

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101935987 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 25

(21) 申请号 201010263769. 4

CN 101200879 A, 2008. 06. 18,

(22) 申请日 2010. 08. 27

CN 101117793 A, 2008. 02. 06,

(73) 专利权人 中交第一公路工程局有限公司
地址 100024 北京市朝阳区管庄周家井中交
第一公路工程局有限公司

CN 101200879 A, 2008. 06. 18,

专利权人 中交一公局桥隧工程有限公司

CN 201428114 Y, 2010. 03. 24,

赵学敏. 浅谈高速铁路大跨径连续梁拱桥拱
肋安装施工技术. <工程建设>. 2010, 第42卷(第
2期), 第45-48页.

(72) 发明人 黎儒国 吴文明 尹玉林 周思锋

审查员 张蕾

(74) 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理
有限公司 11203

代理人 张慧

(51) Int. Cl.

E01D 21/06 (2006. 01)

(56) 对比文件

FR 2837222 A1, 2003. 09. 19,

JP 4477534 B2, 2010. 06. 09,

JP 3671777 B2, 2005. 07. 13,

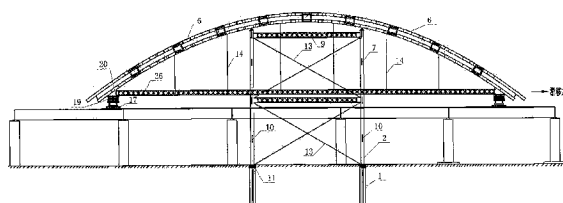
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 1 页

(54) 发明名称

曲线桥大跨度钢管拱整体滑移施工方法

(57) 摘要

本发明涉及一种曲线桥大跨度钢管拱整体滑移施工方法,属于桥梁工程建设领域,该方法首先将钢管拱制造安装段现场组拼、焊接成大的吊装段;然后在桥位纵向拼装场地位置安装临时拼拱支架,在临时拼拱支架上安装拱肋,钢管拱拼装完成后,采用拱脚约束装置将拱脚预紧,使钢管拱形成受力整体;最后拆除临时拼拱支架,采用顶推动力系统实现整个钢管拱整体滑移就位。本发明的施工方法,场地占用小,大节段整体吊装、吊装分段少,拼拱支架数量少,因此造价经济,同时高空焊接量少,焊接质量有保证,拱轴线线型控制容易,钢管拱拼装可与混凝土梁同步施工,在异桥位拼拱,不影响桥下通航,施工安全且可加快施工进度。



CN 101935987 B

1. 一种曲线桥大跨度钢管拱整体滑移施工方法,其特征在于:首先将钢管拱制造安装段现场组拼、焊接成大的吊装段;然后在桥位纵向拼装场地位置安装临时拼拱支架,在临时拼拱支架上安装拱肋,钢管拱拼装完成后,采用拱脚约束装置将拱脚预紧,使钢管拱形成受力整体;最后拆除临时拼拱支架,采用顶推动力系统实现整个钢管拱整体滑移就位,具体施工步骤如下:

步骤一、将钢管拱主拱分为三大吊装段,在地面组拼成型,两边段各为 55.47m,中段为 33.54m;

步骤二、在引桥简支梁 150m 范围处,搭设临时拼拱支架,安装钢管拱滑移系统和支撑系统,利用大吨位吊机将三大段拱肋吊装就位,组拼焊接成型;

步骤三、钢管拱组拼焊接完成后,整体落架,利用张拉千斤顶和钢绞线调整拱脚和拱轴线位置;

步骤四、落架体系转换后,拆除临时拼拱支架,利用连续顶推千斤顶实现在曲线桥面上钢管拱的整体滑移;

步骤五、钢管拱整体滑移就位后,焊接拱脚调整段,完成钢管拱整体滑移就位;

