



1.8 GHz TDD-LTE 行业专网的运行环境影响分析

杜涛¹, 邓晓辉¹, 李钢²

(1. 普天信息技术有限公司, 北京 100080;

2. 国家无线电监测中心检测中心, 北京 100041)

摘要: 根据我国现行的频谱规划, 在行业专网中可用于无线宽带专网建设的唯一授权可以使用的连续频段为 1 785~1 805 MHz。由于多数行业专网承载业务和安全生产直接相关, 有必要对该频段运行的无线运行环境进行分析。根据 3GPP 规划, 该频段与 Band3 FDD-LTE 使用频段相邻, 需要分析 Band3 频段对 1.8 GHz TDD-LTE 专网是否形成干扰。基于目前国家已经颁布的相关频率政策和型号核准要求对基站间干扰情况进行分析, 并对相关型号核准文件提出建议。

关键词: 1.8 GHz TD-LTE 频段; Band3 FDD-LTE 频段; 无线干扰; 无线专用通信网

中图分类号: TN838

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017288

Analysis of operation environment influence of 1.8 GHz TDD-LTE industry private network

DU Tao¹, DENG Xiaohui¹, LI Gang²

1. Potevio Information Technology Co., Ltd., Beijing 100080, China

2. The State Radio Monitoring Center Testing Center, Beijing 100041, China

Abstract: According to current spectrum regulation, band 1 785~1 805 MHz is the only authorized wireless broadband spectrum. For most industry private network bearer business is directly related to safety production, it is necessary to analyze the running environment of the wireless spectrum operation. According to the planning of the 3GPP band and Band3 FDD-LTE band adjacent, it is necessary to analyze whether the Band3 frequency band interferes with the 1.8 GHz TDD-LTE private network. Based on the relevant frequency policies and model approval issued by the current state, the interference between the base stations was analyzed and suggestions for the relevant model approval documents were made.

Key words: 1.8 GHz TD-LTE band, Band3 FDD-LTE frequency band, wireless interference, private wireless network

1 引言

2016 年底全球移动电话用户总数已经达到 74 亿户, 基本达到全球人均一部移动电话的水平, 移动电话已经成为人们必不可少的生活工具。同

样, 移动通信技术, 在近十几年中也得到了飞速的发展, 短短的十几年 3G 和 4G 已经来到人们面前, 5G 技术也将进入实用阶段。从应用的角度来看, 公用移动通信的发展, 必将带动无线宽带行业专网的发展。

1.1 无线行业专网发展及特点

为适应 1 800 MHz 频段本地无线接入技术的发展,满足交通(含城市轨道交通等)、电力、石油、水利、民航等行业专用通信网和公众通信网的应用需求,根据我国无线电频率划分规定及频率使用现状,2015 年 2 月工业和信息化部(以下简称工信部)重新发布了 1 785~1 805 MHz 频段无线接入系统频率使用方法,工信部在频率分配上铺平了行业专网发展的道路。

同时,行业专网的各个主体本身也在制定自身无线宽带网络的发展规划,城市轨道交通为保证 CBTC(基于无线通信的列车自动控制系统)等安全信息的可靠传输,城市轨道交通协会也在《中城轨【2016】003 文》中建议各会员单位在新建轨道交通线路上采用 1 800 MHz 的 TDD-LTE 技术、依据 LTE-M 规范建设综合车地无线通信系统。同时电力行业、石油、民用航空、港口等行业也在积极筹建 LTE 宽带专网。

无线行业专网的特点就是为政府部门、公共安全、公共事业、工商业以及电力、交通、港口、航运等部门和用户提供应急通信、指挥调度、日常工作通信等服务的专用通信网络。相比公用通信网,无线专网更强调社会效益,其系统应用更加关注安全、可靠、高效、可控等特性。对于无线行业专网来说,安全和可靠的要求远远高于公用通信网。

