

狄靖月,徐辉,许凤雯,等,2019. 基于逆推法和德尔菲法的地质灾害气象服务效益评估[J]. 气象,45(5):705-712. Di J Y, Xu H, Xu F W, et al, 2019. Benefit assessment of geological hazard meteorological services based on inverse algorithm and evaluation method of Delphi[J]. Meteor Mon, 45(5):705-712(in Chinese).

基于逆推法和德尔菲法的地质灾害气象 服务效益评估 *

狄靖月¹ 徐 辉¹ 许凤雯¹ 杨 寅¹ 包红军¹ 张国平²

¹ 国家气象中心,北京 100081

² 中国气象局公共气象服务中心,北京 100081

提 要: 地质灾害气象服务发挥越来越重要的作用,既有可量化的经济效益,也有不可忽视难以量化的、潜在的社会效益和生态效益。根据历年地质灾害调查与分析数据,运用逆推法结合德尔菲法,建立地质灾害气象服务效益评估模型,并根据已有研究及防汛经验对模型的系数进行量化。模型以地质灾害气象预报评分和灾害直接经济损失为输入,以防灾减灾效益值、防灾减灾效益百分率、气象服务直接经济效益、气象服务直接经济效益百分率为输出,可同时对各区域、各时间段的地质灾害过程进行气象服务效益分段评估,也可评估年度地质灾害气象服务效益。该模型在 2017 年地质灾害气象效益评估中表现良好,有一定指导意义。

关键词: 地质灾害,气象服务,经济效益,效益评估

中图分类号: P429

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.05.012

Benefit Assessment of Geological Hazard Meteorological Services Based on Inverse Algorithm and Evaluation Method of Delphi

DI Jingyue¹ XU Hui¹ XU Fengwen¹ YANG Yin¹ BAO Hongjun¹ ZHANG Guoping²

¹ National Meteorological Centre, Beijing 100081

² CMA Public Meteorological Service Centre, Beijing 100081

Abstract: Serious harm was caused by geological disasters induced by precipitation, and people's lives and property were threatened. The assessing of meteorological services and disaster mitigation effect in geological disaster is needed. Based on the disaster and direct economic losses and the weather forecast data from 2009 to 2016, the relationship between the disaster losses and meteorological service benefits is analyzed in the paper. By the inverse algorithm and the Delphi method, the assessing model is established in this paper. The parameterization entering into the model is successful. The input variables are accuracy as geological disaster weather forecast and the direct economic losses, the output are disaster prevention and mitigation benefit value and meteorological service direct economic benefits. The model was adopted to describe the capacity of disaster prevention and mitigation and meteorological service's level and performed well in geological hazard meteorological benefit assessment in 2017.

Key words: geological hazards, meteorological service, economic benefit, benefit evaluation

* 国家重点研发计划(2016YFC0402702、2017YFC1502501)、国家自然科学基金项目(51509043、41775111 和 41871020)共同资助

2018 年 6 月 12 日收稿; 2019 年 2 月 28 日收修定稿

第一作者:狄靖月,主要从事应用气象预报服务工作。Email:dijy@cma.gov.cn

引言

地质灾害一般是指在自然或者人为因素的作用下形成的,对人类生命财产、环境造成破坏和损失的地质现象。其中最主要是对自然界生物之间、生物与环境之间存在状态产生影响,即表现为生态损失(宋志和赵虹燕,2014)。如水土流失、崩塌、滑坡以及形成的泥石流、堰塞湖等对植被、森林、草地、农田等面积破坏、植被覆盖和坡度影响、人为活动影响及经济损失,同时对下游的生命财产安全造成极大的威胁(张秋劲等,2009)。面对我国日益严峻的生态和环境问题以及人们日益期待的生态急需改善的局面,国家亟待气象部门建立气象灾害对生态安全的预警评估、气象条件贡献率评估等服务。但针对上述需求,气象部门缺少业务技术和业务系统支撑。为此,2018年气象部门紧紧围绕国家生态文明建设需求,开发气象服务技术,以期尽快提升气象部门为国家生态文明建设的整体服务能力。

地质灾害气象服务既有可量化的经济效益,也有不可忽视难以量化的、潜在的社会效益和生态效益(李忠洪和肖盛燮,2011)。目前主要是以货币形式反映地质灾害的价值损失,表现为民用建筑损失、个人与公共财产损失、生命线工程破坏损失、应急性临时救灾资金、土地收益直接损失,对于人员伤亡暂不考虑列入经济损失(张梁和张业成,1999),在其经济损坏中,一大部分又包含了生态环境的损失。因此本文以直接经济损失这一直观数据来指征地质灾害对生态影响的效益损失,即地质灾害气象服务效益评估。

