

改进的案例推理方法在政府应急预留 水量预测中的应用

程铁军¹, 吴凤平², 章渊²

(1. 南京邮电大学 经济学院, 江苏 南京 210046; 2. 河海大学 商学院, 江苏 南京 210000)

摘要: 针对政府应急预留水量受突发事件影响而呈现出的不确定性、短暂性、周期性的特征, 将改进的案例推理(CBR)方法应用于政府应急预留水量预测。通过引入虚拟变量描述定性因素, 利用粗糙集理论对属性进行约简, 基于相似案例集的历史应急需水量, 融入时间序列权重, 对当前政府应急预留水量作出预测。将方法应用于某危险品泄露污染河流的突发事故, 验证了其实用价值。

关键词: 政府应急预留水量; 案例推理; 需求预测; 突发事件

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)03-0001-05

Application of reasoning method of improved case to forecast of reserved water for governmental emergency

CHENG Tiejun¹, WU Fengping², ZHANG Yuan²

(1. School of Economics, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China;

2. Business School, Hohai University, Nanjing 210000, China)

Abstract: Aimed at the influence of emergencies on the reserved water for government emergency so as to appear the features of being uncertain, short and periodic, the paper applied the case reasoning method to the forecast of reserved water for governmental emergency. It introduced dummy variables to describe the qualitative factors and reduced attribute based on rough set theory. Based on the water demand of historical emergency of e similar cases and the weight of time series, the paper forecasted the reserved water demand for government emergency. Finally, it applied the method to the emergency of river pollution accident resulted from the leakage of hazardous chemical and illustrated its practical value.

Key words: reserved water for government emergency; case reasoning; demand forecast; emergency

1 研究背景

随着城镇化、工业化和产业化的快速发展, 我国资源和环境面临前所未有的压力, 水源地突发水污染、干旱等水资源突发事件频繁发生^[1]。近些年来, 我国区域性的干旱灾害几乎连年发生^[2], 突发水污染事件愈加频繁^[3], 这些极端水资源事件对政府应急水量提出严峻挑战^[4]。对于大多数水源地单一的城市来说, 如果突发水资源事件威胁饮用水水源地, 将加剧用水矛盾导致, 导致的社会公共安全更加突出^[5]。随着各类突发事件引起的应急

需水量急剧增加, 现有水资源能否满足应急需求, 政府应该预留多少应急水量来应对突发事件的发生, 是一个具有理论和实际意义的重要研究课题^[6]。

近年来, 学术界已十分重视政府应急预留水量的相关问题研究。在对政府应急水量预留的必要性方面, Welter 等^[7]通过归纳总结在自然灾害和其他突发事件的水供应问题, 提出政府应该在分配水量的过程中, 注重考虑突发事件的状况, 预留水量达到有效响应; Brown 等^[8]提出政府应该注重极端事件对水资源的影响, 在水资源供给方面应该能够达到有效的应急响应; Yoshida^[9]通过对过去几年日本发

收稿日期: 2016-02-23; 修回日期: 2016-03-22

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41271537); 南京邮电大学引进人才科研启动基金项目(NYY215005)

作者简介: 程铁军(1985-), 女, 安徽宿州人, 博士, 讲师, 研究方向为应急管理、水资源规划与应用。

通讯作者: 吴凤平(1964-), 男, 江苏泰州人, 博士, 教授, 研究方向为水资源管理与规划。

生的重大地震灾害的分析,提出应建立应急供水系统;王浩等^[10]认为在流域初始水权分配时需要适当考虑预留一定规模的政府预留水量,界定应急预留水量是为应对水危机而储备的水量,一般作为短期的临时应急用水,是政府预留水量的一部分;尹明万等^[11]提出为了满足将来发展的需要、代际公平以及应对特殊气候变化或其他不可预见的紧急状况,水资源一般不能一次分完,应当留有一定的余地。在对政府应急水量预留多少的研究方面,张成才等^[12]在抗旱应急备用水源工程的基础上,对规划化水平年(2020年)进行抗旱应急供需水量平衡分析;周晔等^[13]对抗旱应急预留水量进行了研究,设想了差额模型和比例模型两种模型确定抗旱应急预留水量,以化解降水量波动可能造成的水资源短缺风险;陆艳晨等^[14]在分析了各项生活应急用水量的基础上,以一定的定额比例计算出不同应急状态下的人均应急生活用水量。