其中,所述步骤二中,在引桥简支梁 150m 范围搭设临时拼拱支架,临时拼拱支架立柱采用 $4\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 及 $4\Phi 800\times 10$ 的钢管桩,其中四根 $\Phi 800\times 10\text{mm}$ 钢管桩支撑在引桥简支梁梁面上,另外四根 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢管桩支撑在桥下地面,简支梁外缘四根 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢管桩下浇注 $1.5\times 2.0\times 1.0\text{m}$ 的混凝土基础,每个基础下插打 2 根 $\Phi 630\times 8\text{mm}$ 钢管桩,每根钢管桩承载力按 50t 设置,打入深度为 12m,同时浇注混凝土基础时,预埋锚固钢板以便于 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢管桩立柱焊接,最后 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢管桩立柱接高至临时拼拱支架的设计标高;根据临时拼拱支架设计位置,位于简支梁面上的钢管桩立柱下浇筑尺寸 $150\text{cm}\times 150\text{cm}\times 35\text{cm}$ 的 C30 混凝土基础,基础下植入直径 $\Phi 20\text{mm}$ 锚固钢筋,基础顶面预埋 $1200\times 1200\times 12\text{mm}$ 的锚固钢板,然后安装 $\Phi 800\times 10\text{mm}$ 钢管桩,8 根钢管桩纵向每 19.55m 设计一道桁架式连接系、横方向每隔 8.5m 设置一道桁架式连接系,并设置柔性剪刀撑和斜向缆风;

所述步骤二中,钢管拱滑移系统包括轨道基础、轨道系统、走行轮箱以及轮箱连接桁架梁,轨道基础采用 C50 混凝土基础,基础宽度 100cm,厚度 15cm,轨道基础预埋钢轨连接板,轨道系统采用 P43 钢轨,每条滑移轨道设两条钢轨,两条钢轨中心间距为 50cm,每侧滑移轨道设 4 组走行轮箱,走行轮箱可根据曲线半径自由转向,两侧走行轮箱组之间设置轮箱连接桁架梁,以保证两侧拱肋同步滑移;

所述步骤二中,支撑系统设置于滑移系统的轮箱连接桁架梁上,且钢管拱与支撑系统之间采用三角抱箍连接,将钢管拱的轴向力转换为竖向力,同时在三角抱箍上设置拱脚约束装置,将钢管拱两拱脚连接,传递因自重产生的拱脚水平张力;

所述三角抱箍为钢板焊接而成的空间组合结构,底板为厚 30mm 钢板,通过 M24 高强螺栓与支撑系统贝雷连接,侧板为 30mm 钢板,传递拱脚水平力,其上设置张拉钢绞线作业孔和贝雷连接器,通过加强劲板将钢绞线与贝雷连接器连接,三角抱箍上部通过 U 形抱箍及高强螺栓通过摩擦力克服钢管拱的下滑力,将钢管拱上下拱肋固结;

所述的拱脚约束装置为钢绞线及三组贝雷片的组合结构;

所述步骤四中,连续顶推千斤顶为两台 100t 液压连续顶推千斤顶,顶推行程 1.0m,顶

推速度 0.5m/min。

曲线桥大跨度钢管拱整体滑移施工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种桥梁施工方法,特别是一种曲线桥大跨度钢管拱整体滑移施工方法,属于桥梁工程建设领域。

背景技术

[0002] 目前,随着我国桥梁建设水平的大幅提高,钢管拱桥梁以其造型美观、造价低廉备受人们喜爱已得到广泛的应用,钢管拱的安装技术根据桥梁的地质、环境因素而多种多样,主要有支架施工法、缆索吊装法、平转法、竖转法,以及几种方法综合应用的施工方法。

[0003] 支架法:

[0004] 即指在支架上现浇或拼装结构的方法,就是在桥位处按照钢管拱肋的设计线型加预拱度,拼装好膺架,在脚架上就位拼装、焊接成拱的施工方法膺架可采用满堂式、或者分离式、或者两种方式的结合。这种施工方法一般只应用于小跨径或者不通航或通航要求不高、水深较浅等条件,但费工费时费支架,在大跨径的桥梁中已很少采用,且拱肋接头较多,焊接工作量大,工期较长;对桥下地形、地基等条件要求较高。

[0005] 缆索吊装施工法:

[0006] 即是根据缆索吊机的吊装能力,将拱肋分段预制,由缆索吊机先将两拱脚段吊装就位,并用扣索将其固定,再依次吊装其余各段并与先吊段对接,直至吊装完毕但缺点是拱肋空中对接精度较难控制,拱轴线型控制有一定难度,分段越多,质量和工期控制难度越大。

[0007] 平转施工法:

[0008] 即是将拱圈分为两个半拱,分别在两岸偏离桥位的位置,利用山体、岸坡或引桥的桥墩设置膺架,拼装拱肋和拱上立柱,形成半拱,然后水平转体就位,再拼装合拢段成拱。平转法施工主要适合于单跨拱桥,但缺点为球铰加工质量要求高,对多跨拱桥不适用且费用较高。

