

Ku 频段 SCPC 载波的 系统余量与 SFD 的选择

信息产业部电信科学一所 吴波洋

一、Ku 频段卫星通信的特点

Ku 频段信道资源与 C 频段的不同点主要在于：服务区小，卫星 EIRP 高，同等工作条件下可用较小的天线，高降雨区难免有雨衰中断，卫星信道和地面射频设备的成本较高，与地面干扰和邻星干扰的协调比较简单。

Ku 频段卫星通信可用小口径天线的的原因并不在于天线的增益远比相同口径的 C 频段天线高，因为 Ku 天线增益的提高恰好被 Ku 频段空间传输损耗的增大所抵消。由于 Ku 频段通信卫星的 EIRP 通常比 C 频段卫星高 12 dB 到 18 dB，而雨衰备余量的取值一般都低于 10dB，因此，Ku 频段地面接收天线的口径可减小为 C 频段在同等条件下所用的一半左右。

提高 EIRP 的途径无非是加大发射功率或增加天线增益。发射功率受卫星直流功率和功放器件的限制，增幅是有限的。在下行频段，Ku 天线的增益比相同口径的 C 频段天线高约 10 dB。增大天线口径和缩小天线覆盖范围也可以进一步提高天线增益。Ku 转发器在设计和制造中的投入多，工作时占用的卫星直流功

表 1 SCPC 载波的链路估算表

转发器参数				
转发器 SFD (dBw/m ²)	-89.8	-91.6	-89.8	-91.6
接收系统 G/T (dB/k)	4.8	6.6	4.8	6.6
下行饱和 EIRP (dBw)	55.0	51.3	55.0	51.3
载波参数				
调制方式	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK
信息速率 (kbps)	32	32	32	32
FEC 编码率	0.5	0.5	0.5	0.5
噪声带宽 (kHz)	38	38	38	38
分配带宽 (kHz)	45	45	45	45
系统要求的 E _v /N ₀ (dB)	6.0	6.0	6.0	6.0
系统要求的 C/N (dB)	5.2	5.2	5.2	5.2
载波设置				
输出回退 (dB)	33.8	33.8	37.8	31.8
输入回退 (dB)	37.3	37.3	41.3	35.3
载波占用的转发器资源				
占用的 EIRP 资源 (%)	0.08	0.08	0.03	0.13
占用的带宽资源 (%)	0.08	0.08	0.08	0.08
上行站参数				
天线口径 (m)	4.5	3	4.5	3
地球站所在地	北京	广州	北京	广州
HPA 最大输出功率 (dBw)	16.0	3.0	16.0	3.0
晴空时的馈源功率 (dBw)	-18.2	-16.8	-22.2	-14.8
雨衰时的 HPA 输出功率 (dBw)	-9.2	-15.8	-13.2	-13.8
天线增益 (dBi)	54.2	50.7	54.2	50.7
下行站参数				
天线口径 (m)	3	4.5	3	4.5
地球站所在地	广州	北京	广州	北京
天线增益 (dBi)	49.7	53.2	49.7	53.2
接收系统 G/T (dB/k)	27.0	30.5	27.0	30.5
上行 C/T				
晴空时的上行 EIRP (dBw)	35.9	33.9	31.9	35.9
到达卫星的载波 PFD (dBw/m ²)	-127.1	-128.9	-131.1	-126.9
晴空时的上行 C/T (dBw/k)	-166.7	-166.7	-170.7	-164.7
下行 C/T				
载波下行 EIRP (dBw)	21.2	17.5	17.2	19.5
晴空时的下行 C/T (dBw/k)	-157.8	-158.2	-161.8	-156.2
晴空时的系统余量				
系统总 C/T (dBw/k)	-168.2	-168.2	-172.2	-166.2
系统总 C/N (dB)	14.6	14.5	10.6	16.5
系统余量 (dB)	9.4	9.3	5.4	11.3
上行雨衰 8dB 时的系统余量				
系统总 C/T (dBw/k)	-168.2	-177.7	-172.2	-175.7
系统总 C/N (dB)	14.6	5.0	10.6	7.0
系统余量 (dB)	9.4	-0.2	5.4	1.8
下行雨衰 6dB 时的系统余量				
系统总 C/T (dBw/k)	-170.2	-170.5	-174.2	-168.5
系统总 C/N (dB)	12.5	12.3	8.5	14.3
系统余量 (dB)	7.3	7.1	3.3	9.1
上下行雨衰 (8/6dB) 时的系统余量				
系统总 C/T (dBw/k)	-171.2	-179.0	-175.2	-177.0
系统总 C/N (dB)	11.5	3.7	7.5	5.7
系统余量 (dB)	6.3	-1.5	2.3	0.5

