

一种基于过程的台风气象服务综合评价方法

王丽娟^{1,2} 吕明辉¹ 庞小琪³

(1 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081; 2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100080;

3 江苏省气象局, 南京 210008)

摘要: 台风是自然灾害中影响范围相对集中的天气系统, 其造成的直接经济损失大, 因此, 台风气象服务评估具有较好的代表性。以台风为例, 提出了一种重大灾害性天气过程气象服务评估的方法, 包含评价指标体系、各指标评分标准和气象服务综合评价标准, 以期能够对其他类型的灾害性天气过程气象服务分析评价提供有益启示。

关键词: 台风, 气象服务, 综合评价

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.01.020

A Composite Evaluation Method of Typhoon Weather Service

Wang Lijuan^{1,2} Lü Minghui¹ Pang Xiaoqi³

(1 China Meteorological Administration Public Weather Service Centre, Beijing 100081

2 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

3 Jiangsu Meteorological Bureau, Nanjing 210008)

Abstract: Typhoon is a typical meteorological disaster which may cause heavy property loss and casualties, so the evaluation on the typhoon weather service is very important. This paper established a composite evaluation method on typhoon weather service based on its practice procedure, which is composed of the evaluation indices, scoring criteria and the standard for grade classification. This method is expected to be helpful for other types of weather service evaluation.

Keyword: typhoon, weather service, composite evaluation method

0 引言

随着全球气候变化, 我国极端天气气候事件频发, 气象服务面临的挑战和难度越来越大, 公共气象服务中暴露出了诸如大城市暴雨洪涝灾害防御、小流域山洪突发防御等新问题。政府部门、社会各界、生产行业以及普通公众对于气象部门防灾减灾能力的期望越来越高。因此, 做好重大灾害性天气的预报服务显然是气象部门的重点, 而科学定量地评估重大气象灾害服务效益, 是重要而有现实意义的工作。气象服务效益评价是一个难度较大的课题。目前, 气象服务评价的研究大多集中在对公众气象服务效益评估和行业气象服务效益评估^[1]两个方面来进行, 而针对典型灾害性天气气象服务评价的研究较少。面对灾害性

天气气象服务中出现的新问题, 如何客观、科学、系统地评价重大灾害性天气气象服务的效果, 是一个迫切需要解决的问题, 也是提升气象防灾减灾能力的重要环节之一。台风是自然灾害中影响范围相对集中的天气系统, 其造成的直接经济损失大, 可见台风灾害的气象服务评估具有较好的代表性^[2]。我国已有研究主要集中在台风灾害风险区划^[3]、台风灾害风险评估^[4-8]、台风灾害经济损失评估^[9-10]等方面。虽然周福、张颖超、林继生等^[11-16]针对台风气象服务效益评估进行了探索性的研究, 但是, 针对台风气象服务全业务链的综合评估还较少。

台风气象服务的效益评价是气象服务链的一个重要环节, 它将通过调查研究和全面的系统回顾, 找出实际服务效果与预期效果的差异, 分析原因, 得到启示, 提出对策建议, 通过信息反馈、改善服务管理和决策, 达到提高台风气象服务社会效益和经济效益的目的。本文以台风灾害性天气过程为例, 收集、整理2009—2012年20个不同级别的台风过程, 涉及50个台

收稿日期: 2016年8月31日; 修回日期: 2016年12月13日
第一作者: 王丽娟(1982—), Email: wanglj_001@163.com
资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106037);
国家软科学项目(2011GXQ4B026)

风气象服务个例，从分析提炼气象服务的流程和特点入手，采用气象服务分析、调研、专家咨询等方式开展天气过程气象服务的特点分析，进一步明确台风气象服务的业务环节和服务点，设计了台风天气过程气象服务的分析评价指标体系，为解决新形势下气象服务和气象灾害防御中出现的新问题提供依据。本文设计的台风气象服务评价方法包含3部分，分别为台风气象服务评价指标、台风气象服务各指标评分依据、台风气象服务综合评价标准。

