**项目基本情况表**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 铁路槽型梁-钢桁组合结构关键技术研究 |
| 提名单位意见 | 课题以广佛城际铁路1-50m槽型梁-钢桁组合结构为工程背景，在原铁道部科技司进行了重点课题立项，对其关键技术问题进行了系统的理论和试验研究，解决了该桥型应用于城际铁路桥梁工程实践中的关键技术问题。其主要成果如下：课题在国内首次对铁路槽型梁-钢桁组合结构的合理构造和总体受力计算方法进行了系统研究；研究提出 “强节点、弱杆件”的设计思路，充分发挥了节点区的极限承载力，结构受力合理；提出了外接式、分离耳板式以及整体耳板式三种节点构造及简化计算方法，经理论分析和1:3模型破坏性试验验证，节点构造合理、安全可靠。课题组依托本项目获得发明专利授权1项，实用新型专利6项，在《铁道科学与工程学报》、《中国铁道科学》、《Journal of Bridge Engineering》、《振动与冲击》等核心期刊发表论文9篇（其中：EI论文2篇，SCI论文1篇，CSCD论文4篇）。课题研究成果已成功应用于广佛城际铁路潭州水道特大桥，社会、经济、环保效益显著，总体达到国际先进水平。本项目的项目简介、参研单位、参研人员、知识产权等已在参研单位公示，无异议，同意提名申报陕西省科学技术进步奖三等奖。 |
| 项目简介 | 1、项目依托的工程背景广佛城际项目佛山西站至广州南站段，铁路跨过镇北路由高架转向地面敞开段，进入陈村地下车站。镇北路处立交净空受线路标高控制，线间距达6.2m，且处在城镇化程度较高的地区，设计中需考虑景观、降噪音的要求。经多方案比选，采用1-50m槽型梁—钢桁组合结构桥，上弦杆、上平联、钢腹杆采用钢结构，下弦杆采用“纵横梁+桥面板”的预应力混凝土槽型梁。双线大线间距槽型梁-钢桁组合结构是一种新型组合结构，不仅具有槽型梁有效结构高度低、降噪显著的优点，还具有钢桁梁自重轻、施工方便的优点；下弦采用混凝土结构，结构用钢量大幅度降低，并可方便适应各种轨道结构，同时结构刚度也较钢桁梁明显增强；仅上弦杆、腹杆采用钢结构，后期养护维修工作量、工程造价降低。该结构在城际铁路桥梁首次应用，构造复杂，受力呈现明显的空间受力特征，钢材和混凝土受力变形行为显著差异，钢-混节点受力复杂，因此对该结构关键技术开展研究。2、项目主要研究内容本课题以实际工程为载体，在原铁道部科技司立项重点课题，采用产、学、研、用一体化创新研究模式，由中铁第一勘察设计院集团有限公司主持完成研究；合作单位中南大学承担承担钢-混节点1:3模型破坏试验，配合节点区计算方法研究等；北京交通大学，承担车桥耦合动力仿真分析。主要研究内容如下：槽型梁-钢桁组合结构合理构造与计算方法；槽型梁-钢桁组合结构混凝土下弦的节点构造并开展模型试验；槽型梁-钢桁组合结构混凝土下弦力学特性；槽型梁-钢桁组合结构行车动力特性；槽型梁-钢桁组合结构施工工艺及质量控制措施。3、项目主要研究成果（1）报告完成《铁路槽型梁-钢桁组合结构关键技术研究》（总报告）；铁路槽型梁-钢桁组合结构节点试验》；《铁路槽型梁-钢桁组合结构行车动力特性分析报告》。（2）专利依托项目获发明专利1项：铁路预应力混凝土槽型梁部分斜拉桥；实用新型专利6项：一种钢桁上弦杆与腹杆的节点连接结构、一种钢桁上弦杆的平联结构、一种铁路钢桁-槽型梁组合桥梁结构、一种钢桁与混凝土连接处的连接防水结构、一种铁路纵梁型箱梁的纵横梁体系槽型梁、一种铁路预应力空腹式钢-混凝土组合结构连续梁。（3）论文在《铁道科学与工程学报》、《中国铁道科学》、《Journal of Bridge Engineering》、《振动与冲击》等核心期刊发表论文9篇。（4）获“2021年度铁一院科学技术一等奖”，获“2021年度中国铁建科学技术二等奖”、获“2014年全国优秀质量管理小组”。（5）其他依托本项目培养硕士研究生8名，学位论文8篇。本项目设置科学合理，与实际工程紧密结合，研究成果直接应用于广佛城际铁路工程实践，为该桥型推广应用奠定技术基础，前景广阔，具有良好的经济和社会效益。 |
| 客观评价 | 1、中国铁路总公司科技研究开发计划课题结题验收表该课题对铁路槽型梁－钢柏组合结构的合理构造和总体受力计算方法进行了研究；提出了三种节点构造方案，并进行了大比例模型的承载力试验；对整体结构进行了行车动力特性分析；提出了组合结构施工工艺及质量控制措施。研究成果在广佛城际潭州水道特大桥工程设计中得到了应用。经验收专家组评议，该课题研究宪成了合同规定的任务，达到了预期目标，提交的验收材料齐全，同意通过课题技术验收。2、课题《铁路槽型梁-钢桁组合结构关键技术研究》科技成果评审意见研究内容全面，资料齐全，数据翔实，研究思路清晰，方法正确，满足评审要求。课题组采用有限元分析、模型试验和工程实践相结合的研究方法，系统开展了结构合理构造、节点区模型破坏试验、行车动力特性、施工工艺及质量控制措施等关键技术研究，主要创新成果如下：（1）首次提出了槽型梁-钢桁组合结构，具有有效建筑高度低、结构刚度大、噪音降低明显的特点。（2）研究提出 “强节点、弱杆件”的设计思路，充分发挥了节点区的极限承载力，结构受力合理。（3）提出了外接式、分离耳板式以及整体耳板式三种节点构造及简化计算方法，经理论分析和1:3模型破坏性试验验证，节点构造合理、安全可靠。课题研究成果已成功应用于广佛城际铁路潭州水道特大桥，社会、经济、环保效益显著，总体达到国际先进水平。3、查新报告科学技术部西南信息中心查新中心对创新点进行了国内外查新：（1）首次提出了槽型梁-钢桁组合结构，具有有效建筑高度低、结构刚度大、噪音降低明显的特点；（2）研究提出槽型梁-钢桁组合结构“强节点、弱杆件”的设计理念，即在极限荷载作用下，与钢-混节点连接的受拉钢腹杆先屈服，钢-混连接节点后屈服，充分发挥了节点区的极限承载力，结构受力合理；（3）提出了适用于槽型梁-钢桁组合结构外接式、分离耳板式以及整体耳板式三种节点构造及简化计算方法，经理论分析和1:3模型破坏性试验验证，节点构造合理、安全可靠，给出了槽型梁-钢桁组合结构结合段设计思路流程图；（4）通过对槽型梁-钢桁组合结构三种节点的缩尺模型的滞回性能对比分析，发现整体耳板式节点在滞回曲线最为饱满、峰值荷载最大、耗能性能最佳；分离耳板式节点性能与之相近；外接式节点滞回曲线出现轻微的捏缩现象，饱满度不如耳板式节点，耗能性能稍差；在所检文献以及时限范围内，除本项目组成员单位所属文献外，国内外未见相同文献报道。 4、成果应用单位评价针对本桥的特点，设计单位精心设计，付出了艰辛的努力，成效显著。本桥设计桥型新颖，方案合理，技术先进，设计细节考虑周全，设计图纸内容全面，文件质量优良。相关成果直接应用于广佛城际铁路工程实践，为该桥型今后在高速铁路、普速铁路、城际铁路以及轨道交通等领域推广应用奠定技术基础，应用前景广阔，具有良好的社会效益。  |
| 推广应用情况 | 1、铁路槽型梁-钢桁组合结构关键技术研究应用于广佛环城际铁路潭州水道特大桥的设计。针对1-50m槽型梁-钢桁组合结构关键技术问题铁一院进行了课题立项，完成了《铁路槽型梁-钢桁组合结构关键技术研究》、并应用到本项目。课题进行了系统的理论分析和试验研究，解决了该桥型应用于城际铁路桥梁工程实践中的关键技术问题，尤其是通过一系列实体分析及实验研究，了解了槽型梁-钢桁组合结构受力行为，确定了合理构造；通过节点非线性有限元分析及大比例模型验证试验，确定了节点的设计形式，形成较为系统的槽型梁-钢桁组合结构设计方法；对槽型梁-钢桁组合结构的行车动力特性和施工方法也进行了较为系统的研究。槽型梁-钢桁组合结构是近年来发展起来的一种新型结构，由于上弦无平联（采用一字撑）、下弦采用混凝土结构，因此整体结构用钢量大幅度降低，可以方便的适应各种轨道结构，同时结构的刚度也较钢桁梁明显增强，后期养护维修的工作量和工程造价大大降低，为今后对立交高度或景观有较高要求桥梁的设计提供新的思路。针对本桥的特点，设计单位精心设计，付出了艰辛的努力，成效显著。本桥设计桥型新颖，方案合理，技术先进，设计细节考虑周全，设计图纸内容全面，文件质量优良。相关成果直接应用于广佛城际铁路工程实践，为该桥型今后在高速铁路、普速铁路、城际铁路以及轨道交通等领域推广应用奠定技术基础，应用前景广阔，具有良好的社会效益。 |

**主要完成人情况表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 排名 | 姓名 | 行政职务 | 技术职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目贡献 |
| 1 | 欧阳辉来 | 院副总工程师 | 正高级工程师 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 课题组组长，对项目的组织策划、组织等全面负责。具体贡献如下：（1）研究了钢混组合结构受力特点，首次提出了槽型梁-钢桁组合结构；（2）研究提出 “强节点、弱杆件”的设计思路；（3）系统研究了铁路槽型梁-钢桁组合结构的施工方案，提出了质量控制标准。（4）提出了外接式、分离耳板式以、整体耳板式三种钢-混节点构造及简化计算方法。 |