[0009] 竖转施工法:

[0010] 即是先在拱顶附近将主拱圈一分为二,并以拱趾为旋转中心,将设计拱轴线垂直向下旋转一定角度,将拱顶合拢端置于地面或浮船上,这样即可在较低的膺架上拼装两个半拱。待两半拱拼装完成后,由两副墩顶扒杆分别将其拉起,在空中对接合拢。但缺点是:要求桥下具有一定的拼装场地;若必须使用浮船时,水流不能太急,否则将增加施工难度。

[0011] 上述四种施工工法各有优缺点,但四种施工工法均不能与主梁或主体结构同步施工,工期较长,安装钢管拱所用临时施工设施及材料较多且需占用一定的施工场地或者航道。

发明内容

[0012] 为了克服上述缺点,本发明提出一种曲线桥大跨度钢管拱整体滑移施工方法。该方法采用钢管拱异位分段组拼、整体滑移就位的施工工艺,有效解决了钢管拱施工工期较

长,占用场地多的问题且节约临时施工材料用量。

[0013] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案如下:

[0014] 一种曲线桥大跨度钢管拱整体滑移施工方法,其特征在于:首先将钢管拱制造安装段现场组拼、焊接成大的吊装段;然后在桥位纵向拼装场地位置安装临时拼拱支架,在临时拼拱支架上安装拱肋,钢管拱拼装完成后,采用拱脚约束装置将拱脚预紧,使钢管拱形成受力整体;最后拆除临时拼拱支架,采用顶推动力系统实现整个钢管拱整体滑移就位。

[0015] 具体施工步骤如下:

[0016] 步骤一、将钢管拱主拱分为三大吊装段,在地面组拼成型,两边段各为 55.47m,中段为 33.54m;

[0017] 步骤二、在引桥 150m 范围处,搭设临时拼拱支架,安装钢管拱滑移系统和支撑系统,利用大吨位吊机将三大段拱肋吊装就位,组拼焊接成型;

[0018] 步骤三、钢管拱组拼焊接完成后,整体落架,利用张拉千斤顶和钢绞线调整拱脚和拱轴线位置;

[0019] 步骤四、落架体系转换后,拆除临时拼拱支架,利用连续顶推千斤顶实现在曲线桥面上钢管拱的整体滑移;

[0020] 步骤五、钢管拱整体滑移就位后,焊接拱脚调整段,完成钢管拱整体滑移就位。

[0021] 所述步骤二中,在引桥简支梁 150m 范围搭设拼拱临时支架,临时支架立柱采用 $4\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 及 $4\Phi 800\times 10$ 的钢管桩,其中四根 $\Phi 800\times 10\text{mm}$ 钢管桩支撑在简支梁梁面上,另外四根 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢管桩支撑在桥下地面,简支梁桥外缘四根 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢管桩下浇注 $1.5\times 2.0\times 1.0\text{m}$ 的混凝土基础,每个基础下插打 2 根 $\Phi 630\times 8\text{mm}$ 钢管桩,每根钢管桩承载力按 50t 设置,打入深度为 12m,同时浇注混凝土基础时,预埋锚固钢板以便于 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢立柱焊接,最后钢管桩钢立柱接高至拼拱支架的设计标高;根据钢管桩支架设计位置,位于简支梁面上的钢管桩立柱下浇筑尺寸 $150\text{cm}\times 150\text{cm}\times 35\text{cm}$ 的 C30 混凝土基础,基础下植入直径 $\Phi 20\text{mm}$ 锚固钢筋,基础顶面预埋 $1200\times 1200\times 12\text{mm}$ 的锚固钢板,然后安装 $\Phi 800\times 10\text{mm}$ 钢管桩,8 根钢管桩纵向每 19.55m 设计一道桁架式连接系、横方向每隔 8.5m 设置一道桁架式连接系,并设置柔性剪刀撑和斜向缆风。

[0022] 所述步骤二中,钢管拱滑移系统包括轨道基础、轨道系统、走行轮箱以及轮箱连接桁架梁,轨道基础采用 C50 混凝土基础,基础宽度 100cm,厚度 15cm,轨道基础预埋钢轨连接板,轨道系统采用 P43 钢轨,每条滑移轨道设两条钢轨,两条钢轨中心间距为 50cm,每侧滑移轨道设 4 组走行轮箱,走行轮箱可根据曲线半径自由转向,两侧走行轮箱组之间设置轮箱连接桁架梁,以保证两侧拱肋同步滑移。

