

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R BO.1659-1 建议书
(01/2012)

**17.3 GHz和42.5 GHz频带间广播卫星
业务系统雨致衰减缓解技术**

**BO 系列
卫星传输**



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

知识产权政策（IPR）

ITU-R的知识产权政策在ITU-R第1号决议附件1引用的“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策”中做了说明。专利持有者提交专利和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，该网址也提供了“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策实施指南”以及ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 建议书系列

(可同时在以下网址获得: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
BO	卫星传输
BR	用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片
BS	广播业务(声音)
BT	广播业务(电视)
F	固定业务
M	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和标准频率发射
V	词汇和相关课题

注：本ITU-R建议书英文版已按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版物
2012年，日内瓦

© 国际电联 2012

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段翻印本出版物的任何部分。

ITU-R BO.1659-1 建议书

**17.3 GHz和42.5 GHz频带间广播卫星
业务系统雨致衰减缓解技术**

(2003-2012年)

范围

本建议书中提供了一些可缓解雨致衰减的技术。为了推进在17.3 GHz和42.5 GHz频带间引入BSS（广播卫星业务系统）系统，应考虑采用这些技术，其中包括增大有效全向辐射功率（e.i.r.p.）、分层传输和使用接收机具备存储能力的广播系统。

国际电联无线电通信全会（RA），

考虑到

- a) 使用17.3 GHz以上频带的BSS系统可提供宽射频频段数字多节目业务，包括可实现互动的高清电视（HDTV）、音频与数据节目；
- b) 将来，它们还可能成为能容纳更高比特率的节目，如线数远高于高清电视的极高分辨率图像、三维电视和高比特率数据等节目的相应频道；
- c) 世界无线电行政大会（1979年，日内瓦）（WARC-79）曾在42 GHz和84 GHz频段划分频率给广播卫星业务系统，负责处理频谱某些部分频率划分的世界无线电行政大会（1992年，马拉加—托雷莫利诺斯）（WARC-92）将第二区中的17.3-17.8 GHz频段以及第一和第三区中的21.4-22.0 GHz频段划分给将在2007年4月1日以后实施的广播卫星业务，世界无线电通信大会（2000年，伊斯坦布尔）（WRC-2000）则将划分给广播卫星业务的频率从84 GHz频段改为74 GHz频段；
- d) 17.3 GHz以上BSS频段内的大气吸收和雨致衰减远高于广泛用于BSS的12 GHz；
- e) 传播衰减可能严重限制业务可用性和/或系统可行性；
- f) ITU-R BO.2007报告中介绍了根据第525号决议（WARC-92）在17/21 GHz频段内引入广播卫星业务的技术信息。本报告的附录中提供了详细信息，如：
 - 可用于提高数字高清电视卫星广播业务可用性的编码和调制方法；
 - 用于21 GHz频段卫星广播的自适应有效全向辐射功率；
 - 用于卫星和电缆网络支持的宽带高清电视应用的带宽高效编码和调制方案，

建议

1 应考虑使用以下技术中的一项或多项来缓解雨致衰减，以推进在17.3 GHz到42.5 GHz的频段中引入广播卫星业务系统：

- 增大有效全向辐射功率（请参考附件1）；
- 分层传输（请参考附件2）；
- 接收器具备存储能力的广播系统（请参考附件3）

注1 – 附录1中提供了与17.3 GHz和42.5 GHz间BSS频段以及17.3 GHz和30 GHz间某些馈线链路频段中雨致衰减有关的补充信息。

附录1

增大有效全向辐射功率

1 可变有效全向辐射功率卫星的原理

自适应功率控制是一种提高雨致衰减条件下业务可用性的有效且直接的方法，同时，它还能减少在晴空条件下对其它业务的干扰。

卫星广播业务系统单个波束覆盖的服务区一般都很大。可变有效全向辐射功率系统按是否能在服务区内实现局部可变进行分类。

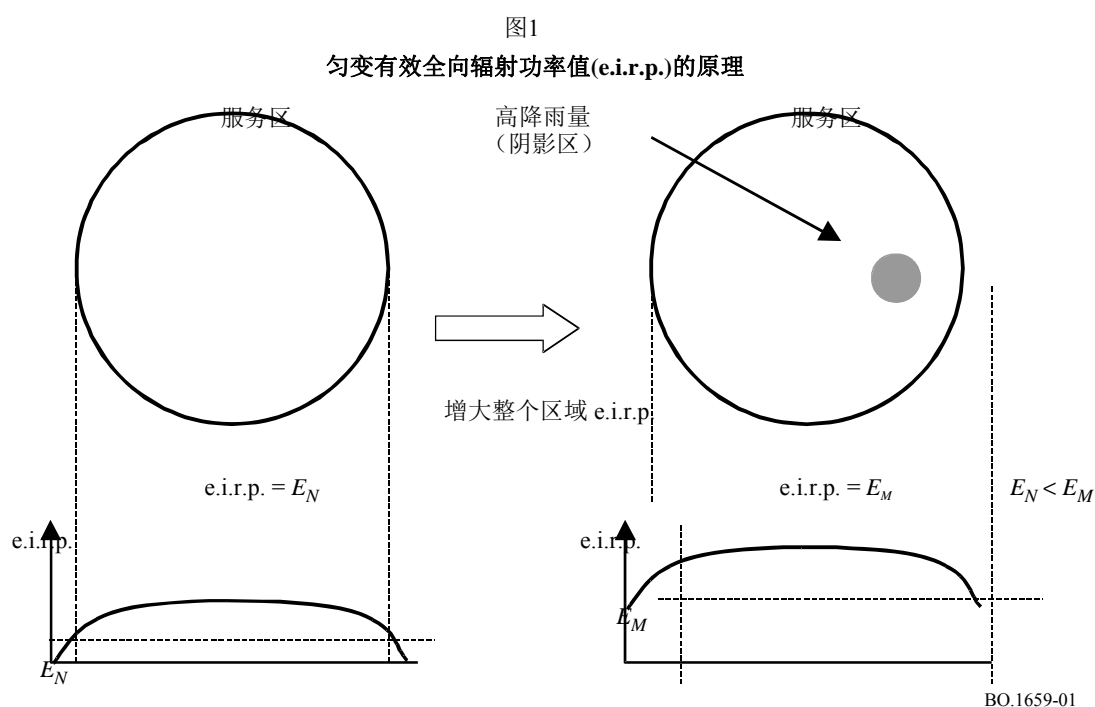
1.1 匀变有效全向辐射功率

在此系统中，波束的总输出功率受到控制，而天线方向图保持不变。服务区中的有效全向辐射功率均匀变化。

强降雨一般只在局部发生。为了补偿局部雨致衰减，可增大整个覆盖区的有效全向辐射功率。除了发生强降雨的区域外，其它处于晴空条件下的服务区可能会被过度代偿。从与其它系统共享的观点来看，这是不合需要的。在这方面，此类单波束系统的自适应功率控制不如多波束系统有效。

因单波束要覆盖整个区域，所以，所需的总辐射功率大，需频繁增大辐射功率。图1所示为其系统原理图。使用以下参数定义系统：

- 在额定条件下，服务区中的有效全向辐射功率值 E_N ；
- 服务区中的有效全向辐射功率达到最大增加值时的有效全向辐射功率值 E_M 。某些区域内的有效全向辐射功率值变化范围为 E_N 到 E_M 。



