

5G 共站配套改造方案分析及建议

Analysis and Suggestions on Transformation Scheme of 5G Co-site Supporting Facilities

陈金戈,袁 鹏,许建新,孙 地(中讯邮电咨询设计院有限公司广东分公司,广东 广州 510627)

Chen Jingge, Yuan Peng, Xu Jianxin, Sun Di (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Guangdong Branch, Guangzhou 510627, China)

摘 要:

随着国内5G商用牌照的发放,移动通信网络正式进入5G时代,通过对机房、天馈、电源等网络现状的分析,给出不同站点类型机房面积、市电引入、开关电源容量、蓄电池容量、空调配置及抱杆预留标准建议。提出5G共站配套改造方案,并通过天面、机房和电源改造的案例,对方案进行了验证。

关键词:

5G;共站;配套改造;标准

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2019.12.006

文章编号:1007-3043(2019)12-0029-06

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the official issuance of 5G commercial License in China, the mobile communication network has officially entered the 5G era. Through the analysis of the current situation of computer room, antenna feeder, power supply and other networks, it gives suggestions on the area of machine rooms of different station types, the introduction of municipal power, the capacity of switching power supply, the capacity of storage battery, the configuration of air conditioning and the standard of holding pole reservation. The transformation scheme of 5g co-site supporting facilities is put forward, and it is verified by the case of an-tenna platform, machine room and power supply transformation.

Keywords:

5G; Co-site; Supporting facilities transformation; Standard

引用格式:陈金戈,袁鹏,许建新,等. 5G共站配套改造方案分析及建议[J]. 邮电设计技术,2019(12):29-34.

0 前言

2019年6月,工信部向中国电信、中国移动、中国联通、中国广电发放5G商用牌照,中国正式进入5G时代。随着5G商用牌照的发放,大规模商用网络建设即将到来,5G网络建设初期将主要以共站建设为主。如何更快速、更节约、更合理地进行现网配套改造为5G大规模建设打好基础是运营商将要面对的问题。

1 网络现状分析

目前5G站点涉及的主要是天面空间、机房空间及

动力等几个方面,以某地(市)为例,通过对现网的站址归属情况、机房情况、电源情况及天馈情况进行分析,制定出快速、节约、合理的配套改造标准建议及改造方案。

1.1 站址归属

自2014年9月中国铁塔成立以来,运营商陆续将大部分站点所有权移交给铁塔公司,运营商通过租用铁塔公司站点来进行网络部署。在某地(市)2065个物理站点中,铁塔公司站点占比86%,中国联通站址占比12%,其他运营商占比1%。在制定配套改造方案时,应充分考虑这个因素,最大程度地减少铁塔公司租金,节约建设成本。

1.2 机房类型

收稿日期:2019-10-16

目前机房类型主要有一体化机柜、简要机房、租赁机房、土建机房及无机房站点。在现网的机房中,一体化机柜占38%,租赁机房占27%,简易机房占23%,无机房站点占8%,土建机房占3%。

CU/DU的安装需考虑机房是否有足够的安装空间,其中,一体化机柜要考虑是否有空余槽位安装CU/DU;简易机房需注意墙面不得挂装设备,如无安装空间,需考虑新增综合柜或落地机架;无机房的站点,需参考现有设备的安装方式如AAU拉远等。

1.3 电源类型

5G设备的功耗远大于2G/3G/4G设备,在5G建设时要充分考虑电源容量需求及外市电容量是否需要扩容等问题。采用直流供电的站点,如开关电源和一体化电源柜需考虑开关电源设备是否老旧需要替换,开关电源容量是否满足5G设备用电需求,电源模块是否需要替换或增加等问题;采用交流供电的站点需考虑就近新建室外电源(带电池)或外市电引入容量扩容。目前的站点大多数采用直流供电,但仍有部分站点因物业等原因无法进行直流改造,仍需采用交流供电,其中,开关电源占54%,一体化电源柜占38%,交流电占9%。