通过现有的研究可以看出,国外学者开始注重强调应急预留水量的重要性,多从供给角度探讨预留问题,对于政府应急预留水量的多少问题,国内已初步有研究,多是依据对应急状况的评估,拟定一个比例来确定应急预留水量。然而如何针对我国转型时期的特殊状况,合理评估各类突发事件对水资源带来的不确定性需求,更加准确的预测政府应急预留水量,尚待研究。

本文将政府应急预留水量界定为政府为满足突发事件对水量激增的需求,而需要预留的水量,以达到对突发事件应急的有效响应。政府应急预留水量不仅受突发水灾害事件的影响,其它类型的突发公共事件也会对水资源产生应急需求。突发事件的频繁爆发引起水量需求激增,受突发事件的影响,应急预留水量需求具有短暂性、周期性、不确定性的特点。因此,通过归纳以往年份的突发事件相似案例对水资源的需求量,来预测流域政府应急预留水量更贴近于现实情况。基于此,本文提出基于改进的案例推理方法^[15](简称 CBR)的政府应急预留水量预测模型。CBR 是人工智能中一种新兴推理方法^[15],其核心思想是依据人们过去的经验和知识进行结构化存储,通过重用或修改以前解决相似问题的方案来求解新问题,缓解常规的知识系统中知识获取的瓶颈问题,从而得到新问题的解^[16]。该方法已被广泛应用于危机预警^[17]、销售预测^[18]、成本估算^[19]等多个领域。本文在 CBR 的应用中,通过引入虚拟变量与时间序列权重对该模型进行改进应

用,以达到对政府应急预留水量的科学合理预测。

2 研究方法

在突发事件刚刚发生或出现征兆时,为预测当前突发事件所需的政府应急预留水量,流域政府可以通过归纳过去几年引起需水量激增的突发案例,通过掌握历史应急需水量达到当前案例的应急预留水量预测。假设流域政府部门从建立的突发事件案例库中筛选了过去几年引起需水量激增的突发案例 $H = \{h_1, h_2, \dots, h_m\}$, 决策者根据当前案例的特征,经专家研讨设计特征因素集 $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ 。决策者根据特征因素收集历史案例的相关属性值,通过计算相似度,并根据专家设定的阈值选择出相似案例集 $H' = \{h'_1, h'_2, \dots, h'_q\}$ 。决策者根据相似案例集的历史应急需水量 $D = \{d'_1, d'_2, \dots, d'_q\}$, 通过引入时间序列权重,使得离目标案例发生时间越近的源案例的可参考性越强,预测当前突发事件所需的政府应急预留水量 d^* , 具体流程描述如图 1 所示。

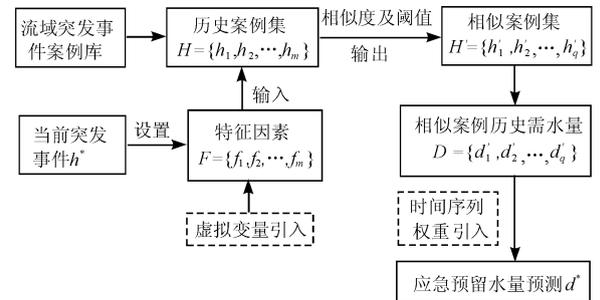


图1 政府应急预留水量预测框架

2.1 虚拟变量的引入

由于各种类型的突发事件案例均有可能引起应急水量的激增,因而不可能用共同的属性特征来衡量这些案例,同时在案例属性方面不可能将所有属性值定量化,也存在一些定性变量。那么,在对政府应急预留水量预测中,可将这些定性特征虚拟化,分别以 1 和 0 表示虚拟变量的出现和不出现,以 1 表示出现虚拟变量,以 0 表示不出现虚拟变量。可以定义虚拟变量为:

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{历史案例与当前案例特征 } z_j^* \text{ 相符} \\ 0 & \text{历史案例与当前案例特征 } z_j^* \text{ 不符} \end{cases} \quad (1)$$

式中: z_{ij} 为引入虚拟变量的第 i 个案例的第 j 个特征的属性值, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, z_j^*$ 为引入虚拟变量的当前案例的第 j 个特征的属性值。

2.2 属性约简及权重确定

案例条件属性根据取值可分为数字属性及虚拟

变量属性。由当前案例的条件属性值作为阈值,历史案例条件属性值满足阈值要求为1,否则为0,生成0-1信息表。

根据粗糙集理论,对于属性 $f_j \in F$,如果:

$$U/\text{ind}(F) = U/\text{ind}(F - \{f_j\}) \quad (2)$$

则称 f_j 为 F 中不重要的,可以约简,否则称 f_j 为 F 中必要的,不可约简。式(2)中, $\text{ind}(F)$ 表示集合中元素关于 F 不可分辨关系, $U/\text{ind}(F)$ 表示与等价关系 F 相关的知识。经过约简后的属性,其权重 $w(f_j)$ 由专家商讨给定。

2.3 相似度计算

设历史案例 h_i 与当前案例 h^* 在条件属性 $f_j(j = 1, 2, \dots, m)$ 上的相似度为 $\text{SIM}_{ij}(h_i, h^*)$,对于各类属性的相似度计算如下:

对于数字属性:

$$\text{SIM}_{ij}(h_i, h^*) = 1 - \frac{|x_{ij} - x_j^*|}{\max_j(x_{ij}, x_j^*) - \min_j(x_{ij}, x_j^*)} \quad (3)$$

对于虚拟变量表示的属性:

$$\text{SIM}_{ij}(h_i, h^*) = \begin{cases} 1, & z_{ij} = z_j^* \\ 0, & z_{ij} \neq z_j^* \end{cases} \quad (4)$$

案例属性相似度加权聚合即得到历史案例与当前案例的相似度为:

$$\text{SIM}_i(h_i, h^*) = \sum_{j=1}^m w(f_j) \text{SIM}_{ij}(h_i, h^*) \quad (5)$$

根据专家给定的相似度阈值 α ,取超过相似度阈值的案例作为相似案例集,即:

$$\text{SIM}_i(h_i, h^*) \geq \alpha \quad (6)$$

那么,可以得到相似案例集 $H' = \{h_1', h_2', \dots, h_q'\}$, h_i' 为第 i' 个相似案例, $i' = 1, 2, \dots, q$ 。利用相似案例集中的历史案例对水资源的应急需求量作为基础进行预测。

2.4 基于时间序列的案例权重确定

基于相似案例集中的各案例的历史应急需水量,可以对当前案例的政府应急预留水量进行预测。由于自然灾害等突发事件的各特征因素与时间紧密联系,离目标案例发生时间越近的源案例,其可参考性越强,距离越远,可参考性越差。因此,可以在预测时,对相似案例集按照发生时间阶段进行分类排序, t_{k+1} 阶段的案例更接近于当前突发事件的状态,其历史应急需水量被赋予的权重应大于 t_k 阶段的案例,呈现单调递增的特点。

等差数列揭示了数字上的递进关系,本文采用

单调递增的等差数列确定时间序列 $\{t_k\}(k = 1, 2, \dots, p)$ 的权重 $\eta(t) = (\eta(t_1), \eta(t_2), \dots, \eta(t_p))^T$ 预测当前案例的政府应急预留水量需求,其中 $\eta(t_k) \geq 0(k = 1, 2, \dots, p)$ 。