从卫星设计的角度来看，也可以使用以下参数定义系统：

- 天线的额定输入功率；
- 天线的最大输入功率；
- 天线的增益等值线。

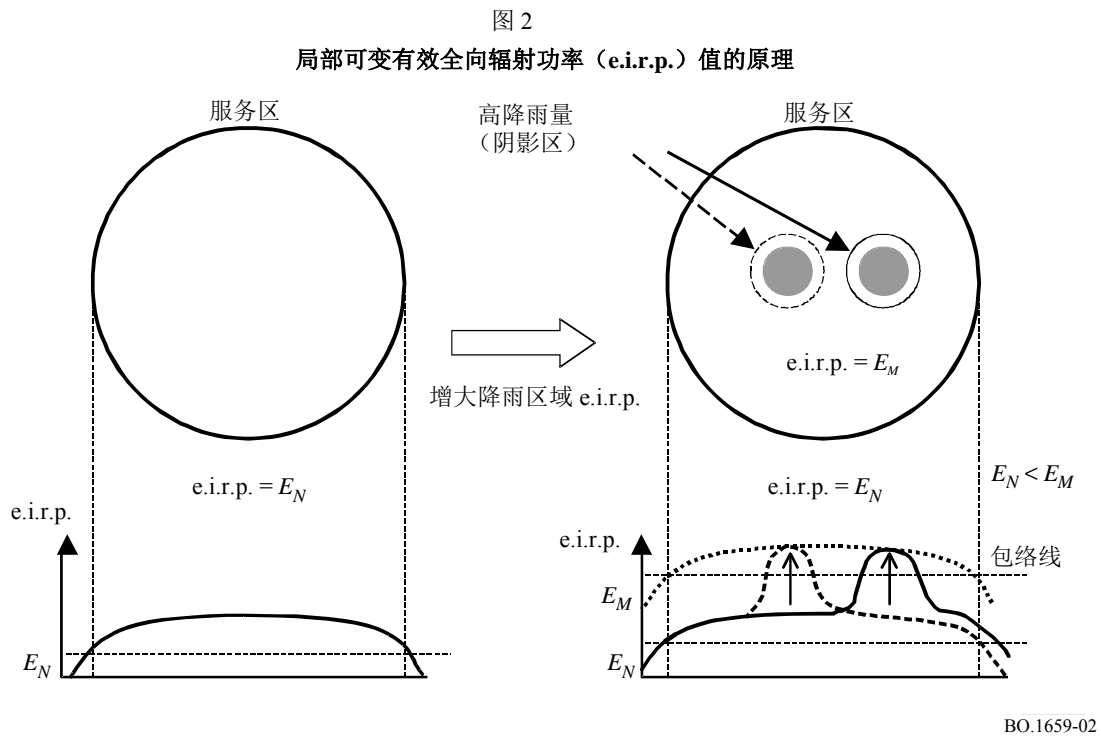
1.2 局部可变有效全向辐射功率

根据雨致衰减的局部分布情况，局部可变有效全向辐射功率系统会在局部改变服务区内波束的卫星有效全向辐射功率。因在大部分服务区内同时出现强降雨的概率很低，卫星所需总辐射功率要低于匀变有效全向辐射功率系统。因此，应采取更加严格的杂散发射限制。

虽然可能需要较高的有效全向辐射功率才能补偿较大的雨致衰减，但功率增大的面积和时间有限。因可针对雨致衰减较低的面积和时间降低有效全向辐射功率，在与其它系统共享方面，它比有效全向辐射功率固定或匀变的卫星系统更具优势。

图2所示为此系统的原理图。以下参数用于定义此系统：

- 在额定条件 (E_N) 下，服务区中的有效全向辐射功率值 E_N ；
- 有效全向辐射功率达到最大增加值 (E_M) 时，局部地区的有效全向辐射功率值 E_M 。



从卫星设计的角度来看，也可以使用以下参数定义系统：

- 天线的额定输入功率；
- 额定天线增益等值线；
- 天线的最大输入功率；
- 局部增大功率时的天线增益等值线示例；
- 有可能造成各种加强有效全向辐射功率活动时最大天线增益包络线。

2 卫星技术

2.1 适用于匀变有效全向辐射功率的卫星技术




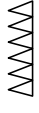
通过配用反射器天线和喇叭形馈源及可变功率大功率放大器 (HPA) 可以实现此系统。它采用功率大得多的大功率放大器来增大整个服务区中的有效全向辐射功率。功率控制对大功率放大器效率的影响尚需研究。

2.2 适用于局部可变有效全向辐射功率的卫星技术

表1中所示的卫星天线配置可用于实现此功能。

表1

局部可变有效全向辐射功率系统的天线配置

天线类型	多喇叭	相控阵		
		单反射器	双反射器	直接辐射
示意图				
方向图综合的范围	固定波束的位置	有限波束控制角度	大于单反射器	最大
峰值增益	高	低于双反射器	低于多喇叭	高
波束控制时的增益减小	大	低于多喇叭	低于单反射器	小
阵元数	小	中	中	大
结构复杂性	简单	中等	复杂 (副反射器)	复杂 (馈电电路)

2.2.1 多喇叭天线

在此天线中，反射器焦平面上有多个馈电喇叭。每个喇叭对应一束由天线产生的波束。当每束波束同相辐射时，这些波束形成单束成形波束。通过控制提供给各喇叭的功率，可实现局部可变有效全向辐射功率系统。

功率控制范围被限制在对应大功率天线的输出功率范围。功率控制对大功率天线效率的影响尚待研究。因波束的位置是固定的，它可实现的方向图综合范围比相控阵天线的要小。

2.2.2 相控阵天线

和多喇叭天线相比，使用相控阵天线可获得更大范围的方向图综合。直接辐射相控阵天线在可能的方向图综合方面表现最佳。另一方面，配置的复杂性可能降低车载系统的适用性。

和多喇叭天线相比，相控阵天线在大量辐射元件都对小面积的功率控制起作用。功率增强区的最小直径由天线的孔径决定。各种配置的性能和可行性还有待进一步考证。

2.2.3 有关局部增大功率的天线方向图综合的个案研究

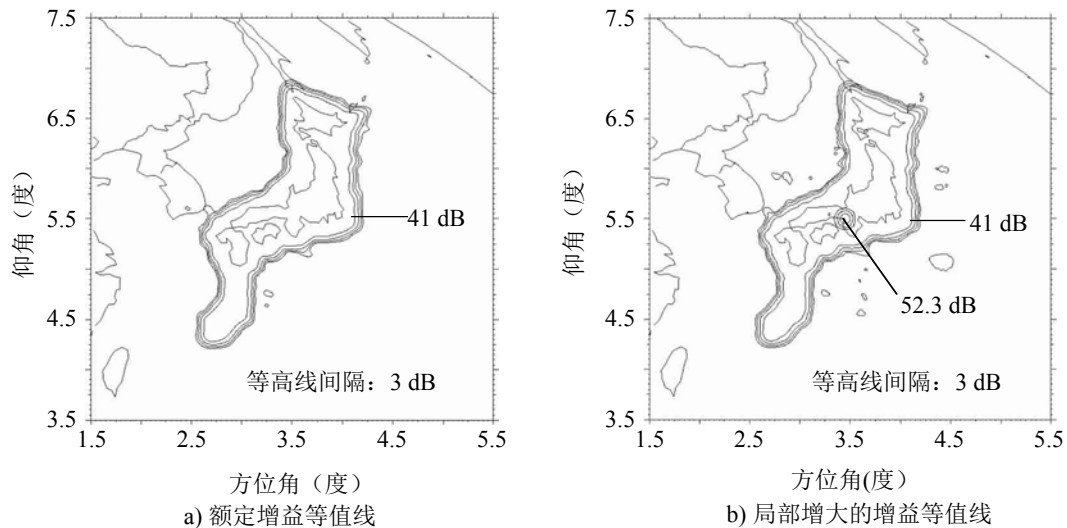
在此举例说明局部可变有效全向辐射功率卫星的可行性。它的参数如下：

- 天线配置：阵列馈电单反射器天线
- 天线孔径：10米
- 频率：21.7 GHz
- 辐射器数量：227

— 辐射器间隔：1.5个波长

图3所示为计算的天线增益等值线。左图所示为额定条件下的辐射方向图。利用大孔径天线和相控阵技术，可以获得较大增益平稳度的辐射方向图。右图为局部增益增大的辐射方向图示例。峰值增益比额定值增大了10 dB。由于局部增加，其余区的增益略降。

