

某内陆核电厂冷却塔雾羽对环境要素变化的响应分析

郭瑞萍¹, 杨春林², 王博¹, 张琼¹, 陈海英¹, 张春明¹, 刘福东¹

1. 环境保护部核与辐射安全中心, 北京 100082

2. 河南科技学院资源与环境学院, 新乡 453003

摘要 冷却塔雾羽扩散直接影响冷却塔周围区域居民生活环境, 是内陆核电厂散热系统运行环境影响评价时首要考虑的重要问题。应用冷却塔环境影响评价模型(SACTI), 针对不同环境温度和风速变化情景下自然通风冷却塔雾羽特征参数进行模拟, 以确定不同季节气象要素变化可能对冷却塔雾羽扩散产生的影响。研究表明, SACTI模型预测的不同温度条件下雾羽长度发生频率随温度增高呈下降趋势; 雾羽高度发生频率随温度下降呈增加趋势、随温度增高呈减少趋势; 雾羽半径发生频率随温度变化呈减少趋势。不同风速条件下, 雾羽长度发生频率随风速增加呈增加趋势, 雾羽高度发生频率随风速增加呈减少趋势, 雾羽半径发生频率随风速增加呈减少趋势。冷却塔雾羽受温度和风速影响显著, 直接影响不同季节冷却塔雾羽扩散。

关键词 冷却塔雾羽; 环境温度; 环境风速; 内陆核电厂

中图分类号 TL48; X16

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.17.007

Response of Cooling Tower Plume of Inland Nuclear Power Plant to Environmental Elements

GUO Ruiping¹, YANG Chunlin², WANG Bo¹, ZHANG Qiong¹, CHEN Haiying¹, ZHANG Chunming¹, LIU Fudong¹

1. Nuclear and Radiation Safety Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100082, China

2. Department of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China

Abstract Plume dispersion of cooling towers is the most important environment problem in environmental impact assessment of an inland nuclear power plant, which greatly impacts the living environment of the residents around the plant. The SACTI (seasonal/annual cooling tower impact) model is used to simulate the plume characters of natural draft of the cooling tower under different environmental temperature and wind speed scenarios in order to determine the influences of the meteorological factors in different seasons on plume dispersion of the cooling tower. The study shows that under different temperature circumstances, the plume length frequency predicted by the SACTI model decreases with the temperature increase. The plume height frequency displays an ascending trend with the descending temperature and shows the descending trend with the ascending temperature. The plume radius frequency has a decreasing change with temperature change. Under different wind speed scenarios, the plume length frequency increases with the increasing wind speed. The plume height frequency displays a descending change with the ascending wind speed. The plume radius frequency with respect to wind speed has a similar varying trend to that of the plume height frequency. The effects of temperature and wind speed on the cooling tower plume are very remarkable and impact cooling tower plume dispersion in different seasons.

Keywords cooling tower plume; atmosphere temperature; wind speed; inland nuclear power plant

收稿日期: 2014-01-29; 修回日期: 2014-04-03

基金项目: 国家科技重大专项(2013ZX06002001)

作者简介: 郭瑞萍, 高级工程师, 研究方向为核电厂大气环境影响评价, 电子信箱: guorp2011@163.com; 杨春林(通信作者), 讲师, 研究方向为环境污染与保护, 电子信箱: benjami@163.com

引用格式: 郭瑞萍, 杨春林, 王博, 等. 某内陆核电厂冷却塔雾羽对环境要素变化的响应分析[J]. 科技导报. 2014, 32(17): 46-53.

大气环境污染是区域性环境污染问题,关系到周围居民的身体健康及生活^[1]。随着中国核电站选址从沿海扩展到内陆,内陆核电站环境影响问题成为公众关注的焦点。内陆核电站和沿海核电站主要区别之一是核电站余热冷却方式,沿海核电站为一次循环,内陆核电站为二次循环。沿海核电站主要采用海水直流循环冷却方式,即通过海水将核电站产生的大量热量带走。内陆核电站址通常建在江河湖泊附近,其最典型的环境特征即循环冷却水以及受纳水体均为淡水。受内陆核电站址环境水体水资源量和环境容量的限制,大多数内陆核电站址均需考虑采用冷却塔二次循环散热方式,以减少循环冷却水取水量^[2]。由于传统向环境水体排放热量的方式转变成向大气排放,冷却塔运行时产生的水汽扩散会对核电站址周围产生一定的环境影响^[3]。

内陆核电站冷却塔运行时排出的水蒸气在大气环境中的扩散过程是冷却塔对周围环境产生影响的基本动力。内陆核电站冷却塔造成的环境影响主要根源是冷却塔雾羽(水蒸气与空气混合后冷凝形成白色的羽状雾气,即为雾羽)在大气中的扩散,关于冷却塔雾羽造成的影响主要考虑冷却塔排放水汽对能见度的影响、冷却塔排放水汽与盐沉积、近地面下雾与结冰、水汽形成的阴影以及水汽对附近环境湿度的影响等^[4]。一般冷却塔雾羽造成的影响范围主要集中在冷却塔周围区域 10 km 半径范围内,对于更大范围的影响通常不做定量评价,只定性描述可能造成的危害。

研究冷却塔造成环境影响的方法有物理模拟、数值模拟、现场观测等。物理模拟是将冷却塔按比例缩小创建物理模型,利用风洞试验,分析冷却塔雾羽扩散特征;数值模拟通过对物理过程方程进行简化构建数学模型,设定输入条件和边界条件,假定理想化雾羽计算相关参数进行数学计算模拟,计算流体力学法(computational fluid dynamics, CFD)也常用于冷却塔环境影响模拟中^[5-7];现场观测是进行雾羽扩散和飘滴沉积研究的重要手段^[8],主要通过六氟化硫(SF₆)示踪试验进行。数学模型是预测和评价冷却塔环境影响时最常用的方法,数学模型的构建是基于大量的实验数据和前期经验,经过广泛验证,可真实模拟雾羽造成的环境影响,可在冷却塔建造前给出可能产生的影响。

