

# CNG 加气站设备安全风险评价指标体系<sup>\*</sup>

何太碧<sup>1</sup> 黄海波<sup>1</sup> 朱小华<sup>2</sup> 杨茵<sup>2</sup>

(1.西华大学 2.中国石油西南油气田销售分公司)

何太碧等.CNG 加气站设备安全风险评价指标体系.天然气工业,2007,27(4):118-122.

**摘要** 随着 CNG 汽车加气站网络的逐步形成,加气站设备役龄的增加,加气站安全形势日趋严峻。通过查阅标准文献、咨询专家和实地调查研究,重点对事故站进行统计和分析,采用条件广义方差极小法对定量指标进行遴选,建立 CNG 加气站设备安全风险评价指标体系通用层次模型。经过模型分解,确立加气站各大系统的安全性缺陷项目,从而建立了 CNG 加气站设备安全风险评价指标体系及评价标准。据此为政府职能部门进行 CNG 加气站设备安全性评价时提供决策依据,也可为加气站设备生产制造厂设备改型换代提供科技攻关方向。

**主题词** 压缩天然气 汽车 加气站 设备 安全 风险 指标 评价

加气站设备安全风险评价是一项系统工程,国内目前还没有成熟的评价指标体系及评价标准。鉴于近几年国内外 CNG 加气站连续发生安全事故,国家科技部立项开展 CNG 汽车及加气站安全性研究,为加强 CNG 安全技术攻关提供了条件。

安全第一、性能第二、成本第三,设备选型必须强调更安全、可靠、先进、适用。这也是进行 CNG 加气站设备安全风险评价的基本原则。安全风险评价应从两方面着手。一是对在用设备及“设备、人、环境”的安全性评价,基本任务是准确鉴别在用设备安全方面的薄弱环节和隐患,包括设备局部和整体的安全评价,中心任务是建立设备安全风险评价指标体系;二是采用特定的安全风险评价方法,对加气站特定危害性事件(事故)发生的可能性和后果进行定性或定量的描述。限于篇幅,笔者重点探讨第一个问题。

## 一、指标体系的理论依据和实践来源

### 1. 借鉴国内外相关文献和标准

从理论探讨的角度给出指标体系框架,充实和完善指标,并对国家标准、行业标准及一些先进的企业标准进行系统聚类。如针对净化设备,参照的标准主要有:SY/T 0450-2000 中华人民共和国石油天然气行业标准;GB3836.1-1983,GB18047-2000,GB/11060.1, GB/T17283, GB/T1869.1-2002, eqvI-

SO1010 1-1;1993,ISO10101-3;1993 等;对加气设备,主要有:JJG(沪)42-1999,JJF(沪)41-1999,GB/T 19238-2003,GB/T 19237-2003,GB/T 19236-2003,GB/T 19235-2003,GB/T 18363-2001,GB/T 18603-2001 等。

### 2. 专家咨询

国家及省市燃气汽车专家组、国家及省市燃气(清洁)汽车工程技术研究中心、产品质量监督检验局(所)等,是国家燃气汽车产业发展的政策制定和宏观调控的主要智力支撑,也是进行加气站安全风险评价的骨干力量。广泛征求专家意见可以进一步提炼指标,查漏补缺。对定性评价指标在评价标准上如何进行释疑和释义意义重大。特别是当评价指标确立后,采用层次分析法进行评价时判断矩阵各指标相对权重的设定,专家组意见举足轻重。

### 3. 实地调查研究

指标采集的实践来源确定为 CNG 加气站、CNG 终端用户、设备制造厂、加气站设备有关的监督检测院所。调研时考虑了设备、人、环境三大属性,分五大内容,即工艺流程及设备,设计、建设,经营管理,安全管理,社会环境状况。调查面向全国,重点放在 16 个示范城市。课题组对 299 座典型的无安全事故和曾经发生安全事故站进行了调研,重点抽取母本中 34 座事故站作为样本进行了统计和分析。

按事故的损失及性质,可分为重大事故和一般

<sup>\*</sup> 本文受到国家“863”计划“节能与新能源汽车”(编号:2006AA11A1E3)专项资助。

**作者简介:**何太碧,1970年生,硕士研究生,副教授;现主要从事清洁汽车工程及加气站技术研究。地址:(610039)四川省成都市西华大学交通与汽车工程学院。电话:(028)89829386。E-mail:vechile\_2001@263.net

