

# 称重传感器的防护与密封

中国运载火箭技术研究院第七〇二研究所 刘九卿

**【摘要】** 防护与密封是称重传感器耐受客观环境和感应环境条件影响而能稳定可靠工作的根本保障,因此它是制造工艺流程中的要害工序,防护密封技术与工艺必须先进、合理、可靠。基于这一理念,本文重点介绍了称重传感器防护与密封的基础;国际通用IP防护与密封标准体系及其密封性能试验方法;表面密封、盲孔灌封材料的特点、选择及胶封工艺;对焊接密封技术与装备的要求及焊接密封工艺。并简单介绍了柯伐合金密封端子的特点及应用方法。

**【关键词】** 称重传感器;防护与密封;表面密封;盲孔灌封;焊接密封

## 一、概述

防护与密封是称重传感器制造工艺流程中的要害工序,是称重传感器耐受客观环境和感应环境条件影响而能稳定可靠工作的根本保障。粘贴在称重传感器弹性元件上的电阻应变计,以及所用的应变胶粘剂,都会受到空气中水分和氧气的影响,因为水能渗入几乎所有的聚合物,而产生增塑。如果防护与密封不良,电阻应变计和应变胶粘剂吸收空气中的水分,就会使胶粘剂层膨胀增塑,造成绝缘电阻、粘结强度和刚性急剧下降,引起零点漂移和输出无规律变化,直至称重传感器失效。此时称重传感器的制造工艺再精湛、技术性能指标再优良也无法发挥作用,所以稳定性和可靠性是称重传感器的前提性技术指标。确保此项指标必须进行有效的防护与密封,提高称重传感器防潮、防水、防盐雾性能和抗振动、冲击的能力。

称重传感器在使用过程中,受到水的直接喷射和浸泡,潮气的渗入都会使应变胶粘剂的粘结强度和绝缘电阻下降,因为潮气并不完全是 $H_2O$ ,通常是许多复杂的水溶液,它能渗入各种聚合物,使其增塑而改变性能。盐雾是一种气溶胶状体,主要成份是氯化钙、氯化镁和其它杂质,对弹性元件、电阻应变计和应变胶粘剂有较强的腐蚀作用。这是称重传感器防护与密封的重点,如果防护与密封不良,将使此前各项工艺成果前功尽弃,可见防护与密封的重要性。

## 二、防护密封的基础与方法

称重传感器防护与密封的基础,是涂刷电阻应变计防护面胶。对防护面胶的要求是:

- (1) 绝缘强度 $>5000M\Omega$ , 体积电阻 $10^{14}\sim 10^{18}\Omega.cm$ ;
- (2) 与金属表面有很强的粘结力,防止潮湿气体从界面渗入;
- (3) 吸潮性小,内聚强度大;
- (4) 固化反应不释放有害化合物,对电阻应变计无腐蚀作用;
- (5) 固化成膜后柔软并在弹性元件应变范围内恒弹性。

电阻应变计防护面胶的涂刷时机与涂刷前的清洗至关重要。在称重传感器生产工艺流程中,是在完成下列两项工作后进行,其一是贴片、加压固化、卸压后固化、质量检

查、粘贴端子、焊线组桥和测量绝缘电阻各工序质量合格；其二是对工序质量合格的弹性元件进行整体清洗。弹性元件整体清洗后必须尽快放入高温试验箱内，加温 40℃并保温一定时间，从箱内取出弹性元件在干燥的环境条件下涂刷防护面胶<sup>(1)</sup>。其目的是防止电阻应变计在生产过程中受潮，并为最后的防护与密封打好基础。

国内外应用较多的电阻应变计防护面胶主要有丙烯酸酯和橡胶型胶粘剂两种类型。

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。主要品种有美国专利产品液态的氯丁橡胶，美国BLH公司J型防护面胶，美国V—MM公司M—Coat C型、D型防护面胶<sup>(2)</sup>，以及我国研制的P5型防护面胶。

