水　利　学　报
2019年10月　SHUILI　XUEBAO　第50卷　第10期

文章编号:0559-9350(2019)10-1222-09

泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法研究

张　华，宋佳星，何贵成，彭燕祥
（华北电力大学 可再生能源学院，北京　102206）

摘要：为实现在综合考虑地形和环境背景场条件下，模拟泄洪期间局地区域天气环境的变化情况，以数值天气预报系统为基础，建立了泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法。结合大岗山水电站一次降雨过程和实际观测资料，拟定了泄洪雾化同化数据分类设置的参考值范围。运用泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法，对大岗山水电站泄洪期间的天气环境变量进行了同化计算。由于大岗山水电站仅有2015年9月14日15:30—16:40泄洪数据，选取2015年9月14日16:00时刻模拟数据分析得到，在考虑风向变化的条件下，风速变化值为8.76 m/s，纵向影响范围约2.1 km；温度降低了3.32℃，纵向影响范围约2 km；相对湿度升高了8.71%，纵向影响范围约2.8 km。模拟结果表明，风速受水舌风影响风向改变、风速升高，温度受泄洪雾化降雨影响降低，相对湿度受雨雾蒸发影响升高。同化模拟的结果均向观测数据趋近，模拟结果符合实际的观测情况。

关键词：泄洪雾化；天气环境；松弛同化
中图分类号：TV135.2　**文献标识码：**A　**doi：**10.13243/j.cnki.slxb.20190244

1　研究背景

高坝泄洪雾化对环境影响的评价，一直是水电站设计和运行过程中重点关注的问题。高速水流泄流所引起的雾化现象，可能对水电站、下游山体、库区交通和居民的生产生活环境有一定的影响，预防和减轻这些危害有着十分重要的意义[1]。泄洪过程中局地环境风场一般受到过坝高速水流引起的水舌风影响，温度和相对湿度的变化受泄洪过程中降雨和雨雾扩散的影响。

泄洪雾化对环境的影响存在多个方面，主要影响因素有地形条件、环境背景场、水舌风和水雾扩散范围[2-3]。目前，泄洪雾化的研究集中在雾源特性、水雾扩散、降雨分布和雾化范围等方面，研究手段以数值模拟和实际观测为主[4-7]。泄洪雾化的数值模拟和实际观测存在的难题有两个方面，(1)数值模拟过程中未对地形和环境背景场进行综合考虑；(2)实际观测数据中缺少泄洪期间对水舌风、坝区周边温度和相对湿度变化的观测数据。

为解决泄洪雾化数值模拟目前面临的两个难题，现提出泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法。该方法基于WRF(The Weather Research and Forecasting Model)数值天气预报模式[8-9]，运用牛顿松弛同化方法(Newton Nudging Assimilation Method)[10-12]，将高坝泄洪过程中的水舌风、温度、相对湿度等数据同化模式的背景场中，结合模式中的地形条件和天气环境背景场对泄洪过程进行模拟，量化泄洪雾化对天气环境的影响大小和范围，为泄洪雾化对天气环境影响的分析研究提供了新方法。

收稿日期：2019-04-09；网络首发时间：2019-09-30
网络出版地址：http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1882.TV.20190930.0959.002.html
基金项目：国家重点研发计划项目(2016YFC0401704)；国家自然科学基金项目(51579100)
作者简介：张华(1962-)，博士，教授，主要从事水工水力学研究。E-mail：zhanghua@ncepu.edu.cn

2　牛顿松弛同化方法

牛顿松弛同化方法是一种四维数据同化，它是一种持续的数据同化形式。牛顿松弛同化的基本原理是在模型中引入了人工趋势项，以逐步使模型数据向观测数据逼近。魏蕾等[13]对牛顿松弛同化方法的原理进行了阐述：

$$\frac{\partial \mu\alpha}{\partial t}=F\left(\alpha,\ x,\ t\right)+G_{\alpha}\cdot\mu\frac{\sum_{i=1}^{N}W_i^{\ 2}(x,\ t)\cdot\gamma_i\cdot\left(\alpha_0-\widehat{\alpha}\right)_i}{\sum_{i=1}^{N}W_t(x,\ t)} \tag{1}$$

$$W\left(x,\ t\right)=\omega_{xy}\cdot\omega_{\sigma}\cdot\omega_t \tag{2}$$

式中：$\mu=p_{hs}-p_{ht}$，p_{hs}为地面气压；p_{ht}为顶部气压；x、y为离格点的距离；α为模式预报变量；$\widehat{\alpha}$为模式预报变量插值到三维空间中的观测位置；F为模式中所有物理过程变率；G_{α}为松弛逼近系数；γ为观测质量因素；α_0为对应时刻观测值；$W\left(x,\ t\right)$为松弛后第t步预报值。

