

# 电子衡器雷电环境下多个案例分析

□山东金钟科技集团股份有限公司 沈立人

**【摘要】**电子衡器常规方法预防雷电破坏的问题不是本文介绍的内容，本文就个人在过去遇到的非常规雷电对电子衡器影响的案例，以及对配备数字称重传感器的电子衡器影响的案例在这里介绍和分析，提醒从事电子衡器工作的同仁必须重视雷电对电子衡器的影响，同时也介绍一点雷电方面的知识，希望对读者有帮助。

**【关键词】**电子衡器；雷电；案例分析

文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2023）09-0014-05

## 引言

过去有不少同仁在多种刊物上发表了有关防止雷电的文章，介绍按照国家规定要求如何设置电子衡器避雷装置，以保护电子衡器在室外使用。是否按照防雷电的规范做了就能达到保护室外使用电子衡器的目的了呢？在这里将我所经历的几件有关雷电的特殊案例及其探索这些案例发生的原因和处理方法进行介绍，希望在这方面能够对大家有所帮助。

案例（1）这个情况是发生在我们刚刚接触到电子衡器的上世纪八十年代中期。由于公司引进国外的称重传感器产品在许多行业赢得较好的口碑，当地一家比较重要的央企用户找到我们，让帮助分析他们的一台自动轨道衡被损坏的原因，并确认该自动轨道衡是被雷电击坏的，还是因为操作不当被交流电烧坏的？据用户介绍，这台轨道衡是安装在有钢铁结构的防雨棚下的，防雨棚的总高度大约6m，长度大约20m，防雨棚没有做接地装置。当时的现象是在一个雷雨天，此台自动轨道衡外不远处发生一次雷电后就无法使用。

案例（2）大约在上世纪九十年代初，电子汽车衡在我国普及时间不太长，在天津塘沽地区油罐区

内安装的我们公司一台汽车衡，雷雨天在汽车衡附近发生一个闪电后使得汽车衡就无法使用，不但造成称重传感器全部损坏，而且连带称重仪表的电源部分也烧坏。最不可思议的是，安装汽车衡地址周围不远处遍布油罐的避雷针，而且此汽车衡也按照防雷电规范安装了完善的接地装置，事后经检查接地情况完好。

案例（3）在上世纪九十年代末期，正当数字式称重传感器开始出现在我国市场时，我们接到一家用户的求助电话，一台使用数字式称重传感器的电子衡器在一次雷雨天被一个闪电袭击遭到损坏。而这台电子衡器的避雷装置完全是按照我国《建筑物电子信息系统防雷技术规范》<sup>[1]</sup>标准设计的，不但衡器的承载器连接了接地系统，而且接地电阻也是按标准要求的小于100Ω。

案例（4）由于高速公路收费站环境比较空旷，只有收费站建有高大的门楼，在这些门楼顶部都安装有避雷装置，只有计重使用的动态汽车衡承载器的金属部分裸露在公路路面上，所以很少出现设备被雷电击坏的现象。前几年一个高速公路收费站在一次雷雨过程后，发现其中的一台动态公路车辆自动衡器的称重仪表突然出现不能正常显示重量现

象，通过技术服务人员的检查，发现仅仅是称重仪表的串口被击坏了，而此台动态汽车衡的称重传感器等部件没有问题。

### 1 原因分析

案例（1）对于轨道衡的称重传感器，我们解剖后发现，内部的线路全部烧毁，是典型的雷击现象。与用户共同考察了轨道衡使用现场情况后，与用户方一同分析可能的原因。首先根据称重传感器内部烧毁状态，认为是不可能因为称重仪表的激励电压击穿称重传感器，因为激励电压只有12V。在与仪表同一相线供电线路上没有接有感性负载用电设备（如电铃），供电电路不会出现瞬间高电压，称重仪表的供电变压器也没有被烧毁。所以大家基本上认可事故发生的原因是：虽然轨道衡上部的防雨棚高于地面，从理论上讲防雨棚完全可以作为避雷器，将雷电直接引入大地，避免雷电直接作用到轨道衡上。由于防雨棚没有接地，没有起到将雷电接入大地的作用。这次雷电现象发生在离轨道衡外100m左右的地方，雷电直接作用在铁路的轨道上，很可能强大电流沿着铁路道轨传递到轨道衡上，并穿过称重传感器，击穿了称重传感器的应变计，而后将电流再汇入大地。这个情况说明，这次雷电的能量比较大，不但远距离传输到轨道衡，而且还击穿了称重传感器。

