

# 基于滚球法下混凝土储罐罐顶接闪网在典型网格划分型式下的可靠性验证

张 浩

(中集安瑞科工程科技有限公司 江苏南京 210048)

**摘 要:** 随着国内石油化工行业产能的日益增长,越来越多的中、大型混凝土储罐成为行业内生产物料存储及转运的重要组成部分。由于储罐内的物料多为大量液化状态下的爆炸性危险气体介质,故对其罐体进行安全可靠且经济合理的防雷设计显得尤为重要。在满足国家及行业内标准规范相关要求的前提下,还应根据其罐顶的特殊性(罐顶为球面)进行罐顶接闪网设置方式的可靠性验证,确保行业内的生产环境安全、稳定。

**关键词:** 滚球法; 混凝土储罐; 防雷; 接闪网; 网格划分

## 引言:

混凝土储罐罐体结构稳固、防物料泄漏的安全指数较高,常用于存放大量常温及低温、常压及高压状态下的液化工艺物料。由于化工工艺物料的特殊性,需在其储罐罐顶、罐壁设置安全可靠的接闪网以防储罐罐体遭受雷击后引起物料爆炸,造成人员伤亡及重大经济损失。现行国家及行业内标准规范并未针对混凝土储罐球面罐顶及圆柱面罐壁的接闪网给出专门的网格划分尺寸作为设计依据,在实际的工程设计中,只能根据储罐的防雷等级参照规范内对于各防雷等级下一般建筑物的防雷要求进行设计。本文针对上述情况,结合标准规范内采用的接闪器的保护范围的方法(滚球法)及多个已建或在建项目的设计经验,给出一种混凝土储罐罐顶接闪网在典型网格划分型式下的可靠性验证方法,罐壁接闪网亦可参照此方法进行验证。

## 1、混凝土储罐罐顶接闪网的典型网格划分型式

由于 LNG 储罐顶部为拱顶,设计为直线网格现场不易施工,而且显得杂乱不美观,但是如果设计成环形网,每一道环形避雷网可保持处于同一标高,这样便于施工而且施工后整洁美观,故罐顶的避雷网建议设计成环形网<sup>[1]</sup>,再结合市面上现有混凝土储罐罐顶接闪网的设置方式,其典型网格划分型式如图 1 所示。

以罐顶中心为圆心 O,以  $L_0$  为间距,沿罐顶均布若干圈环形接闪带,每圈接闪带的环形半径为  $R_n$ 。再以罐顶中心为圆心 O,罐体外壁半径  $R_{罐}$  为长,沿罐顶径向均布若干根直线型接闪带,并与环形接闪带组成若干接闪网格  $W_n$ 。(如图 2 所示)。