1.4 天馈现状

天面资源是制约移动网建设的最重要因素,经过多年的网络建设与发展,目前中国联通正在运行的网络包括GSM900、DCS1800、U900、U2100、L900、L1800、L2100、L2600等3代网络、8种制式,天面资源极度紧张,超过86%的站点存在多个网络制式的情况,其中,49%的站点存在3个以上的网络制式,而在这些多系统站点中,有超过71%的站点采用共天馈的方式。考虑到物业问题及铁塔公司租金等因素,5G网络的建设势必要对现网的天馈系统进行进一步整合,以满足5G AAU的安装要求。

2 共站配套改造原则

2.1 机房改造原则

加快老旧设备整合、腾退、挖潜、盘活现有机房资源,实现对现有机房资源的利用最大化、使用最优化,如没有可利用设备安装空间的,可根据不同机房类型按以下原则进行改造。

- a) 一体化机柜:考虑新增一体化设备柜安装5G CU/DU。
- b) 新增综合架安装5G CU/DU。

c) 土建机房及租赁机房:如墙面有可挂装设备空间,优先考虑设备挂墙,其次考虑新增综合架等。

d) 无机房:优先考虑BBU集中放置,其次考虑新增一体化柜安装CU/DU。

2.2 电源改造原则

a) 外市电引入:根据“市电引入容量(kVA)=[(P_{通信设备}+P_{电池充电})/0.9+P_{空调}+P_{照明}+P_{其他耗电}]/0.9”确定外市电需求。若外市电容量不足,则优先考虑电源减配方案,再考虑外市电扩容。外市电容量不足且不能扩容的节点,须调整节点布局。

b) 电源系统:扩容或替换现有电源系统,以满足新增容量需求。

c) 原则上一般站点不备电,布局站点备电时长为0.5~1h(布局站点由地(市)分公司网建、网优、运维三部门共同确认,优先满足传输节点和BBU集中点的备电需求)。

d) 蓄电池:严格按照建设规范要求配置,严禁超配。原则上根据以下蓄电池容量计算公式核算电池容量满足情况。

$$Q \geq \frac{KI_1 T_1}{\eta_1 [1 + \alpha(t - t_0)]} + \frac{KI_2 T_2}{\eta_2 [1 + \alpha(t - t_0)]}$$

式中:

Q——蓄电池的额定容量

K——安全系数,取1.25

I₁——一次下电负荷电流(A)

I₂——二次下电负荷电流(A)

T₁——一次下电设备放电小时数(h)

T₂——二次下电放电小时数(h)

α——电池温度系数,本设计取0.008

t——放电时实际电解液的最低温度,通常取蓄电池安装地的最低环境温度;

t₀——蓄电池额定容量的电解液温度,通常取25℃

η——放电容量系数

备电时长(电池放电小时数)与其他参数的对应关系如表1所示。

根据容量满足情况,如需要新增或替换电池,应考虑机房安装空间及承重的要求,如机房条件无法满足铅酸蓄电池要求,可以考虑采用锂电池。如受机房条件限制不能扩容,则调整DU集中的布局。

2.2 天面改造原则

表1 备电时长与其他参数的对应关系

电池放电小时数/h	0.5			1			2	3	4	6	8	10	20
放电中止电压/V	1.65	1.7	1.75	1.7	1.75	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.85
放电容量系数 η	0.48	0.45	0.4	0.58	0.55	0.45	0.61	0.75	0.79	0.88	0.94	1	1
K	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
α	0.01	0.01	0.01	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.006	0.006
t/h	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
C $C=KT/\eta[1+\alpha(t-t_0)]$	1.63	1.74	1.95	2.57	2.71	3.31	4.88	5.95	7.53	10.15	12.66	14.2	28.41
t/h	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
C $C=KT/\eta[1+\alpha(t-t_0)]$	1.45	1.54	1.74	2.34	2.47	3.02	4.45	5.43	6.88	9.26	11.56	13.3	26.6

