

### 通用数据链传输信道分析

梁俊, 袁小刚, 杨芳, 余侃民

(空军工程大学电讯工程学院, 陕西西安 710077)

摘要: 通用数据链是用于空中平台和地面、海上、空中实时高速图像数据传输的新技术。研究了通用数据链的系统结构; 重点分析了通用数据链的通信距离、传播路径上的阻碍、恶劣天气和大气吸收损耗等传输信道的特性, 并对数据链路信噪比进行了估算。

关键词: 通用数据链; 传输信道; 信道衰减; 空中平台

中图分类号: TN92 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2005)02-0058-04

通用数据链(CDL - Common Data Link)是将机载传感器所获得的高速率数据传送到地(海)面处理站的标准射频数据链, 主要用于各种空中平台对战场区域进行详细侦察、监视, 对战场纵深及后续部队攻击提供支持; 跟踪运动车辆; 炮弹落点观察; 打击效果评估; 化学及核监测等活动中。执行侦察任务的空中平台可通过 CDL 对合成孔径雷达、光学照相、红外照相的图像进行实时传输。此外, 在信号情报搜集定位、通信情报、图像情报搜集和指定区域监视、救灾等活动中, CDL 也担负着重要角色。

## 1 通用数据链系统结构

通用数据链采用空分多址组网方式, 在同一区域同时和多方向进行高速数据传输, 支持点对点 and 点对多点传输方式。通用数据链由前向链路和后向链路组成<sup>[1-2]</sup>, 工作频段主要有 C、X 和 Ku 频段。其系统结构如图 1 所示。

