

$\psi(2S)$ 数据快速重建和数据质量监测*

傅成栋^{1;1)} 莫晓虎^{1,2} 张家文¹ 朱永生¹ 苑长征¹ 董昕³ 董燎原¹

1(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

2(中国高等科学技术中心 北京 100080)

3(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230027)

摘要 详细介绍了 2001—2002 年运行期间北京谱仪(BES II) $\psi(2S)$ 取数过程中利用快速重建事例进行的数据质量监测系统。该系统在快速重建进行的同时,利用重建数据经过事例选择后得到一系列物理量的分布,并进行直观的图形输出,实现 BES II 探测器性能和稳定性的快速监测。该系统操作简单,功能比较完善,扩展性好,完全可以而且已经用于 BES 取数过程中数据质量的监控。

关键词 北京谱仪 快速重建 数据质量 监测

1 引言

北京谱仪(BES)^[1]是运行于北京正负电子对撞机(BEPC)上的一台通用型磁谱仪,工作于质心系能量 2—5 GeV 的能区,它采集的数据被广泛应用于 τ 、粲能区的实验研究。数据是物理分析的基础,高质量的数据是物理结果可靠的保障,传统的 BES 的数据监测一般分为两个部分:

(a) 数据采集过程中的实时在线监控,主要包括各子探测器性能的监控^[2];

(b) 数据重建之后的离线数据质量检查,主要是对重建后各种物理信息的检查,诸如主漂移室(MDC)的动量、电离能损(dE/dx)的分辨率、桶部簇射计数器(BSC)的能量分辨率以及各子探测器的位置分辨率等等^[3]。

在线监控偏重对探测器硬件和电子学系统性能的监控,离线检查偏重对子探测器指标的检查。通过监控与检查,达到及时发现问题和缺陷,及时解决与补救,以提高数据质量的目的。但是离线检查与在线监控之间相隔的时间较长,一般在一至两周以上,许多重要的物理信息,诸如粒子的动量分辨等,无法通过在线监控获得。一旦在线监控无法显示的

而对物理信息有严重影响的问题不能及时获得反映和解决,势必会影响到数据的质量,从而对于日后的物理分析造成意想不到的困难。

在 2000—2001 运行年 BES 取数期间,D 物理组首次实现了在线事例的快速重建和质量监测^[4]。其特点是对获取的数据及时进行重建^[2],从而达到对采集数据的即时“准离线”检查。

2001—2002 运行年 BES 取数期间, $\psi(2S)$ 物理组发展并完善了快速重建事例的质量监控系统,形成了一套及时、有效、易操作、易改进并且完全自动化的监控程序。下面将详细介绍这一监控系统。

2 基本流程

快速重建的数据质量监测系统的基本流程大致可以分为 3 个部分:快速重建,事例选择和信息输出。

2.1 原始数据的快速重建

在线获取的原始数据存储在 Alpha 机上,经过模式转换后,传输到特定的 PC 机上,调用相关的程序,进行事例重建,重建之后的数据即可供“准离线”

2002-12-26 收稿

* 国家自然科学基金(19991483),中国科学院重大项目(KJ95T-03)和中国科学院百人计划(U-25)资助

1) E-mail: fucd@mail.ihep.ac.cn

2) 数据获取后,10 分钟内可以实行重建,重建一个 RUN 大约 3 万个事例约需 20 分钟^[4]。

质量检查之用。

快速重建与离线重建的重要区别在于所用的刻度常数不同。简单地说离线刻度常数细致、精确,是针对特定数据形成的^[5]。快速重建采用以往最近一批的刻度常数,也就是说,快速重建牺牲一定的精确性以赢得及时性。实际上,对于有限的时间间隔,刻度常数的变化不大,快速重建基本可以反映离线重建的数据性质。故此称快速重建事例为“准离线”事例。

2.2 典型事例的选择

e^+e^- 与 $\mu^+\mu^-$ 末态是典型的事例类型,它们的有关信息常用来确定刻度常数。动量、能量以及位置分辨率大多可以依据此两类事例获得。在 $\psi(2S)$ 数据获取过程中强子末态与 $\pi^+\pi^-J/\psi$ 末态也作为典型类型用于质量监控。前者的性状大致反映一般强子的质量状况,后者是 $\psi(2S)$ 衰变中分支比最大的末态,可作为单举衰变道的代表。此外还对一些典型的单举末态进行了选择,诸如含 K_s^0, K^*, Λ 和 ϕ 粒子的末态。这些末态除反映相应强子的性状外,其拟合质量中心值还可以反映离线能量刻度的情况。

