

流星散射通信

——收集自动气象站资料的一种新手段

自动气象站的应用,使在沙漠、海岛以及其它边远地区进行气象观测有了可能。但是,收集这类测站的观测资料却有很多困难。虽然有几种通信方法可供选择,但它们都有这样那样的一些缺点,难以普遍采用。

譬如高频无线电通信,这是一种超视距通信方法,可用于远距离通信,但它易受电离层干扰。由于电离层的高度在白天和夜间不一样,进行高频通信时就得在白天和夜间分别使用不同的频率。为了对付强的干扰,最好还有备份频率。这对于自动气象站来说,是很难做到的。

又如微波通信和甚高频通信,这都是视距通信方法,进行远距离通信时都需要使用中继站。中继站的建立和维护无疑给通信问题增加了复杂性。

再如卫星通信,这是可以利用的一种远距离通

信方法,事实上一些国家已在利用卫星进行气象通信。不过,卫星通信得依靠费用昂贵而寿命有限的卫星,利用外国卫星时,还得受制于人。

为寻找比较理想的通信方法,一个时期来,一些国家的气象和环境部门作过种种试验。到目前为止,试验已获成效,并被认为颇有发展前途的一种通信方法是流星散射通信。

流星散射通信是利用流星尾迹反射或再辐射甚高频无线电信号的一种数据通信方法。它的研究还只有二十几年的历史,而转入业务性应用还只是最近四五年间的事情。

流星散射通信的突出优点是覆盖范围大(通信距离达 2000 公里)、建网容易、费用低、设备简单,特别适用于环境资料收集。目前,世界上至少已有三个流星散射通信系统在收集环境资料。一是美国农

业部在美国西部地区建立的积雪场遥测 (SNOTEL) 资料获取系统, 收集大约 500 个遥测站点每天的积雪深度、气温和降水资料; 二是美国一些联邦机构联合建立的阿拉斯加流星爆发通信系统 (AMBCS), 用于收集气象和海洋资料和其它方面的通信联系; 三是芬兰前年在其南部的万塔和北部的罗瓦涅米之间建立的 695 km 长的流星散射通信线路, 用于收集自动气象站的观测资料。

由于流星尾迹存留时间很短, 流星散射通信不适合传输长串的信息或需要长时间连续传输的信息, 这是其在气象通信应用中的局限性。不过, 对于自动气象站向中心站的发报来说, 有短短几秒钟的时间也就足够了。正因为如此, 流星散射通信作为一种新的、很有发展前途的气象资料传输方法问世, 正在受到许多国家特别是发展中国家气象部门越来越多的注意。

本文介绍流星和流星散射通信的一些物理概念, 并简述流星散射通信网的特点。

一、流星和流星尾迹

1. 流星的出现

流星是在围绕太阳的椭圆轨道上运动的一种行星际物体, 主要由铁或石组成。流星的性质取决于其质量, 质量大的可达几百吨, 小的只有 10^{-16} 克。1 公斤以上的流星一般可以穿过大气层落到地面, 被称为陨石。不过, 大部分流星成不了陨石, 它们在进入大气层以后就碎成质量小于 10^{-11} 克的微粒, 以尘埃的形式落到地面。

每天有数以百亿的流星进入大气层。这些流星可分为两类, 一类呈流星雨的形式; 另一类是零散的流星。在宇宙空间, 那些看起来象是发出流星的源地称为流星辐射点。同一流星雨中的所有流星都来自同一辐射点。所有流星中, 约有一半以上属零散流星, 它们的辐射点在空间的出现时间是随机的。流星进入大气层时的速度为 11~73 公里/秒, 每平方公里可以得到的质量大于 m 的零散流星数 N 由 $\lg N = 0.41 - 1.34 \lg m$ 确定。不同质量的流星每天落到地球上的数量如表 1 所示。

一年中出现流星雨的日子只有很少几天。在这几天中, 进入大气层的流星数可用前面的式子求出 N 再乘以因数 K 得出。一些流星雨的 K 值如表 2 所示。

2. 流星尾迹的形成

当流星进入大气层时, 会与一些空气分子相撞

表 1 零散流星特性

质量(克)	半 径	N	尾迹电子密度 (电子数/米 ³)
10^4	8 cm	10	—
10^3	4 cm	10^2	—
10^2	2 cm	10^3	—
10^1	0.8 cm	10^4	10^{18}
10^0	0.4 cm	10^5	10^{17}
10^{-1}	0.2 cm	10^6	10^{16}
10^{-2}	0.08 cm	10^7	10^{15}
10^{-3}	0.04 cm	10^8	10^{14}
10^{-4}	0.02 cm	10^9	10^{13}
10^{-5}	80 μ	10^{10}	10^{12}
10^{-6}	40 μ	10^{11}	10^{11}
10^{-7}	20 μ	10^{12}	10^{10}
10^{-8}	8 μ	?	?