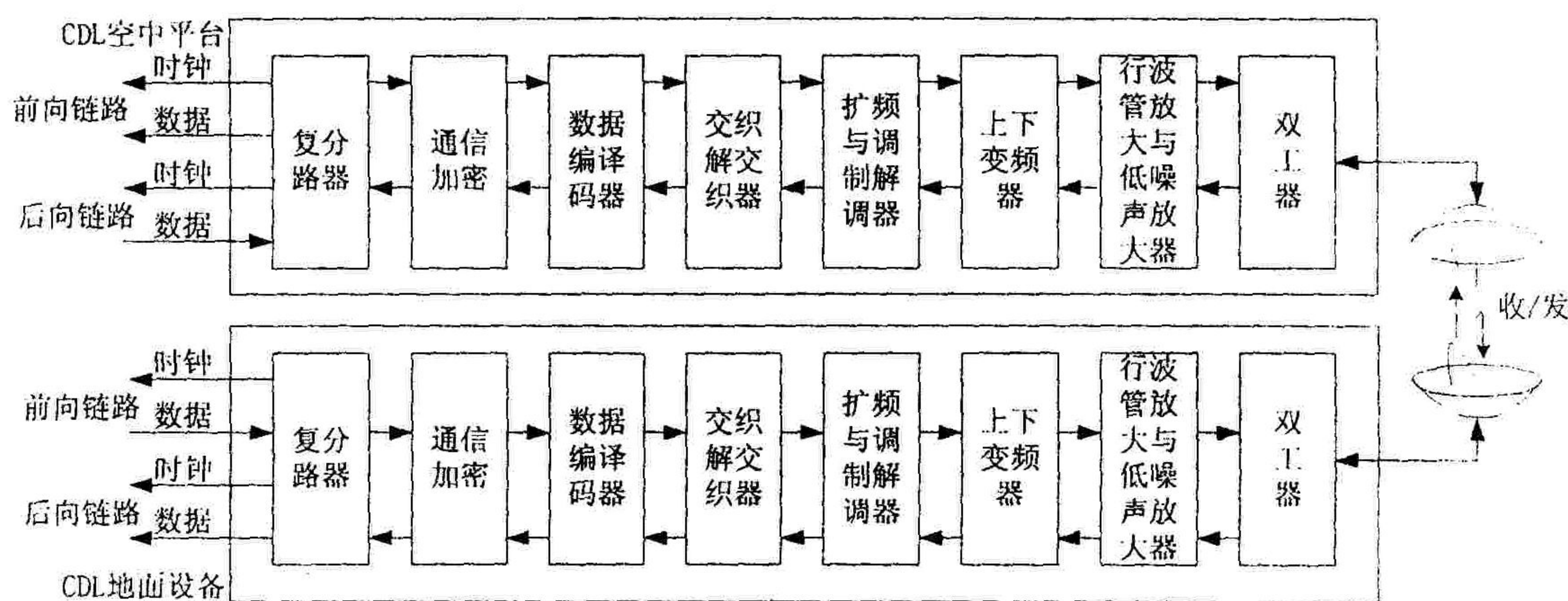


图1 通用数据链系统结构图

前向链路, 又称指挥链路, 用于完成地面站对飞行器以及机上设备的控制。地面站可根据需要随时启用前向控制链路, 一般速率较低, CDL 为 200 kb/s。

后向链路, 提供 2 个信道, 其状态信道, 又称遥控链路, 用于向地面站传递当前的飞行速度、发动机转速

收稿日期: 2004 - 11 - 03

基金项目: 空军工程大学科研学术基金资助项目

作者简介: 梁俊(1962 -), 男, 江苏江宁人, 副教授, 主要从事微波、卫星通信技术研究。



以及机上设备状态信息,一般速率较低,类似指挥链路。其数据链路用于完成向地面站传递传感器数据,它需要足够的带宽来传送大量数据,一般速率较高。CDL定义了5种类型链路,其速率分别为10.71 Mbps、21.42 Mbps、44.73 Mbps、137.08 Mbps、274.17 Mbps,最高适用速度5 Ma;。数据链路也可以用于测量地面天线与飞行器之间的距离和方位,提高导航、传感器对目标位置的测量精度。

发送部分主要有复分接电路、扰码电路、加密电路、差分电路、卷积编码、RS编码、交织、直扩电路、调制器、上变频器、功率放大器、滤波器、天线等组成。

接收部分主要有天线、低噪声放大器、下变频器、解调器、解扩电路、去交织、RS译码、维特比译码、差分译码电路、解密电路、解扰电路、复分接电路等组成。

## 2 通用数据链传输信道分析

### 2.1 通信距离

根据对地平线距离、最大通信距离和无人机、预警机等空中平台的经济巡航高度综合考虑,飞行高度一般选择在7 500~20 000 m左右。地平线距离与为飞行高度的关系如下:

$$R_h = 4.12\sqrt{H_a}$$

式中  $R_h$  为地平线距离,  $H_a$  为飞行高度。

自由空间损耗可表示为  $[L_f] = 92.45 + 20\lg d + 20\lg f$

式中通信距离  $d$ (km)、工作频率  $f$ (GHz)、 $[L_f]$  单位 dB。

### 2.2 传播路径上的阻碍

电磁波一般以直线方式传播,但在实际传输信道上一些效应会改变这一现象,如大气折射指数的变化引起的折射、收/发信机连线附近的障碍物引起的绕射等。

大气折射使电波沿水平方向产生轻度的弯曲,如果地球可以看成光滑的球体(海平面可近似看成光滑地面),那么通常将地球的半径取值为原有半径的4/3即可实现对折射的校正,这说明实际存在的地平线对电波产生了轻度的折射。但是对于陆地上工作的数据链,有限的地平线更可能是位于数据链传播路径下方的高地决定的。在这种情况下,绕射效应要求在直线传播路径两边的一定区域内无障碍物,区域的大小取决于信号的波长。也就是说传播路径必须与障碍保持一定距离,才能使第一费涅尔区的60%绕过障碍物。因此只有在第一费涅尔区无障碍物时,才能确保信号的传输<sup>[1]</sup>,这一半径大约为

$$r = 0.5(\lambda d)^{1/2}$$

$r$  为第一费涅尔区半径,  $d$  为通信距离,  $\lambda$  为波长。

### 2.3 大气吸收损耗

在大气中的各种分子都能够吸收部分能量。在通用数据链常用的波长范围内,水蒸汽和氧分子是主要的吸收源,如图2所示<sup>[3]</sup>。其中在氧气信道中传播时,损耗的经验公式为<sup>[4]</sup>

$$[L] = \frac{0.34}{\lambda^2} \left( \frac{v_1}{\lambda^{-2} + v_1^2} + \frac{v_2}{(2 + \lambda^{-1})^2 + v_2^2} + \frac{v_2}{(2 - \lambda^{-1})^2 + v_2^2} \right) d$$

