

DOI: 10.3969/j.issn.1009-9492.2023.05.048

汪义玲, 刘基照, 李岷芳, 等. 风机群在轨道交通项目中的节能探索 [J]. 机电工程技术, 2023, 52 (05): 228-232.

风机群在轨道交通项目中的节能探索

汪义玲¹, 刘基照¹, 李岷芳¹, 龚进成¹, 刘晓池²

(1. 南方风机股份有限公司, 广东佛山 528200; 2. 武汉大学弘毅学堂, 武汉 430072)

摘要: 为实现城市轨道交通通风系统节能, 提出一种新的节能方案。分析风机群的节能原理, 对轨道交通典型TVF风机进行改造, 详细对比常用的变频节能方案与风机群节能方案的优缺点。风机群的节能技术是用多台小型风机替代一台大风机, 分解了设备整体质量及电机容量, 方便吊装和维护; 小功率的电机可以不配置软启动装置而直接启动。通过关停风机群的个别风机可实现通风系统的气动性能调节, 进而实现按实际需求调节通风; 不需配置变频装置, 节约了初投资。该方案有望用于轨道交通旧项目改造、新项目建设中, 也可用于替代其他工程项目的大功率风机。

关键词: 轨道交通; 变频节能; 风机群; 大功率风机

中图分类号: U231.5

文献标志码: A

文章编号: 1009-9492 (2023) 05-0228-05

Research of Energy-saving for Multi-combined Fans' Application in Mass Rail Transit Project

Wang Yiling¹, Liu Jizhao¹, Li Minfang¹, Gong Jincheng¹, Liu Xiaochi²

(1. Nanfang Ventilator Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528200, China; 2. Class of Hongyi, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to realize energy-saving of the urban rail ventilation system, a new energy saving scheme was presented. The energy-saving principle of the multi-combined fans was analyzed, typical TVF fans of rail transit were reformed, and the advantages and disadvantages of commonly used frequency conversion energy-saving schemes and fan group energy-saving schemes were compared in detail. The multi-combined fans of energy-saving technology is to use more than one small fan to replace a big fan, decompos the overall weight and motor equipment capacity, convenient assembly and maintenance; low power motor can be directly started without soft start device. By shutting down one or two of the individual fan of the multi-combined fans, the air performance of the ventilation system can be adjusted to realize the ventilation energy saving according to the actual demand; there is no need to configure frequency conversion device, so the initial investment was saved. The scheme is expected to be used in the reconstruction of old rail transit projects, the construction of new projects, and can also be used to replace the high-power fan of other engineering projects.

Key words: mass rail transit; frequency conversion energy-saving; multi-combined fans; high-power fan

0 引言

节能是我国可持续发展的一项战略和基本国策。为助力国家“碳达峰、碳中和”目标早日实现, 切实推动节能与绿色发展, 各行各业都在寻求并落实节能措施。国家部委对城市轨道交通节能环保规划和运营相关政策逐渐细分, 城市轨道交通规划、建设和运营步入全过程节能化管理阶段。国家发改委在交通基础设施建设项目审批程序中, 要求严格遵守《中华人民共和国节约能源法》中规定的合理用能的原则, 必须进行“节能专篇”的研究; 要求项目应遵循合理用能指标及节能设计规范、能耗指标、节能措施和节能效果分析等内容。

随着我国城市化进程的发展, 轨道交通成为城市居民的主要出行工具, 截至2021年底, 中国大陆地区共50个城市开通城市轨道交通运营线路283条, 运营线路长

度为9 206.8 km^[1]。在城市轨道系统的日常运行中, 环控系统能耗占到地铁系统能耗的40%以上, 降低地铁环控系统的能耗, 可以节约能源, 降低运行成本^[2]。郭山河^[3]从某市轨道交通运行路线整体消耗的统计数据角度分析, 地下车站通风空调系统所使用的电量约占轨道交通全站消耗量的30%, 系统的用电成本大约占整体运营成本的30%, 对该市轨道交通的经济起到较大影响。所以, 如何降低轨道交通地下车站通风空调系统的能源使用量便成了当前迫切需要解决的问题。