率大,因此,它的下行EIRP高,租金也贵。在设计Ku频段卫星通信系统时,应该充分利用转发器的EIRP资源。

在上行频段,Ku天线增益只比同口径的C频段天线高约7dB,Ku卫星的接收系统噪声也比C频段的高。因此,Ku卫星相对于C频段卫星的G/T值增幅,远低于EIRP的增幅。部分Ku卫星的接收天线口径比发送天线小,其G/T值相对更低。为避免因卫星G/T值低而使上行链路的C/T和C/N变差,在载波下行EIRP维持不变的前提下,需要降低卫星的接收灵敏度,增加上行EIRP以作补偿。再加上为雨衰预留的功率备用余量,Ku频段地球站对上行EIRP的要求远比C频段的高。出于成本上的考虑,通常都采用加大天线口径、而不用提高发射功率的方法增加上行EIRP。因此,虽然Ku卫星的高EIRP可以减小地面接收天线的口径,但由于卫星G/T的增幅有限,地面发送天线的口径未必能相应减小。

由于Ku卫星要考虑雨衰补偿,卫星天线增益的设计梯度比较大。另一方面,

设备供应商为Ku频段VSAT设备所配ODU的额定输出功率通常又比较低。因此,转发器的SFD灵敏度设置较低时,位于服务区边缘的地球站的上行EIRP往往不足。为了迁就这一小部分EIRP不足的上行站,卫星操作者只能将SFD灵敏度调高。高灵敏的SFD设置节省了用户在上行段的少量ODU购置成本,但因上行C/T和C/N变差而降低了系统C/T和C/N,使下行段的卫星EIRP和接收天线增益等性能不能被充分利用。本文以某个在建的Ku频段SCPC系统为例,探讨载波参数和转发器SFD的设置对系统余量的影响,以求在系统设计时能够充分利用卫星和地面设备的性能。

二、有关SCPC系统及其链路估算表

作为研究对象的Ku频段SCPC系统,其北京主站的天线口径为4.5米,ODU功率为40瓦,有8dB的上行功率控制能力;

各省级站的天线口径为3米,ODU功率为2瓦;主站与31个省级站之间对传信息速率32kbps,1/2FEC编码的QPSK载波;除了31路SCPC载波外,主站还发送一路256kbps,1/2FEC编码的BPSK载波。上行载波总带宽为2.1MHz。

当54MHz转发器的输出和输入回退分别为3dB和6.5dB时,2.1MHz载波的输出和输入回退分别为17.1dB和20.6dB。可以推算出,北京的SFD为-89.8dBW/m²时,不考虑雨衰的主站天线馈源口功率和ODU输出功率分别为-1.6dBW和-0.6dBW。由主站ODU的最大输出功率为16dBW,保留4.5dB线性回退时的可用功率为11.5dBW可知,主站在上述工作条件下的功率余量约为12dB。

