第7卷 第3期 空间科学学报 Vol. 7, No. 3
1987 年 7 月 GHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE July, 1987

我国火箭探测资料与 CIRA 1986 稿的比较

庄洪春 肖光全 田剑华 马端平 吴永富
（中国科学院空间物理研究所）

摘 要

本文用我国气象火箭探测获得的中层大气风、温度、密度和气压等数据，与国际参考大气模式 CIRA 1986 稿作了比较. 结果看到，我国火箭探测温度数据值在模式给出的平均值剖面上下波动，符合的程度在国际比对偏差范围之内；用探测数据分析得到的风的季节性和声重波强度等与模式给出的描述都很符合. 从而说明，用 CIRA 1986 稿来表征我国上空的中层大气结构是合适的.

一、引 言

CIRA 1972 是在 14 年前由国际空间研究委员会（COSPAR）组织制定的。自那时以来，人们又获得了大量的卫星、火箭以及地面的探测数据. 对比新数据后发现，必须对模式进行修改. 于是在 1982 年渥太华 COSPAR 例会上成立了任务小组，来进行新的国际参考大气模式的制定工作，于 1986 年 7 月份在法国吐鲁斯召开的 COSPAR 例会上提出了新的国际参考大气 CIRA 1986 稿[1].

为了估计新的国际参考大气与我国上空大气的符合程度，本文用我国的火箭探测资料与 CIRA 1986 稿作了比较，这无疑是有意义的.

二、我国火箭对中层大气的探测

在火箭上对中层大气进行探测，我国使用过两种方式，即探测 20 到 60 km 高度的火箭探空仪降落伞方式和探测 30 到 80 km 高度的膨胀球方式*. 本文只就 1974 年以后在甘肃（40°N）和云南（24°N）两站探测得到的资料来作分析研究并与 CIRA 1986 稿作比较. 这些火箭探测获得数据的高度范围大致在 20—60 km. 为了检验探测的可靠性，除了研制过程中对各部件直至整机做严格的环境试验及定标测定以外，还利用大气这一天然实验室对火箭的实测结果进行考验. 如把火箭探测数据与气球数据进行比较[2]，或把相隔很短时间的两发火箭探测结果进行比较. 如 1979 年 12 月份在云南站发射的两次比对测量，只间隔 2 小时，测得的风的两条高度剖面曲线是相当接近的. 经分析计算知道，我国火箭对中层大气温度探测精度，60 km 的测温误差为 $\leqslant \pm 3$℃；30 km 处则为 $\leqslant \pm 1$℃.

本文于 1986 年 9 月 10 日收到.

* 中国科学院空间物理研究所，小型气象火箭箭头仪器概况，内部文献，1985.5.

风的探测精度，70—50 km 的误差≤2 m/s，50 km 以下≤1.5 m/s。

三、与 CIRA 1986 稿的比较

中层大气中，静压公式与气体状态方程把大气参数(温度、气压和密度)联系在一起，使得描述中层大气热力学参数中只有一个为独立变量，另二个可以从这一个独立变量计算得到。因为用温度来推算其他参量的精度较高，因此一般选用温度作为独立变量。CIRA 1986 稿就主要收集了卫星、火箭及地面观测得到的大气温度数据，并进行模式化。另外再配上大气风资料，就能基本上给出中层大气的宏观状态。本文的比较也主要用我国火箭探测得到的大气温度和风来与 CIRA 1986 稿进行比较。

