



# Comparison and Selection of Steel Truss Girder Erection Schemes for Guanting Extra-large Bridge of Beijing-Zhangzhou High Speed Railway

Yang Qi Hai, Cai Deng Shan

China Railway Bridge Bureau Group Co., Wuhan, China

## Email address:

ztmbec@163.com (Yang Qi Hai)

## To cite this article:

Yang Qi Hai, Cai Deng Shan. Comparison and Selection of Steel Truss Girder Erection Schemes for Guanting Extra-large Bridge of Beijing-Zhangzhou High Speed Railway. *Asia-Pacific Journal of Civil Engineering and Architecture*. Vol. 1, No. 2, 2019, pp. 15-20.

Received: August 29, 2019; Accepted: October 17, 2019; Published: October 29, 2019

**Abstract:** The main bridge of Guanting Bridge on Beijing-Zhangzhou High Speed Railway, The design adopts 8-hole 110m arch deformed high simply supported steel truss beam, According to the characteristics and reality of the project, This paper mainly studies the selection of jacking construction scheme from numerous erection and installation schemes of simply supported steel truss beams; Emphasis is placed on the comparison and optimization of the two pushing schemes, Finally, the implementation scheme of unilateral multi-point push-up is determined; The main construction steps and key points are also introduced, It is worthy of reference and reference for similar projects in the future.

**Keywords:** High Speed Rail, Guanting Bridge, Steel Beams, Establishment Programme, Competition

## 京张高铁官厅特大桥钢桁梁架设方案比选

杨齐海, 蔡登山

中国中铁大桥局集团有限公司, 武汉, 中国

## 邮箱

ztmbec@163.com (杨齐海)

**摘要:** 京张高铁官厅特大桥主桥, 设计采用8孔110m拱形变高简支钢桁梁, 针对工程特点与实际, 主要研究了从众多简支钢桁梁架设安装方案中筛选出顶推施工方案; 重点对二种顶推方案进行了比选与优化, 最终确定单侧多点顶推施工方案予以实施; 介绍了方案实施的主要施工步骤及要点, 有效地解决了现场施工实际问题, 值得今后同类工程施工参考与借鉴。

**关键词:** 高铁, 官厅桥, 钢桁梁, 架设方案, 比选

## 1. 概况

### 1.1. 工程简介

(北)京张(家口)高铁是2022年国际冬奥会的重要交通基础配套工程, 设计时速350km/h, 按双线高速铁

路标准设计。线路在张家口市怀来县境内设置桥梁跨越官厅湖水库, 该桥为全线控制性工程之一。主桥设计采用8孔110m简支拱形变高钢桁梁桥, 对应桥墩编号(由北京向张家口方向)为227#~235#墩。如图1所示:

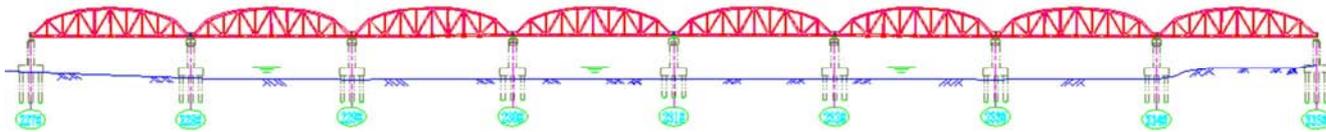


图1 主桥简支钢桁梁桥跨布置示意。

桥梁平面位于直线上, 纵断面位于2.0‰的上坡段和-2.0‰的下坡段的竖曲线上, 其曲线半径为25000m。单孔钢桁梁计算跨径为108m, 重1863吨; 设2片主桁, 桁宽13.8m, 节间长度10.8m, 杆件最大长度21.6m(下弦), 最大重量51.6吨; 上弦采用拱形变高度折线型式, 桁高0~19m; 上、下弦杆均采用焊接整体节点, 腹杆插入节点板内拼接; 正交异性板钢桥面, 无碴轨道。相邻两孔钢桁梁支座中心距为2m。为避免高栓延迟断裂而危及行车安全, 钢桁梁上平联和横联采用焊接连接[1]。为满足环保要求, 下弦杆两侧设置U型排水槽。主桥下部结构基础为钻孔摩擦桩群桩基础, 厚5.0m矩形承台, 桥墩高16.4m~20.07m; 桥墩墩顶设计允许水平力为: 228#~234#中间主墩为170t, 227#、235#边主墩为120t。

