

文章编号: 1007 - 4627(2008)01 - 0038 - 06

# ARGO-YBJ 实验“Scaler 模式”计数的气象效应\*

徐 斌, 贾焕玉, 曹成芳, 何丽萍

(西南交通大学现代物理研究所, 四川 成都 610031)

**摘 要:** 对中意合作西藏 ARGO-YBJ 实验“Scaler 模式”下次级宇宙线计数的气象效应进行了讨论, 计算了计数率与大气压强、室外温度、大气电场及实验大厅内温度、湿度等 5 个气象参量的偏相关系数。结果表明, 大气压强与次级宇宙线计数有很强的负相关, 与室外温度也有一定的负相关, 而实验大厅顶部的大气电场与实验记录的次级宇宙线计数基本没有关联。另外, 实验大厅内温度也是影响次级宇宙线地面测量的一个重要因素, 实验大厅内的湿度也有一定影响。随着符合多重数的增加, 实验大厅内温度和湿度的影响变得不再重要。另外, 对次级宇宙线计数率进行了多参量的气象效应修正。结果表明, 这种修正是可靠的, 为进一步利用 ARGO-YBJ 实验“Scaler 模式”下的实验数据进行各种物理分析打下了基础。

**关键词:** 次级宇宙线计数; 气象效应; 偏相关系数

**中图分类号:** O571; P172      **文献标识码:** A

## 1 引言

宇宙线是来自宇宙空间的高能粒子流, 是人类研究宇宙的唯一物质样品。宇宙线到达地面前, 穿过地球大气层, 与大气中的原子核发生相互作用, 生成新的次级粒子, 产生广延空气簇射现象(Extensive Air Shower, 简称 EAS)。在地面放置探测器接收 EAS 次级粒子可以对宇宙线进行间接测量。当大气参量(比如大气压强和温度等)发生变化时, EAS 粒子穿过的大气层物质量发生变化, 导致测量到的 EAS 粒子数目发生变化, 即气象参量对地面宇宙线的观测有影响, 这就是所谓的气象效应。除此之外, 气象参量还可能对探测器设备的性能造成影响, 这也是地面宇宙线测量结果的另一种气象效应。研究宇宙线气象效应可以了解宇宙线在大气中的传播以及与大气中原子核的相互作用机制, 也是寻找宇宙线其他物理变化的重要基础<sup>[1]</sup>。

大面积使用气体探测器——阻性板(Resistive Plate Chamber, 简称 RPC)的 ARGO-YBJ 宇宙线观测阵列, 已经基本建成, 并开始稳定运行。特别是“Scaler 模式”下的数据, 给出 EAS 次级粒子多重数

为  $n \geq 1$ ,  $n \geq 2$ ,  $n \geq 3$  和  $n \geq 4$  的计数率结果, 可以用来监测 RPC 探测器运行的稳定情况、物理上寻找 10 GeV 能量的  $\gamma$  暴、研究太阳活动对宇宙线强度的影响等<sup>[2-6]</sup>。

为了进行气象效应以外的宇宙线物理变化研究, 必须对地面观测结果的气象效应进行扣除, 因此首先需要了解气象参量与宇宙线测量结果间的关联, 寻找主要影响因素。另外, 对气象效应的研究也有助于理解宇宙线的观测数据。本文利用 2006 年 7 月 19 日到 8 月 10 日 ARGO-YBJ 实验运行的 130 个探测器逻辑单元(Cluster)中稳定运行的 74 个 Cluster 的“Scaler 模式”下计数数据, 分析和研究了大气压强、室外温度、大气电场强度、实验大厅内温度、湿度对次级宇宙线计数率的影响, 并进行气象效应修正。

## 2 ARGO-YBJ 实验和数据分析计算方法

2000 年, 中意两国在西藏羊八井宇宙线观测站(30.11 °N, 90.53 °E, 海拔 4 300 m, 垂直截止磁

\* 收稿日期: 2007 - 05 - 21; 修改日期: 2007 - 11 - 16

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10120130794)