1.2 无线专网频率干扰因素

在无线专网建设中,非常关注的问题之一,就是频率之间的干扰,有专网频率自身的干扰问题,更加关注的是与其他频率之间的相互干扰,

直接干扰来源于 3GPP 标准定义的 Band3 频段,相关频率划分如图 1 所示。

本文在进行干扰分析时,主要基于以下 5 个因素来考虑。

- 行业专网的建设往往为安全生产或指挥调度服务,同时建设使用年限一般在 10 年以上,因此需要保证行业专网在至少 10 年内频率无干扰地可靠使用。
- 国内目前明确行业可以使用授权频率的宽带专网频段只有 1 785~1 805 MHz,所以只能基于这一频率的干扰环境进行分析。
- 1 785~1 805 MHz 无线接入频段(在该频段建设 TDD-LTE 专网的以下简称 1.8 GHz TD-LTE 专网)相邻近的频谱为 3GPP 标准定义的 Band3 频段,根据 3GPP 组织规定,Band3 为国际主流的 1 800 MHz 频段,具体就是 1 710~1 785 MHz(上行)、1 805~1 880 MHz(下行),如图 1 所示。
- 由于频率分配的原因 1.8 GHz 无线接入频段与 Band3 之间频率没有设置保护间隔频段,这样邻近频率特别是基站下行信号,对 1.8 GHz TD-LTE 行业专网必然会产生干扰影响。
- 目前,国家已经颁布的相关频率政策均关注于行业专网对公网运营商的频率安全保护,对 1.8 GHz TDD-LTE 无线接入频段目前还没有提出任何保护要求,这就需要在分析的基础上,提出对专网频段的保护措施。

从图 1 中可以看出,根据频率分配,在我国

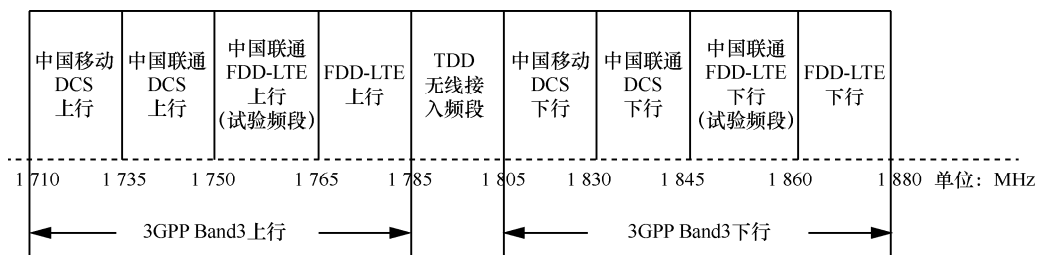


图 1 1.8 GHz 频段频率分配现状



对 1.8 GHz TD-LTE 频率直接干扰影响最大的是中国移动 DCS 下行 (25 MHz 带宽) 和中国联通 DCS 下行 (15 MHz 带宽), 这些频段将来很可能用于 FDD-LTE 中, 现在已有设备性能不好再变动了, 但是一旦用于 FDD-LTE 必须考虑其对行业专网的影响。

在本文的分析中, 主要关注的干扰为 FDD-LTE 基站发射对 1.8 GHz TD-LTE 专网基站接收的干扰, 干扰又分为阻塞干扰和杂散干扰两种情况。

衡量基站通信系统性能的一个重要指标参数为 ACIR (adjacent channel interference power ratio, 邻信道干扰功率比), ACIR 衡量了存在干扰的链路上, 干扰系统的发送总功率与受扰系统接收到的干扰功率之比, 其值由干扰发射机的 ACLR (adjacent channel leakage ratio, 相邻频道泄漏比) 和受扰接收机的 ACS (adjacent channel selectivity, 邻道选择性) 两个指标决定, 其相互关系为:

$$\frac{1}{ACIR} = \frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS} \quad (1)$$