图3
方向图综合示例（模拟）



BO.1659-03

应通过考虑服务区大小和形状、要补偿的最小和最大面积、所需增大的程度等系统参数以及车载设备的可选性和成本来决定辐射器的直径和数量等天线参数。

2.3 高功率天线技术

行波管 (TWT) 和固态功率放大器 (SSPA) 可用于卫星的高功率天线。在17/21 GHz频段，输出功率约为100瓦的传统行波管的总效率高于60%。另一方面，固态功率放大器的输出功率和效率低于行波管。为了将行波管作为放大器用于局部可变有效全向辐射功率卫星的有源阵天线，特对横截面尺寸小于传统行波管的小型行波管进行了研究。表2为其比较。

表2

17/21 GHz频段卫星系统用高功率天线示例

高功率天线类型	SSPA (包括电源)	行波管	
		传统行波管	小型行波管
输出功率 (W)	6	120	10
效率 (%)	<10	62	50
尺寸 (mm)	326 × 327 × 36	85 × 63 × 325	15 × 20 × 300
重量 (kg)	4.6	0.9	0.3

附件2

分层传输

1 分层传输的原理

两种或多种不同载噪比要求的调制方案经时分多路复用而形成分层传输信号。通过使用载噪比要求较低的稳健型调制/信道编码方案，能以较低数据速率传输最低质量视频信号和音频等基本信息。另一方面，通过使用载噪比要求较高的高效调制方案，可传输用于高清电视或5.1声道环绕声的高数据率部分。接收器根据实际的接收载噪比情况选择相应的数据流。因此，可根据接收载噪比减弱情况，使用分层传输来实现逐渐降低图像质量的数字系统中的分步降级。

17.3 GHz以上广播卫星频段的雨致衰减远高于12 GHz频段的衰减。通过采用分层传输可以减少因雨致衰减造成的业务中断。有关分层传输的详细信息，请参考ITU-R BO.2007报告的附件1。

分层传输方案可与其它技术整合。例如，附件3中所述的接收装置具备存储功能的非实时广播和普通的实时广播等各种业务，可使用分层传输方案同时传输。在本方案中，多级调制信号BPSK、QPSK、8-PSK都可时分多路复用。

分层传输方案也可以与可伸缩视频编码（SVC）技术整合。SVC技术能产生有基极层和增强层的可伸缩视频基本流。可伸缩视频编码视频数据通过可变编码调制（VCM）方案处理。在VCM中，低质数据（基极层）可采用比高质数据（增强层）更加稳健的调制方案传送。因此，在晴空条件下，基极层和增加层都可以接收，这样便于提供高清业务。相反，在雨致衰减条件下，只有低质视频业务才能接收基极层。

2 分层传输示例

2.1 基于调制方案的分层传输

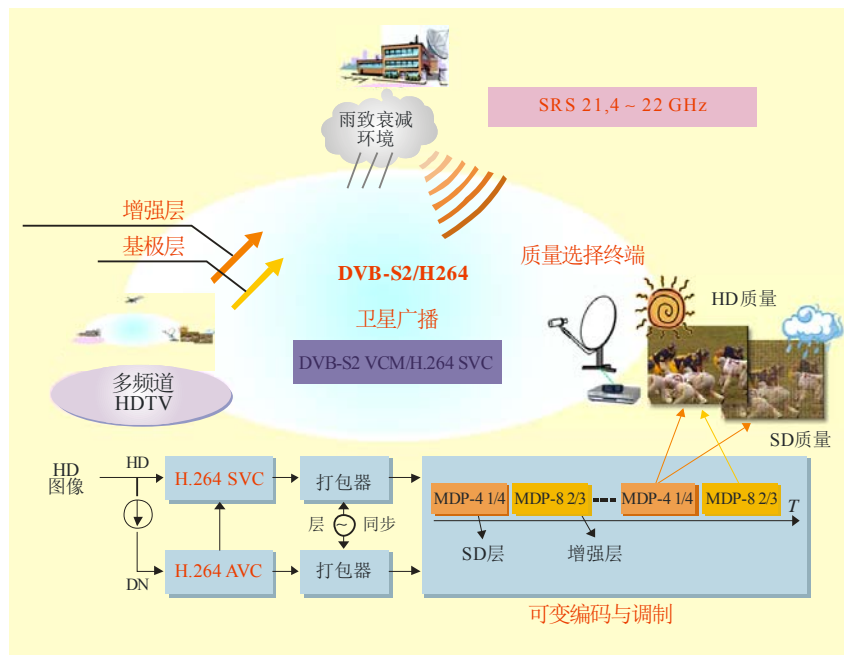
ITU-R BO.1516建议书 — 在11/12 GHz频率范围内运行的卫星所用的数字多节目电视系统中提供了分层传输的实例。在D系统中，以BPSK、QPSK和格子码8-PSK（TC8-PSK）调制的多种传输信号都可被时分多路复用。在本系统中，BPSK 1/2和TC8-PSK间的所需载噪比差为8.2 dB，被视为分层传输的最大增益。

2.2 基于可伸缩视频编码技术的分层传输

图4所示为使用21 GHz频段提供分层卫星高清广播业务的原理图。可伸缩编码视频数据通过VCM传输。例如，低质数据由QPSK调制，而高质数据则由8PSK调制。因而可以提高链路可用率。通过在媒体源层面和传输层面分层可以实现这种质量选择型业务。

图4

基于可伸缩视频编码技术的分层广播



附件3

接收机具备存储能力的广播系统

1 接收机具备存储能力的非实时广播系统的原理

随着硬盘等存储设备的容量增加和价格降低，市场上开始出现了自带存储设备的接收器。我们已进行了多次研究，以调查广播业务存储功能的优点。

从统计学上来讲，足以造成信号中断的大雨只会一天中短时出现。利用这种特征，可提前传输节目，并将它们存储在接收器中，以避免在发生这种情况时造成业务中断。

采用存储型接收装置，不可避免地会出现长时间的传输延迟。这种延迟取决于所要采用的方案以及解决信号中断的能力。实况新闻节目等实时节目可能并不适合于存储在接收系统中。

尚需进一步研究非实时广播的业务可用性。

2 例举法

2.1 重复传输

通过采用存储装置提高业务可用性的广播卫星业务传播方案的一个实例是重复传输。在这种方式中，节目被重复传输，将完整的数据传送到存储设备，从而避免因雨致衰减而造成连接中断。

因可以在晴空条件下获得高载噪比，可通过使用16-QAM等高频使用效率调制而补偿因重复传输而出现的效率降低。合适的重复数、间隔和调制方案等系统参数尚待今后进行研究。

2.2 长块长数据交织

可采用很长间隔的交织解决间隔内可能发生的适时短时接收信号中断。

节目数据在传输侧以较长的传输间隔传播（即交织）。接收器先将传送的信号储存在存储设备中，再用它来重建（即解交织）原始节目。因丢失的连续数据会通过解交织而分散在接收器中，所以，即使有一部分传送的数据因雨致衰减而丢失，也可以使用纠错码重建节目数据。

