

排水工程中气体防爆设计的探讨

王 萍

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要:排水工程中的有机物质在厌氧环境下可能产生甲烷(CH_4)、硫化氢(H_2S)等气体。甲烷(CH_4)、硫化氢(H_2S)均为可燃气体,在特定条件下有爆炸危险。围绕排水工程中气体防爆设计,通过对易燃易爆物质确定、第一次预防措施、释放源确定、危险区域划分、排水工程中常见的气体爆炸性环境、排水工程中部分场所气体防爆措施的探讨等论述,提出气体防爆设计的相关技术要点和建议。防爆技术措施应既合规、安全,又经济合理。

关键词:排水工程;可燃气体;防爆设计

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)09-0139-04

0 引 言

排水工程包含污水和雨水工程,对雨污水进行收集、输送、处理、再生或处置。排水工程中厌氧环境很多,雨污水中富含有机物质,这些有机物质在厌氧环境下会分解,分解后的产物里含有硫化氢(H_2S)、甲烷(CH_4)等气体。污泥在厌氧消化时有机物分解会产生污泥气,也称作沼气。污泥气中含量最多的是甲烷(CH_4),其次是二氧化碳,并有少量的硫化氢(H_2S)等。硫化氢(H_2S)、甲烷(CH_4)均为可燃气体,在特定条件下有爆炸危险。2020年7月11日晚,辽宁省阜新市氟产业开发区污水处理厂水解酸化车间发生爆炸^[1],就是可燃气体所致。

排水工程要做好气体防爆设计,首先需要了解有关爆炸的基本概念。气体爆炸的基本条件包括:(1)必须有易燃气体(或蒸气)存在。(2)气体(或蒸气)与空气或氧气混合,浓度在燃烧下限和上限范围内,产生易燃或可引燃混合物。(3)混合物必须被引燃。上述简称“爆炸三要素”。做好防爆设计,就是采取适当的技术措施,让爆炸三要素不同时成立,从而避免爆炸的发生,并且技术措施应力求既合规、安全,又经济合理。

排水工程中的气体防爆设计一般按如下步骤进行:易燃易爆物质确定、第一次预防措施、释放源确定、危险区域划分、爆炸性环境的设计。

1 易燃易爆物质确定

作为设计人员,首先需要了解工程中相关气体的物质特性,是否有易燃易爆气体(或蒸气)存在。气体的物质特性可以参照国标 GB/T 3836.11—2017^[2],该标准给出了气体(或蒸气)的分类原则、分类方法、试验方法,同时给出了常见可燃性气体(或蒸气)的物质特性参数。表1为排水工程中部分常见易燃气体的特征参数,供设计人员参考。

2 第一次预防措施

当确定工程中具有易燃易爆气体存在时,首先应该采取“第一次预防措施”。“第一次预防措施”指优化工艺流程及布置,或采取通风措施,最大限度地避免、减少、限制爆炸三要素同时出现。

2.1 工艺流程及布置方面的措施

(1)在工艺流程比选时,宜选用压力较低和温度较低的方案。

(2)宜用密闭的容器限制可燃物质。

(3)在进行工艺布置时,充分考虑把爆炸危险区域的范围限制到最小;用厂房或界区分隔不同等级的爆炸危险区域或危险区与非危险区。

(4)以氮气或其他惰性气体覆盖设备。

(5)宜采取安全连锁。例如在可燃气体容易积聚的地点,应设置在线气体测量仪器,当气体(或蒸气)浓度接近预设值(一般不超过燃烧下限值的50%),应该能够确保发出报警和联动信号或可靠地切断电源。