表 2 流星雨及其 K 值

流 星 雨	出 现 日 期	K 值
象限座流星群	1月2~3日	5.0
天琴座流星群	4月20日~21日	0.5
白昼白羊座流星群	6月5日~11日	5.0
白昼英仙座流星群	6月5日~11日	4.0
水瓶座流星群	7月22日~8月7日	2.0
英仙座流星群	8月9日~14日	5.0
猎户座流星群	10月20日~24日	2.0
金牛座流星群	10月10日~11月25日	0.5
双子座流星群	12月10日~16日	5.5

而使空气分子进入流星的表面。空气分子与流星的冲击能产生热量, 使一些原子逸出。当这些从流星表面逸出的原子与周围空气分子相撞时, 又使周围空气加热并离子化。结果, 在流星后面就形成一条抛物线形的离子化尾迹, 尾迹中的电子密度取决于位于尾迹头部的流星的质量(见表 1)。

流星在离地面约 120 公里处进入较为稠密的大气中时, 开始引起上述离子化现象。随着高度的降低, 离子化现象加剧; 当高度降到 80 公里时, 几乎所有的流星都具有离子化尾迹。空气分子的理论平均自由程在流星开始离子化的 120 公里处为 5.4 米, 在 80 公里处为 4 毫米。图 1 给出了在不同高度上具有离子化尾迹的流星的相对数。

流星尾迹的长度主要决定于微粒质量及其天顶角。零散流星的尾迹平均长 15 公里, 最长的可达 50 公里。尾迹半径为 0.5~4.5 米。

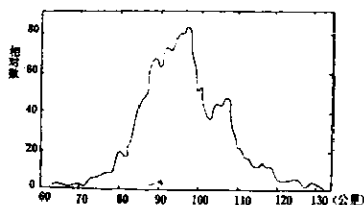


图 1 流星尾迹的高度分布

离子化尾迹一俟形成就开始消散，尾迹存留时间 t 与尾迹半径 r 之间有关系式

$$r^2 = 4dt + r_0^2$$

式中 r_0 为以米为单位的尾迹初始半径， d 为消散系数。在 85 公里处的 $d=1 \text{ 米}^2/\text{秒}$ ，在 115 公里处的 $d=140 \text{ 米}^2/\text{秒}$ 。 r_0 和 d 都是高度的函数。

电子密度小于每立方米 10^{14} 个电子的尾迹称欠密尾迹，电子密度较此为大的尾迹称过密尾迹。离子化尾迹的半径视电子密度而定，图 2 给出的是作为电子密度的函数的尾迹横截面积。

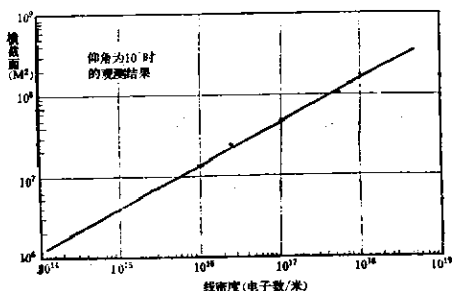


图 2 作为线密度的函数的尾迹横截面，32 MHz

二、流星散射理论

1. 流星尾迹对无线电波的反射

能对无线电波进行反射的是质量大于 10^{-8} 克的流星引起的离子化尾迹。平均说来，在一年之中 1 平方公里范围内出现的这样的微粒约有 50 万颗之多。流星散射通信线路的最大距离可达 2000 公里，使用的通信频率为 30~100 MHz。

为了使无线电波能在两点之间反射，入射线和反射线与尾迹轴间的夹角必须相等。按此条件，尾迹必须与以接收机和发射机所在位置为两个焦点的椭圆相切(图 3)。

能量的主要部分来自第一菲涅尔区，该区的长度可由下式求出：

$$R_T = 2\{\lambda R_1 R_2 / [(R_1 + R_2)(1 - \cos^2 \beta \sin^2 \varphi)]\}^{1/2}$$

