

# 出现海市蜃楼的天气特征分析

陈连友<sup>1,2</sup> 张宝贵<sup>1,2</sup> 陈小雷<sup>2,3</sup>  
景 华<sup>2,3</sup> 周建馨<sup>1,2</sup> 徐 静<sup>1,2</sup>

(1. 河北省秦皇岛市气象局, 066000; 2. 河北省生态环境重点实验室; 3. 河北省气象台)

**提 要:** 根据1987年、2006年秦皇岛沿海出现的三次海市蜃楼景观资料, 统计分析  
了海市蜃楼景象发生时、发生前的天气形势、地面气压场、单站部分气象要素特征、  
GPS水汽探测资料等。结果表明: 海市蜃楼一般出现在高空槽后, 强冷空气刚刚过后  
十分稳定的地面高压前部。沿海地区, 当近地面风很弱, 气温急剧下降、湿度明显减  
少, 700hPa温度露点差  $T - T_d \geq 6^\circ\text{C}$ , 饱和湿空气层处于不稳定状态向稳定干空气状  
态转化时, 海市蜃楼景观出现的几率较大。

**关键词:** 海市蜃楼 天气形势 气象条件

## Analysis of Weather Characteristics for the Mirage

Chen Lianyou<sup>1,2</sup> Zhang Baogui<sup>1,2</sup> Chen Xiaolei<sup>2,3</sup>  
Jing Hua<sup>2,3</sup> Zhou Jianxin<sup>1,2</sup> Xu Jing<sup>1,2</sup>

(1. Meteorological Office of Qinhuangdao, Hebei Province 066000;

2. Hebei key Laboratory of Ecological Environment; 3. Meteorological Observatory of Hebei)

**Abstract:** Three mirages which took place in 1987 and 2006 were selected and some meteorologi-  
cal elements during and before the mirage, such as weather situation, surface pressure field, wa-  
ter vapor remotely sensed by GPS and local meteorological factors were analyzed. The result  
shows that the mirage usually occurs in the rear of upper trough. In the meantime, it is in the  
front of surface high pressure as dry and cold air just passed by. In the coastal region, if there  
would be these circumstances, such as a light wind, sharp decrease of temperature, low humidi-  
ty, and the dew point deference is not lower than  $6^\circ\text{C}$  at 700hPa, the layer of humid saturated air  
is in the transient state from an unstable condition to a stable situation of dry air, the wonderful  
view of mirage would have a high probability to take place.

**Key Words:** mirage weather situation meteorological conditions

资助项目: “GPS水汽探测网业务应用系统开发”河北省气象局科技基金资金项目

收稿日期: 2008年3月17日; 修定稿日期: 2008年7月19日

## 引 言

海市蜃楼是地球上物体反射的光经大气折射而形成的虚像。它的生成是在特定的天气形势和气象条件下,与地理位置、地球物理条件有密切联系。由于出现时间短,准确的记录较少,地域飘忽不定,有很大的神秘性。虽然海市蜃楼的出现与天气变化密切相关,以往很少有人从天气变化的角度来分析出现的原因,这方面的论文较少,目前,只见朱龙<sup>[1]</sup>从气象学角度对海市蜃楼进行了分析;王忠纯<sup>[2]</sup>郭守月<sup>[3]</sup>等从光学理论上对海市蜃楼的形成作了分析。根据 1984 年、2006 年秦皇岛海域,北戴河观测站附近出现的三次海市蜃楼景观,以及出现的确切时刻,较为详细地分析了出现海市蜃楼的天气形势、气压场、物理量场分布、北戴河观测站气象要素特征、GPS 水汽资料,为进一步解释海市蜃楼的气象成因提供科学依据。

## 1 实况

最早见于秦皇岛海域出现过海市蜃楼奇观的记载是明万历三十四年(公元 1606 年)三月。那一天,从金山嘴到莲蓬山,海面之上,迷朦蒙云雾之中,突然显现出星罗棋布的亭台楼阁、车水马龙的闹市通衢,连官员出巡时的伞盖旗帜也似隐似现。倏忽之间,云霞变幻,空中又耸立起一座山峰,峰巅形似两只

扑扑闪闪的兔耳,有人惊呼:此乃抚宁兔耳山,何以来到半天中?

