

青藏高原东北侧的湿柱和干暖盖

李文源 孙纪政

(宁夏气象科学研究所)

提 要

本文通过揭示雹暴发生前12小时降雹区出现湿柱与干暖盖的天气学事实,探讨其基本成因,利用有限区域细网格计算分析它们的物理结构,给出湿柱的概念模型。

一、天气学事实

西北地区东部,处于青藏高原东北侧,夏半年多强对流天气,且80%以上的强对流天气发生于午后至傍晚。利用08时实时资料制作当日下午到夜间的强对流天气预报,湿柱和干暖盖是两种重要的前兆现象。

湿柱是出现在对流层下层的相对高能高湿的空气柱,这个气柱内的大气能量和湿润程度均明显高于气柱四周。湿柱的水平空间尺度平均为 $200 \times 200 \text{ km}^2$,呈下窄上宽的漏斗状,气柱下层约为 $100-150 \text{ km}$ 宽,中上层逐渐加宽到 $200-300 \text{ km}$ (图1)。铅直尺度一般在 $2-3 \text{ km}$,最大可超过 4 km 。湿柱形成于强天气出现的当日早晨,持续 $12-24$ 小时。湿柱中的潮湿空气,不仅促使湿对流的发展,而且为冰雹的形成提供了水汽条件。当一次降雹过程结束后,湿柱逐渐变干,变干的过程从地面开始,逐层向上,直至整层变干,湿柱消失。

在西北地区东部,干暖盖是一层悬于地面以上 $0.5-2.5 \text{ km}$ 处的温热干燥的空气层。其铅直厚度约 $0.5-2.0 \text{ km}$, 700 hPa 饱和能差相当温度 $T_s \geq 14^\circ \text{C}$ 。干暖盖通常产生于降雹日早晨,其平均水平尺度为 $200 \times 250 \text{ km}^2$,在纬向,尺度最大可达 800 km 。平均时间尺度为 12 小时左右,有明显的日变化:08时干暖盖形成,20时干暖层接地。表1

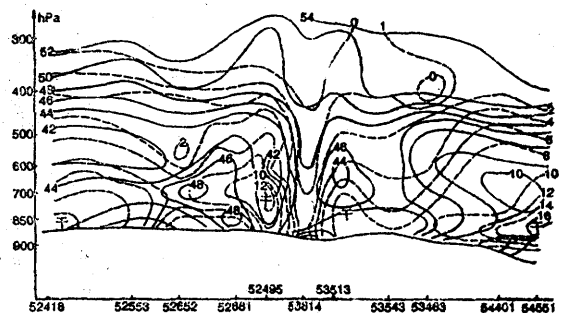


图1 1983年9月10日08时沿 39°N 的总温度、饱和能差纬向剖面图

列出了西北区东部干暖盖与华北地区干暖盖的主要差异。此外,对流层下层干暖盖的形成,一般都与前一日低空暖高压或暖低相对应,这一点与华北地区比较一致,仅在超前时间上长短不一。

在西北区东部干暖盖形成时,一般都伴有近地层逆温,并且都有同步的日变化,但逆温出现在地面至 850 hPa 层,而干暖盖主要发生于 700 hPa ,因此,往往同时存在两个稳定层,可称谓“双稳定层”,下面一层是地面至 850 hPa 的逆温层,上面一层是 850 hPa 至 700 hPa 的干暖盖层。这个双稳定层抑制近地面积聚的大气能量的垂直扩散。这一点也是在这一地区夏半年降雹当日08时探空层结绝大部分是稳定层结,而午后突发强对流的原因之一。当然,由于成因不

表1 干暖盖在西北区东部与华北平原的基本差异

西北区东部	华北平原
主要发生在700hPa, $T_g \geq 14^\circ\text{C}$, 干暖程度较低	主要发生在850hPa, $T_g \geq 18^\circ\text{C}$, 干暖程度较高
降霏前12小时左右出现	降霏前五天出现, 有五天振荡规律
日变化明显: 08时出现, 20时接地消亡	日变化不明显
来源于青藏高原北部	来源于内蒙高原和黄土高原

表2 西北区东部湿柱与干暖盖基本特征对照表

项目类别	标准 ($I_g^\circ\text{C}$)	平均水平尺度		垂直厚度 (km)	时间尺度 (小时)	表现形式	湿静力能量	日变化	伴随逆温
		纬向 (km)	经向 (km)						
湿柱	≤ 3	200	200	2—4	12—24	接地	较高	不明显	无
干暖盖	≥ 14	> 250	200	0.5—2	12	悬空	较低	明显	有

