

# 大跨度钢箱连续梁架设施工工法

(TGJGF-03·04-07)

中铁九局集团有限公司

## 一、前言

鞍山市五一路立交桥跨越鞍山车站北端道岔咽喉区,设计采用三跨连续钢箱—预应力混凝土结合梁。最大孔跨组合为 $66.37\text{m}+97.2\text{m}+73.44\text{m}$ ,最小曲线半径 $52\text{m}$ 。钢箱梁单节最大吊长 $38.99\text{m}$ ,最大吊重 $248\text{t}$ ,其吊长、吊重、跨度均属我国境内同类型桥梁之最。

本工程采用 $5500\text{kN}$ 履带吊车拼装架设方案。本工程被评为辽宁省2001年度优质主体结构工程、2002年度省级“市政金杯示范工程”和省级优质工程称号。对本工程施工技术进行总结后形成本工法。

## 二、工法特点

1. 履带吊架设方案,操作灵活,辅助设施少,钢箱梁一次到位,架梁速度快,工效高,施工安全,质量可靠。
2. 临时支承墩结构设计适用于铁路线间施工。

## 三、适用范围

1. 适于能满足 $5500\text{kN}$ 履带吊车施工条件的任何大吨位桥梁吊装。
2. 临时支承墩设计采用异性偏心预应力钢结构,适用于铁路线间及其他任何场所架梁施工。

## 四、工艺原理

钢箱梁架设采用分节吊装方案。利用临时支承墩支承钢箱梁并作为拼接作业平台,吊车将钢箱梁吊到临时墩上,墩顶设置钢砂箱支座,人工调整对位,逐孔进行高强螺栓连接。三跨钢箱梁全部拼接完毕安装体外索,浇筑桥面板钢筋混凝土,施加桥面板预应力,张拉体外索,最后拆除临时支承墩,完成体系转换,形成三孔连续梁。

## 五、施工工艺

### (一) 工艺流程(见图1)

### (二) 施工方法

#### 1. 施工准备

##### (1) 临时支承墩设计、施工

a. 临时墩基础 铁路线间的临时墩基础采用人工挖孔C25钢筋混凝土灌注桩。桩基按群桩布置,每墩不少于4根,成桩直径不小于 $1\text{m}$ 。桩基承载能力应能满足承载需要。桩基承台采用厚 $1\text{m}$  C25钢筋混凝土。承台大小除满足桩基布置和临时墩墩身安装要求外,还应满足外力合力偏心矩的要求。如果临时墩偏心弯矩较大,需进行必要的桩基抗倾覆验算。铁路线外的临时墩基础均采用C20混凝土扩大基础,要求基础置于稳定土层上。

b. 墩身设计与施工 在铁路股道间的临时支承墩,相对于钢箱梁拼接所需的支承位置侵入铁路行车限界 $30\text{cm}$ ,侵占市政有轨电车限界 $65\text{cm}$ 。为满足铁路限界的要求,临时支承墩中心位置偏心于钢箱梁拼接缝位置布置。为满足钢箱梁安装要求,墩顶平台采用悬臂结构,使墩顶平台中心与钢箱梁拼接缝位置对正。

