

不同核电厂址机械通风冷却塔雾羽大气扩散特征研究

郭瑞萍¹, 杨春林², 潘昕烽¹, 张琼¹, 王博¹, 陈海英¹, 张春明¹, 陈鲁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 机械通风冷却塔雾羽扩散是内陆核电厂重要厂用水系统环境影响评价时首要考虑的重要问题, 直接影响核电厂机械通风冷却塔附近大气环境。以江西彭泽和吉林靖宇内陆核电厂址为研究对象, 应用冷却塔环境影响评价模型 SACTI 模拟预测不同厂址、不同冷却塔设计和不同布局方案情景下机械通风冷却塔雾羽扩散特征, 以确定不同厂址环境特征和冷却塔设计可能对机械通风冷却塔雾羽扩散产生的影响。结果表明, 不同机械通风冷却塔设计情景下, 一机四塔比一机两塔方案引起的雾羽扩散环境影响范围广, 雾羽长度范围后者约为前者的 2.1 倍, 雾羽高度范围后者约为前者的 1.3 倍。不同冷却塔布局方案情景下, 一机两塔情景下线性排列和平行排列方案主要影响近场雾羽长度分布和高处雾羽高度分布, 一机四塔情景下两种排列方案主要影响远场雾羽长度分布和低处雾羽高度分布。不同厂址情景下, 一机两塔方案 2 个厂址雾羽扩散差异最大, 一机四塔方案 2 个厂址雾羽扩散差异最小。

关键词 内陆核电厂; 厂址环境; 冷却塔设计; 大气扩散

核电厂烟囱排放的放射性物质及冷却塔排出的水汽通过大气扩散传输过程对环境产生影响^[1], 核电厂的逐步发展, 其所选厂址亦从沿海向内陆扩展, 沿海厂址和内陆厂址环境条件的差异性使得内陆核电厂环境影响问题成为普遍关注的环境问题。内陆核电厂址的选择一般设定在江河湖泊附近, 其最典型的环境特征即循环冷却水以及接纳水体均为淡水。鉴于内陆核电厂址环境水体水资源量有限以及环境容量的限制, 目前内陆核电厂设计时一般考虑采用冷却塔二次循环散热方式, 从而减少循环冷却水取水量^[2]。循环冷却方式的改变造成传统的向环境水体排放热量的方式转变成向大气排放, 而冷却塔运行时产生的大量水汽扩散会对核电厂址周围产生一定的环境影响^[3-5]。

自然通风冷却塔和机械通风冷却塔是内陆核电厂循环冷却主要采用的 2 种方式^[6]。机械通风冷却塔作为核电厂重要厂用水系统二次循环冷却回路的一部分, 其功能是将重要厂用水系统的热废水进行冷却并收集在冷却塔下的集水池中^[7]。核电厂机械通风冷却塔运行时排出的大量水蒸气在大气环境中传输扩散, 对冷却塔排出口周围的环境产生显著影响。

核电厂机械通风冷却塔排出的水蒸气与空气混合后冷凝形成雾羽, 此雾羽扩散造成大气能见度降低、盐沉积、近地面下雾与结冰、水汽形成的阴影及太阳辐射改变等影响^[8]。研究机械通风冷却塔环境影响的方法有物理模拟、数值模拟和现场观测^[9-11]。数学模型是预测和评价冷却塔环境影响时最常用的方法, 数学模型的构建基于大量的实验数据和前期经验, 并经过广泛验证, 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^[12,13]。冷却塔环境影响评价模型 SACTI (Seasonal/Annual Cooling Tower Impact, 季节/年冷却塔影响) 模型^[14], 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。该 SACTI 程序可用于核电厂机械通风冷却塔的雾羽扩散环境影响评价。

本文以江西彭泽和吉林靖宇厂址为研究对象, 结合核电厂机械通风冷却塔设计参数, 利用冷却塔环境影响评价模型——SACTI 模型, 模拟不同厂址、不同冷却塔设计、不同厂房布局方案情景下的机械通风冷却塔雾羽扩散特征, 分析不同厂址环境特征及不同机械通风冷却塔设计和布局方案对机械通风冷却塔雾羽扩散的影响。

收稿日期: 2015-08-01; 修回日期: 2015-11-30

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, 电子邮箱: guorp2011@163.com; 杨春林 (通信作者), 讲师, 研究方向为环境污染与保护, 电子邮箱: benjami@163.com

引用格式: 郭瑞萍, 杨春林, 潘昕烽, 等. 不同核电厂址机械通风冷却塔雾羽大气扩散特征研究[J]. 科技导报, 2016, 34(15): 72-82; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.15.010

1 资料与方法

1.1 资料

江西彭泽核电厂位于江西省九江市彭泽县马垱镇境内的帽子山,北临长江,南靠太泊湖,东西均为山谷和沟壑,为内陆厂址,地形较为复杂,拟建厂址地理坐标为116°42'48"E, 30°01'52"N。该地区气候温和,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。该厂址2010年全年气象观测数据表明,观测期间日平均温度为17.17℃,日最高气温为32.65℃,日最低气温为-0.69℃;春季为15.50℃,夏季为27.46℃,秋季为18.67℃,冬季为7.06℃,最冷月为1月,月平均温度为5.10℃,最热月为8月,月平均温度为29.40℃。年平均风速为3.77 m/s,春季为3.94 m/s,夏季为

3.12 m/s,秋季为3.50 m/s,冬季为4.52 m/s,日最大风速为11.45 m/s,日最小风速为1.20 m/s,月平均风速最大为5.12 m/s,出现在3月,月平均风速最小为2.75 m/s,出现在5月^[4]。彭泽厂址不同季节风向的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北东(NE),频率为27.2%,次主导风向为南南东(SSE),频率为14.1%;夏季主导风向为南(S),频率为27.2%,次主导风向为南南西(SSW),频率为20.7%;秋季主导风向为北东(NE),频率为30.8%,次主导风向为东北东(ENE),频率为13.2%;冬季主导风向为北东(NE),频率为21.1%,次主导风向为东北东(ENE),频率为15.6%;全年主导风向为北东(NE),频率为22.2%,次主导风向为向南(S),频率为14.5%。

