

浅析称重传感器贴片用耐高温橡胶的设计与选型

□常州纺织服装职业技术学院 汤建华

【摘要】称重传感器贴片用耐高温橡胶的设计与选型是称重传感器制造工艺设计中的一个重要问题，直接影响称重传感器的贴片质量。通过对耐高温橡胶的材料、工艺、结构以及成本等方面的比较与分析，并结合相关实际工作经验，本文分析总结了称重传感器贴片用耐高温橡胶选型设计的一些主要参数指标和要求，可为高精度称重传感器生产工艺的制定与调整提供一定的借鉴。

【关键词】称重传感器；贴片工艺；硅橡胶；耐高温；压缩永久变形
文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2023）05-0016-05

引言

随着科学技术的不断发展和进步，称重传感器已开始向高准确度、高灵敏度、集成化和智能化的方向发展。应变片作为电阻应变式称重传感器中的关键核心部件，负责将被测物体的力或应变转换成电信号输出，是影响称重传感器精度的关键元件。本行业相关技术人员，一般将应变片粘贴并固化在称重传感器的弹性体应变区上的过程称之为贴片。参考相关研究文献^[1,2,3]可以看出，在制作称重传感器的所有工序中，称重传感器的贴片工艺是其中最为特殊且关键的工序之一。而在称重传感器的贴片工艺中，耐高温橡胶是该工艺过程中用于加压固定应变片使其保持正确位置的重要辅助元件。相关实践表明，耐高温橡胶性能的优劣，会直接影响称重传感器的贴片质量，并对称重传感器最终性能与质量有重要影响。目前，国内对于称重传感器贴片用

耐高温橡胶的选型与设计尚未见专门性的分析。因此，本工作以耐高温橡胶为研究对象，对其在称重传感器贴片工艺中使用的相关问题进行了探讨与总结，希望能有所帮助。

1 贴片工艺分析

应变片基底表面与弹性体金属表面依靠专门的应变胶粘剂结合，并且必须创造非常好的粘贴条件，需要对弹性体待贴片表面进行打磨或喷砂处理。应变胶粘剂简称应变胶或贴片胶，在性能要求方面与一般工业用结构胶和日用粘接胶有所不同^[4]。贴片胶一般应具有良好的流动性、渗透性，并能吸解表面的吸附气体。此外，如图1所示，为确保应力应变的有效传递，在将贴片胶涂于应变片基底表面及弹性体金属表面之后，还需要使用夹具对其施加一定时间的压力和温度才能完成粘接，这是一个复杂的过程^[5]。

基金项目：常州市科技计划项目(CJ20210043);常州纺织服装职业技术学院科研基金资助项目(CFK202002)。

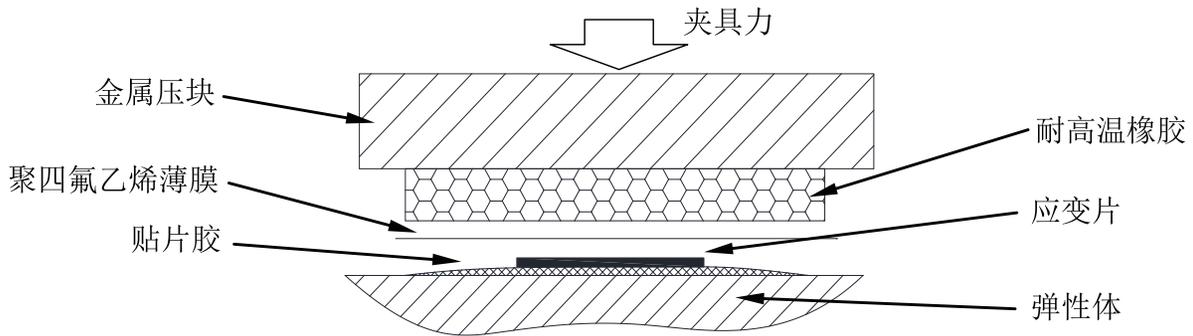


图1 贴片过程中加压示意图

开始夹紧是机械的结合过程，压力迫使液态贴片胶与固体界面充分接触，一部分胶被挤入经过处理的弹性体金属表面的细孔和沟槽，并能排出一部分混入的气体。在这一过程中，两固体表面由原先的点接触或局部面接触状态变为固体表面与贴片胶之间的面接触状态。因此，分析中间粘接胶层的组成可知，除了贴片胶之外，不可避免地还包括混入（及溶解）的气体。

