Study on the Sensing Effect of Strain Gauge Force Sensor for Terminal Crimping State

CHEN Panbuyi, YAN Xingyao*, DENG Junwen, NIE Deming
(College of Metrology and Measurement Engineering, China Jiliang University, Hangzhou Zhejiang 310018, China)

Abstract: At present, piezoelectric force sensors are often used in high precision real-time monitoring system of terminal crimping state at home and abroad. Although its dynamic performance is exceptional, the accuracy and stability are only average and the price is high, which has a significant impact on how widely the system is used. Traditional strain gauge force sensors have the advantages of mature technology, high precision, and low cost, but they are ineffective due to the mechanical structure of the terminal crimping. The crimping die's base plate is direct used as an elastic body, and a force sensor based on strain gauge is designed for real-time monitoring of terminal stress condition. To ensure high sensitivity and signal-to-noise ratio, the designed sensor direct takes the stress concentrated part of the base plate as an elastic body by machining the base plate of the terminal machine, so as to maximize the stress sensing device close to the stress part of the crimp terminal, and the strain gauge is pasted on the most sensitive position of the base plate, to high sensitively sense the terminal's stress condition. The experimental data analysis shows that the pressure monitoring system using the sensor can replace the current piezoelectric sensor, and effectively distinguish the wire harness with bad crimping state lowering the cost of the real-time monitoring system for terminal crimping state and effectively improving product yield.

Key words: terminal machine; terminal pressure management system; resistance strain sensor; Intellisense
EEACC: 7230; 7320G **doi**: 10.3969/j.issn.1004-1699.2025.11.002

应变片力传感器对端子压接状态感知效果的研究

陈潘布衣, 颜幸尧*, 邓俊文, 聂德明
(中国计量大学计量测试工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要: 目前国内外端子压接状态高精度实时监测系统中, 用于感知端子状态的前端传感器, 均使用压电式力传感器, 虽然其动态性能突出, 然而精度和稳定性较为一般, 且价格昂贵, 严重影响了该系统的广泛使用。传统应变片力传感器具有技术成熟, 精度高, 成本低的优点, 但是由于端子压接时的机械结构问题, 一直无法采用。将压接模具底板直接作为弹性体, 设计了一种基于应变片的, 适用于端子受力状况实时监测的力传感器, 研发了配套的信号调理和测试系统, 并进行了上机验证。为了保证高灵敏度和高信噪比, 所设计传感器通过将端子机模具底板进行加工改造, 直接以底板受力集中部位为弹性体, 由此最大限度地将受力感知器件靠近压接端子受力部位, 而应变片则粘贴在底板受力最敏感位置处, 从而高灵敏地感知端子的受力状况。对实验数据的分析表明, 在采用合适的数据处理方式时, 使用本传感器的压力监测系统能够有效区分不良压接状态的线束, 替代当前使用的压电式传感器, 从而降低端子压接状态实时监测系统成本, 有效提高产品的良品率。

关键词: 端子机; 端子机压力管理系统; 电阻应变式传感器; 智能感知
中图分类号: TP212.12; TP212.9 **文献标识码**: A **文章编号**: 1004-1699(2025)11-1931-09

带有端子的线束不用焊接就能非常方便的进行连接, 被广泛应用在电子、汽车制造行业[1-4]等各个领域, 其中电动汽车领域对端子线束需求的增长尤为快速。用于电动汽车领域的线束, 其端子需要承受很大的电流, 因此端子的任何不良压接, 都会带来发热超标, 严重时甚至带来自燃爆炸等恶性安全事故[5-6]。

接线端子通过端子机将其压接在线束的导线上, 在压接过程中, 除了导线和端子本身的因素对端子压接质量的影响之外, 还有压接行程, 压接刀具高低及其磨损程度, 甚至温度变化等众多因素, 也会影响端子的压接质量[7-9]。由于影响因素众多, 因此生产过程中, 压接质量的变动也无法根本消除, 只有通过对生产结果的实时在线监测, 及时发现压接不良的产品, 才能达到质量与生产成本间的平衡[10-12]。

国内的端子压接状态实时检测系统, 基本由国外生产, 以日本的索路、德国的菲尼克斯电气、新加

收稿日期: 2023-10-25 修改日期: 2024-01-23

坡凯玲[13]等外资品牌为主;2021 年开始,深圳浩瑞特科技研发的国内首个端子机压力管理系统面市,打破了国外产品的绝对垄断地位,但由于其产品采用与国外产品相同的压电式传感器和同样的技术方案,价格上并没有优势,导致市场占有率几乎可以忽略。

目前国内对端子压接状态实时监测系统的研究很少。安徽工业大学的陈晨等[14]基于机器学习和特征提取,设计了一套端子产品缺陷检测装置。对数据进行处理后,利用机器学习,建立决策树、支持向量机、朴素贝叶斯、随机森林四种分类算法,对压力特征数据进行学习和分类,完成端子缺陷产品的检测。虽然陈晨等的研究结果能较好地进行压接状态的识别,但由于实时计算对速度的要求,以及各个线束在压接时,表现出来的数据离散性,因此只适用用于在离线状态下的数据分析使用。

