



主要晕象的形成原理

王 鹏 飞

当薄绢似的高云掩盖天空的时候，在日月光轮的周围，往往会出现形状奇幻的晕象，有时还带有彩色，特别引人注目。

晕具有各种形状，常见的环形有 22° 圆晕、 46° 圆晕、假日环等；常见的弧形晕有各种切弧，有的晕形似直带（如日柱），有的晕呈光斑状（如假日）。有时好几种晕一起出现，有时单独出现，出现时各部分明显程度不同。在色彩方面，有的有色，有的无色。就出现的天空部位来说，有的出现在太阳或月亮的近旁，有的却出现在日月相对一侧的天空中，千种百样，十分复杂。但是就其主要形成过程来分，则不外乎分为反射晕和折射晕两大类。有些晕象的形成过程，兼有反射和折射，也还有些晕象，在形成时穿插有衍射过程。

一、形成晕的云雾及其冰晶

晕是日月光受到冰晶的反射或（和）折射而形成的光象。所以天空有晕时，必然伴存冰晶云。如果冰晶撞冻了许多细小冷却水滴，表面不平滑，内部含有许多空气泡，很不透明，就起不到对日月光的镜面反射及折射和透射的作用。只有那些表面光滑而又可透射过日月光的冰晶的云雾，才能出现晕象。

近年来根据飞机取样，发现卷云中存在的冰晶多为简单炮弹形、玫瑰花结形、六角柱形，此外还有少量的片状晶、双角锥柱状晶（见图1）。这些冰晶的主轴在云中的取向，对形成什么形状的晕，有很大关系。

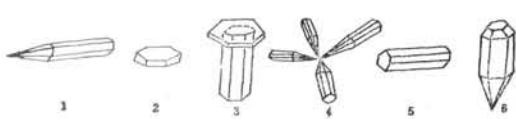


图1 形成晕象的各种冰晶

1. 炮弹状 2. 片状晶 3. 蘑菇状柱形 4. 玫瑰花结形 5. 六角柱形 6. 双角锥柱状晶

单有冰晶存在还不是出现晕象的充分条件。冰晶稀少，它们对光的干扰是微弱的。如果一群冰晶取向杂乱，它们对光的反射、折射也是杂乱无章的，不能出现晕象。只有在冰晶取向大体一致又有足够密度的情况下，晕象才能出现。因此，我们先来看看冰晶在云中取向的情况。

一般说来，六角柱形冰晶及简单炮弹形冰晶是以长轴大体呈水平方向的位置飘浮的。玫瑰花结形是由各简单炮弹形冰晶的尖端连结而成。它们在空中的取向，要看各冰晶的质量分布而定。如果质量很均匀，就较为水平，否则质量较重的一侧将位于下方。花结状冰晶，仅在尖端相连，所以很容易破裂成简单炮弹状冰晶。双角锥柱状冰晶的两端角锥，如大小均匀，则冰晶主轴取向应是水平的；如果一端质量较大，则以质量大的一端下垂而悬浮。蘑菇状冰晶在空中飘浮时，好象一顶降落伞，所以其片状端在上方，主轴是指向铅直方向的。上面所说的主要轴向，是在较稳定的云中的一般情况，实际上冰晶的取向总是在平衡位置左右前后摆动的，有的绕某些对称轴回旋。当有定向的风在云中吹拂时，那些垂直悬浮的冰晶，其主轴可以一致向某一平衡取向偏离若干角度，从而使晕象的方向也有某些变化。

二、反射晕

最简单的晕象是反射晕，它的形成仅与日月光在冰晶表面的反射有关，常见的反射晕是日（月）柱和假日环等。

1. 日柱 日柱是指通过太阳向上或向下的黄色晕条，它常出现在晨、昏时分。这种晕条，在太阳上方的叫上日柱，在太阳下方的叫下日柱，其形状见图2。日柱形成原理见图3， H_2O 为地面， S_1-S_7 为日光（下同）， O 为人目（下同）， BAC 为天穹，粗短线为冰晶的反射面。设冰晶的反射角及入射角都为 β ，又由冰晶A的反射面送来的日柱晕光相对于太阳的高度角为 α ，那末，由于 S_2 平行于 S_4 ， 2β 和 α 为同侧内

