**一、项目名称**

大型屋盖及围护体系抗风防灾理论、关键技术和工程应用

**二、提名单位意见**

提名单位：中国钢结构协会

提名单位意见：

我国是遭受风灾最为严重的国家之一，体育场馆、会议博展、航站车站和工业建筑等大跨度建筑发展迅速，风致破坏事故频发。本项目申报团队紧密结合行业重大需求，历经10余年研究所取得的成果，创新性地构建了大型屋盖结构风效应和抗风设计理论，研发了高性能抗风屋面围护系统，建立了屋面系统抗风承载力检测技术和标准，形成了具有自主知识产权的成套关键技术体系，主编完成了7部国家标准和行业标准，参编完成了11项标准，上述成果已在200余项重大工程中得到应用。

项目研究成果丰富、系统、创新性突出，取得了良好的经济和社会效益，具有广阔的推广应用前景。经专家鉴定，总体技术达到了国际领先水平。

提名该项目为国家科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介**

近年来我国的体育场馆、文化设施、会议博展、航站车站等公共建筑发展迅速，但风致破坏事故频发，严重影响了社会生活，并造成巨大经济损失和人员伤亡。

此类建筑通常采用大跨屋盖结构和装配式围护系统，风荷载是控制其安全的主要荷载。而屋盖体系风荷载作用机理有待揭示、风振反应分析方法有待提出、提高屋盖抗风承载力的措施有待开发，主要表现在屋面风荷载随机特征、结构风振反应、围护系统承载能力等方面的研究不足。课题组从1997年起对大跨屋盖体系风致效应及围护系统受力性能等进行全方位系统研究，取得了以下创新成果：

（1）提出了大跨屋盖非高斯极值风压分析理论和多模态耦合风振效应分析理论

系统构建了非定常、非高斯特性的屋面风荷载模型，提出了屋盖非高斯风压时程的概率密度表达式、多样本风压极值概率分布模型；提出能够计入多模态参与的耦合效应和结构、风荷载、风向不确定性的基于概率的高效风振计算方法。系统建立了屋面风荷载和结构风效应的分析理论。

（2）提出了屋面围护结构和大跨承重结构抗风设计方法

提出考虑非高斯极值、相关性面积折减、风向效应的围护结构风荷载计算方法，提出了可考虑多模态风振响应的多目标等效静风荷载分析方法。基于提出的理论方法和大规模风洞实验，分析不同结构参数和风荷载参数下的平面、柱面、球面、双坡、鞍型、悬挑等典型屋面围护结构全方向极值风压及大跨主体结构的等效静风设计荷载，给出了可供设计直接使用的计算图表。

（3）提出了改善屋面围护系统抗风承载力的技术措施、评价方法以及检测手段

提出了屋面围护系统的材料选择要求和构造设计原则；研发了改善和提高抗风承载力的金属屋面板板型和抗风揭部品部件，同时很好地满足功能及节能环保要求；提出围护系统抗风揭的实验室测试方法和现场原位测试方法，及屋面系统的安全性评价方法。

学术成果已成功应用于奥运系列场馆、高铁系列站房；多省市奥体中心、展览馆、航站楼，以及国家会议中心、国家大剧院、APEC峰会中心等国内外200余项重大工程。

以上述学术成果和工程应用为基础发表学术论文200余篇，获得发明专利授权10项。以学术成果和工程经验为基础，主编《屋盖结构风荷载标准》、《建筑金属围护系统工程技术标准》等国家和行业标准7部，参编《建筑工程风洞试验方法标准》、《金属屋面工程施工质量验收标准》等国家、行业和地方标准11部；主编《压型钢板、夹芯板屋面及墙体建筑构造》、《压型金属板建筑构造》等标准图集9部，使学术成果得到更广范应用，创造了更大的社会经济效益。以上述工作为基础创建了 “风敏感基础设施抗风减灾创新引智基地”，促进了结构风工程的学科发展，显著提升了国际知名度和国际影响力。