作者简介: 徐 斌(1981—), 男(汉族), 湖北孝感人, 博士研究生, 从事高能粒子物理与宇宙线研究; E-mail: xu\_bin1218@126.com

刚度 14.1 GV) 合作建设 ARGO 实验。关于该实验及其近况在文献[7]中有详细描述和介绍。实验采用 RPC 气体带电粒子探测器, 探测器连续平铺于实验大厅地面上。每个 RPC 面积为  $2\ 786\ \text{mm} \times 1\ 236\ \text{mm}$ , 分为 10 个 PAD, 每个 PAD 上有 8 个 Strip(读出条)。12 个 RPC 组成一个 Cluster 单元。全部完成的 ARGO 实验将包括 154 个 Cluster。2006 年 6 月下旬, 中心区的 130 个 Cluster 开始正式运行采集数据。实验数据的采集同时独立运行在两种模式下: “Shower 模式”和“Scaler 模式”。前者对一个原初宇宙线粒子产生的 EAS 次级粒子信息进行记录, 即记录下 EAS 中次级粒子到达的时间和位置等信息, 用来对原初宇宙线粒子的到达方向和能量等参量进行重建。而“Scaler 模式”只记录一个时间间隔内到达探测器阵列中每个 Cluster 的 EAS 次级粒子数目。在 ARGO-YBJ 实验中, 对“Scaler 模式”下的计数率做了低多重数符合后, 记录下每个 Cluster 在约 0.5 s 内多重数分别为  $n \geq 1$ ,  $n \geq 2$ ,  $n \geq 3$  和  $n \geq 4$  的计数, 其计数分别为 20 000, 1 000, 150 和 70 左右。从多重数为  $n \geq 1$ ,  $n \geq 2$ ,  $n \geq 3$  和  $n \geq 4$  的计数中可以得出  $n = 1$ ,  $n = 2$ ,  $n = 3$  和  $n \geq 4$  的计数结果。多重数取值不同对应着原初宇宙线粒子能量的不同, 模拟计算显示,  $n = 1$ ,  $n = 2$ ,  $n = 3$  和  $n \geq 4$  对应的原初宇宙线中质子成分的最可能能量分别为 104, 138, 172 和 248 GeV。

RPC 探测器需要运行在一个相对稳定的环境下, 为此 ARGO 实验安装了 DCS (Detector Control System) 监测系统, 除了监测 RPC 探测器的运行高压和电流等参量之外, 还实时记录了气象参量的变化, 如大气压强、温度、实验大厅内温度、湿度以及实验大厅顶部的大气电场等。这些气象参量的数据可以用来研究上述“Scaler 模式”的次级宇宙线计数的气象效应。

在多自变量的系统中, 要研究各变量间的相关性质和程度, 需要对它们进行偏相关性分析。用来表示两个变量相关性质与程度的统计量为偏相关系数  $R_{ij}$ , 它表示在  $m$  个相关变量  $X_1, X_2, \dots, X_m$  中, 当另外的  $m - 2$  个变量保持固定不变时,  $X_i$  和  $X_j$  两个变量间的相关性质与程度。在含有  $m$  个变量的  $N$  组观测数据  $X_{ik}$  ( $i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, 3, \dots, N$ ) 的系统中, 偏相关系数计算过程如下:

第 1 步, 计算变量  $X_i$  和  $X_j$  间的简单相关系

数  $r_{ij}$

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_i)(X_{jk} - \bar{X}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^N (X_{jk} - \bar{X}_j)^2}},$$

$$i, j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, N.$$

第 2 步, 求出上述简单相关系数  $r_{ij}$  组成的  $m \times m$  矩阵的逆矩阵, 该逆矩阵元素为  $c_{ij}$ 。

最后计算  $X_i$  和  $X_j$  的偏相关系数:  $R_{ij} = -c_{ij} / \sqrt{c_{ii}c_{jj}}$ , 其中,  $i, j = 1, 2, \dots, m; i \neq j$ 。把样本数据按测量时间先后平均分成两等份, 分别计算前后两份的偏相关系数, 可以保守地把它们之间的差别估计为相关系数的系统误差; 把样本数据随机分成 8 等份, 分别计算各份的偏相关系数, 这 8 个系数的分布宽度除以  $\sqrt{8}$  便为相关系数的统计误差。

