

火(核)电厂温排水热污染防控体系研究概述

赵懿珺

(中国水利水电科学研究院水力学研究所, 北京 100038)

摘要 概述火(核)电厂温排水热污染防控体系中的 3 个重要环节: ①基于水质生态等要求制定的温排放控制标准; ②满足热环境容量评估要求的数值预报模型; ③余热高效利用技术。以某核电厂工程为例, 对热污染防控的总体思路进行简要分析。认为火(核)电厂温排水热污染防控体系的建立可为电厂的统筹规划、温排放监管以及环境影响评价提供技术支撑。

关键词 热污染 温排放控制标准 热环境容量 余热利用 防控体系

中图分类号 X52

文献标志码 A

文章编号 1006-7647(2012)01-0074-04

Prevention and control system for thermal pollution of heated effluent from thermal (nuclear) power plants//ZHAO Yi-jun (Department of Hydraulics, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract : In order to establish an effective prevention and control system for the thermal pollution of heated effluent from the thermal (nuclear) power plants, three key aspects are introduced: (1) control standards for heated effluent based on the requirements of water quality and ecology, etc.; (2) numerical model for heated effluent to satisfy the assessment requirements of the thermal environmental capacity; (3) efficient utilization technology of waste heat. Based on a case of a nuclear power plant project, the whole idea of the prevention and control of the thermal pollution is analyzed. It is concluded that the establishment of the prevention and control system for the thermal pollution of heated effluent from thermal (nuclear) power plants may provide technical support for the planning of power plants, the supervision of heated effluent and the environmental impact evaluation.

Key words : thermal pollution; control standard for heated effluent; thermal environmental capacity; utilization of waste heat; prevention and control system

随着我国电力工业的高速发展,火(核)电厂温排水对受纳水域的热影响问题日益突出,正越来越受到政府部门的重视和社会各界的关注。1 座采用直流循环冷却方式的现代化火(核)电厂,每年有可能将流量 $70 \sim 400 \text{ m}^3/\text{s}$ 、高于环境水温 $6 \sim 11 \text{ }^\circ\text{C}$ 的热水源不断地排入受纳水域,造成环境水温升高,从而产生对水生态系统的^[1]热影响乃至热污染。温排水的热影响主要体现在两方面:一是对电厂的影响,受纳水体温度升高导致取水温度增加,进而降低电厂冷却效率。二是对水环境的影响,水温升高使水中饱和溶解氧降低,容易引发赤潮^[1];导致水生生物(藻类、浮游生物和底栖生物)的种群数量和构成发生变化^[2-4];影响对温度敏感鱼类的迁徙、生长、生殖,甚至可能致死^[5]。

为加强对火(核)电厂温排放的监管,探求有效防治火(核)电厂热污染的思路与途径,本文结合工程实例,对当前热污染防控体系中 3 个密不可分的重要环节——基于水质生态等要求制定的温排放控

制标准、满足热环境容量评估要求的数值预报模型以及余热高效利用技术进行分析和论述。

1 我国温排放控制标准的现状及存在问题

1.1 现状分析

我国目前与温排放控制相关的法规和标准主要有《中华人民共和国环境保护法》(第 26 条)、《中华人民共和国水污染防治法》(第 35 条)、《中华人民共和国海洋环境保护法》(第 36 条)、国家标准 GB 3097—1997《海水水质标准》、GB 18486—2001《污水海洋处置工程污染控制标准》、GB 3838—2002《地表水环境质量标准》以及国家环境保护总局 1999 年发布的第 8 号令《近岸海域环境功能区管理办法》(第 9 条)。从执行情况看,这些现有的法规和标准还不够完善、可操作性不强,主要问题体现在以下两个方面:

a. 对进入受纳水域的温升限值规定过于笼统,未涉及温升影响区的空间尺度问题,也没有反应生

态系统的要求。温排水进入受纳水域后,不可能马上降到标准所要求的温升范围,总会存在一个温降区域,其温度不受水质标准限制。因此,有学者提出设立‘监管混合区’^[6],在此区域内,排水出流经历初始稀释和混合,其水质可不符合标准或有条件地符合,尽管降低了水质标准,但水体的完整性和用途仍然得到保护(下文提到的‘混合区’均指‘监管混合区’)。