[0023] 所述步骤二中,支撑系统设置于滑移系统的轮箱连接桁架梁上,且钢管拱与支撑系统之间采用三角抱箍连接,将钢管拱的轴向力转换为竖向力,同时在三角抱箍上设置拱脚约束装置,将钢管拱两拱脚连接,传递因自重产生的拱脚水平张力。

[0024] 所述三角抱箍为钢板焊接而成的空间组合结构,底板为厚 30mm 钢板,通过 M24 高强螺栓与支撑系统贝雷连接,侧板为 30mm 钢板,传递拱脚水平力,其上设置张拉钢绞线作业孔和贝雷连接器,通过加强劲板将钢绞线与贝雷连接器连接,三角抱箍上部通过 U 形抱箍及高强螺栓通过摩擦力克服钢管拱的下滑力,将钢管拱上下拱肋固结。

[0025] 所述的拱脚约束装置为钢绞线及三组贝雷片的组合结构。

[0026] 所述步骤四中,连续顶推千斤顶为两台 100t 液压连续顶推千斤顶,顶推行程 1.0m,顶推速度 0.5m/min。

[0027] 有益效果

[0028] 此技术方案临时拼拱场地选在桥头路基或桥梁均可,场地占用小,大节段整体吊装、吊装分段少,拼拱支架数量少,因此造价经济。同时高空焊接量少,焊接质量有保证,拱轴线线型控制容易,钢管拱拼装可与混凝土梁同步施工,在异桥位拼拱,不影响桥下通航,施工安全且可加快施工进度。

附图说明

[0029] 图 1 为本发明的曲线桥大跨度钢管拱整体滑移平面图;

[0030] 图中:1-拼拱临时支架中基础钢管桩;2-拼拱临时支架外侧钢管立柱;6-钢管拱拱肋;7-桁架式横向连接系;9-桁架式纵向连接系;10-横向下连接系;11-混凝土基础;13-柔性剪刀撑;14-吊杆;17-走行轮箱;19-支撑系统;20-三角抱箍;26-钢管拱拱脚连接贝雷。

具体实施方式

[0031] 下面结合具体附图 1 及实施例对本发明做进一步的说明。

[0032] 1、工程概况

[0033] 京沪高铁跨娄江(70+136+70)m连续梁拱桥 715#~718#墩上部结构为(70+136+70)m的预应力混凝土连续梁与钢管混凝土拱组合结构。桥两端为 30m 的简支箱梁。钢管拱计算跨径 136m,矢跨比 1/5,矢高 27.2m,拱轴线为二次抛物线(设计拱轴线方程 $Y = -1/170X^2 + 0.8X$),拱肋 6 设置最大预拱度为 0.15m,施工矢高 27.35m(施工拱轴线方程 $Y = -0.005915X^2 + 0.804412X$)。施工时按施工拱轴线制作和拼装,拱肋弦管采用 2m 长的直管折线对接起拱。拱肋 6 为全焊钢管混凝土结构,采用等高度哑铃形截面,截面高 2.8m,每肋由 2 根弦管组成,弦管竖向中心距 2.0m,弦杆为 $\Phi 800$ 钢管,由 16mm 厚的钢板卷制而成,弦管之间用 16mm 厚钢缀板连接,拱肋弦管及缀板内填充 C55 微膨胀混凝土。钢管拱钢结构全重 287.86t,分为 26 节拱肋,9 节横撑及其它配件,拱肋最长节段为 13.74m,重 13t,横撑不分节,每段横撑长 10.85m,重 11.7t,全桥横撑总重 105.3t,整体钢管拱自重约 400t。

[0034] 京沪高铁跨娄江(70+136+70)m连续梁桥位于半径 $R = 7000m$ 的曲线桥段内,桥梁的边跨、中跨为三条直线相接,引桥为每孔跨度 32m 的简支梁,均位于曲线半径范围内。

[0035] 拱肋钢筋在工厂已制作完成,为便于运输,每榀拱肋划分为 13 个运输节段(不含预埋段)。运输节段最大长度小于 13.5m,拱肋接口避开吊杆位置,制作拱肋钢管时,可根据运输条件,加工材料规格调整管节长度和运输节段长度。每榀拱肋 6 上下弦管分别设一处灌注混凝土隔仓板和 30 道加劲钢箍;腹板内设 3 处灌注混凝土隔仓板,沿拱轴线均匀设置加劲拉筋,加劲拉筋间距为 0.5m。