其余见著各类刊物的有关端子缺陷品检测的研究,是作为产品离线质量抽样质检使用的,此类系统主要使用外观视觉检测[15-16]、剖面图像测量[17-18],机器视觉[19]等检测方法,但实际生产时,端子压接速度非常快,目前国内最快全自动端子机的压接速度,超过 10 根/秒,肉眼难以辨别。若使用机器视觉等技术实时检测,为了提升图像拍摄和计算速度,需要高速相机和高速计算单元,成本高昂,生产企业无法承受,因此视觉、图像检测的方式,只用于离线的抽样质检工序中。

中北大学的王兰珠等[20]基于 STM32 设计了一种压力监测系统。在端子机的机臂上打孔安装不同压力传感器,通过监测端子生产过程中的压力波动情况,来检测生产的端子是否合格。据该文介绍,所使用的电阻式压力传感器为商用传感器,安装位置远离端子压接的受力位置,对端子处受力状态感知的灵敏度很低。其实目前主流端子压接状态实时监测系统生产厂家,如日本索路、新加坡凯玲等公司均有同类型传感器生产,如索路的 PSS50 传感器,就是安装在压力机侧板或机臂上。根据使用厂家反馈,此类安装在压力机机臂/侧板上的方式,具有安装方便的优点,但精度都很低,所以线束厂家一般直接上传感器安装底板下的压电式实时监测系统。

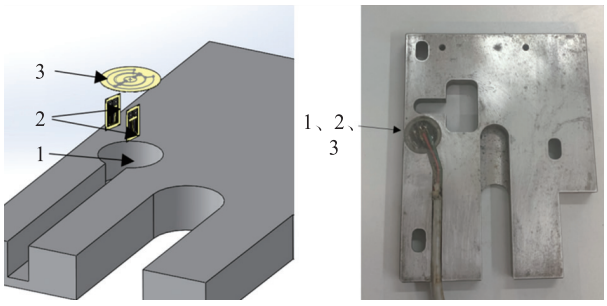
不同于低信噪比的在机臂上间接的测量方法,将测力传感器安装于模具底板下,直接测量端子在压接过程中的受力状态,其信噪比极高,因此目前高精度的端子压接状态监测系统,都采用这种传感器安装方案。电阻式应变片力传感器,具有精度高,技术成熟可靠,价格低,维护简单等诸多优点,但是由于端子压接模具的结构特点,目前无法将现成的基于电阻式应变片力传感器放置于压接模具底板下面,而压电力传感器具有体积小的优点,容易安装在底板下,因此目前高精度的端子压接状态监测系统,均采用压电传感器,但是均带来了高昂的价格,并增加了维护费用。

针对以上问题,本文在参考国内外同类产品的基础上,采用电阻式应变片,设计了新的技术方案,对端子机模具底板进行加工改造,将模具底板直接作为应变片的弹性体,从而将底板和力传感器制作为一体,解决了应变片式力传感器在底板下不易安装的难点,从而大幅度降低了系统成本,有利于各大线束生产厂家大规模使用。

1 应变式传感器设计

1.1 传感器结构设计

不同于安装于底板下的压电传感器或安装于压机上臂上的电阻式力传感器,本文自行设计加工制作了一种新的应变式压力传感器,该传感器直接将压接模块底板作为弹性体,将底板直接作为传感器来使用,图 1(a)所示为底板的背面,图 1(b)为实物背面,图 1(c)所示为实物正面,也即压接时承受压力的面。



(a) 底板一体式应变式压力传感器背面爆炸图　(b) 压力传感器反面实物图

(c) 压力传感器正面实物图

图 1 底板一体式应变式压力传感器背面爆炸图和压力传感器正反面实物图

根据模具装配尺寸要求,设计了新底板外形及安装结构;根据压接刀头下压位置,在底板的反面对

应位置开盲孔(如图 1 中 1),使得在压接时,压接产生的应力大部分集中在该处。在盲孔底部粘贴圆膜式应变花(如图 1 中 2)作为主要敏感元件,在盲孔的圆柱侧面上粘贴小应变片作为电桥另一臂的应变片(图 1 中 3),最后在槽内填入弹性密封硅胶以阻止水蒸气等进入,保护应变片。

图 2 所示为应变片花,此处将其外围基底修剪为圆形后,使用其内部两个半圆形的敏感栅作为应变桥的两个桥臂,粘贴于底板盲孔内。

端子机在压接线束时,上刀头下压击打端子,将线束和端子压接在一起,上刀头下压的力,经端子下刀头传导至底板,底板上盲孔处相对很薄,压力导致底板的变形大部分集中在该处,导致粘贴于该处的应变片花的电阻产生变化,与孔壁应变片所组成电桥的差分信号,经过信号调理电路后,输入到测试单元,从而得到压力数据。