收稿日期:2022-03-05

作者简介:王萍(1972—),女,本科,高级工程师,从事市政行业电气自控设计工作。

表 1 排水工程中常见易燃气体的特征参数

名称	相对密度 (空气=1)	闪点 /℃	燃烧下限 (体积分数) /%	燃烧上限 (体积分数) /%	燃烧下限 /(g·m ⁻³)	燃烧上限 /(g·m ⁻³)	自燃温度 /℃	最易点燃 混合物 (体积分数)/%	最大试验 安全间隙 /mm	最小点燃 电流比	温度 组别	设备 类别
甲烷	0.55		4.4	17.0	29	113	600		1.12	1.00	T1	Ⅱ A
硫化氢	1.19		4.0	45.5	57	650	260		0.83		T3	Ⅱ B
氨	0.59		15	33.6	107	240	630	24.5	3.18	6.85	T1	Ⅱ A
甲醇	1.11	9	6	50	73	665	440	11	0.92	0.82	T2	Ⅱ A
乙醇	1.59	12	3.1	27.7	59	532	400	6.5	0.89	0.88	T4	Ⅱ B
2 号柴油		52~96	0.6	6.5			254~285				T3	
水煤气											T1	Ⅱ C

(6)聚合反应时,在有可能发生事故时采取加入阻聚剂等化学药品的方法,防止爆聚现象。

2.2 通风措施

(1)直接露天布置工艺装置,或采取开敞式方式布置。

(2)设置机械通风装置。

(3)向爆炸危险环境内部分室内场所(例如控制室)通风维持正压,防止可燃气体进入,形成正压室。注意维持正压的通风口要在安全场所取风。

3 释放源确定

在采取了“第一次预防措施”之后,需要检视和确定释放源。如果工程虽然涉及可燃气体,但是不存在释放源,就无须划分爆炸危险区域。例如远离阀门的沼气输送主干管部分,虽然输送的是可燃气体,但是管道密封没有释放源,无须划分爆炸危险区域。

如果检视下来存在释放源,就一定要判定释放源的级别。释放源的级别根据可燃气体(或蒸气)释放的频数和持续释放的时间长短来进行分类,一般分成 3 种:级别最危险的是连续级释放源,其次是一级释放源,再次是二级释放源。

4 危险区域划分

气体爆炸危险区域的分区(Zone)有 0 级、1 级、2 级。但凡存在释放源的工程,都要进行爆炸危险区域划分。危险区域的范围需要从释放源的危险级别、危险源的释放速率、该区域的通风情况和安全连锁措施等方面考虑。

在工程设计时,一般应绘制爆炸危险区域划分图,用不同的图例标识出各级危险区域的平面范围和立面范围。这是做好防爆设计的关键步骤。然而,在区域划分时经常有一些误区。

误区一:爆炸危险区域划分只是电气专业的事。由于没有排水行业防爆设计标准,目前设计人员参

阅的主要是《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)^[3](以下简称“GB 50058”),有些设计人员只看标准名称,就以为防爆只是电气专业的事,与其他专业无关。实际上防爆设计是个系统工程,与每一个专业都有关系,在确定爆炸危险区域时,应该召开各专业的评审会议,细致讨论,有时门窗稍作调整,就可以大幅减少危险区域。

误区二:爆炸危险区域电气装置要采用防爆型,其他机械设备没关系。实际上,很多机械装置在运转过程中也会产生点燃能量,需要采用符合危险场所要求的防爆设备。

误区三:有了爆炸危险区域划分图,在非划分区域焊接、吸烟、明火都是安全的。虽然 GB 50058 对场所分类的目的在于电气装置的选择、设计和安装,非危险区域可以使用非防爆结构的电气装置,但是不能以爆炸危险区域范围作为能不能使用明火(或其他火源)的依据。因为其他火源与电气设备还是有区别的。在爆炸危险区域范围内及其周边都应该制定并严格执行动火管理制度。

划分危险区域之后,工程设计需要采取对应的安全措施,且安全措施必须与危险区域的等级相适应。

5 排水工程中常见的气体爆炸性环境

排水工程中常见的气体爆炸危险区域主要有下列场所。

(1)可能泄漏污泥气的场所,如污泥气贮罐、污泥气压缩机房、污泥气阀门控制间、污泥气管道层等(参见 GB 50014—2021^[4]第 8.3.18 条),污泥消化池、沼气柜、沼气过滤间、沼气火炬(参见 CJJ/T 120—2018^[5]第 3.2.3 条文说明)。

