

5G无线网络工程建设质量与安全关键风险点分析与管控研究

刘亚杰¹ 刘小龙¹ 孙婉超^{1(通讯作者)} 李志龙^{1(通讯作者)} 潘成灿²

1 公诚管理咨询有限公司, 广东广州, 510660;

2 广州地铁集团有限公司运营事业总部, 广东广州, 510220;

摘要: 第五代移动通信技术(5G)作为新一代信息技术的核心支撑和数字经济的重要基础, 具备高速度、低时延、高可靠、大连接等技术特性, 正推动社会生产生活方式的深度变革。我国5G建设已取得全球领先成就, 截至2023年5月底, 累计建成5G基站284.4万个, 移动物联网终端用户突破20.5亿, 实现所有地级市城区和县城城区全覆盖。然而, 5G工程建设面临技术复杂、高风险环节密集、建设节奏快等多重挑战, 安全质量风险呈显著上升态势。本文通过对比5G与4G工程建设的场景、内容及配套需求差异, 系统梳理5G建设中配套工程和主设备工程的关键风险点, 提出针对性管控策略, 为提升5G工程建设质量、防范安全事故提供技术支撑和实践指导。

关键词: 5G; 工程建设; 质量管控; 安全风险; 风险防控

DOI: 10.64216/3080-1508.25.05.055

1 引言

1.1 研究背景

随着移动数据流量的爆炸性增长、海量设备连接需求的凸显以及各类新业务应用场景的持续涌现, 5G技术应运而生并快速落地。5G网络以全新的网络架构, 提供至少十倍于4G的峰值速率、毫秒级的传输时延和千亿级的连接能力, 开启了万物广泛互联、人机深度交互的新时代。我国高度重视5G产业发展, 经过标准研发、频段试验、商用许可、试验网建设、首批商用等关键阶段, 目前已进入大规模全面建设时期, 建成全球规模最大、技术最先进的5G宽带网络基础设施。

但在5G建设高速推进过程中, 安全质量问题日益突出。5G工程建设呈现组网方式变革大、建设场景多样化、吊装作业多、登高操作频繁、涉电环节密集等特点, 全国每周建设超过1万个基站的高节奏建设模式, 使得工程质量、人身安全和网络安全事故风险大幅提升。据统计, 2023年1-5月广东省内5G工程发现质量问题2000多个, 安全隐患900多处, 其中加固类、接地类、防火类问题高发, 严重影响5G网络建设质量和运营安全。因此, 系统分析5G建设安全质量关键风险点并制定科学管控措施, 具有重要的现实意义和应用价值。

1.2 研究目的与意义

1) 研究目的: 明确5G工程建设与4G的核心差异, 识别配套工程和主设备工程中的安全质量关键风险点, 建立科学完善的风险管控体系, 为5G工程建设提供标准化、规范化的管控指引。

2) 研究意义: 理论层面, 丰富5G工程建设安全质量管控的理论体系, 为后续相关研究提供参考; 实践层面, 有效降低5G建设中的人身伤害、设备损伤和网络中断风险, 保障5G网络建设质量和运营稳定性, 推动5G产业健康可持续发展。

1.3 研究内容与框架

本文首先梳理全国5G建设总体情况及发展历程; 其次对比分析5G与4G工程建设在场景、内容及配套需求方面的差异; 然后系统识别5G配套工程和主设备工程的安全质量关键风险点; 最后针对性提出风险管控指引和保障措施, 形成完整的5G建设安全质量管控体系。

2 全国5G建设总体情况

2.1 5G建设发展历程

我国5G建设循序渐进, 历经六个关键发展阶段, 逐步实现从技术研发到规模商用的跨越式发展:

2018年9月: 中国5G技术研发试验第三阶段测试完成, 采用3GPP国际标准, 制定了全部试验规范, 为后续建设奠定技术基础;