式中损耗  $[L]$  的单位 dB, 波长  $\lambda$  的单位为 cm, 通信距离  $d$  的单位为 km,  $v_1 = 0.018$ ,  $v_2 = 0.049$ 。

如频率为15 GHz,通信距离为100 km,则吸收一般小于3 dB。更高的频段大气吸收会更严重<sup>[1]</sup>。

### 2.4 雨、雪、云、雾损耗

雨、云、雾引起的损耗如图3所示<sup>[3]</sup>。在潮湿或下雨环境中传播时,损耗的经验公式为<sup>[4]</sup>

$$[L] = \rho \left[ \frac{0.0035}{\lambda^2} \left( \frac{v}{(\lambda^{-1} - 0.74)^2 + v^2} + \frac{v}{(\lambda^{-1} - 0.74)^2 + v^2} \right) + \delta \right] d$$

式中:损耗  $[L]$  的单位为 dB, 波长  $\lambda$  的单位为 cm, 发射点到接收点距离  $d$  的单位为 km,  $v = 0.087$ , 水密度  $\rho$  单位  $\text{g/cm}^3$ ;  $\delta$  为修正值,当频率小于22.2 GHz时  $\delta$  为零,当频率大于22.2 GHz时  $\delta$  为  $0.05/\lambda^2$ 。