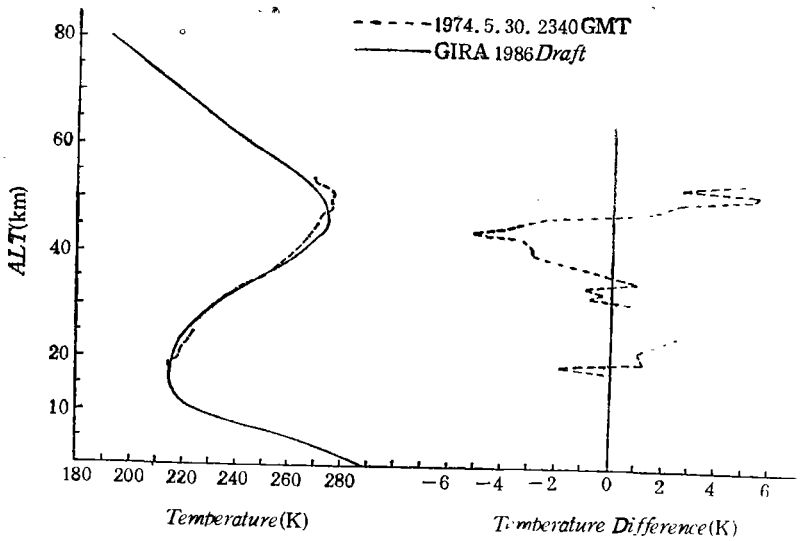
即使只采用温度和风两个参数，要完全描述全球大气的状态仍然并不容易，因为全球状态包括大气参数随时间和空间的变化，这些变化又包含了各种尺度。根据量级分析的思想，人们一般总是首先抓住所研究参量的平均值，它可以勾画出最基本的轮廓。然后再由大到小地加上各种量级的变化量。CIRA 1986 稿一开始就首先给出了大气温度的平均值。这个平均值在时间上是各年相同月数据的平均，在空间上是沿纬圈平均。因为相对来说，中层大气温度在一月内的逐日变化及在同一纬圈上的随径度的变化都比较小。这个平均大气温度是作为月份、纬度和高度的函数而列表给出的。(文献[1]中第 49 页表 I 及表 II)。然后，接着又给出一种主要的变化成分，即行星波波型 1 和 2 两种成分的幅度和相位。(文献[1]中第 114 页表 I)。合起来得到的大气温度值 T 即构成全球中层大气温度结构的骨架。它是高度、经纬度和月分的函数，用下式算出：

$$T = T_0 + T_1\cos(\lambda - \Phi_1) + T_2\cos(2\lambda - \Phi_2).$$

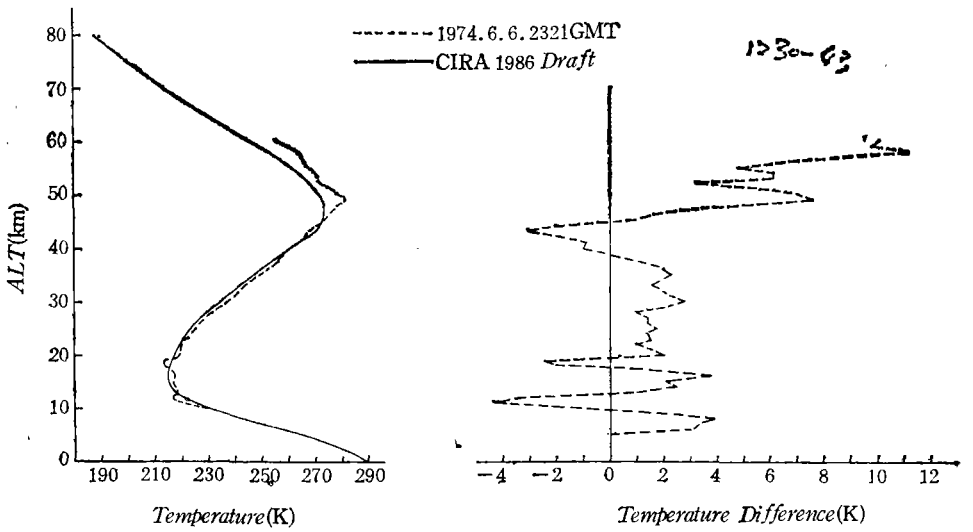
其中 T_0 即为纬圈上的平均值，T_1 和 T_2 为行星波波型 1 和 2 的振幅，λ 为经度，Φ_1 和 Φ_2 为行星波波型 1 和 2 的相位。T_0、T_1、T_2、Φ_1 和 Φ_2 都依赖于纬度、高度和月份，由 CIRA 1986 稿中的表查出数值。