1 台风气象服务评价的特殊性及对策

台风气象服务效果评价是针对某次台风过程的单一样本来进行^[17]，它与公众气象服务效益评价和行业气象服务效益评价的最大区别在于后两者的服务效益必须基于大量的样本来进行。基于重大灾害性天气气象服务效果评估的特殊性，本文将一次台风过程气象服务作为评价对象。评估中关注的是对该次台风过程的预警是否准确、决策服务、公众服务、行业服务是否到位、社会反馈如何等。

台风气象服务属于多属性评价对象，涉及预报预警、信息传播与反馈、政府及行业联动、以及社会评价等多个环节，因此需要采用综合评价方法。综合评价是指对多属性体系结构描述的对象系统做出全局性、整体性的评价^[18]，即对评价对象的全体，根据所给的条件，采用一定的方法给每个评价对象赋予一个评价价值，再据此进行择优排序。台风气象服务属于一种后评价，是完全建立在实际数据的基础上，如何选择合适的评价体系和指标，正确处理和实际应用数据是成功实施后评价的核心^[19]。为了解决台风评价的复杂性问题，本文以顾基发教授提出的物理—事理—人理系统方法论^[20]为指导进行了探索尝试。重点考虑物理和事理阶段。在物理阶段，理解评价对象——台风气象服务的最基本的属性和特征，按照特定的评价目标建立最能表征评价对象属性的评价指标体系，尽可能详尽、全面地收集有关的信息和原始数据，从而确定指标值，同时还需要根据服务特点有侧重的分解为二级或者多级评价目标，从而进行定性或者定量的分析，这是整个评价过程的基础。在事理阶段，结合可操作性科学性，根据台风气象服务的业务流程和特点选择合适的评价方法，确定指标体系和指标的权值，并按其所提供的过程和准则进行评价。台风气象服务评价本身并未涉及被评价对象和执行评价群体之间的利益交叠，因此本文暂不考虑“人理”的作用。利用物理来保持自然科学的基本准则，利用事理来尽可能科学地管理所有的事情。

2 构建台风气象服务评价指标

本文从整个台风过程的服务链出发，立足台风气象服务的业务流程和服务特点，在前期大量案例分析和文献研究的基础上设计了测评指标体系。为了使条目众多、影响不一、标准不同的定性指标在参与评价后能最终给出清晰、直观的定量结果，依照从定性到定量的综合集成方法^[21]，在大量台风气象服务个例分析的基础上，组织专家进行调查研究和系统分析，简化精练台风气象服务评价指标集，最终形成了包含5个一级指标和10个二级指标的台风气象服务评价二级评价指标体系，具体见表1。从预报预警准确性与及时性、气象信息发布渠道多样性与覆盖率以及防御建议针对性、决策服务及部门反馈措施评估、行业气象服务及反馈效果评估以及社会反馈5个方面对台风气象服务效果进行综合评估。

1) 台风预报预警指标。气象部门发布的各种台风预警信息和预警信号，在政府决策、公众生活、各行各业生产经营、国防建设、社会重大活动以及突发事件应急响应中发挥了重要的气象保障作用。可以说，准确、及时的台风预报预警是进一步开展台风气象服务的前提和保障。因此，我们将台风预报预警的准确性和预警发布的及时性作为台风气象服务的首要评价指标，该指标占到服务总评分的30%。

2) 公众气象服务。台风预报预警发出后，气象部门通过自建渠道以及与其他部门合作，借助电视、电台、报纸、电话、网络、手机短信、电子显示屏、气象信息员以及新媒体等多种信息传播手段发布各种台风预警信息、预警信号以及防台风建议，提醒公众提前防御，尽可能减少台风造成的影响。因此，预报预警发布渠道的多样性和预警覆盖率作为衡量公众气象服务情况的二级评价指标。广大公众是台风的主要受影响人，因此该指标占总评分的25%。

3) 决策气象服务。台风来临时，各级气象部门要第一时间向党中央、国务院、各级政府及相关部门提供科学准确的气象信息服务^[21]，这有助于政府部门部署防台减灾策略提供科学依据，保障人民生命财产安全，减少经济损失。因此，本研究将是否及时提供决策服务材料和政府是否有反馈作为衡量指标，占服务总评分的25%。

