一种水导轴承新型自动补油装置的探索与运用

李景悦[1]，张文明[2]，宋　婷[3]，练圣哲[1]
（1. 国网四川省电力公司映秀湾水力发电总厂，四川 都江堰　611830；2. 乐山电力股份有限公司，四川 乐山　614000；
3. 国网四川省电力公司岷江供电有限责任公司，四川 都江堰　611830）

摘　要：混流式水轮发电机组水导油盆内的油在运行过程中发生跑油是一种常见现象，除了因结构设计原因导致的水导油盆跑油外，蒸发或渗漏也是导致水导油盆内油量减少的原因之一。为确保水导油盆内有充足的润滑油对主轴进行冷却和润滑以保证水轮机的正常运行，对传统的加油方式进行研究与分析就显得非常重要。阐述了对水导轴承新型自动补油装置进行的探索与运用，为同类型机组在运行中如何避免水导轴承突然缺油导致烧瓦停机事件提供了分析与解决思路。

关键词：水电站；水导轴承；自动补油装置
中图分类号：TV742；TV735；TV737　　**文献标志码**：B　　**文章编号**：1001-2184(2024)增 2-0066-05

Exploration and Application of a New Type of Automatic Oil Replenishment Device for Water-guided Bearings

LI Jingyue[1], ZHANG Wenming[2], SONG Ting[3], LIAN Shengzhe[1]
(1. Yingxiuwan Hydropower Plant of State Grid Sichuan Electric Power Company, Dujiangyan Sichuan 611830;
2. Leshan Electric Power Co., Ltd., Leshan Sichuan 614000;
3. Minjiang Power Supply Co., Ltd., State Grid Sichuan Electric Power Company, Dujiangyan Sichuan 611830)

Abstract: It is a common phenomenon that the oil in the water-guided oil basin of Francis turbine generator set leaks during operation. Besides the oil leakage caused by structural design, evaporation or leakage is also the reason for the decrease of oil in the water-guided oil basin. In order to ensure that there is enough lubricating oil in the water-guided oil basin to cool and lubricate the main shaft and ensure the normal operation of the hydraulic turbine, this paper studies and analyzes a new automatic oil replenishing device for water-guided bearings, and provides analysis and solution idea on how to avoid the tile burning shutdown caused by the sudden lack of oil in the water guide bearing during the operation of the same type of unit.

Key words: Hydropower project; Water-guided bearing; Automatic oil replenishment device

1　概　述

水轮机是水电站的主要动力设备，是将水流的能量转换为旋转机械能的动力机械，而水导轴承是水轮机的重要组成部分，用于支撑高速旋转的水轮机主轴。水轮机中的水导油盆内的润滑油是水导轴承瓦润滑、降温的介质，在水轮机安全运行中发挥着巨大的作用。但受油盆甩油等因素的影响，水导油盆内的油量将不可避免地出现缓慢或急剧下降现象[1]。传统的补油方式主要是通过人工在现场加油。虽然这种加油方法对油位缓慢下降有一定的作用，但当出现油位急剧下降的极端情况时人是无法及时作出反应的，极有可能导致烧瓦现象的发生；另一方面，进行加油操作时，由于操作人员距离水轮机的转动部件较近，存在一定的安全隐患，极易出现安全事故。因此，探索和运用自动补油装置以改善水导油盆跑油问题就显得尤为必要，有利于达到保证机组安全运行和延长水导轴承使用寿命的目的。

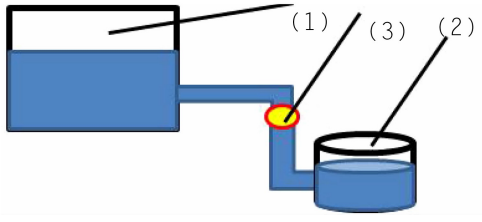
2　数据的收集与分析

笔者对某水电站 2022 年 1 月至 2022 年 12 月期间水导油盆人工现场补油的记录进行统计分析得知：该电站 11 台机组水导油盆共计加油 11 次，其中 1 桶 8 次，2 桶 2 次，3 桶及以上 1 次。机组在正常运行状态下其水导油盆近 80％的加油只需要补油 1 次(7 L)即可恢复到正常油位，少数情况下则需要补油 14 L 及以上。每次每桶加油