冷却塔环境影响预测方法经历了一系列发展阶段:第一阶段采用早期经验法,完全基于相似气候下相似冷却塔以往运行经验进行评价;第二阶段是通过厂址监测数据或地面监测数据大型数据库构建的橡树岭雾羽和飘滴模型(oak ridge fog and drift, ORFAD)代码^[9];第三阶段是基于前 2 种方法发展的盐飘滴沉积模型(salt-drift deposition model, KUMULUS)^[10],该模型假定厂址在特定气象条件下得到一个相对固定的雾羽预测模型^[11];第四阶段采用第二代冷却塔环境影响评价模型即季节/年冷却塔影响模型(seasonal/annual cooling tower impact, SACTI)^[12],协同利用典型输入数据和经验证的雾羽模型生成许多代表性雾羽。美国核管理委员会(US Nuclear Regulatory Commission)在 1999 年制定的核电站

环境标准审查大纲(NUREG-1555 environmental standard review plan)中,推荐使用 SACTI 计算模型对冷却塔环境影响进行预测^[13],并且在美国北安娜核电站(north anna nuclear station, NANS)和大海湾核电站(grand gulf nuclear station, GGNS)的环境影响报告书中,使用 SACTI 程序对电厂冷却塔的可见雾羽、盐沉积、下雾、结冰进行评价。

冷却塔雾羽扩散的影响因素有气象要素、地形地貌、附近建筑物及冷却塔高度等^[14,15],环境温度和风速直接影响雾羽的水汽抬升高度和雾羽扩散范围。因此,应用 SACTI 模型模拟不同环境温度和风速条件下雾羽特征参数的变化特征,可以分析雾羽对不同环境温度和风速的响应程度以及可能产生的影响^[16]。

1 资料与方法

1.1 资料

某内陆核电站气候温和,季风明显,夏季受西太平洋副热带高压控制盛行偏南风,冬季受新西伯利亚和蒙古冷高压或阿留申低压和蒙古高压控制盛行偏北风。根据研究区多年气象资料统计,该研究区年平均温度为 16.5℃,年平均相对湿度为 80%,年平均降水量为 1346.6 mm,主导风向为 NNE,发生频率 36.3%,年平均风速为 3.16 m/s。

某核电站址 2009—2011 年的气象观测数据表明该厂址观测期间的不同季节的平均温度分别为:春季 16.1℃、夏季 27.6℃、秋季 18.5℃、冬季 6.0℃,年平均温度为 17.0℃;月平均温度最低为 1.5℃,出现在 1 月,月平均温度最高为 29.4℃,出现在 8 月。不同季节的风速分别为:春季 3.7 m/s、夏季 3.2 m/s、秋季 3.7 m/s、冬季 4.4 m/s,年平均风速为 3.8 m/s,最大风速为 11.5 m/s,最小风速为 1.1 m/s,月平均风速最大为 5.1 m/s,出现在 3 月,月平均风速最小为 2.8 m/s,出现在 5 月。

不同季节风向发生频率存在显著差异(图 1),由图 1 可知当地春季主导风向为 NNE,频率为 21.2%,次主导风向为 S,

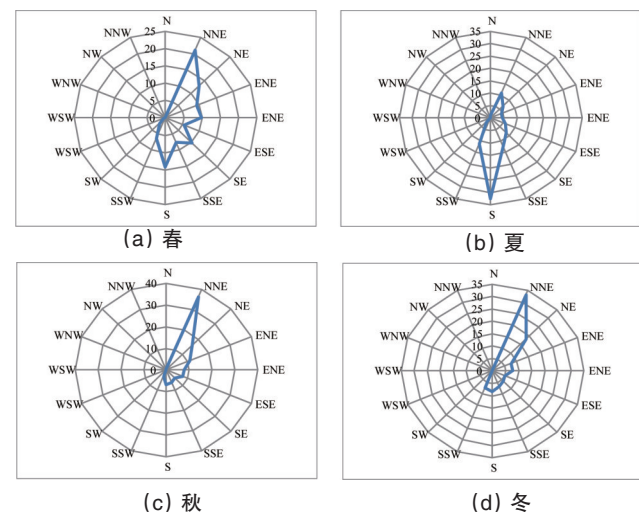


图 1 10 m 高处各季节风向玫瑰图

Fig. 1 Rose maps of wind directions in different seasons at the height of 10 m

频率为14.1%;夏季主导风向为S,频率为32.6%,次主导风向为SSE,频率为12.5%;秋季主导风向为NNE,频率为36.3%,次主导风向为NE,频率为15.9%;冬季主导风向为NNE,频率为33.3%,次主导风向为NE,频率为18.3%;全年主导风向为NNE,频率为25.3%,次主导风向为S,频率为15.5%。

1.2 方法

分析方法采用美国NRC推荐的冷却塔环境影响评价模型SACTI模型,该模型基于逐时气象数据生成不同季节和年度的雾羽特征^[17],模型中对雾羽进行理想化简化处理,将雾羽类型分为35类,在模拟多源排放时引入代表性风向确定雾羽的叠加效应,该模型可以预测不同季节核电站冷却塔形成的雾羽、飘滴、盐沉积、下雾、结冰和荫屏等环境影响。SACTI模型主要包括4大模块,分别为预处理模块、雾羽模块、表数据处理模块、制图模块。预处理模块功能为:读取数据、处理不完整数据记录、增加冷却塔出口条件、计算无量纲变量、确定雾羽类型、生成每种雾羽类型的代表性条件;雾羽模块功能为:确定每种代表性条件下雾羽和飘滴的预测模拟;表数据处理模块功能为:生成不同季节、不同距离、不同风向的雾羽特征值;制图模块功能为:将计算预测的雾羽特征值以图的形式直观输出^[18]。

