

# 沼气工程防雷设计探讨

卢新社<sup>1</sup>, 刘耕<sup>2</sup>, 袁建永<sup>1</sup>, 张林灿<sup>1</sup>, 陈焕军<sup>1</sup>, 史晓光<sup>1</sup>

(1. 河南省漯河市临颍县农林局, 河南 临颍 462600; 2. 河南省农村能源环境保护总站, 河南 石家庄 450002)

**摘要:** 沼气是清洁的可再生能源, 但沼气又是易燃易爆的危险性气体。近年来, 沼气的用途不断扩展且规模不断扩大, 为使沼气工程的设计及安全运行得到加强, 文章根据石油化工业、民用建筑行业、沼气行业相关规范标准以及笔者工程实践经验针对性地对沼气工程主要建构筑物爆炸和火灾危险环境进行了区域划分及范围界定, 以此为前提对沼气工程相关设施及主要建构筑物的防雷类别进行了分类, 确定了合适的防雷类型及适宜的防雷措施, 并对沼气工程在进行防雷设计时需要注意的问题进行了探讨, 确保工程各建筑物、相关电气设备和电子系统的安全运行、获取更大潜在效益, 以期对沼气工程的施工设计及建设运行提供有益借鉴, 推动我国沼气工程整体防雷理论体系的研究。

**关键词:** 沼气; 沼气工程爆炸和火灾危险环境区域; 防雷分类; 建筑物防雷设计

中图分类号: S216.4 文献标志码: B 文章编号: 1000-1166(2018)01-0094-05

通过沼气工程的建设运营, 不但可以处理工业、农业以及养殖业等各种有机废弃物, 而且可以产生沼气、沼渣和沼液。沼气可以做饭、照明、发电、车用燃料、工业原料用等, 而且沼渣和沼液是非常好的优质农作物肥料。因此, 近年来, 特别是在农业以及养殖业方面, 为贯彻落实中央关于建设生态文明、做好“三农”工作的总体部署, 适应农业生产方式、农村居住方式、农民用能方式的变化对农村沼气发展的新要求, 积极发展规模化大型沼气工程, 并开展规模化生物天然气工程, 以推动农村沼气工程向规模发展、综合利用、科学管理、效益拉动的方向转型升级, 全面发挥农村沼气工程在提供可再生清洁能源、防治农业面源污染和大气污染、改善农村人居环境、发展现代生态农业、提高农民生活水平等方面的重要作用。因此, 沼气工程建设已步入了快速发展的轨道。为适应新的形势和机遇, 保障沼气工程的运行安全, 本文对沼气工程整体的防雷设计进行了系统梳理, 以期提高我国沼气工程防雷击设计方面的整体水平。

## 1 沼气的特性

沼气中的主要成分是甲烷( $\text{CH}_4$ )、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )和少量的硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )、氢( $\text{H}_2$ )、一氧化碳( $\text{CO}$ )、氮( $\text{N}_2$ )等气体。其中甲烷占50%~70%, 二氧化碳占30%~40%, 其他成分含量极少。

甲烷是无色、无臭的气体, 分子式 $\text{CH}_4$ , 分子量

为16.04, 在 $0^\circ\text{C}$  101325 Pa标准状态下, 甲烷对空气的相对密度为0.5548, 沼气约为0.94; 甲烷的热值为 $35.9 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ , 沼气低热值 $20.25 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

由表1可以看出, 甲烷(沼气)是一种易燃、易爆、易扩散的甲类可燃气体, 遇热源、明火或雷电极易发生爆炸, 产生严重的后果, 所以必须在设计及施工阶段予以重视。笔者主要对沼气工程的防雷设计及注意事项进行探讨。

## 2 沼气工程防雷设计依据

沼气工程防雷设计依据以下标准:

《石油化工企业设计防火规范》(GB50160-2008); 《石油天然气工程设计防火规范》(GB50183-2004); 《石油库设计规范》(GB50074); 《石油与石油设施雷电安全规范》(GB15599-2009); 《建筑物防雷设计规范》(GB50057-2010); 《建筑物防雷工程施工与质量验收规范》(GB50601-2010); 《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB50058-2014); 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB50343-2012); 《建筑物电气装置 第5-53部分 第534节》(GB16895.22-2004); 《低压配电系统的电涌保护器(SPD) 第12部分》(GB/T18802.12-2006); 《低压电涌保护器 第22部分: 电信和信号网络的电涌保护器(SPD) 选择和使用导则》(GB/T18802.22); 《建筑物防雷装置检测技术规范》(GB/T21431-2015); 《民用建

收稿日期: 2017-11-23

作者简介: 卢新社(1965-), 男, 河南漯河人, 学士学位, 主要从事新能源及农业生物环境工程方面的建设及运营等工作, E-mail: luxin2006@163.com

表1 沼气特性表

|                         |                    |                      |
|-------------------------|--------------------|----------------------|
| 标识                      | 中文名: 甲烷; 沼气        | 分子式: CH <sub>4</sub> |
| 燃烧爆炸危险性                 | 燃烧性: 易燃            | 燃烧分解产物: 一氧化碳、二氧化碳    |
| 爆炸极限( 体积比 / % ): 5 ~ 15 | 火灾危险性: 甲类          | 爆炸性气体分级分组:    A 级 T1 |
|                         | 最大实验安全间隙 MESG / mm | 0.9 < MESG < 1.4     |
|                         | 最小点燃电流比 MICR       | 0.8 < MICR < 1.0     |
|                         | 引燃温度 t / °C        | > 450                |

筑电气设计规范》( JGJ16-2008); 《建筑设计防火规范》( GB50016-2014); 《电力工程电缆设计规范》( GB50217-2007); 《供 配 电 系 统 设 计 规 范》( GB50052-2009) 。

### 3 工程主要建构筑物爆炸和火灾危险环境区域及范围划分

沼气工程的主要构筑物有原料( 秸秆) 堆场、原

料( 秸秆) 粉碎间、进料间、厌氧消化器、脱硫装置、脱碳装置、沼气净化间、气柜、放散火炬、锅炉房、发电机房、压缩机房、控制室、高低压配电室、固液分离车间、有机肥车间、有机肥库房、维修间、办公楼等, 按照《爆炸危险环境电力装置设计规范》( GB 50058-2014) 以及上面相关规范, 各主要构筑物爆炸性危险区域及危险区域范围划分如表2。