选取合适的松弛系数可以使观测资料高效的与模式相结合，并且合理地控制逼近快慢和程度。

$$\omega_{xy}=\frac{R^2-D^2}{R^2+D^2},\ 0\leqslant D\leqslant R \tag{3}$$

$$\omega_{xy}=0,\ D>R \tag{4}$$

式中：R为影响半径；D为离观测点的距离。

$$\omega_t=1,\ \ \left|t-t_0\right|<\tau/2 \tag{5}$$

$$\omega_t=\frac{\tau-\left|t-t_0\right|}{\tau/2},\ \ \tau/2\leqslant\left|t-t_0\right|\leqslant\tau \tag{6}$$

式中τ为观测值指定的时间窗口。

利用数值天气预报模式，对2015年9月14日14:00—20:00时间内，大岗山水电站位置进行一次模拟分析，观察大岗山水电站位置的背景场天气要素情况，主要关注该时间段内风速、风向、温度、压强和相对湿度数据。基于牛顿松弛同化方法，将泄洪过程中的水舌风、高程点以及受泄洪雾化影响的温度、相对湿度等天气要素变化量加入到模式中，经过数据同化计算，得到受泄洪雾化影响后，局地天气要素的变化情况。

3　泄洪雾化的天气参数同化数据设置方法

高坝泄洪的主要观测数据为降雨数据，但对坝体下游受降雨影响的温度、相对湿度和压强的变化鲜有观测。为确定降雨过程中温度和相对湿度的变化，现运用WRF对雅安2011年8月20—21日的一次降雨过程进行模拟[14]，研究此次降雨过程中大岗山水电站位置温度、相对湿度和压强的变化，类比泄洪期间雾化对天气环境要素的影响。进而结合大岗山水电站原型观测资料和相关研究成果，提出泄洪雾化的天气参数同化数据分类设置方法。

3.1　模拟区域及参数化方案设置　应用WRF数值天气预报，以坐标29.44°N和102.21°E为中心，运用4层单向嵌套模拟区域，从外层到内层采用的水平分辨率分别为27、9、3和1 km，各嵌套层格点数分别为100×100、88×88、76×76、100×100，垂直层分为31层。使用初始场和边界场资料为NCEP(National Centers for Environmental Prediction)的FNL(Final Operational Global Analysis)再分析资料，资料的水平分辨率为1°×1°。研究区域4层嵌套图和第4层嵌套范围内地形图，分别如图1、图2所示。

模拟时间为北京时间2011年8月19日20:00至2011年8月22日08:00降雨时间段。积分时间步长为60 s，积分时长60 h。物理过程参数化方案做如下处理：

长波辐射选用RRTM方案[15]，短波辐射采用Dudhia方案[16]，微物理过程选用Lin云微物理方案，积云对流采用Grell-Devenyi集合方案，如表1所示：

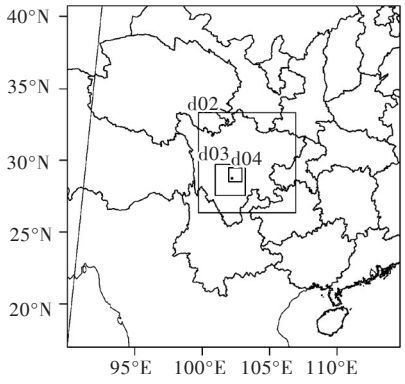


图1　大岗山模拟区域嵌套图

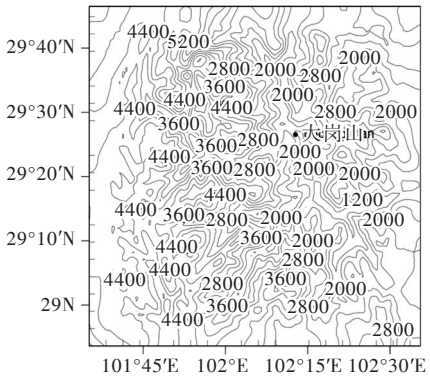


图2　第4层嵌套范围内地形图

表1　模式降雨模拟的基本物理方案选取

物理过程	参数化方案	物理过程	参数化方案
微物理过程	Lin	陆面过程	Noah
长波辐射	RRTM	行星边界层	YSU
短波辐射	Dudhia	积云参数化	Grell-Devenyi
近地面层	Monin-Obukhov		