案例（2）对于天津塘沽地区汽车衡，在中国气象局我们将事发现场的情况介绍后，专家分析指出：当雷云放电接近地面时，它使地面电场发生畸变。在避雷针的顶端，形成局部电场集中的空间，以影响雷电先导放电的发展方向，引导雷电向避雷针放电，再通过接地引下线和接地装置，将雷电流引入大地，从而使被保护物体免遭雷击。这样周围大批建立避雷针以后，这是好事，被保护的建筑物受雷击的几率就减少了。但是，这个油罐区原来是海边的滩涂地，避雷针的接地体与汽车衡的接地体虽然是按照规范埋设的，两者之间距离大于5m，由于其土壤电阻率非常低(见下表)，避雷针引入大地的闪电击穿土壤进入汽车衡的接地体，并由接地体进入称重传感器，而后进入称重仪表，将这些设备内部线路全部烧毁。

之前这个问题为什么没有被大家认识到，可能问题出在我们只是注意到《建筑物防雷设计规范》<sup>[2]</sup>中5.4.6条的规定，此条只是强调“降低防直击雷冲击接地电阻的方法”，而没有全面了解到其他文件是否有“低电阻率场地接地体间距是否应放大”的问题。我们在随后咨询国家气象局专家，地下接地体间距应该控制在多少合适时，由于各种地质条件的不同，影响了地阻率的不同，不能轻率给出一个准确的结果。

表 常见土壤的电阻率（部分）

类别	名称	电阻率近似值 $\Omega \cdot m$	不同情况下电阻率的变化范围 $\Omega \cdot m$		
			较湿时 (一般地区、多雨区)	较干时 (少雨区、沙漠区)	地下水 含盐碱时
土	陶黏土	10	5~20	10~100	3~10
	泥炭、沼泽地	20	10~30	50~300	3~10
	黑土、园田土、黏土	100	30~100	50~300	10~30
	含沙黏土、沙土	300	100~1000	1000 以上	30~100
	多石土壤	100	-	-	-
沙	沙、沙砾	1000	250~1000	1000~2500	3~30
岩石	砾石、碎石	5000	-	-	-
混凝土	在水中	40~55	-	-	-
	在湿土中	100~200	-	-	-

同时气象专家也给我们介绍了一起类似的事件。南方某地一个科研单位有计算机机房，有专门的接地线，接地电阻为 $4\Omega$ ，避雷针另有一个接地线，接地电阻为 $10\Omega$ ，这两条接的地线没有连接起来，各自独立接地，但相距较近。在一次雷雨中，避雷针引下闪电时产生反击，闪电电流沿计算机机房的专用地线窜入机房，致使数台计算机同时被高电压击毁。

案例（3）对于一般电子衡器来讲，按照建筑物防雷电的接地电阻要求小于 $100\Omega$ 就可以，而对于数字式电子衡器来讲，接地电阻就是小于 $4\Omega$ 也很难保证保护的可靠性。因为数字式称重传感器是在原模拟式称重传感器基础上加装数字处理电路而成。这些数字电路：放大器、A/D转换器、微处理器等，本来都是安装在室内使用的称重仪表内的，现在被装入室外使用的称重传感器内。室外的条件本来就比室内严酷，再由于每只称重传感器安装一套电子处理装置，而且是增加了 $n$ 倍的数量，自然而然整套系统的抗雷电影响的能力就大大降低。在茅以升主编《现代工程师手册》的“可靠性设计”<sup>[3]</sup>一节，从可靠性角度讲，当各元件的可靠度相等，都为99.9%时，那么40个元件串联的系统，其可靠度约为99%，而由400个元件串联的系统，可靠度就下降为60%。

