

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2022.02.012

# 户外机柜智能通风节能控制终端设计

杨李鑫<sup>1</sup>, 彭来湖<sup>1,2</sup>, 史伟民<sup>1</sup>

(1. 浙江理工大学 浙江省现代纺织装备技术重点实验室, 浙江 杭州 310018;  
2. 杭州勤诚微电子科技有限公司, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**针对目前户外机柜使用过程中存在能耗高、分布零散和管理困难的问题,课题组提出了一种基于STM32的户外机柜智能通风节能控制系统。设计了基于STM32的户外机柜智能通风节能控制终端的硬件结构,介绍了CPU主控单元和各部分辅助电路;采用RS485接口电路,采集机柜内外温湿度以及机柜内设备运行数据;设计了DI电路实现对烟感和漏水等故障状态的检测;基于以太网电路上传采集的数据;设计了DO电路实现对通风系统的控制;基于状态机的思想将机柜外的温差、湿度和机柜的运行状况纳入考虑,设计了智能通风控制系统软件。应用结果表明:该系统不仅可以有效减小空调的运行时间,而且发生故障时可以及时响应和报警。该终端可以有效降低户外机柜的能耗和管理难度。

**关键词:**户外机柜;能耗管理;STM32芯片;状态机

中图分类号:TP272;TH165.2 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2022)02-0074-06

## Design of Intelligent Ventilation and Energy-Saving Control Terminal for Outdoor Cabinet

YANG Lixin<sup>1</sup>, PENG Laihu<sup>1,2</sup>, SHI Weimin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Modern Textile Equipment Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;  
2. Hangzhou Qincheng Microelectronics Technology Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of high energy consumption, scattered distribution and difficult management in the current use of outdoor cabinets, a STM32-based intelligent ventilation and energy-saving control system for outdoor cabinets was proposed. The hardware structure of the outdoor cabinet intelligent ventilation energy-saving control terminal based on STM32 was designed, and the CPU main control unit and each part of the auxiliary circuit was introduced. The RS485 interface circuit was adopted to collect the temperature and humidity inside and outside the cabinet and the operation data of the equipment in the cabinet. The DI circuit was designed for the detection of fault conditions such as smoke and water leakage. Ethernet circuit was designed to upload collected data. The DO circuit was designed to control the ventilation system. Based on the idea of finite state machine, the temperature difference, humidity outside the cabinet and the running status of the cabinet were taken into account, and the intelligent ventilation control system software was designed. The experimental results show that the system can not only effectively reduce the running time of the air conditioner, but also can timely respond and alarm in case of malfunction. This terminal can effectively reduce the energy consumption and management difficulty of outdoor cabinets.

**Keywords:** outdoor cabinet; energy management; STM32; finite state machine

随着5G技术的发展和推广,全国建成的5G基站近70万个。当前国家高度重视5G的发展,5G基础设施的建设必然会进一步得到发展<sup>[1]</sup>。而大量的基站

产生的高额电费,是通信运营商运维成本攀升的主要原因。而户外机柜作为基站的终端设备,降低机柜能耗的研究具有显著的意义。

收稿日期:2021-11-20;修回日期:2022-01-18

第一作者简介:杨李鑫(1997),男,河南南阳人,硕士研究生,主要研究领域为嵌入式软件开发。E-mail:543554623@qq.com

针对降低基站能耗的问题,国内的科研人员都对此进行了研究,其中大部分都是针对房屋型基站提出了相应的解决方法。景龙刚采集室外的温度利用智能控制单元控制空调的电源或空调面板的轻触开关,实现新风系统和空调进行联动,以此降低能耗<sup>[2]</sup>。但以控制空调电源的方式来控制空调的启停,会使新风系统与空调之间的电气耦合性较强,并且空调不断的通断电,对空调的寿命影响较大。黄建丰通过采集新风冷气机出风口的温度、空调的送风温度以及环境空气的湿度与设定的温湿度值进行比较,联动控制空调和新风冷气机的启停,以降低能耗<sup>[3]</sup>。由于温湿度存在波动,以某一个固定的温湿度数值作为调控标准时容易造成设备频繁启停的误动作。李争超利用模糊控制算法,使用通风机、空调和电加热共同来控制基站的环境温度<sup>[4]</sup>,但该方法忽略了对室外湿度的判断;户外湿度过大时,不适合采用通风机来降温。陈圣照等也对基站机房的温度调控策略进行了研究<sup>[5]</sup>,也都未加入湿度的判断,同时策略也存在优化的空间。罗翔远等利用模糊神经网络控制算法来控制空调的运行,从而达到降低能耗的效果<sup>[6]</sup>。

