

²²²Rn 在大气输运研究中的示踪应用*

滕海云** 郭秋菊 马 丁

(北京大学物理学院, 100871)

摘 要 本文简要回顾了²²²Rn及其子体示踪应用的主要方面,介绍了国内外对利用²²²Rn及其子体在预报地震和大气物质输运研究这两方面的工作。对这些示踪应用而言,要进行准确的定量分析和数值模拟,必须对²²²Rn及其子体在大气中的输运规律有细致的了解,这一点可以通过研究其动力学特征,建立输运模型来实现。本文中列举了部分对²²²Rn及其子体输运模式的研究,对比上层大气中的简单输运模型,一个比较全面的²²²Rn输运模型还需要考虑地表层结大气中的复杂的动力学因素,并将其作为²²²Rn在上层大气输运模型中的下垫面边界条件。

关键词 氡 大气输运 扩散模型 数值模拟

1 前言

²²²Rn是²³⁸U衰变链中²²⁶Ra的衰变产物,属于惰性放射性气体,半衰期 3.823 d。²²⁶Ra广泛存在于岩石、土壤等各种地质环境中,地表析出²²²Rn气体的量(析出率)不仅与当地²²⁶Ra含量有关,也与该地区的地质及气候环境有着很大的关联。由于环境中²²⁶Ra的含量是相对稳定的,因此地质环境的改变与地表²²²Rn析出率的变化有着成因关联,这也是理论上²²²Rn可以用于预测地震的根据。近年来氡作为示踪剂研究各种大气气团和气溶胶类物质传输的应用日益受到关注。

²²²Rn从土壤的析出很大程度上取决于地质结构,如含水量、土壤颗粒或岩石中孔隙的几何性质等,此外气压和温度等大气参数也有一定的关联。在²²²Rn析出率较高的一些地质结构,如温泉、地下水等往往也同时有伴生的氦气析出,由于氦气本身的测量比较困难,因此²²²Rn有时被作为寻找氦气的示踪气体^[1]。Shijin Okawa等^[2]对日本的室外²²²Rn浓度进行了广泛的测量,中国也对同样的研究进行了调查

测量和统计^[3]。对于同一个地质地貌区域的²²²Rn析出率,其相对波动并不是很大,可以用随时间缓慢变化的一个平均值来表示,这为建立²²²Rn在大气中的三维输运模型提供了方便简化的边界条件。不过,由于近地层特别是贴地层(离地面 0~2 m的范围)的大气动力学因素十分复杂,如果使用地表²²²Rn析出率作为模型的下垫面边界条件,而模型的动力学描述又采用比较简单的上层大气的动力学方程,则计算的结果往往不是很精确,但还是能反映²²²Rn浓度的一些变化规律。析出后的²²²Rn将与其子体达到放射平衡,A. A. Silva等^[4]对此进行了详尽的计算,分析了探测器计数与各个子体浓度的关系。本文主要介绍了²²²Rn在示踪方面的应用和²²²Rn大气输运的建模,目的是在现有输运模型的基础上进一步作出改进,提高模拟的准确度。

2 氡示踪研究的应用

2.1 氦气在预报地震和火山方面的应用

对²²²Rn用于地震预报方面的研究,Vivek

* 国家自然科学基金资助项目(项目编号:10775007)