表1为以北京和广州的一对载波为代表的SCPC系统链路估算表。表中的左边两个载波均以转发器平均功率工作,右边两个载波的功率分配已作合理调整。

链路估算表分别计算晴空和降雨条件下的系统余量。为简化计算,假设邻星干扰、交调干扰和反极化干扰对系统C/T

表2 改变EIRP或天线口径后的系统余量对照表

	EIRP + 3 dB		EIRP - 3 dB		Larger Antenna		Smaller Antenna	
	北京	广州	北京	广州	北京	广州	北京	广州
上行站	北京	广州	北京	广州	北京	广州	北京	广州
天线口径 (m)	4.5	3	4.5	3	4.5	3	6	4.5
下行站	广州	北京	广州	北京	广州	北京	广州	北京
天线口径 (m)	3	4.5	3	4.5	3	4.5	4.5	6
晴空时的上行 EIRP (dBW)	31.9	35.9	31.9	35.9	31.9	35.9	31.9	35.9
晴空时的上行 C/T (dBW/k)	-170.7	-164.7	-170.7	-164.7	-170.7	-164.7	-170.7	-164.7
载波下行 EIRP (dBW)	17.2	19.5	20.2	22.5	14.2	16.5	17.2	19.5
晴空时的下行 C/T (dBW/k)	-161.8	-156.2	-158.8	-153.2	-164.8	-159.2	-158.3	-153.7
晴空时的系统余量								
系统总 C/T (dBW/k)	-172.2	-166.2	-171.9	-166.0	-172.7	-166.7	-171.9	-166.0
系统总 C/N (dB)	10.6	16.5	10.8	16.8	10.1	16.0	10.9	16.8
系统余量 (dB)	5.4	11.3	5.6	11.6	4.9	10.8	5.7	11.6
上行雨衰 8dB 时的系统余量								
系统总 C/T (dBW/k)	-172.2	-175.7	-171.9	-175.7	-172.7	-175.8	-171.9	-175.7
系统总 C/N (dB)	10.6	7.0	10.8	7.1	10.1	7.0	10.9	7.1
系统余量 (dB)	5.4	1.8	5.6	1.9	4.9	1.8	5.7	1.9
下行雨衰 6dB 时的系统余量								
系统总 C/T (dBW/k)	-174.2	-168.5	-173.1	-167.3	-175.9	-170.1	-173.0	-167.4
系统总 C/N (dB)	8.5	14.3	9.6	15.5	6.9	12.6	9.8	15.3
系统余量 (dB)	3.3	9.1	4.4	10.3	1.7	7.4	4.5	10.1
上下行雨衰(8/6dB)时的系统余量								
系统总 C/T (dBW/k)	-175.2	-177.0	-174.1	-176.8	-176.9	-177.4	-174.0	-176.9
系统总 C/N (dB)	7.5	5.7	8.6	5.9	5.9	5.4	8.8	5.9
系统余量 (dB)	2.3	0.5	3.4	0.7	0.7	0.2	3.5	0.7

的恶化量为 1 dB。这样,晴空时的系统 C/T 值即可估算为上、下行 C/T 值的对数和与 1 dB 干扰恶化量之差。降雨时的系统余量估算条件为上行雨衰 8 dB、下行雨衰 6 dB。主站的上行功率控制器将按功率余量,完全或部分地补偿上行雨衰。降雨时的上、下行 C/T 估值为,晴空条件下的 C/T 值与未被补偿的雨衰量之差,再减去 1 到 2 dB 的干扰恶化量。

三、载波参数和 SFD 的调整与相应的系统余量分析

比较表 1 载波在晴空和 8 dB 上行雨衰时的系统余量可发现,北京站所发送的载波因有上行功率控制能力而不受上行雨衰的影响,广州站所发载波的系统余量则将随上行雨衰和干扰的加剧而大幅度恶化。这两个载波在晴空和 6 dB 下行雨衰时的系统余量对比表明,其降雨

恶化量远低于下行雨衰量。为此,表一的右两列计算对这对载波的功率分配略作调整,将北京站的上行 EIRP 调低 4 dB,同时将广州上行 EIRP 调高 2 dB。调整后的这对载波所占用的转发器功率和带宽资源仍保持平衡,上行降雨时的系统余量相应得到了改善。需要指出的是,这一功率调整与通常的做法相反,在晴空条件下,大天线主站的上行 EIRP 反比小站低。由于系统使用大口径天线,在除小站上行雨衰以外的所有条件下都能提供足够高的系统余量,因此,可将功率资源适当多分一些给小站上行载波,从而提高小站上行雨衰时的主站接收余量。

从表 1 中可以发现,由于转发器 SFD 设置过于灵敏,相应减小了上行 EIRP,使各载波的上行 C/T 都比下行 C/T 低约 9 dB。在这一条件下,系统的 C/T 和 C/N 主要由上行链路决定,下行链路中接收天线口径和 EIRP 的变化对系统余量的影响很小。表 2 的计算证明了这一点。即使将