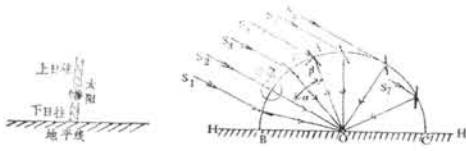


图2 日柱图

图3 日柱的形成

角，所以 $2\beta + \alpha = 180^\circ$ ，由此即得： $\beta = 90 - \alpha/2$ ，这就是冰晶反射面的取向表达式，如果沿太阳地平经圈向太阳上方或下方 α 角处看日柱，那末日柱在这一方向的冰晶的反射面必须符合上式的取向，即其法线与阳光来向的夹角必须等于 $(90 - \alpha/2)$ 。根据这种取向，靠近太阳附近的冰晶，其反射面必然近乎水平。最具有这种条件的是片状冰晶。而在太阳相对一侧的天空，要产生日柱，必须反射面近乎铅直，但片状冰晶的顶底面是近乎水平的，因此，日柱很少能延伸过天顶。

日柱是反射晕的一种，反射光一般不发生色散现象。但日柱多出现在傍晚或清晨，那时，太阳高度角较低，阳光要透过较厚而密的大气层，较短波长的光已散射掉很多，剩余的是波长较长的光，所以日柱往往带有黄橙色。由于太阳是一个光盘，片状冰晶的主轴在其平衡位置附近也有摆动，所以日柱是一条贯穿日象的宽带。

2. 假日环 假日环是指通过太阳且围绕天顶的淡白色光环，即所谓“白虹贯日”的现象。假日环的任一部分的高度角，都和太阳的高度角相等。由于各种假日往往出现于此环附近，所以就具有假日环的名称。假日环的形成参看图4。图中C和C'为冰晶，其反射面的法线分别为CW和C'W'，它们都是水平的，因此反射面都垂直于地面。太阳高度角为 β ，CO及C'O为从冰晶反射过来进入人目的光，也就是晕光。可以看出，由于入射角等于反射角，即 $\beta_1 = \beta = \beta_3$ 。又由于平行线的内错角相等，所以 $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ ，这就证明了 $\beta_1 = \beta$ ，保证了晕光的高度角和太阳的高度角相等。反射晕光的冰晶C与C'高度不同，但所提供的晕光，其高度角都是 β_1 。

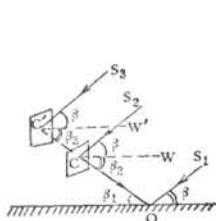


图4 假日环冰晶反射面垂直于地面的示意

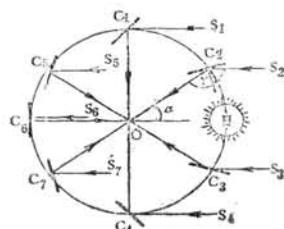


图5 假日环的冰晶反射面法线的方位取向

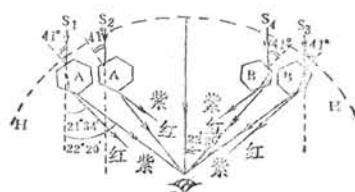
反射面铅直的冰晶，要造成假日环，其反射面法线的取向方位，应当有什么规律呢？这可参看图5。图中C₁—C₇表示冰晶的反射面，如果 α 为假日环某点晕光相对于太阳的方位， γ 为冰晶反射面法线相对于阳光来向的方位，那么，由于 2γ 与 α 角为平行线的同

侧内角，所以 $\alpha + 2\gamma = 180^\circ$ ，从而 $\gamma = 90 - \alpha/2$ 。这就是说，如果我们观测假日环上距日象左右 α 角的地方，那么该处的冰晶反射面除必须垂直于地面外，反射面的法线和入射阳光的夹角 γ 必须等于 $(90 - \alpha/2)$ 。至于各冰晶具体距地高度，则可允许有高低不同。太阳高度角愈大时，假日环就愈接近天顶，因而其半径就愈小。

