**中国石油和石油化工设备工业协会团体标准《加氢站风险评估》编制说明**

# 1 工作概况

## 1.1任务来源

根据中国石油和石油化工设备工业协会文件《中国石油和石油化工设备工业协会关于印发2023年第二批团体标准项目计划的通知》（中石协[2023]23号），由炼油与化工设备管理标准化技术委员会提出的团体标准《加氢站风险评估方法》获批立项，完成时间为12个月，牵头单位为中国特种设备检测研究院。

## 1.2 主要参加单位

起草单位：略。

主要起草人：略。

## 1.3 主要编制过程

（1）前期工作准备

2023年3月-4月，中石协炼油与化工设备管理专业委员会经研究决定制定团体标准《加氢站风险评估方法》，随后组织人员开展了相关调研工作，收集、了解和掌握了加氢站及其风险评估相关资料和信息，并调研了加氢站设备风险管理技术现状。

（2）标准立项申报

2023年4月，中石协炼油与化工设备管理专业委员会确定了由中国特种设备检测研究院牵头编写《加氢站风险评估方法》团体标准，并征集起草单位及个人，组建了标准编制工作组，由中国特种设备检测研究院陈祖志担任牵头人。中国特种设备检测研究院组织编写了立项申报书，于4月底完成并向中石协标准化管理委员会报送，于5月获得批准正式立项。

（3）编制工作组第一次会议

2023年6月20日，标准编制工作组召开第一次工作会议，会议由牵头人陈祖志主持，国能集团北京低碳清洁能源研究院何广利、大连理工大学武锦涛、北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所靳江红、北京航天动力研究所陈殿京、北京思图科技有限公司姜时中等编写组骨干成员参会，会议讨论确定了标准内容框架、标准编制工作分工、明确了标准编制时间进度安排，并对标准的主要技术内容进行了深入、细致的讨论，确立了标准编制的基本思路、原则等。

（4）征求意见稿编写

按照第一次讨论会后的工作安排，标准编制工作组各团队积极工作，在编制过程中查阅研究相关的文件，到企业开展调研，2023年6月-2025年4月，根据标准秘书处要求和编写组工作计划，先后3次对编写情况进行讨论，包括结构、内容、文字等进行了多次修订，形成了此征求意见稿（初稿）。

（5）征求意见稿讨论会

2025年5月20日，中石协炼油与化工设备管理标准化技术委员会在中国特种设备检测研究院组织召开了征求意见稿讨论会，参会专家包括中国石油和石油化工设备工业协会张冠军、宋志龙、中石协炼油与化工设备管理专业委员会周敏、中石协炼油与化工设备管理专业委员会王建军、中石协加能设备分会朱喜龙、中国石化销售分公司王维民、中国石油销售分公司王全占、国能集团北京低碳清洁能源研究院何广利、武汉理工大学杨明红、武汉理工大学代吉祥、大连理工大学武锦涛、石家庄安瑞科气体机械有限公司王红霞、武汉市特种设备检验检测研究院彭泽军、武汉市特种设备检验检测研究院来诚锋、北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所靳江红、北京航天动力研究所陈殿京、[青岛康普锐斯能源科技有限公司](https://www.baidu.com/link?url=Kup-VB0NIrR6QCum4UDl5_L-NWWt7ozq2b_olxiZZWS&wd=&eqid=a6658ca40004912100000003681b183f)任吉超、维特力(深圳)流体工程有限公司汤颖、中石化氢能机械（武汉）有限公司简志勇、武汉雷施尔光电信息工程有限公司张桂林、北京思图科技有限公司姜时中，中国特种设备检测研究院陈祖志、张芾，等。会议对标准征求意见稿的技术内容、规范性、完整性进行了讨论，提出了修改意见。

（8）征求意见稿修改完善

自2025年5月至今，标准编制组根据征求意见稿讨论会的意见对征求意见稿作进一步修改完善，并于6月18号、7月28号分别进行了内部讨论，形成征求意见稿终稿。

# 2 标准编制原则和主要依据

本标准按照GB/T 1.1—2020给出的规则起草。标准的编制还遵循“科学性、实用性、统一性、规范性”的原则，方法参考了现行国家标准、行业标准，以及炼油、化工、特种设备等行业设备风险评估的相关标准，结合了加氢站设备的具体特点和目前的实际情况，此外还注重标准的可操作性、可执行性。

