

## 市场监管科研成果奖公示材料

基本信息			
奖项名称	中文	大型球罐结构优化设计、安全评价及泄漏后果预测关键技术研究	
	英文	Research on key technologies of structure optimization, safety evaluation and leakage consequence prediction of the large spherical tank under complex loads	
申报等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input checked="" type="checkbox"/> 二等奖 <input type="checkbox"/> 三等奖		<input checked="" type="checkbox"/> 同意调级
主要完成人	杨智荣、徐永生、刘岑凡、孙亮、张迪、陈文飞、刘鑫、段林林		
主要完成单位	中国特种设备检测研究院、中冶建筑研究总院有限公司、宁波市特种设备检验研究院		
推荐单位	中国特种设备检测研究院		
奖项的主要项目来源	<input checked="" type="checkbox"/> 国家级 <input type="checkbox"/> 省部级 <input type="checkbox"/> 其他		
具体计划、基金的名称和编号： 质检公益性行业科研专项“大型球罐结构抗震安全保障中的关键技术研究”（编号：201310161）； 质检科技计划项目“大型真空球罐结构加筋优化分析研究”（编号：2016QK203）； 质检科技计划项目“大型液化气体储罐泄漏速率预测与泄漏过程数值模拟”（编号：2016QK196）。			
奖项的主要项目起止时间	起始：2013年1月1日	完成：2018年8月31日	
组织验收单位	国家质量监督检验检疫总局科技司；国家市场监督管理总局科技和财务司；国家市场监督管理总局科技和财务司		
成果登记号	G2018-021；G2019-326；G2019-327。	成果登记时间	2018年01月02日；2019年04月17日；2019年04月17日。

## 一、项目简介

大型球罐广泛应用于石化、能源和军工等重要领域，其在常规载荷下的设计标准已十分完备，但偶有事故发生，且极易造成巨大的人员伤亡和经济损失，社会影响恶劣。究其原因，一方面由于对非常规复杂载荷下的结构失效模式研究不足，如地震载荷引起的强度破坏、外压载荷引起的失稳屈曲等，导致在设计上可能存在先天缺陷；另一方面，对于灾害后果预测的能力不足，无法准确预测失效后的燃爆范围、致死范围、提供快速救援策略，导致二次灾害或非必要人员伤亡。本成果产出的大型球罐结构优化设计、安全评价及泄漏后果预测关键技术将有力的提升我国大型球罐的建造技术，安全保障水平和应急预案优化水平，可产生巨大的经济效益和社会效益。

本课题组在国家质检公益、总局科技计划等项目支持下，针对目前大型球罐的设计未充分考虑地震、外压等复杂荷载对其安全性的影响，且对于泄漏的灾害后果缺乏精准的预测等共性问题，开展的研究与取得的成果主要有：

1) 建立了非标复杂载荷下大型球罐结构力学分析模型，搭建了大型球罐在非标复杂环境下的震动试验平台，明确了球罐-储液-地震相互作用机理，确定了结构的主要失效模式及判据；

2) 针对大型球罐提出了地震震动控制策略，研制出相应的控制装置，并进行了数值及试验验证，可显著提高大型球罐的抗震能力；

3) 建立了大型外压球罐结构加强筋优化设计数值模型，编制了球罐设计及有限元分析软件，首次提出了大型外压球罐结构的加强筋优化设计方法；

4) 搭建了可实时、在线测量、含多种泄漏模块的液化气体泄漏试验平台，优化了半定量型的泄漏流量因子的选取办法，基于泄漏速率建立了液化气体泄漏扩散预测模型，为事故后果的评价提供了支撑；

5) 制订了《承压设备振动检测》行业标准（报批稿）。授权5项国家发明专利，受理3项发明专利，获3项软件著作权，发表论文19篇（其中4篇SCI、6篇EI）；

6) 项目研究成果在石化、能源和军工等领域开展了广泛的应用，取得了显著的经济和社会效益，合计产生直接经济效益14829万元，间接经济效益43567万元，新增税收1773万元。

中国职业安全健康协会针对该项目在北京组织专家进行了科技鉴定，鉴定意见认为该项目关键技术具有重要原始创新，其中大型外压球罐加筋强化设计方法达到国际领先水平，建议进一步扩大推广应用范围。

## 二、推广应用情况

东华能源（宁波）新材料有限公司的20台大型球罐应用该项目结构优化设计、安全评价及泄露后果预测等成果，节省了建造成本，减少了检验周期，节约了检测费用，优化了应急预案，降低了停运风险，保障了生命和财产安全，近三年取得直接经济效益共计4657万元，间接经济效益8766万元。

