

T/CAICI

中国通信企业协会团体标准

T/CAICI XXXX—XXXX

数据中心制冷系统节能技术规范

Technical specification for energy-saving of data center cooling system

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国通信企业协会 发布

目 次

前 言.....III

1 范围.....4

2 规范性引用文件.....4

3 术语和定义.....4

 3.1 自由冷却 free cooling.....4

 3.2 间接蒸发冷却 indirect evaporative cooling4

 3.3 显热比 sensible heat ratio SHR.....4

 3.4 变频空调 variable frequency air conditioner4

 3.5 氟泵 fluorine pump.....4

 3.6 冷量分配单元 coolant distribution unit CDU.....4

 3.7 风液混合制冷 air-liquid hybrid cooling.....4

 3.8 AI 可调参数 AI adjustable parameter.....5

 3.9 控制接口白名单 control interface whitelist.....5

 3.10 设备静态属性 equipment static attributes5

 3.11 制冷系统节能率 energy saving rate of cooling system.....5

4 缩略语.....5

5 数据中心制冷系统节能技术要求.....5

 5.1 机房基础设施改造要求.....5

 5.1.1 机柜、盲板.....6

 5.1.2 机房空调.....6

 5.1.3 封闭冷热通道.....6

 5.1.4 精确通风地板.....6

 5.1.5 BBU 池竖装.....7

 5.1.6 有源无源设备隔离.....7

 5.2 制冷设备节能技术要求.....7

 5.2.1 变频.....7

 5.2.2 氟泵.....7

 5.2.3 热管制冷.....7

 5.2.4 间接蒸发冷却.....8

 5.2.5 微模块.....8

- 5.2.6 新风.....8
- 5.3 制冷系统 AI 节能技术要求.....9
 - 5.3.1 数据采集要求.....9
 - 5.3.2 接口协议与点表交付.....9
- 5.4 液冷系统节能技术要求..... 10
 - 5.4.1 冷板式液冷系统..... 10
 - 5.4.2 浸没式液冷系统..... 10
 - 5.4.3 风液混合制冷..... 10
- 5.5 制冷系统综合节能..... 10
 - 5.5.1 节能效果测量与验证..... 10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国通信企业协会标准化管理委员会提出并归口。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件起草单位：中国电信股份有限公司研究院、上海汇珏网络通信设备有限公司、科大国创云网科技有限公司、深圳日海新能源科技有限公司、新华三技术有限公司

本文件主要起草人：孟维业、赵碧莹、刘浩然、林志强、吕成付、王长周、蒋磊

本文件为中国通信企业协会首次发布。

数据中心制冷系统节能技术规范

1 范围

本文件规定了数据中心制冷系统的节能技术要求，包括机房气流组织优化、制冷设备节能改造、AI节能数据采集与控制接口、液冷系统节能技术、综合节能效果验证等方面的要求。

本文件适用于通用数据中心、智算中心及通信机房等制冷系统的节能升级改造、AI节能部署与节能效果评估。数据中心制冷系统的设计新建可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50174-2017 数据中心设计规范
- GB 40879-2021 数据中心能效限定值及能效等级
- GB/T 48023-2026 数据中心冷板式液冷系统技术规范
- GB/T 44989-2024 绿色数据中心评价
- GB/T 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 28750-2012 节能量测量和验证技术通则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 自由冷却 free cooling