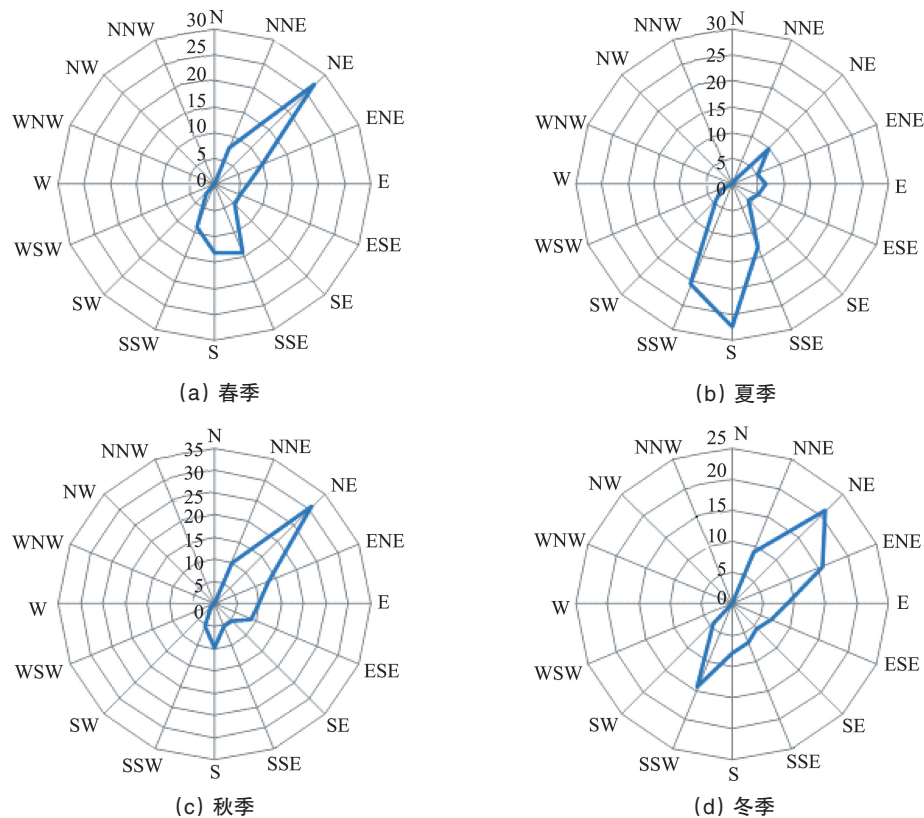


图1 江西彭泽厂址10 m高处各季节风向玫瑰图(风向发生频率/%)

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

吉林靖宇核电厂厂址位于吉林省东南部白山市靖宇县赤松乡岗顶村南侧,头道松花江白山水库左岸的台地上。其西南距靖宇县城约28 km,东南距抚松县城约34 km,东北距白山镇约23 km,拟建厂址地理坐标为127°03'44"E, 42°34'06"N。该地区为东亚季风气候区和东北部山地寒温带湿润气候区,大陆性明显,四季分明。该厂址2010年全年气象观测数据表明观测期间日平均温度为4.22℃,日最高气温为24.16℃,日最低气温为-26.13℃;春季为4.87℃,夏季为19.67℃,秋季为5.66℃,冬季为-13.31℃,最冷月为1月,月平

均温度为-18.33℃,最热月为7月,月平均温度为21.64℃。年平均风速为2.38 m/s,春季为3.16 m/s,夏季为1.87 m/s,秋季为2.12 m/s,冬季为2.38 m/s,日最大风速为6.56 m/s,日最小风速为0.87 m/s,月平均风速最大为3.47 m/s,出现在4月,月平均风速最小为1.57 m/s,出现在8月。靖宇厂址2010年不同季节风向玫瑰图见图2。由图2可知,当地春季主导风向为西(W),频率为21.7%,次主导风向为西南西(WSW),频率为20.7%;夏季主导风向为南西(SW),频率为22.8%,次主导风向为南南西(SSW),频率为20.7%;秋季主导风向为南西

(SW), 频率为 27.5%, 次主导风向为西南西(WSW), 频率为 22.0%; 冬季主导风向为西(W), 频率为 31.1%, 次主导风向为 WSW 和西西北(WNW), 频率均为 18.9%; 全年主导风向为

西南(SW), 频率为 21.4%, 次主导风向为西南西(WSW)和西(W), 频率为 20.3%。

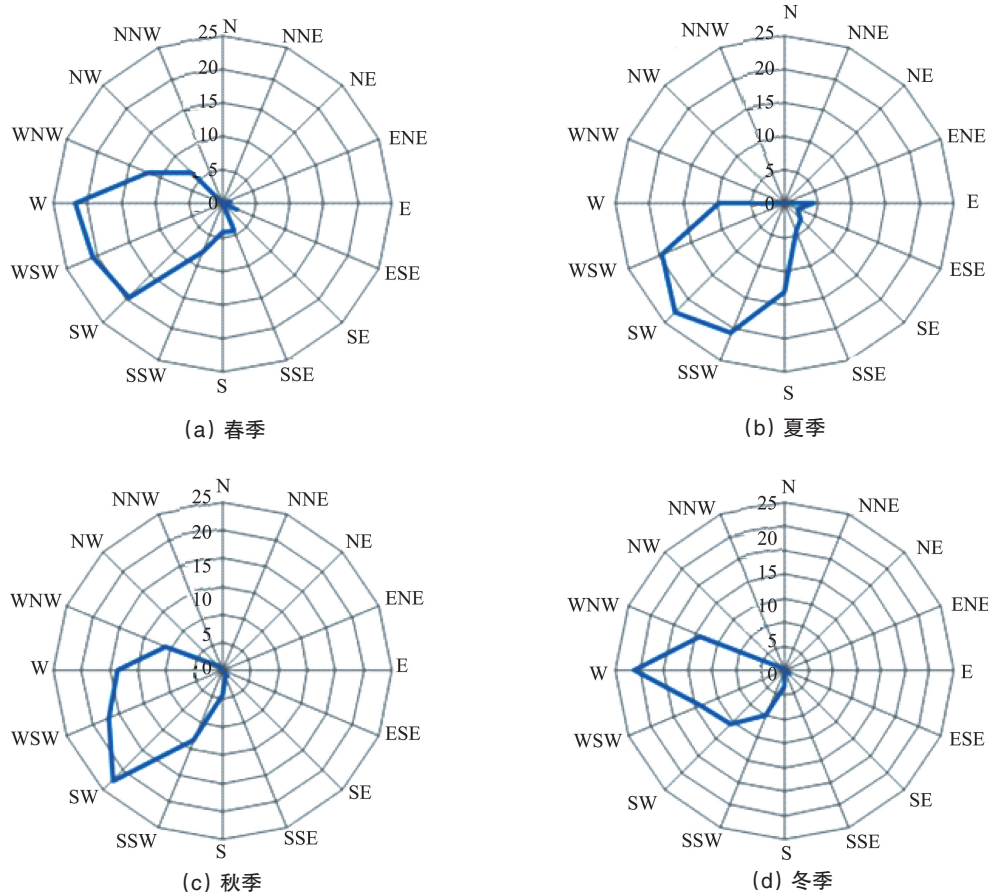


图2 吉林靖宇厂址 10 m 高处各季节风向玫瑰图(风向发生频率%)

Fig. 2 Rose maps of wind directions in different seasons at the height of 10 m in Jingyu site, Jilin

1.2 方法

SACTI 模型是美国电力研究所(Electric Power Research Institute)开发的冷却塔雾羽、飘滴、下雾、结冰和荫屏计算的数学模型,该模型主要用于依赖冷却塔循环冷却的电厂环境影响研究。SACTI 模型的数学模型与《核电厂冷却塔环境影响评价技术规范(NB/T 20307—2014)》中推荐的核电厂冷却塔环境影响计算数学模型相一致。冷却塔环境影响评价模型 SACTI 模型被广泛用于自然通风冷却塔和机械通风冷却塔环境影响评价工作中,该模型需要输入逐时气象数据,利用分类和概率统计方法得到不同季节和年度的雾羽大气扩散特征^[15],雾羽大气扩散特征通过理想化简化处理分为 35 类^[16],该模型可用于核电厂机械通风冷却塔雾羽、飘滴、盐沉积、下雾、结冰和荫屏等环境影响分析^[17,18]。冷却塔雾羽扩散受多种因素影响,环境因素和冷却塔设计因素均会对雾羽扩散特征产生不同作用^[19-21]。