** 第一作者简介:滕海云,男,1982年1月出生,北京大学物理学院技术物理系硕士研究生。

Walia等^[5]研究了喜马拉雅山脉一带的地震和地表 ^{222}Rn 析出率的关系,发现在测量点的地震强度和测量点距震源距离与测量点 ^{222}Rn 浓度两者乘积的对数之间存在比较好的线性关系。B. Zmazek等^[6]对温泉中 ^{222}Rn 浓度与地震的关系也做了类似的观测。其他的测量还表明,在大地震发生之前,震源一带地表附近的空气温度会上升,当时曾认为这是由于地壳内的热流溢出的原因。然而相关的研究发现在地震发生前的同一时段,地表空气的潜热流(SLHF)与湿度都发生了异常的变化,这些现象不能用地热流溢出来解释。Mohamed M. Moussa等^[7]在埃及考察了地质断面层中的 ^{222}Rn 含量,发现其中孔隙地质结构所含的 ^{222}Rn 要比其他地质结构下的高出3~6倍,并由地质水样中的 HCO_3^- 含量超标判定是地震板块活动造成的结果。另外的监测还发现地震发生前同时期地表 ^{222}Rn 的析出率也出现了异常。据此,S. A. Pulinets等^[8]提出了另一种解释,认为是地表大量析出的 ^{222}Rn 衰变的固态子体形成气溶胶颗粒,其分子化学势使颗粒很容易吸附水分子,导致大气中潜热的释放。另外,在大地震前期,电离层也会出现异常变化。M. S. Chandrashekar等^[9]研究了 ^{222}Rn 及其子体对低空电离层的影响,发现相对而言宇宙射线对2 km以下的近地电离层的贡献是很稳定的,电离层的异常与 ^{222}Rn 浓度的异常表现出相吻合的趋势。这也说明,震前地表析出的大量 ^{222}Rn 及其带电子体引起了近地电离层的异常。V. M. Solokin等^[10]详细讨论了近地电离层异常的演化机制和具体过程,给出了电离层电子密度空间分布受扰动的计算方法。N. Segovia等^[11]对电离层遥感和地表 ^{222}Rn 浓度的测量也证实了这一点。可见, ^{222}Rn 在地震和火山前期的异常预测中起到了重要的作用。Nisith K. Das等^[12]在印度和孟加拉西部建立了系统的测量站点,长期监测温泉中析出的 ^{222}Rn 及其子体的浓度变化,在2004年12月到2005年2月期间的 ^{222}Rn 和子体的浓度都发现了异常的增高,对应的地震事件紧随其后发生在印尼。尽管 ^{222}Rn 在准确的预报地震和推测震源方面的应用还没有成熟,但是仍然被认为是一个有发展潜力的方向。

从预报地震和推测震源的应用要求来看,无论是通过监测大气中 ^{222}Rn 的浓度,还是通过卫星遥感监测大气温度和电离层异常,都需要了解 ^{222}Rn 在大气中的输运特性。

2.2 氡示踪在大气输运研究中的应用

氡示踪的另一个更直接的用途是研究大气的物质输运过程。日本T. Sakashita等^[13]用氡的大气输运模型进行数值模拟,将氡的来源分为中国南部、中国中部、中国北部、俄罗斯远东地区、朝鲜半岛地区5个大区域,计算分别来源于上述区域的 ^{222}Rn 到日本岛的输运结果,并在本土的Kanazawa和Nagoya建立了氡测量站,通过检测 ^{222}Rn 浓度的变化,检验模型计算结果与实际测量结果的吻合程度,并评估了低压气团的移动对 ^{222}Rn 输运的影响。S. Gamarini^[14]在意大利北部也对 ^{222}Rn 在地表大气层的扩散进行了测量分析。为了克服传统傅立叶分析法和直接时域观测不能明确的观察到各种气象因素对 ^{222}Rn 在地表大气层扩散的影响这一缺陷,S. Gamarini采用小波分析的方法,使用了简单的模型来重现 ^{222}Rn 在大气表面层的输运流图象。北京大学的张立国等^[15]对 ^{222}Rn 在大气中的输运进行了建模,利用大气模式软件MM5获得其动力学方程组所需要的风场等信息,进行了数值模拟。模式软件MM5是Pennsylvania State University和University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)共同开发的天气预报并行处理软件(<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>),并且可以免费使用。MM5可以用来获取数值模拟中需要的各种气象资料,如网格经纬度资料、高层资料、垂直分层、土地利用形态、大气压力及风场资料等等。张立国的文章中将数值模拟的计算结果与来自北京本地氡测量站的记录数据相比较,验证发现模拟计算的结果很好地重现了大气 ^{222}Rn 浓度的变化趋势。在这些应用中, ^{222}Rn 在大气中的输运特性的动力学描述,直接影响到模拟结果的准确性。