利用SACTI模型模拟冷却塔雾羽特征需大量驱动数据。SACTI模型输入数据包括厂址特征数据(厂址地理位置、时区、粗糙高度)、冷却塔特征数据(塔高、出口直径、热释放率、气流率)和气象数据(厂址气象塔、地面气象站、高空气象数据)。雾羽表征参数主要为年平均雾羽长度、雾羽高度和雾羽半径的发生频率。以某内陆核电厂址的实际输入数据驱动SACTI模型,预测某内陆核电厂址的雾羽特征(实际值),并通过设定不同的地面环境温度和风速,分析地面环境温度和风速对冷却塔雾羽形成的影响。设置环境温度分别比实际环境温度值(t)减少15%(0.85 t)、减少20%(0.80 t)、增加15%(1.15 t)以及增加20%(1.20 t),环境风速(V_w)分别设为3、5、7、9 m/s共8种假定情景进行冷却塔雾羽特征模拟及对温度和风速的响应分析。

2 实验结果

2.1 雾羽长度

图2为不同假定情景下雾羽长度发生频率变化特征。由图2(a)可见,雾羽长度发生频率随温度的变化趋势不显著。在雾羽长度为200~400 m和1000~2000 m的范围情景下,温度降低时雾羽长度发生频率有明显增加趋势,0.85 t 和0.80 t 情景下平均增加6.8%和7.2%;在雾羽长度为400~1000 m的范围情景下,温度降低时雾羽长度发生频率呈降低趋势,0.85 t 和0.80 t 情景下平均降低3.5%和5.1%。在雾羽长度为200~1000 m的范围情景下,温度升高时雾羽长度发生频率有下降趋势,1.15 t 和1.20 t 情景下依次降低4.5%和6.5%。由图2(b)可见,雾羽长度发生频率在不同风速情景下存在显著差

异。雾羽长度发生频率的差异性主要集中在雾羽长度为200~1800 m的范围内,雾羽长度发生频率在10%~35%之间变化。在 $V_w=5, 7, 9$ m/s情景下,雾羽长度发生频率分别平均增加6.3%、9.4%和14.5%,并随风速增加呈小幅增加趋势。

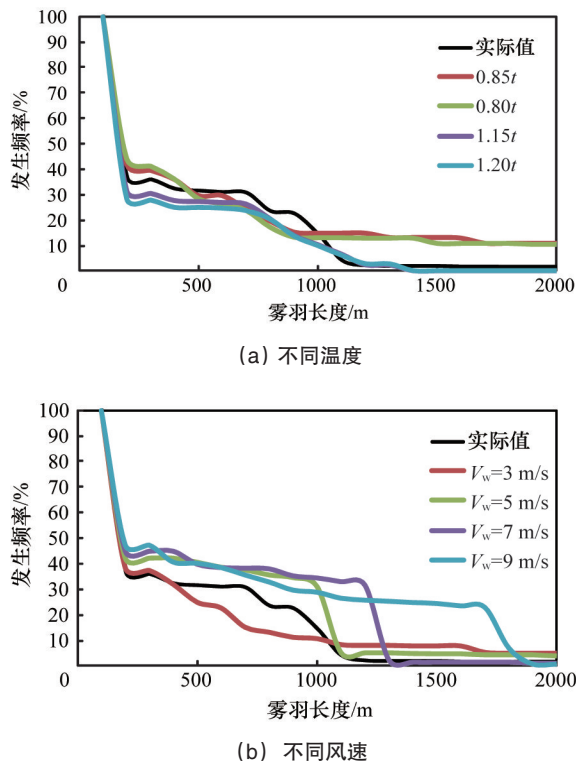


图2 不同温度和风速变化情景下雾羽长度发生频率变化特征
Fig. 2 Change characters of plume length frequency in assumed temperature and wind speed change scenarios

图3为温度变化情景下不同方位雾羽长度发生频率特征。在实际环境温度 t 情景下(图3(a)),雾羽长度发生频率为4%~10%,长度在1050 m的范围内,分布在SSW和SW方位,其中雾羽长度发生频率以9%~10%为主。0.85 t 情景下,雾羽长度发生频率为4%~8%,长度在1000 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽长度发生频率以6%~7%为主。在0.80 t 情景下(图3(b)),雾羽长度发生频率为4%~8%,长度在700 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽长度发生频率以5%~7%为主。在1.15 t 和1.20 t 情景下,雾羽长度发生频率4%~10%,并且雾羽长度在1100 m范围内,分布在SSW和SW方位;1.15 t 情景下雾羽长度发生频率以7%~10%为主,1.20 t 情景下(图3(c))雾羽长度发生频率以6%~10%为主。

图4为风速变化情景下不同方位雾羽长度发生频率特征。在实际值情景下,雾羽长度发生频率为4%~10%,并且雾羽长度在1050 m范围内,分布在SSW和SW方位,其中雾羽长度发生频率以8%~10%为主。 $V_w=3$ m/s情景下,雾羽长度

发生频率为4%~8%,并且雾羽长度在900 m范围内,分布在SSW和SW方位,其中雾羽长度发生频率以6%~8%为主。 $V_w=5$ m/s情景下,雾羽长度发生频率为4%~10%,并且雾羽长度在1150 m范围内,分布在SSW和SW方位,其中雾羽长度发生频率以8%~10%为主(图4(a))。 $V_w=7$ m/s情景下,雾羽

长度发生频率为4%~10%,并且雾羽长度在1350 m范围内,分布在SSW和SW方位,其中雾羽长度发生频率以9%~10%为主。 $V_w=9$ m/s情景下,雾羽长度发生频率为4%~10%,并且雾羽长度在1800 m范围内,分布在SSW和SW方位,其中雾羽长度发生频率以8%~10%为主(图4(b))。