气象服务效益评估方法研究较少,主要集中在20世纪90年代,美国、英国、法国、澳大利亚、日本、俄罗斯和匈牙利等国的专家从不同角度对行业气象效益进行过评估和分析(Larsen,2006),行业气象服务效益评估中(姚秀萍等,2010),普遍使用的是生产效应法(投入-产出法;冯相昭等,2007)、层次分析法(闫敏慧等,2014)、专家评估法(德尔菲法;周福,1996)、“影子”价格法(李峰等,2007)、成果参照法(许小峰,2009)、损失矩阵法(戴有学等,2006)和贝叶斯决策理论模型(Solow et al,1998)。近年来,用的较多的方法主要是逆推法(张颖超和张美娟,2011)、对比分析法(王舒等,2013)、条件价值法(吴先华等,2012)、问卷调查法(吴先华等,2013)、专家

评估法等(张钦仁等,2011),但是迄今为止,都没有形成一种国际上公认的评价方法。在目前较少的研究中,气象服务效益评估涉及的方面多针对台风、暴雨、公路交通、电力、水利等,对于地质灾害气象服务效益评估方面的研究少之又少,主要也是以专家评估(德尔菲法)为主(德庆卓嘎等,2013),其本质上是利用专家的知识 and 经验对未知事件进行预测和评估。本文尝试综合运用逆推法并在此基础上结合德尔菲法,建立地质灾害的气象效益评估模型,该方法主客观融合,结果更为可信。

1 研究区域和数据

本文对2009—2016年的年度地质灾害直接经济损失、防灾减灾效益、成功预报期数、地质灾害次数、安全转移人口、投入资金、预报时效等进行了资料搜集,相关数据主要来源于《中国自然资源报》、自然资源部地质环境监测院和中国气象局(详见表1)。另外,搜集了2016年1—9月自然资源部地质环境监测院提供的地质灾害灾情信息9234条(包含灾害发生时间、经纬度、灾害类型、灾情等级、直接经济损失、失踪死亡人口等),同时选取2016年20时预报的未来24h的国家级地质灾害气象风险预警数据,用于评估防灾减灾及气象服务效益。

2 效益评估模型

影响地质灾害气象服务效益的因子很多,包括地质灾害气象预报质量及时效、政府决策部门动员防灾减灾情况、群众实际防灾情况、临阵救灾力度等,还和天气强度及出现时间、地理条件、受灾地区经济状况、人类无法抗拒因素、电力和通信中断、人口素质等有关,这些因素复杂且可控性差、极不稳定,故本文从实际可操作和抓大放小的原则出发,选取其中的气象服务水平、防灾减灾决策这两个因子重点考虑(由于气象服务水平可以用气象上的服务评分来指示,防灾减灾能力目前已有相应的研究经验,均较为可靠),求得防灾减灾总效益值,并从中分离出气象服务效益,即逆推法。本文首先基于逆推法建立效益评估模型及参数,根据历年地质灾害调查相关数据(表1)推算模型系数,其次,引入德尔菲法,在数学模型基础上结合专家评分,得到最终的地质灾害气象服务效益评估模型(周福,1998)。

表 1 2009—2016 年地质灾害调查与分析
Table 1 Investigation and analysis of geological hazard during 2009—2016

年份	直接经济损失/亿元	防灾减灾效益值/亿元	防灾减灾效益百分率/%	成功预报/起	地质灾害/起	安全转移/人	投入资金/亿元	预报时效/h
2016	31.7	7.14	18.4	676	9710	23956	55	48
2015	24.9	5.0	16.7	452	8224	20465	55	48
2014	54.1	18.1	25.1	417	10907	33723	50	48
2013	101.5	19	15.8	1757	15403	187584	45	48
2012	52.8	8.1	13.3	3532	14322	39964	35	24
2011	40.1	7.18	15.2	403	15664	34456	88.57	24
2010	63.9	9.3	13.2	1166	30670	95776	—	24
2009	17.7	1.6	8.3	209	10446	14330	23.3	24

2.1 评估模型参数

由于历年的气象条件差异及国民经济水平的提升,每年的直接经济损失差异大,单用绝对值来反映地质灾害的损失及服务效益缺乏可比性,首先本文引入防灾减灾效益百分率这一概念。

$$M = \frac{B}{A+B} \times 100\% \tag{1}$$

式中, M 表示地质灾害过程发生后的防灾减灾效益百分率(单位: %); A 表示地质灾害后的直接经济损失; B 表示地质灾害的防灾减灾效益值,即避免的直接经济损失; $A+B$ 表示假如没有气象预警及防灾减灾服务的情况下,地质灾害可能对某区域造成的直接经济损失。

