



论文

西藏地区宇宙射线吸收剂量率变化规律探讨

黄超云^{①②}, 林权益^{①*}, 樊启慧^②

① 环境保护部核与辐射安全中心, 北京 100082;

② 西藏自治区辐射环境监督站, 拉萨 851499

* E-mail: linqy2004@163.com

收稿日期: 2015-07-14; 接受日期: 2015-10-26; 网络出版日期: 2015-12-23

摘要 以西藏人口权重分布中心轴线北纬 30°线为基线, 分别测量研究了我国从东到西, 分布在基线周围的几个地方的宇宙射线的吸收剂量率, 应用最小二乘法拟合出经验公式. 通过对比分析各种经验公式和西藏实地测量检验, 证明该公式更符合西藏地区高海拔的实际.

关键词 宇宙射线, 吸收剂量率, 海拔, 经验公式

1 引言

环境天然辐射本底包括宇宙射线和地表 γ 辐射, 而宇宙射线是环境天然本底辐射最重要的组成部分. 宇宙射线辐射是来自外太空的高能辐射以及其次生射线, 其所致辐射剂量率受海拔高度、地磁纬度和太阳活动周期等因素的影响, 但最主要的影响因素是海拔高度与地磁纬度^[1-3]. 西藏地区处于东经 78°25'~99°06'、北纬 26°44'~36°32'之间, 平均海拔 4000 m 以上, 北纬 30°一线是西藏人口权重分布最大的中心轴线. 因此, 本文以北纬 30°为基线, 从东到西进行宇宙射线吸收剂量率的测量研究. 西藏地区地形特别复杂, 沟壑纵横, 海拔高差悬殊, 地貌有极高山、高山、中山、低山、丘陵和平原等, 路遥地远交通极为不便. 因此, 得出适合西藏地区的宇宙射线吸收剂量率估算的经验公式, 对于提高西藏辐射环境监测与监管的工作效率, 以及评价天然辐射所致居民剂量有着重要意义.

2 测量仪器和方法

2.1 测量条件

水面上测量均采用采用 RSS-131 型高压电离室. 测量地点选择水面宽度大于 2000 m、水深大于 10 m 的大型淡水湖泊上测量, 为了最大限度地降低人为制造物体的影响, 测量时统一租用当地有机玻璃钢游船. RSS-131 型高压电离室测量范围为 10 nGy/h~87.3 mGy/h, 在 60 keV~10 MeV 能响范围内, 相对于¹³⁷Cs 的(661.7 keV) $\leq \pm 30\%$, 剂量率测量的总不确定度 $\leq 9\%$. SIM-MAX 100G-NaI 型剂量率仪测量范围为 100 nSv/h~100 μ Sv/h、能响范围为 30 keV~3 MeV, 能响相对固有误差小于 $\pm 15\%$. 两种仪器均经中国计量科学研究院检定.

淡水水体中含量极少的放射性物质、以及自然空气中氡及其子体、探测器本身本底和测量者体内⁴⁰K等均微量影响测量结果. 中国原子能科学研究院的

引用格式: 黄超云, 林权益, 樊启慧. 西藏地区宇宙射线吸收剂量率变化规律探讨. 中国科学: 技术科学, 2016, 46: 191-194

Huang C Y, Lin Q Y, Fan Q H. Cosmic ray ionization rate measurement in Tibet and empirical formulas for different altitude (in Chinese). Sci Sin Tech, 2016, 46: 191-194, doi: 10.1360/N092015-00233

高飞等人^[6]在 2013 年使用同类 RSS-131 型高压电离在密云水库水面上测量, 得到水中放射性物质、空气中氡及其子体、探测器本身本底和测量者的影响能引起约 7 nGy/h 的偏差, 通常情况下西藏宇宙射线吸收剂量率均高于 100 nGy/h, 占比为 3.9%~6.5%之间, 本研究工作主要为西藏地区宇宙射线吸收剂量率测量提供快速估算, 按照业界和全国环保系统通常做法, 由此引起的偏差可以接受。根据中国原子能科学研究院的岳清宇和金花^[1]研究得出的经验公式, 北纬 26°~32°之间, 海拔 3000 m 地方, 地磁纬度仅能引起约 1.4 nGy/h 的偏差, 占比为 1%左右, 由于西藏主要人口聚集分布在北纬 30°线附近, 国家辐射环境监测点分也布此纬度线且呈轴线集中分布, 因此本研究忽略纬度差异所引起的以上微小偏差。在 10 年范围内太阳黑子活动对宇宙射线的影响和纳木错为微咸水湖对测量的影响均未予考虑, 考虑在以后研究中另行修正。