表2 主要构筑物爆炸性危险区域及危险区域范围划分表

| 建筑物名称                         | 爆炸危险区域划分         | 爆炸危险区域范围划分                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 放散火炬                          | 1 区              | 火炬设备内部为 0 区, 外部 7.5 米半径内以及火炬口上面 7.5 米至地面整个区域为 1 区。                                                                                                                                        |
| 秸秆粉碎间                         | 20 区或 21 区或 22 区 | 如果有实体墙的粉碎间, 粉碎机内部为 20 区、粉碎机外部至实体墙外壁为 21 区; 如果是空旷的场所, 也就是说粉碎机周围没有实体墙, 粉碎机内部为 20 区、粉碎机出口外沿 1 米范围内为 21 区、外沿 3 米范围内为 22 区。                                                                    |
| 秸秆堆放场                         | 21 区或 22 区       | 秸秆堆料或出料的区域为 21 区( 这个区域可能会不断地移动), 其余可以划分为 22 区( 到场地边沿) 。                                                                                                                                   |
| 沼气储柜                          | 1 区或 2 区         | 沼气储柜内部为 0 区, 沼气储柜外壁以外 7.5 米( 不低于 4.5 米) 为 1 区; 如果沼气储柜在室外环境中, 可认为通风良好, 降低为 2 区也可以, 但气柜安全放散阀处 1.5 米范围内必须认定为 1 区。                                                                            |
| 厌氧消化器                         | 2 区              | 厌氧消化器内部气室部分为 0 区, 外部气室部分周围 7.5 米( 不低于 4.5 米) 以及厌氧消化。                                                                                                                                      |
| 厌氧消化器( 带气膜)                   | 2 区              | 器顶部以上 7.5 米处范围内属于 2 区( 由于气量较少且通风良好), 但消化器放散阀处 1.5 米范围内必须认定为 1 区。                                                                                                                          |
| 脱硫装置                          | 2 区              | 脱硫装置内部为 0 区, 外壁周围 7.5 米( 不低于 4.5 米) 以及装置顶部以上 7.5 米处范围内属于 2 区( 由于气量较少且通风良好), 但装置放散阀处 1.5 米范围内必须认定为 1 区( 对于室外生物脱硫装置而言) 。                                                                    |
| 脱碳装置                          | 2 区              | 脱碳装置内部为 0 区, 外壁周围 7.5 米以及装置顶部以上 7.5 米处范围内属于 2 区( 由于气量较少且通风良好), 但装置放散阀处 1.5 米范围内必须认定为 1 区。脱碳装置罐体较多, 必须逐一认定划分。                                                                              |
| 沼气净化间                         | 2 区              | 一般为脱硫脱水的车间, 可以把整个净化间认定为 2 区, 但必须具备通风良好的相关条件。                                                                                                                                              |
| 锅炉房                           | 2 区              | 由于锅炉是负压运行, 可燃物质不能扩散至设备附近与空气形成爆炸性混合物。因此, 锅炉房可以认定为 2 区。但燃气锅炉房应选用防爆型事故排风机; 正常通风量按换气次数不少于 6 次/h 确定, 事故通风量按换气次数不少于 12 次/h 确定。与锅炉设备相连接的管线上的阀门等可能有可燃性物质存在处按照独立的释放源考虑危险区域, 并可根据通风良好的场所适当降低危险区域等级。 |
| 发电机( 压缩机) 房                   | 2 区              | 可以把整个机房以及车间顶部天窗周边外边沿 4.5 米处及上部( 含外沿) 7.5 米以下认定为 2 区( 如果车间没有天窗, 可以把车间周围外 4.5 米范围内区域)。与车间设备相连接的管线上的阀门等可能有可燃性物质存在处按照独立的释放源考虑危险区域, 并可根据通风良好的场所适当降低危险区域等级。                                     |
| 进料间                           | 21 区或 22 区       | 卸料口附近为 21 区, 车间其余部分为 22 区。                                                                                                                                                                |
| 维修间、固液分离车间、有机肥车间、有机肥库房、高低压配电房 | 非爆炸危险区域          | 非爆炸危险区域范围根据各构筑物实际情况确定。                                                                                                                                                                    |

4 工程主要构筑物的防雷分类及依据

根据《建筑物防雷设计规范》( GB 50057-2010)、《民用建筑电气设计规范》( JGJ16-2008)、

《石油与石油设施雷电安全规范》GB15599-2009 以及笔者多年的实际工程建设经验,沼气工程主要构筑物的防雷分类及依据见表 3。

表 3 主要构筑物的防雷分类及依据

| 类 别      | 建筑物名称                                 | 危险区域划分           | 防雷分类依据                                                                                     |
|----------|---------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第一类防雷建筑物 | 放散火炬                                  | 1 区              | 《建筑物防雷设计规范》( GB50057-2010) 3.0.2 条中第 2 和 3 条。                                              |
|          | 秸秆粉碎间                                 | 20 区或 21 区或 22 区 |                                                                                            |
|          | 秸秆堆放场                                 | 21 区或 22 区       |                                                                                            |
|          | 沼气储柜                                  | 1 区或 2 区         |                                                                                            |
| 第二类防雷建筑物 | 厌氧消化器                                 | 2 区              | 《建筑物防雷设计规范》( GB50057-2010) 3.0.3 条中第 6 和 7 条。                                              |
|          | 厌氧消化器( 带气模)                           | 2 区              |                                                                                            |
|          | 脱硫装置                                  | 2 区              |                                                                                            |
|          | 脱碳装置                                  | 2 区              |                                                                                            |
|          | 沼气净化间                                 | 2 区              |                                                                                            |
|          | 锅炉房                                   | 2 区              |                                                                                            |
|          | 发电机( 压缩机) 房                           | 2 区              |                                                                                            |
|          | 进料间                                   | 21 区或 22 区       |                                                                                            |
| 第三类防雷建筑物 | 办公楼、控制室、维修间、固液分离车间、有机肥车间、有机肥库房、高低压配电房 | 非爆炸危险区域          | 《建筑物防雷设计规范》( GB50057-2010) 3.0.4 条中第 3 和 4 条 《民用建筑电气设计规范》( JGJ16-2008) 11.2.4 条中第 5、6、8 条。 |