当加温开始后，胶的粘度降低，分子扩散能力增加，应变胶中的粘接胶分子借助布朗运动向固体表面扩散，并逐渐靠近固体表面的分子。当粘接剂分子与固体界面分子之间的距离足够小时，例如小于0.05nm时，就开始产生了分子间的次价力（氢键力和范德华力）。次价力是把应变片基底与金属表面牢牢接合的主要作用力。除次价力外，还有机械力，即胶粘剂与凹凸不平的被粘表面固咬合而连接的力。弹性体粗糙化的表面，尤其是喷砂表面，几十倍的增大了胶与固体表面的接触面积，可大大增强单位几何面积上的这些作用力。因此，弹性体表面的打磨处理或喷砂处理是必要的。此外，多数应变片基底材料与粘接剂同属高分子材料，它们之间还存在较强的主价力（化学键力），即粘接剂分子与应变片基底被粘分子之间产生化学反应，产生的原子间引力。

上述界面分子接触的先决条件是液态胶粘剂与固体表面的润湿。润湿情况一般可根据接触角 θ 来判别。要使粘接胶与应变片基底、弹性体金属表面

获得良好润湿，必然要除去表面油污、灰尘，去除气泡等等。适当的粗糙度、适当的压力以及适当升温，以减小胶粘剂粘度，都能减小接触角。

总之，贴片工艺中的夹具加压、升温固化是十分必要的。这时，加温使耐高温橡胶及其他所有构件受热膨胀压力增大，在高温和压力的作用下，贴片胶中粘接剂成分将成为一个高强度的固体，所以应变片粘贴是否牢固，很大程度上取决于粘接剂的致密程度以及其与弹性体金属表面、应变片基底表面的粘合力。

根据以上分析可知，耐高温橡胶对传感器性能的影响，主要表现在以下几个方面：

(1) 热影响：耐高温橡胶作为施压介质材料，如果其材料的热性能不佳，将会影响热压的效果，如应变片错位、变形、松脱等，从而影响传感器的稳定性和寿命。

(2) 机械应力：在热压过程中，如果应变片表面缺少弹性材料的保护，应变片可能受到机械应力过大，会导致应变片变形、破损以及后期的焊接问题，从而影响称重传感器的测量精度和可靠性。

(3) 工艺稳定性：贴片工艺的稳定性对传感器的一致性和可重复性有很大影响。如果耐高温弹性材料在高温环境下不能保持稳定，可能造成每个称重传感器的应变片性能差异较大，从而影响称重传感器的一致性和测量精度。

因此，称重传感器贴片过程中使用的耐高温橡胶，也是影响称重传感器性能的重要因素之一，需

要在生产过程中进行严格控制，以确保称重传感器的精度和质量。

2 耐高温橡胶材料的选择

耐高温橡胶主要是指可以在高温环境下保持一定弹性和耐用性的橡胶材料。称重传感器的贴片工艺，一般要求的加热温度范围在120~180℃，施加压力范围在0.1~0.8MPa。针对上述要求，贴片用耐高温橡胶材料需要满足适用于较大范围的压力、温度变化，且可重复使用的条件。根据派克汉尼汾公司提供的“常见合成橡胶温度范围表”（如图2所示^{6]}），适用于称重传感器贴片的耐高温橡胶材料主要有以下几种：

（1）氢化丁腈橡胶（HNBR）：是经过特殊加氢处理之后得到的高度饱和弹性体。它的特点是在保持丁腈橡胶传统的耐油特性的同时，增强了耐高温性能，耐腐蚀性能也得以增强，综合性能突出。具有良好的耐磨性、耐撕裂、耐拉伸，适用于高动态载荷，是最常用的弹性密封材料之一。

（2）三元乙丙橡胶（EPDM）：是一种三元饱和聚合物，优异的耐水、耐过热水、耐水蒸气性能。因其主链是由化学稳定的饱和烃组成，只在侧链中含有不饱和双键，故其耐臭氧、耐热、耐寒，耐候等耐老化性能优异，应用也十分广泛。

