

CN9100191

CNIC-00361
IAE-0070

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

中国大陆地区居民所受宇宙射线剂量估算

THE ESTIMATION OF THE DOSE FROM
COSMIC RADIATION RECEIVED BY THE
POPULATION LIVING AT MAINLAND

IN CHINA

(In Chinese)



原子能出版社

中國核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00361

IAE-0070

中国大陆地区居民所受宇宙射线剂量估算

THE ESTIMATION OF THE DOSE FROM COSMIC
RADIATION RECEIVED BY THE POPULATION
LIVING AT MAINLAND IN CHINA

(In Chinese)

金 花 岳清宇

(中国原子能科学研究院, 北京)

中国核情报中心

原子能出版社

北京·1989.11

目 录

引 言	(5)
1 宇宙射线分布	(5)
2 居民所受宇宙射线平均年有效剂量当量的估算	(7)
3 居民空中旅行所受的集体有效剂量当量	(9)
4 结束语	(9)
参考文献	(10)

CONTENTS

INTRODUCTION	(5)
1 DISTRIBUTION OF COSMIC RAY	(5)
2 ESTIMATION OF AVERAGE ANNUAL EFFECTIVE DOSE EQUIVALANT RECEIVED BY THE POPULATION	(7)
3 THE COLLECTIVE EFFECTIVE DOSE EQUIVALENT RECEIVED BY POPULATION TAKING AIR LINERS	(9)
4 CONCLUSION	(9)
REFERENCES	(10)

中国大陆地区居民所受宇宙射线剂量估算

金 花 岳清宇

(中国原子能科学研究院, 北京)

摘 要

在全国范围内进行了宇宙射线电离成分在空气中产生的电离量的分布测量和居民居住地的地理分布与飞机客运情况的调查。根据宇宙射线的高度分布和我国大陆地区居民居住的地理分布以及1986年年底全国人口统计资料,参考有关宇宙射线中子成分注量率的分布资料,以全国2017个县(旗)和353个市为单位,按人口加权平均算出各省、直辖市和全国居民所受宇宙射线电离成分和中子成分的年有效剂量当量,也估算了居民由于乘坐飞机所增加的宇宙射线外照射产生的集体剂量当量。结果表明,中国公众所受的宇宙射线年有效剂量当量比世界公众的约低28%,这是由于地理分布因素所决定的。中国居民的绝大多数居住在北半球低海拔高度和较低地磁纬度的地带。人口的53.6%居住在海拔100米以下的地区,人口的91%居住在地磁纬度为 30°N 以下的地带。

**THE ESTIMATION OF THE DOSE FROM COSMIC
RADIATION RECEIVED BY THE POPULATION
LIVING AT MAINLAND IN CHINA**

Jin Hua Yue Qingyu

(INSTITUTE OF ATOMIC ENERGY, BEIJING)

ABSTRACT

The measurement of ionization distribution caused by the cosmic ray ionizing components in the air, the survey of population distribution in geography and the investigation of total passengers taking air liners in the mainland of China have been completed. By taking the data from the census of the year 1986 and the population distribution of the mainland, considering the cosmic ray distribution with the height and referring the distribution of neutron flux density in cosmic ray, the population-weighted mean annual effective dose equivalent, which is obtained from 2017 counties and 353 cities, for inhabitants living in each province and municipality direct under Central Government has been calculated. The collective dose equivalent produced by the external exposure of cosmic ray is also estimated when people are taking air liners. The results which are effected by the population distribution show that the annual effective dose equivalent received by the population of China from the cosmic ray is 28% lower than the population of the world. The most of Chinese people are living at the north hemisphere area having lower elevation and geomagnetic latitude, and 53.6% among them is in the area of elevation below 100 m and 91% is in the area of geomagnetic latitude below 30°N.

引 言

人类始终受到天然辐射的照射,宇宙射线是天然辐射的重要组成部分。低大气层中宇宙射线电离成分和中子成分对居住在海平面高度的居民外照射剂量占环境天然辐射外照射剂量的44%。

联合国原子辐射效应科学委员会自1955年成立以来到1988年已向联合国大会提交了10份有关电离辐射水平与效应的报告。近年来,国内也已广泛开展了环境辐射水平调查与评价工作。由于我国人口众多,地域广阔、地势多样。为了较准确地估算我国居民所受宇宙射线剂量,在全国范围内进行了宇宙射线电离成分在空气中产生的电离量的分布测量^[1]和居民居住地的地理分布与飞机客运情况的调查。在参考有关宇宙射线中子成分注量率的分布资料的基础上,以全国2017个县(旗)和353个市为单位按人口加权平均算出了各省、直辖市和全国居民所受宇宙射线电离成分和中子成分的有效剂量当量,也估算了居民由于乘坐飞机所增加的宇宙射线外照射产生的集体剂量当量。