橡胶型胶粘剂应用较多的胶型主要有：美国 Dow Corning 公司的 3140 和日本东芝株式会社的 TSE397、TSE399 单组份硅橡胶。国内此类胶型的产品较多，主要有室温固化单组份硫化硅橡胶 ND—703、ND—704、ND—705、ND—81、ND901 等 20 余个品种，基本符合电阻应变计防护面胶的技术要求。

称重传感器的防护与密封主要有表面密封、盲孔灌封和焊接密封三种方法。由于波纹平膜片、双层膜片、杯形膜片的设计制造技术，焊接工艺装备，制造成本等原因，目前世界各国称重传感器的防护与密封仍以表面密封和盲孔灌封的胶封为主。

### 三、国际通用 IP 防护与密封标准体系及其密封性能试验方法

#### 1、国际通用 IP 防护与密封标准体系

国际上通用的防护标准体系（International Protection）采用 3 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）、抗冲击。例如 IP675，表示完全防尘；防水深度 15cm~1m；抗冲击能量 200 焦耳。因称重传感器本身具有抗振动、冲击能力，所以省略第 3 位数字，只用两位数字表示即可。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。

## 2、防护与密封性能试验方法

称重传感器的防护与密封试验，对于生产企业是工艺性试验，由于防护与密封质量已包含在各项技术性能指标中，特别是稳定性和可靠性指标中。因此在“称重传感器”国家标准和计量检定规程中没有明确规定。许多生产企业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，试验前后灵敏度变化应不超过重复性误差。

## 四、表面密封

### 1、表面密封方法、特点及材料选择

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，主要是电子计价秤、电子台秤用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、补偿片电阻的面胶上，再涂一层防护与密封材料，使电阻应变计及其面胶等与空气隔离并得到很好的保护，达到防护与密封的目的。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，各项涂覆工序如有不周全将引起绝缘下降，达不到绝缘电阻  $>5000M\Omega$  的要求。

对表面防护与密封材料的要求是：

- (1) 优良的粘结性能，即与电阻应变计的防护面胶层、弹性元件表面粘结性好；
- (2) 良好的防潮耐水性能和耐低温性能；
- (3) 具有较高的电绝缘性能、稳定的物理与化学性能；
- (4) 酸碱度呈中性，对电阻应变计面胶等无腐蚀作用；
- (5) 涂覆应力低，固化体积收缩小；
- (6) 在称重传感器使用温度范围内（一般为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ ）柔软，弹性好，不增加刚度；
- (7) 操作方便，涂刷性好，固化工艺简单；
- (8) 成本较低，容易保存。

### 2、表面密封工艺

表面密封有单层和多层密封两种工艺。表面单层密封是在电阻应变计防护面胶涂层的基础上，再涂一层防护与密封材料。这类表面防护与密封材料较多，比较理想的防潮涂料是美国专利介绍的液态异丁橡胶，其配方为：橡胶 10%、填料 50%、增韧剂 10%、

胶 3%~5%、溶剂 25%~27%。最具代表性的还有美国 V-MM 公司的 M-Coat FBT 溶剂稀释的丁基橡胶，日本信越化学工业株式会社的 KE441 型单组份液态硅橡胶。硅橡胶密封材料有一个共同缺点，即固化时挥发出酒精等成份，对防护面胶和弹性元件表面有一定的影响，为克服这一缺点，而采用多层密封。

表面多层密封是利用多种防护与密封材料的特性和它们之间的互补性，组成一个具有优良防护性能的表面密封结构。这种防护与密封结构是由内层的防护胶粘剂，中层的密封薄膜和外层的硅橡胶构成。靠近电阻应变计的内层防护胶粘剂主要起粘结密封薄膜作用，外层硅橡胶起一定的密封和机械防护作用，真正起防潮、防水、防盐雾等密封作用的是中层的密封薄膜，如果密封薄膜底面带有胶粘剂，就不用再涂刷防护胶粘剂。在这类密封薄膜中应用较多的是 PTFE 密封薄膜和聚胺酯密封薄膜。PTFE 密封薄膜实际上是双面经过特殊处理的聚四氟乙烯薄膜，它具有防湿热、耐水解性能好，抗大气老化和化学腐蚀能力强的特点。有关资料给出，厚度为 0.1mm 的聚四氟乙烯薄膜在室外暴露六年多，其外观和机械性能等均无明显变化。PTFE 密封薄膜的技术性能为：