墩柱接受压杆件计算。悬臂梁的不平衡弯矩采用拉力索平衡。将拉力索直

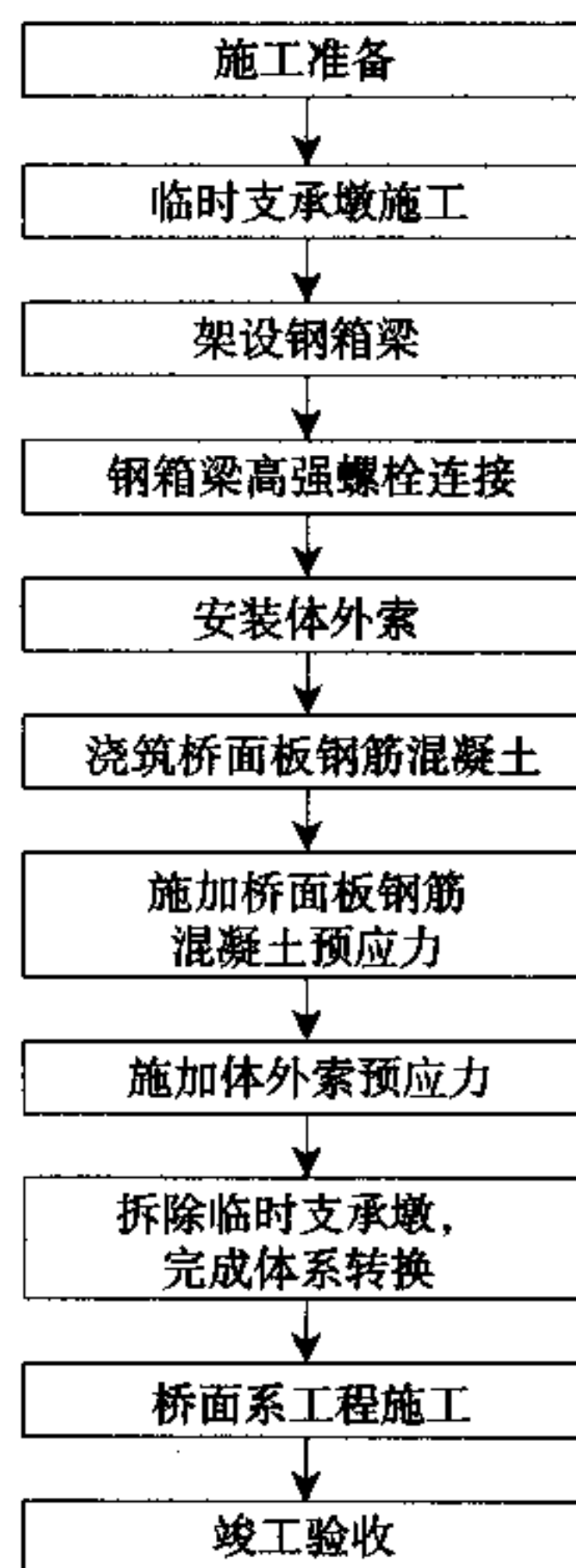


图1 施工工艺流程

接锚固在承台内。拉力索采用预应力钢绞线。

钢箱梁拼接宽度为1m,临时支点间距离为1.6m,墩顶平台宽度为2m,外围设置作业支架、围栏。墩顶平台主要承重结构为4根I45工字钢横梁,2根一组,中心对应于砂箱支承位置。

铁路线外临时墩墩柱用八三式军用墩或钢管柱组拼。

c. 钢箱梁架设过程中的稳定性设计方案 钢箱梁均在竖曲线坡道上,受温差应力的作用,会发生伸长、收缩变形,很容易产生位移。为保证箱梁的稳定,在铁路线西侧匝道交汇处设置五个刚性临时支承墩。刚性临时墩采用钢筋混凝土结构,用以锁定钢箱梁。吊装钢箱梁时,将第二片梁的尾端、第三片梁两端、第四片梁的前端锁定在墩顶上。锁定方法:在临时墩顶设置预埋锚固螺栓,利用钢箱梁的拼接螺栓孔(换成长杆螺栓)连结墩顶预埋件。每片梁每端锁定4点,每点设置4个螺栓,每个螺栓锁定拉力不小于100kN。锁定连接件待钢箱梁全部拼装完后拆除,并补足所缺高强螺栓。

d. 钢砂箱设计 为保证钢箱梁的临时墩顺利拆除和钢箱梁的稳定性,临时支承墩上安装钢砂箱支座。每片梁每端设置2个支座,承载力满足1200kN。

## (2) 钢箱梁委外制造

按照钢箱梁设计图纸要求,以及施工的工期计划,委托具有钢结构桥梁制造资质能力的工厂制造。

## (3) 租赁5500kN吊车

按照钢箱梁结构尺寸和重量要求,以及工期计划,租赁具有吊装能力的吊车。目前全国有5500kN履带式吊车2台,分别在大庆油田和鞍山钢铁公司。

## (4) 修筑5500kN吊车进出场道路

5500kN履带式吊车自重360t,空载下履带压力达150kPa,吊车的进出场道路强度至少应满足吊车空载下行走要求,纵坡不超过5%;吊装场地根据所需吊装梁位设置,应专门修筑,不得小于15m×15m,其强度要满足吊车重载下履带压强要求。此外,还要修筑吊车组装场地。吊车组装场地为15m×15m,吊杆组装平台为40m×12m。根据列车封锁条件,需要时增设吊车躲避铁路列车的待避场地。