SACTI 模型输入数据通常需要收集厂址环境特征、机械通风冷却塔设计参数、气象数据^[22,23]等。本文计算时 SACTI 模

型输入数据包括厂址特征数据(厂址地理位置、时区和粗糙高度)、冷却塔特征数据(塔高、出口直径、热释放率和气流率)(表 1)和气象数据(厂址气象塔、地面气象站、高空气象数据)^[15,24]。江西彭泽内陆核电厂址和吉林靖宇内陆核电厂址选择的气象数据均为 2010 年 1 月至 2010 年 12 月的逐时数据,共有 8760 个气象数据,所选气象数据为 10 m 高度处数据,包括温度、露点温度、风速、风向、太阳辐射、气压、相对湿度、降雨量等气象要素。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。分别以江西彭泽和吉林靖宇内陆核电厂址的输入数据驱动 SACTI 模型预测不同内陆核电厂址的雾羽特征,并通过设定不同的冷却塔布局方案分析厂址特征和冷却塔布局对冷却塔雾羽形成的影响。共设有 4 种情景(图 3),CASE1 为一机两塔,2 个厂房沿主导风向呈线性排列;CASE2 为一机四塔,2 个厂房沿主导风向呈线性排列;CASE3 为一机两塔,2 个厂房间距 40 m;CASE4 为一机四塔,2 个厂房间距 60 m。CASE1 和 CASE2 情景对比反映出不同冷却塔设计对雾羽扩散特征的影响;CASE1 与 CASE3、

CASE2 与 CASE4 情景对比反映出不同冷却塔布局方案对雾羽扩散特征的影响;江西彭泽厂址与吉林靖宇厂址对比反映出不同厂址环境特征对雾羽扩散特征的影响。不同情景比较时以 CASE1 为参考, CASE2、CASE3、CASE4 与 CASE1 的雾羽长度发生频率比值、雾羽高度发生频率比值和雾羽半径发生频率比值作为分析指标。不同厂址比较时以江西彭泽厂址为参考, 吉林靖宇厂址与江西彭泽厂址的比值作为分析指标。

表 1 机械通风冷却塔设计参数
Table 1 Design parameters for mechanical ventilation cooling tower

变量名称	一机两塔	一机四塔
单塔流量	3000 m ³ /h	1500 m ³ /h
塔高	20 m	15 m
单塔平面尺寸	18 m×18 m	13 m×13 m
总散热量	30 MW	30 MW

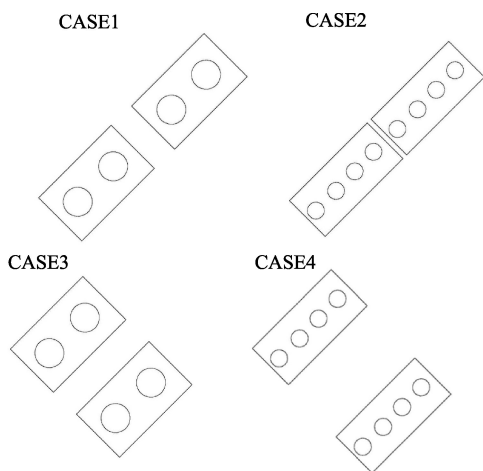


图 3 不同情景下冷却塔布局示意

Fig. 3 Schematic diagram of layout of cooling tower under different scenarios

2 结果与分析

2.1 雾羽长度

图 4 为江西彭泽和吉林靖宇厂址不同情景下雾羽长度发生频率变化特征。由图可见,雾羽长度发生频率随雾羽长度增加呈下降趋势。江西彭泽厂址雾羽长度为 500 m 时 4 种情景中 CASE2 情景下雾羽长度发生频率最高, CASE1 和 CASE3 情景的雾羽长度发生频率最低,在雾羽长度为 800~1000 m 之间 CASE4 情景的雾羽长度发生频率最高; CASE2、CASE3、CASE4 情景下的雾羽长度发生频率比值分别为 1.15、0.99、1.16, CASE2 情景下雾羽长度发生频率比值最大值出现在雾羽长度为 1000 m 处, CASE4 情景下则出现在雾羽长度为 800 m 处。吉林靖宇厂址雾羽长度为 500 m 时 4 种情景中 CASE2 情景雾羽长度发生频率最高, CASE3 情景的雾羽长度发生频率最低,在雾羽长度为 800~1000 m 之间 CASE4 情景的雾羽长度发生频率最高; CASE2、CASE3、CASE4 情景下的雾羽长度发生频率比值分别为 1.18、1.00、1.16, CASE2 情景下雾羽长度发生频率比值最大值出现在雾羽长度为 1000 m 处, CASE4 情景下则出现在雾羽长度为 800 m 处。

4 种假定情景下不同厂址机械通风冷却塔雾羽长度发生频率存在显著差异。图 5 为江西彭泽厂址不同方位雾羽长度发生频率变化特征。江西彭泽厂址 4 种情景下雾羽长度发生频率以 3%~9% 为主, CASE1 与 CASE3 情景下雾羽长度均在 3000 m 范围内, 主要分布在 SSW 方位; CASE2 与 CASE4 情景下雾羽长度均在 2500 m 范围内, 主要分布在 SW 方位。

图 6 为吉林靖宇厂址不同方位雾羽长度发生频率变化特征。吉林靖宇厂址 4 种假定情景下机械通风冷却塔雾羽长度发生频率以 3%~9% 为主, CASE1 与 CASE3 情景下雾羽长度均在 1500 m 范围内, 主要分布在 SSW 方位; CASE2 与 CASE4 情景下雾羽长度均在 2500 m 范围内, 主要分布在 SW 方位。

2 个厂址雾羽长度发生频率对比分析发现, 2 个厂址不同情景下的雾羽长度发生频率和雾羽长度发生频率分布的方位比较一致, 但是不同情景下所对应雾羽长度不同。2 个厂址雾羽长度发生频率的差异性主要出现在雾羽长度为 200~