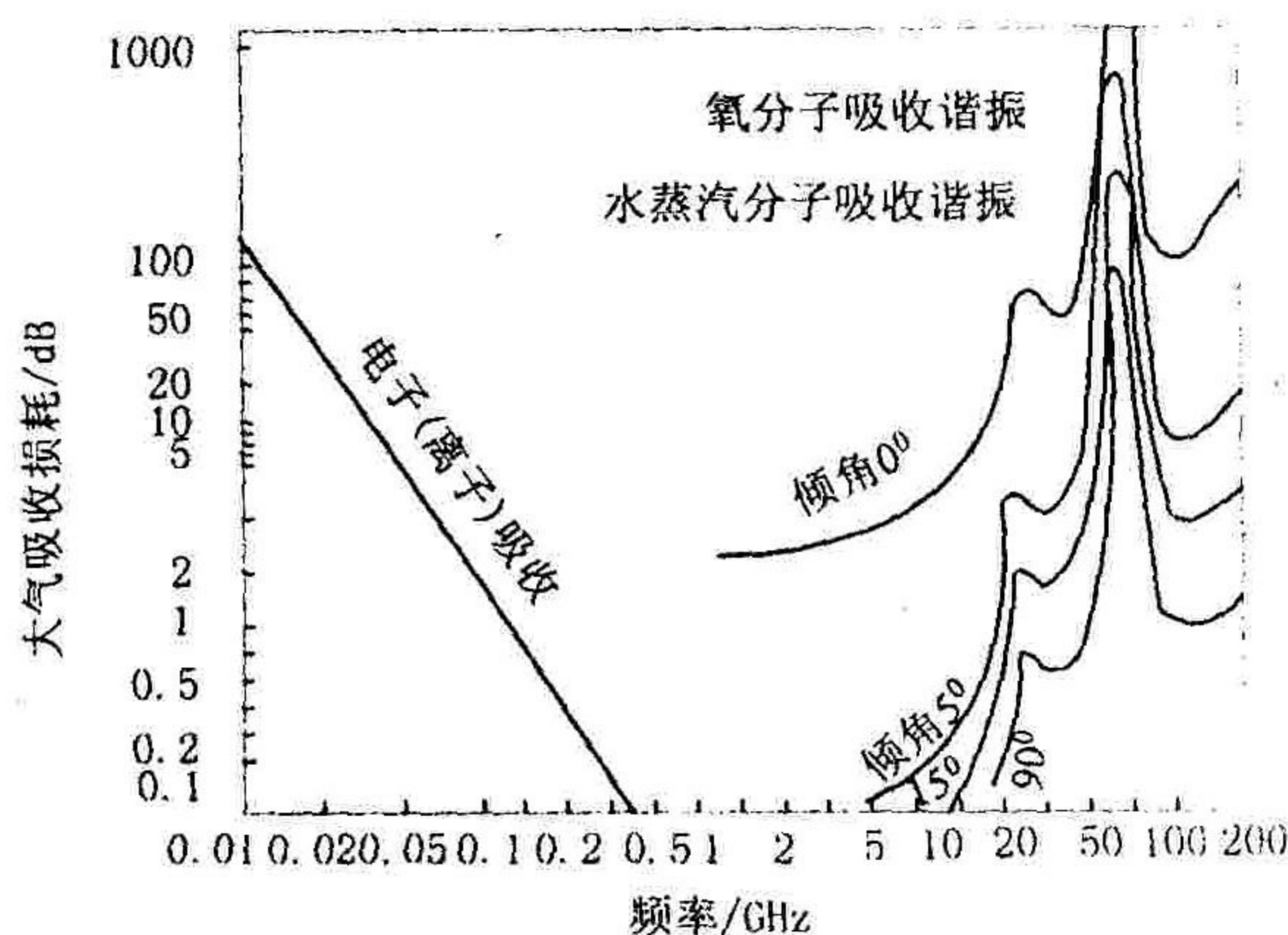


图2 大气中电子、离子、氧分子、水蒸汽分子对电波的吸收



雪引起损耗可用如下近似公式估算<sup>[3]</sup>:

$$\text{损耗强度} = 7.4710^{-5} f I (1 + 5.77 \times 10^{-5} f^3 I^{0.6}) \text{ (dB/km)}$$

式中:工作频率 $f$ 的单位为GHz,降雨强度 $I$ 的单位为mm/h。在低于7GHz的频段,对于数据链覆盖的通信距离来说,大雨引起的损耗一般小于1dB,可以忽略;而在7GHz以上的频段,传播路径中的雨滴引起的损耗较大,系统设计时必须十分重视。雨滴损耗的大小取决于信号频率和波束的仰角。较高的仰角可使波束以较短的距离穿越雨区,从而降低了总的损耗。典型的无人机数据链用于长距离通信时,一般具有低仰角,这使得传播路径的大部分处在雨云之中。如在15GHz处,12.5mm/h的降雨量,穿越50km的雨区所引起的损耗可达到100dB<sup>[1]</sup>。

图3中实线为雨引起的衰减,虚线为云雾引起的衰减。其中

A:0.25 mm/h(细雨);B:1 mm/h(小雨);C:4 mm/h(中雨);D:16 mm/h(大雨);E:100 mm/h(暴雨)

F:0.032 g/m(视界约600 m);G:0.32 g/m(视界约120 m);H:2.3 g/m(视界约30 m)。

雨衰减率及其等值线,雨衰减率 $\gamma_R$  (dB/km)与雨强 $R$  (mm/h)的关系,按如下形式拟合:

$$\gamma_R = kRq$$

假定雨滴尺度服从 $L_{\text{aws}} - P_{\text{arsons}}$ 分布。雨滴末速度服从 $G_{\text{unn}} - K_{\text{inzer}}$ 定律。雨水温度为20℃。考虑到5min雨强到1min雨强的转换关系,按照上式与参数 $k, q$ 及频率和极化的关系表,在水平(H)、垂直(V)和圆极化(C)情况下12GHz全年0.01%时间的雨衰减率等值线,如表1所示。

表1 12GHz 0.01%时间的雨衰减率等值线

等值线号	1	2	3	4	5	6	7	8	
H	0.35	0.81	1.37	1.93	3.19	5.11	6.64	8.30	
衰减率(dB/km)	V	0.30	0.69	1.16	1.62	2.66	4.22	5.46	6.81
	C	0.32	0.75	1.26	1.77	2.92	4.66	6.04	7.55

通过对12GHz 0.01%时间的雨衰减率等值线的比较,可以看出不同的极化方式下雨衰减率的差别。从而来帮助正确选择上、下行信道的极化。由于在大雨期间圆极化的退化现象十分严重,通常在10GHz以上频率工作时,一般选用线极化方式<sup>[3]</sup>。

## 2.5 数据链路信噪比估算

数据链信噪比的估算用于决定数据链衰减系数,衰减系数是指系统正常工作可用的信噪比与所要求的信噪比之比<sup>[1]</sup>。信噪比的估算简化了通过增益和损耗的累计求数据量衰减系数的过程。