3 ^{222}Rn 在大气中的输运规律研究

3.1 氡的近地垂直输运

对 ^{222}Rn 在大气中的输运特性,最初的研究方法是选择一些典型的地理环境进行一系列的

定点测量。在研究的区域中,设立若干个长期的测量点,在监测 ^{222}Rn 浓度变化的同时,记录研究区域的各种大气参数,经过一段时间的观测后,通过 ^{222}Rn 浓度变化的时间谱,分析各个大气参数对测量点 ^{222}Rn 浓度的影响。在各个不同地域的定点测量中,通过分析地表温度和大气参数的变动和对应时刻室外大气中 ^{222}Rn 浓度的变化趋势,获得地表附近大气层中 ^{222}Rn 的垂直输运规律。Lucia Sesana 等^[16]对 Milan 和阿尔卑斯山区域的多山和湖泊地貌进行了这方面的观测。与其他地区的测量结果类似, ^{222}Rn 浓度表现出了日周期变化的规律,在清晨达到一个极大值,然后在午后出现极小值。通过对测量结果的定性分析给出近地表大气中 ^{222}Rn 的垂直输运的典型规律:在夜间地表温度低于空气温度,形成了一个逆温层,这时地表大气层是稳定的,由于温差的逆转,垂直方向的对流减弱,地表析出的 ^{222}Rn 在近地的大气中积累起来,形成一个高浓度的峰;白天地面被加热后,地表大气层稳定性逐渐被破坏,垂直对流不断增强,高浓度的 ^{222}Rn 气团随垂直湍流被带上高空与上层大气混合,因此近地 ^{222}Rn 浓度减小,对应的在接近中午的时间段内,海拔较高的

山地上 ^{222}Rn 浓度出现极大值。当区域附近有大面积的水域时,温差逆转程度减小,逆温层形成的频率增加,且逆温层的有效高度要减小一些。K. Nagaraja 等^[17]对此过程也作了较详细的说明。Adriana Celestina Baciu^[18]在罗马尼亚研究了风速、气压等大气参数对此过程的影响,印证了 ^{222}Rn 浓度与大气各个参数的定性关系。

对于 ^{222}Rn 在大气中输运特性定量的研究方面,上面提到的 S. Gamarini^[14]在意大利北部的研究中,着重分析了大气风场对 ^{222}Rn 的影响,使用小波分析的方法指出周期性强风和短时期的突发风场对 ^{222}Rn 浓度的影响。此外, A. Lupu 等^[19]从 ^{222}Rn 及其子体的动力学角度出发,总结了 ^{222}Rn 及其子体在大气中输运的影响因素。在其关于 ^{222}Rn 垂直输运的模型中考虑了如下的作用因素:衰变作用,子体颗粒附着与排斥作用,空气湍流产生的涡动应力,干湿沉降和雨水冲刷;由于地表大气层中垂直方向的风场可以忽略,模型中并没有考虑到风场的输运作用。于是 A. Lupu 等在文章中得出氡及其子体垂直湍流扩散运动的基本方程组和边界及初始条件为^[19]:

$$\frac{\partial C_0(z, t)}{\partial t} = \left\{ \frac{\partial}{\partial z} K(z, t) \frac{\partial}{\partial z} - \right\} C_0(z, t) \tag{1}$$

$$\frac{\partial C_j^f(z, t)}{\partial t} = \left\{ \frac{\partial}{\partial z} K(z, t) \frac{\partial}{\partial z} - [\lambda_j + X + \nu^f(z, t) + \nu^f(z)] \right\} C_j^f(z, t) + \lambda_{j-1} C_{j-1}^f(z, t) + R_{\rho} \lambda_{j-1} C_{j-1}^a(z, t) \tag{2}$$

$$\frac{\partial C_j^a(z, t)}{\partial t} = \left\{ \frac{\partial}{\partial z} K(z, t) \frac{\partial}{\partial z} - [\lambda_j + \nu^a(z, t) + \nu^a(z)] \right\} C_j^a(z, t) + X C_j^f(z, t) + (1 - R_{\rho}) \lambda_{j-1} C_{j-1}^a(z, t) \tag{3}$$