可见, 要分析一个系统的受扰程度, 其不仅仅是干扰系统带外无效发射指标一个因素, 还包含受扰系统对干扰系统的干扰抑制能力, 也就是所谓的“反干扰”能力。

2 设备性能指标要求的确定

本文在进行相关分析中, 为保证分析数据客观有效, 所引用的 FDD-LTE 发射机相关指标和

TDD-LTE 接收机相关指标均引用通信行业标准以及国家无线电管理委员会正式发布文件中规定的指标。

2.1 FDD-LTE 基站发射指标的确定

YDT 2573-2013 行业标准中明确定义带外发射的性能要求定义为邻道抑制比 (ACLR) 和频谱发射模板 (即工作频段非期望发射)。

ACLR 是以分配的信道频率为中心频率的载波平均功率与相邻的信道频率为中心频率的载波平均功率的比值。该性能适用于所有类型的发射机 (单载波或者多载波), 其指标要求见表 1, 表 1 给出了在不同带宽下 (这里选取了 5、10、15、20 MHz 带宽) ACLR 的标准取值。

表 1 是适用于下行工作频带以及超出下行工作频带上下各 10 MHz 频段范围内的非期望发射 ACLR 数值的选择, 而对于超出上述频段范围的非期望发射由频谱发射模板和杂散发射的性能要求做出限制, 频谱发射模板指标要求见表 2, 其他频段的杂散发射的性能指标要求见表 3。表 2 和表 3 是在不满足表 1 的条件要求而使用的测量指标, 特别是表 2 具有一定的区域性应用特性。应该注意的是, 频谱发射模板和 ACLR 两个指标在 3GPP 中是同属于“带外发射”指标, 频谱发射模板只是在特定的一些区域需要满足的一个指标, 而在其他某些地域则不一定要求, ACLR 指标则是在任何情况都必须满足。一般情况下, 宏覆盖基站, 可以取表 1 的 45 dB 或者 -15 dBm/MHz 中较宽松的限值来作为发射基站的指标。

表 1 成对频谱下基站的 ACLR

E-UTRA 发射信号信道带宽 $BW_{\text{Channel}}/\text{MHz}$	基站相邻信道中心频率与第一个或最后一个发射载波中心频率的偏移量	假定的相邻信道载 (资料性)	在相邻信道频率上的滤波器类型及相应滤波器带	ACLR 限值/dB
5、10、15、20	BW_{Channel}	E-UTRA of same BW	Square (BW_{Config})	45
	$2 \times BW_{\text{Channel}}$	E-UTRA of same BW	Square (BW_{Config})	45
	$BW_{\text{Channel}}/2 + 2.5 \text{ MHz}$	3.84 Mchip/s UTRA	RRC (3.84 Mchip/s)	45
	$BW_{\text{Channel}}/2 + 7.5 \text{ MHz}$	3.84 Mchip/s UTRA	RRC (3.84 Mchip/s)	45

根升余弦滤波器应该等同于 3GPP TS 25.104 中定义的发射脉冲成型滤波器, 码片速率按照表格中的定义。

注: BW_{Channel} 和 BW_{Config} 是在分配信道频率发射的 E-UTRA 信号的信道带宽和发射带宽配置。

表 2 5、10、15 和 20 MHz 信道带宽下地域性频谱发射模板（类型 B，选项 2）

测量滤波器 3 dB 截至点的 频率偏移, Δf /MHz	测量滤波器中心频率的频率偏移, f_{offset} /MHz	最小要求	测量带宽 (注 1)
$0 \leq \Delta f < 0.2$	$0.015 \leq f_{offset} < 0.215$	-14 dBm	30 kHz
$0.2 \leq \Delta f < 1$	$0.215 \leq f_{offset} < 1.015$	$-14 \text{ dBm} - 15 \cdot \left(\frac{f_{offset}}{\text{MHz}} - 0.215 \right) \text{ dB}$	30 kHz
(注 2)	$1.015 \leq f_{offset} < 1.5$	-26 dBm	30 kHz
$1 \leq \Delta f < 10$	$1.5 \leq f_{offset} < \min(10.5, f_{offset_{max}})$	-13 dBm	1 MHz
$10 \leq \Delta f < \Delta f_{max}$	$10.5 \leq f_{offset} < f_{offset_{max}}$	-15 dBm (注 3)	1 MHz