我国现有的火箭探测数据较少，也还不够系统，得不出如 CIRA 1986 稿中那样的平均值。但可以用 CIRA 1986 稿所给出的我国火箭发射场地所在经、纬度上，在历次探测的月份内的大气温度值与我国火箭实测值作比较。图 1 即是对于我国火箭在 5、6、7 和 12 月分任意选取的部分探测数据的比较。每幅图的左半边实线所给出的剖面即为 CIRA 1986 稿上所给出的数据作出的。右半边是我国火箭探测数据与相同高度上模式值的差。注意左、右两半边横坐标的标尺不同。由图可见：①我国火箭探测数据在模式值的上下波动。用模式值来作为我国测站上空大气平均状况是可以接受的。②我国温度实测数据对模式的波动偏差大多数在±5℃之内，偶尔略超过 10℃。我国火箭的测温值与 CIRA 1986 稿比对结果符合程度在国际比对偏差范围之内。这种波动偏差显然并不表示火箭探测误差，而是表明实际大气中存在的各种波动，特别是各种波长的声重波。③比较 7 月份和 12 月份的温度剖面曲线可以看到 60 公里以下，模式值间存在数度的系统温差，即 7 月份各高度上的大气温度都比 12 月份对应高度上的气温偏高数度。在 45 公里温度峰值附近温差达 5℃ 左右。而我国数据是分别围绕对应月份的模式值起伏，所以也能看出冬夏季的差。

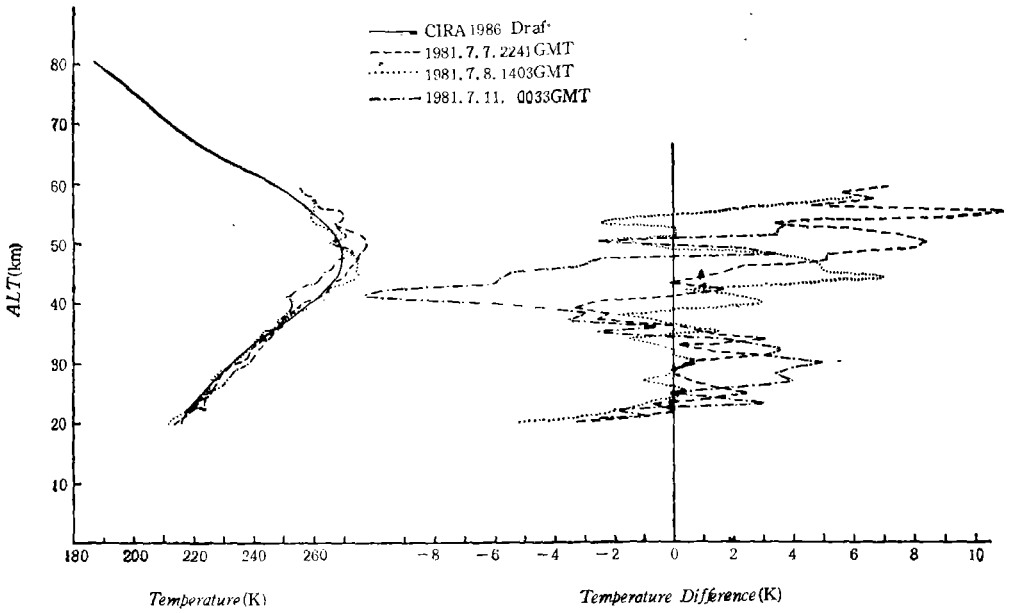
由于风是向量，即使只考虑水平风，而忽略较小的垂直风分量，也仍然比较复杂，其分析比温度的分析困难多了。但中层大气的风向有个总趋势，带有季节性，即夏天盛行东风，冬天盛行西风，每年春秋两季，风向有个逆转。CIRA 1986 稿描述了这种现象指出，30—60 km 高度上春季的风从西风变成东风，秋季则从东风变成西风。风向逆转的时间，春季在 4 月 1 日到 6 月 15 日之间，秋季在 8 月 16日到 10 月 15日之间。这种逆转从极区开始，向赤道方向推进，上层推进得比下层快。分析我国火箭探测到的风资料可以看到，12 月份的所有实测风都是西风，图 2(a) 给出了部分数据作为例证。横坐标代表风在东西方向的分量，以西风为正。由图可明显地看到，12 月份在 20—60 km 高度上测得的



