第 21 卷 第 3 期
2004 年 9 月

原子核物理评论
Nuclear Physics Review

Vol. 21, No. 3
Sep., 2004

文章编号：1007－4627(2004)03－0218－07

宇宙线对地球气候的影响*

贾焕玉
（西南交通大学现代物理研究所，四川 成都 610031）

摘　要：对宇宙线影响地球气候的一些观测结果和物理机制的研究进行了总结和概述，主要讨论了宇宙线对大气中化学反应、云形成过程等的影响，并给出了羊八井宇宙线观测站对宇宙线流强和大气参量日变化的初步观测结果.

关 键 词：宇宙线；地球气候；关联；时间变化
中图分类号：P142；O571　　**文献标识码**：A

1 引言

宇宙线是来自于宇宙空间的高能带电粒子流. 尽管在太阳和星际空间也可能产生这些粒子，但其主要来自于银河系或银河系外. 原初宇宙线主要由质子组成，另外还有约 10%的氦核和不超过 1%的其它原子核. 随着科学技术的发展，宇宙线对人类活动的影响变得很重要. 比如，由于长距离的通讯依赖于稳定的大气电离层，宇宙线会对此造成影响. 另外，随着人类航天活动的频繁，宇宙线不仅会对宇航员造成辐射伤害，宇宙线中的某些高能粒子还可能对航天器上的仪器仪表、计算机和太阳能电池等造成损坏[1]. 总之，随着技术的进步和发展，宇宙线对人类活动的影响将日益增加.

本文主要讨论宇宙线对地球环境的另一类影响，即对地球大气过程和天气的作用. 宇宙线带给地球的能量（$\sim 10^{-9}$ W/cm^2）与天气过程的能量相比可以忽略，但宇宙线具有使空气电离的能力，大气层中 60 km 以下到三四 km 以上的电离主要是由宇宙线引起的. 进入地球环境中的宇宙线会受到太阳活动的调制，太阳活动变化或其它原因引起宇宙线流强的变化可能导致气候的变化. 首先提出这一问题的是 Ney[2]. 后来 Dickson 提出云的形成可能与宇宙线引起的空气电离率存在联系，Tinsley 等[4,5]提出了宇宙线引起电离层电离的变化影响高层大气中冰粒聚合和生长的微观物理过程机制，然而这种机制仍没有被证明. 1997 年，Svensmark 和 Friis-Christensen[6]在报道中指出，全球云量与银河宇宙线强度间存在强关联. 一般认为，地球覆盖云变少，会引起地球变暖. 据观测[7]，20 世纪到达地球大气的宇宙线平均减少了 15%. 如果云量与宇宙线强度的关联被证实，也许就意味着令全世界关注的地球变暖问题是(或部分是)由宇宙线流强变化引起的. 自此人们对这一重大问题进行了许多讨论和争论[8—12]，现在仍然存在着巨大分歧[13,14]. 除此而外，宇宙线流强变化和其它大范围大气过程间也可能存在关联，并且有人提出了几个宇宙线影响大气过程的机制，观测结果也表明有这些关联存在的迹象.

位于中国西藏的羊八井宇宙线观测站是世界著名宇宙线广延空气簇射(EAS)观测站，其 AS γ 阵列工作于 3 TeV 和 8 TeV 以上能区，具有很高的宇宙线事例触发率，并能连续记录，适合于研究甚高能以上宇宙线流强的变化[15—17]. 在已有的宇宙线影响大气过程的模型中，甚高能以上能量 EAS 具有重要作用，因此我们用羊八井宇宙线观测站来研究宇宙线变化与大气气象参量间的关系.

本文主要是对宇宙线给地球气候带来的影响研究进行综述，并给出羊八井宇宙线观测站对此的一些初步观测结果.

2 进入地球环境的宇宙线及时间变化

已经观测到的宇宙线粒子能量从 1 MeV(1.6

收稿日期：2003－12－18；**修改日期**：2004－01－15
* **基金项目**：西南交通大学基础科学研究基金资助项目
作者简介：贾焕玉(1966—)，男(汉族)，河北保定人，教授，从事宇宇宙线和核天体物理研究.