三、折射晕

折射晕最常见的有 22° 及 46° 圆晕， 22° 假日。还有各种切弧。这里只介绍其中的几种。

1. 22° 假日 当太阳接近地平线时，在太阳两侧，与太阳方位相距约 22° 的地方，可各出现一个光斑，称为“ 22° 假日”。这种假日，一般带红黄色，距太阳较远的一端，常带蓝紫色。 22° 地平假日的形成见图6。图中HH为地平线，A、A'、B、B'为四个主轴垂直于地面的柱状冰晶。阳光S₁、S₂、S₃、S₄以 41° 的入射角投入柱状冰晶的一个侧面，并折射到冰晶内隔一个侧面上，以最小偏向角折射而出。这样，入射光与出射光之间的夹角就约为 22° 。这种出射光进入人目，光的来向与太阳的方向间的夹角也将是 22° ，从而形成 22° 的假日。由于日光经过冰晶发生折射时要色散，但色彩在近太阳一侧以红色较为明显，尤其当太阳近乎地平线时，阳光短波部分大部分已散射损耗，所以地平假日的色彩主要带红橙色。如果太阳高度角较高，那么光在垂直悬浮的冰晶内所经过的光路，并不垂直于冰晶主轴，这时的假日，也要略大于 22° 。有时，由于冰晶主轴有在垂直取向位置上摇摆的现象，使冰晶中的光路并不都垂直于冰晶主轴，再加上由最小偏向角的光到最大偏向角的光都能出现一定的假日，这样就会使好几个假日在太阳同高度上相连，形成圆弧，这圆弧与假日环几乎重合，这也是假日环之所以称为“假日环”的原因。但这样形成的假日弧，属于折射晕，所以是带有彩色的。

图6 22° 地平假日的形成

2. 22° 圆晕 这是环绕太阳晕环半径约为 22° 的彩色光圈。知道了 22° 地平假日的形成，对 22° 圆晕的形成也就容易了解了。可以将 22° 圆晕看作是以太阳为中心，以太阳与 22° 地平假日的距离为半径所作成的一个圆，此圆的任何直径的两端都是一对假日。每个假日所相应的冰晶位置取向，应符合下面几个条件：

- (1) 六角形冰晶的主轴在该假日处，应与 22° 圆晕相切。
- (2) 人目、太阳、假日组成一个平面，光路平面应与此平面重合。
- (3) 入射到冰晶侧面的日光，其入射角约为 41° ，而冰晶的入射侧面与出射侧面的交

角为 60° ，如图7。

从图8可以看出，冰晶主轴都与晕环相切，符合上面指出的三个条件。一般说来， 22° 圆晕在日月位置接近天顶时最易出现。这是因为根据云中实测及实验室中试验，在温度低于 -20°C 时，冰晶多呈炮弹形及六角柱状，它们的主轴都是近乎水平的。这就给予主轴与晕环相切的优越条件，有利于形成 22° 圆晕。且冰晶的主轴摆动，使日月即使位置并不正好位于天顶，也能出现 22° 圆晕。在太阳高度角较低时，各冰晶主轴取向与晕环相切的条件，就不容易满足。圆晕常不很完整。

22° 圆晕也是具有彩色的，日晕色彩较明显，月晕色彩较淡，其色带排列为内红外紫。人目见到的 22° 晕环上任一点附近的各色晕光，并不来自同一个冰晶。

3.46°圆晕 这种晕与 22° 圆晕是同以太阳为中心的，但半径比 22° 圆晕约大一倍。色带排列也是内红外紫。

46° 圆晕由日月光通过冰晶上夹角为 90° 的两个面折射而成。一般入射角是 68° ，最小偏向角是 46° 。冰晶在空中的配置，至少有三种型式：当空气中冰晶均为六角柱形时， 46° 圆晕多由主轴绕水平方向摆动的柱状冰晶造成（如图9），当冰晶均为蘑菇状柱形时，则多由主轴绕铅直方向摆动的冰晶造成；当云中冰晶具有多种形状时， 46° 圆晕可由不同形状的冰晶折射送来的光所形成。

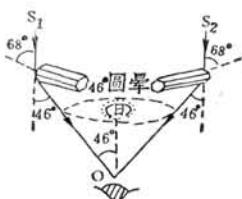


图9 形成 46° 圆晕的冰晶取向

现以冰晶为六角柱的情况为例说明如下。若太阳正在天顶，要产生 46° 的圆晕，入射冰晶的阳光入射角应为 68° ，冰晶主轴必须与水平交为 22° 角 ($90^{\circ} - 68^{\circ} = 22^{\circ}$)。这时主轴必须以水平方向为标准有较大的振荡。这就需要云中有适当的乱流，在这种乱流影响下， 22° 圆晕和 46° 圆晕就可能同时出现。如果没有这种乱流，就只能出现 22° 圆晕，如果空中只有蘑菇状冰晶，当时只能出现 46° 圆晕。由此可见，出现什么样

的圆晕，就可以间接知道空中存在什么样的冰晶和乱流情况。

4.46°下斜弧 这是指在太阳下方所出现的一些向太阳方向凸出的彩色晕弧（如图10）。它接近太阳的一侧呈红色，远离太阳的一侧呈紫色，这种晕弧的形成仍与一些水平飘浮的六角形冰晶有关。设水平飘浮的六角形冰晶的主轴所指的方位与太阳的方位差 ω 角（ ω 角的要求后面再谈），阳光从这种冰晶的一个底面入射，发生折射，并在一个大体向下的侧面出射，其最小偏向角与 46° 圆晕相同（约 $45^{\circ}44'$ ），而且由于空中这类冰晶很多，其大体向下侧面的法线与铅直面交成各种不同的角度。在上述情况下，从各种取向的大体向下的侧面出射的晕光，在人目中就显示为 46° 的下斜弧。

