

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.231420

# 双层钢桁梁斜拉桥关键施工技术

顾小岗, 毛颀琼

(宏润建设集团股份有限公司, 上海市 200235)

**摘要:** 大跨度钢桁架桥因结构轻便美观且承载能力强而被广泛应用于跨江跨河桥梁工程中。宁波市西洪大桥为独塔双层钢桁梁斜拉桥, 跨径 82 m+138 m+116 m, 总长 336 m, 桥梁主桥跨余姚江。为确保下方河道通航, 综合考虑施工成本、水上施工安全性等条件, 通过对顶推法、支架法等常见钢桁架桥施工技术的研究分析, 设计了一种适应西洪大桥的新型临时支架体系, 即在钢桁梁节点下设置预留航行通道的钢管桩支撑体系, 以完成双层钢桁梁的安装。对于双层钢桁梁桥钢主桥施工相关的临时支架体系设计验算和施工、钢桁架组拼与栓接施工控制、钢桁架桥线形控制等关键技术进行的分析和介绍, 可为今后同类工程提供参考。

**关键词:** 钢桁梁桥; 临时支架体系; 节段吊装; 栓接施工; 线形控制

中图分类号: U445.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0200-05

## Key Construction Technology of Double-deck Steel Trussed Cable-stayed Bridge

GU Xiaogang, MAO Siqiong

(Hongrun Construction Group Co., Ltd., Shanghai 200235, China)

**Abstract:** Long-span steel trussed bridge is widely used in the river-crossing bridge projects because of its lightweight and beautiful structure and strong load-bearing capacity. Ningbo Xihong Bridge is a one-pylon double-deck steel trussed cable-stayed bridge with a span of 82 m+138 m+116 m. Its total length is 336 m, and its main bridge spans the Yuyao River. In order to ensure the navigation of the river channel below, taking into account the construction cost, water construction safety and other conditions, through the research and analysis of the common steel trussed bridge construction techniques such as incremental launching method and bracket method, a new type of temporary bracket system suitable for Xihong Bridge is designed, which is set up the steel pipe pile bracing system under the steel trussed nodes in order to complete the installation of the double-layered steel truss girders. The key technologies of design, checking calculation and construction of temporary bracket system related to the construction of the main steel bridge, construction control of steel truss group assemble and bolting, and control of the steel trussed bridge alignment of the double-deck steel trussed bridge are analyzed and introduced, which can provide the reference for the similar projects in the future.

**Keywords:** steel trussed bridge; temporary bracket system; segment hoisting; bolting construction; alignment control

## 0 引言

随着城市交通的发展,需跨越大江大河的大型桥梁越来越多。钢桁架桥以其承载力高、跨越能力强、施工速度快等优势而得到了广泛应用。根据相关文献,目前国内外大跨度双层钢桁梁斜拉桥主桥施工多采用顶推法拼装施工技术。龚迎春<sup>[1]</sup>基于上

海龙东大道改建工程,对大跨度钢桁架桥的分段预制拼装及整体顶推技术进行了研究总结;周广庆<sup>[2]</sup>依托青尼罗河大桥工程,对大跨度钢桁架桥整体顶推施工方法进行了总结介绍。但采用支架法安装技术的相关报告较少。

本文结合宁波市西洪大桥工程,根据河道通航需求、工期节点要求、安全性、经济性,对顶推法、支架法进行了对比论证,最终采用了支架法拼装施工技术。结合监控量测措施,通过栓接施工控制和支架标高控制,有效保证了钢桁架桥的拼装质量和整桥线形。本文介绍的施工关键技术等,可为同类型钢桁架桥施工提供参考。

收稿日期: 2023-12-26

作者简介: 顾小岗(1975—),男,学士,高级工程师,从事桥梁、隧道等市政工程专业管理工作。

通信作者: 毛颀琼(1992—),女,学士,工程师,从事桥梁、隧道等市政工程专业管理工作。电子邮箱: 834709958@qq.com

## 1 工程概况

西洪大桥为宁波市广元快速路跨余姚江的节点工程。该桥主桥为独塔双层钢桁梁斜拉桥,设计为双向8车道,其中上层为城市快速路,下层为6道机动车道加2道人非道城市主干路。西洪大桥主桥效果图见图1。