（3）硅橡胶（VMQ）：是由有机硅、氧、氢和碳制成的一组弹性材料。使用温度范围宽，具有很好的耐寒、耐热空气、耐辐射等性能。有机硅还可以复合成耐电、导电或阻燃等制品，适用于电子、医疗、食品等领域的密封件和橡胶制品。不过有机硅的耐油性相对较低，拉伸强度、抗撕裂性和耐磨性相对传统橡胶较差。

（4）氟橡胶（FKM, FPM, VITON）：是高度氟化的碳基聚合物，由于其广泛的化学相容性、温度范围、低压缩永久变形和出色的老化特性，氟橡胶是近代历史上最重要的单一橡胶材料。适用于抵抗苛刻的化学和臭氧侵蚀，以及那些需要对高温和许多流体具有最大抵抗力的机构设备，包括高真

空应用。

（5）氟硅橡胶（FMQ, FVMQ）：氟硅结合了有机硅良好的高温和低温性能，同时具有一定的耐燃油性和耐机油性。氟硅能够提供比氟橡胶更宽的工作温度范围，主要用途是温度高达175℃以及需要耐干热性的应用中。由于氟硅的撕裂强度相对较低，且耐磨性有限，因此通常建议将其用于静态应用。

（6）四丙氟橡胶（FEPM）：是四氟乙烯和丙烯的共聚物，氟含量约为54%。这种材料的独特之处在于它对油、蒸汽和磷酸酯的耐受性，以及良好的导热特性。适用于作为传热介质，以及在高达170℃的热水和蒸汽环境下长期使用。不过其在高温下的抗压永久变形特性，不如标准的氟碳化合物。

（7）全氟橡胶（FFKM）：氟碳橡胶的化学耐受性主要由其分子主链上的氟碳键提供。一般来说，随着氟含量的增加，耐化学侵蚀性得到提高。其中氟碳橡胶的氟含量为63%~68%，全氟化碳的氟含量为73%，因此全氟橡胶具有最佳的耐化学性。此外，全氟橡胶对-26~260℃的极端温度具有出色的耐受性。

以上橡胶材料都具有一定的耐高温性能，选择时还需要根据具体的使用环境、使用要求以及成本等因素来确定最适合的材料。一般来说，若贴片工艺中最高温度不超过150℃，HNBR与EPDM是优选材料。这两类橡胶成本都较低，且机械方面的性能优异，长期使用不易产生永久压缩变形。若超过150℃，则适用硅橡胶（VMQ）以及各类含氟橡胶（FVMQ, FKM, FEPM, FFKM等）。不过含氟类橡胶的成本相对较高，故VMQ的使用更为广泛。其次，也可考虑采用FKM，因其长期使用产生的永久变形相对VMQ更低。另外，贴片工艺的气氛环境也是重要的影响因素：若在真空或氮气等特定气氛环境下，EPDM也可用于150℃以上的环境，而VMQ一般不用于含水率较高的场合。