## (5) 钢箱梁进场验收

钢箱梁进场后,先存放在桥梁一侧场地内,由项目经理组织采购人员、质量检查员、工程技术人员检查验收。主要检查钢箱梁的焊接质量、几何尺寸、拼接口尺寸,并逐项记录清楚,与交货厂家办理交接验收手续,作好记录。技术人员根据拼接口的尺寸误差、施工技术规范要求,制定钢箱梁拼接施工方案。

## 2. 钢箱梁吊装

### (1) 钢箱梁场内运输

钢箱梁运输用150t平板运输车。梁重小于150t、长度短于车身长度的,用1辆平板车运输,单车头牵引;超过上述标准的钢箱梁,用2辆平板车跨装运输,双车头牵引。运输时注意编号、拼接头方向。由专人指挥、协调、调度、检查确认,按吊装作业计划时间送到指定位置。吊装期间,备用大马力推土机和压道机各1台,补修道路。

### (2) 吊装钢箱梁

钢箱梁吊装前,技术人员对临时墩顶进行测量放线,预先标记出钢箱梁拼接轴线、梁缝位置、支承位置、墩顶标高。

每片钢箱梁布置4个吊点。吊环、吊具均应满足吊装作业要求。

吊装工作开始前,吊车按计划预先进入吊装场地等待。运输车将钢箱梁运至起吊地点。起吊前先试吊,试吊起吊高度不超过30cm,然后停稳,待安检员检查、确认吊钩、钢丝绳、吊环等安全后,正式起吊。钢箱梁吊装过程中,在吊车旁边和墩顶处设2名指挥员。墩顶以下由吊车旁指挥员指挥,墩顶上由墩顶上指挥员指挥。钢箱梁的起落均应缓慢匀速进行,禁止突然停止、快速下落,严防产生过大的加速度。钢箱梁吊到临时墩上,用短枕木支垫,落稳后摘下钢丝绳,进行拼接作业,吊车按计划退到安全地点停放。

## 3. 箱梁拼接——高强螺栓连接

拼接时用三作用液压千斤顶进行调位,将钢箱梁按设计位置准确对中,用钢砂箱支承牢固,用连接板与相邻跨钢箱梁临时连接,增加稳定性。



相邻两跨钢箱梁调整到位后,安装钢梁底板拼接板,挂腹板、上翼缘拼接板。连接时,能穿过螺栓的孔眼,用普通螺栓连接,插不进螺栓的孔眼,打入冲钉,每一块拼接板,打入冲钉数和普通螺栓数不得少于孔眼总数的 1/3,其中冲钉不得多于 2/3。拧紧普通螺栓,全部孔眼对正时,在剩余孔眼安装高强螺栓,随后将安装冲钉和普通螺栓的孔眼逐个换成高强螺栓。高强螺栓的施拧采用扭矩法,按初拧、复拧、终拧三步进行。初拧、复拧使用音响手动扳手,终拧使用电动定扭矩扳手。使用检查扭矩扳手检查螺栓的终拧质量。施拧由拼接板中央向四周辐射,初拧须使板层达到密贴,使螺栓受到不小于设计轴力 20% 的预拉力,初拧扭矩取终拧扭矩的 50%,初拧完后,用相同的扭矩复拧,并作上白色标记,以防漏拧。终拧扭矩由螺栓复验报告中的实验数据计算确定。施加扭矩时必须连续、平稳,完成后用红色油漆标记。螺栓施拧后用松扣、回扣法检查,不满足要求的更换螺栓,保证螺栓不欠拧、不超拧、不漏拧。每一块拼接板的初拧、复拧、终拧须在同一天完成。

