西部大开发中大气科学问题的思考

邹　捍

（中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室，北京　100029）

1　引　言

西部大开发是目前我国国民经济发展的重要战略决策，这一决策关系到我国长期可持续性发展。“十五规划”第八章中指出：“实施西部大开发战略，促进地区协调发展”（国务院，2001），并制定了一系列关于西部开发的战略措施，例如：“加快水利、交通、通信、电网及城市基础设施建设，突出抓好西电东送、西气东输、节水和开发水资源等一批具有战略意义的重点工程。……发展有特色的农牧业、绿色食品、旅游、中草药及生物制药等，推进水电、石油天然气、有色金属、钾盐、磷矿等优势资源合理开发和深度加工，加快资源优势向经济优势的转化。依托亚欧大陆桥、长江水道、西南出海通道等交通干线及中心城市，……”（国务院，2001）。可以看出，在实施西部大开发的战略部署之后，整个中国西部地区的交通、能源、工业、农业、教育等水平将有大幅度的提高。西部大开发战略涉及的“西部”地区包括：重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆和内蒙（见图1）。土地面积为660.83万 km^2，占全国总面积的68.83%；人口3.55亿，占中国人口总数的27.41%。西部地区位于东经73°25′～126°04′和北纬20°54′～53°23′之间，跨越52个经度和32个纬度，大部分地区位于东经110°以西。西部地区的地形特征复杂，从世界最高的青藏高原和喜马拉雅山脉到亚洲最低的塔里木盆地；气候区划多样，包括云南、广西、贵州等地的亚热带湿热地区和高纬度、高海拔的高寒地区；其年平均温度从西南部分地区的20°C以上到青藏高原和东北地区的0°C以下、年平均降水量从西南地区的2000～3000 mm到新疆的不足50 mm。由此可见，整个西部地区，由于区域广大、地理形态复杂，其大气基