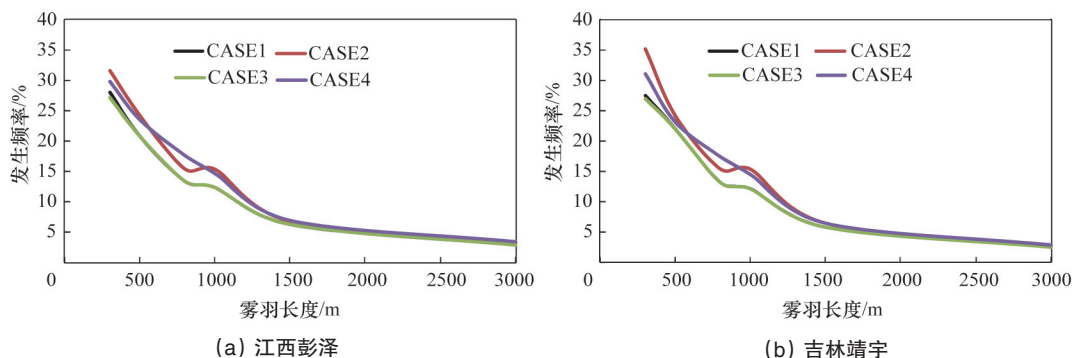


图 4 不同情景下雾羽长度发生频率变化特征

Fig. 4 Variations of plume length frequency in different scenarios

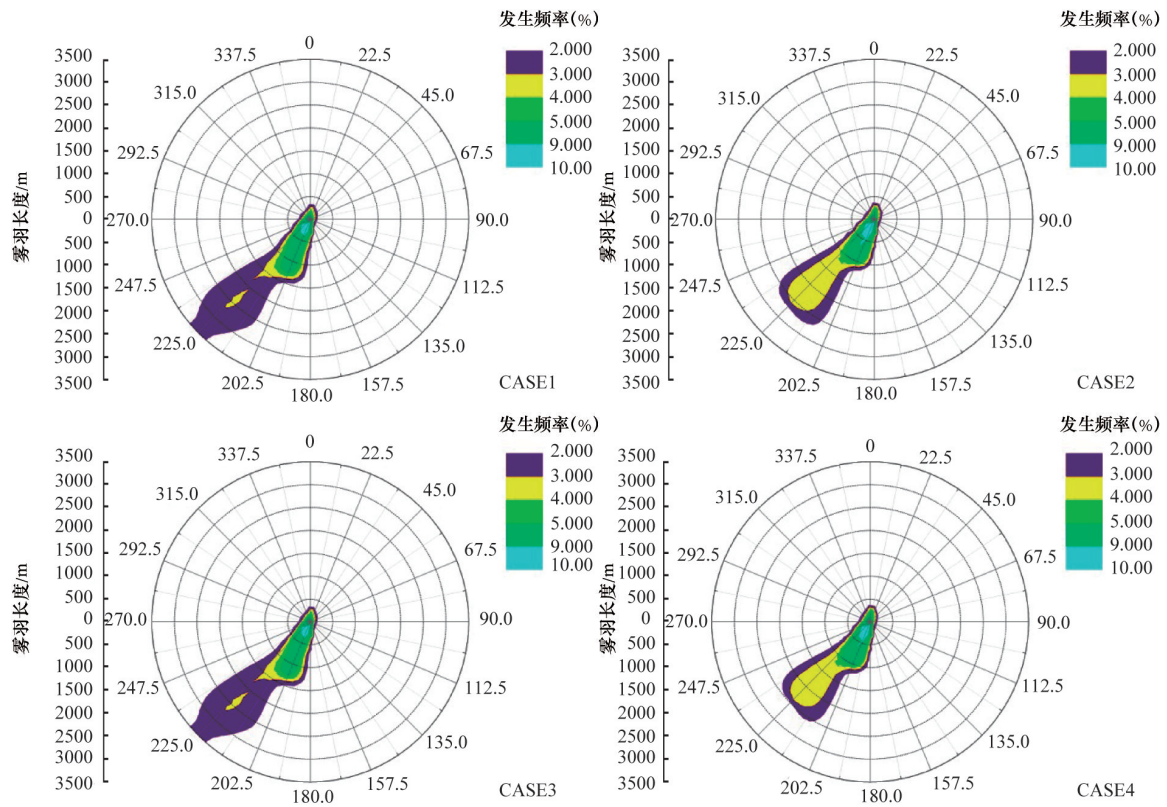


图5 江西彭泽厂址不同方位雾羽长度发生频率变化特征

Fig. 5 Variations of plume length frequency in different directions in Pengze site, Jiangxi

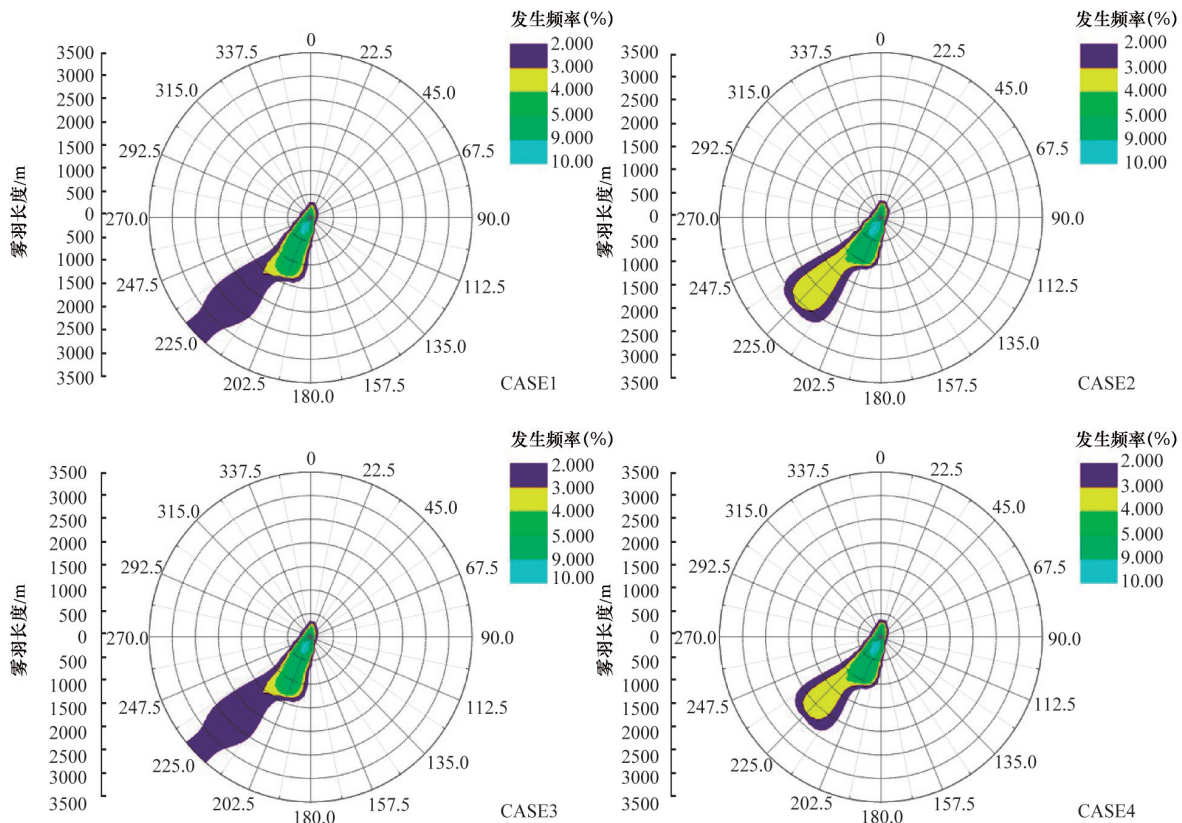


图6 吉林靖宇厂址不同方位雾羽长度发生频率变化特征

Fig. 6 Variations of plume length frequency in different directions in Jingyu site, Jilin

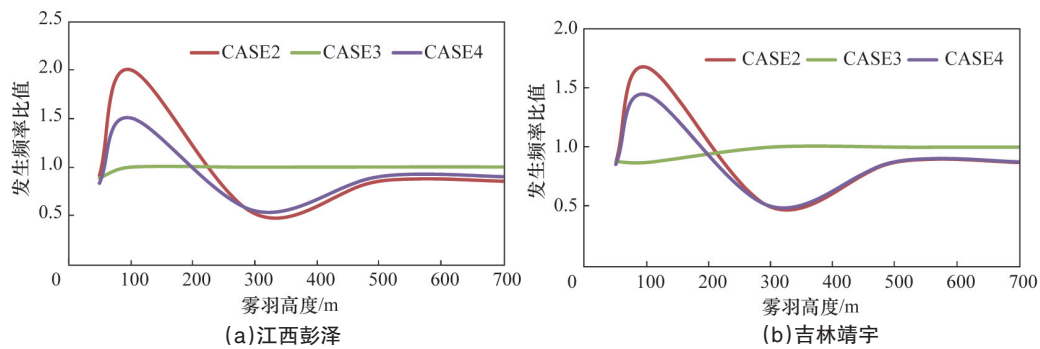
1500 m 和 2000~3000 m 范围内, CASE1、CASE2、CASE3、CASE4 情景下 2 个厂址雾羽长度发生频率比值的最大值依次为 1.119、1.115、1.118、1.044, 其所对应的雾羽长度依次为 400、300、400、300 m。不同情景下 2 个厂址雾羽长度发生频率比值从大到小依次为 CASE2>CASE3>CASE1>CASE4。