3.2　模拟结果分析　由于模拟过程中存在多个降雨时间段，故选取变化效果显著的2011年8月21日00:00—23:00时间段进行说明。通过雅安降雨过程的模拟结果，分析降雨过程中大岗山位置上降雨量、温度、相对湿度和压强的变化情况。详细变化情况如表2所示。

表2　2011年8月21日雅安模拟降雨过程天气参数变化情况

参数时间	降雨强度/(mm·h^{-1})	温度/℃	温度差/℃	相对湿度/%	相对湿度差/%	压强/kPa	压强差/kPa
00:00		23.587		57.577		86.489	
01:00	0.015	24.555	0.968	53.196	−4.381	86.390	−0.099
02:00	0.001	26.232	1.677	48.632	−4.564	86.304	−0.086
03:00	0	27.661	1.429	43.491	−5.141	86.253	−0.051
04:00	0.001	29.179	1.518	39.795	−3.696	86.180	−0.074
05:00	0	30.408	1.229	35.348	−4.447	86.131	−0.049
06:00	0.001	31.355	0.947	35.685	0.337	86.105	−0.026
07:00	0	31.682	0.327	40.380	4.695	86.082	−0.023
08:00	0.001	30.745	−0.937	48.967	8.587	86.083	0.001
09:00	0	29.110	−1.635	56.745	7.779	86.174	0.091
10:00	0.015	25.196	−3.914	68.855	12.110	86.317	0.143
11:00	2.384	23.397	−1.799	78.938	10.082	86.375	0.057
12:00	0.147	23.752	0.356	69.920	−9.017	86.435	0.060
13:00	3.271	21.727	−2.025	82.285	12.365	86.516	0.081
14:00	4.913	21.366	−0.361	81.809	−0.477	86.543	0.027
15:00	4.214	21.393	0.027	81.149	−0.660	86.608	0.065
16:00	5.077	21.258	−0.134	80.786	−0.363	86.663	0.054
17:00	3.856	20.814	−0.444	83.075	2.290	86.711	0.048
18:00	3.376	20.430	−0.385	83.529	0.454	86.739	0.029
19:00	2.657	20.227	−0.203	82.930	−0.599	86.742	0.003
20:00	2.275	20.110	−0.116	82.270	−0.660	86.773	0.031
21:00	1.86	20.437	0.326	79.788	−2.482	86.759	−0.014
22:00	1.903	20.409	−0.027	79.228	−0.560	86.764	0.005
23:00	1.667	20.356	−0.054	79.109	−0.120	86.803	0.039

由表2所示，雨强和相对湿度皆随时间先增加后减小，温度是先降低后升高，压强一直保持在86.5 kPa左右。在8月21日16∶00时，降雨强度变化达到最大，为5.077 mm/h；10∶00时，温度变化值达到最大，下降3.914 ℃；13∶00时，相对湿度变化值最大，上升12.365%。泄洪雾化导致的降雨对温度和相对湿度的影响，可以以此次降雨过程作为参考，再通过观测资料进行修正。其中累计雨量、温度和相对湿度的变化图，如图3所示。