1969 年的一天,海面上出现了昌黎的幻景,城里的古塔和北碣石山都清晰可辨。

1987 年 5 月 24 日,海面上闪现出一条亮带,探出几座淡蓝色的山头,飘飘摇摇、忽起忽落……。

1991 年年初,北戴河海面又出现了海市蜃楼景观,里边有湖水,许多小船划来划去,十分热闹。

继 2006 年 2 月 7 日 16 时 20 分秦皇岛海域出现海市蜃楼景观之后,2006 年 9 月 9 日 11 时 20 分日,秦皇岛海域再次出现海市蜃楼,景观的出现引起了新闻、网络媒体和民众的关注。有幸的是,许多有心人准确地记录了出现海市蜃楼的确切时间,并留下了精彩的画面,为进行深入细致的气象要素和天气条件分析提供了重要资料。

## 2 环流特征及主要影响系统

### 2.1 500hPa 环流特征分析

图 1 是 2006 年 9 月 9 日 08 时和 20 时 500hPa 流场的环流分布。在 2006 年 9 月 8 日 20 时 500hPa 流场的环流分布图(图略)上,在  $40^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\text{E}$  周围的大片区域,流线均呈现西南—东北向,并指向东北方。这一区域在 500hPa 温度图上(图略)完全为暖区控制。

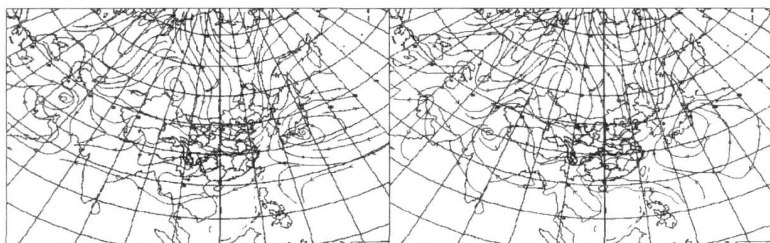


图 1 2006 年 9 月 9 日 08 时(左)和 20 时(右)500hPa 流场实况图

到了9月9日08时,在 $120^{\circ}\text{E}$ 以西为来自于西北向的流线,而 $120^{\circ}\text{E}$ 以东为来自于西南向的流线(图1)。此时500hPa温度图(图略)上,秦皇岛沿海处于暖区,但靠近暖区向冷区过渡的边缘。表明暖气团即将被冷空气取代,在稍后的三个多小时随着冷空气的到来(对应的地图上08时到14时气温下降 $6^{\circ}\text{C}$ ,而正常情况下,这段时间应该升温,足以表明一次暖、冷空气的交换。),出现了海市蜃楼。

9月9日20时,整个渤海湾区域,几乎全部表现为西北向的流线,其方向从西北指向东南。500hPa温度图(图略)上,整个渤海湾全部为冷平流控制,随着冷空气进一步南下,秦皇岛沿海的海市蜃楼早已结束。

## 2.2 主要影响系统

2006年9月9日08时700hPa天气图上(图略),中高纬环流为两槽一脊型,东亚大槽的底部南伸到我国的东南沿海,低涡中心位置在 $52^{\circ}\text{N}$ 、 $125^{\circ}\text{E}$ ,强度296位势什米,另一个低涡中心位于 $60^{\circ}\text{N}$ 、 $60^{\circ}\text{E}$ 附近,大陆高压势力强大,中心位置在 $40^{\circ}\text{N}$ 、 $80^{\circ}\text{E}$ 附近,强度320位势什米;冷槽的前部等高线密集,秦皇岛市此时位于刚刚迅速东移的槽线后部,槽前的海上高压呈东北西南向,海市蜃楼出现在槽后下沉气流区。

2006年2月7日700hPa天气图上(图略)东亚中高纬与9月9日出现海市蜃楼的环流型相似,中高纬为一槽一脊型,东亚大槽的底部抵达我国的东南沿海,低涡中心偏南;北支锋区在 $50^{\circ}\text{N}$ 附近,南支锋区在 $35^{\circ}\text{N}$ 附近,大陆高压发展强盛,秦皇岛市此时位于刚刚迅速东移的槽线后部,海市蜃楼出现在槽后西北气流控制的区域内。

1987年5月24日08时700hPa天气图上(图略),中高纬环流为两槽一脊型与2006年9月9日相似。

## 3 物理量场分布

### 3.1 气象要素的变化

从700hPa的湿度场分布图中可以看出(图略), $T-T_d\leq 3^{\circ}\text{C}$ 的湿区,在高空槽前我国东北南部到朝鲜半岛和日本海这一片区域。海市蜃楼出现的区域 $T-T_d\geq 6^{\circ}\text{C}$ 。这种分布表明,与高空槽配合的湿区恰好刚刚移过,从而使得冀东沿海发生了一次干、湿区域的转换,为海市蜃楼的出现创造了水汽变换条件。

