



装配式承重支架

1. 前言

随着我国城市化建设步伐的加快，钢结构桥梁也将迎来新的建设高潮。目前钢结构桥梁以钢箱梁、钢板梁、钢混组合梁等结构形式为主，且多为市政桥梁，部分涉及跨河、跨路等施工，而支架法是钢结构桥梁施工中运用最广的一种方法。经过统计分析，桥梁施工支架用钢量约为钢桥用钢量的 10%~15%，支架体系的深入研究有利于节约项目成本，带来可观经济和社会效益。

传统承重支架多采用现场焊接方式制作安装，存在制安质量紧密依赖工人水平、难以整体周转、钢构件遗留焊疤处理成本高、零碎短管再利用难度大、焊接烟尘污染大等难题。针对上述问题，中铁四局开展了“可装配式承重支架关键技术研究”，设计开发一套严格有效的装配式钢管承重支架，并适应多种平面尺寸及高度调整来增大周转效率，减少因现场焊接及改造造成的浪费，同时保证支架的整体质量，提高施工工效，降低施工成本，达到安全高效、节能环保、经济美观的目的。

2. 技术特点

2.1 支架设计模块化

装配式承重支架通过 7 种主要零构件实现了高度为 2.5m、4.5m 和 6.5m 与平面为 2m×2m、2m×3m 和 3m×3m 任意组合的标准节，且同一编号杆件可在不同支架间周转使用，方便施工。

2.2 构件制作工厂化

装配式承重支架的标准件均在工厂进行加工，构件制作精度高。

2.3 现场安装装配化

装配式承重支架采用全螺栓装配，减少了支架现场焊接作业及烟尘污染，提高了安装效率和质量。

2.4 安全设施标准化

将装配式承重支架的高空作业平台及爬梯等安全设施进行标准化设计、制造、安装，降低施工安全风险。

3. 适用范围

本成果适用于采用支架法施工的钢箱梁、钢板梁、钢混组合梁、钢箱拱、钢桁拱等钢结构桥梁工程。



4. 工艺原理

装配式承重支架主要由预制基础、柱底调节段、标准节、柱顶调节段、柱顶分配梁以及附属设施等组成，在支架内设置标准化上下爬梯以及施工操作平台等附属构件，见图 4-1 和图 4-2。通过全螺栓装配的方式，达到支架装配的目的，同时通过模块化设计解决周转利用的难题。



图 4-1 装配式承重支架三维图



图 4-2 装配式承重支架实物

4.1 标准节设计原理

通过对胜利大街跨长白西路桥、引江济淮新桥大道桥、广德路桥、引江济淮文昌西路桥、阜裕路大桥等项目的研究与分析，市政钢箱梁、钢板梁、钢混组合梁横隔板间距多为 2.0m~3.0m，桥涵净空高度多不超过 20m，同时根据《公路工程技术标准》JTG B01-2014 要求，三级公路、四级公路净高应为 4.5m，高速公路、一级公路、二级公路的净高应为 5.00m，因此支架标准节立柱纵横距考虑 2m×2m、2m×3m 和 3m×3m 共 3 种平面尺寸，标准节立柱高度按为 2.5m、4.5m 和 6.5m 考虑设计，并在支架柱顶、柱底设置 500mm 或 800mm 高的调节段进行支架的标高调节。每个标准节均由钢立柱、直腹杆和斜腹杆拼装而成，见图 4.1-1。