## 1.2. 水文、气象条件

桥址位于张家口市怀来县境内, 属寒温带半干旱性气候区, 多年平均气温10.5℃, 极端最高气温40.3℃、最低气温-21.7℃, 寒冷天气土壤最大冻结深度0.99m。

桥梁跨越官厅水库, 该水库为国家一级备用水源地, 环保要求高。库区湖水水面宽约1300m, 水深8~12.0m, 水位稳定、不通航。水流由湖面风浪产生, 具有不定向性及流速小等特点。根据推算, 官厅水库20年一遇洪水量为4743.4m<sup>3</sup>/s、水位为474.1m, 施工水位为472.76m, 库区汛限水位为476.0m。

## 1.3. 地质、地形地貌特征

桥址区陆地地质主要以素填土或杂填土、软塑状粉质黏土、粉砂、细砂、黏土等土层交互分布为主。水库底地质情况主要为淤泥质黏土、粉土、粉砂及中细砂互层和砾砂层; 其中, 淤泥层厚约2~8.0m。主桥两端毗邻引桥为预制双线铁路箱梁, 北京侧主桥及邻近引桥位于水中(226#~220#墩), 稍远处则为一平坦阶地, 高差约5.0m左右, 种植有茂盛的森林。张家口侧主桥位于湖边, 其引桥(236#~245#墩)则位于平坦陆地上。

## 2. 主桥简支钢桁梁安装方案的初步确定

根据主桥简支钢桁梁的结构特点及桥梁所处环境条件, 在技术上可行的钢桁梁安装施工方案主要有: 双栈桥门吊支架(膺架)安装方案、平衡梁单悬臂安装方案、整孔浮运安装方案及顶推(拖拉)安装方案。逐一简要述说如下:

### 2.1. 双栈桥门吊支架(膺架)安装方案(方案1)

该方案为沿桥梁轴线方向钢桁梁下弦节点处搭设支架, 以承受钢桁梁自重和施工荷载, 逐节间拼装钢桁梁的施工方法[7]。为解决钢桁梁杆件起吊和运输问题, 需

在桥梁两侧修建临时栈桥, 供门吊走行和杆件输送[12]。该方案具有施工简洁、流程清晰; 原位就地直接拼装钢桁梁线形容易控制、无需添加临时杆件和整孔拼装完成后可不作大幅度的线形调整; 可多孔多点同时进行拼装作业, 施工工期短等优点。但也存在需修建双栈桥和水中支架平台等较多大型临时设施的明显不足。由于桥位处地质覆盖层承载能力差, 临时设施投入较大的问题更加突出。根据下部结构基础钻孔平台的搭设情况和初步估算, 如采用 $\phi 1\sim 1.2\text{m}$ 、 $\delta=10\sim 12\text{mm}$ 钢管桩, 则其入土深度需40m以上, 单根钢管桩长度将达到70m以上, 临时设施需用钢材达3万吨左右。如若地质条件较好, 本方案将不失为优选方案。