课题组将基站节能的思路应用到户外机柜的设计上,并优化了控制策略,将柜外的湿度以及掉电、漏水等故障情况纳入控制策略。将控制分为故障监测及处理、低温处理、新风处理和高温处理。除去故障监测及处理阶段外,其他不同阶段之间的切换设置均有死区温度。不同阶段的温度点设置和死区温度设置以及湿度控制点的设置都可以灵活调控,以便适应不同地区的气候,更好地利用机柜外的冷空气降温,从而达到降低能耗目的。

## 1 终端系统总体设计

户外机柜内部的温度升高主要原因是柜内设备长期运行产生的热量,并非机柜外部的环境温度导致,所以传统的一年四季都用空调来保持柜内温度的方式忽略了对柜外低温空气的利用,造成了电能的浪费,使得运营成本居高不下<sup>[7]</sup>。课题组的设计思路是在传统的空调制冷系统的基础上引入了通风冷却技术,通过智能通风节能终端实现对风机和空调的联动控制。在室外空气满足要求的情况下,开启新风系统,将室外的

低温新风引入室内,冷空气与机柜内的热空气进行热交换;同时开启排风风机,排除热空气,并维持机柜内的正压,达到降温的效果。该种方式可减少空调的运行时间,从而达到节能的目的<sup>[8]</sup>。

户外机柜简化模型如图1所示。机柜内腔可以用来安放UPS和电量仪等设备;进风口位于柜体左下方,出风口位于柜体右上方。进、出风口的设计位置符合空气流体学特性,冷却效果更好。

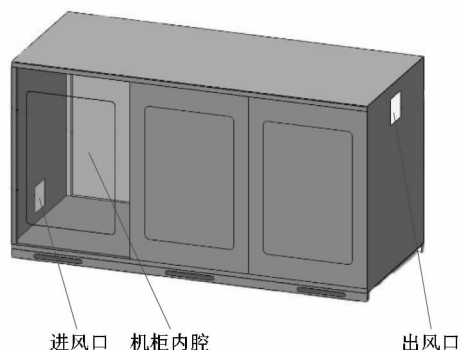


图1 户外机柜简化模型

Figure 1 Simplified model of outdoor cabinet

如图2所示,通过底部进风口将柜外合适的低温空气送到机柜内,低温空气与机柜内的空气进行热交换,之后,从机柜的顶部排出。低温空气的流动方向与空气特性一致,可以得到良好的降温效果<sup>[9]</sup>。

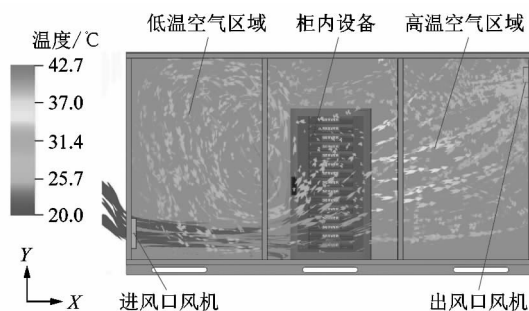


图2 采用通风冷却技术机柜内部空气流动正视图

Figure 2 Front view of air flow inside cabinet with ventilation cooling technology

该终端系统一共包括3部分:智能终端控制模块、被控设备和云端管理平台。智能终端控制模块主要负责外部数据的采集、智能控制逻辑分析处理、被控设备的控制、联网和上传数据;被控设备主要是负责环境控制的风机、风口和空调;云端管理平台是负责智能控制

终端设备的集中管理和远程操作。课题组主要研究智能通风节能终端的设计。终端首先通过 485 接口和 DI 输入接口,实现对外部数据的采集;把获取到的温湿度和空调等相关的参数存入终端内,以便后续的数据上传和处理;主控单元根据采集到的数据进行决策,最终通过 485 接口和 DO 接口控制相应的设备运行。智能通风节能控制终端系统总体结构如图 3 所示。