**四、客观评价**

1、该项目的鉴定意见评价

（1）2013年，教育部针对该项目开展的 “大(跨)屋盖结构风致效应分析与抗风设计理论及其应用”成果鉴定会，以周绪红院士为主任委员的鉴定委员会认为“该项目研究内容丰富，成果创新性突出，总体上达到国际先进水平，其中提出的Ritz-POD风振反应分析方法和多目标等效静风荷载分析方法达到国际领先水平，鉴定委员会一致同意通过鉴定。”

（2）2017年，中国冶金科工集团有限公司对中冶建筑研究总院有限公司完成的“金属围护系统关键技术研究”进行鉴定，鉴定委员会认为“该课题针对建筑金属围护系统的防风、防水、防冰雪、防雷、节能灯关键性能及相关产品进行深入研究，取得了一系列研究成果。鉴定委员会认为，该成果达到国际先进水平，同意通过中冶集团科技成果鉴定”。

2、课题验收意见

国家自然科学基金重点项目“大跨空间结构的风致关键效应与动力灾变行为”验收意见：“ 该项目通过对大跨空间结构在强风作用下的风致关键效应与过程控制的研究，建立了以特征湍流为本质特征的结构表面风荷载模型，建立了围护结构风压极值的分析方法，完善了风致效应计算理论并提出了可应用于工程设计的等效静风荷载取值，研究了柔性结构风致破坏机理，取得了一系列有创新意义和应用前景的研究成果。”

3、科技奖励

 《薄膜结构成套技术与风致效应及工程技术》、《大跨屋盖结构风致效应分析、抗风设计理论及其应用》分别于2008年和2014年获教育部科技进步奖二等奖；《国家体育场结构关键技术研究与应用》2008年获华夏建设科学技术奖一等奖；《标准化钢结构房屋体系关键技术及产业化》2012年获中国钢结构协会科技进步一等奖，《标准化钢结构公共建筑体系关键技术与工程应用》2013年获中国冶金科工集团有限公司科技进步奖特等奖。

4、标准、行业规范

以本项目研究成果为主体，主编了7项国家和行业标准，参编了11项标准，其中主编的7项标准为：国家标准《 建筑金属板围护系统检测鉴定及加固技术标准》、《压型金属板工程应用技术规范》、《建筑用不锈钢压型板》、《建筑用压型钢板》、行业标准《屋盖结构风荷载标准》、《 建筑金属围护系统工程技术标准》、《轻型模块化钢结构组合房屋技术标准》。

**五、推广应用情况**

项目研究成果应用到205项大型屋盖结构和围护系统抗风防灾设计，其中包括体育场馆44项；会展文化建筑44项；交通建筑84项；工业建筑33项，为我国大型屋盖结构及围护系统的抗风安全性提供了安全保证作用与工程示范作用。