为进一步分析海市蜃楼出现的天气条件,对两次海市蜃楼出现时的冷空气活动进行了对比分析,两次海市蜃楼都是出现在一次强冷空气刚刚过后的天气里。在2006年9月9日的850hPa图上有一股强冷空气过境(图略),冀东沿海区域24小时降温 $\Delta T_{24}\geq 6^{\circ}\text{C}$ ,海市蜃楼出现的区域在冷中心的边缘。垂直运动场为正值区( $\omega\geq 0$ ),500hPa为负涡度区。2月7日出现海市蜃楼的冷空气活动与9月9日基本相同,冷中心控制了冀东沿海区域,垂直运动场为正值区( $\omega\geq 0$ ),500hPa为负涡度区。下沉运动是造成冀东沿海晴空区的主要原因之一。24小时降温 $\Delta T_{24}\geq 6^{\circ}\text{C}$ 。

### 3.2 地面气压场的特征

由于季节不同,出现海市蜃楼的地面气压场分布也不尽相同,2006年2月7日出现海市蜃楼时,蒙古高压势力十分强大,2月7日08时中心位置偏北,在贝加尔湖附近,中心强度1045hPa(图2),高压舌一直延伸到东南沿海;到了20时,在引导气流的作用下高压中心扩散南下,前锋已控制冀东沿海,海市蜃楼出现在地面高压的东南部,是在冷暖空气转换的运动中产生的。

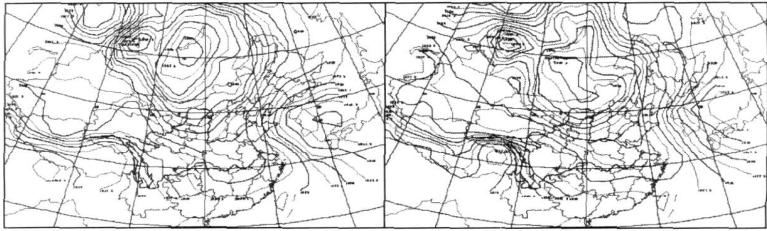


图 2 2006 年 2 月 7 日 08 时(左)和 20 时(右)地面气压场实况图

2006 年 9 月 9 日 08 时地面高压几乎控制了中国的大部分地区(图略), 中心在  $50^{\circ}\text{N}$ 、 $95^{\circ}\text{E}$  附近, 中心强度 1024hPa。到了 20 时高压中心快速移到河套地区, 海市蜃楼出现在东移的地面高压东部边缘。秦皇岛沿海经历了一次气压场的转变, 气压场的转变促发了一次气象要素的突变, 而海市蜃楼的出现正是由于气象要素的突变, 使空气折射率不均匀引起的。

1987 年 5 月 24 日海市蜃楼出现在地面鞍型气压场附近(图略), 鄂海高压与大陆高压遥相呼应, 低压在我国的东北和西南地区, 之前我区出现了一次较强降水, 由低压控制刚过渡到高压控制, 经历了一次气压突变过程。

4 海市蜃楼出现时单站气象要素特征

根据资料分析, 海市蜃楼均出现在降水过后的天气里。1987 年 5 月 24 日的前三天秦皇岛连续下了中到大雨, 天气转晴出现海市蜃楼。2006 年 2 月 7 日一场大雪刚刚过后, 天气转晴出现海市蜃楼, 2006 年 9 月 8 日刚刚降下了一场秋雨, 而 9 月 9 日又是一个晴空万里的好天气, 随后即出现海市蜃楼。由于海市蜃楼出现在冷暖空气突变的天气过程中, 所以, 当海市蜃楼出现时, 气象要素的变化是十分明显的。根据逐时气温资料分析, 3 次海市蜃楼出现的前一天出现了明显的降水、降温天气, 气温比前一天明显偏低,

海市蜃楼出现前 6 小时的 24 小时变温为  $-12.0^{\circ}\text{C}$ , 这种气温偏低的变化逐渐减小(图 3), 蜃景出现前 3 小时 24 小时变温为  $-7.2^{\circ}\text{C}$ , 出现前 1 小时缩小到  $-4.2^{\circ}\text{C}$ 。出现后 3 小时气温 24 小时变温为  $+3.3^{\circ}\text{C}$ 。气温最大变幅达  $15.3^{\circ}\text{C}$ 。相对湿度呈逐渐减小趋势, 前 3 小时日变化比同时刻小  $10\% \sim 17\%$ 。