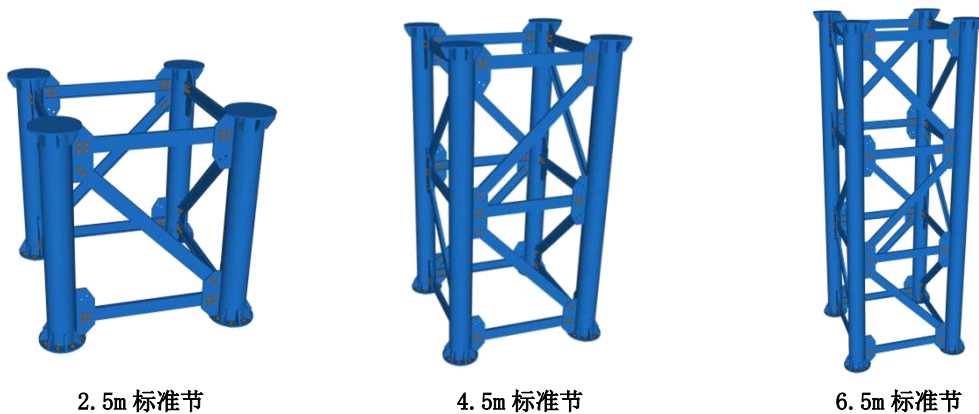


图 4.1-1 标准节示意图

标准节设计原则如下:

①钢立柱两端均为法兰盘,立柱中间为连接节点板;同一高度立柱仅为一种,可以相互替代使用;立柱设计采用 Q355B 材质,根据工程实际荷载大小选用 $\Phi 325 \times 8\text{mm}$ 或 $\Phi 450 \times 10\text{mm}$ 规格;立柱按高度依次编号为 Z1、Z2、Z3。

②直腹杆分别适配 2m、3m 柱间距,同一长度可以相互替代使用,材质设计为 Q235B,可根据需要选用 $\Phi 114 \times 4\text{mm}$ 圆管或 [16a 槽钢截面;直腹杆按长度依次编号为 G1、G2。

③斜腹杆分别适配 2m、3m 柱间距,可组装成 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 3\text{m}$ 和 $3\text{m} \times 3\text{m}$ 共 3 种平面尺寸,同一长度可以相互替代使用,材质设计为 Q235B,可根据需要选用 $\Phi 114 \times 4\text{mm}$ 圆管或 [16a 槽钢截面;斜腹杆按长度依次变化为 G3、G4。

④柱顶、柱底调节段按需设计成 500mm、800mm 两种,材质、规格与立柱相同,可根据实际工程自由搭配选用。

4.2 连接节点构造设计

装配式承重支架节点连接应尽量避免现场焊接,标准节各零构件之间均采用螺栓连接,柱底调节段与标准节、标准节与柱顶调节段之间均采用螺栓连接,所以螺栓均采用 10.9 级 M20 高强螺栓。

柱顶调节段与分配梁(双拼 I40a)通过专用压板及 10.9 级 M20 高强螺栓进行连接;柱底调节段与钢制路基箱通过 10.9 级 M20 高强螺栓连接,与混凝土预制基础的预埋板采用焊接,见图 4.2-1。



混凝土预制基础

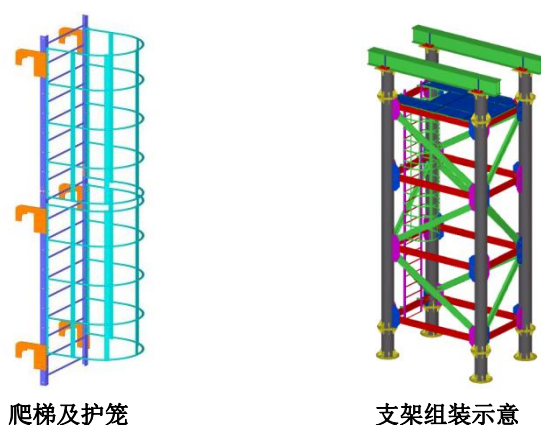


钢制路基箱基础

图 4.2-1 柱底调节段连接示意图

4.3 安全防护设施设计

在满足结构安全的前提下,为做到施工简便、连接可靠,推进安全标准化建设,保证施工安全,对爬梯、施工操作平台等附属安全设施按每个标准节分别配置 1 个平台与 1 个爬梯进行专项设计,见图 4.3-1。



