“十三五”
国家重点出版物出版规划项目



国之重器出版工程
网络强国建设

5G 丛书

Application of 5G in Smart Grid

5G 在智能电网中的应用

陶志强 王 劲 汪梦云 著

中国工信出版集团
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

★ ★ ★
★ “十三五” ★
国家重点出版物出版规划项目

5G 丛书

5G 在智能电网中的应用

Application of 5G in Smart Grid

陶志强 王 劲 汪梦云 著

安徽理工大学 藏書 图書馆

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目（CIP）数据

5G在智能电网中的应用 / 陶志强，王劲，汪梦云著
. -- 北京 : 人民邮电出版社，2019.12(2020.5重印)
（国之重器出版工程·5G丛书）
ISBN 978-7-115-52267-2

Ⅰ. ①5… Ⅱ. ①陶… ②王… ③汪… Ⅲ. ①无线电通信－移动通信－通信技术－应用－智能控制－电网－研究 Ⅳ. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第217347号

内 容 提 要

本书简述了5G的概述、业务场景、系统架构及关键技术以及5G产业发展、行业应用及行业前景；并重点介绍了智能电网概述、5G承载电力业务的基本概念及定义、5G在智能电网的应用场景及价值、5G智能电网整体解决方案、5G商业模式探讨以及5G技术发展在智能电网中应用的总结与展望。

全书语言通俗易懂，架构清晰，适合移动通信、电力能源两大领域的相关人士阅读。

◆ 著 陶志强 王 劲 汪梦云
责任编辑 赵 娟
责任印制 杨林杰

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 http://www.ptpress.com.cn
固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本：720×1000 1/16
印张：15.5 2019年12月第1版
字数：287千字 2020年5月河北第2次印刷

定价：128.00元

读者服务热线：(010)81055493 印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315



陶志强

高级工程师

北京邮电大学硕士

广东省电信规划设计院移动咨询设计院副院长

全国通信设计优秀工作者（中国通信协会）

2003 年硕士毕业于北京邮电大学通信与信息系统专业，重点从事运营商和电力行业通信信息化规划、咨询、设计、研究等工作。曾荣获多项国家级、部级奖项，其中牵头的广东移动“十二五”规划获国家级优秀咨询二等奖；近年来分别参与“深圳第五代移动通信试验网络项目（深圳发改委）”“2018 年国家发改委深圳 5G 电力应用示范项目”，编著发布《5G 助力智能电网白皮书》并发表论文 20 余篇，授权发明专利 5 项。



王劲

高级工程师

南京航空航天大学硕士

广东省电信规划设计院电力能源院副总工程师

全国通信设计优秀工作者（中国通信协会）

2010 年硕士毕业于南京航空航天大学通信与信息系统专业，重点从事运营商和电力行业通信信息化规划、咨询、设计、研究等工作。曾荣获多项国家级、省部级奖项，其中牵头的广东移动“十三五”规划获全国通信优秀咨询一等奖；近年来参与“2018 年国家发改委深圳 5G 电力应用示范项目”“深圳第五代移动通信试验网络项目（深圳发改委）”，编著发布《5G 助力智能电网白皮书》并发表论文 10 余篇，授权发明专利 1 项。



汪梦云

华中科技大学硕士

广东省电信规划设计院移动咨询设计院高级设计师

2012 年硕士毕业于华中科技大学电子与通信工程专业，重点从事运营商的通信信息网络的规划、咨询、设计、研究等工作，近年来参与了广东移动“十三五”规划、“2018 年国家发改委深圳 5G 电力应用示范项目”“深圳第五代移动通信试验网络项目（深圳发改委）”，编著发布《5G 助力智能电网白皮书》并发表业内论文 3 篇，授权发明专利 2 项。

《国之重器出版工程》
编辑委员会

编辑委员会主任：苗　圩

编辑委员会副主任：刘利华　辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉	梁志峰	高东升	姜子琨	许科敏
陈　因	郑立新	马向晖	高云虎	金　鑫
李　巍	高延敏	何　琼	刁石京	谢少锋
闻　库	韩　夏	赵志国	谢远生	赵永红
韩占武	刘　多	尹丽波	赵　波	卢　山
徐惠彬	赵长禄	周　玉	姚　郁	张　炜
聂　宏	付梦印	季仲华		



专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：

于　全　中国工程院院士

王　越　中国科学院院士、中国工程院院士

王小谟　中国工程院院士

王少萍　“长江学者奖励计划”特聘教授

王建民　清华大学软件学院院长

王哲荣　中国工程院院士

尤肖虎　“长江学者奖励计划”特聘教授

邓玉林　国际宇航科学院院士

邓宗全　中国工程院院士

甘晓华　中国工程院院士

叶培建　人民科学家、中国科学院院士

朱英富　中国工程院院士

朵英贤　中国工程院院士

邬贺铨　中国工程院院士

刘大响　中国工程院院士

刘辛军　“长江学者奖励计划”特聘教授

刘怡昕　中国工程院院士

刘韵洁　中国工程院院士

孙逢春　中国工程院院士

苏东林　中国工程院院士

苏彦庆　“长江学者奖励计划”特聘教授

苏哲子　中国工程院院士

李寿平　国际宇航科学院院士



李伯虎　中国工程院院士

李应红　中国科学院院士

李春明　中国兵器工业集团首席专家

李莹辉　国际宇航科学院院士

李得天　国际宇航科学院院士

李新亚　国家制造强国建设战略咨询委员会委员、中国机械工业联合会副会长

杨绍卿　中国工程院院士

杨德森　中国工程院院士

吴伟仁　中国工程院院士

宋爱国　国家杰出青年科学基金获得者

张　彦　电气电子工程师学会会士、英国工程技术学会会士

张宏科　北京交通大学下一代互联网互联设备国家工程实验室主任

陆　军　中国工程院院士

陆建勋　中国工程院院士

陆燕荪　国家制造强国建设战略咨询委员会委员、原机械工业部副部长

陈　谋　国家杰出青年科学基金获得者

陈一坚　中国工程院院士

陈懋章　中国工程院院士

金东寒　中国工程院院士

周立伟　中国工程院院士



郑纬民　中国工程院院士

郑建华　中国科学院院士

屈贤明　国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任

项昌乐　中国工程院院士

赵沁平　中国工程院院士

郝　跃　中国科学院院士

柳百成　中国工程院院士

段海滨　“长江学者奖励计划”特聘教授

侯增广　国家杰出青年科学基金获得者

闻雪友　中国工程院院士

姜会林　中国工程院院士

徐德民　中国工程院院士

唐长红　中国工程院院士

黄　维　中国科学院院士

黄卫东　“长江学者奖励计划”特聘教授

黄先祥　中国工程院院士

康　锐　“长江学者奖励计划”特聘教授

董景辰　工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员

焦宗夏　“长江学者奖励计划”特聘教授

谭春林　航天系统开发总师

本书编委会

洪丹轲　中国南方电网电力调度控制中心

黄　昱　中国南方电网电力调度控制中心

张国翊　中国南方电网电力调度控制中心

周建勇　深圳供电局有限公司

丘国良　深圳供电局有限公司

毛为民　广州供电局有限公司

衷宇清　广州供电局有限公司

孙　磊　广州供电局有限公司

王　维　广州供电局有限公司

王　浩　广州供电局有限公司

李伟坚　广东电网有限公司

施　展　广东电网有限公司

吴赞红　广东电网有限公司

杨　鹏　中国移动通信集团有限公司政企客户分公司

周　茉　中国移动通信集团有限公司政企客户分公司

崔旭升　中国移动通信集团有限公司政企客户分公司

孙晓文　中国移动通信集团有限公司研究院

胡玉双　中国移动通信集团有限公司研究院

郝晶晶　华为技术有限公司

王　健　华为技术有限公司

龚晋华　华为技术有限公司

杨晓华　华为技术有限公司

黄伟如　广东省电信规划设计院有限公司

陈学军　广东省电信规划设计院有限公司

林柔丹　广东省电信规划设计院有限公司

李　盟　广东省电信规划设计院有限公司

张皓月　广东省电信规划设计院有限公司

李家樑　广东省电信规划设计院有限公司



前　言

5G 是移动通信技术发展演进的一个转折点。5G 之前，移动通信在用户层面重点瞄准的是个人用户；在架构层面重点向扁平化演进；在技术层面重点解决带宽提升的问题；在业务层面重点深耕了互联网宽带的应用。在经历了移动互联网、流量经营的蓬勃发展后，时至今日，过去的“连接—流量”红利已逐步消失，5G 需要寻求新的价值点，业界均把这个价值点指向垂直行业的应用及业务拓展。从这个角度看，5G 在用户、架构、技术、业务层面均带来了新的转折点。在用户层面，将更多面向垂直的行业进行深耕；在架构层面，将是网络架构面向软件定义网络（Software Defined Network，SDN）、网络功能虚拟化（Network Function Virtualization，NFV）的整体重构，以更好地支撑行业专网服务；在技术层面，除了大带宽业务的持续优化外，更多地聚焦在低时延、高可靠、大连接等具有物联网特色的需求上；在业务层面，更是进一步探索与行业结合后的业务创新。**总之，移动通信发展至今，已不再是“手机用户—传统电信运营商—通信设备厂商”三点一线的封闭环，而是更加开放地面向社会各行各业，与通信行业一起创造更大的价值。**

在当前阶段，3GPP R15 版本的锁定已为 5G 解决大带宽场景提供了相对成熟的技术支持；2020 年，面向个人客户的大带宽场景前景乐观。因此，我们认为，**当前 5G 最迫切需要解决而又未能很好解决的是如何与行业深度融合进行**

业务创新。一方面发挥网络切片的技术优势，实现行业基于 5G 的应用创新及能力提升；另一方面也可以挖掘电信业新的商业模式和增值服务。

然而，实现 5G 与行业的深度融合谈何容易！完成此项工作需要技术推动及产业推动两大力量，缺一不可。在技术方面，需要谙熟运营商、垂直行业的业务、网络、技术、维护、管理、行业规则等多方面的综合情况，提供跨界的知识服务；在产业方面，在 5G 前期众多的应用创新浪潮中，我们最为看好的是“5G+ 电力能源”“5G+ 车联网”两大领域。前者产业集中，有足够的推动力；后者在于产业规模足够大，有足够的市场空间。

聚焦在电力行业，随着泛在电力物联网的概念提出，以及国家电网提出的“坚强智能电网”+“泛在电力物联网”的战略目标，**未来电力通信技术的发展将迎来新一轮的浪潮。**智能电网的发展迫切需要构建安全可信、接入灵活、双向实时互动的“泛在化、全覆盖”配电通信接入网，并采用先进、可靠、稳定、高效的新兴通信技术及系统予以支撑，**从简单的业务需求被动满足转变为业务需求主动引领，**实现智能电网业务接入、承载、安全及端到端的自主管控。而 5G 作为电力物联网的新技术手段之一，将如何与其他技术协同发展，是当前备受关注的领域。

本书的编制团队，有幸拥有跨界服务运营商及电力行业的机缘，长期深耕移动通信网络规划设计咨询及电力通信信息化两大领域。**本书的编制初衷并不在于翻译外国文献、做技术科普，而是结合我们在移动通信、电力能源两大领域的实践经验，分享我们对 5G 技术发展、智能电网两大领域的粗浅理解，并就 5G 如何与电力融合发展进行系统化的思考，希望对读者有所启发。**

最后，非常感谢中国移动、南方电网、华为等专家团队的鼎力支持，以及每位在背后默默支持作者的亲人们。

中国南方电网电力调度控制中心副主任

杨俊权

2019 年 10 月 22 日



目 录

第 1 章 5G 概述 ……001

1.1 5G 技术背景……002

1.2 5G 标准及相关组织介绍……004

1.2.1 标准组织 ……004

1.2.2 5G 标准发展……009

第 2 章 5G 业务场景 ……013

2.1 业务场景 ……014

2.2 5G 技术优势……015

2.2.1 更强的网络能力 ……015

2.2.2 更多的业务场景 ……016

2.2.3 更开放更安全的行业专网服务 ……018

第 3 章 5G 系统架构及关键技术 ……021

3.1 系统架构 ……022

3.1.1 5G 系统架构模型……022

3.1.2 主要接口介绍 ……025

3.1.3 主要网络功能实体 ……028

3.2 5G 组网方案……033

3.3 5G 的云化网络架构 ……038

3.3.1 核心网 NFV …… 039
3.3.2 无线网 Cloud RAN …… 039
3.3.3 传输网络 SDN …… 040
3.4 关键技术 …… 042
3.4.1 核心网 …… 042
3.4.2 无线网 …… 047
3.4.3 承载网 …… 053

第 4 章 5G 产业发展 …… 059

4.1 5G 频谱资源规划 …… 060
4.1.1 频谱资源简介 …… 060
4.1.2 5G 频谱整体规划 …… 061
4.1.3 中国运营商频率资源 …… 063
4.1.4 中国 5G 频率规划 …… 064
4.1.5 国外运营商的 5G 频段规划 …… 065
4.2 网络、芯片及终端发展 …… 066
4.2.1 各主流厂家网络研发进度 …… 066
4.2.2 主流终端和芯片进展 …… 069
4.3 国内外 5G 试点情况 …… 073
4.3.1 国内 5G 试验网 …… 073
4.3.2 国外 5G 试验网 …… 076

第 5 章 5G 行业应用及行业前景 …… 079

5.1 5G 行业应用场景 …… 080
5.1.1 视频 VR/AR …… 080
5.1.2 个人 AI 辅助 …… 081
5.1.3 车联网及自动驾驶 …… 083
5.1.4 联网无人机 …… 084
5.1.5 无线家庭娱乐 …… 087
5.1.6 社交网络 …… 088
5.1.7 智慧能源 …… 089
5.1.8 无线医疗 …… 090
5.1.9 智能制造 …… 091

5.1.10 智慧城市 …… 093
5.2 场景小结及未来行业发展判断 …… 094

第 6 章 智能电网概述 …… 097

6.1 智能电网定义及内涵 …… 098
6.2 智能电网发展现状 …… 107
6.2.1 国外智能电网发展概况 …… 108
6.2.2 国内智能电网发展概况 …… 116
6.3 智能电网发展趋势 …… 120
6.3.1 清洁友好的发电 …… 122
6.3.2 安全高效的输变电 …… 123
6.3.3 灵活可靠的配电 …… 126
6.3.4 多样互动的用电 …… 126
6.3.5 智慧能源与能源互联网 …… 127
6.4 智能电网对电力通信网的新挑战 …… 128

第 7 章 5G 承载电力业务的基本概念及定义 …… 133

7.1 电力无线通信的基本定义 …… 134
7.2 5G 承载电力业务的基本模型 …… 135
7.3 5G 承载电力业务的关键指标定义 …… 136

第 8 章 5G 在智能电网的应用场景及价值 …… 143

8.1 5G 智能电网应用概述 …… 144
8.2 典型业务场景分析 …… 145
8.2.1 控制类业务 …… 145
8.2.2 采集类业务 …… 151
8.2.3 业务通信指标小结 …… 159
8.3 5G 对智能电网的价值 …… 160
8.3.1 电力无线通信发展现状及存在问题 …… 160
8.3.2 5G 对智能电网的价值提升 …… 162

第 9 章 5G 智能电网整体解决方案 …… 165

9.1 总体体系 …… 166

9.2 终端部分 …… 168
9.2.1 业务类型与网络切片间映射关系 …… 168
9.2.2 5G 电力通信终端形态展望 …… 168
9.2.3 通信终端需求 …… 169
9.3 网络部分 …… 171
9.3.1 电力业务网络切片概述 …… 171
9.3.2 电力业务网络切片隔离方案 …… 172
9.3.3 电力业务网络切片可靠性保障方案 …… 173
9.3.4 电力业务网络切片能力开放方案 …… 174
9.4 电力业务通信管理支撑平台 …… 176
9.4.1 电力业务通信管理支撑平台总体架构 …… 176
9.4.2 电力业务通信管理支撑平台功能模块 …… 178
9.4.3 电力行业切片管理实现 …… 179
9.5 安全体系 …… 182
9.5.1 智能电网安全体系整体要求 …… 182
9.5.2 管侧安全方案 …… 183
9.5.3 端侧安全方案 …… 186
9.5.4 认证及安全加密 …… 188
第 10 章 5G 商业模式探讨 …… 193
10.1 5G 在电力行业发展的生态愿景 …… 194
10.2 5G 的套餐资费模式 …… 195
10.2.1 运营商商业模式的发展历程 …… 195
10.2.2 典型运营商 5G 商业模式的案例分析 …… 200
10.2.3 5G 未来整体商业模式发展趋势 …… 205
10.3 5G 智能电网的商业模式探讨 …… 208
第 11 章 总结与展望 …… 212
11.1 5G 在智能电网中的应用总结与展望 …… 214
缩略语表 …… 216
参考文献 …… 227