收稿日期：2024-02-28
发明专利：基于水轮机状态识别的油盆补油方法及装置　CN202311528942.2

7 L，日常情况下需要加油 1～2 桶，而使用油桶加油需要将大量的时间用在取油环节，每次现场运行人员加油操作的时长约 10 min。由于现场加油操作的时间过长，易造成甩油量多的机组轴承温度极速升高，安全风险增大。

自动补油装置是一种在机组状态识别和油位监测的基础上实现自动梯度加油的装置，主要功能为：当装置通过脉冲监测到机组处于运行状态时，处于允许加油状态；反之，当机组处于停机状态时，处于禁止加油状态，任何情况都不能加油。在允许加油状态时，该装置对上油箱油位进行探测，如果上油箱油位正常或处于管道模式则需进行油盆油位的监测；反之，如果上油箱油位较低时则发出报警信号，提醒运维人员向上油箱补油。当上油箱油位正常或处于管道模式且油盆油位降低，则需通过梯度加油的方式向油盆加油。梯度加油模式系指：当油位与正常油位区间下限差距较小时，采用小开度向油盆加油，直至油盆油位正常；当油位与正常油位区间下限差距变大时，则采用大开度向油盆加油，直至油盆油位正常。该补油装置的安装情况见图 1，加油装置工作流程见图 2。



(1)油箱；(2)水轮机油盆；(3)自动补油装置及其阀门。

图 1　补油装置示意图

作为自动加油装置的核心，加油装置的电路系统具有状态识别、监测、计算和控制功能。加油装置电路系统见图 3。由图 3 可知：该装置由单片机、脉冲识别、模拟量采集及阀门驱动电路组成。其中单片机是控制核心，用于完成信号的采集和处理。脉冲识别模块采用光电传感器采集大轴的脉冲信号，脉冲信号经光耦转换后输入到单片机中端口，通过单片机的计数和脉冲功能计算出脉冲信号的频率(即转速)。当其转速大于额定转速的 70%时，即认为水轮机处于运行状态。模拟量采集电路采用 8 位高速 ADC 转换模块，其前端信号调理电路采用LM358比较电路，将两个