- (1) 使用温度范围     -100℃~200℃；
- (2) 伸长率             20%~400%；
- (3) 体积电阻         (20℃/50%RH) >108Ω.cm；
- (4) 介质损耗角       (106Hz) 0.0002。

## 五、盲孔灌封

### 1、盲孔灌封方法、特点及材料选择

顾名思义，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，选择合适的高分子防护与密封材料，根据其分子结构和聚集状态进行配方设计，最后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：

- (1) 极优良的防潮性能；
- (2) 良好的粘结性能；
- (3) 优良的电绝缘性能；
- (4) 固化发热少，收缩率低，为较硬结构且弹性好；
- (5) 分子结构稳定，耐老化，长期稳定性好；
- (6) 使用温度范围大于称重传感器工作温度范围；
- (7) 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℃；
- (8) 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 $10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$ ；其次是较好的耐高低温能力，应保证在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 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、盲孔灌封工艺

任何应变胶粘剂和防护与密封材料，严格说来都有吸收潮气的特性，仅靠较薄的一层防护面胶不足以抵抗空气中的水份和氧气浸害，因此必须在盲孔、应变通孔、弹性元件与外壳之间的空腔内，全部灌满防护与密封材料，使电阻应变计、各种补偿电阻等与外界环境条件完全隔离，阻碍潮气、水份和盐雾浸入，提高防护与密封能力。

盲孔灌封分为盲孔内电阻应变计、短接线、补偿元器件加固和外层灌封及粘贴金属防护盖两个阶段进行。

### (1) 补偿元器件加固

补偿元器件加固就是用加固材料将盲孔内和引线盒内的补偿元器件、电阻丝和连接线等加固密封，保护引线和焊点提高抗振动、冲击载荷的能力。国内外加固材料多采用环氧类或聚胺酯灌封胶，对配方的要求是固化后必须成柔软的弹性结构<sup>(3)</sup>。这样将其浇灌在盲孔的最底层或引线盒内，即可加固元器件又能起到密封作用。

环氧类加固密封材料视树脂和固化剂的种类不同，有多种组合配方和加固密封工艺。双酚 A 型环氧树脂和低分子聚酰胺（650）组成的配方，尽管加固后有一定的韧性，抗振动、冲击能力较强，但柔软性较差，不是理想的加固密封材料。目前应用较多的是 DG-4 透明环氧胶和聚胺酯灌封胶，后者是采用端羟基聚丁二烯和多异氰酸酯为主要材料制成的，双组份结构，可配制成柔软的弹性结构。从分子式看碳氧结合是单键，分子结构稳定，不易老化，长期稳定性好。当采用硅橡胶加固密封时，之前的防潮涂层不能选用聚胺酯类胶，因为硅橡胶和聚胺酯涂层的粘结力较差，极容易剥落。所以应选择有机硅类防潮涂层，它能改善硅橡胶与被加固密封印刷电路板等的粘结效果，提高加固密封的可靠性。

### (2) 盲孔灌封

一般灌封材料可分为刚性和弹性两种结构。刚性灌封材料为环氧树脂类、不饱和聚酯、酚醛树脂等，其特点是密封性能好，但刚性大，难以更换元器件。弹性灌封材料主要有硅橡胶、聚硫橡胶、聚胺酯橡胶等，其中以室温硫化硅橡胶和聚胺酯橡胶应用最为广泛。

室温硫化硅橡胶形成的弹性体能在 $-65^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 下长期使用，它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，其后方可使用。

聚胺酯橡胶具有良好的机械强度和粘结性能，硬度可在较大范围内调节，特别适合不同结构、不同量程的称重传感器密封。聚胺酯橡胶的电性能、力学性能、耐透湿性能均优于环氧胶，同时还具有耐水解稳定性，防潮能力强，绝缘性能好，耐高压，无腐蚀，