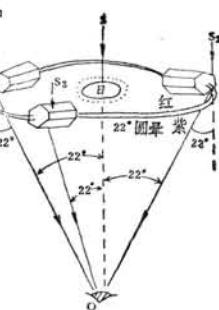


图7 形成 22° 圆晕时相对冰晶的光路

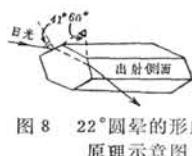


图8 22° 圆晕的形成原理示意图

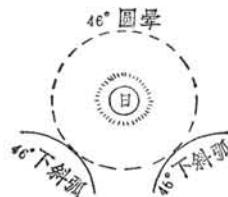


图10 46° 下斜弧

具体形成的原理见图11。图中S为太阳，P为水平飘浮的六角柱冰晶，其主轴取向为 $O'H'$ 。太阳方位以 $O'S'$ 表示， $O'H'$ 与 $O'S'$ 的夹角为 ω ，太阳高度角为 h 。阳光在冰晶P的一个底面入射，并在一个大体向下的侧面射出，进入人目。入射角为 α ，射出的阳光与水平方向冰晶主轴的交角为 α' 。按照这个角，人目看到的是晕光在天空的投影M点。当射出光的侧面正向下方时，这一点是 46° 下斜弧最接近太阳的一点。由于空中各个冰晶大体向下的侧面法线对称于垂直向下的法线而有各种角度，它们射入人目的 α' 角也就各有不同。因此当人目接收到来自各冰晶的晕光时，这些晕光在天穹的投影KML就形成一条晕弧，这就是 46° 下斜弧。此弧基本上是以 H' 为中心的，这种 46° 下斜弧，不一定和 46° 圆晕相切。但是当 $\alpha = 67^{\circ}57'$ ，且光线在冰晶中射出时，与原阳光方向相比，其最小偏向角为 $45^{\circ}44'$ 时，这个下斜弧就与 46° 圆晕相切，其切点就在M点，这时就称 46° 下斜切弧。如果卷层云在太阳地平经圈左右都均匀分布，情况相似，那末这种 46° 下斜弧就会在太阳地平经圈左右，各出现一个。

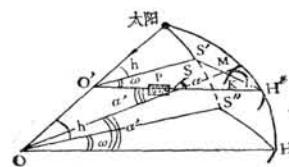


图11 46° 下斜弧形成原理图

根据计算，太阳高度角 h 不同时，由于 α 不同，所以 α' 也就不同，从而所产生的 46° 下斜弧的位置也会有所变化。当太阳在地平线上时 ($h = 0$)，切弧位于太

阳两侧（图12a）。随着太阳的升高（ $0 < h < 67^{\circ}57'$ ），切点就渐渐下移，而且左右两个下斜切弧是同时下移的（图12b）。当太阳高度角等于或大于 $67^{\circ}57'$ 时，这两个下斜切弧的切点就合并于太阳正下方（图12c）。

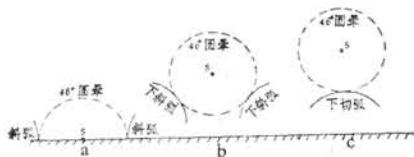


图 12 不同太阳高度角时的 46° 下斜弧

上述冰晶水平主轴的取向与太阳方位的交角 ω ，随着太阳高度的不同，是有一定限制的。即当太阳在地平线上时， ω 必须等于或大于 $57^{\circ}48'$ 。但当太阳高度角在 $57^{\circ}48'$ 以上时，冰晶主轴方向就必须指向太阳正下方的地平线上（即 $\omega = 0$ ）。

5. 46° 上斜弧 这是指在 46° 圆晕上方出现的一些晕弧。在不同的太阳高度角时，其形状及位置如图13。色彩也是靠近太阳的一侧带红色，远离太阳的一侧带紫色。形成 46° 上斜弧的情况与形成 46° 下斜弧有些类似，只是阳光入射的地方是在水平悬浮的冰晶的侧面，而出射面却是一个底面（图略）。