[0036] 两榀拱肋 6 中心距为 12.5m,两榀拱肋之间共设 9 道横撑,横撑均采用空间桁架撑,各横撑由 4 根 $\Phi 450 \times 12mm$ 主钢管和 32 根 $\Phi 250 \times 10mm$ 连接钢管组成,钢管内部不填充混凝土。

[0037] 主桥共设 14 对吊杆 14,吊杆 14 间距 8.0m。吊杆 14 采用 PES(FD) 型低应力防腐

拉索（平行钢丝束） $f_{pk} = 1670\text{MPa}$ ， $E_p = 2.0 \times 10^5\text{MPa}$ ，材质符合 GB223-95 标准。吊杆配套采用 OVMLZM(K)7-109L、OVMLZM7-109G 型冷铸镦头锚。吊杆上端穿过拱肋 6，锚于拱肋上缘张拉底座，下端锚于吊杆横梁下缘固定底座。

[0038] 2、施工方法

[0039] 一种曲线桥大跨度钢管拱整体滑移施工方法，其特征在于：首先将钢管拱制造安装段现场组拼、焊接成大的吊装段；然后在桥位纵向拼装场地位置安装临时拼拱支架，在临时拼拱支架上安装拱肋 6，钢管拱拼装完成后，采用拱脚约束装置将拱脚预紧，使钢管拱形成受力整体；最后拆除临时拼拱支架，采用顶推动力系统实现整个钢管拱整体滑移就位。

[0040] 具体施工步骤如下：

[0041] 步骤一、将钢管拱主拱分为三大吊装段，在地面组拼成型，两边段各为 55.47m，中段为 33.54m；

[0042] 步骤二、在引桥 150m 范围处，搭设临时拼拱支架，安装钢管拱滑移系统和支撑系统，利用大吨位吊机将三大段拱肋吊装就位，组拼焊接成型；

[0043] 步骤三、钢管拱组拼焊接完成后，整体落架，利用张拉千斤顶和钢绞线调整拱脚和拱轴线位置；

[0044] 步骤四、落架体系转换后，拆除临时拼拱支架，利用连续顶推千斤顶实现在曲线桥面上钢管拱的整体滑移；

[0045] 步骤五、钢管拱整体滑移就位后，焊接拱脚调整段，完成钢管拱整体滑移就位。

[0046] 3、钢管拱整体滑移技术的具体构造

[0047] 1)、滑移系统的构造设置

[0048] 钢管拱滑移系统的构造包括轨道基础、轨道系统以及走行轮箱 17、轮箱连接桁架梁。轨道基础采用混凝土基础，基础预埋钢轨连接板，轨道采用 P43 钢轨，每条滑移轨道设两条钢轨，每侧滑道设 4 组走行轮箱 17，走行轮箱 17 可根据曲线半径自由转向，两侧轮箱组之间设置连接桁架梁，以保证两侧拱肋同步滑移。

[0049] 2)、钢管拱与滑移系统的连接构造

[0050] 钢管拱与滑移系统的连接构造就是将钢管拱的轴向力传递给滑移系统，使之形成竖向作用力。此构造就是钢管拱与滑移系统上支撑系统的三角抱箍 20。三角抱箍 20 将钢管拱的轴向力转换为竖向力，克服钢管拱的下滑力，同时在三角抱箍 20 上设置拱脚约束连接构造，将钢管拱两拱脚连接，传递因自重产生的拱脚水平张力。

[0051] 3)、滑移动力系统的构造

[0052] 根据钢管拱整体自重以及摩擦力的大小，滑移动力采用两台 100t 液压连续顶推千斤顶，该液压连续顶推千斤顶一个顶推行程 1.0m，顶推速度 0.5m/min，顶推过程中，左右两台千斤顶同步、对称顶推。

[0053] 4)、钢管拱与拱脚的对接

[0054] 因 0# 块拱脚混凝土的高度为 4.48m，且拱脚中心间距为 12.5m，左右两侧拱脚净距为 11m，而简支梁桥面宽只有 12m，钢管拱异地拼装时，需悬出简支梁桥面范围，因此滑移系统需设置悬臂式结构。同时因拱脚混凝土高度较高，若不采取措施，钢管拱整体支撑结构高度较高，稳定性较差。综合考虑拱脚的受力以及施工需要，拱脚混凝土采取两次浇注，第一次浇注高度 2.13m，待滑移就位后，二次浇注拱脚混凝土，确保施工过程中结构安全。