5 工程防雷设计主要问题

沼气工程各类防雷建筑物均应设防直击雷的外部防雷装置,并应采取防闪电电涌侵入和雷电电磁感应( 第三类除外) 的措施,具体在设计时还应注意以下几个方面的问题:

5.1 接闪器问题

在一般情况下,除去 1 类雷建筑物( 秸秆堆放场和膜式沼气气柜) 需要采用独立避雷针、独立接地保护外,其余类别建筑物的接闪器均可采用避雷带、网带保护。保护范围的计算分别可按一、二、三类防雷建筑物的滚球半径( 30 m、45 m、60 m) 计算。建筑物顶部和外墙上的接闪器必须与建筑物栏杆、金属房顶、吊车梁、管道、设备、门窗、幕墙支架等外露的金属物进行电气连接。

5.2 引下线问题

各类防雷建筑物的引下线不应少于两根,并应沿建筑物周围均匀布设,其平均间距不应大于 12 m、18 m 和 25 m;引下线两端应与接闪器和接地装置做可靠的电气连接;引下线安装与易燃材料的墙壁或墙体( 或罐壁) 保温层间距应大于 0.1 m;引下线可利用建筑物的钢梁、钢柱、消防梯、检修梯等金属构件作为自然引下线,金属构件之间应电气贯通。

5.3 接地及接地冲击电阻的问题

尽可能利用建筑物桩基、梁、柱内钢筋做接地装置的自然接地体;在有人常经过或停留的引下线与接地体连接处 3 m 范围内,应采用防止跨步电压对人员造成伤害的措施;接地体与建筑物之间的距离按设计要求,无设计要求时,人工接地体与建筑物外墙或基础之间的水平距离不宜小于 1 m;如果建筑物的防雷接地是独立接地,一般要离开建筑物基础 3 m 以外;接地体的连接应采用焊接,并在焊接处做防腐处理;一、二类防雷建筑物的接地冲击电阻 <10 欧,三类防雷建筑物接地冲击电阻 <30 欧。

5.4 等电位连接问题

对进出建( 构) 筑物的所有金属管线做等电位连接,并在建筑物入户处做总等电位连接;建筑物等电位连接干线与接地装置应有不少于两处的连接;第 1 类防雷建筑物和具有 1 区、2 区、21 区和 22 区爆炸危险场所的第二类防雷建筑物内外的金属管道、构架和电缆金属外皮等长物体的跨接,其净距小于 100 mm 时应采用金属线跨接,跨接点的间距不应大于 30 m,交叉净距小于 100 mm 时,其交叉处也应跨接;当长金属物的弯头、阀门、法兰盘等连接处的过度电阻大于 0.03 欧姆时,连接处应用金属线跨接;室内电子设备的等到电位的连接方式应采用一点式方法接地,而不应互相串联连接接地,以免引起