相应的边界条件

$$- K(z, t) \frac{dC_0(z, t)}{dz} \Big|_{z=0} = E \tag{4}$$

$$K(z, t) \frac{dC_j^{a(f)}(z, t)}{dz} \Big|_{z=0} = v^{a(f)}(0) C_j^{a(f)}(0, t), j = 1 \sim 3 \tag{5}$$

$$\lim_{z \rightarrow \infty} C_j^{a(f)}(z, t) = 0, j = 0 \sim 3 \tag{6}$$

初始条件

$$C_j^{a(f)}(z, t) \Big|_{t=0} = C_j^{0, a(f)}(z), j = 0 \sim 3 \tag{7}$$

式中, C_0 为氡浓度; C_j 为氡子体放射性浓度; K 为湍流扩散系数; λ 为衰变常数; R 代表结合态的子体中由于衰变而反冲分离出去的比率; X 是平均吸附率; λ_d 代表干沉降率; λ_w 代表清洗系数; δ_{ij} 为 Kronecker delta函数; E 为地表氡析出率; v 为地表高度的平均沉降速度 (与 λ_d 相关); 下标 $j = 0, 1, 2, 3$ 分别代表氡及其子体 RaA、RaB、RaC 的编号; 上标 a 与 f 分别代表结合态和未结合态的子体。利用上述 ²²²Rn 及其子体的动力学方程, 经过数值求解即建立出 ²²²Rn 及其子体的垂直分布计算程序。由于研究目的仅在于建立相关的模型, 如何获得这些方程组的参数并不在本文的讨论范围之内, 该程序的各个参数都要求使用预定的格式手动输入, 在 CPC 的网站上 (<http://cpc.cs.qub.ac.uk/summaries/ADPB>) 提供了程序的下载。

地表大气层 ²²²Rn 的垂直运输规律可以作为上层大气中 ²²²Rn 传输模型的一个下垫面边界条件。由上所述, 在近地层和贴地层中的大气动力因素十分复杂, 不但受到较强的涡动应力影响, 还受到地表形状、人类活动、空气黏滞

应力和热动力环流等多方面的影响。一个精确研究 ²²²Rn 在大气中运输的模型, 不应该直接采用地表 ²²²Rn 的析出作为其下垫面边界条件, 而是应该先考虑 ²²²Rn 从地表析出, 再经过地表大气层中的垂直运输过程, 才达到符合其在上层大气中的动力学运动规律的高度。²²²Rn 在地表大气层中水平运输的忽略是合理的, 因为在这个高度上 (尤其是动力学因素最复杂的贴地上), 由于地形和空气黏滞应力以及涡动应力的影响, ²²²Rn 水平扰动和运输的特征尺度相对于上层大气中 ²²²Rn 的水平运输尺度来说是很小的。在一个研究较大地域范围内的 ²²²Rn 大气运输模型中, 可以认为局域地表析出的 ²²²Rn 在地表大气层结高度内的水平传输仍然是限制在局域范围内的。利用前面提到的各种 ²²²Rn 在地表大气层结中的垂直运输模型, 可以很方便的为 ²²²Rn 在上层大气中的运输模型提供一个更加完善的下垫面边界条件。图 1 即是一个上述观点的示意图, 描述了地表大气层结和上层大气这两个不同空间层次中 ²²²Rn 的运输模型的耦合。