[0055] 5)、钢管拱拱脚的约束构造

[0056] 钢管拱整体落架后,因自身重力影响,两端拱脚将产生向外的张力,因此拱脚约束的构造非常关键,其关系着钢管拱的线形控制和结构安全。拱脚约束构造需具有一定的强度和刚度,同时必须具有可调节性,以方便拱脚位移的调整。综合考虑钢绞线、钢丝绳以及贝雷片等材料后,拱脚约束采用钢绞线与贝雷片 26 组合结构,双重保证拱脚的受力安全。

[0057] 4、关键施工技术与工艺

[0058] 1)、拱肋的分段划分

[0059] 根据设计图纸以及工厂制造运输方便,每榀主拱肋共分为 13 段,每段长度 8.75-13.74m 不等,运输段运至现场后,根据现场拼装场地以及地质条件情况,将每榀主拱肋的 13 节运输段组拼成 3 节大的吊装段,具体分段为:第一段长 5547cm,第二段长 3354cm,第三段长 5547cm。

[0060] 2)、临时拼拱支架设计

[0061] 临时拼拱支架是钢管拱主拱肋 6 六段吊装段拼接成型的临时支撑结构,待钢管拱整体落架、体系转换后拆除。作为钢管拱的主要承重结构,既要满足支架整体受力要求,也要保证支架的变形和基础沉降要求,支架的设计和施工需重点考虑这两点。

[0062] 在引桥简支梁 150m 范围搭设拼拱临时支架,由于主拱肋间距 12.5m 大于简支梁的梁面宽度 12m,因此有一排立柱位于简支梁外缘。根据吊装段的分段尺寸以及现场实际位置,布设钢管立柱的位置。临时支架立柱采用 $4\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 及 $4\Phi 800\times 10$ 的钢管桩 2,其中有四根 $\Phi 800\times 10\text{mm}$ 钢管桩支撑在简支梁梁面上,另外四根 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢管桩支撑在桥下地面。为保证支架整体稳定性和沉降的要求,简支梁桥外缘四根 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢管桩下浇注 $1.5\times 2.0\times 1.0\text{m}$ 的混凝土基础 11 上,根据对临时支架各工况下的受力计算,每个基础下插打 2 根 $\Phi 630\times 8\text{mm}$ 钢管桩 1,每根钢管桩 1 承载力按 50t 设置,打入深度为 12m,同时浇注混凝土基础 11 时,预埋锚固钢板以便于 $\Phi 1020\times 10\text{mm}$ 钢立柱 2 焊接,最后钢立柱 2 接高至拼拱支架的设计标高。

[0063] 根据钢管桩支架设计位置,位于简支梁面上的支架立柱下浇筑尺寸 $150\text{cm}\times 150\text{cm}\times 35\text{cm}$ 的 C30 基础,基础下植入直径 $\Phi 20\text{mm}$ 锚固钢筋,基础顶面预埋 $1200\times 1200\times 12\text{mm}$ 的锚固钢板,然后安装 $\Phi 800\times 10\text{mm}$ 钢管桩立柱。因临时钢管支架高度较高,整体稳定性较差,最高达 41.11m,必须将 8 根钢管立柱 2 用桁架相连接,纵向每 19.55m 设计一道桁架式连接系 9、横方向每隔 8.5m 设置一道桁架式连接系 7,并设置柔性剪刀撑 13 和斜向缆风。

[0064] 3)、钢管拱分段组拼、焊接控制技术

[0065] 在简支梁桥位外侧地面处,将 26 节拱肋制造运输段现场组拼焊接成 6 大吊装段,现场焊接组拼时,需对拼装临时平台进行硬化,然后安装拼拱临时支架。拼装时必须按照各节段拱肋的特征点坐标,严格控制拱肋接头位置处的相对坐标和高程,保证钢管拱的线形和成型尺寸。

[0066] 4)、滑道、支撑系统施工关键技术

[0067] 钢管拱整体滑移的滑道以及支撑结构系统是整个纵移的关键、核心,其构造的科学、合理性直接关系着钢管拱整体纵移的成败。一般情况下,滑移有两种方式,一种为滑动摩擦、一种为滚动摩擦,根据钢管拱的结构及自重和桥梁曲线半径情况,同时参考一般平移