注 1：本地或者区域性规范可能会定义其他没有被包含在内的频段范围；

注 2：频率范围保证取值范围是连续的；

注 3：性能要求不适用于 $\Delta f < 10$ MHz 的情况。

表 3 基站杂散发射限值（类型 B）

频率范围	最大电平/dBm	测试带宽	备注
9~150 kHz	-36	1 kHz	注 1
150 kHz~30 MHz	-36	10 kHz	注 1
30 MHz~1 GHz	-36	100 kHz	注 1
1~12.75 GHz	-36	1 MHz	注 2

注 1：带宽参见 ITU-R SM.329, s4.1。

注 2：带宽参见 ITU-R SM.329, s4.1。频率上限参见 ITU-R SM.329, s2.5 表 1。

2.2 TDD-LTE 基站接收性能指标的确定

1.8 GHz TD-LTE 的接收性能依据 YDT 2571 规范的要求，TDD-LTE 基站在不同的带宽情形下的接收性能见表 4、表 5。

3 TDD-LTE 基站的受扰情况分析

3.1 假定设备参数

根据表 1~表 5 中的数据要求，为方便定量分

析频率安全，对各系统的设备参数以及网络参数进行假定，假定数据采用实际网络常用参数，具体针对每个工程中采用的参数差异对分析结论不会产生实质影响。

Band3 FDD-LTE 基站每逻辑通道发射功率：

$P_{out_FDD-LTE} = 46 \text{ dBm}。$

Band3 FDD-LTE 基站发射天线增益：

$G_{tx_FDD-LTE} = 15 \text{ dBi}。$

表 4 宏覆盖基站邻道选择性

E-UTRA 信道 带宽/MHz	有用信号平均 功率/dBm	干扰信号 平均功率/dBm	干扰信号中心频率到有用信号 信道边缘的偏移量/MHz	干扰信号类型
10	$P_{REFSENS} + 6 \text{ dB}$	-52	2.507 5	5 MHz E-UTRA 信号
15（可选）	$P_{REFSENS} + 6 \text{ dB}$	-52	$\pm 2.512 5$	5 MHz E-UTRA 信号
20	$P_{REFSENS} + 6 \text{ dB}$	-52	2.502 5	5 MHz E-UTRA 信号

注： $P_{REFSENS}$ 由 YDT 2571 表 88 规定。

表 5 宏覆盖基站阻塞性能要求

干扰信号中心频率/MHz	干扰信号平均 功率/dBm	有用信号平均 功率/dBm	干扰信号中心频率到有用信号 信道边缘的最小频率偏移量/MHz	干扰信号类型
(FUL_low-20)to(FUL_high+20)	-43	$P_{REFSENS} + 6 \text{ dB}$	7.5	5 MHz E-UTRA 信号
1~(FUL_high+20) to (FUL_low-20)~12 750	-15	$P_{REFSENS} + 6 \text{ dB}$	—	连续波

注： $P_{REFSENS}$ 由 YDT 2571 表 88 规定。



1.8 GHz TDD-LTE 基专网站天线增益：
 $G_{\text{TDD-LTE}} = 15 \text{ dBi}$ 。

Band3 FDD-LTE 基站和车地综合无线基站工作带宽相同且均为 $BW = 10 \text{ MHz}$ 。

与 Band3 FDD-LTE 共存时覆盖规划容忍在基站接收灵敏度恶化 $\leq 6 \text{ dB}$ 。

3.2 5 MHz 保护带条件下 FDD-LTE 基站对 1.8 GHz TDD-LTE 专网基站的接收影响

在有 5 MHz 保护带宽情况下,为保证 1.8 GHz TDD-LTE 专网不被 Band3 FDD-LTE 基站阻塞,则希望 1.8 GHz TDD-LTE 专网基站接收的最大电平小于表 5 要求的宏覆盖基站阻塞性。则:

$$\begin{aligned} PL_{\min 1} &\geq P_{\text{out_FDD-LTE}} + G_{\text{tx_FDD-LTE}} + G_{\text{TDD-LTE}} - P_{\text{r1_FDD-LTE_max}} \\ &= P_{\text{out_FDD-LTE}} + G_{\text{tx_FDD-LTE}} + G_{\text{TDD-LTE}} - P_{\text{r1_FDD-LTE_block}} \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $P_{\text{r1_FDD-LTE_max}}$ 表示 1.8 GHz TDD-LTE 专网基站承受 Band3 FDD-LTE 基站载波信号的最大功率; $P_{\text{r1_FDD-LTE_block}}$ 表示 1.8 GHz TDD-LTE 专网宏覆盖基站阻塞电平; $PL_{\min 1}$ 表示 1.8 GHz TDD-LTE 专网基站抗 Band3 FDD-LTE 基站阻塞的最低空间隔离度要求。

根据表 5 的第一项 $P_{\text{r1_FDD-LTE_max}} \leq -43 \text{ dBm}$ 以及式 (2) 对应的隔离要求: $PL_{\min 1} \geq 46 + 15 + 15 - (-43) = 122 \text{ dB}$, 依据水平隔离计算式:

$$PL_1 = 22 + 20 \lg(d/\lambda) \quad (3)$$

其中, d 表示隔离距离 (m), λ 表示中心频率对应的波长 (m), 1.8 GHz 频率的波长为 0.166 7 m。

可以算出,在基站共存情况下水平空间间隔要求在 16.67 km,这一指标很难满足现实的工程条件。因此可知,现有指标的 Band3 FDD-LTE 基站将会对 1.8 GHz TDD-LTE 专网产生明显的阻塞干扰。

3.3 无保护带条件下 FDD-LTE 基站对 1.8 GHz TDD-LTE 专网基站的接收影响

因为中国移动 Band3 频段与 1.8 GHz TDD-LTE 专网频段相邻,工程可实现的滤波器矩形系数限

制,采用 1 795~1 805 MHz 部署 TD-LTE 的基站对 1 800~1 805 MHz 抑制能力有限,因此将在 1.8 GHz TDD-LTE 专网与 1 800~1 805 MHz 频段 FDD-LTE 公网共存按照邻道部署近似分析。

因此专网基站共存接收性符合表 4 条件下,为保证 1.8 GHz TD-LTE 专网覆盖性能可控,则希望 1.8 GHz TDD-LTE 专网基站接收的中国移动 Band3 FDD-LTE 的载波信号功率最大电平小于表 4 中的干扰信号功率 -52 dBm,将相关数据代入式 (2)。

$P_{\text{r_FDD-LTE_interfer}}$ 为 1.8 GHz TDD-LTE 专网接收中国移动频段 Band3 FDD-LTE 基站干扰信号。因为 $P_{\text{r_FDD-LTE_interfer}} = -52 \text{ dBm}$, 因此,根据式 (2) 对应的隔离要求: $PL_{\min 2} \geq 46 + 15 + 15 - (-52) = 128 \text{ dB}$ 。在基站共存情况下依据式 (3) 水平空间间隔要求在 40 km 以上,因此中国移动 Band3 FDD-LTE 基站将对 1.8 GHz TDD-LTE 专网覆盖范围产生明显影响。