主要应用单位情况表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 应用单位名称 | 应用技术 | 应用的起止时间 | 应用单位联系人/电话 | 应用情况 |
| 中国建筑设计院有限公司 | 1、2 | 2004.03-2008.04 | 范重/13701254511 | 国家体育场 |
| 悉地（北京）国际建筑设计顾问有限公司 | 1、2 | 2005.01-2007.12 | 朱勇军/13910135260 | 国家网球中心 |
| 中国建筑设计院有限公司 | 1、2 | 2009.01-2010.12 | 范重/13701254511 | 国家网球中心新馆 |
| 北京市建筑设计研究院有限公司 | 1、2 | 2013.01-2013.12 | 甄伟/13671106990 | 雁栖湖国际会展中心（APEC2014主会场） |
| [杭州市建筑设计研究院有限公司](http://www.baidu.com/link?url=Y1hKzfhNH0vCTwgnaBkjPyeu0fdUqIyuHwH5boWYoSYDSx-bmIVhFo9wgmrc8gsZYl6zFpQ5gfG_7y1gmnDk7mX-3CzEE25bEEWtCqDxMIlSNeJlFps0zoguVo_4pBUMjB1taZ0ToZzQpGAycUQPDUt9buI0z1CmU87OU5GNoue8ZiJ_4wJKPeJmQZ2mPGbvUe_nG4n5cSiRCECj-siYstWuMTNEtd9ZRckJOTm2jfzRyBQHYtIiCgQbYfv12efw) | 1、2 | 2010.01-2015.12 | 俞勤学/13958037081 | 杭州奥体博览中心（2016年G20主会场） |
| 悉地（北京）国际建筑设计顾问有限公司 | 1、2 | 2005.01-2007.12 | 朱勇军/13910135260 | 芜湖站 |
| [中南建筑设计院股份有限公司](http://www.baidu.com/link?url=dC27PBAiBgodY23GLj6S26EsNkWqDZISpbeKOrfxeSj0BcgUpTLde3MXPzG7syj2) | 1、2 | 2009.1-2015.12 | 周德良/13971026132 | 杭州火车东站 |
| 中国航空规划设计研究总院有限公司 | 1、2 | 2011.06-2012.12 | 马伯涛/15210007104 | 云南省科技馆新馆 |
| 北京市建筑设计研究院有限公司 | 1、2 | 2012.01-2012.12 | 甄伟/13671106990 | 宿州体育馆 |
| 中国建筑设计院有限公司 | 1、2 | 2012.01-2013.12 | 范重/13701254511 | 佛山体育中心 |
| 中国建材检验认证集团苏州有限公司 | 3 | 2014.1-2014.2 | 朱志远/13862039012 | 福州海峡奥林匹克体育中心 |
| 中国建筑西南设计研究院有限公司 | 3 | 2006.6-2014.12 | 董彪/13398159212 | 重庆江北机场T3航站楼 |
| 森特士兴集团股份有限公司 | 3 | 2013.4-2014.7 | 苗泽献/13910005593 | 厦门高崎国际机场T4航站楼 |
| 中建二局安装工程有限公司 | 3 | 2009.3-2011.4 | 张凤军/13424392978 | 福州海峡国际会展中心 |
| 深圳市鑫明光建筑科技有限公司 | 3 | 2015.11-2016.1 | 徐飙/ | 长沙会展中心 |

**六、主要知识产权证明目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 | 发明专利有效状态 |
| 发明专利 | 复合保温围护系统及其施工方法 | 中国 | ZL201010578600.8 | 2012.7.4 | 986418 | 中冶建筑研究总院有限公司，中国京冶工程技术有限公司 | 蔡昭昀、林莉、吴颖、高杰 | 有效 |
| 发明专利 | 屋面板抗风标准试验装置及试验方法 | 中国 | ZL200810006474.1 | 2010.10.13 | 686695 | 中冶集团建筑研究总院，北京远达国际工程管理有限公司 | 侯兆欣;刘浩;魏云波;吴明超;蔡昭昀 | 有效 |
| 发明专利 | 一种高频风速仪测量数据远程传输系统 | 中国 | ZL201410118627.7 | 2015.07.08 | 1721334 | 黄国庆 | 黄国庆;廖海黎;李明水;彭留留;刘昌福;马存明 | 有效 |
| 发明专利 | 覆膜金属薄板金属围护系统及其施工工法 | 中国 | ZL2015 11025195.6 | 2017.10.3 | 2645819 | 中冶建筑研究总院有限公司，中国京冶工程技术有限公司 | 蔡昭昀;林莉;吴颖 | 有效 |
| 发明专利 | 单层建筑风洞试验模型内部气承刚度模拟装置 | 中国 | ZL201210033205.0 | 2014.4.16 | 1383311 | 浙江大学 | 余世策;楼文娟;蒋建群;徐海巍 | 有效 |
| 发明专利 | 膜材预应力的测量装置 | 中国 | ZL201510548436.9 | 2017.11.14 | 2697000 | 北京交通大学 | 陈波;程彦坤;杨庆山 | 有效 |
| 发明专利 | 一种数字传感信号驱动智能型节能开关系统 | 中国 | ZL201410344577.4 | 2017.02.01 | 2365324 | 黄国庆 | 黄国庆;彭留留;刘昌福;廖海黎;李明水 | 有效 |
| 软件著作权 | 土木工程结构风振响应分析软件V1.0 | 中国 | 2010SRBJ0728 | 2010年3月5日 | BJ26111 | 北京交通大学 | 田玉基;杨庆山 | 其它有效的知识产权 |
| 软件著作权 | 建筑结构风振及等效静风荷载分析系统V1.0  | 中国 | 2012SRBJ1079 | 2012年8月14日 | BJ38230 | 北京交通大学 | 陈波;李明;杨庆山 | 其它有效的知识产权 |
| 软件著作权 | 测压风洞试验数据处理软件V2.1 | 中国 | 2013SRBJ0283 | 2013年5月23日 | BJ38960 | 北京交通大学 | 李波;徐志;田玉基 | 其它有效的知识产权 |