2.3 相关信息输出

用于质量监测的信息可分为两类。一类是对于各子探测器性能的检查,主要是通过各种典型事例的典型分布的检查予以实现。譬如拟合 e^+e^- 末态事例的动量分布,可得到 MDC 的动量分辨;拟合 e^+e^- 末态事例的能量分布,可得到 BSC 的能量分辨,等等。对于这类信息,采用 ps 图形文件输出的形式。

另一类信息是对于探测器稳定性的检查。主要是观察事例数、截面、分支比等变量随时间(RUN号)的变化,以期了解运行的稳定程度。分布曲线中剧烈的起伏与显著的跳跃,往往表明问题的出现。这类信息除用作监测外,还可以用于其他估算之用,譬如用作事例总数的估算。对于这类信息,采用文本格式文件输出形式。

对于探测器性能的检查,需要每日进行。对于稳定性的检查至少需要 1 至 2 周的时间。

3 事例选择

关于强子、 e^+e^- 和 $\mu^+\mu^-$ 3 类事例的判选主要

是沿用 $\psi(2S)$ 扫描的事例选择程序^[6]。

由于强子末态没有特征的事例拓扑可以遵循,为此采用了排除法,主要去除宇宙线、束流相关本底、双光子本底、 e^+e^- 与 $\mu^+\mu^-$ 末态本底以及源于 $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ 过程的 γ 转换成电子对形成的本底(γ conversion本底)等等。首先要求每个好事例至少有两根好的带电径迹,且每根好的带电径迹限制在 $|\cos\theta| < 0.8$ 的范围之内,其中 θ 为径迹在 MDC 中的极角。单个事例在 BSC 中的总沉积能量必须大于 $0.36E_{\text{beam}}$ 以去除双光子过程及束流相关本底,其中 E_{beam} 为束流能量。如果一个事例所有的径迹都位于 Z 向的同一半球之内,该事例将作为束流相关本底予以去除。对于只有两条带电径迹的事例,还要求事例中的好光子数要大于 1,两根带电径迹的非共线角大于 10 度。

对于轻子末态,首先选择动量最大的两根带电径迹。为了去除宇宙线,要求两根 μ 候选径迹的飞行时间必须满足 $\sqrt{(t_1(\text{ns}) - 5)^2 + (t_2(\text{ns}) - 5)^2} < 4.5$ 且两根径迹的非共线角小于 10 度。还利用 μ 计数器的信息把双 μ 事例与其他两叉事例区分开来。此外每根 μ 径迹的极角应满足 $|\cos\theta| < 0.65$ 。

为将电子与 μ 子及其他强子区分开来,要求两根带电径迹在 BSC 中的沉积能量满足条件 $\sqrt{(\bar{E}_{\text{dep1}} - 1)^2 + (\bar{E}_{\text{dep2}} - 1)^2} < 0.65$, 其中 $\bar{E}_{\text{dep}} = E_{\text{dep}}/E_{\text{beam}}$ 是根据束流能量归一化的能量沉积。由于蒙特卡罗无法很好地模拟 BSC 加强筋处的能量沉积,要求每根径迹的 BSC 的第一击中层的 Z 向坐标 Z_{sc} 必须满足条件 $0.03 < |Z_{\text{sc}}| < 0.85\text{m}$ 或 $|Z_{\text{sc}}| > 0.95\text{m}$ 。

比较麻烦的本底来源于过程 $\psi(2S) \rightarrow XJ/\psi, J/\psi \rightarrow l^+l^-$ ($l = e, \mu$)。将利用归一化的动量 ($\bar{p} = p/E_{\text{beam}}$) 信息去除这一本底。对 e^+e^- 事例要求

$$(\bar{p}_1 > 0.95) \text{ or } (\bar{p}_2 > 0.95) \text{ or } (\sqrt{(\bar{p}_1 - 1)^2 + (\bar{p}_2 - 1)^2} < 0.16), \quad (1)$$

