

李兰,周月华,叶丽梅,等. 2013. 基于 GIS 淹没模型的流域暴雨洪涝风险区划方法. 气象, 39(1):112-117.

基于 GIS 淹没模型的流域暴雨 洪涝风险区划方法^{* 1}

李 兰¹ 周月华¹ 叶丽梅¹ 彭 涛²
史瑞琴¹ 刘旭东³ 王东仙⁴

1 武汉区域气候中心, 武汉 430074
2 中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074
3 中国地质大学, 武汉 430074
4 湖北省荆门市气象局, 荆门 448000

提 要: 在求取漳河流域雨洪曲线, 分析流域历史暴雨洪涝风险个例基础上, 确定流域致灾临界面雨量和洪涝风险水位段。采用耿贝尔极值 I 型分布法求取流域不同重现期面雨量, 基于 GIS 的暴雨洪涝淹没模型, 利用 D8 及曼宁公式计算不同重现期面雨量淹没范围和水深; 运用灾害风险原理, 制作漳河流域暴雨洪涝风险区划。同时, 对湖北省钟祥市行政区域制作了风险区划图, 并与实际灾情进行了比较, 暴雨洪涝灾害频发区与高风险区对应较好。结果表明, 该方法能够直观表达暴雨洪涝灾害的形成, 也反映了流域及研究区域内的暴雨洪涝灾害风险, 有较清楚的物理意义。

关键词: GIS, 暴雨洪涝, 淹没, 风险区划

中图分类号: P694 **文献标识码:** A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.01.014

Basin Rainstorm Flood Risk Regionalization Method Based on GIS Rainstorm Flood Inundation Model

LI Lan¹ ZHOU Yuehua¹ YE Limei¹ PENG Tao²
SHI Ruiqin¹ LIU Xudong³ WANG Dongxian⁴

1 Wuhan Regional Climate Centre, Wuhan 430074
2 Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074
3 China University of Geosciences, Wuhan 430074
4 Jingmen Meteorological Office of Hubei Province, Jingmen 448000

Abstract: Based on acquiring rainflood curve of Zhanghe River Basin and analyzing cases of historical rainstorm flood disaster risk, the disaster critical area rainfall and flood risk water levels of the river basin are obtained; The Gumbel I extreme distribution is used to calculate the area rainfall of different return period, and D8 and Manning's formulas are also used to calculate the submerged area and depth of areal precipitation from different recurrence interval by GIS rainstorm flood inundation model. According to disaster risk theory, the rainstorm flood disaster risk regionalization of Zhanghe River Basin is done. Meantime, a plot of rainstorm flood disaster risk zoning of Zhongxiang City in Hubei Province is performed, and compared with the actual disaster situation, the flood disaster areas and high risk areas are correspondent. The results show that the method can express flood disasters intuitively, and also reflect the flood disaster

^{*} 2009 年公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906019)、2011 年度湖北省气象局发展基金项目(2011Z02)、2011 年现代气候业务建设试点“气象灾害风险评估业务之-流域暴雨洪涝灾害风险评估”及 2012 年公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206028)共同资助
2011 年 10 月 25 日收稿; 2012 年 7 月 22 日收修定稿
第一作者: 李兰, 主要从事应用气象及气象灾害评估. Email: wen92929@tom.com

risk of the basin and the study areas. It has a clear physical significance.

Key words: GIS, rainstorm flood, inundation, risk regionalization

引 言

自然灾害风险区划是要给出自然灾害风险分布情况,指出自然灾害出现的概率是多少,哪些地区风险大。暴雨洪涝风险区划是给出暴雨洪涝灾害风险的分布情况,李军玲等(2010)在分析洪灾形成的各主要因子的基础上,提出了基于地理信息系统(GIS)的洪灾风险评估指标模型,以降雨、地形和区域社会经济易损性为主要指标,得出河南省洪灾风险综合区划图;俞布等(2011)构建一个集致灾因子、孕灾环境、承灾体及防灾能力为一体的区域台风暴雨洪涝灾害风险评价模型,通过 GIS 实现各评价指标的栅格化,并利用模糊综合评价方法,编制以 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$ 栅格为基本评价单元的杭州市台风暴雨洪涝灾害风险区划图;郭广芬等(2009)利用重现期和百分位法给出了湖北省统一指标和分区指标统计的各站渍涝、轻涝、一般洪涝、较重洪涝、严重洪涝的历史发生次数空间分布图;苏布达等(2005)运用 Floodarea 模型进行了荆江分洪区洪水演进动态模拟。欧美等国家从 20 世纪 70 年代开始采用水文、水力学数值模拟方法编制洪水风险图,加拿大、澳大利亚等国编绘的洪水风险图标出了 20 年一遇和 100 年一遇的洪水淹没范围;美国的洪水风险图中指出了 10、50、100 和 500 年一遇的洪水淹没范围(章国材,2010)。本文利用基于 GIS 的暴雨洪涝淹没模型,以流域为界和行政区域为界制作不同重现期下强降水淹没范围,并按灾害风险定义制作风险区划图,目的是为政府决策、实时灾害风险评估、灾害防御规划及其防御工程的建设提供更准确的资料。