图 13 46° 上斜弧在不同太阳高度角的情况

6. 120° 假日 120° 假日出现于跟太阳方位为 120° 的太阳同高度两侧。当太阳在地平线上时，柱状冰晶必须侧面垂直于地面，而且阳光垂直于冰晶主轴也平行于某一侧面时，方能形成，见图14。图中阳光 S_1 及 S_2 以垂直于冰晶主轴（主轴在图中是垂直于纸面的），并且大体平行于冰晶侧面而入射，入射角约为 90° 。在折射入冰晶内时，其折射角约为 $49^{\circ}46'$ 。这个角度是全反射临界角。在冰晶内，光线在相邻一个侧面上发生内反射，由于这时内反射的反射角为 $70^{\circ}14'$ ，已远大于全反射临界角，所以发生的是全反射，结果光线就反射到再相邻的一个侧面上，最后又以几乎平行于该侧面的方向折射出冰晶。人目这时所看到的，将是距太阳方位为 120° 的两个假日，即 120° 假日。由此可见， 120° 假日形成的条件是：空中冰晶的侧面须大体平行于太阳光线来向。当太阳位于地平线附近时，

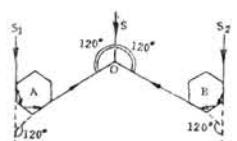


图 14 120° 假日的形成

冰晶的主轴应几乎垂直于地面，而当太阳在天顶时，冰晶的主轴应几乎平行于水平方向。

有趣的是，这种假日虽然是由折射作用所造成，却基本上是白色的。这是因为日光折射入冰晶时，虽有色散现象，但在射出冰晶时，因出射阳光的出射角相同，所以各色光又重新合并为白色的了。

7. 120° 假日弧 120° 假日弧是由于产生 120° 假日的冰晶，在保持侧面大体平行于日光的条件下，有各种不同的倾斜角 θ 所致。图15中 S 为阳光， $ABCDEF$ 面及 $A'B'C'D'E'F'$ 面为两个冰晶的横截面，它们间的夹角为 θ 。但它们分别与各自的主轴垂直，其 DE 及 $D'E'$ 边都与当时的阳光平行。因此这两类冰晶的取向，应当都能产生 120° 假日。但由于 θ 角值包括一定的连续变化范围，所以由此而造成的 120° 假日，就能连续形成一条 120° 假日弧。这种假日弧应在合适条件下在太阳两侧各出现一条，并与假日环相交如图16所示。

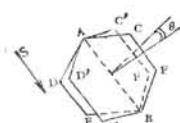


图 15 倾斜角 θ

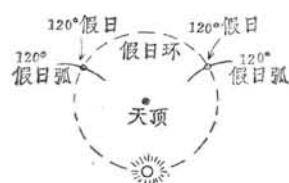


图 16 120° 假日和 120° 假日弧

8. 60° 对日晕 有时，在太阳相对的天空上，以对日点（由太阳、人目连线延伸到天穹另一侧上的一点）为中心可出现一些圆晕，称为对日晕。对日晕有各种半径，这里只介绍 60° 对日晕（图17）。图中 S 为太阳， S' 为对日点，通过 S 及 S' 点的大圆为天穹， CD 圆为地平面。假定人目在地平面上， $SAKB$ 为假日环， A 、 B 为两个在假日环上的 120° 假日， $EAGFHB$ 为 60° 。

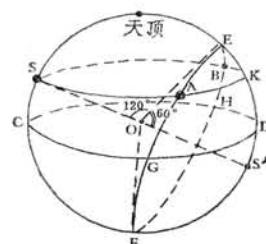


图 17 60° 对日晕现象

对日晕。这个对日晕的晕环虽然距太阳为 120° ，但如从对日点为中心来看，其半径角只有 60° ，所以称它为 60° 对日晕。一般的对日晕，是带有彩色的，晕环内紫外红。如果把太阳一侧称为‘内’的话，仍可称为内红外紫，因为红色是偏于较接近太阳的一侧。但是 60° 对日晕基于和 120° 假日同样的原因，是不带彩色的。从图17还可以看出，这个 60° 对日晕的一部分(GFH)是在地平面以下，人们能看到的仅是露出地面上的一部分。当太阳高度角较低时，这个 60° 对日晕就可以与假日环相交，交点就在 120° 假日处，如图中的A、B两点处。

60° 对日晕和其他对日晕有一个共同的有趣特点，即当光源太阳自地平线上升时它就下降，太阳自地平线下降时它就上升。如果在图17中人目A处来看， 60° 对日晕与假日环的相对配置，如图18所示。