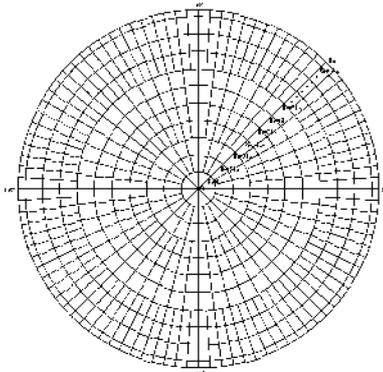


图 1 混凝土储罐罐顶接闪网的典型划分型式

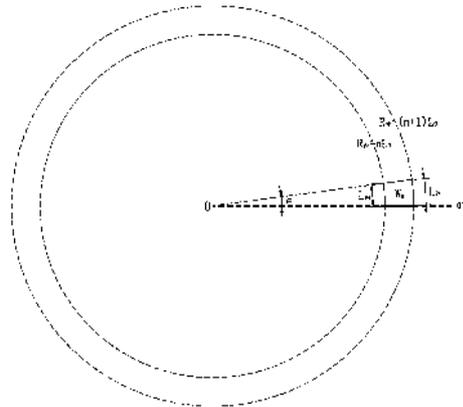


图 2 混凝土储罐罐顶接闪网典型划分型式下的任一接闪网格  $W_n$ 。

参考《建筑物防雷设计规范》GB 50057-2010 对一般建筑物接闪网的划分型式及尺寸要求,尽量使储罐罐顶接闪网的设置方式趋于标准化,从而降低工程设计和施工难度的角度出发,该网格的内弧长  $L_{内}$  及外弧长  $L_{外}$  均不得大于  $L_0$  ( $L_0$  可按照储罐的防雷等级选取 5m 或 10m,类比规范中第一类防雷建筑接闪网网格尺寸不大于 5m × 5m,第二类防雷建筑接闪网网格尺寸不大于 10m × 10m<sup>2</sup> 的要求,对于有费用控制要求的工程项目,亦可对照各防雷等级下滚球半径  $hr$  的取值经过下述验证后调整  $L_0$  的取值),当网格  $W_n$  的内弧长  $L_{内}$  或外弧长  $L_{外}$  大于  $L_0$  时,需从该弧的中点处沿径向增加 1 条直线型接闪网与其外围相应的环形接闪带相连以满足接闪网网格划分的尺寸要求,其中:

$$R_{内} = R_n = nL_0;$$

$$R_{外} = (n+1)L_0;$$

$$L_{内} = \frac{\angle\alpha}{360^\circ} \times 2\pi \times R_{内} = \frac{\angle\alpha}{360^\circ} \times 2\pi \times nL_0 \leq L_0;$$

$$L_{外} = \frac{\angle\alpha}{360^\circ} \times 2\pi \times R_{外} = \frac{\angle\alpha}{360^\circ} \times 2\pi \times (n+1)L_0 \leq L_0;$$

$L_0$  通常取 5 或 10,亦可根据项目需要相应扩大,单位为 m;

$\angle\alpha$  为网格  $W_n$  两条径向直线间的夹角,需满足上述公式要求,单位为  $^\circ$ ;

$n$  取 1, 2, 3.....

## 2、任意接闪网格 $W_n$ 保护范围的最低点

对于任意接闪网格  $W_n$ , 可将其每根接闪杆看做无限个接闪点, 每2个接闪点之间均可按照滚球法计算相应的保护范围, 不难看出, 图3中编号3所处位置即为整个网格  $W_n$  保护范围内的包络面最低点, 该点也是网格  $W_n$  所处罐顶区域的球面最高点。由于弧长  $L < L_{外}$ ,  $L_{内} \leq L$ , 故编号1、2为形成该包络面最低点的接闪点的相应位置。

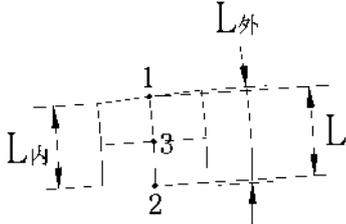


图3 任意接闪网格  $W_n$  保护范围的最低点

### 3、基于滚球法下任意接闪网格 $W_n$ 保护范围与所处罐顶区域的相对关系及验证方法

通过查找相关规范发现, 仅在《建筑物防雷设计规范》GB 50057-2010中给出了针对接闪杆保护范围的计算方法, 但由于储罐罐顶的特殊性(球面)且罐体高度很可能超过各防雷等级下滚球半径  $h_r$ , 故无法直接参考规范中给出的计算公式(以室外地面为基准面)对接闪网格  $W_n$  的保护范围进行计算, 必须将上述问题转化, 变成可利用规范中的计算方法解决的问题。

滚球法的核心思想, 是当接闪杆高度  $h \leq$  滚球半径  $h_r$  时, 滚球体与接闪杆杆尖(即接闪点)相交并与地面相切后三者之间围成的锥体即为接闪杆的保护范围。由于储罐半径  $R_{罐}$  远大于接闪点距离罐顶的高度  $h$ (即接闪带的支架高度), 且以半径为  $h_r$  的滚球体在与接闪点相交时满足与罐顶的球面相切于罐顶, 故可以将罐顶所在球面替代规范中的“地面”作为接闪点保护范围的基准面。基于此思想, 可以得到图3中任意接闪网格  $W_n$  接闪点1的保护范围(图4中阴影部分)与所处罐顶区域的相对位置关系。