如果考虑政府防灾减灾支出,则式(1)为:

$$M = \frac{B-C}{A+B} \times 100\% \tag{2}$$

式中 C 表示防灾减灾的支出。首先,考虑地质灾害气象预报服务水平及政府根据气象预报在实际防灾减灾中的工作效率,其次考虑在减灾过程无法避免的损失,建立方程如下:

$$M = xy(1-z) = \frac{B-C}{A+B} \times 100\% \tag{3}$$

式中, x 表示地质灾害的气象预报服务效率, y 表示防灾减灾工作效率, z 表示灾害过程中无法避免的灾害损失百分比。 x 和 y 均取值 0~1。式(3)转换如下:

$$B = \frac{xyA(1-z)}{1-xy(1-z)} - C \tag{4}$$

根据式(4),分离出其中的地质灾害气象服务直接经济效益 W , 公式如下:

$$W = \frac{x}{x+y} \left[\frac{xyA(1-z)}{1-xy(1-z)} - C \right] \tag{5}$$

2.2 系数 z 的确定

本文基于已有的地质灾害调查与分析数据

(表 1)进行建模系数的确定。根据周福(1998)的研究,选取多个历史性灾害过程,以过程中的气象服务时效作为自变量,以相应时效的平均防灾减灾效益值作为应变变量,进行曲线拟合,且当预报时效为 0 h 时,防灾减灾效益值也为 0,拟合结果表明气象服务时效与防灾减灾效益之间有一种近似反三角函数关系[式(6)和图 1]。

$$\bar{M} = \frac{2}{\pi} \arctan(at+b) \tag{6}$$

式中, t 表示预报时效,根据目前地质灾害的预报时效情况, $t=24$ 或 48 或 72 h; \bar{M} 表示平均防灾减灾效益百分率(单位: %); a 和 b 是待定系数。

2013 年以来,国家级定量降水估测和预报水平提高,对 24~72 h 的精细化格点降水预测更为准确,更有利于 48~72 h 的地质灾害预报,根据历年地质灾害调查与分析,认为预报时效为 48 h 的 2013—2016 年,其防灾减灾效益百分率分别为 15.8%、25.1%、16.7%和 18.4%;预报时效为 24 h 的 2009—2012 年,其防灾减灾效益百分率分别为 8.3%、13.2%、15.2%和 13.3%(表 1),上述 4 年的防灾减灾效益百分率平均值分别为 19%和 12.5%。即 $t=48$ h 时, $\bar{M}=19\%$; $t=24$ h 时, $\bar{M}=12.5\%$,将以上两组数据代入式(6)得到 $a=0.00453$, $b=0.09018$,则得式(7):

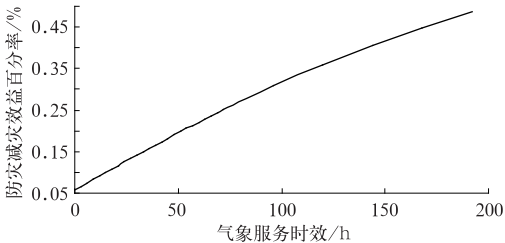


图 1 防灾减灾效益与气象服务时效关系示意图
Fig. 1 Sketch of percentage of disaster prevention and mitigation benefit and limitation of meteorological service

$$\bar{M} = \frac{2}{\pi} \arctan(0.00453t + 0.09018) \quad (7)$$

根据专家评分统计,自然资源部门专家认为在12~24 h收到的气象预警信息开展地质灾害防御工作最为有利(王舒等,2013),当应急环节大于24 h时,应急决策确定能达到100%,人员转移能达到80%以上,财产转移能达到60%以上,灾害易发点排查和除险加固等措施效率能达到60%(德庆卓嘎等,2013),当预报时效>72 h时(周福,1998),应急环节时效较足够,一般能完全做好可避免的防灾减灾准备。故认为, $t=72$ h时,根据式(7),计算得到 $\bar{M}=25.1\%$,认为防灾减灾效益百分比达到最大,其余的部分74.9%损失则是不可避免的,即 $z=0.749$ 。

2.3 系数 x 、 y 的确定

对有可能诱发山体滑坡、泥石流等灾害的作业点,撤退人员、制定应急措施等属于防汛工作中的一个重要部分,根据防汛专家的经验,首先对 y 作如下规定(周福,1998):将其分为好、一般、差三类,这三类 y 的区间分别为 $[0.7, 1.0]$, $[0.3, 0.7)$, $[0, 0.3)$ 。“好”的条件是各级政府领导重视,决策准确,防灾减灾措施落实,准备充分,防灾减灾时效 ≥ 24 h,群众奋力抗灾,则 y 确定为:基数70%,时效24 h以上部分,每增加24 h(不足的按24 h计)增加5%,投入人员(N) <100 万人的不考虑,100万 $\leq N < 200$ 万的加1%,200万 $\leq N < 300$ 万的加2%,以此类推;如防灾减灾时效为72 h,投入防灾减灾人员250万,则 y 值为70%+10%+2%=82%,即 y 为0.82。“一般”的条件是各级政府领导比较重视,防灾减灾工作措施不太得力,决策不够稳定,时效 <24 h,干部群众防抗灾较积极,则基数为30%,时效达12 h的加10%,达18 h的再加10%,投入人员数与前面规定同;如防灾减灾有效时间为12 h,人员250万,则 y 值为30%+10%+2%=42%,即 y 为0.42。“差”的条件是各级政府领导不重视,或者决策失误,组织忙乱,或者领导重视,但时效 <6 h(如气象服务漏报或只开展了短时服务,导致相关工作来不及很好组织等),则其基数为0.0%,时效3~6 h的加10%,其余与前文一致。根据目前气象预报的时效性水平和防灾减灾的重视力度,在对政府实际情况没有详细信息的情况下,根据国家级地质灾害预警业务中的响应情况发现,在国家级发布地质灾害气象风险较高的情况下,防灾减灾都能有序高效进行,故认为 y 值可以达到0.7以上,由

