

· 解析评价 ·

doi: 10.3969/j.issn.1674-6732.2010.04.010

基于余弦模型的核电站周围环境 γ 辐射水平季节性分析

韦正, 张平, 朱晓翔

(江苏省辐射环境监测管理站, 江苏 南京 210019)

摘要: 探讨了环境 γ 辐射水平的季节性变化趋势和规律, 通过余弦模型对连云港田湾核电站 2005—2008 年度 γ 辐射连续监测自动站的月均值数据进行分析, 并与实际值进行拟合比较, 得到拟合曲线与实际曲线吻合, 余弦模型能反映出 γ 辐射水平的季节性变化规律的结果。

关键词: 余弦模型; 核电站; γ 辐射水平; 季节变化

中图分类号: X125

文献标识码: A

文章编号: 1674-6732(2010)-04-0036-04

Analysis on Seasonal Trends of γ Radiation Levels around the Nuclear Power Plant Based on Cosine Model

WEI Zheng, ZHANG Ping, ZHU Xiao-xiang

(Jiangsu Provincial Radiation Environmental Monitoring Management Station, Nanjing, Jiangsu 210019, China)

ABSTRACT: Discussed the seasonal trends of the levels and patterns of environmental γ radiation. The cosine model was used to analyze the monthly average of automatic γ radiation continuous monitoring station from 2005 ~ 2008. Compared with actual values, the fitting curve coincided well with the actual curves. The cosine model can reflect the seasonal variation of radiation levels.

KRY WORDS: cosine model; nuclear power plant; γ radiation levels; seasonal trends

自然界广泛存在着多种与时间有关的变化现象, 它们常包涵着某些周期性的变化规律。环境 γ 辐射主要来源于环境中的天然放射性核素、宇宙射线和少量人工放射性核素, 辐射水平受一些环境因素的影响, 在一定范围内波动, 影响的因素主要有降水(雨、雪、雾、霜)、温度、湿度、风沙、土壤含水量、植被、太阳活动等^[1], 人类的生产生活等活动和仪器本底的波动对测量数值也存在一定的影响。余弦模型是周期性回归模型的一种, 既可用于峰值估计, 也可用作期望曲线拟合, 常用于对某些季节性传染病发病的分析, 效果较好^[2]。在此尝试用余弦模型对连云港田湾核电站周围环境 γ 辐射自动监测站的结果进行分析, 以揭示其变化规律, 为更好地进行辐射环境预警预测提供帮助。

1 数据来源和测量方法

环境 γ 辐射水平测值来源于田湾核电站外围辐射环境监测系统^[3], 该系统在核电站周围设有 γ

辐射自动监测站, 选用美国通用电器生产的 RSS-131 高压电离室, 能够快速稳定地测量周围的 γ 辐射空气吸收剂量率。该系统每 5 s 测一个数据点, 在数据后期处理中, 一般取小时均值, 再根据需要进行日平均和月平均, 从而得出 γ 辐射水平的月均值。由于该设备运行十分稳定, 月均值的标准偏差一般在 2 nGy/h 以下。选取离核电站最近、最能反映核电站辐射影响的厂前区自动站 2005—2008 年度的月均值(未扣除仪器的影响)进行分析。

2 余弦模型

简单余弦模型的函数表达式为:

$$H_i = M + A_1 \cos(\omega t_i - \varphi_1) \quad (1)$$

收稿日期: 2009-11-24; 修订日期: 2009-12-15

基金项目: 江苏省环保科研课题项目(2007041)。

作者简介: 韦正(1974—)男, 工程师, 博士, 从事辐射环境监测工作。

式中, t 为自变量, 用角度表示。为了简化计算, 每月按 30 天计, 并取每月 15 日作为为时点, 如 0° 对应于 1 月 15 日, 每年共计 360 d, 因此每 $1^\circ = 1$ d。