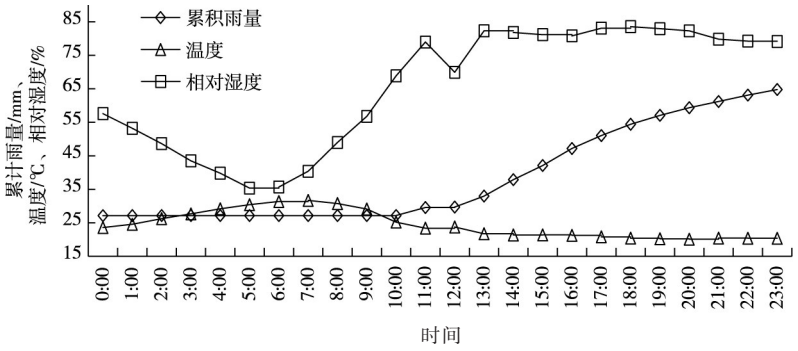


图3　大岗山水电站位置累计雨量、温度和相对湿度变化图

由图3可知，9∶00时刻降雨过程开始，温度下降了4 ℃，相对湿度上升了12%。在降雨过程中，温度始终在20 ℃左右变化，相对湿度始终在80%左右变化，其中压强受到的影响最小。温度和相对湿度在降雨开始时变化剧烈，一段时间后趋于稳定。泄洪雾化导致的温度和相对湿度变化，由于缺少自然降雨的先天天气条件，会在泄洪一段时间后出现变化，高坝在泄洪过程中降雨强度大，故温度和相对湿度在强暴雨区和暴雨区内的变化幅度也大。王继刚[17]等人对大岗山水电站2015年9月14日15∶30—16∶40泄洪期间，泄洪洞出口观测点观测数据进行了汇总，如表3所示。

表3　泄洪洞出口各测点观测数据汇总

测点序号	温度/℃			相对湿度/%			风速/(m·s^{-1})		大气压/hPa			降雨强度/(mm·h^{-1})
	未泄洪	泄洪中	变化值	未泄洪	泄洪中	变化值	未泄洪	泄洪中	未泄洪	泄洪中	变化值	
1	19.6	21	1.4	82.9	88.1	5.2	0.6~1.3	0.3~0.8	903.4	902.2	1.2	0
2	27.1	21.3	5.8	68.2	88.5	20.3	0.8~1.3	0	903.7	902.8	0.9	0
3	26.5	22.2	4.3	69.5	87.6	18.1	0.7~1.1	0	903.5	902.6	0.9	0
4	22.6	20.1	2.5	71.5	94.3	22.8	0	1.2	903.1	902.5	0.6	9.4
5	19.6	18	1.6	93.4	92.8	0.6	1.3~0.9	0.6~1.3	903.8	902.6	1.2	0
6	21.1	18.8	2.3	84.3	94.9	10.6	1~1.9	0	903	902.3	0.7	0
7	23.4	17.7	5.7	72.3	100	27.7	1.2	25.26	903.2	900.8	2.4	3.8
8	21.9	18.6	3.3	83.2	100	16.8	1.3	10.78	903.7	902.4	1.3	0.5
9	23.4	18.9	4.5	86.1	98.2	12.1	0.6	3.52	904.5	903.1	1.4	0
10	18.7	16.1	2.6	75	100	25	2.4	19.1	903.7	903.1	0.6	5.7
11	19.4	17.8	1.6	63.8	98	34.2	1.6	5.6	903.7	903.3	0.4	3.3

3.3　泄洪雾化的天气参数同化数据设置方法　以表3的观测数据和张华[18]、张旻[19]对泄洪雾化过程的数值模拟为参考，高坝泄洪雾化过程中，环境场风速受水舌风影响，实际风速可达20 m/s，温度受降雨强度影响低于环境场达4 ℃，相对湿度受雾化影响可达到90%以上。结合大岗山降雨过程中降雨量、温度、相对湿度和压强的模拟情况，依据雨强的分类，提出泄洪雾化的天气参数同化数据设置方法，如表4所示。

表4 泄洪雾化的天气参数同化数据分类设置表

雨强/(mm·h^{-1})	风速/(m·s^{-1})	相对湿度/%	温度/℃	压强/kPa
$q \geqslant 50$	$30>SP \geqslant 20$	$100 \geqslant RHA>95$	$T-3 \geqslant TA>T-4$	P
$50>q \geqslant 10$	$20>SP \geqslant 15$	$95 \geqslant RHA>90$	$T-2 \geqslant TA>T-3$	P
$10>q \geqslant 2$	$15>SP \geqslant 10$	$90 \geqslant RHA>RH$	$T \geqslant TA>T-2$	P
$q<2$	$10>SP \geqslant 0$	RH	T	P

备注：SP为同化风速，RHA为同化相对湿度，RH为环境场相对湿度，TA为同化温度，T为环境场温度，P为环境场压强。

4 泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法在大岗山水电站泄洪中的应用

所谓泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法，即在数值天气模式中，应用牛顿松弛同化方法，结合泄洪雾化的天气参数同化数据设置方法，来评价泄洪雾化对天气环境影响的一种方法。根据雅安降雨过程中大岗山水电站位置降雨过程中温度、相对湿度和压强的变化，结合大岗山泄洪洞出口各测点的观测数据，现运用泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法，对大岗山水电站泄洪期间的天气参数影响情况进行模拟研究。