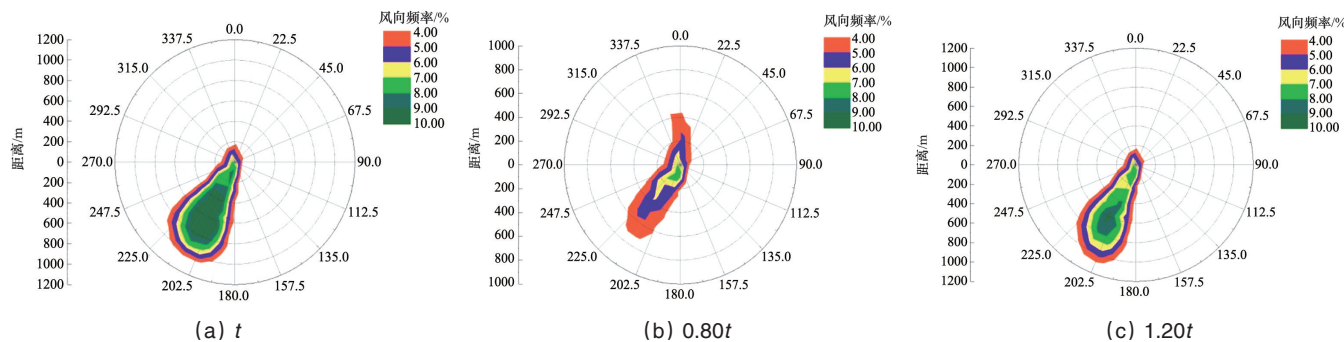


图3 温度变化情景下不同方位雾羽长度发生频率

Fig. 3 Characters of plume length frequency in different directions under temperature change scenarios

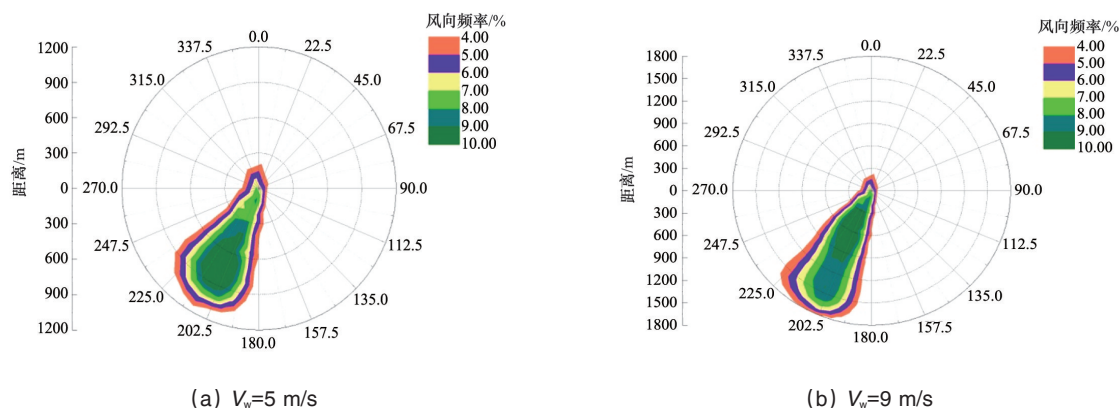


图4 风速变化情景下不同方位雾羽长度发生频率

Fig. 4 Characters of plume length frequency in different directions under wind speed change scenarios

2.2 雾羽高度

图5为不同假定情景下雾羽高度发生频率变化特征。图5(a)给出了不同温度情景下雾羽高度发生频率变化特征。由图5可见,雾羽高度发生频率随温度降低呈增加趋势,随温度升高呈减少趋势。雾羽高度发生频率随温度变化的差异性主要集中在雾羽高度为25~500 m的范围内,雾羽高度发生频率在5%~60%之间变化。在 $0.85t$ 情景下,在雾羽高度为60~140 m和150~500 m范围内雾羽高度发生频率分别变化-5.9%和11.0%,总体增加2.6%。在 $0.80t$ 情景下,在雾羽高度为10~140 m和150~500 m的范围内雾羽高度发生频率分别变化-4.7%和11.8%,总体增加3.5%。在 $1.15t$ 和 $1.20t$ 情景下雾羽高度发生频率分别平均减少7.2%和9.3%。由图5(b)可知,不同风速情景下雾羽高度发生频率随风速增加呈减少趋势,雾羽高度发生频率随风速变化的差异性主要集中在雾羽高度为25~500 m的范围内,雾羽高度发生频率在10%~50%

之间变化。在 $V_w=5, 7, 9$ m/s情景下,雾羽高度发生频率分别减少5.7%、11.6%和23.9%;在某一特定发生频率,雾羽高度发生频率随风速减少而呈增加趋势。

图6为温度变化情景下不同方位雾羽高度发生频率特征。在实际温度 t 情景下(图6(a)),雾羽高度发生频率为2%~14%,并且雾羽高度在350 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽高度发生频率以10%~14%为主。在 $0.85t$ 情景下,雾羽高度发生频率为4%~12%,并且雾羽高度在450 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽高度发生频率以6%~8%为主。在 $0.80t$ 情景(图6(b))下,雾羽高度发生频率为4%~12%,并且雾羽高度在420 m范围内,分布在SSW、SW、N和NNE方位,其中雾羽高度发生频率以6%~8%为主。在 $1.15t$ 和 $1.20t$ 情景(图6(c))下,雾羽高度在380 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,雾羽高度发生频率以8%~14%为主。

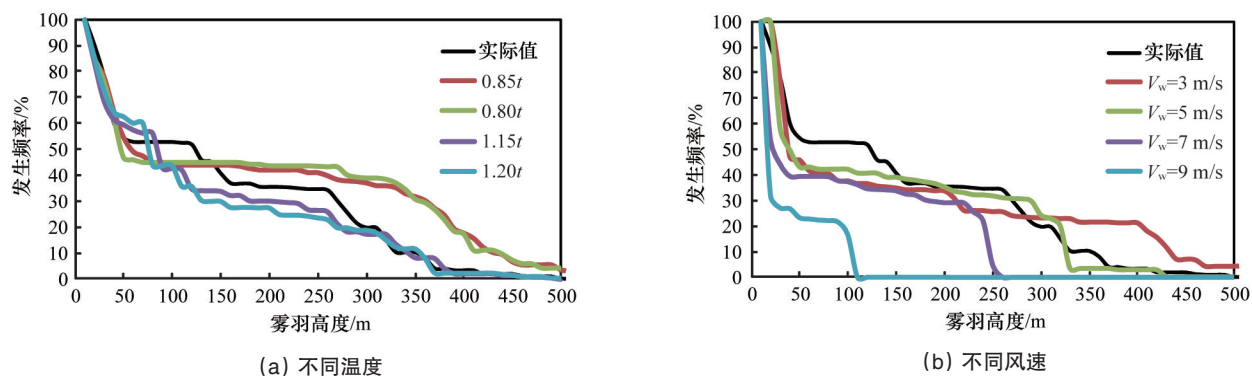


图5 不同温度和风速变化情景下雾羽高度发生频率变化特征

Fig. 5 Change characters of plume height frequency in assumed temperature and wind speed change scenarios