2.2 西藏地区各地实地验证方法与分析

西藏适合宇宙射线测量的大型湖泊分布极度不均匀, 同时考虑到西藏辐射环境监督站仪器配备与测量条件等的实际情况, 采用 RSS-131 型高压电离室和 SIM-MAX 100G-NaI 型剂量率仪相结合的方法进行多地实地验证。即在同一测量地点, 两种仪器均按照《环境地表γ辐射剂量率测定规范》分别测量, NaI 剂量率仪对宇宙射线响应近乎为零, 其测量到的基本是测量地点的地表γ辐射, 而高压电离室能够测量到宇宙射线和地表γ两种成分的辐射^[4,5], 用高压电离室测量结果减去 NaI 剂量率仪测量结果, 则为宇宙射线电离成分的吸收剂量率。

3 结果与讨论

3.1 北纬 30°线附近各地测量结果与经验公式拟合

表 1 列出了北纬 30°线附近水面宇宙射线电离强度的实测结果。由表 1 可知, 测量无需考虑日变化和温度变化, 测量点的纬度变化范围为北纬 26°~32°, 海拔高度范围为 5~4733 m, 宇宙射线吸收剂量率约为 34~180 nGy/h。

本研究采用最小二乘法对表 1 各地宇宙射线吸收剂量率实测数据进行 e 关系拟合, 得出了北纬 30°线暨西藏地区宇宙射线吸收剂量率随海拔高度的变

表 1 宇宙射线吸收剂量率随海拔高度变化的实验值^{a)}

名称	实测值 (nGy/h)	海拔 (m)	北纬
纳木错	181.3±4.8	4733	30.48°
班公湖	140.3±3.8	4242	32.42°
巴松错	111.0±3.6	3470	30.06°
泸沽湖	79.6±3.6	2687	27.42°
洱海	63.0±3.3	1983	25.38°
抚仙湖	45.3±1.7	1722	24.40°
邛海	62.0±2.6	1508	27.81°
大金湖	37.2±2.9	278	26.85°
洞庭湖	34.7±3.6	31	29.31°
东钱湖	34.1±2.5	5	29.76°

a) 测量条件为 4~5 月天气晴朗下, 西藏地区 11~13 时、内陆地区 10~11 时, 气温 10~15℃。测量计数间隔为 30 s, 取 100 个数据的均值

化规律, 拟合曲线如图 1 所示, 拟合出经验公式如下:

$$\dot{D} = 30.54e^{0.0003696h}, \quad (1)$$

式中, h 均为海拔高度, 单位为 m; $\dot{D}$ 为宇宙射线吸收剂量率, 单位为 nGy/h。

3.2 三个经验公式在青藏高原的应用比较

根据文献报道^[1~3], 大约每减小大气压 13332 Pa 电离强度增加 3.5%。目前我国内地仍普遍采用的是 20 世纪 80 年代岳宇清提出的宇宙射线电离强度随海拔高度变化的经验公式:

$$\dot{D} = 32 \exp(0.0000727h^{1.184}). \quad (2)$$

基于全球的研究成果, UNSCEAR 2000 年报告给出的宇宙射线电离强度随海拔高度变化的经验公式^[7]:

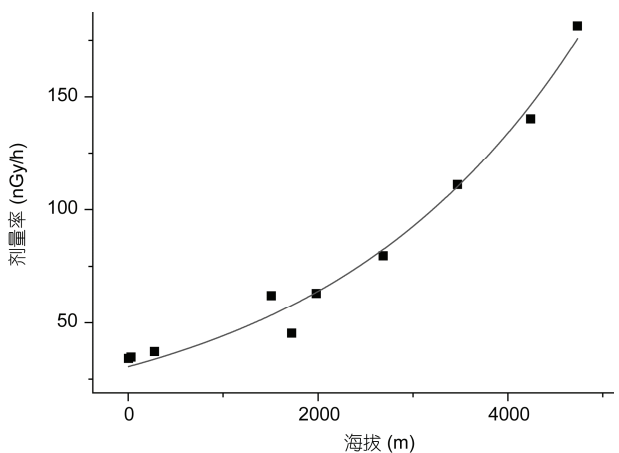


图 1 宇宙射线吸收剂量率随海拔高度变化的拟合 e 指数曲线

$$\dot{D} = 32(0.21e^{-0.001649h} + 0.79e^{0.0004528h}), \tag{3}$$

式中, h 均为海拔高度, 单位为 m , $\dot{D}$ 为宇宙射线吸收剂量率, 单位为 nGy/h .

将经验公式(1)~(3)对应曲线放在同一坐标系(图 2), 并把西藏地区纳木错、班公湖、巴松错等 3 个湖面宇宙射线吸收剂量率数据在图上标注. 从图 2 可以看出: 在海拔 2000 m 以下, 3 条曲线相互重叠较多, 说明低海拔区域 3 个拟合公式都有很好的适用性; 但在海拔 3000 m 以上区域, 3 条曲线明显分开; 到海拔 4000 m 以上时公式(3)曲线值比西藏三地区实测值偏高 20%, 说明公式(3)在高海拔的青藏高原适用性差; 在海拔 3000~5000 m 之间, 公式(1)与(2)的结果相差 10%左右, 并呈平行趋势, 西藏地区实测值更靠近公式(1)对应的 e 指数曲线, 说明了本研究的经验公式在西藏地区进行宇宙射线吸收剂量率测量时更具有实际使用价值.

3.3 经验公式在西藏实地测量的应用与验证

验证测量地点选择在西藏地区两个人口大市拉萨市和日喀则市, 测量点的纬度范围为北纬 28°~30°, 海拔高度范围为 2800~4400 m , 宇宙射线吸收剂量率范围约为 79~160 nGy/h . 为了对比分析, 根据各测量点的海拔高度, 应用本研究拟合的经验公式(1)进行理论估算, 将计算值与实测值比值列于表 2. 可以看出计算值与实测值比值在 1 左右上下变化, 由此可以

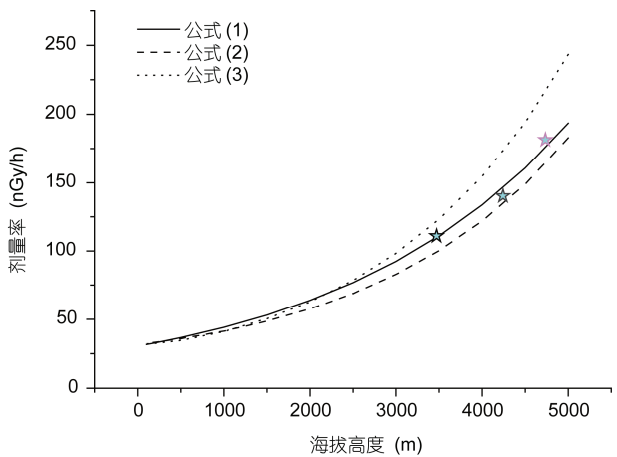


图 2 (网络版彩图)实测宇宙射线吸收剂量率与 3 个公式拟合曲线的比较

参考文献

1 岳清宇, 金花. 低大气层中宇宙射线电离量的分布测量. 辐射防护, 1988, 8: 401~417

表 2 西藏陆地宇宙射线吸收剂量率实测数据与分析^{a)}

地点 (海拔, 北纬)	高压电离室 (nGy/h)	NaI 剂量 率(nGy/h)	宇宙射线 (nGy/h)	计算值 (nGy/h)	计算值/ 实测值
堆龙德庆县 (3658 m, 29.67°)	195.7±5.0	72.6±1.4	123.1	118.0	0.959
日喀则市 (3861 m, 29.16°)	191.1±3.4	87.9±6.3	103.2	117.6	1.14
定日县 (4345 m, 28.35°)	246.5±3.7	85.7±5.6	160.8	139.3	0.866
吉隆县 (2840 m, 28.23°)	166.0±3.3	86.3±7.0	79.7	82.3	1.033
普兰县 (3884 m, 30.17°)	204.4±4.4	67.4±3.8	137	118.6	0.865