4.1 参数化方案设置 大岗山水电站位于四川省大渡河中游雅安市境内，枢纽泄洪洞位于大坝右岸，为无压泄洪洞，进口为开敞式，出口采用挑流消能。2015年9月14日，水库泄洪，泄洪流量为1344 m^3/s。现选取2015年9月14日14:00—9月14日20:00时间段，对大岗山水电站泄洪期间顺河流方向数据进行同化，同化位置点从坝址开始，同化点数为6个，受同化位置点经纬度转换精度限制，同化点距离间隔设置为200 m。物理参数化方案如表5所示。

表5 大岗山电站大气模拟的基本物理方案选取

物理过程	参数化方案
微物理过程	WSM6
长波辐射	RRTM
短波辐射	Dudhia
近地面层	Monin-Obukhov
陆面过程	Noah
行星边界层	YSU
积云参数化	Kain-Fritsch

高坝泄洪期间的暴雨区内，风速受水舌风影响，速度增至20 m/s以上，风向顺河谷下游方向；温度值低于周围环境场温度4 ℃；相对湿度受雾化影响保持在95%以上，压强影响较小，保持与周围环境场一致。同化位置高度选取泄洪挑坎位置高程1000 m，距下游河面高度约50 m。同化数据参数设置情况如表6所示。

表6 同化数据参数设置情况

雨强/(mm·h^{-1})	风速/(m·s^{-1})	相对湿度/%	温度/℃	压强/kPa	高程/m
$q \geqslant 50$	21~27	100~98	13~21	87	1000
$50>q \geqslant 10$	16~20	98~95	14~22	87	1000
$10>q \geqslant 2$	11~17	95~90	16~23	87	1000
$q<2$	6~12	85	17~24	87	1000

4.2 大岗山天气要素的模拟结果分析 大岗山水电站泄洪洞出口位置距下游河面约50 m，为观察泄洪过程中河谷段的天气环境场要素变化情况，选取模式嵌套范围内50 m高度16:00时刻变化情况，