**七、主要完成人情况**

1.杨庆山，排名：1，工作单位：重庆大学，完成单位：北京交通大学

对本项目技术创造性贡献：负责制定本项目的总体研究方案，主持完成了国家自然科学基金重点项目“大跨空间结构的风致关键效应与动力灾变行为”，提出了大型屋盖结构和围护结构风荷载和风效应的计算理论，对主要科技创新一、二等创新点做出突出贡献，主编完成了国家行业标准《屋盖结构风荷载标准》。

2. 蔡昭昀，排名：2，工作单位：中冶建筑研究总院有限公司，完成单位：中冶建筑研究总院有限公司

对本项目技术创造性贡献：对科技创新三有突出贡献，提出金属屋面系统抗风承载力检测技术、评价指标，研发围护体系及屋面系统抗风技术关键技术及提高综合性能的关键技术，发明专利4项，主（参）编国家标准5项，主（参）编行业3项，主编国标图集9项，获科技奖励3项。

3.陈波，排名：3，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学

对本项目技术创造性贡献：协助第一完成人完成大型屋盖结构风效应分析理论，提出了选择结构主动振型的理论方法以及基于风振特性的等效静风荷载分析方法，对主要科技创新中的第1、第2等创新点有重要贡献，参编完成了国家行业标准《屋盖结构风荷载标准》、《建筑工程风洞试验方法标准》。

4.林莉，排名：4，工作单位：中国京冶工程技术有限公司，完成单位：中国京冶工程技术有限公司

对本项目技术创造性贡献：对科技创新三有重要贡献。协助完成了金属屋面系统抗风承载力检测技术，以及围护体系及屋面系统抗风技术关键技术研究工作，发明专利3项，主（参）编国家标准3项，主编行业1项，主(参)编国标图集9项，获科技奖励1项。

5.黄国庆，排名：5，工作单位：西南交通大学，完成单位：西南交通大学

对本项目技术创造性贡献：协助第一完成人完成屋盖非高斯极值理论研究，提出了非高斯极值风压的简化计算方法，参编完成国家行业标准《屋盖结构风荷载标准》，获发明专利2项。

6.狄谨，排名：6，工作单位：重庆大学，完成单位：重庆大学

对本项目技术创造性贡献：对科技创新三有重要贡献，协助第二完成人开展了高性能抗风屋面系统技术研究工作。

7.田玉基，排名：7，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学

对本项目技术创造性贡献：对科技创新一、科技创新二有重要贡献，提出了非定常、非高斯特性的屋面风荷载模型、屋盖非高斯风压时程的概率密度表达式、多样本风压极值概率分布模型和非高斯极值简化计算方法，参编行业2项，获教育部科技奖励1项。

8.吴明超，排名：8，工作单位：中冶建筑研究总院有限公司，完成单位：中冶建筑研究总院有限公司

对本项目技术创造性贡献：对科技创新三有重要贡献，发明了屋面板抗风标准试验装置及试验方法（CN101236135B），主编完成了国家标准《压型金属板工程应用技术规范》（GB50896-2013）、《建筑用压型钢板》（GB/12755-2008）。

9. 楼文娟，排名：9，工作单位：浙江大学，完成单位：浙江大学

对本项目技术创造性贡献：对科技创新一、科技创新二有主要贡献，在提出屋盖围护体系风压的非高斯特性及其屋面极值风压取值方法，基于POD法控制模态选择的大跨屋盖结构风致动力响应分析方法等方面做出重要贡献，发明专利1项，参与编制国家行业标准《屋盖结构风荷载标准》、《建筑工程风洞试验方法标准》。