合适的交织长度和调制方案等系统参数尚待今后进行研究。

2.2.1 长块长数据交织系统示例

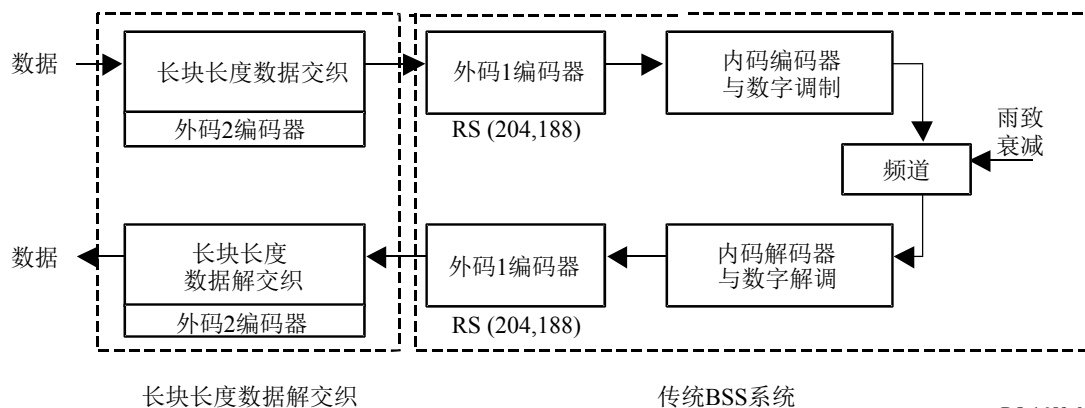
我们曾使用在为期一年内所收集的雨致衰减数据进行了长块长数据交织的模拟，以验证方案的有效性。图5所示为模拟示意图。右图为使用外码1和内码完成纠错的传统数字BSS系统。左图为由大容量存储设备和相关纠错编码器和解码器（外码2）组成的附加长块长度数据块。所采用的模拟参数如下：

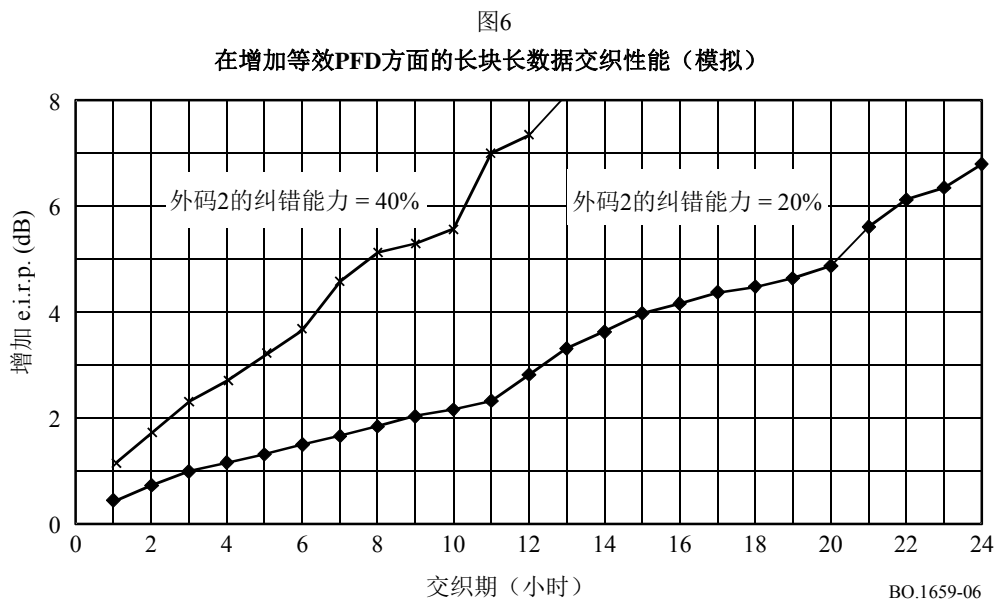
- 接收位置：东京（K气候带）
- 所用雨致衰减数据：从2000年5月到2001年4月在12 GHz频段测得并用ITU-R P.618建议书中的频率变标公式转化为21 GHz频段内的数据
- 调制：TC8-PSK
- 卫星pfd: $-114.0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 。

我们通过增加有效全向辐射功率评估了长块长数据交织的表现。它被定义为：“没有长块长数据交织，但通过有长块长数据交织的模拟块而获得了同样业务可用性的传统BSS系统的有效全向辐射功率”。

图6所示为作为交织期函数的有效全向辐射功率增大情况。其中外码2的纠错能力被设置为20%或40%。有效全向辐射功率随交织期延长而增大，同时会增加存储容量和传输延迟。外码2的纠错能力越强，有效全向辐射功率随牺牲的传输信息速率增加而增大得越多。例如，取20%的纠错能力，将交织期从一个小时增加到12或24小时分别相当于增加2.4或6.2 dB的有效全向辐射功率。

图 5
模拟示意图





此次模拟基于在一年多的时间内在特定位置取得的数据。如果这些数据取自不同位置、不同卫星pfd或者时间更长，则会观察到不同的效果。应根据系统要求仔细选择参数。

附件3的 附录1

因17.3-2.5 GHz间BSS频段内大气气体造成的 雨致衰减和吸收以及某些相关馈电线连接

1 介绍

和12 GHz频段相比，17.3-2.5 GHz间BSS频段的重要特征是传播损耗较大。仰角是造成这些高频频段中雨致衰减和大气吸收的重要因素。可根据要克服的传播损耗来选择合适的缓解技术。本附录在地面接收站频率和位置方面对传播损耗进行了初步比较。

本建议书附件3的附录1中表格中所述城市仅用于举例。

2 计算参数

计算中使用了以下建议书：

- 接收站的海拔高度：ITU-R P.1511建议书（数据库）
- 年平均地表温度：ITU-R P.1510建议书（数据库）
- 地表水蒸汽密度（一年的1%）：P.836建议书（数据库）
- 大气气体衰减模型：ITU-R P.676建议书（数据库）
- 云层衰减：ITU-R P.840建议书 — 降雨量模型：ITU-R P.837建议书（数据库）
- 特定衰减：ITU-R P.838建议书（数据库）
- 降雨量模型：ITU-R P.839建议书（数据库）
- 雨致衰减模型：ITU-R P.618建议书（数据库）
- 卫星的轨道位置：假设与第一、第二和第三区12 GHz BSS计划的位置完全相同（请参考《无线电规则》附录30）。

3 下行链路频段内的雨致衰减和气体吸收

我们对第一、第二和第三区多个城市在这些频段的雨致衰减和大气吸收和12 GHz频段进行了比较。

大气中的水蒸汽和氧气会造成吸收，并且水蒸汽密度在整年内都不恒定。在本研究中，我们使用从ITU数据库中摘录的超过一年1%时间的数值估算大气吸收。

如表3和4中所示，在21.7 GHz的大气吸收范围为1.2到2.0 dB，而在12.0 GHz约为0.2 dB。在21.7 GHz上的雨致衰减约为12.0 GHz的四倍，单位为分贝。

表3

第一区中某些城市的大气气体吸收和雨致衰减

		莫斯科		伦敦		巴黎		伊斯坦布尔	
经度/纬度 (度)		37.6 E/55.8 N		0.1 E/51.5 N		2.3 E/48.9 N		29.0 E/41.0 N	
卫星的轨道位置 (度)		36.0 E		33.5 W		7.0 W		42.0 E	
仰角 (度)		26.5		23.2		33.2		40.7	
$R_{0.01}$ (mm/h)		31.7		30.8		34.0		38.8	
	年时间百分比	12.0 GHz	21.7 GHz	12.0 GHz	21.7 GHz	12.0 GHz	21.7 GHz	12.0 GHz	21.7 GHz
大气吸收	–	0.2 dB	2.0 dB	0.2 dB	2.0 dB	0.2 dB	1.6 dB	0.1 dB	1.5 dB
雨致衰减	0.3%	1.0 dB	3.4 dB	1.0 dB	3.4 dB	0.9 dB	3.1 dB	1.0 dB	3.5 dB
	0.1%	1.9 dB	6.4 dB	1.9 dB	6.3 dB	1.7 dB	5.8 dB	1.9 dB	6.5 dB

