

文章编号: 2095—0411 (2011) 02—0045—05

# 基于无线传输和图像控制技术的 SF<sub>6</sub> 湿度检测仪<sup>\*</sup>

王洪元, 乔 辉, 潘 操

(常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

**摘要:** 目前对电网断路器中的 SF<sub>6</sub> 气体湿度检测大都是现场检测, 不能够实时监控; 在检测方法上普遍采用的是光电检测法, 其无法识别镜面上的凝聚相是露点还是霜点, 导致测量误差大。研制的基于无线传输和图像控制技术 SF<sub>6</sub> 湿度检测仪可以识别露霜, 根据结露统计数量调节镜面制冷速度, 使镜面温度准确地平衡于气体露点温度, 提高了检测精度; 并通过无线传输方式将结果送至检测中心, 实现了实时检测和数据收集整合。采用了适应于图像识别处理的高速 DSP 对镜面图像进行实时采集和处理, 并辅助以微控制器对温度进行控制和测量, 数据传输由 GSM 模块完成; 图像识别软件采用了灰度共生矩阵法实现了对露点数量的统计, 实现了对气体露点温度更精准的测量。

**关键词:** 物联网; 智能电网; SF<sub>6</sub> 湿度检测; 图像识别; 共生矩阵; 全球移动通信系统

中图分类号: TP 391

文献标识码: A

## SF<sub>6</sub> Humidity Detector Based on Wireless Transmission and Image Control Technology

WANG Hong—yuan, QIAO Hui, PAN Cao

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** SF<sub>6</sub> gas humidity detection in the Power Circuit Breaker are mostly on—site inspection, so it can not be real—time monitoring. The method of photoelectric detection is adopted generally in the dew—point hygrometer at present, but this dew—point hygrometer cannot distinguish whether condensation photograph on the mirror is dew point or frost point, so measure errors are incurred. This system can distinguish the dew point from frost point, and can adjust refrigeration rate by considering the number of dew—point, making the temperature of mirror balance in the dew point temperature, so it can improve accuracy. The result will be sent to the testing center by wireless transmission, and this achieves real—time detection and data collection. The high—speed DSP which is used for identifying and processing image to acquire and process the mirror image, and the microcontroller is used to control and measure the temperature of the mirror. GSM is used to translate data. The method of Gray Level Co—occurrence Matrix is used to count the number of dew—point, and this lead to higher accuracy.

**Key words:** internet of things; smart grid; SF<sub>6</sub> humidity detector; image recognition; Gray Level Co—occurrence Matrix; GSM

\* 收稿日期: 2010—10—14

基金项目: 国家自然科学基金项目资助 (61070121, 60973094); 国家中小企业创新基金 (08C26213200) 项目资助; 江苏省研究生创新基金项目资助 (SCZ090752093)

作者简介: 王洪元 (1960—), 男, 江苏常熟人, 教授。

电网运行规程强制规定, 在断路器等设备投运前和运行中都必须定期对  $\text{SF}_6$  气体的密度和含水量进行检测。 $\text{SF}_6$  气体含水量的现场检测方法有电解法、冷凝法和阻容法。目前大多采用便携式露点仪进行现场检测。检测时需断电, 长时间排放  $\text{SF}_6$  气体, 检测后必须补气, 整个过程烦琐, 耗时耗物力, 影响电网正常运行, 减少营业收入。此外,  $\text{SF}_6$  气体作为一种氟化物, 是破坏地球臭氧层和产生温室效应的有害气体之一。 $\text{SF}_6$  气体在经分合闸拉弧后, 会分解出多种有毒物质, 直接影响现场检测人员的身体健康。