式中 λ 为所用的波长， R_1 、 R_2 为接收机、发射机与

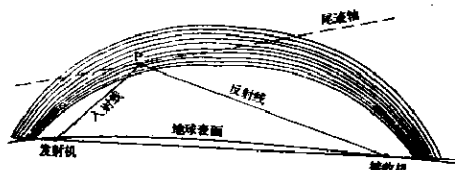


图 3 反射几何图形

反射点之间距离， 2φ 为入射线与反射线之间的夹角， β 为流星尾迹轴和无线电波传播平面之间的夹角(图 4)。

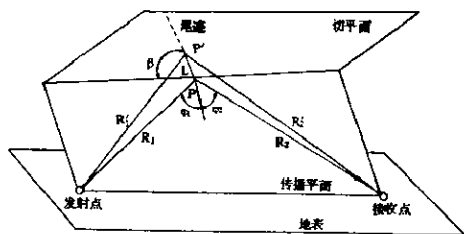


图 4 流星尾迹对射线的反射

由图可以看出，角度增大时，菲涅尔区变得更小，当流星尾迹与地面平行时，菲涅尔区为最大，此时通信条件最佳。

2. 过密尾迹与欠密尾迹

两种尾迹的反射机制并不相同。在过密尾迹中，无线电波实际上是被直接反射；对于欠密尾迹来说，无线电波是通过尾迹并激发尾迹中各个电子，每个被激发的电子则起一小的偶极子的作用，对信号进行再辐射。欠密尾迹中的这类再辐射，约占整个无线电波反射的 70%。

与欠密尾迹相比，过密尾迹的反射往往维持的时间更长，通信质量更好。

欠密尾迹的反射遵循以下关系式：

$$\frac{P_R(t)}{P_T} = \frac{1}{32\pi^4} \left(\frac{U_0 e^2}{4m} \right) \frac{2\lambda^3}{R_1 R_2 (R_1 + R_2)} \frac{G_R G_T q^2 \sin \alpha}{1 - \cos^2 \beta \sin^2 \varphi} \exp \left(-\frac{32\pi^2 d t}{\lambda^2 \sec^2 \varphi} \right)$$

式中， P_T 为发射功率， P_R 为接收功率， $\frac{U_0 e^2}{4m} = 0.8852 \times 10^{-14}$ ， λ 为波长， R_1 、 R_2 为至反射点的距离， q 为尾迹电子密度， α 为入射线与流星线之间的夹角， 2φ 为反射线与入射线之间的夹角， d 为流星尾迹消散系数， β 为流星尾迹轴与无线电波传播平面之间的夹角， G_T 为发射天线增益， G_R 为接收天线增益。

如果不考虑时间的变化，而且角度取平均值

$2\varphi=90^\circ$ 和 $\beta=2/\pi$, $\lambda=c/f$ (f 为频率, c 为光速)。

则欠密尾迹的衰减关系式为

$$\frac{P_R}{P_T} = 17.024 \times 10^{-7} \frac{q^2}{R_1 R_2 (R_1 + R_2) f^3} G_R G_T$$

信号幅度降到欠密尾迹中的值的 $1/e$ 所需的时间为

$$\tau = \frac{\lambda^2 \sec^2 \varphi}{16 \pi^2 d}$$

从以上两式可以看出, 在欠密尾迹中的信号强度是随 $\lambda^2 q^2$ 而变的, 而信号持续时间则与 λ^2 成正比。

对于过密尾迹, 用同样的方法可以得到

$$\frac{P_R}{P_T} = 12.7 \times 10^{14} \frac{\sqrt{q}}{R_1 R_2 (R_1 + R_2) f^3} G_R G_T$$

图 5 给出的是 $R_1=R_2=350$ 公里、 $f=44.25$ MHz 时, 作为电子密度的函数的最小衰减。

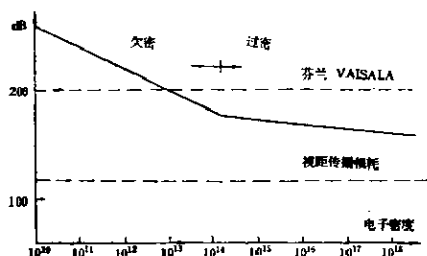


图 5 作为尾迹电子密度函数的理论衰减 A , 通信距离 700 Km

由图可见, 在欠密尾迹与过密尾迹交界处, 衰减曲线有一转折点。在为流星散射通信设备选择最佳工作条件时, 允许有一定通信路径衰减的最有利的工作点应恰好选在此转折点上面。如果要求通信路径衰减减小, 那么通信能力就得降低。