对于现场多个接地系统的情况，最好的处理方法是地电位均衡处理。即多个接地系统间的等电位连接，用于解决多个地之间地电位不平衡的问题，并在雷电来的瞬间形成等电位。

案例（4）每个高速公路收费站都有多处收费道口，从有关高速公路管理资料中可以看到，高速公路机电设备的防雷电是一项系统工程。在整个高速公路机电系统作为一个整体对象来进行防雷电保护，既要考虑几个弱电子系统的防雷电保护，又要考虑各个弱电子系统之间及其与供电子系统之间的有效衔接，不但设计中比较完善，实际施工时也是严格执行规范。所以多年来在高速公路计重收费管理中，我们也是第一次遇到称重仪表串口被感应雷电击坏的现象。从现场出现的现象来看，称重传感器与称重仪表都是串联在信号电缆上的，如果信号电缆是遇到感应雷电或是雷电波侵入的冲击，按照正常规律在称重仪表受到雷电冲击时称重传感器也

应该受到雷电冲击。这次称重仪表串口损坏，而称重传感器没有问题，说明了一种可能，就是衡器的多只称重传感器都是连接了分流电路，将雷电电流直接引入了大地，而称重仪表的接地线路连接出现了问题，没有起到及时将雷电电流引入大地。在高速公路机电系统如此完善防雷电措施内，至于信号电缆为什么会引入感应雷电或雷电波侵入，可能的原因只有一个，是此根信号电缆没有穿入金属管中得到屏蔽。

## 2 有关雷电方面的知识

### 2.1 雷电的种类

（1）直击雷：当人遭到雷击的一瞬间，强大的电流会迅速通过人体，严重者可导致心跳停止、肺功能衰竭、脑组织缺氧而死亡。另外，雷击产生的高温弧光也会造成人体不同程度的皮肤灼伤和碳化。人体遭雷电击伤，会形成树枝状的雷击纹理，致使皮肤剥脱和出血，也可造成耳鼓和内脏破裂等等。另外，据不完全统计，在每年的雷雨季节中，世界上所发生的雷击高达1700次左右，全世界每年大概有数千人遭受雷击。在比较平坦的地形上，30米左右高的建筑物平均每年就会被击中一次。每座数十米及以上的高层建筑物，如广播或电视塔，每年会被击中20次左右，每次雷击所产生的高电压达6亿伏左右。如果没有避雷设备，这些建筑物早就被毁掉了。从云层到地面的闪电雷击，它也包含了在50毫秒左右间隔之内发生次数，也就是4次左右的独立雷击次数。第一次的雷击峰值电流大约在2万安培，而后续雷击的电流峰值则会减半，最后一次雷击很可能产生大约140安培的持续电流，其持续的时间可长达数十毫秒左右。

（2）雷电感应：是在雷电感应过程中产生的强大瞬间电磁场，这种强大的感应磁场，可在地面金属网络中产生感应电荷。包括有线、无线通信网络，电力输电网络和其他金属材料制成的线路系统。高强度的感应电荷会在这些金属网络中形成强大的瞬间高压电场，从而形成对用电设备的高压弧光放电，最终会导致电气设备烧毁。尤其对电子等弱电设备的破坏最为严重，如，家用电器的电视机、电脑、通信设备、办公设备等等。每年，被感应雷电击毁的用电设备事故达千万件以上。这种高



压感应电也会对人身造成伤害。

(3) 雷电波侵入：是由于雷电对架空线路或金属管道的作用，雷电波可能沿着管线侵入室内造成危害。

(4) 球形雷：球状闪电是形成雷电的电动趋势，在半击穿空气时产生的空气离子球。它其中携带能量，包裹相对稳定。当有导体破坏它的平衡时，它会和周围的空气中和，并释放出能量。