目前,国外的研究已经提出了一些关于‘混合区’量化的控制参数,如美国加利福尼亚州对滨海水体规定‘排放温度小于或等于 36℃、距排放口 300 m 处水体表面温升不得超过 7.2℃’。国外许多标准还反映了生物对水温的要求,如美国纽约州就对非鲑鱼水域和鲑鱼水域的排放温度及温升限值做出不同规定。我国现行的标准并没有明确给出‘混合区’范围,也尚未制定适合我国国情的、与生态相关的控制参数。

b. 缺乏宏观的、系统的控制温排水的指导思想。近年来,我国同一水域内火(核)电厂密度大幅升高,电厂群效应^[7]日益凸显,如上海黄浦江沿岸从淞浦大桥到吴淞口约 75 km 的距离内建有闵行、吴泾、杨树浦、高桥及闸北 5 座直流循环冷却式火电厂,总装机容量达 3 749 MW。密集的排放口不仅会导致电厂间的相互影响,还会引起环境影响累加效应,使温升影响范围扩大,水生物活动通道减少,对水生态系统构成威胁。虽然这一现象已经引起人们关注,但尚未开展相关的系统研究,现有火(核)电厂温排水热影响评价大多是针对单一电厂进行的。同时,相关部门的监管缺乏统筹规划的思想,尚不能从水域的热环境容量出发,合理规划火(核)电厂厂址并优化设置排水口,使温排放满足相关要求。

1.2 建议

温排水评价、审查、监管标准的不完善,使得现行标准无法有效执行,造成温排放监管难以到位。因此,必须针对相关问题开展相应研究,制定出合理可行、切合实际的标准。根据当前监管中存在的问题,建议加强开展如下研究工作:

a. 结合已有的温排水对水生态的热影响研究成果,明确‘混合区’的存在并细化‘混合区’的控制参数。‘混合区’的研究重点是确定混合区控制参数。国外关于温排放的控制参数主要有:排放口处最大允许水温或最大温升、混合区边缘温升以及混合区范围等^[8]。在国内,对混合区的研究尚处起步阶段,已有研究成果的可靠性还值得探讨。目前,为适应蓬勃发展的火(核)电建设,审评部门不得不采取‘一事一议’的办法确定‘混合区’的可接受性。

2008 年国家环境保护部(核安全局)出台的《核动力厂温排水环境影响审评原则》(征求意见稿)提出了确定温排水混合区的准则,但没有与受纳水体重要生物的耐受温度联系起来。随着环境生态保护要求的提高,还需借鉴国外的一些研究方法和成熟经验,结合环境保护目标、排放特征和受纳水体的生态特点,制定更加细化、具体、可行的混合区控制参数。

b. 根据热环境容量要求,建立大水域电厂群的温排放监管体系,形成相关评估标准。电厂群累积效应对生态通道的影响、电厂群温排放控制方法以及热影响评价模式等研究是今后的发展方向。对于大水域电厂群的管理,监管部门要从热环境容量出发,树立统筹规划的理念,综合所在水域的水动力交换条件、重要水生生物特性、功能区划要求等因素,超前地、科学地规划温排水排放口,以保持原有水体的生态环境。大水域环境容量评价也区别于传统电厂单一工程项目环境评价,主要表现在:①环境水域范围更大;②时间跨度更长,包括早期已投运的电厂、正在筹备建设的电厂以及远期规划的电厂;③评价内容更加侧重电厂群对整体水域的累积影响;④评价的终极目标在于大水域电厂群的梯级开发和水环境的协调发展。

2 热影响及热环境容量预报

2.1 温排水热影响数值预报模型

温排水在受纳水体中的输移过程,按水力、热力特性可分为近区与远区。近区呈现出以动量卷吸、掺混为主的三维紊动浮射流特性;远区则主要以随流输移扩散和对天散热为控制因素,其水力热力特性在水深方向渐趋均匀。近、远区数学模型根据其水力热力特点不同而有所差异。

二维数学模型简单易行、模拟范围大、热量守恒性好,可用于水平尺度远大于水深尺度、三维特性不明显的远区。二维模型有平面浅水环流模型及深度平均的 $k-\epsilon$ 模型,这些模型发展比较成熟,已被广泛应用于工程领域^[9-10]。对于排水近区,宜采用三维紊流模型。常见的三维紊流模型有两类:湍黏模型与应力模型。经过学者的改进,有的模型已在工程实际中有所应用,如王丽霞等^[11]将基于一阶湍流封闭理论建立的三维模型用于黄岛电厂温排水预报,张长宽等^[12]系统总结了三维模型的紊流模式,认为对于滨海电厂温排水的三维模拟,应考虑斜压效应,并将水动力场与温度场耦合求解。

现有数值预报模型存在的主要问题是:①缺乏能准确模拟复杂边界条件下排水口近区水力热力特性的实用三维模型;②模型参数的选取带有一定经

验性,需大量物理模型试验及原体观测数据的检验和完善 ;③近、远区划分尚不十分明确,两区边界的耦合具有一定难度 ;④温排水数学模型很少与水质、生态参数耦合,使得温排水对生态的热影响评价多以定性为主,缺乏定量预报数据的支持。