$\times 10^{-13}$ J)到 3×10^{14} MeV (48 J). 图 1 给出了能谱测量结果[18]. 能谱可以分为几个能量区间：$E\leqslant30$ GeV，流强随能量的增大而上升，受太阳活动影响能谱易发生很大的时间变化；3×10^{11} eV$\leqslant E\leqslant10^{15}$ eV 能区，能谱是一个很好的简单下降幂律谱($\phi_A(E)\propto E^{-\alpha}$)，不同成分 A 的谱指数有所差异；所谓的“膝区”，$E\approx3\times10^{15}$ eV，所有粒子的谱在此能区都变陡，谱指数改变 $\Delta\alpha\approx0.35$. 图 2 给出了宇宙线的积分流强[19]，在地球磁层外，宇宙线积分谱在较低能量相当平坦，而在很高能量以上下降很快，比如超高能区原初粒子强度非常低($\leqslant$1 particle/10 km^2/a).

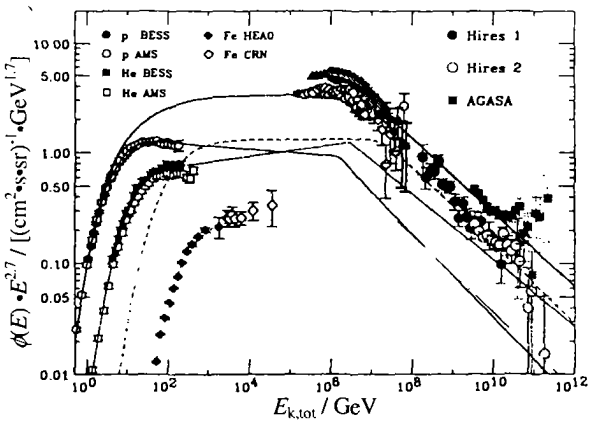

图 1　测量的宇宙线能谱

曲线是直接测量结果的拟合和外推结果.

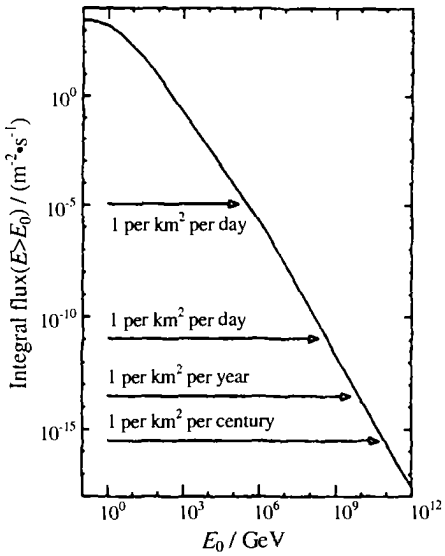

图 2　宇宙线的积分流强谱

太阳活动影响能量小于 10^5 MeV 的宇宙线能谱. 银河宇宙线在太阳活动高峰期流强较低，这是因为在此期间太阳风和磁场较强，减少了宇宙线带电粒子进入太阳系的机会. 而主要在太阳活动高峰产生的太阳宇宙线可能有偶发的粒子流强增长. 行星际空间地球轨道处的宇宙线质子积分流强 $J(>100$ MeV)在太阳活动最小期约为 0.33 cm^{-2}·s^{-1}·sr^{-1}，活动最大期约为 0.12 cm^{-2}·s^{-1}·sr^{-1}. 太阳质子流强在太阳活动高峰期可能会达到几百 cm^{-2}·s^{-1}·sr^{-1}.

原初宇宙线到达地面前要穿过一厚层空气，宇宙线粒子与空气发生相互作用. 能量低于几百 MeV/u 的宇宙线粒子，由于电离而在大气层中被吸收，能量更高的原初宇宙线粒子发生核-电磁级联，生成电子、光子、介子和核子等次级粒子. 1 个能量大于 10^9 MeV 的粒子在大气中引起的级联生成的次级粒子数目超过 10^5. 这就是广延空气簇射(EAS)现象. EAS 中次级粒子数目先是从大气层顶部到海拔 15—25 km 逐渐增多，接着由于吸收而下降. 可以在地面用探测装置对 EAS 中的次级粒子进行连续观测，得到原初宇宙线粒子的信息和其与大气相互作用过程的一些性质. 大气中的宇宙线次级粒子行为与其穿过的物质量有关，即与大气深度(大气压强)有关. 为了方便，用海拔高度 H 来代替大气深度 P. 对标准大气，二者的关系为：$P>230.57$，$H=a(1-P/b)^c$，当 $P\leqslant230.57$ 时，$H=d\ln(f/P)$，其中 H 单位是 km，P 为 g/cm^2，$a=44.308$，$b=1\,033.23$，$c=0.19$，$d=6.341$，$f=1\,306.83$.