1 资料与方法

1.1 资 料

用到的资料包含:1:25 万地理信息数据、漳河流域矢量边界数据、漳河流域逐日水文雨量站数据(1969 年 5 月 1 日至 2011 年 3 月 1 日)、漳河水库历

史逐日水位、历史洪水径流、水库抗洪能力数据、钟祥历史暴雨洪涝灾情数据、常规站、自动站建站以来历史降水数据、行政区矢量边界数据。

1.2 方 法

强降水造成洪涝灾害是因为降水到地面形成径流,汇流的结果,汇流以流域分水岭为边界。由漳河水库抗洪能力等相关数据确定漳河流域致灾临界水位,利用漳河流域 20 个水文雨量站降水数据、漳河水库观音寺水文站相应的日水位资料制作实际雨洪曲线(理论雨洪关系曲线由水库历史洪水径流、抗洪能力相关数据确定),从而得到不同水位下的流域暴雨洪涝灾害临界面雨量。计算流域面雨量重现期、运用基于 GIS 的暴雨洪涝淹没模型计算不同水位下重现期降水的淹没范围和水深;运用灾害风险原理,制作风险区划图。

由于实际工作中,流域水文雨量站观测数据难以获取,本文同时尝试运用湖北钟祥行政边界、气象观测站数据制作风险区划图。

2 结果分析

2.1 漳河流域致灾临界水位

漳河发源于湖北省南漳县境内荆山南麓的三景庄,流经保康、远安、荆门、当阳等县(市),于当阳市两河口与西支沮河汇流,全长 202 km。流域为一长条形,自西北向东南倾斜,平均长约 100 km、宽约 30 km,流域面积 2980 km^2 。漳河水库位于湖北省荆门市境内,漳河水库系拦截漳河及其支流而成,承雨面积 2212 km^2 ,总库容 $20.35\times 10^8\text{ m}^3$ (彭涛等,2010)。

从漳河水库抗洪能力表^①可知,水库设计汛限水位为 122 m(观音寺水文站水位),洪水位 125 m,校核洪水位 127.5 m,通过调查水库周边高程可知,122 m 为水库周边平均海拔高度,如果以水库自然调蓄能力为限(超过该水位,需要人工抽排),汛限水位即是漳河流域临界水位。

^① 赵金河,陈崇德. 2001. 漳河水库调度运用手册. 湖北省漳河工程管理局.

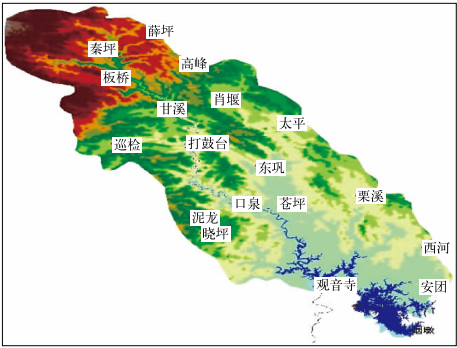


图 1 漳河流域及水文雨量站分布图
Fig. 1 The distribution of hydrological precipitation stations in Zhanghe River Basin

2.2 流域致灾临界面雨量

利用漳河流域 20 个水文雨量站 1969 年 5 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日逐日降水量资料,求取漳河流域逐日面雨量数据。如图 1 所示,水文雨量站点均匀分布:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \tag{1}$$