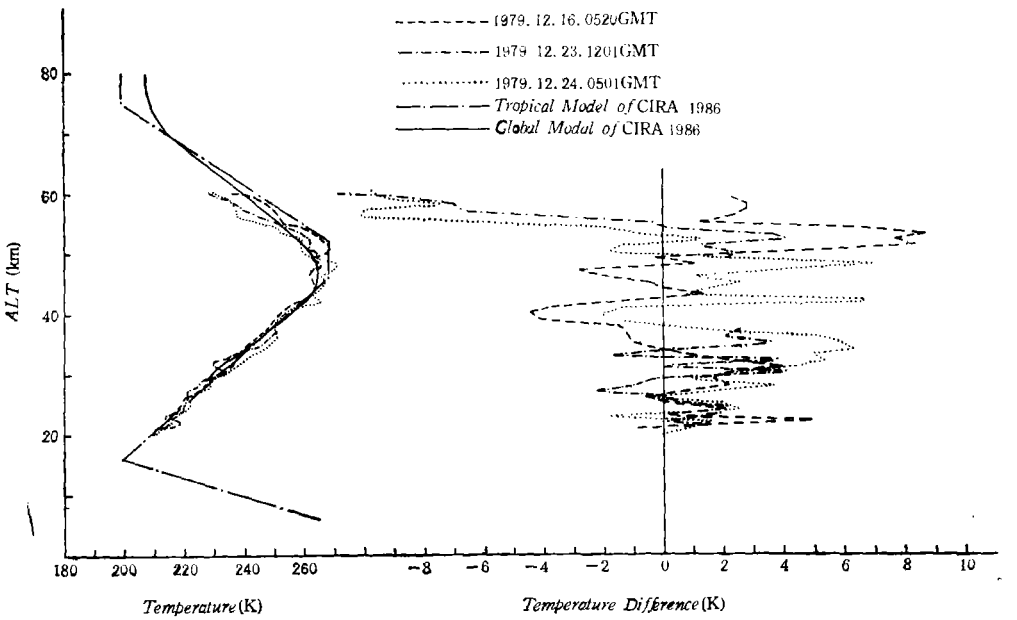
(a) May, 40°N,



(b) June, 40°N



(c) July, 40°N,

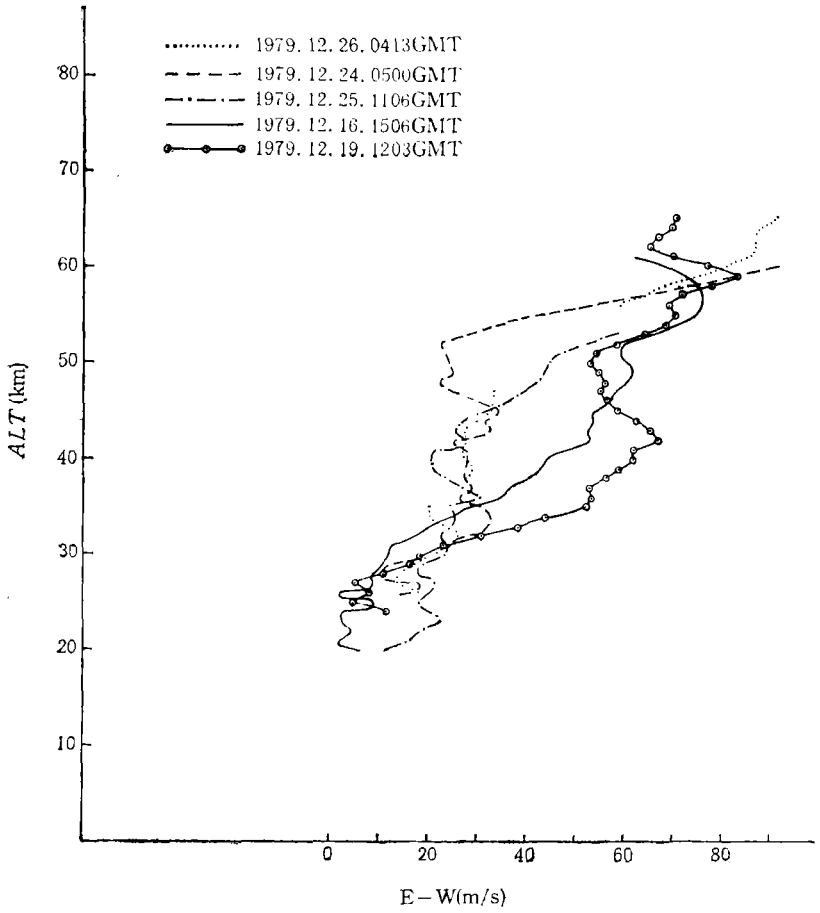


(d) December, 24°N

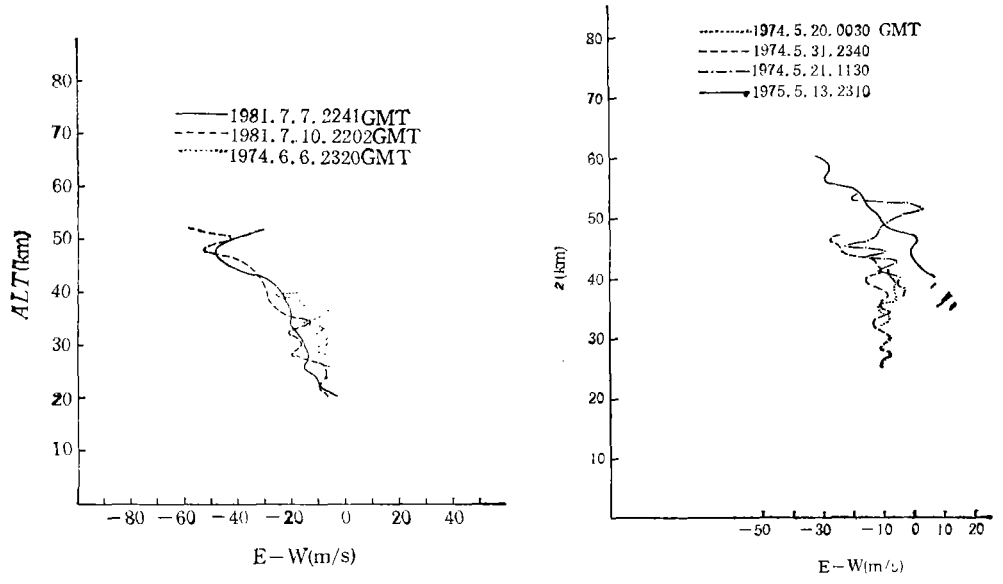
图 1　我国火箭探测数据与 CIRA 1986 稿模式的比较

Fig. 1 Comparison of the temperature profiles measured by the Chinese rockets with global mean middle atmospheric temperature of the draft of CIRA1986

风都是西风。图 2 (b) 给出了 6、7 月份的我国大气风的实测曲线。可见 6 月和 7 月测得的风都已转变为东风。图 2 (c) 是在甘肃场地测得的 5 月份的风的东西分量。在 20 日和



(a) December



(b) July

(c) May

图 2　我国火箭测得的水平风

Fig. 2 Horizontal wind measured by Chinese rockets

30日，风都呈东风．而 5 月 13日的风，48—60 km 处已呈东风，但 40—45 km 则仍然是西风．由此可见，我国测站上空的大气风也有如 CIRA 1986 稿指出的相似的季节性．我国酒泉站的春季反转时间在 5 月前半月．