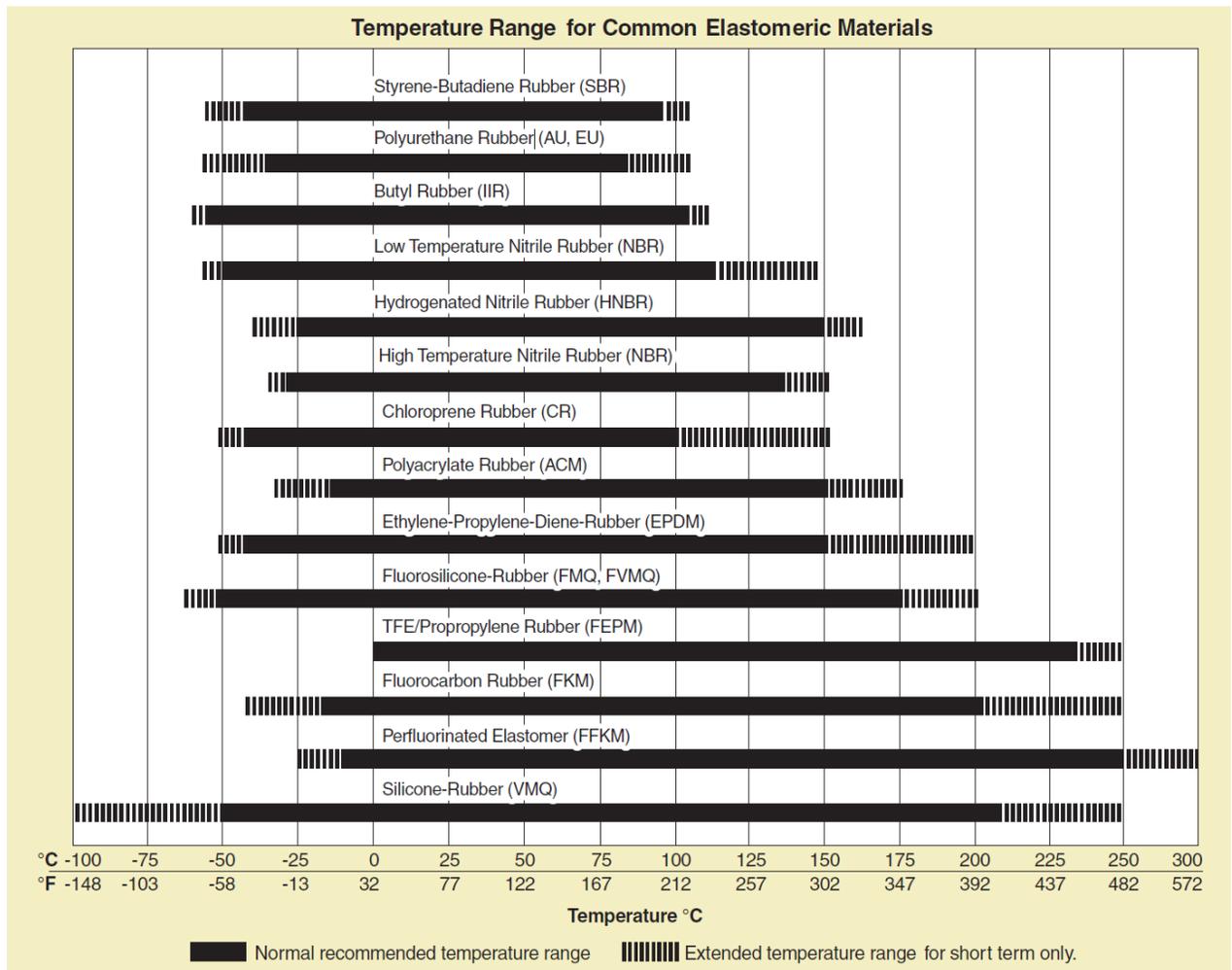


图2 常见弹性橡胶使用温度范围表^[6]

3 贴片用耐高温橡胶材料主要设计考虑

3.1 结构尺寸

贴片夹具设计依据不同的弹性体有不同的设计方案。不过考虑到金属压块与贴片表面不可能绝对平整，所以金属压块与应变片、聚四氟乙烯保护膜之间都会加耐高温橡胶皮作为衬垫，一般需要满足以下结构设计要求：

(1) 橡胶垫的厚度一般大于2.5mm，以保证减小表面不平整带来的不利影响。

(2) 在加热固化过程中，胶层继续排胶，橡胶垫变形，夹紧螺钉伸长，夹具变形等因素都会使夹紧力不足，可在夹紧螺钉下加弹簧或弹垫，以保证夹具产生松弛时仍可利用弹簧变形保持压力在要

求范围内。因此，橡胶垫的面积应覆盖完整的应变片，所需的弹簧压力大小根据橡胶垫面积计算。

(3) 施压后，橡胶垫的压缩率一般控制在15%~35%之间较为合适，具体范围需考虑各零部件的热膨胀系数等因素。在不影响弹性体的情况下，为了减少橡胶垫压缩状态下侧向的自由变形，贴片夹具与橡胶垫之间可设计限位措施。