接收天线的口径分别增大到 6 米和 4.5 米,或者将下行 EIRP 提高 3 dB,晴空和上行雨衰时系统余量的提高都不足 0.3 dB,下行雨衰时系统余量的提高也不高于 1.2 dB。这一试算结果表明,转发器的 SFD 灵敏度过高时,卫星转发器和地面接收系统的性能将不能被充分利用。同样,即使将链路估算表中的接收天线口径分别减小为 3 米和 2.4 米,或将下行 EIRP 降低 3 dB,晴空和上行雨衰时系统余量的恶化都小于 0.6 dB,只有下行雨衰时系统余量的恶化可能低于 2 dB。也就是说,SFD 过于灵敏时,卫星转发器和地面接收系统的性能下降只有在下行雨衰时才对系统余量有明显的影响。

如果降低转发器的 SFD 灵敏度,使上行 C/T 低于下行 C/T,或使上、下行 C/T 相接近,就可以充分利用卫星转发器和地面接收系统的高性能。表 3 计算了当北京的 SFD 分别为 -89.8 dBw/m^2 、 -83.8 dBw/m^2 和 -77.8 dBw/m^2 时,北京到广

表 3 不同 SFD 设置时的系统余量对照表

	SFD _{北京} = -90 dBw/m^2			SFD _{北京} = -84 dBw/m^2			SFD _{北京} = -78 dBw/m^2		
	-89.8	-91.6	-83.3	-83.8	-85.6	-77.3	-77.8	-79.6	-71.3
转发器 SFD (dBw/m^2)	-89.8	-91.6	-83.3	-83.8	-85.6	-77.3	-77.8	-79.6	-71.3
接收系统 G/T (dB/k)	4.8	6.6	-1.7	4.8	6.6	-1.7	4.8	6.6	-1.7
下行饱和 EIRP (dBw)	55.0	51.3	51.3	55.0	51.3	51.3	55.0	51.3	51.3
载波输出回退 (dB)	37.8	31.8	31.8	37.8	31.8	31.8	37.8	31.8	35.8
上行站	北京	广州	乌鲁木齐	北京	广州	乌鲁木齐	北京	广州	乌鲁木齐
天线口径 (m)	4.5	3	3	4.5	3	3	4.5	3	3
下行站	广州	北京	北京	广州	北京	北京	广州	北京	北京
天线口径 (m)	3	4.5	4.5	3	4.5	4.5	3	4.5	4.5
晴空时的上行 EIRP (dBw)	31.9	35.9	44.6	37.9	41.9	50.6	43.9	47.9	52.6
晴空时的上行 C/T (dBw/k)	-170.7	-164.7	-164.7	-164.7	-158.7	-158.7	-158.7	-152.7	-156.7
载波下行 EIRP (dBw)	17.2	19.5	19.5	17.2	19.5	19.5	17.2	19.5	15.5
晴空时的下行 C/T (dBw/k)	-161.8	-156.2	-156.2	-161.8	-156.2	-156.2	-161.8	-156.2	-160.2
晴空时的系统余量									
系统总 C/T (dBw/k)	-172.2	-166.2	-166.2	-167.5	-161.6	-161.6	-164.5	-158.8	-162.8
系统总 C/N (dB)	10.6	16.5	16.5	15.3	21.1	21.1	18.3	23.9	19.9
系统余量 (dB)	5.4	11.3	11.3	10.1	15.9	15.9	13.0	18.7	14.7
上行雨衰 8dB 时的系统余量									
系统总 C/T (dBw/k)	-172.2	-175.7	-175.7	-169.7	-169.9	-169.9	-170.5	-164.5	-168.5
系统总 C/N (dB)	10.6	7.0	7.0	13.1	12.9	12.9	12.3	18.2	14.2
系统余量 (dB)	5.4	1.8	1.8	7.9	7.7	7.7	7.1	13.0	9.0
下行雨衰 6dB 时的系统余量									
系统总 C/T (dBw/k)	-174.2	-168.5	-168.5	-171.9	-166.3	-166.3	-171.1	-165.5	-169.5
系统总 C/N (dB)	8.5	14.3	14.3	10.8	16.5	16.5	11.7	17.2	13.2
系统余量 (dB)	3.3	9.1	9.1	5.6	11.3	11.3	6.4	12.0	8.0
上下行雨衰(8/6dB)时的系统余量									
系统总 C/T (dBw/k)	-175.2	-177.0	-177.0	-173.9	-172.0	-172.0	-174.3	-168.5	-172.5
系统总 C/N (dB)	7.5	5.7	5.7	8.9	10.8	10.8	8.5	14.2	10.2
系统余量 (dB)	2.3	0.5	0.5	3.7	5.6	5.6	3.3	9.0	5.0