#### 4. 箱梁间横隔板安装

横隔板的安装待顺桥向三跨钢箱梁安装完后进行。可用吊车直接将其吊装到位,亦可利用钢箱梁两相邻上翼缘板架设吊架,吊装到位,横隔板对正后与钢箱梁焊成一体。

#### 5. 安装体外索

整孔钢箱梁安装完后,按设计竖曲线、平曲线安装体外索的转向器、孔道、传力柱等,穿插体外索,安装锚垫板、锚具。

#### 6. 桥面板(钢箱梁顶板)钢筋混凝土施工

体外索装完之后,安装顶板模板支架、铺设顶板底模、绑扎钢筋、安装预应力筋孔道、安装边模板,浇注混凝土、覆盖养生。

#### 7. 施加桥面板混凝土预应力

当顶板混凝土强度达到设计强度的 90% 以上时,穿顶板预应力钢筋束,张拉预应力筋。之后进行孔道压浆、封锚。

#### 8. 施加体外索预应力

顶板混凝土预应力筋张拉完后,进行体外索张拉、孔道注浆、封锚。

#### 9. 钢箱梁与永久支承墩刚性焊接

钢箱梁全部预应力施加完后,即可进行钢箱梁与跨中两个永久支承墩的焊接,形成钢箱梁与支墩的刚性连接。

#### 10. 拆除临时支承墩——形成三跨连续梁

钢箱梁与永久支墩焊接完成后,从跨中向两端对称拆除所有临时支墩。

### 六、机具设备(见表 1)

表 1 机具设备

| 序号 | 机械名称     | 规格                                  | 数量   | 备注     |
|----|----------|-------------------------------------|------|--------|
| 1  | 履带吊车     | 5500kN(租赁)                          | 1 台  | 吊装钢箱梁  |
| 2  | 平板运输车    | 150t                                | 2 辆  | 运输钢箱梁  |
| 3  | 三作用千斤顶   | 800kN                               | 10 台 | 调整钢箱梁  |
| 4  | 普通千斤顶    | 500kN                               | 4 台  | 辅助起落梁  |
| 5  | 音响手动扭矩扳手 |                                     | 10 把 | 施拧高强螺栓 |
| 6  | 电动定扭矩扳手  |                                     | 10 把 | 施拧高强螺栓 |
| 7  | 检查手动扭力扳手 |                                     | 2 把  | 校正高强螺栓 |
| 8  | 汽车吊      | 250kN                               | 1 台  | 桥上运料   |
| 9  | 钢筋切断机    |                                     | 2 台  |        |
| 10 | 钢筋对焊机    |                                     | 1 台  |        |
| 11 | 钢筋弯曲机    |                                     | 2 台  |        |
| 12 | 电焊机      | 交流 30kW                             | 5 台  |        |
| 13 | 混凝土搅拌站   | 60m <sup>3</sup> /h                 | 1 座  |        |
| 14 | 混凝土输送泵   | 80m <sup>3</sup> /h,水平 300m、垂直 100m | 1 台  |        |
| 15 | 混凝土振捣器   | 插入式 8 台,平板式 2 台                     | 10 台 |        |
| 16 | 双作用张拉千斤顶 | 2500kN                              | 4 台  | 张拉预应力筋 |
| 17 | 双作用张拉千斤顶 | 3500kN                              | 2 台  | 张拉体外索  |
| 18 | 电动液压油泵   | ZB-4/500 型                          | 4 台  |        |

七、劳动组织

钢箱梁吊装作业劳动力资源计划见表2。

表2 劳动组织

| 序号 | 工作项目     | 人数 | 人 力 组 织                                       |
|----|----------|----|---|
| 1  | 指挥组      | 3  | 总指挥1名,副指挥2名                                   |
| 2  | 工程技术组    | 10 | 钢结构工程师、土木工程师各2名,测量工6名                         |
| 3  | 安全、质量检查组 | 2  | 质量监察工程师1名,施工安全监察工程师1名                         |
| 4  | 吊车司机     | 2  | 250kN汽车吊                                      |
| 5  | 架梁组 起重工  | 12 | 吊装梁、起落梁,拼接梁以及安装临时支承墩,吊梁拉绳,钢筋加工、桥面混凝土工程、预应力筋张拉 |
| 6  | 高强螺栓连接   | 16 |   |
| 7  | 辅助架梁     | 40 |   |
| 8  | 架工       | 6  |   |
| 9  | 钢筋工      | 20 |   |
| 10 | 混凝土工     | 10 |   |
| 11 | 木工       | 10 |   |
| 12 | 电焊工      | 5  |   |
| 13 | 铁道线路工    | 20 | 线路防护、线路整道                                     |

八、质量控制

(一)质量标准

本工法施工执行下列规范和标准:《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041—2000)、《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071—98)、《钢结构高强度螺栓连接的设计、施工及验收规程》(JGJ82—91)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ024—85)、《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ025—86)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85)。

(二)质量控制措施

施工中,除严格执行上述标准外,强调采取如下措施:

1. 钢箱梁进场后,必须进行严格的检查和验收。
2. 钢箱梁进场后的存放,应垫平垫稳,严防钢箱梁产生受力不均及温度应力变形。拼接口的摩擦面应保持干燥、整洁,严防损坏。随钢箱梁一起进场的抗摩擦试件应妥善保管。
3. 施拧高强螺栓的扭矩扳手,作业前后均应校正,误差不大于使用扭矩值的±5%。
4. 每班操作后,扭矩扳手收回统一保管,专人校正,校核结果填入记录表中。扭力扳手的使用按人编号,登记备案记录。

九、安全措施

1. 所有施工作业人员应经过安全教育和技术培训,桥上高空作业人员还要经过体检、专业培训,合格后方准上岗。对架梁操作规程、施工注意事项进行逐项技术交底。
2. 架梁工作统一指挥,从指挥长至班组长责任层层包保,逐级落实责任范围。设专职安全员进行全程旁站监督检查。做好高空作业人员的安全防护工作。
3. 高度重视铁路行车安全。制定严格的铁路施工防护措施,严格按照《铁路技规》规定提前做好施工防护工作,确保铁路行车安全。
4. 5500kN履带吊车的进出场道路要加强碾压,确保吊车运行平稳。吊车进出场以及吊装作业全过程必须有专人负责指挥,按作业计划规定路线行走,不得越线。
5. 梁上作业人员的扳手、手锤、撬棍等,要用绳拴在围栏内,以防掉下伤人。

十、技术经济分析

1. 采用本工法架梁速度快。鞍山五一路立交桥合同工期为2001年3月5日开工,2002年8月30日竣工。实际开工日期为2001年4月7日,交付使用日期为2001年11月23日,提前工期9个月开通使用。
2. 采用此工法架梁,施工辅助设施少,利用钢箱梁底板作桥面板钢筋混凝土施工的底模板支撑,施工投入少。鞍山五一路立交桥跨铁路钢箱梁部分合同价为8425万元,实际支出7250万元,节约支出1255

万元,成本降低率 14.9%,经济效益非常可观。

3. 采用吊车架梁,施工安全,工程质量可靠。本桥中线、竖曲线、水平标高控制良好,工程质量验收评定全部达到优良标准。

#### 十一、工程实例

鞍山市五一路立交桥,位于长大铁路 307km+200m 处,连续跨越鞍山车站北部道岔区及鞍钢铁路专用线等 13 条铁路线。跨越结构采用三跨连续钢箱—预应力混凝土结合梁,钢箱梁设体外预应力索,桥面板混凝土设纵向预应力。

2 匝道 3 孔曲线连续钢箱梁跨径为 66.37m+97.2m+73.44m,全长 236.01m,曲线半径 200m;东西线桥 3 孔钢箱梁跨径为 60m+90m+61.45m,全长 211.45m;3 匝道 3 孔曲线钢箱梁跨径为 55.04m+82.08m+45.91m,全长 183.03m,S 形曲线半径 90m,反向曲线半径 52m。南北匝道与东西匝道在铁路上方交汇。本桥跨度、钢箱单节吊长、单节吊重均为我国同类型桥梁之最。

全桥钢箱梁共设计 43 个节段,其中跨越铁路线的 14 个、铁路线以外的 29 个。共需设置 40 个临时支墩,其中跨铁路线间的 19 个、铁路线以外的 21 个,铁路线间的临时墩均处于侵限位置。

用 5500kN 履带式吊车架梁,以临时支墩辅助钢箱梁拼装的方案施工。

本桥经北京市政工程研究院的静载、动载试验检测,各项指标均满足《城市桥梁设计荷载标准》(CJJ77—98)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85)的要求。其中跨中挠度校验系数与应力系数小于 0.7,实测承载力试验的最大挠度、应变及相应的残余变形均满足规范要求,最大试验荷载作用下中跨和边跨挠度实测值均小于理论计算值,外观检测结果表明,加载前、加载后钢箱梁顶板和底板混凝土均未出现裂缝,曲线桥外侧偏转角实测值远小于计算值。总体检验质量优良。

执笔:刘东跃 李 歧 关增智 王朝龙 矫永岩