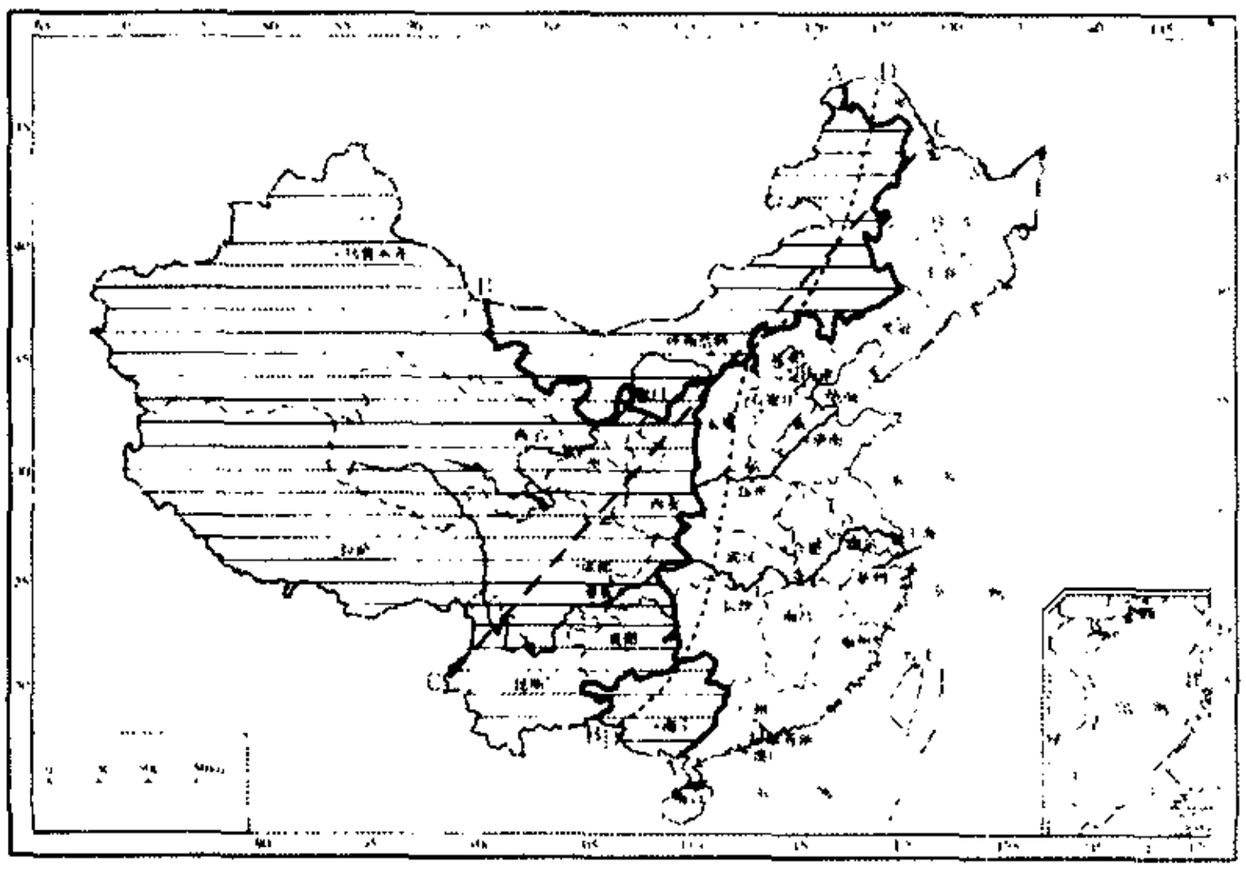

图1　中国西部（阴影部分）省区市分布

本状态因地而异。

2 西部大开发面临的大气科学问题

西部地区的绝大部分地区位于内陆，远离海洋，其主要大气问题源于高寒和干旱。该地区的天气气候形成的主要大气环流背景是：1) 冬季的西伯利亚高压(蒙古高压，见图 2a)。多年平均的海平面气压图显示，西伯利亚高压的中心位于蒙古国西部，中心最大气压为 1040 hPa，是整个北半球最强的地面冷高压系统。我国内蒙古和西北地区大部分地区的气候和天气受到整个冷高压的影响。但是由于该系统非常浅薄，在 2km 以上的大气中已不明显，因此平均海拔 4,000 m 的青藏高原基本不受该系统的影响。还由于高原的阻挡，我国西南地区基本不受该系统的影响；2) 夏季的印度低压(见图 2b)。7 月份的海平面气压图显示，印度低压的中心在印度北部，强度大约为 996 hPa，1005 hPa 等值线几乎包括了中国大陆的全部。印度低压是一个深厚的系统，在 500 hPa 图上依然可以看见该系统的气旋式环流，因此该系统可以影响包括西藏在内的整个西部地区。印度低压带来的对流层底层的西南季风直接影响我国西南地区的夏季气候，在其强大的时候西南季风可以影响到我国内蒙古中部。也还是由于青藏高原的阻挡，夏季