于地质灾害的防灾减灾人数一般不会大于百万以上,且预报时效较为固定(24~72 h),取预报时效平均48 h,认为防灾减灾效率基本可达70%+5%,即 $y=0.75$ 。

本文采用预报准确率来反映预报服务效率 x ,而预报质量和预报时效是预报服务效率的两大指标,降水预报质量一般可用TS评分来评价,根据国家级地质灾害业务规范中的要求,地质灾害预报质量一般采用命中率来衡量,因此建立如下公式:

$$x = mnT \quad (8)$$

式中, T 表示某次地质灾害过程的预报评分(命中率或TS评分值); n 为预报时效,当 $0 < t \leq 12$ h, n 为0.5;当 $12 < t \leq 24$ h, n 为1.0,……,当 $60 < t \leq 72$ h, n 为3.0,对于地质灾害预报个例,一般预报时效为24 h,对于一次地质灾害过程而言,一般预报时效能达到72 h。

由于统计部门对地质灾害预报的准确率公式存在差异,不同部门统计的指针预报水平的 T 存在差异,因此本文引入一个调节系数 m ,对不同的单位发布的预报命中率进行调节,根据中国气象局统计的2016年地质灾害灾情的命中率情况,调节系数 $m=1$,然而根据《中国自然资源报》公布的年度地质灾害发生次数和预报成功的次数(表1),地质灾害预报成功率和中国气象局2016年的过程命中率存在差异,因此将《中国自然资源报》公布的历史平均直接经济损失、平均命中率、已知防灾减灾效益平均值(表1)等代入式(4)计算,得出 $m=3.8$ 。

2.4 防灾减灾支出(C)的确认

这里指的是消费成本,是投入到某次地质灾害防灾抗灾的直接费用,政府有关部门是有统计资料的,故 C 的值是可以确定的。当对重大天气过程漏报时,则 C 为0;当空报时,则投入的成本即为防减灾的负效益。在本次收集的样本中,由于投入的资金数量较大,其中包含了大量的监测和防护等成本,不仅仅指投入地质灾害发生后的防灾减灾工作,因此在实际模型中,还需要确定实际投入的资金。另一方面,由于前期调研发现地质灾害发生后的直接经济损失中已考虑了应急性临时救灾资金,因此本文中 C 可以认为是0。

2.5 效益评估模型

综上所述,可直接应用于实际评估地质灾害气象服务效益的数学模型,输出地质灾害防灾减灾效

益(B)和气象服务直接经济效益(W)如下:

$$B = \frac{0.251 \times A \times (nmT \times 0.75)}{1 - 0.251 \times (nmT \times 0.75)} - C \quad (9)$$

$$W = \frac{nT}{nT + 0.75} B \quad (10)$$

式中,地质灾害实时预报业务中一般为 24~72 h 预报时效,本文中 n 取 3, T 为地质灾害气象风险预警命中率。根据模型结果,计算防灾减灾效益百分率和气象服务贡献率。结合德尔菲法,根据已计算得出的地质灾害气象服务效益贡献率,并结合自身经验,对气象服务贡献率(e)进行适当调整,即将 $2e$ 作为上限,0 作为下限,设计出 10 个档次,作为专家调查的备选答案进行调查。根据调查结果汇总得到地质灾害气象服务效益(E),即

$$E = \sum_{k=1}^{10} (e_k \cdot W_k) \quad (11)$$

式中, W_k 为选择第 k 档次的人数占专家数的比例; e_k 为第 k 档次贡献率的中值。

3 模型计算

本文搜集了 2016 年 1—9 月自然资源部地质环境监测院提供的地质灾害信息 9234 条,结合 2016 年 1—9 月的每日 20 时未来 24 h 时效的国家级地质灾害气象风险预警落区数据,判定地质灾害预报命中率(非自然资源部公布的公报数据)。基于以上建立的评价模型,对搜集到灾害信息的省(区、市)分