1 宇宙射线分布

主要来自于银河系的高能辐射进入大气层时,与大气原子核相互作用,产生 π 介子,K介子以及中子和质子。 π 介子迅速衰变成光子和 μ 介子,这些次级粒子和电磁辐射称为次级宇宙射线。海平面附近的次级宇宙射线主要为 μ 介子、中子、电子和质子。由于大气层的吸收,宇宙射线强度随高度变化而变化。对于 10^6 MeV以下的初级宇宙射线(主要为质子)受地磁场的影响,其中低能带电粒子发生偏转而返回到宇宙空间,因而大气层中宇宙射线分布与地磁纬度有关,海拔高度越高,纬度效应越大。太阳具有11年的活动周期,在其活动增强期间,太阳发射的等离子体流形成的磁场增强,使得大气上层初级宇宙射线中的低能质子注量率减少,因而次级宇宙射线强度减弱;反之,太阳活动减弱,次级宇宙射线强度增加,所以宇宙射线强度具有11年的变化周期。

1.1 低大气层中宇宙射线电离量的分布

低大气层通常是指海拔高度为10km以下的区域,这个区域为人类居住和主要活动场所。实际上,世界上绝大多数人口居住在海平面高度附近,测量海平面宇宙射线电离量虽然已有半个多世纪的历史,但长期以来,测量结果存在较大分歧,文献[2]概括了1970年以前宇宙射线电离量的测量情况。历史上用I代表宇宙射线强度单位符号,定义I为在标准状况下每立方厘米空气中宇宙射线电离成分每秒产生一个离子对,表1列出了70年代以后一些实验室测量的数据,结果表明,近年来宇宙射线电离量测量结果趋于一致。尤其是国内几家实验室的测量结果。

根据文献[1],宇宙射线电离量*i*随高度和纬度变化的经验公式为:

$$i(h, \lambda_m, Y) = (i_0 + 0.0098\lambda_m) \exp(7.27 \times 10^{-6} h^{1.184}) / \quad (1)$$

式中*h*表示海拔高度, m; λ_m 表示地磁纬度, °N; *Y*表示年度; i_0 表示 $\lambda_m = 0^\circ$ N时某年度的海平面高度的宇宙射线电离量值。

在估算我国大陆居民所受宇宙射线电离成分产生的剂量时,根据文献[1]从1981年至1987年在密云水库水面测量的宇宙射线电离量算出 i_0 的7年平均值。按照式(1)算出不同地磁纬

度和不同海拔高度居民居住地的平均宇宙射线电离成分的电离量值。

表1 海平面宇宙射线电离量测量值

实验室	测量时间	地点	地磁纬度 °N	电离量 I	测量仪器和方法	参考文献
HASL	1973~1974	湖面	33	2.15	906.5L铝板(平均厚度为1.2mm)球形电离室	[3]
日本京都大学反应堆研究所	1976	地面	22.3	1.92	φ7.62cm球形NaI(Tl)谱仪测量值与15L空气电离室测量值线性外推	[4]
华北辐射防护研究所	1979~1981	不同高度淡水水面	26.2~29	2.13	圆柱形高气压电离室测量值外推	[5]
中国原子能科学研究院高能物理所	1981	高空气球	28	2.01	高气压电离室测量值外推	[1]
工业卫生研究所	1982	淡水水面	29	2.07	高气压电离室测量	[6]
工业卫生研究所	1982~1984	淡水水面	29	2.09	(160m处)	[7]
中国原子能科学研究院	1984	不同高度淡水水面	~33	2.09	高气压电离室测量值外推	[1]
北京市卫生防疫站	1984	海面	~29	2.06	高气压电离室测量值	[8]
中国原子能科学研究院	1985	不同高度淡水水面	~13	1.80	高气压电离室测量值外推	[1]
台湾辐射监测中心	1985~1986	地面	11	1.79	球形NaI(Tl)谱仪测量值与高气压电离室测量值线性外推	[9]
中国原子能科学研究院	1987	淡水水面	~15	1.89	高气压电离室外推	[1]