爬梯及护笼

支架组装示意

图 4.3-1 爬梯及安全平台组装示意图

5. 施工工艺流程及操作要点

5.1 标准节加工制作

所有零配件均在工厂加工制作，通过数控设备完成零件的下料，确保外形尺寸误差满足规范要求；通过工装胎架确定立柱节点板及端部法兰位置，然后利用合理的工艺确保法兰板和节点板孔群位置精度；采用机器人完成标准件的焊接工序，有效保证构件加工进度。构件涂装体系为环氧富锌底漆 80um+环氧云铁中间漆 60um+聚氨酯面漆 um，面漆颜色为中国中铁企业标准色：蓝色。标准件加工制作完成后进行信息化标识，经检验合格后出厂。主要加工工艺见图 5.1-1。



a) 法兰数控制孔



b) 精确定位



c) 标准件焊接



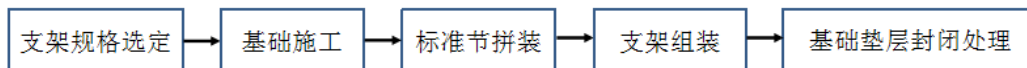
d) 喷砂除锈

图 5.1-1 主要加工工艺图

5.2 装配式承重支架安装

5.2.1 工艺流程

采用装配式承重支架施工时具体安装实施流程如下：



5.2.2 支架规格选定

支架具体数量、型号根据实际工程荷载、地勘及相关需求确定，通过放样对不同标准节任意组合，完成支架设计。

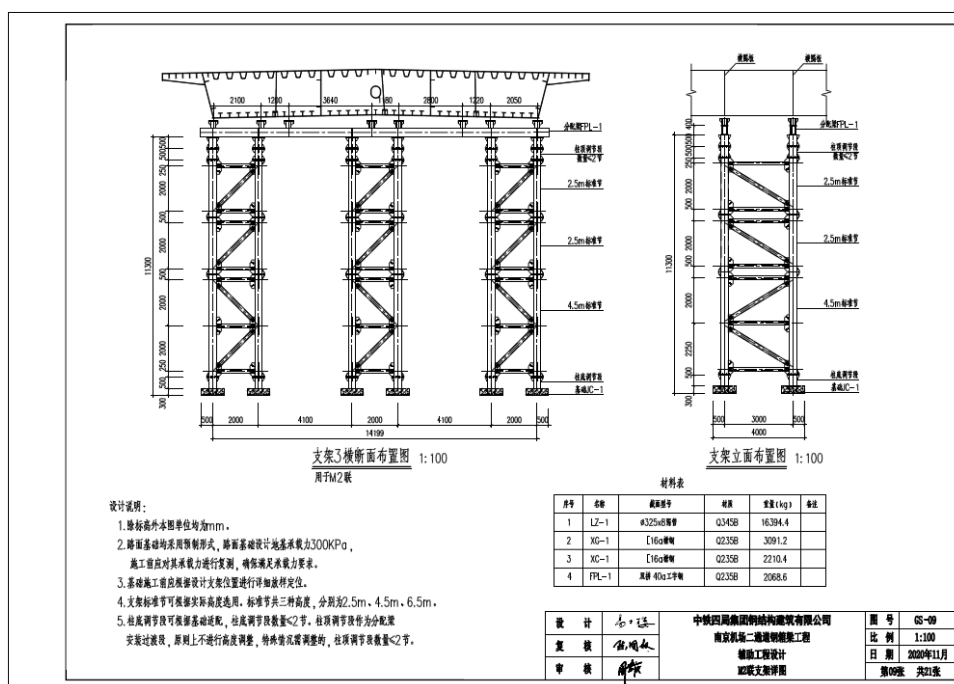


图 5.2-1 支架设计图示意

5.2.3 基础施工

经过地基承载力复测、基准放样、标记、基础垫层找平、安装预制基础等工序完成基础施工。



地基承载力复测



混凝土预制基础及柱底调节段

图 5.2-2 地基承载力复测及混凝土预制基础



5.2.4 标准节拼装

标准节采用全螺栓连接，立柱之间采用横杆和斜腹杆连接，形成标准节。以 6.5m 标准节（2m×3m）为例，共需 4 根立柱 G3、8 根直腹杆 G1、8 根直腹杆 G26 根斜腹杆 G3、6 根斜腹杆 G4。标准节组装时通过立柱连接板上螺栓孔定位。



a) 立柱就位



b) 单片桁架组装



c) 安装直腹杆



d) 标准节组装

图 5.2-3 标准节组装图

5.2.5 装配式支架组装

将柱底调节段与支架底部栓接固定，整体吊装至基础上方，与基础连接固定；安装操作平台后，吊装后续的标准段及操作平台，直至达到设计高度，继续安装柱顶调节段、分配梁及落梁装置，完成支架组装。



图 5.2-4 支架整体吊装



图 5.2-5 支架安装完成图

5.2.6 基础垫层封闭处理

测量支架标高、轴线无误后，采用水泥砂浆封闭基础四周垫层，以防止雨水冲刷影响基础稳定，见图 5.2-6。



图 5.2-6 钢制路基箱基础周围封闭处理

5.3 劳动力组织

表 1 为装配式承重支架安装劳动力组织情况，劳动力配置数量为单工作面建议配置数量，实际劳动力配置根据现场作业面数量调整。

表 1 劳动力组织情况表

序号	人员配置	单位	数量	备注
1	装配工	位	4	/
2	焊工	位	1	使用混凝土预制基础时，柱底调节段焊接施工
3	测量员	位	1	/
4	吊装指挥及司索工	位	2	含吊车司机 1 人

6. 材料与设备

本实用技术成果无需特别说明的材料，采用的机具设备见表 2。



表 2 机具设备表

序号	机械设备	单位	数量	备注
1	25 吨汽车吊	台	1	/
2	吊带	条	2	/
3	全站仪	台	1	/
4	电动扳手	把	4	/
5	撬棍	个	2	/
6	卷尺	把	1	/
7	CO ₂ 气体保护电焊机	台	1	使用混凝土预制基础时，配套使用

7. 质量控制

7.1 执行的标准、规范

7.1.1 《钢结构焊接规范》（GB 50661-2011）

7.1.2 《钢结构工程施工质量验收标准》（GB 50205-2020）

7.1.3 《钢结构工程施工规范》（GB 50755-2012）

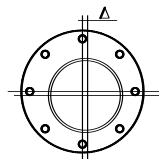
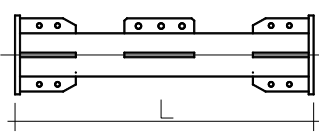
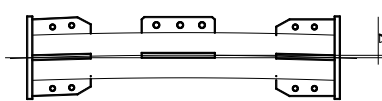
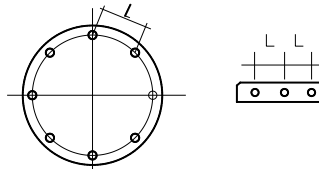
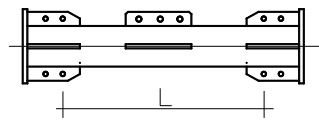
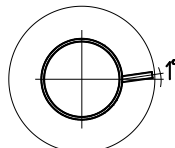
7.2 质量保证措施

7.2.1 建立健全质量管理制度为保证工程质量目标，认真落实质量责任终身保证制度，制定具有针对性的各项质量管理制度。

7.2.2 加强装配式承重支架加工制作过程中的精度控制和原材料进场检验，以保证支架拼装质量，标准件加工质量按表 3 进行验收。

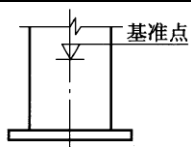
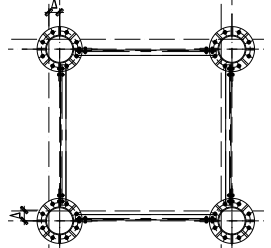
表 3 标准件加工质量验收标准

序号	检查项目	允许偏差（mm）	示意图
1	管节圆度	$D/200$ ，且 ≤ 2.0 D 为圆管直径	
2	法兰面（焊接后）平整度	1.0	
3	法兰与管轴的垂直度	1.0	