2018 年 12 月：工业和信息化部向中国电信、中国移动、中国联通发放 5G 系统中低频段试验频率使用许可，开启频段试验工作；

2019 年 6 月：工信部向中国电信、中国移动、中国联通、中国广电四家企业发放 5G 商用牌照，标志着我国 5G 正式进入商用阶段；

2019 年 10 月：北京、上海、广州、深圳等重点城市相继完成 5G 试验网建设，为大规模商用积累实践经验；

2019 年 11-12 月：各运营商陆续宣布首批 50 个 5G 商用城市，截至 2019 年底全国建成 5G 基站超过 13 万个；

2020 年至今：全国 5G 进入大规模建设阶段，受疫情后经济复苏和数字经济发展需求驱动，2022 年起进入建设冲刺期，网络覆盖范围持续扩大，建设质量不断提升。

2.2 5G 建设现状

截至 2023 年 5 月底，我国 5G 建设取得显著成效：累计建成 5G 基站 284.4 万个，移动物联网终端用户突破 20.5 亿，实现所有地级市城区和县城城区的全面覆盖，网络覆盖广度和深度持续提升。目前我国已建成全球规模最大、技术最先进的 5G 宽带网络基础设施，5G 网络在工业互联网、智慧医疗、智慧交通、智慧城市等领域的应用场景不断丰富。未来 2~3 年，随着新基建政策的持续推进和应用需求的不断增长，我国 5G 网络建设仍将保持持续推进态势，基站数量、覆盖范围和应用深度将进一步提升。

2.3 5G 建设安全质量风险总体态势

5G 工程建设的技术复杂性、高风险环节密集性和高节奏建设特性，导致安全质量风险防控压力剧增。与 4G 建设相比，5G 建设在组网架构、设备特性、配套需求等方面发生根本性变化，设备重量加大、电源功耗增加、天馈改造频繁，使得设备吊装、加电操作和高空作业带来的人身伤害、设备损伤风险大幅上升；同时，5G 对传输资源、电源容量等配套资源的需求剧增，资源不匹配问题容易引发网络安全、设备损毁及人身伤亡事故。2023 年上半年全国 5G 工程建设质量和安全隐患突发增长，

凸显了当前 5G 建设安全质量管理的紧迫性和重要性，亟需建立针对性的风险管控体系。

3 5G 与 4G 工程建设对比分析

3.1 建设场景对比

1) 4G 建设场景：4G 网络采用 D-RAN 和 C-RAN 两种部署方式。D-RAN 方式中 RRU 与 BBU 同站部署，建设场景主要包括塔站+机房/一体化机柜、楼面站+机房/一体化机柜；C-RAN 方式中 RRU 与 BBU 拉远部署，建设场景除塔站、楼面站外，还包括各类复杂场景的微站，但整体场景相对单一，受室外环境影响较小。

2) 5G 建设场景：5G 标准对 BBU 功能进行重新定义，拆分为 CU(集中单元)和 DU(分布单元)两个功能实体，因此 5G 除保留传统 D-RAN 和 C-RAN 部署方式外，新增 CU 云化部署方式。5G 部署不仅需要适应 4G 的各类建设场景，还能适配车站、灯杆/杆站、电话亭、挂墙、广告牌、楼顶等更多复杂室外环境。CU 与 DU 分离、云化部署的特性，使得 5G 建设受室外环境影响的不确定风险更高，对传输资源的需求量也大幅增加。C-RAN 方式下的微站安装方式如图 1 所示。

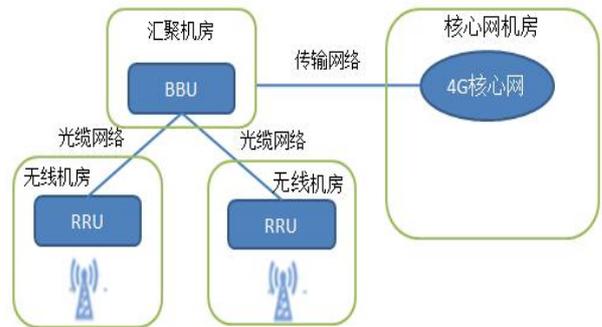


图 1：5G C-RAN 方式下的微站安装方式

3.2 建设内容对比

1) D-RAN 建设方式对比：D-RAN 方式下，5G 与 4G 建设内容存在显著差异（见表 1）。天馈方面，5G 大规模 MIMO 阵列天线已集成到 AAU，不再单独安装天线，且由于天面资源紧张，多数站点需进行天面改造，移动 4G 频与 5G 频段重复的站点还需进行合路改造；设备特性方面，5GAAU 重量和功耗是 4GRRU 的 2-3 倍，BBU 功耗是 4G 的 4-5 倍；电源需求方面，5G 基站需 2 路 100A 的直流输入，远高于 4G 需求；光模块方面，5G 设备采用 25G 和 100G 大容量光模块，传输能力显著提升。

