

基于称重传感器表面密封和盲孔灌封的探讨

宁波控泰电气有限公司 杨青锋

【摘要】密封防护在称重传感器的制造工艺流程中是非常重要的一个环节，是称重传感器耐受客观环境和感应环境影响而能稳定可靠工作的根本保障。称重传感器的密封防护主要有表面密封、盲孔灌封和焊接密封三种方法。本文探讨的密封防护为表面密封和盲孔灌封的胶封技术与工艺。

【关键词】称重传感器；密封防护；表面密封；盲孔灌封

一、前言

称重传感器是基于应变电阻转化元件——电阻应变计测定应变的原理就是测定非常小的电阻值变化，这个电阻值必须稳定。电阻应变计受潮后会引引起：丝栅间导通或腐蚀而出现电阻值变化；粘贴电阻应变计的基底、丝栅和基底间的粘接剂层尺寸发生变化，导致电阻应变计像真的感受到应变而出现电阻值变化。这将导致称重传感器的零点漂移、输出无规律变化，直至称重传感器失效。

密封防护在称重传感器的制造工艺流程中是非常重要的一个环节，是称重传感器耐受客观环境和感应环境影响而能稳定可靠工作的根本保障。称重传感器的密封防护主要有表面密封、盲孔灌封和焊接密封三种方法。本文探讨的密封防护为表面密封和盲孔灌封的技术与工艺。

二、称重传感器密封防护的标准和要求。

国际上通用的防护标准体系 (International Protection) 采用 2 个依次排列的数字表示，按数字顺序分别表示防尘、防潮（或防水）。例如：IP67，表示完全防尘；防水深度 15cm ~ 1m。IP 防护与密封体系 2 位数字表示内容如下：

第一位数字表示防尘等级

- 1——防护固体颗粒到 50mm；
- 2——防护固体颗粒到 12mm；
- 3——防护固体颗粒到 2.5mm；
- 4——防护固体颗粒到 1.0mm；
- 5——进入防尘范围（基本防尘）；
- 6——完全防尘。

第二位数字表示防潮（或防水）等级

- 0——不防护；

- 1——防护垂直下降的来水；
- 2——防护从垂直方向一直到 15° 来水的直接喷射；
- 3——防护从垂直方向一直到 60° 来水的直接喷射；
- 4——防护全方位范围来水的直接喷射；
- 5——防护水从低压喷嘴进行喷射；
- 6——防护水从高压喷嘴进行喷射；
- 7——防护水深度在 15cm ~ 1m 之间；
- 8——防护在压力下长时间浸泡。

称重传感器的密封防护试验，对于制造商来讲是工艺性试验，在“称重传感器”国家标准和计量检定规程中没有明确规定。许多制造商在进行称重传感器的防护与密封性能试验时，都参照国家计量检定规程中的湿度试验方法，只是用水箱代替湿热试验箱进行试验测试。

按要求的水深将称重传感器放置在水箱内 48 小时后取出，擦掉表面水痕，在室温下放置 2 ~ 4 小时，按湿度试验测试方法进行测量，试验前后称重传感器的绝缘阻抗满足要求，零点、灵敏度变化应不超过重复性误差。不同防护等级下的比较见表 1

表 1 不同防护等级下的比较

等级	防护程度		试验方法	可达到的防护等级
	简短说明	含义		
IP65	防溅水	短时间内对任何方向的溅水不受影响	使用内径为 6.3mm 水流量为 (11.9-13.2)L/min, 喷嘴水压约 30kPa(0.3bar) 的标准喷嘴作试验，以 2.5-3 米的距离从的所有方向喷水计每平方米为 1 分钟，但累计超过 3 分钟	应变梁裸露面胶封，一般传感器即可达到
IP66	对喷水防护	短时间内对任何方向的强烈喷流水不受影响	使用内径为 12.5mm 水流量为(95-105)L/min, 喷嘴水压约 100kPa(1bar)的标准喷嘴作试验，以 2.5-3 米的距离从的所有方向喷水计每平方米为 1 分钟，但累计超过 3 分钟	盖板胶封，内部灌胶保护的传感器可达到
IP67	防浸水影响	以规定压力和时间浸入水中不受影响	水面高出传感器顶点至少为 150mm，高出传感器底部至少为 1m，温差不大于 5K 时，浸没时间至少 30 分钟	盖板（或波纹管）焊接，内部灌胶保护的传感器可达到。除可防油、防水外，可防一般的腐蚀性气体，腐蚀性介质
IP68	防潜水	可长时间潜入水中	试验条件按制造厂与用户的协议，但不低于 IP67 的要求	特殊要求的传感器，可在水下使用
IP69K	防冲刷	防护冲刷压力，并不适用于浸没在水中的应用	能够承受 EN 60529 和 DIN 40050-9 中定义的热蒸汽冲刷测试。能够提供水压在 100 bar(1450 psi)，温度 80°C 的防护。压力直接应用在传感器上，以 30 度的角度递进(0, 30, 60 和 90 度)，在每个角度持续 30 秒，共 120 秒（2 分钟），能够防止水的进入。	被用于经常清洗冲刷的应用中，例如酿酒厂，洗车厂和食品饮料厂中，但是并不适合被用于设备完全浸没在水中的场合。