2.2 雾羽高度

图 7 为江西彭泽和吉林靖宇厂址不同情景下雾羽高度发生频率变化特征。2 个厂址 4 种情景下雾羽高度发生频率均随雾羽高度增加呈下降趋势, 雾羽高度为 500 m 时其发生频率达到稳定状态。江西彭泽厂址雾羽高度为 200 m 范围内 4 种情景中 CASE2 情景下雾羽高度发生频率最高, CASE3 情景的雾羽高度发生频率最低, 在雾羽高度大于 300 m 时 CASE3 情景的雾羽高度发生频率最高, CASE2 情景的雾羽高度发生

频率最低; CASE2、CASE3、CASE4 情景下的雾羽高度发生频率比值分别为 1.03、0.98、0.94, CASE2 和 CASE4 情景下雾羽高度发生频率比值的最大值出现在雾羽高度为 100 m 处, CASE3 情景下则出现在雾羽高度为 500 m 处。吉林靖宇厂址雾羽高度为 200 m 时 4 种情景中 CASE2 情景雾羽高度发生频率最高, CASE3 情景的雾羽高度发生频率最低, 在雾羽高度大于 300 m 时 CASE3 情景的雾羽高度发生频率最高, CASE2 和 CASE4 情景的雾羽高度发生频率较相近且最低; CASE2、CASE3、CASE4 情景下的雾羽高度发生频率比值分别为 0.96、0.95、0.91, CASE2 情景下雾羽高度发生频率比值的最大值出现在雾羽高度为 100 m 处, CASE3 情景下则出现在雾羽高度为 300 m 处。

图 8 为江西彭泽厂址不同方位雾羽高度发生频率变化特



注:以 CASE1 为参考, 求 CASE2、CASE3、CASE4 与 CASE1 的雾羽半径发生频率的比值

图 7 不同情景下雾羽高度发生频率变化特征

Fig. 7 Variations of plume height frequency in different scenarios

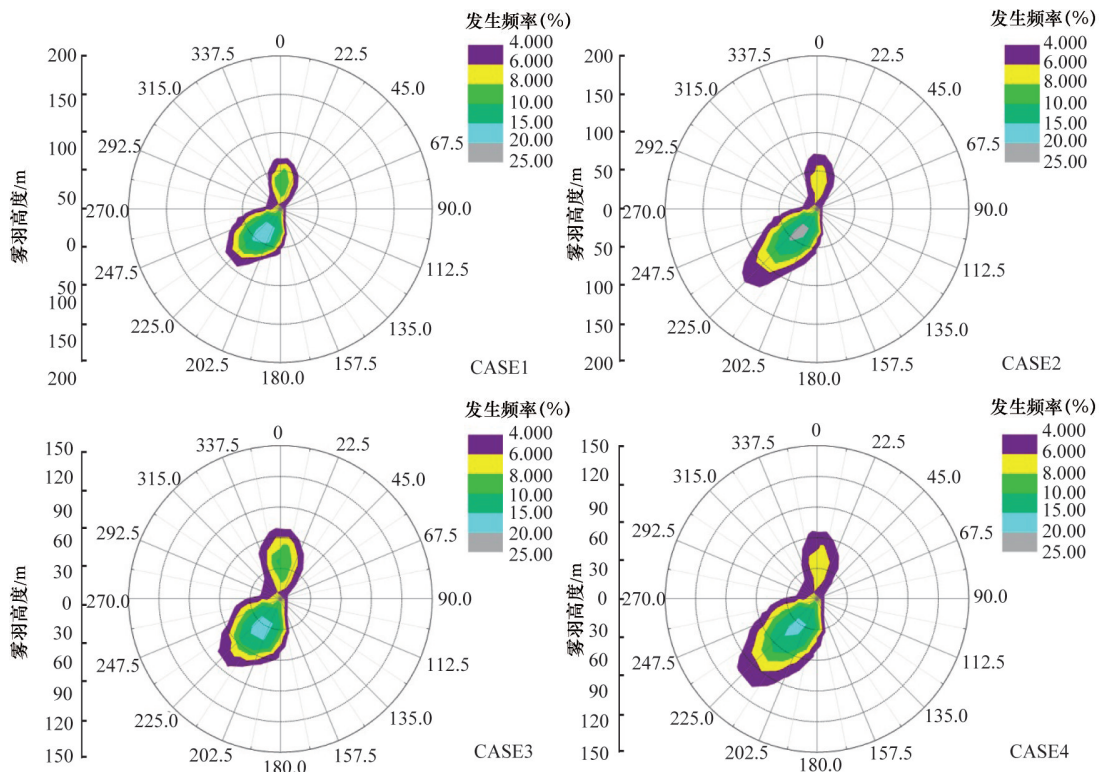


图 8 江西彭泽厂址不同方位雾羽高度发生频率变化特征

Fig. 8 Variations of plume height frequency in different directions for Jiangxi Pengze site

征。江西彭泽厂址4种情景下雾羽高度发生频率以6%~20%为主,CASE1与CASE3情景下雾羽高度在90 m范围内,主要分布在N方位、SSW和SW方位之间;CASE2与CASE4情景下雾羽高度在90 m范围内,主要分布在N方位和SW方位。

图9为吉林靖宇厂址不同方位雾羽高度发生频率变化特征。吉林靖宇厂址4种假定情景下机械通风冷却塔雾羽高度发生频率以6%~20%为主,CASE1与CASE3情景下雾羽高度在90 m范围内,主要分布在N方位、SSW和SW方位之间;CASE2与CASE4情景下雾羽高度分别在120 m和90 m范围内,均主要分布在N方位和SW方位。

2个厂址雾羽高度发生频率对比分析发现,CASE1和CASE3情景下雾羽高度发生频率分布的方位一致,CASE2和CASE4情景下雾羽高度发生频率分布的方位一致。两个厂址雾羽高度发生频率的差异性主要出现在雾羽高度在50~200 m范围内,CASE1、CASE2、CASE3、CASE4情景下2个厂址雾羽高度发生频率比值的最大值依次为1.065、1.079、1.113、1.099,所对应的雾羽高度依次为100、60、60、60 m。不同情景下两个厂址雾羽高度发生频率比值从大到小依次为CASE1>CASE2>CASE3>CASE4。