地球具有磁场，带电宇宙线粒子进入地磁场后受到磁场的偏转，使只有动量大于某一确定值的粒子才能从一确定方向到达地球上的一个确定点. 在磁场中运动粒子的一个关键参数是其刚度 $R=pc/Ze$ (其中 p 是粒子运动的动量，c 为光速，Ze 是粒子电荷)，具有相等刚度的粒子在给定磁场中运动轨迹相同. 在地球上任何一个地磁纬度 λ 对应着一个截止刚度 R_c，刚度小于该截止刚度的粒子不能到达此处. $R_c\propto\cos^4\lambda$，随纬度增加而迅速降低，引起宇宙线强度相应增加，这就是所谓的宇宙线纬度效应. 赤道处的宇宙线流强最小，只有 $R>15$ GV 的粒子才能到达. 低能太阳宇宙线只能从磁极区进入大气层.

太阳活动的变化会引起宇宙线流强的变化，这

就是太阳对宇宙线的调制. 最主要的调制是 11 年宇宙线变化. 这种变化与太阳黑子数的变化反相，如图 3[20]所示. Forbush 效应是宇宙线流强对日冕质量抛射(CME)或太阳耀斑引起的星际扰动的反应，表现为宇宙线强度的相对快速下降，接着逐渐恢复的过程. 与太阳活动相关的还有 27 天周期变化，通常由 Forbush 下降开始，持续 3—8 个太阳自转周期，在太阳活动下降期可能持续时间更长.

在太阳耀斑等这种快速和巨大能量释放事件后，可能会出现太阳高能粒子(SEP)流强突然增长. SEP 事件中可能会有能量超过 GeV 的质子，这样的事例可以在地面用中子堆装置记录到，称为地面增强事件(GLEs). 在 1957—1995 年，观测记录到 48 个 GLEs[11].

羊八井宇宙线观测站观测到能量大于 3 和 8 TeV 的宇宙线流强存在 1 日周期变化，变化幅度约为 1 %. 这种变化可能是由地球的运动引起的，也可能是原初银河宇宙线自身具有的周期变化性质.

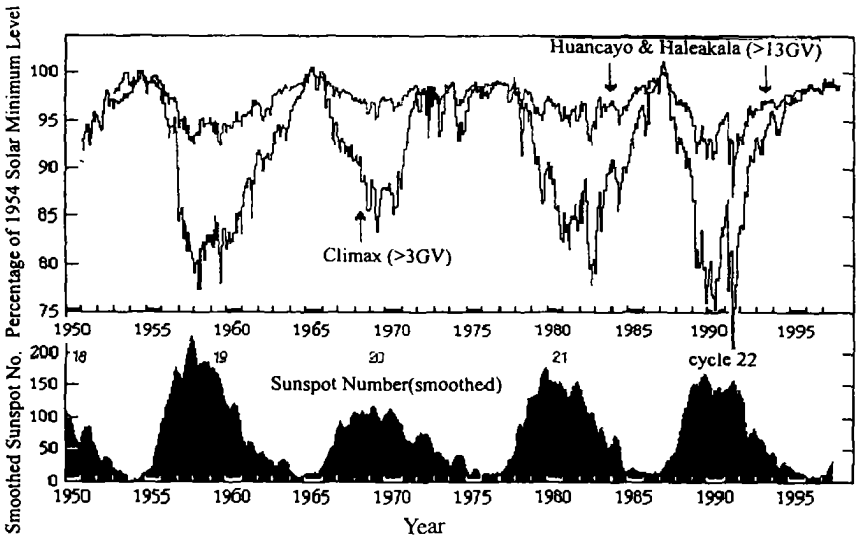

图 3 宇宙线流强变化和太阳黑子的变化

3 与宇宙线电离电荷相关的大气过程

研究大气过程，首先应考虑宇宙线造成的空气电离. 当然对于大气过程，更重要的是离子凝聚. 离子凝聚与大气中带电粒子流强间的关系是非常复杂的，实验测量结果也不多，而且具有很大的不确定性. 宇宙线流强变化引起离子生成率变化，因此影响大气中某些过程. 这些过程可能包括化学反应、液滴和晶体形成以及全球电流电路等.