事故。样本共发生事故 100 起,其中重大事故(爆炸、燃烧、泄漏)10 起,直接经济损失占事故总损失的 80.4%。从设备、人、环境三方面评价加气站安全风险得出:设备是主要因素,占事故总数的 94%;环境构成要素(如出租车气瓶)虽对加气站安全事故发生频率影响不大,但其造成的损失和社会影响却是巨大的(环境引发的安全事故虽只占事故总数的 6%,但其造成的直接经济损失却达到 44.63%)。

在加气站所配置的各大系统中,发生的安全事故主要集中在售气系统和高压储气系统,其次是天然气压缩系统。这三大系统发生事故占事故总数的 90%,各系统发生事故分别占事故总数的 56%、22% 和 12%。因售气系统引发的安全事故共有 56 起,其中电磁阀 23 起、质量流量计 3 起、加气枪开关或显示器失效 10 起、安全拉断阀 10 起;因气质质量不合格而严重损伤关键部件诱发安全事故 4 起;其他部件诱发 6 起(含卡套脱落 1 起)。

因高压储气装置(含站用储气装置及车用气瓶)引发的安全事故共有 28 起(其中站内气瓶 4 起,地下储气井 18 起,车用气瓶 6 起)。

## 二、指标遴选原则和方法

加气站设备安全风险评价指标体系应当包括设备、人(体现管理水平)、环境(社会环境、流动车辆的安全状况等)。考查的主要指标集合有:安全性能参数指标(主要考察安全性缺陷项目)、环境性指标、管理类指标等。政策性指标(职能部门、国家或地方标准的强制安全性保障项目)一般分布在其他各类指标中,不再单列。

指标既要全面,又要有重点。对加气站设备安全性缺陷项目,主要考察天然气净化系统、压缩机组、天然气储存系统、CNG 售气系统、控制系统等生产运行设备在安全可靠上应当配备而缺失的软硬件及应当具有而弱化的功能。通过对事故站的详细调查和分析,确定 CNG 加气站设备对加气站安全风险的关键和潜在风险因素。

人的属性主要考察加气站的安全制度管理和人文素质。包括员工受教育及继续教育情况、加气站安全管理制度及岗位防火责任制、是否有加气站安全事故应急预案、是否按检测周期送检及是否有完整的检测记录、压缩机操作工及加气工操作规程、防火间距等。

外部环境影响因素包括加气站所在地自然环境、地理位置、气候环境、加气站管理部门协作支持

的力度等,特别是加气站安全风险评价的外部不确定因素(如车用 CNG 汽车储气瓶)。

### 1. 指标遴选的原则

CNG 加气站各大系统安全风险评价指标体系是用于衡量不同型号、厂家的加气站设备防范安全风险水平的统一尺度,即 CNG 加气站设备在主动安全性和被动安全性方面所具有的水平高低。评价指标体系的选择必须科学、客观和尽可能全面地反映评价所要解决问题的各项目标要求。加气站设备安全风险评价指标的筛选应遵循 8 项原则:系统性、可测性、独立性、可比性、主次性、简练实用性、虚实结合、上下结合等原则。

### 2. 指标体系来源和遴选

按上述原则和方法采集到的原始数据初步确立安全风险评价指标后,就可用统计分析中的一些方法选出部分代表性强的指标。在这些指标中有重复反映某些内容的,都考虑会偏重某一侧面,但若删去过多或不当,会造成信息失真。根据课题组理论计算,加气站设备进行安全风险评价时,采用常规综合评价方法就可得到满意的效果。限于篇幅,笔者仅探讨采用条件广义方差极小法对定量指标进行遴选<sup>[1]</sup>。而对定性指标则主要是通过课题组在指标采集过程中征询专家意见、查阅标准和文献等予以确定。

## 三、指标体系通用层次模型

本研究采用层次模型构建指标体系。加气站安全风险评价指标体系层次结构模型是加气站安全风险评价各元素相互隶属关系的表现,在加气站设备安全风险评价时,应结合设备各大系统的现实情况,同时要考察加气站整体综合管理水平,以及加气站外部环境因素的影响。理论和实践都表明:加气站设备自身防范和抗击安全事故对加气站自身安全具有决定性作用,但管理水平和外部环境的诱因是造成安全事故的重要方面,甚至是致命的威胁。必须指出:本指标体系是从若干影响加气站安全因素中,经过聚类融合、指标遴选得出的最直接相关和最重要的因素,这些指标在加气站生产实践中得到足够的重视和认真落实才是防微杜渐的关键之所在。加气站设备安全风险评价指标体系通用层次模型见图 1。