冷热循环体积收缩率小等特点，但在配制时的反应过程中会产生气泡，所以必须在排除气泡后才能灌封。

灌封工艺比较简单，灌封前将盲孔周围清洗干净，测量并记录绝缘电阻值。按技术要求配制灌封胶，经真空脱泡后进行灌封，按要求固化成形。

国外盲孔多层灌封材料主要有：

1) 美国Dow Corning公司生产的盲孔灌封胶：第一层为DC734 双组份柔软结构透明胶（电阻应变计面胶），第二层为DC527 双组份软硬适中灰色灌封胶，最外层为DC7091密封胶<sup>(4)</sup>。

2) 日本东亚合成化学工业株式会社生产的盲孔多层灌封材料：第一层为 KE-45TS 防潮剂（电阻应变计面胶），第二层为 SE-9140RN 防潮胶，最外层为 KE-1204LTV 密封胶。

3) 日本东芝株式会社生产的 TSE3060(A)、(B)双组份灌封胶，可配制成软、硬两种状态进行灌封。

国内应用较多的是聚胺脂灌封胶。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。而硅橡胶、环氧胶的分子结构碳氧结合是双键，易断裂，形成小分子酸性物质，腐蚀元器件影响灌封效果。聚胺脂双组份密封胶的灌封工艺比较简单，重量比 1：8 为软质灌封胶，重量比 1：6 为硬质灌封胶，混合搅拌均匀后即可浇灌，常温 6~8 小时固化，加温 40℃~60℃，3~5 小时固化<sup>(5)</sup>。

## 六、焊接密封

### 1、对焊接密封技术与装备的要求

称重传感器在恶劣的环境条件下和在对稳定性要求较高的条件下工作时，必须对其采用抽真空、充惰性气体的焊接密封工艺。由于应变式称重传感器的结构和制造工艺的特殊性，对焊接技术和焊接工艺装备有如下要求：

(1) 焊接时的热影响区尽量小，这就要求在进行结构设计时焊缝尽量远离电阻应变计粘贴位置；

(2) 焊缝应均匀、整齐、美观、可靠，尽量不使膜片变形，因此要求焊接膜片设计成波纹平膜片、杯形膜片，以减少焊接变形，降低残余应力和对灵敏度的影响；

(3) 弹性元件的坡口和焊接膜片尖角应符合焊接要求，焊缝位置开敞易于焊接作业，以保证焊缝质量；

(4) 工艺简单，焊接效率高。

### 2、焊接方法、原理与特点

焊接方法主要有电子束焊接、激光焊接、脉冲氩弧焊接、弱等离子焊接等，其中应用较多的是激光焊接和脉冲氩弧焊接。

#### (1) 电子束焊接

在电子束焊机真空腔内进行焊接，其焊接工艺是焊机通入电流加热阴极，使它成为一个能发射电子的电子枪系统，带有负电荷的电子束高速飞向处于高电位的称重传感器

外壳、密封模片与弹性元件相贴合的焊缝。焊机的聚焦系统使电子束聚焦，并以极高的速度冲击到极小面积的焊缝上，将动能转变为热能。电子束聚焦越细能量就越高度集中，可在几分之一微秒内，使被焊接的极小面积焊缝的温度升高到几千度，从而熔化被焊材料进行焊接密封。

电子束焊接的特点是：

- 1) 焊接在  $10^2 \sim 10^3 \text{pa}$  压力真空腔内进行，不受各种污染物影响；
- 2) 焊接时能量快速高度集中，热影响区小，被焊件不变形；
- 3) 适用范围广，可焊接各种合金钢、不锈钢和有色金属材料，焊接最小厚度为 0.1mm；
- 4) 焊接后弹性元件或电阻应变计处于  $10^2 \sim 10^3 \text{pa}$  真空中，是最佳的密封状态，密封等级可达 IP68；
- 5) 没有焊渣，无需清除氧化膜。