表 1: D-RAN 建设方式下 5G 与 4G 建设内容对比

建设内容	4G 是否涉及	5G 是否涉及	5G 主要区别
天馈	√	—	大规模 MIMO 阵列天线集成到 AAU，无需单独安装；天面资源紧张需改造；移动 4GD 频与 5G 频段重复需合路改造
分布式设备	√	√	AAU 设备重量和功耗是 RRU 的 2-3 倍
基站设备	√	√	BBU 功耗是 4G 的 4-5 倍
直流电配电设备	√	√	需 2 路 100A 的直流输入，满足高功耗需求
尾纤	√	√	使用 25G 和 100G 大容量光模块，传输性能提升

2)C-RAN 建设方式对比：C-RAN 方式下，5G 与 4G 建设内容差异进一步扩大（见表 2）。除天馈和分布式设备的差异外，电源方面 5GAAU 需 220V 交流输入，且线径至少 2.5 平方毫米；基站设备方面，单个 BBU 功耗

显著增加，且需集中部署 5 到 18 个设备，电源容量需求大幅提升；；无源/有源波分设备同样采用 25G 和 100G 光模块，满足大容量传输需求。

表 2: C-RAN 建设方式下 5G 与 4G 建设内容对比

建设内容	4G 是否涉及	5G 是否涉及	5G 主要区别
天馈	√	—	大规模 MIMO 天线集成到 AAU；天面需改造；移动 4GD 频与 5G 频段重复需合路改造
分布式设备	√	√	AAU 设备重量和功耗是 RRU 的 2-3 倍
交流电配电设备	√	√	需 220V 交流输入，线径至少 2.5 平方毫米
基站设备	√	√	单个 BBU 功耗提升，需集中部署 5-18 个设备，电源容量需求大增
无源/有源波分	√	√	使用 25G 和 100G 大容量光模块
尾纤	√	√	无显著差异，适配大容量光模块传输

综合来看，5G 工程建设在天馈部分和电源部分变化最为突出，设备重量加大、电源功耗增加和天馈改造频繁，导致设备吊装、设备加电和长时间高空作业带来的人身伤害、设备损伤和网络中断风险大幅高于 4G 建设。

3.3 配套需求对比

5G 工程建设对杆塔、天面、电源、光纤、传输等配套资源的需求较 4G 呈爆发式增长（见表 3），配套资源的匹配程度直接影响工程建设安全质量。

表 3: 5G 与 4G 建设配套需求对比

配套内容	4G 是否涉及	5G 是否涉及	5G 主要区别
杆塔	√	√	无需 D 频改造站点：新增 5GAAU 需增加平台并核实承重；涉及 D 频站点：拆除 D 频设备后新增 AAU，承重变化不大
天面	√	√	楼面抱杆：独立天面直接替换或新建/利旧抱杆；天面空间不足时通过多端口天线收编存量天线；美化外罩需错位安装、加大尺寸并强化散热
电源	√	√	D-RAN 方式：功耗 3-4KW，需 2 路 100A 输入，电池扩容保障备电 2 小时以上；C-RAN 方式：AAU 需 220V 交流输入，BBU 单个需 42A 输入，电池扩容保障备电 3 小时以上
光纤	√	√	C-RAN 方式下基站密度更高，光纤资源需扩容
传输	√	√	接入环需升级至 50/100G 的 PTN 环