表4

第三区某些城市的大气气体吸收和雨致衰减

		东京		吉隆坡		首尔		曼谷	
经度/纬度 (度)		139.8 E/35.7 N		101.7 E/3.2 N		127 E/37.6 N		100.5 E/13.8 N	
卫星的轨道位置 (度)		110.0 E		91.5 E		116.0 E		98.0 E	
仰角 (度)		38.0		77.4		44.9		73.5	
$R_{0.01}$ (mm/h)		48.0		93.9		50.6		86.7	
	年时间百分比	12.0 GHz	21.7 GHz	12.0 GHz	21.7 GHz	12.0 GHz	21.7 GHz	12.0 GHz	21.7 GHz
大气吸收	–	0.2 dB	1.9 dB	0.1 dB	1.2 dB	0.2 dB	1.8 dB	0.1 dB	1.4 dB
雨致衰减	0.3%	1.5 dB	5.5 dB	3.7 dB	14.7 dB	1.4 dB	5.2 dB	3.0 dB	12.2 dB
	0.1%	2.8 dB	10.0 dB	6.6 dB	24.7 dB	2.7 dB	9.4 dB	5.5 dB	20.9 dB

表5中比较了第二区某些城市在17.5 GHz和12.5 GHz上的传播损耗。在17.5 GHz上的雨致衰减比在12.5 GHz上最大大2.5倍，单位为分贝。

表5

第二区某些城市的大气气体吸收和雨致衰减

		迈阿密		里约热内卢	
经度/纬度 (度)		80.2 W/25.8 N		43.2 W/22.9 S	
卫星的轨道位置 (度)		51.8		63.1	
仰角 (度)		101.2 W		45.2 W	
$R_{0.01}$ (mm/h)		89.1		56.5	
	年时间百分比	12.5 GHz	17.5 GHz	12.5 GHz	17.5 GHz
大气吸收	—	0.1 dB	0.4 dB	0.1 dB	0.3 dB
雨致衰减	0.3%	2.7 dB	5.8 dB	2.0 dB	4.4 dB
	0.1%	4.9 dB	10.4 dB	3.7 dB	7.9 dB

我们计算了平均年0.1% 和0.3%的时间内所有国际电联成员国首都城市在12 GHz频段和17/21 GHz频段上的雨致衰减。图6、7和8以各地区的柱状图显示了计算结果。和第一区相比，第三区国家首都城市的雨致衰减分布在21.7 GHz上更大的范围内。

在这三个地区，40.5-42.5 GHz频段都被划分给广播卫星业务。图6、7和8所示为41.5 GHz上的大气吸收和雨致衰减。42 GHz频段上的雨致衰减远高于17/21 GHz频段。

图 7a

第一区国家首都在一年的0.3%时间内在12 GHz上的雨致衰减

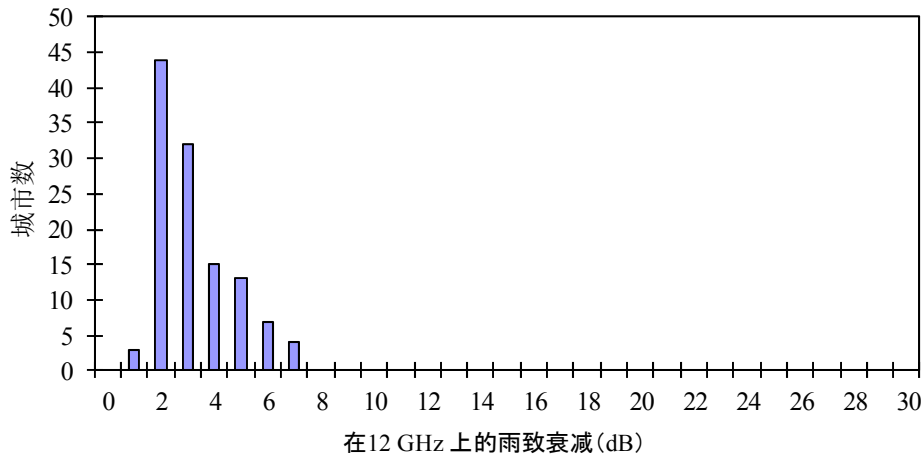
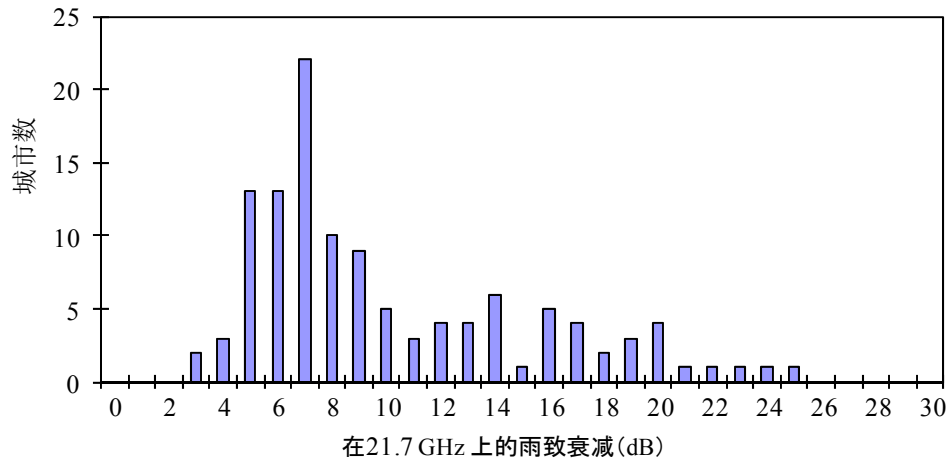
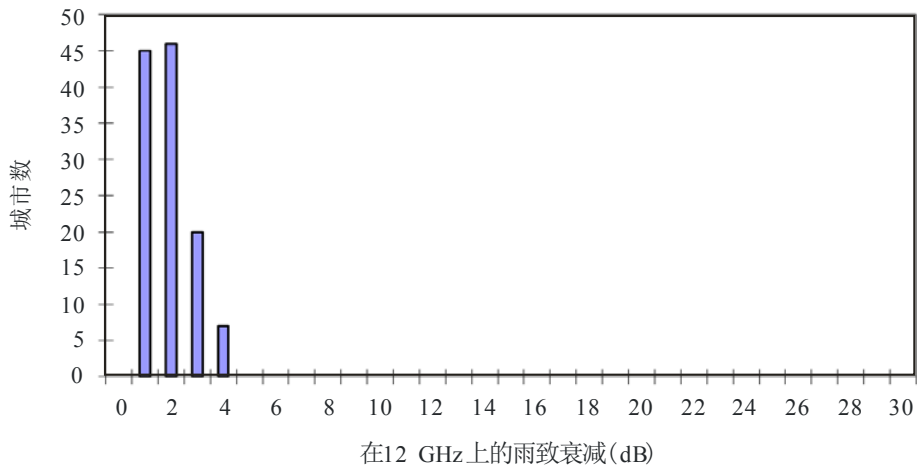