声重波是中层大气中的普遍现象，CIRA 1986 稿给出了温度及水平风分量所反映出来的声重波特性的一般描述．所给出的个例曲线看到，经高通滤波以后，声重波的波动幅度，对温度为 10 K，而对水平风为 10 m/s．声重波的强度为几个 m/(s · km²) 和几个K/km²．高纬地区强度有明显的周年变化，冬季取极大值，比夏季强约 2 倍，而在低纬，则看不出明显的周年变化．从我国火箭探测资料，也可以看到明显的声重波(见图 1, 2)，其波振幅也在数度K及数 m/s 量级．按照新模式稿给的声重波强度的定义，即温度及水平风分量对高度的二阶导数的方均根值，从我国火箭探测资料推算到的各站中层大气中声重波强度为图 3 所示的数值．图中横坐标是月分．纵坐标是声重波强度数值，对温度来说单位是 K/km²，对风分量来说，单位为 m/(s · km²)．图中小正方形、菱形和圆所在的位置分别表明对应月分温度、风的南北分量和风的东西分量的声重波强度的统计平均值．横坐标上面的三排数字给出了参加统计的资料数．图中竖线代表标准偏差．注意 6、7 和 8 月三个月是对于 40°N 的甘肃场地，而 12 月分的是对于 24°N 的云南场地．由图可见 5、6、7 月的温度波动强度约 3 K左右，逐月略为增高．5、6 月分风波动强度数值比温度大 6 左右．这些是与新模式稿给出的例相似．从图上看，风的南北分量 (N-S) 和东西分量