| 2 | 陈刚 | 所总工程师 | 高级工程师 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 课题组副组长，主持课题组日常研究工作。（1）研究了钢混组合结构受力特点；（2）制定了“外接式”、 “分离耳板式”、“整体式”三种节点试验方案；（3）系统研究了铁路槽型梁-钢桁组合结构的施工方案，提出了质量控制标准。（4）参与完成了外接式、分离耳板式以、整体耳板式三种钢-混节点构造及简化计算方法。 |
| 3 | 宋韬彬 | 院副总工程师 | 正高级工程师 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 作院副总工程师，对科研的推进给予指导和审核。具体贡献如下：（1）研究了钢混组合结构受力特点；（2）审定了“外接式”、 “分离耳板式”、“整体式”三种节点试验方案；（3）系统研究了铁路槽型梁-钢桁组合结构的施工方案，提出了质量控制标准。 |
| 4 | 杨靖 | 无 | 高级工程师 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 课题组主要成员，参与报告的编制和、有限元计算、试验等工作。具体贡献如下：（1）研究了钢混组合结构受力特点；（2）参与 “外接式”、 “分离耳板式”、“整体式”三种节点试验方案设计；（3）系统研究了铁路槽型梁-钢桁组合结构的施工方案，提出了质量控制标准。 |
| 5 | 宋德龙 | 无 | 高级工程师 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 课题组主要成员，参与报告的编制和、有限元计算、试验等工作。具体贡献如下：（1）研究了钢混组合结构受力特点；（2）参与 “外接式”、 “分离耳板式”、“整体式”三种节点试验方案设计；（3）系统研究了铁路槽型梁-钢桁组合结构的施工方案，提出了质量控制标准。 |
| 6 | 王海波 | 无 | 副教授 | 中南大学 | 中南大学 | 课题组成员，具体贡献如下：（1）完成了三种类型节点试验，每种类型节点试件3个，得到了实际破坏模式和节点承载力，得出组合桁架节点水平推力作用下工作性能和破坏机理；验证有限元分析方法和节点简化设计方法的正确性。(2)通过相关影响参数分析，完成了节点疲劳性能和抗震性能分析，提出了节点简化计算方法和相应的检算公式等。 |
| 7 | 郭薇薇 | 无 | 副教授 | 北京交通大学 | 北京交通大学 | 课题组成员，具体贡献如下：完成铁路槽型梁-钢桁组合结构车桥系统耦合动力仿真计算分析，对桥梁和桥上列车的运行安全、平稳性做出评价，为这类桥型的动力设计、推广与应用提供依据。 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**主要完成单位情况表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 排序 | 单位名称 | 对本项目的创新及推广贡献 |
| 1 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 本项目由中铁第一勘察设计院集团有限公司主持完成，总体负责本项目的开展，协调参加单位开展研究工作，并负责合作单位报告的审核。槽型梁-钢桁组合结构是一种新型组合结构，不仅具有槽型梁有效结构高度低、降低噪音明显的优点，还具有钢桁梁自重轻、施工方便的优点。下弦采用混凝土槽型梁结构，结构整体用钢量大幅度降低，可以方便的适应各种轨道结构，同时结构的刚度也较钢桁梁明显增强。上弦杆、腹杆采用钢结构，使得后期养护维修的工作量和工程造价大大降低。双线50m槽型梁-钢桁组合结构为城际铁路桥梁中首次采用，其受力呈现明显的空间受力特征，同时由于钢材和混凝土受力变形行为的差异，节点区应力状态十分复杂，是全桥设计的关键技术问题。结合该桥的特点，项目进行了如下内容的研究：研究槽型梁-钢桁组合结构合理构造与计算方法；研究槽型梁-钢桁组合结构混凝土下弦的节点构造并开展模型试验；研究槽型梁-钢桁组合结构混凝土下弦力学特性；研究槽型梁-钢桁组合结构行车动力特性；研究槽型梁-钢桁组合结构施工工艺及质量控制措施。 |
| 2 | 中南大学 | 完成了三种类型节点试验，每种类型节点试件3个，得到了实际破坏模式和节点承载力，得出组合桁架节点水平推力作用下工作性能和破坏机理；验证有限元分析方法和节点简化设计方法的正确性。完成了实桥的施工监控，验证了设计的可行性和安全性。 |
| 3 | 北京交通大学 |  以铁路槽型梁-钢桁组合结构桥梁为研究对象，建立车辆-桥梁空间动力相互作用模型，考虑相邻孔跨的影响，进行全桥动力仿真分析。对结构的合理构造方案及设计方法进行验证，对桥梁和桥上车辆的安全性做出评价，为今后同类桥梁的动力设计提供依据。 |

**完成人合作关系情况表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作起始时间 | 合作完成时间 | 合作成果 |
| 1 | 科研项目合作 | 欧阳辉来(1)、陈刚(2)、宋韬彬(3)、杨靖(4)、宋德龙(5)、王海波(6)、郭薇薇(7) | 2012.06 | 2019.01 | 铁路槽型梁-钢桁组合结构关键技术研究 |
| 2 | 发明专利 | 欧阳辉来(1)、陈刚(2)、宋德龙(5) | 2013.11 | 2016.01 | 铁路预应力混凝土槽型梁部分斜拉桥 |
| 3 | 实用新型专利 | 欧阳辉来(1)、陈刚(2) 、宋德龙(5) | 2013.11 | 2014.04 | 一种铁路钢桁-槽型梁组合桥梁结构 |
| 4 | 实用新型专利 | 欧阳辉来(1)、陈刚(2) 、宋德龙(5) | 2013.11 | 2014.04 | 一种钢桁上弦杆与腹杆的节点连接结构 |
| 5 | 实用新型专利 | 欧阳辉来(1)、陈刚(2) 、宋德龙(5) | 2013.11 | 2014.04 | 一种铁路纵梁型箱梁的纵横梁体系槽型梁 |
| 6 | 实用新型专利 | 欧阳辉来(1)、陈刚(2) | 2013.11 | 2014.04 | 一种钢桁上弦杆的平联结构 |
| 7 | 实用新型专利 | 欧阳辉来(1)、陈刚(2) 、宋德龙(5) | 2013.11 | 2014.04 | 一种钢桁与混凝土连接处的连接防水结构 |
| 8 | 实用新型专利 | 欧阳辉来(1)、陈刚(2) | 2013.11 | 2014.04 | 一种铁路预应力空腹式钢-混凝土组合结构连续梁 |
| 9 | 论文 | 王海波(6) | 2012.06 | 2016.04 | 一种钢-混组合桁架桥下弦杆节点极限承载力研究 |
| 10 | 论文 | 王海波(6) | 2012.06 | 2016.03 | 钢—混组合桁架节点处PBL剪力键群受力性能研究 |
| 11 | 论文 | 王海波(6) | 2012.06 |  2016.06 | Connection Performance in Steel–Concrete Composite Truss Bridge Structures |
| 12 | 论文 | 王海波(6) | 2012.06 |  2015.04 | 外接式钢桁-槽型梁组合桁架节点模型试验研究 |
| 13 | 论文 | 王海波(6) | 2012.06 |  2015.06 | 钢-混凝土组合桁架外接式节点优化分析 |
| 14 | 论文 | 郭薇薇(7) | 2012.01 | 2012.02 | 铁路新型钢\_混凝土组合桁架桥在列车作用下的动力响应分析 |
| 15 | 论文 | 欧阳辉来(1) |  2012.06 | 2014.04 | 钢—混凝土组合桁架节点非线性分析 |
| 16 | 论文 | 王海波(6) |  2012.06 |  2015.08 | 外接式钢—混组合桁架铁路桥端节点试验对比分析 |
| 17 | 论文 | 王海波(6) |  2012.06 |  2016.04 | 耳板式组合桁架节点试验及有限元分析 |

**主要知识产权、标准、论文等目录**

**（一）专利**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 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 | 有效状态 |
| 1 | 发明专利 | 铁路预应力混凝土槽型梁部分斜拉桥 | 中国 | ZL201310602276.2 | 2016年01月20日 | 1894492 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 陈刚 欧阳辉来 许振中 朱小康 易成 罗勇 司万胜 宋德龙 | 有效 |