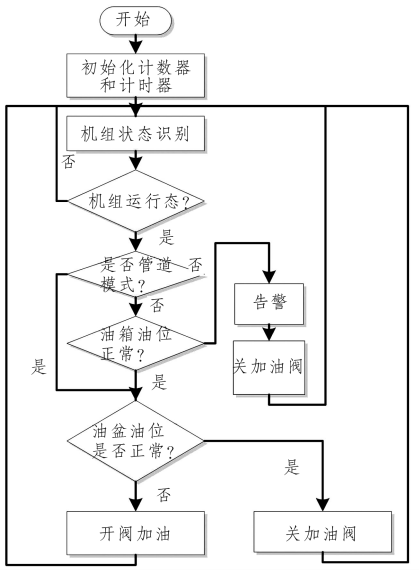


图 2　加油装置工作流程图

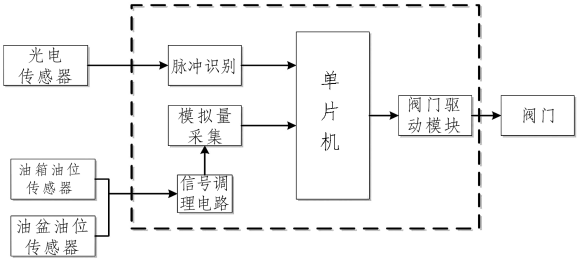


图 3　加油装置电路系统图

油位的电流信号转换为电压信号，再将电压信号经 ADC 采集后输入到单片机中，单片机经计算后判断当前油位并执行响应逻辑。阀门驱动模块采用 UL2003N 驱动。笔者经查询资料和计算得知：通过长度为 0.6 m，直径为 10 cm 的油管路加油 7 L 约需时 30 s，而采用该装置检测时长需时 2 s，阀门开启需时 10 s，因此，7 L 加油所需的时间约为 42 s；而水导油盆的反应时间约需 3 min，故加油的总时间约为 3 min 42 s，远远小于前述的传统方式加油时长 10 min，且运用该装置操作方便，工作效率高。

3　自动控制系统的设计

笔者结合该装置需要实现的功能目标进行了模块化设计，采用以 MCU 为控制核心，包括液位采集模块、模拟量转换模块、转速采集模块、阀门驱动模块进行自动控制设计。首先对 MCU 控制核心进行选择。

3.1　芯片模块

芯片模块是该装置进行逻辑运算的模块，

研究时通过广泛调研设计确定了 89C51、STM32、PLC 三种方式。芯片模块的三种方案框图见图 4。

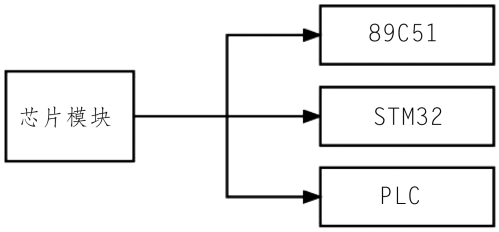


图 4　芯片模块的三种方案框图

(1)89C51 是一种带 4K 字节闪烁可编程、可擦除、只读存储器的低电压、高性能 CMOS8 位微处理器,俗称单片机。单片机的可擦除功能只读存储器,可反复擦除 1 000 次。该器件采用 ATMEL 高密度非易失存储器制造技术制造,与工业标准的 MCS－51 指令集和输出管脚相兼容。由于将多功能 8 位 CPU 和闪烁存储器组合在单个芯片中,ATMEL 的 89C51 成为一种高效微控制器,其为很多嵌入式控制系统提供了一种价廉且灵活性高的方案[2]。

(2)STM32(嵌入式单片机)专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用设计的 ARMR－M0,M0＋,M3, M4 和 M7 内核。其按内核架构分为不同的产品:其主流产品为(STM32F0, STM32F1, STM32F3)、超低功耗产品为(STM32L0, STM32L1, STM32L4, STM32L4＋)、高性能产品为(STM32F2, STM32F4, STM32F7,STM32H7)。

(3)PLC(Programmable Logic Controller, PLC)的中文名称为可编程逻辑控制器,是一类可编程的存储器,用于其内部存储程序,执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令,并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程[3]。

通过对三种芯片模块的 CPU 位数、成本、研发时间、是否满足运行速度进行分析取得的分析结果见表 1。

由表 1 知:PLC 在处理性能方面优于 STM32 和 89C51,但在满足运行的条件下存在研发成本、研发时间的问题;同理,虽然 STM32 可以代替 89C51 上的管脚,且其性能优于 89C51,但 89C51 的成本及功耗较低,而 STM32 则是用到了官方封装的库函数,其在研发成本、开发难度上会耗费更多的资源。因此,笔者最终选定“89C51”为装置芯片模块。

表 1　三种芯片方案选择表

型号	CPU 位数	成本	研发时间	是否满足运行速度
89C51	8	一般	一般	满足
STM32	32	较高	较高	满足
PLC	64	高	高	满足

3.2　液位采集模块

液位采集模块的主要功能是对油位高低进行模拟量的采集。笔者提出了三种选择方案:直杆液位传感器、超声波液位传感器、投入式液位传感器。液位采集模块的三种选择方案见图 5。