利用三角函数变换, 将(1)式变换为:

$$H_i = M + X_{1i} \cos \omega t_i + Y_{1i} \sin \omega t_i \quad (2)$$

式中, $X_{1i} = A_1 \cos \varphi_1$, $Y_{1i} = A_1 \sin \varphi_1$, X_1 和 Y_1 为参数, 将(2)式改用系数表示, 则:

$$H_i = M + C_{1i} X_1 + S_{1i} Y_1 \quad (3)$$

式中, $C_{1i} = \cos \omega t_i$, $S_{1i} = \sin \omega t_i$, 则(3)式为线性回归方程, 其中的参数是线性的。

在周期性回归中, 简单余弦模型不一定能取得很好的拟合效果, 两个余弦曲线叠加起来, 一般就能得到较满意的拟合效果, 称为二谐三角多项式^[4]:

$$H_i = M + A_1 \cos(\omega t_i - \varphi_1) + A_2 \cos(2\omega t_i - \varphi_2) \quad (4)$$

将(4)式仿照(3)式展开后, 得:

$$H_i = M + C_{1i} X_1 + S_{1i} Y_1 + C_{2i} X_2 + S_{2i} Y_2 \quad (5)$$

式中, $X_j = A_j \cos \varphi_j$, $Y_j = A_j \sin \varphi_j$, $C_{ji} = \cos j\omega t_i$, $S_{ji} = \sin j\omega t_i$, ($j = 1, 2, \dots$)

对(4)式应用最小二乘法, 可得方程组(6):

$$\begin{cases} nM + (\sum C_{1i})X_1 + (\sum S_{1i})Y_1 + (\sum C_{2i})X_2 + (\sum S_{2i})Y_2 = \sum H_i \\ (\sum C_{1i})M + (\sum C_{1i}^2)X_1 + (\sum C_{1i}S_{1i})Y_1 + (\sum C_{1i}S_{2i})X_2 + (\sum C_{1i}S_{2i})Y_2 = \sum C_{1i}H_i \\ (\sum S_{1i})M + (\sum C_{1i}S_{1i})X_1 + (\sum S_{1i}^2)Y_1 + (\sum C_{2i}S_{1i})X_2 + (\sum S_{1i}S_{2i})Y_2 = \sum S_{1i}H_i \\ (\sum C_{2i})M + (\sum C_{1i}C_{2i})X_1 + (\sum C_{2i}S_{2i})Y_1 + (\sum C_{2i}^2)X_2 + (\sum C_{2i}S_{2i})Y_2 = \sum C_{2i}H_i \\ (\sum S_{2i})M + (\sum C_{1i}S_{2i})X_1 + (\sum S_{1i}S_{2i})Y_1 + (\sum C_{2i}S_{2i})X_2 + (\sum S_{2i}^2)Y_2 = \sum S_{2i}H_i \end{cases} \quad (6)$$

根据 A , φ 和 X , Y 的关系可求得 A_j , φ_j 并有

$$\text{决定系数 } R^2 = 1 - \frac{\sum (H_{\text{实际}} - H_i)^2}{\sum (H_{\text{实际}} - \bar{H})^2}$$