表4 不同 FEC 编码和 SFD 设置时的系统余量对照表

SFD _{北京} = -90 dBw/m ² SFD _{北京} = -84 dBw/m ² SFD _{北京} = -78 dBw/m ²									
	1/2 FEC			3/4 FEC			3/4 FEC		
转发器 SFD (dBw/m ²)	-89.8	-91.6	-83.3	-83.8	-85.6	-77.3	-77.8	-79.6	-71.3
FEC 编码率	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
分配带宽 (kHz)	45	45	45	30	30	30	30	30	30
系统要求的 E _s /N ₀ (dB)	6.0	6.0	6.0	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
系统要求的 C/N (dB)	5.2	5.2	5.2	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
载波输出回退 (dB)	37.8	31.8	31.8	39.6	33.6	33.6	35.6	35.6	35.6
输入回退 (dB)	41.3	35.3	35.3	43.0	37.0	37.0	39.0	39.0	39.0
占用的 EIRP 资源 (%)	0.03	0.13	0.13	0.02	0.09	0.09	0.06	0.06	0.06
占用的带宽资源 (%)	0.08	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
上行站	北京	广州	乌鲁木齐	北京	广州	乌鲁木齐	北京	广州	乌鲁木齐
天线口径 (m)	4.5	3	3	4.5	3	3	4.5	3	3
下行站	广州	北京	北京	广州	北京	北京	广州	北京	北京
天线口径 (m)	3	4.5	4.5	3	4.5	4.5	3	4.5	4.5
晴空时的上行 EIRP (dBw)	31.9	35.9	44.6	36.2	40.1	48.8	46.2	44.1	52.8
晴空时的上行 C/T (dBw/k)	-170.7	-164.7	-164.7	-166.4	-160.4	-160.4	-156.4	-156.4	-156.4
载波下行 EIRP (dBw)	17.2	19.5	19.5	15.4	17.7	17.7	19.4	15.7	15.7
晴空时的下行 C/T (dBw/k)	-161.8	-156.2	-156.2	-163.5	-158.0	-158.0	-159.5	-160.0	-160.0
晴空时的系统余量									
系统总 C/T (dBw/k)	-172.2	-166.2	-166.2	-169.2	-163.4	-163.4	-162.3	-162.6	-162.6
系统总 C/N (dB)	10.6	16.5	16.5	15.3	21.1	21.1	22.3	21.9	21.9
系统余量 (dB)	5.4	11.3	11.3	6.8	12.7	12.7	13.8	13.5	13.5
上行雨衰 8dB 时的系统余量									
系统总 C/T (dBw/k)	-172.2	-175.7	-175.7	-169.2	-171.7	-171.7	-166.6	-168.3	-168.3
系统总 C/N (dB)	10.6	7.0	7.0	15.3	12.9	12.9	17.9	16.2	16.2
系统余量 (dB)	5.4	1.8	1.8	6.8	4.4	4.4	9.4	7.7	7.7
下行雨衰 6dB 时的系统余量									
系统总 C/T (dBw/k)	-174.2	-168.5	-168.5	-173.7	-168.1	-168.1	-168.9	-169.3	-169.3
系统总 C/N (dB)	8.5	14.3	14.3	10.8	16.5	16.5	15.7	15.2	15.2
系统余量 (dB)	3.3	9.1	9.1	2.3	8.0	8.0	7.2	6.8	6.8
上下行雨衰(8/6dB)时的系统余量									
系统总 C/T (dBw/k)	-175.2	-177.0	-177.0	-174.7	-173.8	-173.8	-171.3	-172.3	-172.3
系统总 C/N (dB)	7.5	5.7	5.7	9.8	10.8	10.8	13.3	12.2	12.2
系统余量 (dB)	2.3	0.5	0.5	1.3	2.3	2.3	4.8	3.8	3.8