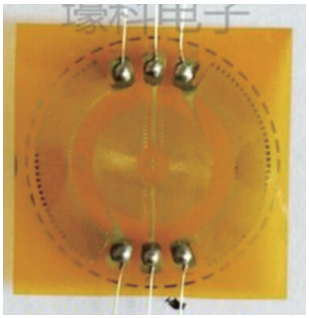


图 2　应变片花

该传感器输出灵敏度为 1 mV/V。

1.2　信号调理电路设计

硬件整体框图如图 3 所示。图中,电桥出来的差分信号,经信号调理电路后,进入 STM32F103 内部 ADC,进行数据采集,在其内部经过滤波、推理、判断等数据处理后,通过人机界面(触摸屏)给出压接质量是否符合标准的结论。

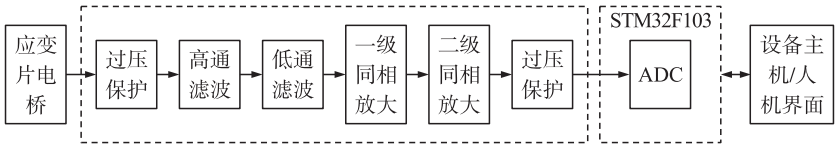


图 3　系统整体框图

信号调理是硬件部分的重点。电桥差分信号经由上拉和下拉肖特基二极管组成的过压保护电路后,进入高通滤波电路,之所以用高通,是因为压接力是冲击力,其过程是一个瞬时过程,采用高通可以滤除电路的零飘但又不会错过瞬时信号;高通后面接入一个低通滤波,主要滤除 10 kHz 以上的干扰信号;由于信号微弱,故放大倍数达到了 1 200 倍,因此采用两级放大,第一级放大采用差分放大电路,第二级放大采用同相放大电路,最后,由于模拟电路电压高于 STM32 使用电压,因此再经过一个电压钳位电路,进入到 STM32 的 AD 输入端口。

测试系统硬件实物如图 4 所示。

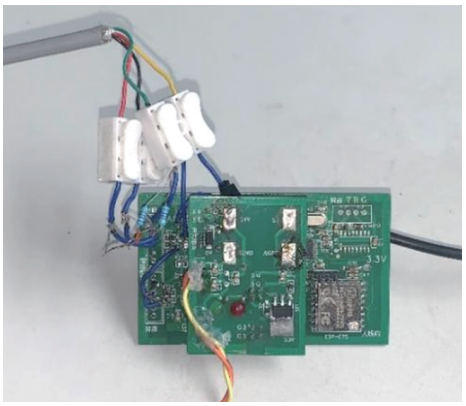


图 4　端子压接状态实时监测系统电路实物

2　试验台搭建

2.1　端子机介绍

宁波宏晟智能科技有限公司的 HS-2T 型号超静音端子机是目前市面上使用最为普遍的端子压接机,被线束制造企业大量采用,本次实验用同型号端子机,如图 5 所示。

图 5　HS-2T 超静音端子机

2.2 拉脱力测试仪

端子从线束上拉脱落所需的力为拉脱力,为保证端子压接牢固,其数值必须符合国家相关标准。图 6 所示为 NK-100 拉托力测试仪,用于测试端子在线束上的拉脱力。

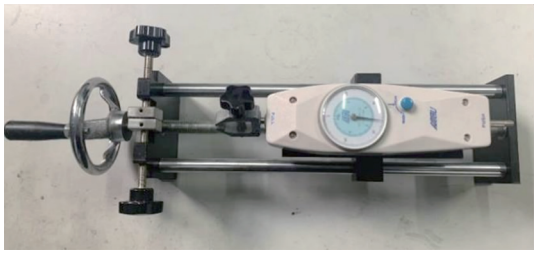


图 6 符合国家标准的 NK-100 拉托力测试仪

端子压在线束上后,需要抽样检查其拉脱力,只有拉脱力符合要求,才算合格,但是该测试为破坏测试,只能事后抽检,因此无法作为实时质量监控使用。

2.3 调试流程

一款新的端子压接时,设备需要重新调试,实际生产中的调试流程一般是:①先调整好刀头高度试压一次,如果压接太浅(一般表现为端子松动或拉脱力小于标准),或压接太深(一般表现为端子变形或拉脱力大于标准过多),或者其他瑕疵(缺丝,吊头,压皮等),或者不符合外形规范,则需要调整模具或压机的压力值,使之满足标准为止;②如果上述都满足,则进行拉脱力测试;③如果拉脱力测试合格,则重复若干次(一般大于 10 次)合格的压接动作,并让端子压接状态实时监测系统学习每一次压接过程的压力曲线数据,作为后续压接的判断标准。

监测系统一般具有增强学习功能,能在实际使用中,不断学习修正判断标准。

3 实验测试与结果

3.1 调试

3.1.1 实验参数调整

在端子的生产过程中,外形可以直观地看出压接状态[21],因此相关规范对端子在压接后的外形进行了规定。根据《端子压接标准及检验规范》和《端子拉力测试标准》,实验使用 XH2.54 端子和 22AWG(美标)、17/0.16TC×1.6 规格线材,压接外形需要满足表 1 的参数标准。