10.杨娜，排名：10，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学

对本项目技术创造性贡献：对科技创新三有重要贡献，参与围护结构极值风荷载研究，参与多项重大工程应用研究，发表与本项目相关论文6篇，获科技奖励2项。

**八、主要完成单位及创新推广贡献**

1.北京交通大学，创新推广贡献：项目总负责单位，承担了大跨屋盖结构抗风设计理论研究，提出了围护结构非高斯极值风压、多振型耦合风振理论分析方法、以及主要承重结构设计用风荷载计算理论研究等主要工作，并提出了典型形式承重结构设计用风荷载建议图表，主编完成了国家行业标准《屋盖结构风荷载标准》，为该项目取得系统创新成果和重大工程应用做出了突出贡献。

2.中冶建筑研究总院有限公司，创新推广贡献：主要参加单位，负责完成了围护结构系统抗风性能及检测技术研究，提出了金属屋面系统抗风承载力检测技术、评价指标，研发围护体系及屋面系统抗风技术关键技术及提高综合性能的关键技术，主编完成了多部国家和行业标准，以及系列图集，在本项目所取得的多项具有自主知识产权和重大工程应用等方面做出了突出贡献。

3.重庆大学，创新推广贡献：主要参加单位，负责完成了风特性与围护结构风荷载方面的研究工作，在围护结构极值风荷载和围护结构抗风性能研究方面做出了重要贡献，与北京交通大学共同主编完成了《屋盖结构风荷载标准》。

4.中国京冶工程技术有限公司，创新推广贡献：主要参加单位，协助完成了屋面围护系统抗风性能及检测技术研究，主（参）编了多部国家和行业标准与图集，在本项目重大工程应用方面做出了重要贡献。

5.浙江大学，创新推广贡献：主要参加单位，协助完成了大型屋盖围护系统非高斯极值风荷载与主要承重结构风振分析理论研究研究工作，参编完成了2部行业标准，在本项目重大工程应用方面做出了重要贡献。

6.西南交通大学，创新推广贡献：主要参加单位，在大型屋盖围护系统非高斯极值风荷载计算理论和简化分析方法方面做出了重要贡献。

7. 深圳市前海公共安全科学研究院有限公司，创新推广贡献：主要参加单位，在完成屋盖围护系统抗风试验方法研究方面做出了重要贡献。

**九、完成人合作关系说明**

  完成人杨庆山、陈波、田玉基、杨娜均为北京交通大学结构风工程与城市风环境重点实验室核心成员，长时间密切合作开展大型屋盖结构风工程研究，共同完成了2项国家自然科学基金重点项目“大跨空间结构的风致关键效应与动力灾变行为”（基金号：90815021）和“高速铁路客站“房桥合一”混合结构体系研究”（基金号：50938008），相互共同发表文章60余篇。

杨庆山、陈波、黄国庆、田玉基、楼文娟等一直开展大跨建筑结构风工程合作研究，共同编制完成行业标准《屋盖结构风荷载标准》。陈波、楼文娟共同参编《建筑工程风洞试验方法标准》。杨庆山、黄国庆、田玉基合作开展非高斯极值风压研究，已共同发表SCI文章2篇。

杨庆山、陈波、田玉基、蔡昭昀、林莉、吴明超等共同完成了多项重大屋盖工程的技术应用研究工作，如国家体育场、厦门高崎机场航站楼等工程。杨庆山、陈波、田玉基、狄谨等共同参与编制《屋盖结构风荷载标准》。蔡昭昀、林莉、吴明超、狄谨等共同开展了金属屋面围护系统合作研究。

蔡昭昀、林莉、吴明超等长期合作开展大型屋盖围护系统抗风承载力评价技术研发、标准和图集编制工作，共同完成了《复合保温围护系统及其施工方法》、《屋面板抗风标准试验装置及试验方法》、《覆膜金属薄板金属围护系统及其施工工法》等多项发明专利、合作完成编制了《建筑用压型钢板》、《压型金属板工程应用技术规范》、《 建筑金属围护系统工程技术标准》等多部国家标准和行业标准。