(一)、环境条件

亚欧500hPa等压面上, 中高纬度环流呈两槽一脊或一槽一脊形势, 西北区上空维持西北气流, 西北区东部的干冷空气主要来自中亚、巴尔喀什湖或蒙古人民共和国、贝加尔湖。但湿柱和干暖盖在高低空环境流场配置上有着明显的区别。湿柱形成前, 850—500hPa 一般都有辐合带(区)存在, 可以是东西走向, 也可以是南北向, 对流层下层的辐合带是产生湿柱的动力机制之一(图2a)。700hPa的暖性高压(脊)或暖性低压是干暖盖形成的重要条件, 暖舌来自青藏高原北部, 对流层下层的辐散下沉气流是干暖盖形成的重要机制之一(图2b)。

(二)水汽输送

湿柱的形成, 需要相对于周围环境比较湿润的水分条件。据统计, 地面到600hPa层湿柱的平均比湿 $\bar{q} = 6.7—7.5g \cdot kg^{-1}$, 平均相对湿度 $\bar{f} = 64—95\%$; 在纬向剖面上, 湿柱 \bar{q} 值比其东、西两侧高出 $2.2g \cdot kg^{-1}$, f 值高出31%。分层看, 越往上, 水分含量

同, 因长波辐射的非均一性造成的逆温现象是经常有的, 而干暖盖出现的几率显然要比逆温小得多。

须指出的是, 这一干一湿不是同时出现的。有时是出现湿柱, 对应发生强降水或雹暴; 有时是出现干暖盖, 主要对应有雹暴。在连续几天发生强对流天气时, 因影响机制和大气层结变化不同, 有先干后湿, 或是先湿后干的情况。

表2是湿柱与干暖盖的比较。

二、成因分析

越少, 但递减规律不一, 地面 q 值为 $10—12g \cdot kg^{-1}$, 850hPa锐减到 $7—9g \cdot kg^{-1}$, 700hPa维持在 $5—6g \cdot kg^{-1}$, 到600hPa则减

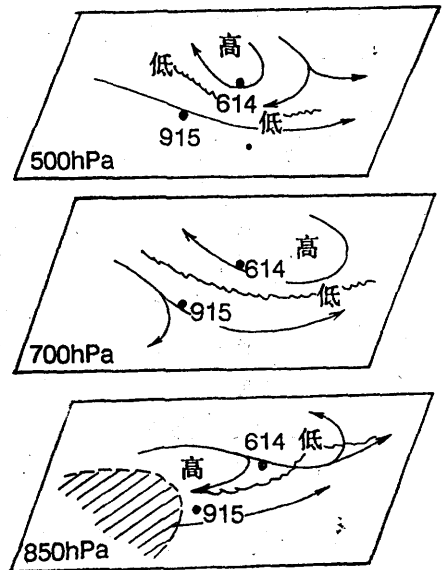


图2a 1980年6月22日08时湿柱三层辐合带示意图

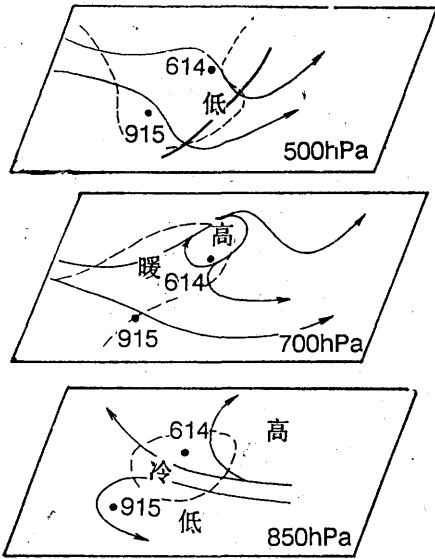


图2b 1982年8月2日08时干暖盖湿压场示意图

为 $4g \cdot kg^{-1}$ 左右。

究其水分来源有二：一是华北高压底部或后部的回流，将东部地区水汽向西输送，产生降水，雨区位置比较稳定；二是西风带中高空槽和地面冷锋的规律东移，带来了偏南潮湿气流，产生降水，雨区随系统东移，湿柱也随之东移。

对于干暖盖来说，需追踪干暖盖发生层（700hPa）干热空气和近地面（地面—850hPa）暖湿空气的来源。图3给出了高原东北侧干暖盖的形成概况，可见，干热空气来自高原，在一定的环流形势下，高原地面及其近地层干热空气东移出高原，当偏南或