利用室外自然冷源（低温空气或冷水）直接或间接为数据中心供冷，无需开启机械压缩机的制冷方式。

3.2 间接蒸发冷却 indirect evaporative cooling

利用水蒸发吸热通过换热器间接冷却数据中心循环介质（空气或水）的制冷技术，分为风侧间接蒸发和水侧间接蒸发两种形式。

3.3 显热比 sensible heat ratio SHR

空调设备处理的显热负荷与全热负荷之比。

3.4 变频空调 variable frequency air conditioner

采用变频压缩机或变频风机，通过调节转速实现制冷量连续输出的空调设备。

3.5 氟泵 fluorine pump

在制冷剂循环系统中，利用制冷剂泵（氟泵）驱动制冷剂循环，在室外温度较低时替代压缩机实现节能运行的技术。

3.6 冷量分配单元 coolant distribution unit CDU

连接一次侧与二次侧环路，实现热量交换、冷却液循环驱动、流量分配与温度控制的成套装置。

3.7 风液混合制冷 air-liquid hybrid cooling

在同一数据中心内同时采用风冷和液冷两种制冷形式，分别承担不同功率密度机架散热需求的制冷方案。

3.8 AI 可调参数 AI adjustable parameter

允许AI节能系统经授权白名单下发调节的连续量运行参数（如温度设定值、风机/水泵频率、阀门开度等）。

3.9 控制接口白名单 control interface whitelist

AI节能系统被授权可调节的参数及其安全范围的清单，AI节能系统不得超越白名单范围下发控制指令。

3.10 设备静态属性 equipment static attributes

设备额定参数与特性数据（额定功率、额定/最小风量或转速、变频范围、特性曲线等），以电子文件或接口方式交付。

3.11 制冷系统节能率 energy saving rate of cooling system

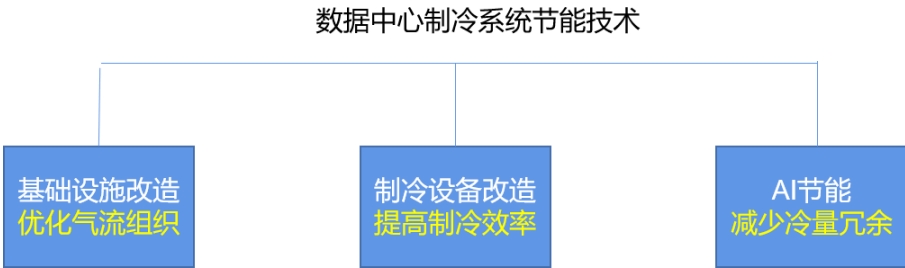
制冷系统能耗的相对降低比例，按本文件第5.5条定义的测量与验证方法计算。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件：

- AHU 空气处理机组 Air Handling Unit
- BBU 基带处理单元 Base Band Unit
- CFD 计算流体动力学 Computational Fluid Dynamics
- COP 能效比 Coefficient of Performance
- DCIM 数据中心基础设施管理系统 Data Center Infrastructure Management
- EC 电子换向 Electronically Commutated
- LDS 漏液检测 Leak Detection System
- ODF 光纤配线架 Optical Distribution Frame
- PUE 电能利用效率 Power Usage Effectiveness
- WUE 水资源利用效率 Water Usage Effectiveness

5 数据中心制冷系统节能技术要求



5.1 机房基础设施改造要求

目的：气流组织优化，消除热点

对机房基础设施要求的核心是优化机房的气流组织，数据中心机房空调的气流组织设计目标是将机房IT设备散发的热量高效地带走。机房空气的扩散和混合会降低散热能力，降低能量利用效率，因此机房气流组织应是“先冷设备，后冷环境”的合理组织机房气流，尽可能避免各种不同的气流混合。

5.1.1 机柜、盲板

在满足数据中心机房系统可靠性的前提下，合理确定机房、机柜的布局、空间，不仅可以降低投资，还可以减少能源消耗，延长机房的使用寿命。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
机柜	任意种类数据中心	面对面或背对背	形成冷风通道和热风通道，机柜之间的冷热风不会混合在一起，形成短路气流	有效提到制冷效果，保护好冷热通道不被破坏
盲板	任意种类数据中心	在机柜空闲U位加装盲板	对冷热气流隔离，行成畅通有效的气流通道	冷量以尽可能小的损耗送到发热区域，防止出现热点。

5.1.2 机房空调

合理设置空调安装的位置，风速和风量，可以有效的减少空调系统的能耗，提高散热效率，同时减少热点的出现。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
空调位置	任意种类数据中心	应用CFD等软件进行气流组织模拟，选择合适的空调位置	避免当空气返回到机房空调入口时，热通道的热空气和冷空气相互混合等现象	降低机柜前的空气温度，提高机房空调冷空气的散热效率
空调风量与风速	任意种类数据中心	风速能让低温冷空气能到达机柜上部设备，但不能让机柜顶部低温空气和回风的热空气交换混合	避免降低空调机组的效率，增加空调机组的能耗	保障单台机柜垂直高度上所有设备都能有低温空气的冷却