刘英杰等^[4]提出城市轨道交通通风空调系统作为耗能大户之一, 应从全寿命周期成本的角度综合考虑该系统方案的确定及设备的选型和配置, 同时根据负荷的变化实现智能化、智慧化的运行控制, 以达到高效节能的目的。唐超等^[5]从地铁通风空调能耗根源出发, 提出在

规划设计之初与线路、行车、供电、建筑等专业人员进行配合, 优化方案, 减少耗能因素。在运营过程中可从管理和技术两方面, 积极优化通风空调系统能耗。有课题研究了城市轨道交通综合节能管理系统, 包括系统架构、系统接口、系统数据及系统应用等, 该系统改变传统以单一系统或者设备作为节能控制对象的做法, 从系统的角度出发, 将地铁车站的能耗统计、分析和管理实现跨专业综合, 不仅解决了单一系统或者设备进行节能控制的片面性, 还解决了能耗统计与节能管理相脱节的问题。在助力国家“双碳”目标过程中, 首先要努力提高风机产品的效率, 同时, 也应给通风系统匹配合适的风机方案, 保障通风系统整体节能运行。本文提出风机群在轨道交通中应用的节能方案, 通过分析各种节能方案的原理, 重点对比 TVF 风机采用一台风机变频节能和风机群节能的优劣势, 提出了一种可节约初投资且运行时节能效果明显、操作维护方便的一种通风方案。

1 环控系统常用的节能方案

为实现城市轨道交通通风系统节能, 设计院、设备供应商、地铁运营公司等均分别采取了一定的节能措施, 主要体现在以下几种方案:

(1) 新风占比的设计控制, 主要体现在降低部分设备的运行环境要求, 尤其是无人值班车间的设备管理房等空间, 减少新风比例, 降低热交换量需求, 以直接减少用电需求。

(2) 利用风阀调节风机的出风量, 在地铁通风空调系统设计中, 设计人员考虑了环境的极端状况及客流量满负荷运行, 导致系统的最大热负荷偏大, 且设备的选择一般都是按照最不利因素下 (即系统最大热负荷时) 选取。实际上, 这种极端环境的满负荷情况是很难遇见的, 即系统实际需要的热负荷是远小于设计最大负荷的, 导致了系统运行超过实际需要, 能耗偏大。故在运行过程中, 可运用阀门的调节功能, 即增大系统的阻力系数, 使风机运行在高压力的低流量区, 使得风机在偏离其高效率区运行, 一定程度上风机的能耗是增加的, 但该措施可以降低空调处理负荷, 对于通风系统有一定的节能效果。

(3) 屏蔽门有效隔离需要处理的空气空间, 地铁站台安装“屏蔽门”, 除了可以起到安全保护、隔离噪音的作用, 还能有效减少空气对流造成的站台空调负荷流失, 一定程度上减少空调热负荷, 有良好的节能效果。

(4) 变频技术的成熟应用, 不但有效解决了“设计的系统最大热负荷”问题, 同时也可以通过智能化控制系统, 有效监测站台内的温度、湿度、清洁度, 实时反馈系统的负荷需求。现阶段, 我国开始研究各地区车站通风空调智能控制系统, 在智能调节温度及风量的同时,

达到节能减排的目的^[6]。车站通风空调智能控制系统利用变频技术调节风机的运行转速, 精准匹配系统实际需求负荷。根据流体机械的相似原理, 风机的出风量与其转速成一次方正比、风机的全压与其转速成二次方正比、风机的功率与风机的转速成三次方正比关系, 可见调节风机的转速能改变风机的气动性能, 保障通风系统的负荷需求, 同时也能快速改变风机运行的耗电量, 降速调节气动性能对通风系统的节能效果最明显。