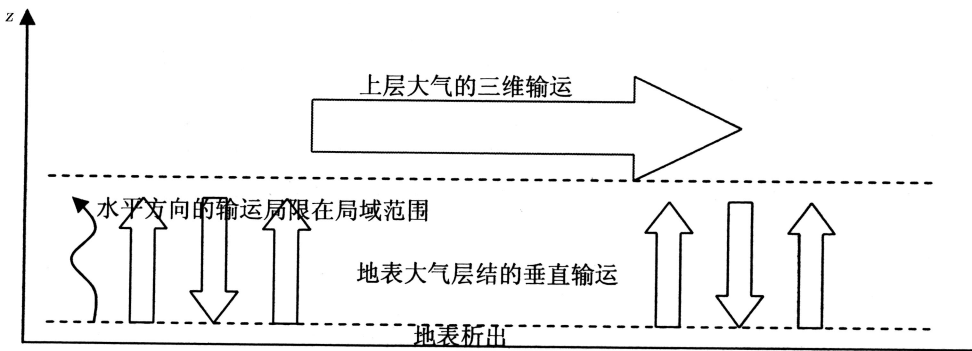


图 1 ²²²Rn 在大气中的分层运输模型

Fig. 1 ²²²Rn transportation in different layers of atmosphere

3.2 氡在上层大气中的运输

张立国等^[15]对 ²²²Rn 在大气中的运输建立了动力学方程模型。由于研究氡气的运输不需要考虑气溶胶子体的吸附和沉降作用, 而降雨对 ²²²Rn 的清除作用也很微弱, 仅需要考虑 ²²²Rn 自身的衰变。张立国等的文章中, 在忽略地球自转等效效应后, 得到 ²²²Rn 在大气中的三维动力

学运输方程为^[15]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial uC}{\partial x} - \frac{\partial vC}{\partial y} - \frac{\partial wC}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S - \lambda C \quad (8)$$

式中, C 为 ²²²Rn 浓度, u, v, w 为风速场分量; K 为湍流扩散系数; S 为 ²²²Rn 的生成项; λ 为 ²²²Rn 的衰变常数。

在进行数值模拟的过程中,考虑到是垂直层结决定了边界层结的主要特征,且垂直方向的风场对²²²Rn输运的贡献很小,因此初步的研究中仅仅考虑了垂直方向的湍流输运过程,建立一个一维的垂直输运模型。张立国在文章中给出简化后的一维输运方程和其边界条件^[15]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - C \quad (9)$$

$$\left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \Big|_{z=z_0} = E \quad (10)$$

$$C / z = z_{\max} = 0 \quad (11)$$

式中, E 为地表氡析出率, z_0 和 z_{\max} 分别是模型

中的地表高度和上边界高度。

该模型的另一个简化之处在于,提供气象参数的大气模式软件 MM5 对近地层的模拟存在高度下限,无法输出地表层结高度的气象资料,只能使用近似插值的方法估算所需要的参数,因此对于地表大气层结中湍流较强且以垂直湍流输运为主的情况,模拟的准确性并不能得到很好的保证。张立国等的文章中选取此模型在距地面 10 m 处作出的数值模拟值与相应的实际测量值进行了对比。图 2 引用了该文章中这两条²²²Rn浓度的变化曲线^[15],使用的时间是协调世界时 UTC。