假设对任意 k ,权重 $\eta(t_{k+1})$ 和其相邻权重 $\eta(t_k)$ 的差值为一个常数 α ,那么

$$\eta(t_{k+1}) - \eta(t_k) = \alpha \quad (k = 1, 2, \dots, p-1) \quad (7)$$

此时,有

$$\eta(t_k) = \eta(t_1) + (k-1)\alpha \quad (k = 1, 2, \dots, p) \quad (8)$$

令 $\alpha > 0$,则 $\eta(t_k) < \eta(t_{k+1})$,此时为严格单调递增序列。

根据等差数列的求和公式,以及时间序列 $\{t_k\}$ 的权重特点,可得

$$\sum_{k=1}^p \eta(t_k) = 1, \quad (k = 1, 2, \dots, p) \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^p \eta(t_k) = \eta(t_1) + \frac{p(p-1)}{2}\alpha \quad (10)$$

求解式(9)、(10),可以得出

$$\eta(t_1) = \frac{2 - p(p-1)\alpha}{2p} \quad (11)$$

根据式(11)可知,决策者可以根据对当前案例与相似案例集的评估,确定时间权重的公差 α ,即可获得初始权重 $\eta(t_1)$,根据式(8),则可获得时间序列 $\{t_k\}(k = 1, 2, \dots, p)$ 的权重向量 $\eta(t) = (\eta(t_1), \eta(t_2), \dots, \eta(t_p))^T$ 。

那么可以根据各案例按照发生时间确定其时间序列权重,如果其中的 s 个案例同属于一个时间阶段,那么可以将权重平均化为:

$$\eta_{t_k}^{i'} = \frac{1}{S} \eta_{t_k} \quad (12)$$

2.5 政府应急预留水量需求预测

基于上文得出的 $q(q \leq n)$ 个相似案例,假设各案例的历史政府应急水量的需求为 $D = \{d_1', d_2', \dots, d_q'\}$,用 d_i' 表示第 i' 个相似案例的应急预留水量需求, $i' = 1, 2, \dots, q$ 。基于时间序列权重及相似案例集,可以预测当前事件所需的政府应急预留水量 d^* 为:

$$d^* = \sum_{i'=1}^p \eta_{t_k}^{i'} d_i' \quad (13)$$

由于突发事件爆发的不确定性,应急需水也具有短暂性和突发性。流域各级政府部门可以在突发事件发生或刚刚发生征兆时,评估预测各类事件的应急需水量,汇总后合理作出该区域政府应急预留

水量的安排。

3 算例分析

以河南省洛阳市氰化钠危险品泄漏事件^[20]所需应急预留水量为案例背景进行研究。因司机违章疲劳驾驶和下雨路基塌陷等原因,河南省洛阳市运送氰化钠的货车经洛宁县兴华乡时发生交通事故,从路边翻入离涧河不远的沟壑中,车上装载的 11 t 氰化钠顺涧河径流入黄河的重要支流洛河。由于司机没有及时报案,3 h 后通过牛羊中毒现象灾情才得以发现。而受剧毒化学品污染的河水顺流而下,严重威胁着数百万人民群众的生命财产安全。受剧毒污染的水源不能饮用和生产,这对流域上下游的居民的生产生活用水带来了极大影响。为确保居民正常的生活,洛阳市政府召开紧急动员会,并成立了事故紧急处置领导小组。通过搜集事故的相关信息,事故紧急处置小组大致了解到受灾人数、受灾面积等相关信息。那么可以运用事先构建的 CBR 系统,通过筛选历史案例,预测该事故所需的政府应急预留水量。

假设洛阳市政府根据近几年建立的洛河流域内的突发事件案例库,选取需水激增的历史案例 $H = \{h_1, h_2, \dots, h_8\}$ 作为备选案例集。经决策者商讨决定设置受灾人数 f_1 (万人)、受灾面积 f_2 (万亩)、受污染河流长度 f_3 (km)、发生季节 f_4 (季)、影响地区类别 f_5 (级)、水流速度 f_6 (m/s)、持续时间 f_7 (h) 7 个关键因素作为条件属性,根据搜集到的信息,各历史案例信息和当前案例信息如表 1 所示。