在我们生活、工作的环境下，可能接触到的是：直击雷、雷电感应或雷电波侵入三种，也都是需要重点进行预防的。球形雷发生的几率比较低，而且目前没有什么预防措施。

## 2.2 雷电的预防

根据国家标准GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》<sup>[2]</sup>附录F规定，其首次雷击电流幅值为150kA，波头10 $\mu$ s。二次雷击电流幅值为37.5kA，波头0.25 $\mu$ s。全部雷电流I的50%，按流入建筑物防雷装置的接地装置计，另外50%，按1/3分配于线缆计。首次雷击：总配电间每根供电线缆雷电流分流值为 $150\text{kA} \times 50\% / 3 = 8.33\text{kA}$ ；后续雷击：总配电间每根供电线缆雷电流的分流值为 $37.5\text{kA} \times 50\% / 3 = 2.08\text{kA}$ 。如果进线电缆已经进行屏蔽处理，其每根供电线缆雷电流的分流值将降低到原来的30%，即 $8.33\text{kA} \times 30\% = 2.5\text{kA}$ 及 $2.08\text{kA} \times 30\% = 0.6\text{kA}$ ，而在电涌保护器承受10/350 $\mu$ s的雷电波能量相当于8/20 $\mu$ s的雷电波能量的5~8倍。所以，选择能承受8/20 $\mu$ s波形电涌保护器的最大放电电流为 $8.33\text{kA} \times 8 = 66.6\text{kA}$ ，即设计应选用电涌保护器SPD的最大放电电流为65kA。根据国家标准GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》第6.4.7条规定，该级电涌保护器应在总配电间处安装，即在LPZ0A、LPZ0B与LPZ1区的交界处安装。所以雷电能量非常巨大，是浪涌电压中最具破坏力的一种。

防雷系统有外部防雷与内部防雷的区分。外部防雷系统是指建筑物的防直击雷所安装的设备，包括避雷针、避雷带、均压环、接地引下线、泄流地网等部分。外部防雷系统的功能是为了防止建筑物遭受雷电的直接袭击，把雷电流引到地下泄放。但是在雷电流引入下地的过程中，大约会有50%的能量转化成磁场能向周围传递，所以泄放雷电流时，

建筑物周围会有一个非常强的电磁场声场存在。这个电磁场在各类带电线路（如电力线、通信线等）上切割，就导致了感应电压（俗称感应雷）的产生。这种感应雷击或称雷电的二次效应所带来的灾害要复杂得多，已不是避雷针所能防护得了的，这就需要增加新的防雷设备（这就是我们所要讲的内部系统的弱电防雷）。

内部防雷系统是为保护建筑物内部的设备以及人员的安全而安装的。架空带电线路在室外可能被雷电击中而附加上一个高电压，如果任其传输到设备上，则后果不堪设想。另外，感应雷击也是由线路侵入损坏设备的一个重要因素，特别对于通信设备、计算机等精密电子产品，感应雷危害是最常见的，如案例（4）可能是感应雷电通过没有穿入金属管道的信号电缆进入称重仪表产生的作用。内部防雷工程是在需要保护设备的前端安装适合的避雷器，使设备、线路与地网形成一个有条件的等电位体。当线路上感应到过电压时，避雷器工作把过电流向地下泄放，保证了设备的安全。

对于第2个案例的事后服务时，根据国家标准《建筑物防雷设计规范》<sup>[2]</sup>的规定，我们的汽车衡正好在油罐区已有接闪杆的保护范围之内（见下页图），所以根据气象专家的建议就没有再安装专用的接地装置，仅仅对称重传感器和称重仪表进行了简单的接地处理。

## 3 后话

3.1 在雷电这个问题上，一定要重视科学，不要轻视避雷技术的各个环节的科学原理。科学是马虎不得的，对雷电不能心存侥幸心理。防雷电问题是一个系统工程，不是仅仅对一个设备的接地就可以解决的，应该从配电室开始着手，一直到各个用电设备，综合进行设计、施工。

3.2 千万不要认为你的产品能够通过EMC对电子衡器的附加试验<sup>[4]</sup>就可以高枕无忧了，现场安装电子衡器可以不考虑防止浪涌（冲击）的措施，因为EMC对电子衡器的试验严酷等级仅仅是2级（线-线0.5kV、线-地1kV），而闪电的平均电流是30kA，最大电流可达300kA。闪电的电压为1亿~10亿伏特，一个中等强度雷暴的功率可达1000千瓦，相当于一座小型核电站的输出功率。