对 $\mu^+\mu^-$ 事例要求

$$P_{\text{-Cut1}} \text{ and } (P_{\text{-Cut2}} \text{ or } P_{\text{-Cut3}}), \quad (2)$$

其中 $P_{\text{-Cut1}}, P_{\text{-Cut2}}$ 和 $P_{\text{-Cut3}}$ 定义为

$$P_{\text{-Cut1}}: \sqrt{\left(\frac{\bar{p}_1 - \bar{p}_2}{0.35}\right)^2 + \left(\frac{\bar{p}_1 + \bar{p}_2 - 1.68}{0.125}\right)^2} > 1,$$

$$P_{\text{-Cut2}}: (\bar{p}_1 \geq 0.9) \text{ and } (\bar{p}_2 \geq 0.7),$$

$$P_{\text{-Cut3}}: (\bar{p}_1 \geq 0.7) \text{ and } (\bar{p}_2 \geq 0.9).$$

上述判选条件的含义和效果可参见文献[6]。

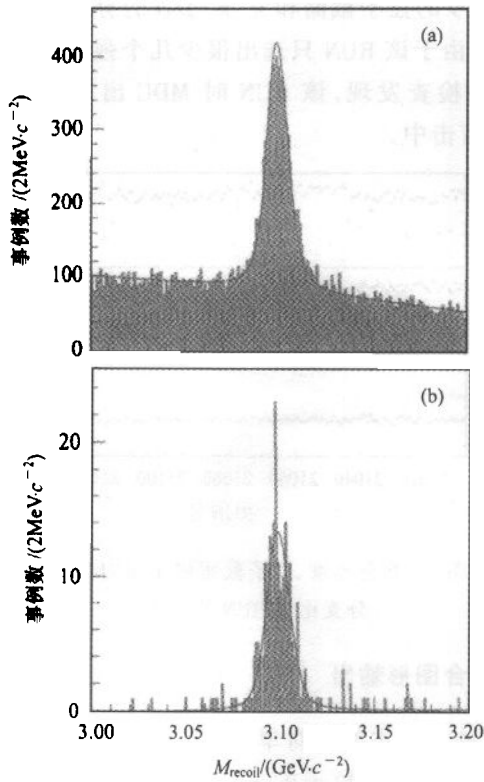


图 1 $\pi^+ \pi^- J/\psi$ 末态与 $\pi^+ \pi^- \mu^+ \mu^-$ 末态的反冲质量谱
(a) $\pi^+ \pi^- J/\psi$ 末态; (b) $\pi^+ \pi^- \mu^+ \mu^-$ 末态.

$\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$ 末态事例选择的基本思想是首先选择一对低能的 π 粒子, 并确定出两个 π 的反冲质量 (m_{recoil}) 谱. 谱形的分布显示出清晰的 J/ψ 峰. 进一步, 利用信号形状加多项式拟合的办法可以得到 $\pi^+ \pi^- J/\psi$ 末态事例数, 信号形状由单举过程 $\psi(2S) \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi, J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 获得, 因为这一衰变道事例拓扑鲜明, 判选方便, 本底干净, 事例清晰. 图 1 是 $\pi^+ \pi^- J/\psi$ 末态与 $\pi^+ \pi^- \mu^+ \mu^-$ 末态的反冲质量分布. 关于该末态的详尽分析与有关分布, 可在文献[7]找到.

K_s^0, K^*, Λ 和 ϕ 等 4 个单举末态的选择, 主要是移植 BES 合作组 J/ψ 物理组的有关程序, 关于这 4 个单举末态的相关说明可在文献[8]找到.

4 信息输出

快速重建数据质量监测的信息输出有 3 种方式: 即时图形输出、累加文本输出和聚合图形输出.

4.1 即时图形输出

这种方式主要用于各子探测器性能的检查.