表 1 案例信息

历史案例	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
h_1	3.3	2.5	45	秋	省市	2.4	110
h_2	1.7	1.9	70	秋	区县	1.9	78
h_3	2.1	1.9	65	春	省市	2.6	68
h_4	3.2	3.2	67	秋	区县	2.1	75
h_5	3.1	2.4	46	夏	省市	1.6	65
h_6	2.5	3.8	64	秋	区县	2.3	120
h_7	2.7	2.6	56	秋	区县	2.5	80
h_8	1.8	1.8	63	春	省市	1.3	82
h^*	2.2	2.1	60	秋	区县	2.3	70

由当前案例的条件属性值作为阈值,历史案例条件属性值满足阈值要求为 1,否则为 0,其中虚拟

变量属性 f_4, f_5 根据式(1)进行判断,生成 0-1 信息表,如表 2 所示。

通过表 2 可以看出条件属性 f_1, f_2 对各备选案例的属性值情况相同,故只保留其中一个即可,设经专家讨论决定保留 f_1 ,基于粗糙集理论,根据式(2)可知:

$$U/\text{ind}(F) = \{h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8\}$$

$$U/\text{ind}(F - \{f_1\}) = \{h_1, \{h_2, h_4\}, h_3, h_5, h_6, h_7, h_8\}$$

因此, $U/\text{ind}(F) \neq U/\text{ind}(F - \{f_1\})$,所以属性 f_1 不可约简。同理可知, $U/\text{ind}(F) \neq U/\text{ind}(F - \{f_3\}) \neq U/\text{ind}(F - \{f_5\}) \neq U/\text{ind}(F - \{f_6\})$, $U/\text{ind}(F) = U/\text{ind}(F - \{f_4\}) = U/\text{ind}(F - \{f_7\})$,因此,属性 f_4, f_7 可约简,不可约简的属性有 f_1, f_3, f_5, f_6 。

表 2 历史案例的 0-1 信息表

历史案例	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
h_1	1	1	0	1	0	1	1
h_2	0	0	1	1	1	0	1
h_3	0	0	1	0	0	1	0
h_4	1	1	1	1	1	0	1
h_5	1	1	0	0	0	0	0
h_6	1	1	1	1	1	1	1
h_7	1	1	0	1	1	1	1
h_8	0	0	1	0	0	0	1
h^*	1	1	0	1	0	1	1

根据式(3)、(4),计算各案例的属性相似度,如表 3 所示。

表 3 历史案例的条件属性相似度

历史案例	f_1	f_3	f_5	f_6
h_1	0.31	0.80	0.00	0.92
h_2	0.69	0.90	1.00	0.69
h_3	0.94	0.90	0.00	0.77
h_4	0.38	0.45	1.00	0.85
h_5	0.44	0.85	0.00	0.46
h_6	0.81	0.15	1.00	1.00
h_7	0.69	0.75	1.00	0.85
h_8	0.75	0.85	0.00	0.23

专家确定约简后的各属性权重为 $w(f_1) = 0.35, w(f_3) = 0.25, w(f_5) = 0.10, w(f_6) = 0.20$ 。

根据式(5),加权聚合得各历史案例与当前案例的相似度如表4所示:

表4 历史案例的相似度 $SIM_i(h_i, h^*)$

h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8
0.49	0.70	0.71	0.51	0.46	0.62	0.70	0.56

假设专家给定的相似度阈值为0.61,获得相似案例集 $H' = \{h_2, h_3, h_6, h_7\}$ 。

专家将历史案例按照发生时间排序,共分为4个阶段。历史案例 h_2, h_3, h_6, h_7 分别属于 t_1, t_3, t_2, t_4 阶段。经商讨确定各阶段时间权重的公差为0.125,根据式(11)可以得出 $\eta(t_1) = 0.0625$,进而根据式(8)可得:

$$\begin{aligned} \eta(t) &= (\eta(t_1), \eta(t_2), \eta(t_3), \eta(t_4))^T \\ &= (0.0625, 0.1875, 0.3125, 0.4375) \end{aligned}$$