注：密封防护等级等效采用 IEC60529-2013（国际电工委员会）标准

三、称重传感器的表面密封和盲孔灌封

1. 表面密封和盲孔灌封的要求

从称重传感器制造的工艺流程中不难看出，无论是进行表面密封还是盲孔灌封。首先要涂刷电阻应变计防护面胶。对防护面胶的要求是：绝缘电阻 $> 5000M\Omega$ ，体积电阻 $10^{14} \sim 10^{18}\Omega.cm$ ；与金属表面有很强的粘结力，防止潮湿气体从界面渗入；吸潮性小，内聚强度大；固化反应不释放有害化合物，对电阻应变计无腐蚀作用；固化成膜后柔软并在弹性元件应变范围内恒弹性。

表面密封方法用于既无外壳密封又无盲孔灌封的称重传感器，主要是铝合金平行梁结构的称重传感器。其密封方法是在电阻应变计、引线与焊线端子、补偿片电阻的防护面胶上，再涂一层密封材料，使电阻应变计及其面胶与空气隔离并得到很好的保护，达到密封防护的目的。其特点是密封工艺和涂覆作业虽然比较简单，但对已涂刷的防护面胶和弹性元件表面的洁净度要求较高，必须严格处理并在符合要求的环境条件下涂覆。对表面密封材料的要求是：优良的粘结性能（与电阻应变计的防护面胶层、弹性元件表面粘结性好）；良好的防潮耐水性能和耐低温性能；具有较高的电气绝缘性能、稳定的物理与化学性能；酸碱度呈中性，对电阻应变计面胶等无腐蚀作用；涂覆应力低，固化体积收缩小；在称重传感器使用温度范围内柔软，弹性好，不增加刚度；操作方便，涂刷性好，固化工艺简单；容易保存。

盲孔灌封就是无需设计密封外壳，利用弹性元件应变区内的盲孔、通孔等结构，选择合适的涂敷密封材料，根据灌封要求将其分层浇灌在盲孔内，固化后即可起到防护与密封作用。盲孔灌封方法实际上是在弹性元件盲孔内的电阻应变计、焊线端子、补偿元器件已涂覆的防护面胶上，浇灌一层或多层防护与密封材料，以及金属防护盖，经固化形成一个整体的防潮、防水密封绝缘弹性体。

由于盲孔最外层的灌封材料长期与空气中的水份和氧气接触，所以对其技术性能要求较高，主要是：极优良的防潮性能；良好的粘结性能；优良的电绝缘性能；固化发热少，收缩率低，为较硬结构且弹性好；分子结构稳定，耐老化，长期稳定性好；使用温度范围大于称重传感器工作温度范围；工艺简单，最好室温固化，如必须加温时，其固化温度应小于 $80^{\circ}C$ ；无毒或低毒，对操作者影响小，成本低。此外，对电性能、耐老化性能、物理机械性能等也应有具体要求。

电性能：一般要求是具有较高的击穿电压和绝缘电阻，较小的介电常数和介电损耗。

耐老化性能：首先是具有较高的耐湿热老化能力，在湿热环境中体积电阻率应大于 $10^{10}\Omega.cm$ ；其次是较好的耐高低温能力，应保证在 $-20^{\circ}C \sim 70^{\circ}C$ 范围内仍有优良的综合性能，特别是弹性性能。

物理机械性能：抗拉强度和抗冲击强度要大，韧性要好，线膨胀系数和收缩率要小。

2. 常用涂敷剂的介绍和选择

对称重传感器进行表面密封或盲孔灌封时均需选用合适的涂敷剂。确保能够满足密封要求才能

正确的选用，选取涂敷剂时必须考虑：耐潮性（吸水率、吸潮性）、冷热周期（体积变化、粘接性）、硬度（硬度的温度依存性）等。

2.1 硅橡胶

硅橡胶是常用的称重传感器的密封防护剂，从制品形态可分为液态和固态；从硬化结构又分为综合型、附加型、紫外线硬化型。

硅橡胶是指主链由硅和氧原子交替构成，硅原子上通常连有两个有机基团的橡胶。普通的硅橡胶主要由含甲基和少量乙烯基的硅氧链节组成。苯基的引入可提高硅橡胶的耐高、低温性能，三氟丙基及氰基的引入则可提高硅橡胶的耐温及耐油性能。硅橡胶耐低温性能良好，一般在 -55°C 下仍能工作。引入苯基后，可达 -73°C 。硅橡胶的耐热性能也很突出，在 180°C 下可长期工作，稍高于 200°C 也能承受数周或更长时间仍有弹性，瞬时能耐 300°C 以上的高温。硅橡胶的透气性好，氧气透过率在合成聚合物中是最高的。