(5) 提高风机、空气处理机组等通风系统运行设备的能效等级。目前在地铁项目中, 要求风机的能效等级达到Ⅲ级以上, 部分大型风机的能效等级要求为Ⅰ级, 同时对电机的能效也出了更高的要求。该措施保障了风机单体的高效率性能, 但当系统需求发生变化时, 不能确保风机是否在高效率区运行。

在新建设的轨道交通项目中, 上述常用的节能措施都是同步应用的, 为全面实现轨道交通节能与绿色运行, 很多旧地铁项目在逐步改造, 增加节能措施, 在条件有限的情况下, 用风机群替换大功率风机可以方便快捷地实现通风系统节能。

2 风机群的节能方案

针对隧道系统的大型风机, 可以用多台风机并联或串联实现一台风机的通风能力。其节能原理是, 根据系统负荷需求, 实时组合适量的风机运行, 通过直接关停部分风机来实现系统节能。

以地铁通风系统的隧道风机 (TVF) 为例, 该风机为双向 (正反转) 轴流风机, 设置于车站两端设备区的隧道风机房或长区间的中间风机房内, 用于区间的隧道通风及防排烟, 通常需求的气动性能为: 风量 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 、全压 900 Pa 。大部分项目配用一台风机, 规格为: 叶轮直径 2 m 、风机转速 980 r/min 、电机功率 90 kW 。其安装大样图如图 1 所示, 风机两端的风道较大, 需配置较大的天圆地方过渡风管对接。

根据隧道风机 (TVF) 的需求, 拆解多种小型风机组合, 风机群配置方案如表 1 所示。

表 1 中, 序号 1 为现在地铁常用的配置方案, 序号 2、3、4、5 均为风机群方案, 根据并联原理, 风量相加, 风压不变。风机群配置的单体风机设计全压为 900 Pa , 选取的风量不同, 配置方案也不同。

本文重点分析方案 5 的调节性及节能效果, 该方案为由两大、两小共 4 台风机组成的风机群: 风量分别为 $12 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $18 \text{ m}^3/\text{s}$, 当停运 1 台 $12 \text{ m}^3/\text{s}$ 的风机时, 风机群运行在 $48 \text{ m}^3/\text{s}$ 风量区, 占设计风量的 80%, 节约用电 15 kW ; 当停运 1 台 $18 \text{ m}^3/\text{s}$ 的风机时, 风机运行在 $42 \text{ m}^3/\text{s}$ 风量区, 占设计风量的 70%; 依此类推, 则方案 5 风机群的风量调节性能及节能效果如表 2 所示。