3.2 性能指标

综合考虑称重传感器贴片工艺的技术要求和和使用环境，除了材料的工作温度范围指标外，还可以采用以下技术指标评价耐高温橡胶的性能。

(1) 硬度 (ShoreA 或IRHD)：贴片用橡胶垫的硬度范围一般可选择在ShoreA：35~70。硬度决定了

橡胶垫所能承受的压力，对于相同尺寸的橡胶垫，其硬度越高，则所能承受的压力越大。另外，根据笔者以往经验，对于较薄的橡胶垫，采用IRHD硬度指标较为合适。如果橡胶垫厚度超过5mm，IRHD和ShoreA的硬度测量结果相差不大。

(2) 拉伸强度 (TensileStrength)：可按照ASTMD412C执行，对于VMQ材料的橡胶垫，其值一般>4.5MPa。

(3) 延伸率 (Elongation)：可按照ASTMD412C执行，对于VMQ材料的橡胶垫，其值一般>200%。

(4) 压缩永久变形 (Compressionset)：一般考虑其在热空气介质下的Compressionset数据，可参考ASTMD395B标准执行。

此外，厂家可以按照ASTMD865标准对橡胶垫的硬度、拉伸强度和延伸率等指标进行热老化前后对比验证，密度等指标则可以作为内控指标。

3.3 加工方式

橡胶垫的加工工艺对其使用性能也有重要影响。目前，大多数称重传感器生产厂家采用的贴片橡胶垫是VMQ材料，采用模压加工：即将一块生胶料放入橡胶模具中，当模具闭合时，胶料填充模具空腔，再升高温度并保持一段时间，待橡胶硫化后完成加工。在这一过程中，需要控制好温度、压力和时间等参数，以保证最后橡胶产品的性能。VMQ的生胶料可采用专用的耐高温混炼胶或高强度混炼胶，比如甲基乙烯基VMQ，此种橡胶由于含有少量的乙烯基侧链，故比甲基硅橡胶容易硫化，可大大减少过氧化物的用量，可使抗压缩永久变形性能获得显著的改进。

另一种常见的橡胶产品加工方式是注塑挤出加工，与模压加工相比，这种方式生产周期更短，支持高精度成型应用和复杂形状，更适合大批量生产方式。因此，较少被贴片用橡胶垫的生产厂家采用。

在橡胶制品的生产过程中，还可以添加表面涂层工艺，以获得某些性能指标的提高。例如，常见

的通过在橡胶制品表面增加PTFE涂层，不但可以提高橡胶垫的耐化学性、润滑性和清洁度，减少聚四氟乙烯薄膜的使用。还可以提高其耐温等级、机械特性，延长产品的使用寿命。

4 结语

本文从称重传感器贴片工艺分析入手，分析了耐高温橡胶材料使用的必要性。然后，介绍了耐高温橡胶材料的选择、结构设计以及加工方式与性能指标等方面的知识。可以看出，耐高温橡胶在称重传感器贴片过程中起着至关重要的作用，对称重传感器的性能有着直接的影响。因此，正确的耐高温橡胶材料的选择、垫片结构设计和生产加工方式对于称重传感器的品质和稳定性至关重要。相关工作对于称重传感器生产制造领域具有一定的指导意义，有助于提升称重传感器的性能和品质，希望能为行业的发展和进步做出积极的贡献。

参考文献

- [1] 刘九卿. 提高称重传感器准确度和稳定性的若干问题[J]. 衡器, 2013(05):1-6.
- [2] 王彬, 杨鹏, 刘玉岩. 电阻应变式传感器的贴片及焊接技术[J]. 衡器, 2002(6):29-32.
- [3] 李全斌. 传感器贴片及制作工艺浅议[J]. 铁道工程学报, 1995(4):130-135.
- [4] 尹福炎. 电阻应变计技术六十年(3) 应变胶粘剂的进展[J]. 传感器世界, 1998(12):10-16.
- [5] 黄世德. 粘接和粘接技术手册[M]. 四川科学技术出版社, 1990.
- [6] Ord C. Parker O-Ring Seals Handbook, www.parkerorings.com.

作者简介

汤建华, 男, 江苏昆山人, 正高级工程师, 目前主要从事称重测力传感器、压力传感器等方面的技术研发与推广工作。