(2)甲醇储罐及投加设备间(参见 CJJ/T 120—2018 第 3.2.1 条文说明)。

当然,标准中列出的仅是典型场所,具体工程还应根据实际情况予以判定。

另外,按照规范要求,污水处理厂内的制氧站、氨库、高浓度二氧化氯制备场所也应参照爆炸危险区域要求进行设计(参见CJJ/T 120—2018第3.2.3条文说明)。

6 关于排水工程中部分场所气体防爆措施的探讨

雨水调蓄工程在防洪排涝中起着重要作用,很多雨水调蓄设施与绿地、广场等空间结合,暴雨积水期间起到调蓄作用,其余时间作为景观休闲场所。目前很多城市都在大规模地建设雨水调蓄工程,提高城市防洪防涝系统的韧性。雨水在密闭空间中储存一定时间后,在厌氧环境下也会生成硫化氢(H_2S)、甲烷(CH_4)等可燃气体。那调蓄池的气体防爆设计该如何考虑呢?

《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017)^[6](以下简称“GB 51174”)第4.4.22条规定:“调蓄池可能出现可燃气体的区域,应采取防爆措施。”请注意,这里的用词是“可燃气体”,而非“爆炸性气体混合物”。甲烷、硫化氢都是可燃气体,按条文的字面意思,只要是可能出现甲烷、硫化氢的区域,都应采取防爆措施。GB 50058要求可能存在爆炸性气体混合物区域时,应开展电气防爆设计。如果把GB 51174中提到的“防爆措施”理解为GB 50058中规定的电气防爆设计要求,那GB 51174的要求比其他规范高多了。

但是“防爆措施”这一词语在各规范的术语解释中均不曾涉及,也就是规范中并没有明确定义,因而设计人员也见仁见智。GB 51174第4.4.22条的条文解释提到了防爆措施的具体做法。“(3)调蓄池的透气井设置在工作区域内,工作区域设置防火标志,以避免明火接触池内产生的可燃气体,造成爆炸。”强调运行管理措施,避免明火。“(2)防止爆炸性气体混合物的形成或减小爆炸性气体混合物的浓度和滞留时间。如采用可靠有效的机械通风装置,确保爆炸性气体混合物的浓度在爆炸下限值以下。”强调“第一次预防措施”,采取安全连锁措施,将气体浓度控制在爆炸下限之内。这两个措施都比较好理解。“(1)采取电气防爆和其他措施,确保爆炸性气体混合物的区域内不产生或出现足以点燃可燃气体混合物的火花、电弧或高温。”设计人员对这条说明的解读分歧比较大。部分设计人员认为根据这条规范,调蓄池内可能出现可燃气体的区域就应进行爆炸性气体环境的电

力装置设计。当然,这个要求明显高于GB 50058,而且实际工程中部分电动的工艺机械设备市面上较难采购到相应防爆结构的产品,设计了工程施工也比较麻烦。

笔者经历了多个调蓄池的设计、施工、调试,对调蓄池的运维也进行了较长时间的跟踪,总结下来我们对GB 51174第4.4.22条的解读不能只是简单看字面意思,而是应该贴合工程实际,既重视工程合规性,满足安全要求,又要考量工程建设和运维的经济合理性。当工程采取了条文说明中(2)建议的“第一次预防措施”之后,已经确保了调蓄池可燃气体浓度控制在爆炸下限之内。空气中的可燃气体(或蒸汽)的浓度低于爆炸下限,则气体环境就不会产生爆炸。也就是说,当采取了“第一次预防措施”之后,调蓄池不存在条文说明中(1)所说的爆炸性气体混合物的区域,因而无须进行爆炸性气体环境的电力装置设计,从合规性角度看,已经满足了GB 51174的要求。