本标准制定过程中参照的主要标准见表1。

表1 参照标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 标准号 | 标准名称 |
| 1 | GB/T 1.1 | 标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则 |
| 2 | GB/T 4732.1 | 压力容器分析设计 第1部分：通用要求 |
| 3 | GB/T 7826 | 系统可靠性分析技术 失效模式和影响分析（FMEA）程序 |
| 4 | GB/T 20438（所有部分） | 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 |
| 5 | GB/T 21109（所有部分） | 过程工业领域安全仪表系统的功能安全 |
| 6 | GB/T 26610（所有部分） | 承压设备系统基于风险的检验实施导则 |
| 7 | GB/T 32857 | 保护层分析(LOPA）应用指南 |
| 8 | GB/T 35320 | 危险与可操作性分析（HAZOP分析） |
| 9 | GB 36894 | 危险化学品生产装置和储存设施风险基准 |
| 10 | GB/T 37243 | 危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法 |
| 11 | GB/T 44457 | 加氢站用储氢压力容器 |
| 12 | GB/T 45111 | 保护层分析(LOPA）、安全完整性等级(SIL）定级和验证质量控制导则 |
| 13 | GB 50516 | 加氢站技术规范 |
| 14 | GB 50156 | 汽车加油加气加氢站技术标准 |
| 15 | AQ/T 3046 | 化工企业定量风险评价导则 |
| 16 | AQ/T 3054 | 保护层分析（LOPA）方法应用导则 |
| 17 | T/CPI 64001 | 石油化工设备以可靠性为中心的维修（RCM）应用指南 |
| 18 | T/CPI 65001 | 炼化企业安全仪表系统 安全完整性等级（SIL）评估技术规范 |
| 19 | TSG 21 | 固定式压力容器安全技术规程 |
| 20 | ISO 14224 | 石油、石化产品和天然气工业.设备可靠性和维修数据的采集与交换 |

# 3 主要内容的说明

## 3.1 适用范围的说明

本标准规定了加氢站风险评估的总体要求及常用方法的评估流程、评估步骤与基本要求、评估模型等，常用方法包括定量风险评估（QRA）、工艺危害与可操作分析（HAZOP）、保护层分析（LOPA）、储氢设备RBD、储氢设备RBI、氢气压缩机FMECA、安全防护系统SIL评估、管路阀门系统风险评估，对部分方法给出了评估示例。

本标准适用于按GB 50516建造的高压储氢加氢站及按GB 50156新建、改建和扩建的高压储氢加油加氢合建站、加气加氢合建站、加油加气加氢合建站的风险评估。

## 3.2 定量风险评估（QRA）

本部分的编制，是在国家标准GB 36894的基础上，结合加氢站的具体特点，建立了有针对性的加氢站QRA方法。

（1）评估流程方面，结合加氢站的具体特点，在GB 36894基础上作了相应的明确和简化，确立了如图1所示的流程。



图1 加氢站QRA评估流程

（2）对失效频率和失效后果的计算，针对氢气的物性及其燃烧、爆炸特性，建立了相应的氢气泄漏、氢气扩散、爆炸和燃烧及暴露的后果算法模型。并提供了一个评估的案例，有效的保证了标准的可执行性和可操作性。