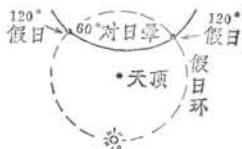


图 18 60° 对日晕和假日环

那么 60° 对日晕是怎样形成的呢？正如 22° 圆晕可以认为是由 22° 假日组成的一样，我们可以认为 60° 对日晕是由 120° 假日所组成的。当有 60° 对日晕存在时，对日晕上分布的冰晶，其侧面都是既平行于阳光，而其主轴又是垂直于阳光的。如将太阳与 120° 假日的距离为半径，以太阳为中心所作出的天穹上的晕环，那就是 60° 对日晕。

9. 90° 圆晕 90° 圆晕是折射晕的一种。这种晕，自晕环到太阳中心的角半径约 90° 左右。当然是内红外紫的彩晕。形成 90° 圆晕所需的冰晶是双角锥柱状冰晶，锥顶半角约为 $24^{\circ}51'$ ，参看图1。 90° 圆晕的形成原理见图19。假定太阳位于天顶，人目四周应当有许多类似的双角锥柱状冰晶对称分布。阳光从冰晶的上端角锥斜面以 $20^{\circ}25'$ 的入射角折射入冰晶内，在对面一个斜面上内反射后，就沿柱体主轴的方向反射到下端角锥的一个斜面，再度发生内反射，射向对面的一个斜面，再折射脱离冰晶水平地进入人目。晕光与入射冰晶的阳光呈 90° 的偏向角。产生 90° 圆晕的冰晶应

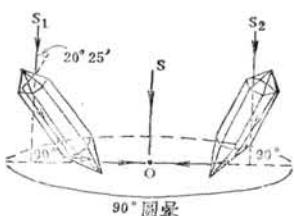


图 19 90° 圆晕的形成原理

基本上位于近地面附近。如太阳不位于天顶，那末 90° 圆晕就只能出现露出地面以上的一段，地面以下的一段，只有在高山陡峰上观测或飞机上才能观测到。实际上，除太阳位于天顶的情况外，在天空显现的 90° 晕段总不是整圆晕环，且当太阳高度角低时，晕环最高点的高度角就高，反之，则低。

一般说来， 90° 圆晕是罕见的。因为双角锥柱状冰晶在云雾中并不很多，而且当太阳近地平线时，要其主轴近乎水平（两端的角锥重量几乎均匀）。而当太阳近天顶时，其主轴应较为铅直（下底的角锥生长得比上端为完整，重量较大）；如果太阳高度角介乎 0° 与 90° 之间时，要有从太阳相对方向吹来的一定强度的风，使各冰晶的主轴仍能保持几乎平行于太阳光的来向。这种机会，当然是不多见的。

10. 22° 上下切弧 在 22° 圆晕上下方，往往出现一些复杂的切弧，形状随太阳高度角不同而有变化，其情况如图20所示。

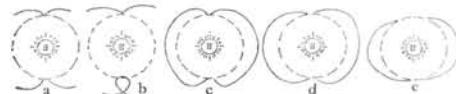


图 20 22° 上下切弧随太阳高度h而变化的情况

虚线为 22° 圆晕，实线为 22° 上下切弧
 $a, h = 0 - 14^{\circ}$ $b, h = 15 - 25^{\circ}$ $c, h = 26 - 35^{\circ}$
 $d, h = 36 - 44^{\circ}$ $e, h = 45 - 70^{\circ}$ 左右

这种 22° 上下切弧是怎样形成的呢？可参看图21，当太阳高度角为h，OS与NM互相垂直，则通过S及NM可得一个平面NSM，形成 22° 上下切弧的冰晶A、B、C的主轴就位于这个平面上。由于主轴在这个面上

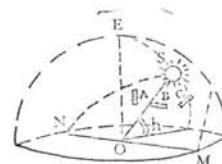


图 21 22° 上下切弧形成时冰晶主轴的取向

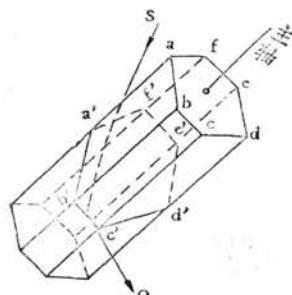


图 22 正截面、非正截面 和光路

的冰晶，可以有各种取向，所以阳光通过冰晶的一个侧面进入冰晶，然后又在与入射侧面成交 60° 的另一侧面射出冰晶时，其在冰晶内的光路，并不一定垂直于主轴，而是与主轴相交成不一定是直角的面，称为非正截面（与主轴相垂直的面，称为正截面）。在图22中画出了正截面 $abcdef$ 及非正截面 $a'b'c'd'e'f'$ 。图中还显示阳光 S' 在冰晶内通过非正截面的光路。由于冰晶的主轴是在图21的 NSM 面内，所以这些非正截面都必须是正好垂直于 NSM 面。