该项目的抗震设计方法在鞍山钢制压力容器有限公司的10台6000m<sup>3</sup>球罐上得到了应用，加筋优化设计方法在2台20000 m<sup>3</sup>的真空球罐上得到了应用，应用情况表明，采用该成果显著地提高了大型球罐的抗震及抗失稳能力，保障了大型球罐服役期间的正常运行和财产安全。2018年以来，该公司又应用该成果共设计及制造大型球罐20台，新增产值约2.26个亿，新增利润3431万元，新增税收1373万元。

宁波金发新材料有限公司的41台大型球罐采用该项目的结构优化设计、安全评价及泄露后果预测等成果节省了建造成本，减少了检验周期，节约了检测费用，优化了应急预案，降低了停运风险，保障了生命和财产安全，近三年取得直接经济效益共计4561万元，间接经济效益8709万元。

东营奥星石油化工有限公司应用项目研究成果“液化气体有限孔测试平台”，测量安全阀，截止阀等关键阀门及其密封结构的泄露速率，用于指导罐区内阀门及密封结构基于泄露的评级工作，大大提高了阀门检修工作的有效性，近三年取得直接经济效益 2000 万元。

中国特种设备检测研究院应用该项目的研究成果评估不同失效程度下的液化气体泄漏速率和扩散后果，得到不同泄漏速率下的爆炸范围和致死范围等对大型罐区、采油区和厂区的应急预案提出优化建议，近两年取得直接经济效益 100 万元。

大庆油田天然气分公司光明轻烃储库应用该项目的研究成果评估不同失效程度下的轻烃泄漏速率和扩散后果，得到不同泄漏速率下的爆炸范围和致死范围等对大型罐区、采油区和厂区的应急预案提出优化建议，该成果对库容总量进行了优化，在泄漏风险可接受的情况下，库区每年可多处理轻烃 9000 吨，按每吨轻烃 3780 元计算，年新增产值 34830000 元中国特种设备检测研究院应用该项目的研究成果，承担了 20000 真空球罐的加筋优化设计、DYW-63 型低温储罐及冷箱结构强度校核等横向项目的分析研究工作，直接经济效益 80 万元。

### 三、 曾获科技奖励情况

获奖项目名称	获奖时间	奖项名称	奖励等级	授奖部门（单位）
大型真空球罐结构加筋优化分析研究	2019-11-01	中国特检院青年科技奖	一等奖	中国特种设备检测研究院
液化气体储罐泄漏速率预测与泄漏过程数值模拟	2019-11-01	中国特检院青年科技奖	二等奖	中国特种设备检测研究院

### 四、 主要知识产权证明目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	铬-钛强化高碳高合金钢耐磨堆焊药芯焊丝及其制备方法	中国	ZL201510275165.4	2015-05	第 3013546	中冶建筑研究总院有限公司	张迪、王英杰、王立志等	有效专利
发明专利	立磨磨辊堆焊复合制造用气保护药芯焊丝及其制备方法	中国	ZL201510153021.1	2015-04	第 3013361	中冶建筑研究总院有限公司	张迪，王立志，王英杰等	有效专利

发明专利	磨辊堆焊用高铌高铬合金铸铁自保护药芯焊丝及其制备方法	中国	ZL201510796112.7	2015-11	第2638612	中冶建筑研究总院有限公司	张迪, 聂祯华, 季天华等	有效专利
发明专利	连铸辊埋弧堆焊用析出硬化型不锈钢药芯焊丝及其制备方法	中国	ZL201711067105.9	2017-11	第3620566	中冶建筑研究总院有限公司	张迪, 王英杰, 王立志等	有效专利
发明专利	超级双相不锈钢气体保护焊接用药芯焊丝及其制备方法	中国	ZL201910359767.3	2020-10		中冶建筑研究总院有限公司	张迪, 王英杰, 马德志等	有效专利
发明专利	一种真空球罐	中国	ZL201721560329.9	2017-11	第7351602	中国特种设备检测研究院		有效专利
发明专利	一种液化气体稳态泄漏速率的测量系统	中国	ZL201820341122.0	2018-03	第7855905	中国特种设备检测研究院	刘岑凡, 邓贵德, 段林林等	有效专利
软件著作权	球罐设计及有限元分析软件	中国	2018SR173305	2017-02	第2502400	中国特种设备检测研究院		其他有效知识产权
软件著作权	塔群风速影响模拟计算平台	中国	2015SR034023	2014-08	第0921101	中国特种设备检测研究院		其他有效知识产权
软件著作权	特种设备检验风险评估软件[简称: 风险评估软件]	中国	2020SR0393168	2018-05	第5271864		陈虎、陈文飞	其他有效知识产权