别输入预报命中率(图 2a)及灾害的直接经济损失(图 2b),评估各省(区、市)2016 年防灾减灾及气象服务效益,包括防灾减灾效益值(图 3a)、防灾减灾效益百分率(图 3b)、气象服务直接经济效益(图 3c)、气象服务直接经济效益占整个防灾减灾的百分比(图 3d)。根据模型结果,湖南、湖北、云南、四川等省在 2016 年 1—9 月取得了较高的防灾减灾效益值,这些省份均是地质灾害发生频次较高的地区,对应着较大的灾损(直接经济损失)。由于各省(区、市)的灾损情况不一样,单从防灾减灾效益值的大小无法准确判定防灾减灾成效,因此需要关注防灾减灾效益百分率,湖南、湖北、四川、北京、安徽、河北、河南、山西、吉林、浙江和海南等多数省(区、市)防灾减灾效益百分率都达到了 12% 以上,防灾减灾成效较好。另外,根据模型结果,湖南、湖北、四川、云南等地的气象服务直接经济效益值较高,气象服务直接经济效益分布与灾害直接经济损失分布趋势较为一致,一般而言,灾害多发地,预报的命中率也一般较高,气象服务效益分布与地质灾害命中率趋势较一致。

基于以上建立的评价模型,对搜集到的灾害信息按月份分别输入预报命中率(图 4a)和灾害的直接经济损失(图 4b),评估 2016 年每月防灾减灾及气象服务效益,包括防灾减灾效益值(图 5a)、防灾减灾效益百分率(图 5b)、气象服务直接经济效益(图 5c)、气象服务直接经济效益占整个防灾减灾的