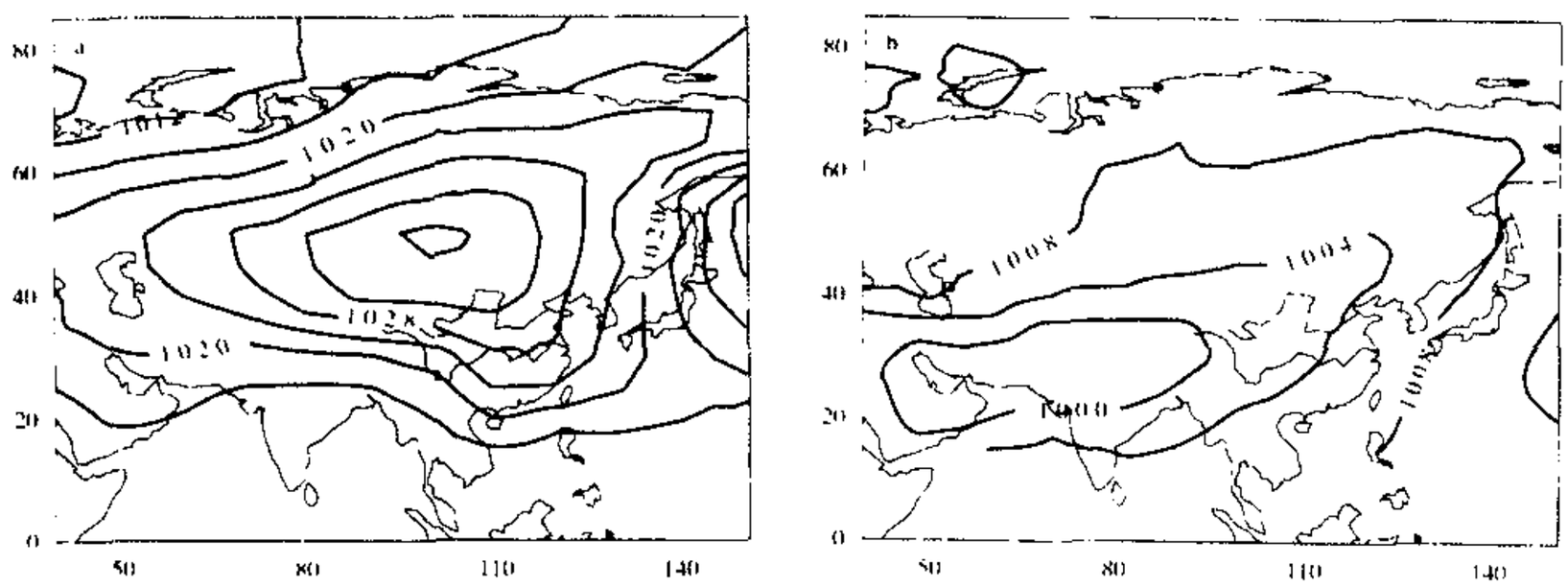

图 2 中国西部多年平均 1 月(a)和 7 月(b)海平面气压(hPa)分布

风很少影响到我国的新疆、甘肃和内蒙西部一线。

3 降水和水汽来源

由于上述大气环流背景的控制，我国西部地区的降水呈现出极大的不均匀性。受到西南季风的影响，我国西南地区和藏东南部分地区的年平均降水量可以超过 1000 mm，而西部大部分地区的年降水量则低于 500 mm。其 500 mm 年降水量等值线分布在内蒙东部、黄土高原、兰州、藏东南一带，呈东北－西南走向，该等值线以西地区均属于半干旱、干旱和极端干旱的沙漠区。从降水的季节分布看，西部大部分地区的降水主要集中在夏季，可以高于 50%。另外，降水的年际变率较大也是西部地区的特点之一。除藏东南和秦岭以南地区外，降水的年际变率均在 20%以上。我国西部地区的水汽来源以季风环流和西风带的输送为主：云、贵、川和喜马拉雅山以南地区的水汽以季风环流的输送为主；其它地区的水汽依赖于西风带的输送。

4 沙漠化问题

我国有沙漠面积约为 $80.9\times10^4\sim97.1\times10^4$ km^2 左右，大部分位于西部地区，是西部地区

的生态环境的重要组成部分。由于西部大部分地区降水量普遍偏低，在降水量小于和大于 200 mm 的地区形成了流动沙漠和固定或半固定沙丘组成的沙地。由于沙漠的定义不同，对我国西部沙漠的面积估算也有所不同，但是，沙漠化过程终归是一种在自然过程和人类影响下的土地退化过程，随着土壤物理和化学性质的丧失，植被永久消失，土地失去使用价值，并且产生一系列连带性的不良后果。

5 沙尘暴

这是一个产生于西部而对下游的东部地区产生重要影响的大气灾难，给我国的西部和东部带来严重的生态和环境问题。沙尘暴期间，大风将尘土吹向空中，使得空气特别混浊，水平能见度低于 1 km。从多年平均看，在西部主要地区每年至少发生一次，在内蒙古中西部和甘肃、宁夏及黄土高原地区，每年发生沙尘暴的日数在 10～30 天，最多可达 30～60 天。西北地区的沙尘暴多发生于春季，青藏高原北部发生在夏季，高原南部地区则发生在冬季。西部的大部分地区都受到沙尘暴天气的困扰，其形成的机理包括大气环流条件和下垫面状态等。

6 干 旱

西部地区地域辽阔，干旱灾害的分布和变化差异较大。除西南地区洪涝灾害较为严重外，干旱是西部其它地区的主要自然灾害。干旱主要发生在西部的干旱和半干旱区，有以下几个重要特征：干旱发生的季节在春季，严重的影响该地区的农牧业生产；干旱发生的频率高，几乎年年都有干旱发生，甚至有 3～4 年的严重旱情；干旱持续的时间长，表现在连续无雨，导致冬、春、夏连续干旱，甚至全年干旱；区域特征强，由于西部地区面积广大、地形复杂，干旱发生的区域性很强。

7 寒 潮

高纬度的冷空气南下造成大片地区的剧烈降温、大风和雨雪称为寒潮，中国气象局定义为最低气温在 5°C 以下，24 小时降温达到 10°C 以上为寒潮。我国西部的寒潮年平均一次的等值线基本上沿天山、祁连山、兰州和西安一线分布。造成寒潮的冷空气来源于新地岛以西的北冰洋洋面、新地岛以东的北冰洋洋面和冰岛以南的大西洋洋面。