1.2 低大气层中宇宙射线中子注量率的分布

大气中宇宙射线中子由 (p, n) 反应生成, 其中20%是高能质子打出的, 即在散裂反应中产生的, 80%是低能 (p, n) 反应产生的, 即为蒸发中子^[10], 其平均能量只有几个MeV。由于海平面中子注量率很小, 更难测准, 因此测量结果出现较大的分歧, 表2列出了在不同地磁纬度(41°~55°)上测量的海平面宇宙射线中子注量率^[11]。其平均值为 $10.38 \times 10^{-3} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, UNSCEAR 1982年的报告采用海平面值为 $8 \times 10^{-3} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 作为估算高纬度剂量用。文献[6]报道了在河北香河 ($\lambda_m = 28^\circ \text{N}$) 通过气球实验测量宇宙射线中子注量率的分布外推到海平面值为 $9.9 \times 10^{-3} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。本文在估算我国居民所受宇宙射线中子成分的剂量时, 根据UNSCEAR 1966年报告中海平面宇宙射线中子与地磁纬度的关系曲线拟合出函数 $\phi_0(\lambda_m)$:

$$\phi_0(\lambda_m) = (6.204 + 0.068\lambda_m) \times 10^{-3} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \quad (15^\circ \text{N} < \lambda_m < 52^\circ \text{N})$$

当 $\lambda_m = 50^\circ \text{N}$ 时, $\phi_0 = 9.6 \times 10^{-3} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。以上数据是用不同方法得到的不同地磁纬度和年份的海平面宇宙射线中子注量率。文献[12]指出, 宇宙射线中子注量率随高度的增加按指数规律下降, 故可表示为:

$$\phi(h, \lambda_m, y) = \phi_0(\lambda_m, y) \exp[(1033 - h')/L] \quad (2)$$

式中, h' 表示大气深度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$; $\phi_0(\lambda_m, y)$ 为海平面高度的中子注量率, $\text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 它是地磁纬度和年度的函数; L 为减弱长度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。表3列出了减弱长度 L 与地磁纬度 λ_m 的关系^[11]。根据 (2) 式可计算出低大气层中不同地磁纬度与大气深度(海拔高度)处的宇宙射线中子注量率。

表2 高平原宇宙射线中子注量率

地理纬度(°N)	41	54	46	46	55	46	44	41
注量率(n/cm ² s)	0.01	0.0065	0.0065	0.0180 ⁽¹⁾	0.0180 ⁽²⁾	0.0084	0.0074	0.0082

(1)高空外推到海平面值

(2)根据一些作者外推结果求得平均值

表3 减弱长度L与地理纬度λ₀的关系

地理纬度(°N)	0	10.1	19	30.4	40	51	53	54.7	55.1	65	69	88.6
减弱长度(g·cm ⁻²)	212	212	206	196	181	156	157	162	164	157	162	164

2 居民所受宇宙射线平均年有效剂量当量的估算

根据1986年年底全国人口统计资料^[1]及全国分省地形图查出全国2370个县(旗)、市居民居住地的平均海拔高度和地磁纬度,对各县(旗)、区居民所受宇宙射线年有效剂量当量逐一进行了估算。

2.1 居民停留因子与建筑物的屏蔽因子

根据中国的实际情况,按城市和农业人口两种情况考虑建筑物的屏蔽因子和居民的停留因子,对于宇宙射线电离成分,城市居民建筑物的屏蔽因子平均取0.8,室内停留因子取0.8,农村居民建筑物的屏蔽因子平均取0.9,室内停留因子取0.7。

2.2 宇宙射线电离成分产生的居民剂量估算

根据高气压电离室在低大气层中测量的宇宙射线电离成分在空气中的电离量分布值,1个I电离室相当于空气吸收剂量率($1.5 \times 10^{-8} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)。按照公式(1)在考虑居民停留因子与建筑物的屏蔽因子的情况下计算了全国各县(旗)、市所在地的宇宙射线电离成分产生的平均吸收剂量率,与1982年UNSCEAR报告的结果相同,宇宙射线电离成分产生的空气吸收剂量率取值等于有效剂量当量率。宇宙射线电离成分产生的年有效剂量当量的计算公式为:

$$\text{城市居民: } H_1 = 1752 \dot{D}_{c_n} + 7008 \dot{D}_{c_n} \quad (3)$$

$$\text{农村居民: } H_1 = 2628 \dot{D}_{c_n} + 6132 \dot{D}_{c_n} \quad (4)$$

式中 \dot{D}_{c_n} 、 \dot{D}_{c_n} 分别表示宇宙射线电离成分所致的室外和室内空气吸收剂量率($\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$)。

