

羊八井 50m² RPC 探测阵列的 Monte Carlo 模拟*

瞿若飞 何会海 朱清棋 查敏 卢红
经才骝 王焕玉

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 利用 Monte Carlo 模拟研究了在西藏羊八井进行的 50m² RPC 宇宙线探测阵列实验. 对于实验数据分析给出方位角分布不均匀的结果进行验证和分析, 得出在尺寸不对称(8.6×6.1m²)的小面积阵列上 x 和 y 附近方向重建误差不同, 从而导致重建方位角分布不均匀. 另外利用模拟数据给出了该阵列的角分辨、能谱响应等.

关键词 RPC 探测阵列 Monte Carlo 模拟 方位角分布 角分辨 能谱响应

1 前言

中国和意大利合作在西藏羊八井建立 ARGONAT (Astrophysical Radiation with Ground-based Observation) 宇宙线观测装置^[1]. 它是由 RPC 气体探测器^[2]组成的 ~10000m² 的全覆盖地毯式探测阵列. 利用羊八井海拔高的地理优势和面积全覆盖地毯式探测阵列, 使得地面探测器观测小簇射事例成为可能, 观测阈能可以低至 ~100GeV, 并具有区分原初 γ 和质子的能力. 可望在宇宙 γ 射线源的寻找、监测和研究, 弥散 γ 射线的观测, 能级为 GeV/TeV γ 暴物理研究, 反质子相对丰度 \bar{p}/p 的测定等方面取得突破性进展.

为了检验 RPC 探测器在高海拔站区的工作情况, 中意合作组于 1998 年在羊八井 (4300m a. s. l.) 建造了 50m² RPC 地毯阵列模型, 目的是对在高海拔上使用 RPC 技术进一步 R&D 预先研究. 本文要介绍与之相关的一些 Monte Carlo 模拟计算结果.

2 羊八井 50m² 阵列实验装置简介

实验 50m² 阵列模型^[3]由 3×5 个 2.8×1.12m² RPC 气体探测器组成. RPC 间行距

2000-07-26 收稿

* 国家自然科学基金、中国科学院、科技部、宇宙线和高能天体物理开放实验室和意大利 INFN 基金资助

10cm,列距5cm,用来安放RPC气体管道、高压电缆以及数据采集系统的信号电缆等,总面积为 $8.6 \times 6.1 \text{m}^2$,地面覆盖率达到92%。每块RPC分为10个Pad($56 \times 56 \text{cm}^2$),每个Pad有16个 x 方向读出条,这16个读出条上产生的信号通过FAST OR逻辑输出。RPC是由两块间隔2mm的高电阻率($\rho = 0.5 \times 10^{12} - 1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$)酚醛树脂平板和边框围成的气室构成^[2,4],室内充有氩气(15%)、异丁烷(10%)和氟里昂(75%)的混合气体,工作电压为7500V,工作在流光模式,穿过探测器的带电粒子被探测到的概率在95%以上。

3 Monte Carlo 模拟

模拟工作分两部分。第一步是模拟原初粒子在大气中的级联簇射,Corsika是广泛应用的能很好模拟这一过程的程序^[5]。它给出簇射次级粒子在给定高度的种类、能量、分布等。利用Corsika模拟了能量范围在100GeV—10TeV的质子行为,能谱指数取2.75,天顶角范围为 $0^\circ - 60^\circ$,方位角为在各方向均匀取样。第二步是探测器模拟,ARGO-G是基于Geant3.21^[6]、专门用于羊八井ARGO探测阵列的模拟程序。该程序根据到达观测面的簇射次级粒子的能量、位置、时间和方向等信息,逐一跟踪模拟它们在探测阵列内部的径迹、行为,从而给出使阵列响应的前峰粒子的位置、时间等信息。

对模拟数据的分析重建与实验中数据处理采用相同的方法。触发逻辑要求是至少6个Pad被入射粒子击中。因为阵列面积较小,响应的次级粒子只是整个簇射前沿面的一小部分,近似认为被探测到的前锋面是一个平面,所以可以利用平面拟合方法重建得出原初粒子的方向。