已知相似案例 h_2, h_3, h_6, h_7 历史应急水量 (10^4 m^3) 分别为700, 560, 620, 780,根据式(13)可得,当前突发事件需要的政府应急预留水量为 $d^* = 676.25 \times 10^4 \text{ m}^3$,计算结果与该事件应急处理的用水量基本吻合。

4 结论

近些年来,随着突发事件的频发引起应急需水量急剧增加,政府应预留多少水量应对突发需求,值得关注和思考。本文从政府应急预留水量需求易受突发事件影响的角度出发,归纳总结了政府应急预留水量的特征。针对这些特征,提出运用案例推理模型预测政府应急预留水量。在解决定性属性问题方面,将虚拟变量引入了特征因素设计中,同时,基于离目标案例发生时间越近的源案例可参考性越强的考虑,引入时间序列权重。基于相似案例集的历史应急需水量,对当前政府应急预留水量做出预测。通过将方法应用于某突发河流污染事故,验证了该方法的可行性与有效性。

参考文献:

[1] 王瑗,盛连喜,李科,等.中国水资源现状分析与可持续发展对策研究[J].水资源与水工程学报,2008,19(3):10-14.
 [2] 王慧敏,刘高峰,佟金萍等.非常规突发水灾害事件动态应急决策模式探讨[J].软科学,2012,26(1):20-24.
 [3] 李林子,钱瑜,张玉超.基于EFDC和WASP模型的突发

水污染事故影响的预测预警[J].长江流域资源与环境,2011,20(8):1010-1016.
 [4] 钟瑜,毛显强,陈隽,等.中国城市污水处理良性运营机制探讨[J].中国人口.资源与环境,2003,13(3):52-56.
 [5] 徐玖平,姜曼丽,卢毅.大型水利水电建设项目非常规突发事件应急管理统筹模式[J].系统管理学报,2013,22(5):695-707+714.
 [6] 周晔,吴凤平,陈艳萍.水源地突发水污染公共安全事件应急预留水量需求估测[J].自然资源学报,2013,28(8):1426-1437.
 [7] Welter G, Bieber S, Bonnaffon H, et al. Cross-sector emergency planning for water providers and healthcare facilities[J]. Journal American Water Works Association,2010,102(1):68-78.
 [8] Brown E, Ternieden C, Metchis K, et al. Emergency response or long-term resilience Extreme events challenge water utilities and their communities[J]. Journal - American Water Works Association, 2013,105(8):38-40.
 [9] Yoshida H. Secured potable water by emergency water tanks [J]. Water Supply, 2000,18(3):88-93.
 [10] 王浩,党连文,谢新民,等.流域初始水权分配理论与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2008.
 [11] 尹明万,张延坤,王浩,等.流域水资源使用权定量分配方法初探[J].水利水电科技进展,2007,27(1):1-5.
 [12] 张成才,孙园园,王兴华.河南省抗旱应急水量供需平衡分析研究[J].水资源与水工程学报,2010,21(5):90-92.
 [13] 周晔,吴凤平,陈艳萍.基于降水量波动性的抗旱应急预留水量确定方法[J].人民长江,2012,43(11):11-15.
 [14] 陆艳晨,李翠梅,刘成刚.应急状态下的城市居民生活供水与用水量分析[J].净水技术2012,31(2):12-14+75.
 [15] Kolodner J L. An introduction to case-based reasoning [J]. Artificial Intelligence Review,1992,6(1):3-34.
 [16] Waltson I. Case-based reasoning is a methodology not a technology[J]. Knowledge Based System, 1999,12(5-6):303-308.
 [17] 柳炳祥,盛昭翰.基于案例推理的企业危机预警系统设计[J].中国软科学,2003(3):67-70.
 [18] 吴迪,李苏剑,李海涛,等.基于CBR的化妆品销售组合预测模型[J].北京航空航天大学学报(社会科学版),2012,25(1):78-84.
 [19] 吴登生.基于广义模糊数的软件成本加权CBR估算研究[J].中国管理科学,2013,21(4):178-186.
 [20] 计雷,池宏,陈安,等.突发事件应急管理[M].北京:高等教育出版社,2006.