图 7b
第一区国家首都在一年的0.3%时间内在21.7 GHz上的雨致衰减



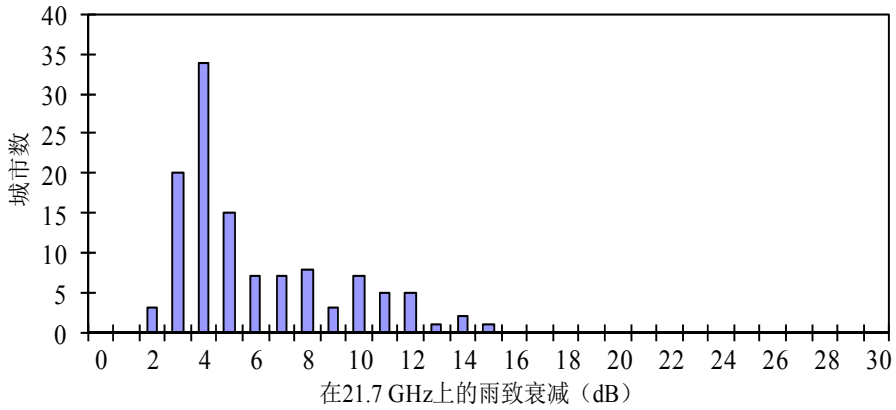
BO.1659-07b

图 7c
第一区国家首都在一年的0.3%时间内在12 GHz上的雨致衰减



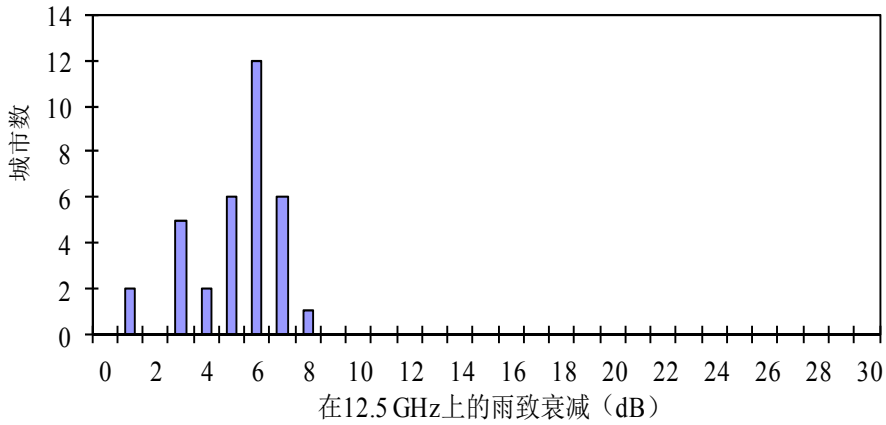
BO.1659-07c

图 7d
第一区国家首都在一年的0.3%时间内
在21.7 GHz上的雨致衰减



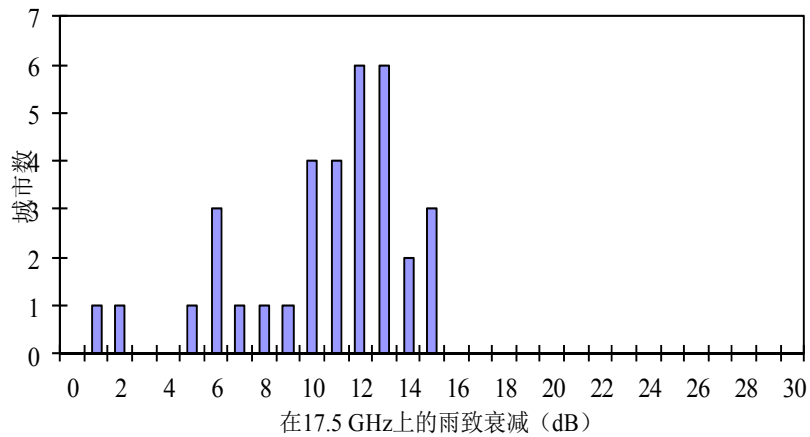
BO.1659-07d

图8a
第二区国家首都在一年的0.1%时间内在12.5 GHz上的雨致衰减



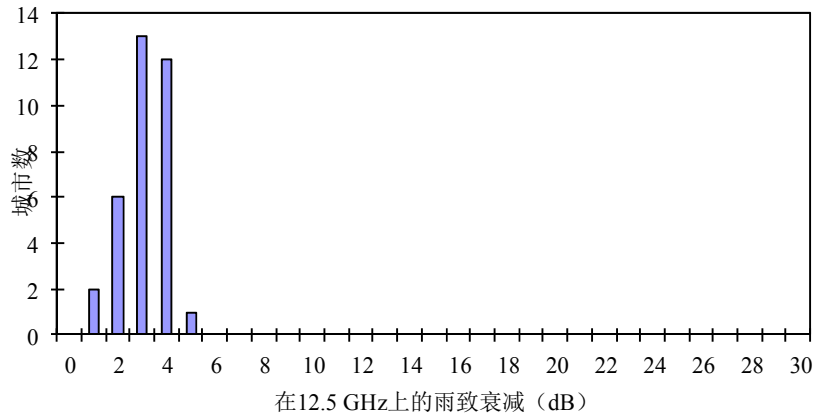
BO.1659-08a

图 8b
第二区国家首都在一年的0.1%时间内在17.5 GHz上的雨致衰减



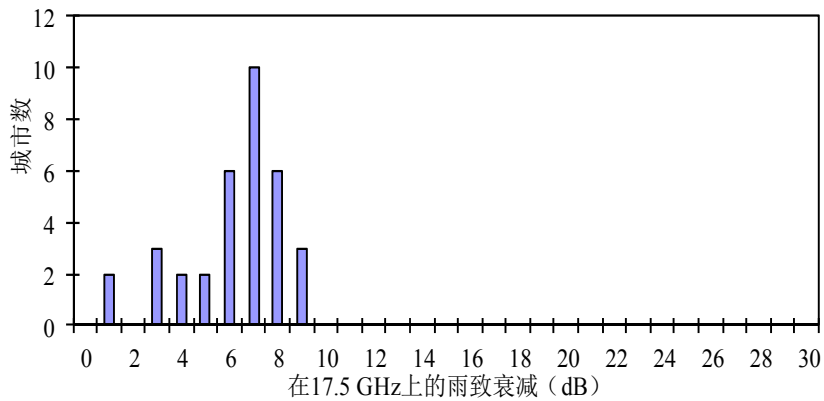
BO.1659-08b

图 8c
第二区国家首都在一年的0.3%时间内在12.5 GHz上的雨致衰减



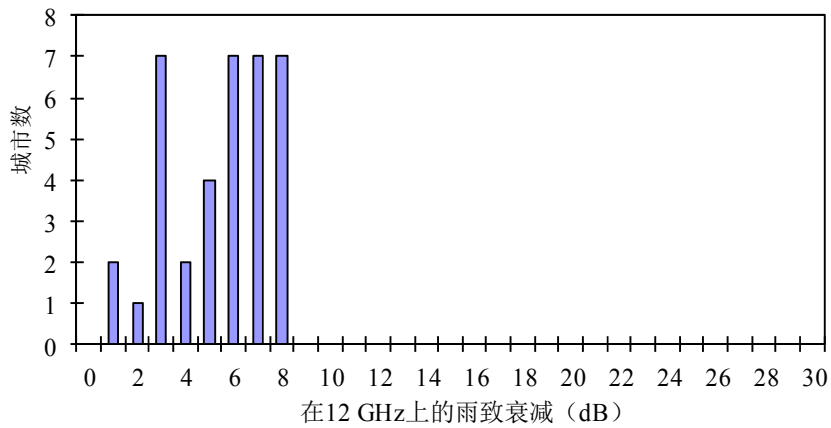
BO.1659-08c

图8d
第二区国家首都在一年的0.3%时间内在17.5 GHz上的雨致衰减



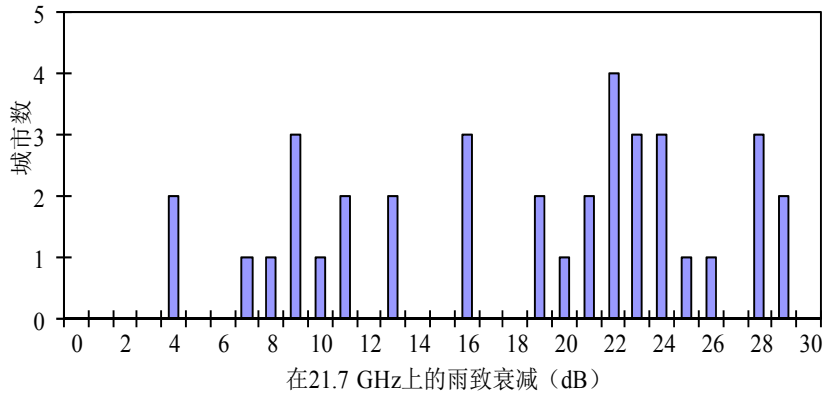
BO.1659-08d

图 9a
第三区国家首都在一年的0.1%时间内在12 GHz上的雨致衰减



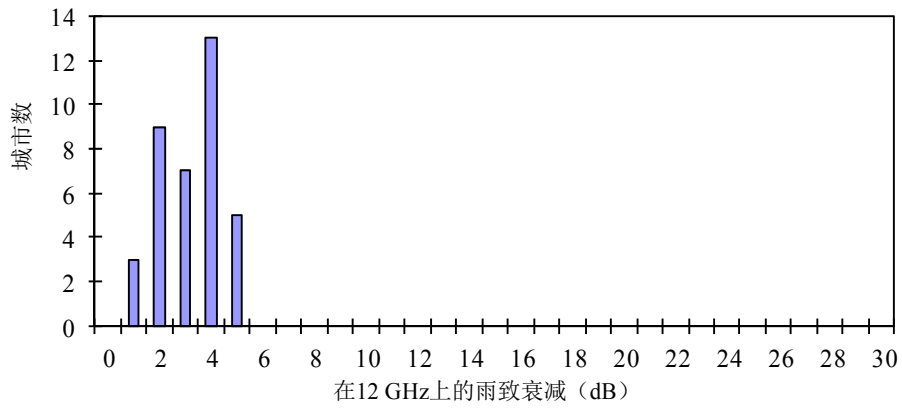
BO.1659-09a

图9b
第三区国家首都在一年的0.1%时间内在21.7 GHz上的雨致衰减

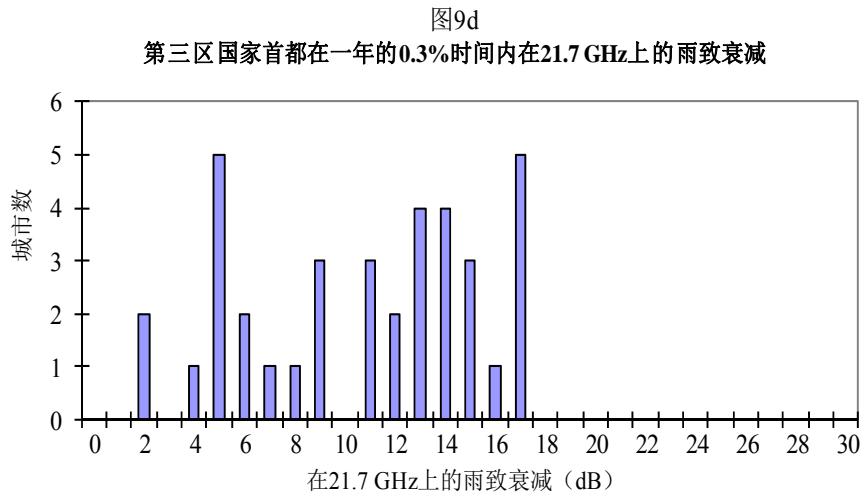


BO.1659-09b

图 9c
第三区国家首都在一年的0.3%时间内在12 GHz上的雨致衰减



BO.1659-09c



BO.1659-09d

表6

第一区某些城市在41.5 GHz上的大气吸收雨致衰减

	年时间百分比	莫斯科	伦敦	巴黎	伊斯坦布尔
		41.5 GHz			
大气吸收	—	1.7 dB	1.7 dB	1.3 dB	1.2 dB
雨致衰减	3.0%	2.4 dB	2.3 dB	2.1 dB	2.5 dB
	1.0%	4.9 dB	4.8 dB	4.5 dB	5.2 dB
	0.3%	10.1 dB	9.9 dB	9.2 dB	10.6 dB
	0.1%	17.9 dB	17.6 dB	16.4 dB	18.7 dB