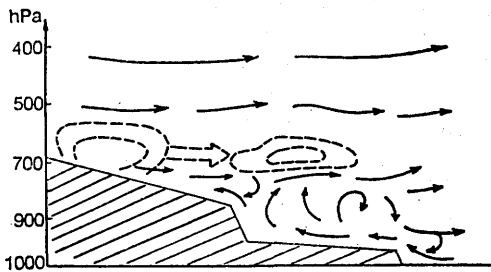


图3 高原东北侧干暖盖形成示意图

偏东暖湿气流侵入高原东北侧时，造成东出高原的干热空气迭置于暖湿空气之上，形成干暖盖。

（三）中、低空急流

在文献[1]中论述了中空500hPa急流或强风轴的左侧100—200km处有正涡度形成并产生气旋式涡旋。在湿柱形成中，中空急流具有同样的作用。经分析，中空急流有两类：一类是西风急流，在 $35-40^{\circ}N$ 有南北振荡现象，湿柱往往产生于中空急流向北振荡逼近 35 或 $40^{\circ}N$ 时；另一类是南风急流，它随西风带长波系统东移而发生位移，湿柱形成于急流轴左侧。

在移动性湿柱类中，低空偏南急流的位置预示着下一时刻（一般为12小时）湿柱所在位置，偏南风速由 $8-10m \cdot s^{-1}$ 增大到 $10-18m \cdot s^{-1}$ ，湿柱紧靠急流轴左侧。此类低空急流，在同一时刻其急流轴一般比中空急流轴偏东200—400km。其他类型的湿柱形成之前，低空急流表现不明显。

（四）能量条件与不稳定性

湿柱形成之前，地面到500hPa层气柱能量不断增多，增能过程可持续48小时；500hPa以上的气柱上层也有增能过程，比下层滞后24小时左右。湿柱出现时，300hPa形成一个强正变能中心（图4），这一方面说明气柱中的大气能量主要是通过对流或湍流由低层向高层传输，另一方面说明在气柱中

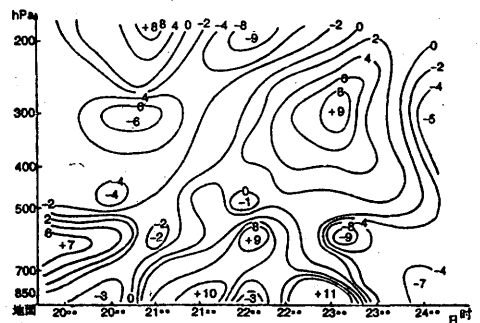


图4 1980年6月平凉24小时变能时间剖面图

还存在大气能量由高层传向低层的反馈现象，这一能量反馈现象正是形成湿柱并造成傍晚降雹的重要因素之一。由图4显见，降雹结束，湿柱消失之后，气柱上层的大气能量也迅速减小。

在湿柱形成过程中，空气柱内大气不稳定性也显著增强。通过计算SI指数、K指数、对流不稳定指数 ΔT_c 和潜在不稳定指数 T_c^* 可发现，在湿柱形成前一日之前，这4个指数变化平缓，而到湿柱形成前一日内，4个指数值显著增大：SI由 -0.7°C 增至 -1.7°C ，K指数由 31.2°C 猛增到 35.3°C ， T_c^* 由 0.6°C 增至 2.8°C ， ΔT_c 则由 0.6°C 剧增到 12.3°C 。可见，湿柱是一个不稳定的高能气

柱。

三、物理结构与概念模型

采用高原东北侧有限区域细网格进行诊断分析。有限区域为 $35-42.5^\circ\text{N}$ 、 $100-111.25^\circ\text{E}$ ，格距取 1.25×1.25 经纬距，共选用区域内及周围26个探空站点。

计算结果表明，在 38.75°N 剖面上，湿柱以西300km左右有一个整层上升运动区，最大上升运动发生在500hPa层，配合有两个辐合中心（一个在700hPa，另一个在400hPa），而在湿柱以东约200km处却是一个整层下沉运动区，最大下降速度也发生在500hPa，下沉区也与辐散中心相一致；

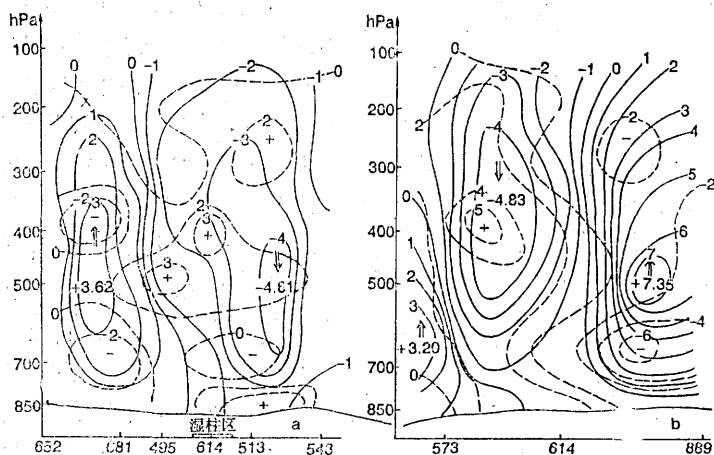


图5 1983年9月10日08时沿 38.75°N (a)、 106.25°E (b)剖面图

在 106.25°E 剖面上，湿柱南北两侧各有一个上升或下沉运动区，上升区位于湿柱以南约100km左右，最大上升速度仍在500hPa层，下沉区位于湿柱以北约100km处，最大下沉速度却出现在300—400hPa层，上升区和下沉区分别与低层辐合中心和高层辐散中心相一致；在纬向和经向剖面上，湿柱都处于上升运动和下沉运动区之间、偏下沉区一侧（图5）。继而，在经向剖面二维流场图上，湿柱以及南侧有一个完整的垂直逆环流圈（见图6）。