在  $m - 1$  个自变量  $x_i$  和因变量  $y$  组成的  $m$  个相关变量的系统中, 各自变量对因变量影响系数计算方法如下:

第 1 步: 建立多元线性回归方程:  $\hat{y}_k = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_{m-1}x_{m-1}$ 。

第 2 步: 计算各自变量  $x_i$  与因变量  $y$  间的协方差  $l_{iy}$  以及各自变量间的协方差  $l_{ij}$  组成的  $m - 1$  阶矩阵  $L$ , 其逆矩阵元素为  $e_{ij}$ 。

其中:

$$l_{ij} = \sum_{k=1}^N (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j),$$

$$l_{iy} = \sum_{k=1}^N (x_{ki} - \bar{x}_i)(y_k - \bar{y}),$$

$$i, j = 1, 2, \dots, m - 1; k = 1, 2, \dots, N.$$

第 3 步: 应用最小二乘法计算自变量  $x_i$  对因变量  $y$  的影响系数:

$$b_i = \sum_{j=1}^{m-1} e_{ij} l_{jy}, \quad i = 1, 2, \dots, m - 1.$$

自变量  $x_i$  对因变  $y$  影响系数  $b_i$  的统计误差  $\delta_{b_i} = \sigma \sqrt{e_{ii}}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m - 1$ ,  $\sigma$  为回归方程的平均标准偏差。其系统误差估计与偏相关系数系统误差估计方法相同。

### 3 计算分析结果和讨论

取 2006 年 7 月 19 日到 8 月 10 日期间的 AR-

GO-YBJ 实验“Scaler 模式”下的数据和气象参量数据进行分析。在这期间 130 个 Cluster 中选出了连续稳定运行的 74 个 Clusters, 求出一个 Cluster 在 10 min 内每 0.5 s 的平均计数, 分别计算了该计数与相应的大气压强  $P/\text{mb}$ 、实验大厅外温度  $T_0/^\circ\text{C}$ 、实验大厅内温度  $T_i/^\circ\text{C}$ 、实验大厅内湿度  $H(\%)$ 、实验大厅顶部大气电场  $E_A/(\text{kV}/\text{m})$  的偏相关系数。

为了形象直观地显示各气象参量与宇宙线计数之间是否存在线性相关关系, 首先给出气象参量与 4 个多重数字宇宙线计数的二维关联图。图 1 给出了大气压强与计数率的简单线性关联图。从图 1 可以

看出,  $n = 1$  的宇宙线计数与大气压强有一定的线性相关, 在低气压和高气压端的数据点稍微有些线性偏离。另外压强与多重数为  $n = 2, n = 3$  和  $n \geq 4$  的计数有很强的线性相关。同样室内外温度、实验大厅内的湿度与宇宙线计数之间也存在较好的线性关联。这为后面的偏相关分析和多参量线性拟合提供了保障。