3.1 宇宙线对大气离子化学反应的影响

反应物的电荷影响化学反应，而化学反应又决定着大气中某些成分的生成和凝聚，比如臭氧和 NO_2. 氧和氮离子通过反应，生成 NO_2，在这个过程中会消耗平流层臭氧. 臭氧的消耗造成对太阳紫外线吸收的下降，使其流强上升，而 NO_2 作为温室气体会导致地球温室效应[21].

平流层臭氧的变化受多种因素的影响. 银河宇宙线流强最主要的 11 年变化对臭氧长期变化的贡献似乎不很重要[22]，但对此现在还没有一个仔细的估算. SEP 事件据认为对此有重要影响[23]. 有许多工作计算了 SEP 对大气中某些成分生成的影响，比如根据时间相关光化学模型，在 SEP 事件后，NO_x 的增长可以持续数月[24]. 对 1972 年 8 月臭氧消耗的计算结果(在高度为 40 km，纬度大于 70°，达 30 %)与观测结果一致. 上个太阳活动周期高纬度区几个 SEP 事件后，观测到 20 %的臭氧消耗，这远超出模型估计的范围[25, 26]，说明可能需要在模型中考虑进某些新过程，如多相反应和极区平流层云的形成等.

总之，宇宙线对大气离子化学反应起着重要作用，导致臭氧消耗和温室效应. 然而定量关系的问题仍需要进行仔细研究.

3.2 宇宙线对云形成过程的影响

大气中的云各种各样，非常复杂，其性质受形成与发展条件的影响，且影响因素很多. 比如小积

云的发展受大气温度结构的微小变化和湿度及表面加热率变化的影响. 更复杂来说，云中液滴的数目和大小受水蒸汽凝结中心气溶胶结构和大小的影响. 这种复杂性使搞清楚宇宙线对云形成的影响非常困难. 不过可以假设和近似宇宙线对云影响最可能的途径是影响凝聚核和冰聚合. 图 4 画出了宇宙线对大气中云形成影响的直接和间接途径和过程[20].

