

· 经验介绍 ·

关于油罐的防雷保护措施

石油库设计规范组

储存易燃或可燃油品的罐,若是防雷措施不当,一旦遭受雷击,很可能发生严重的爆炸火灾事故,这不仅给国家财产带来巨大损失,而且对人身安全也是很大威胁,因此,各国对油罐的防雷都很重视。但由于种种原因,我国以往对油罐防雷的研究和试验做得不多,至今也没有一个统一的规定,因而各部门各地方对油罐防雷设计在做法上也不统一。究竟怎样做才能既安全可靠又经济合理,这是当前需要解决的问题。

一、雷电及雷击事故特点

雷电是在连续数公里大气层中发生的巨大静电放电现象。它与油品收发作业过程中产生的静电不同,它的形成与大气温湿度、湿度及地形等因素有关,它的产生是无法控制和阻止的。其特点是放电电压高(500kV以上),电流幅值大(100~330kA),变化快,波过程时间短(40 μ s左右),比一般静电能量大,任何一次主放电能量都足以点燃油气与空气的混合物。

雷害的形成表现为热效应、电效应和机械效应。油罐遭受雷击破坏也不外乎以上三

各种裂纹角时 P_{c1} 与 P_{c3} 的相对误差

表 2

β (rad)	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90	平均误差
$\frac{P_{c1}-P_{c3}}{P_{c1}}$ (%)	0	2.4	8.8	13	13.5	12.7	11.5	8.1	5	2	0	6.9

参 考 文 献

- [1] 洪起超:《断裂力学(在压力容器中的应用)》,化学工业部设备设计技术中心站,1979,10
- [2] 李泽震:带裂纹压力容器断裂压的计算公式,《化工通用机械》,1981.No. 2
- [3] 李泽震:广义裂纹尖端位移(COD)理论及其在压力容器中的应用,《化工炼油设备》,1981, No.1
- [4] 刘火祥,郭荣元:带斜裂纹模拟圆筒容器静压爆破和疲劳试验,《焊接学报》,1981, Vol. 2, No. 3
- [5] Folias, Asymptotic approximation to crack problems in shell, Elastic plastic fracture Mechanics, 1978

种。当油罐遭受直击雷时,雷击点产生强烈的电弧,由于电能向热能转换,使金属熔化或飞溅物直接点燃油气与空气的混合物,引起爆炸和燃烧。当油罐遭受感应雷时,会在导体上产生电势和电流,如果导体上有一点通道不连续,存在空气间隙,则也会在该点上产生电弧。再就是雷云对大地物体产生的异性感应电荷,随着雷击点的发生,与大地相对绝缘的物体上的静电荷成了自由电荷,需要找通道向大地泄散,如果遇上通道不连续,或者有阻碍,就会产生高电位击穿,引起电弧。这两种电弧引起的电火花都会点燃油气与空气的混合物。

油罐防雷的目的就是针对雷电特点,根据油罐的用途、结构型式等条件采取适当的措施,防止雷击事故发生,做到既安全可靠又经济合理。

二、国内外油罐防雷的现状

石油库的储油罐多数是金属油罐,钢筋混凝土罐或砖罐只占少数。不同类型的油罐其自身防雷能力是不同的,因而各国采取的防雷措施也不同。

1. 固定顶金属油罐

从英、美、德、苏、日等国有关的防雷规定来看,这类油罐只要罐顶金属板有一定的厚度,呼吸阀上装有阻火器,油罐与管线有良好的电气连接,罐体与管线有良好的电气连接,罐体接地良好,就可以认为该油罐自身有防雷能力,不需要装设避雷针(线)。这些国家现在都是这样做的。解放前英、美在我国建造的金属油罐,近几年从日本等国引进的金属油罐都是不装避雷针的。再根据石油部、商业部对美国、日本、法国等的考察资料,他们的金属油罐也都不装避雷针。但是,各国规范对自身有防雷能力的金属油罐顶板厚度要求不一样,美国要求顶板厚度大于或等于4.75mm,苏联要求大于或等于4mm,日本要求大于或等于3.2mm,德国在建筑物防雷规范中,只要求建筑物上钢板厚度大于0.5mm就可做接闪器。

