

浅议 CNG 加气站防火防爆设计

程新发（煤炭工业合肥设计研究院有限责任公司，安徽 合肥 230001）

摘 要：为提高 CNG 加气站工作安全，预防燃烧、爆炸类事故，本文针对 CNG 加气站使用问题进行分析，阐述了 CNG 加气站常见类型与主要系统结构，分析 CNG 加气站常见事故的诱发原因、事故主要类型，重点探讨了 CNG 加气站优化设计方法，以供同行参考。

关键词：防火防爆设计；CNG 加气站

0 前言

CNG 即压缩天然气，属于加压处理后存储于容器中的气态天然气，压力指标为 10~25MPa。天然气主要成分为甲烷，压缩存储时具有易燃易爆特性，存储危险较高。CNG 加气站的主要职能是对大型 CNG 子站车、天然气汽车供应天然气的场所，为降低加气风险，必须优化该站防火防爆设计。

1 CNG 加气站主要类型和系统结构

CNG 加气站可分为三种类型，分别是常规站、母站、子站。在三类加气站中，母站危险系数显著高于其他类型。母站需要对天然气进行预处理，气源压力与子站具有显著差异。气瓶转运车通常采用 20MPa 额定压力。常规 CNG 加气站设有 7 个主要系统，分别负责净化气体、高压储气、控制加气站设备、售卖天然气、调压计量、压缩天然气与高压管道等^[1]。

2 CNG 加气站安全事故分析

2.1 安全事故诱因

采用数据分析手段回顾分析 CNG 加气站事故。统计结果显示，高压储气、售气系统较易发生事故，天然气压缩系统也为事故高发区域，其他系统事故占比仅为 10%。售气系统事故占比超过 50%。

经过分析认为，售气系统事故高发的主要原因分为三个方面：①电磁阀、安全阀断阀，引起安全事故；②加气枪开关、显示器或者质量流量计功能异常，引起安全事故；③天然气质量问题引起关键部件损伤，进而诱发事故。卡套脱落等因素也可能引起事故^[2]。

针对 100 起安全事故进行统计分析，结果显示，售气系统事故发生率最高，占比为 53%；其次为储气系统事故，占比为 25%；再次为 CNG 压缩系统事故，占比为 12%，差异显著（ $P < 0.05$ ）。见表 1。

表 1 CNG 加气站安全事故位置

序号	系统位置	占比
1	售气系统	53%

2	储气系统	25%
3	CNG 压缩系统	12%
4	车用气瓶	6%
5	高压管道	4%
6	总计	100%

售气系统事故诱因分析显示，电磁阀引起的事故占比较高，为 21%；其次为安全拉断阀引起的事故，占比 12%；再次为显示器故障性事故，占比为 7%，差异显著（ $P < 0.05$ ）。见表 2。

表 2 售气系统事故诱因

序号	事故位置	占比
1	电磁阀	21%
2	安全拉断阀	12%
3	显示器	7%
4	加气枪开关、天然气质量问题	5%
5	关键部件	3%
6	质量流量计	2%
7	卡套脱落	2%
8	其他	1%
9	总计	53%

上述分析数据可知，在防火防爆设计中，应积极优化系统设计，重点完善售气系统，尤其是加强电磁阀、安全拉断阀设计。

2.2 安全事故类型分析

燃烧、爆炸事故危害性较大，造成严重经济损失和威胁人身安全。在此基础上，还应预防天然气泄漏，及时更换老化管件，并且积极预防压缩机冰堵。在燃爆事故中，车用气瓶、加气站气瓶诱发的爆炸事故占比较高，此外为卡套脱落引起爆炸。卡套脱落较易引起压缩机燃烧。此外，燃烧事故共有 8 起，主要由卡套脱落导致压缩机发生燃烧。泄漏事故、储气井管套管套窜动或冲出、压缩机震动报废、高压管气环损坏等也为常见事故。

车用气瓶爆炸风险主要在加气过程中,该类事故一旦发生,直接经济损失、相关损失金额巨大。压缩机、站用气瓶、售气机或者车用气瓶爆炸,压缩机震动冰堵,均会造成经济损失。上述事故的危害性不仅在于造成经济损失,而且严重影响加气站运行安全。

3 CNG 加气站防燃爆设计方法

3.1 加气机优化设计

3.1.1 安全拉断阀设计

优化设计安全拉断阀,针对加气软管管路加设安全阀。安全阀设计时,安全阀分离触发条件为拉力 $<400\text{N}$ 。安全分离后,两端即刻处于密封状态,同时连接两端,保证加气机持续使用。通过此种优化设计,可预防软管开裂、CNG 泄漏,避免燃爆燃料泄漏至存储系统外部^[3]。

