析

核电厂名称	取水、用水控制指标	水资源配置条件	饮用水源区、饮用水源保护区、缓冲区、生态湿地等保护区	可供水量/亿 m ³		历年最小枯水流量/(m ³ ·s ⁻¹)	河流最小流量/(m ³ ·s ⁻¹)		与饮用水源地的安全距离
				97% 保证率	99% 保证率		97% 保证率	99% 保证率	
桃花江核电厂	资水水资源丰富,满足指标要求	资水柘溪水库大坝至洞庭湖口区域多年平均地表水资源量为 54.62 亿 m ³	退水口位于渔业用水区,现状水质为Ⅱ类	77.5		188 (桃江站)	372 (桃江站)	304 (桃江站)	距离上下游饮用水源保护区的距离分别为 100 km 和 17 km
咸宁核电厂	富水水库可用水量,满足指标要求	富水水库 97% 设计保证率下年可用水量为 7.74 亿 m ³ (扣除灌溉和生态用水)	富水水库为保留区,现状水质为Ⅲ类	7.74	5.54	31.6 (富水站)			最近的生活饮用水源取水口距离厂址 30 km
彭泽核电厂	取水水源为长江,来水量大,满足指标要求	区域水资源总量为 254.49 亿 m ³ ,核电厂运行取水量占区域水资源总量的 0.53%	退水口位于省际缓冲区	3 999	3 981	4 520 (大通站)	5 510 (大通站)	5 090 (大通站)	最近的生活饮用水源取水口位于厂址下游 7 km 处

注:咸宁核电厂最小水深为 6.1 m,最小流速为 0.008 m³/s,最小水量为 4.21 亿 m³。核事故安全用水水源条件、核事故条件下备用饮用水源条件、核事故条件下生产用水安全暂无资料。

结合选址阶段开展的水资源安全评估专题,明确内陆核电厂址与饮用水源地的安全距离、核事故条件下备用饮用水源条件以及生产用水安全。

选取桃花江、咸宁、彭泽核电厂进行实例分析,初步分析结果见表 2。桃花江核电厂拟建于湖南省益阳市桃江县荷叶山,为滨河核电厂,取水水源和退水水域为资水^[11];咸宁核电厂拟建于湖北省咸宁市通山县大畈镇,厂址位于富水水库中部,为滨库核电厂,取水水源和退水水域为富水水库^[12];彭泽核电厂拟建于江西省彭泽县马垱乡境内帽子山,为滨河核电厂,取水水源和退水水域为长江^[13]。

通过对桃花江、咸宁、彭泽核电厂水资源约束条件的初步分析可知,核电厂址取水水源条件、低放射性废液排放接纳水域水文条件基本能满足要求,但核电厂尚未开展核电建设对水资源配置的影响研究以及核电突发事故水资源尤其是饮用水安全的专题研究,同时 3 座核电厂的低放射性废液排放均存在一些与水资源管理要求不协调的问题,需要进一步研究。

4 结 语

从水资源配置与管理要求、取水水源条件、低放射性废液排放接纳水域水文条件、水资源安全 4 个方面构建了内陆核电厂选址阶段水资源约束条件的指标体系。应用实例分析结果表明,水资源约束条件指标体系可作为内陆核电厂厂址选择的约束条件,可为选址阶段解决内陆核电建设与运行可能面临的水资源问题提供技术依据。

参考文献:

[1] 张淑玲,陈庆伟.日本福岛核泄漏事故对我国核电水资源管理的警示[J].水利发展研究,2011(8):89-93.
[2] 中华人民共和国国务院.核电中长期发展规划(2011—

2020 年)[R].北京:中华人民共和国国务院,2012.
[3] 中华人民共和国国务院.中华人民共和国国民经济和社会发展规划第十二个五年规划纲要[M].北京:人民出版社,2011.
[4] 谭炳卿,赵静,黄军,等.内陆核电项目选址阶段水资源约束条件研究[R].合肥:合肥工业大学,2011.
[5] 中华人民共和国水利部.水功能区管理办法[R].北京:中华人民共和国水利部,2003.
[6] GB 8978—1996 污水综合排放标准[S].
[7] EJ/T 1127—2001 核电厂厂址选择基本程序[S].
[8] GB 6249—2011 核动力厂环境辐射防护规定[S].
[9] GB 14587—2011 核电厂放射性液态流出物排放技术要求[S].
[10] 胡铁松,丁晓雯,张楠楠,等.核电站事故对水资源影响分析及对策措施研究[R].武汉:武汉大学,2011.
[11] 黄燕,李中平,郭希望,等.湖南桃花江核电厂一期工程(2×1 000 MW)水资源论证报告书[R].武汉:长江水利委员会水文局,2009.
[12] 谈广鸣,阮新建,胡颖,等.咸宁核电厂水资源论证报告书[R].武汉:武汉大学,2009.
[13] 彭虹,徐长江,张万顺,等.江西彭泽核电项目一期 2×1 000 MW 级机组水资源论证报告书[R].武汉:武汉大学,2009.

(收稿日期:2012-02-23 编辑:骆超)