配套资源需求的剧增使得资源不匹配问题成为 5G 建设的突出风险点，容易引发网络安全事故和人身伤亡事故，对配套资源的规划、建设和管控提出了更高要求。

4 5G 工程建设安全质量关键风险点分析

4.1 配套工程安全质量关键风险点

5G 配套工程涵盖杆塔、天面、电源等关键部位，各部位存在多个安全质量风险点，直接影响工程建设安全和网络运行稳定性（见表 4）。

表 4: 5G 配套工程安全质量关键风险点

风险部位	风险点	风险描述
杆塔	承重	承重不合格引发倒塔事故
	平台焊接固定	平台焊接固定不合格造成人员坠落和物体打击事故
	防雷接地	防雷接地不合格造成设备雷击损坏
天面	抱杆紧固	抱杆紧固不合格引发倒杆事故
	美化外罩固定与散热	固定不合格引发倒塌事故；未做散热处理引发设备损伤
	防雷接地	防雷接地不合格引发雷击事故
电源	外电引入	外电引入容量或线径不合理引发电源火灾
	直流电源	直流电源模块容量不合理引发电源火灾或设备过载
	开关熔丝	开关熔丝容量不合理引发设备过载或电源火灾
	电池安装	电池安装不规范引发燃爆或无法满足断电保障
	保护接地	保护接地不合格引发触电事故

4.2 主设备工程安全质量关键风险点

1) 天馈系统安全质量关键风险点：天馈系统是 5G 信号传输的核心环节，其安全质量直接影响网络覆盖和传输性能，主要风险点见表 5。

表 5: 5G 天馈系统改造安全质量关键风险点

风险点	风险描述
天线改造	天面整合操作时间过长引发断站超时
馈线防水	未做好防水引起驻波比超过规定标准
高空作业	未做好安全防护措施引发高空坠落事故
天线吊装	吊装操作不规范引发物体坠落伤人事故和天线损伤

2) 设备安装安全质量关键风险点：设备安装环节涉及 AAU 和 BBU 等核心设备，操作不当易造成设备损毁和人员伤亡，主要风险点见表 6。

表 6: 5G 设备安装安全质量关键风险点

风险部位	风险点	风险描述
AAU 安装	设备吊装	吊装操作不规范引发物体坠落伤人事故和设备损伤
	设备固定	设备固定不牢固引发物体坠落伤人事故
	电源线径	线径不足引发火灾或者断站事故
	防雷接地	防雷接地不合格引发雷击事故
	高处作业	未做好安全防护措施引发高空坠落事故
	设备加电	加电作业不规范引发触电、设备损毁和人员伤亡
	有限空间	微站复杂狭小环境下引发触电和人员伤害
BBU 安装	设备固定	设备固定不合格引发设备损毁
	保护接地	保护接地不合格引发触电事故
	电源线径	线径不足引发火灾或者断站事故
	设备加电	加电作业不规范引发触电、设备损毁和人员伤亡
	设备调测	调测安排不合理导致时间过长引发断站超时

3) 电源安装安全质量关键风险点：电源安装是 5G 建设的高风险环节，涉及直流和交流配电单元，风险点见表 7。

表 7: 5G 电源安装安全质量关键风险点

风险部位	风险点	风险描述
直流配电单元	设备固定	设备固定不合格引发设备损毁
	保护接地	保护接地不合格引发触电事故
	电源线径	线径不足引发火灾或者断站事故
	设备加电	加电作业不规范引发触电、设备损毁和人员伤亡
交流配电单元	设备固定	设备固定不合格引发设备损毁
	保护接地	保护接地不合格引发触电事故
	电源线径	线径不足引发火灾或者断站事故
	设备加电	加电作业不规范引发触电、设备损毁和人员伤亡

5 5G 工程建设安全质量关键风险点管控指引

5.1 电源配套安全质量关键风险点管控

针对电源配套的五大关键风险点，制定明确的标准要求和管控措施，确保电源系统安全稳定运行（见表 8）。

表 8: 电源配套安全质量关键风险点管控指引

风险点	标准要求	管控措施
外电引入（容量或线径不合理引发电源火灾）	外电引入电缆线径不小于 25mm ² ；外电电压范围 210V-230V	施工单位现场核查外电电缆线径，使用钳表测试外电电压
直流电源（容量不合理引发电源火灾或设备过载）	新增同型号的整流模块，整站容量至少预留 4KW 的直流容量	施工单位施工前检查整流模块容量是否满足要求，指示灯是否正常
开关熔丝（容量不合理引发设备过载或电源火灾）	机房电源系统应提供 2 路 100A 的空开或熔丝	施工单位施工前检查机房是否提供 2 路 100A 空开或熔丝
电池安装（不规范引发燃爆或无法满足断电保障要求）	各节电池之间的连接条要正确牢固，电源线采用 95mm ² 电缆；新增电源容量需满足 2 小时备电要求	施工单位施工前检查电池安装是否正确牢固，电源容量是否满足备电要求
保护接地（不合格引发触电事故）	各类电源设备外壳采用不小于 35mm ² 地线连接到保护地排	施工单位施工前检查机房电源设备地线线径以及地线安装是否牢固