3.4 无保护频带下中国联通频段对 1.8 GHz TDD-LTE 专网基站的影响

因为中国联通频段与 1.8 GHz TD-LTE 专网频段间隔大于 10 MHz,可以认为 1.8 GHz TD-LTE 专网受中国联通 Band3 FDD-LTE 基站干扰主要由表 3 频谱发射模板中定义的杂散发射功率进入 1.8 GHz TD-LTE 专网频段造成低噪抬升来影响基站的覆盖距离,为保证 1.8 GHz TD-LTE 专网覆盖性能没有明显的恶化,则希望中国联通 Band3 FDD-LTE 基站的带外辐射功率造成的低噪抬升小于 3 dB。因此希望中国联通 Band3 FDD-LTE 基站的进入专网工作带宽内的带外辐射功率不高于专网基站的热噪声功率。 $P_{n0_TDD-LTE_10 \text{ MHz}}$ 为专网基站 10 MHz 小区的热噪声功率,可表示为:

$$\begin{aligned} P_{n0_TDD-LTE_10 \text{ MHz}} &= -174.6 + NF + 10 \lg(10 \times 10^6) \\ &= -99.6 \text{ dBm} \end{aligned} \quad (4)$$

其中, NF 为专网基站噪声系数,取值 5 dB。

$$\begin{aligned} PL_{\min 3} &\geq P_{\text{t_FDD-LTE_interfer}} + G_{\text{tx_FDD-LTE}} + \\ &G_{\text{TDD-LTE}} - P_{n0_TDD-LTE_10 \text{ MHz}} \end{aligned} \quad (5)$$

其中, $P_{t_FDD-LTE_interfer}$ 为 Band3 FDD-LTE 基站落入 1.8 GHz TDD-LTE 专网工作带宽内无用辐射功率。由表 3 可知, $P_{t_FDD-LTE_interfer} = -36 + 10\lg 10 = -26 \text{ dBm}$ 。

根据式 (2) 隔离要求: $PL_{\min 3} \geq -26 + 15 + 15 - (-99.6) = 103.6 \text{ dB}$ 。

在基站共存情况下水平空间间隔要求 2 km 以上, 这一要求比较难满足现实的工程条件, 因此中国联通 Band3 FDD-LTE 基站将对 1.8 GHz TDD-LTE 专网覆盖产生一定影响。

综上所述, 无论 Band3 频段的下行信道, 无论在有无隔离的情况下, 都会对 1.8 GHz TDD-LTE 专网覆盖产生影响, 其影响的程度会根据不同状态下影响不一。

4 结束语

由以上分析可知, 在目前对于国家颁布的 1 800 MHz 和 1 900 MHz 频段国际移动通信系统基站射频技术指标条件下, 基于已经批准中国联通在 Band3 开展与 FDD-LTE 混合组网的试验, 如果后续 Band3 频段被运营商广泛用于 FDD-LTE 组网, 将势必对目前行业可以唯一合法使用的宽带接入频段带来巨大的频率安全影响。为保证 1 785~1 805 MHz 频段的频率可用性, 建议如下。

- 无线电管理机构后续如发布 Band3 频段建设 FDD-LTE 的行政许可时, 对设备型号核准指标增加 Band3 频段 FDD-LTE 在 1 785~1 805 MHz 频段的系统共存时的无效辐射功率要求, 取值为 1 785~1 805 MHz, 小于或等于 $-65 \text{ dBm}/(\text{MHz} \cdot \text{通道}^{-1})$ 。
- 补充要求 1.8 GHz TDD-LTE 专网在于 Band3 FDD-LTE 在有 5 MHz 保护间隔情况下, 基站的接收机阻塞电平由 -43 dBm 提升到 -5 dBm 。

在保证以上两个指标情况下, 则可以将两个系

统间的空间隔离度要求降低到 80 dB 左右, 在专网和公网共存情况下, 两系统间的频率干扰将容易解决, 对于行业专网承载安全性业务也将得到保障。当然, 在工程上也可采用垂直隔离的措施, 可以有效地大幅降低 Band3 FDD-LTE 对 1.8 GHz TDD-LTE 专网覆盖的影响, 这就是需要公网和专网建设时, 在基站设置上统一规划, 综合平衡。

参考文献:

- [1] 3GPP. Base station (BS) radio transmission and reception: TS 36.104[S]. 2011.
- [2] YDT. LTE FDD 数字蜂窝移动通信网基站设备技术要求(第一阶段): 2573-2013[S]. 2013.
YDT. Technical requirements for base station equipment in LTE FDD digital cellular mobile communication network (phase one): 2573-2013[S]. 2013.
- [3] YDT. LTE FDD 数字蜂窝移动通信网基站设备测试方法(第一阶段): 2574-2013[S]. 2013.
YDT. Test method for base station equipment of LTE FDD digital cellular mobile communication network (phase one): 574-2013[S]. 2013.
- [4] YDT. TD-LTE 数字蜂窝移动通信网基站设备技术要求(第一阶段): 2571-2013[S]. 2013.
YDT. Technical requirements for base station equipment of TD-LTE digital cellular mobile communication network(stage one): 2571-2013[S]. 2013.
- [5] YDT. TD-LTE 数字蜂窝移动通信网基站设备测试方法(第一阶段): 2572-2013[S]. 2013.
YDT. Test method for base station equipment of TD-LTE digital cellular mobile communication network(phase one): 2572-2013[S]. 2013.
- [6] YDT. 数字蜂窝移动通信网 LTE FDD 无线网工程设计规范: 5224-2015[S]. 2013.
YDT. Code for engineering design of LTE FDD wireless network for digital cellular mobile communication network: 5224-2015[S]. 2013.
- [7] 中国城市轨道交通协会. 关于推荐城轨交通新建项目使用 1.8 GHz 专用频段和 LTE-M 综合无线通信系统的通知: 中城轨[2016]003 号文件[EB]. 2016.
Urban Rail Transit Association of China. Notice about recommending the new urban rail transit project uses 1.8 GHz dedicated frequency band and LTE-M integrated wireless communication system: URTAC [2016]003[EB]. 2016.



- [8] 工业和信息化部.工业和信息化部关于重新发布 1 785-1 805 MHz 频段无线接入系统频率使用事宜的通知: 工信部无[2015]65 号文件[EB]. 2015.

Ministry of Industry and Information Technology. Notice about republishment of frequency usage of 1785-1805 MHz band wireless access systems: MIIT [2015]65[EB]. 2015.

- [9] 工业和信息化部. 1 800 和 1 900 兆赫兹频段国际移动通信系统基站射频技术指标和台站设置要求:工信部无[2012]436 号文件[EB]. 2015.

Ministry of Industry and Information Technology. Radio frequency specifications and station setting requirements for base stations of international mobile communication systems in the 1800 and 1900 MHz frequency bands: MIIT [2012]436[EB]. 2015.

- [10] 工业和信息化部. 关于同意联通在 2 100 MHz 与 1 800 MHz 频投开展 LTE FDD 系统载波聚合试验的批复: 工信部无[2016]195 号[EB]. 2016.

Ministry of Industry and Information Technology. Reply of agreement on China Unicom to carry out LTE FDD system carrier aggregation test in 2100 MHz and 1800 MHz frequency: MIIT [2016]195[EB]. 2016.

- [11] PARSON S J D. The mobile radio propagation channel[M]. New York: Springer, 2007.

[作者简介]



杜涛(1975—), 男, 普天信息技术有限公司副总裁、高级工程师, 长期从事 3G、4G 产品研究与产品开发以及基于 TD-LTE 的宽带集群技术研究与产品开发。

邓晓辉(1974—), 男, 普天信息技术有限公司政务网产品总监、工程师, B-TrunC 产业联盟产业推进组和频谱组成员、应急通信产业联盟成员, 主要研究方向为 LTE 230 MHz 以及宽带集群产品、专网频率、国家频率政策。

李钢(1983—), 男, 国家无线电监测中心检测中心高级工程师, 主要研究方向为无线接入设备、专业无线通信设备, 微功率设备及广电设备的测试方法研究, 相关测试标准和规范的制定。