建筑物的类似工程案例,确定钢管拱整体滑移的滑道结构形式设置为滚动摩擦,采用钢轨滑移,这样,不仅可以减小顶推时的摩擦力,而且轨道可以根据曲线半径进行调整,使钢管拱在滑移中可转弯,实现拱脚精确对接。

[0068] 4.1)、滑道结构

[0069] 滑道基础采用 C50 混凝土条形基础,其滑道基础主要为调整梁面的平整度,控制轨顶标高。基础共长 340m,基础宽度 100cm,厚度 15cm 左右,为保证钢管拱整体滑移的稳定性,每侧滑道设置双向钢轨,轨中心间距为 50cm,浇注轨道基础时预埋锚固钢板,以便将钢轨固定。根据设计轨顶标高,严格控制轨道基础平整度和轨顶标高,在安装轨道时,根据桥梁的曲线半径调整轨道的轴线,为确保整体钢管拱与拱脚的精确对接,轨道轴线偏差控制在 10mm 以内,两条轨道间距偏差控制在 5mm 以内,标高控制在 10mm 以内,以确保滑移轨道的平顺和精确。

[0070] 4.2)、行走系统结构

[0071] 行走系统包括走行轮箱 17 以及轮箱连接桁架梁结构,根据简支梁、连续梁以及拱脚位置的结构尺寸,以及对简支梁梁体的受力计算分析,滑移行走轨道中心线需位于简支梁腹板根部 50cm 范围,同时结合连续梁拱脚的位置关系,确定轨道中心线间距 3.95m,于两侧竖墙之内。这样不仅满足简支梁梁体受力要求,而且可满足滑移对接的结构尺寸要求。轮箱连接桁架梁上设置有支撑系统 19。

[0072] 根据简支梁翼缘板的受力分析,减小梁体所受集中力,每侧轨道设置 4 组走行轮箱 17,每个轮箱下设置 4 个走行轮,最大轮压 7.5t,将每两个走行轮箱 17 采用销轴及连接板相连接,顶部底座位置设置转向销轴,销轴与轮箱连接桁架采用轴销铰结,故轮箱及其滑移系统即可根据曲线半径自由转向,钢管拱滑移时,可由转向轮箱的轴销自由转动,实现曲线桥钢管拱整体滑移。

[0073] 两侧走行轮箱 17 组的连接桁架梁由型钢根据轨道以及钢管拱支撑系统 19 的尺寸加工而成,其为下部轨道轮箱和上部钢管拱支撑横梁 19 的中间连接构造,其作用就是将钢管拱的重力荷载由支撑系统 19 传递至轮箱轨道,同时还保证两侧拱肋在整体滑移时保持同步、对称。

[0074] 4.3)、支撑系统

[0075] 钢管拱整体滑移的支撑系统 19 为支撑钢管拱自重的主要承重结构,因钢管拱两拱肋的中心间距大于简支梁宽且滑移轨道的中心位置等因素,支撑钢管拱重力横梁需设置为悬臂式结构,最大悬臂 2.3m,因此,支撑横梁必须具有一定的强度和刚度要求,以防止钢管拱落架后,变形较大,影响拱轴线形。根据整体钢管拱的重量以及临时荷载分析,支撑横梁悬臂端最大受 120t 荷载,因贝雷片抗弯能力强,且安装拆除方便,综合考虑支撑横梁的强度和挠度控制因素,支撑系统梁采用组合贝雷梁结构,根据计算分析,横梁采用 8 组上下加强贝雷梁,采用横向支撑架将 8 组贝雷梁连接成整体,共同受力,8 组支撑横梁与下部轮箱连接桁架梁采用 32 个 M24 高强螺栓连接,将贝雷横梁与下部轮箱走行结构连接成整体。经计算分析,钢管拱落架后,支撑贝雷横梁最大悬臂 3mm,满足挠度变形要求。

[0076] 4.4)、钢管拱与支撑结构的连接抱箍

[0077] 钢管拱与支撑结构的连接构造就是将钢管拱的拱轴向力传递给支撑系统 19,使之转换为竖向作用力。此构造即为钢管拱与滑移系统的三角抱箍 20。其一方面将钢管拱的轴

向力转换为竖向力,克服钢管拱的下滑力,同时拱脚连接系通过此拱脚抱箍,传递钢管拱整体落架后因自重产生的拱脚水平张力。因此,三角抱箍 20 不仅要承受钢管拱的下滑力而且要受拱脚水平力,此连接抱箍构造受力及结构复杂,为钢管拱实现滑移的关键构造。