5.1.3 封闭冷热通道

合理地使用冷通道封闭方案，可大大提升数据中心的散热能力，充分有效地使用机柜和机房空间。而封闭热通道（设置热风池）也能够提高空调的回风温度类提高空调的制冷效率。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
冷通道封闭冷池系统	下送风风网运行机房	半封闭方式为在冷通道两端安装端门，冷通道列间顶部采取局部封闭或走线架安装时位置尽量占用冷通道顶部。全封闭方式为在冷通道两端安装端门，通道顶部采用模块化自动开启天窗。	避免当空气返回到机房空调入口时，热通道的热空气和冷空气相互混合等现象	提高内部的冷气利用率，带走更多设备产生热量，降低设备温度
热通道封闭热池系统	下送风风网运行机房	与冷通道方案类似，将空调的冷风和热风隔离开来	提高空调的回风温度类提高空调的制冷效率	机房IT设备发热量恒定时，设置热通道封闭会比冷通道封闭会增加空调的功耗

5.1.4 精确通风地板

合理地使用冷通道封闭方案，可大大提升数据中心的散热能力，充分有效地使用机柜和机房空间。而封闭热通道（设置热风池）也能够提高空调的回风温度类提高空调的制冷效率。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
有气流导向性的送风地板	风冷下送风机房和水冷下送风机房	较高开孔率的地板并配含有导向性送风地板的叶片，制冷方式从房间级冷却转变为机柜级冷却	降低送风旁流，提高回风温度	减少机房内冷热风混合，提高机柜的冷却能力和机房空调系统的制冷效率
变风量风阀送风地板	风冷下送风机房和水冷下送风机房	机柜前安装带有变风量风阀的送风地板，机柜前后安装温度传感器，地板下设置压差传感器	通过调节风阀的开度来调整风口出风量来适应机柜变化的负载	实时地满足机房各机柜的实际散热要求，实现机柜级按需制冷

带有EC风机的智能送风地板	风冷下送风机房和水冷下送风机房	数据中心高密度区域的送风地板下设置智能变风量风机，机柜前后安装温度传感器	预报机柜需要额外的冷却风量，EC风机根据热负荷的变化自动地提高或降低转速而改变送风量	提高机柜的容积率和机房的租用率，在节省机房空间资源的同时，提升机房空调的功效
---------------	-----------------	--------------------------------------	--	--

5.1.5 BBU 池竖装

4G BBU网络柜开孔率不足，网络柜内4G BBU设备放置拥挤，影响设备传输效率；同时4G BBU设备横装，影响散热效率。实行BBU机柜竖装，加装高效热导流板能解决上述问题。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
BBU机柜	基站机房	BBU机柜竖装，加装高效热导流板	4G BBU设备横装，影响网络柜柜内气流组织，影响散热效率	提高了BBU设备的散热效率

5.1.6 有源无源设备隔离

传输机房存在有源无源设备不区隔，空调无差别制冷，效率低下的现象，可采用相应隔离措施。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
机房设备线路	任意种类数据中心	传输机房有源设备与无源ODF架进行设备线路分离，引入MODF架，配纤集中统一	有源无源设备不区隔，空调无差别制冷，效率低下	有源无源设备不区隔，空调无差别制冷，效率低下，精准送风，实现节能减排