| 2 | 实用新型专利 | 一种铁路钢桁-槽型梁组合桥梁结构 | 中国 | ZL201320706746.5 | 2014年04月23日 | 3528508 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 欧阳辉来 陈刚 柴唐焰 陈应陶 许振中 倪燕平 朱小康 易成 罗勇 司万胜 宋德龙 | 有效 |
| 3 | 实用新型专利 | 一种钢桁上弦杆与腹杆的节点连接结构 | 中国 | ZL201320693402.5 | 2014年04月23日 | 3527639 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 欧阳辉来 陈刚 柴唐焰 陈应陶 许振中 倪燕平 朱小康 易成 罗勇 司万胜 宋德龙 | 有效 |
| 4 | 实用新型专利 | 一种铁路纵梁型箱梁的纵横梁体系槽型梁 | 中国 | ZL201320706806.3 | 2014年04月23日 | 3528261 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 欧阳辉来 陈刚 柴唐焰 陈应陶 许振中 倪燕平 朱小康 易成 罗勇 司万胜 宋德龙 | 有效 |
| 5 | 实用新型专利 | 一种钢桁上弦杆的平联结构 | 中国 | ZL201320693426.0 | 2014年04月23日 | 3526828 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 欧阳辉来 陈刚 柴唐焰 陈应陶 许振中 倪燕平 朱小康 易成 罗勇 司万胜 宋德龙 | 有效 |
| 6 | 实用新型专利 | 一种钢桁与混凝土连接处的连接防水结构 | 中国 | ZL201320706774.7 | 2014年04月23日 | 3526477 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 欧阳辉来 陈刚 柴唐焰 陈应陶 许振中 倪燕平 朱小康 易成 罗勇 司万胜 宋德龙 | 有效 |
| 7 | 实用新型专利 | 一种铁路预应力空腹式钢-混凝土组合结构连续梁 | 中国 | ZL201320745228.4 | 2014年5月28日 | 3591862 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 赵亮 欧阳辉来 许振中 陈刚 | 有效 |

**（二）专著及论文**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 题目 | 刊物名称/出版社 | 刊物类型 | 发表日期 | 著作/发表单位 | 作者 | 备注 |
| 1 | 论文 | 一种钢-混组合桁架桥下弦杆节点极限承载力研究 | [土木工程学报](http://epub.cnki.net/kns/Navi/ScdbBridge.aspx?DBCode=CJFD&BaseID=TMGC&UnitCode=&NaviLink=%e5%9c%9f%e6%9c%a8%e5%b7%a5%e7%a8%8b%e5%ad%a6%e6%8a%a5) | EI检索 | 2016年4月 | 中南大学 | [尹国安](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e5%b0%b9%e5%9b%bd%e5%ae%89&scode=32976726%3b10474427%3b)、[王海波](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e7%8e%8b%e6%b5%b7%e6%b3%a2&scode=32976726%3b10474427%3b) |  |
| 2 | 论文 | 钢—混组合桁架节点处PBL剪力键群受力性能研究 | 中国铁道科学 | EI检索 | 2016年3月 | 中南大学 | [王海波](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e7%8e%8b%e6%b5%b7%e6%b3%a2&scode=10474427%3b34648181%3b)、[杜元涛](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e6%9d%9c%e5%85%83%e6%b6%9b&scode=10474427%3b34648181%3b) |  |