式中, R 为流域日面雨量(单位:mm), H_i 为水文雨量站点日雨量($i=1,2,\cdots,n$,单位:mm), n 为站点数。

利用观音寺站历史逐日水位和流域面雨量数据,选定汛限水位及前一日对应的水位和雨量,建立汛限水位与面雨量关系曲线(图 2a)。同时用漳河水库水位-库容关系、常年降水径流系数(漳河水库调度运用手册)等相关数据得到漳河水库汛限水位-面雨量理论关系曲线(图 2b),图 2 中的 R^2 为拟合优度判定系数。

$$y = -0.0002x^2 + 0.003x + 121.98 \tag{2}$$

式中, x 为面雨量(单位:mm), y 为水位(单位:m)。

对比图 2a 与 2b,随着水位的增加,图 2a 与 2b 中关系曲线的斜率绝对值均有随水位增加而逐渐变小的趋势,图 2a 在汛限水位处,斜率为零。在水位 119.46 m 以上,理论曲线与实际曲线值较接近。水位 y 到达汛限所需要的面雨量 x 为流域致灾临界雨量,可见,在不同的水位下,流域致灾临界面雨量不同。如果面雨量大于当前水位到达汛限的临界面雨量,流域就可能发生暴雨洪涝灾害。

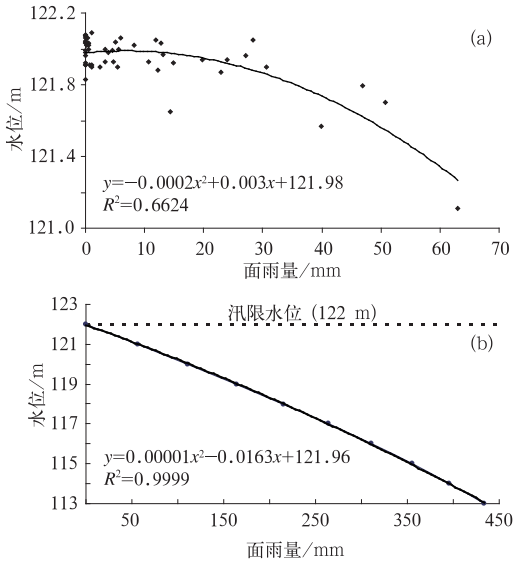


图 2 漳河水库汛限水位-面雨量关系曲线(a)及其理论关系曲线(b)

Fig. 2 The observed (a) and theoretic (b) relation curves between flood control level and areal precipitation in Zhanghe Reservoir

2.3 漳河流域洪涝灾害风险区划

2.3.1 历史洪涝灾害风险

由于面雨量大于致灾临界雨量就可能发生洪涝灾害,运用水位和面雨量资料,挑选过程面雨量(3 日)超过临界面雨量的个例,做气泡图(图 3),图中超过临界雨量的数值为气泡。气泡越大,表示超过临界值的雨量越大,即洪涝灾害发生风险越大。结果如图 3 所示,出现洪涝灾害风险的水位段主要在 120.5~122 m 之间,120.5 m 以下出险的概率很小,而 119.5 m 以下,无出险个例。如连续几天出现风险,取第一天作为风险事件。

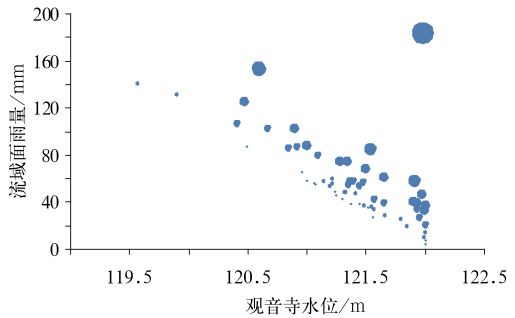


图 3 漳河流域洪涝灾害风险定性评估
Fig. 3 The diagram of qualitative evaluation on flood disaster risk in Zhanghe River Basin

2.3.2 不同重现期面雨量

利用漳河流域面雨量序列资料,运用耿贝尔极值 I 型分布法原理(郭广芬等,2009),求取重现期。

极值 I 型分布函数为:

$$F(x) = P(X_{\max} < x) = e^{-e^{-a(x-u)}} \tag{3}$$

其超过保证率函数,即 Gumbel 概率分布函数是:

$$p(x) = 1 - e^{-e^{-a(x-u)}} \tag{4}$$

重现期为概率的倒数, a 及 u 是极大值分布参数,计算公式为:

$$a = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \tag{5}$$

$$u = \bar{x} - \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \bar{y} \tag{6}$$

其中, $\bar{x}$ 和 σ_x 分别为样本序列的数学期望和均方差, $\bar{y}$ 和 σ_y 可根据不同的样本数通过查表得到。

不同重现期的面雨量可通过下式求得:

$$X_p = u - \frac{1}{a} \ln[-\ln(1 - p)] \tag{7}$$

其中 p 为概率,即重现期的倒数,得表 1。

表 1 漳河流域不同重现期日面雨量
Table 1 The daily areal precipitation at different recurrence interval in Zhanghe River Basin