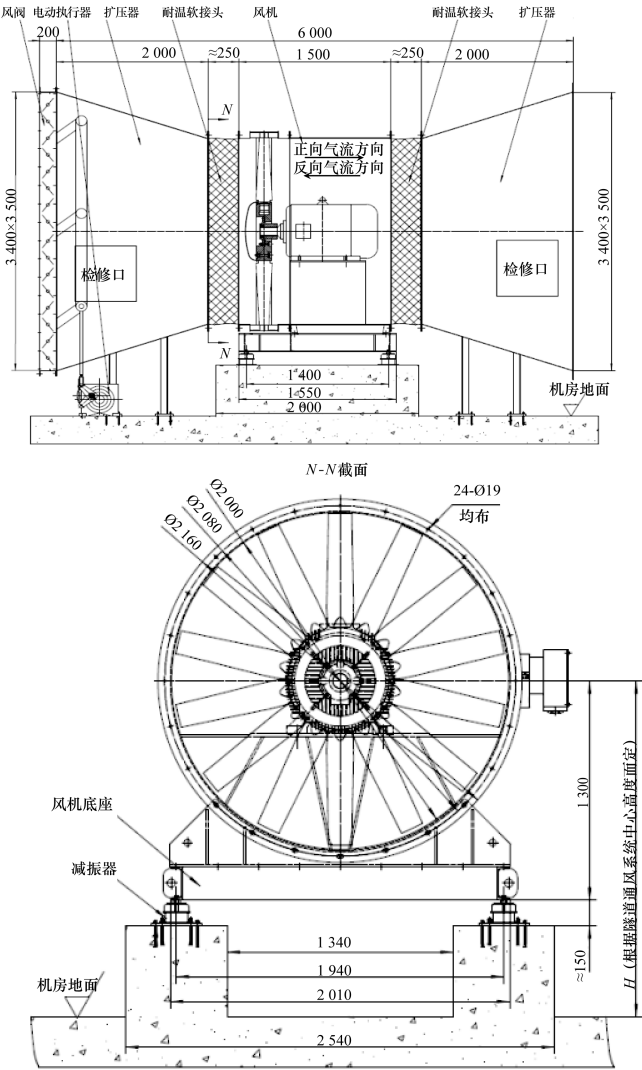


图1 隧道风机(TVF)大样图

表1 风机群方案及主要性能特征

序号	风机配置方案	单设备	设备	风机叶	风机	电机	风量的调节性
		流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	全压/ Pa	轮直径/ mm	转速/ (r·min ⁻¹)	功率/ kW	
1	1台(常规方案)	60	900	2 000	990	90	0、100%
2	2台等规格	30	900	1 400	1 485	45	0、50%、100%
3	3台等规格	20	900	1 120	1 485	30	0、33%、66%、100%
4	4台等规格	15	900	1 000	1 480	22	0、25%、50%、75%、100%
5	4台(两大、两小)不等规格	12	900	900	1 475	15	20%、30%、40%、50%、
		18	900	1 120	1 485	30	60%、70%、80%、100%

由2表可见,方案5风机群的气动性能调节范围宽,流量范围为20%~100%,能最大限度地满足环境需求,且直接有效地实现风机的节约用电,节能效果明显。

按并联原理:风量相加、压力不变,计算出方案5风机群的组合性能,描绘其性能曲线如图2所示,其工

表2 方案5风机群的风量调节性能及节能效果

调节方案	运行气动性能	性能占比	运行电 机功率	停运电 机功率
4台风机运行	60 m ³ /s; 900 Pa	100%	90 kW	0 kW
3台风机运行(停1台12 m ³ /s风机)	48 m ³ /s; 900 Pa	80%	75 kW	15 kW
3台风机运行(停1台18 m ³ /s风机)	42 m ³ /s; 900 Pa	70%	60 kW	30 kW
2台风机运行(停2台12 m ³ /s风机)	36 m ³ /s; 900 Pa	60%	60 kW	30 kW
2台风机运行(12、18 m ³ /s风机各停1台)	30 m ³ /s; 900 Pa	50%	45 kW	45 kW
2台风机运行(停2台18 m ³ /s风机)	24 m ³ /s; 900 Pa	40%	30 kW	60 kW
1台风机运行(18 m ³ /s风机)	18 m ³ /s; 900 Pa	30%	30 kW	60 kW
1台风机运行(12 m ³ /s风机)	12 m ³ /s; 900 Pa	20%	15 kW	75 kW

作区为ABCD区;单台风机的30~50 Hz变频工作区如图2中EFGH区所示。

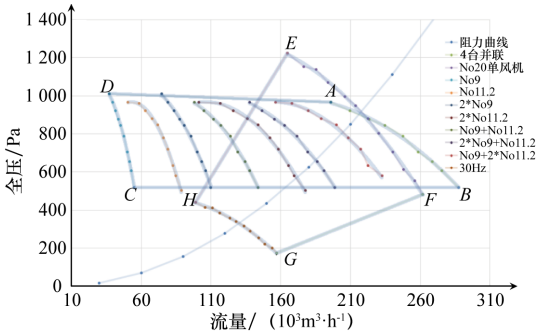


图2 风机群性能及单风机变频性能曲线

风机群的方案选择与环境的需求特点相关,当环境参数要求比较精确,应选择多台不等风量的风机;若环境参数比较粗放,可以选择2~3台等风量的风机,风机规格相同时,利于设备制造和提高备件的可替换性。