表 1 部分规格端子与线束压接标准参数

端子类型	线束规格	芯线压着高度/mm	芯线压着宽度/mm	PVC 压着高度/mm	PVC 压着宽度/mm
HX2.5/XH2.54	17/0.16TC×1.6,AWG22	0.82±0.05	1.49±0.05	1.80±0.05	1.84±0.05

通过实验,调试端子机参数,直到压接后的端子外形达到上述外形标准后,开始进行拉脱力实验。压接后符合外形标准的线束如图 7 所示。

图 7 压接后符合外形标准的线束

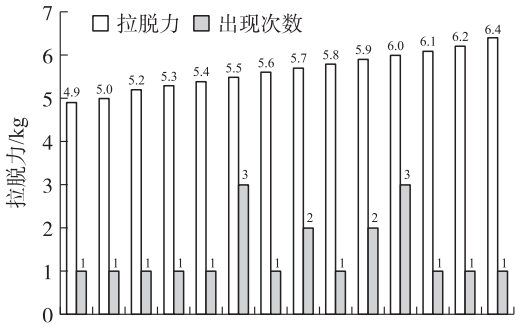
3.1.2 端子拉脱力测试

通过实验,用 XH2.54 型号的端子与 22AWG 规格线束进行压接,使用图 6 所示的拉力检测设备,并按照《端子压接通用规范(普通版)》进行拉脱力实验记录实验数据,端子与线束压接的拉脱力标准如表 2 所示。

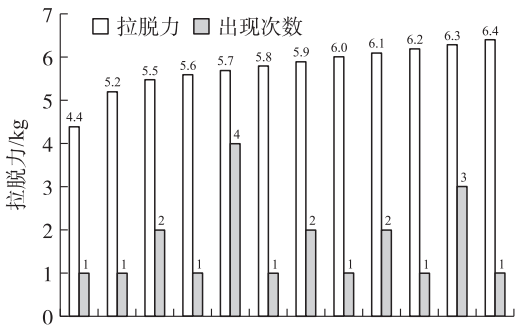
表 2 部分规格端子与线束压接的拉脱力

端子规格	线径	拉脱力标准/N
Pitch=2.54 mm	22 AWG	35.6
	7/0.16TC×1.0	22.3

在同样实验条件下,使用实验线束和厂商检验合格的同规格线束进行实验,记录实验数据,如图 8 所示。



(a) 厂商检验合格的标准线束拉脱力



(b) 实验室压接的实验线束拉脱力

图 8 厂商检验合格的标准线束和实验室压接的实验线束拉脱力

根据图 8 可见,试验压接的线束,其拉脱力分布与检验合格的线束分布一致,符合规范要求。

3.2　压力数据和曲线

3.2.1　原始数据处理

为了避免无效数据,在数据采集时,对传感器信号幅值和信号上升速率两个参数进行实时监测,当任一参数小于阈值时,数据即采即抛,也即不做保存;只有当两个参数均大于阈值后,才启动数据的保存,直至信号小于停止阈值后,结束采样。

图 9 所示是用本文设计制作的传感器(图 6)所测得的数据所作曲线图。图中,横坐标代表采集数据的序列,纵坐标代表信号 AD 值。

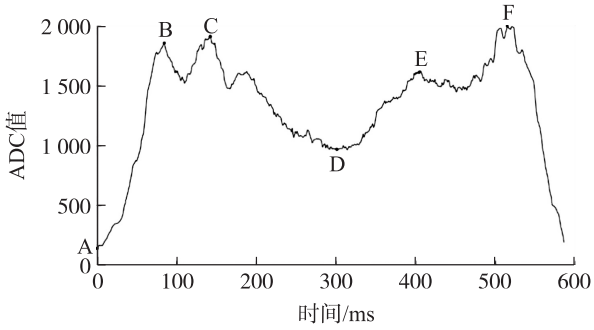


图 9　新设计传感器在正常压接状态时采集的原始数据曲线

由于采用了采样的起始和终止阈值控制,图 9 中曲线没有缓慢上升阶段,曲线在开始就快速上升,表明此时刀头已经压接在端子两个侧耳,导线外皮接触的过程已经接近尾声;当压力快速到达 B 点后,压力达到最大值,内部金属导线以及端子侧耳屈服,产生永久变形填充导线间的空隙,导致压力下降(D 点);此后由于端子内空间基本被挤压填充完毕,压力又开始上升,最终在 F 点达到最大值,此时压接刀头也处于最低点,开始回升,压力也随之快速下降,在端子和刀头脱离接触后,压力值下降到零。

图 10 是用本文新设计传感器测得若干条典型的正常状态数据,每条曲线代表一个单独的压力数据,可见基本形状都比较接近,正常状态下,各条曲线的升降趋势,与图 9 描述基本一致。