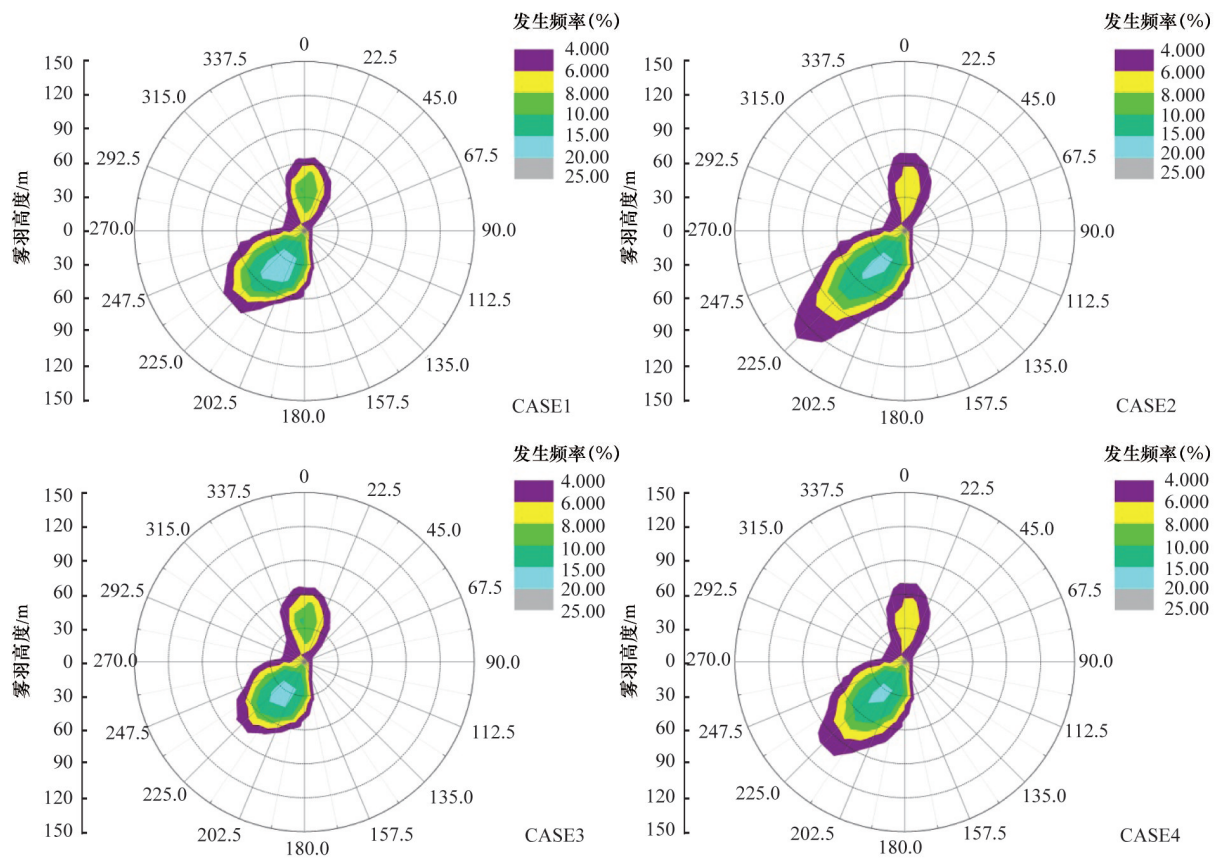


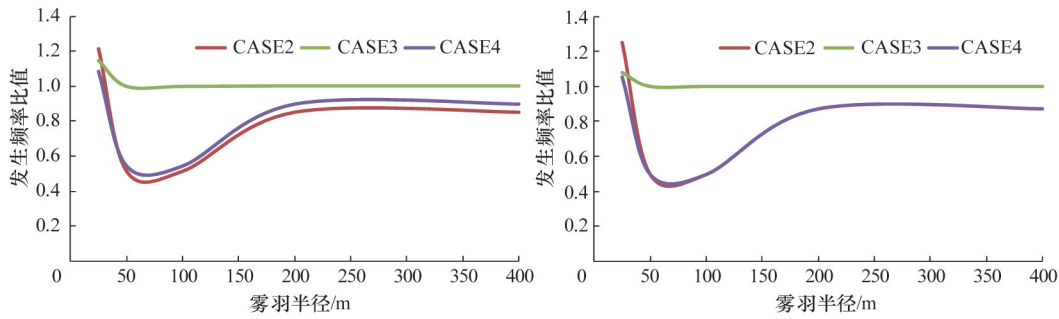
图9 吉林靖宇厂址不同方位雾羽高度发生频率变化特征

Fig. 9 Variations of plume height frequency in different directions in Jingyu site, Jilin

2.3 雾羽半径

图10为江西彭泽和吉林靖宇厂址不同情景下雾羽半径发生频率变化特征。两个厂址4种情景下雾羽半径发生频率均随雾羽半径增加呈下降趋势,雾羽半径为50 m时其发生频率达到稳定状态。江西彭泽厂址雾羽半径为25 m范围内4种情景中CASE2情景下雾羽半径发生频率最高,CASE1情景的雾羽半径发生频率最低,在雾羽半径大于50 m时CASE3情景的雾羽半径发生频率最高,CASE2情景的雾羽半径发生频率最低;CASE2、CASE3、CASE4情景下的雾羽半径发生频

率比值分别为0.79、1.03、0.80,CASE2、CASE3、CASE4情景下雾羽半径发生频率比值的最大值均出现在雾羽半径为25 m处。吉林靖宇厂址雾羽半径为25 m时4种情景中CASE2情景雾羽半径发生频率最高,CASE1情景的雾羽半径发生频率最低,在雾羽半径大于50 m时CASE1和CASE3情景的雾羽半径发生频率较高,CASE2和CASE4情景的雾羽半径发生频率较相近且较低;CASE2、CASE3、CASE4情景下的雾羽半径发生频率比值分别为0.80、1.02、0.76,雾羽半径发生频率比值的最大值均出现在雾羽半径为25 m处。



(a) 江西彭泽

(b) 吉林靖宇

注:以CASE1为参考,求CASE2、CASE3、CASE4与CASE1的雾羽半径发生频率的比值

图 10 不同情景下雾羽半径发生频率变化特征

Fig. 10 Variations of plume radius frequency in different scenarios

图 11 为江西彭泽厂址不同方位雾羽半径发生频率变化特征。江西彭泽厂址 4 种情景下雾羽半径发生频率以 4%~20% 为主, CASE1、CASE2、CASE3、CASE4 情景下雾羽半径在 60 m 范围内, 均主要分布在 SSW 和 N 方位。

图 12 为吉林靖宇厂址不同方位雾羽半径发生频率变化特征。吉林靖宇厂址 4 种假定情景下机械通风冷却塔雾羽半径发生频率以 4%~20% 为主, CASE1、CASE2、CASE3、CASE4 情景下雾羽半径在 60 m 范围内, 均主要分布在 SSW 和 N 方位。

2 个厂址雾羽半径发生频率对比分析发现, CASE1、CASE2、CASE3、CASE4 4 种情景下雾羽半径发生频率分布的方位一致。2 个厂址雾羽半径发生频率的差异性主要出现在雾羽半径为 50 m 范围内, CASE1、CASE2、CASE3、CASE4 情景下 2 个厂址雾羽半径发生频率比值的最大值依次为 1.008、1.034、1.000、1.027, 其所对应的雾羽半径依次为 30、25、10、30 m。不同情景下 2 个厂址雾羽半径发生频率比值从大到小依次为 CASE1>CASE3>CASE2>CASE4。