方案5风机群由4台风机组成,结构设计时需并列叠放,并将风机群的两端设计成方型,方便过渡接头的设计。其安装大样图如图3所示。

3 风机群的优劣势分析

风机群能实现气动性能的调节,且其有效工作区压力几乎不变、流量范围更宽,其他性能优势如表3所示。

在设计性能条件下,风机群与单风机静压比及出口风速基本一致。风机群最大的特点是叶轮直径大幅减小(见表1),同时带来了几个优质特征(见表3):叶轮线速度明显小于单台方案,方案5的线速度降至69.5 m/s,线速度低的转动设备振动小,对安装基础要求低,风机制造也相对容易;对环境产生的噪声也降低4 dB以上;单台电机的全压启动电流大幅下降;设备总质量减少。

风机群的每台风机出口需配置调节止回阀门,该阀门平常用于气流调节,风机停机时同步关闭,防止个别风机停机时空气倒流。每台风机配置小型调节止回阀门

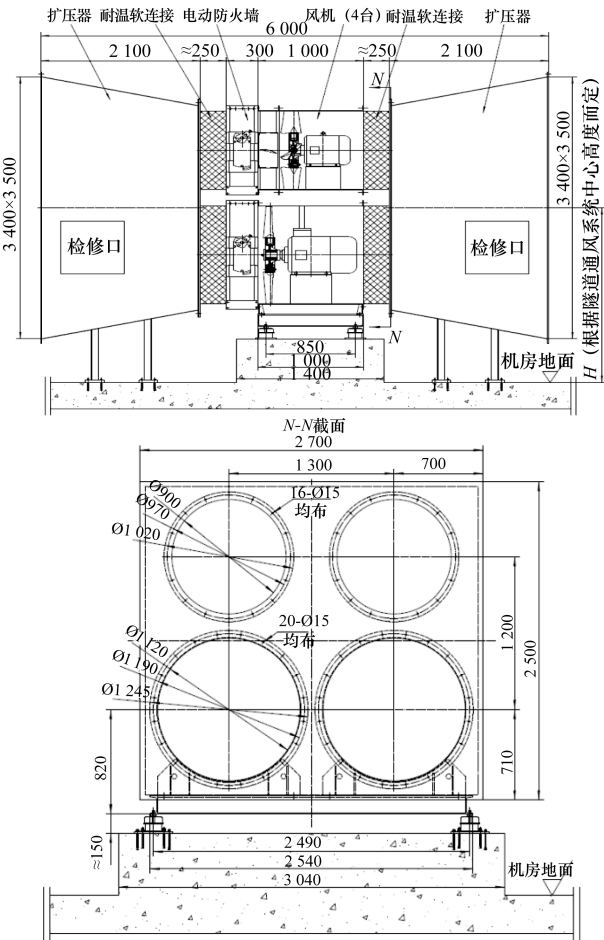


图3 风机群的大样图

后, 取消变径管末端大型组合阀, 在单台风机方案中, 该组合风阀不可取消, 调节止回阀门远小于组合风阀, 可见风机群可以节约初投资。

风机群由多个小风机组成, 其设备引入、起吊、安装的要求低, 方便维护; 也可以在不需其他风机的情况下, 维修有需求的风机。风机群进、出口风由风机制造企业合并设计为方形, 大型过渡风管由方形转变为圆形, 具有制造工艺简单、开边不易变形, 方便运输、便于安装等优势; 缺点是风机群配用电机数量多, 供电及控制节点略多。

大功率的风机基本是通过变频运行实现工况调节和节能的, 其调节方式是通过变频器改变风机的转速。变频调节风机气动性能原理^[7]为:

风量 Q 与转速 n 成正比:

$$Q = K_1 n \tag{1}$$

风压 H 与转速 n 的平方成正比:

$$H = K_2 n^2 \tag{2}$$

电动机的轴功率 P 与 Q 和 H 的积成正比, 即与转速 n 的三次方成正比:

$$P = K_3 n^3 \tag{3}$$

式中: K_1 、 K_2 、 K_3 为常数。

轴功率 P 还可表示为:

$$P = \frac{QH}{102\eta} \tag{4}$$

式中: η 为风机效率 (包括风机与传动装置); Q 为风量, m^3/s ; H 为风压, Pa ; n 为转速, r/min 。

显然, 采用变频调节速时, 当要求风量 Q 降低到 $Q/2$ 时, 只需转速降低到 $n/2$ 即可。而轴功率则减少为 $P/8$, 即节约了 $7/8$ 的电功率, 节能效果非常显著^[8]。该方案对风机的结构无特殊要求, 但选用的单风机外形及质量较大, 对吊装设备、安装空间要求都较高, 这恰恰是地下工程的难点。同时, 大功率单风机的变频控制系统成本较高, 总体来讲, 大功率风机设备初投资大。

4 结束语

车站通风空调系统作为城市轨道交通耗能大户, 在选择设计方案及相关设备时不仅要考虑系统的功能和设备的初投资, 同时还要考虑全寿命周期内系统及设备的能效及后期的运行及维护费用, 应综合考虑系统方案的确定及设备的选型和配置。风机群的节能技术方案是用多台小型风机替代一台大风机, 分解了设备整体质量及电机容量, 方便吊装和维护; 同时, 小功率的电机可以不配置软启动装置而直接启动。通过关停风机群的个别风机可实现通风系统的气动性能调节, 实现按实际需求调节通风节能; 不需配置变频装置, 节约了初投资。该

表3 风机群与单风机其他性能比较结果

序号	风机配置方案	风机转速 / ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	叶轮线速度 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	出口风速 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	静压比 /%	噪声 /dB	电机额定 功率 /kW	电机额定 电流 /A	堵转电流 / 额定电流倍数	全压启动 电流 /A	总质量 / kg
1	1台 (常规方案)	990	103.6	19.1	75.7	105	90	168	6.7	1 125.6	2 610
2	2台等规格	1 485	108.8	19.5	74.7	98	45	83.3	7.4	616.4	2 020
3	3台等规格	1 485	87.0	20.3	72.5	100	30	55.8	7.3	407.3	1 740
4	4台等规格	1 480	77.5	19.1	75.7	101	22	41.1	7.8	320.6	1 716
5	4台 (两大、两小) 不等规格	1 475	69.5	18.9	76.3	101	15	28.2	7.8	220	1 872
		1 485	87.0	18.3	77.7		30	55.8	7.3	407.3	

方案有望用于轨道交通旧项目改造、新项目建设中,也可以用于替代其他工程项目的大功率风机,有较好的市场前景。但目前还没有应用案例,有待进一步试验验证。

参考文献:

- [1] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通2021年度统计和分析报告[R]. 2022.
- [2] 由世俊,张磊,袁凤东.地铁通风空调系统智能化控制与节能研究[C]//全国暖通空调制冷2008年学术年会论文集,2008.
- [3] 郭山河.轨道交通地下车站通风空调系统节能环保技术的应用与推广[J].技术与市场,2015,22(1):2.
- [4] 刘英杰,刘树.城市轨道交通通风空调系统节能设计与探

讨[J].暖通空调,2020,50(S1):19.

- [5] 唐超,周菁,李新钢,等.轨道交通通风空调系统节能影响因素分析[J].节能与环保,2019(6):27.
- [6] 韩宜轩.轨道交通车站通风空调智能控制与节能研究[J].电子测试,2021(14):107.
- [7] 许振茂.变频调速器在风机中的节能应用[J].风机技术,2003(2):44-46.
- [8] 欧阳建中,邓永清,汪微胜,等.变频调速技术在罗茨鼓风机上的应用[J].流体机械,1999(5):32-34.