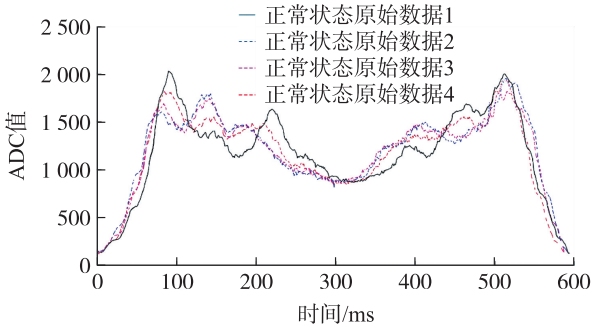


图 10　若干典型的正常压接曲线

对实验所得正常状态压接数据,进行统计处理后,获取正常状态数据的最值上下限,可得到正常状态压接曲线的误差范围,如图 11 所示。

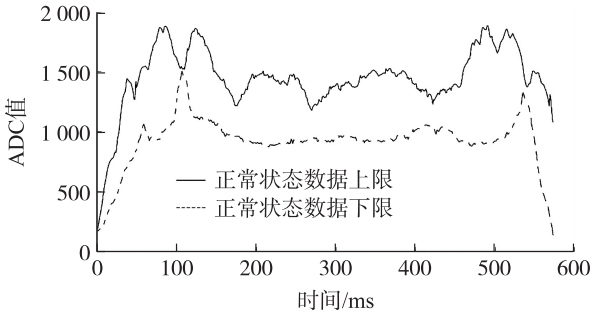


图 11　正常压接曲线误差范围

整个研究过程中,共压接线束 6 555 根。去除因人员操作而错误压接的线束后,共使用约 6 000 根线束。图 11 所示为单次实验绘制的正常状态误差范围,该次实验抽样的样本总量为 300 根,其中正常、缺芯、压皮状态的线束均为 100 根,如图 12 所示。

图 12　单次实验抽样的线束

4　讨论

4.1　曲线形状

由于安装在压力机侧板上感知压力的方法信噪比太低,因此在市面上,高精度端子状态实时监测仪/压力管理系统,都采用在模具底板下放置压电传感器来获取压力信息,且各大品牌所用的信号调理电路大同小异,因此此处以新加坡 SL-凯玲(实际为该公司上海测通电子所生产)的曲线形状为例,来和本文所设计传感器输出曲线进行比较分析。

图 13 所示是 SL-凯玲端子压力管理系统典型的压接压力曲线,以及评判方法,图中横坐标代表压

力数据点,纵坐标表示压力。

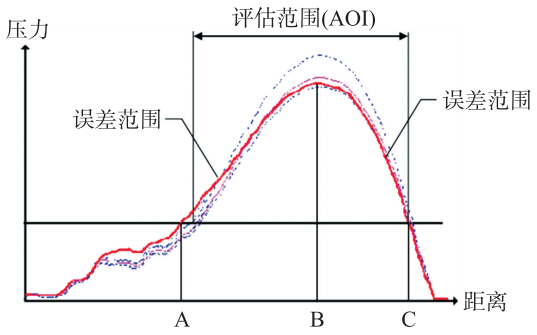


图 13 SL-凯玲压力检测器的压接压力曲线

该图实线部分为压力曲线,虚线为误差范围,以评估范围和误差范围作为压接质量的评估依据。由图可知,压接过程分为三部分,从零点开始到 A 点,压力上升缓慢,此时为端子机压接刀头下降,初始接触导线,但未压着芯线的压力曲线,绝缘皮开始变形,同时端子两侧耳簧片也开始变形,总体受力较小,因此其曲线上升缓慢,且抖动明显;在 A 点过后,绝缘皮弹性变形部分基本消失,端子簧片也基本折弯,压力开始直接传递到金属内芯上,因此压力急剧上升,外皮和内芯开始急剧变形,当到达 B 点时变形到位,力也达到最大值,此后随着压接刀头的抬升,力急剧下降。

由于 A 点前为刚开始时的数据,此时的数据随机性较大,与线束最终的状态关联度很低,因此为了提高数据的信噪比,将 A 之前的数据舍去;同理,C 后面的数据也舍去。

比较本文设计传感器的曲线图 9,可见与图 13 的不同,主要体现在两处:①曲线细节不同。图 9 中曲线存在高频部分,图 13 中曲线平滑。这表明图 9 中细节体现较多,图 13 几乎没有细节,也说明本文所设计的传感器的频率响应较高,可以满足压接时对压力快速变化可靠捕捉的要求。②曲线形状不同。图 9 中曲线,在刀头达到最低点(F 点)前,压力会高低变化;反观图 13 中,曲线在刀头最低点前(B 点),压力一直处于单调上升阶段。这应该是两种传感器性质不同所致。

4.2 判据算法

由于与目前市面可售压接测试实时监测仪的传感器性质不同,曲线形状也不同,因此需要寻找新的判据算法。

4.2.1 压力直接比较法

采集的 AD 值代表了压力,压接过程中的 AD 曲线,与压力曲线形状完全一致,因此直接采用 AD 曲线分析。

图 14 所示是正常压接曲线和缺芯、压皮两种典型不良压接状态压力曲线的比较。图中实线是在多次正常压接后,获得正常压接状态下的压力均值曲线及幅值分布范围;两条虚线是对两种典型的不良压接状态(缺芯和压皮),多次压接并取得压接过程的均值曲线。