3.1 方位角分布

在EAS实验中,经常用等方位角方法来寻找 γ 射线源,这一方法是利用背景事例方位角分布均匀的特性去除本底,从而找到 γ 源方向,这时方位角均匀分布就显得尤为重要。而对羊八井 50m^2 RPC阵列实验数据分析的结果表明^[7],探测到的事例原初方位角分布不均匀,呈余弦分布,在 x 方向(0° 和 180°)响应的事例较 y 方向(90° 和 270°)多,且不均匀主要体现在大天顶角事例。引起这一结果的原因可能有以下几个方面:(1)探测阵列是一个长方形, x 方向和 y 方向的尺寸不相同;(2)阵列的某种特性使得它对原初方向不同的事例响应有偏见;(3)对原始数据重建的误差导致重建方位角分布不均匀。为此采用M.C.模拟加以验证。

图1是满足触发条件事例的方位角取样值的分布曲线,可以看出分布是均匀的,说明阵列及触发条件对事例的方位角无偏见。图2给出重建所得的方位角分布,它是根据阵列响应的簇射前沿粒子的位置和时间,用平面拟合得出的原初方位角分布。与实验结果相似,该角分布在各方向不均匀, x 方向事例比 y 方向要多。虚线分别是天顶角 $\theta > 35^\circ$ 和 $\theta < 35^\circ$ 的事例的方位角分布,可以看出这一不均匀主要体现在大天顶角事例。

由上可见对于 50m^2 (150Pad)阵列,方位角分布不均匀是由重建造成的。为了讨论这一不均匀分布是否与阵列尺寸不对称有关,再对以下两种情况的阵列进行模拟。首先是模拟一个 x 和 y 方向尺寸的差别更大的阵列,它是由 3×3 个RPC组成,共90个Pad,面

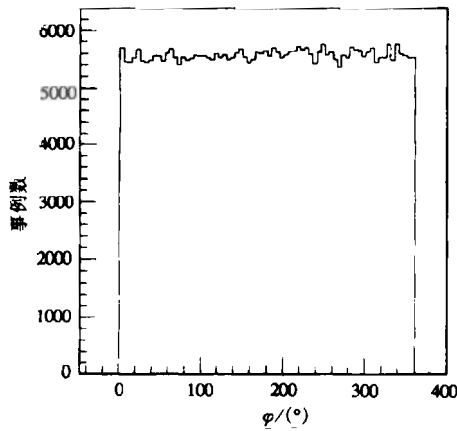


图 1 150Pad 方位角取样值分布

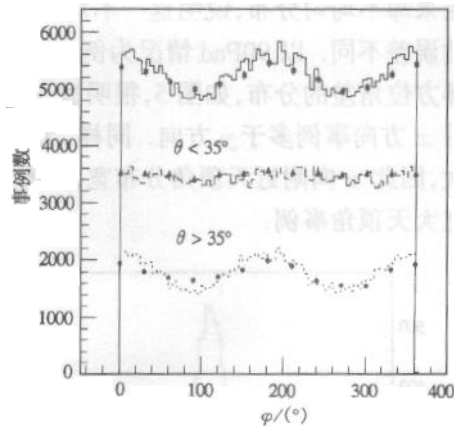


图 2 150Pad 重建方位角分布

实线是所有事例的分布,实心点为实验数据分析的结果.

积为 $8.6 \times 3.7\text{m}^2$. 模拟结果表明,满足触发条件事例的方位角取样值的分布情况与上述 150Pad 结果一样,在各个方向上均匀分布,即对各方位角事例响应仍然无偏见. 图 3 是对这 90 个 Pad 情况重建所得的方位角分布,虚线分别是 $\theta > 35^\circ$ 和 $\theta < 35^\circ$ 的分布曲线. 这一情况与前述 150Pad 阵列重建结果类似,只是分布不均匀性较之有所增加,阵列两个方向尺寸不对称性增加会使得重建方位角不均匀性增大. 另一种情况是对一个正方形阵列的模拟,该阵列由 10×4 个 RPC 组成,共 20×20 个 Pad. 可触发事例的方位角取样值分布仍然在各方向均匀,可见方阵阵列同样对方位角响应无偏见. 重建的方位角分布情况见图 4,虚线分别是 $\theta > 35^\circ$ 和 $\theta < 35^\circ$ 的分布,这 3 个分布在各方向上都是均匀的,由此可以认为正方形阵列响应的和重建的方位角分布都均匀,不均匀性是由阵列尺寸的不对称引起的.