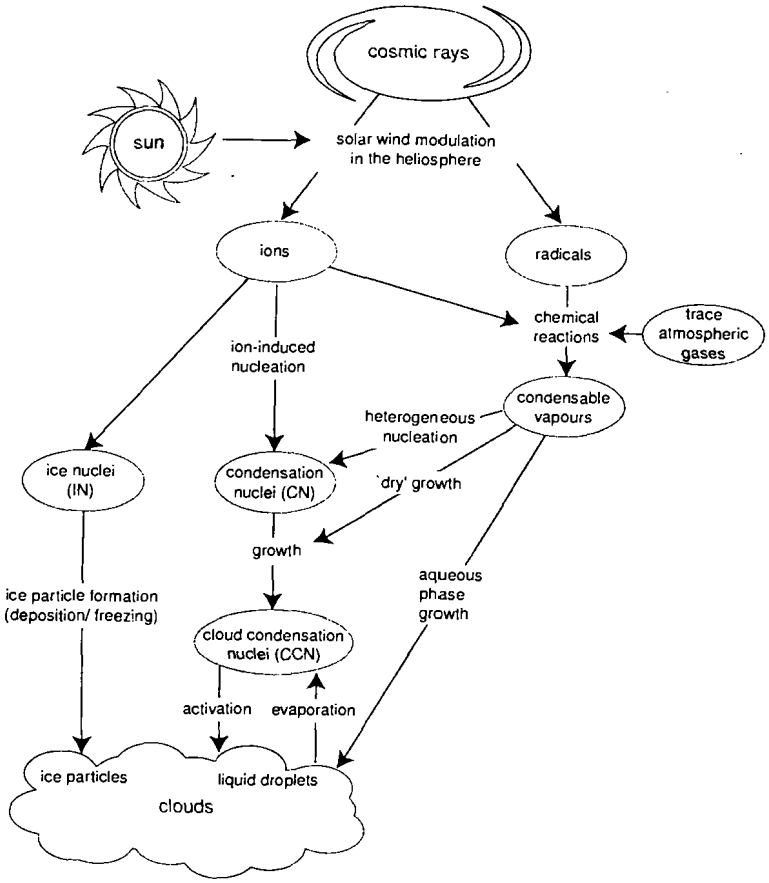

图 4　宇宙线和云间的联系过程图像

宇宙线在空气中生成的离子会影响作为云凝聚核(CCN)的气溶胶形成和生长的微观物理过程. 比如，主要来自于浮游生物的二甲基硫化物(SO_2)在大气中形成 H_2SO_4，在银河宇宙线影响下，聚合形成新的凝聚核(CN)，并生长成云凝聚核(CNN)，使云液滴凝结增强.

宇宙线电离使气溶胶带电. 近来研究表明[27]，电荷使气溶胶的聚合明显增强，从而促进大气云中液滴的生成，导致云中液滴数密度的增加，而且电荷可能影响低气压气体向气溶胶的凝聚，从而影响从 CN 到 CNN 的转变过程.

宇宙线将空气中的 N_2，O_2 和 H_2O 等电离形成重要的 N，O 和 OH 基. 这些基氧化成含氮酸，这会影响 CN 和 CNN 的生长. 计算表明，极区平流层内约一半 NO 可能由银河宇宙线产生[28, 29].

Tinsley 等在研究云顶部温度非常低的水结冰过程中，考虑了气溶胶是多电荷的和电荷对液滴的强吸引力，发现电荷效应在液滴结冰过程中有重要作用，使冰的生成率大大增加[30].

3.3　宇宙线对全球电流电路的影响

宇宙线使平流层和对流层空气电离，生成自由电子和离子，使空气可以导电. 在高电导率的电离层和地球表面间存在有约 250 kV 的电势差，电离层和地(I—G)间有发羽电流，因此形成了一个全球电路[31]，其中的电流与中层大气电导率有密切关系. 因此可以说，宇宙线通过电离影响全球电路. 当电路穿过电导率比较低的云时，就会在云顶部积聚起正电荷，这些电荷促进结冰过程的进行[32]. 通过这样一个效应链：宇宙线—中层大气电导—I—G

发羽电流—云顶空间电荷—结冰，将宇宙线以及太阳活动和天气现象联系起来.

Ermakov 等提出并发展了一个云形成演化的定量模型[33]，描述云中电荷分离、云内放电的出现和云—地间闪光的激发等. 在云形成区域，气溶胶随着强对流空气上升，由于冷空气的超饱和，该气溶胶成了蒸汽凝结(液滴)的中心，液滴聚合与电荷有关，负电荷液滴较早形成，变得比正电荷液滴重，因此云中正负电荷发生了分离. 电荷分离的结果是云中形成电场，当电场达到 2—3 kV/cm 时，云内放电开始，10^{14} eV 以上能量的宇宙线引起的 EAS 次级粒子促进了这种云内放电. Gurevich 等分析了电场中高能电子的雪崩增加，雪崩电子又电离空气分子产生许多低能电子，这些电子一起形成一个显著电流，导致电荷的快速转移. 能量大于 10^{15} eV 的 EAS 次级粒子中心形成局域高电导等离子体，在这些区域触发闪光放电. 这种闪光产生固氮，进而影响对流层臭氧水平. 当然闪电也可能引起森林大火，产生 CO_2，并进入大气中.

4 宇宙线与大气过程间关联的观测

上述宇宙线引起大气中的微观物理过程变化直接观测是非常困难的，但可以通过观测这些微观过程产生的大范围环境性质（如辐射、压强、温度、雨量、气旋活动等)变化来研究. 近几十年来，在研究大范围环境变化与不同宇宙线现象间的关联方面已有大量的工作，由于这些观测到的大范围环境变化受多种因素影响，宇宙线效应相对较小，因此要求仔细处理观测数据，从中提取有用的弱信号.