重现期	100 a	50 a	20 a
面雨量/mm	155.01	140.25	120.57

2.3.3 不同重现期降水淹没风险

暴雨洪涝淹没模型是基于 GIS 栅格数据的水动力学暴雨洪涝演进模型,运用最大坡降算法(terministic eight node,D8)及曼宁公式来计算水流方向及流量(孙艳玲等,2004;郭生练等,2000;贾界峰等,2010)。

由于不同水位下,临界面雨量不同,运用 2.3.1 节的分析,将 120.5~122.0 m 之间水位分成 3 段

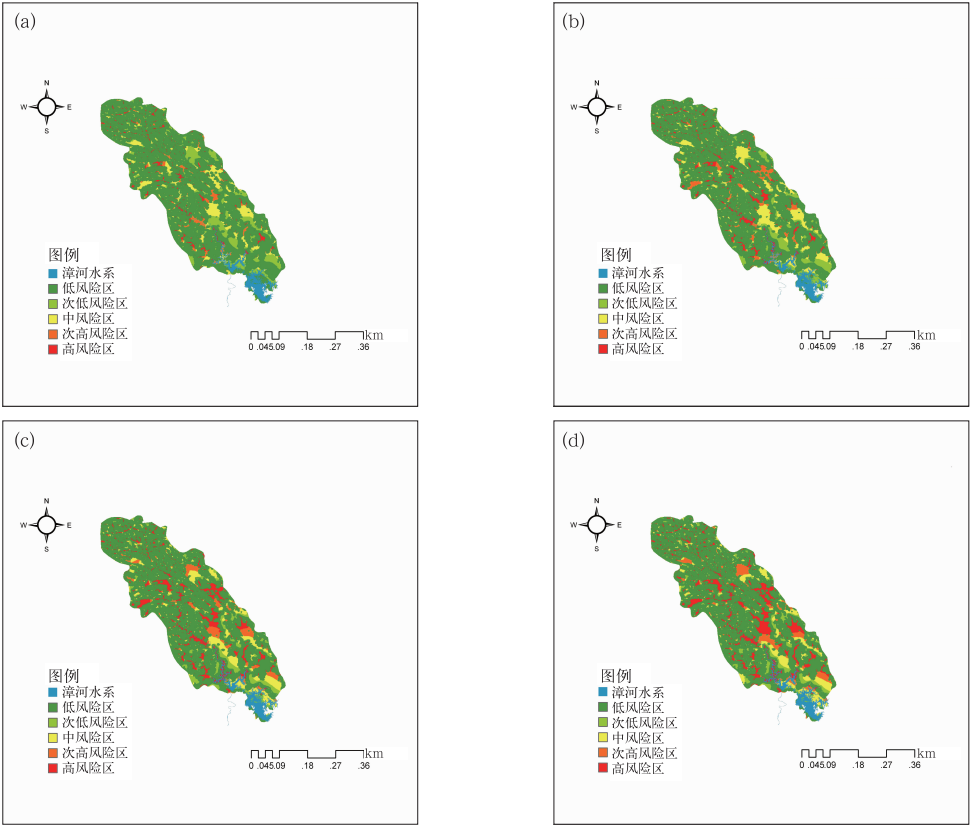


图 4 漳河流域不同重现期降水淹没风险图
(a)20 年一遇暴雨洪涝淹没区(120.75 m),(b)50 年一遇暴雨洪涝淹没区(120.75 m),
(c)20 年一遇暴雨洪涝淹没区(121.75 m),(d)50 年一遇暴雨洪涝淹没区(121.75 m)
Fig.4 The flood inundation risk diagrams at different recurrence interval
in Zhanghe River Basin, the inundation area of flood encountered once in
(a) twenty years (120.75 m), (b) fifty years (120.75 m), (c) twenty years (121.75 m),
and (d) fifty years (121.75 m)

(120.5~121.0 m、121.0~121.5 m、121.5~122.0 m),分别取其中值代表该段水位,按照 20 和 50 年不同重现期的面雨量计算漳河流域淹没范围和淹没水深。

$$R_{淹没} = C_j - X \tag{8}$$

式中, $R_{淹没}$ 为实际用于计算流域淹没面积的面雨量, C_j 为重现期面雨量, j 为重现期, X 为相应水位下的临界面雨量。

计算时间步长为 24 h(降水随时间无变化),同时,将计算得到的水深数据作归一化处理,并按分位数法(Quantile)分成 5 级,得到图 4。

2.3.4 漳河流域暴雨洪涝风险区划图

风险系数:

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \alpha_i \tag{9}$$

式中, K 为风险系数, K_i 为灾害发生的概率, α_i 为灾害发生时受灾率, i 为灾害类别。

按照风险系数的定义, K_i 用面雨量的重现期(概率)表示,分别为 20 年(0.05)、50 年(0.02); α_i 为该致灾面雨量下的淹没(用归一化的水深表示,即水深越大、受灾率越大)。由于主要风险出现在 121~122 m 水位段(图 3),则漳河流域的风险分布如图 5 所示。

从图中看出,中风险至高风险区位于漳河流域中下游地区、河道的周边及单站降水较强的区域。

2.4 钟祥市暴雨洪涝灾害风险区划

由于流域水文雨量站资料难以获取,尝试运用钟祥市行政边界、气象观测站降水资料(自动站降水序列延长^②),制作钟祥市暴雨洪涝灾害风险区划图(运用 10 年一遇降水量),并与 2000—2010 年钟祥市分乡镇暴雨洪涝灾害发生频次图对比(图 6)(致

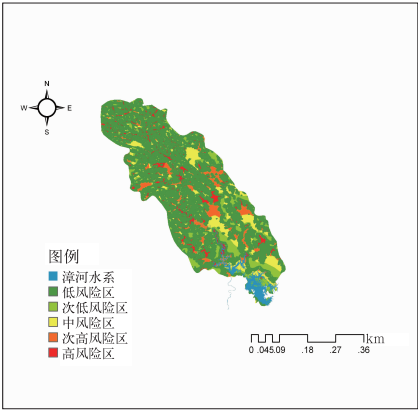


图 5 漳河流域暴雨洪涝风险区划图
Fig. 5 The diagram of rainstorm flood disaster risk regionalization in Zhanghe River Basin

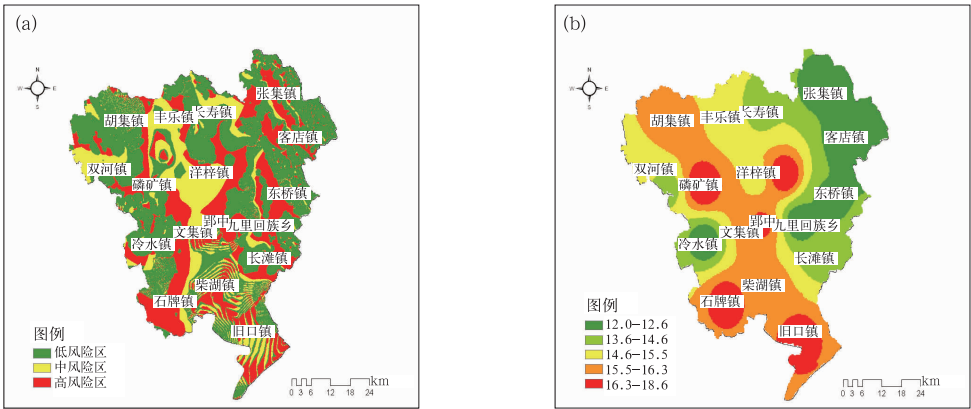


图 6 钟祥市暴雨洪涝灾害风险区划(a)和钟祥市 2000—2010 年暴雨洪涝灾害频次分布(b)
Fig. 6 The diagram of rainstorm flood disaster risk regionalization in Zhongxiang City (a) and its rainstorm flood disaster frequency distribution during 2000 to 2010 (b)

灾临界面雨量利用当地旱涝灾情资料计算),暴雨洪涝灾害频次图采用自然断点法制作。对比图 6a 和 6b,中部、南部及西部高风险区对应较好,但东部对应较差。

3 小结与讨论

(1)暴雨致灾不同于其他气象灾害,暴雨并不一

② 郭广芬等. 2010. 仙桃市暴雨洪涝灾害风险区划研究. 湖北省气象学会 2010 年年会文集

定会直接造成生命伤亡和人类社会财产损失,造成的灾害是通过形成径流淹没而形成,基于暴雨洪涝淹没模型的暴雨洪涝区划方法直观反映了降水径流的形成过程,能够表达暴雨洪涝灾害的形成,也反映了流域及研究区域内的暴雨洪涝灾害风险。

(2)如果能够得到包含行政区域的流域边界及站点降水量数据,在先计算流域范围暴雨洪涝风险的前提下,再提取行政边界范围的暴雨洪涝风险,比直接运用行政边界计算更科学合理。

(3)如果有承灾体信息,利用承灾体耐淹水深和耐淹历时数据,就可以直接得到灾害损失的风险。

参考文献

郭广芬,周月华,史瑞琴,等. 2009. 湖北省暴雨洪涝致灾指标研究. 暴雨灾害, 28(4): 357-361.