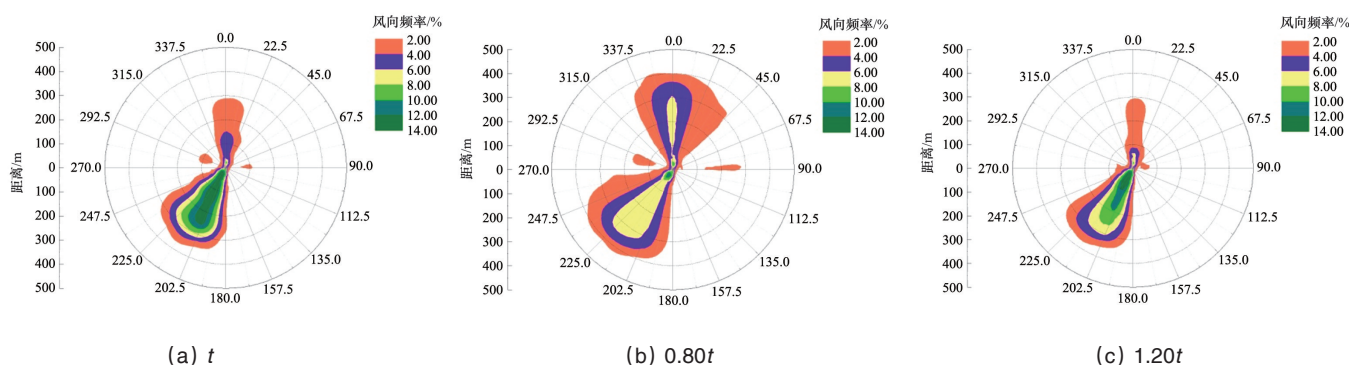


图6 温度变化情景下不同方位雾羽高度发生频率

Fig. 6 Characters of plume height frequency in different directions under temperature change scenarios

图7为风速变化情景下不同方位雾羽高度发生频率特征。在实际风速情景下,雾羽高度发生频率为2%~14%,并且雾羽高度在350 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽高度发生频率以8%~14%为主。 $V_w=3$ m/s情景下,雾羽高度发生频率为2%~14%,并且雾羽高度在500 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽高度发生频率以6%~10%为主。 $V_w=5$ m/s情景下,雾羽高度发生频率为2%~12%,并且雾

羽高度在350 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,并且雾羽高度发生频率以8%~12%为主(图7(a))。 $V_w=7$ m/s情景下,雾羽高度发生频率为2%~14%,并且雾羽高度在250 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,雾羽高度发生频率以8%~12%为主。 $V_w=9$ m/s情景下,雾羽高度发生频率为2%~10%,并且雾羽高度为110 m范围内,分布在SSW和SW方位,其中雾羽高度发生频率以6%~8%为主(图7(b))。

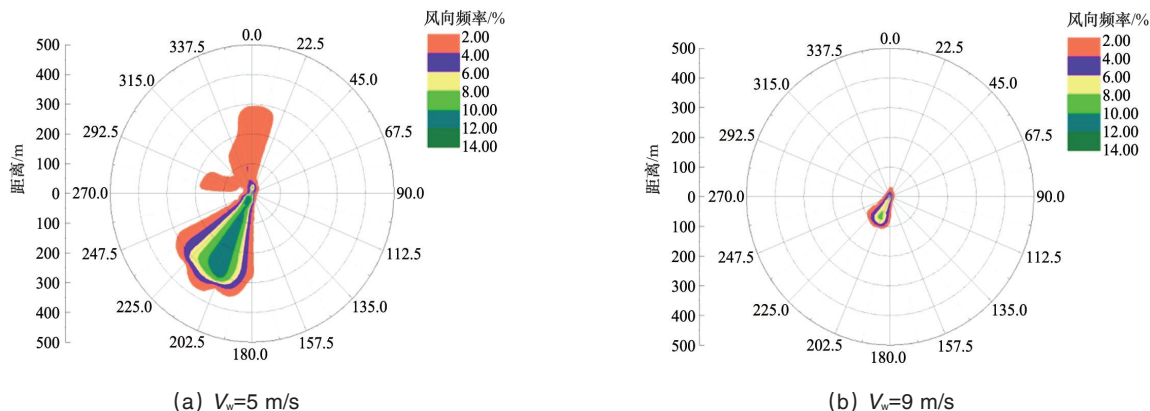


图7 风速变化情景下不同方位雾羽高度发生频率

Fig. 7 Characters of plume height frequency in different directions under wind speed change scenarios

2.3 雾羽半径

图8为不同假定情景下雾羽半径发生频率随距离变化特征。图8(a)表明雾羽半径发生频率随温度变化呈减少趋势。在 $0.85t$ 和 $0.80t$ 情景下分别减少2.5%和5.3%,在 $1.15t$ 和 $1.20t$ 情景下分别减少7.4%和10.3%。由图8(b)可知,雾羽半径发生频率随风速增加呈减少趋势,雾羽半径发生频率随风速变化的差异性主要集中在雾羽半径为25~250 m的范围内,雾羽半径发生频率在5%~60%之间变化。雾羽半径发生频率在 $V_w=5, 7, 9$ m/s情景下平均减少2.5%、6.8%和10.2%,总体随风速增加而呈减少趋势;在某一特定发生频率,雾羽半径发生频率随风速减少而呈增加趋势。