图 1 中需要解释的是:资质合格率(因技术管理人员和设备操作维修人员必须具备相应的职业资格证书)、操作技能(员工实际按章操作设备的动手能力和临场处置能力)、继续教育(重点考查近 3 年度职工继续教育经费在加气站利润的平均经费率);领

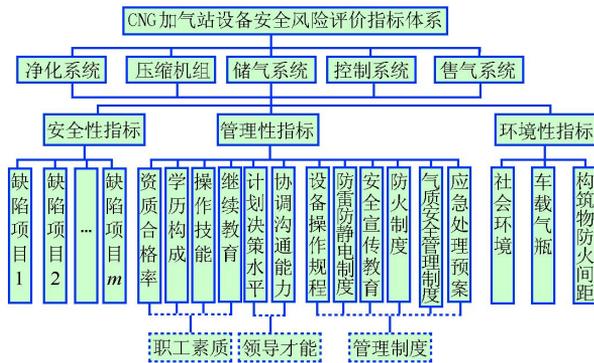


图 1 CNG 加气站设备安全风险评价指标体系通用层次结构模型图

导才能包括加气站站长(或经理)的计划决策能力和协调沟通能力;气质安全管理制度(调研中发现许多加气站缺乏其生产产品的出厂合格证书——车用压缩天然气的气质分析报告,仅有从管道进入加气站的天然气气质分析报告,而且一般其取样及分析化验的时间也是每半月或 1 个月才出具 1 次报告)、安全宣传教育(指除对从业人员进行常规安全教育外,还应对 CNG 汽车驾驶员等进行特殊渠道的安全宣

传和教育)、应急处置预案(加气站应建立完善的安全事故突发处置方案)。

#### 四、各系统指标体系及评价标准

建立模型后,关键问题是必须确定各大系统的安全性指标(安全缺陷项目)及其评价标准。课题组建立的各大系统安全性指标及其评价标准见表 1~表 5。通用指标的评价标准略。

CNG 加气站设备安全风险评价指标体系是安全风险评价的基础。安全性指标确定后,通过模型分解,可以分别建立净化系统、压缩机组、储气系统、控制系统、售气系统的安全风险评价指标体系。

所确定的安全性指标包括定性指标和定量指标两大类,相关的处理方法参见文献[2]或[3]。

#### 五、结束语

目前燃气汽车加气站主要有 CNG、LPG 两类,笔者主要以 CNG 汽车加气站设备作为研究对象。鉴于两类加气站有很多类似之处,所以文中相应指标体系只需稍做调整即可用于 LPG 加气站评价。

表 1 净化设备安全性指标表

序号	指 标	判 别 标 准
1	接地及防雷	脱水、脱硫设备静电接地可靠,安装规范,防雷装置工作可靠
2	超声波探伤合格	焊缝无损探伤检查比例及合格等级应符合 SY/T 0450-2000 行业标准
3	分离过滤器	在压缩机进气口前设置分离/过滤器
4	进气滤网	设置进气滤网进行粗滤
5	液气分离器	在最终排气口后应设置液气分离器

表 2 CNG 压缩机组安全性指标表

序号	指 标	判 别 标 准
1	外动部件保护	压缩机外露运动部件应设置防护装置
2	安全设计冗余	特指压缩机组关键部件如曲柄连杆组、安全阀的材质和制造工艺合格,其设计冗余度能满足安全生产需要
3	排放合格	废水、废气以及噪声、振动、电磁波辐射等对环境的污染和危害符合《中华人民共和国环境保护法》。废水排放必须符合《中华人民共和国国家标准污水综合排放标准》;废气排放必须符合《中华人民共和国国家标准大气污染物综合排放标准》;机械振动烈度应符合 GB/T 7777 的规定,噪声排放(主要指驱动机噪声功率等级)必须符合《中华人民共和国环境噪声污染防治法》和评价所在地的噪声排放标准;废弃油料是否有合理回收处理装置
4	电器防爆	压缩机组现场电器和电路系统防爆等级应符合 GB3836.1 的规定且有防爆措施
5	接地及防雷	静电接地和压缩机、驱动机接地装置可靠,安装规范,防雷装置工作可靠
6	各类阀门可靠	主要包括安全阀开启压力合格、止回阀关闭可靠
7	温度报警	压缩机各级排气温度及润滑油温度超限时能进行声光报警
8	压力报警	压缩机中气体压力或润滑油压超限时能进行声光报警
9	越限停机	各类安全设定参数(如温度、压力或驱动机电电压异常)超限时自动停机
10	气体回收	气缸填函处应设气体回收装置或泄漏的气体能用管道可靠导引至安全处