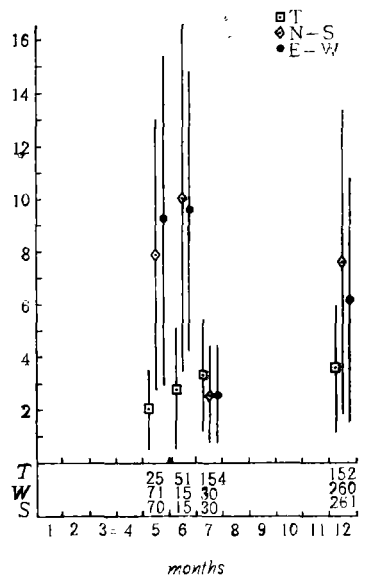


图 3　我国火箭场地上空中层大气声重波强度月平均值及标准方差

Fig. 3　Monthly variations of the intensities of acoustic gravitational waves

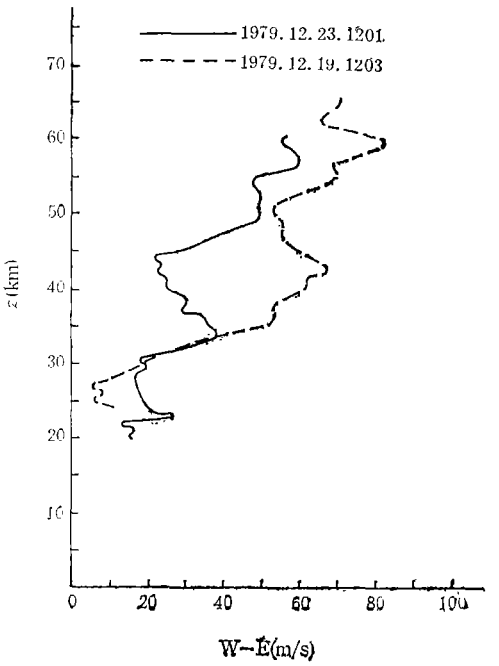


图 4　1979 年 12 月世界时相近两发火箭探测结果的比较

Fig.4 Comparison of data measured by two rocket flights at adjacent universal time in December, 1979

(E-W)的强度并不一样，似乎与新模式稿所述不同．但考虑到他们的差异与风的探测精度相当或更小，则应该说是近于相等的．7 月份的风波动强度比 5、6 月份弱 7 m/s 左右．这是因为 7 月份探测的高度分辨率只为 2 km，而其他三个月份的高度分辨率达 1 km．根据新模式稿所给出的定义，声重波的强度只能代表那些波长大于探测数据垂直分辨率的那些波分量．所以 7 月份的强度没有 5、6 月份所包含的波分量多．由于数据太少，无法看到声重波强度的年变化规律．由图 3 还可以看到，标准偏差大于平均值的一半，比新模式稿给出的例还要大，这说明声重波现象是一种瞬态现象．

大气潮汐运动是另一个全球性的普遍现象．它能造成水平旋转风．在北半球中纬地区，将存在顺时针方向旋转的周日潮汐波效应．我国火箭场地位置都属于北半球中纬地区．但对于分析周日变化而言数据实在太少．我们没有集中在一天之内的不同时刻接连发放几发火箭的记录．时间比较集中的要算 1979 年 12 月份，共发射 9 发火箭．时间从世界时 0413 到 1500 覆盖半天．但并不是同一天．我们用这些资料曾作过风向量矢端图，即按照世界时先后顺序把风向量矢端连结起来．从矢端图看不出有顺时针方向作周日旋转的趋势．为了检验是否由于垂直波动影响而掩盖了潮汐效应，我们用了一定高度层中平均值来作出矢端图．但看不出潮汐波动分量．这说明逐日变化超过了潮汐波动幅度．事实上，如 1979 年 12 月 23日 12 时 01 分和 1979 年 12 月 19日 12 时 03 分的两发火箭资料，它们世界时刻只差 2 分钟．但因为不是同一天的测量，相隔 4 天，风速的高度剖面就有很大的差，见图 4．由矢端图例可以看到一条规律，即高度愈高，平均风速和风的波动量都愈大，