4) 行业气象服务。是指气象部门为国民经济各行各业提供的针对台风风雨影响气象服务信息^[22]，为行业部署防台减灾提供科学依据，这有助于受影响行业采取的防台措施则保障生命财产安全和减少损失。因此，本研究将是否及时提供行业气象服务和行

表1 台风气象服务各级评价指标
Table 1 Evaluation indices of the typhoon weather service

序号	一级指标	二级指标	指标说明	
1	台风预报预警指标	预报准确性	过程预报准确率 站点预报准确率	
		预警发布及时性	预报预警发布时间提前量	
2	公众气象服务指标	预报预警发布渠道多样性及预警覆盖率	电视	影响期间电视台播放次数和时长 是否与本地电视台直播
			广播	影响期间, 电台播放预警信息的次数 (如需要) 是否通过海洋气象广播播发预警信息
			手机	预警信息发送量与覆盖率 是否实现全网发布
			网络	省级气象服务网站的日浏览量
			电话	影响期间121、400电话的拨打量
			电子显示屏	发布预警信息的电子显示屏数量
			气象信息员	面向信息员的预警发布数量
			新媒体	微博、微信的预警发布情况
3	决策气象服务指标	台风防御建议的发布	台风防御建议是否根据本次台风特点和影响进行细化	
		决策服务材料提供的及时性	是否提前发布决策服务材料	
4	行业气象服务指标	行业的响应、反馈及措施	地方党委、政府领导是否在决策服务材料上批示 地方党委、政府是否组织群众转移	
		行业气象服务的及时性	是否及时提供行业气象服务	
5	社会反馈指标	行业的响应、反馈及措施	相关行业是否及时采取应急联动措施	
		公众反馈	台风气象服务满意度	
		媒体反馈	是否有负面的媒体评价	

业是否有反馈作为衡量台风气象服务的指标, 行业气象服务占服务总评分的25%。

5) 社会反馈。本文主要是指社会成员对台风气象服务所持有的意见和态度的综合反应, 采用台风气象服务满意度和是否有负面舆情进行衡量。该指标占服务总评分的15%。

3 确定评价指标评分标准及权重

在确定评价指标的基础上, 进一步将50个台风气象服务的基础数据进行分类整理, 通过面向不同台风的定性归类分析和面向同一台风的比较分析, 结合台风气象预报服务与管理实践, 得出每一个二级指标的评价标准和等级(表2)。采用专家评估法, 对一级指标权重和二级指标权重进行分析评估, 专家通过对各个指标的相对重要性进行阐述和分析, 最终确定了各指标的权重, 最后得出台风气象服务的五个维度中, 预报预警、公众气象服务、决策气象服务、行业气象服务和社会反馈的权重分别为0.3、0.25、0.15、0.15、0.15。设定一次台风过程的气象服务满分为100分, 台风预报预警满分为30分, 其中预报准确性15分, 预警发布及时性15分; 公众气象服务满分为25分, 其中发布手段的多样性15分, 台风防御建议10分; 决策气象服务满分为15分, 其中决策材料提供的

及时性10分, 政府的反馈5分; 行业气象服务满分为15分, 其中, 提供行业气象服务的及时性为10分, 行业反馈为5分; 社会反馈满分为15分, 其中公众反馈满分10分, 媒体反馈5分。

在实际评估中, 设该次台风过程气象服务的综合评分 P , 预报准确性、及时性等每一个二级指标的评分为 P_i , 则台风气象服务总评分则是将每个二级指标的得分 P_i 求和, 计算方法如公式(1)所示,

$$P = \sum_{i=1}^m P_i, \quad (1)$$

其中, i 表示第 i 个二级评价指标, m 表示二级指标的总个数, 本文 $m=10$ 。

根据总得分, 将台风气象服务效果划分为服务效果明显、效果较好、效果一般3类, 得分低于60分, 记为服务效果一般; 得分在60~79分, 记为效果较好; 得分在80~100分, 记为效果明显(表3)。