通过模拟结果验证泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法的可行性。

4.2.1　风场　2015年9月14日16:00第四层嵌套范围内50 m高度风场和同化后风场变化情况，分别如图4—图6所示。

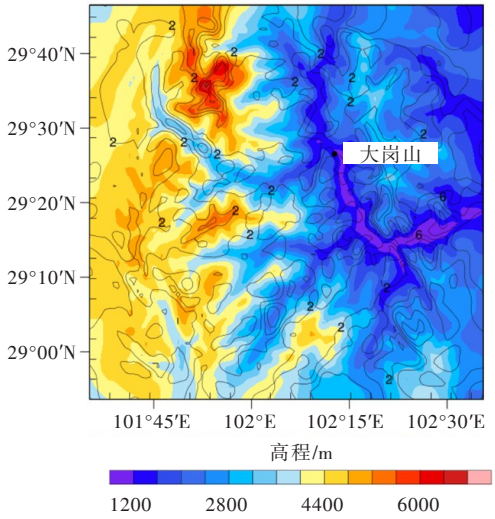


图4　16:00未同化50 m高度风速

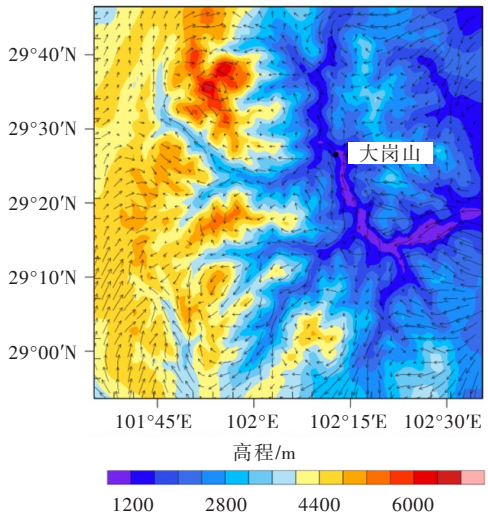


图5　16:00未同化50 m高度风向

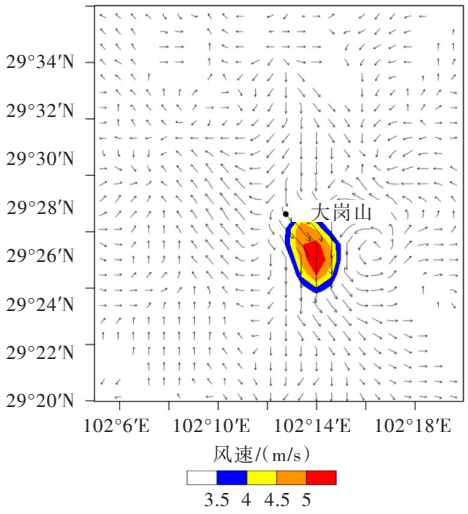


图6　16:00同化后50 m高度风场变化

通过图4—图6可知，大岗山水电站在2015年9月14日16:00时，50 m高度的风速为1.88 m/s，同化后大岗山水电站位置50 m高度风速为6.88 m/s。不考虑风向条件下，同化前后风速差值为5 m/s。在风向由向上游的东南风变为向下游的西北风条件下，风速实际变化了8.76 m/s，其中纵向影响范围约2.1 km，横向约1 km。

4.2.2　温度　2015年9月14日16:00第四层嵌套范围内50 m高度温度场和同化后温度场变化情况，如图7、图8所示。

通过图7、图8可知，大岗山水电站在2015年9月14日16:00时，50 m高度的温度约为21.18 ℃。同化后大岗山水电站位置50 m高度温度为17.86 ℃。相比同化前温度降低了3.32 ℃，其中影响区域纵向范围约2 km，横向约1 km。

4.2.3　相对湿度　2015年9月14日16:00第四层嵌套范围内50 m高度相对湿度和同化后相对湿度变化情况，分别如图9、图10所示。

通过图9、图10可知，大岗山水电站在2015年9月14日16:00时，50 m高度的相对湿度为84.08%。同化后大岗山水电站位置50 m高度相对湿度为92.79%。相比同化前相对湿度升高了

