

双碳目标下 信息通信设备环境适应性要求

Environmental Adaptability Requirements of Information and Communication Equipment Under Double Carbon Target

陈郁¹,李威²,侯永涛³(1. 中国联通浙江省分公司,浙江 杭州 310000;2. 中国联通吉林省分公司,吉林 长春 130000;3. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048)

Chen yu¹,Li Wei²,Hou Yongtao³(1. China Unicom Zhejiang Branch, Hangzhou 310000, China; 2. China Unicom Jilin Branch, Changchun 130000, China; 3. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China)

摘要:

随着我国双碳目标的提出,机房节能降耗成为信息通信行业降低二氧化碳排放的主要途径,信息通信机房的环境要求不仅涉及到机房的建设投资和运营成本,与节能降耗也有密切的关系。比较国内外不同标准的技术指标差异,从技术角度分析了一些标准存在的问题,提出要根据不同类型的机房,制定信息通信设备的环境适应性测试要求及其对应的机房环境要求,这对于降低基础设施建设成本和运营能耗是十分必要的。

关键词:

机房环境;洁净厂房;粉尘;腐蚀性气体;节能

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2022.11.008

文章编号:1007-3043(2022)11-0043-06

中图分类号:TN915

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

With the proposal of China's dual carbon goal, energy conservation and consumption reduction in the computer room has become the main way for the information and communication industry to reduce carbon dioxide emissions. The environmental requirements of the information and communication computer room are not only related to the construction investment and operation cost of the computer room, but also closely related to energy conservation and consumption reduction. It compares the technical index differences of different standards at home and abroad, analyzes the problems existing in some standards from a technical point of view, and puts forward to formulate the environmental adaptability test requirements for information communication equipment and the corresponding environmental requirements for computer rooms according to different types of computer rooms, which is very necessary to reduce the infrastructure construction cost and operation energy consumption.

Keywords:

Room environment; Clean workshop; Dust; Corrosive gas; Energy conservation

引用格式:陈郁,李威,侯永涛. 双碳目标下信息通信设备环境适应性要求[J]. 邮电设计技术, 2022(11): 43-48.

1 概述

信息通信机房主要包括接入、汇聚、传输、核心综合业务、动力机房以及近年来得到飞速发展的IDC数据机房,其中,作为“新基建”的重要组成部分,5G基站和IDC数据机房是目前建设规模和能耗增长最为迅速的两类机房,基站具有数量庞大、站址分散、机房环境相对较差的特点,IDC数据机房则建设规范,对于机房环境指标要求高。不同类型的信息通信机房建设模式差异较大,放置设备不同,机房环境条件应满足相

关设备运行的需求。

当前,国内、外信息通信行业对于机房环境有相关的技术指标要求,同时,信息通信设备属于固定应用的电工电子产品,对此类产品的环境条件,也有相关的国际标准和国家标准。但在实际应用中,这些标准对于环境条件的规定,却有较大的差异,环境指标要求不统一,相关指标之间无法进行科学的换算。

信息通信基础设施的建设投资与机房环境条件关系密切,设备对于基础设施环境条件要求较高时,将显著提升基础设施前期的建设投资,以及后期的运营、运维成本,导致温控系统的能耗较高。随着我国“碳达峰”“碳中和”目标的提出,节能降耗成为减排

收稿日期:2022-10-10

CO₂的主要途径,是实现双碳目标的重要环节。就信息通信行业而言,极简建站和降低温控系统能耗,是实现信息通信行业节能降耗的重要环节。

因此,根据当前不同类型机房实际应用场景,制定合理的设备环境适应性要求和机房基础设施建设要求,使信息通信设备具有宽泛的环境适应性,对于降低建设和运营费用、减少能源消耗,是十分必要的。

2 机房环境条件影响因素

2.1 环境因素对电子设备的影响

对电子设备运行有显著影响的环境因素主要包括温度、湿度、气压、电磁环境、各类腐蚀性气体和空气洁净度等指标。其中,气压、腐蚀性气体和电磁环境因素可以在机房站址选型、设备选型时进行充分的考虑,如果机房附近有固定污染源,如在海边、化工厂、燃煤电厂、大型家畜饲养场等附近选址,就要充分考虑腐蚀性气体的因素;在高海拔地区,则要考虑气压的影响;在大型变电站、高压电力输电线附近,则要考虑电磁环境影响。