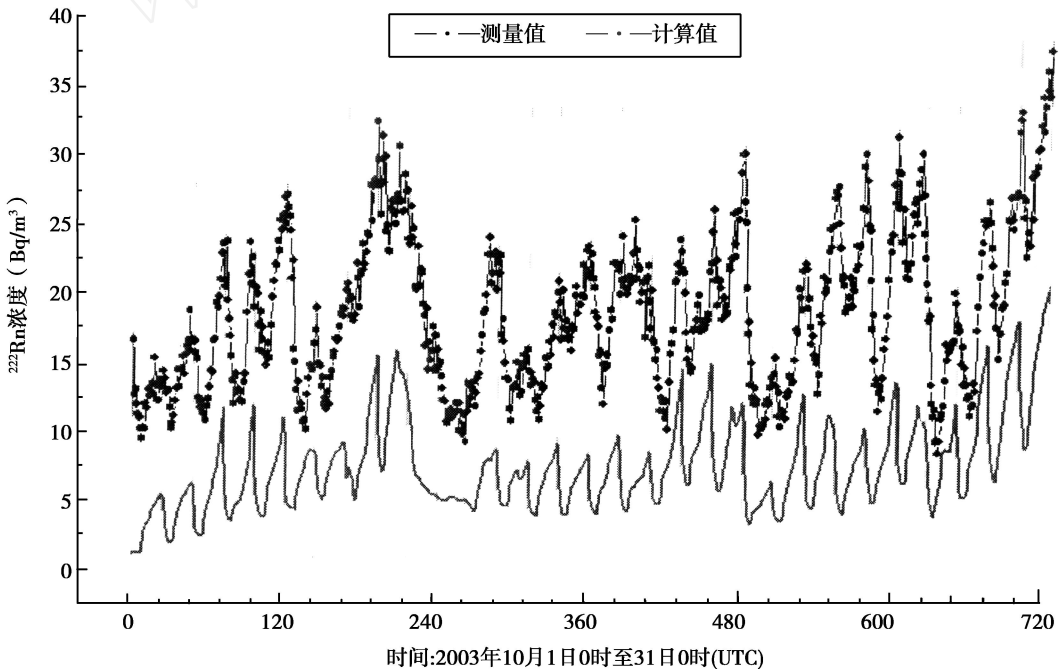


图 2 ²²²Rn 计算浓度序列与测量浓度序列比较^[15]

Fig. 2 Comparison of calculated and measured ²²²Rn concentration sequences

从图 2 可以看到,虽然整体上数值模拟再现的²²²Rn浓度偏低,但从变化趋势上很好地符合了测量结果。²²²Rn浓度的计算值序列与测量值序列之间的相关系数为 0.76。

目前该模型正在进一步的完善,拟将在模拟计算过程引入水平方向的输运机制和地球自转影响作用,形成一个完善的三维输运模型。并通过研究²²²Rn在地表层结的垂直传输行为

作为模型新的下垫面边界条件(见图 1),期待能更好地模拟²²²Rn在大气中的输运行为。

4 小结

²²²Rn在地震预报和大气输运研究方面是一个很好的示踪核素,为了准确地进行示踪和回溯,需要了解其在大气中的输运规律,并建立足够精确的动力学模型来模拟。一个比较合理

和方便的方法是将其动力学模型分成地表大气层和上层大气层两部分。 ^{222}Rn 在地表层结的动力学行为可以只考虑垂直方向的输运,并将其作为 ^{222}Rn 在地表析出与上层大气运输的一个中间层,作为更准确地描述 ^{222}Rn 在上层大气中运输模型的下垫面边界条件。