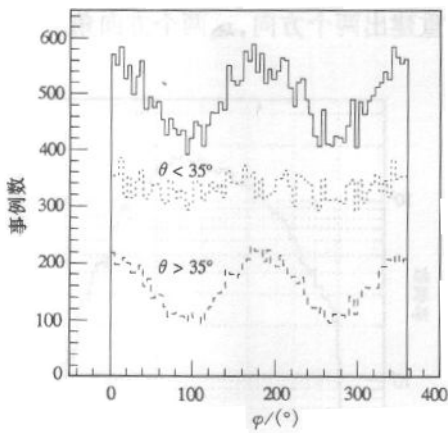


图 3 90Pad 重建方位角分布

实线是所有事例的分布.

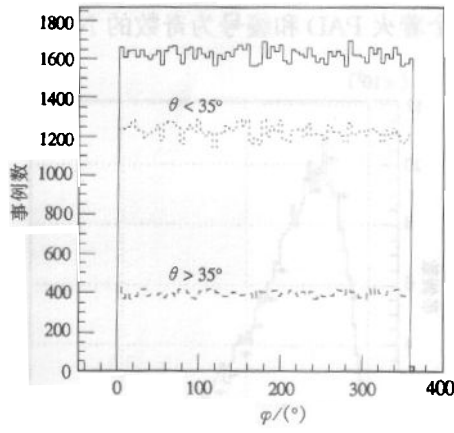


图 4 400Pad 重建方位角分布

实线是所有事例的分布.

对于 x 和 y 方向尺寸不对称的阵列,其触发事例的取样方位角分布均匀,而重建所

得结果却不均匀分布,说明这一不均匀性是来自重建误差,即在 x 方向和 y 方向重建方位角误差不同. 以 90Pad 情况为例,分别作两个方向 $\pm 30^\circ$ 范围内事例重建方位角与原初取样方位角差的分布,如图 5,很明显 y 方向(虚线)附近分布要宽,即误差大,由此使得重建后 x 方向事例多于 y 方向. 同样,天顶角重建在两个方向误差也不同,在 x 方向误差要大,因此 x 向附近天顶角分布宽,如图 6 所示,因此这一重建方位角分布不均匀主要体现在大天顶角事例.

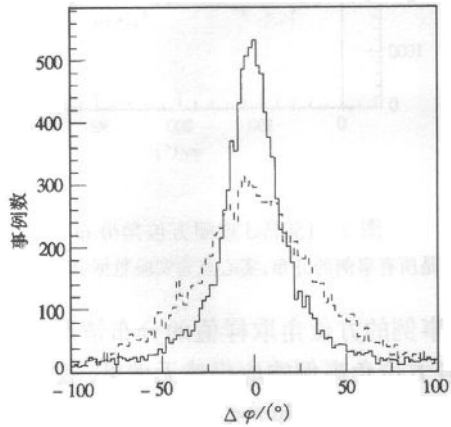


图 5 90Pad x & y 附近方位角重建误差分布
实线、虚线分别为 x 、 y 附近 $\pm 30^\circ$ 范围.

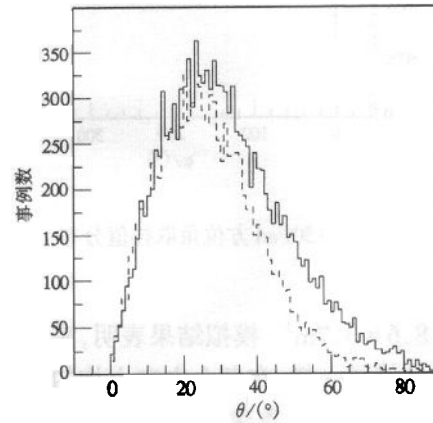


图 6 90Pad x & y 附近重建天顶角分布
图示同图 5.