对于大型机房而言,如果机选址十分慎重,可以较好地避开腐蚀性气体因素的影响,温度、湿度和空气洁净度指标则成为机房建设和运营过程中重点关注的因素。而对于大量的中小型机房而言,如基站机房,由于站址分布广、数量众多,无法完全避免腐蚀性气体的影响,也要将其作为一个影响因素。

温度对电子元器件、绝缘材料等有一定的影响,高温将影响电子器件的散热,影响可靠性和寿命。如对于半导体元器件而言,室温每增加10℃,其可靠性降低25%,电解电容器寿命将下降50%;温度过高,印刷电路板结构强度将降低,温度过低,绝缘材料将会变脆。

湿度对于电气产品也具有显著的影响,相对湿度较高时,电子元器件表面易形成水膜,降低电子产品绝缘强度,导致器件短路;湿度较低时,容易产生静电,危害电子线路安全。

粉尘影响主要包括机械影响、化学影响和电学影响。机械影响包括阻碍冷却气流、干扰移动部件、产生磨损和表面形变,以及其他类似影响;化学影响主要指落在电路板上的粉尘会导致组件腐蚀,以及临近的功能部件短路;电学影响指粉尘引起电路阻抗变化和电子电路发生桥接故障。

2.2 机房环境条件分类

信息通信行业不同类型的机房建设模式差异较大,如大型IDC机房、核心综合业务机房,单个建筑体积大,设施完善;而对于数量庞大的基站,由于各种条件的限制,同时为满足快速、极简建站和低成本运营的需求,基站机房建设模式多种多样,不同类型机房的围护结构、温控方案差异较大。

根据不同的建设模式,信息通信机房可以分为以下几种类型。

a) 有气候防护完全温控场所。此类场景的设备工作环境有严格的温控措施,围护结构可能会受到太阳辐射或短暂的热辐射影响,不会受到冷凝水和雨雪等的影响,沙尘的影响达到最小化。一般而言,各类IDC、核心综合业务机房、有机房的汇聚/接入站和配置完善温控措施、密封较好的户外机柜,可以归为此类。

b) 有气候防护部分温控场所。此类场景的设备工作环境没有完善的温度和湿度控制,但极端恶劣条件下有防止极端低温和防止异常高温的措施,可能会受到太阳辐射或短暂的热辐射、冷凝水(但不是雨雪等),以及一定的沙尘影响。部分温控系统劣化的小型机房,如汇聚、接入基站、户外柜等,可以归为此类。

c) 有气候防护无温控场所。此类场景的设备工作环境没有任何温度和湿度控制,可能暴露在外界空间或仅有部分气候防护,可能会受到太阳辐射或短暂的热辐射影响、可能受到冷凝水的影响(但不是雨雪等的影响),以及一定的沙尘影响。温控失效的户外通信机柜、室内分布基站可以归为此类。

d) 无气候防护场所。此类场景的设备工作环境没有任何气候防护,设备暴露在外部空间,处于户外安装的物理设施环境,可能受到太阳辐射、热辐射、雨雪、很强的沙尘影响。此类场所主要包括郊外旷野、公路边、各种露天场所的室外抱杆站。

3 信息通信机房运营现状及环境标准

3.1 信息通信机房现状

对于IDC机房、核心综合业务机房而言,由于数量较少,且在网络中处于重要地位,一般常年有人值守,出现故障可以及时得到维护,机房环境较好;而对于信息通信行业中众多小机房,如汇聚站、基站机房,在实际运行时,由于围护结构维护不到位产生破损、密封不严,温控设备发生故障,导致机房空气洁净度无法保证、机房高温等问题较为普遍,直接使机房环境条件劣化,威胁信息通信设备运行安全,严重时甚至

宕机退服。

在各类信息通信机房中,基站数量最为庞大,站址分散,建设模式多样化,运行环境也最为恶劣,经历了从建设初期站点少、造价高,到目前数量庞大、极简建站的历程,从当年的“贵族”演变到当今的“平民”,基站设备的工作环境也经历了显著变化。本文以基站为例,说明机房的基础设施环境条件对能耗的影响。