1992 年，Kodama 研究发现，大能量 SEP 事件后，南极洲上空海拔 20—30 km 处的大气温度下降了数度[34]. 1996 年，Shumilov 等指出 1984 年 2 月 16 日 SEP 事件后，大气平流层气溶胶凝聚持续几天有相当增强[35]. 这两个结果都是在 SEP 事件期间或 SEP 事件后观测到的大气效应，很可能与大气中的化学反应有联系. 另外研究发现[36]，Forbush 下降和 SEP 事件期间宇宙线流强的变化反相，Forbush 下降引起了大气循环扰动(可以通过观测涡度面积指数 VAI 得到)减少和降雨量降低，而 SEP 事件期间 VAI 和降雨量增加.

另外有一系列的工作研究了银河宇宙线的变化与进入到低层大气层的总辐射量间的关联[37,38]. 结果表明，11 年周期和 Forbush 下降这样的银河宇宙线变化伴随有进入极区辐射量的变化. 在高纬度 Forbush 效应伴随着辐射量的变化，导致对流层云量减少和压强升高及温度下降. 这种效应与纬度、季节、云的种类和海拔高度等都有关系.

1991 年，Friis-Christensen 和 Lassen 发表文章[39]，指出 1860—1990 年间太阳活动周期长度和北半球温度间有强关联. 1995 年，Lassen 和 Friis-Christensen 给出了另一时期 1579—1987 年间的这种关联[40]. 2000 年，Lassen 和 Friis-Christensen 以及 Thejll 和 Lassen 给出了新的同样的结果[41,42]. 1997 年，Friis-Christensen 和 Svensmark 得到结果表明，总的覆盖云量与银河宇宙线强度间存在着强关联，如图 5 所示[6]. 随后，1998 年 Svensmark 给出了新的结果[43]，2000 年 Marsh 和 Svensmark 将总的覆盖云量变成了低层覆盖云量，给出了相似的结果[43]. 这种关联比云和其它太阳活动参数间的关联大很多. 这些结果引起了世界范围内的广泛关注. 因为云能影响入射进来的短波太阳辐射，也能影响地球辐射出去的长波辐射，云变化的总的效果可以引起地球温度的变化. 如果宇宙线引起了云的变化，进一步就会引起地球温度的变化，人们自然就会问，地球变暖是否是由宇宙线流强变化引起的？对此也有不少学者持否定态度[13]. 这也说明，宇宙线对大气过程的影响是一个非常复杂和远没有搞清楚的问题.

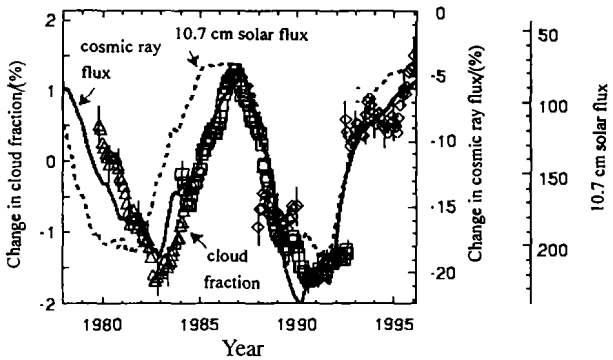

图 5 宇宙线流强与全球覆盖云量间的强关联

羊八井宇宙线观测站是著名的地面 EAS 观测站. 我们利用其宇宙线事例触发率来研究 1—10 TeV 宇宙线流强和观测面温度之间的变化关系. 图 6 中给出的是记录到的宇宙线事例率和观测面温度经过小波变换处理后的 1 天变化情况. 从中发现宇

宙线流强和温度间存在明显的负关联，即宇宙线高流强对应着较低温度，只不过宇宙线的变化比温度变化提前，这也许正说明，宇宙线变化是温度变化的原因之一. 当然这只是初步结果，还需要仔细分析和讨论.

总之，研究大气过程与宇宙线流强间关联的工作表明，宇宙线对大气过程有影响. 显然，要解开其中许多微观和宏观过程间相互影响的关系，应该考虑其中复杂的反馈作用.