目前国际上的露点仪<sup>[1]</sup>主要采用光电检测热电制冷镜面冷凝式精密露点仪。这种露点仪通过光敏管感受镜面反射光的变化来判断镜面是否有蒸气的凝聚相出现, 但是在测量露点温度低于  $0^\circ\text{C}$  的气体时, 由于无法判断镜面上凝洁的是露还是霜, 也不能正确统计露点数量并对镜面制冷速度进行调整, 这样就会引入测量误差 (露点温度比霜点温度高  $0.5\sim 1.0^\circ\text{C}$ )。随着数字信号处理器 DSP 的飞速发展, 它以其高速、准确的性能为图像获取带来了新的途径, 使得采用图像识别技术来检验露点成为可能。由于利用图像识别技术可以较容易地区分出镜面上出现的是露还是霜, 并可以根据统计露点数量控制镜面制冷速度, 使镜面温度准确地平衡于气体露点温度, 因此它的测量不会引入原理性的测量误差。

物联网被认为是继计算机、互联网之后的第三次数字技术革命, 备受国内外关注。智能电网作为物联网应用的最主要应用场景之一, 受到业界广泛关注, 它把各种供电和用电设备连接一体。是当今世界电力系统发展变革的方向标, 是 21 世纪电力科技创新与发展的重要趋势。物联网作为智能电网实现的技术手段之一, 可以为实现智能电网提供有力的通信技术支撑。目前我国电网输、变、配设备巡检主要依靠巡检人员定期定时进行人工巡检, 由于受气候条件、环境因素等多方面客观因素的制约, 巡检质量和到位率无法保证。

GSM<sup>[2]</sup>网络作为无线智能监控系统的信息传输平台是一种很有效的方法, 其原理简单, 安全保密性高, 又不需要组建专用网络和维护网络, 加上 GSM 网络覆盖面广, 因此与传统的监控系统相比有着其独特的优势。采用 GSM 网络作为传输中介, 可以快速部署测量终端, 降低数据传输成本, 对实现智能电网有重要意义。

## 1 系统原理

镜面湿度检测基本原理: 利用微型摄像机作为检露传感器实时监测镜面, 采用热电制冷器冷却镜面, 图像采集板实时的采集镜面的状态数据, 并利用图像识别的数学方法来判别镜面是否结露或者结霜, 并得到露点统计数量, CPU 则根据露点统计数量来调节镜面的温度, 使其自动平衡于气体的露点温度, 并使露点均匀地分布于镜面之上, 气体中的水蒸汽与镜面上的露点呈热力学平衡状态, 此时测得的镜面温度则为被测气体的露点温度。可以准确快速地测量气体湿度, 精度达到  $0.2^\circ\text{C}$ , 见图 1。

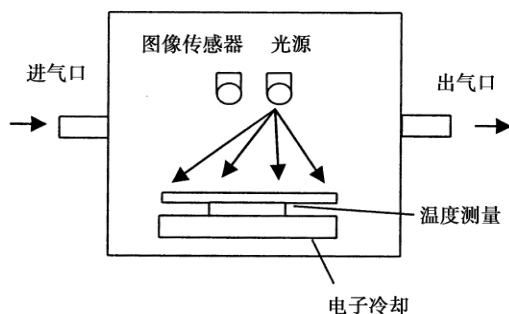


图 1 图像识别镜面传感器示意图

Fig 1 Diagram of the image recognition sensor

无线传输采用 GSM 模块, 该模块功能主要用于实现 PDU 模式的短消息编码, 以及使用 AT 指令发送短信。接收检测中心的检测命令并将测量结果发送到检测中心。

## 2 系统硬件

系统硬件电路如图 2。系统硬件由 3 部分构成: 图像采集识别部分、无线通信部分和温度测量控制部分。图像采集识别部分由摄像头、解码芯片、DSP、DRAM、FLASH 和监视器构成。其核心 DSP 是 TI 的工作频率高达  $600\text{MHz}$  的处理器 TMS320DM6437<sup>[3]</sup>, 高达  $5600\text{MIPS}$ 。这完全满足实时图像采集识别的需求。其片上资源丰富, 4 路的 DAC 输出, 辅助简单电路就可以完成图像视频输出。使得系统硬件设计简单。系统解码芯片采用 TVP5150, 其功耗低、支持 NTSC/PAL/SECAM 等格式。在正常工作时, 它的功耗仅  $115\text{mW}$ , 并且具有超小封装 (32 脚的 TQFP), 因此完全满足并适用于本系统的需求, 减少系统冗余, 降低成本。无线通信部分主要由由 MC35i<sup>[4]</sup> 构成, MC35i 是西门子公司推出的 GPRS 通讯模块, 支持语音