a) 测量气候与时间条件同表 1, 两种仪器均在离地面 1 m 处测量, RSS-131 型高压电离室测量计数间隔为 30 s, 取 100 个数据的均值, SIM-MAX 100G-NaI 型剂量率仪计数间隔为 10 s, 取 20 个数据的均值

得出: 在西藏高海拔地区北纬 30°附近, 本研究得出的经验公式(1)有较好的适用性. 本研究验证测量点计划为 15 个, 由于西藏地区气候变化大, 在研究时间窗口无法采集到计划地点的合格数据, 后续研究将进一步补充.

4 结语与展望

从以上讨论结果可以看出: 在西藏地区宇宙射线电离成分所致吸收剂量率随海拔高度的变化规律可以用 $\dot{D} = 30.54e^{0.0003696h}$ 来描述, 可以为西藏地区进行地表 γ 辐射测量时, 提供了一个扣除宇宙射线电离成分贡献的方法.

西藏地区环境天然放射性水平调查是 1988 年开展的, 由于当时客观条件的限制, 对宇宙射线辐射的调查仅限于在羊卓雍错进行宇宙射线响应值的测量^[8]. 为了更精确估算和评价天然辐射所致西藏地区居民剂量, 在国家应开展以下两方面监测与研究: 一是持续开展宇宙射线吸收剂量率测量研究, 将水体核素、地磁纬度和太阳黑子活动因素考虑进去; 二是开展西藏地区天然中子辐射成分的研究, 为估算和评价宇宙射线辐射所致西藏地区居民剂量奠定基础.

- 2 中国原子能科学研究院技安室环境辐射组. 低空宇宙辐射剂量的测量及其随海拔高度变化的经验规律. 辐射防护, 1984, 4: 7-17
- 3 王其亮, 何苗挺. 宇宙射线电离强度的测量及其空间变化的经验规律. 核技术, 1987, 5: 28-31
- 4 邓新华. 关于不同海拔高度宇宙射线吸收剂量率测量方法的探讨. 四川环境, 1990, 9: 39-42
- 5 曲延涛, 郑国文. 中国原子能科学研究院天然贯穿辐射水平调查. 中国原子能科学研究院年报, 2012, 1: 229-229
- 6 高飞, 肖雪夫, 倪宁, 等. 高压电离室宇宙射线响应试验. 中国原子能科学研究院年报, 2013, 1: 274-275
- 7 UNSCEAR. UNSCEAR 2000 REPORT Vol. I Annex A: Dose assessment methodologies. <http://www.unscear.org/docs/reports/annexa.pdf>:27
- 8 西藏自治区城乡建设环境保护局. 西藏自治区环境天然放射性水平调查研究. 1989. 8-11

Cosmic ray ionization rate measurement in Tibet and empirical formulas for different altitude

HUANG ChaoYun^{1,2}, LIN QuanYi¹ & FAN QiHui²

¹ Nuclear and Radiation Safety Centre, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China (MEP), Beijing 100082, China;

² Tibet Radiation Environment Supervision Station, Lhasa 851499, China

It was analyzed the air absorbed dose rate of cosmic rays ionization on different sea levels of China near north latitude 30° in this paper. As a result, an empirical formula on different altitude was summed up by the least-square residual method. It is proved that the formula is more accord with the actual situation of high altitude in Tibet area through comparative analysis of various empirical formulas and Tibet field survey.

cosmic rays, absorbed dose rate, altitude, empirical formulas

doi: 10.1360/N092015-00233