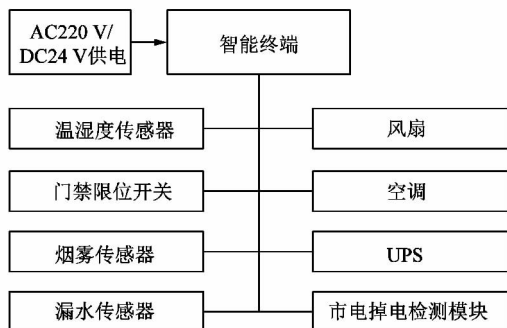


图3 智能终端系统总体架构

Figure 3 Overall architecture of intelligent terminal system

## 2 硬件系统设计

本设计以嵌入式 ARM 系列的 STM32F103VET6 芯片为控制核心,采用其他辅助电路结合而成。整体电路设计分为主控部分、RS485 接口部分、DI 部分、DO 部分、以太网接口部分、铁电存储部分和电源部分。智能终端整体硬件结构如图 4 所示。

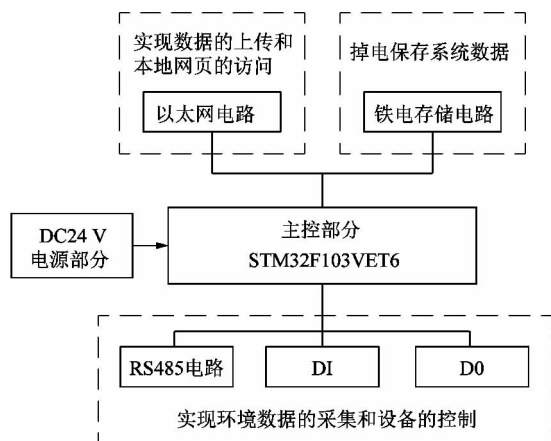


图4 硬件系统总体架构

Figure 4 Overall architecture of hardware system

主控部分向下负责采集与机柜相关的环境信息,并对采集到的数据进行分析处理,并按照预先设定的控制策略控制风扇、风口和空调,实现智能通风和节能控制。向上负责将采集的数据上传至云端管理平台和展示本地网页。

需要采集与机柜相关的信息,主要分为 2 类:一类是空调、不间断电源 UPS 及温湿度传感器在内的通过 RS485 总线方式传递数据的设备,可以通过硬件系统上 RS485 电路实现数据采集与控制;另一类是烟雾传感器、漏水传感器及门禁限位开关等以干接点形式传递的开关量信息,可以通过硬件系统上的开关量输入电路(DI 电路)实现采集<sup>[10]</sup>。通过开关量输出电路(DO 电路)实现对机柜内的风扇和风口的智能控制。

最终通过以太网电路实现本地网页的访问和数据上传云端的功能。采用 W5500 以太网芯片,该芯片内部集成了 10/100 M 以太网数据链路层(MAC)以及物理层(PHY),支持自动协商、掉电模式和网络唤醒功能。其具有 8 个独立的硬件 Socket,并且只需要通过标准的 4 线 SPI 接口就可以实现与主控芯片通信,具有拓展性灵活和使用性方便的特点<sup>[11]</sup>。

## 3 软件系统设计

通过上面的各系统模块,可以实现对环境中的温湿度、烟感漏水等数据的采集以及对空调和风扇的控制。主控芯片根据采集到数据按照预先制定的智能控制策略对数据进行分析,从而判断出当前应该采取的措施,进而控制空调和风扇产生相应的动作,实现节能和智能通风的目的。

### 3.1 软件总体控制流程

系统运行之后,首先要通过采集到的环境信息判断外部是否处于异常状态(烟感报警、温湿度传感器异常、市电异常掉电等),只有当环境正常时才会进入后续的智能控制流程部分,这样可以保证异常状态的及时处理,避免造成更严重的危害。

系统运行流程如下:

1) 首先监测机柜内部是否存在烟感报警的情况,如果出现烟感报警说明有火情出现,此时智能终端会关闭风扇、风口和空调,同时报警。

2) 检查是否处存在市电异常掉电的情况,如果出

现市电异常掉电,智能终端会开启风扇和风口,关闭空调,同时报警。

3) 检查温湿度传感器是否存在故障,如果温湿度传感器存在故障,则立即开启空调并关闭风扇和风口,同时报警。

4) 环境因素都没有产生报警时,系统进入正常的智能控制流程。总体软件流程图如图5所示。

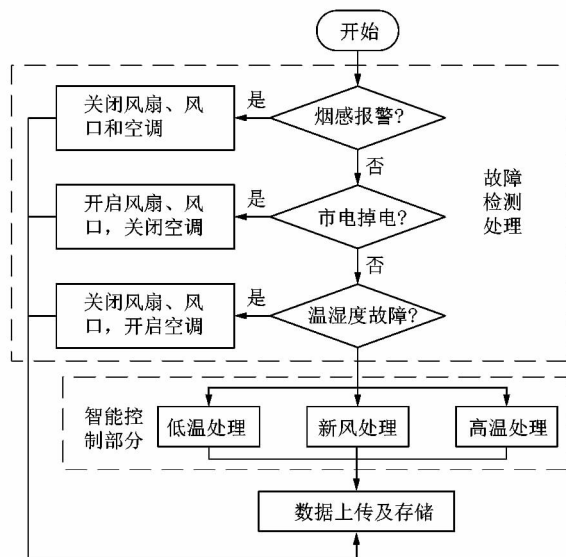


图5 总体软件流程框图

Figure 5 Overall software process flow chart

### 3.2 低温处理流程

系统监测无异常状态时,会进入智能控制部分,根据采集到的机柜内的温度  $T_i$ ,智能终端会处于不同的处理状态:当  $T_i$  低于设定的低温温度  $T_l$  时,智能终端处于低温处理状态,此时会关闭风扇、风口以及空调,利用设备本身的自热进行加温,避免温度的波动导致智能终端频繁的启停风扇、风口和空调;需要再设置一个低温状态脱离温度  $T_{ld}$ ,  $T_{ld} - T_l$  = 死区温度;机柜内的温度变化在死区温度之内时,智能终端的状态不会改变,只有当机柜内的温度  $T_i$  上升到低温脱离温度之上时,智能终端才会切换到其他状态<sup>[12]</sup>。低温处理流程如图6所示。

### 3.3 新风处理流程

当机柜内温度  $T_i$  介于低温设定温度  $T_l$  和高温设定温度  $T_h$  时,智能终端处于新风状态。新风状态是主要的节能通风状态,通过将外部的合适冷空气引入机

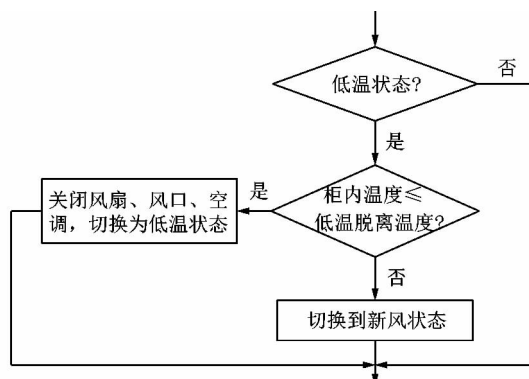


图6 低温处理流程框图

Figure 6 Low temperature treatment process flow chart

柜内实现降温。由于机柜内对空气的要求相对较高,所以该部分的控制逻辑相对复杂。不仅需要新风状态的处理逻辑,还需要对温度进行判断,当温度不处于新风状态时,及时切换到其他状态。

处于新风状态处理流程如下:

1) 判断温度是否处于新风状态。如果不符合则及时切换到其他状态,如果温度符合新风状态,首先需要通过机柜外温湿度传感器采集到的数据,判断机柜外的空气的湿度是否满足要求。

2) 如果机柜外空气湿度满足要求,再判断机柜内外的温差是否满足要求。因为温差过小时通过引入外部冷空气的冷却效率较差;当温差也满足要求时,开启风扇和风口,关闭空调,从而减小空调的运行时间,达到节能的效果。

3) 如果机柜外的空气的湿度或者机柜内外的温差不满足要求时,则开启空调进行制冷,避免引入不良的空气造成设备的损坏。具体的控制流程如图7所示。

### 3.4 高温处理流程

当机柜内的温度高于高温设定温度  $T_h$  时,智能终端处于高温处理状态,此时机柜内的温度较高,需要开启空调,关闭风扇和风口进行制冷。同时为了避免出现因温度的波动而导致智能终端在两个状态之间不停切换,需要设置高温状态脱离温度  $T_{hd}$ ;当进入高温状态后,只有当机柜内的温度降低到  $T_{hd}$  时,才会切换到新风状态。具体框图如图8所示。