3.1.2 预警监测系统

构建智能化监控系统,连接电磁阀,系统动态监测电磁阀运行状态。一旦电磁阀出现泄漏情况,即刻启动应急管理措施。智能监测系统实时检测分析电磁阀运行情况和预测运行趋势。运行状态异常时,可触发警报系统,提醒运维管理人员立即排查系统,及时更换电磁阀部件,优化电磁阀系统。此外,监测系统也实时检测固定开关运行情况、质量流量计使用情况,促进系统稳定运行。

3.1.3 减压阀和截断阀设计

使用减压阀设备进行系统减压,在进气管道中安装气截断阀与自动截断阀,后者遇到事故后将触发自动截断机制,保证加气机运行安全。

3.2 车用气瓶设计

加强 CNG 气瓶进气质量,严格制定进气质量检测指标。CNG 增压压缩后,应根据《车用压缩天然气》规范检测质量与压力,然后输入储气装置。在 CNG 钢瓶选材时,应选择强度、塑性较好的材料,严格检测气瓶材料中氧含量、硫含量与磷含量,保证 CNG 气瓶符合质量要求。在使用期间,定期检测气瓶使用情况,优化气瓶设计^[4]。

3.3 压缩机防护设计

为提高压缩机防护质量,使用防护装置保护压缩机外露部件,避免压缩机损坏或者冰堵。压缩机应行定期检测,检测时间应比其预计使用期限提前。在设计安装压缩机时,应按照防爆设计标准和防雷设计标准进行阀门设计,保证阀门使用安全。根据行业标准设计压缩机电路系统,严格控制现场电气防爆等级,

构建完善保护系统。保证压缩机、驱动机规范接地,构建科学的防雷系统,保证防雷功能良好。采用声光报警设计,合理设定气体压力限值、压缩机润滑油油压。声光报警系统设计中,设有润滑油、排气温度监测传感器,一旦检出温度数据异常,第一时间发出警报,自动启动响应系统。

3.4 防护设计

采用密封性较好的管套和连接部件,预防渗漏。连接部件设计方面,应保证储气井井底风头、管套密封连接,井筒连接部位无渗漏,以及井口装置良好密封。采用耐“氢脆”材料建设储气井,并且对井管外壁使用防腐材料和防腐涂料等。监测地下储气系统尤其是地下水中部件防水、抗腐蚀情况,针对耐腐蚀质量较差的部件及时更换,加强维护,避免地下水长期腐蚀系统造成腐蚀、泄漏,预防爆管事故发生。根据国家标准要求,地下储气井全面检修时间间隔应不低于 6 年,重点进行无损探伤检测。为促进储气系统安全使用,应及时弥补储气井缺陷,积极无损探伤检测,基于科技手段完善储气系统防护水平,预防安全事故^[5]。

3.5 天然气质检系统设计

为保证天然气气质合格,应加强质检系统设计。在质检系统设计中,分子筛应采用耐热性、耐压性良好类型。系统高效检测天然气内硫含量、水含量。在质检系统建设中,应同步构建实时监控,对加气站进行整体监控,做好事前预防、事故预测和及时预警,积极预防安全事故。

4 案例分析

以某 CNG 加气站为例。该 CNG 加气站工艺流程方面,主要是使用 1 台 CNG 槽车,卸气柱运输,然后进入 2 座压缩机组,压缩机组 1 台运行,另一台为备用设备。之后为高低压储气井,存储容量为 6m^3 。之后设有 4 台双枪加气机,最后进入加气汽车。CNG 运输槽车采用自购两头三挂运输槽车,运距平均 50km ,加气站日常销售量为 10000m^3 。设有 1 台卸气柱,卸气柱流量 $3\sim 80\text{kg/min}$,该部分未设置备用机。2 座液压压缩机组,其中一台运行,另一台备用。应用立式安装工艺安装一撬双缸设备,规格 $2\times 37\text{kW}$,双缸二级压缩,两缸为串联设计,应用空气冷却工艺,排气量为 $1500\text{m}^3/\text{h}$ 。储气井水容积共 6m^3 ,高压容积为 2m^3 ,中压容积 4m^3 。采用三线加气机。4 台双枪,其中每台加气机充装量 $1\sim 20\text{kg/min}$,可同时加气。系统工作

时,市场活力影响加气量,加气量波动范围为 8000~15000m³/d,通常为 8000~9000m³/d。

在优化设计中,分析加气站 1 年投运情况,可见运行稳定,但是运行效力较低,安全防护效果较差,为此进行优化设计。分析同类单位设计、建设、生产、运行情况,采用如下设计方案。