干扰现象。

### 5.5 屏蔽问题

对于沼气工程一、二类防雷建筑物内的电气和电子系统以及设在办公楼内的控制室内的电子系统需要进行防雷击电磁脉冲的设计。工作频率小于 300 kHz 的模拟线路,可采用星形结构(S 型)等电位连接网络;频率为兆赫(MHz)级的数字线路,应采用网形结构(M 型)等电位连接网络。对于管线的屏蔽,整段管线应金属连接良好,不应有空隙产生漏磁现象,如果距离太长,中间也要接地一次。电子设备的屏蔽应将设备的金属外壳采用一点的接地方式接地,如果体积过大,应有两点接地。接地的线径应大于 6 mm 为宜。同理,电子设备的放置问题,也应离开外墙、梁柱有一定的安全距离。在需要保护的空間内,采用屏蔽电缆时其屏蔽层应至少在两端并宜在防雷区交界处做等电位连接,系统要求只在一端做等电位连接时,应采取两层屏蔽或穿钢管敷设。在分开的建筑物之间的连接线路,若无屏蔽层,线路应敷设在金属管、金属格栅或钢筋成格栅形的混凝土管道内,这些金属物从一端到另一端是导电贯通的,并在两端分别连到建筑物的等电位连接带上;若有屏蔽层,屏蔽层的两端应连到建筑物的等电位连接带上。另外,室内的线缆布置应避开外墙、梁柱等雷电流集中流过的地方,以免对线缆产生大的干扰现象。

### 5.6 综合布线问题

应注意以下几个方面:

(1) 低压配电线路(三相或单相)的单芯线缆不应单独穿于金属管内;

(2) 不同回路、不同电压等级的交流和直流电线不应穿于同一金属管中,同一交流回路的电线应穿于同一金属管内,管内电线不得有接头;

(3) 爆炸危险场所使用的电线(电缆)的额定耐受电压值不应低于 750 V,且必须穿在金属管中;

(4) 当信息技术电缆和供配电电缆同属一个电缆管理系统和同一路由时,电缆布线系统的全部外露可导电部分,均应进行等电位连接;

(5) 由分线箱引出的信息技术电缆和供配电电缆平行敷设的长度大于 35 m 时,从分线箱起的 20 m 内应采取隔离措施,也可保持两电缆之间有大于 30 mm 的间距,或在槽盒中加金属板隔开;

(6) 在条件许可时,宜采用多层走线槽盒,强弱电线路宜分层布设。

### 5.7 电涌保护器问题

随着沼气工程自动化程度的提高,计算机、在线监测仪表、PLC 系统、DCS 系统等电子系统的应用日渐增多,但其耐冲击电压的能力不高,由雷电流产生的强大电磁场变化与导体感应出的过电压、过电流形成的雷击,可能造成厂内电子设备损坏、数据丢失等损失。因此,对于沼气工程的一、二类防雷建筑物内的低压配电系统和电子系统信号网络中应设置电涌保护器(SPD)。如果第一级不能有效的保护设备和网络信号时,应设计二级、三级 SPD;无明确的产品安装指南时,开关型 SPD 与限压型 SPD 之间的线路长度不宜小于 10 m,限压型 SPD 之间的线路长度不宜小于 5 m。当 SPD 之间的线路长度小于 10 m 和 5 m 时应加装退耦的电感(电阻)元件。

### 5.8 供电形式问题

供电的形式最好采用 TN-S 系统。供电线路最好埋地套铁管引入。N 线和 PE 线重复接地引出,电源装电源避雷器。当电源采用 TN 系统时,从建筑物总配电箱起供电给本建筑物内的配电线路和分支线路必须采用 TN-S 系统。

## 6 沼气工程防雷设计的其他注意事项

(1) 当一座建筑物仅有一部分为第一、二、三类防雷建筑物且可能遭直接雷击时,宜按各自类别采取防雷措施以及相应的防雷电感应和防雷电涌侵入的措施。

(2) 当采用接闪器保护建筑物、封闭气罐时,其外表面的 2 区爆炸危险场所可不在滚球法确定的保护范围内。

(3) 秸秆露天堆场,应采用防直击雷措施。当其年计算雷击次数大于或等于 0.05 时,应采用独立避雷针或架空避雷线防直击雷。独立避雷针或架空避雷线保护范围的滚球半径  $h_r$  可取 100 m。在计算雷击次数时,建筑物的高度可按秸秆可能堆放的高度计算,其长度和宽度可按可能堆放面积的长度和宽度计算。