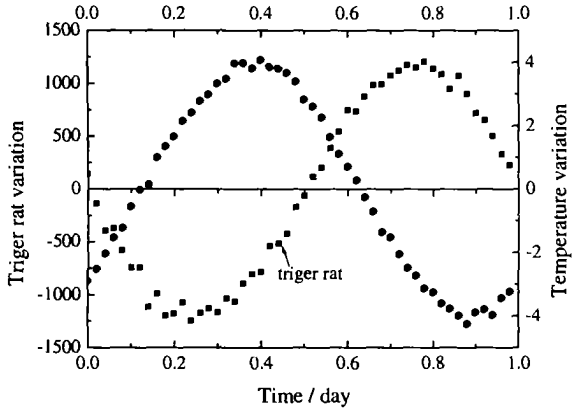

图 6　羊八井宇宙线触发率和温度的日变化

在 1 天中，宇宙线流强的变化比温度变化超前约 0. 1 天，二者具有负相关.

5　结论和讨论

受太阳活动影响或其它原因，使得宇宙线流强存在着变化，宇宙线在大气中产生的电离也有同样的变化. 宇宙线引起的电离在大气过程中起着显著作用. 大量观测表明，宇宙线流强变化和大气动力学、电化学状态的长期和短期(日)变化之间存在着联系. 但对这种关联进行解释是非常困难的，是远没有解决的问题. 应该通过对大气中某些成分的化学反应生成过程和电离、电场、大气化学以及云形成的微观物理过程进行仔细分析，并将它们与大气循环和辐射变化连接起来. 电离率、大气化学、反照率以及不透明度的相互耦合可能产生放大作用，使相对较小能量的宇宙线引起了包含巨大能量的大范围大气过程的变化.

关于宇宙线和气候变化，观测显示高宇宙线流强对应着多云和冷气候，反之亦然. 过去 100 年全球温度 0. 6 ℃的上升与同期观测到的宇宙线流强的变化在幅度和时间上都一致. 当然，对上述结论仍然存在着争论，主要是现代卫星覆盖云数据观测时间太短，其中存在着许多不确定性. 另外，地球上许多地区的天气云和日照记录显示，20 世纪总的覆盖云量是增加的，这与宇宙线和低云量关联给出的趋势不同. 这可能说明，使覆盖云在百年时间上发生变化的主要机制也许不是银河宇宙线的变化，而是其它机制，比如海面温度的上升引起蒸发率的升高，可能使云量增加. 当然，如果空气温度足够高就可以阻止相对湿度的上升，使云不一定增加. 另外需指出的是，由于太阳磁场和地磁场影响宇宙线流强，通过仔细测量和深入理解太阳和地球的磁场引起的气候效应以及宇宙线流强效应，有可能预测地球气候的长期变化(10—1 000 年).

总之，现在已有观测迹象表明，宇宙线对地球气候的影响确实存在，但这是一个非常复杂的问题，还有许多工作要做. 我们将在现有工作的基础上，充分利用羊八井宇宙线观测站的观测数据，开展这方面的研究.

参　考　文　献：

[1] Shea M A, Smart D F. Nuovo Cimento, 1996, **19C**(6): 945.

[2] Ney E P. Nature, 1959, **183**(4659): 451.

[3] Dickson R E. Bull Am Meteorol Soc, 1975, **56**: 1 240.

[4] Tinsely B A, Brown G M, Scherrer P H, *et al*. J of Atmos Sol-Terr Phys, 1989, **94**: 14 783.

[5] Tinsely B A , Dean G W. J Geophy Res, 1991, **96**: 22 283.

[6] Svensmark H, Friis-Christensen E. J of Atmos Sol-Terr. Phys, 1997, **59**: 1 225.

[7] Lookwood M, Stamper R, Wild M N. Nature, 1999, **399**: 437.

[8] Shaviv N J. New Astronomy, 2003, **8**: 39.

[9] Peter Laut. J of Atmos Sol-Terr Phys, 2003, **65**: 801.

[10] Palle E, Butler C J. J of Atmos Sol-Terr Phys, 2002, **64**: 327.

[11] Bazilevskaya G A, Krainev M B, Makhmutov V S , *et al*. J of Atmos Sol-Terr Phys, 2000, **62**: 1 577.

[12] Egorova L V, Vork V Y, Troshichev O A, *et al*. J of Atmos Sol-Terr Phys, 2000, **62**: 955.

[13] Jφrgensen T S, Hansen A W. J of Atmos Sol-Terr Phys, 1997, **59**: 1 225; J of Atmos Sol-Terr Phys, 2000, **62**: 73.