3.1.1 基站建设分类

目前,基站建设主要分为以下4种类型。

3.1.1.1 宏基站

传统宏基站建设模式包括租赁房屋和自建板房,按照建设规范要求,机房应配置有专用空调,并考虑空调的备用,是所有基站类型中环境条件最好的。在实际运行中,由于馈线窗封堵不严、基站门漏风甚至长期开启等原因,造成基站内部环境较差;近年来,由于投资原因,部分基站没有配置备用空调,一旦空调故障,基站将不可避免出现高温,这些因素导致基站设备的实际运行环境无法满足相关技术规范的要求。图1为某基站密封不严的穿墙洞及室内环境,机房内有明显的灰尘。



图1 某基站室内环境及穿墙洞

3.1.1.2 户外一体化机柜基站

随着基站建设数量的急剧增加,有机房宏站资源越发稀缺。与传统有机房宏基站相比,户外一体化机柜基站具有占地少、建设快、成本低的优势,目前户外一体化机柜在基站建设中得到了大量应用。但与传统宏站相比,户外一体化机柜的环境条件难于把控,主要表现在夏季机柜高温以及机柜密封问题。

由于机柜空间小,当基站负荷较大、空调制冷量不足或者制冷故障时,机柜将不可避免产生高温,最终导致基站退服。事实上,由于季节性杨絮、柳絮堵塞空调进风口,机柜空调故障率较高等种种原因,会导致机柜内高温。为保证机柜内适宜的温度,很多机柜在后期采用了直接在机柜上开孔、安装不带过滤器

的直通风方式来解决这一问题,而这样又不可避免地带来柜内灰尘的堆积。图2为实际应用中户外一体化机柜的案例,分别为空调进风口堵塞、后期挖的直通风孔洞以及机柜内的环境状况。大量户外机柜安装在市区道路边,由于温控劣化或损坏导致柜门常开的案例屡见不鲜,机柜内工作环境恶劣。



图2 户外一体化机柜运行场景案例

3.1.1.3 室内分布基站

对于室内分布基站,基站设备基本安装在大楼的电缆上线井、电梯间等场所,此类环境基本没有温控措施,在基站设备持续发热后,部分电缆上线井内部也会有较高的温度,因此在设备的设计环节,就要求考虑其能够持续在高温下正常工作。

3.1.1.4 户外抱杆基站

对于完全没有气候防护的基站,其相关设备完全暴露在外部露天环境中,在产品的设计时对密封、防水和耐高温方面有很高的要求,此类基站对基础设施建设的要求很低。

3.1.2 不同类型基站能耗比较

在相关基站建设类型中,室内分布基站和户外抱杆基站没有任何温控措施,尤其是户外抱杆基站,在产品的设计阶段就考虑了高温、密封、防水等方面的措施,对基础设施要求低,两者具有最低的系统PUE,但应用范围较窄,无法满足基站复杂场景的需求;其他2类基站建设方式,即户外一体化机柜基站和有机房基站,可以满足复杂场景的需求,两者基础设施建设有显著差异,当采用不同的温控措施时,基站能耗相差较大。

配置空调的户外一体化机柜基站,在实际运行时由于空调损坏而打开机柜门的情况屡见不鲜,使部分机柜夏季长期处于高温、高粉尘环境下,工作环境恶劣。针对这种情况,通过安装新风系统、更换原有铅酸电池为磷酸铁锂电池等改进措施可解决这些问题。安装带有自动清洁过滤器的新风系统,将机柜外冷空气排入机柜内,G4等级过滤器能阻挡90%以上的粉尘进入机柜,使机柜内外温差维持在5℃左右,在夏季保

证机柜内温度基本低于45℃;将普通铅酸电池更换为磷酸铁锂电池,可以克服铅酸电池不耐高温的短板。在采取这些措施后,可以轻松实现机柜基站系统PUE<1.1,也解决了夏季户外机柜长期开门的问题。

有机房宏基站配置的空调设定温度一般为28℃~30℃,设备工作环境条件属于最好,但其PUE大多高于1.5。

以直流负荷为53.5 V/60 A的基站为例,当PUE=1.1时,其温控系统年用电量约为2 812 kWh;当PUE=1.5时,其温控系统年用电量约为14 060 kWh,采用新风系统的户外一体化机柜年耗电节约11 248 kWh,节电率为75%,十分可观。