表 3 加气机安全性指标表

序号	指 标	判 别 标 准
1	安全拉断阀	连接加气机和加气嘴的软管上必须安装具有可恢复性的拉断阀
2	压力温度补偿系统	加气机必须安装先进可靠的电子技术控制的防过充系统
3	防撞柱	加气机附近是否设置防撞栏(柱)
4	阀件设置	必须设置减压阀、进气管道上设置防撞事故自动截断阀、加气截断阀等
5	自动关机	当管道压力漏失、超压或溢流时能否自动关机
6	加气软管	加气软管不能有泄漏及裂痕(内外裂纹)
7	质量流量计	无裂纹、无泄漏,固态开关工作稳定可靠
8	电磁阀	电磁阀工作稳定可靠,无裂纹、无泄漏
9	接地及防雷	静电接地和装置可靠,安装规范,防雷装置工作可靠

表 4 储气系统安全性指标表

序号	指 标	判 别 标 准
1	材质选用	井底封头、井口装置材料实际抗拉强度不大于 880 MPa,实际屈服强度比不超过 0.90,井筒的实际屈服强度宜选 552~758 MPa,实际抗拉强度 689~862 MPa。井底封头、井筒、井口装置材料的疲劳循环次数不少于 $2.5 \times 10^4$ ,固井水泥的质量合格
2	密封性	井底封头与井筒连接处、套管之间、井口装置与井筒间无渗漏
3	井口装置设置	井口装置进出口应配置截止阀、压力表及排液装置,建议井口加设安全阀
4	施工情况	井址选择(应选择在汽车加气站内,但不应选择在地表滑坡带建造)、最大井斜不大于 $2^\circ$ 、连接处应按规范密封等
5	压力限制	包括工作压力和设计压力,储气瓶的最大储气压力为 25 MPa,设计工作压力应大于工作压力,并保持一定的设计冗余度,一般在 27 MPa 以上
6	温度限制	包括工作温度和设计温度。由于南北方自然条件差异,气瓶的工作温度不同。加气站配备的储气装置工作温度应在气瓶标定的工作温度内,设计温度的上界应该高于其当地最高工作温度
7	剩余厚度(率)	参照 GB/T 9252-2001 和 GB8334-1999,剩余厚度主要考察筒体设计壁厚与实测最小壁厚、封头(或瓶底)设计壁厚与实测壁厚的相对剩余壁厚。剩余厚度评价时建议采用剩余厚度率。剩余厚度率=最小剩余厚度/设计壁厚;一般情况下,不同受压材质剩余厚度不同,但剩余厚度则越大越好
8	阀门设置	阀门的使用期限应当最低满足一个检验周期——参照 GB8334-1999,自制造之日起至第三次检测周期为 4 年,第三次检测的有效期为 3 年,且阀门技术要求符合 GB17926-1999,安全阀具有足够的泄压能力;筒体上是否设置安全孔在每组储气瓶的进出口总管线上设置人工快速切断阀和平衡控制阀,平衡控制阀与电动控制阀应是防爆型
9	防撞栏	储气瓶组或储气井与站内汽车通道相邻一侧,应设安全防撞栏或其他防护措施,储气瓶库开敞面应设防冲撞钢栏杆
10	腐蚀裕厚	表明储气装置设计时考虑的可承受的腐蚀能力,一般不应低于 3 mm
11	检测情况	储气井的一般检测周期为两年,全面检测周期为 6 年。气瓶检测按照《特种设备安全监察条例》、《气瓶安全监察规程》、《气瓶安全监察规定》实行定期检测
12	接地及防雷	防静电接地正确,接地电阻小于 $10 \Omega$ 。安装规范,防雷装置工作可靠