表7

第二区某些城市在41.5 GHz上的大气吸收雨致衰减

	年时间百分比	迈阿密	里约热内卢
		41.5 GHz	
大气吸收	—	1.1 dB	1.0 dB
雨致衰减	3.0%	6.2 dB	4.6 dB
	1.0%	12.5 dB	9.4 dB
	0.3%	27.0 dB	21.6 dB
	0.1%	45.4 dB	36.5 dB

表8

第三区某些城市在41.5 GHz上的大气吸收雨致衰减

	年时间百分比	东京	吉隆坡	首尔	曼谷
		41.5 GHz			
大气吸收	—	1.4 dB	0.9 dB	1.3 dB	1.0 dB
雨致衰减	3.0%	4.0 dB	8.0 dB	3.8 dB	7.6 dB
	1.0%	8.1 dB	15.9 dB	7.7 dB	15.2 dB
	0.3%	16.3 dB	45.2 dB	15.5 dB	38.1 dB
	0.1%	28.3 dB	72.6 dB	26.9 dB	62.2 dB

4 BSS馈线链路频段内的雨致衰减和气体吸收

我们对18和28 GHz频段进行了类似计算。这些频段是所有地区馈电线连接的候选频段。我们也对25 GHz频段进行了计算。此频段是第二和第三区的另一候选频段。计算结果如表9、10和11所示。

表9

第一区某些城市的大气气体吸收和雨致衰减

	年时间百分比	莫斯科		伦敦	
		18.1 GHz	27.8 GHz	18.1 GHz	27.8 GHz
大气吸收	—	0.6 dB	1.1 dB	0.6 dB	1.1 dB
雨致衰减	0.3%	2.4 dB	5.4 dB	2.4 dB	5.3 dB
	0.1%	4.5 dB	9.8 dB	4.5 dB	9.7 dB
		巴黎		伊斯坦布尔	
		18.1 GHz	27.8 GHz	18.1 GHz	27.8 GHz
大气吸收	—	0.5 dB	0.9 dB	0.4 dB	0.8 dB
雨致衰减	0.3%	2.2 dB	4.9 dB	2.5 dB	5.6 dB
	0.1%	4.1 dB	9.0 dB	4.6 dB	10.2 dB

表10

第二区某些城市的大气气体吸收和雨致衰减

	年时间百分比	迈阿密			里约热内卢		
		18.1 GHz	25.0 GHz	27.8 GHz	18.1 GHz	25.0 GHz	27.8 GHz
大气吸收	–	0.5 dB	1.1 dB	0.8 dB	0.4 dB	1.0 dB	0.7 dB
雨致衰减	0.3%	6.2 dB	12.0 dB	14.6 dB	4.7 dB	9.2 dB	11.3 dB
	0.1%	11.1 dB	20.9 dB	25.1 dB	8.5 dB	16.2 dB	19.6 dB