通讯，具有 GPRS，USSD 和 CSD 3 种数据传输方式以及短信和 FAX 功能。模块具有体积小、质量轻、功耗低等特点。MC35i 的工作电压为 3.3—4.8 V，典型电压为 4.2 V。最大工作电流为 2 A。模块可以工作在 EGSM900 和 GSM1800 两个频段。利用 AT 指令进行控制。系统采用 3 线制（RXD/TXD/GND）的方式连接 MC35i 与微控制器。

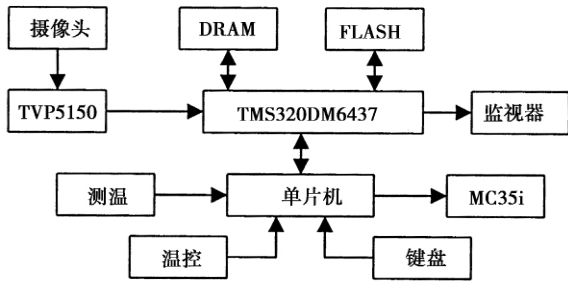


图 2 系统硬件原理图  
Fig 2 Hardware schematic

温度测量<sup>[5]</sup>控制部分电路主要由单片机配合相应的测温，温控电路组成。其核心部分是测温 and 温控电路。镜面温度测量在系统中有重要地位，因为其测量精度、准确度直接影响露点仪的测量结果，所以温度传感器为高精度铂热电阻；为了减少测量误差，传感器镜面下面的铂热电阻和温度测量电路的连接采用 4 线制，温度传感器的调理电路采用有源桥式电路，A/D 转换采用双积分型。温控电路主要由接口电路、D/A 转换电路、I/V 转换电路、以及驱动电路组成，在单片机控制下给制冷镜面制冷。

图像采集识别电路和温度测量控制电路通过串口通信实现系统信号数据传输。温度测量控制电路通过串口给图像采集识别电路下达采集识别命令等参数。后者将结果实时传输给前者。数据格式采用自定义格式。单片机将测量结果编码后，通过串口用 AT 指令控制 GSM 模块将数据发送到检测中心。

综上所述，本系统硬件电路设计在器件选型上采用高性能、高精度、高可靠性元件；系统采用模块化设计；原理上采用了较好的抗干扰措施；在电路原理设计上为系统可靠运行提供了保障。又在 PCB 设计中，参考了大量布线设计，在电源电路、图像采集电路、温度测量电路、温度控制电路部分采用了较好的抗干扰布线措施，使得最终系统硬件平台运行良好，可靠。

### 3 系统软件

系统软件主要有：图像识别、制冷镜面温度测

量与控制和 GSM 模块控制软件。图像识别是基础，其得到的数据提供给温度控制单元，温控单元根据当前结露情况调节制冷速度，使得镜面温度最终平衡于露点温度。GSM 模块控制软件接收检测命令以及将测量结果编码传输至检测中心。

#### 3.1 图像识别软件

图像识别部分主要有两个方面：判断镜面上凝结相是露还是霜；统计结露结霜的多少。在进行判断统计前，先对图像进行滤波。其主要作用是为了消除镜面图像噪声，但是为了保证露点检测的灵敏度，在滤波的过程中，必须使镜面图像的细节不受破坏，同时镜面图像上的露点和背景具有不同的统计特性，因此在对镜面图像进行滤波时采用数字自适应滤波<sup>[6]</sup>，这样既保留了有用的边缘信息，又有利于保护镜面图像细节。