宇宙射线电离成分产生的人均年有效剂量当量的计算公式为:

$$\bar{H}_1 = \frac{\sum H_{1i} N_i}{\sum N_i} \quad (5)$$

式中 \bar{H}_1 表示人均年有效剂量当量(Sv), N_i 表示某县(旗)、市或省的人口。

由(3)和(4)式可估算出各县(旗)、市的年有效剂量当量,再根据(5)式算出各省、直辖市和全国大陆地区居民所受宇宙射线电离成分的人口加权平均年有效剂量当量。

2.3 宇宙射线中子成分产生的居民剂量估算

由式(2)算出全国2370个县(旗)、市所在地的宇宙射线中子平均注量率,当中子注量率-吸收剂量指数率的转换因子为 $5 \times 10^{-1} \text{Gy h}^{-1} \text{n}^{-1} \text{cm}^2 \text{s}^{-1} \text{h}^{-1}$,品质因数为 Q 以及建筑物的屏蔽因子不计时,宇宙射线中子成分的年有效剂量当量的计算公式为:

$$H_x = 8760 \cdot Q \cdot \dot{H}_x \quad (6)$$

式中 \dot{H}_x 表示宇宙射线中子成分的吸收剂量指数率($\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$), $Q=6$.

由(6)式计算出各县(旗)、市的年有效剂量当量,再按下式:

$$\bar{H}_x = \frac{\sum H_x \cdot N_i}{\sum N_i} \quad (7)$$

算出各省居民所受宇宙射线中子成分的人口加权平均年有效剂量当量。

宇宙射线产生的总人均年有效剂量当量用下式进行计算:

$$\bar{H}_y = \bar{H}_1 + \bar{H}_x \quad (8)$$

计算得出的中国大陆各省、市、自治区居民所受宇宙射线的年有效剂量当量列于表4。

表4 中国大陆地区宇宙射线产生的年有效剂量估算值

地 区	总 人 口		年有效剂量当量值(μSv)		
	城 市	农 村	电离成分	中子成分	合 计
北京市	5870780	3880460	230.6	22.8	253
天津市	4487833	3698854	228.0	21.4	249
河北省	7824141	48346141	344.2	24.6	368
山西省	5522099	21028636	291.7	40.1	332
内蒙古自治区	5857459	14435340	297.5	42.9	340
辽宁省	15089434	22170933	236.5	23.4	260
吉林省	8570061	14582924	249.8	27.6	277
黑龙江省	13589343	19726113	246.9	26.0	273
上海市	8025563	4297753	216.8	20.0	237
江苏省	11426368	51272666	228.1	20.3	248
浙江省	6528787	34171872	227.0	20.6	248
安徽省	7566228	44605911	228.9	20.6	249
福建省	4549942	22943073	225.9	21.0	247
江西省	6365561	28727957	226.9	21.0	248
山东省	9792382	67971225	235.7	21.3	257
河南省	9164148	68914252	235.4	22.3	258
湖北省	10804543	39085691	231.0	22.0	253
湖南省	8067097	48890153	229.5	21.5	251
广东省	13709249	49754039	217.8	19.2	237
广西壮族自治区	4888637	34570208	227.0	21.3	248

地 区	总 人 口		年有效剂量当量值(μSv)		
	城 市	农 村	电离成分	中子成分	备 计
四川省	10036753	88338581	258.9	25.9	283
贵州省	3744189	28435746	299.3	32.7	332
云南省	4051786	33504625	387.7	42.9	431
西藏自治区	257529	1767409	985.2	88.1	1073
陕西省	5411719	25014691	288.2	28.3	297
甘肃省	3257367	17453421	478.8	49.6	498
青海省	1198820	2925895	551.7	71.5	623
宁夏回族自治区	910758	3152573	365.2	43.5	389
新疆维吾尔自治区	4487486	8330893	310.4	38.0	348

表4数据表明西藏地区居民所受宇宙射线平均年有效剂量当量最高,为1073 μSv ,上海市和广东省最低,均为237 μSv ,前者为后者的4.5倍。西藏居民所受宇宙射线外照射剂量是 UNSCEAR 1988年报告中估计的世界居民所受宇宙射线年有效剂量当量355 μSv 的3倍。

3 居民空中旅行所受的集体有效剂量当量

居民空中旅行所受剂量通常用集体年有效剂量当量表示,其计算公式为:

$$S_E = \sum H(T) \cdot t \cdot N, \quad (9)$$

式中 $H(T)$ 表示宇宙射线电离成分和中子成分产生的有效剂量当量率($\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$), N 表示乘客人数, t 表示飞行时间。