8 雪 灾

雪灾是影响我国西部地区的另外一个主要的自然灾害。雪灾主要以三种形式出现：(1) 积雪，当积雪厚度较大时，牧业生产遭遇较大困难，牲畜难以寻找食物；(2) 吹雪，大风吹雪可以覆盖草场，造成能见度降低，使得交通困难，并可以吹散牲畜；(3) 雪崩，高山积雪崩塌，可以造成交通障碍和人员伤亡，也威胁牲畜的安全。我国西部雪灾发生的区域主要集中在新疆、西藏、内蒙等地区。

综上所述，我国西部自然灾害主要是与寒冷干旱的天气气候系统相联系的。由于我国西部地区幅员广阔，地理条件不同，西部地区的大气科学问题存在相当的复杂性，从时间和空间看大气灾害分布和强度存在很大地区差异。因此，在研究我国西部大气科学问题的时候要注意大气科学问题的区域分布特征。

(1) 西部大气科学的重点区域—青藏高原

青藏高原总面积 240×10^4 km^2(占西部总面积的 36%),平均海拔 4000 m,是世界面积最大、高度最高的高原。青藏高原的高大地形对亚洲乃至北半球的大气环流具有重要影响;青藏高原总体的高寒、干旱气候在西部大气科学中具有强烈的代表性;另外,与青藏高原强紫外辐射和高海拔大型山地相联系的特殊大气科学问题等,使得青藏高原成为我国西部大气科学研究的重点区域。因此,要研究我国西部大气科学问题必须进行青藏高原大气科学研究。

首先,青藏高原的隆升在全球气候变化中起着非常重要的作用。高原隆升的过程总是与全球气候变化的过程相联系。表 1 显示出青藏高原地形高度和全球气候发展阶段的关联。

表 1 高原隆升与古气候的关系表

时间(百万年)	海拔高度(km)	高原季风特征	气候型	临界尺度	地质世
>38	0~1	无	准天文气候	$L<Lo$	始新世
38~22	≤2	超薄季风	准天文气候	$L\geqslant Lo$ $H\leqslant Hd$	渐新世
22~18	≥2	深厚季风	季风气候	$H\geqslant Hd=Hc$	中新世
18~10	1~2	浅薄季风	准季风气候	$H\leqslant Hd=Hc$	中新世
10~8	≥2	深厚季风	季风气候	$H\geqslant Hd=Hc$	中、上新世
8~2.5	≤2	浅薄季风	准季风气候	$H<Hd=Hc$	上新世
2.5~0.65	2~3	深厚季风	季风气候	$H\geqslant Hd=Hc$	早更新世
0.65~0.125	3~4	冬季风增强	季风气候	$H\geqslant Hf$	中更新世
< 0.125	4~4.5	与现代相同	季风气候	$H\geqslant Ho$	晚更新世

$Lo\approx1,400$ km 为斜压大气地转适应临界尺度;Hd 为动力临界高度,Hc 为水汽凝结高度,$Hd\approx Hc\approx2,000$ km;$Hf\approx3,000$ km 为水的冻结高度;$Ho\approx4,000$ 为无稳定积雪高度(孙鸿烈等,1998)

可以看出,高原的地形隆升形成了青藏高原季风系统,严重影响了沿纬圈分布的大气环流系统。随着青藏高原的隆升,全球气候在不断的发生着变化。高原对大气系统的强迫主要体现在 4 个方面:(1) 动力过程,广阔的高原具有很大的纬向尺度,因此西风为主的大气环流在这里产生绕流;(2) 热力过程,升高了的高原地表吸收太阳辐射,加热大气,在北半球形成行星尺度的热源;(3) 反照率,高原的冰川和积雪在低纬度地区形成高反照率;(4) 喜马拉雅山的高大山体可以与北半球自由大气进行物质和能量交换。由于这些过程的存在,青藏高原决定了我国西部地区的天气气候和环境过程。

(2)青藏高原大气科学的若干新问题

青藏高原以其动力和热力作用为主影响我国西部的天气气候和环境过程。我国科学家曾做了大量的工作,对青藏高原热力、动力过程进行过深入的研究(秦大河等,2002)。例如,叶笃正先生曾在 70 年代指出了青藏高原的热力过程对亚洲天气气候的影响(叶笃正等,1979);吴国雄等曾指出青藏高原热力作用对亚洲季风过程的影响,即所谓的热泵效应(吴国雄等,1996)。由于其独特的动力和热力条件,青藏高原大气科学中存在若干主要问题。例如,青藏高原的空中水资源问题,青藏高原孕育着我国和亚洲若干主要河流,因此,青藏高原的水资源问题涉及我国西部地区、也关系到我国其它地区和东亚地区。青藏高原的降水和水循环直接和整个东亚地区的气候环境过程相联系。这一问题将在本次会议的其它报告中专门讨论,这里作者想就涉及中国西部的青藏高原大气科学中的新问题进行论述,对这些问题的研究可能对我国大气科学的发展具有积极意义。

(3)青藏高原热力作用导致物质再分布

大气由不同的组分构成，大气物质在天气气候中扮演着不同的角色。例如，二氧化碳是重要的温室气体，其分布和含量直接和全球气候相联系；臭氧也是一种温室气体，同时在生态环境过程中起重要作用。这些大气组分随大气运动并在相应的条件下发生变化，其分布特征直接与大气环流和大气状况相关。

最近的研究表明，由于夏季青藏高原大气在热动力作用下的抬升，可以造成高层大气物质的辐散和低层大气物质的辐合，其证据可以从青藏高原的大气臭氧低值中看到。周秀骥和邹捍(周秀骥等 1995，ZOU，1996)分析研究了大气臭氧的全球分布，指出青藏高原上空存在明显的臭氧低值。图 3 给出了全球大气臭氧总量纬向偏差(局地臭氧总量减去纬向平均量)分布可以看出，青藏高原和邻近地区存在着大气臭氧总量低值，该低值区覆盖了中国西部的大部分地区，中心地区大气臭氧总量比同纬度少 10%左右。众所周知，大气臭氧总量的减少意味着到达地面的有害太阳紫外辐射增加。这些增强的太阳紫外辐射，特别是 UVB 波段严重威胁着地面的生态系统，因此这一臭氧低值的存在威胁着中国西部人类健康和农牧业发展。该低值的形成与高原加热造成的大气物质抬升密切相关。图 4 给出了青藏高原上空多年平均等熵面高度季节变化可以看出，从 2 月份起，青藏高原大气各层次的物质面在不断抬升，这种上升趋势随高度逐渐降低(上升速度减缓最显著的高度是 18～20 km)，7 月份以后大气物质面逐步下降。因此，在 2 月份以后的各个月份，在青藏高原大气在 18 km 左右的高度上出现辐散，而在大气的低层出现辐合。大气臭氧的垂直分布规律是自地面到极大值高度(通常在 22～28 km)内含量逐渐增加，因此，青藏高原高层大气的辐散将会向高原以外大气输送臭氧，而低层的辐合将贫臭氧空气带入该地区，从而使得该地区大气臭氧重新分布，形成大气臭氧总量的低值。从青藏高原大气臭氧低值的例子可以看出，高原地形的热动力过程对大气物质的分布有重要的影响。因此，在关心全球生态环境变化的今天，我们应该重新认识青藏高原动力热力作用对大气温室气体和污染物质分布的影响，建立以青藏高原动力热力作用为核心的我国西部大气环境动力学模型。