##### 3.1.1 霜露判断

霜露判断是识别的关键之一。镜面在未结露前是光滑的，其灰度分布是均匀的，当镜面上有水蒸气的凝聚相出现后，其灰度就会有所变化。如果镜面上凝聚相是露点，则镜面图像的灰度级范围变化不大，仍大概分布在整个灰度范围内，但露点图像对应的灰度级像素比例增加；如果镜面上凝聚相是霜，则其灰度级范围缩小，集中在一个区间。

根据镜面上凝聚相是露点和霜点时候的图像灰度级范围不同，可以对图像进行灰度直方图化，得到图像灰度级函数，从而判别当前镜面图像上的凝聚相是霜点还是露点。如图 3 中 a—f 所示的图片是从初始状态到结露，再到结霜。a—d 是没有结霜的，其灰度级范围遍布大概整个灰度空间。e、f 为结霜的，其灰度级只在整个灰度范围的中间一个区域。如图 4 所示。

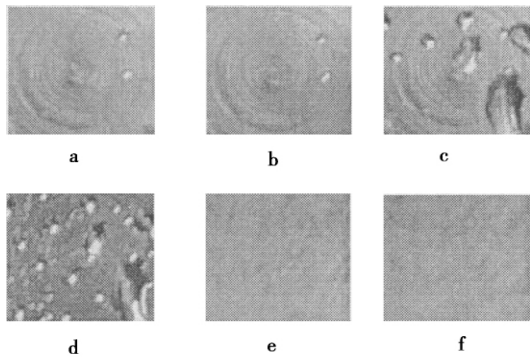


图 3 镜面图像

Fig 3 Image on mirror

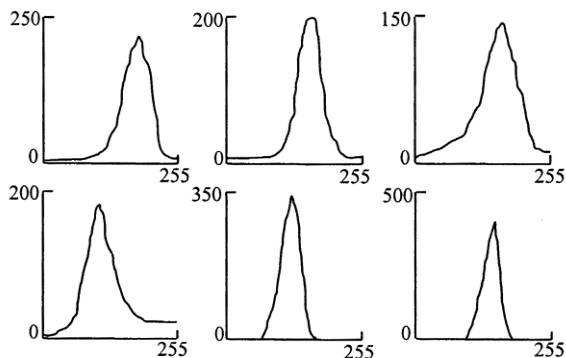


图 4 镜面图像灰度直方图

Fig 4 Histogram of mirror image

### 3. 1. 2 露点统计

随着制冷镜面温度的下降, 在达到露点温度前, 镜面上的露点数量越来越多。如图 3 可以看出这一变化过程。系统根据镜面露点的这一变化趋势而调整镜面制冷速度, 达到让镜面温度最终平衡于露点温度目的。所以对镜面结露情况的统计至关重要。

制冷镜面上结露点的数量可以根据镜面图像的纹理特征进行识别。较多的露点时, 纹理比较密, 反之, 则较稀疏。为了定量描述纹理, 多年来人们建立了许多纹理算法以测量纹理特性。这些方法大体可以分为两大类: 统计分析法和结构分析法。前者从图像有关属性的统计分析出发; 后者则着力找出纹理基元, 然后从结构组成上探索纹理的规律。也有直接去探求纹理构成的结构规律的。目前常用的纹理特征识别方法有直方图分析法、纹理分析的自相关函数法、灰度共生矩阵分析法。

#### (1) 直方图分析法

直方图分析法<sup>[7]</sup>是将纹理区域的灰度直方图作为纹理特征, 为了研究灰度直方图的相似性, 可以比较累积灰度直方图分布, 计算灰度级的最大偏差或总偏差。如果限定对象, 则采用这样简单的方法也能够识别纹理。但是灰度直方图不能得到纹理的二维灰度变化, 即使作为一般性的纹理识别法, 其能力是很低的。对于本系统应用来说, 其无法区分较少的大露点和较多的小露点。所以该方法简单, 但适应性不强。故不采用。