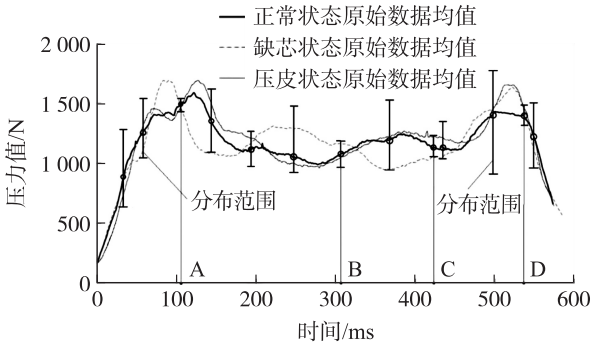


图 14 各压接状态均值比较

为了寻找压力判断是否正常压接的特征点,需要找到正常压接时,各条曲线在同一点分布范围较小的点。由图可知,正常状态原始数据均值在 A、B、C、D 四个点上的分布范围收束较为明显,数据一致性最好,其中 A 点分布范围为:

$$\frac{\Delta y_A}{y_{Aave}}\times 100\% = \frac{23}{1503}\times 100\% = 1.5\% \tag{1}$$

式中:Δy_A 表示正常状态原始数据在 A 点处最值上下限的差值,y_{Aave} 表示正常状态原始数据在 A 点处的均值。同理可得 B、C、D 点分布范围分别为 21%、15%、9%。其中 A 点分布范围最小,因此 A 点相对而言最适合作为判断点,其次是 D 点。

但是图 14 实验结果表明,虽然 A 点处数据分布相对集中,但是其分布范围内,也包含了缺芯或压皮的范围,也即在出现压皮和缺芯这两个不良压接时,数据也有可能落在正常压接曲线的分布范围内,导致无法有效区分该压接质量是否合格。

4.2.2 积分法

为了进一步寻找判断依据,考虑到压接过程也是能量积累过程,因此尝试对压力进行积分。

一次压接过程中,所采集的数据组成一个数据序列,其幅值代表该点处的对应过程中的压力值;对该序列单独进行积分处理,通过计算得到每个时间点端子机刀头下压累计产生的压力总和。积分算法相当于计算了每个采样时间点前积累的能量总和,提高了判断的鲁棒性,但容易丢失一些局部细节。对压力数据积分如下。

原始压力数据是一个矩阵,其中 i 表示第 i 根线,$i=1,2,\cdots n$;而 j 表示同一次压接过程中所采集

的数据序列编号,$j=1,2,\cdots m$。

正常原始数据表示为 Z_{ij},缺芯状态原始数据表示为 Q_{ij},压皮状态原始数据表示为 Y_{ij}。采用相同的采样间隔 Δt。

正常压接时原始采样数据积分:

$$\sum_{j=1}^{m} Z_{ij}\times\Delta t \tag{2}$$

积分后的正常数据序列记为 Z_i。

缺芯压接时原始采样数据积分:

$$\sum_{j=1}^{m} Q_{ij}\times\Delta t \tag{3}$$

积分后的缺芯数据序列记为 Q_i。

压皮压接时原始采样数据积分:

$$\sum_{j=1}^{m} Y_{ij}\times\Delta t \tag{4}$$

积分后的压皮数据序列记为 Y_i。

图 15 上半部分为原始数据均值曲线,下半部分为经积分算法处理后的均值曲线,实线代表正常状态的压力均值曲线,虚线代表不良状态的压力均值曲线。

由图可见,缺芯和压皮的积分均值曲线虽然明显和正常压接不同,都落在正常压接均值曲线下面,但是其分布范围与正常压接积分曲线的分布范围,几乎在整个压接过程中,都会有一部分重叠,导致在压接时,无法正确判断。

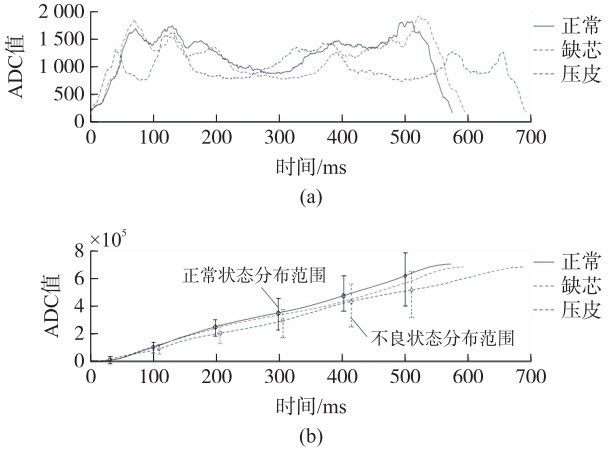


图 15　积分处理后不同状态曲线

4.2.3　积分差值法

通过积分算法处理后,可区分信号的特征不显著。对所有数据进行二次处理,计算正常状态数据的均值、最值。经均值算法得到所有正常数据序列在 j 点下的均值为:

$$\bar{Z}_{jave}=\frac{\sum_{i=1}^{n} Z_{ij}\times\Delta t}{n} \tag{5}$$

正常状态均值的数据序列记为 $\bar{Z}_{ave}$,该新数据序列由所有正常数据在每一个采样时间点的均值组成。

经最值算法得到所有正常数据序列在 j 点下的最大值、最小值:

$$Z_{jmax}=\max\left(\sum_{j=1}^{m} Z_{1j}\times\Delta t,\sum_{j=1}^{m} Z_{2j}\times\Delta t,\cdots,\sum_{j=1}^{m} Z_{nj}\times\Delta t\right) \tag{6}$$

$$Z_{jmin}=\min\left(\sum_{j=1}^{m} Z_{1j}\times\Delta t,\sum_{j=1}^{m} Z_{2j}\times\Delta t,\cdots,\sum_{j=1}^{m} Z_{nj}\times\Delta t\right) \tag{7}$$