5.2 主设备工程安全质量关键风险点管控

1) 天馈系统安全质量管控：天馈系统风险点管控需严格遵循操作标准，确保施工质量和作业安全（见表 9）。

表 9: 天馈系统安全质量关键风险点管控指引

风险点	标准要求	管控措施
天线改造（操作时间过长引发断站超时）	优先安装 F 频天线，再拆除 FAD 天线，按逐个小区闭站拆装原则操作	施工单位制定详细施工计划，监理单位全程监督施工时长
馈线防水（未做好防水引起驻波比超标）	馈线头处必须做“1+1+1”防水处理	施工单位按规范实施防水操作，完工后进行驻波比测试
高空作业（未做好防护引发高空坠落）	作业人员必须具备高空特种作业证；作业前穿戴好安全帽、安全带、防滑鞋；现场在塔高 1.05 倍范围内实施围蔽；作业安全带高挂低用	施工单位施工队长作业前进行安全交底，人员持证上岗；监理单位现场检查监督
天线吊装（操作不规范引发物体坠落和设备损伤）	吊装天线时用绳索绑牢牢固，绳索无老化、磨损	施工单位选用合格吊装绳索，规范绑扎操作；监理单位现场核查
GPS 防水（未做好防水引起时延过高）	内部馈线头处做“1+1+1”防水，N 型接头拧紧到 GPS 天线	施工单位按规范做好防水并拍照记录；监理单位检查复核
GPS 防雷（未做好防雷引起设备损坏）	设备按要求安装防雷模块	施工单位按安装要求部署防雷模块；监理单位检查复核

2) AAU 安装安全质量管控：AAU 作为 5G 核心设备，安装环节需严格把控各风险点（见表 10）。

表 10: AAU 安装安全质量关键风险点管控指引

风险点	标准要求	管控措施
设备吊装（操作不规范引发物体坠落和设备损伤）	使用定滑轮、吊装绳、牵引绳等专用工具；塔高 1.05 倍范围内实施安全围蔽；至少 4 人参与作业（3 人拉吊装绳，1 人控制牵引绳）	施工单位配备专用工具并规范作业流程；监理单位现场监督
设备固定（不牢固引发物体坠落伤人）	严格按厂家安装手册操作，采用不小于 M10 的螺母固定	施工单位按标准固定设备；监理单位检查固定强度
电源线径（不足引发火灾或断站事故）	华为设备：70m 内用 6mm ² 电源线，70-100m 用 10mm ² ；中兴设备：60m 内用 10mm ² 电源线，60-100m 用 16mm ²	施工单位按设备型号和距离选用电源线；监理单位核查线径规格
防雷接地（不合格引发雷击事故）	使用 16mm ² 地线就近接到室外地排，布线长度不超过 1.5m	施工单位按规范部署地线；监理单位检查地线线径和布线长度
设备加电（操作不规范引发触电和设备损毁）	逐级加电（先直流配电单元，后 AAU）；加电前测量空开电压（-36V 至 -57V）；加电工具做好绝缘保护	施工单位按流程操作，做好电压测量记录；监理单位现场监督
有限空间（复杂狭小环境引发触电和人员伤亡）	长期密闭环境通风不少于 30 分钟并进行毒气检测；不明线缆或金属物体用试电笔确认不带电后作业	施工单位做好环境检测和安全确认；监理单位核查检测记录

3) BBU 安装安全质量管控：BBU 安装需重点关注设备固定、接地、电源和加电操作（见表 11）。

表 11: BBU 安装安全质量关键风险点管控指引

风险点	标准要求	管控措施
设备固定（不合格引发设备损毁）	严格按厂家安装手册进行安装固定	施工单位规范安装操作；监理单位检查固定情况
保护接地（不合格引发触电事故）	使用不小于 16mm ² 地线连接机柜接地汇流条或室内地排，液压钳制作铜鼻子并套热缩管	施工单位按规范部署地线；监理单位检查地线规格和安装质量
电源线径（不足引发火灾或断站事故）	华为设备使用 6mm ² 电源线；中兴设备使用 10mm ² 电源线	施工单位按设备型号选用电源线；监理单位核查线径
设备加电（操作不规范引发触电和设备损毁）	逐级加电（先直流配电单元，后 BBU）；加电前测量空开电压（-36V 至 -57V）；加电工具做好绝缘保护	施工单位按流程操作并记录电压数据；监理单位现场监督