在上述简单相关分析的基础上, 计算了各气象参量与宇宙线计数率的偏相关系数, 并对其误差进行了计算, 结果列于表 1 中。

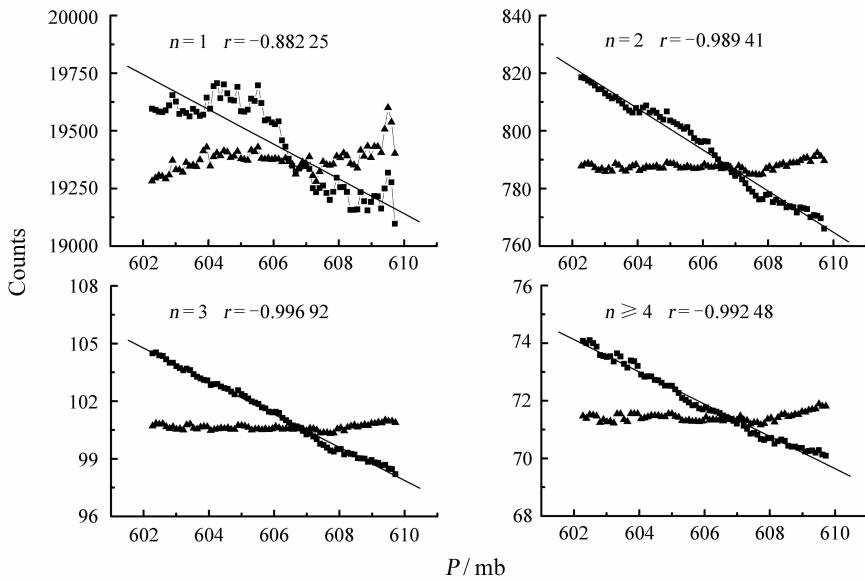


图 1 大气压强与 4 个多重数字宇宙线计数的线性关联图

$r$  为拟合的简单相关系数, 横坐标为大气压强, 纵坐标为每 0.5 s 内的平均宇宙线计数; ■拟合前, ▲拟合后。

表 1 偏相关系数计算分析结果\*

$R_{ij}$	$P/\text{mb}$	$T_i/^\circ\text{C}$	$T_0/^\circ\text{C}$	$H(\%)$	$E_A/(\text{kV}/\text{m})$
$n = 1$	$-0.576 \pm 0.005 \pm 0.072$	$0.600 \pm 0.005 \pm 0.182$	$-0.249 \pm 0.010 \pm 0.131$	$0.301 \pm 0.008 \pm 0.145$	$-0.040 \pm 0.012 \pm 0.080$
	$0.010 \pm 0.003 \pm 0.005$	$-0.004 \pm 0.001 \pm 0.001$	$0.005 \pm 0.002 \pm 0.003$	$-0.008 \pm 0.002 \pm 0.004$	$-0.040 \pm 0.011 \pm 0.014$
$n = 2$	$-0.883 \pm 0.002 \pm 0.074$	$0.391 \pm 0.012 \pm 0.094$	$-0.210 \pm 0.015 \pm 0.062$	$-0.097 \pm 0.009 \pm 0.084$	$-0.059 \pm 0.014 \pm 0.058$
	$0.021 \pm 0.003 \pm 0.006$	$-0.054 \pm 0.002 \pm 0.003$	$0.023 \pm 0.002 \pm 0.003$	$-0.097 \pm 0.003 \pm 0.015$	$-0.059 \pm 0.013 \pm 0.035$
$n = 3$	$-0.919 \pm 0.002 \pm 0.051$	$0.197 \pm 0.014 \pm 0.102$	$-0.185 \pm 0.012 \pm 0.040$	$-0.156 \pm 0.015 \pm 0.061$	$-0.058 \pm 0.015 \pm 0.074$
	$0.013 \pm 0.003 \pm 0.014$	$-0.005 \pm 0.001 \pm 0.007$	$0.008 \pm 0.002 \pm 0.005$	$-0.012 \pm 0.002 \pm 0.009$	$-0.059 \pm 0.013 \pm 0.031$
$n \geq 4$	$-0.900 \pm 0.003 \pm 0.050$	$-0.053 \pm 0.007 \pm 0.062$	$-0.176 \pm 0.014 \pm 0.032$	$-0.114 \pm 0.011 \pm 0.066$	$0.058 \pm 0.015 \pm 0.018$
	$-0.021 \pm 0.001 \pm 0.012$	$-0.054 \pm 0.002 \pm 0.016$	$0.040 \pm 0.002 \pm 0.004$	$-0.022 \pm 0.001 \pm 0.009$	$0.057 \pm 0.013 \pm 0.024$

\*  $n = 1$  中对应的两行分别为修正前后偏相关系数及其统计和系统误差, 其它同。

偏相关系数的计算结果表明:  $n = 1$  的次级宇宙线计数与大气压强  $P$  有较强的负相关, 也与实验

大厅内温度  $T_i$  有较强的正关联, 即大气压强和室内温度的变化对  $n = 1$  计数的变化有重要影响。大气压强升高、室内温度降低时,  $n = 1$  计数下降。另外室外温度和实验大厅内湿度与  $n = 1$  计数也有一定正关联, 当室外温度降低、大厅内湿度升高时,  $n = 1$  计数上升。不过这种影响不如大气压强和室内温度的影响重要。实验大厅顶部的大气电场对  $n = 1$  计数几乎没有影响。对  $n = 2$  计数有重要影响的因素是大气压强, 室内外温度也有一定影响, 而大厅内湿度和大厅顶部电场的影响很小。对  $n = 3$  计数, 主要影响因素仍然是大气压强, 室内外温度、湿度有较小影响, 而大气电场的影响很小。大气压强依然是影响  $n \geq 4$  计数的主要因素, 另外室外温度和大厅湿度对该计数也有较小影响。 $n = 1$ ,  $n = 2$  和  $n = 3$ ,  $n \geq 4$  计数受气象参量影响程度的不同, 说明它们的来源是有区别的。

对所有次级宇宙线计数, 大气压强是重要影响因素, 室外温度有一定影响, 这种影响表现在这两个参量发生变化会使到达探测器的 EAS 次级粒子

数目发生变化。 $n = 1$  计数中除了上述的 EAS 次级粒子外, 还有很大部分噪声, 比如地面辐射、探测器电子学和气体系统的辐射等。探测器电子学和气体系统受实验大厅环境参量(温度和湿度)的影响, 其中温度的影响更大。对  $n = 2$  的计数, 由于做了 2 重符合, 其中的噪声有所减少, 计数中主要成分是 EAS 次级粒子, 大气压强对此计数影响最大, 室内外温度有一定影响。做了 3, 4 重符合后,  $n = 1$ ,  $n \geq 4$  计数中的噪声已经很小, 有影响的气象因素主要是大气压强, 室外温度也有一定影响。

上述偏相关分析结果表明: 大气电场对 4 个多重数计数的影响很小, 另外实验大厅内湿度对  $n = 2$  计数以及室内温度对  $n \geq 4$  计数的影响也很小。对宇宙线计数进行多气象参量线性拟合时不考虑这些影响很小的参量。拟合得到各个气象参量的影响系数  $\beta$ : 气象参量每单位变化引起的次级宇宙线计数率的变化(影响系数的定义见文献[2])。它也是反映一个变量对另一个变量影响程度的参量。结果列于表 2。

表 2 影响系数及其统计和系统误差

$\beta$	$P/\text{mb}$	$T_i/^\circ\text{C}$	$T_o/^\circ\text{C}$	$H(\%)$
$n = 1$	$-0.344 \pm 0.018 \pm 0.066$	$0.494 \pm 0.025 \pm 0.081$	$-0.052 \pm 0.008 \pm 0.048$	$0.047 \pm 0.005 \pm 0.015$
$n = 2$	$-0.864 \pm 0.018 \pm 0.012$	$0.297 \pm 0.021 \pm 0.019$	$-0.045 \pm 0.010 \pm 0.020$	—————
$n = 3$	$-0.843 \pm 0.020 \pm 0.036$	$0.102 \pm 0.029 \pm 0.017$	$-0.029 \pm 0.009 \pm 0.014$	$-0.016 \pm 0.006 \pm 0.025$
$n \geq 4$	$-0.840 \pm 0.019 \pm 0.052$	—————	$-0.037 \pm 0.022 \pm 0.009$	$-0.010 \pm 0.008 \pm 0.016$

\* 虚线表示没有用该参量对其所对应的多重数计数进行拟合。

表中的影响系数, 结合各气象参量在该研究期间的变化幅度 ( $\Delta P \approx 8 \text{ mb}$ ,  $\Delta T_o \approx 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T_i \approx 12 \text{ }^\circ\text{C}$  和  $\Delta H \approx 23\%$ ), 也可以反映各气象参量对次级宇宙线粒子计数的影响程度。影响系数反映的结果和上述的偏相关系数分析结果相符合。

误差分析是数据分析中非常重要的组成部分, 直接关系到分析结果的正确与否。偏相关系数和影响系数的误差主要来源于以下 3 个方面: (1) 仪器(如 RPC 探测器、DCS 系统、供气系统以及其电子学系统等)本身所具有的误差; (2) 测量环境因素的变化引起的仪器性能变化带来的误差; (3) 数据处理方法的不合理与不完善(例如, 进行多参量相关分析和线性拟合时, 把线性相关程度不是很好的参量做了线性相关处理)所带来的误差。

在计算影响系数的基础上, 对“Scaler 模式”计数进行气象效应修正, 图 2 给出了修正前后计数率随时间的变化。可以看到, 修正后的正常涨落范围标度——标准偏差  $\sigma$ 。比修正前的  $\sigma$  小了很多, 而且修正前相对计数平均值有很大偏差的部分, 修正后大部分都落在  $1\sigma$  范围内。24—25 日期间修正后的  $n = 2$ ,  $n = 3$  和  $n \geq 4$  计数有较大偏离, 是否是其它天气状况(如下雨等)或未考虑的其它参量(比如空中云的分布等)的影响还无法确定。

图 1 中修正后的宇宙线计数与大气压强的简单关联曲线和修正后计数率与气象参量的偏相关系数结果(见表 1)及图 2 中修正后的宇宙线计数都说明修正后的计数率与上述气象参量几乎没有关联。这进一步说明, 上述气象效应修正是可靠的。

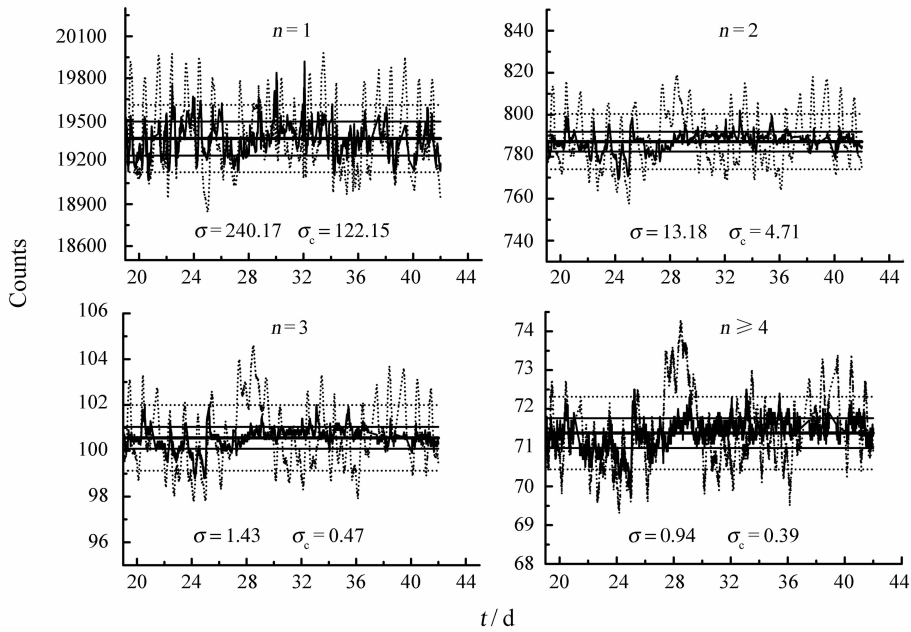


图 2 “Scaler”模式计数率随时间的变化

横坐标表示时间，“20”代表2006年7月20日，而“32”指2006年8月1日；纵坐标是多重数  $n=1, n=2, n=3$  和  $n \geq 4$  在 0.5 s 内的计数率。虚曲线是修正前的计数，实曲线是修正后的结果。 $\sigma$  和  $\sigma_c$  分别是修正前后计数率的标准偏差。虚直线表示修正前计数率 1 倍标准偏差范围，实直线表示计数率平均值和修正后计数率 1 倍标准偏差范围。