### 2.2. 平衡梁单悬臂安装方案(方案2)

本施工方案为首孔钢桁梁拼装时, 事先于后端毗邻引桥段(一般为陆地或岸边)将其它孔跨钢桁梁(如第3或第4孔)拼装好1孔或2孔以作为压重; 并在此孔钢桁梁前端拼装首孔及第2孔钢桁梁; 再将第3或第4孔拼装好作为压重钢桁梁依次拆除, 倒运至第2孔钢桁梁前端接续拼装, 直至完成。即后续孔跨拼装时, 则利用已经拼装好的钢桁梁作为压重[9]。起重吊机在钢桁梁上弦杆或上弦平面轨道上走行, 钢桁梁杆件则由桥面或下弦平面上输送[4, 6]。此方案适用于多孔钢桁梁安装, 其最大优点是需用临时设施较少, 能避免水上施工; 但针对本桥钢桁梁安装则存在如下缺点: 一是由于上弦为拱形折线, 架梁吊机在其上行走较为困难; 二是钢桁梁较重, 悬臂挠度较大, 钢桁梁就位时落梁高度较大, 致线形调整难度增大; 三是需用临时杆件将相邻两孔钢桁梁加以连接, 就位拆除时需进行体系转换; 四是逐孔拼装作业点受限, 且首孔平衡梁需拆除, 施工工期较长。有鉴于此该方案实施时无明显优势。

### 2.3. 整孔浮运安装方案(方案3)

此方案施工是事先于岸边码头停靠的船舶上将整孔钢桁梁高位拼装好并固定, 然后利用拖轮将船舶拖曳至待架孔跨两桥墩间并临时抛锚固定, 再利用落梁装置将整孔钢桁梁下降安放到桥墩上[2]。该方案除具备支架(膺架)安装方案优点外, 也无需水上临时设施; 但需进行水上施工, 与官厅水库环保要求高相抵触, 且船舶在淤泥中抛锚定位较为困难。因此, 实施难度较大, 不宜优先选择。

### 2.4. 顶推(拖拉)安装方案(方案4)

顶推(拖拉)施工方案系于岸上陆地搭设支架并铺装专用滑道, 然后在支架上逐段或逐孔拼装钢桁梁, 于后方桥墩上(或支架上)设置顶推设备系统或于前方桥墩上安装拖拉设备系统, 逐段或逐孔顶推(拖拉)钢桁梁, 并于

顶推（拖拉）时钢桁梁所通过的各墩墩顶设置滑块，钢桁梁的前端设置导梁[3]。该方案比较适合于多孔钢桁梁安装，其显著优点是能避免水上施工，水上临时设施较少；钢桁梁在岸上拼装可采用工厂化施工，拼装质量更易保证；由于前方设置了导梁，可明显减少顶推（拖拉）时钢桁梁悬臂挠度和根部（墩顶处）杆件应力；当然也存在钢桁梁就位时需落梁和大幅度调整线形；相邻两孔钢桁梁需用临时杆件加以连接和加固，就位拆除时需进行体系转换[14]。

由上可见，方案1存在水上施工和投入巨大的突出缺点，方案2有着架梁吊机梁上走行困难和工期较长的明显不足，方案3水上施工与环保相抵触，因此3种方案皆不适合本桥钢桁梁安装施工。方案4尽管同样存在缺陷，但可通过技术手段和施工措施加以弥补克服，故初选方案为顶推（拖拉）安装本桥8孔简支钢桁梁。

### 3. 主桥简支钢桁梁顶推（拖拉）安装方案的比选与优化

遵照顶推（拖拉）施工方案的特点要义及本桥工程的具体实际，可采用双侧（两端或两岸）和单侧顶推施

工，为此，又对双侧顶推、单侧顶推施工方案进行了比选与优化，分别说明介绍如下：

#### 3.1. 双侧顶推施工方案

该方案需在两岸即双侧（北京侧位于221#~227#墩之间，张家口侧位于235#~241#墩之间）设置钢桁梁拼装场，搭设拼装支架、安装滑道及顶推系统，拼装导梁，逐孔拼装（含临时连接杆件）逐孔向中间顶推于河心合龙的施工方案（如图2）。因导梁相互抵触，需于河心处搭设导梁拆除平台。因两岸同时展开施工，故该方案在此处采用的最大优点是施工工期相对较短；但确也存在以下几个不利因素：一是导梁需在河心拆除，最后1孔梁不可避免会成为无导梁顶推施工，几乎形成全悬臂状态，钢桁梁悬臂挠度大和根部（墩顶处）杆件应力偏高；二是北京侧施工场地基本位于水中，如若填湖则对环保影响很大；三是布置了2处作业场，临时设施和机械设备明显投入较多。综上所述，加之工期不是本工程的关键控制因素，最终放弃了此施工方案。