5.2 制冷设备节能技术要求

目的：提升制冷能效cop

5.2.1 变频

既有风冷直膨定频压缩机精密空调的回风温度控制通过两台定转速的压缩机启停来实现，可对风冷直膨精密空调进行变频改造，解决部分负载条件下空调机组低效运行带来的能耗浪费问题。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
风冷直膨精密空调定频-变频改造	安装定频精密空调的风冷机房	通过平稳的控制技术实现设备软启、软停、负荷分配、回油控制，确保风机、压缩机安全性和可靠运行；可自动/手动切换定频模式和变频节能模式	风冷直膨定频压缩机精密空调的回风温湿度控制精度低，机组制冷效率不高、能耗大	能效比提高，机组运行能耗降低，也降低温度波动幅度，减少压缩机启停次数
水冷系统定频-变频改造	水冷机房	在冷却水系统和冷冻水系统各加装变频调速控制系统，每台水泵由一台变频器拖动	确保系统工作安全，避免两台变频器同时拖动同一台水泵造成交流短路事故，避免一台变频器同时拖动两台水泵而超载	自动调节水泵和风机的转速，调节输出流量和制冷量，降低水冷系统能耗

5.2.2 氟泵

用氟泵节能单元代替常规机房空调的压缩机，在冬季或过渡季室外温度较低时，利用制冷剂泵（氟泵）对制冷剂进行室外循环换热；在夏季或过渡季室外温度较高时，采用压缩机对制冷剂进行压缩循环换热。此种智能双循环设计能够在全年一定时间内不必开启压缩机制冷，大大降低空调能耗。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
氟泵制冷系统	制冷设备为一般精密空调的风冷机房	利用原制冷系统的蒸发器和冷凝器进行氟泵改造，用氟泵节能单元代替压缩机	常规机房空调在制冷方面，全年依靠压缩机，氟泵改造后的空调能够在全年一定时间内不必开启压缩机制冷	提高整机能效，实现节能运行

5.2.3 热管制冷

热管制冷技术通过小温差驱动热管系统内部工质形成自适应的动态气液相变循环，具体实现有热管背板、热管列间空调、热管吊顶等形式，如果使用热管背板能依靠重力完成循环，减少输配能耗。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
热管背板系统	高密度机柜的机房	室内包括热管空调末端及管道等；室外为冷源，机架采用“面对面、背对背”的方式，风机上中下均匀布置	把数据中心内 IT 设备的热量带到室外，实现室内外无动力、自适应平衡的冷量传输	减少换热环节，提高冷源温度，降低冷机能耗，延长自然冷源利用时间，节约机房空间

5.2.4 间接蒸发冷却

间接蒸发冷却技术是一项利用水蒸发吸热制冷的绿色节能技术。按照产出物为冷风或者冷水间接蒸发空调可分为风侧间接蒸发空调和水侧间接蒸发空调两种形式。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
风侧间接蒸发空调	具备安装空间和称重结构的机房	需要一种主设备和配套水处理设备，需要充分考虑设备安装空间和基础承重要求	风侧间接蒸发空调通数据中心土建耦合度较高	间接蒸发空调自然冷却温差更小，蒸发空调可以在较长时间内利用自然冷源，从而大大降低空调制冷能耗
水侧间接蒸发空调	具备安装空间和称重结构的机房	在进风端设置间接蒸发冷却段，对进风实现等湿降温预冷	通过和预冷的进风换热获得等于或低于进风湿球温度的冷水，冷水温度趋近于进风的露点温度	夏季间接蒸发冷水机组出水温度低，可以提高冷机COP；春秋季节可延长自然冷却模式工作时间，减少冷机开机时节能降耗

5.2.5 微模块

DC舱（模块化机房）采用封闭冷通道方式，冷气与热气隔离，空调与IT机柜并排间隔摆放，采用空调水平送风直接对机柜吹冷风。因其出厂前完成机柜的预安装，现场只需接通外部电源，固定机柜等简单操作即可使用。DC舱适用于业务退网后留下的大中型旧机房，以及外市电、大型油机、大型中央空调已经建好，但还预留了发展楼层的机房。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
封闭冷热通道	DC舱（模块化机房）	封闭通道组件与其他柜体接缝处可采用密封件进行密封处理；底座与其他设备柜底座一一对应或一段底座同时对接多个机柜	防止柜体与柜体、柜体与封闭通道组件间出现短路或漏风点	使得封闭冷热通道成为模块化组件，方便搭建DC舱
蓄电池组	DC舱（模块化机房）	内置时柜体四周敷设阻燃材料，底座放置有沿绝缘托盘；外置时设置单独的电池室与DC舱就近集中放置，蓄电池管理系统应统一纳入DC舱监控统一管理	避免蓄电池本身故障或酸雾对IT设备带来的不良影响	使得蓄电池组成为模块化组件，方便搭建DC舱
空气调节系统	DC舱（模块化机房）	冷冻水系统应采用双回路，机房楼面应做好防水处理，具备冷凝水检测装置，配电应支持双路供电模式，并支持不间断供电，空调末端宜选用大风量、小焓差、高显热比的产品	避免冷热通道气流混合，避免单点故障，防止空调冷凝水管和加湿水管泄漏	使得空气调节系统成为模块化组件，方便搭建DC舱