#### (2) 自相关函数法

自相关函数法<sup>[8]</sup>定义为: 若有一幅图像  $f(i, j)$ ,  $i, j=0, 1, \dots, N-1$ , 则该图像的自相关函数定义如下。

$$\rho(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1-x} \sum_{j=0}^{N-1-y} f(i, j) f(i+x, y+j)}{\sum_{i=0}^{N-1-x} \sum_{j=0}^{N-1-y} f(i, j)^2}$$

自相关函数  $\rho(x, y)$  随  $x, y$  大小而变化, 其变化与图像中纹理粗细的变化有着对应的关系, 因而可描述图像纹理特征。定义  $d = (x^2 + y^2)^{1/2}$ ,  $d$  为位移矢量,  $\rho(x, y)$  可记为  $\rho(d)$ 。在  $x=0, y=0$  时, 从自相关函数定义可以得出,  $\rho(d) = 1$  为最大值。不同的纹理图像,  $\rho(x, y)$  随  $d$  变化的规律是不同的。当纹理较粗时,  $\rho(d)$  随  $d$  的增加下降速度较慢; 当纹理较细时,  $\rho(d)$  随着  $d$  的增加下降速度较快。随着  $d$  的继续增加,  $\rho(d)$  则会呈现某种周期性的变化, 其周期大小可描述纹理基元分布的疏密程度。该方法是一种有效的分析纹理特征的方法, 可以测量纹理的稀疏。但对于本系统应用中的镜面图像特点, 该方法同样有缺陷, 即当镜面露点分布不均匀时, 该方法不太适应。

#### (3) 灰度共生矩阵法

灰度共生矩阵<sup>[9]</sup>的定义: 三维空间中, 相隔某一距离的两个像素, 它们具有相同的灰度级, 或者具有不同的灰度级, 若能找出这样两个像素的联合分布的统计形式, 对于图像的纹理分析将是很有意义的。灰度共生矩阵就是从图像  $(x, y)$  灰度为  $i$  的像素出发, 统计与距离为  $\delta = (\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2}$ 、灰度为  $j$  的像素同时出现的概率  $P(i, j, \delta, \theta)$  用数学式表示如下:

$$P(i, j, \delta, \theta) = \{ [(x, y), (x+\Delta x, y+\Delta y)] \mid f(x, y) = i, f(x+\Delta x, y+\Delta y) = j; x, y=0, 1, \dots, N-1\}$$

根据上述定义, 所构成的灰度共生矩阵的第  $i$  行、第  $j$  列元素, 表示图像上所有在  $\theta$  方向、相隔为  $\delta$ , 一个为灰度  $i$  值, 另一个为灰度  $j$  值的像素点对出现的频率。这里  $\theta$  取值一般为  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $135^\circ$ 。很明显, 若  $\Delta x=1, \Delta y=0$ , 则  $\theta=0^\circ$ ;  $\Delta x=1, \Delta y=-1$ , 则  $\theta=45^\circ$ ;  $\Delta x=0, \Delta y=-1$ , 则  $\theta=90^\circ$ ;  $\Delta x=-1, \Delta y=-1$ , 则  $\theta=135^\circ$ 。 $\delta$  的取值与图像有关, 一般根据试验确定。在本系统中取值范围为 1—5。

灰度共生矩阵反映了图像灰度关于方向、相邻间隔、变化幅度的综合信息, 它可作为分析图像基元和排列结构的信息。作为纹理分析的特征量, 往往不是直接应用计算的灰度共生矩阵, 而是在灰度共生矩阵的基础上再提取纹理特征量, 称为 2 次统计量。一幅图像的灰度级数一般是 256, 这样计算的灰度共生矩阵太大。为了解决这一问题, 在求灰度共生矩阵之前, 常压缩为 16 级。对于本系统的应用 16 级灰度和 8 级灰度均可。