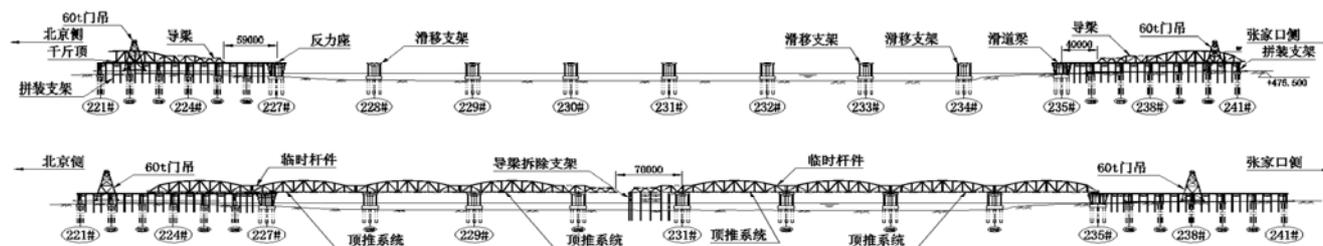


图2 双侧顶推施工方案示意（立面）尺寸单位：mm 高程：m。

#### 3.2. 单侧顶推施工方案

该方案仅在张家口侧位于235#~247#墩之间平坦陆地上设置钢桁梁拼装场，搭设拼装支架、安装滑道及顶推系统，拼装导梁，逐孔拼装（含临时连接杆件）逐孔向北京侧顶推的施工方案[11]。本方案基本避免了双侧顶推施工方案的各项缺点，但其施工工期相对较长；然工期不是本工程的关键控制因素，最后选择确定了此施工方案。由于受桥墩设计允许水平力的限制，实施时采用了单侧多点顶推[8, 15]。

#### 3.3. 双侧与单侧顶推施工方案比较表

表1 双侧与单侧顶推施工方案比较。

方案与比较内容	技术可行性与施工难易程度	主要临时结构需用材料	主要施工设备数量	施工总工期	初步估算施工费用	备注说明
双侧顶推	技术上可行但需在水上施工	6029吨	2台门吊、2套导梁、4套顶推系统、临时杆件	12月	3494万元	北京侧需拆迁，影响环保
单侧顶推	技术上可行但顶推距离远	3528吨	3台门吊、1套导梁、3套顶推系统、临时杆件	16月	2371万元	总工期不控制

### 4. 主桥简支钢桁梁单侧多点顶推施工方案主要施工步骤

步骤一：搭设拼装支架、安装滑道、导梁及门吊等临时设施，拼装第1~2孔钢梁（含临时连接杆件），于235#墩处设第1套顶推（拖拉）系统，将钢梁向前（张家口向北京方向）顶推270m。见图3：