郭生练,熊立华,杨井,等. 2000. 基于 DEM 的分布式流域水文物理模型. 武汉水利电力大学学报, 33(6): 1-5.

贾界峰,赵井卫,陈客贤. 2010. 曼宁公式及其误差分析. 山西建筑, 36(7): 313-314.

李军玲,刘忠阳,邹春辉. 2010. 基于 GIS 的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究. 气象, 36(2): 87-92.

彭涛,李俊,殷志远,等. 2010. 基于集合降水预报产品的汛期洪水预报试验. 暴雨灾害, 29(3): 274-278.

苏布达,姜彤,郭业友,等. 2005. 基于 GIS 栅格数据的洪水风险动态模拟模型及其应用. 河海大学学报(自然科学版), 33(4): 370-374.

孙艳玲,刘洪斌,谢德体,等. 2004. 基于 DEM 流域河网水系的提取研究. 资源调查与环境, 25(1): 18-22.

俞布,缪启龙,潘文卓,等. 2011. 杭州市台风暴雨洪涝灾害风险区划与评价. 气象, 37(11): 1415-1422.

章国材. 2010. 气象灾害风险评估与区划方法. 北京: 气象出版社, 120-160.



《现代气象业务丛书 综合气象观测(上下册)》

王 强 主编

气象观测业务是现代气象业务体系的基础和重要组成部分。本书概括介绍了由天基、地基和空基观测系统构成的现代气象观测业务体系的历史、现状和发展趋势,气象观测的基础理论和应用技术方法。重点讲述了地面和高空气象观测的原理、技术方法和业务要求,地基气象遥感探测技术的基础知识和业务应用。有针对性地介绍了大气边界层和城市气象观测、农业和生态气象观测、海洋气象观测、大气成分观测、公路交通气象观测等专业气象服务观测系统,以及气象观测资料处理和质量管理、气象计量、综合气象观测保障体系、气象观测业务组织管理等。本书内容密切联系业务实际,使读者可以对气象观测业务有比较全面的了解,以满足从事气象观测业务、管理和培训等人员的需要,也可作为相关专业院校教学的参考教材。

16 开 定价: 220.00 元

《风与大气环境科学进展(二)》

孙 健 主编

本书收录了由中国空气动力学会风工程和工业空气动力学专业委员会主办的 2012 年全国环境风工程学术会议的会议论文,内容包括风工程、风环境的风洞实验与数值模拟研究、大气湍流与扩散以及风能资源评估和开发利用等,全面反映了中国在环境风工程领域的最新研究进展。本书可供相关专业的高等院校师生和科研机构及相关企事业单位

的技术人员参考。

16 开 定价: 100.00 元

《中华气象谚语精解》

严光华 等编著

本书阐述了霞、晕、华、虹、雾、露、霜、云、雷、雨、闪电、冰雹、风等天气现象的形成原因、结构分类及发展演变的过程，并且对与这些天气现象有关的近 300 条经典气象谚语进行了解读，语言通俗，图文并茂，有助于读者深入了解气象谚语的科学内涵。本书可供气象、水文、海洋、地震、林业工作者以及农民、渔民、气象知识爱好者参考。

16 开 定价: 25.00 元

《基于闪电定位系统的雷电活动规律分析及其应用研究》

李家启 著

本书详细阐述了雷电流参数观测、雷电流活动规律及雷电灾害风险评估中外研究进展,采用重庆地区闪电定位系统监测资料、人工观测雷暴资料以及雷电灾害资料,建立了雷电流幅值及其陡度的概率模式,分析了地闪频次与雷电日特征及其相互关系,研究了雷电参数随海拔高度、地理经纬度变化规律,提出了基于闪电定位资料的雷电参数和模式在风险评估中有效应用方法,建立了雷电灾害风险分类评估的模式。该书可供电力、建筑、应急、气象、地理和防灾减灾管理与技术人员参考。

16 开 定价: 40.00 元