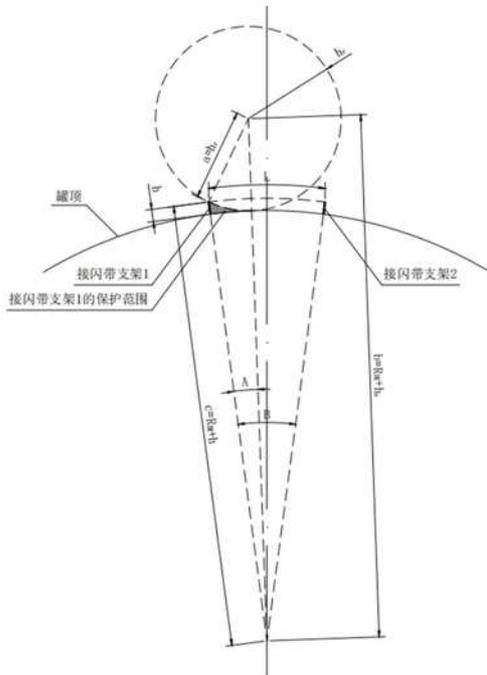


图4 任意接闪网格  $W_n$  保护范围与所处罐顶区域的相对关系

图4中, 将接闪杆支架1和接闪杆支架2分别看做是接闪杆, 其接闪杆顶端对应图3中的接闪点1和接闪点2。不难看出, 每个接闪点的保护范围末端(即滚球体与罐顶球面的切点位置)只要满足与该剖面内弧线L的中点相重合, 接闪网格  $W_n$  所处的罐顶区域即可被覆盖于接闪点1、2形成的联合保护范围下, 其对应的数学验证公式如下:

$$\angle A \geq \frac{\angle B}{2}$$

其中:

$$\angle A = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \times 360^\circ = \frac{\arccos \frac{(R_{罐} + h_r)^2 + (R_{罐} + h)^2 - h_r^2}{2(R_{罐} + h_r)(R_{罐} + h)}}{2\pi} \times 360^\circ \geq 0^\circ$$

$$\angle B = \frac{L}{2\pi \times R_{罐}} \times 360^\circ = \frac{1}{2} \frac{(L_{内} + L_{外})}{2\pi \times R_{罐}} \times 360^\circ = \angle \alpha \times \frac{(2n+1)L_0}{2R_{罐}}$$

$R_{罐}$  为储罐罐顶球面半径, 单位为 m;  
 $h$  为接闪带支架高度,  $\geq 0.15$ , 单位为 m;  
 $n$  取 1, 2, 3, ...

在确定混凝土储罐防雷等级后, 对照罐顶接闪网的典型网格划分型式下给出的设计公式, 得出需要进行接闪点保护范围验证的接闪网格  $W_n$  的参数  $\angle \alpha$  及  $n$  值, 即可带入上述验证公式进行验证。

值得注意的是, 接闪网格的保护范围无需逐一验证, 仅需对  $L_{内} + L_{外}$  取值最大的网格进行验证即可, 如满足要求, 则其余网格内的罐顶区域亦可被有效保护; 如不满足要求, 则需要缩小网格划分的尺寸, 直到满足要求为止; 对于有费用控制的工程, 在满足上述验证的前提下, 亦可根据需要适当扩大网格划分的尺寸从而减少防雷材料的投入。

### 结语

中、大型混凝土储罐在行业内的运用越来越多, 储罐容积越大, 储罐的防雷措施在储罐设计、建设及后期投运中成为了至关重要的一环。如何使储罐的防雷设计变得更加标准化、施工安装的可行性变得更加简易化、防雷措施的费用投入变得更加经济化, 同时让防雷效果变得更加安全可靠, 仍需要我们在实际工程中的不断探索及总结。

### 参考文献:

- [1]金剑,秦丕伟,黄洲.LNG 储罐防雷设计要点解析[J].石化技术,2019(2):15-16.
- [2]中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50057-2010 建筑物防雷设计规范[S].北京:中国计划出版社,2011.