它是一个反应拟合效果的参数, 表示用余弦模型拟合可使 H_i 的变异减少的百分率。利用以上余弦模型, 可以预测周期性的变化。

将厂前区自动站历年的月均值按余弦模型的角度转换作成图 1。为了看清楚变化趋势, 对 2005 年以后的月均值人为每年往高值平移了 5 nGy/h。

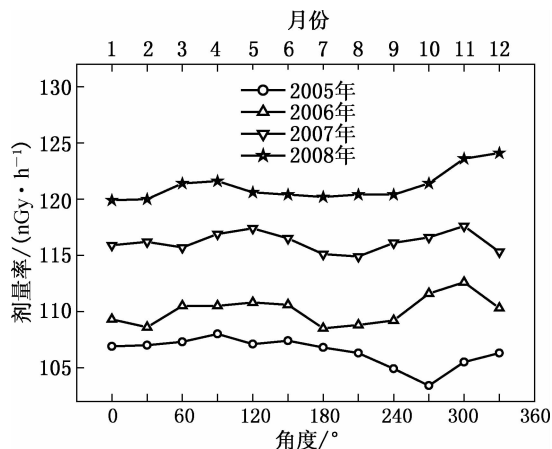


图 1 各年度月均值变化情况

3 拟合结果

各年度月均值变化情况见图 1, 对 4 a 数据作月度平均后进行余弦函数拟合, 用最小二乘法解方程组(6)中的参数, 得:

$$\begin{cases} 12M = \sum H_i \\ 6X_1 = \sum C_{1i}H_i \\ 6Y_1 = \sum S_{1i}H_i \\ 6X_2 = \sum C_{2i}H_i \\ 6Y_2 = \sum S_{2i}H_i \end{cases} \quad (7)$$

由方程组(7)解得含第二谐量的三角多项式为:

$$H_i = 105.97 + 0.371 \cos(t_i - 33.62) + 0.8115 \cos(2t_i - 234.90)$$

将此函数作图, 并与 2005—2008 年的月度均值进行比较, 见图 2。

求出决定系数为 $R^2 = 0.80$, 表明该点环境 γ 辐射水平的季节变动用余弦函数拟合可使 H_i 的变异减少 0.80。

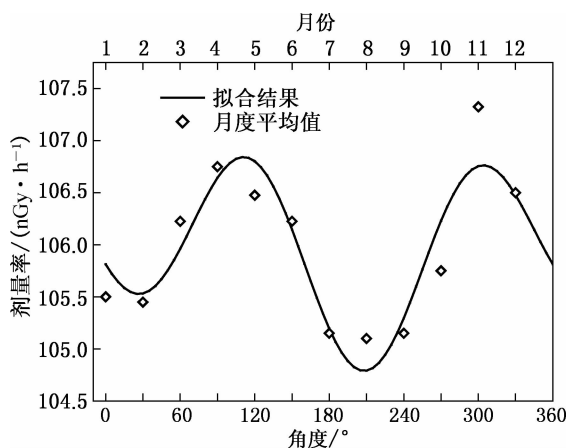


图2 拟合曲线与月度平均值比较

4 讨论

4.1 季节性变化规律

余弦模型用余弦函数来表示,以平均水平 M 、振幅 A 、峰值顶相角 φ 为主要参数来描述周期性变化特征,故可用于分析环境 γ 辐射水平的季节性数据。在此应用余弦模型对田湾核电站厂前区 γ 辐射自动监测站 2005—2008 年数据进行拟合,该函数的最大值出现在 110° 附近,另在 305° 附近有一极大值,对应的日期分别是 5 月 5 日和 11 月 20 日;该函数的最低点出现在 207° 附近,对应的日期为 8 月 12 日,最大值和最小值相差 2.18 nGy/h 。这些结果表明,该点环境 γ 辐射水平在 5 月初和 11 月中下旬较高,在 8 月中旬则出现最低值。对照 3 a 来的月均值变化情况(图 1)也可以看出,总体来说每年的趋势与该模拟曲线是一致的。

4.2 影响因素分析

从降水量的季节变化来看,根据拟合曲线的月度变化趋势, γ 辐射水平高值出现的时间对应于春、秋季节,低值出现的时间对应于夏、冬两季,而根据连云港所属的淮北地区气象资料,春、夏、秋、冬 4 个季节的平均降水量分别为 $60.9, 163.6, 50.7, 21.1 \text{ mm}$,降水量最多和最低的夏、冬两季对应于 γ 辐射水平的低值,降水量适中的春、秋两季则对应于 γ 辐射水平的高值^[5]。可以看出,降水只是影响 γ 辐射水平高低的因素之一,降水的多少并不能决定 γ 辐射水平的变化趋势。