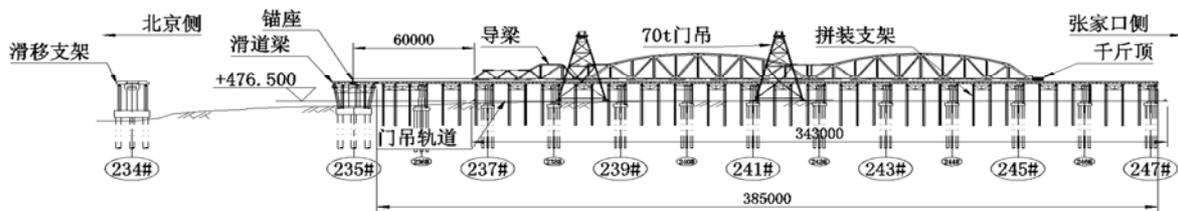


图3 第1~2孔钢梁拼装与顶推示意 (立面) 尺寸单位: mm 高程: m。

步骤二: 继续拼装第3~5孔钢梁 (含临时连接杆件), 挂设第2套顶推系统, 将第1~5孔钢梁向前顶推330m。

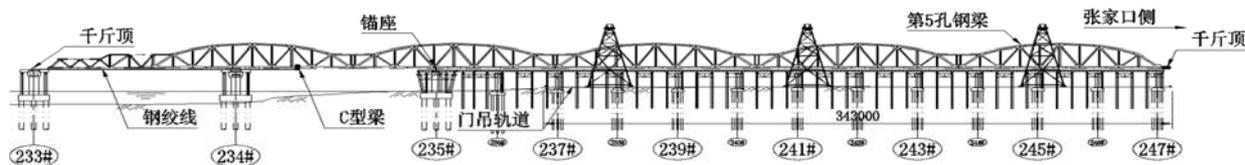


图4 第3~5孔钢梁拼装与第1~5孔钢梁顶推示意 (立面) 尺寸单位: mm。

步骤三: 最后拼装第6~8孔钢梁 (含临时连接杆件), 挂设第3套顶推系统, 将第1~8孔钢梁向前顶推330m, 此时前端导梁已到达227#墩顶上[13]。见图5:

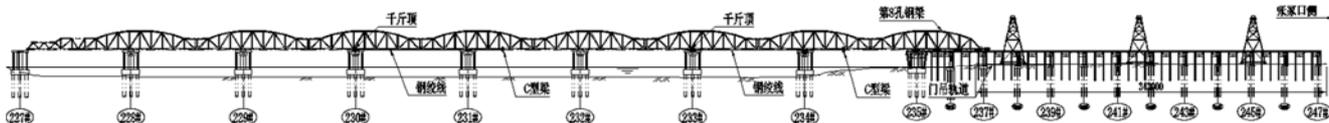


图5 第5~8孔钢梁拼装与第1~8孔钢梁顶推示意 (立面)。

步骤四: 3套顶推系统同步将8孔钢梁继续向前顶推64m至设计位置并拆除导梁。见图6:

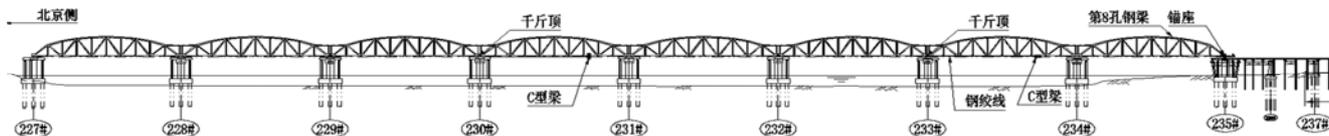
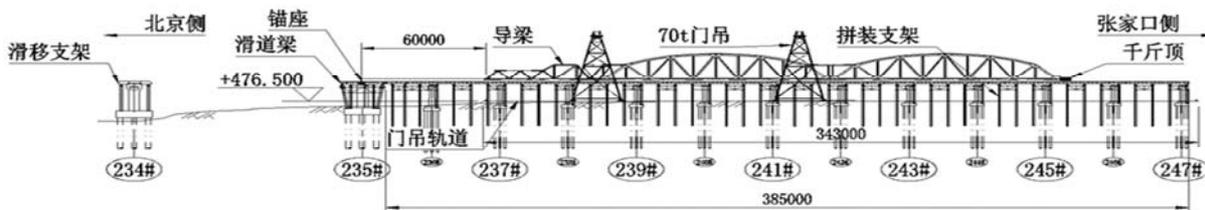


图6 第1~8孔钢梁继续顶推及导梁拆除示意 (立面)。

步骤五: 解除临时连接杆件完成体系转换, 落梁就位并拆除支架、顶推系统、拼装门吊等临时设施, 形成8孔简支钢桁梁 (见图1)。

### 5. 顶推系统

顶推钢梁总重达1.6万t, 根据经验, 顶推摩擦系数一般取0.08[5], 单侧顶推时, 共设置3套顶推系统; 需6台350t水平顶, 单个顶的最大顶力231t。其中, 第1次顶推单个顶的最大顶力为185t; 第2次顶推单个顶的最大顶力220t; 第3次顶推, 单个顶的最大顶力231t。第一套顶推系统: 在钢桁梁尾端设置扁担梁与千斤顶, 前端235#边墩上布置锚座。第二、三套顶推系统: 前端主墩墩顶设置反力座与千斤顶, 后端在钢桁梁上设置C型梁。