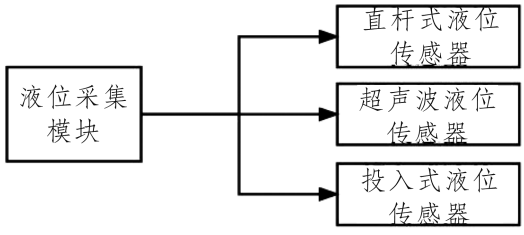


图 5　液位采集模块三种选择方案示意图

(1)直杆式液位传感器由磁性浮球、测量导管、信号单元、电子单元、接线盒及安装件组成。磁性浮球的比重小于 0.5,可漂浮于液面之上并沿测量导管上下移动,其导管内装有测量元件,可以在外磁作用下将被测液位信号转换成正比于液位变化的电阻信号,并将电子单元转换成 4～20 mA 或其它标准信号输出[4]。

(2)超声波液位传感器集非接触开关、控制器、变送器三种功能于一身,适用于小型储罐,其灵活的设计可以将其应用于综合系统或者替代浮球开关、电导率开关和静压式传感器,亦适用于流体控制和化工供料系统的综合应用。对于机器、刹车等设备的小储罐应用也是很好的选择,适用于泥浆、腐蚀性介质。超声波液位传感器广泛应用于各种常压储罐、过程罐、小型罐和小型容器、泵提升站、废水储槽等[5]。

(3)投入式液位传感器(变送器)是基于所测液体静压与该液体的高度成比例的原理,采用隔离型扩散硅敏感元件或陶瓷电容压力敏感传感器将静压转换为电信号,再经过温度补偿和线性修正转化成标准电信号(一般为 4～20

mA/1～5 VDC)，适用于石油化工、冶金、电力、制药、供排水、环保等系统和行业各种介质的液位测量[6]。

笔者通过广泛调研并结合现场实际情况对液位采集模块中三种方案的优缺点进行了分析。液位采集模块三种方案的优缺点见表 2。

表 2　液位采集模块三种方案优缺点表

项目	直杆液位传感器	超声波液位传感器	投入式液位传感器
优点	固态，可以是非侵入性的，紧凑，准确度高	无移动部件，紧凑，可靠，不受介质特性的影响	精度高，造价低
缺点	使用前需要校准，只能在某些液体中使用	昂贵，具有侵入性，性能可能受环境中各种因素的影响	对流动液体测量精度不高

笔者通过对上述优缺点进行分析得知：投入式液位传感器存在加油时液体流动会造成精确度下降、影响加油效率的问题；超声波传感器存在造价昂贵、成本高的问题。因此，经分析后最终决定采用“直杆液位传感器”作为该装置的液位传感器模块。

3.3　模拟量转换模块

模拟量转换模块的主要功能是将采集到的模拟量数据转换为计算机所需要的数字量，通过计算机对数字量进行收集、整理实现逻辑运算。通过信息整理后提供了两种选择方案。模拟量转换模块的两种选择方案见图 6。

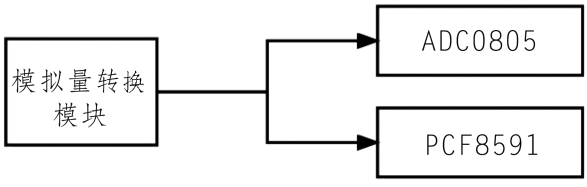


图 6　模拟量转换模块的两种选择方案示意图

(1)ADC0805 是 CMOS 8 位逐次逼近型 A/D 的微分电位器。将其设计成允许与 NSC800 和 INS8080A 操作具有 TRI－STATE 输出锁存器微分控制总线驱动数据总线。ADC0805 会像存储器地址系统发散或 I/O 端口的微处理器一样不需要逻辑编译，只需将差分模拟电压输入，就能够增加共模抑制和抵消模拟输入为零电压值，并将参考电压输入即可调整出任何模拟电压量程的数字量。