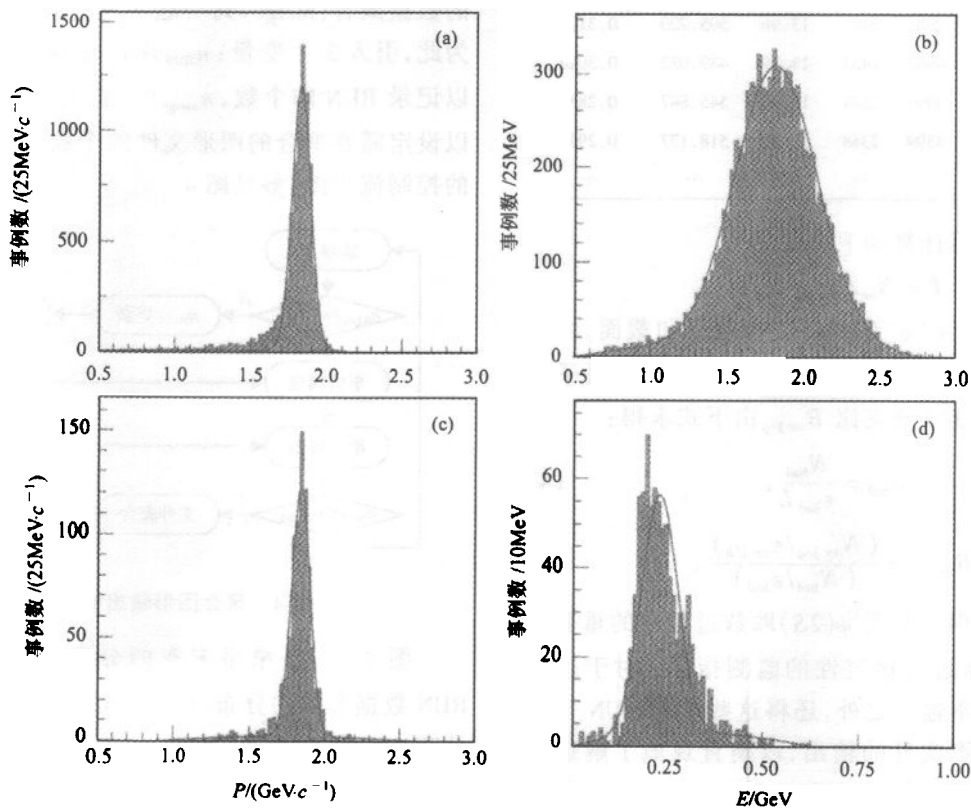


图 2 选择后的 $e^+ e^- \rightarrow e^+ e^-$ 和 $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 事例的能量、动量分布

- (a) Bhabha 事例的动量分布; (b) Bhabha 事例的能量分布;
- (c) Dimuon 事例的动量分布; (d) Dimuon 事例的能量分布.

图 2 给出 e^+e^- 和 $\mu^+\mu^-$ 末态事例的 4 个典型分布及相应的拟合值. 由此可以既直观又及时地了解 MDC, BSC 等子探测器的工作性能, 以及事例重建的性能.

4.2 累加文本输出

这种方式主要用于运行稳定性的检查, 文本文件的信息随 RUN 号的增加递增.

表 1 罗列了一段文本信息 (10 个 RUN). 其中包括各类典型事例的事例数 N_{ee} , $N_{\mu\mu}$, N_{had} 和 $N_{\pi\pi J/\psi}$ 等可由相应选择程序直接得到的直接输出量, 以及经过简单运算后得到的间接输出量, 如 L , σ_{had} 和 $B_{\pi\pi J/\psi}$.

表 1 输出的文本信息片断

RUN 号	N_{ee}	$N_{\mu\mu}$	N_{had}	$N_{\pi\pi J/\psi}$	L	σ_{had}	$B_{\pi\pi J/\psi}$
...
21049	508	54	4476	2242	12.92	490.289	0.2923
21050	555	56	5189	2578	14.12	521.918	0.2799
21051	554	58	5228	2631	14.09	525.943	0.3058
21052	529	63	5149	2561	13.45	544.855	0.3114
21053	558	55	5031	2559	14.19	498.673	0.2875
21054	557	59	5029	2547	14.16	503.031	0.3136
21055	549	62	4985	2483	13.96	505.220	0.3121
21056	566	60	4962	2453	14.39	489.032	0.3028
21057	509	53	4993	2529	12.94	545.847	0.2859
21058	495	62	4599	2368	12.59	518.177	0.2902
...