### 五、 主要完成单位及对本项目技术创新和应用的贡献

主要完成单位	排序	创新推广贡献
中国特种设备检测研究院	1	<p>中国特检院全面负责该项目的研究内容，所提出的大型球罐结构抗震设计方法，已在石化企业球罐群的设计制造中成功应用，可显著提高大型球罐设备的稳定性，降低球罐在地震灾害中的失效概率。此外，该方法的应用还可以大幅降低球罐的振动和噪声，延长由于振动引起的薄弱部位检测周期，保障球罐在运行期间的安全，提高正常运行时间。若该研究成果被广泛应用，将在设计、制造、检测中产生巨大的经济效益和社会效益。</p> <p>所提出的大型外压球罐结构加强筋的优化设计方法，已在 2 台“20000m<sup>3</sup> 真空球罐的设计”（军工项目）和“DYW-63 型低温储罐及冷箱结构强度校核”（军工保密）等项目中得到实际应用，通过合理设计加强筋，不但节约成本，而且可显著提高球罐抗失稳能力。若该研究成果被广泛应用，可使得外压球罐的容积突破常规设计的限制，实现球罐的大型化和高参数化。</p> <p>项目成果中液化气体泄漏速率测量装置和基于泄漏速率预测的液化气体泄漏扩散数值模拟方法，可实现液化气体泄漏场景的模拟。此液化气体泄漏速率测量装置可作为科研或教学装备，辅助液化气体泄漏初场研究；修正后的模拟方法将提升燃爆范围、致死范围的预测精度，优化罐区的应急预案，避免二次灾害或非必要的人员伤亡，提升罐区的精细化管理水平。</p>
中冶建筑研究总院有限公司	2	<p>参与确定项目总体研究内容、技术路线与实施方案；参与本项目焊接结构的设计和计算，焊接工艺研究及配套焊接材料的研究；参与组织并开展本项目科研成果的推广应用。</p>
宁波市特种设备检验研究院	3	<p>针对本课题的大型球罐安全评价方面开展科技创新，开发完成球罐安全评价软件模块并申请软件著作权专利，为提升对在用球罐现场硬度检测精度，创新提出采用超声硬度的检测实施方案，同时针对性开发超声硬度检测支架，并申请 4 项专利。在应用推广方面积极联系沟通球罐使用单位，落实安全评价及泄漏后果预测应用等方面工作，特别是在宁波金发新材料有限公司及东华能源（宁波）新材料有限公司球罐技术推广应用中发挥重要作用。</p>

六、 主要完成人情况表

姓名	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献	曾获国家科技奖励情况	排名
杨智荣	高级工程师	中国特种设备检测研究院	中国特种设备检测研究院	项目负责人，全面负责课题的策划，组织、管理和实施，取得了如下成果：（1）提出了球罐-储液-地震相互作用机理核结构的失效模式及判据；（2）搭建了大型球罐在复杂环境下的震动试验平台；（3）提出了地震震动控制策略，研制出相应的控制装置；（4）提出了大型球罐抗震设计指南，并应用于实际球罐抗震设计中；（5）第一作者发表 EI2 篇，第二完成人获得专利 1 项，第一完成人获得软件著作权 1 项，投入个人 80%的工作量。	2015 年度国家质检总局“科技兴检奖”三等奖（第 4），2018 年中国特种设备检验协会三等奖（第 1）。	1
徐永生	工程师	中国特种设备检测研究院	中国特种设备检测研究院	大型真空球罐结构加筋优化分析研究的负责人，取得了如下创新性成果： 1.提出了大型真空球罐开孔处的优化结构设计方法； 2.建立了大型真空球罐结构加筋优化设计方法； 3.开发了球罐设计及有限元分析软件； 4.第一作者发表 EI 论文 1 篇，第一完成人获得专利 1 项，第一完成人获得软件著作权 1 项；在本项目中投入的工作量占本人总工作量的 80%。	2019 年获“中国特检院青年科技奖”等奖（第 1 完成人）。	2
刘岑凡	高级工程师	中国特种设备检测研究院	中国特种设备检测研究院	球罐液化气体泄漏后果预测研究的主要负责人，制订了液化气体泄漏扩散研究的总体方案和实施计划。合作发表和录用相关学术论文 6 篇，获实用新型专利授权 2 项，受理发明专利 1 项。开展了成果的推广应用工作，取得了一定的经济和社会效益。对成果中的创新点四，做出了创造性贡献，项目投入 60%个人工作量。	2019 年“中国特检院青年科技奖”两项，二等奖（第 1 完成人），一等奖（第 2 完成人）； 2019 年“中国职业安全健康协会科学技术奖”两项，一等奖（第 5 完成人），三等奖（第 4 完成人）； 2020 年“中国颗粒学会自然科学奖”一等奖（第 8 完成人）。	3