干暖盖的结构有所不同，一是垂直运动

发生在700hPa层以上，低层稳定，中上层的下沉运动明显，与中低层辐散中心相一致；二是二维流场上纬向剖面是一致的偏西气流，经向剖面是一致的偏南气流，不存在垂直环流圈。

综上所述，可初步勾画出湿柱的概念模型（图7）。该模型可归纳出五个基本点：

1. 湿柱形成于降雹日早晨，维持12—24小时，水平尺度 $200 \times 200\text{km}^2$ ，下窄上宽，垂直尺度2—4km；
2. 湿柱内平均比湿在 $7\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右，平均相对湿度为70—90%，湿层较薄，含水

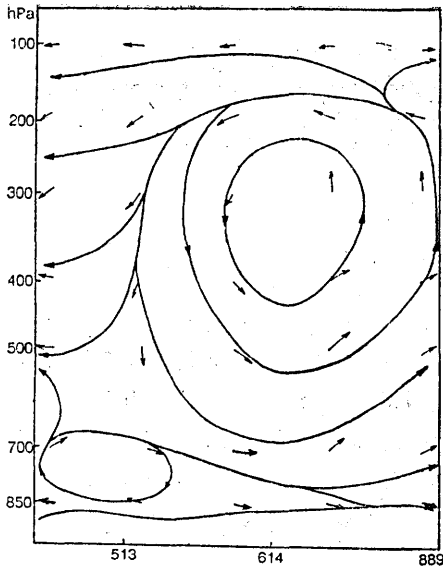


图6 1983年9月10日03时沿
106.25°E剖面二维流场

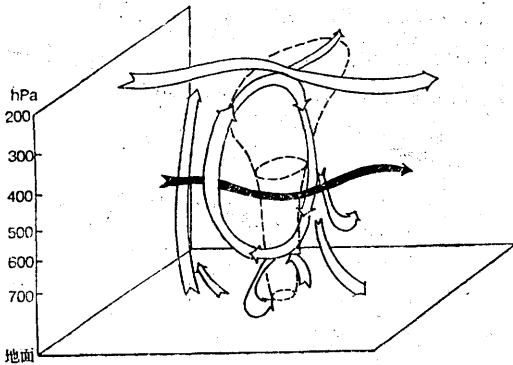


图7 湿柱概念模型示意图

The humid air column and drier-warm air lid over the northeast Qinghai-Xizang Plateau

Li Wenyuan Sun Jizheng
(Ningxia Institute of Meteorology)

Abstract

In this paper, a synoptic event is described to show that there is a humid air column and a drier-warm air lid presented 12-hours before a hailstorm. Their physical constructions are analysed with finite areas and fine grids, and their contributing factors and a concept model are given.

量中等偏上;

3. 湿柱往往产生于中空急流左侧,且中低空均有辐合带存在,湿柱内不稳定能量显著大于四周;

4. 湿柱位于上升、下沉运动区之间交界处、偏下沉运动一侧,其西侧和南侧的上升运动与中低层辐合中心、高层辐散相吻合,而其北侧和东侧的下沉运动则与整层辐散相一致;

5. 湿柱及其南侧在经向剖面上存在一个完整的垂直逆环流圈,其北侧维持偏南气流,在纬向剖面上是一致的偏西气流。

四、小结

1. 西北地区东部夏半年强对流天气爆发前,有干暖盖现象出现,但在干暖程度、发生层次、日变化及生命史等方面与华北地区有明显差异。

2. 湿柱是强对流发生前的又一种重要前兆现象。通过与干暖盖的比较、分析,取得了这一西北地区东部特有的高能湿润气柱的各种重要特征。

3. 干暖盖作为一种稳定层,其功能是在干暖盖下方的近地层大气中为强对流爆发储存大量能量;湿柱的功能却是在干旱地区湿气柱内汇聚强对流爆发所必需的大量湿不稳定能量。

参考文献

- (1)李文源,宁夏雷暴的热力-动力学分析,《宁夏气象》,1986年第3期。
- (2)吴正华、雷雨顺,干暖盖与北京地区初夏强雷暴,《北方天气文集》(三),1982年。