积分亮度可计算如下:

$$L = N_{ee} / (\epsilon_{ee} \cdot \sigma_{ee}), \quad (3)$$

其中 ϵ_{ee} 和 σ_{ee} 为 e^+e^- 事例的选择效率和截面, 由蒙特卡罗产生子结合判选程序得到. 类似地, 强子截面 σ_{had} 和 $\pi^+\pi^- J/\psi$ 分支比 $B_{\pi\pi J/\psi}$ 由下式求得:

$$\sigma_{had} = \frac{N_{had}}{\epsilon_{had} L}, \quad (4)$$

$$B_{\pi\pi J/\psi} = \frac{(N_{\pi\pi J/\psi} / \epsilon_{\pi\pi J/\psi})}{(N_{had} / \epsilon_{had})}, \quad (5)$$

σ_{had} 与 $B_{\pi\pi J/\psi}$ 这两个量是 $\psi(2S)$ 取数过程中的重要参照量, 可以作为运行稳定性的监测指标. 对于这些量除了进行文本输出之外, 还将这些量随 RUN 号的变化进行了图形文件的输出, 以期直观地了解运行的稳定状态. 图 3 为 RUN21008 至 RUN21157 一段中上述 3 个间接输出量的分布图. 这里可以明显看到

RUN21079 的强子截面和 $\pi^+\pi^- J/\psi$ 的分支比出现异常, 这是由于该 RUN 只选出很少几个强子事例造成的, 后经检查发现, 该 RUN 时 MDC 出现错误而且 BSC 没有击中.

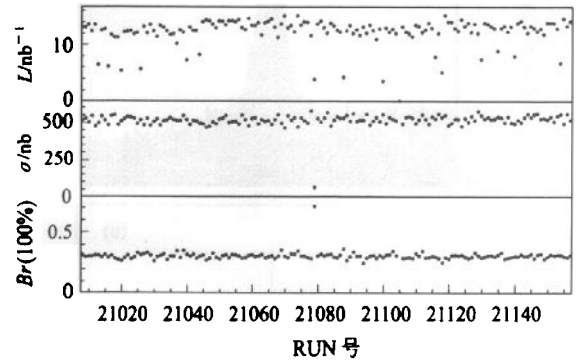


图 3 积分亮度、强子截面和 $\pi^+\pi^- J/\psi$ 的分支比随 RUN 的变化

4.3 聚合图形输出

这种方式主要针对单举末态设置. 对于有些单举末态中如含 ϕ 粒子的末态, 每 RUN 中的事例很少, 一个 RUN 甚至几个 RUN 的事例无法形成比较清晰的分布, 因此有必要将十几个甚至几十个 RUN 的数据聚合 (merge) 到一起实现有效的图形输出. 为此, 引入 3 个变量: n_{RUN} 用以记录 RUN 号, n_{num} 用以记录 RUN 的个数, n_{merge} (一般设置为 20 或 30) 用以设定需要聚合的图形文件的个数. 聚合图形输出的控制流程图, 参见图 4.

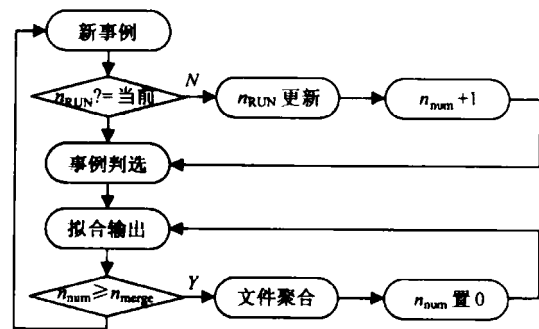


图 4 聚合图形输出的流程图

图 5 是 K_S^0 单举末态的分布, 其中 (a) 是 1 个 RUN 数据形成的分布, (b) 是 30 个 RUN 数据形成的分布. 比较之, 可见, 对于 K_S^0 等单举末态, 事例量过少, 无法形成有效的信号分布, 将丧失质量检查的作用.