孙亮	正高级工程师	中国特种设备检测研究院	中国特种设备检测研究院	项目指导人，协助负责人圆满完成了全部研究工作。复杂球罐抗震分析的研究工作，提出了球罐-储液搭建了大型球罐-储液-地震互相作用机理和结构的失效模式及判据；搭建了大型球罐在复杂环境下的振动实验平台；提出了大型球罐抗震设计指南，并应用于实际球罐抗震设计中。合作发表文章5篇，申请专利2项。	2015年度国家质检总局“科技兴检奖”三等奖（第2），2018年中国特种设备检验协会三等奖（第2）。	4
张迪	正高级工程师	中冶建筑研究总院有限公司	中冶建筑研究总院有限公司	参与大型球罐抗震的仿真模拟，形成方法；参与焊接部分的设计和计算，焊接工艺研究及配套焊接材料研究；参与工程应用和现场试验，组织成果的推广应用；支撑了创新点一的工作；在本项目中投入的工作量占本人总工作量的50%；获得焊接方向的发明专利5项。	中冶集团技术发明奖二等奖（2018年，第四）；广西省科技进步奖一等奖（2017年，第八）；浙江省科技进步奖二等奖（2015年，第四）；中冶集团技术发明奖二等奖（2014年，第一）。	5
陈文飞	高级工程师	宁波市特种设备检验研究院	宁波市特种设备检验研究院	参与本课题研究及应用各环节。重点针对本课题中大型球罐安全评价方面开展研究及科技创新；负责开发完成球罐安全评价软件模块并申请软件著作权专利；为提升对在用球罐现场硬度检测精度，在超声硬度现场检测应用中开发了多种检测支架辅助工件并申请4项专利。在应用推广方面落实安全评价及泄漏后果预测应用等方面工作，特别是在宁波金发新材料有限公司及东华能源（宁波）新材料有限公司球罐技术推广应用中发挥重要作用。	2018年12月，获得2018年上海市标准化优秀学术成果二等奖；2019年11月，获得2019年中国仪器仪表学会科学技术二等奖；2020年11月，获得2020年中国特种设备检验协会科学技术奖一等奖。	6
刘鑫	工程师	中国特种设备检测研究院	中国特种设备检测研究院	主要参与项目结构仿真分析方面的工作，包括对球罐结构在外载荷作用下的应力场分布以及位移场分布模拟。另外针对球罐支柱、拉杆等处的螺栓连接形式也开展了微动接触研究，分析螺栓连接结构在复杂载荷作用下接触区域相互错动产生的磨损行为对接触应力分布规律以及螺栓预紧力的影响，进而为后续分析螺栓松动对球罐结构刚度的影响打下基础。发表论文4篇。	无。	7

段 林 林	工 程 师	中 国 特 种 设 备 检 测 研 究 院	中 国 特 种 设 备 检 测 研 究 院	主要负责液化气体大规模的泄露扩散仿真工作，对重气瞬时泄露扩散的过程进行了大量的模拟，合作发表文章 3 篇，申请专利 3 项。	2019 年“中国特检院青年科技奖”两项，二等奖（第 2 完成人），一等奖（第 7 完成人）。	8
-------------	-------------	---	---	--	---	---

## 七、我院的成果

### 已授权发明专利：

1. 张迪，王英杰，王立志等，铬-钛强化高碳高合金钢耐磨堆焊药芯焊丝及其制备方法，ZL201510275165.4.
2. 张迪，王立志，王英杰等，立磨磨辊堆焊复合制造用气保护药芯焊丝及其制备方法，ZL201510153021.1.
3. 张迪，聂祯华，季天华等，磨辊堆焊用高铌高铬合金铸铁自保护药芯焊丝及其制备方法，ZL201510796112.7.
4. 张迪，王英杰，王立志等，连铸辊埋弧堆焊用析出硬化型不锈钢药芯焊丝及其制备方法，ZL201711067105.9.
5. 张迪，王英杰，马德志等，超级双相不锈钢气体保护焊接用药芯焊丝及其制备方法，ZL201910359767.3.