我国自五十年代以来做的油罐防雷设计,都是以苏联1956年出版的《防雷及防静电暂行规定》为依据,所以很多储存轻质油品的金属固定顶油罐都装有避雷针,直至今今天仍旧如此。在我们调查的100多个石油库中,除个别库外,地上固定顶油罐都装有避雷针(线),这与其他国家相比显然差距很大,所以有必要作进一步的研究。

2. 浮顶油罐(包括内浮顶罐)

对于外浮顶油罐各国防雷规范都一致指出,不需要装设专门的防雷装置,只需将浮顶与罐壁间进行良好的电气连接,并将罐体接地。对于内浮顶油罐的防雷,美国石油RP2003中规定,只要将浮动部件与罐底、罐顶做良好的电气连接即可。

我国绝大部分浮顶油罐的防雷措施与美国的规定相同,即不专门设置防雷装置,只将浮顶与罐体进行良好的电气连接,然后将罐体接地。但是有的油库或炼油厂在浮顶油罐上仍装设避雷针,有的还装设独立的避雷针。

3. 地上钢筋混凝土油罐及其它非金属油罐

苏联防雷规范中明确提到,钢筋混凝土油罐应设防直击雷和感应雷的保护装置,要

求用独立避雷针作防直击雷保护,在罐顶上铺设用直径为 $\phi 6 \sim \phi 8 \text{mm}$ 的圆钢制成 $8 \sim 10 \text{m}$ 的网格作防感应雷保护。

对于其他非金属油罐防直击雷措施,美、英两国只规定用独立避雷针保护。

我国绝大部分地区对于地上钢筋混凝土油罐只有防直击雷的措施,有的在罐顶上装避雷针,有的装独立的避雷针,大多数都没有防感应雷的措施。自从茂名石油公司1976年发生雷击钢筋混凝土油罐事故后,有不少地区在罐顶上加上了金属网格来防感应雷。

4. 覆土油罐

覆土油罐分金属和非金属两种,国外很少有这种油罐。英国、德国“防雷规范”中提到类似的问题,因为不是针对油罐,所以只能作为参考。

英国规范指出:“当建筑物埋深适当时,接闪器可以由接地的网格来代替,按专家的建议布置在地面上”。

德国规范指出:“当建筑物有完整的至少 0.5m 厚的覆土层时,可以不装外部避雷器”。又指出:“如果建筑物有泥土覆盖,存放特别敏感的物品,例如硝化甘油、起爆药和其他类似东西而需要更加安全的时候,则应在泥土覆盖层内或地面上安装一个网孔尺寸最大为 10m 的避雷网,该网通过环形接地装置接地”。

苏联规范1956年3月版指出:“对于距地面 0.5m 以下的地下建筑物通常不需采取防雷措施”。

我国1970年出版的《工厂设计手册》(上册),其油罐防雷接地规定:“凡是覆土层厚在 0.5m 以上的埋地式油罐可以不考虑防雷措施。但如有呼吸阀引出地面者,在呼吸阀处需作局部防雷处理”。而在实际工程中,覆土的钢油罐或钢筋混凝土油罐,有的装设独立避雷针保护整个油罐,有的只在罐上装一支避雷针保护呼吸阀及量油孔,而大部分都没有装设避雷针。

5. 防雷接地装置

油罐的防雷接地是防雷的重要一环。从防雷角度来说,接地电阻越小越好,以便能安全地把雷电流导入大地,还可以限制接地装置上的雷击高电位。在雷击油罐时,也可防止雷电向其它金属物体发生反击。在接地体的布置上要考虑限制接地装置周围的雷击跨步电压,以免伤害人员。