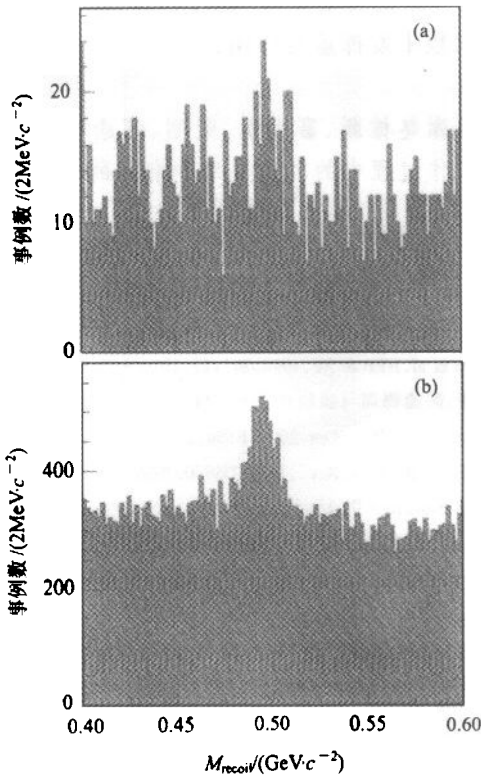


图 5 单举 K_0^0 末态的分布
(a) K_0^0 的不变质量(1R1UN); (b) K_0^0 的不变质量(30R1UN).

5 系统性能

基于 $\psi(2S)$ 数据获取形成的快速重建事例质量监控系统,具有广泛性、灵活性及自动化 3 个优点.

5.1 适用的广泛性

在事例类型的选择方面,选取了典型事例,例如强子末态与 e^+e^- 末态.这类末态对于 e^+e^- 对撞束在不同能区的实验研究中都可以用作快速重建事例的质量监测,譬如 $J/\psi, \psi(2S), \psi(3770)$ 以及 R 值实验等等.

在事例判选方面,由于采用了归一化的变量,例如 \bar{p}, \bar{E}_{dep} 等,作为判选条件,基本上摆脱了判选的能量依赖性.因此有关程序可以直接应用于其他能区的质量监测,或者只须作少量的调整与修改即可.

5.2 信息增添的灵活性

图 6 所示为快速重建事例质量监测系统的有关程序的基本结构.

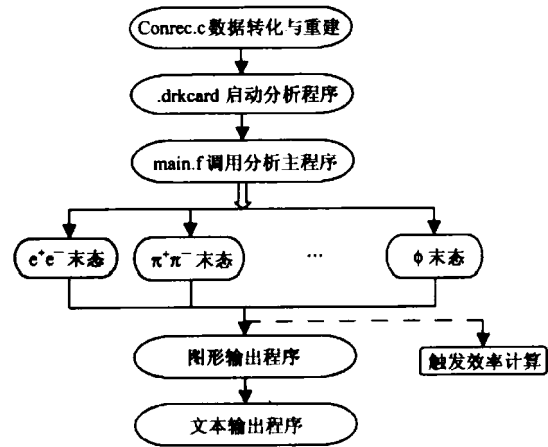


图 6 快速重建事例质量监测系统的基本结构

在程序编制过程中,注意实现程序的模块化结构.首先编制总体的各分析程序的调用程序(main.f),其次是彼此独立的各种末态的分析程序.这样,就可以根据具体需要增加或减少有关的分析程序及相应的信息输出.例如,可以在分析程序之后增加触发效率的计算程序,从而得到触发系统的有关信息,实现触发系统的“准离线”监控.这里值得注意的是,由于触发效率的研究需要用到 RAW DATA^[10],故在事例重建过程中必须产生 REC 格式的数据,而不能直接用 DST 或 NDST 等格式的经过压缩的数据.

5.3 操作自动化

如前所述,质量监测系统主要包括事例快速重建、典型事例选择以及相关信息输出 3 个步骤.目前的监测系统已经实现了从原始数据转化传输开始,直到信息输出为止的所有过程的完全自动化.一旦监测程序启动后,有关人员只需关注输出信息的质量性能即可.即使需要调整、修改,只要调试成功,也不再需要人为参与^[1].这样就极大地节省了人力,大大提高了工作效率.