## 3.3 工艺危害与可操作分析（HAZOP）

本部分的编制，是在GB/T 35320、AQ/T 3049标准的基础上，结合加氢站的具体特点，建立了加氢站有针对性的HAZOP分析方法。例如，在节点划分方面，推荐根据加氢站的构成及流程，一般可以将其划分为氢气卸车系统、氢气增压系统、氢气储存系统、氢气加注系统。在设计意图描述方面，对加氢站主要子系统的设计意图给出了描述示例，对氢气卸车系统，给出的设计意图描述是：将氢气运输车辆卸载的氢气输送到氢气压缩系统，输送的流量、出口压力不得超过压缩机的允许值，氢气不得反向流动；对氢气增压系统，给出的设计意图描述是：将卸气柱输送来的氢气进行压缩，进出口压力、温度、流量不得超过允许值；对氢气储存系统，给出的设计意图描述是：将压缩机增压后的氢气储存起来，储存压力不得超过允许值，需要时输送至加注系统；对氢气加注系统，给出的设计意图描述是：将氢气储存系统的氢气向氢燃料电池汽车加注，加注的压力、温度、流量不得超出允许值。由此，有效的保证了标准的可执行性和可操作性。

## 3.4 保护层分析（LOPA）

本部分的编写，是在GB/T 32857、GB/T 45111、AQ/T 3054等标准的基础上，结合加氢站的具体特点，建立了加氢站有针对性的LOPA分析方法。

借鉴炼化行业设备管理的经验，确定了加氢站LOPA分析所需要的基础数据，包括危害事件严重度等级划分及可接受频率、典型保护层及其要求时的失效概率，给出了加氢站危险场景主要类别。并给出了LOPA分析示例。由此，有效的保证了标准的可执行性和可操作性。

## 3.5 储氢设备RBD

本部分内容主要规定了开展RBD工作总体原则、评估流程、失效模式识别、风险防控措施、评估报告。

（1）总体原则方面，主要参考了TSG 21、GB/T 150、GB/T 4732、GB/T 44457等标准，明确了储氢容器设计时设计单位应进行风险评估并出具风险评估报告的要求，在上述标准的基础上，确定开展RBD工作的根本目标以及可参考的标准。

（2）评估流程方面，主要参考了GB/T 4732，给出了储氢容器开展RBD 流程。

（3）失效模式识别方面，通过分析储氢容器的工况条件，并参考GB/T 44457等标准，明确了需要考虑的失效模式，包括塑性垮塌、脆性断裂、局部过度应变、疲劳断裂、接头泄漏、腐蚀失效、环境致裂，其中塑性垮塌、脆性断裂、局部过度应变、疲劳断裂、接头泄漏与GB/T 44457相对应，腐蚀失效、环境致裂为根据储氢容器实际使用中出现的失效模式新增。综合分析了国内外相关标准、研究文献，对每类失效模式的现象、机理、原因、后果进行了总结和标准化，通过附录的形式给出，为储氢设备的失效模式识别提供参考。

（4）风险防控措施方面，通过综合分析国内外相关标准、研究文献，对塑性垮塌、脆性断裂、局部过度应变、疲劳断裂、接头泄漏、腐蚀失效、环境致裂共7类失效模式的防控措施作用总结和标准化，通过附录的形式给出，为提出储氢容器各类失效模式的风险防控措施提供参考。

（5）评估报告方面，标准规定了RBD风险评估报告的内容，主要参考了GB/T 4732。

## 3.6 储氢设备RBI

本部分的编制，是在参照GB/T 26610基础上，考虑了加氢站储氢容器的具体特点建立的RBI评估方法，例如考虑了储氢容器的常温高压氢脆及瓶式储氢容器的鼓包、凹陷等损伤对失效可能性的影响。

（1）对储氢容器的缺陷进行了系统的识别，作为附表在标准给出。

（2）在国家重点研发计划项目研究成果的支撑下，给出了氢脆开裂次因子的计算方法。按以下方法确定，时，首先应进行所选用材料的氢脆敏感性判定，根据不同的材料可分为高敏感性、中敏感性、低敏感性、无敏感性四类。316L不锈钢是目前公认的具有良好抗氢脆性能的材料，其氢脆敏感性可评为无敏感性。对所选用的低合金钢、碳钢、其它合金钢材料等材料，当设备在35MPa以下压力使用时，氢脆敏感性均可评为无敏感性。当在35MPa以上压力使用时，如果设备生产厂家能够提供材料具有良好抗氢脆性能的证据，包括有效的氢脆实验报告或实用证明材料，则材料的氢脆敏感性可评为无敏感性，如果设备生产厂家不能提供材料具有良好抗氢脆性能的证据，对低合金钢材料、碳钢材料评为高敏感性，对不锈钢材料评为中敏感性（如304不锈钢）。确定了材料的氢脆敏感性后，再按表F-4确定氢脆敏感性指数，然后即可依据表F-5确定DF\_ HE。根据储氢容器在长期运行过程中是否发生过氢脆方面的数据，可用修正系数SF对氢脆损伤次因子进行修正，对于发生过氢脆的，SF通常取3，即对通过表F-5确定的DF\_ HE乘以系数3作为氢脆开裂次因子的值，未发生过氢脆的，SF取1。