5.2.6 新风

智能新风系统和水帘新风系统同时可以应用于IDC机房、通信接入机房以及基站机房。AHU风墙系统属于新风直接冷却技术，对于室外空气质量有一定要求，主要是全年空气的含尘、含硫等一些指标应达到相关规范标准的要求。

适用对象	适用范围	要求	原因	效果
智能新风系统	IDC机房、通信接入机房	将进风口设在机房低处，由离心风机引入机房外部（经过过滤的）较低温度的	排出室内最高温度处的热量，维持机房内一定的正压	能够借助机房内部和外部的空气温度差，实现两个环境热量的交换

	以及基站机房	空气，出风口设在机房高处；利用温湿度传感器探测机房外的空气温湿度情况		
水帘新风系统	IDC机房、通信接入机房以及基站机房	冷风经冷风单元吸收湿帘的冷量后，进入焓值控制柜；排风单元风机向机房外面排风	把洁净的空气从风口送到机房，在机房上层形成负压	对室内的下层热空气进行混合降温，热空气向上走被排风单元排出室外
AHU风墙系统	室外空气质量达标的机房	由进风单元、加湿单元、风墙单元、排风单元、回风单元和控制单元等组成	维持机房内环境湿度，冷却进入机房的空气，将机房热通道中的空气排出机房	数据中心所消耗的电能比之前降低20%~30%

5.3 制冷系统 AI 节能技术要求

目的：精细化配置，减少冷量冗余。

5.3.1 数据采集要求

数据中心部署AI节能系统时应具备以下数据采集能力，按参数类型分类并规定采集周期：

1、计量类参数（采集周期≤15min）

应设置主机、冷冻泵、冷却泵、冷却塔的能耗独立计算的电表，机房内单列机柜的IT负载和空调的功耗可测，包括电流、电压、有功功率和累计用电量等。

2、遥测类参数（采集周期≤5min，安全相关参数≤1min）

适用设备	适用机房	采集参数
风冷空调	通道开放式	设定温度、设定湿度、风机转速、风机频率、回风温度
风冷空调	通道封闭式	设定温度、设定湿度、风机转速、风机频率、回风温度
水冷系统背板空调	通道开放式	设定温度、设定湿度、风机转速、回风温度、水阀开度、阀门开度设定值
水冷空调	通道封闭式	同水冷系统背板空调、通道开放式机房的数据采集参数要求
间接蒸发空调	通道封闭式	设定温度、设定湿度、风机转速、回风温度、干模式/喷淋模式/机械制冷辅助模式状态
水冷冷水系统	任意种类机房	冷冻水出水温度、冷冻水回水温度、冷冻水出水流量、冷冻水回水流量、水冷机组有功功率、制冷量、水冷机组耗电量、蒸发温度、冷凝温度、冷却水出水温度、冷却水回水温度、是否变频

3、环境类参数（采集周期≤15min）

通道开放式机房每列机柜每间隔2个机架安装一个温度测点；通道封闭式机房每通道至少3个温度测点。

4、AI 可调参数与群控联动权限

适用设备	AI可调参数（连续量）	群控联动权限（AI不可直接控制）
风冷空调	送/回风温度设定值、风机频率	机组开关机、压缩机启停
水冷末端空调	送/回风温度设定值、水阀开度、风机转速	空调开关、启停
冷水机组	冷冻水出水温度设定值	机组启停、加减机
冷冻/冷却水泵	水泵频率、压差设定	泵启停、切换
冷却塔	风机频率、出水温度设定值	风机启停、加减机
间接蒸发	风机频率、喷淋模式（增强）	机组启停

