

# 关于庐山奇特光象的成因

王鹏飞

庐山云雾站 1981 年 5 月观测到三次奇特光象(其中 4、5 两日出现的是同一种光象), 这已由苏茂同志在《奇特的大气光象》一文中加以描述。这些光象究竟是什么? 它们是怎样形成的呢? 本文试就这些问题加以探讨。

## 1. 5 月 4 日及 5 日中午出现的彩色光带

根据苏茂同志的描述, 我认为彩色光带是“虹彩”或是“90°圆晕”的一段。为什么呢?

“虹彩”是“华”一类的光象, 它是由极微小的

水滴或冰晶对日光发生衍射而致。它与一般华的不同点有三: 一是一般华接近太阳, 其半径角约在 1—10°之间, 大多不大于 5°, 可是“虹彩”的半径角很大, 可以大到 20—30°到 80—90°之间。就因为半径角大, 所以在不完整出现时, 常呈带状。二是一般华虽有彩色, 但彩色不明显, 而“虹彩”的色彩十分鲜艳。1951 年我在北京曾见到艳绿鲜红的虹彩光带, 在卷云及高积云上出现, 那时卷云与高积云移动较快, 使虹彩好象出现动态(其实是云相对于虹彩的运动, 并非

虹彩的移动)。三是一般的华在白天不易见到，这是因为它们的半径角太小，紧贴于日轮周围，日光刺眼眩目，不能逼视，很少见到“日华”，所以常见的华多为“月华”。但虹彩则不然，它的半径角度大，可以大到 $20\text{--}30^\circ$ 以上，所以不受日光眩目的影响，白天能见到。正由于日光比月光强得多，所以白天见到虹彩，比夜间的月华更为绚丽夺目，也更引人注目。

从苏茂所作草图看來，彩色光带仅现一段，它在北面的一部分不见。如果能见到，可能就在地平线上或在地平线以下。苏茂在文中并未指出此彩色光带的半径角为若干。但我们可以按 $\mu = 90^\circ - (\phi - \delta)$ 的式子计算5月初庐山正午太阳的高度角。因为庐山的纬度( $\phi$ )约为 $29.5^\circ$ ，5月初的太阳赤纬( $\delta$ )约为 $15.5^\circ$ ，可计算出庐山太阳高度角 $h$ 约为 $76^\circ$ 。如果此彩色光带延长弧的正北下端在地平线处或比地平线更低，那末可以估计出此彩色光带的半径角必大于 $76^\circ$ ，甚至大于 $80^\circ$ 。

我们如果以 $a = \frac{5.15\lambda}{\pi \sin \alpha}$ 来计算产生虹彩的冰晶或云滴直径。设 $\lambda$ 为形成虹彩的光波的平均太阳光波的波长。假定 $\lambda = 0.55$ 微米， $\alpha$ 为彩色光带的半径角，假定 $\alpha = 80^\circ$ ，则可得 $a = 0.92$ 微米。这就是说当时产生虹彩的云粒半径约 $0.9\text{--}1.0$ 微米。我们知道，一般的高积云云滴直径约为 $10\text{--}20$ 微米。可见虹彩一般只能产生于高积云的初形成或将消散的时候，因为那时云滴很小。当然在云滴微小的高积云边缘和有的荚状高积云上，也可以出现虹彩。庐山5月4、5日两天中午出现彩色光带时正有少量Ac tra，可能与此有关。但是在毛卷层云上也能出现虹彩，只要当时其中含有截面直径微小的柱状及针状冰晶(截面直径 $0.9\text{--}1.0$ 微米)，且这些柱状及针状冰晶在空中的主轴方向近乎人目与太阳的连线方向即可。当然这必须高空风向合适，那天出现虹彩时，Ac tra上方有Cs fil(毛卷层云)也是形成虹彩的原因。苏茂同志文章中指出光带穿过Ac tra时，颜色较淡，这说明这个彩色主要是由Cs fil所形成，而不是Ac tra所形成。

但是根据苏茂同志的描述，这个彩色光带呈内红外紫的排列，这一点却是与虹彩的色带排列相反。这就有两种可能：一种是苏茂同志的描述有误，而写成了“内红外紫”；另一种可能是这个彩色光带不是“虹彩”。

不是“虹彩”又是什么呢？

唯一可能的是 $90^\circ$ 晕弧的一段。因为只有 $90^\circ$ 晕弧的一段呈彩带形，也是在白天可见，其半径角也在 $76^\circ$ 以上，而且它也是可由毛卷层云中的冰晶所形成的。更重要的乃是它的彩带排列与苏茂同志的描述相同，也是“内红外紫”的。

$90^\circ$ 晕是日光透过双角锥柱状冰晶组成的云时所形成的。我们可以看图1。图中ABCDEF为双角锥柱状冰晶。日光S以入射角*i*在O点进入冰晶，折射后在G处反射到H后，又反射到AF面的O'点，再以出射角*i'*而离开冰晶向S'方进入人目。这种双角锥柱状冰晶，其顶锥的半顶角为 $24^\circ 51'$ ，顶锥角为