首先,优化工艺流程。设计流程优化为:① CNG 槽车;② 1 台卸气柱;③ 1 座压缩机组;④ 地上储气瓶组(6m³);⑤ 4 台加气机(双枪);⑥ 加气汽车。

其次,优化卸气柱设计。针对系统加装配件全套备存,预防故障停车。应用此种设计后,一旦单机出现故障,不会导致系统停车,可确保持续稳定卸气运行。

再次,液压压缩机组设计方面,改为 1 座机组、一撬双机设计,规格设计为 2×37kW。针对设备进行立式安装,采用单缸二级压缩以及两缸并联设计。在该设计中,采用 1 座机组进行一开一备设计。通过更换该压缩机组,有效降低备用机组投资,降低建站成本。

然后,优化储气设施。地下储气位置特殊,日常难以下井维护,必须加强安全设计。地面储气瓶组设计可提高检修便捷度和可操作性。此种设计可显著减少建设成本,此外方面日常检查,有利于系统检测和维修,促进系统使用安全。

最后,改造后进行调试运转。调试运转 CNG 加气站时,应严格遵守工艺要求,预防软故障性燃爆事故,保证设定程序符合工艺要求。三线加气机设计加气程序时,第一步是槽车,第二步是中压储气井,第三部是高压储气井。该程序较易发生过次序颠倒,即转换为槽车、高压储气井、中压储气井的异常顺序,产生事故隐患。上述变化较易频繁启动压缩机,不仅严重消耗电能,而且不易被发现、造成安全事故。应认真排查该类问题,及时解决隐患。通过工艺优化设计,在 CNG 加气中可显著降低耗电量,促进系统运行安全。

5 科学划分风险区域

天然气属于清洁能源,是现代常用能源之一,对环境污染小、应用效率较高,有效减轻能源紧缺压力,应用范围较广。CNG 加气站是常见基础设施,其防火防爆水平直接影响 CNG 使用安全。天然气是汽车驱动燃料之一,也是日常生活常用燃料。为保证能源使用安全,应全面分析 CNG 加气站常见危险因素,针对性改进设计,并且开展全方位安全管理。CNG 加气

站具有易燃、易爆危险性,而且存在高压、低温等不稳定因素,设计建设运行过程中,应根据《安全生产标准化规范》严格管理站场,做好全方位管控。

首先应加强静止设备管理,科学划分防爆区。加气站生产区主要分为三个分区,包括罐区、卸车区、压缩区。因为加气区为气体Ⅱ区爆炸高风险区域,其他区域为正常区域。爆炸危险场所应采用隔爆型电气设备,优化设计用电设备、照明灯等,规格均采用 dⅡ BT4。配备灭火器材以及消防水系统,保证供水时间≥3h。区域设置隔离栏,加强隔离防护。

其次,合理划分防雷区。在区域划分中,罐区、加气罩棚为二类防雷建筑,需要预防直击雷,设计标准应符合《建筑物防雷设计规范》等。储罐等设备要求壁厚超过 4mm。以设备本体作为接闪器,无需专设避雷针,必须保证设备本体电气性能良好、工艺装置连接接地网,预防雷电波入侵。低压电缆敷设方式为埋地敷设,电缆金属外皮与接地装置连接,全部管道进、出建筑物时连接接地装置相连。

6 结论

综上所述,CNG 加气站存在燃爆事故风险,较易造成严重损失。为促进加气站使用安全,应优化 CNG 加气站设计。明确事故原因和高发风险部位,进行针对性设计,重点进行加气机、车用气瓶、压缩机、储气系统、天然气质检系统等区域设计,优化系统设计,有利于提高 CNG 加气站安全性,预防燃烧、爆炸事故。

参考文献:

- [1] 王刚,朱光伟,马连湘,等.基于 Unity3D 的 L-CNG 加气站事故仿真研究[J].工业安全与环保,2023,49(01):20-23.
- [2] 赵君,寇俊辉,胡灿,等.基于机器学习的 CNG 加气站风险预警模型研究[J].工业安全与环保,2022,48(05):15-19+81.
- [3] 张奎,李贻建.工艺流程分解辨识压缩天然气加气站危险有害因素[J].化工管理,2021,No.594(15):128-130.
- [4] 姜春雷,景泳森,庄雨桐,等.液压式 CNG 加气站液压系统油温控制探讨[J].现代制造工程,2020,No.481(10):70-71+90.
- [5] 徐秀芬,李泓霏,王孟德,等.中国天然气加气站建设与发展[J].现代化工,2020,40(03):1-5+10.

作者简介:

程新发(1981-),男,汉族,湖北孝感人,硕士研究生,高级工程师,主要从事燃气工程工作。