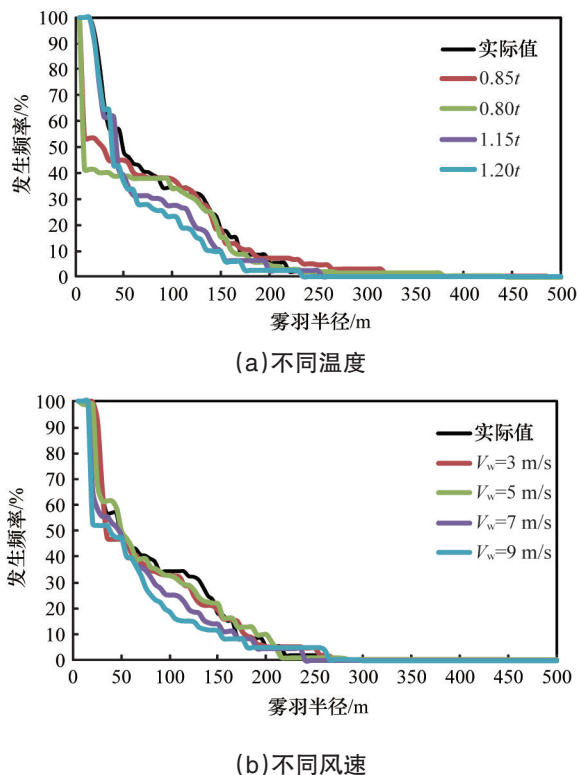


图8 不同温度和风速变化情景下雾羽半径发生频率变化特征
Fig. 8 Change characters of plume radius frequency in assumed temperature and wind speed change scenarios

图9给出了温度变化情景下不同方位雾羽半径发生频率特征。在实际温度 t 情景下(图9(a)),雾羽半径发生频率为4%~10%,并且雾羽半径在200 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽半径发生频率以9%~10%为主。在 $0.85t$ 情景下,雾羽半径发生频率为4%~9%,并且雾羽半径在150 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽半径发生频率以6%~9%为主。在 $0.80t$ 情景下(图9(b)),雾羽半径发生频率为4%~7%,并且雾羽半径在150 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽半径发生频率以5%~7%为主。在 $1.15t$ 和 $1.20t$ 情景(图9(c))下,雾羽半径发生频率为4%~10%,并且雾羽半径在160 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽半径发生频率以9%~10%为主。

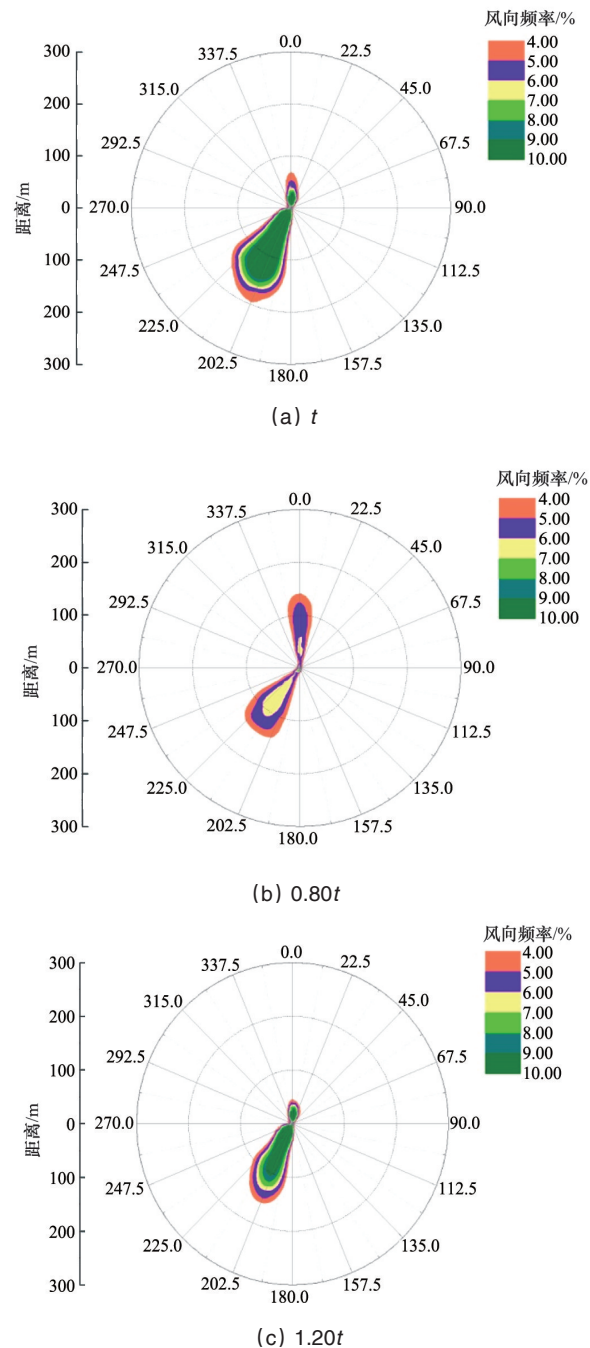


图9 温度变化情景下不同方位雾羽半径发生频率
Fig. 9 Characters of plume radius frequency in different directions under temperature change scenarios

图10给出在风速变化情景下不同方位雾羽半径发生频率特征。由图10可知,在实际风速情景下,雾羽半径发生频率为4%~10%,并且雾羽半径在200 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽半径发生频率以9%~10%为主。在 $V_w=3$ m/s情景下,雾羽半径发生频率为4%~10%,并且雾羽半径在180 m范围内,分布在SSW、SW和N方位,其中雾羽半径发生频率以9%~10%为主。在 $V_w=5$ m/s情景下,雾羽半径发生频率为4%~10%,并且雾羽半径在200 m范围内,分布在