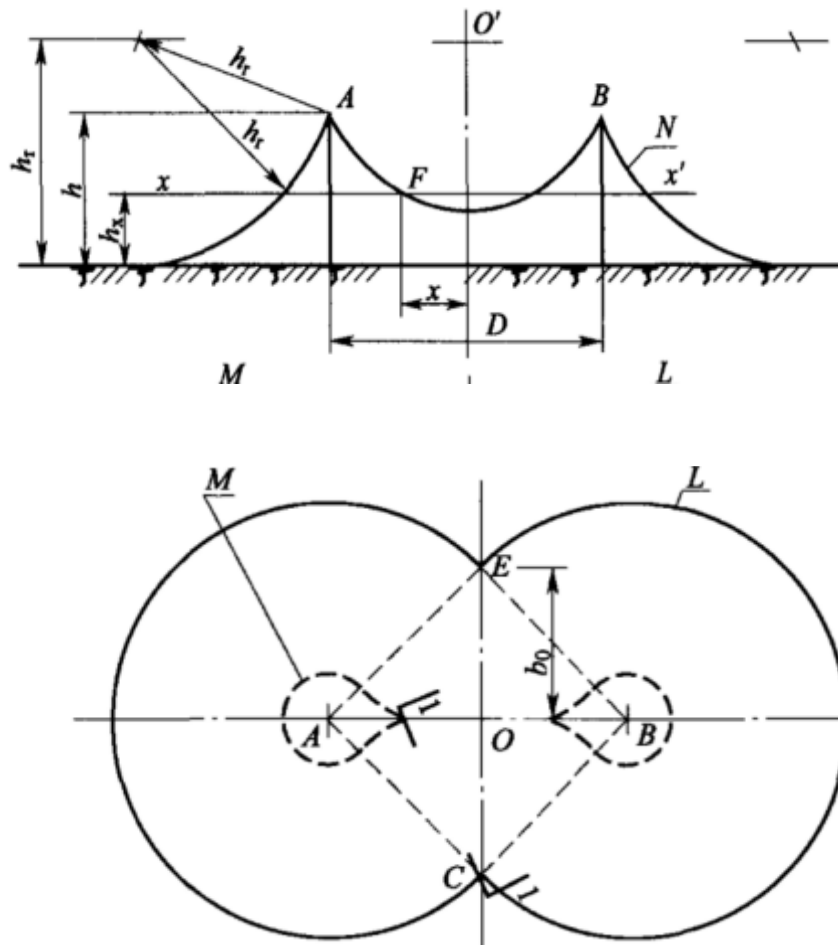


图 两支等高接闪杆的保护范围示意图

3.3 我们事后总结时认为，对于采用数字式称重传感器的电子衡器，由于其结构特点比一般电子衡器娇贵，不但承载器应该加装多根引下线，每只数字式称重传感器也应该加装跨接电缆，甚至对于室外使用的数字接线盒也不能忽视接地，让可能出现的雷电电流绕过称重传感器进入大地。

3.4 为了人身保护，希望将控制室内的所有设备外壳都进行接地，如有外设通过电缆连接到控制室内的称重仪表、计算机上，应在通信口上配接串口隔离器。

#### 参考文献

- [1] GB50343-2012《建筑物电子信息系统防雷技术规范》国家标准[S].
- [2] GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》国家标准[S].
- [3] 茅以升主编《现代工程师手册》北京出版社

1986年2月第1版[M].

- [4] GB/T17626.4《电磁兼容试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验》国家标准[S].

#### 作者简介

沈立人，1947年出生，高级工程师，原山东金钟科技集团股份有限公司员工。1968年参加工作，在金钟公司从事各种机械衡器和电子衡器设计、制造、标准和规程编写等工作50余年。曾主持公司汽车衡、轨道衡、台案秤，多种自动电子衡器的设计与生产、安装、检定工作；研发并申报了多项专利技术；参加了目前衡器行业全部产品标准、计量检定规程、型式评价大纲的编写和审定工作；主持制修订多种电子衡器标准；参加中国衡器协会组织的《衡器实用技术手册》《衡器装配调试工》培训教材；在国内相关计量技术的杂志上发表了百余篇论文。