图1 宁波西洪大桥主桥效果图

主桥钢桁梁的桁式采用N形桁,桁高9.5 m,标准节段间长度11.5 m,横向设置3片桁,每片桁之间的中心距为17.75 m;跨径布置为82 m+138 m+116 m,主桥桁梁全长336 m。每个节段由2片边桁架和1片中桁架组成,每片边桁架和中桁架又拆分成上、下弦杆和竖、斜腹杆(见图2);单个节段重量为295~482 t,大多数节段重量分布在400 t上下,重量最小的是MB20节段,重量295 t,重量最大的是MB7节段,重量482 t。分段后最重的杆件重量为42.647 t,各节段之间采用高强螺栓连接;由于顶板有行车要求,各节段的弦杆与顶板连接采用焊接、腹板和底板采用栓接的方式,在现场施工时按照先焊后栓的顺序进行。

主桥整体上按照从主墩向南北边墩方向进行施工。将杆件运输到现场后,利用主桥下部结构施工栈桥作为钢桁架施工期间的运输通道和汽车吊站位施工平台。其中MB20、MB19节段采用汽车吊进行安装,其余节段采用2台架梁吊机进行安装。节段

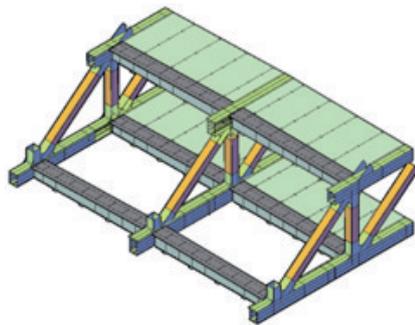


图2 钢桁梁节段构造图

划分情况见图3。

## 2 临时支架体系

本工程双层钢桁梁全长336 m,按照设计图纸<sup>[3]</sup>,将整个桁架梁分成30个制作安装节段。根据通航需求,在钢桁梁节段下采用22排共66组<sup>[4]</sup>临时支架,支架纵向间距11.5 m,横向间距17.75 m,其中在余姚江中部区域预留2个宽30 m的单向通航孔。支架体系布置图见图4。临时支架都采用“钢管桩基础+格构式钢立柱+分配梁+调节平台”的结构形式,下部钢管桩根据上部荷载分布,选用 $\phi 426 \times 8$  mm、 $\phi 600 \times 8$  mm这2种规格钢管,临时通航孔两侧和中桁架下方位置采用 $\phi 600 \times 8$  mm钢管,其余位置采用 $\phi 426 \times 8$  mm钢管;格构柱钢管规格跟随下方钢管桩规格。分配梁的大小根据上部荷载分布情况设置,全桥分配梁共选择热轧型钢HN400 mm $\times$ 200 mm $\times$ 8 mm $\times$ 13 mm、HM588 mm $\times$ 300 mm $\times$ 10 mm $\times$ 20 mm、HN700 mm $\times$ 300 mm $\times$ 13 mm $\times$ 24 mm和HN900 mm $\times$ 300 mm $\times$ 16 mm $\times$ 28 mm这4种规格。分配梁顶部设置调节段,调节段选用热轧型钢HW300 mm $\times$ 300 mm $\times$ 10 mm $\times$ 15 mm,通过精确切割调节段的高度来精确控制临时支架的标高,从而精确控制桁架梁的安装线形。支架体系剖面示意图见图5。

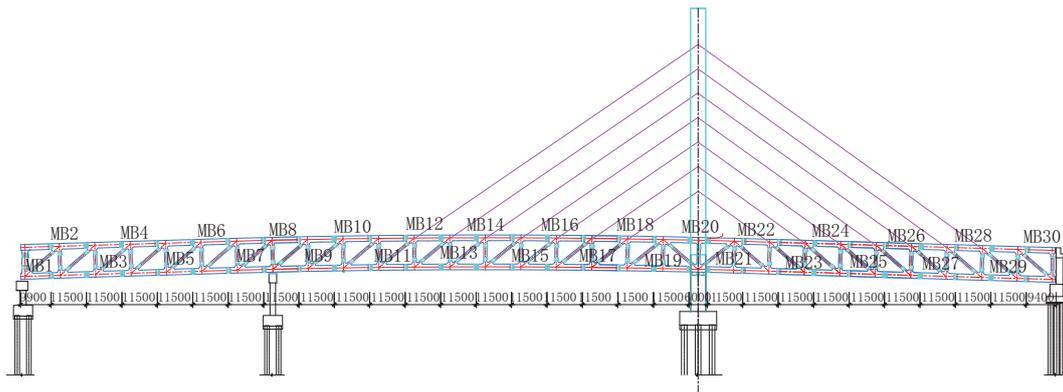


图3 宁波西洪大桥节段划分图(单位:mm)

