

文章编号:0494-0911(2012)02-0023-03

中图分类号:TU196

文献标识码:B

# 基于云模型的大坝变形监测数据分析研究

王腾军<sup>1</sup>,杨海彦<sup>2</sup>,杨志强<sup>1</sup>

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院,陕西 西安 710054;2. 中国科学院 国家授时中心,陕西 西安 710600)

## Study for Dam Deformation Data Analysis Using Cloud Model

WANG Tengjun, YANG Haiyan, YANG Zhiqiang

**摘要:**利用云模型实现定性分析与定量分析之间的转换,并对小浪底大坝沉降监测数据进行分析,验证基于云模型的变形监测数据分析结论的可靠性。

**关键词:**大坝变形监测;云模型;大坝变形数据分析

### 一、引言

大坝变形监测对于保障大坝运行安全,充分发挥工程效益及提高设计和施工技术水平具有十分重要的意义。在进行变形数据分析时,通常应用数学方法精确给定监测点的变形量并进行定量分析。而在对大坝的稳定性进行评估和对监测数据进行评价时,常使用“大坝稳定”、“大坝位移较大”、“监测精度高”、“监测数据可靠”等不确定的定性语言,并在“整个大坝”、“监测断面”等不同的认识层次上进行定性分析,如果能够将这种定性分析结果进行量化分析,那么定量分析的结果就可以验证定性分析结论。在依据变形监测数据进行定性分析时往往根据工作者的经验给出定性结论,而缺乏二者之间转换的理论基础。

如果将大坝的某个监测点在某个时期、某个方向的精确的变形监测值在一定的空间中的分布看做是一幅云图,那么就能利用每幅云图的监测点的变形监测数据,并应用逆向云发生器算法得出云的期望( $E_x$ )、熵( $E_n$ )和超熵( $He$ )3个数字特征值。这3个数字特征值表示了大坝的位移及其监测情况的整体水平。其中,期望表示监测点的预期位置;熵表示监测点对预期位置的离散程度;超熵表示监测水平偏离正常的程度<sup>[1]</sup>。

云的3个数字特征表示的概念,如“大坝稳定”、“监测精度高”等,和人们平常的思维方式是一致的,这些语言可以代表精确监测数据所反映的云滴的整体形状。从生成的云图可以看出,监测数据越多,图中的云滴数量越多,云模型反映的变形概念就越确切。如果实际监测数据较少,可以利用原

始观测数据生成的3个数字特征值,利用正向云发生器生成每个监测点的多个仿真数据,生成云滴的具体数目可以根据需要设定,这样就生成了多个定量值来反映大坝的位移情况和监测的整体水平。虽然这些生成的模拟数据和原始监测数据不一定完全吻合,但是其分布的总体趋势是基本相同的,因为它们的3个数字特征值是相同的。生成多少个具体的数值,就相当于对同一个监测点进行多少次观测。如果需要补充监测数据时,那么就可以结合逆向云和正向云发生器进行数据模拟,来弥补监测数据缺失。这样,通过正向云发生器和逆向云发生器,云模型就在精确的监测数据和不确定性思维之间建立了定性和定量之间相互联系、相互依存、性中有量、量中有性的映射关系。所以,如果能够将云模型应用到大坝的变形监测数据分析中,实现定性描述和定量分析之间的相互转换,将给大坝的安全监测资料的分析提供一条有效的途径。

本文利用云模型研究如何将定性分析和定量分析相结合,实现定性思维与定量计算之间的自然转换,并运用小浪底大坝沉降监测数据进行验证,得到可靠的结论,使得根据监测数据对大坝的安全评估结论更为可靠。

### 二、云模型的基本理论

#### 1. 云模型基本定义及其数字特征<sup>[13]</sup>

设 $U$ 是一个论域, $U = \{x\}$ , $T$ 是与 $U$ 相联系的语言值。 $U$ 中的元素 $x$ 对于 $T$ 所表达的定性概念的隶属度 $C_T(x)$ 是一个具有稳定倾向的随机数,隶属度在论域上的分布称为隶属云,简称为云。