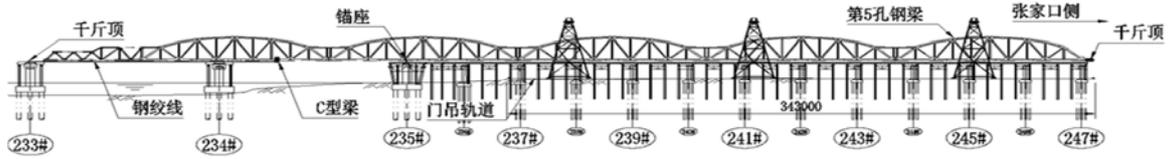


图7 顶推系统布置图。

## 6. 主要大临结构选择

### 6.1. 钢导梁

顶推过程中，钢导梁的长度、重量、延米重量等参数[6]对主梁的受力有很大的影响。如果导梁参数设置不合理，会导致钢梁顶推过程受力超标。导梁参数设置合理，还会有效的减小主梁的施工内力，还会达到节约材料的目的[6, 7]。经计算分析，如果采用无导梁方案：钢梁最大悬臂长度为75.6m，超过75.6m则钢梁应力超标，钢梁顶推过程中必须设置钢导梁。

在施工过程中，钢导梁一般为顶推跨度的0.6~0.7倍。结合本方案，对导梁长度进行了研究：方案一：钢梁最大悬臂75.6m+导梁长度23.6m；方案二：钢梁最大悬臂64.8m+导梁长度34.4m；方案三：钢梁最大悬臂43.2m+导梁长度56.0m。经过计算，导梁长度56m时钢梁应力最

小，且对应临时墩受力也最小，综合比选后确定方案三为最佳方案。

### 6.2. 拼装支架滑道梁方案研究

滑道梁主要有三种方案，方案一：长滑道梁方案；方案二：短滑道梁方案；方案三：尾端配23.6m后导梁，14.5m短滑道梁方案。

方案一：230t/单支点，滑道梁高1.3m，长385m，立柱 $\phi 1020 \times 10$ mm。滑道梁高1.3m，应力110MPa，分配梁2HN700 $\times$ 300，倒用现场旧料，应力137MPa。