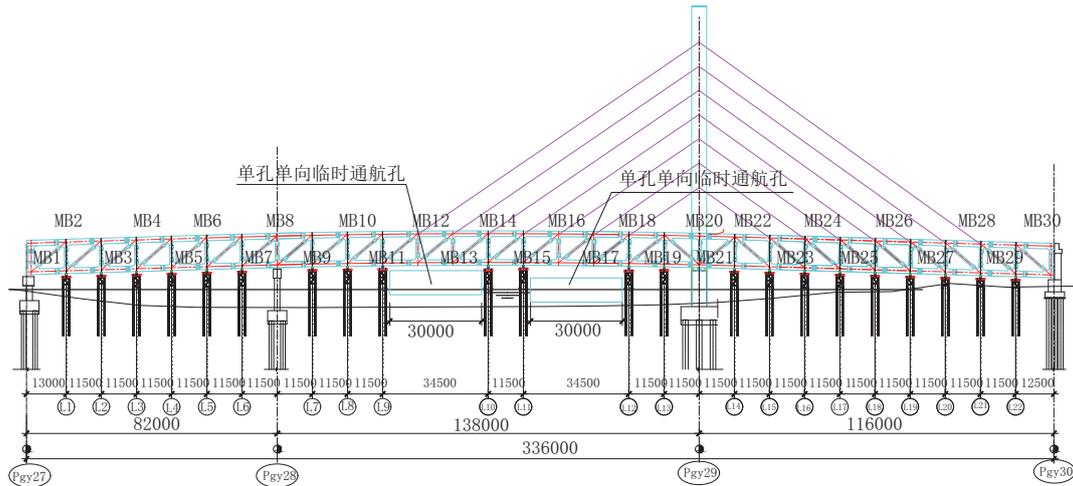


图4 临时支架立面布置图(单位:mm)

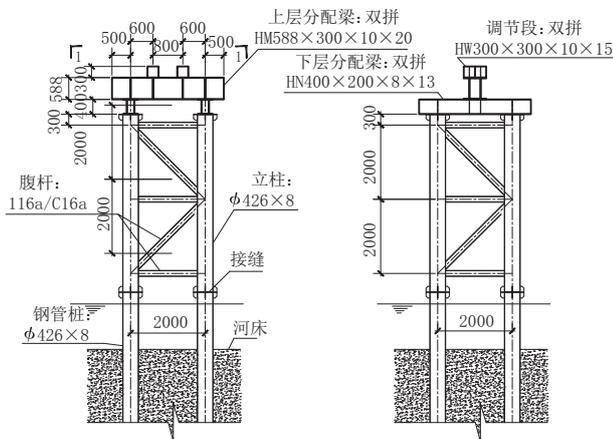


图5 支架体系纵、横剖面示意图(单位:mm)

### 2.1 格构柱验算

临时支架体系的钢管格构柱和分配梁均应根据支架规格、支架高度、上部荷载等选择最不利工况进行强度、刚度、稳定性验算。

对于选用 $\phi 426 \times 8$  mm 钢管格构柱的单个支架,所承受的上部荷载(含吊机重量)最大的是 $L_2$ 轴线边桁架下方的临时支撑。其承受的最大荷载 $G$ 为1 831.9 kN,考虑分项系数 $Y$ 取1.4,则单个临时支架承受的上部荷载 $N=Y \times G=1.4 \times 1\ 831.9=2\ 564.7$  kN。临时支架最高高度为7.178 m,支架以下河床以上自由高度为6 m,则临时支架计算高度为 $7.178+6=13.178$  m。

$\phi 426 \times 8$  mm 钢管材质为 Q235B,截面面积 $A=105.055$  cm<sup>2</sup>,回转半径 $i_x=i_y=14.781$  cm,惯性矩 $I_x=I_y=22\ 952.91$  cm<sup>4</sup>。