(2)PCF8591 是一个单片集成、单独供电、低功耗、8－bit CMOS 数据获取器件。PCF8591 具有 4 个模拟输入、1 个模拟输出和 1 个串行 I2C 总线接口。PCF8591 的 3 个地址引脚 A0，A1 和 A2 可用于硬件地址编程，允许在 I2C 总线上接入 8 个 PCF8591 器件而无需额外的硬件。在 PCF8591 器件上输入输出的地址、控制和数据信号都是通过双线双向 I2C 总线以串行的方式进行传输[7]。

通过对两种芯片的性能进行调研，笔者从 A/D 转化器位数、功耗、性能三个方面对两种芯片进行了性能分析。模拟量转化模块的两种方案性能分析情况见表 3。

表 3　模拟量转化模块的两种方案性能分析表

项目	PCF8591	ADC0805
A/D 转化器	8	4
功耗	低	高
性能	高	低

由表 3 可知：PCF8591 相较于 ADC0805 在 A/D 转化器上具有更广的通道，且其具有低功耗、性能好的优点。因此，最终决定采用“PCF8591”作为该装置的模拟量转换模块。

3.4　转速采集模块

转速采集模块的主要功能是采集转速、判断机组的状态。当转速大于额定转速 70%时认为机组还在运行状态；转速为零时认为机组处于停机状态。转速采集模块的两种方案见图 7。

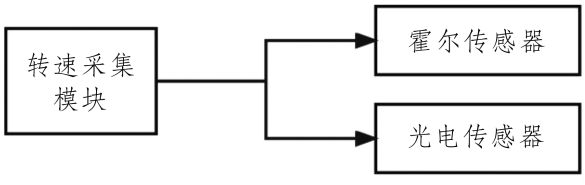


图 7　转速采集模块的两种方案框图

(1)霍尔传感器(Hall speed sensor)是根据霍尔效应制作的一种磁场传感器，它是一种小型封闭式转速传感器，通过联轴节与被测轴连接。当转轴旋转时，将转角转换成电脉冲信号供二次仪表使用。该传感器具有体积小，结构简单，无触点，启动力矩小等特点，使用寿命长，可靠性高，频率特性好并可进行连续测量。

(2)光电传感器是一种采用调制光结构的单头反射式光电传感器,具有测量距离远及不受环境光干扰的优点。其内藏调制光反射和接受光电转换单元能够将被测物反射回来的光信号转变成电脉冲信号。该传感器的输出电平适应性强,能够与各种转速数字显示仪配套使用并可与计算机接口电路直接联接,能无接触测量转速、线速等。笔者通过对两种传感器的性能进行比较分析后发现其具有以下优缺点。转速采集模块两种方案具有的优缺点见表 4。

表 4　转速采集模块两种方案具有的优缺点表

项目	光电传感器	霍尔传感器
优点	获取信息准确,精度高,体积小	获取信息准确,测量范围广,精度高
缺点	容易受环境中光的干扰	易受磁场干扰

由表 4 可知:光电传感器和霍尔传感器都具有精度高和信息准确的优点,但霍尔传感器容易受磁场的干扰,在推力和上导加油时因为存在磁场的影响会导致其精度下降。因此,最终决定采用光电传感器作为该装置的转速采集模块。