接地电阻值是用来衡量接地装置是否达到要求的一个指标。接地电阻越小,引导雷电流入大地的能力越好,反击和跨步电压也越小。因此,在可能的条件下,最好使防雷接地装置的接地电阻小一些。

各国对接地电阻的要求并不相同,美国没有明确要求,英国要求不大于 7Ω ,苏联和日本要求总接地电阻不大于 10Ω 。日本又要求每组接地极电阻可不大于 20Ω ,我国一般也要求接地电阻不大于 10Ω 。

对于土壤电阻率高的地区,各国都采用在建筑物周围埋设环形水平接地体,又在环形接地体对外围加放射状延伸的导线,以此来减小电压梯度,降低跨步电压,我国大多数也是这种做法。对于化学降阻剂,我国电力部门用的较多,也作过试验,他们认为此法对降低土壤工频接地电阻效果较好,且电阻不受季节影响,但对降低防雷接地电阻没

有明显作用。一般油罐防雷,即使在土壤电阻率高的地区,也都未使用化学降阻剂。

三、油罐雷击事故调查简况

近年来,雷击油罐的事故很多,这里仅将一些重大事故简述如下:

1. 吉安某石油库 2000m³ 覆土隐蔽罐,储存汽油,未设避雷装置。1977 年 7 月 21 日晚 6 时因雷击着火,烧了四天。该罐覆土厚 1 m,罐顶上的呼吸阀和量油孔都放在 1.25m 高的混凝土操作室内,油罐护壳有三个混凝土的透光孔,其中一个透光孔的盖子未盖,钢油罐顶板不严,大量油气漏到油罐与护壳之间的空间内,形成爆炸混合气体。据目击者讲,雷击在未盖盖子的透光孔上,雷电火花点燃了该处的油气而引起爆炸着火的。

2. 贵州省遵义某油库 1 个 3000m³ 覆土隐蔽罐,1980 年 5 月 30 日遭雷击,但未爆炸着火。该油罐的量油孔和呼吸阀都装在罐顶上部的钢质操作室内,操作室内呼吸阀呼出的油气充满空间,形成爆炸混合气体。距操作室 0.5m 处设一避雷针,操作室与避雷针之间无电气接连。根据当时情况分析,雷击的反击引起操作室内油气爆炸着火,燃烧约 2 分钟,操作室盖板炸坏,呼吸阀及量油孔表面的油漆烧黑,阻火器的三层钢丝网烧毁,但因阻火器和呼吸阀起作用而没有把火引到罐内。

3. 云南省嵩明某油库 1 个 1000m³ 覆土隐蔽罐,储存汽油。1973 年 7 月 12 日将此罐放空,8 月 7 日打开人孔通风,未盖人孔盖子,8 日凌晨遭雷击,雷电火花从人孔引入罐内发生爆炸起火,罐顶炸毁,罐体破坏严重。

4. 茂名炼油厂 1976 年 5 月 31 日同时雷击两个半地下式钢筋混凝土罐。一个是 111 号罐,容量为 5000m³,没有避雷装置,储存胜利原油 1000 t,已封存很长时间,管线阀门和量油孔都关闭,罐顶附件都未作接地。另一个是 116 号罐,容积为 15000m³,储存伊拉克原油 4000 t,当时正在向罐内进油,量油孔是开启的。该罐装有防直击雷的避雷针,但无防感应雷设施。据调查分析,111 号罐是受直击雷雷击爆炸起火的,116 号罐是受感应雷雷击起火的。

5. 南京炼油厂 1979 年 3 月 31 日雷击一个原油罐,燃烧 63 分钟,烧掉 240 t 原油。该罐为 15000m³ 半地下式钢筋混凝土罐,只装有防直击雷的避雷针,而没有防感应雷的设施。混凝土内的钢筋都没有连接好,也没有接地。据调查分析是由于感应雷产生火花而引起油罐爆炸起火的。