4 台风个例试用

2012年第11号台风“海葵”是2012年以来登陆我国大陆最强的台风^[23], 于8月8日3时20分前后在浙江省象山县鹤浦镇沿海登陆, 登陆时强度为强台风。“海葵”对我国的风雨影响长达8d, 浙江、江苏、安徽等省市部分地区的日降水量、风力、持续时间突破

表2 台风气象服务各指标评分依据
Table 2 Scoring criteria of the typhoon weather service

序号	一级指标	二级指标	评分标准
1	台风预报预警 (30分)	预报准确性 (15分)	① 过程落区和强度预报与实况吻合80%，且站点预报评分80分以上，得15~11分； ② 其中1项在60%~80% (分)，另一项为80% (分) 得10~6分； ③ 两项均在60%~80% (分)，得5~1分； 否则，得0分。
		预警发布及时性 (15分)	与实况相比， ① 预警提前超过24h发布，得15~11分； ② 预警提前12~24h发布，得10~6分； ③ 预警提前6~12h发布，得5~1分； 否则，得0分。
2	公众气象服务 (25分)	预报预警发布渠道多样性及预警覆盖率 (15分)	分析过程持续过程中电视、手机、网络、广播、显示屏、气象信息员等手段的信息发送量，并通过曲线与天气实况对比， ① 峰值吻合很好，得15~12分； ② 峰值吻合较好，得11~8分； ③ 峰值吻合一般，得8~5分； ④ 峰值吻合不好，得4~0分。
		台风防御建议的发布 (10分)	根据提供防御建议的针对性、预见性和详细程度给10~0分。
3	决策气象服务 (15分)	决策服务材料提供的及时性 (10分)	① 提前提供有效决策服务材料，得10~6分； ② 未提前提供但过程持续期间提供决策服务材料，得5~1分； ③ 未提供决策材料，得0分。
		政府的响应、反馈及措施 (5分)	根据决策部门的批示和群众转移情况给5~0分
4	行业气象服务 (15分)	行业气象服务提供的及时性 (10分)	① 提前提供有效行业气象服务，得10~6分； ② 未提前提供但过程持续期间提供行业服务材料，得5~1分； ③ 未提供决策材料，得0分。
		行业的响应、反馈及措施 (5分)	根据相关行业及时采取措施和损失减少程度，给5~0分。
5	社会反馈 (15分)	公众反馈 (10分)	① 公众满意率在80%以上，得10~8分； ② 公众满意率在60%~80%，得7~5分； ③ 公众满意率在40%~60%，得4~1分； ④ 公众满意度在40%以下，得0分。
		媒体反馈 (5分)	媒体报道内容以正面为主，得5~1分； 媒体报道内容以负面为主，得0分。

历史极值，造成1019万人受灾，紧急转移安置217.3万人，直接经济损失约300多亿元。

本文以江苏省气象局“海葵”台风气象服务为例进行了分析评价(表4)，个例中涉及台风预报预警、公众气象服务、决策气象服务和行业气象服务的基础数据来源于江苏省气象局及其服务的相关行业部门。社会反馈数据通过社会调查和舆情分析获得^[23]。通过分析得出，此次台风气象服务的落区和强度预报80%与实况吻合，24h的TS评分大于80%，因此预报准确性得15分。同时，台风预警提前24h准确发布，因此，预警发布及时性为15分，台风预报预警总计为满分30分。预警发布后，气象部门采用多种渠道向公众发布，并在受影响较大的南京、无锡等6市手机短信全网发布，同时网络浏览量与短信发送数峰值均出现在8月8日台风登陆当日，无论从发布手段的多样