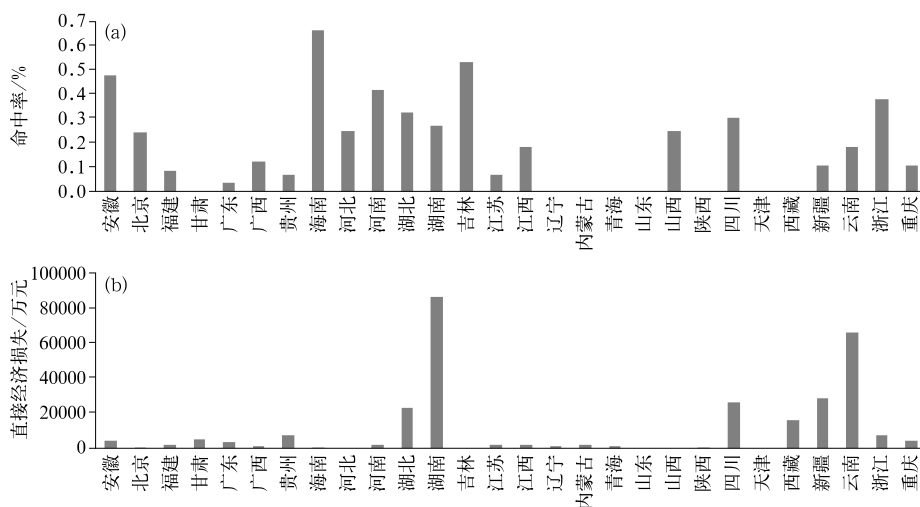


图2 2016年1—9月地质灾害预报命中率(a)和直接经济损失(b)
分省(区、市)评估模型输入

Fig. 2 Model's input by provinces from January to September 2016

(a) forecast hit ratio of geological hazard, (b) direct economic loss

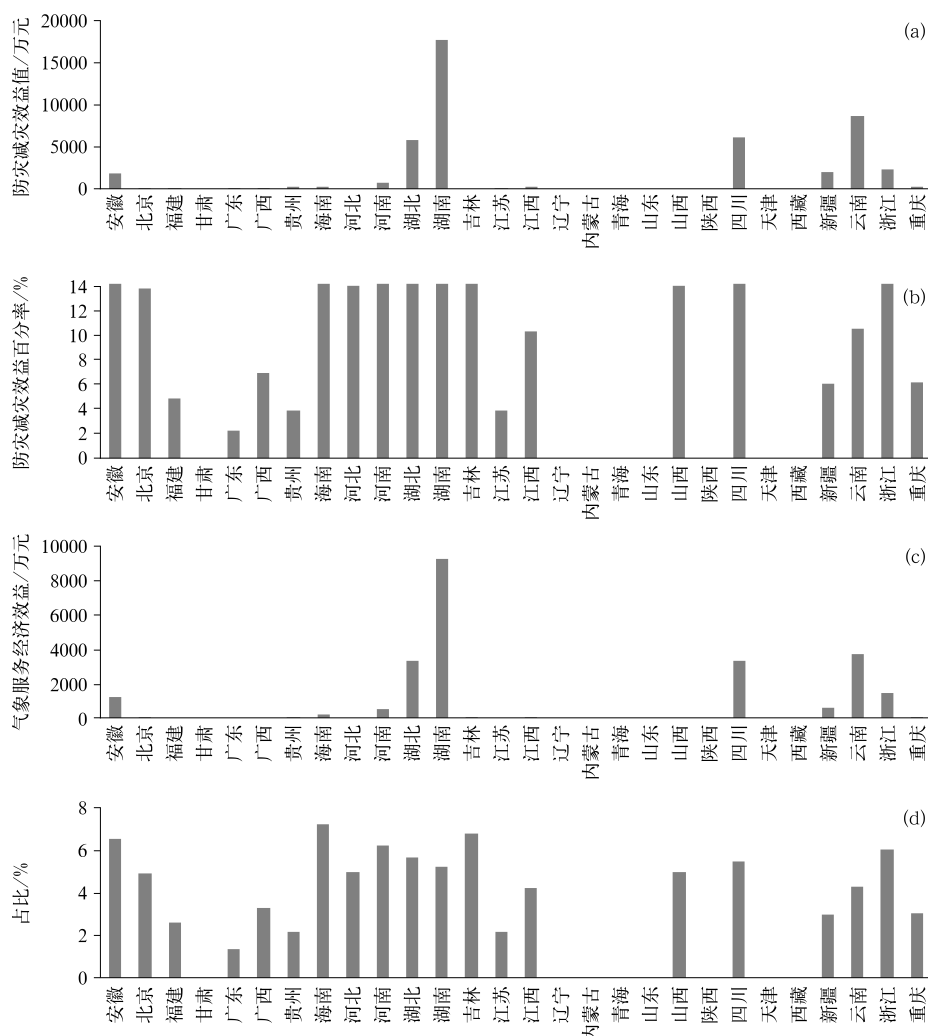


图 3 2016 年 1—9 月评估模型分省(区、市)输出
防灾减灾效益值(a)、防灾减灾效益百分率(b)、气象服务直接经济效益(c)
和气象服务直接经济效益占防灾减灾效益比(d)

Fig. 3 Model's output from January to September 2016

(a) disaster prevention and mitigation benefit value, (b) percentage of disaster prevention and mitigation benefit, (c) meteorological service direct economic benefits, (d) percentage of meteorological service direct economic benefits

百分比(图 5d)。根据模型结果,2016 年 7 月的地质灾害造成的经济损失最大,计算的防灾减灾效益值也最高,防灾减灾效益百分率从 4 月开始逐月递增,与此同时,7 月的地质灾害气象服务直接经济效益也最高,各项输出指标的分布与模型输入的预报命中率及灾害直接经济损失一致。

由图 5 可见,较高的地质灾害预报命中率带来较高的气象服务直接经济效益,防灾减灾效益的大小则与直接经济损失大小和预报命中率有正相关。根据以上结论,结合德尔菲法,专家根据已计算得出

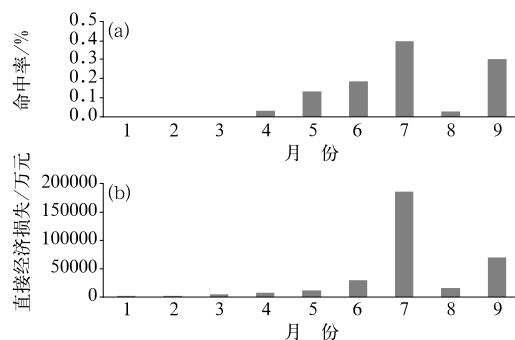


图 4 同图 2,但为按月评估模型输入

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for the monthly input

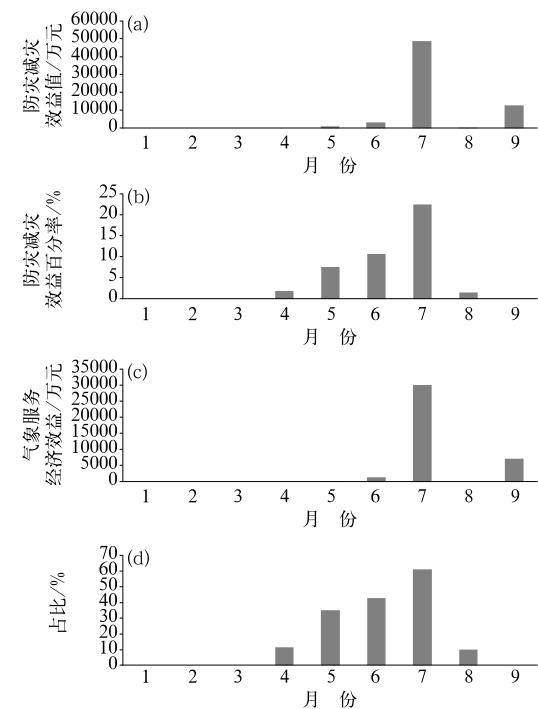


图 5 同图 3, 但为按月输出
Fig. 5 Same as Fig. 3, but for the monthly output

的客观地质灾害服务效益百分率等, 评分得出最终的主客观结合的地质灾害服务效益百分率。

4 检 验

根据中华人民共和国自然资源部(2018)公报, 2017 年全国共发生地质灾害 7122 起, 造成直接经济损失 35.4 亿元, 较 2016 年同期增长 11.7%, 全国共成功预报地质灾害 1016 起, 避免人员伤亡 39869 人, 避免直接经济损失 12.5 亿元。根据本研究模型计算结果, 防灾减灾效益值(即避免经济损失)为 15.6 亿元, 模型结果与实际公布数据 12.5 亿元间偏差为 6.5%(表 2)。模型结果可信度较高, 在实际应用中具有很强的指导作用。由于效益评估模型刚刚在地质灾害业务中展开, 尚没有更多的检验数据, 随着本模型在国家级业务平台上的使用, 对模型的偏差会有进一步的统计结果, 根据统计结果, 为下一步的地质灾害的气象效益评估专家评分模块提供依据。