我国共有938次航班,1986年客运量为996.4万人次,全年总飞行时间约4800h,其中大、中型飞机飞行时间占61%,小型飞机占39%。根据25个主要航线及10个有代表性的中、短程航线的飞行高度和纬度以及客运情况,对大、中型客机的飞行高度平均按9km计,地磁纬度平均取20°N;小型客机飞行高度平均按4.5km计,地磁纬度平均取23°N。从文献[15]查出9km高度的宇宙射线电离成分和中子成分的有效剂量当量值换算到20°N时的有效剂量当量率为1.406 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$,4.5km高度的有效剂量当量率为0.32 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。因此用(9)式估算出1986年由于空中旅行我国居民所受的集体有效剂量当量约为26.2人·Sv。1988年 UNSCEAR 报告估计出1984年由于空中旅行对世界人口产生的集体有效剂量当量约为4300人·Sv。

4 结束语

历年来的 UNSCEAR 报告对世界居民所受宇宙射线剂量的估算值除由于改变某些参数而引起较大变化外,一般变化不大。但 UNSCEAR 报告中的估算值是根据一些国家和地区的现有数据资料所做的一个平均估计。由于每个国家地理情况和人口分布不同,所以估算出各自国家居民所受宇宙射线剂量,既可为本国提供科学资料,又可为 UNSCEAR 提供我国的数据。

表5 居民所受宇宙射线剂量当量

国家和作者	年有效剂量当量(μSv)			备 注					
	电离成分	中子成分	总计	建筑物屏蔽因子	室内停留因子	品质因数		高度	纬度
						电离成分	中子成分		
美国DTOakley et al., (1972)	353	55	409			/	8	海平面	美国范围
UNSCEAR(1982)	230	21	331			/	6	海平面	50°N
UNSCEAR(1986)	240	42	282	0.3	0.3	/	12	海平面	世界范围
UNSCEAR(1988)	240	20	260	0.8	0.3	/	6	海平面	世界范围
	300	55	355	0.3	0.8	/	6	世界范围高度	世界范围
本 工 作	239	26	265	0.3	0.8	/	6	中国范围高度	全国范围
	252	26	278	城市0.8 农村0.9	城市0.8 农村0.7	/	6	中国范围高度	全国范围
卫 生 部	268			0.9	0.8	/		中国范围高度	全国范围

表5列出了UNSCEAR近年来报告中提供的世界居民所受宇宙射线年有效剂量当量值和有关作者报导的居民所受宇宙射线年有效剂量当量。结果表明中国公众所受宇宙射线年有效剂量当量较世界公众约低28%，这是由于地理分布因素所决定的。中国居民的绝大多数居住在北半球海拔高度和地磁纬度较低的地带。53.6%的人口居住在海拔100m以下地区，91%的人口居住在地磁纬度为30°N以下的地带。

中国民航局计划司统计处为本工作提供了1986年度国内航班的宝贵资料，特此感谢。

参 考 文 献

- [1] 岳清宇等, 辐射防护, 1988, (6): 401
- [2] Oakley D T, et al. The Natural Radiation Environment, II. CONF-720805-p2, 1972, 1
- [3] Liboff A R, et al. J. Geophys. Res. 83, A12, 1978, 5539
- [4] 占郁忠正等, 辐射物理, 1979, 14(3): 151
- [5] 丁民德等, 辐射防护, 1984, (5): 340
- [6] 钱安宜环境辐射组, 辐射防护, 1984, 4(1): 7
- [7] 王其光等, 中国环境电离辐射水平及居民受照剂量, 1986, 22
- [8] 任天山等, 辐射防护, 1987, (3): 185
- [9] Lio Peihuo, et al. Radiat. Prot. Dosimetry, 1986, (3): 185
- [10] 电离辐射: 水平与效应, 第一卷水平, 1978, 21
- [11] 电离辐射: 水平与效应, 第一卷水平, 1978, 83
- [12] Soberman R K. Phys. Rev. 1956, 102(5): 1399
- [13] 中华人民共和国公安部, 全国分省市人口统计资料, 1986, 北京, 中国地图出版社, 1987
- [14] UNSCEAR报告, 电离辐射辐射源与生物效应, 辐射防护通报, 1983增刊, 102
- [15] Keran Obrien. The Cosmic-Ray Field at Ground Level. CONF-720805-p2, 1972

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



书号15175-00 361

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre