

## 科技进步奖公示内容

项目名称:	特大双主跨缆索承重桥梁动力优化和风振控制关键技术及应用
提名单位:	上海市
提名等级:	二等奖

项目简介：

双主跨缆索承重桥梁是在单主跨基础上，为了提升跨越能力增加一个主跨而提出的一种新的三塔桥梁结构，包括双主跨斜拉桥和双主跨悬索桥。三个桥塔中的两个边塔因有边跨缆索的墩锚作用具有很大的刚度，但中塔无法像两个边塔一样借助墩锚的直接支撑作用提供刚度，使得双主跨缆索承重桥梁的**整体刚度下降、动力特性劣化、风致振动加剧**。本项目在国家 863 计划和国家自然科学基金以及三个国家重大工程等项目支持下，基于我国特大双主跨缆索承重桥梁建设的重大需求，从**动力特性优化和风致振动控制**两方面开展理论和试验研究，形成了**四项主要科技创新内容及相关技术**，成功应用于包括全世界最大跨度的双主跨斜拉桥——武汉二七长江大桥、全世界最大跨度的双主跨悬索桥——马鞍山长江大桥等 6 座双主跨缆索承重桥梁，为我国大跨度桥梁的建设与发展提供了强有力的科技支撑。

1. 发现了单主跨缆索承重桥梁一阶振型衍生出双主跨桥梁两阶振型的规律，**揭示了双主跨斜拉桥中塔刚度小、自振频率低的特性，提出了增大中塔刚度以改善双主跨斜拉桥动力特性的方法**，达到了提高双主跨斜拉桥自振频率的目的。揭示了双主跨悬索桥中塔塔顶鞍座和主缆的滑移安全问题，**提出了基于结构动力特性和抗滑移安全的中塔刚度优化方法**，通过中塔结构选型和塔柱截面优化改善双主跨悬索桥动力特性，取得了优化双主跨悬索桥动力特性的效果。

2. 国际上首次发现了双主跨悬索桥闭口主梁颤振振型转捩现象，**揭示了颤振振型转捩机理，提出了取消梁底工字钢轨道的颤振和涡振气动控制方法**，提高了颤振临界风速、消除了涡激共振，取得了改善闭口主梁气动性能的效果。

3. 研发了双主跨悬索桥开口主梁颤振气动控制技术——风嘴和上/下稳定板组合，**揭示了开口主梁颤振失稳的驱动机理和组合气动控制的抑振原理，显著提高了颤振稳定性，解决了开口主梁颤振失稳的难题**。

4. **揭示了双主跨斜拉桥中塔主梁双悬臂施工中的抖振安全问题，提出了双悬臂施工阶段风振控制方法，优化了单侧临时墩的位置，显著减小了主梁双悬臂端部的风振位移和根部的风振内力，解决了双主跨斜拉桥施工阶段风振问题**。

项目关键技术具有自主知识产权，共授权发明专利 5 项、实用新型专利 2 项、计算机软件著作权 3 项，出版专著 3 部、发表 SCI/EI 收录论文 80 多篇。项目研究成果经科技查新和专家鉴定，“**双主跨悬索桥颤振振型转捩机理**”和“**风嘴和上/下稳定板组合颤振气动控制技术**”属国际首创，项目研究成果总体达到国际领先水平。“研究成果体现了大跨径双主跨缆索承重桥梁的先进设计理念，为国际桥梁技术的进步做出了中国贡献”。研究成果直接应用于武汉二七长江大桥、马鞍山长江大桥和武汉鹦鹉洲长江大桥，推广应用于泸州长江六桥、温州瓯江北口大桥和宁波舟山港主通道桥梁等，节约建设投资 1.4 亿元、近三年新增产值 30.6 亿元，经济效益和社会效益显著，具有广泛的推广应用价值和国际竞争优势。

客  
观  
评  
价：

**(1) 同类工程技术比较**

全世界已经建成的 400m 以上跨度的双主跨斜拉桥共有 4 座，武汉二七长江大桥的跨度最大，提高刚度采用了最经济的方法——I 型双柱式中塔，主梁形式采用了既经济又便于养护的开口截面结合梁。

桥名	国家	建成时间	主跨 (m)	提高刚度方法	主梁形式
武汉二七长江大桥	中国	2011 年	2×616	I 型双柱式中塔	开口截面结合梁
Rion-Antirion 大桥	希腊	2004 年	3×560	A 型四柱式中塔	开口截面结合梁
香港汀九大桥	中国	1998 年	448+475	设置中塔加劲索	开口截面结合梁
嘉绍大桥	中国	2013 年	5×428	提高主梁刚度	分体双箱梁

全世界 800m 以上跨度的双主跨悬索桥共有 4 座，其中 1 座在建。马鞍山长江大桥是最大跨度之一，提高刚度采用了最经济的方法——I 型双柱式中塔加塔梁固结。鹦鹉洲长江大桥提高刚度采用了倒 Y 型双柱中塔，主梁首次采用了既经济又便于养护的钢与混凝土结合开口断面。

桥名	国家	建成时间	主跨 (m)	提高刚度方法	主梁形式
泰州长江大桥	中国	2012 年	2×1080	倒 Y 型双柱中塔	闭口钢箱梁
马鞍山长江大桥	中国	2013 年	2×1080	I 型双柱式中塔	闭口钢箱梁
鹦鹉洲长江大桥	中国	2014 年	2×850	倒 Y 型双柱中塔	开口结合梁
Chacao 大桥	智利	建设中	1055+1100	A 型四柱式中塔	闭口钢箱梁

**(2) 动力特性和抗风性能比较**

武汉二七长江大桥在跨度最大的前提下，一阶和二阶竖弯频率与后续两座桥相比下降不多，显示出采用 I 型双柱式中塔提高刚度效果良好；主梁采用最经济的开口截面结合梁后颤振稳定性稍低，但仍然可以满足桥位检验风速要求。

桥名	主跨 (Hz)	一阶竖弯 (Hz)	二阶竖弯 (Hz)	颤振临界风速 (m/s)	颤振检验风速 (m/s)
武汉二七长江大桥	2×616	0.1646	0.2854	59.8	53.7
Rion-Antirion 大桥	3×560	0.1721	0.3012	78.0	74.0
香港汀九大桥	448+475	0.1650	0.3110	88.0	78.0
嘉绍大桥	5×428	0.2211	0.2340	105	76.4

马鞍山长江大桥与泰州长江大桥同为最大跨度，但马鞍山长江大桥一阶和二阶竖弯频率都高于泰州长江大桥，显示出采用 I 型双柱式中塔加塔梁固结提高刚度效果良好；马鞍山长江大桥的颤振稳定性远高于泰州长江

大桥，主要得益于移除梁底工字钢轨道的气动控制措施。

桥名	主跨	一阶竖弯 (Hz)	二阶竖弯 (Hz)	颤振临界风速 (m/s)	颤振检验风速 (m/s)
泰州长江大桥	2×1080m	0.0802	0.1026	57.0	56.7
马鞍山长江大桥	2×1080m	0.0843	0.1169	74.2	56.6
鹦鹉洲长江大桥	2×850m	0.1008	0.1277	52.5	47.1
Chacao 大桥	1055+1100m	0.0902	0.1209	65.0	55.0

鹦鹉洲长江大桥由于主跨相对较小，所以动力特性优于其它三座桥梁；但是由于主梁采用最经济的开口截面结合梁，原有结构颤振稳定性不满足要求，研发了风嘴与稳定板组合气动控制措施后，可以满足桥位检验风速要求。

### (3) 查新报告结论（其它附件 2-8、2-9）

- 除该项目研究成果外，未见“双主跨悬索桥颤振振型转捩机理、风嘴和上/下稳定板组合颤振气动控制技术”等方面的文献报道。
- 综上所述，在上述检索范围内，除该项目研究成果外，未见与该项目“双主跨缆索承重桥梁的动力特性优化和风致振动控制”查新点内容完全相同的文献报道。

### (4) 专家鉴定意见（其它附件 2-1、2-2、2-3）

- “项目针对双主跨缆索承重桥梁的动力特性明显劣化、导致风致振动显著增大的问题，从动力特性优化和风致振动控制两方面开展理论和试验研究，取得了五项主要创新性成果”。
- “研究成果直接应用于武汉二七长江大桥、马鞍山长江大桥和武汉鹦鹉洲长江大桥，推广应用于泸州长江六桥、温州瓯江北口大桥和宁波舟山港主通道桥等，社会效益和经济效益显著，具有广泛的推广应用价值。研究成果体现了大跨径双主跨缆索承重桥梁的先进设计理念，为国际桥梁技术的进步做出了中国贡献”。
- “双主跨悬索桥颤振振型转捩机理和风嘴和上/下稳定板组合颤振气动控制技术属国际首创”，“项目研究成果总体达到国际领先水平”。

### (5) 国内外重要科技奖励

- 本项目获得 2018 年度上海市科技进步奖一等奖。

### (6) 国内外专家引用

- 美国工程院院士、国际桥梁维护和安全协会主席、美国里海大学教授、国际著名桥梁专家 Dan M. Frangopol 教授在第五届国际桥梁维护、安全与管理大会的特邀报告和 SCI 国际期刊 Structure and Infrastructure Engineering (Vol.8, No. 1) 综述论文中，评价本项目研究成果是“专注于双主跨和双桥面的缆索承重桥梁跨越能力的提升”。（其它附件 2-4）

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 智利双主跨悬索桥 Chacao 大桥的设计师和业主工程师 Diego Pizarro、Matías A. Hube、Matías Valenzuela 和 Marcelo Márquez 曾多次引用和比较本项目研究成果，并总结本项目结论是“双主跨悬索桥关键受力构件是中塔，它是控制主缆和锚碇内力，影响桥梁静力和动力特性的关键”，“双主跨悬索桥必须考虑的三种临界状态是：中塔两端主缆索力水平分量不同导致的主缆相对于塔顶鞍座的滑动、中塔塔顶极端水平位移和主梁跨中极端竖向位移”。（其它附件 2-5）</li> <li>● 国内桥梁抗风著名高校西南交通大学的周强和廖海黎等，不仅引用马鞍山长江大桥和鹦鹉洲长江大桥的有限元模型和风洞试验数据等，而且引用了数值计算方法，并将其结果与作为精确结果的本项目成果进行比较。（其它附件 2-6）</li> <li>● 国内土木工程著名高校东南大学的王浩等，至少在两篇论文中多次引用本项目公开发表的论文，引用内容包括大跨度悬索桥跨越能力的提升及由此引出的双主跨悬索桥结构、国内外双主跨悬索桥工程实践总结、双主跨悬索桥和单主跨悬索桥在结构形式、动力特性和抗风性能方面主要区别等。（其它附件 2-7）</li> </ul>																				
应用情况：	<p>本项目研究成果直接应用于武汉二七长江大桥、马鞍山长江大桥和武汉鹦鹉洲长江大桥等 3 座双主跨缆索承重桥梁，推广应用于泸州长江六桥、温州瓯江北口大桥和宁波舟山港主通道桥等 3 座双主跨缆索承重桥梁，取得了显著的经济效益和社会效益，具有广泛的推广应用价值和国际竞争优势。</p> <p><b>(1) 直接应用项目</b></p> <p>本项目所取得的创新研究成果 1 和成果 5 直接应用于全世界最大跨度的双主跨斜拉桥——武汉二七长江大桥。（其它附件 1-1、1-2、1-3）</p> <p>本项目所取得的创新研究成果 2 和成果 3 直接应用于全世界最大跨度之一的双主跨悬索桥——马鞍山长江大桥。（其它附件 1-4、1-5、1-6）</p> <p>本项目所取得的创新研究成果 4 直接应用于双主跨悬索桥——鹦鹉洲长江大桥。（其它附件 1-7、1-8、1-9）</p> <p>直接应用项目和单位情况如下表所示。</p> <table border="1" data-bbox="320 1579 1364 2016"> <thead> <tr> <th>单位名称</th> <th>应用的技术</th> <th>应用对象及规模</th> <th>应用起止时间</th> <th>单位联系人/话</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>中铁大桥勘测设计院有限公司</td> <td>斜拉桥动力特性的改善方法；悬臂施工风振控制方法</td> <td>武汉二七长江大桥</td> <td>2011 年至今</td> <td>梅大鹏 027-8495720</td> </tr> <tr> <td>安徽省交通控股集团有限公司</td> <td>悬索桥中塔刚度优化方法；取消梁底工字钢轨道的颤振和涡振气动控制方法</td> <td>马鞍山长江大桥</td> <td>2008 年至今</td> <td>吕奖国 1380569075</td> </tr> <tr> <td>中铁大桥勘测设计院有限公司</td> <td>悬索桥中塔刚度优化方法；风嘴和上/下稳定板组合颤振气动控制技术</td> <td>鹦鹉洲长江大桥</td> <td>2011 年至今</td> <td>梅大鹏 0574-882119</td> </tr> </tbody> </table>	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/话	中铁大桥勘测设计院有限公司	斜拉桥动力特性的改善方法；悬臂施工风振控制方法	武汉二七长江大桥	2011 年至今	梅大鹏 027-8495720	安徽省交通控股集团有限公司	悬索桥中塔刚度优化方法；取消梁底工字钢轨道的颤振和涡振气动控制方法	马鞍山长江大桥	2008 年至今	吕奖国 1380569075	中铁大桥勘测设计院有限公司	悬索桥中塔刚度优化方法；风嘴和上/下稳定板组合颤振气动控制技术	鹦鹉洲长江大桥	2011 年至今	梅大鹏 0574-882119
单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/话																	
中铁大桥勘测设计院有限公司	斜拉桥动力特性的改善方法；悬臂施工风振控制方法	武汉二七长江大桥	2011 年至今	梅大鹏 027-8495720																	
安徽省交通控股集团有限公司	悬索桥中塔刚度优化方法；取消梁底工字钢轨道的颤振和涡振气动控制方法	马鞍山长江大桥	2008 年至今	吕奖国 1380569075																	
中铁大桥勘测设计院有限公司	悬索桥中塔刚度优化方法；风嘴和上/下稳定板组合颤振气动控制技术	鹦鹉洲长江大桥	2011 年至今	梅大鹏 0574-882119																	

<p><b>(2) 推广应用项目</b></p> <p>本项目所取得的创新研究成果 1 推广应用于两座在建的双主跨斜拉桥——泸州长江六桥（其它附件 1-12、1-13）和宁波舟山港主通道桥。（其它附件 1-14、1-15）</p> <p>本项目所取得的创新研究成果 2 和成果 3 推广应用于在建的双主跨悬索桥——温州瓯江北口大桥。（其它附件 1-10、1-11）</p> <p>推广应用项目和单位情况如下表所示。</p>										
		单位名称	应用的技术		应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/话			
		泸州市住房和城乡建设局	斜拉桥动力特性的改善方法；悬臂施工风振控制方法		泸州长江六桥	2015 年至今	王聪 1828306965			
		中交公路规划设计院有限公司	斜拉桥动力特性的改善方法；悬臂施工风振控制方法		宁波舟山港主通道桥	2016 年至今	魏乐勇 1861826575			
		浙江省交通规划设计研究院	悬索桥中塔刚度优化方法；稳定板颤振控制技术		温州瓯江北口大桥	2016 年至今	王昌将 1360570066			
主要知识产权和标准规范目录：	序号	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
	1	发明专利	一种刚度可调三向弹性支座	中国	ZL2015 10641906.6	2017 年 07 月 28 日	2566105	同济大学	葛耀君、赵林、陈旭	有效专利
	2	发明专利	桥梁伸缩缝装置	中国	ZL2015 10044464.7	2016 年 08 月 24 日	2209288	同济大学	杨晓瑜、葛耀君、李卓航、任兰萌	有效专利
	3	发明专利	一种桥梁颤振时域计算方法	中国	ZL2015 10830886.7	2018 年 06 月 01 日	2943423	东南大学	张文明	有效专利

	4	发明专利	大跨度桥梁风致灾变全过程的模拟方法	中国	ZL2013 10100537.0	2015 年 02 月 18 日	1590163	东南 大学	张 文 明	有效 专利
	5	发明专利	一种测试多主跨悬索桥抖振邻跨干扰效应的方法	中国	ZL2013 10117282.9	2014 年 12 月 17 日	1548644	东南 大学	张 文 明	有效 专利
	6	实用新型专利	一种风洞紊流场模拟装置	中国	ZL2015 20989	2016 年 04 月 20 日	5151445	同济 大学	葛 耀 君, 曹 曙 阳, 赵 林, 潘 晶 晶	有效 专利
	7	实用新型专利	钢混叠合、塔梁固结千米级连跨悬索桥	中国	ZL2009 20172219.4	2010 年 02 月 24 日	1365469	安徽 省高 速公 路总 公司	屠 筱 北, 殷 永 高, 杨 进, 张 敏, 张 强, 孙 敦 华, 徐 宏 光, 杨 光 武, 王 胜 斌, 章 征, 张 立 奎, 车 承 志,	有效 专利

									吴志刚等	
	8	计算机软件著作权	大涡模拟流体分析软件	中国	2009SR034728	2009年08月28日	0161727	同济大学		其他有效的知识产权
	9	计算机软件著作权	大跨度桥梁抖振随机有限元分析系统	中国	2012SR016716	2012年08月05日	0384752	同济大学		其他有效的知识产权
	10	计算机软件著作权	典型钝体断面风致气动力导纳函数数据库平台	中国	2012SR016681	2012年08月05日	0384717	同济大学		其他有效的知识产权
主要完成人情况:	1、葛耀君，2、殷永高，3、周志勇，4、杨詠昕，5、张强，6、赵林，7、徐宏光，8、张文明，9、曹丰产，10、朱斌									



<p>主要完成单位情况</p>	<p>1、同济大学，2、中铁大桥勘测设计院集团有限公司，3、安徽省交通控股集团有限公司，4、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司，5、武汉市城市建设投资开发集团有限公司，6、东南大学</p>
<p>完成人合作关系说明：</p>	<p>本次申报的国家科技进步奖项目名称是“特大双主跨缆索承重桥梁动力优化和风振控制关键技术及应用”，项目主要完成人有葛耀君、殷永高、周志勇、杨詠昕、张强、赵林、徐宏光、张文明、曹丰产、朱斌等 10 人。</p> <p>十位项目主要完成人来自六家单位：同济大学 5 位（葛耀君、周志勇、杨詠昕、赵林和曹丰产）、安徽省交通控股集团有限公司 1 位（殷永高）、中铁大桥勘测设计院集团有限公司 1 位（张强）、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司 1 位（徐宏光）、武汉市城市建设投资开发集团有限公司 1 位（朱斌）和东南大学 1 位（张文明，原同济大学博士研究生），其中，葛耀君教授为科研项目负责人、殷永高副指挥分管工程设计和科研、张强副院长和徐宏光院长是工程设计负责人、朱斌总工程师分管设计和科研。</p> <p>2006 年初马鞍山长江大桥工程设计开始，马鞍山长江公路大桥项目办（殷永高）会同安徽省公路勘测设计院（徐宏光）和中铁大桥勘测设计院有限公司（张强）负责工程设计、同济大学（葛耀君等）负责桥梁抗风研究，2008 年 12 月完成研究工作，并于 2013 年 12 月竣工；2006 年底，武汉二七长江大桥工程设计开始，武汉市城市建设投资开发集团有限公司（朱斌）会同中铁大桥勘测设计院有限公司负责工程设计、同济大学（葛耀君等）负责桥梁抗风研究，2011 年 4 月完成研究工作，并于 2011 年 12 月竣工；2006 年底，同济大学以马鞍山长江大桥和武汉二七长江大桥为依托工程，申请获得了国家 863 计划课题，2008 年底完成研究工作；2008 年初，武汉鹦鹉洲长江大桥工程设计开始，武汉市城市建设投资开发集团有限公司（朱斌）会同中铁大桥勘测设计院有限公司负责工程设计、同济大学（葛耀君等）负责桥梁抗风研究，2011 年 12 月完成研究工作，并于 2014 年 12 月竣工。</p>

同济大学作为本项目的主持单位，葛耀君、周志勇、杨詠昕、曹丰产和赵林为主要完成人；其他五个单位作为本项目的参加单位，殷永高、张强、徐宏光、张文明（原同济大学）、朱斌为主要完成人。在项目实施过程中主要完成人之间密切合作，实现了多项科技创新。

葛耀君、杨詠昕、曹丰产、赵林和朱斌是本项目科技创新 1 的主要完成人；葛耀君、殷永高、周志勇、张强、徐宏光和张文明是本项目科技创新 2 的主要完成人；葛耀君、殷永高、周志勇、张强、徐宏光和张文明是本项目科技创新 3 的主要完成人；葛耀君、周志勇和朱斌是本项目科技创新 4 的主要完成人；葛耀君、杨詠昕、曹丰产、赵林和朱斌是本项目科技创新 5 的主要完成人。