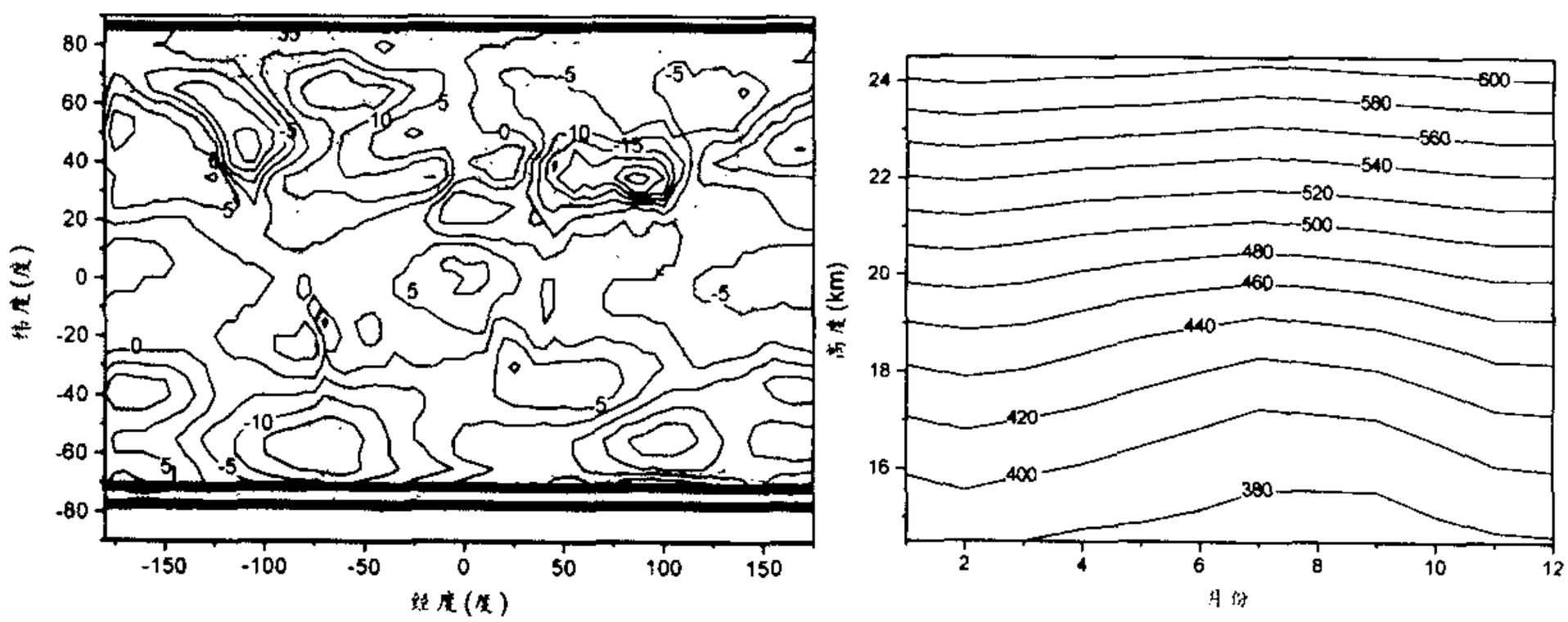

图 3　全球大气臭氧总量纬向偏差分布　图 4　青藏高原大气物质面(等熵面，K)的季节抬升过程

(4)大型山区地面－自由大气之间物质交换

我国西部地区存在大型山地，山峰的海拔高度超过雪线。例如喜马拉雅山脉，长 2500 km，平均海拔 6000 m，总面积达 40×10^4 km^2。这样的大型山地的积雪冰川造成了类似南极地区的下泄流，同时周围低海拔的山体由于日照加热产生强烈的谷风，两者结合起来在日照充足的条件下，在高大山体的两侧形成非常强烈的下降气流，向主山体两侧扩散，这样的下降气流直接将

北半球自由大气的物质输送给当地的地面大气。雪线以上的主山体周围存在众多的无积雪山体，这些低矮的山体在太阳加热的条件下形成谷风，将地面大气物质送回自由大气。这一大气物质交换过程可以由图 5 示意。图 6 给出了沿珠穆朗玛峰北侧河谷地面风速的日变化。可以看到早上 6～7 点开始珠穆朗玛峰北坡河谷中存在微弱上坡方向大气运动，当地时间正午（北京时间 14 点）以后沿珠峰北坡河谷的风向激烈变化，转变为由南向北的下坡风，风速可以达到 10 m/s 以上。由珠穆朗玛峰积雪山体引导的冷下泄流在周围无积雪山区的谷风配合下被大大加强，将 7000～9000 m 高度上的大气物质带到当地的地面高度。同期的地面大气臭氧观测表明，在珠穆朗玛峰北坡下坡风强大的时候，地面大气臭氧含量大大增加，被认为是该大气环流将高层高臭氧浓度大气向地面输送的结果。因此，可以认为我国西部地区的大型山地为地面－自由大气间的物质和能量交换提供了机会，对地面大气环境状况产生着重要影响。

(5)强太阳紫外辐射条件下大气化学

青藏高原海拔高、空气稀薄，造成太阳到达地面的有效辐射急剧增加。青藏高原大部分地区的年日照时数在 2800～3200 小时以上，比我国同纬度东部地区高出将近一倍以上。青藏高原大部分地区的年总辐射强度在 6500～8000 MJ/m^2 以上。观测表明，青藏高原春季地面太阳 UVB(295 nm)可以达到 400 mW/m^2，比同纬度我国东部地区高 2～3 倍。在如此强烈的太阳紫外辐射条件下，喜马拉雅山区大气光化学反应过程更加典型化。例如，大气氧化剂如 O_3 和 OH 的生成主要来自于紫外光光解反应，地表紫外辐射增加将增强低层大气的氧化性，加快 O_3、颗粒物、酸性物质等二次污染物的生成。同时，紫外辐射的增加还会加速一些有机污染物的光解，使大气光化学污染呈现出新的特征。因此，有必要研究我国西部高海拔地区强太阳紫外辐射背景下的大气环境过程。

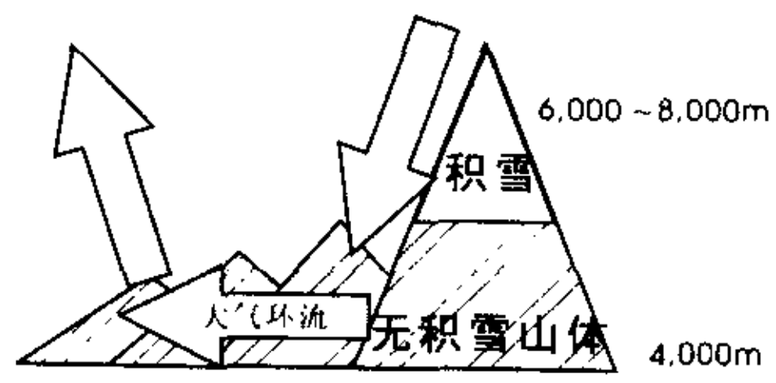

图 5　大型山地与自由大气间的物质能量交换示意图

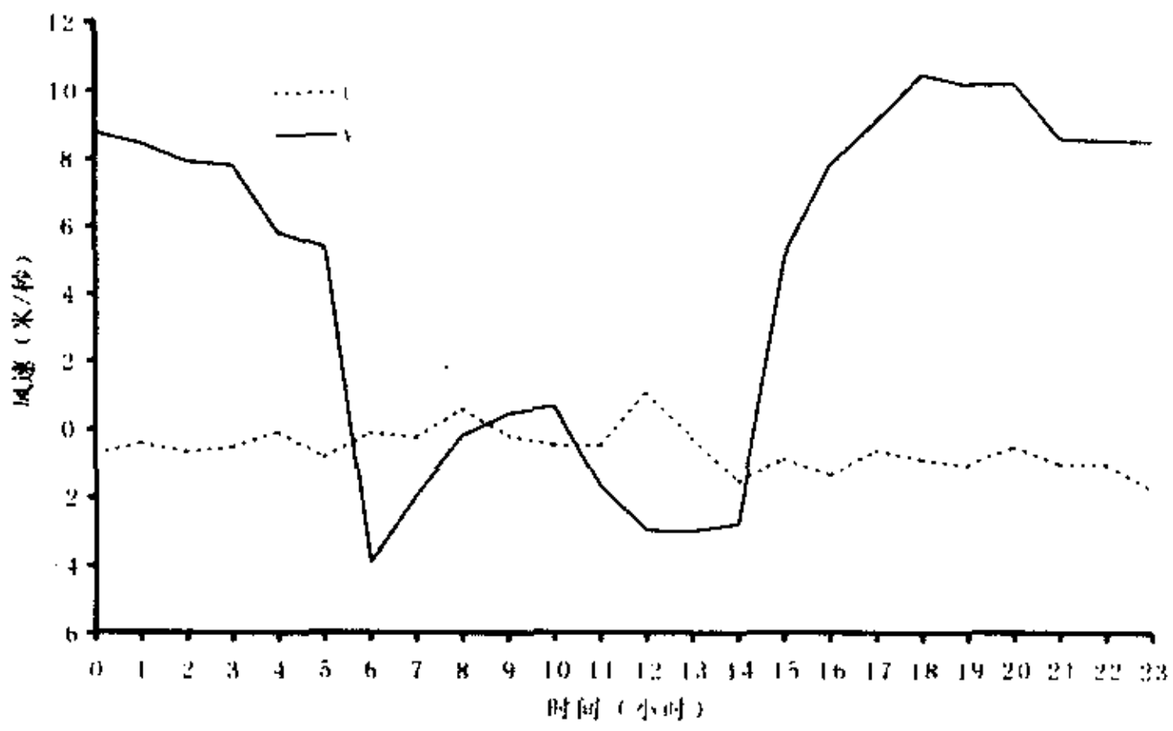

图 6　珠峰北侧绒布河谷地面风场 u、v 分量的日变化

综上所述，由于青藏高原独特的高大地形和热力条件，该地区对我国西部地区的天气、气候和大气环境过程具有重要影响。同时，青藏高原地区的大气过程也为大气科学的发展提出新的问题。因此，在研究西部大气科学问题的时候，要充分注意青藏高原在其中起到的重要作用。例如，青藏高原冬季风环流对与我国西部冬季灾害天气的影响；青藏高原对西南地区夏季风过

程的影响等等。

8 结论与讨论

通过对中国西部地区大气科学问题的回顾和对青藏高原大气科学新问题的讨论，我们可以充分认识到：

(1)我国西部地区地域广阔，大气科学问题中存在着很大的差异性和区域性。例如，我国西部地区中的西南地区降水及其丰富，主要天气灾害为洪涝，而在我国西部的大部分地区存在着降水严重不足，从而造成干旱和沙漠化等环境问题。

(2)我国西部地区大气科学问题中也存在共同的特征。这就是我国西部的大部分地区基本处于干旱和寒冷的气候系统控制之下，降水缺乏、雪灾冷害成为我国西部地区的主要问题，严重的影响了西部地区的经济发展。

(3)青藏高原是我国西部大气科学中的关键地区。青藏高原高大地形的动力和热力作用，调整了整个西部地区乃至北半球的大气环流结构。例如，对我国西南地区夏季风诱导和对北方干冷空气的阻挡作用。因此，在研究西部大气科学问题的时候，一定要注意局地天气气候和大气环境问题与青藏高原大气过程的联系。

(5)青藏高原特殊的太阳辐射、热力过程和地形特征造成了与我国西部紧密相联的特有大气环境过程。这些过程可能对整个西部地区的大气和生态过程产生主要影响。因此要对青藏高原特有的大气科学问题给予足够的重视。

(6)由于我国西部地区相对贫困和艰苦的交通和生存环境，长期以来缺乏对该地区大气状况的深入观测研究，特别是对大气物理和大气环境过程的系统化长期监测。因此，在研究西部大气科学问题的时候，应该强调基础资料的监测和收集，从中发现新事实和新问题。

参考文献

[1]国务院，《关于国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》，中华人民共和国国务院，北京，2001

[2]秦大河、丁一汇、王绍武、董光荣、王苏民、林而达、余之祥等，《中国西部环境演变评估》，科学出版社，2002.

[3]叶笃正，高由禧，《青藏高原气象学》，科学出版社，北京，p213，1979