表11

第三区某些城市的大气气体吸收和雨致衰减

	年时间百分比	东京			吉隆坡		
		18.1 GHz	25.0 GHz	27.8 GHz	18.1 GHz	25.0 GHz	27.8 GHz
大气吸收	–	0.5 dB	1.4 dB	1.0 dB	0.3 dB	0.9 dB	0.6 dB
雨致衰减	0.3%	3.8 dB	7.2 dB	8.7 dB	9.9 dB	19.6 dB	24.0 dB
	0.1%	7.0 dB	12.9 dB	15.5 dB	17.0 dB	32.6 dB	39.5 dB
		首尔			曼谷		
		18.1 GHz	25.0 GHz	27.8 GHz	18.1 GHz	25.0 GHz	27.8 GHz
大气吸收	–	0.5 dB	1.3 dB	0.9 dB	0.4 dB	1.0 dB	0.7 dB
雨致衰减	0.3%	3.6 dB	6.8 dB	8.3 dB	8.2 dB	16.3 dB	20.0 dB
	0.1%	6.6 dB	12.2 dB	14.8 dB	14.3 dB	27.6 dB	33.5 dB

5 21 GHz频段的下行链路业务可用性

我们采用各种pfd值计算BSS系统的业务可用性。我们使用了直径为45 cm的接收天线。使用QPSK、8-PSK 和16-QAM调制方案的DVB-S、DVB-S2和ISDB-S信号是本次研究的候选信号。本系统所需的载噪比因调制和编码而异。使用调制和编码时需权衡业务可用性和频率使用效率。

表12中所示为载噪比超过5.6 dB、7.5 dB、10.7 dB和17.0 dB的平均年的时间百分比，在示例中pfd等于 $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 、 $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 和 $-120 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ ，表13中则等于 $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 。

链路预算包括雨致衰减、云层衰减、气体衰减、闪烁和天线指向损耗。

表12

第一区某些城市21 GHz频段BSS下行链路的年度业务可用性

		莫斯科			伦敦		
仰角 (度)		26.5			23.2		
pfd (dB(W/(m ² · MHz)))		-105.0	-115.0	-120.0	-105.9	-115.0	-120.0
总体载噪比	5.6 dB	99.99%	99.96%	99.89%	99.99%	99.97%	99.90%
	7.5 dB	99.99%	99.95%	99.81%	99.99%	99.95%	99.84%
	10.7 dB	99.98%	99.89%	99.38%	99.99%	99.90%	99.53%
	17.0 dB	99.93%	98.48%	NA ¹	99.92%	99.04%	NA ¹
$R_{0.01}$ (mm/h)		31.7			30.9		
雨致衰减 ² (dB)		6.5			6.6		
		比勒陀利亚			伊斯坦布尔		
仰角 (度)		59.9			40.7		
pfd (dB(W/(m ² · MHz)))		-105.0	-115.0	-120.0	-105.0	-115.0	-120.0
总体载噪比	5.6 dB	99.97%	99.87%	99.69%	99.99%	99.96%	99.88%
	7.5 dB	99.97%	99.84%	99.50%	99.99%	99.94%	99.79%
	10.7 dB	99.95%	99.67%	98.63%	99.98%	99.88%	99.30%
	17.0 dB	99.82%	95.80%	NA ¹	99.94%	98.35%	NA ¹
$R_{0.01}$ (mm/h)		31.8			38.9		
雨致衰减 ² (dB)		5.8			6.7		
		亚历山大					
仰角 (度)		35.8					
pfd (dB(W/(m ² · MHz)))		-105.0	-115.0	-120.0			
总体载噪比	5.6 dB	99.99%	99.99%	99.99%			
	7.5 dB	99.99%	99.99%	99.99%			
	10.7 dB	99.99%	99.99%	99.94%			
	17.0 dB	99.99%	99.60%	NA ¹			
$R_{0.01}$ (mm/h)		5.4					
雨致衰减 ² (dB)		1.4					

注 — 表12中所示的位置仅用于提供第一区业务可用性的示例。业务可用性取决于仰角，也取决于在第一区的位置。因此，低于-120 dB(W/(m² MHz))的pfd值也可以在雨致衰减低于表12中的值的地区使用。

¹ NA:因此水平的pfd不能达到所需的载噪比水平，所以不适用。

² 计算的一年内99.9%的时间的雨致衰减。

表13

第三区某些城市21 GHz频段BSS下行链路的年度业务可用性

	东京	吉隆坡	首尔	曼谷	威灵顿	
仰角 (度)	38.0	77.4	44.9	73.5	42.3	
pdf (dB(W/(m ² · MHz)))	-105.0	-105.0	-105.0	-105.0	-105.0	
总体载噪比	5.6 dB	99.98%	99.81%	99.98%	99.88%	99.99%
	7.5 dB	99.97%	99.77%	99.97%	99.85%	99.99%
	10.7 dB	99.95%	99.68%	99.95%	99.78%	99.99%
	17.0 dB	99.80%	99.36%	99.83%	99.44%	99.94%
R _{0.01} (mm/h)	48.0	93.6	50.6	87.1	41.7	
雨致衰减 ² (dB)	10.0	26.3	14.2	21.5	6.4	

注 — 表13中所述的城市仅用于提供第三区业务可用性的示例。业务可用性取决于仰角，也取决于在第三区的位置。

16-QAM等频率效率更高的调制方案可能适用于未来的BSS系统。但调制方案所需的载噪比低于TC8-PSK。此外，它对卫星应答器的非线性较为敏感。我们暂时采用17.0 dB的所需载噪比。

在BSS中，使用21 GHz频段时，为了达到与12 GHz频段相似的业务可用性，须补偿大得多的雨致衰减。传统的卫星设计是将衰减视为余量计算有效全向辐射功率。因此，系统需要太大型的卫星和很高的晴空pdf，而这样是不经济的。所以，为了在特定地区通过可承受的卫星系统提供广播卫星业务，需采取有效措施补偿雨致衰减。

表12中例举的第一区中某些城市在21 GHz频段上下行链路的年业务可用性远大于《无线电规则》附录30中的12 GHz计划，即最差月份的99%，相当于99.7%的年业务可用性。如果地球表面功率通量密度等于-105 dB(W/(m² · MHz))的可用性水平远大于预期可用性，基于卫星操作员的目的和目标服务区，可以设想：为了达到所需可用性，可降低由空间站发射而在地球表面产生的功率通量密度。这种功率降低可能直接影响卫星设计（即相同功耗包络线的更多运行的应答器）或相应成本（即降低影响影响卫星成本的总功耗）。

对于第一区，地表降低的功率通量密度：

- 1) 如果apfd（即降低10 dB）为-115 dB(W/(m² · MHz))，表12中第一区某些示例城市载噪比为7.5和10.7 dB时的年业务可用性大于表12中第一区某些例举城市在地表功率通量密度为-105 dB(W/(m² · MHz))时的年业务可用性。

- 2) 如果pfd为 $-120 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ (即降低15 dB)，表12中所列的第一区某些城市载噪比为5.6 dB时的年业务可用性远大于表12中第一区其它城市在地表功率通量密度为 $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 时年业务可用性。

对于第一区，地表 $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 的功率通量密度能有效提高表12中所示第一区某些城市的年业务可用性。例如，应注意的是：为了将10.7 dB载噪比的年业务可用性从99.90% 提高到99.99%，第一区中降雨量 $R_{0.01\%}$ 低于31 mm/h的城市可以考虑使用 $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 的地表pfd，而非 $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 。

如表12和13中所示，特定卫星网络的所需地表功率通量密度与多种因素密切相关（如总在目标区上方观察到的总链路衰减，所需的可用性、调制方案等）。

6 结论

本附录显示：

- 17.3-42.5 GHz频段的雨致衰减和气体吸收远大于12 GHz频段。
 - 采用传统的卫星系统设计时，为了实现可用性目标在测算有效全向辐射功率时需考虑链路容限要求。在某些情况下，所需有效全向辐射功率可能太高，不能用于传统的卫星系统。
 - 在指定的传播条件下，可能需要使用相应的雨致衰减缓解技术来推进在更高频段引入可行的BSS系统。
-