注:序号 1~4 指标为地下储气井适用指标;序号 5~9 指标为储气瓶(罐)适用指标;其余为通用指标。

表5 控制系统安全性指标表

序号	指标	判别标准
1	电源控制	控制系统必须配备供电控制、主电机启动、主电机保护、辅助电器保护四项功能,控制不灵敏或缺省视为不合格。
2	压力监测	压缩机组压力监测指控制系统是否具有进气压力监测、多级排气压力监测、机油压力监测和循环水压力监测功能,润滑油压力循环系统中应设全流量过滤器和油压指示仪表,润滑油压力大于0.15MPa并可调
3	温度监测	温度监测指控制系统是否有进气温度监测、末级排气温度监测、循环冷却水温监测功能
4	控制方式	控制系统必须采用 PLC 全自动控制
5	自动启停机控制	自动启停机控制指当加气站储气瓶组的压力下降到设定的最低压力时压缩机自动启动运行,当加气站储气瓶组的压力达到最高设定压力时,压缩机自动停机
6	手动控制	手动控制指在其他情况下,如天然气浓度过高或压缩机、冷却器产生强烈震动时,使用各自的手动按钮可以完成压缩机的启动和停机
7	油位监测	控制系统应具有压缩机组机油液位和机组洗涤罐液位监测功能
8	流量监测	压缩机组应当在各级增压管路系统中安装流量计,监测流量变化可以及时发现和排除异常情况
9	含油率监测	含油率监测在国内外没有可操作的技术标准,但取得的共识是,含油率越低越好。且在润滑油压力循环系统中应设全流量过滤器,油过滤器精度至少为0.08 mm
10	自动报警及故障诊断	指压缩机组控制系统应当在软硬件部分具备自动报警和故障自诊断功能,机组应设定以下报警点:①压缩机进气压力或某级排气压力过高;②压缩机某级(一、二、三、四级)排气温度超高;③压缩机机油压力过低;④压缩机机油液位过低;⑤机组振动太大;⑥仪表风压力过低;⑦压缩机注油器不注油;⑧洗涤罐液位过高。当机组发生故障时,操作员打开故障分析屏,屏幕将告诉操作员应检查哪些相关点,哪些相关点可能产生故障
11	净化预设功能	净化循环是为排除压缩机长时间连续运行后机组内积存的液体,当压缩机连续运行时间超过预设(净化延时)以后,打开旁通阀,把旁通阀持续开启,按照预设时间(净化时间)使过滤器里积存的液体通过旁通阀排到进气洗涤罐中,净化完成后压缩机旁通阀自动关闭,压缩机组恢复正常运行
12	优先/顺序控制	控制系统应具有在压缩机启动工作达到一定压力后停止对高端组充气,自动切换到中端组充气,达到中端组设定最高压力(22 MPa)后,停止对中端组充气,再自动切换到低端组充气,低端组达到设定压力(22 MPa)后,对三端组同时充气到25 MPa,对储气瓶组充气完成后,压缩机自动停机,此顺序称为“加气优先”
13	压力监测	控制系统必须对储气系统进行适时压力监测并反馈给微机系统
14	顺序控制	控制系统必须兼顾储气装置的使用效率和加气时间确定合理的预设值,实现取气顺序是从低压瓶开始,然后是中压瓶,最后如果必要,再从高压瓶中取气
15	在线监测	控制系统必须具有在线水分析监测功能、甲烷含量监测功能、硫化氢在线监测功能,且在超出标准设定值时能自动声光报警

注:序号1指标为电源控制指标;序号1~11指标为压缩机组控制指标;序号13指标为储气控制指标;序号14指标为售气控制指标。

安全风险评价指标体系及评价标准确立后,如何更科学合理地确定加气站设备各大系统在安全风险评价中的权重,确定具体的各指标在各大系统中权重值,进而获得被评价的加气站设备整体的安全风险水平,针对加气站安全风险关键控制点提出安全风险削减措施,将是进一步研究的方向。

#### 参 考 文 献

[1] 何太碧,黄海波,等.CNG加气站设备制造业竞争力评价方法[J].西华大学学报:自然科学版,2005(5).

[2] 何太碧,黄海波,等.CNG压缩机组技术水平评价指标及评价标准研究[J].兰州理工大学学报,2005(3).

[3] 何太碧,黄海波,等.CNG汽车加气站净化设备技术水平评价体系研究[J].西华大学学报:自然科学版,2005(1).

[4] 朱清澄,黄海波,等.CNG加气站几个安全技术问题[J].西华大学学报:自然科学版,2005(3).

[5] 黄海波,殷国富,等.CNG汽车加气站设备技术水平评价指标体系[J].天然气工业,2004(3).

(修改回稿日期 2007-03-01 编辑 赵勤)