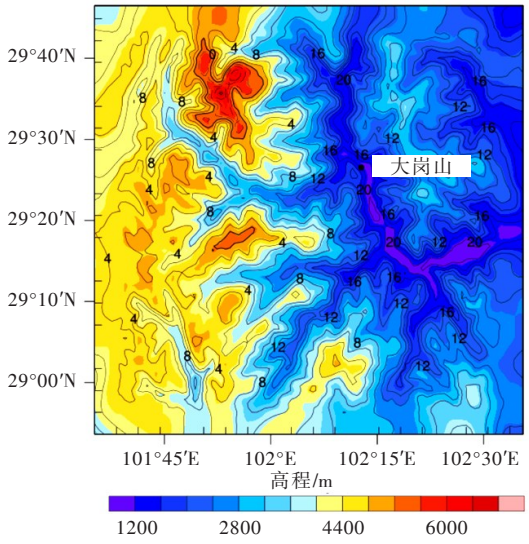


图 7　16:00未同化 50 m 高度温度

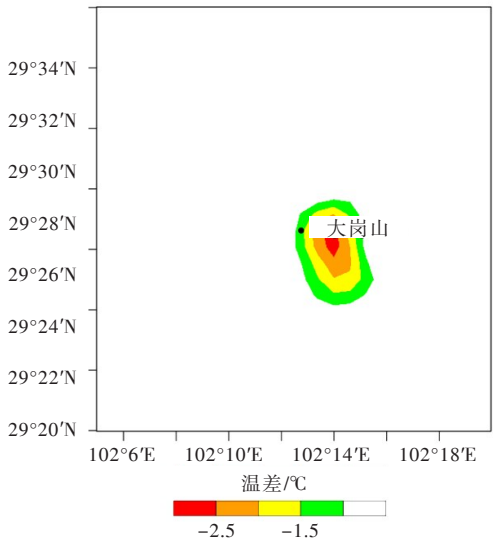


图 8　16:00同化后 50 m 高度温度变化

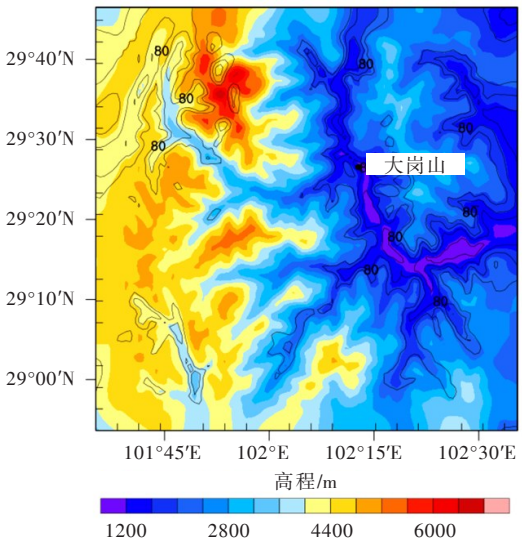


图 9　16:00未同化 50 m 高度相对湿度

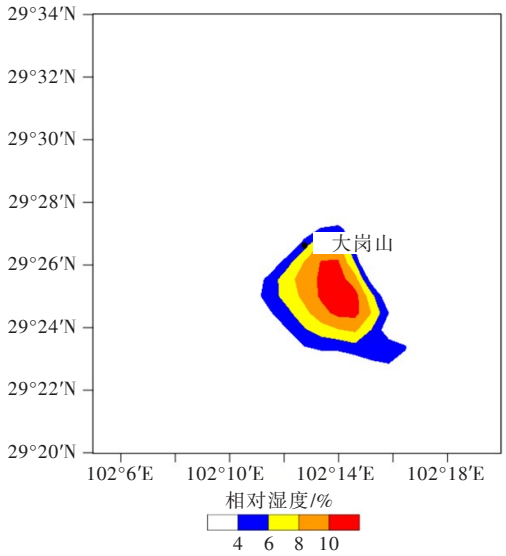


图 10　16:00同化后 50 m 高度相对湿度变化

8.71%，其中影响区域纵向约 2.8 km，横向约 1.4 km。

4.2.4　同化计算结果的分析评价　运用泄洪雾化对环境影响的松弛同化方法，将大岗山水电站泄洪期间的水舌风、温度和相对湿度等参数进行了同化计算，现选取 16：00时刻的同化结果进行对比分析，结果如表 7 所示。

表 7　16:00时刻同化计算对比

天气参数	风速/(m·s^{-1})	温度/℃	相对湿度/%
泄洪前观测参考值	1.2	23.4	72.3
泄洪中观测参考值	25.26	17.7	100
同化前模拟值	1.88	21.18	84.08
同化后模拟值	6.88	17.86	92.79

由表 7 可知，泄洪雾化对环境影响的松弛同化方法，可以实现模拟高坝泄洪过程中，泄洪雾化对区域天气要素的影响。同化后的风速、温度和相对湿度数据均趋近于观测数据，模拟结果符合高坝

泄洪对天气环境影响的基本规律。

5 结论

通过研究泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法，本文得到了以下结论：

(1)建立了泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法。以数值天气预报系统为基础，建立了泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法，以风速、风向、温度和相对湿度为主要天气环境同化数据，运用松弛同化法，求得泄洪雾化对水电站区域天气环境变量的变化和影响范围，为泄洪雾化的数值模拟提供了新的研究方法。

(2)确立了泄洪雾化同化数据分类设置的参考值范围。以雅安一次降雨过程为例，模拟了大岗山位置降雨时间段的雨强与温度和相对湿度的变化。结合泄洪的观测资料，确定了泄洪期间风速、温度和相对湿度的同化值范围。暴雨区以内风速受水舌风影响，风速在15 m/s以上，相对湿度90%以上，温度低于环境场温度2～4 ℃。具体参数设置需要结合模拟电站位置的天气环境场参数情况。

(3)确定了大岗山水电站泄洪对天气环境的影响情况。运用泄洪雾化对天气环境影响的松弛同化方法，对大岗山水电站泄洪期间的天气环境变量进行了同化计算。由于大岗山水电站仅有2015年9月14日15:30—16:40泄洪数据，选取2015年9月14日16:00时刻模拟数据分析得到，在考虑风向变化的条件下，风速变化值为8.76 m/s，纵向影响范围约2.1 km；温度降低了3.32 ℃，纵向影响范围约2 km；相对湿度升高了8.71%，纵向影响范围约2.8 km。模拟结果表明，风速受水舌风影响风向改变、风速升高，温度受泄洪雾化降雨影响降低，相对湿度受雨雾蒸发影响升高。同化模拟的结果均向观测数据趋近，模拟结果符合实际的观测情况。