他们的数据序列可记为 Z_{max}、Z_{min}。m 为同一根线(实验)下原始数据采样点数(时间/ms),n 为样本数(压接的线束数量)。

为改善数据分布,找到能更直观判别端子压接状态的依据,把正常状态的均值数据序列 $\bar{Z}_{ave}$ 作为基准,从而得到每个时间点正常状态最大值序列 Z_{max}、最小值序列 Z_{min} 与均值数据序列的差值:

$$\Delta Z_{max}=Z_{max}-Z_{ave} \tag{8}$$

$$\Delta Z_{min}=Z_{min}-Z_{ave} \tag{9}$$

同理,以正常状态数据均值作为基准,可以的到每条不良状态数据与均值 Z_{jave} 在 j 点下的差值:

$$\Delta Q_i=Q_{ij}-Z_{jave} \tag{10}$$

$$\Delta Y_i=Y_{ij}-Z_{jave} \tag{11}$$

则每条不良状态与正常状态均值的差值数据序列可记为 ΔQ_i、ΔY_i。使用 MATLAB 绘制出所有数据序列与正常状态均值数据序列作差后的图形,如图 16 所示。

图 16 中粗实线代表正常状态数据最值的上下限,其余为不良状态曲线 200 个,为了能够较清晰地观察每根曲线,将 200 个不良状态数据每 50 个一组分为四组,分别与正常状态最值上下限比较。经累加、均值、差值等算法多次对所有数据进行处理后,可以得出,在压接的全过程中,所有不良状态数据序列都含有存在于上下限范围外的数据。在生产过程中,观察压力曲线是否在上下限范围外,从而判断缺陷品。

引入差值算法后提高了算法的性能和效率,改善了数据分布,使得数据更符合预期,同时可以减小数据不均衡带来的影响,便于更直观的理解数据、区分不良状态。

5　结论

当前市面上端子压接状态高精度实时监测系统均使用压电式传感器,为降低成本,本文尝试制作了电阻式应变片力传感器,直接以端子机底板为弹性体,在底板内粘贴应变片,将底板制作成为一个力传