3.2 角分辨

阵列对 EAS 方向角的分辨是一个重要参量. 利用模拟结果, 分别对编号为偶数的 N_e 个着火 PAD 和编号为奇数的 N_o 个着火 Pad 重建出两个方向, 这两个方向角之差 $\Delta\theta$

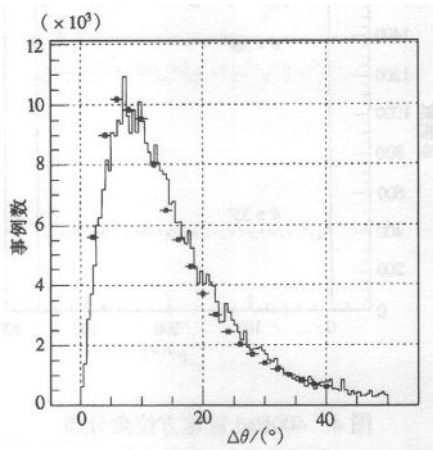


图 7 奇偶 Pad 重建的两个方向夹角分布
●实验结果.

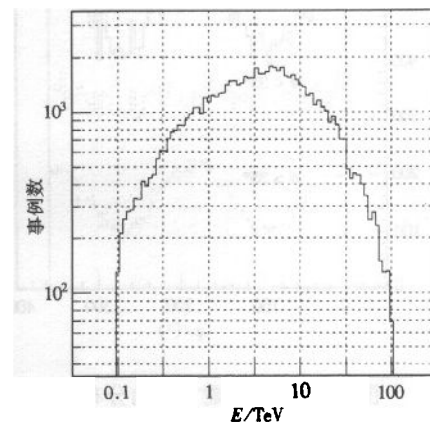


图 8 能谱响应

的分布如图 7 所示,则阵列的角分辨率 σ_θ 可以表示为

$$\sigma_\theta = \frac{M_{\Delta\theta}}{1.177 \times 2},$$

其中 $M_{\Delta\theta}$ 是 $\Delta\theta$ 分布的中位值. 分析计算结果为 $\sigma_\theta \approx 6.38^\circ$, 与实验结果基本相符合.

3.3 能谱响应

模拟过程中每个事例的原初能量都是已知的,因此很容易得出阵列的能谱响应. 能谱响应与所用的触发判别条件有关. 图 8 给出以着火 Pad 数不少于 6 为触发条件的能谱响应.

4 小结

对 50m² RPC 阵列的 Monte Carlo 模拟计算结果表明,模拟分析与实验的结果有很好的吻合,从而验证了实验的可行性. 从模拟的角度论证了方位角不均匀的原因,得出对尺寸不对称小阵列实验进行方向重建时,因 x 和 y 两个方向重建误差的不同将导致这一不均匀性. 预计即将建成的羊八井大型 RPC 地毯阵列不会有此问题.

参考文献 (References)

- 1 Abbrescia M et al. Astroparticle Physics with ARGO: Proposal, 1996
- 2 Santonico R et al. Nucl. Inst. & Meth., 1981, **187**:377
- 3 LU Hong et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1999, **23**:417—424 (in Chinese)
(卢红等. 高能物理与核物理, 1999, **23**:417—424)
- 4 Cardarelli R et al. Nucl. Inst. & Meth., 1988, **A263**:20
- 5 Knapp J et al. EAS Simulation with CORSIKA: A User's Guide, 1998
- 6 Brun R et al. GEANT User's Guide, CERN Program Lib, 1991
- 7 HE Hui-Hai et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2001, **25**(1):79 (in Chinese)
(何会海等. 高能物理与核物理, 2001, **25**(1):79)

Monte Carlo Simulation of 50m² RPC Carpet at Yang Ba Jing*

QU Ruo-Fei HE Hui-Hai ZHU Qing-Qi CHA Min

LU Hong JING Cai-Liu WANG Huan-Yu

(*Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China*)

Abstract The experiment of the 50m² RPC carpet, carried out at Yang Ba Jing, Tibet, is studied using Monte Carlo simulation. The simulation can re-produce the non-uniform azimuth angle distribution shown in experiment data and reaches the conclusion that it is due to different reconstruction errors in x and y directions on asymmetric carpet ($8.6 \times 6.1\text{m}^2$). Moreover, using the simulation data, the angular resolution and energy spectrum are given out.

Key words RPC carpet, Monte Carlo simulation, azimuth distribution, angular resolution, energy spectrum

Received 26 July 2000

* Supported by National Natural Science Foundation of China, CAS, Chinese Ministry of Science and Technology Open Laboratory of Cosmic Ray & High Energy Astrophysics and INFN, Italy