从气温的季节变化来看,淮北地区春、夏、秋、冬 4 个季节的平均气温分别为 $14.2, 25.9, 15.8, 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$,气温最高和最低的夏、冬两季对应于 γ 辐射水平的低值,气温适中的春、秋两季则对应于 γ

辐射水平的高值。因此,温度也只是影响 γ 辐射水平高低的因素之一,气温的高低并不能决定 γ 辐射水平的变化趋势。

从日照时间的长短来看,4 个季节的月平均日照时间为 $199.4, 197.9, 180.6, 160.4 \text{ h}$,日照时间的变化和 γ 辐射水平的变化也未表现出一致的趋势。

由于缺乏其他气象数据,尚不能作进一步的比较分析,但总的来说,气象因素的变化并不是 γ 辐射水平月度变化的决定性因素。

γ 辐射水平的具体变化机理尚不明朗,考虑到目前尚未有直接的环境监测结果表明田湾核电站的运行造成了陆地环境 γ 辐射水平的升高,所以 γ 辐射水平的月度变化很可能是由外部环境因素和仪器设备内部因素综合决定的,很难根据各项因素的影响用公式来准确描述。因此,利用余弦函数来模拟,以时间(月度)这一单一变量来涵盖其他因素的影响,拟合出的结果基本反映了实际测量结果的变化规律,表明这一拟合手段造成的偏离保持在可接受的水平,可以说这是一种较合适的简单、快捷得到 γ 辐射水平月度变化规律的方法。

另一方面,每年 12 个月均值的标准偏差在 1.3 nGy/h 左右,即 $\pm \sigma$ 的区间宽度 2.6 nGy/h 和该拟合函数的振幅 2.18 nGy/h 基本相当,虽然该函数的振幅水平淹没在实际数据涨落水平之中,但是余弦函数的升高和降低规律还是清晰可见的,这从另一角度也表明了该监测系统的仪器本底涨落变化应该更低,约为 1 nGy/h 的水平,否则就无法显示出这一周期性规律。由于环境因素的复杂多变,尤其是气候等综合因素的变化,每年各个月份的监测结果都不尽相同,也不可能机械地重复,但是总体变化趋势是有的,在积累更多年份的数据以后,这一趋势将会更明显。在今后的监测中,可根据历年的监测结果进一步优化。

4.3 实用价值

余弦模拟曲线的得出,对掌握核电站周围环境 γ 辐射水平的季节变化规律和判断分析监测结果有着重要的意义。如果监测结果单向偏离该函数,则可能是系统因素的改变如仪器本底变化或环境本底变化造成的,如果监测结果只是在个别月份明显偏离该函数,则在排除极端气候变化的情况下,有可能归因于异常排放导致的环境 γ 辐射水平的短期升高。因为气态流出物排放的一般都是卤素

(下转第 43 页)

4.2 静置后排放悬浮物影响预测评价

退水口位于纵堤断面外900 m处,距太仓水厂仅2.4 km,若吹填产生的悬砂不采取措施直接排放,根据上述二维水量水质数学模型,计算得到的结果表明悬砂对太仓水厂取水口的水质有直接影响,故考虑在工程吹填区退水口上游,利用储水塘将尾水静置存放4 h后排放,减小高悬浮物含量废水对下游水质的影响。

根据已建立的二维水量水质数学模型,计算得到枯水期大潮情况下,采取措施后吹填产生的悬砂浓度场包络线,如图7所示,其中包络线的最小质量浓度增量取为0.005 mg/L。

由图7可见,采取上述措施后,对悬砂浓度场的影响得到明显的改善,水厂取水口悬砂质量浓度增量仅为0.005 mg/L。

综上所述,该项目吹填将造成周边水域悬浮物浓度增加,会对局部水环境、生态环境产生一定影响。但由于悬砂对受纳水域的污染是短暂的,影响时效仅限于施工期,并且采砂产生的悬砂影响范围离水厂较远,吹填污染范围主要集中在岸边局部水域,利用储水塘将尾水静置存放4 h后排放可大大降低其影响,因此该项目吹填对取水口的影响是有限的。