性，还是预警的覆盖率方面均达到了优秀，该项得满分15分；但是台风防御建议缺乏针对性，公众气象服务总计20分。在决策气象服务方面，台风登陆提前2~3d，气象部门多次发送《重要天气报告》《台风快讯》《决策气象服务专报》，得到多次省级批示，政府及时响应，转移14.6万人，收到了很好的决策服务效果，该项得14分。同时，气象部门为受影响的国民经济部门以及相关企业提供行业气象服务，相关单位积极响应，及时应急联动，降低灾害造成的损失，因此，行业气象服务得14分。媒体对此次台风气象服务进行了正面宣传报道，得4分，由于未获得该案例的公众满意度数据，因此取中间分5分，社会反馈总计为9分。总体而言，江苏省“海葵”台风预报准确、预警发布及时，虽然“海葵”台风本身影响巨大，对江苏省造成的灾害属特大型级别，但气象部门公众服务、决策服务、行业服务到位，媒体评价以正面为主，综合评分为87分，属于台风气象服务的第一类，即服务效果明显。

表3 台风气象服务分类标准

Table 3 Standards of grade classification in typhoon weather service

类别	综合评分范围	服务效果
1	80~100分	效果明显
2	60~79分	效果较好
3	低于60分	效果一般

5 结语

本文以台风为例，提出了一种基于过程的台风气象服务的综合评价方法，并在2012年江苏省“海

表4 江苏省“海葵”台风气象服务分析评价登记表
Table 4 Scores of the weather services on Typhoon Haikui in Jiangsu Province

序号	一级指标	二级指标	评分情况	得分
1	台风预报预警指标	预报准确性	落区和强度预报与实况相比，吻合程度为95%~97%；，而且24h的TS评分为90%。两项均高于80%，得15分。	30分
		预警发布及时性	预警发布时间与台风影响相比，提前量超过24h，得15分。	
2	公众气象服务指标	预报预警发布渠道多样性及预警覆盖率	采用多种形式发布台风预警。网络浏览量、短信发送数峰值吻合很好(图1、图2)。南京、无锡、镇江、南通、扬州、苏州短信全网发布。台风信息发送多样性和广泛性，得15分。	20分
		台风防御建议的发布	针对公众、政府、行业提供了较为常用的台风防御建议，得5分。	
3	决策气象服务指标	决策服务材料提供的及时性	2012年8月6日发布《重要天气报告》，后续滚动发布《台风最新动向》《台风快讯》《决策气象服务专报》等，得9分。	14分
		政府的响应、反馈及措施	2012年8月6日，省长批示：台风服务受到省委肯定。省级批示3次，一线工作指导2次，明传电报2次，南京、无锡、常州、镇江、南通、盐城、连云港、苏州共转移146030人，政府响应及时，因灾死亡4人，得5分。	
4	行业气象服务	行业气象服务提供的及时性	台风影响前2~3d开始提供专业服务，并及时回访，得9分。	14分
		行业的响应、反馈及措施	相关行业采取加强值班、停工停产、加固核设施、排涝等措施，减低灾害造成的损失，得5分。	
5	社会反馈	公众反馈	未提供公众满意度数据，取平均分5分。	9分
		媒体反馈	媒体未出现负面评价，并正面宣传报道，得4分。	
综合评分			87分	
服务效果			属于第一类，服务效果明显	

“海葵”台风气象服务中进行个例试用。本文设计的台风气象服务评价采用百分制，将台风气象服务划分为服务效果明显（80~100分），服务效果较好（60~79分），服务效果一般（低于60分）三个等次。该评价指标体系为包含台风预报预警、公众气象服务、决策气象服务、行业气象服务和社会反馈5个一级指标和预报准确性、发布及时性、发布手段多样性、防御建议针对性、决策服务及时性及政府反馈、行业服务及时性及行业反馈、公众及媒体反馈10个二级指标。此外针对二级指标又划分了21个可以量化的观测指标。因此，本文构建的台风气象服务分析评价方法基本涵盖了从台风预报预警到台风应急服务的各个环节，可操作性强，适用于区域性的台风气象服务过程的评价，为气象服务质量的改进提供借鉴依据，为气象防灾减灾效果的宣传提供科学数据，因而颇具现实意义。例如在江苏省台风“海葵”服务案例中可以看出，准确及时的台风预报预警是服务成果的前提，政府的积极组织是防台成功的关键。同时该台风气象服务评价指标体系及方法也容易应用于其他类型的灾害性天气过程气象服务分析评价中。可以说，本文仅是重大灾害性天气过程综合气象服务分析评价的一个示例，对暴雨、强对流等灾害性天气过程气象服务分析评价提供了有益启示。