数据链接收天线输出端的信号强度 $S = ERP_T G_R (\frac{\lambda}{4\pi R})^2$ ,数据链接收机中的噪声 $N = kTBF$ 。考虑到雨滴和其它损耗,实际信噪比应为

$$\lg(S/N) = \lg(ERP_T) + \lg(G_R) + \lg([\frac{\lambda}{4\pi R}]^2) - \lg(kT) - \lg(B) - \lg(F) - \lg(\text{雨滴损耗}) - \lg(\text{其它损耗})$$

其中: $\lg(ERP_T) = \lg(EIRP) - \lg(\text{发射机损耗})$

为便于估算数据链路的信噪比,假设工作频率为15GHz,通信距离为400km,自由空间衰减为168dB;降雨量为4mm/h,穿越50km的雨区,则雨滴损耗约为15dB;发射功率70W<sup>[5]</sup>,机载天线增益 $G_T$ 为30dB,发射机损耗1dB,有效全向辐射功率[EIRP]为77.5dB;带宽 $B$ 为10.7MHz,接收机噪声系数 $F$ 为6dB;接收天线增益 $G_R$ 为30dB;其它损耗为3dB。玻耳兹曼常数为 $1.38054 \times 10^{-23}$ J/K, $T$ 为290K, $[kT]$ 为-174dB;由上式,可得信噪比( $S/N$ )为22.5dB,若需最小 $S/N$ 为10dB,则衰减系数有12.5dB。