5.3.2 接口协议与点表交付

AI节能系统的数据采集与控制接口应满足以下要求：1) 支持Modbus TCP、BACnet/IP、SNMP、OPC UA、RESTful至少一种工业协议或北向API；(2) 提供实时数据订阅与历史数据导出功能；(3) 接口具备鉴权与审计能力，记录所有控制指令的操作日志；(4) 提供完整的测点表（点表），包括参数名称、数据类型、采集周期、数据精度、量程范围、单位等。

5.4 液冷系统节能技术要求

目的：利用液体高比热特性提高传热效率，降低高密机架制冷能耗。

5.4.1 冷板式液冷系统

冷板式液冷通过贴合于IT设备发热部件的冷板与冷却液间接换热，经CDU和管网将热量输送至一次侧冷源散热。节能技术要求如下：(1) CDU二次侧供液温度设定值可根据IT负载动态调节；(2) 二次侧循环泵支持变频控制，根据负载需求调节流量；(3) 干冷器（室外冷却单元）风机频率可调；(4) 供液温度应满足露点约束：供液温度 $\geq$ 机房空气露点+2K，防止冷板和管路表面结露；(5) 应配置LDS设施，实现泄漏感知、定位、报警及联动隔离；(6) 应对冷却液品质（电导率、pH值等）进行监测。

5.4.2 浸没式液冷系统

浸没式液冷将IT设备浸没于介电冷却液中直接换热，分为单相浸没与相变浸没。节能技术要求如下：(1) 冷却液循环泵支持变频控制；(2) 干冷器/冷却塔风机频率可调；(3) 应配置冷却液液位监测与泄漏报警；(4) 相变浸没式系统应配置蒸汽冷凝回路并监测冷凝效率。

5.4.3 风液混合制冷

当数据中心同时部署风冷和液冷系统时，应明确风液混合制冷的运行策略：(1) 根据机架功率密度合理分配风冷与液冷负担的散热负荷；(2) 液冷系统优先承担高密机架散热，风冷系统承担剩余低密区域散热；(3) 应统一协调风冷与液冷系统的运行参数，避免冷量冲突或冗余。

5.5 制冷系统综合节能

绿色化及智慧运维能力将是数据中心和核心机房的核心竞争力，需要机房采用综合节能方案，实现能耗和PUE最优控制。

机房综合节能方案可采用变频、氟泵等设备改造与AI节能技术的叠加。首先通过空调系统改造技术，可实现空调系统能耗大幅降低；再使用AI节能技术，可进一步提升制冷效率和降低机房总能耗。AI节能与BA群控协同工作，AI不取代群控，而是在群控基础上调优。

具体实施方案应对机房现场勘察后确定。实施综合节能后，应分别统计设备改造节能率与AI节能率，综合节能率（含AI节能）不小于15%视为有效节能。

5.5.1 节能效果测量与验证

综合节能效果验证应采用基线对比法，参照GB/T 28750-2012《节能量测量和验证技术通则》的思路执行。

1、基线期

基线期应选取改造前不少于3个月的连续运行数据，覆盖与改造后对比期相同的气候区间（冷暖季）。

2、对比期

对比期建议为改造后连续12个月，或不少于一个完整冷暖季。

3、修正方法

节能率应按气象条件和IT负载修正计算，公式为：

节能率 = (基线期修正耗电 - 改造后实际耗电) / 基线期修正耗电 $\times$ 100%

其中，基线期修正耗电按IT负载与气象（冷却水/室外温度）进行回归修正。

4、测量仪器要求

用于节能效果验证的测量仪器应满足以下要求：（1）电参数测量精度不低于1.0级；（2）温度测量精度不低于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；（3）流量测量精度不低于 $\pm 2\%$ ；（4）测量仪器应定期校准，并在有效期内使用。