2.2 热环境容量研究现状

热环境容量不同于一般的水环境容量,它并没有浓度和质量的概念。2005 年,首次提出河道热环境容量的概念,并在二维热输运假设基础上给出河段热环境容量的解析公式计算法和数值模型试算法^[13]。2007 年,有人定义了海域热环境容量,同时给出定量研究方法——温升带控制法^[14]。热环境容量与温排放控制标准、电厂或其他冷却水用户的取水质量(含流量及温度)要求、水域功能区划、生态保护目标、当地的水文气象条件、经济发展水平等因素紧密相关,应从大水域统筹规划的角度出发,预报整个水域的热承载能力及剩余承载能力,为梯级开发水域资源、合理布局工程项目提供指导。

目前关于热环境容量的研究较少,如何科学定义热环境容量、找出影响热环境容量的因素以及建立热环境容量的预报模型等均有待更深入的研究。

2.3 热影响及热环境容量预报模型的研发方向

热影响预报模型与热环境容量预报模型既相互联系,又有所区别。两者的联系在于它们的研究对象都是热,模型的控制方程、数值离散方法等都具有共性 ;区别在于,两者的关注点、出发点以及落脚点有所不同,服务的对象也不同 ;热影响预报模型关注某一个或几个排放点,预先给定排口位置、排热量,模拟预报这些条件下温排水的热影响范围及程度,为环境评价提供数据 ;热环境容量预报模型重在受纳水域的整体规划,事先给定受纳水域的热环境容量,通过数学模型优化排放口位置及排热量,为规划部门提供决策依据。热环境容量预报模型的模拟范围要远大于一般的温排水热影响数值预报模型。

针对目前电厂温排水热污染的现状及问题,应对现有预报模式进行改进,研发适应大水域电厂群的数学模型。模型的改进可以从模式的选取、参数的确定、边界的处理几方面进行。模型在近区可以精确模拟射流卷吸掺混特性、盐度或温度异重分层流动特性、多排放源汇间的相互影响 ;在远区能更准确地模拟温排水随流的输移扩散规律以及散热过程 ;同时还可以反映温度与水质、生态因子的耦合作用。

3 火(核)电厂温排水余热的综合利用

余热利用对于节约资源、改善环境、实现电厂循

环经济具有重要意义。电厂的能源利用效率非常低(除热电厂外,仅 35% ~ 40%),若能从源头上减少排放的废热,将是减轻温排水负面热影响的根本途径。

3.1 温排水余热综合利用现状

目前火(核)电厂温排水余热利用方法及途径主要有直接利用和借助热泵技术提高温度后用于供热。

余热直接利用的主要领域是种植业和养殖业。国外早在 20 世纪 60 年代就开始利用电厂的温排水养殖鱼类,用余热给土壤加温促进农作物生长或延长生长时间。我国余热利用主要集中在一些火电厂,如开封电厂、石洞口电厂等,核电厂尚未有开展余热利用的先例。

利用热泵技术将电厂余热回收再利用是近几年的研究热点,如回收电厂的废热来加热油田的伴热热水^[15]或将温排水提升温度后用于集中供暖^[16]。目前,利用电厂循环水余热进行供热已在一些中小型电厂得到实施,如大庆市北源热力公司利用冷却塔循环冷却水余热为住宅小区集中供热,规划面积 320 万 m²,收到良好的经济效益和社会效益。

3.2 温排水余热利用前景

火(核)电厂温排水可利用的余热量十分巨大。在国家大力提倡节约资源、保护环境的形势下,余热利用的前景非常可观。

环境生态工程已成为环境综合治理的有效措施之一,其目的是运用生态学原理设计生态工程以开展生态修复或促进资源的综合利用、环境的综合整治。美国学者 Bread 基于生态工程原理设计的‘食物综合生产系统’^[17],使电厂排出的废热在各个环节得到充分利用。该方法打破了以往‘单一利用为主’的余热利用方式,使废热资源化,不仅降低了废热对环境的影响,而且还能实现电厂循环经济。结合厂址所在地实际情况设计余热综合利用系统是今后的发展趋势。

将温排水带走的废热回馈电厂的热机热力系统,不仅可以提高热机经济性,节约能源,而且可以减少温排水对环境的负面影响,实现电厂循环水余热的高效利用。其中,寻求能充分利用电厂弃热或汽轮机低压抽气热的高效低成本热泵是关键。

循环水余热在海水淡化领域也有很大的利用空间。海水淡化技术种类很多,但适于产业化的主要有反渗透法和蒸馏法。对反渗透技术而言,其能耗与海水温度成反比,经热泵将需淡化的海水提升温度后,可大幅降低加热能耗。对低温多效蒸馏技术而言,循环冷却水水源热泵提升海水至所需的蒸馏