此外，本文建立的台风气象服务评价指标以现行的台风气象服务链为依据，给出的观测变量的评分标准是依据大量服务案例提炼总结和专家评价而来，存在一定的主观性，同时考虑到评价数据的易获得性和

方法的可操作性，本文并未纳入台风气象服务经济效益这一更为客观的指标，今后需要根据其他学科方法的发展，及时补充和修订评价指标体系和评分标准，以期能够更为准确和客观地反映我国气象部门台风气

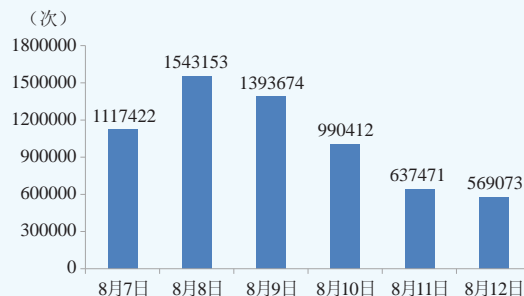


图1 2012年“海葵”台风影响江苏期间，中国天气网江苏站逐日浏览量
Fig. 1 The page views on the China weather web Jiangsu Station during the Typhoon Haikui effects in Jiangsu Province

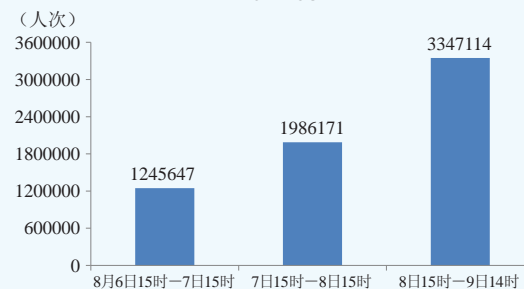


图2 2012年“海葵”台风影响江苏期间，江苏省手机短信日发送量
Fig. 2 The mobile phone text messages sent number in Jiangsu during the Typhoon Haikui effects in Jiangsu Province

象服务的社会经济效益。

致谢：在历史台风个例收集中，感谢上海、福建、浙江、江苏、江西、安徽、海南、广西、广东、山东、河北、辽宁、吉林共13个省（自治区、直辖市）的大力支持，他们为本研究提供了相关台风个例的气象服务背景材料及基础数据。在此致以诚挚谢意。

参考文献

- [1] 姚秀萍, 吕明辉, 范晓青, 等. 我国气象服务效益评估业务的现状与展望. 气象, 2010, 36(7): 62-68.
- [2] 李佳英, 薛建军, 王维国, 等. 2013年台风决策气象服务浅析. 防灾科技学院学报, 2014, 16(1): 62-68.
- [3] 陈香. 福建省台风灾害风险评估与区划. 生态学杂志, 2007, 26(6): 961-966.
- [4] 陈文方, 徐伟, 史培军. 长三角地区台风灾害风险评估. 自然灾害学报, 2011(4): 77-83.
- [5] 彭琳玲. 气象服务效益与热带气旋灾害评估方法的研究. 南京: 南京大学, 2012.
- [6] 陈香, 沈金瑞, 陈静. 灾损度指数法在灾害经济损失评估中的应用——以福建台风灾害经济损失趋势分析为例. 灾害学, 2007, 22(2): 31-35.
- [7] 郑卫江. 气象要素可视化与台风灾害评估关键技术研究. 北京: 首都师范大学, 2007.
- [8] 方玉. 福建省台风灾害危险性评估和气象指数保险. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [9] 刘程波. 热带气旋灾损预测技术研究及其决策支持系统的开发. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [10] 樊琦, 梁必骥. 热带气旋灾害经济损失的模糊数学评测. 气象科学, 2000, 21(3): 360-366.
- [11] 吴先华, 徐中兵, 袁迎蕾, 等. 台风灾害的关联经济损失评估——以江苏省为例. 灾害学, 2014, 29(2): 77-83.
- [12] 周福. 重大气象灾害（台风、暴雨）服务效益评估研究. 科技通报, 1998(1): 39-43.
- [13] 张美娟. 台风气象服务效益评估方法研究与系统开发. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [14] 张颖超, 张美娟. 基于逆推算法的浙江省台风气象服务效益评估. 信息技术, 2011(10): 30-34.
- [15] 林继生, 罗金玲, 张勇. 热带气旋灾害预报服务效益评估方法之一——对比分析法. 气象科技, 1998(2): 61-64.
- [16] 杨林, 曹春荣, 林秋, 等. 台风“苏力”灾害风险与防御行为效益评估. 气象与环境学报, 2015(1): 106-111.
- [17] 吴林荣, 罗慧, 鲁渊平, 等. 重大气象灾害服务效益评估系统设计与业务应用. 气象科技, 2010, 38(3): 394-398.
- [18] 陈衍泰, 陈国宏, 李美娟. 综合评价方法分类及研究进展. 管理科学学报, 2004, 7(2): 69-79.
- [19] 韦钢, 杨毅, 王建, 等. 基于综合评价方法的输变电工程技术后评价. 电网技术, 2010(3): 112-116.
- [20] 顾基发. 物理—事理—人理（WSR）系统方法论. 交通运输系统工程与信息, 1995(3): 25-28.
- [21] 张永恒, 薛建军, 温显罡, 等. 关于台风决策气象服务技术的总结与探究. 防灾科技学院学报, 2013, 15(4): 68-74.
- [22] 许小峰. 现代气象服务. 北京: 气象出版社, 2010: 12-13.
- [23] 毛恒青, 姚秀萍, 吕明辉. 全国气象服务典型案例集（2011—2012）. 北京: 气象出版社, 2015: 103-110.