对于户外一体化机柜环境温度的提升,由于更换了磷酸铁锂电池,户外一体化机柜能更加适应高温环境;对于电路板设计,可以采用优化电路板风道组织的方法,优先冷却受温度影响较大的元器件,如电解电容器,使其工作在较为适宜的环境温度,目前部分设备制造商在电路板设计时会对外风道组织进行大量的测试和优化。采取相关措施后,基站内设备短时间工作在40~45℃,不会对基站正常工作和设备寿命产生显著影响。

另外,与直通风方式相比,虽然增加了过滤器的新风系统可以过滤90%的粉尘,但与安装空调的机房相比,在空气洁净度、腐蚀性气体指标方面,仍会降低,相关设备制造商也在不断研究和减小这些因素对设备正常工作和寿命的影响。

3.2 现有标准环境要求指标

当前,涉及到信息通信机房环境条件的标准较多,而作为电工电子产品,信息通信设备的工作环境条件要求也可以参考电工电子产品类的国家标准。

涉及到通信机房和基站环境要求的标准,主要有《数据中心设计规范》(GB 50174-2017)、《移动通信基站工程节能技术标准》(GB/T51216-2017)、《通信局(站)机房环境条件要求与检测方法》(YD/T1821-2018)等,可参考的国家标准有《电工电子产品应用环境条件_第3部分:有气候防护场所固定使用》(GB/T 4798.3-2007)、《电工电子产品应用环境条件_第4部分:无气候防护场所固定使用》(GB/T 4798.4-2007)等,可参考的国外标准有ETSI 300 019-2-3 V2.5.1 2020以及GR-63-CORE等,GB/T 4798.3-2007修改采用了《环境条件分类 第3部分:环境参数分类及其严酷程度分级 第3节:有气候防护场所固定使用》(英文

版)(IEC 60721-3-3:2002)。

3.2.1 相关标准关于腐蚀性气体和空气洁净度的规定

《数据中心设计规范》(GB 50174-2017)主要针对数据中心机房的设计规范,对于环境要求描述包括腐蚀性气体和空气洁净度。对腐蚀性气体,仅在4.1选址一节有定性的描述,“应远离产生粉尘、油烟、有害气体以及生产或储存具有腐蚀性、易燃、易爆物品的场所”;对于灰尘,则规定为“主机房的空气含尘浓度,在静态或动态条件下测试,每立方米空气中粒径大于或等于0.5 μm的悬浮粒子数应少于17 600 000粒”。

《移动通信基站工程节能技术标准》(GB/T51216-2017)则对腐蚀性气体和空气洁净度做了较为细致的规定,如表1和表2所示。该标准的环境分类和指标规定与ETSI 300 019-2-3 V2.5.1 2020和《电工电子产品应用环境条件_第3部分:有气候防护场所固定使用》(GB/T 4798.3-2007)一致。

《通信局(站)机房环境条件要求与检测方法》

表1 腐蚀性物质要求(单位:mg/m³)

化学活性物质	范围(平均值*)
二氧化硫SO ₂	≤0.30
硫化氢H ₂ S	≤0.10
氨气NH ₃	≤1.00
氯气Cl ₂	≤0.10
氯化氢HCL	≤0.10
氟化氢HF	≤0.01
臭氧O ₃	≤0.05
氧化氮NO _x	≤0.5

注:*平均值为一周的平均值

表2 洁净度要求

环境参数	室内设备(允许值)	室外设备(允许值)
沙/(mg/m ³)	—	≤300
尘(漂浮)/(mg/m ³)	≤0.1	≤5.0
尘(沉积)/(mg/m ² ·d)	≤36	≤480

(YD/T1821-2018)中,对于没有腐蚀性气体的规定,要求其空气洁净度是“直径大于0.5 μm的灰尘粒子浓度≤18 000粒/升”。

《电工电子产品应用环境条件_第3部分:有气候防护场所固定使用》(GB/T 4798.3-2007)和ETSI 300 019-2-3 V2.5.1 2020对于腐蚀性气体和空气洁净度的规定,都是采用计重方法,相关指标要求与表1和表2规定基本一致,本文不在单独列举。