电子束焊接的缺点是设备昂贵，焊接成本高。

### (2) 激光焊接

激光光束是由单色的、相位相干的电磁波组成，正因为它的单色性和相干性，激光束的能量才可以汇聚到一个相对较小的点上，其功率密度能达到  $10^7 \text{W/cm}^2$  以上。当激光束聚焦后射向焊缝时，焊接接头吸收光能在局部产生高热，使焊接坡口的尖端熔化而成为一体。

称重传感器的焊接密封是在激光焊接机上，利用高能激光脉冲束进行焊接。对弹性元件焊接坡口、膜片尖角的要求与电子束焊接相同。焊接时脉冲激光电源首先把氙灯点亮，使其处于预燃状态，计算机控制激光电源使氙灯脉冲放电，从而形成一定频率、一定脉宽的光波，该光经过聚光腔辐射到激光晶体上并使其发光，再经过激光谐振腔谐振后发出波长为  $1.06 \mu\text{m}$  的激光，激光经扩束、反射、聚焦后射向被焊接称重传感器的焊缝上，焊缝吸收光能，局部产生高热而熔化，使弹性元件和膜片、外壳熔合为一体。

激光焊接的特点是：

- 1) 激光焊是不接触焊接，可将弹性元件放在透明真空罩内，实现真空焊接密封；
- 2) 能量集中，热影响区小，焊接的弹性元件、膜片和外壳不变形；
- 3) 可熔合不同金属和合金，并能完成不同材料的异性焊接，例如金属与陶瓷等；
- 4) 没有焊渣，也不需要清除氧化膜。

进口激光焊机价格昂贵，国产同类机型已达到较高技术水平，并有多项国际激光发明专利，是称重传感器焊接密封较理想的设备，它具有电脑控制，直线、弧线焊接，操作方便，焊缝质量好，工作效率高等特点。

### (3) 脉冲氩弧焊接

脉冲氩弧焊接是保护气体下电弧焊的一种，其特点是工艺简单，焊接效率高，适应性强，可焊接各种钢、铝、钛合金，焊接厚度  $0.1 \sim 2 \text{mm}$ 。缺点是热影响区较大，对操作者的焊接技术要求高，不适合焊接低容量、体积较小的称重传感器。

脉冲氩弧焊接设备由高频脉冲直流焊接电源、氩气瓶、焊枪及其固定支架、表面铺

有厚度为 3~5mm 铜钣的工作台和自动旋转分度头等组成,可进行手动和自动焊接。脉冲氩弧焊接的特点是:动特性好,脉冲频率调节范围宽,输出电流稳定,电源体积小,焊接技术容易掌握,成本低而焊接质量好。其应用范围是:

1) 焊接 0.08~1mm 厚度的不锈钢、合金钢、镍基合金、钛合金及 0.5~1mm 厚度的铝合金;

2) 用于连续低频脉冲、高频脉冲各种焊接过程;

3) 适合焊接较薄的波纹管、波纹平膜片、杯形膜片等。

脉冲氩弧焊接设备的主要技术参数为:

①电源电压 三相 380V;

②主弧电压 40V;

③维弧电压 150V;

④主弧电流 0.5~40A;

⑤维弧电流 1.5A;

⑥脉冲频率 低频 2~10Hz , 高频 500~1500Hz。

不管是采用电子束焊接、激光焊接,脉冲氩弧焊接还是其它焊接方法,都必须进行严格的检漏,以保证焊接质量。检漏的方法较多,对于称重传感器而言,采用氦质谱检漏仪进行检漏是比较理想的方法,因为此法工艺性好,精确度高,可靠性强。为便于氦质谱检漏仪有效的检查焊缝质量,称重传感器在抽真空后,应充入 90%的氮气,10%的氦气。

对于体积小、结构复杂而焊缝较多的称重传感器,可采用较先进的氦质谱“真空容器正压法”进行检漏。此法具有受外界因素影响小,检漏比较简单,易于掌握,精确度高,检漏结果稳定、可靠等特点。

氦质谱“真空容器正压法”检漏系统由氦子谱检漏仪、真空容器、氦气瓶、金属软管、多路导管和压力表等组成。检漏时,先将称重传感器放入真空容器内,将充气口与容器上的接管嘴相连,容器经由氦子谱检漏仪抽真空,称重传感器内通入一个标准大气压的示漏氦气,从检漏仪上读出密封面的漏率,以漏率的大小来表示焊缝的泄漏量值,或给出漏孔的大小,以判断焊缝是否合格。