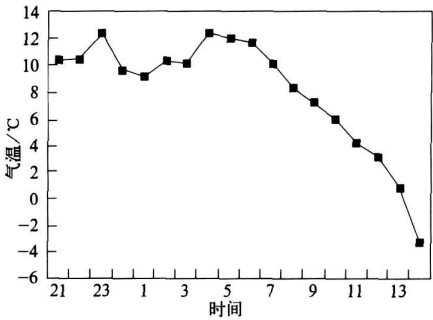


图 3 2006 年 9 月 8 日 21 时至 9 日 14 时气温变化实况

分析表明, 海市蜃楼的出现与不同高度空气层的折射率有关, 考虑到水汽含量是直接影响折射率的重要气象要素, 分析了北戴河观测站的 9 月 9 日 GPS 各时刻水汽含量变化(图 4), 9 月 9 日海市蜃楼出现时刻在 11 时 20 分前后, 观测表明 11 时大气中的水汽含量有一个显著增加的变化, 到 12 时达到最大值。1—9 时大气中的水汽含量明显偏少。

另外, 出现海市蜃楼时的能见度也比较特殊, 是全月的最大值, 达 2km。

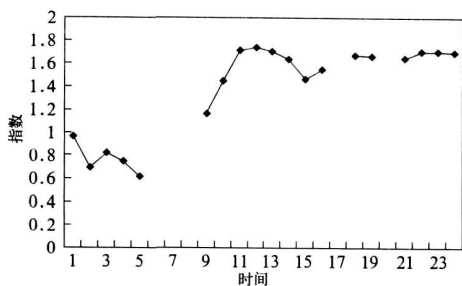


图4 2006年9月9日逐时GPS水汽变化实况

相关分析表明:海市蜃楼的出现与气温、相对湿度突变有关。靠近海面的空气由于海水温度较低和潮湿的水蒸汽的影响,折射率较大,而上方的空气因受日照影响温度较高。亦即海面上空空气层的折射率是由下而上随高度逐渐减小的。由于气象要素变化的不连续性,导致了光在空气中折射率变化的不连续,光线穿过折射率大的空气层顶时,在晴朗、无风或微风的气象条件下,形成全反射,产生了海市蜃楼的奇异景观。

## 5 出现海市蜃楼的天气条件

由于海市蜃楼出现的时间、地点有很大的不确定性、持续时间短,有价值的记录少,使本次天气分析有一定的局限性。但通过仅有的准确记录也基本验证了海市蜃楼的出现与天气形势、气象要素变化密切相关。可以很好地解释其气象学成因:当界面清楚的冷锋天气在沿海发生时,如果前一天空气湿度大,并出现降水天气,冷锋过境入海后,降水迅速停止,湿度较小的干冷空气入海,形成短时的晴空无风天气,在这样的气象条件下就构成了海市蜃楼出现的有利天气环境。因此,有利于海市蜃楼出现的天气形势可归结如下:

(1) 在700hPa,海市蜃楼出现的有利天气形势为:高空槽过境后的较短时间内,地面则表现为高压的前部,因为槽后的强烈下沉气流有利于晴空天气的形成。

(2) 由于海市蜃楼出现与沿海水汽对光线的折射变化有关,700hPa的湿度场分布表现为:槽前有较明显的大片湿区( $T - T_d \leq 3^\circ\text{C}$ )。槽后有较明显的大片干区( $T - T_d \geq 12^\circ\text{C}$ ),干、湿区的快速转换过程是形成海市蜃楼的有利气象条件。

(3) GPS观测的水汽含量变化资料表明:海市蜃楼出现时,大气中的水汽含量增减幅度显著。

(4) 海市蜃楼出现时一般有一次明显的降水、降温过程相伴。

## 6 结语

由于产生海市蜃楼的物理意义明确,所以要在自然界产生海市蜃楼奇观,必须形成必要的符合全反射条件的气象背景,而这种特殊天气背景的出现,只有在一次明显的冷空气和暖空气的转化过程中,对于空气的干湿、冷暖、下垫面条件、空气的洁净度、下垫面水汽的蒸发、以及降水过后风力的大小等,近乎圆满的配合下才能出现。所以海市蜃楼是极其少见的,也是非常珍贵的天气学奇观。

## 参考文献

- [1] 朱龙. 蓬莱海市蜃楼形成的气象因素季节分布及征兆[J]. 气象, 2007, 33(11): 101-106.
- [2] 郭守月, 冯克成. 媒质中的光线族方程与折射率的关系研究[J]. 长春理工大学学报, 2006, 29(4): 122-124.
- [3] 王忠纯. 用线性变折射率模型解释海市蜃楼[J]. 大学物理, 2001, 20(9): 24-27.