3. 流星的日变化和月变化

进入大气层的流星数量和流星尾迹的统计概率与地球在其轨道上的位置有关。在早晨, 地球处于追赶流星的位置, 此时形成通信线路的概率为最大; 在傍晚, 只有比地球运行得快的流星才能赶上大气层。进入大气层的流星数在两种情况下约为 4 与 1 之比, 日变化在理论上呈正弦曲线关系。

因地球的自转轴倾斜于它的椭圆轨道, 进入大气层的流星数也有月变化, 变化率与日变化类似, 图 6 给出的是月变化的测量值。流星数的变化还与纬度有关。

4. 频率效应

流星散射通信的恰当频率是 30~100 MHz, 其

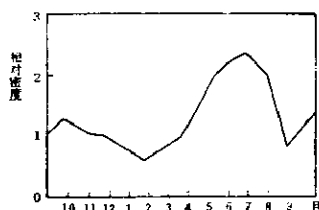


图 6 流星活动的变化

下限取决于电离层散射, 上限取决于接收机的灵敏度, 因为频率愈高, 反射信号愈弱。

传输线路的形成可用功率因数 C 说明。理论上, C 与 $\lambda^{2.4}$ 成正比。表 3 给出了频率效应的测试结果。

表 3 频率效应测试结果

频率 (MC)	$\lambda^{2.25}$	P_T (W)	$G_T G_R$ (db)	实验占空因素	理论占空因素
23	415	750	10	0.196	0.196
46	82	600	20	0.127	0.110
92	16	300	22	0.0111	0.0199

三、流星散射通信系统的特点

典型的流星散射通信网由一中心站和若干遥测站组成。遥测站的数量可多达几百个, 其与中心站的距离可达至 2000 公里。中心站可以覆盖直径 4000 公里的广大地区。

流星散射通信系统的特性与许多因子有关。其中一些因子, 如流星活动的日变化和季节性变化, 是无法人为改变的, 但其它一些因子, 如发射机输出功率、传输速率、天线增益、接收机灵敏度等, 是可以调节的, 从而可使通信系统具有最佳性能。

在某一段时间内可供利用的流星尾迹的平均数与通信系统的性能也有关系。流星尾迹在通信中的可用性取决于流星的大小和移动速度。流星愈大、移动愈快, 则其尾迹的通信性能愈好, 而所需的尾迹密度仅取决于所用发射机的功率和天线的增益。

目前已在使用的系统一般用相移键控法 (PSK) 调制, 传输速率为每秒 2~5 千比特。芬兰则采用快速频移键控法 (FSSK) 调制, 这种调制方法的特点是带宽非常窄。在带宽相同的情况下, 它比 PSK 调制的传输速率大一倍 (每秒可达 10 千比特), 以这样的速率传输时, 它仅需一条 25 KHz 的无线电话路。

FSSK 调制法的采用,大大提高了传输速率,这使即使存留时间非常短的流星尾迹也可以用来通信。

需要指出的是,流星散射是一种统计现象。利用流星尾迹传输资料时,收发时间不是指精确时刻,而是指一个时段。因此,通信时存在着“等待时间”,这是流星散射通信的又一特点。不过,等待时间的长短是可由系统参数的选择来调节的。例如,当降低天线增益以扩大覆盖范围时,等待时间就得加长;如果在这种情况下仍要求保持原来的等待时间,就必

须增大发射功率。这种通信等待时间实际上很短,据芬兰在一条 600 公里通信线路上用 300 W 的发射机进行气象资料传输的结果,平均等待时间不超过 25 秒的占 50%,在 100 秒以内的占 90%。

目前美国、芬兰已建成的几个系统的工作情况表明,流星散射通信确实是远距通信的一种可靠手段,与其它通信方法相比,它除了覆盖范围大、容易建网、费用较低外,还有功耗低、保密性好、只需使用一条话路等优点,特别适用于环境资料的收集。

(张菊生)