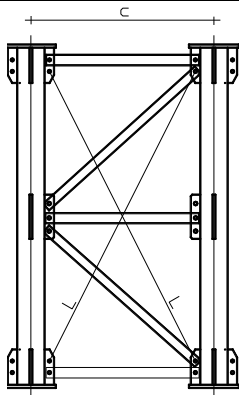
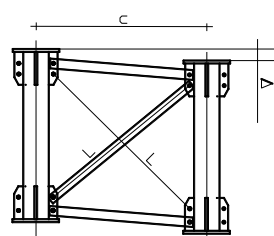
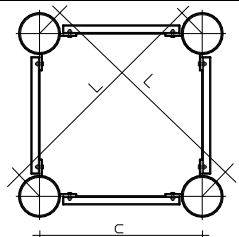
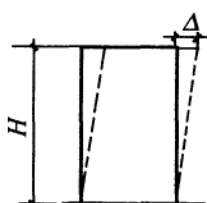
4	法兰孔群圆心与管轴线同轴度	1.0	
5	杆件长度（法兰外侧）	± 1.0	
6	单根管弯曲变形失高	$L/1500$, 且 ≤ 3.0 L 为杆件长度	
7	两孔间距	± 1.0	
8	连接板之间孔距	± 1.0	
9	连接板垂直度（相对管轴）	$< 1^\circ$ (1.0)	

7.2.3 装配式承重支架安装前需严格控制基础位置和标高，以保证支架整体定位准确及垂直度满足要求。支架组拼及安装质量建议参照表 4 进行控制。

表 4 装配式承重支架组拼及安装质量验收标准（参考）

序号	检查项目	允许偏差 (mm)	示意图
1	基础上柱底高差	1.0	
2	基础上支架柱定位轴线 Δ	1.0	



3	支架单片及总装宽度 c		≤ 2.0	
4	支架单（组）片对角线 L	单斜撑（节）	± 2.0	
		两根斜撑以上（节）	± 3.0	
5	支架单（组）片支管相对高差 Δ	单斜撑	< 3.0	
		两根斜撑以上	< 2.0	
6	支管相对位置对角线		± 3.0	
7	支架整体垂直度 Δ		$H/1000$, 且不大于 20	

8. 安全措施

8.1 执行的法律、法规

8.1.1 《中华人民共和国安全生产法》（2021 修订版）第十三届全国人大常委会第二十九次会议通过，自 2021 年 9 月 1 日起施行。

8.2 支架安装安全措施

8.2.1 建立健全安全生产保证体系和各级安全组织，建立安全生产管理及考核制度，落实安全生产责任制，做到安全管理横向到边，纵向到底，不留死角，定期考核。

8.2.2 作业人员进入施工现场必须戴安全帽、系好安全带。不得穿高跟鞋、硬底易滑鞋，作业人员按规定正确使用防护用品等。



8.2.3 加强安全生产教育，使施工人员树立“安全第一，预防为主，综合治理”的意识，持证上岗，特殊工种要经考核合格，获有效操作证后方可上岗。坚持每周安全生产教育不少于2学时，提高安全意识。