| 3 | 论文 | Connection performance in stee-concrete composite truss bridge structures | Journal of Bridge Engineering(ASCE) | SCI检索 | 2017年3月 | 中南大学 | Guo-an Yin、 Fa-xing Ding、 Hai-bo Wang |  |
| 4 | 论文 | 铁路新型钢\_混凝土组合桁架桥在列车作用下的动力响应分析 | 振动与冲击 | 中文核心 | 2012年2月 | 北京交通大学 | 郭薇薇、夏禾、李慧乐、张田 |  |
| 5 | 论文 | 外接式钢桁-槽型梁组合桁架节点模型试验研究 | 铁道科学与工程学报 | CSCD | 2015年4月 | 中南大学 | [王海波](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e7%8e%8b%e6%b5%b7%e6%b3%a2&scode=10474427%3b32976726%3b32976727%3b32976728%3b)、[尹国安](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e5%b0%b9%e5%9b%bd%e5%ae%89&scode=10474427%3b32976726%3b32976727%3b32976728%3b)、[李一竹](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e6%9d%8e%e4%b8%80%e7%ab%b9&scode=10474427%3b32976726%3b32976727%3b32976728%3b)、李少毅 |  |
| 6 | 论文 | 钢-混凝土组合桁架外接式节点优化分析 | 铁道科学与工程学报 | CSCD | 2015年6月 | 中南大学 | [王海波](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e7%8e%8b%e6%b5%b7%e6%b3%a2&scode=10474427%3b33315250%3b32976726%3b)、[李国提](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e6%9d%8e%e5%9b%bd%e6%8f%90&scode=10474427%3b33315250%3b32976726%3b)、[尹国安](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e5%b0%b9%e5%9b%bd%e5%ae%89&scode=10474427%3b33315250%3b32976726%3b) |  |
| 7 | 论文 | 外接式钢—混组合桁架铁路桥端节点试验对比分析 | 铁道科学与工程学报 | CSCD | 2015年8月 | 中南大学 | [王海波](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e7%8e%8b%e6%b5%b7%e6%b3%a2&scode=10474427%3b32976726%3b)、[尹国安](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e5%b0%b9%e5%9b%bd%e5%ae%89&scode=10474427%3b32976726%3b) |  |
| 8 | 论文 | 钢—混凝土组合桁架节点非线性分析 | 铁道建筑 | 中文核心 | 2014年4月 | 中铁第一勘察设计院集团有限公司 | 欧阳辉来 |  |
| 9 | 论文 | 耳板式组合桁架节点试验及有限元分析 | 建筑结构 | CSCD | 2016年4月 | 中南大学 | 王海波、李一竹、[尹国安](http://epub.cnki.net/kns/popup/knetsearchNew.aspx?sdb=CJFQ&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e5%b0%b9%e5%9b%bd%e5%ae%89&scode=10474427%3b32976726%3b)、刘荣 |  |