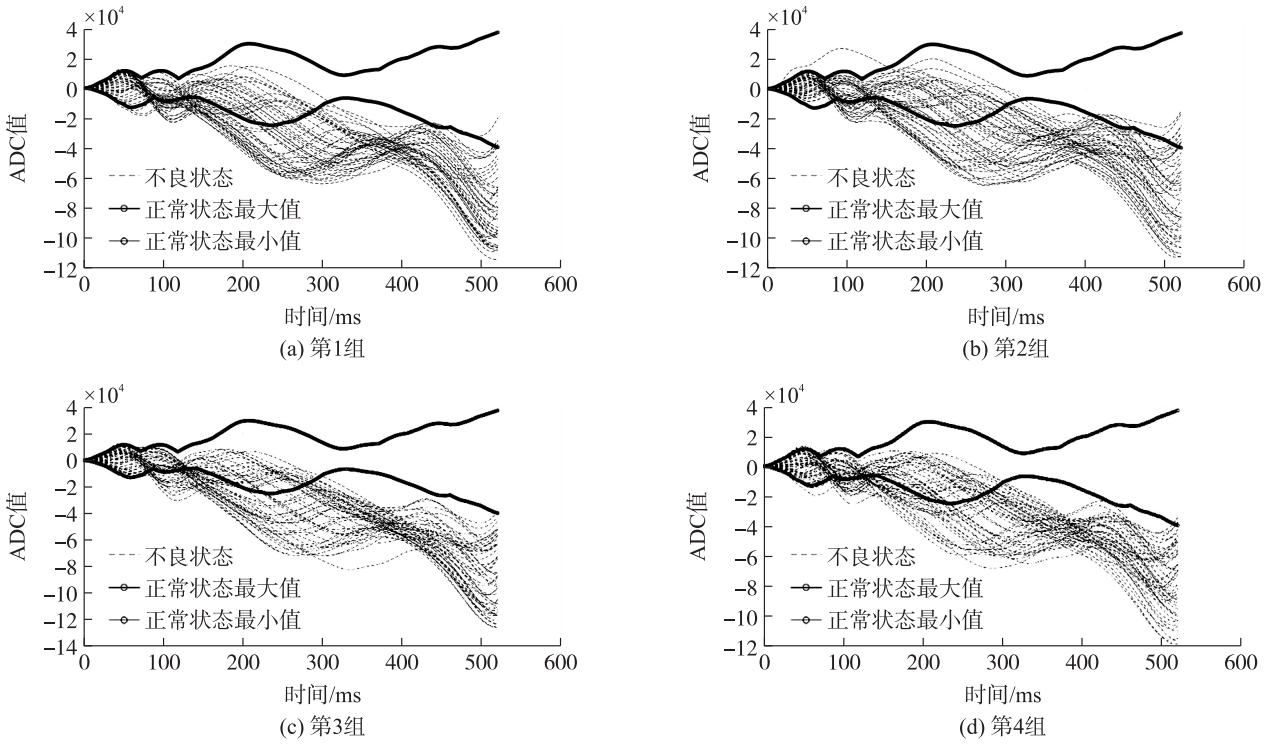


图 16 缺芯的数据经累加处理后比较图

感器,并设计了相应的信号调理采集电路,进行了实验。实验结果表明,本文所设计的基于应变片力传感器,能很好地跟踪端子在压接过程中的受力状态,具有较好的动态性能;虽然无法直接以压力值或压力曲线作为不良压接状态时的判断方法,但是在采用积分差值法时,可以有效分辨出压皮和缺芯两种不良压接状态,可见采用应变片测量原理的力传感器,也能很好地实现对端子压接过程中不良压接状态的实时监测,是端子压力系统中压电式力传感器的具有很大竞争力的替代品,能大大降低系统的成本,有利于大规模使用,有效提高产品的质量,并提高生产过程的智能化程度。

参考文献:

[1] 电线电缆及端子[J]. 建筑与预算,2022(8):138-155.
[2] 张凯,王志广,户金科,等. 浅析端子压接工艺[J]. 汽车电器,2022(9):77-80.
[3] 罗杰,袁雪松,黄海峰. 大端子压接机应用研究[J]. 企业科技与发展,2021(12):22-24.
[4] 岳本龙. 浅谈端子压接区膜层对安全气囊系统的影响[J]. 汽车电器,2022(7):42-45,48.
[5] 黄健峰. 线束端子压接工艺的研究与可靠性分析[D]. 北京:北京邮电大学,2016.
[6] 陈铁胜,杨靖,朱杨芹. 接线端子对系统可靠性的影响[J]. 兵工自动化,2011,30(2):85-88,90.
[7] 刘小山,李启明,靳印凯. 压接高度对端子压接性能的影响[J]. 内燃机与配件,2021(9):20-22.
[8] 武艳军,唐妍,袁赛,等. 接线端子数字化模具设计[J]. 锻压装备与制造技术,2021,56(6):98-100.
[9] 申青云. 接线端子电气性能试验系统电气控制方案设计[J]. 工业设计,2018(3):137-139.
[10] 侯明娟,李娟. 线束制作之特殊过程——端子压接的质量控制[J]. 内燃机与配件,2018(5):253-254.
[11] 吴晖辉,曾宪荣,梁铭峰,等. 全自动线束端子插入机控制系统设计[J]. 机床与液压,2020,48(8):90-93,97.
[12] 邵进魁. 多点压力自动监测系统的研究与设计[D]. 武汉:华中科技大学,2005.
[13] 实际测通电子(上海)有限公司. 压力监测器 SL-凯玲操作手册[EB/OL]. 上海:实际测通电子(上海)有限公司, 2006. https://wenku. baidu. com/view/5660731bb7360b4cze3f644c.htm.
[14] 陈晨,张捍东,吴玉秀. 基于随机森林分类的端子缺陷检测研究[J]. 蚌埠学院学报,2021,10(2):97-102.
[15] 袁彬淦,钟铭恩,倪晶鑫. 线束端子压接后外观缺陷的视觉检测算法研究[J]. 系统仿真学报,2022,34(5):1152-1159.
[16] 王雨青,陈小林,余毅. 线束端子角度姿态的视觉检测方法[J]. 国外电子测量技术,2020,39(3):80-85.
[17] 朱世松,孙秀帅,赵理山,等. 基于改进 EfficientDet 的线束端子线芯检测算法[J]. 激光与光电子学进展,2022,59(18):287-295.
[18] 郭芳,王媛媛. 基于人机交互和目标检测的端子图像测量系统设计与研究[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2021,37(1):47-50+61.
[19] Lee K H, Hong S W, Lee Y H, et al. A Solution

Mechanism for Inspecting Terminal Crimping of Hi-Wrap Cable Harness Using Machine Vision[J]. Advanced Science Letters,2017,23(10):10316-10320.

[20] 王兰珠,李锦明,田登辉. 基于 STM32 的压力监测系统的设计与实现[J]. 电子设计工程,2023,31(5):179-183,188.

[21] 陆祥. 端子压接技术研究[J]. 设备管理与维修,2020(2):98-99.

陈潘布衣(1999—),男,中国计量大学硕士研究生,主要研究方向为嵌入式系统开发和工业设备检测与控制;

颜幸尧(1971—),男,博士,中国计量大学副教授,美国加州大学伯克利分校访问学者,主要研究方向为智能感知系统,zju_yan@163.com。