3.2.2 对腐蚀性气体和空气洁净度指标的探讨

对国内部分标准进行归纳,可见对于腐蚀性气体和空气洁净度,相关标准在定量规定方面有较大的差异。

对于腐蚀性气体,大型机房可以从选址方面进行考虑,避免建设在固定污染源附近(目前很多核心综合业务机房也是处于繁华市区)。但对于基站而言,由于其数量众多,且大多数处于繁华市区及人口密集区,不可能从选址上完全避免固定污染源的影响。因此,对基站设备制定腐蚀性气体的指标并进行测试是十分必要的。

对于空气洁净度,相关标准指标主要分为2类,一类为计数法,即将单位体积空气中 $0.5\mu\text{m}$ 粒子的含量作为衡量空气洁净度的指标;一类为计重法,即按照单位体积空气的漂浮尘和每天单位面积的沉积尘重量作为指标,衡量空气洁净度。这2种计量指标之间,没有科学的换算关系。

近年来,PM10和PM2.5作为衡量空气质量的重要指标为公众所关注,通常把粒径在 $10\mu\text{m}$ 以下的颗粒物称为可吸入颗粒物,即PM10,一般小于 $10\mu\text{m}$ 的粒子可以忽略重力影响,长期漂浮于空气中而不沉降;而粒径小于 $2.5\mu\text{m}$ 的粒子,即PM2.5,则可以进入人的毛细血管。由于空气粒子中含有重金属、盐分以及细菌等,进入人的身体后,严重影响人的身体健康。原国家环境保护部发布的《环境空气质量指数(AQI)技术规范》(试行)(HJ633-2012),根据单位体积(1m^3)中污染物的重量进行分级,形成每天公布的六级空气质量等级。

部分工业场合对空气洁净度有严格要求,如微电子、精细化工、医药生产以及汽车喷漆等,如空气中漂浮的粒子一旦封装进入产品,将导致半导体电子产品内部短路报废;而汽车喷漆将空气粒子喷涂到汽车表面,汽车表面产生麻点,将严重影响质量等。因此,这些行业的生产场所都遵照《洁净厂房设计规范》(GB50073-2013)来进行设计,目的是防止漂浮的空气粒子在生产过程中混入产品内部。《洁净厂房设计规范》(GB50073-2013)规定的洁净室和洁净区空气洁净度等级如表3所示。

按照计数指标,目前相关信息通信机房标准所定义的机房环境空气洁净度等级约为8.7级。作为洁净厂房,按照要求工作人员进入洁净室前需要更换洁净工作服,经过人身净化用室和空气吹淋室等进行清洁,物料也要求有专门的物料净化用室,而很多机房

表3 洁净室和洁净区空气洁净度等级

空气洁净度等级	大于或等于最大粒径的最大浓度限值/(pc/m^3)					
	$0.1\mu\text{m}$	$0.2\mu\text{m}$	$0.3\mu\text{m}$	$0.5\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$	$5\mu\text{m}$
1	10	2	—	—	—	—
2	100	24	10	4	—	—
3	1 000	237	102	35	8	—
4	10 000	2 370	1 020	352	83	—
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7	—	—	—	352 000	83 200	2 930
8	—	—	—	3 520 000	832 000	29 300
9	—	—	—	35 200 000	8 320 000	293 000

远达不到这一点。按照该指标衡量中小型机房(基站),显然过高。作为空气中的漂浮粒子,如果不在电子设备电路板表面沉降,对电子设备不会有破坏性影响。如果按照沉积尘的指标考虑,电子设备表面允许一部分沉积尘的存在,并且在设备实际使用和运行中,沉积尘不影响电子产品散热,不产生短路及其他机械故障,相关设备可以正常稳定工作,将更符合实际运行场景的需求。

当前,部分信息通信设备制造商根据中小机房(主要为汇聚站和基站)实际工况,采用多种技术手段改进电子设备的设计,如优化风道组织,便于散热,减少电路板上粉尘的堆积;对电路板增加防腐、防潮的工艺处理等,以满足高温、高湿、耐腐蚀、抗灰尘的运行条件,并自行设计测试方法,取得了较好的效果,极大提高了中小型机房设备在恶劣场景下运行的可靠性。

4 粉尘和腐蚀性气体测试

为解决基站实际运行环境恶劣的情况,部分设备制造商进行了大量产品可靠性的试验研究,制定了关于电路板耐粉尘和腐蚀性气体的测试方法,以适应中小型机房现场复杂的运行工况。