州、以及广州和乌鲁木齐到北京的载波的系统余量。从表中可以发现, 如果将 SFD 的灵敏度降低 6 dB, 即将北京的 SFD 改为 -83.8 dBw/m², 上、下行 C/T 的差值将只剩 3 dB。这时, 高 EIRP 与大天线的的作用得以发挥, 系统余量得以大幅度提高。若将 SFD 的灵敏度再降低 6 dB, 系统余量仍有进一步的提高。其中, 位于卫星服务区边缘的乌鲁木齐站的上行功率输出能力虽然比设计要求低 4 dB, 但系统余量在总体上仍优于 SFD 未调整时。

比较上表中三种 SFD 设置时的系统余量。广州站接收主站载波的晴空余量

分别为 5.4 dB、10.1 dB 和 13 dB, 上行雨衰 8 dB 时的余量分别为 5.4 dB (上行功率补偿量为 8 dB)、7.9 dB (上行功率补偿量为 6 dB) 和 7.1 dB (无上行功率补偿), 下行雨衰 6 dB 时的余量分别为 3.3 dB、5.6 dB 和 6.4 dB。在三种 SFD 设置时, 主站接收广州站上行载波的晴空余量分别为 11.3 dB、15.9 dB 和 18.7 dB, 上行雨衰 8 dB 时的余量分别为 1.8 dB、7.7 dB 和 13 dB。同样的三种设置, 对于在 SFD 灵敏度最低时, 上行功率受限约 4 dB 的乌鲁木齐站, 主站接收其上行载波的晴空余量分别为 11.3 dB、15.9 dB 和 14.

7 dB, 下行雨衰 6 dB 时的余量分别为 9.1 dB、11.3 dB 和 8 dB。比较结果表明, 如果将转发器的 SFD 灵敏度调低 6 dB, 该 SCPC 系统可以大幅度提高系统余量, 同时也保证有足够的上行功率余量。

考虑到表 3 载波在转发器 SFD 设置为 -83.8 dBw/m² 和 -77.8 dBw/m² 时有足够的系统余量, 可以试算将载波纠错方式改为 3/4 FEC 后的情况。3/4 FEC 载波的占用带宽为 1/2 FEC 载波的 2/3, 其上行功率应比 1/2 FEC 载波低约 2dB。这 2 dB 的功率余量, 可被北京主站用来增加

(下转 49 页)