(4) 对于第二、三类防雷建筑物,没有得到接闪器保护的屋顶孤立金属物尺寸,在高出屋顶高度不超出 0.3 m,上层表面总面积不超出  $1.0 \text{ m}^2$  和上层表面的长度不超出 2 m 时,可不要求附加的保护措施;金属屋面的建筑物宜利用其屋面作为接闪器,设计中需注意明确不同金属材料的厚度要求,同时要保证金属板无绝缘被覆层。

(5) 除设计要求外,兼做引下线的承力钢结构构件、混凝土梁、柱内钢筋与钢筋的连接,应采用土建施工的绑扎发或螺丝扣的机械连接,严禁热加工连接。

(6) 工艺装置内露天布置的塔、容器等,当顶板厚度大于或等于 4 mm 时,可不设避雷针、线保护,但必须设防雷接地。如沼气站湿式储气柜和脱碳装置(膜式装置除外),可不装设接闪器(但对于湿式储气柜,应将浮顶与外罐体用两根截面不小于 50 mm<sup>2</sup> 的扁平镀锡软铜复绞线作电气连接,连接点不少于 2 处,间距不大于 30 m) 容器外壳直接接地即可,接地点不少于 2 处,两接地点间距不大于 30 m;但对于厌氧反应器和生物脱硫装置等露天布置的容器,由于容器外壁装有保温板等外壳,需要将容器顶部的防护护栏作为接闪器,再用不低于 2 处引线与人接地体相连。人工接地体距离罐体基础不低于 3 m,人工接地体与罐体地基基础钢筋再连接在一起,冲击接地电阻不大于 10Ω。

## 7 结论

(1) 沼气是易燃易爆的危险性气体,在沼气工程设计时应正确理解和研究防雷相关规范,对沼气工程相关设施的爆炸危险性进行分区,是确定建筑物和相关设施防雷分类的基础。

(2) 确定合适的防雷类型及适宜的防雷措施,才能保证建筑物和相关电气设备和电子系统的安全运行。

(3) 设计防雷工程要对工程所在地自然情况进行详细的分析,并与当地相关部门结合,然后针对沼气工程的特点采取针对性方案,尽可能做到切合实际、降低成本,力求做到经济、合理、完善、可靠,获取更大潜在效益。

总的来说,多年来尽管国内对沼气工程相关工艺、设备、安全运行等技术进行了大量研究和报道,并取得了不少的成果,但对沼气工程整体防雷系统的设计探讨较少,目前国内在这方面的研究尚存在欠缺。随着越来越多特大型沼气工程的建设和运行,以及众多学者不断投身于沼气工程防雷技术的研究,将会使得沼气工程防雷理论体系更加完善、防雷措施不断趋于成熟、安全运行必将会切实得到保障,以推动沼气工程这一清洁能源的快速发展。

## 参考文献:

- [1] GB50160-2008 石油化工企业设计防火规范[S].
- [2] GB50183-2004 石油天然气工程设计防火规范[S].
- [3] GB15599-2009 石油与石油设施雷电安全规范[S].
- [4] GB50074 石油库设计规范[S].
- [5] GB50057-2010 建筑物防雷设计规范[S].
- [6] GB50601-2010 建筑物防雷工程施工与质量验收规范[S].
- [7] GB50058-2014 爆炸危险环境电力装置设计规范[S].
- [8] GB50343-2012 建筑物电子信息系统防雷技术规范[S].
- [9] GB16895.22-2004 建筑物电气装置 第 5-53 部分 第 534 节[S].
- [10] GB/T18802.12-2006 低压配电系统的电涌保护器(SPD) 第 12 部分[S].
- [11] GB/T18802.22 低压电涌保护器 第 22 部分:电信和信号网络的电涌保护器(SPD) 选择和使用导则[S].
- [12] GB/T21431-2015 建筑物防雷装置检测技术规范[S].
- [13] JGJ16-2008 民用建筑电气设计规范[S].
- [14] GB50016-2014 建筑设计防火规范[S].
- [15] GB50217-2007 电力工程电缆设计规范[S].
- [16] GB50052-2009 供配电系统设计规范[S].