注:①新增蓄电池容量的需求按照设备最大功率配置。
②蓄电池充电时间按照10h均充计列。

a) 租赁铁塔公司站点:天面方案制定坚持成本优先,兼顾网络覆盖和质量的原则,典型天面方案为900M&1 800M&2 100M+3 500M。3.5 GHz系统优先采取垂直隔离方式与其他系统进行空间隔离,按次序优先选取旧天线腾退,更换多端口天线,新增抱杆/平台的顺序为5G AAU提供安装空间。若(多端口天线购置费用+天线更换施工费)/(物理单站租金/单站计费单元数量×20%)≥3(等效回收期),则应优先考虑新增抱杆/平台,否则应优先考虑更换多端口天线。

b) 自有站点:天面方案制定按照网络覆盖、质量优先,兼顾成本的原则,天面典型方案为900M+1 800M&2 100M+3 500M。根据天面资源现状,3.5 GHz优先采取垂直隔离方式与其他系统进行空间隔离,按次序优先选取利旧抱杆,新建抱杆,更换抱杆,现网天线整合(更换多端口天线)的方式为5G AAU提供安装空间。

3 典型站点配套改造标准建议

不同站点类型机房面积、市电引入、开关电源容量、蓄电池容量、空调配置及抱杆预留标准建议如表2所示。

依据中国联通标准通用抱杆(三斜撑),按照目前的5G天线规格及普通天线的规格(见表3),取天线的最大迎风面积、天线重量,采用3D3S结构计算软件建模计算抱杆的挂载能力。中国联通通用三斜撑抱杆的挂载能力核算结果如表4所示。

4 共站配套改造方案

4.1 天馈整改方案

因现网的大量站点存在多系统、共天线情况,为保证5G网络达到最大的覆盖效果,需为5G AAU预留合理的安装空间,优先利旧现有架设物,同时,对空间

表2 不同站点类型机房面积、市电引入等预留标准建议

站点类型	典型配套	DU集中机房(备电1h)	普通机房(备电1h)	普通机房(不备电)	AAU拉远站(不备电)	AAU拉远站(备电1h)	
BBU/CU/DU放置数		5	1	1	0	0	
RRU/AAU放置数		3	3	3	3	3	
单5G	机房面积/m ²	40	20	-	-	-	
4G+5G							
3G+4G+5G							
单5G	市电引入	15	10	10	10	10	
4G+5G		20	15	10	10	10	
3G+4G+5G		25	15	10	10	10	
单5G	开关电源最大容量	250	200	-	-	150	
4G+5G		350	250	-	-	200	
3G+4G+5G		450	300	-	-	200	
单5G	蓄电池容量	400	300	0	0	300	
4G+5G		600	400	0	0	300	
3G+4G+5G		1000	600	0	0	300	
单5G	空调配置	2台2P	-	-	-	-	
4G+5G		1台2P+1台3P	1台2P	-	-	-	
3G+4G+5G		2台3P	1台3P	-	-	-	
单5G	抱杆预留	各地市根据当地风压、单杆安装天线/AAU情况、楼层高低,通过查询《中国联通通用抱杆天线挂载数》子表,预留抱杆					
4G+5G							
3G+4G+5G							

表3 天线参数表

天线类型	天线类型2	尺寸/mm	重量/kg
5G天线	5G AAU	880×450×145	45.0
普通天线参考类型1	三频双极化天线	1 350×380×65	15.5
普通天线参考类型2	普通6端口天线	1 460×320×140	19.0

不足的架设物进行天馈整改,包括架设物改造、整合天线等。据统计,需进行天馈改造的站点占比达62%,其中架设物改造占比61%,整合天线占比39%。

表4 联通通用抱杆(三斜撑)天线挂载能力核算表

抱杆型号	层高	天线所在屋面层数:8层以下(25 m)		天线所在屋面层数:8层以上(40 m)	
	基本风压/kpa	6 m	7 m	6 m	7 m
中国联通通用型抱杆 70A	0.30~0.45	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU
	0.50~0.55	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU	1 副 AAU	-
	0.60~0.65	1 副 AAU	-	-	-
中国联通通用型抱杆 70B	0.30~0.45	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU
	0.50~0.55	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU
	0.60~0.65	1 副 AAU 或 1 副天线	-	1 副 AAU 或 1 副天线	-
	0.70~0.75	1 副 AAU 或 1 副天线	-	-	-
中国联通通用型抱杆 83A	0.30~0.45	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线
	0.50~0.55	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线
	0.60~0.65	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	-
	0.70~0.75	1 副 AAU+1 副天线	-	1 副 AAU 或 1 副天线	-
	0.80~0.85	1 副 AAU 或 1 副天线	-	-	-
中国联通通用型抱杆 83B	0.30~0.45	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线
	0.50~0.55	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线
	0.60~0.65	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU
	0.70~0.75	1 副 AAU+1 副天线	-	1 副 AAU+1 副天线	-
	0.80~0.85	1 副 AAU+1 副天线	-	1 副 AAU 或 1 副天线	-
中国联通通用型抱杆 114	0.30~0.45	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线
	0.50~0.55	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线
	0.60~0.65	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线
	0.70~0.75	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线
	0.80~0.85	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线
	0.90 及以上	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU+1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线
中国联通通用型抱杆	0.30~0.45	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线
	0.50~0.55	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线
	0.60~0.65	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线
	0.70~0.75	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线
	0.80~0.85	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线
	0.90 及以上	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线	1 副 AAU 或 1 副天线

天馈整改方案如图 1 所示。

4.2 机房改造方案

优先利用现有空间安装 5G CU/DU 设备,如无安装空间,可根据不同的机房类型制定相应的机房改造方案;简易机房,考虑新增一体化柜或综合柜;土建机房,考虑新增综合柜或挂墙安装;一体化机房,考虑在

楼面寻找地方挂墙安装或新增一体化柜;租赁机房,根据机房空间考虑挂墙安装、新增一体化柜机新增综合柜。机房改造方案如图 2 所示。

4.3 电源改造方案

4.3.1 总功耗需求

电源改造需根据 5G 设备总功耗核实外市电和电

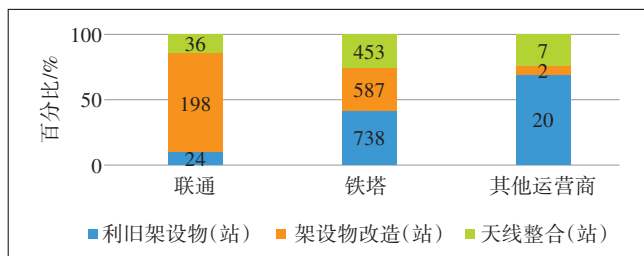


图1 天馈整改方案

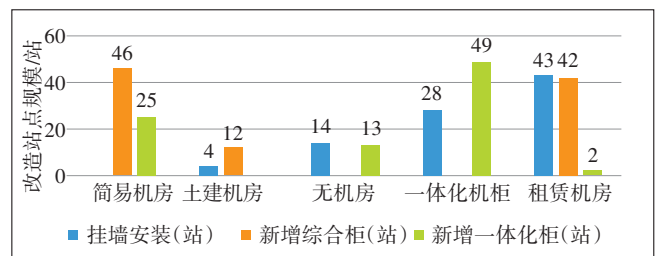


图2 机房改造方案

源线线径是否满足要求,开关电源容量及蓄电池组是否需要扩容或替换。根据现网设备情况,同时考虑 3G/4G/5G 共址,估算总功耗需求。不同站点的功耗及动力需求情况如表5所示。

表5 不同站点的功耗及动力需求

类别	项目	DU集中机房(备电1h)	普通机房(备电1h)	普通机房(不备电)	AAU拉远站(不备电)	AAU拉远站(备电1h)
5G 功耗	CU/DU最大功耗/W	500	500	500	500	500
	AAU最大功耗/W	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
总 需求	CU/DU新增数量	5	1	1	0	0
	AAU新增数量	3	3	3	3	3
	CU/DU功耗/kW	2.5	0.5	0.5	0	0
	AAU功耗/kW	3	3	3	3	3
	3G+4G BBU功耗/kW	4.98	0.996	0.996	0	0
	3G+4G RRU功耗/kW	1.608	1.608	1.608	1.608	1.608
	照明动环及其他功耗/kW	0.5	0.5	0.1	0	0.1
	配套传输功耗/kW	0.5	0.4	0.4	0	0
	备电方式	开关电源+电池组	开关电源+电池组	无	无	一体化柜
	新增蓄电池容量需求/Ah	824	441			297
	配置蓄电池需求	500 Ah×2组	300 Ah×2组			150 Ah×2组
	新增配置蓄电池容量/Ah	1000	600	0	0	300
	蓄电池充电功耗/kW	4.8	2.88	0	0	1.44
	空调新增功耗/kW	4.41	2.205	0	0	0
	新增交流总功耗需求/kW	24.78	13.43	7.34	5.12	6.83
	新增直流功耗/kW	18.30	9.88	6.85	4.85	6.37
新增开关电源容量需求/A	381.32	205.79			132.63	
配置新增开关电源模块数量/块	9	6			4	
配置开关电源容量/A	450	300			200	

4.3.2 线径及空开需求测算

a) 计算电流:单相电载流量(A)=(报装容量)(基站所需电缆kW)×1 000÷0.8÷220

三相电载流量(A)=(报装容量)(基站所需电缆kW)×1 000÷0.8÷380÷1.732

b) 选择电缆:查载流量表,选择对应电缆。载流量表如表6所示。

c) 确定输入开关:输入开关(A)=基站所需电缆载流量(A)×1.25。空开规格为6、10、16、20、32、40、63、80、100 A等。

4.3.3 改造方案

表6 载流量表(A)

标称截面/mm ²	单相电		三相电	
	RVVZ型(无铠装)	RVVZ22型(铠装)	RVVZ型(无铠装)	RVVZ22型(铠装)
10	61	76	48	60
16	83	102	62	84
25	116	145	96	119
35	139	173	114	141
50	175	217	144	179

通过对5G设备总功耗核算,结合站点现状,约有64%的站点需要进行电源改造,改造内容涉及外市电扩容、新增或替换开关电源、新增整理模块及DCDU等,具体改造规模如下:新增或替换开关电源138个,增加整流模块282个,新增DCDU 895个,外市电改造1 064个。

5 改造案例

5.1 天面改造

5.1.1 配套3 m抱杆改造成4 m抱杆(案例1)

需求名称:人民政府改造2。

问题描述:原配套方案是新增3根6 m抱杆,但因此站点的物业敏感,经过几次谈判,无法新增6 m抱杆。

解决方案:中国联通天面原方案是3根3 m抱杆,经过与中国联通多次沟通,认为4 m抱杆可以满足要求。根据实际情况,由铁塔公司施工,把3 m抱杆拼接的上半部(1 m抱杆)更换成2 m抱杆,完成4 m抱杆改造。该方案施工简单,满足各方要求。

5.1.2 楼面增高架无空余平台,整合天线(案例2)

需求名称:金钟路南改造2。

问题描述:现场围杆天线已挂满,无空余位置安装5G天线。

解决方案:根据现场情况,腾挪现有天线移出空位,安装中国联通5G天线。

5.2 机房改造

5.2.1 共享其他运营商机房(案例1)

需求名称:华快平云路改造2。

问题描述:此站为天面一体化机柜,原配套方案是新增一体化双柜,因此站点物业敏感,经过谈判无法新增一体化机柜。

解决方案:天面下一层有中国移动站点,铁塔公司主动推送中国移动机房,经过设计复核,认为其动力电源可以满足中国联通的共享需求。通过铁塔公司配套改造后,该机房满足中国联通需求。