事实上，如太阳高度角为 h ，那末贡献 22° 上下切弧的光的冰晶，主轴只要位于与 NSM 面平行的面上就行了。例如在图23中，A、B 为主轴位于平行于 NSM 面的距地高度分别为 d_1, d_2 的两个冰晶的非正截面。阳光都以高度角 h 入射到冰晶非正截面上去，其光路分别有 S_1O, S_2J, S_3K, S_4O 。从人目看来 S_1O 是构成 22° 上切弧的晕光， S_4O 是构成 22° 下切弧的晕光。

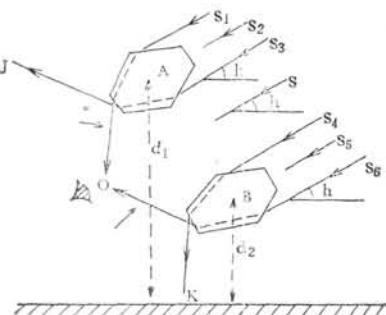


图 23 22° 上下切弧的晕光由来

当太阳高度很低或很高时，处于不同距地高度 d_1, d_2 的冰晶主轴，几乎是平行的，所以形成的上切弧和下切弧的形状是对称的。但当太阳高度角中等大小时，冰晶在下降过程中主轴趋于水平。这样， 22° 上下切弧的形状就不一样。我们知道，冰晶的侧面在空中是可以绕主轴回转的，因此非正截面虽然垂直于图21中的 NSM 面，但光路对某些位置侧面的冰晶来说却可以保持在平行于 NSM 面的方向上，这样就使 22° 上下切弧呈左右对称的现象。 22° 上下切弧是折射晕，带有色彩。色彩排列是靠近太阳一侧带红色，远离太阳一侧却是带紫色的。

形成 22° 上下切弧的冰晶，在太阳高度角较高时，多为蘑菇状柱晶、杯状炮弹形晶、或双角锥柱晶；在太阳高度角较低时，多为六角柱晶；在太阳中等高度时，应是蘑菇状柱晶、杯状炮弹形及两端角锥发展不均匀的双角锥柱状晶，并且需要有一定方向和大小的风。

四、对皮口镇奇晕的解释

前面我们已对一些主要的常见的晕象形成原理作了扼要的说明。一些复杂的晕，大多是一些基本晕象

的组合。

《气象》编辑部转来了辽宁新金县皮口镇乔玉珍同志的来函，函中反映了一组奇晕（见图24），要求解释。

对天空奇异晕象的解释，目的之一，就是破除迷信。皮口镇的纬度约为 $39^\circ N$ ，出现奇晕的那天，是1977年1月16日11时，当时太阳直射的地点约在 $20^\circ S$ 。当时太阳的高度角应约为 31° 左右（见图25）。可以认为皮口镇的复杂奇晕是由假日环 2.2° 圆晕、 22° 上下切弧、 120° 假日弧、 60° 对日晕、 90° 晕环、 46° 下斜弧等共同组成的（如图26所示）。图中 90° 圆晕色彩较淡，看来似乎无

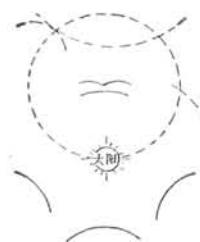


图 24 皮口镇的奇晕（此图是按照来函所反映照画的）
虚线为白色晕 实线为彩色晕

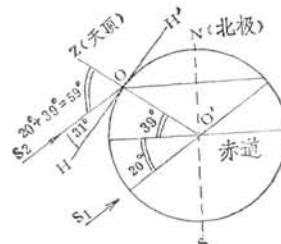


图 25 新金县出现奇晕时的太阳高度角

色。在太阳正下方的向太阳方向凸出的弧，由于原函所画比较粗略，较难判断。但根据晕的形成原理，可以出现相类似的位于太阳正下方的向太阳方向凸出的晕弧有三种：①围地平弧；② 46° 下切弧；③ 22° 下切弧。由于围地平弧仅在太阳高度大于 $57^\circ 48'$ 时方能出