4) 光纤敷设安全质量管控：光纤敷设质量直接影响传输性能，需重点管控弯曲半径和高处作业安全（见表 12）。

表 12: 光纤敷设安全质量关键风险点管控指引

风险点	标准要求	管控措施
线缆敷设（弯曲半径不合格导致光纤损耗过大）	不允许折成直角，室外光缆最小拐弯半径 90mm，室内光纤 30mm；光缆进入机房采用滴水湾	施工单位按标准施工；监理单位检查弯曲半径和滴水湾设置
高处作业（未做好防护引发高空坠落）	作业人员具备高空特种作业证；穿戴安全帽、安全带、防滑鞋；塔高 1.05 倍范围内围蔽；安全带高挂低用	施工单位安全交底，人员持证上岗；监理单位现场监督

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文通过对比 5G 与 4G 工程建设的场景、内容及配套需求差异，系统识别了 5G 建设中配套工程和主设备工程的安全质量关键风险点，并制定了针对性管控指引。研究表明：5G 工程建设在技术架构、设备特性和配套需求方面与 4G 存在本质区别，导致安全质量风险呈现多元化、复杂化特点，其中杆塔承重、天面改造、电源容量、设备吊装、高空作业等是核心风险点；通过明确标准要求、规范施工流程、强化监理监督等管控措施，可有效降低各类风险，保障 5G 工程建设质量和安全。

6.2 未来展望

随着 5G 技术的持续演进和应用场景的不断拓展，5G 网络建设将向更高速率、更宽带宽、更智能管控方向发展，建设规模和技术复杂度将进一步提升，安全质量风险防控面临新的挑战。未来可从三个方面深化研究：

一是结合人工智能、大数据等技术，建立 5G 建设安全质量风险智能预警系统，实现风险的提前识别和主动防控；

二是针对 5G-Advanced 等新一代技术特性，优化风险管控标准和流程，适应技术升级需求；

三是加强跨行业、跨区域的经验交流与合作，推广先进的风险管控实践，推动 5G 建设安全质量管控体系持续完善，为数字经济高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]工业和信息化部. 5G 发展白皮书 (2023 年) [R]. 2023.
- [2]中国通信标准化协会. 5G 工程建设安全技术规范 (YD/T5294-2022) [S]. 2022.
- [3]工业和信息化部信息通信发展司. 2023 年 1-5 月通信业经济运行情况 [R]. 2023.

作者简介: (1) 刘亚杰 (1991-), 女, 河南周口人, 本科, 工程师任项目总监、高级专家, 从事通信建设、机电工程及电力信息化相关工作 11 年, 主要研究方向为宽带技术、无线技术、信息化开发及工程建设全过程管理等。

(2) 刘小龙 (1987-), 男, 汉, 广东深圳人, 本科, 工程师, 任项目总监、技术专家, 从事通信建设及电力信息化相关工作 16 年, 主要研究方向为机电设备工

程、通信工程建设及电力信息化。

(3) 潘成灿 (1981-), 男, 广东广州人, 本科学士, 工程硕士, 工程师, 从事通信工程、地铁通信系统建设与维护等相关工作 22 年, 主要研究方向为城市轨道交通通信工程建设及无线通信、视频监控、传输通信、调度通信、乘客信息服务等。

(4) 通讯作者: 孙婉超 (1985-), 女, 汉, 黑龙江牡丹江人, 研究生, 高级工程师, 任项目总监、咨询师、专家等, 从事通信、信息化建设相关工作 20 年, 主要研究方向为为系统开发研究、系统集成、信息化建设全过程管理等。

(5) 通讯作者: 李志龙 (1983-), 男, 汉, 湖南郴州人, 本科双学士, 高级工程师, 任项目总监、高级专家, 从事建设项目管理相关工作 21 年, 主要研究方向为电子信息技术、物联网、信息通信建设、智能建筑及信息系统等。