5.2.2 改造机柜(案例2)

需求名称:平江路口改造2。

问题描述:此站为路边站点,原方案是新增一体化双柜,经过几次试探施工,都被城管驱除,无法新增加柜。

解决方案:在确认无法协调的情况下,现场勘察发现原动力机柜有多余电池架,经过铁塔公司配套整改,充分利用多余电池架,满足中国联通的空间要求。

5.3 电源改造

5.3.1 改造外电线电缆(案例1)

需求名称:人民政府2。

问题描述:此站为中国联通和中国移动共享,原外电线电缆是6平方单相电路,中国联通5G开通后设备功率增加,外电线电缆承载不够,不能满足设备功率要求,线路发热严重,有很大安全和断电隐患。

解决方案:中国联通5G和4G联合组网测试,设备功率为5 000 kW左右,原线缆满足不了要求,经过设计规划,更换为16平方线路,满足设备要求。

5.3.2 重新寻找接地点(案例2)

需求名称:旧员村二棉厂改造2和天河潭村东改造2。

问题反馈:原2个存量站均接同1个接电点,由于2个站点都要开通5G,导致原接电点不满足负荷要求,无法满足设备要求。

解决方案:经周边摸查,重新寻找接电点满足二棉厂和潭村东的负荷要求,经过外电整改,解决2个站

点的外电问题。

6 结束语

按照《中国联通5G网络建设配套改造指导意见》中关于配套改造的相关原则,本文总结了5G配套改造建设过程遇到的问题和解决方案,提出符合广州、深圳等一线城市及其他城市核心城区的5G配套改造标准,同时针对改造过程中大量存在的抱杆改造需求,首次提出针对不同杆径的较全面天线安装建议,供后续的5G网络建设参考。

参考文献:

- [1] 杨帆. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术探讨[J]. 中国新通信, 2016(23):27.
- [2] 李可才. 关于5G移动通信发展趋势与若干关键技术的探讨[J]. 电子技术与软件工程, 2016(16):39.
- [3] 吴强. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术分析[J]. 教育教学论坛, 2016(22):82-83.
- [4] 赵新亚,张诗淋. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术研究[J]. 中国新通信, 2016,5(1):56.
- [5] 尤肖虎,潘志文,高西奇,等. 5G移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学:信息科学, 2014(5):551-563.
- [6] 曹越. 移动通信网络中5G技术的探究[J]. 无线互联科技, 2014(9):52.
- [7] 夏威,刘冰华. 5G概述及关键技术简介[J]. 电脑与电信, 2014(8):51-52+55.
- [8] 熊必成. 5G网络通信技术应用的前瞻性思考[J]. 信息通信, 2014(11):230.
- [9] 月球,王晓周,杨小乐. 5G网络新技术及核心网架构探讨[J]. 现代电信科技, 2014(12):27-31.
- [10] 肖清华. 蓄势待发、万物互连的5G技术[J]. 移动通信, 2015(1):33-36.
- [11] 李晖,付玉龙. 5G网络安全问题分析与展望[J]. 无线电通信技术, 2015(4):1-7.
- [12] 李章明. 5G移动通信技术及发展趋势的分析与探讨[J]. 广东通信技术, 2015(4):44-46.
- [13] 刘毅,刘红梅,张阳,等. 深入浅出5G移动通信[M]. 北京:机械工业出版社, 2019.
- [14] 杨峰义,张建敏,王海宁,等. 5G网络架构[M]. 北京:电子工业出版社, 2017.

作者简介:

陈金戈, 学士, 主要从事移动网络规划及设计工作;袁鹏, 学士, 主要从事移动网络规划及设计工作;许建新, 学士, 主要从事移动网络规划及设计工作;孙地, 硕士, 主要从事移动网络规划及设计工作。