因为热带地区，大气参数随经度和纬度的变化都很小，可以用一个统一而简单的模式表示．CIRA 1986 稿推荐了一套热带地区的国际参考模式．这一模式适用于纬度小于 35°N (夏季)或 27°N (冬季)的地区．我国云南站正位于这一地带之内．因此应可作比较．图 1 (d) 上已经画出了这一热带模式．从图上可以看到，20—45 km 高度内，热带模式与全球模式很接近，也与我国的火箭探测资料很接近，甚至比全球模式符合得更好．但 45—60km 一层，热带模式比全球模式偏高，最大偏高达 11 度．我国的火箭探测资料，普遍比热带模式偏低，而更接近于全球模式．

四、结　语

把我国这些实测数据与新的国际参考大气 CIRA 1986 稿比较可以得出下列结论：

1. 比较看到，我国火箭测得的大气温度剖面在 CIRA 1986 稿所给出的全球基本温度结构的数值上下波动，符合得很好．这证实了我国火箭探测达到了国际上各国比对实验的水平．这同时也说明用 CIRA 1986 稿来表征我国上空中层大气是合适的．

2. 由我国火箭探测的风数据可以明显地看到中层大气风向的季节性，即夏季呈东风而冬季呈西风，春季则发生风向的逆转．在甘肃场地上空风向的春季逆转时间在 5 月的前半月间．

3. 由我国火箭探测数据的高度剖面，可明显地看到声重波的普遍存在．由温度、风的东西分量和南北分量等实测数据推算得到的声重波强度的量级和趋势与 CIRA 1986 稿给

出的一致。

4. 我国云南火箭场位置属于 CIRA 1986 稿所给出的热带参考大气的适用区内。在 45 公里以下，热带模式与全球模式很接近，也与我国的火箭探测资料很接近，甚至比全球模式符合得更好。但 45—60km，热带模式比全球模式普遍偏高。因此我国火箭探测数据比热带模式普遍偏低而更接近于全球模式。

5. 由于我国气象火箭目前尚未作系统而有计划的常规性探测，因此无法对中层大气年变化、逐日变化及周日变化等进行严格的研究。例如，由我国火箭的风数据看不到 CIRA 1986 稿所描述的大气潮汐旋转风。

致谢：作者对研制火箭探测仪器的同志以及进行火箭探测实验的同事们深表谢意，特别感谢杨俊文同志对本文稿的精心修改。

参　考　文　献

[1] Labitzke, K., J. J. Barnett and B. Edwards, Handbook for MAP, Vol. 16, July, 1985.
[2] Yang, J. W. and Y. F. Wu, *Adv. Space Res.*, Vol. 2. P. 177, 1983.

COMPARISON OF MIDDLE ATMOSPHERIC DATA OBTAINED BY CHINESE ROCKETS WITH THE DRAFT OF CIRA 1986

Zhuang Hong-chun　Xiao Guan-quan　Tian Jian-hua　Ma Rei-ping　Wu Yong-fu
(Institute of Space Physics, Academia Sinica)

Abstract

Meteorological rocket explorations have been successfully conducted for years in our country. Unique data of wind, temperature, density and pressure in middle atmosphere have been obtained. A comparison of the measured data with the draft of CIRA 1986 is given. The results show that the temperature data from the Chinese rockets are fluctuating around the mean profile given by the model. The agreement is within the range of deviation of international comparison. The seasonal characters of the wind and the intensities of acoustic gravitational waves obtained from the analysis of our rocket data agree well with that given by the model. Because of the sparse of the measurement data, annual variation and tidal oscillations of the middle atmosphere are difficult to be analysed and compared. Nevertheless, the results of this article still show that the accuracy and resolution of our rocket measurements have reached the level of being within the range of deviations of international comparison, and at the mean time also show that the representation of the middle atmospheric structure above our country by the draft of CIRA 1986 is appropriate.