表 2 2017 年地质灾害效益评估模型检验

Table 2 Benefit assessment model test of geological hazards in 2017

内容	灾情/起	直接经济损失/亿元	成功预报/起	防灾减灾效益/亿元	气象服务直接经济效益/亿元	防灾减灾效益百分率/%	气象服务直接经济效益百分率/%
官方	7122	35.4	1016	12.5			
模型	7122	35.4	1016	15.6	5.7	30.6	36.3

5 结论与讨论

本文综合运用逆推法(基于气象服务水平和防灾减灾决策两个因子, 计算防灾减灾总效益值, 并从中分离出气象服务效益)和德尔菲法(基于已有的效益值进行的专家评分法), 构建气象服务效益评估模型, 并将这一模型应用到地质灾害气象预警服务中。模型可对各区域、各时间段的地质灾害过程进行评估。例如根据地质灾害预报命中率及灾害的直接经济损失, 可获取各省(区、市)每月的防灾减灾及气象服务效益(包括防灾减灾效益值、防灾减灾效益百分率、气象服务直接经济效益、气象服务效益百分率), 也可根据整年度的地质灾害命中率及经济损失等推算整年度的气象服务效益等。

本文根据自然资源部门发布的权威历史数据及防汛专家的经验等对模型的系数进行量化。2016

年 1—9 月的地质灾害灾情信息, 结合相应时段 24 h 时效的国家级地质灾害气象风险预警信息, 计算地质灾害预报命中率, 以命中率作为地质灾害气象服务水平的指标, 同时结合灾害信息中的直接经济损失数据, 驱动地质灾害气象服务效益评估模型, 评估了 2016 年的地质灾害气象服务效益, 并结合专家评分, 得到最终的效益值。

中华人民共和国自然资源部(2018)发布的 2017 年地质灾害情况及防灾减灾效益值(即避免直接经济损失)为 12.5 亿元, 本文对模型结果进行了检验, 模型计算得到相应结果为 15.6 亿元, 与实际公布数据间偏差 6.5%, 在实际应用中具有很强的指导作用。

本文研发的地质灾害预警贡献率指标技术方法已在国家级业务平台上试应用, 相关技术方法建立的系统正在研发中, 预计在广西、浙江等试点省(区)试用, 省级针对本区域内具体情况建立省级系统并开展试点服务。