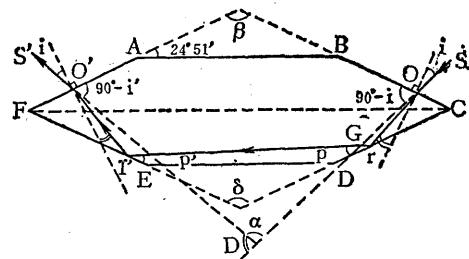


图1  $90^\circ$ 晕在双角锥柱状冰晶的光路

$49^\circ 42'$ 。

因 $S'$ 光偏离原光线S的偏射角为D，从图1可见：

$$\begin{aligned}\beta &= 180^\circ - 2 \times 24^\circ 51' = 130^\circ 18' \\ \alpha &= 360^\circ - \beta - (90^\circ - i) - (90^\circ - i') \\ &= 49^\circ 42' + (i + i') \\ D &= 180^\circ - \alpha = 130^\circ 18' - (i + i')\end{aligned}\quad (1)$$

对*i*微分，且令 $dD/di = 0$ ，得最小D角时*i*的条件为：

$$di' = -di \quad (2)$$

且，

$$\delta = \beta = 130^\circ 18'$$

则， $p' + p = 180^\circ - 130^\circ 18' = 49^\circ 42'$  (3)

又根据反射角等于入射角，即 $p = \angle OGC$ ， $p' = \angle O'HF$ ，故，

$$\begin{aligned}p &= \angle OGC = 180^\circ - (90^\circ + r) - 49^\circ 42' = 40^\circ 18' - r \\ p' &= \angle O'HF = 180^\circ - (90^\circ + r') - 49^\circ 42' \\ &= 40^\circ 18' - r'\end{aligned}$$

$p + p' = 80^\circ 36' - (r + r')$

由(3)式及上式可得，

$$r + r' = 80^\circ 36' - 49^\circ 42' = 30^\circ 54' \quad (4)$$

对(4)式微分，得

$$dr' = -dr \quad (5)$$

按折射定律，在冰晶折射率相同的条件下有，

$$\sin i \sin r' = \sin i' \sin r \quad (6)$$

$$\cos i \cos r' = \cos i' \cos r \quad (7)$$

分别将(6)式与(7)式相加、相减，得：

$$\cos(i + r') = \cos(i' - r), i - r' = i' - r \quad (8)$$

$$\cos(i + r') = \cos(i' + r), i + r' = i' + r \quad (8)$$

解(8)式得，

$$i = i', r = r' \quad (9)$$

将(9)式代入(4)式得

$$r = \frac{30^\circ 54'}{2} = 15^\circ 27' \quad (10)$$

若令冰晶折射率为1.31，可求出*i*= $20^\circ 26'$ ，代入(1)式，可得

$$D = 130^\circ 18' - 2i = 130^\circ 18' - 40^\circ 52' = 89^\circ 26' \approx 90^\circ$$

这就证明了光线通过这种双角锥柱状冰晶如果光路如图1所示，其最小偏射角D为 $90^\circ$ 左右。从而形成的就将是围绕太阳的角半径为 $90^\circ$ 的圆晕。

但 $90^\circ$ 圆晕的范围很大，当太阳正在天顶时，它就要成为沿地平线的一个圈。当太阳不在天顶时(象在庐

山，太阳正午高度角仅约76°，它就应当是距太阳半径角为90°的在天空倾斜的大环，其一部分（下部）无疑在地平线下，隐没不见，只露出地平线上的一部分。又因为90°晕弧范围很大，天空上的Cs fil不可能均匀分布，即使均匀分布，其中双角锥柱冰晶不见得全排列得使太阳在其中的光路正好如图1所示。另外，在云中也不见得各部分均有双角锥柱冰晶。所以90°的全部晕环很少见。出现时，往往仅只是一个晕弧段，而且即使只是一些晕弧段，也是很罕见的。

总起来看，我认为5月4、5日两天见到的彩色光带，应是虹彩或90°的晕弧段。如果其色彩的排列如苏茂同志所说的正确无误，那末它可以进一步肯定90°的晕弧段，而不是虹彩。反之，则它将是虹彩。

另外，苏茂同志的图中，还画有一个包围太阳的小圆晕，虽然他未说明半径角，但根据比例，我认为很可能是22°圆晕。当天空中有Cs fil存在时，22°晕与90°晕同时出现，或22°晕与“虹彩”同时出现，都完全是可能的。