SSW、SW 和 N 方位,其中雾羽半径发生频率以 9%~10% 为主(图 10(a))。在 $V_w=7$ m/s 情景下,雾羽半径发生频率为 4%~10%,并且雾羽半径在 150 m 范围内,分布在 SSW、SW 和 N 方位,其中雾羽半径发生频率以 9%~10% 为主。在 $V_w=9$ m/s 情景下,雾羽半径发生频率为 4%~10%,并且雾羽半径在 150 m 范围内,分布在 SSW、SW 和 N 方位,其中雾羽半径发生频率以 9%~10% 为主(图 10(b))。

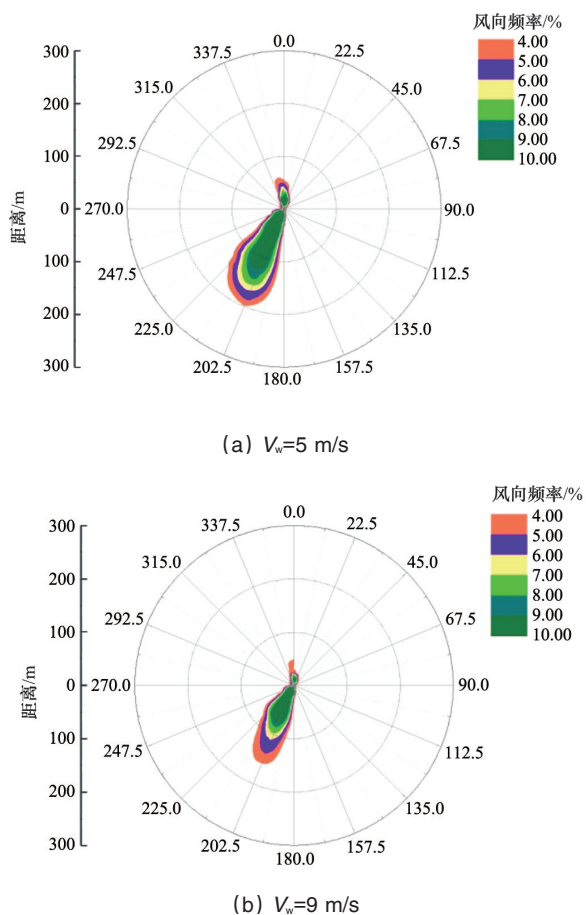


图 10 风速变化情景下不同方位雾羽半径发生频率

Fig. 10 Characters of plume radius frequency in different directions under wind speed change scenarios

3 结论

环境要素变化对冷却塔雾羽特征参数的影响主要是通过影响冷却塔雾羽扩散过程进而影响雾羽特征。环境温度变化对冷却塔雾羽特征参数的影响主要是对雾羽长度和雾羽高度有显著影响,环境温度对雾羽特征的影响受温差作用,温差改变时下层暖湿空气上升,上层干冷空气下沉,进而对雾羽长度和雾羽高度产生影响。环境温度从 $0.80t$ 增加至 $1.20t$ 时,雾羽长度扩散范围从 700 m 增加至 1100 m。环境温度对冷却塔雾羽水汽扩散的影响主要涉及水汽蒸发和扩散两个过程。环境温度增高时,雾羽水汽中某些分子动能增加,当动能大于吸引力时就会从雾羽液滴中逃逸出来进入到大气环境中,温度越高,越有利于雾羽水汽蒸发和扩散。环

境温度通过影响环境比湿和雾羽比湿,间接影响冷却塔雾羽长度,温度升高时,饱和比湿增加,雾羽扩散增强,雾羽长度增加。雾羽高度变化则与雾羽长度变化相反,环境温度从 $0.80t$ 增加至 $1.20t$ 时,雾羽高度从 420 m 降低至 380 m,主要由于雾羽高度受饱和比湿影响,温度升高时,饱和比湿增加,雾羽高度降低。雾羽半径指雾羽的温度半径,由雾羽温度和环境温度共同决定。

环境风速变化对冷却塔雾羽特征参数中的雾羽长度和雾羽高度的影响较为明显。当风速从 3 m/s 增加至 9 m/s 时,雾羽长度扩散范围从 900 m 增加至 1800 m,主要与冷却塔雾羽水平方向扩散有关。冷却塔雾羽抬升过程中与周围空气混合,需保持质量、水平动量、垂直动量守恒。冷却塔雾羽长度受周围环境风速、雾羽垂直速度、雾羽比湿和环境比湿的综合影响,环境风速越高,雾羽水汽蒸发速率越大,冷却塔雾羽扩散范围越广,雾羽长度越大。雾羽高度随风速的变化与雾羽长度变化特征相反,风速从 3 m/s 增加至 9 m/s 时,雾羽高度从 500 m 降低至 110 m,主要由于雾羽高度受冷却塔出口雾羽初速度和环境风速影响,环境风速增大时,雾羽垂直抬升速度受到影响,不利于雾羽水汽的垂直扩散,造成雾羽高度降低。风速通过间接影响雾羽温度进而影响雾羽半径。研究结果与利用计算流体力学 CFD 方法分析核电厂冷却塔水汽扩散影响因素的相关结论较符合^[4],CFD 方法适用于小尺度范围冷却塔水汽扩散的瞬时状态模拟,而 SACTI 模型反映冷却塔水汽扩散长时间尺度的统计特征,适用于核电厂冷却塔长期环境影响评价。目前国外已将该软件广泛应用于核电厂冷却塔环境影响评价报告中^[13],国内也相继开展了应用 SACTI 模型对内陆核电厂冷却塔进行环境影响评价的相关工作^[19,20]。

本文利用 SACTI 模型分析了某内陆核电厂冷却塔雾羽对环境要素的响应特征。

1) 根据研究区气象观测资料统计表明,某核电厂年平均温度为 17.0°C ,主导风向为 NNE,发生频率 25.3%,年平均风速为 3.8 m/s。冷却塔雾羽长度发生频率、雾羽高度发生频率和雾羽半径发生频率最高值出现在 SSW 方位,次高值出现在 SW 方位。