方案二：1200t/单支点，120根钻孔桩直径1.25m，桩长35m。滑道梁高2.2m，长3 $\times$ 37.5m。

方案三：1200t/单支点，滑道梁高2.2m，3 $\times$ 14.5m，72根直径1.25m钻孔桩基础，后导梁须装拆3次。

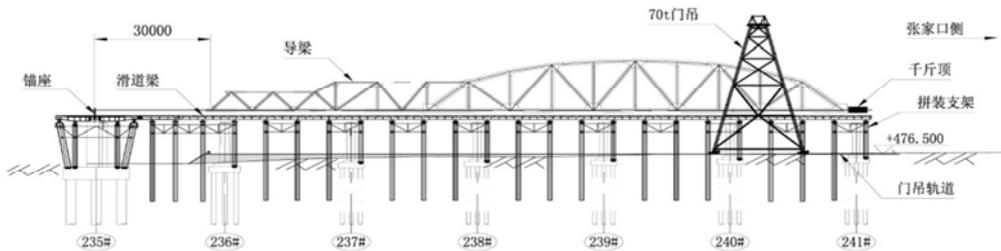


图8 拼装支架滑道梁方案一。

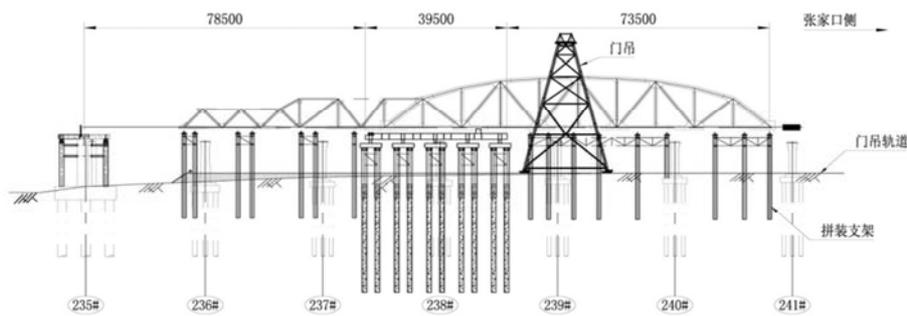


图9 拼装支架滑道梁方案二。

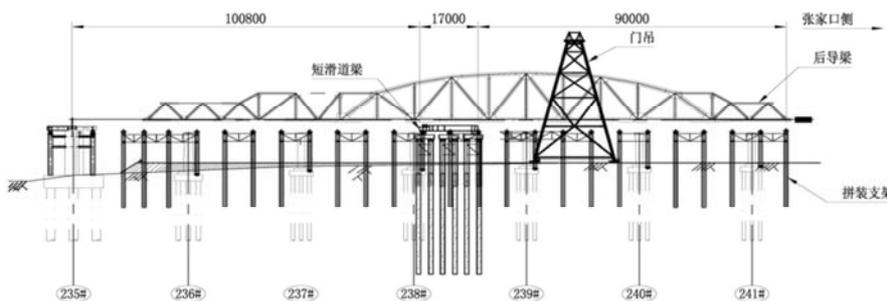


图10 拼装支架滑道梁方案三。

方案一主要特点: (1) 拼装支架上钢梁拖拉过程连续 (2) 反力小, 支架安装简单 (3) 可倒用旧料作分配梁 (4) 旧料均可回收利用 (5) 快速、经济。

方案二主要特点: (1) 拼装支架上钢梁拖拉32.4m需起顶、倒换滑块 (2) 反力大, 需设钻孔桩 (3) 分配梁需新制 (4) 钻孔桩不可回收 (5) 施工速度一般, 投入大。

方案三主要特点:

(1) 拼装支架上钢梁拖拉10.8m需起顶、倒换滑块 (2) 反力大, 需设钻孔桩 (3) 须设置后导梁, 后导梁需三次装拆。(4) 施工速度慢, 投入大。

综合以上方案, 选择方案一作为首选方案。

## 7. 结语

京张高铁官厅特大桥主桥8孔110m拱形变高简支钢桁梁架设施工方案, 遵照工程特点与实际, 经反复比选与优化, 从众多简支钢桁梁架安装方案中筛选出单侧多点顶推实施方案, 分4次将钢桁梁拼装顶推到位, 即采用的所谓单侧多点非对称间歇式顶推施工方案[10], 有效地解决了长联大跨顶推距离远与荷载重、坡道变化及重载落梁与体系转换等现场施工实际问题。不仅就位后钢桁梁各项技术指标满足设计与规范要求[8]; 而且确保了工期。由是方案优化选择与实施符合工程实际, 不失为又一成功的范例。