3.5　阀门驱动模块

阀门驱动模块是加油装置的动力部分,分为继电器驱动和直接驱动两种方式。驱动模块的两种方案见图 8。

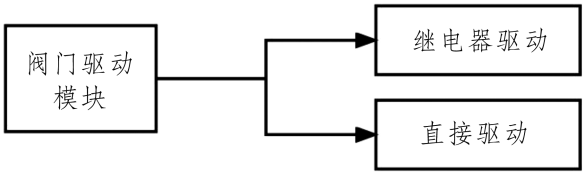


图 8　驱动模块两种方案示意图

笔者结合现场的实际情况对两种方案的优缺点进行了分析。驱动模块两种方案具有的优缺点见表 5。

表 5　驱动模块两种方案具有的优缺点表

项目	继电器驱动	直接驱动
优点	可控性高、灵活性强	简单直接
缺点	需要设定好启动逻辑	瞬间启动电压值高,容易损伤阀门

由表 5 可知:直接驱动存在瞬间高电压对电机造成伤害的危害。因此,最终决定采用继电器驱动作为该装置的驱动模块。通过分析,确定了水导自动加油装置的最优方案。自动加油装置的最优方案见图 9。

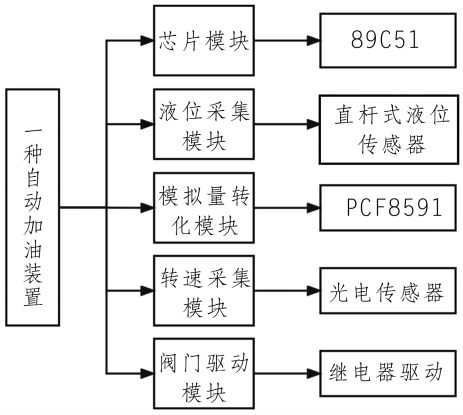


图 9　自动加油装置的最优方案示意图

通过将该自动加油装置在某水电站 1 号机组水导油盆进行探索运用时发现:当该装置检测到机组运行期间水导油盆油位急剧下降时,能够立即全开加油电磁阀,利用重力作用将油箱中的油注入到油盆中并发出告警信号,较好地代替了现场运维人员到现场手动加油。当运维人员收到告警信号并通过其他征象判断水导油盆油位急剧下降时立即停机,能够有效地解决跑油烧瓦事件的发生。

4　结　语

探索并运用一种操作方便、工作效率高、油量控制精确的水轮发电机组水导油盆自动补油装置是水电厂运行的客观需要。该产品的投入运用能够解决现场工作人员通过经验粗略计量对水导油盆进行加油的情况,能够避免操作人员因距离水轮机转动部件较近产生的安全风险,同时亦能够降低现场加油操作时间过长而影响到水轮发电机组的安全运行风险。该自动补油装置的设计思路及方案可供其他电厂机组借鉴,以保证机组设备的安全运行。该项技术已获得发明专利:基于水轮机状态识别的油盆补油方法及装置 CN202311528942.2。

参考文献:

[1]　彭祖贤,张华. 水轮机导轴承甩油现象的原因分析与探讨[J]. 水电与新能源, 2020, 34 (10): 61-62.

[2]　程怡安,刘忠南,曹逸伦,等. 智能液位控制器的设计[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59 (8):184-186.

[3]　李丽. 可编程逻辑控制器(PLC)的原理与应用[J]. 科学技术创新, 2017,21(30): 46-47.

[4]　王宇. 一种基于单片机的液位控制系统设计[J]. 中国科技信息, 2022,34(13):118-120.

(下转第 135 页)