Haralick 等人由灰度共生矩阵提取了 14 种特征。最常用的 5 个特征是：角二阶矩（能量），对比度（惯性矩），相关，熵，逆差矩，被证明成功的用于纹理分割及纹理分析中。

根据图像共生矩阵的能量参数，可分辨露霜点的多少。如图 3 中的镜面图像的灰度共生矩阵能量如表 1 所示。

表 1 镜面图像共生矩阵能量  
Table 1 GLCM energy of mirror image

$E_a$	$E_b$	$E_c$	$E_d$
0.505 4	0.359 4	0.286 2	0.268 0

### 3.2 制冷镜面温度控制软件

温度控制部分要根据露点统计数量来调节制冷镜面制冷系数，让镜面温度控制可以根据当前结露情况进行调整，使得镜面温度最终可以平衡于露点温度，避免出现过饱和现象。

温度控制单元根据露点统计数量变化速度调节制冷镜面温度下降速度，即当露点统计数量变化过快时，减小镜面温度下降速度，反之，增加镜面温度下降速度。这样即保证了露点平衡的时间效率，又不会因为温度下降过快而低于露点温度。

大量的实验证明这种方法可以准确的使得镜面温度保持在露点温度，并使露点均匀地分布于镜面之上，给系统的检测精度提供了有力的保障。

### 3.3 GSM 模块控制软件

GSM 模块软件的主要工作是接收检测中心发送的命令和发送检测结果到检测中心。接收短消息即是将接收到的短消息内容进行解码，其次从短消息的 PDU 格式中获得接收所用的 SMS 服务中心号码、发送端号码、短信发送的时间和内容，从而解析得到检测中心下达的命令。如果是发送短消息，那么主要的工作是将发送的内容进行相应的编码，其次就是将发送所用的 SMS 服务中心号码、

目标号码、有效时间和编码后的短信内容按照 PDU 的格式发送出去。

## 4 结论及展望

本文介绍的露点仪，由于采用了图像识别技术来判别露霜，并能够根据露点统计数量调节制冷镜面温度下降速度；与传统的露点仪相比有更高的精度、稳定性好等特点。在各种工况下进行性能测试，运行情况良好。在-40 至+20℃ 情况下，测试精度达到 0.2℃；在-70 至+40℃ 情况下，测试精度达到 0.5℃。同时采用无线传输方式大大减少了人力物力，满足物联网时代的需求，对实现智能电网有重要意义。本系统具有较高的性价比，极具推广价值。

#### 参考文献：

[1] 国家计量局. JJG 499—87 中华人民共和国国家计量检定规程—精密露仪 [S]. 北京：中国计量出版社，1988.

[2] 魏红. 移动通信技术 [M]. 北京：人民邮电出版社，2005：1—193.

[3] Texas Instruments. TMS320DM6437 Digital Media Processor. (2008—06—06) [2010—03—08] [EB/OL]. <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tms320dm6437.pdf>.

[4] SIEMENS. MC35i—EN. (2007—02—07) [2010—01—08] [EB/OL]. [http://www.siemens.cz/extra/msv/cd/ICM\\_D/MC35i\\_EN.pdf](http://www.siemens.cz/extra/msv/cd/ICM_D/MC35i_EN.pdf).

[5] 杨永军，蔡静. 特殊条件下的温度测量 [M]. 北京：中国计量出版社，2009.

[6] 靳明，宋建中. 一种自适应的图像双边滤波方法 [J]. 光电工程，2004，31（7）：65—68.

[7] 龚金云，全思博. 基于灰度图像直方图的边缘检测 [J]. 装备制造技术，2007，3（12）：50—52.

[8] 尹义龙，宁新宝，张晓梅. 改进的指纹细节特征提取算法 [J]. 中国图象图形学报，2002，7（12）：1 303—1 304.

[9] Johan van horebeek，Ernesto tap ia2rdodr igez. The app roxi-mation of a morphological opening and closing in the p resence of noise [J]. Signal Processing，2001，81（9）：1 991—1 995.