[4]Wu Guoxiong, Zhu Baozhen and Gao Dengyi, The Impact of Tibetan Plateau on Local and Regional Climate, From Atmospheric Circulation To Global Change, Celebration of the 80th Birthday of Professor Ye Duzheng, China Meteorological Press, 1996

[5]周秀骥，《中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响》，气象出版社，p273，1995

[6]孙鸿烈，郑度，《青藏高原形成演化与发展》，广州科技出版社，p141～147，1998

[7]Zou H., Seasonal Variation and Trends of TOMS Ozone over Tibet, Geophys. Res. Lett., 23(9), 1029－1032, 1996

Thinking about the Atmospheric Problems in Great Western Region Development

Zou Han

(*LAPC and Atmospheric Environment Dpt. Institute of Atmospheric Physics, ChineseAcademy of Sciences, Beijing* 100029)

Abstract

This article briefly discusses the atmospheric problems related to the "West Development" of China. The west region of China contains different climate zones and complicated atmospheric processes, therefore, people should pay attention to the specified local processes of climate and synoptic in atmospheric study. However, the drought and coldness are the common features in the west region. The Tibet plateau is the key region in west atmospheric processes with its dynamic and thermal effects. Therefore, influence of the Tibet plateau must be placed in consideration of west atmospheric study, i.e., forcing processes of Tibet atmosphere to the local climate, weather and environment. Furthermore, several processes must be included in atmospheric studies related to Chinese west region. For example, impact of the Tibet thermal forcing on the atmospheric environment processes, mountainous circulation forced atmospheric mass exchange between the surface and the free atmosphere and the atmospheric chemistry under strong UV radiation.