（上接133页）

- [11] 林良勋, 冯业荣, 黄忠, 等. 广东省天气预报技术手册. 北京: 气象出版社, 2006.
- [12] Bureau of Meteorology. Tropical cyclone intensity and impacts. [2016-03-15]. <http://www.bom.gov.au/cyclone/about/intensity.shtml>.
- [13] Tsai K. Terminal Operations in High Wind Conditions. ICHCA International Safety Panel Research Series, 2009.
- [14] Bos W V D. Wind Influence on Container Handling, Equipment and Stacking (Edition 29). Port Technology International. [2016-03-12]. https://www.porttechnology.org/images/uploads/technical_papers/PT29-19.pdf
- [15] Powell M D, Reinhold T A. Tropical cyclone destructive potential by integrated kinetic energy. Bull Amer Meteor Soc, 2007, 88(4): 513-526.
- [16] Irish J L, Resio D T, Ratcliff J J. The influence of storm size on hurricane surge. J Phys Oceanogr, 2008, 38(9): 2003-2013.
- [17] Knaff J A, Longmore S P, Molenaar D A. An objective satellite-based tropical cyclone size climatology. J Climate, 2014, 27(1): 455-476.
- [18] Wu L G, Tian W, Liu Q Y, et al. Implications of the observed relationship between tropical cyclone size and intensity over the Western North Pacific. J Climate, 2015, 28: 9501-9506.
- [19] Frank W M. The structure and energetics of the tropical cyclone. I. Storm structure. Mon Wea Rev, 1977, 105: 1119-1135.
- [20] Zhang Q H, Wei Q, Chen L S. Impact of landfalling tropical cyclones in mainland China. Science China (Earth Science), 2010, doi: 10.1007/s11430-010-4034-8.
- [21] Chen L S. Research progress on the structure and intensity change for the landfalling tropical cyclones. J Trop Meteor, 2012, 18(2): 113-118.
- [22] 陈联寿, 孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展. 大气科学, 2001, 25(3): 420-432.
- [23] Chen Y, Yau M K. Asymmetric structures in a simulated landfalling hurricane. J Atmos Sci, 2003, 60(18): 2294-2312.
- [24] Kimball S K. Structure and evolution of rainfall in numerically simulated landfalling hurricanes. Mon Wea Rev, 2008, 136(10): 3822-3847.
- [25] Meeus J. Astronomical Algorithms. Willmann-Bell Inc, 1999.