### 4 结论

对 2006 年 7 月 19 日到 8 月 10 日期间的 ARGO-YBJ 实验“Scaler 模式”数据和 5 个气象参量数据进行了偏相关计算分析。结果表明，宇宙线 EAS 次级粒子计数与大气压强之间有很强的负相关，与室外温度有一定的负相关，而与实验大厅顶部的大气电场基本没有关联。

多重数为  $n=1$  的次级宇宙线计数中包含有很大噪声，实验大厅内温度是对探测器、电子学系统和气体系统等有影响的最重要因素，实验大厅内的湿度对此也有一定影响。随着符合多重数的增加，实验大厅内温度和湿度的影响逐渐变小。这些计算分析结果对维护 ARGO-YBJ 实验的稳定运行提供了依据以及对理解地面探测的次级宇宙线数据的含义具有参考价值。

在此基础上，对地面探测的次级宇宙线计数进行了多个参量的气象效应修正，结果表明，这种修正是可靠的。为进一步利用 ARGO-YBJ 实验的“Scaler 模式”的数据进行各种物理分析，如研究太阳的活动、宇宙线的时间变化等打下了基础。

致谢 作者感谢所有参与羊八井宇宙线观测站工作的中外合作者。

### 参考文献 (Reference) :

- [1] Jia Huanyu, Cao Zhen, Zhang Huimin. HEP & NP, 1994, **18**: 788 (in Chinese).  
(贾焕玉, 曹臻, 张慧敏. 高能物理与核物理, 1994, **18**: 788.)
- [2] YBJ-ARGO Collaboration. Nucl Intr and Meth, 2003, **A508**: 110.
- [3] Jia Huanyu. Nuclear Physics Review, 2004, **21**(3): 218 (in Chinese).  
(贾焕玉. 原子核物理评论, 2004, **21**(3): 218.)
- [4] He Huihai, Bacci C, Bao Kezhi, et al. HEP & NP, 2001, **25**: 79.  
(何会海, Bacci C, 包克智等. 高能物理与核物理, 2001, **25**: 79.)
- [5] YBJ-ARGO Collaboration. Nuclear Physics, 2007, **B165**: 66.
- [6] Liu Jun, Jia Huanyu, Huang Qing. Nuclear Physics Review, 2004, **21**(1): 38 (in Chinese).  
(刘君, 贾焕玉, 黄庆. 原子核物理评论, 2004, **21**(1): 38.)
- [7] Aielli G, Bacci C, Bartoli B, et al. Nuclear Physics, 2007, **B166**: 96.

# Meteorological Effect on the “Scaler Mode” Counts of ARGO-YBJ Experiment\*

XU Bin<sup>1)</sup>, JIA Huan-yu, CAO Cheng-fang, HE Li-ping

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

**Abstract:** The Meteorological effects on “Scaler mode” secondary cosmic ray counts were discussed for the Sino-Italian cooperated experiment ARGO-YBJ in the Tibet Autonomous Region of China. The partial correlation coefficients were calculated between the counts and some environmental variables, such as the atmospheric air pressure, the temperature outside and inside the experimental hall, the atmospheric electric field and the humidity inside the hall. The results showed that there was a strong negative correlation between the counting rate of secondary cosmic ray and the atmospheric air pressure, and a moderate correlation was seen between the counts and the temperature outside of the hall. On the other hand, the atmospheric electric field had no correlation with the counts. The temperature inside the hall had an important influence on the secondary cosmic ray counts at low multiplicity ( $n = 1$ ) and the humidity inside the hall also had some influence. The larger the multiplicity, the less was the importance of the temperature and the humidity inside the hall. The data of “Scaler mode” counts has been corrected by taking into account its linear correlation with the multiple meteorological parameters. This correction was reliable and important for further physics analysis.

**Key words:** secondary cosmic ray count; meteorological effect; partial correlation coefficient

---

\* **Received date:** 21 May 2007; **Revised date:** 16 Nov. 2007

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (10120130794)

1) **Corresponding author:** E-mail: Xu\_bin1218@126.com