收稿日期:2011-05-23

作者简介:王腾军(1967—),男,河南南阳人,副教授,主要从事精密工程测量等方面的教学与研究工作。

$C_T(x)$ 在 $[0,1]$ 中取值,云是从论域 $U$ 到区间 $[0,1]$ 的映射,即

$$C_T(x):U \rightarrow [0,1] \quad \forall x \in U, x \rightarrow C_T(x)$$

1) 论域 $U$ 上的概念 $T$ 从论域 $U$ 到区间 $[0,1]$ 的映射是一对多的关系,而不是传统模糊函数的一对一关系, $x$ 对于 $T$ 的隶属度是一个概率分布而不是固定值,从而产生了云,而不是一条明晰的隶属曲线。

2) 云是由许多云滴组成,一个云滴是定性概念在数量上的一次实现,单个云滴可能无足轻重,不同时刻产生的云的细节可能不尽相同,但云的整体形状反映了定性概念的基本特征。

3) 云的数学期望曲线从模糊数学理论的观点来看是其隶属曲线。

4) 云的“厚度”是不均匀的,腰部最分散,“厚度”最大;顶部和底部汇聚性好,“厚度”小。云的“厚度”反映了隶属度的随机性的随机性的大小,靠近概念中心或远离概念中心处隶属度的随机性较小,而距离概念中心不近不远的地方隶属度的随机性大,这与人的主观感受是一样的。

云的数字特征反映了定性概念的定量特性,用期望( $Ex$ )、熵( $En$ )和超熵( $He$ )3个数值来表征。云的数字特征是描述云模型、产生虚拟云、实现云计算、完成云变换的数值基础。

1) 期望:是在数域空间中最能够代表定性概念的点值,即概念在数域空间中的中心值。

2) 熵:表示序的不确定性的表现强弱。在云模型中,熵被用来综合度量定性概念的模糊度和概率,反映定性概念的不确定性。

3) 超熵:是熵的不确定度量,即熵的熵,反映了在数域空间中代表该语言值的所有不确定度的凝聚性。超熵的大小间接地表示了云的离散程度和厚度。

云的数字特征的独特之处在于用3个数值就可以勾画出由成千上万的云滴构成的整个云来,将定性表示的语言值的模糊性和随机性完全集成到一起。

## 2. 云发生器<sup>[3]</sup>

云发生器指被软件模块化或硬件固化了的云模型生成算法。云发生器建立起定性和定量之间相互联系、相互依存、性中有量、量中有性的映射关系。主要包括正向云发生器、 $X$ 条件云发生器、 $Y$ 条件云发生器和逆向云发生器。

逆向云发生器是实现定量数值和其定性语言值之间转换的不确定性转换模型,是从定量到定性

的映射。将一定数量的精确数据有效转换为以恰当的定性语言值( $Ex, En, He$ )表示的概念,并据此代表这些精确数据所反映的云滴的整体。输入为 $N$ 个云滴的定量值及每个云滴代表概念的确定度( $x, y$ ),输出为这 $N$ 个云滴表示的定性概念 $A$ 的期望值 $Ex$ 、熵 $En$ 和超熵 $He$ 。云滴对应的精确数据的数量越多,反映的概念越确切。基于拟合法的一维逆向云生成算法<sup>[4]</sup>描述如下:

1) 以 $\hat{Ex} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 作为 $Ex$ 的估计值 $\hat{Ex}$ 。

2) 将 $y > 0.999$ 的点剔除,剩下 $m$ 个云滴。

3) 由 $En' = \frac{|x - \hat{Ex}|}{\sqrt{-2 \ln y}}$ ,求出 $En'$ 。

4) 根据 $\hat{En} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m En'_i$ ,求出 $En$ 的估计值 $\hat{En}$ 。

5) 根据 $He = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (En'_i - \hat{En})^2}$ ,求出 $He$ 的估计值 $\hat{He}$ 。

## 三、基于云模型的监测数据定性与定量分析

对于土石坝沉降监测结果,人们一般善于使用定性语言值来描述,这些定性语言值可以用云模型的3个数字特征值表示。下面根据小浪底大坝实际沉降监测数据,利用云模型的拟合逆向云发生器算法计算部分沉降监测点沉降量的3个数字特征值,并对计算结果进行定性诠释。