硅橡胶分热硫化型（高温硫化硅胶 HTV）、室温硫化型（RTV），见图 1，其中室温硫化型又分缩聚反应型和加成反应型。室温硅橡胶则主要是作为粘接剂、灌封材料或模具使用。



图 1 硅橡胶的分类

在称重传感器的密封防护工艺中，防护面胶和表面密封一般情况下通常采用脱醇型的单组分 RTV 液体硅橡胶，但由于其在依靠空气中潮气固化时释放乙醇，必须使其完全挥发后进行多次涂覆。在实际的操作工艺中应严格执行，否则适得其反。

盲孔灌封通常采用双组分 RTV 液体硅橡胶，因其具有优良的化学稳定性，良好的防潮、防水和抗振性能；无毒、无味，容易灌封；能在深部硫化，且收缩率低。但在固化时将有低分子物放出，因此灌封后应晾置一定时间，使低分子物尽量挥发。

2.2 液态异丁烯橡胶

异丁烯橡胶因其不饱和密度小，有化学稳定性好，气体透过率极小，电气绝缘好，不易结晶（在 -50°C 的低温小仍有很好的柔软性），粘接性差，与其他橡胶的相容性差，耐油性差。

基于上述原因，在称重传感器的密封防护过程中作为电阻应变计的防护面胶使用时比较理想。若要进行表面密封，异丁烯橡胶的表面需要增加其他涂覆剂时才能形成更好的防温涂覆层，国外产品中有采用结合密封油泥的案例。

2.3 环氧树脂

环氧树脂耐热性好，气体透过性、吸湿率、吸水率低，是一款优良的涂敷剂，但是由于其在冷热交替中出现裂缝，树脂在冷热膨胀收缩的情况下造成密封体的应力增加，从而受到破坏。所以在称重传感器的密封涂敷中仅用于加固密封印刷电路板及补偿元器件等的粘结效果，提高加固密封的可靠性。

2.4 聚氨酯橡胶

聚氨酯橡胶分为聚醚类、聚酯类、聚丁二烯类。前两类的耐水性和电气特性都非常差，聚丁二烯则除了具有环氧树脂的优点外还具有：硬度、弹性率在很大范围内可以变动；耐油性优良；低温性能好；具有良好的耐热老化性；气体透过性好（与异丁烯橡胶相当）。

目前在称重传感器盲孔灌封的时应用较多的是聚丁二烯类聚胺脂灌封胶。由于它不依靠吸收空气中的水份而固化，所以具有优良的耐湿性、耐热性和耐水解稳定性，从分子式看碳氧结合是单键，分子结构稳定，使用中不易老化，长期稳定性好。

2.5 单组份丙烯酸酯胶粘剂

单组份的丙烯酸酯胶粘剂应用较为普遍，由于其分子链末端具有丙烯酸基因或甲基丙烯酸基因，所以活性大，涂层薄、弹性好、粘结力强、界面密封性能好。符合电阻应变计防护面胶的技术要求。

四、结语

密封防护是称重传感器制造过程中的一个关键流程，是称重传感器耐受客观环境和感应环境影响而能稳定可靠工作的根本保障。密封防护中不单单是选择了正确的涂敷胶就可以达到完美的效果，还需结合合理的密封部位设计配合严谨的操作工艺去执行。同时，除了表面密封和盲孔灌封外，本文尚未提及的焊接密封技术在许多规格的称重传感器的制造中也是相当普遍，焊接工艺、焊接膜片、焊接位置的设计对称重传感器的也起到关键的作用。密封防护是一门相对复杂的技术，称重传感器的结构形式繁多、量程大小差别悬殊，针对不同的产品需要采用不同的密封防护措施。因为稳定性和可靠性是称重传感器正常工作的前提保障。确保其正常的使用必须进行有效的密封防护。

【参考文献】

- 【1】刘九卿，电阻应变式称重传感器，中国衡器协会专业技术培训教材，2006年12月
- 【2】赵旭涛，刘大华. 合成橡胶工业手册. 北京：化学工业出版社，2006：1049-1087

【3】Degrees of Protection Provided by Enclosure. IEC 60529 . 2013

作者简介：杨青锋（1979- ），男，陕西合阳人，高级工程师，现为中国衡器协会技术专家委员会委员；中国力学学会高级会员；《衡器》期刊编委；陕西工业职业技术学院客座教授；长期致力于称重测力传感技术和电子称重系统工程的研究和开发，曾在《中国计量》、《计量技术》、《衡器》、《衡器工业通讯》等期刊发表论文数篇。

作者通讯地址：浙江省宁波市江北区洪塘工业 A 区洪发路 8 号

E_mail: nbuyqf@163.com