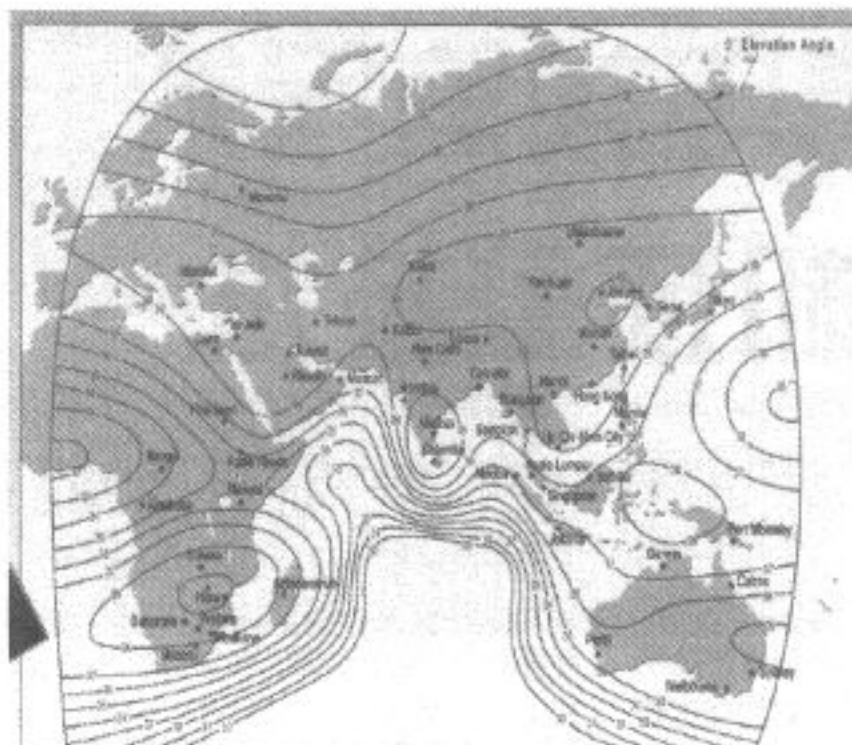


图3 APStar II R卫星C频段EIRP(dBw)覆盖图

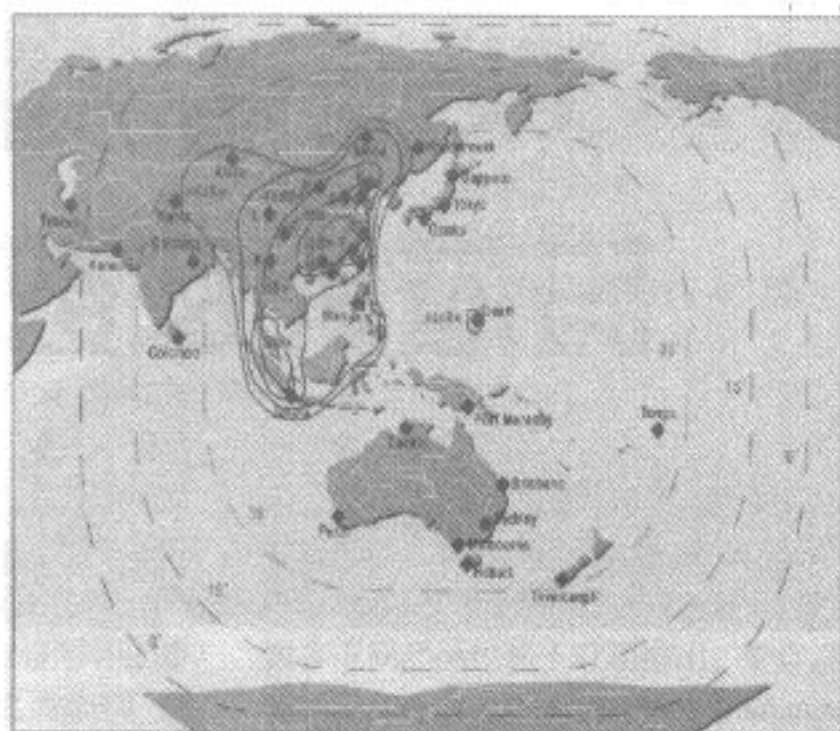


图5 APStar V卫星Ku频段2EIRP(dBw)覆盖图

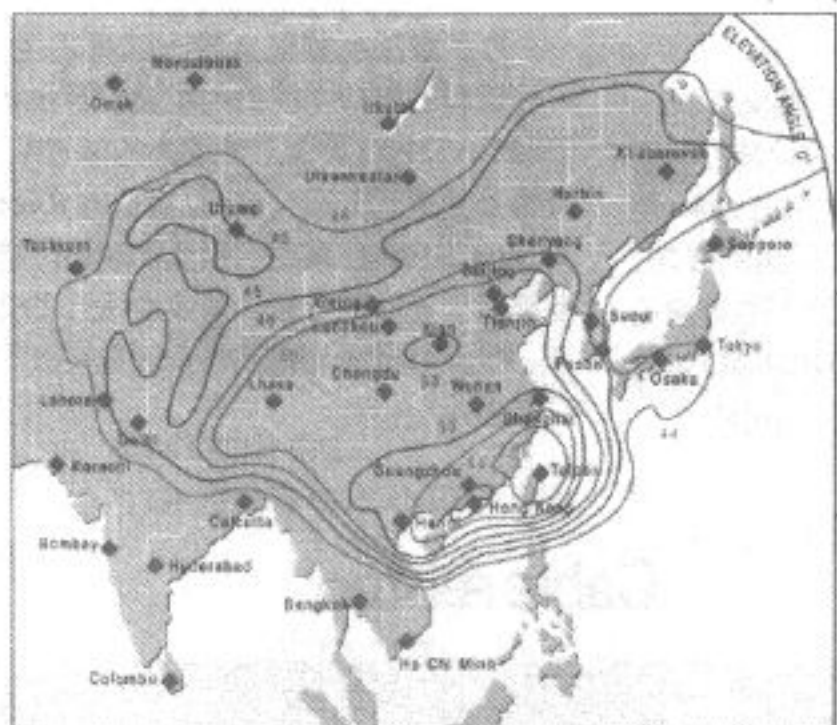


图4 APStar II R卫星Ku频段EIRP(dBw)覆盖图

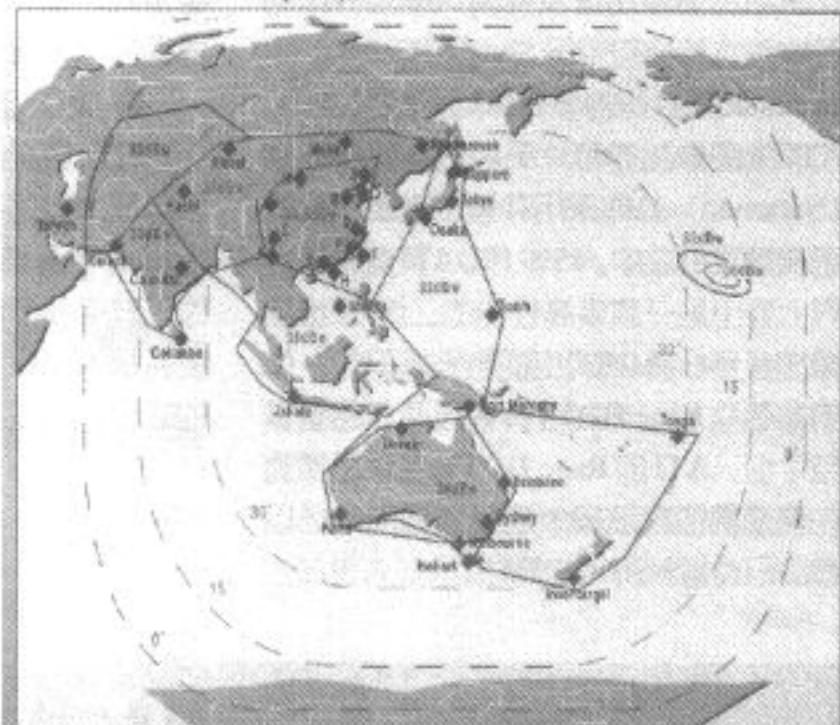


图6 APStar V卫星C频段EIRP(dBw)覆盖图

上接40页

上行站降雨时的功率补偿,也可被乌鲁木齐站用于补偿在SFD灵敏度设置为最低时所欠的上行功率。由表4可见,中、低档SFD设置时的3/4 FEC载波数据与高SFD灵敏度时的1/2 FEC载波相比,下行C/T虽有下降,但由于上行C/T的大幅提高,系统C/T和C/N及系统余量仍有大幅提高。比较起来,SFD设置为-77.8 dBw/m²时的3/4 FEC载波,既节省带宽资源,又保证系统余量,可被视为最佳的选择。

四、结束语

由于Ku卫星在服务区边缘的G/T值较低,工作于高降雨区的Ku上行站又要预留雨衰备用余量,同样的载波工作在Ku频段时可能需要较高的上行EIRP。卫星操作者往往采用提高转发器SFD灵敏度的方法,使用户得以降低上行EIRP,以节省功率放大器的购置成本。但是,SFD设置过于灵敏时,Ku转发器EIRP高的优点将不能被充分利用。在保证系统余量

的前提下,可以选择在低灵敏度SFD设置时,改用冗余编码率较低的纠错方式。这样,既能降低上行功率以缓和上行EIRP的不足,又能压缩带宽以充分利用频率资源,转发器的功率资源也在低灵敏度SFD设置下得以充分利用。这一改变或许有碍于卫星转发器的市场开发,但能有效地发挥卫星和地面设备的性能。建议卫星操作者与卫星通信网的设计者和使用者相互合作,对载波参数和SFD设置的选择和调整这一课题作更详尽的研究和探讨。