### 1. 数字特征值的计算

利用云模型的拟合逆向云发生器算法计算小浪底大坝沉降监测点2006年沉降量的3个数字特征值,计算公式如下:

计算样本均值

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

计算样本方差

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2$$

计算期望

$$Ex = \bar{X}$$

计算熵

$$En = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m |x_i - \hat{Ex}|$$

计算超熵

$$He = \sqrt{S^2 - \hat{En}^2}$$

其计算结果如表1所示。

表1 监测点2006年沉降量的数字特征 mm

点号	数字特征值		
	期望 $E_x$	熵 $E_n$	超熵 $H_e$
801	2.6	1.9	0.9
802	3.7	3.0	1.6
803	4.5	3.4	1.5
804	7.5	5.4	2.5
805	8.4	6.0	2.9
806	11.7	8.9	4.6
807	17.9	14.6	7.9
808	17.4	14.4	7.7
809	23.8	20.4	11.2
810	34.6	29.4	16.3

## 2. 数字特征的定性诠释

由表1中的数字特征可以看出,其表示大坝监测点的位移信息不甚直观,因此可以根据云模型的基本思想,按照一定的规则将3个数字特征定性诠释为3个通俗易懂的定性概念,如监测点沉降量较小,沉降量离散程度较低,监测水平稳定等,如表2所示。

对于表2中的规则,可以根据不同的情况赋予不同的意义,应用表2中的规则,对表1中的数字特征值赋予对应的定性概念,其结果如表3所示。这样通过定性诠释规则的转换,就可以将定量的沉降监测值转换为定性概念语言。

表2 3个数字特征值的定性诠释规则

	mm					
$E_x$ 数值	0~8	8~16	16~24	24~32	32~40	>40
沉降水平	较小	小	大	较大	很大	非常大
$E_n$ 数值	0~8	8~16	16~24	24~32	32~40	>40
沉降离散程度	较低	低	高	较高	很高	非常高
$H_e$ 数值	0~8	8~16	16~24	24~32	32~40	>40
监测水平	较稳定	稳定	不稳定	较不稳定	很不稳定	非常不稳定

表3 部分监测点2006年沉降量的数字特征及其定性诠释

点号	期望 $E_x$	沉降水平	熵 $E_n$	沉降离散程度	超熵 $H_e$	监测水平
801	2.6	很小	1.9	很低	0.9	很稳定
802	3.7	很小	3.0	很低	1.6	很稳定
803	4.5	很小	3.4	很低	1.5	很稳定
804	7.5	小	5.4	很低	2.5	很稳定
805	8.4	小	6.0	很低	2.9	很稳定
806	11.7	小	8.9	低	4.6	很稳定
807	17.9	大	14.6	低	7.9	很稳定
808	17.4	大	14.4	低	7.7	很稳定
809	23.8	大	20.4	高	11.2	稳定
810	34.6	很大	29.4	较高	16.3	稳定

上述方法的分析结果,与常规分析的结果基本吻合,验证了云模型在土石坝沉降监测数据分析中的可行性。

## 四、结束语

本文利用云模型在定性分析和定量分析之间转换的优势,给出了定性定量之间转换的具体方法,实现了大坝安全巡视的定性结果和监测数据定量分析之间的自由转换,并用小浪底实测数据进行了验证,所得结论与常规分析方法一致。

## 参考文献:

[1] 邸凯昌. 空间数据挖掘与知识发现[M]. 武汉:武汉

大学出版社,2001.

- [2] 李德仁,王树良,李德毅. 空间数据挖掘理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [3] 王树良. 基于数据场与云模型的空间数据挖掘和知识发现[D]. 武汉:武汉大学,2002.
- [4] 刘桂花. 基于云模型的关联规则的研究[D]. 济南:山东师范大学,2007.
- [5] 胡光乾,蒋金虎,邱文华,等. 小浪底水利枢纽大坝外部变形监测及资料分析[J]. 水力发电,2004,30(9):49-51.
- [6] 钮新强,杨启贵,谭界雄,等. 水库大坝安全评价[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.
- [7] 吴中如. 水工建筑物安全监控理论及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2003.