格构柱横截面尺寸 $y=200$  cm, $x=200$  cm。

连系杆件 C16 槽钢材质为 Q235B,截面面积 $A_1=21.9$  cm<sup>2</sup>。

构件截面的最大厚度为 8 mm,根据《钢结构设

计标准》(GB 50017—2017)中表 4.4.1-1,其强度设计值 $f=215.00$  N/mm<sup>2</sup>。

钢材长度折减系数取 2.00,则临时支架计算长度 $l_{0x}=l_{0y}=13.178 \times 2=26.356$  m;容许长细比 $[\lambda]=150$ 。

依据《钢结构设计标准》中式 7.1.1-1、式 7.2.2-1、式 7.2.2-2、式 7.2.1,分别对钢管强度、刚度、稳定性进行验算,结果均满足要求。

同理,对 $\phi 600 \times 8$  mm 钢管亦按上述方式进行验算,结果也均满足要求。

### 2.2 分配梁验算

型钢共设计 4 种规格,支点到支点梁长都为 2 m,荷载考虑为跨中集中力,考虑安均按照简支状态进行计算。本文以 HN900 mm $\times$ 300 mm $\times$ 16 mm $\times$ 28 mm 型钢分配梁验算为例(材质为 Q345B)。经分析,该分配梁上方最大荷载为 699.611 t,则单根型钢跨中受到的集中荷载 $P_g=699.611 \times 10/2=3\ 498.06$  kN。

型钢截面面积 $A=305\ 82$  mm<sup>2</sup>,自重 $W=2.353$  kN/m,面积矩 $S=5\ 087\ 072$  mm<sup>3</sup>,抗弯惯性矩 $I=3\ 972\ 400\ 000$  mm<sup>4</sup>;抗弯模量 $W=8\ 827\ 556$  mm<sup>3</sup>,塑性发展系数 $\gamma=1.05$ ,弯矩设计值为 $-1\ 750.44 \sim 0.00$  kN $\cdot$ m,剪力设计值为 $-1\ 751.85 \sim 1\ 751.85$  kN;最大挠度为 0.71 mm,最大挠跨比为 1/2 805;受压翼缘自由长度 $l_1=1\ 000$  mm,面外回转半径 $i=64.3$  mm,面外长细比 $\lambda_y=1\ 000/64.3=15.6$ ,腹板高 $h_w=844$  mm,腹板厚 $t_w=16.0$  mm。型钢分配梁整体稳定性和局部稳定性等按照《钢结构设计标准》相关公式进行验算。将相应数据代入相关公式后可知,型钢分配梁稳定性均满足要求。验算分析示意图见图 6。

同理,对其他分配梁按照上述方式进行验算,结果表明,各规格型钢分配梁均满足要求。

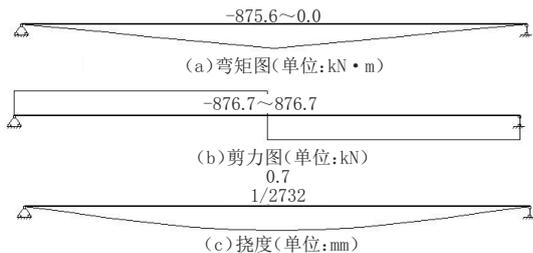


图6 分配梁受力验算分析示意图

### 3 钢桁架组拼

#### 3.1 拼装流程

标准节段按照“下弦杆→斜腹杆→下层横梁→下层桥面块体→竖腹杆→上弦杆→上层横梁→上层桥面块体”顺序进行拼装。架设钢桁架梁杆件一般先下后上,以尽快形成稳定闭合的结构体系,最后安装上平面。同时应注意架梁机的起吊能力和最大吊距,杆件的供应情况,先吊装杆件不得影响后吊装杆件,上下游体系两桁梁应对称安装,避免偏载。节段拼装流程如图7所示。

#### 3.2 主桁架杆件吊装

首先吊装主桁架梁墩顶段 MB20、MB19 节段,为后续桥面吊机作业提供作业平台。MB20、MB19 桁架梁节段采用大型汽车吊进行吊装,经过吊装工况分析,桁架上下弦杆、腹杆、横梁和桥面均采用 300 t 汽车吊进行吊装;汽车吊站位于桥梁下部结构施工时搭设的横向栈桥上。吊装施工图见图8。