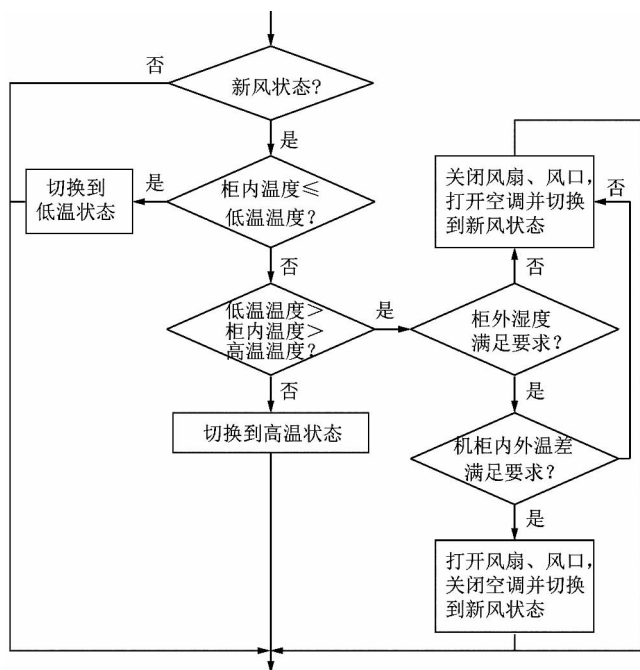


图7 新风处理流程框图

Figure 7 Fresh air treatment process flow chart

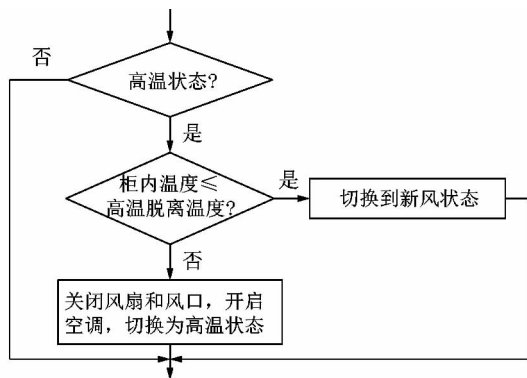


图8 高温处理流程框图

Figure 8 High temperature process flow chart

#### 4 测试与结果

在实际测试中,采用加热器来模拟实际工作时设备的发热,设定可以引进空气的柜外的湿度上限为80%;当机柜外的空气湿度超过80%时,不再适合引入机柜,此时只采用空调进行降温。在柜外空气湿度满足要求并且柜内温度在新风状态的情况下,新风开启的机柜内外温差设定值为5℃,低温温度设定值为5℃,低温脱离温度设定值为10℃,高温温度设定值为32℃,高温脱离温度设定值为27℃。不同温湿度情况下,测试结果如表1所示。

当柜外湿度为90%时,风扇、风口关闭,只启用空调,避免将湿度过高的空气引入柜内。当柜外湿度为70%,柜外温度为20℃,柜内温度为28℃时,此时满足开启新风的条件,启用新风系统,风扇和风口打开,空调关闭,减小空调的运行时间。当柜外湿度为60%,柜外温度为24℃,柜内温度为27℃时,此时机柜内外温差过小,无法达到引入柜外空气降温的目的,启用空调降温。当柜外湿度为50%,柜外温度为31℃,柜内温度为25℃时,此时柜外温度过高,不宜引入,启用空调进行降温。当柜外湿度为40%,柜外温度为35℃,柜内温度为33℃时,此时机柜内温度过高,进入高温状态,启用空调进行降温。当柜外湿度为30%,柜外温度为0℃,柜内温度为3℃时,此时机柜内温度过低,进入低温状态,关闭风口、风扇以及空调,利用设备运行产生的热量进行升温。