8.2.4 动火作业需要按照流程进行审批；在重点部位配备足够数量的消防器材、设施、设备、加强对施工人员的消防技术培训，提高防火应急措施。

8.2.5 严格按照图纸对安装完成后的临时支撑架检查，对杆件型号、支架尺寸进行校核。

8.2.6 在临时支撑架上张贴反光标志，提醒车辆行人；

8.2.7 涉路支架四周设防撞墩和隔离护栏；在施工区段两端设置限速标志，提醒路过车辆谨慎慢行；施工期间安排专人对车辆进行引导。

8.2.8 装配式承重支架拆除阶段，加强区域管理，设置警戒线，严禁管件抛掷。

8.2.9 施工现场夜间施工时，必须确保足够亮度的照明灯光，现场电工加强值班巡视，做好详细记录。

9. 环保、节能措施

9.1 执行的法律、法规

9.1.1 《中华人民共和国环境保护法》2014年修订版

9.1.2 《中华人民共和国节约能源法》2018年第二次修订

9.2 环保节能措施

9.2.1 施工驻地及施工现场设固定的垃圾桶或垃圾池盛放垃圾，垃圾定期收集，分类标识存放，并运至指定的垃圾处理场或废品回收利用，不得乱扔、乱倒垃圾。

9.2.2 注意夜间施工的噪音影响，尽量采用低噪音施工设备，对不符合尾气排放标准的机械设备，不能使用。

9.2.3 凡对环境有污染的废物，如挖方弃土、建筑垃圾、生产垃圾、废弃材料等，弃在指定地点处理。

9.2.4 工程完工后，临时租用的土地立即复耕归还。严格按照环保及生态环境保护的要求，对临时设施、施工工点、取弃土场及其他施工区域范围做好环保及生态环境的恢复工作。

9.2.5 在施工过程中对施工场地作好排水系统设置，将施工含泥沙污水集中沉淀后排放，避免工程施工废水直接排入市政管道。

9.2.6 在整个施工过程中生产、生活设施均按环保要求布设，并接受当地政府及有关部门的监督，采取安全、保卫、环境保护和水土保持措施，上报业主和监理工程师及有关部门，并对其提出的要求进行整改。



10. 技术经济效益等分析

10.1 应用情况

目前该成果已成功在中铁四局深圳黄木岗桥、合肥畅通二环高架桥、南京机场二通道钢桥梁、固蚌高速匝道桥、深圳东部过境翠宝路高架桥、中铁十局包公大道高架桥应用，施工现场施工标准化水平和文明施工形象得到极大提升，得到当地政府建设管理部门及各参建单位的广泛赞誉。

10.2 经济效益和社会效益

依托装配式承重支架研究成果已申请专利 8 项，其中发明专利 2 项；已授权实用新型专利 4 项、德国专利 2 项。装配式承重支架标准化产品在多个桥梁项目的应用，提高了施工标准化水平，提升了现场文明施工形象，获得了业主、监理等各方的认可。深圳市、南京市、合肥市等多个城市政府建设管理部门多次组织当地施工企业进行观摩学习，有力提升了企业品牌知名度和影响力，社会效益显著。

装配式承重支架成果将支架零件的类型、规格、材料、颜色等统一，按照通用标准节进行模块化设计制作安装，并同步考虑安全设施（如爬梯、操作平台等）的标准化设计，具有装拆方便快捷，可以重复利用的优点。

相较于传统焊接支架，装配式支架在施工过程中焊接量极大减少，施工工效和材料周转率更高。从企业成本角度，通过对中铁四局合肥畅通二环高架桥、深圳黄木岗桥、南京机场二通道钢桥梁、深圳东部过境翠宝路高架桥、固蚌高速匝道桥等 5 个项目装配式承重支架使用情况进行分析，共使用装配式支架 3222 吨，支架按制运安拆摊销 10 次考虑，实际制作运输安拆成本 440.58 万元，平均单价 1367 元/吨；若按照传统式支架设计施工，预计制作运输安拆成本 886.27 万元，平均单价 2751 元/吨。

装配式支架的推广使用，较传统式支架制作运输安拆平均每吨节约成本 1383 元，节约创效率 50.29%，并与使用支架重量成正比，经济效益显著。按股份公司每年承揽支架法施工的钢桥梁 50 万吨来计算，需要钢构支架总量约 5 万吨，若实现装配式支架全覆盖，则每年可创造效益 6915 万元。

装配式承重支架采用模块化设计、工厂化制造、装配化施工的理念，具有安全高效、节能环保、经济美观等特点，能有效提高施工标准化水平、提升现场文明施工形象，并降低施工安全风险，经济社会效益显著，具备广阔的市场推广前景。

11. 工程实例

11.1 合肥市畅通二环宿松路桥

中铁四局集团承揽的合肥市畅通二环宿松路桥项目，钢箱梁全长约 830 米，总用钢量约 12600 吨，该桥梁施工中采用装配式支架替代传统焊接支架形式，共使用装配式支架约 1545 吨，通过项目内周转循环的方式，减少改造工作量及材料损耗，减少施工工期 18 天，节约了大量材料和人工费，取得了良好的经济效益。