处取下预埋板进行二次注浆处理，然后重新安装预埋板[3]。将上部预埋锚筋与套筒用螺栓连接到隔震橡胶支座(法兰板)上。

4　隔震橡胶支座常见的质量问题及采取的质量保证措施

4.1　常见质量问题

(1) 老化：由于橡胶材料本身的特性，其经长时间使用或暴露在恶劣环境下可能会出现老化现象，表现为橡胶开裂、硬化等。

(2)开裂：橡胶支座的表面可能会形成龟裂裂纹，这可能是因为材料老化、安装不当或受力不均所导致。

(3)钢板外露：由于橡胶老化或制作质量不佳，其内部的钢板可能会出现外露，将会影响到支座的承载能力和耐久性。

(4)不均匀鼓凸与脱胶：在荷载作用下，橡胶与钢板之间可能会发生粘结破坏，进而导致出现不均匀的鼓凸和脱胶现象。

(5)脱空：支座与超限梁底面或支承垫石顶面之间出现缝隙，其原因可能是由于对石的标高控制不当、梁体预制不平或支座安装温度选择不当等原因造成。

4.2　质量保证措施

(1) 材料的选择：选择高质量的橡胶和钢板材料且需确保材料符合相关标准和规范要求。

(2) 制作工艺：采用先进的制作工艺和技术以确保支座的制作质量。在其制作过程中，应严格控制橡胶与钢板之间的粘结质量，避免出现脱胶现象。

(3) 安装施工：在安装施工过程中，应严格按照设计要求和规范进行操作。包括检查支座的规格、型号、数量等是否符合要求；确保支座的安装位置、标高和角度等准确无误；注意控制连接钢板的平面位置和标高的偏差等。

(4) 质量检测：在支座制作和安装完成后应进行质量检测。包括对支座的外观质量、尺寸精度、承载能力等进行检查；还需对支座进行耐久性试验和抗震性能试验等。

(5) 后期维护：在支座使用过程中，应定期对支座进行检查和维护，包括检查支座的外观是否完好、有无老化开裂现象；检查支座的连接螺栓是否松动、有无锈蚀现象等。应及时更换损坏的支座或维修出现问题的支座等[4]。

5　结　语

笔者通过隔震橡胶支座在西昌市川兴新农村城乡融合及配套基础设施建设项目中的成功应用得出以下结论：在抗震设防烈度 9 度地区，采用隔震橡胶支座技术是一种有效的抗震措施。实践证明：隔震橡胶支座能够显著提高建筑物的抗震能力，减少地震对建筑物的破坏，保障人民群众的生命与财产安全。因此，在抗震设防烈度较高地区推广和应用隔震橡胶支座技术具有重要的现实意义[5]。

参考文献：

[1] 张家伟. 桥梁抗震设计关键点与减隔震技术的应用探究[J]. 交通科技与管理，2024，5 (12)：76-78.

[2] 蔡宁宁，李月. 建筑结构设计中的隔震减震设计研究[J]. 居舍，2024，44(16)：144-146.

[3] 张楠. 隔震控制技术在建筑结构设计中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版)，2024，14(10)：89-91.

[4] 彭尔建. 建筑结构设计中的隔震控制技术应用[J]. 科学技术创新，2024，28(10)：195-198.

[5] 张伟欣，赵远征，雷远德. 某医疗框架—剪力墙结构隔震设计与分析[J]. 建筑结构，2024，54(7)：44-51.

作者简介：

张陆阳(1993-)，男，河南漯河人，工程师，学士，从事建筑工程施工技术与管理工作；

杨　桦(1983-)，男，四川资阳人，副高级工程师，从事房建基础处理施工技术与管理工作；

石国凯(1999-)，男，四川巴中人，助理工程师，学士，从事建筑工程施工技术与管理工作.

(编辑：李燕辉)

(上接第 70 页)

[5] 高琬佳，康建洲，薛伟钊. 超声波液位传感器功能电路设计与实现[J]. 仪表技术与传感器，2023，60(11)：12-16.

[6] 曹文祥. 投入式液位传感器系统的设计[J]. 武汉工程职业技术学院学报，2019，31 (2)：22-24.

[7] 王永彬. 基于 PCF8591 单芯片的数据采集器和波形发生器设计[J]. 现代工业经济和信息化，2023，13 (5)：105-107.

作者简介：

李景悦(1991-)，女，江苏丹阳人，工程师，硕士，从事水电厂生产技术与管理工作；

张文明(1990-)，男，河南周口人，工程师，硕士，从事电力安全生产管理工作；

宋　婷(1997-)，女，四川雅安人，助理工程师，从事水电厂电力数据统计工作；

练圣哲(1997-)，男，四川内江人，助理工程师，硕士，从事水电厂运维工作.

(编辑：李燕辉)