例如,某工程调蓄池配置了甲烷、硫化氢、氨气气体测定仪。报警值一般按2级或3级设置,分别为预报、警报、高报。甲烷气体测定仪预报值为10%LEL,预报联动开启通风风机,值班人员应及时到现场巡检确认;警报值可为25%LEL,警报值班人员应采取应急安全处理措施。采取应急安全处理措施后,如果甲烷气体浓度继续上升至高报值50%LEL时,则联动强切除风机及照明之外所有用电设备的电源。硫化氢和氨气均为有毒可燃气体,爆炸性有毒气体的报警值一般以毒性的要求设定^[7]。GBZ 2.1^[8]所规定的硫化氢(H_2S)MAC为 10 mg/m^3 (最高容许浓度,约等于 6.6×10^6)。硫化氢预报值可为MAC的1/2,联动开启通风风机,值班人员应及时到现场巡检确认;警报值可为MAC,值班人员应采取应急安全处理措施。硫化氢气体LEL(爆炸下限)系4%(也有规范为4.3%,这里取保守值),即 $40\,000 \times 10^6$,远远高于MAC,说明以毒性的要求设定是合理的。GBZ 2.1所规定氨的PC-STEL(短时间接触容许浓度)为 30 mg/m^3 ,约 39.529×10^6 ,远远低于爆炸下限(LEL)15%。氨的预报值可为PC-STEL的1/2,联动开启通风风机,值班人员应及时到现场巡检确认。可采用PC-STEL作为警报值,值班人员应采取应急安全处理措施。在采取上述“第一次预防措施”之后,确保了调蓄池可燃气体浓度控制在爆炸下限之内,该调蓄池不进行爆炸危险区域划分。同时为了提高安全保

障,甲烷、硫化氢、氨气气体测定仪均采用了冗余配置,并且气体测定仪的供电负荷等级按照一级负荷中特别重要的负荷,采用 UPS 供电。考虑到风机和照明在事故状态下也需要继续工作,该调蓄池的风机、灯具均采用隔爆型,风机配电装置和照明配电装置均按爆炸危险区域进行电气设计。需要说明的是,这里风机、照明的防爆设计属于设计人员人为提高设计标准,用较少的费用进一步提高安全系数,并非基于爆炸危险区域的划分。

7 结 语

排水工程中气体防爆设计非常重要,把它做好是工程建设和运行安全的前提。但是也不能一看到可燃气体,就不分青红皂白,按照最严格的防爆措施

来设计,这样既造成工程浪费,又给运行维护增加额外负担。工程设计是个系统工程,设计人员需要针对具体情况进行分析判断,力求设计合规、安全、经济合理。

参考文献:

- [1] 邓玥,周亚楠,阜新污水处理厂为何会爆炸[N],中国环境报,2020-07-14(8).
- [2] GB/T 3836.11—2017,爆炸性环境 第 11 部分:气体和蒸气物质特性分类试验方法和数据[S].
- [3] GB 50058—2014,爆炸危险环境电力装置设计规范[S].
- [4] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].
- [5] CJJ/T 120—2018,城镇排水系统电气与自动化工程技术标准[S].
- [6] GB 51174—2017,城镇雨水调蓄工程技术规范[S].
- [7] GBZ/T 223—2009,工作场所有毒气体检测报警装置设置规范[S].
- [8] GBZ 2.1—2019,工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分:化学有害因素[S].

~~~~~  
(上接第 138 页)

持相对平衡。从定量分析中也可以得出,河道的纵横向变化都是稳定的。工程河段两岸均已建成完整堤防工程,控制了河势的横向发展,河势更加趋于稳定。

(4)穿堤管道与堤身填土以及管壁与地基土层容易产生接触渗漏危害及堤防的安全。

(5)做好穿河段配水管线地面标志,加强对穿河段河势及管道运行状态的观测,为渭河的防洪安全、

正常管理及配水管道的安全生产提供保证。

(6)在工程建设中涉及第三人合法权益时,提前跟相关单位进行沟通协调。

### 参考文献:

- [1] 高冬光.桥位设计(第二版)[M].北京:人民教育出版社,2011.
- [2] JTG C30—2015,公路工程水文勘测设计规范[S].
- [3] SL 44—2006,水利水电工程设计洪水计算规范[S].