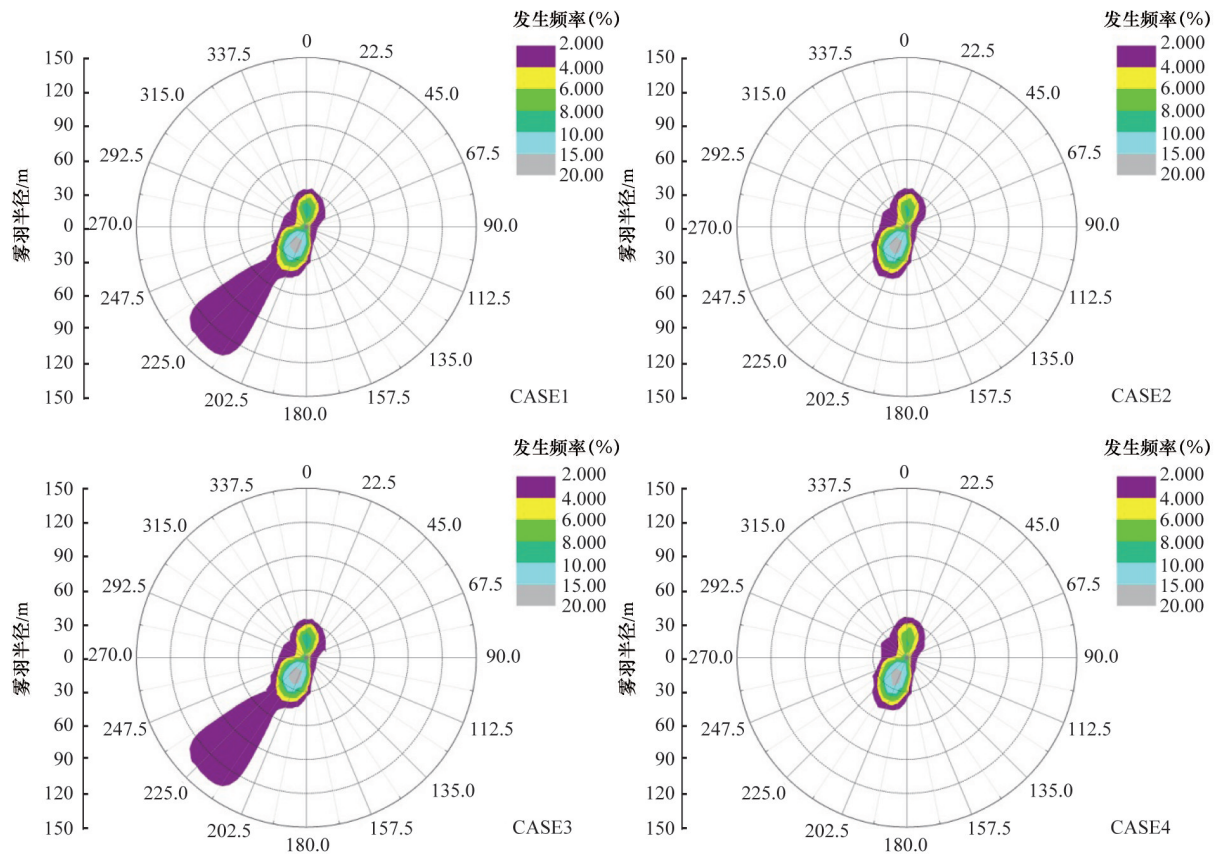


图 11 江西彭泽厂址不同方位雾羽半径发生频率变化特征

Fig. 11 Variations of plume radius frequency in different directions in Pengze site, Jiangxi

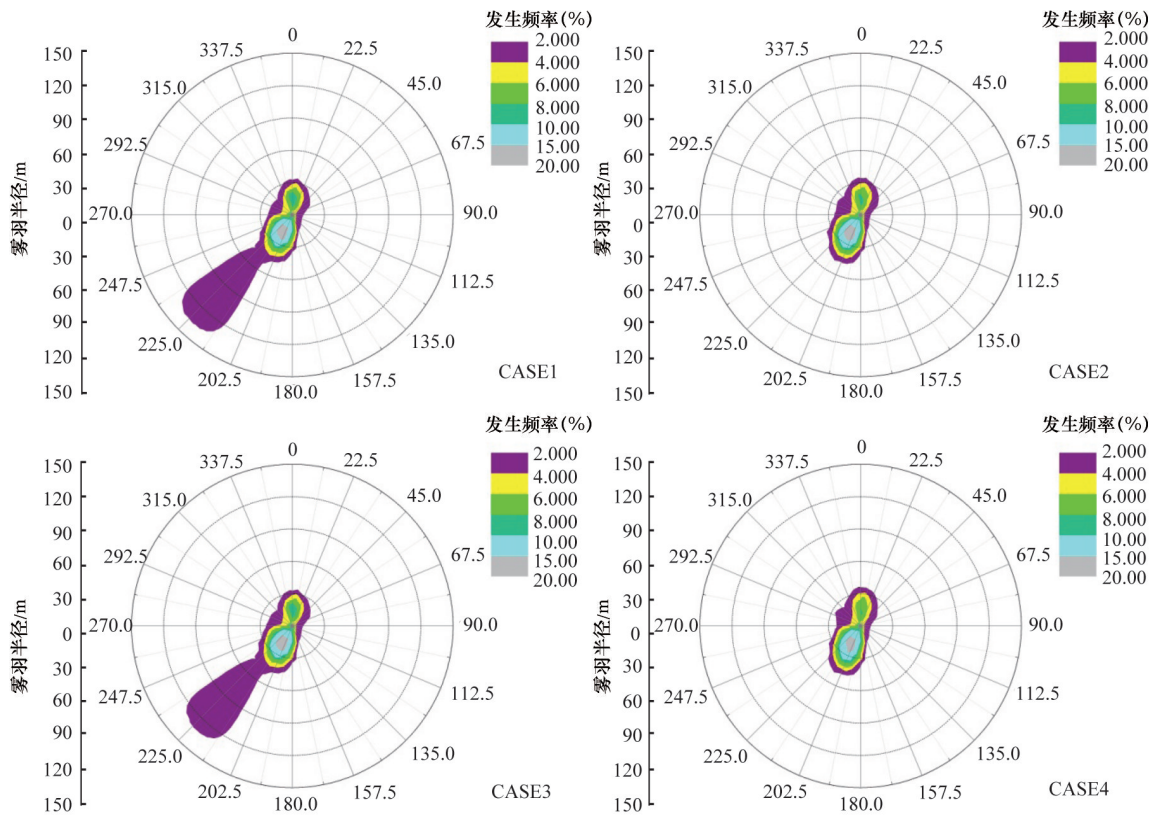


图 12 吉林靖宇厂址不同方位雾羽半径发生频率变化特征

Fig. 12 Variations of plume radius frequency in different directions for Jingyu site, Jilin

3 结论

核电厂址环境特征和机械通风冷却塔的设计均会对核电厂机械通风冷却塔的雾羽大气扩散特征产生较大的影响。核电厂址环境特征的影响程度与厂址的主导风向、风速和温度有一定关系,在CASE1情景下,吉林靖宇厂址雾羽扩散特征的差异主要表现在雾羽长度发生频率,雾羽高度发生频率和雾羽半径发生频率较江西彭泽厂址均总体偏低,2个厂址的雾羽扩散特征的差异主要是由于江西彭泽厂址的年平均温度较吉林靖宇厂址高,年平均风速较吉林靖宇大,2个因素共同决定了不同厂址的雾羽大气扩散特征的差异性。

机械通风冷却塔的设计对雾羽大气扩散特征的影响从机械通风冷却塔不同设计和机械通风冷却塔不同布局方案两个方面考虑。机械通风冷却塔一机四塔设计情景下雾羽长度分布的范围较一机两塔设计情景下的雾羽长度分布范围广,不同布局方案情景下雾羽大气扩散特征差别不显著。