4.1 粉尘测试

耐粉尘测试内容主要包括2部分,为自由沉降试验以及湿度和凝露试验。在测试过程中,被测试电路板(设备)应处于正常通电的工作状态,以检验其可靠性。某设备进行粉尘试验后的设备状况如图3所示,被测试设备表面堆积有大量的灰尘。

4.1.1 自由降尘

测试箱中摆放被测试电路板(或系统设备),利用



图3 进行粉尘试验的设备

发尘设备将试验用粉尘吹到测试箱内,测试箱内的灰尘自由沉降到电路板(或系统设备)表面,模拟实际应用时的灰尘积累。为保证试验接近真实场景,实验用粉尘可根据需要,配置盐分及其他腐蚀性物质。

发尘量可以根据信息通信设备的实际应用场景进行选择,例如采用 $111 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ 时,相当于市区内 $1.00 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ 条件下 111 天(近 4 个月)的实际降尘量。

4.1.2 湿度和凝露试验

在自有降尘完成后,使用加湿器和凝露的方法使灰尘吸湿,并在此基础上进行恒定湿热工作、凝露试验、交变湿热工作或恒定湿热存储测试,相关测试工况应根据实际运行场景需求进行设定。某设备湿度和凝露试验测试方法如下。

a) 恒定湿热工作:温度 40°C ,湿度 90%RH,时间 7 天,电源额定输入,应工作正常。

b) 凝露试验:被测试设备在 -5°C 下存储至少 4 h,至温度平衡后,打开温箱门保持 15 min,然后被测试设备上电,应工作正常。

c) 交变湿热工作:温度 $25^\circ\text{C} \rightarrow 40^\circ\text{C} \rightarrow 25^\circ\text{C}$ 进行多次循环,湿度为 90%RH,电源额定输入,应工作正常。

d) 恒定湿热存储:温度 40°C ,湿度 90%RH,存储 16 h 后上电,应工作正常。

试验过程中以及试验后,被测试设备必须满足以下要求,才能够判定为合格。

a) 试验过程中未出现绝缘击穿和拉弧打火等现象。

b) 试验过程中产品基本功能性能完全正常。

c) 试验后电路板上(尤其是进风口过口、器件管脚、焊点、PCB 走线等)无肉眼可见的腐蚀,如铜绿、黑斑等。

d) 试验后风扇拆解后内部电路板无肉眼可见的腐蚀,如铜绿、黑斑等。

e) 试验后拆解接触器,其内部触点无肉眼可见的腐蚀。

4.2 腐蚀性气体测试

将被测试设备放置在专用的腐蚀性气体测试箱中,利用高浓度二氧化硫、氯气、硫化氢等几种气体充满测试箱体,在指定温度和相对湿度的环境下对材料或产品进行加速腐蚀,模拟材料或产品在一定时间范围内所遭受的破坏程度。该项测试后的样品一般需要到专业机构送检,测试难度大、要求高,但该实验对于测试设备在腐蚀性环境中的耐受能力是十分必要的。

5 结论

信息通信机房类型多,不同类型机房的实际运行环境差异较大,对环境条件要求较低的设备,将极大降低围护结构的建设投资以及后期的运维、运营费用,节省大量温控系统能耗。

随着 5G 应用的发展,边缘 DC 建设成为热点,大量无人值守的边缘 DC 机房基础设施建设,预计也将逐步向低成本建设、宽环境适应、简单运维、高效运营的方向发展。因此,提升信息通信设备的环境适应性,在各类环境条件下实现安全、稳定、高效工作,最大限度降低温控系统能耗,是十分必要的。

参考文献:

- [1] ETSI. Environmental Engineering (EE); environmental conditions and environmental tests for telecommunications equipment; part 2-3: specification of environmental tests; stationary use at weather-protected locations; ETSI EN 300 019-2-3 V2.5.1 [S]. Nice: ETSI, 2020.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 数据中心设计规范: GB 50174-2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 移动通信基站工程节能技术标准: GB/T 51216-2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 电工电子产品应用环境条件 第 3 部分: 有气候防护场所固定使用: GB/T 4798.3-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

作者简介:

陈郁,高级工程师,硕士,主要负责通信网络、数据中心运营维护及管理工作;李威,高级工程师,硕士,主要从事通信电源建设和维护管理、节能减排管理工作;侯永涛,高级工程师,硕士,长期从事通信机房基础设施工程设计和研究工作。