在墩顶 MB20、MB19 节段安装完成后,采用 ZSL850-50 t 型架梁吊机进行余下所有桁架节段 (MB11~MB1、MB21~MB30) 吊装;每个钢桁梁节段吊装前,架梁机站位于已安装好的上一钢桁架节段二层桥面上。架梁机吊装钢桁架节段示意图见图9。

钢桁架梁节段吊装前,应对汽车吊支腿位置结构承载力依据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)进行验算分析,并对架梁机架设杆件做好吊装工况分析,同时做好梁体节段尺寸、吊耳连接、吊索吊具的检查工作,确保吊装安全。

本工程中 MB20、MB19 节段桁架上下弦杆和横梁采用 300 t 汽车吊吊装,斜腹杆、竖腹杆、副横梁和桥面块体采用 160 t 汽车吊吊装。根据汽车吊参数和杆件重量,300 t 汽车吊车身自重为 72 t,配重为 96.6 t,吊装最重块体约为 40 t,吊装半径不超过 18 m (按 18 m 计算)。

则竖向力  $F=72+96.6+40=208.6$  t;吊装过程产生的弯矩  $M=40\times 18=720$  t·m;最大支腿受力  $N_{\max} = N_1 +$

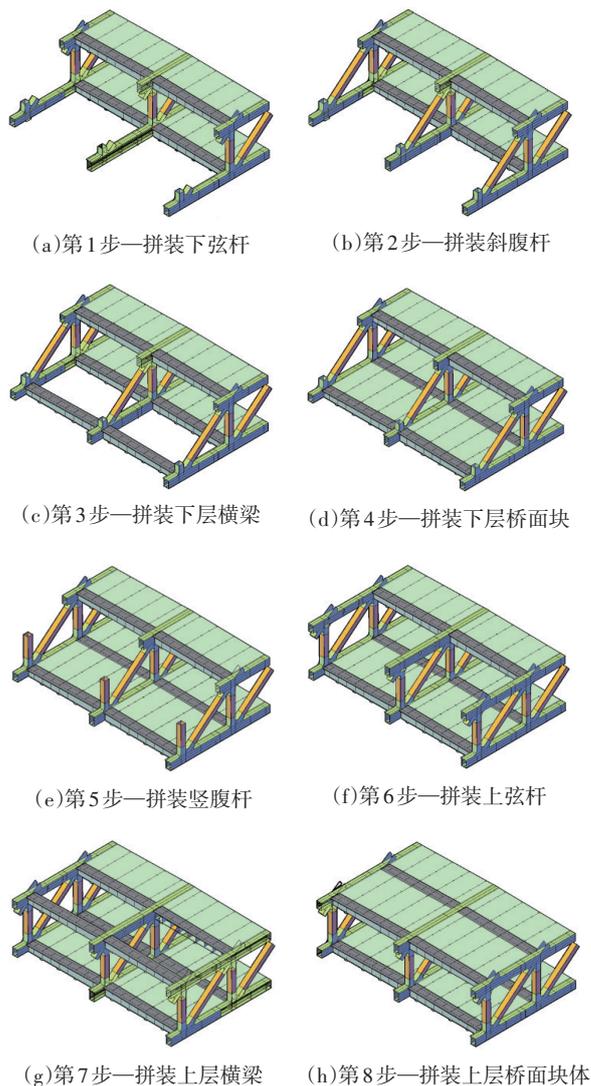


图7 钢桁架桥安装布序图



图8 MB20、MB19节段吊装施工图

$$N_2 = \frac{F}{4} + \frac{M}{\sqrt{2}C} = \frac{208.6}{4} + \frac{720}{\sqrt{2} \times 8.5} = 112 \text{ t}.$$

最大支腿受力为 112 t。汽车吊支腿均搭在 3 m 跨双排钢管桩上,钢管桩两两做横向连接。根据钢栈桥专项方案验算,单排桩承载力为 1327.7 kN,双排桩承载力为 2 655.4 kN;单侧按 50% 分摊考虑,承载力为 1 327.7 kN > 1 120 kN,满足汽车吊站位承载