参 考 文 献：

[1] 张华，练继建，李会平．挑流水舌的水滴随机喷溅数学模型[J]．水利学报，2003(8)：23-27．

[2] 姚克烨，曲景学．泄洪雾化研究综述[J]．东北水利水电，2007(4)：7-9，71．

[3] 练继建，刘昉，黄财元．环境风和地形因素在挑流泄洪雾化数学模型中的影响[J]．水利学报，2005，36(10)：1147-1152．

[4] 薛联芳．大坝泄洪雾化环境影响及减免措施研究[J]．四川水力发电，2005(5)：116-119．

[5] 李敏，蒋维楣，刘红年．考虑雾的微物理特征条件下的水雾扩散数值模拟研究[J]．环境科学学报，2002(2)：140-144．

[6] 刘红年，蒋维楣，徐敏．水雾扩散及其对环境影响的模拟研究[J]．环境科学学报，2000(5)：588-591．

[7] 徐东翔，胡云安．水雾扩散模型仿真[J]．指挥控制与仿真，2014，36(6)：103-106．

[8] DUDHIA J．A history of mesoscale model Development[J]．Asia-Pac．J．Atmos．Sci．，2014，50：121-131．

[9] 胡向军，陶健红，郑飞，等．WRF模式物理过程参数化方案简介[J]．甘肃科技，2008，20：73-75．

[10] REEN B P，DUMAIS R E JR，PASSNER J E．Mitigating Excessive Drying Caused by Observation Nudging[C]//14th Annual WRF Workshop，NCAR，Boulder，24-28 June，2013．http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2013/ WorkshopPapers.htm.

[11] REEN B P，DUMAIS R E JR，PASSNER J E．Mitigating excessive drying from the use of observations in mesoscale modeling．early online release[J]．J．Appl．Meteorol．Climatol．，2015．http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0301.1.

[12] GAUDET B，STAUFFER D，SEAMAN N，et al．Modeling Extremely Cold Stable Boundary Layers over Interior Alaska using a WRF FDDA System[C]//13th Conference on Mesoscale Processes，American Meteorological Society，17-20 August，2009．Salt Lake City，Utah．Available：https://ams.confex.com/ams/13Meso/techprogram/paper_155043.htm.

[13] 魏蕾，雷恒池．加密探空资料同化对一次降水预报能力改进研究[J]．气候与环境研究，2012，20(6)：

153-164.
[14] 闵涛，肖天贵，李跃清，等. 2011年8月20日雅安暴雨过程的波能特征研究[J]. 成都信息工程学院学报，2013(4)：402-408.
[15] MLAWER E J, TAUBMAN S J, BROWN P D, et al. Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for long wave [J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102 (D14): 16663-16682.
[16] DUDHIS J. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two- dimensional model[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1989, 46(20): 3077-3107.
[17] 王继刚，汤国庆，罗永钦. 大岗山水电站泄洪洞泄洪雾化观测成果分析[J]. 西北水电，2019(1)：77-80.
[18] 张华. 水电站泄洪雾化理论及其数学模型的研究[D]. 天津：天津大学，2003.
[19] 张旻. 锦屏一级水电站泄洪洞泄洪雾化及防护措施研究[J]. 水电站设计，2015(2)：24-27.

Study on nudging assimilation method for the impact of flood discharge atomization on weather environment

ZHANG Hua, SONG Jiaxing, HE Guicheng, PENG Yanxiang
(*School of Renewable Energy, North China Electric Power University, Beijing* 102206, *China*)

Abstract: Under the condition of comprehensive consideration of terrain and environmental background field, the variation of local weather environment during flood discharge is simulated. Based on the numerical weather prediction system, the nudging assimilation method of flood discharge atomization on weather environment is established. Combined with the primary rainfall process and actual observation data of the Dagangshan Hydropower Station, the reference range of the flooding atomization assimilation data classification setting is proposed. Using the nudging assimilation method of flood discharge atomization on the weather environment, the weather environment variables during the flood discharge of Dagangshan Hydropower Station were assimilated. Since the Dagangshan Hydropower Station only has 15:30-16:40 flood discharge data on September 14, 2015, it is selected from the simulation data at 16:00 on September 14, 2015. At 16:00 on September 14, 2015, under the condition of changing wind direction, the wind speed change value is 8.76m/s, the longitudinal influence range is about 2.1km, the temperature is reduced by 3.32°C, and the longitudinal influence range is about 2km; relative humidity increased by 8.71%, the longitudinal influence range is about 2.8km. The simulation results show that the wind speed is affected by the water tongue wind, the wind speed is increased, the temperature is reduced by the flooding atomization rainfall, and the relative humidity is affected by the rain fog evaporation. The results of the assimilation simulation approach the observed data, and the simulation results are in line with the actual observations.

Keywords: flood discharge atomization; weather environment; nudging assimilation

（责任编辑：李福田）