### 3、焊接密封的工艺特点

焊接密封的称重传感器,除设计有结构合理的波纹平膜片与弹性元件和密封外壳组合,杯形膜片与盲孔外环组合外,还必须设计有柯伐合金焊线端子的焊接口。该焊线端子是在称重传感器焊接密封后,抽真空充惰性气体前,焊接在出线口处。其作用是在焊接密封腔外,调节因焊接应力对零点输出等技术指标的影响,即在密封腔外精调有关技术性能指标。其柯伐合金焊线端子和电桥电路图如图 3-1 所示。

焊线端子的 6 个焊线柱,是通过玻璃粉烧结在由柯伐合金制成的圆盘上的 6 个圆孔内。由于柯伐合金与玻璃粉的温度系数一致,当环境温度变化时两者同步变化,保证焊接密封的可靠性和工作稳定性。

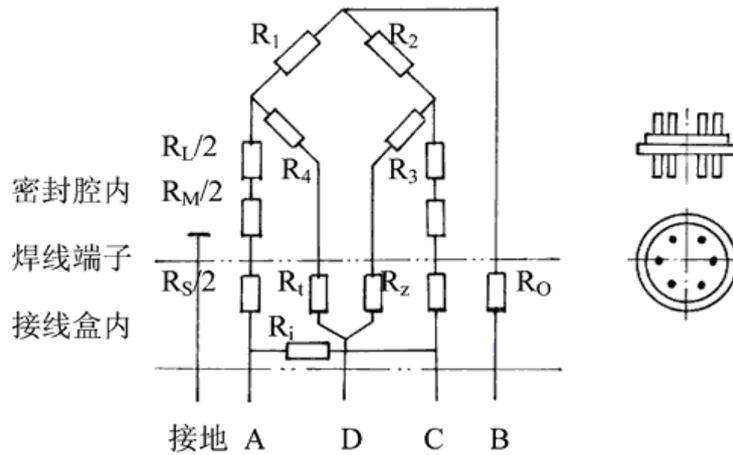


图 3-1 焊线端子及电桥电路图

采用电子束焊接、在真空条件下焊接、焊接后腔内空气很少的称重传感器，不必进行抽真空充氮气处理，可直接使用。焊接密封后内腔较大的称重传感器，例如圆柱式、圆筒式、轮辐式、轴对称式结构必须进行抽真空充氮气处理。它要求称重传感器外壳上或弹性元件上，留有一个抽真空充氮气的锥形孔，同时也是打入铜锥销的密封孔。

抽真空充氮气多在专用的设备上进行，也可在经过改造的带有氮气瓶的真空干燥箱内进行，要求充入干燥的氮气。抽真空充氮气后应对称重传感器的电气性能进行检查，特别是绝缘电阻和零点输出指标，如有超差应采取措施排除或进行腔外调整，最后对腔外调整与电缆出线盒实施激光焊接密封或聚胺酯密封胶灌封。

### 参考文献

1. 王云章. 应变式传感器胶封技术的研究 [J]. 自动化仪表, 1999 年. 第 10 期, 36~37.
2. 美国 Vishay 公司. 来华技术讲座与技术交流资料 [R]. 国防科委情报研究所, 技术资料汇编, 1980 年.
3. 陈元章. 军用电子设备的防护技术. 航天工艺, 1997 年. 第 5 期.
4. 美国 Dow Corning 公司. 有机硅介电凝胶样本资料. 1999 年.
5. 洛阳贝隆化工材料有限公司. 电器及称重传感器聚胺酯灌封胶样本资料, 2008 年.

### 作者简介

刘九卿 (1937— ), 男, 汉族, 辽宁省海城县, 研究员、享受国家特殊津贴专家。  
 通讯地址: 北京市丰台区桃源里小区 11 号楼 2 单元 6 号 邮政编码: 100076