参考文献

- 戴有学,郭志芳,代淑媚,等,2006.气象服务经济效益的一种客观计算方法[J].气象科技,34(6):741-744. Dai Y X, Guo Z F, Dai S M, et al, 2006. Objective computational method of meteorological service economic efficiency[J]. Meteor Sci Technol, 34(6): 741-744 (in Chinese).
- 德庆卓嘎,格央,布穷,等,2013.西藏地质灾害防治气象服务效益评估调查结果分析[J].西藏科技,(7):27-29,36. Deqingzhuoga, Geyang, Buqiong, et al, 2013. Results analysis of Tibet geological disaster prevention meteorological service benefit assessment[J]. Tibet's Sci Technol, (7): 27-29, 36 (in Chinese).
- 冯相昭,邹骥,马珊,等,2007.极端气候事件对中国农村经济影响的评价[J].农业技术经济,(2):19-25. Feng X Z, Zou J, Ma S, et al, 2007. Evaluation of the impact of extreme climate events on China's rural economy[J]. J Agri Tech Econ, (2): 19-25 (in Chinese).
- 李峰,郑明玺,黄敏,等,2007.山东公众气象服务效益评估[J].山东气象,27(1):22-24. Li F, Zheng M X, Huang M, et al, 2007. The value estimation of public meteorological service in Shandong [J]. J Shandong Meteor, 27(1): 22-24 (in Chinese).
- 李忠洪,肖盛燮,2011.地质稳定与生态环境的相互影响及评价[J].西部交通科技,(1):88-92. Li Z Y, Xiao S X, 2011. The relationship between geographic stability and ecologic environment[J]. Western China Communications Sci Technol, (1): 88-92 (in Chinese).
- 宋志,赵虹燕,2014.全要素分析法在地质灾害经济损失评价中的运用——以云南省大关县黄葛沟泥石流灾害为例[J].灾害学,29(3):40-43. Song Z, Zhao H Y, 2014. Application of total factor analysis method in evaluation of economic loss caused by geological hazard—taking Huangge gully debris flow in Daguan county of Yunnan Province as an example[J]. J Catastrophology, 29(3): 40-43 (in Chinese).
- 王舒,贾健,张新军,2013.伊犁地质灾害气象监测预警服务效益评估[J].陕西气象,(6):41-43. Wang S, Jia J, Zhang X J, 2013. The value estimation of geological hazard meteorological monitoring and early warning service in Ili[J]. J Shaanxi Meteor, (6): 41-43 (in Chinese).
- 吴先华,孙健,陈云峰,2012.基于条件价值法的气象服务效益评估研究[J].气象,38(1):109-117. Wu X H, Sun J, Chen Y F, 2012. The value estimation of meteorological service in China based on contingent valuation [J]. Meteor Mon, 38(1): 109-117 (in Chinese).
- 吴先华,赵飞,郭际,等,2013.交通气象服务效益评估——以沪宁高速公路为例[J].气象科学,33(5):555-560. Wu X H, Zhao F, Guo J, et al, 2013. The value estimation of traffic meteorological service based on Shanghai-Nanjing expressway example[J]. J Meteor Sci, 33(5): 555-560 (in Chinese).
- 许小峰,2009.气象服务效益评估理论方法与分析研究[M].北京:气象出版社. Xu X F, 2009. Meteorological Service Benefits Evaluation Method and Research [M]. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese).
- 闫敏慧,姚秀萍,王蕾,等,2014.用层次分析法确定气象服务评价指标权重[J].应用气象学报,25(4):470-475. Yan M H, Yao X P, Wang L, et al, 2014. Determining weight coefficients of meteorological service evaluation criteria with AHP [J]. J Appl Meteor Sci, 25(4): 470-475 (in Chinese).
- 姚秀萍,吕明辉,范晓青,等,2010.我国气象服务效益评估业务的现状与展望[J].气象,36(7):62-68. Yao X P, Lü M H, Fan X Q, et al, 2010. The present situation and prospect of benefit assessment operations on weather services in China[J]. Meteor Mon, 36(7): 62-68 (in Chinese).
- 张梁,张业成,1999.地质灾害经济损失评价方法研究[J].中国地质灾害与防治学报,10(2):96-102. Zhang L, Zhang Y C, 1999. The research on methods of economic loss assessment for geological hazards[J]. The China J Geological Hazard Control, 10(2): 96-102 (in Chinese).
- 张秋劲,徐亮,周春兰,等,2009.“5·12”汶川地震灾区典型区域生态环境状况影响评价[J].四川环境,28(5):96-98,103. Zhang Q J, Xu L, Zhou C L, et al, 2009. Eco environmental status evaluation in Wenchuan seismic disastrous area[J]. Sichuan Environ, 28(5): 96-98, 103 (in Chinese).
- 张钦仁,宋善允,田翠英,等,2011.行业气象服务效益评估方法及其研究[J].气象科学,31(2):194-199. Zhang T R, Song S Y, Tian C Y, et al, 2011. The benefit valuation method and analytical study of profession meteorological service in China [J]. J Meteor Sci, 31(2): 194-199 (in Chinese).
- 张颖超,张美娟,2011.基于逆推算法的浙江省台风气象服务效益评估[J].信息技术,(10):30-34. Zhang Y C, Zhang M J, 2011. Evaluation of meteorological service for typhoon in Zhejiang Province based on inverse projection based on inverse projection algorithm [J]. Inform Technol, (10): 30-34 (in Chinese).
- 中华人民共和国自然资源部,2018.2017中国土地矿产海洋资源统计公报[N].中国自然资源报,2018-05-18(8). Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, 2018. China's statistical bulletin of land, mineral and marine resources in 2017 [N]. China Natural Resources News, 2018-05-18 (8) (in Chinese).
- 周福,1996.德尔斐法在行业气象服务效益评估中的应用及结果分析[J].浙江气象科技,17(3):38-41. Zhou F, 1996. The application of meteorological service benefit evaluation and the result analysis based on Delphi method[J]. J Zhejiang Meteor, 17(3): 38-41 (in Chinese).
- 周福,1998.重大气象灾害(台风、暴雨)服务效益评估研究[J].科技通报,14(1):39-43,49. Zhou F, 1998. Research on evaluating effectiveness of meteorological service in major meteorological disasters (Typhoon, Gush) [J]. Bulletin Sci Technol, 14(1): 39-49 (in Chinese).
- Larsen P H, 2006. An evaluation of the sensitivity of U. S. economic sectors to weather [EB/OL]. [2006-05-05]. <http://ssrn.com/abstract=900901>.
- Solow A R, Adams R F, Bryant K J, et al, 1998. The value of improved ENSO prediction to U. S. agriculture [J]. Climatic Change, 39(1): 47-60.