本文利用SACTI模型,分析了江西彭泽和吉林靖宇核电厂机械通风冷却塔雾羽扩散特征,得出以下结论:

1) 不同机械通风冷却塔设计情景下,一机四塔比一机两塔方案引起的雾羽扩散环境影响范围较广,前者和后者的差异主要体现在雾羽长度和雾羽高度两项指标,雾羽长度范围后者约为前者的2.1倍,雾羽高度范围后者约为前者的1.3

倍,主要考虑一机四塔对应的等效排放源较一机两塔等效排放源大,前者约为后者的1.4倍,故一机四塔引起的雾羽扩散影响范围较大。

2) 不同冷却塔布局方案情景下,一机两塔情景下线性排列和平行排列方案主要影响近场雾羽长度分布和高处雾羽高度分布,一机四塔情景下2种排列方案主要影响远场雾羽长度分布和低处雾羽高度分布。线性和平行两种排列方式情景下雾羽扩散的方向一致,均沿主导风向扩散,风速较小时则雾羽的扩散受冷却塔布局影响较明显。

3) 不同厂址对比分析表明,两个厂址不同情景下的雾羽长度发生频率和雾羽长度发生频率分布的方位比较一致,一机两塔方案两个厂址雾羽扩散差异最大,一机四塔方案两个厂址雾羽扩散差异最小;差异较大主要原因在于一机两塔方案影响近场雾羽特征,近场雾羽发生频率高,与厂址相关性较强。两个厂址雾羽长度发生频率比值从大到小依次为CASE2>CASE3>CASE1>CASE4,雾羽高度发生频率比值依次为CASE1>CASE2>CASE3>CASE4,雾羽半径发生频率比值依次为CASE1>CASE3>CASE2>CASE4。

本研究主要分析了江西彭泽和吉林靖宇厂址用SACTI模型预测的机械通风冷却塔雾羽扩散特征,有助于确定不同厂址环境特征对机械通风冷却塔雾羽扩散的影响,以及不同

机械通风冷却塔设计和布局方案对冷却塔雾羽扩散特征的影响。

致谢: 本研究中使用的气象数据来源于国家气象信息中心的中国气象科学数据共享服务平台。

参考文献 (References)

- [1] Sharan M, Gopalakrishnan S G. Mathematical modeling of diffusion and transport of pollutants in the atmospheric boundary layer[J]. *Pure and Applied Geophysics*, 2003, 160, (1-2): 357-394.
- [2] 上官志洪, 张启明, 陶云良. 内陆核电站冷却塔的环境影响预测计算[J]. *辐射防护*, 2009, 29(4): 211-218.
Shanguang Zhihong, Zhang Qiming, Tao Yuliang. Cooling tower environmental impact prediction at inland nuclear power plant[J]. *Radiation Protection*, 2009, 29(4): 211-218.
- [3] 王茹静. 大型自然通风冷却塔环境影响的预测分析研究[J]. *四川环境*, 2014, 33(1): 119-123.
Wang Rujing. Study on the environment impact prediction and assessment of large natural draft cooling tower[J]. *Sichuan Environment*, 2014, 33(1): 119-123.
- [4] 国家核安全局. HAD101/02 核电站厂址选择的大气弥散问题[S]//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.
- [5] 郭瑞萍, 杨春林, 王博, 等. 某内陆核电站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.
Guo Ruiping, Yang Chunlin, Wang bo, et al. Response of cooling tower plume of inland nuclear power plant to environmental elements[J]. *Science & Technology Review*, 2014, 32(17): 46-53.
- [6] Klimanek A. Numerical modelling of natural draft wet-cooling towers [J]. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2013, 20(1): 61-109.
- [7] 潘文高, 李朝明, 胡彬, 等. 机械通风冷却塔在内陆核电站中的应用[J]. *核动力工程*, 2010, 31(3): 92-101.
Pan Wengao, Li Chaoming, Hu Bin, et al. Application of mechanical draft cooling tower in inland nuclear power plants[J]. *Nuclear Power Engineering*, 2010, 31(3): 92-101.
- [8] Bornoff R B, Mokhtarzadeh-Dehghan M R. A numerical study of interacting buoyant cooling-tower plumes[J]. *Atmospheric Environment*, 2001, 35(3): 589-598.
- [9] Meroney R N. CFD prediction of cooling tower drift[J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2006, 94(6): 463-490.
- [10] 王炫. 基于CFD模型的内陆核电站厂址流场模拟[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.
- [11] 郭栋鹏, 姚仁太. 核电站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.
- [12] La Verne M E. Oak Ridge fog and drift code (ORFAD) user's manual [R]. U.S. Energy Research and Development Administration, 1977.
- [13] German S. The KUMULUS model for plume and drift deposition calculations for Indian point unit No. 2[R]. Environmental Systems Corporation Annual Report. 1980: 189-210.
- [14] Hanna S R. A simple drift deposition model applied to the chalk point dye tracer experiment [C]. College Park, Maryland: Symposium on Environmental Effects of Cooling Tower Plumes, 1978: 105-118.
- [15] Electric Power Research Institute. SACTI user's manual: Cooling tower plume prediction code[R]. Palo Alto, California: Electric Power Research Institute, 1987.
- [16] 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.
- [17] Carhart R A, Policastro A J. A second-generation model for cooling tower plume rise and dispersion[J]. *Atmospheric Environment*, 1991, 25A(8): 1559-1576.
- [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, 26A(15): 2845-2852.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Borrego C, Incelik S. Air pollution modeling and its application XVI [M]. Iseed 2004 Edition. New York: Klumer Academic Plenum Publishers, 2004: 583-585.
- [22] 王炫, 杜风雷. SACTI模型在核电站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.
- [23] Fuchs H, Hofman W. A refined method to calculate the shadowing by cooling tower plumes[R]. IAHR Cooling Tower Workshop Annual Report. 1980: 501-550.
- [24] 郭栋鹏, 姚仁太, 乔清党, 等. 核电站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.

Plume dispersion in atmosphere from mechanical ventilation cooling tower in different nuclear power plant sites

GUO Ruiping¹, YANG Chunlin², PAN Xinyi¹, ZHANG Qiong¹, WANG Bo¹, CHEN Haiying¹,
ZHANG Chunming¹, CHEN Lu¹

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

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

Abstract The plume dispersion from mechanical ventilation cooling towers is an important issue in the environmental assessment of the essential service water system of an inland nuclear power plant, which affects the atmosphere environment around the mechanical ventilation cooling tower. Taking the nuclear power plant sites in Pengze, Jiangxi and Jingyu, Jilin as examples, this study simulates the plume dispersion from the mechanical ventilation cooling tower in different sites, for different cooling tower designs and in different layout scenarios by applying the SACTI model. The effects of different site environmental characteristics and different layouts on the plume dispersion are determined. It is shown that among different design scenarios of the mechanical ventilation cooling tower, the environment impact region of the plume dispersion for the case of four towers is larger than that for the case of two towers. the plume length of the former is 2.1 times of that of the latter and the plume height of the former is 1.3 times of that of the latter. Among different layout scenarios of the cooling tower, the linear layout and the parallel layout for the case of two towers mainly impact the distributions of the near field plume length and the high plume height. However, they impact the distributions of the far field plume length and the low plume height for the case of four towers. Among different nuclear power plant sites, the difference between the two sites is the largest for the case of two towers and it is the least for the case of four towers.

Keywords inland nuclear power plant; site environment; cooling tower design; air diffusing

(编辑 祝叶华)