## 2. 5月25日5时半左右出现的彩色光斑

我认为苏茂同志所描述的彩色光斑，是假日。虽然未具体谈到此彩色光斑跟太阳的距离角为多少，但我们可以作一些估算。

太阳高度角公式为：

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \Omega$$

因庐山的纬度约等于29.5°，5月25日的赤纬( $\delta$ )约在21°左右，又5时35分的角( $\Omega$ )约为-96°。代入上式，得

$$\begin{aligned} \sin h &= \sin 29.5^\circ \sin 21^\circ + \cos 29.5^\circ \cos 21^\circ \cos(-96^\circ) \\ &= 0.49 \times 0.36 + 0.87 \times 0.93 \times (-0.10) = 0.10 \end{aligned}$$

故太阳高度角为5.47°。而当时以正南为标准的太阳方位角为：

$$\begin{aligned} \sin A &= \frac{\cos \delta \sin \Omega}{\cosh} = \frac{\cos 21^\circ \sin(-96^\circ)}{\cos(5.47^\circ)} \\ &= -0.93 \quad A = -68.4^\circ \end{aligned}$$

即方位角约为南偏东68.4°。如果人站在O处地面，见到的太阳A应当如图2所示。

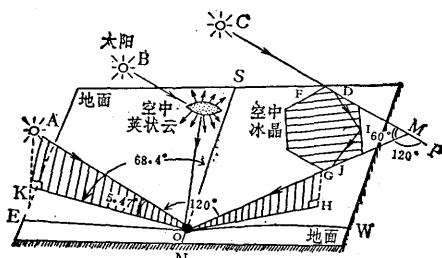


图2 120°假日的形成

关于120°假日的形成，可以参看图2。图中将空中冰晶放大了，以便示明光路。此冰晶的F端比G端的位置偏南且高。相对于冰晶处来说，太阳好象在C处，光路是CFDIJGO而进入人目。其中∠MDI及∠IJM均等于 $(90 - r_c)$ ， $r_c$ 为全反射临界角，它等于49°46'。

因为FD与JG之交角为60°，故∠PMJ=120°。因为AO平行CP，故∠MOA与∠PMO为内错角，它们均等于120°。事实上按此光路，可以形成一条120°的假日弧，往往还同时出现假日环。而假日环与120°假日弧的交点，即成为120°的假日。但因假日环及120°假日弧均不是彩色的，往往不如其交点处明显，所以人们只注意到120°假日。这时由于假日是在两个弧的交叉处出现，所以光斑常呈倒“T”字形。其横划是假日环的一小段，向上凸出的部分是120°假日斜弧的一段。由于倒“T”字形光斑的亮度及色彩不均匀，它就会被看成如苏茂同志所描写的由三块棱形彩色光环组成的光斑。

按理120°假日出现的高度角应当与太阳的高度角相等，因为这个假日也出现在假日环上。但因苏茂同志是站在庐山上向下看地平线的，所以说这个光斑距地平线高度约20°。

图2中还可以看到在天顶偏南处出现了高度较低的荚状云。相对于荚状云来说，太阳在B处，阳光透过荚状云而发生散射。由于这时太阳高度角很低，通过的空气层较厚，一些短波光未到达荚状云前就散射掉了。所以到达并透过荚状云后发生散射的光就都是橙黄色的光，其中一部分散射入人目。

据苏茂同志对天空云况的观测，认为当时“东半天空的Sc tra较薄，云块为橙黄色，从较多的裂缝中可看见Sc上面有稀疏的Ac tra和少量的Ci fil。而西半天空Sc较厚。基本上看不见蓝天，但是事实上当时全天的云况分布可能较一致，只是因为当时太阳高度角很低，东半天那里是太阳所在的方位，太阳本身虽然被云所掩，但其光线仍可透过层次比较分明的云层，故东半天的天空较亮，并能看清楚上空的Ci fil。而西边天空则不然，光线在到达西边天空前，往往受到东边天空云的阻挡，这些云会发生向西方投射的阴影，使那些较高的云层也因被投上阴影而亮度大减，看起来好象是较低的云。再加上云的远景效应，使云隙受到前面云的掩挡，行间空隙看不出来，从而其上的卷状云也就更不易看见了。但这些现象总是一种假象。事实上西半天空的云况与东半天空应是相似的，必也有Ci fil甚至是Cs fil漏出下方的地方。为什么这样说呢？120°假日的出现就是一个证明。如果没有Ci fil漏见于云中，人们怎么能从西方天空见到120°的假日呢？单靠Sc是不可能出现假日的，因为假日必须出现于冰晶云上。

这个120°假日的色彩也主要是橙黄色的。其所以是橙黄色，是与太阳高度低，短波光色早已被散射掉有关。由于在假日周围有较暗的云层，对比起来看，这些较暗的部分，就好象呈暗蓝色。这一反衬，使120°假日本身好象具有蓝、黄等不同色彩了。

总而言之，根据上面的分析，庐山在1981年5月25日清晨见到的光斑，应是120°假日（关于120°假日弧和假日环的成因请参阅本刊1981年第12期《主要晕象的形成原理》一文）。