参考文献

- 1 Debasis Ghose, Debasish Paul, Sastri R C. Radon as a tracer for helium exploration in the geothermal areas. *Radiation Measurements*, 2003. 36: 375
- 2 Shinji Oikawa, Nobuyuki Kanno, Tetsuya Sanada, et al. A nationwide survey of outdoor radon concentration in Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2003. 65: 203
- 3 Zuoyuan Wang. Natural radiation environment in China. *International Congress Series 1225*, 2002. 39
- 4 Silva A A, Clau L H. Surface air radon progeny at sao jose dos campos, Brazil. *Atmospheric Environment*, 2005. 39: 4619
- 5 Vivek Walia, Virk H S, Bajwa B. S, et al. Relationships between radon anomalies and seismic parameters in N-W Himalaya, India. *Radiation Measurements*, 2003. 36: 393
- 6 Zmazek B, Todorovski L, Zivcic M, et al. Radon in a thermal spring: identification of anomalies related to seismic activity. *Applied Radiation and Isotopes*, 2006. 64: 725
- 7 Mohamed M Moussaa, Abdel-Gabar M El Arabih. Soil radon survey for tracing active fault: a case study along Qena-Safaga Road, Eastern Desert, Egypt. *Radiation Measurements*, 2003. 37: 211
- 8 Pulinets S A, Ouzounov D, Karelin A V, et al. The physical nature of thermal anomalies observed before strong earthquakes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2006. 31: 143
- 9 Chandrashekar M S, Sannappa J, Paramesh L. Studies on atmospheric electrical conductivity related to radon and its progeny concentrations in the lower atmosphere at Mysore. *Atmospheric Environment*, 2006. 40: 87
- 10 Sorokin V M, Yaschenko A K, Hayakawa M. Formation mechanism of the lower-ionospheric disturbances by the atmosphere electric current over a seismic region. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2006. 68: 1260
- 11 Segovia N, Pulinets S A, Leyva A, et al. Ground radon exhalation, an electrostatic contribution for upper atmospheric layers processes. *Radiation Measurements*, 2005. 40: 670
- 12 Nisith K Das, Hirok Choudhury, Bhandari R K, et al. Continuous monitoring of ^{222}Rn and its progeny at a remote station for seismic hazard surveillance. *Radiation Measurements*, 2006. 41: 634
- 13 Sakashita T, Doi M, Nakamura Y, et al. A case study of radon-222 transport from continental north-east Asia to the Japanese islands in winter by numerical analysis. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2004. 72: 245
- 14 Gamarini S. One year of ^{222}Rn concentration in the atmospheric surface layer. *Atmos Chem. Phys. Discuss*, 2005. 5: 12895
- 15 张立国, 郭秋菊. 计算室外大气中氡浓度的模型. *辐射防护*, 2006. 26(6): 340
- 16 Lucia Sasana, Barbara Ottobrini, Giancarla Polla, et al. ^{222}Rn as indicator of atmospheric turbulence: measurements at lake maggiore and on the pre-alps. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2006. 86: 271
- 17 Nagaraja K, Prasad B S N, Madhava M S, et al. Radon and its short-lived progeny: variations near the ground. *Radiation Measurements*, 2003. 36: 413
- 18 Adriana Celestina Baciu. Radon and thoron progeny concentration variability in relation to meteorological conditions at Bucharest (Romania). *Journal of Environmental Radioactivity*, 2005. 83: 271
- 19 Lupu A, Cuculeanu V. Code for calculating the vertical distribution of radon isotopes and their progeny in the atmosphere. *Computer Physics Communications*, 2001. 141: 149

(编辑部收稿日期 2006年 10月 27日)

(下转第 35页, Continued on page 35)

RESEARCH ON ELECTROMAGNETIC RADIATION OF URBAN INDOOR ENVIRONMENT IN JIANGXI PROVINCE

Wan Zhiyong Yang Xin Zhang Li Xu Changren Li Ying

(Jiangxi Environmental Monitoring Center, Nanchang, 330029)

Abstract The paper reports the findings of electromagnetic radiation levels in urban indoor environment in Jiangxi Province. A survey was conducted of electromagnetic radiation from some kinds of lamps and lanterns in market and the effects of lamps and lanterns on the indoor electromagnetic radiation levels. The results have shown that 1) the electromagnetic radiation in urban indoor environment in Jiangxi are still at low level. Among 483 places in ten cities, the electromagnetic radiation levels are in the range from 0.01 V/m to 3.53 V/m, with an average of 0.23 V/m; 2) the electromagnetic radiation in indoor environments around communication base stations are obviously higher than those in other environment, and 3) the electromagnetic radiation from some lamps and lanterns are very high, with the maximum of 500 V/m resulting in a sharp increase in indoor electromagnetic radiation level within 1 m of the lamps and lanterns. The environmental standards on lamps and lanterns should be established and the market management should be enhanced.

(Key Words: Jiangxi Province, Indoor Environment, Electromagnetic Radiation, Research)

(上接第 23页, Continued from page 23)

THE APPLICATION OF ^{222}Rn AS A TRACER IN ATMOSPHERE TRANSPORTATION STUDY

Teng Haiyun Guo Qiuju Ma Ding

(School of Physics, Peking University, Beijing, 100871)

Abstract ^{222}Rn and its progeny are widely applied as a tracer in many studies, mainly for the prediction of earthquake and atmosphere transportation of pollutants. Precise simulations on the transportation of ^{222}Rn and its progeny, which could be deduced from their kinetic characteristics, are required. With respect to the kinetic model in the upper atmosphere, the perpendicular transport model for ^{222}Rn in the near ground layer support a reasonable configuration as the bottom edge of the former.

(Key Words: Radon, Atmosphere Transportation, Diffusion Model, Numerical Value Simulation)