6. 秦皇岛某石油库 1967 年 7 月 28 日晚 10 时雷击一个 30000 m³ 地下式钢筋混凝土顶、砖壁油罐。该罐没有防雷设施,混凝土内的钢筋没有焊接成一体,罐顶的板与板之间的钢筋接头没连接好,所以很容易发生雷击事故。另外,该油罐顶上的附件不完善,量油孔不盖盖子,呼吸阀无阀瓣,液压安全阀无封油。雷电火花很容易从这些地方引入油罐内而发生爆炸起火。根据当时情况分析,是由于直击雷的火花点燃了罐顶附件处的油气,从不严密的罐顶附件引入罐内发生爆炸着火的。

从以上事例可以看出:

1. 地上钢油罐遭受雷击而发生爆炸着火的很少, 更没有发生过因雷电击穿油罐钢板而引起爆炸起火的情况。

2. 地下式或半地下式油罐遭受雷击发生爆炸着火的比地上油罐多, 这可能是因为地下式或半地下式油罐容易积聚油气的关系。

3. 油罐的呼吸阀和阻火器在防雷方面很起作用。吉安、嵩明等处的油罐遭受雷击而爆炸起火, 都是经过未盖盖的透光孔或透气管引入罐内的。而遵义石油库一个油罐在呼吸阀的周围燃烧 2 分钟未能引至罐内着火, 这说明呼吸阀和阻火器起了作用。

四、油罐的防雷保护措施

1. 易燃易爆品储罐

(1) 地上固定顶钢油罐 当罐顶和罐壁的钢板厚度大于或等于 4 mm, 并装设有完好的呼吸阀和阻火器, 做好接地装置时, 我们认为这种罐本身已具有防雷能力, 可以不设避雷针(线), 其理由是:

首先, 这种油罐都是焊接的, 和油罐相连的管线都是用法兰和螺栓连接, 罐体本身在电气上是连续的。雷电直接击在油罐上时, 雷电流能沿罐体通过接地装置导入大地。就是遭受感应雷, 罐体产生的感应电流也不会因其不连续而产生火花。

其次, 在遭受雷击时, 这种油罐的钢板是不致被击穿的, 雷击过程产生的高温也不会引燃罐内的油气。我们曾于 1980 年 3 月及 1981 年 3 月, 分别与中国科学院电工研究所及西安高压电器研究所合作, 进行了石油储罐雷击模拟试验。模拟雷电流幅值为 146.6~220 kA (能量为 133.4~201.8 J, 电量为 6.68~10.09 A·s), 钢板熔化深度为 0.0716~0.352 mm, 钢板吸热量为 133.14~201.39 J, 钢板背面温升很小, 用手摸一下只有热的感觉。若用自然界最大雷电量 100 A·s 的能量计算, 钢板吸收热量为 1997.10 J, 钢板熔化深度为 1.55 mm。有些资料介绍, 当雷电在罐体被击点放出的热量为 1046.7 J, 钢板的熔化深度不超过 0.6~0.8 mm, 考虑到实际上的各种不利因素(如材料的不均匀性, 钢板使用后腐蚀以及自然界可能产生的雷电量比模拟试验的雷击量较大等)和安全裕量, 所以我们认为钢板厚度大于或等于 4 mm 时, 就不会被雷电击穿, 也不会因钢板背面产生高温而点燃油气。实际情况也是如此, 我们所调查搜集的油罐雷击事故中, 钢罐被雷击的很少, 更没有钢板被击穿或者雷击点处钢板温度过高而点燃油气产生爆炸起火的实例。

对于钢板厚度小于 4 mm 的油罐, 考虑到各种不利因素和安全性, 故规定这种油罐应设避雷针(线)。但是, 目前实际使用的油罐钢板厚度很少小于 4 mm, 100 m³ 或 100 m³ 以上的油罐, 其钢板厚度都等于或大于 4 mm。