5 结论

笔者在无结构网格上对偏微分方程进行有限

体积的积分离散,预测采砂吹填作业产生的悬砂对长江水体的水环境影响。由于模型采用黎曼近似解计算水量、动量及污染物输移等通量,不仅提高了数值模拟的精度,而且能模拟包括恒定、非恒定或急流、缓流的水流-水质状态。对采砂吹填作业施工可能引起水体污染的范围和程度的预测为该类型项目环境影响评价的审批提供了科学依据。

[参考文献]

- [1] 范学平,曾德付.沿江施工产生悬浮物对环境的影响分析[J].交通环保,2004,25(6):10-12.
- [2] 吴英海,朱维斌,陈晓华,等.围滩吹填工程对水环境的影响分析[J].水资源保护,2005,21(2):53-56.
- [3] 李蓓.疏浚土吹填泥沙输移扩散数值模拟研究及应用[J].中国港湾建设,2003(2):17-20.
- [4] 车宏宇.营口港扩建工程悬浮物对海域环境影响分析[J].气象与环境学报,2006(2):48-50.
- [5] 赵棣华,戚晨,庾维德,等.平面二维水流-水质有限体积法及黎曼近似解模型[J].水科学进展,2000,11(4):368-373.
- [6] ZHAO D H, SHEN H W. Approximate riemann solvers in FVM for 2D hydraulic shock wave modeling[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 122(12):692-702.
- [7] 洪晓瑜,逢勇.黎曼近似解模型在太湖藻类浓度场求解中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(1):41-44.
- [8] 赵棣华,李褪来,陆家驹.长江江苏段二维水流——水质模拟[J].水利学报,2003(6):73-77.
- [9] 蒋艳,杨珏,赵棣华,等.浅水流动有限体积法/Osher格式的二维水流——水质模拟[J].农村生态环境,2002,18(3):30-33.

(上接第38页)

和惰性气体等半衰期小于8 d的短寿命核素,且其扩散性很好,对环境 γ 辐射水平的影响一般在小时到天的水平^[6]。田湾核电站二期工程在2009年已获国家批准,监管部门将在其周边建设更多的 γ 辐射自动监测站,这一模型的建立对新建站点的月度数据分析,也可起到积极的帮助。

5 结论

笔者采用余弦模型分析得出了 γ 辐射自动监测站反映的环境 γ 辐射水平季节性变化规律,该规律符合一个二谐三角函数,在春季和秋季存在着两个极大值,在夏季和冬季存在两个极小值,该模型对判断核电站周围 γ 辐射水平是否存在异常和预测月度均值变化有着积极的意义,可作为环境 γ

辐射水平预警预测的一个有益模型。

[参考文献]

- [1] 刘建,杨斌.秦山核电基地外围环境 γ 辐射连续监测系统[J].辐射防护,2005,25(5):296-304.
- [2] 谢学勤,高京晓,孙贤理.余弦模型在痢疾发病季节性研究中的应用[J].中国公共卫生,2000,16(6):560-561.
- [3] 王凤英,朱晓翔.田湾核电站外围环境 γ 辐射连续监测系统开发研究[J].中国辐射卫生,2009,18(4):301-304.
- [4] 王丙刚,曲波,郭海强,等.传染病预测的数学模型研究[J].中国卫生统计,2007,24(5):536-540.
- [5] 姜爱军,项瑛,彭海燕,等.近40年江苏省各区域气候变化分析[J].气象科学,2006,26(5):525-529.
- [6] 方栋,李红.核设施正常工况下放射性气态流出物对公众影响评价的现状与建议[J].辐射防护,2000,20(6):333-340.