[14] Svensmark H, Friis-Christensen E. J of Atmos Sol-Terr Phys, 2000, **62**: 79.
[15] 贾焕玉，王顺金. 高能物理与核物理，2001，**25**：277.
[16] 冯振勇，王顺金. 原子核物理评论，2001，**18**(3)：138.
[17] 刘 君，贾焕玉，黄 庆. 原子核物理评论，2004，**25**(1)：38.
[18] Lipari P. Nucl Phys (Proc Suppl), 2003, **B21**(1): 133.
[19] Fonseca M V. Nucl Phys (Proc Suppl), 2003, **B114**: 233.
[20] Fastrup B, Pedersen E, Lillestol E, *et al*. arXiv: physics/0104048.
[21] Pudovkin M I. Soros Educational J, 1996, **10**: 106.
[22] Bauer E. J Geophys Res, 1979, **C84**(11): 6 929.
[23] Krivolwtsky A A, Kuminnov A A, Repnev A I, *et al*. Geomagnetism I Aeronomia, 1999, **39**(3): 3 (in Russian).
[24] Jackman C H, Douglass A R, Rood R B, *et al*. J Geophys Res, 1990, **95**(D6): 7 417.
[25] Shumilov O I, Henriksen K, Raspopov O M, *et al*. Geophys Res Lett, 1992, **19**(16): 1 647.
[26] Shumilov O I, Kasatkina E A, Henriksen K, *et al*. J of Atmos and Terr Phys, 1995, **57**(6): 655.
[27] Rosenfeld D. Science, 2000, **287**: 1 793.
[28] Miller R, Crutzen P J. J Geophys Res, 1993, **98**: 20 483.
[29] Jackman C H, Frederick J E, Stolarski R S, *et al*. J Geophys Res, 1980, **85**(C12): 7 495.
[30] Tinsley B A, Rohrbaugh R P, Hei M, *et al*. J Atmos Sci, 2000, **57**: 2 118.
[31] Bering Ⅲ A E, Few A A, Benbrook J R, *et al*. Phys Today, 1998, **51**(10): 24.
[32] Tinsley B A. J Geomagnism and Geoelectricty, 1996, **48**(1): 165.
[33] Ermakov V I, Stozhkov Y I. New Mechanism of Thundercloud Electricity and Lightning Production. Proc of the 11th ICAE, 1999, June 7—11, Alabama, USA, 242—245.
[34] Kodama M, Kohno T, Kanzawa H. J Geomagnism and Geoelectricty, 1992, **44**: 361.
[35] Shumilov O I, Kasatkina E A, Henriksen K, *et al*. Annals Geophys, 1996, **14**: 1 119.
[36] Tinsley B A, Brown G M, Scherrer P H, *et al*. J Geophys Res, 1989, **94**: 14 783.
[37] Pudovkin M I, Veretenenko S V. J of Atmos and Terr Phys, 1995, **57**(11): 1 349.
[38] Veretenenko S V, Pudovkin M I. J of Atmos Sol-Terr Phys, 1999, **61**: 521.
[39] Friis-Christensen E, Lassen K. Science, 1991, **254**: 698.
[40] Lassen K, Friis-Christensen E. J of Atmos Sol-Terr Phys, 1995, **57**(8): 835.
[41] Lassen K, Friis-Christensen E. J Geophys Res-Space, 2000, **105**(A12): 27 493.
[42] Thejll P, Lassen K. J of Atmos Sol-Terr Phys, 2000, **62**: 1 207.
[43] Svensmark H. Phys Rev Lett, 1998, **22**: 5 027.
[44] Marsh N D, Svensmark H. Phys Rev Lett, 2000, **85**: 5 004.

Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate*

JIA Huan-yu

(*Institute of Modern Physics, Southwest Jiaotong University, Chengdu* 610031, *China*)

Abstract: The cosmic ray flux has some changes due to the solar modulation and other factors, and maybe induce some variability of the Earth's climate. This paper intends to introduce and discuss some fundamental and important physics mechanism for cosmic ray influence on the atmosphere, including chemical reaction and cloud microphysics etc, and give some observational results of these effects. Finally, provide some primary results of the very high energy cosmic ray variations and meteorological effects with YBJ Cosmic Ray Observatory.

Key words: cosmic ray; Earth's climate; correlation; time variation

* **Foundation item**: The Basic Science Foundation of Southwest Jiaotong University