温度(70℃),比直接用低压抽汽升温海水经济,可节约大量的电厂抽汽,提高电厂发电效率。

4 工程实例

以南海海水作为循环冷却水源的某核电厂,设计取排水流量为 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 、排水温升为 $7.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。设计单位针对该厂址尝试提出3个温排放混合区参数^[18]。温排水排放口的控制极端高温值为 $39\text{ }^\circ\text{C}$ 。温排水混合区边缘的温升限制为 $3.0\text{ }^\circ\text{C}$ 。以30%生态功能减弱程度作为可接受上限时,温排水混合区的最大允许面积为 16 km^2 。

评估复核时,考虑同一水域另一大型火电厂的排热,对工程运行工况采用数学模型进行温排水计算。结果表明,在给定条件下,温排水对环境海域的影响无法满足上述温排放‘混合区’控制参数的要求,必须减少向海域的排热量。通过试算,该核电厂排热量需减少约42%。这一验算过程,并不单独针对待建的核电厂进行,而是以受纳海域已有热源影响为基础,根据温排放混合区控制参数确定核电厂排热量,实际上已包含了热环境容量的评估内容,这对于统筹规划该水域的电厂建设具有重要意义。

由于该核电厂位于我国南方,当地对该核电厂并无供热需求。结合该核电厂的温排水条件、所在地区气候、居民分布状况、环境规划以及工农渔业发展情况等因素,余热利用的方式可以考虑为海水淡化、干燥工艺、果蔬养殖、生活热水等。

5 结 语

火(核)电厂热污染防控体系中的3个环节紧密相关、密不可分。其中,控制标准是根本,可使温排放做到有法可依、有章可循;数值预报模型是工具,结合热污染控制标准及其他相关标准进行水域热容量预测,可为防控体系提供技术支撑和指导意见;余热利用则是从源头上实现电厂废热节能减排、降低温排水热影响,促进温排放控制标准有效执行的重要手段。在温排放的监管中,要引入热环境容量的概念,做到工程布局的统筹规划和科学管理。

“十二五”期间,我国的电力工业建设依然保持高速的发展势头。尽快建立完善有效的热污染防控体系,对于实现环境友好型与资源节约型电厂具有重要意义,同时也为“十二五”电力规划目标的实现提供了有效保障。

参考文献:

[1] GESAMP. Thermal discharges in the marine environment:

UNEP regional seas report and studies[R]. Geneve: UNEP, 1984: 315-334.

[2] 谢允田,魏民,石岩,等. 热排水对浮游藻类的季节变化影响的研究[J]. 水电站设计,1997,13(3): 65-67.

[3] 金琼贝,盛连喜,张然. 电厂温排水对浮游动物的影响[J]. 环境科学学报,1989,9(2): 208-217.

[4] 胡德良,杨华南. 热排放对湘江大型底栖无脊椎动物的影响[J]. 环境污染治理技术与设备,2001,2(1): 25-27.

[5] 姜礼燧. 热冲击对鱼类影响的研究[J]. 中国水产科学,2000,7(2): 77-81.

[6] MAFFEI L, KING B, SCHWAB E, et al. Mixing zones in oregon: introduction & overview [J]. Oregon Insider, 2006, 389: 1-5.

[7] 贺益英. 对大水域电厂群温排水环境热影响研究的认识[J]. 水利水电科技进展,2008,28(4): 27-29.

[8] 于凡,张永兴,杨东. 滨海核电站温排水的混合区设置[J]. 水资源保护,2010,26(1): 53-56.

[9] 李振海,祝秋梅. 填海工程影响下的电厂冷却水工程布置数值模拟研究[J]. 电力环境保护,2003,19(3): 6-10.

[10] 梁书秀,倪浩清. 潮汐水域中污水侧向排放的数值模拟[J]. 海洋学报,2000,22(2): 113-119.

[11] 王丽霞,孙英兰,郑连远. 三维热扩散预测模型[J]. 青岛海洋大学学报,1998,28(1): 29-35.

[12] 张长宽,姚静,陶建峰. 滨海火、核电厂温排放数值模拟研究进展[J]. 水利水电科技进展,2010,30(3): 85-94.

[13] 朱奔. 电厂温排放的水环境数学模拟及热环境容量研究[D]. 南京: 河海大学,2005.

[14] 陈新永. 近岸海域电厂温排水数值模拟及热环境容量研究: 以曹妃甸海域为例[D]. 南京: 河海大学,2007.

[15] 赵海谦,王忠华,刘晓燕,等. 电厂冷却水余热在油田伴热中的应用[J]. 油气田地面工程,2009,28(12): 54-55.

[16] 吴国栋,孙国成,张骅,等. 电厂冷却水余热回收用于城市供热[J]. 节能,2005(3): 15-17.

[17] 金岚,李平衡. 水域热影响概论[M]. 北京: 高等教育出版社,1993: 196.

[18] 刘永叶. 核电站温排水的热污染控制研究[D]. 北京: 国家原子能研究院,2010.

(收稿日期: 2011-05-16 编辑: 马敏峰)