6 小结

针对 $\psi(2S)$ 数据获取,为了保证数据质量,研究、发展并完善了利用快速重建事例进行的数据质量监测系统,实现了在原始数据采集之后,系统运作的自动化.在监控程序的编制方面注重模块化设

1) 数据传输曾经是由人为操作;信息输出最初是先产生 HBOOK 文件,之后再借助 PAW 软件^[11]形成可视 ps 文件.而目前程序能够直接输出可视的图形文件

计,从而使该系统具有广泛的适用性、灵活的操作性以及方便的改进性。

由于数据质量在物理分析中具有举足轻重的地位,这就使得快速重建的质量监测系统日益成为处于在线实时监控与离线质量检查之间不可或缺的重

要环节. 所介绍的自动化监测系统必将在今后北京谱仪实验取数中发挥重要作用。

作者感谢赵棣新、富洪玉、荣刚、何康林和王萌等同事在工作过程中的有关帮助和有益的讨论。

参考文献 (References)

- 1 BAI Jing-Zhi et al. Nucl. Instr. Meth., 2001, **A458**:627
- 2 LIU Yue-Jun et al. HEP & NP, 1989, **13**(8):680—688 (in Chinese); YANG Chang-You et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 1997, **17**(5):381—383 (in Chinese); ZHANG Jia-Wen et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 1998, **18**(6):456—459 (in Chinese)
(刘悦军等. 高能物理与核物理, 1989, **13**(8):680—688; 杨长友等. 核电子学与探测技术, 1997, **17**(5):381—383; 张家文等. 核电子学与探测技术, 1998, **18**(6):456—459)
- 3 HUANG Guang-Shun. Measurement of R -value Between 2.6—5GeV. Ph. D. Thesis 1999 (in Chinese); MO Xiao-Hu. Measurement of $\psi(2S)$ Resonance Parameters. Ph. D. Thesis 2001 (in Chinese)
(黄光顺. 2.6—5GeV 能区 R 值测量. 博士论文. 1999); (莫晓虎. $\psi(2S)$ 共振参数的测量. 博士论文. 2001)
- 4 RONG Gang et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2002, **22**:105—110
(荣刚等. 核电子学与探测技术, 2002, **22**:105—110)
- 5 MAO Ze-Pu et al. HEP & NP, 1996, **20**(12):1073—1081 (in Chinese)
(毛泽普等. 高能物理与核物理, 1996, **20**(12):1073—1081)
- 6 BAI Jing-Zhi et al. Phys. Lett. 2002, **B550**:24—32
- 7 BAI Jing-Zhi et al. Phys. Rev., 1998, **D58**:092006
- 8 SHEN Xiao-Yan. BES II J/ψ Data Status, Quality Check and Future Work. In: BES Collaboration The 9th BES Annual Meeting, Dalian June 2000. 283—297
- 9 CERN Library HBOOK Reference Manual Aug. 1998
- 10 YU Zhong-Qiang et al. HEP & NP, 1995, **19**(12):1062—1067 (in Chinese); HUANG Guang-Shun et al. HEP & NP, 2001, **25**(9):889—897 (in Chinese)
(郁忠强等. 高能物理与核物理, 1995, **19**(12):1062—1067); (黄光顺等. 高能物理与核物理, 2001, **25**(9):889—897)
- 11 CERN Library PAW User's Guide Jan. 1999

Fast Reconstruction of $\psi(2S)$ Data and Corresponding Quality Supervision

FU Cheng-Dong^{1,1)} MO Xiao-Hu^{1,2} ZHANG Jia-Wen¹ ZHU Yong-Sheng¹
YUAN Chang-Zheng¹ DONG Xin³ DONG Liao-Yuan¹

¹(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

²(China Center of Advanced Science and Technology, Beijing 100080, China)

³(Modern Physics Department, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract A data quality monitoring system for fast reconstructed event is depicted in detail for $\psi(2S)$ data taking during 2001—2002 years' running at Beijing Spectrometer (BES II). In parallel with fast reconstruction of raw data, the performance and stability of BES II subdetector can be inspected from various intuitive distributions of fast reconstructed and selected events. The system, with operation simplicity, function completeness and extension flexibility, has played and will play an important role in the quality monitoring of BES data taking.

Key words BES II detector, fast reconstruction, data quality, monitoring

Received 26 December 2002

* Supported by National Natural Science Foundation of China(19991483), The Chinese Academy of Sciences Foundation(KJ95T-03) and 100 Talents Programme of CAS(U-25)

1) E-mail: fucd@mail.ihep.ac.cn