## 参考文献

- [1] TB10002.2-2005, 铁路桥梁钢结构设计规范[S]. TB10002.2-2005, Code for Design of Steel Structure of Railway Bridges [S].
- [2] Q/CR9603-2015, 高速铁路桥涵工程施工技术规程[S]. Q/CR9603-2015, Technical Specification for Construction of Bridge and Culvert Engineering of High Speed Railway [S].
- [3] 方继, 丁仕洪, 张时利, 等. 郑济黄河公铁两用桥带加劲弦顶推施工技术[J]. 桥梁建设, 2016, 46 (6): 20-24 Fang Ji, Ding Shihong, Zhang Shili, et al. Construction technology of stiffening strings for Zhengji Yellow River Railway and Highway Bridge [J]. Bridge construction, 2016, 46 (6): 20-24.
- [4] 刘应龙, 蔺鹏臻, 何志刚. 银西高铁银川机场黄河特大桥钢桁梁施工技术[J]. 桥梁建设, 2018, 48 (5): 115-116 Liu Yinglong, Lin Pengzhen, He Zhigang. Construction Technology of Steel Truss Girder of Yinchuan Airport Yellow River Bridge on Yinxi High-speed Railway [J]. Bridge Construction, 2018, 48 (5): 115-116.
- [5] 张晓东. 桥梁顶推施工技术[J]. 公路, 2003(9): 通45-51. ZHANG Xiao-dong, incremental Launching Construction Technology of Bridge [J]. Highway, 2003 (9): 45-51.
- [6] ROSIGNOLI M. Prestressing Schemes for Incrementally Launched Bridges [J]. Journal of Bridge Engineering, 1999, 4 (2): 107-115.
- [7] 田仲初, 张华平. 顶推施工中导梁的合理配置[J]. 世界桥梁, 2005 (4): 41-43, 47. TIAN Zhong-chu, ZHANG Hua-ping. Reasonable Arrangement of Launching Nose in Incremental Launching Construction [J]. World Bridges, 2005 (4): 41-43, 47.
- [8] TB10752-2010, 高速铁路桥涵工程施工质量验收标准[S]. TB10752-2010, Acceptance Standard for Construction Quality of High Speed Railway Bridge and Culvert Project [S].
- [9] 季强. 公安长江公铁两用特大桥非通航孔钢桁梁架技术[J]. 桥梁建设, 2017, 47 (2): 115-116 Ji Qiang. Erection Technology of Non-navigable Steel Truss Girder for Public Security Yangtze River Railway and Public Security Bridge [J]. Bridge Construction, 2017, 47 (2): 115-116
- [10] 国洪光, 何天涛, 彭哲. 新白沙沱长江大桥钢桁梁跨既有有线顶推施工技术[J]. 世界桥梁, 2016, 44 (3): Guohongguang, He Tiantao, Peng Zhe. Pushing Construction Technology of Steel Truss Girder of New Baishatuo Yangtze River Bridge across Existing Lines [J]. World Bridge, 2016, 44 (3):
- [11] 杨庆琪. 跨越多层立交大跨径、宽截面钢箱梁整体式顶推施工技术[J]. 世界桥梁, 2015, 43 (4): 20-24 Yang Qingqi. Integral pushing construction technology of long-span and wide-section steel box girder across multi-storey interchange [J]. World Bridge, 2015, 43 (4): 20-24
- [12] 邵长宇. 九堡大桥组合结构桥梁的技术构思与特色[J]. 桥梁建设, 2009 (6): 42-45. SHAO Chang-yu. Technical Consideration and Features of Composite Structure Bridge of Jiubao Bridge in Hangzhou [J]. Bridge Construction, 2009 (6): 42-45.
- [13] 王卫锋, 林俊锋, 马文田. 桥梁顶推施工导梁的优化分析[J]. 工程力学, 2007, 24(2): 132-138. WANG Wei-feng, LIN Jun-feng, MA Wen-tian. Optimum Analysis of Launching Nose During Incremental Launching Construction of Bridge [J]. Engineering Mechanics, 2007, 24 (2): 132-138.
- [14] 向中富. 桥梁施工控制技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001. XIANG Zhong-fu. Bridge Construction Control Technique [M]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [15] 刘树爱. 顶推施工阶段内力分析及临时结构设计[J]. 石家庄铁道学院学报, 1998, 11(增): 1-5. LIU Shu-ai. Structural Analysis and Construction Design of Prestressed Concrete Continuous Beam at Construction Stage [J]. Journal of Shijiazhuang Railway Institute, 1998, 11 (S): 1-5.

## 作者简介



杨齐海(1963年9月~), 中铁大桥局集团副总工程师, 教高。毕业于中南大学。主持修建了特大型桥梁三十多座, 专注深水基础和拱桥施工, 荣获多项科技奖和鲁班奖。发表论文三十多篇, 申报发明专利十多项。