第一作者简介:汪义玲(1973-),女,硕士研究生,正高级工程师,研究领域为通风系统及通风设备。

(上接第112页)

过分析,这是由于光源输出光信号在经过光纤传播的过程中没有经过光学系统的修正,不是平行输出,所以辐射到光电倍增管接收面的光信号并不是稳定的输入信号,加上光电倍增管的检测非常灵敏,从而导致采样结果产生一定的波动,对结果产生一定的影响,但是本系统还是完成了预期的设计目标,实现了光电倍增管输出微弱电流信号的采样。

4 结束语

本文以直读光谱仪的多通道同步实时采集与处理系统为研究对象,设计了基于FPGA的多通道数据采集系统,确定了总体技术方案为利用多路并行采集ADC实现多通道同步采集,通过信号调理模块实现微弱信号的放大处理,通过数字滤波器实现数据的二次滤波,采用SDRAM和FIFO构成的缓冲存储装置实现数据的完整保存,最终通过串口输出给上位机显示采集数据,采用自顶向下的设计思路,对系统硬件电路设计、系统控制逻辑设计和系统上位机虚拟仪器的开发进行了详细介绍,并通过测试验证了系统的功能,完成了多通道同步实时采集与处理系统的设计与实现。

参考文献:

- [1] 谢海燕.内燃机油液监测与故障诊断研究[J].内燃机与配件,2018,(24):107-108.
- [2] Jia R, Wang L, Zheng C, et al. Online wear particle detection sensors for wear monitoring of mechanical equipment—a review[J]. IEEE Sensors Journal, 2022, 22(4):2930-2947.
- [3] 孔德明,董瑞,崔耀耀,等.基于三维荧光光谱技术结合交替加权残差约束四线性分解的不同盐度条件下混合油液检测[J].光谱学与光谱分析,2020,40(6):1769-1774.
- [4] 崔桂成,张礼华,曹伟,等.船舶柴油机油液检测装置设计及其关键技术[J].舰船科学技术,2021,43(1):122-125.
- [5] 李茂华,李小飞,杨博.浅谈油液监测技术的发展[J].广州化工,2021,49(5):48-49.

- [6] 王凯.油液监测技术的发展及其在设备管理中应用[J].设备管理与维修,2018(22):187-189.
- [7] Wang Z, Dai M, Zhou S, et al. Application Research of Adjustable Frequency DC-Spark in Oil Analysis Spectrometer[C]//Proceedings of 2018 International Conference on Optoelectronics and Measurement. Springer, Singapore, 2020:245-250.
- [8] 理化检验编辑部.岛津台式光电直读光谱仪PDA-MF[J].理化检验(化学分册),2017,53(6):673.
- [9] 王林月.直读光谱仪多通道线阵CCD信号采集与处理[D].武汉:华中科技大学,2017.
- [10] 吴永忠,梅新星.基于STM32的微弱光电信号检测系统的设计与实现[J].传感器与微系统,2020,39(6):107-109.
- [11] 陈旭.微型光谱仪数据采集系统设计[D].合肥:合肥工业大学,2020.
- [12] Wang W, Jiang Y, Wang C, et al. Research Progress on Detection of Weak Light Signal by Photomultiplier Tube[C]//2021 International Conference on Advanced Electrical Equipment and Reliable Operation (AEERO). IEEE, 2021:1-5.
- [13] 李乐,汪龙祺,黄煜,等.光电探测系统噪声特性研究与降噪设计[J].光学精密工程,2020,28(12):2674-2683.
- [14] 叶莉华,汪海洋,王文轩,等.基于光电倍增管的低噪声前置放大器的设计及其信号处理[J].电子器件,2013,36(3):340-343.
- [15] 余明,陈锋,李抄,等.微弱光强信号采样电路设计[J].光学仪器,2014,36(3):253-257.
- [16] 张金利,景占荣,梁亮,等.微弱信号的调理电路设计和噪声分析[J].电子测量技术,2007(11):40-42.
- [17] 周明娟,王语园,冉鑫.一种表面肌电信号采集装置的实现(英文)[J].Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2021,12(01):20-26.
- [18] 刘喜梅,吕文韬.基于AD7606的树莓派多通道数据采集系统设计[J].工业仪表与自动化装置,2021(4):98-101.

第一作者简介:熊翌竹(1984-),男,广东珠海人,硕士研究生,高级工程师,研究领域为计算机应用技术,已发表论文4篇。