表1 不同温度下软件响应状态

Table 1 Software response state at different temperatures

| 柜外湿度/% | 柜外温度/℃ | 柜内温度/℃ | 设备运行状态       |
|--------|--------|--------|--------------|
| 90     | 10     | 25     | 风扇、风口关闭,空调开启 |
| 70     | 20     | 28     | 风扇、风口开启,空调关闭 |
| 60     | 24     | 27     | 风扇、风口关闭,空调开启 |
| 50     | 31     | 25     | 风扇、风口关闭,空调开启 |
| 40     | 35     | 33     | 风扇、风口关闭,空调开启 |
| 30     | 0      | 3      | 风扇、风口关闭,空调关闭 |

表2为机柜不同故障时,设备的运行状态。当烟雾报警时,将风扇、风口和空调都关掉,避免引入空气助燃。当市电掉电时,机柜内有USP和蓄电池等可以为设备供电,此时启用新风系统,关闭空调降低对USP电量的消耗。当温湿度故障时,无法正常采集机柜内外的温湿度状态,此时启动空调,保证机柜温度稳定。

表2 不同故障下软件响应状态

Table 2 Software response state under different faults

| 故障类型     | 设备运行状态       |
|----------|--------------|
| 烟雾报警     | 风扇、风口关闭,空调关闭 |
| 市电掉电     | 风扇、风口打开,空调关闭 |
| 温湿度传感器故障 | 风扇、风口关闭,空调打开 |

根据测试结果,智能终端的控制逻辑与设计相符,在柜外空气满足要求的情况下,可以开启新风系统(风扇和风口),将外部的冷空气引入柜内实现降温的

效果,降低了空调的开启时间,达到节能的目的,同时当设备报警时也能够与风扇空调等产生联动。

## 5 结论

课题组设计的控制终端通过硬件接口和软件对机柜内的设备统一管理,将机柜内外的温湿度以及机柜的运行状况作为机柜温度调控策略的判据,并且经过不同的温湿度和故障状况实验,证明控制终端能够有效地降低空调的运行时间,从而达到节能的效果。除此之外,针对不同的故障也可以及时地控制风扇、风口和空调并报警。在基站机房通风节能的基础上,优化了温度控制策略,分为故障检测处理、低温处理、新风处理和高温处理;将湿度也纳入考虑范围之内,考虑更加全面。并且控制策略中的各项数值都可以灵活设置,以便适用于不同地区。本设计为减少户外机柜的功耗、降低运营成本提供了一种可行的方案。但是文中方法比较适用于户外低温天数较多以及空气质量较好一些地区,在使用上存在一定的不便,后续可以结合控制终端采集到不同地区的数据进行深度学习,使得控制终端可以根据不同温湿度进行自行调控。

## 参考文献:

- [1] 王志成. 5G 网络全球发展现状[J]. 通信企业管理, 2021(1):6.
- [2] 景龙刚. 基站新型智能通风节能系统的设计[J]. 通信电源技术, 2013, 30(3):70-71.
- [3] 黄建丰. 节点机房应急降温与节能系统的研究[J]. 通信电源技术, 2017, 34(5):148-150.
- [4] 李争超. 通信基站节能控制系统研制[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2013:17.
- [5] 陈圣照, 甘海峰. 基站节能控制系统[J]. 邮电设计技术, 2005(2):30-32.
- [6] 罗祥远, 李丽. 一种温度控制系统的模糊神经网络控制方法研究[J]. 德州学院学报, 2015, 31(2):57-61.
- [7] 张九龙. 智能通风技术在移动通信基站节能减排中的应用研究[J]. 通讯世界, 2014(12):14.
- [8] 黄成龙, 杨文鹏. 移动通信基站节能控制的理论与实践[J]. 西安工程大学学报, 2008(2):206.
- [9] 李红霞. 通信机房空调上送风与下送风方式的利弊分析[J]. 邮电设计技术, 2004(4):60.
- [10] 胡晓庆. 基于 STM32 单片机的动力环境监控单元设计[D]. 青岛:青岛大学, 2017:18.
- [11] 熊斯鹏, 陈广辉, 高林, 等. 基于 STM32 单片机动力环境监控终端的设计与实现[J]. 电子世界, 2019(21):125.
- [12] 陈沂, 张宇峰, 孟庆林. 通信基站通风冷却技术的联动控制策略研究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2012, 40(3):352-356.

**QC检测仪器网**  
WWW.QCTESTER.COM

QC检测仪器网  
(www.QCtester.com)  
您身边的仪器采购专家