（3）针对加氢站的实际管理特点，建立了加氢站站管理因子的计算模型。考虑了组织机构、人员资质、使用登记、技术档案、安全作业、安全管理制度、应急措施等七个方面的影响因素。

## 3.7 氢气压缩机FMECA

本部分的编制，是在参考GB/T 7826及中国石油和石油化工设备工业协会团体标准T/CPI 64001基础上，考虑了加氢站储氢容器的具体特点建立的FMECA分析方法。

（1）通过系统研究，给出了两类压缩机的结构拆解示例以及压缩机故障模式、故障机理的主要类别。

（2）借鉴炼化行业的经验，给出了FMECA分析可以参考的故障频率、后果等级划分准则以及常用常用设备及元器件失效频率。

## 3.8安全防护系统SIL评估

本部分的编制，主要参考GB/T 20438等表，对SIL评估在重要内容，包括SIL定级和验证的步骤、信息收集、回路分析、硬件安全完整性分析、随机失效SIL等级的计算、系统性安全完整性分析等内容作了规定。

## 3.9 管路阀门系统风险评估

本部分的编制，主要借鉴了炼油与石化行业的经验，并结合了加氢站管路设计、安装、管理的实际情况，引入打分法进行定性风险评估。

# 4 采标及标准水平的说明

本标准未采用国际或国外先进标准。我国还没有制定加氢站完风险评估方面的国家标准。中国工业气体工业协会制定了T/CCGA 40013—2022《加氢站风 险评估指南》，该标准，规定了加氢站风险评估工作的评估流程、评估标准及实施要求，适用于高压气氢加氢站（包含高压气态储氢、低温液态储氢）和液氢加氢站的风险评估，油氢合建站及其他类型加氢站进行风险评估时也可参照本文件进行，该标准侧重于风险评估的流程、实施方面的基本要求，对本项目具有一定参考价值，本项目主要侧重于风险评估的具体分析计算方法。能源行业制定有[NB/T 11497—2024  《加氢站承压设备风险评价与检验](https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=2FA7DD61C6833252E06397BE0A0A5AC6)》，该标准适用于承压设备的风险评估。

我国很多行业都制定有风险管理相关的标准，如有GB/T 28001-2011《职业健康安全管理体系要求》、GB/T 13861《生产过程危险与有害因素分类与代码》、GB 6441《企业职工伤亡事故》、GB/T 45001《职业健康安全管理体系要求及使用指南》、GB/T 35320《危险与可操作性分析（HAZOP分析）应用指南 》、GB/T 35827《保护层分析（LOPA）方法应用导则》、AQ/T 3049 《危险与可操作性分析（HAZOP分析）应用导则 》、AQ/T 3054 《保护层分析（LOPA）方法应用导则》等基础性标准，这些标准适用于所有行业，侧重于风险识别评估的流程、分析计算等方面的基本要求。全国锅炉压力容器标准化技术委员会主要针对石化设备，制定了风险识别评估的系统标准，主要包括GB/T 26610.1 《承压设备系统基于风险的检验实施导则 第1部分：基本要求和实施程序》、GB/T 26610.2《承压设备系统基于风险的检验实施导则 第2部分基于风险的检验策略》、GB/T 26610.3《承压设备系统基于风险的检验实施导则 第3部分 风险的定性分析方法》、GB/T 26610.4《承压设备系统基于风险的检验实施导则 第4部分 失效可能性定量分析方法》、GB/T 26610.5《承压设备系统基于风险的检验实施导则第5部分失效后果定量分析方法》、GB∕T 35013《承压设备合于使用评价》、GB∕T 30579《承压设备损伤模式识别》，为承压设备风险评估在技术上提供了有力的支撑。风险评估方法，国外有影响的标准还包括API RP 580《基于风险的检验》、API RP 581《基于风险的检验方法》、适用于对石化装置的设备或评估单元进行风险评估与检验，但由于加氢站所在的地域、所存介质等都具有特殊性，无法直接采用该标准进行评估，且API标准无法计算或评估区域量化风险。ISO/TS 19880-1为本标准的制定提供了很好的参考。风险评估方面有影响的标准ISO 19880-1：2020的附录A给出了加氢站风险评估方面的指导性要求，共13章， 其中：第１章范围， 第２ 章引用标准， 第3章术语和定义，第４章缩略语， 第５章一般安全建议， 第６章过程控制和安全系统， 第７章氢气供应安全和操作， 第８章加氢， 第９ 章设备和部件，第10章电气安全，第11章标识， 第12章技术文档， 第13章加氢站检查和测试。另外包括５个资料性附录： 附录Ａ安全距离定义和基本原则； 附录ＢSAEJ2601燃料协议氢燃料验证提案； 附录Ｃ 氢质量控制指南的示例矩阵； 附录Ｄ压缩氢储存系统和加氢机的压力等级定义； 附录Ｅ车辆碰撞防护措施实例， 以及参考文献。ISO/TS 19880-1 涵盖加氢站设计、制造、使用各阶段，制、运、储、用各环节，内容系统化；相关研究基础较好，配套标准齐全；基于风险分析的理念贯穿始终，基于风险评估结果，区分防止措施、减缓措施；安全相关系统采用功能安全概念，考虑其安全完整性等级和风险降低能力。上述标准为本标准的制定提供了很好的参考。

本标准牵头编制单位中国特种设备检测研究院设立了专门科研项目对加氢站风险评估方法进行研究，广泛调研的国内外加氢站的具体特点以及炼化、化工、特种设备等行业设备风险管理的情况，对国内外相关标准、研究文献也作了深入的调研分析，在此基础上编写了本标准，标准的总体技术水平属于国际先进水平。

# 5 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本文件符合现行法律、法规，并与相关标准协调配套，没有冲突。

# 6 重大分歧意见的处理经过和依据

无

# 7 贯彻标准的要求和措施建议

建议在中国石化、中国石油、中国海油、国能集团下属炼化企业的规模化推广应用本标准。

# 8 经济效益与社会效益

加氢站是氢能产业发展的重要基础设施，根据相关统计数据，截至2024年6月，我国已经建成加氢站426座，根据中国汽车工程学会发布的“节能与新能源汽车技术路线图2.0”预测，2025年加氢站将增至1000座，2035年将增至5000座。加氢站处理的是高压、易燃、易爆介质，具有发生爆炸、火灾事故的风险，一旦发生事故，将给人民生命财产安全带来严重威胁。

风险评估是预防加氢站事故、保障安全的必要环节，没有严谨的风险评估，加氢站的大规模商业化应用将有可能引发灾难性后果，ISO 19880《气态加氢站 第1部分：一般要求》等标准对加氢站风险评估也提出了强制性要求。目前，我国还没有加氢站风险评估的国家标准，有一些风险评估方面的基础性国家标准，另外，能源、交通、石油、化工等行业制定了一些风险评估方面的国家标准、行业标准、团体标准，对加氢站已开展的一些风险评估案例主要依据相关行业的标准执行，存在针对性不强、执行效率低的问题，且很容易出现与实际情况不符的情况。因此，制定《加氢站风险评估方法》国家标准，为加氢站风险评估提供科学、统一的标准依据，既是必需的，也是急需的。

制定《加氢站风险评估方法》团体标准，为加氢站风险评估提供标准依据，可以规范加氢站风险管理活动，为预防加氢站安全事故、减少生命财产损失提供有效保障，对于推动加氢站建设、促进氢能产业发展意义重大，因此必将产生较大的经济、社会和环保效益。

# 9 其他应予说明的事项

无。