2) 不同温度变化情景下,雾羽长度发生频率随温度升高呈下降趋势,雾羽长度发生频率在不同方位的雾羽长度随温度降低呈减少趋势、随温度升高呈增加趋势。雾羽高度发生频率随温度降低呈增加趋势、随温度升高呈减少趋势;雾羽高度在不同方位随温度变化没有明显变化趋势。雾羽半径发生频率随温度变化呈减少趋势,在不同方位随温度变化无明显变化趋势。

3) 在风速变化情景下,雾羽长度发生频率随风速增大呈增加趋势,雾羽长度发生频率在不同方位随风速增大呈增加趋势。雾羽高度发生频率随风速增大呈减少趋势,雾羽高度发生频率在不同方位随风速增大呈减少趋势。雾羽半径发生频率随风速增大呈小幅减少趋势,雾羽半径发生频率在不

同方位无显著变化趋势。

本研究主要分析了用SACTI模型预测的雾羽特征随温度和风速的变化趋势,有助于确定不同研究厂址冷却塔环境影响的主要因素,关于多个环境要素对冷却塔雾羽扩散特征的综合影响有待于进一步研究。

参考文献(References)

- [1] 任永建, 赖安伟, 高庆先. 基于数值模拟的区域大气环境研究[J]. 科技导报, 2008, 26(19): 31-36.
Ren Yongjian, Lai Anwei, Gao Qingxian. Regional air environment study based on numerical simulation[J]. Science & Technology Review, 2008, 26(19): 31-36.
- [2] 上官志洪, 张启明, 陶云良. 内陆核电厂冷却塔的环境影响预测计算[J]. 辐射防护, 2009, 29(4): 211-218.
Shangguan Zhihong, Zhang Qiming, Tao Yunliang. Cooling tower environmental impact prediction at inland nuclear power plant[J]. Radiation Protection, 2009, 29(4): 211-218.
- [3] 国家核安全局. HAD101/02 核电厂厂址选择的大气弥散问题[R]//核安全导则汇编. 北京: 中国法制出版社, 1998.
National Nuclear Safety Administration. HAD101/02 Atmospheric dispersion on the site selection of nuclear power plant[S]//Nuclear Safety Guide Assembly. Beijing: China Legal Publishing House, 1998.
- [4] 郭栋鹏, 姚仁太, 乔清党, 等. 核电厂冷却塔水汽扩散影响因素的分析[J]. 空气动力学学报, 2011, 29(2): 240-247.
Guo Dongpeng, Yao Rentai, Qiao Qingdang, et al. The influencing factors analysis of water vapor diffusion regulation of the NPP's cooling tower[J]. Acta Aerodynamica Sinica, 2011, 29(2): 240-247.
- [5] Bornoff R B, Mokhtarzadeh-Dehghan M R. A numerical study of interacting buoyant cooling-tower plumes[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35(3): 589-598.
- [6] Meroney R N. CFD prediction of cooling tower drift[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2006, 94(6): 463-490.
- [7] 王炫. 基于CFD模型的内陆核电厂厂区流场模拟[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3): 54-60.
Wang Xuan. Wind field simulation in an inland nuclear power plant based on a CFD model[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2012, 28(3): 54-60.
- [8] Hanna S R. Predicted and observed cooling tower plume rise and visible plume length at the John E. Amos power plant[J]. Atmospheric Environment (1967), 1976, 10(12): 1043-1052.
- [9] LaVerne M E. Oak Ridge fog and drift code (ORFAD) user's manual[R]. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, 1977.
- [10] Moore R D. The KUMULUS model for Plume and Drift Deposition Calculations for Indian Point Unit No. 2[R]. Knoxville, TN: Environmental Systems Corporation, 1977: 189-210.
- [11] Fuchs H, Hofman W. A refined method to calculate the shadowing by cooling tower plumes[C]//Proceeding of IAHR Cooling Tower Workshop, San Francisco, USA, September 22-25, 1980.
- [12] Carhart R A, Policastro A J. A second-generation model for cooling tower plume rise and dispersion[J]. Atmospheric Environment, 1991, 25(8): 1559-1576.
- [13] US Nuclear Regulatory Commission. Standard review plans for environment reviews for nuclear power plant: Environmental standard review plans (NUREG-1555) [S]. Washington DC: Office of Nuclear Reactor Regulation, US Nuclear Regulatory Commission, 2000.
- [14] Wigley T M L, Slawson P R. The effect of atmospheric conditions on the length of visible cooling tower plumes[J]. Atmospheric Environment, 1975, 9(4): 437-445.
- [15] Lucas M, Martinez P J, Ruiz J, et al. On the influence of psychrometric ambient conditions on cooling tower drift deposition[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2010, 53(4): 594-604.
- [16] Electric Power Research Institute. SACTI user's manual: Cooling tower plume prediction code[R]. California: Electric Power Research Institute, 1987.
- [17] Policastro A J, Dunn W E, Carhart R A. A model for seasonal and annual cooling tower impacts[J]. Atmospheric Environment, 1994, 28(3): 379-395.
- [18] Carhart R A, Policastro A J, Dunn W E. An improved method for predicting seasonal and annual shadowing from cooling tower plumes[J]. Atmospheric Environment, 1992, 26(15): 2845-2852.
- [19] 王炫, 杜凤雷. SACTI模型在核电厂大型自然通风冷却塔对局地环境影响预测评价中的应用[J]. 辐射防护, 2013, 33(4): 199-205.
Wang Xuan, Du Fenglei. Application of SACTI model in environmental impact prediction and assessment of NPP's large scale natural draft cooling tower[J]. Radiation Protection, 2013, 33(4): 199-205.
- [20] 郭栋鹏, 姚仁太. 核电厂冷却塔水汽抬升与液滴沉降规律数值模拟技术分析[J]. 辐射防护, 2010, 30(2): 102-107.
Guo Dongpeng, Yao Rentai. Discussion on numerical simulation techniques for patterns of water vapor rise and droplet deposition at NPP cooling tower[J]. Radiation Protection, 2010, 30(2): 102-107.

(编辑 田恬)



科技导报
SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿:www.kjdb.org。