## 3 结束语

通过对通用数据链传输信道参数的分析,与其它微波通信方式相比较,主要存在着穿越雨、雾、云、雪区

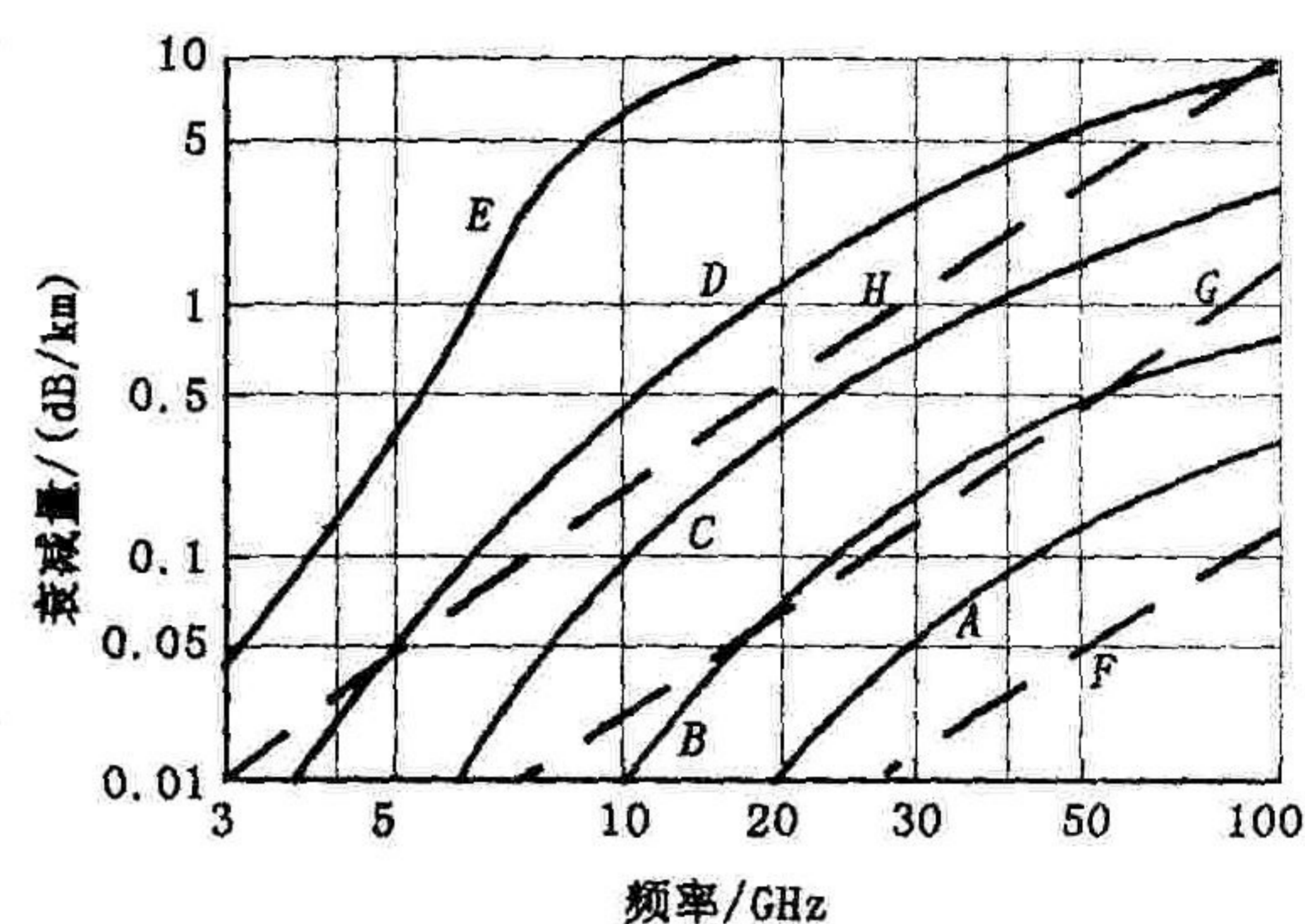


图3 雨、云、雾引起的损耗



的有效长度较长,能量损耗大,这对于保障无人机等空中平台在多种气象条件下正常工作,解决相控阵天线技术、大功率合成技术、高速率传输技术等方面,提出了很高的要求。无人机等空中平台在与卫星通信时信道质量较好,可有效的保障高速数据传输。利用国内成熟的微波通信技术,采用系统集成方式,可以缩短通用数据链产品的开发周期。

#### 参考文献:

- [1] Paul G. Fahlstrom 无人机系统导论[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [2] 王勇志. 值得重视的美军“公共数据链”[A]. 电子信息学术会议论文集[C]. 2002.
- [3] 刘芸江,黄国策,甄蜀春,等. 雨衰条件下卫星信道容量的性能分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(4): 50-52.
- [4] Cerasoli C P,Zhao W H,Santapietro J J,et, al. Common Data Link(CDL) Interference Model [J]. IEEE,2002. 675-679.
- [5] Tactical Common Data Link - Network (TCDL - N) (AT - 450) [EB/OL]. <http://www.1-3com.com/csw/Product/docs/01-TCDL-N-AT-450>.

(编辑:门向生)

#### Transmission Channel Analysis of Common Data Link

LIANG Jun, YUAN Xiao -gang, YANG Fang, YU Kan -rain

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract:Common Data Link (CDL) is a new technology used for transmitting real - time information and data from aero platform to ground bases, ships and aircraft. The system structure of Common Data Link is described. In addition, several key factors are analyzed, such as communication range, block in transmission route, path loss due to bad weather and etc. , and the Signal Noise Ratio is reckoned.

Key Words:common data link; transmission channel; path loss; aero platform

(上接第57页)

- [5] Kedar D, Arnon S. Optical Wireless Communication Through Fog in The Presence of Pointing Errors[J]. Applied Optics,2003, 42(24):in press.
- [6] Toyoshima M, Jono T, Nakagawa K, Yamamoto A. Optimum Divergence Angle of A Gaussian Beam Wave in The Presence of Random Jitter in Free - space Laser Communication Systems[J]. Journal of Optics Society of America,2002,19(3):567-571.

(编辑:门向生)

#### Analysis of the Effects of Vibration and Atmospheric Turbulence on

Satellite - ground Links

LIU Tao<sup>1,2</sup>, ZHAO Shang - hong<sup>1,2</sup>, FANG Shao - qiang<sup>1</sup>, SHI Lei<sup>1</sup>

( 1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China ; 2. State Key Lab of ISDN, University of Electronic Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710068, China)

Abstract : The effects of vibrations and atmospheric turbulence on the performance of satellite - ground optical communication links are analyzed. The results show that even the minimal pointing vibration and atmospheric turbulence still can dramatically decrease the communication performance.

Key Words : vibration ; turbulence ; BER ; optical communication