第三, 《石油库设计规范》第四章规定: 储存甲、乙类油品的油罐, 必须安装呼吸阀和阻火器, 我们认为呼吸阀和阻火器是油罐防雷的关键设备, 从调查可知, 很多油罐雷击着火事故都是由于没有安装呼吸阀和阻火器而造成的。有的油罐虽然安有呼吸阀和阻火器, 但其量油孔或透光孔是开启的, 有的呼吸阀没有阀瓣, 有的阻火器仅是一个

外壳,都不起阻火作用,容易发生雷击着火事故。从遵义某一油库的油罐雷击情况来看,只要油罐的呼吸阀和阻火器完好,就是雷电火花点燃呼吸阀排出的油气,在呼吸阀周围燃烧,也不致于将火焰引至罐内。

这里还应指出,过去一提到油罐防雷装置,就强调装设避雷针。有些单位认为油罐装了避雷针就可以不遭受雷击了,实际情况并非如此。避雷针的保护范围是一定的,对球形雷和雷电的绕击也不起作用。所以,只有将油罐附件维修好,使其经常处于完好状态,才不致遭受雷击灾害。

第四,外国对地上固定顶钢油罐的防雷也是这样规定的。我国解放前建造的油库,地上钢罐都没有装设避雷针。上海916油库和广州市第三石油库都是解放前建的油罐,至今也没装避雷针,安全运行几十年从未发生过雷击事故。

(2) 浮顶油罐 浮顶油罐在正常情况下很少有油气逸出,浮盘上面的油气很少,一般都达不到爆炸下限,只有在密封装置损坏时,才有油气逸出,即使遭到雷击着火,也只发生在有限范围内,比较容易扑灭,不致造成重大事故。例如北京燕山石油化工公司某一浮顶油罐遭受雷击着火,用手提灭火器很快就扑灭了,美国也有浮顶油罐雷击着火后用手动泡沫灭火器扑灭的报导,所以我们认为浮顶油罐可以不装设避雷针(线)。但为了防感应雷,这种罐应将浮顶与罐体作可靠的电气连接,避免有雷电感应时,在浮顶与罐体之间产生火花。现在国内外对浮顶油罐的防雷都是这样做的。

(3) 钢筋混凝土油罐和其它非金属油罐 这种油罐罐体内部的钢筋很难做到电气的可靠闭合。当雷电击中这种油罐时,由于雷电机力的作用,油罐会遭到破坏,所以这种油罐对雷电无自身保护作用,故应设独立的避雷针来防直击雷。对于钢筋混凝土油罐,因混凝土内的钢筋很难全部做到电气上的连接,当发生感应雷时,在钢筋上产生强大的感应电势和感应电流,在不连续的钢筋间会发生放电火花,点燃油气,引起爆炸着火事故。因此,这种罐应用 $\phi 8$ 圆钢作成 $8\text{m} \times 8\text{m}$ 的方格网,敷设在油罐顶部并接地,以防感应雷。

(4) 覆土油罐 油罐埋在土壤里,受到土壤的屏蔽作用,当雷电击中罐顶上的土层时,土壤可以将雷电流疏散导入大地。当覆土厚度不小于 0.5m 时,土层就可以对油罐起到保护作用,故可不装设避雷针。国内外有关规范都规定“凡覆土厚度在 0.5m 以上的油罐,都可不考虑防雷措施”。但其呼吸阀、阻火器、量油孔和透光孔等附件,一般都没有覆土层保护,故这些附件应作好电气连接并接地。

2. 可燃油品储罐

这种油罐的气体空间中的油气浓度,一般都达不到爆炸下限。同时,这种油品闪点高,雷电作用的时间短,即使雷电火花进入罐内,也不致点燃油气而发生爆炸着火事故。故储存可燃油品的油罐可不装设避雷针(线)。