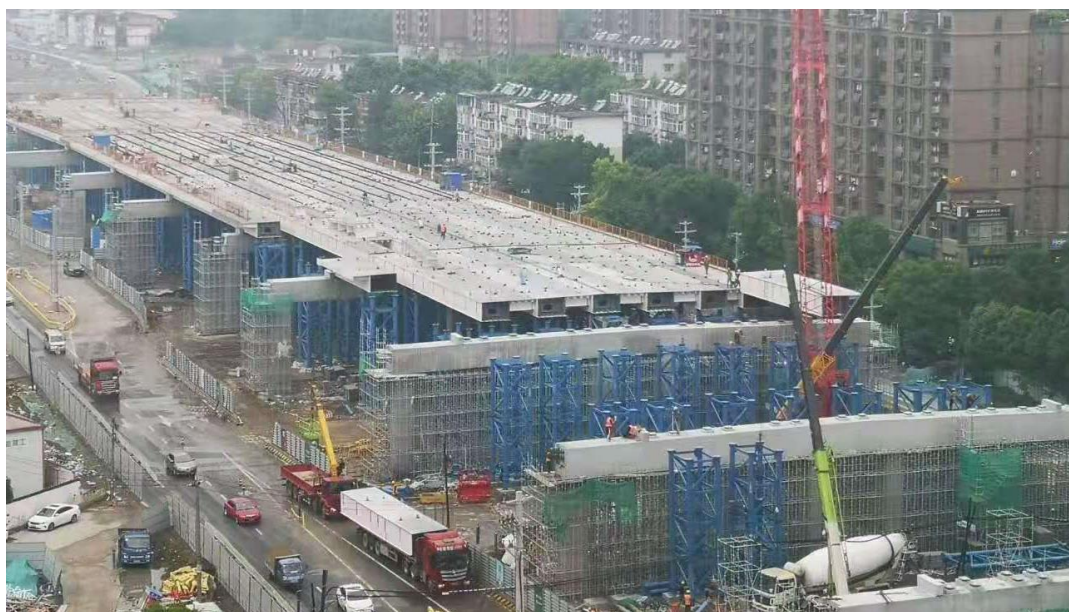


图 11.1-1 合肥市畅通二环宿松路节点施工现场

11.2 深圳黄木岗综合交通枢纽桥梁

中铁四局集团承揽的深圳黄木岗综合交通枢纽桥梁工程，桥梁全长 289.9m，主桥采用跨度 125m 的钢箱梁提篮拱结构，全桥总用钢量约 6200 吨。该项目成功应用“装配式承重支架”，施工标准化程度高，提高了施工效率，降低了安全风险，完成了既定的安全、质量、环保目标，受到了业主、监理单位一致好评。



图 11.2-1 深圳黄木岗桥架设现场

11.3 南京机场二通道钢桥梁

中铁四局集团承揽的南京机场二通道钢桥梁项目，主要包括约 721m 匝道钢箱梁和 96m 主线钢箱梁，总用钢量 5333 吨，工程采用装配式承重支架进行钢箱梁架设，现场文明施工及标准化程度较高，当地政府建设管理部门多次组织现场观摩，取得了显著的社会效益。



图 11.3-1 南京机场二通道钢桥梁架设现场

11.4 合肥广德路桥项目

中铁四局集团承揽的合肥广德路桥项目，主桥采用新颖独特的全钢拱桥结构，跨径布置为 50+135+45m，全长 230m，总用钢量 10000 吨。主桥钢拱肋采用装配式承重支架施工，施工标准化程度高，提高了施工效率，降低了安全风险，经济、社会效益显著。



图 11.4-1 合肥广德路桥项目现场

11.5 合肥包公大道高架桥

中铁十局集团承揽的合肥包公大道高架桥项目，总用钢量为 19677 吨，均为市政钢箱梁工程，采用支架法施工，该项目共计使用装配式承重支架 1672t，装配式支架在拼装过程中，比传统焊接支架速度快，工效高，施工标准化程度高，提高了施工效率，降低了安全风险，经济、社会效益显著。



图 11.5-1 包公大道高架桥项目现场