图 26 皮口镇复杂晕各成分（太阳高度角 31° ）
虚线是未出现的晕象的一部分，实线是出现的晕象，
实线上的短划是不带彩色的晕，无短划则带彩色

现， 46° 下切弧一般并不与 46° 下斜弧同时出现，它只当太阳高度角大于或等于 $67^{\circ}57'$ 时才能由左右 46° 下斜弧合并后出现（见图12）。而皮口镇出现这个晕时，太阳高度角仅 31° 左右，所以是不可能出现围地平弧或 46° 下切弧的。于是剩下来唯一可能只有 22° 下切弧，当时太阳高度角减去 22° 圆晕的半径角尚有 $9^{\circ}\sim10^{\circ}$ 左右的天空容纳 22° 下切弧，说明出现 22° 下切弧最为可能。

在图24中，画在假日环内部有两条晕，上面一条略带蛾眉形，以 22° 上切弧较为近似。从当时已出现 22° 下切弧看来，判断它是 22° 上切弧，更为有理。那末在它下面这一段凹侧偏向太阳的圆弧段，看作是 22° 圆晕的一部分，就较为合适。在图24中两条晕段似较图26（我们所画）的 22° 圆晕及上切弧的位置要高一些。这是因为天穹的形状由人目看来较为平坦，使我们对于地平线以上的物体的高度估计过高。试参看图27。图中BZ是“实际天穹”，HZ是“视天穹”，实际天空应是球形的，但视天空却是扁平的（Z为天顶，OH为地面），当时太阳高度角为 31° ，再加上 22° 圆晕半径，故晕环上缘应在A'处，即在高度角约 53° 处。但A'在

视天穹上的投影为A点。我们把视天穹自地平线H到天顶Z分为七等分，则A点高度是占 $\frac{5}{7} \approx 0.7$ ，但A'点

的高度在实际天穹上占 $\frac{53}{90} \approx 0.6$ 。这就是说，实际 22°

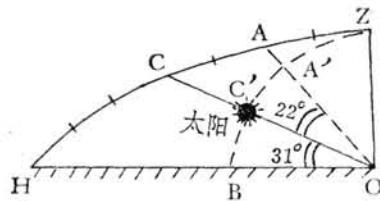


图27 22° 上切弧及 22° 圆晕上段估计过高的原因

圆晕的上缘的高度比我们单凭视觉估计的高度要低。

我们认为那天出现的冰晶有六角形柱状晶，蘑菇状冰晶，双角锥柱状晶，简单杯状炮弹形晶等多种（见附表）。

附表 皮口镇奇晕各晕段的冰晶可能情况（太阳高度角为 31° ）

晕名	冰晶主轴取向	光路	可能的冰晶种类	风向
假日环	①主轴垂直 (当时的假日环不是这种冰晶取向所造成)	侧面反射	杯形炮弹状，蘑菇状，发展不均匀的双角锥柱状	希望无风
	②主轴水平	底面及某些垂直侧面反射	六角柱状，发展均匀的双角锥柱状，尖端发展不大的简单炮弹状	无要求
22° 圆晕的上段	主轴近乎水平（因主轴需与晕段平行）	光通过夹角为 60° 的两个侧面	六角柱状，发展均匀的双角锥柱状，尖端发展不大的简单炮弹状	无要求
22° 上下切弧	主轴与地面交角应在 0 与 b 之间（ b 为太阳高度角，本例中为 31° ）	光通过夹角为 60° 的两个侧面，一般是通过非正截面	①杯形炮弹状，发展不均匀的双角锥柱状 ②蘑菇状晶	风需从太阳相对的方向吹来（偏北风）
46° 下斜弧	主轴水平	光通过一个底面，而由一个向下的侧面射出	六角柱状	无要求
90° 圆晕	主轴倾斜	光在顶端角锥一侧面上入射，并在底端角锥一侧面上射出	发展不均匀的双角锥柱状	风需自太阳相对的方向吹来（偏北风）
120° 假日弧 60° 对日晕	主轴倾斜	光按切线方向进入一个侧面，发生一次内反射，然后沿与入射面成 60° 夹角的另一侧面射出	①杯形炮弹状，发展不均匀的双角锥柱状 ②蘑菇状晶	风需自太阳相对的方向吹来（偏北风）

产生 22° 上下切弧、 90° 圆晕、 120° 假日弧和 60° 对日晕时，都需要有风。而若由主轴垂直的冰晶形成假日环，则要求当时无风。但这次假日环对风向无要求，所以当时的假日环是由主轴水平这一类冰晶所形成

的。再从风向看，风应当从太阳相对的方位吹来，即风应当是上空和低空都吹偏北风。在冬季这种条件是可能达到的。