图9 架梁机吊装钢桁架节段示意图

要求。

### 3.3 节段拼装注意事项

(1)桁架梁杆件一般由下而上架设,先立面,后下平面,要尽快形成闭合稳定的结构体系。同时应注意架梁吊机的起吊能力、最大吊距和杆件的供应,先装杆件不得妨碍后装杆件,上下游体系两桁梁对称架设,避免偏载。

(2)钢梁的悬臂安装宜先拼装主桁杆件,待各段主桁架的三角形闭合后再拼装桥面板。桥面板安装时先通过匹配件连接进行临时固定,再逐步调整焊缝并焊码板,待焊缝施焊完毕后,切割掉匹配件和码板。

(3)上、下弦杆整体节点外拼装的拼接板及其填板应预拼在带有填板的一端,并预留2~3排螺栓不初拧,以便套插拼装。

### 3.4 栓接施工控制

(1)钢横梁杆件上下弦杆与腹杆之间、桥面块体之间、桥面块体与弦杆之间通过螺栓连接。施工前应对高强度螺栓的摩擦面抗滑移系数进行检验,初始抗滑移系数不小于0.55,现场安装时(6个月内)抗滑移系数不小于0.45。

(2)高强度螺栓全部采用扭矩法施工,每个连接节点螺栓应按照从栓群中心向四周辐射式进行的顺序施拧。每个螺栓应由螺母处拧紧螺栓,在另一端卡住固定,拧到螺栓内获得所需要的预紧力为止,按初拧、复拧、终拧的顺序完成施拧作业。

(3)初拧扭矩宜为终拧扭矩的50%,复拧扭矩与初拧扭矩相同。

(4)高强度螺栓施拧质量的检验要求应参考《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020)和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》(JGJ 82—2011)等相关规定。

## 4 主梁线形控制

主梁线形控制是保证桁架桥达到预期设计线形

的关键,因此应采取先进手段对主梁挠度进行监控、预测分析、及时调整,让桥梁的最终线形尽可能地切合设计线形。本工程主梁线形控制措施主要包括制造线形控制和安装线形控制。

(1)主梁的成桥目标线形为原设计线形加成桥预拱度,其中成桥预拱度按照1/2活载竖向变形反向设置。主桥钢桁架的制造线形确定原则为:制造线形=设计高程+成桥预拱度+施工预拱度,其中施工预拱度按照主桥施工工序计算而得。

(2)钢桁梁各杆件在工厂制作和预拼装,预拼装胎架按监控单位提供的加放预拱度后的线形值进行制作。每轮至少有3个以上节段的钢桁梁参与预拼,1轮预拼结束后,最后1个节段的钢桁梁参与到下轮预拼。

(3)对于主梁安装过程线形控制,严格控制冲钉大小和数量。在钢梁安装过程中采用主动测量、及时纠偏技术。对每完成1个节间架设后的监控数据进行分析总结,根据线形偏差情况研究制定下个节间钢梁架设是否需采取及时纠偏微调方案,即在不适配主桁拼接板的前提下,通过采用部分小冲钉对线形进行调整。

(4)针对中线偏位、3桁高差、钢桁梁竖向线形等的控制,主要通过控制支架体系调节段的精确标高进行,安装线形的具体标高值根据设计线形加上安装预拱度计算得出。在支架体系安装完成后,调节段先预留50 mm高度,精确测量调节段标高后再将调节段精确切割至理论标高。当支架沉降超过设计控制值时,现场在分配梁上配置液压千斤顶对梁底标高进行调节,如图10所示。

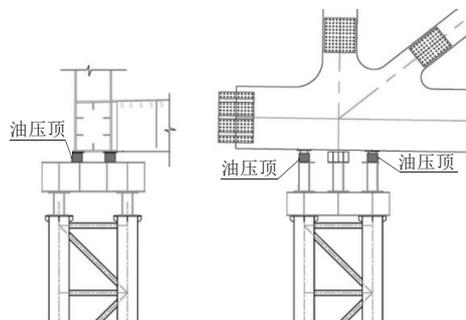


图10 梁底标高调节示意图

## 5 结语

宁波市西洪大桥双层钢桁梁斜拉桥主桥采用支架法拼装施工。通过计算分析,得到钢桁梁无应力制造线形、桁架杆件下料长度、施工阶段主梁安装高

(下转第219页)