[0078] 三角抱箍 20 为钢板焊接而成的空间组合结构,底板为厚 30mm 钢板,通过 M24 高强螺栓与支撑贝雷连接,侧板为 30mm 钢板,传递拱脚水平力,其上设置张拉钢绞线作业孔和贝雷连接器,通过加强劲板将钢绞线与贝雷 26 连接。上部通过 U 形抱箍及高强螺栓通过摩擦力克服钢管拱的下滑力,将钢管拱上下拱肋固结。

[0079] 5)、钢管拱大节段整体吊装施工技术

[0080] 钢管拱在地面组拼成三大对称吊装段后,即第一段长 55.47m,重 55T 第二段长 33.54m,重约 33T,第三段长 55.47m,重约 55T。因地面至拼拱支架顶高度为 44.1m,高度较高,根据现场施工环境及地质情况,结装吊施工机械手册,进行吊机选型,确定采用两台 300t 汽车吊机联合吊装。

[0081] 汽车吊将钢管拱节段吊至钢管支架上固定的同时将拱肋 6 与滑移系统连接。为保证吊装到位后拱肋的稳定性,每个吊装段吊装到位后在其对应的位置安装横撑。

[0082] 吊装顺序按照左右、前后对称的原则进行,吊装过程中,为确保两台汽车吊机同步操作,由一人统一指挥,吊装前检查拱肋的吊耳的焊接质量以及钢丝绳的质量,详细顺序如下:

[0083] 1)、吊装上海方向左侧 55.47m 吊装段。

[0084] 2)、吊装上海方向右侧 55.47m 吊装段。

[0085] 3)、安装上、下横撑,将两片钢管拱连接成整体。

[0086] 4)、吊装北京方向左侧 55.47m 吊装段。

[0087] 5)、吊装北京方向右侧 55.47m 吊装段。

[0088] 6)、安装上、下横撑,将两片钢管拱连接成整体。

[0089] 7)、安装中跨 33.54m 合拢吊装段。

[0090] 在吊装左侧或右侧第一节钢管拱肋时,因左右不对称吊装,不平衡荷载的作用,防止滑移承重贝雷横梁倾覆,需在简支梁翼缘板左右两侧钻孔,采用 4 根直径 $\phi 32\text{mm}$ 精轧螺纹钢及双拼工 25 反压横梁将贝雷横梁与梁体锚固。

[0091] 6)、钢管拱整体落架、体系转换关键施工技术

[0092] 钢管拱吊装组拼、主拱肋以及横撑焊接完成后,即进行钢管拱整体落架,使钢管拱由拼拱钢管支架和支撑贝雷横梁 26 共同受力转换为支撑贝雷横梁受力,即由 6 点支撑受力体系,转换为 4 点支撑受力体系,为整体钢管拱的滑移做准备。

[0093] 6.1)、落架前准备工作

[0094] 6.1.1)、拱脚水平张力计算分析

[0095] 根据钢管拱及横撑的结构自重,采用 midas 结构分析软件建立整体结构模型进行计算。

[0096] 计算结果:临时拉索采用 $\phi 15.24\text{mm}$ 钢绞线施工,每榀拱肋拱脚张拉力为 $P = 1150\text{kN}$ 。

[0097] 6.1.2)、安装拱脚约束钢绞线及贝雷片

[0098] 经过对钢管拱受力计算分析,其拱脚水平张力为 115t,每榀拱肋采用 16 束直径

$\phi 15.24\text{mm}$ 钢绞线和 3 组贝雷 26 连接。拱脚约束钢绞线通过张拉锚具与拱脚抱箍连接,利用抱箍侧板预留作业张拉孔,安装千斤顶和张拉锚具、夹片。根据落架后拱脚的位移变化,利用千斤顶张拉钢绞线来调节拱脚坐标。贝雷片与拱脚抱箍采用贝雷连接器和精轧螺纹钢连接,一个拱脚的 3 组贝雷 26 采用 6 根 $\phi 32\text{mm}$ 精轧螺纹钢连接,通过调节精轧螺纹钢螺母,调节拱脚位移。拱脚约束 16 束钢绞线和 3 组贝雷 26 单独均能承受拱脚的水平张力,在施工中,钢绞线与贝雷片 26 共同受力,双重保险。

[0099] 同时,钢管拱拱脚连接贝雷片 26 跨度 126m,共 252 片,重 68t,每隔 8m 在钢管拱吊杆孔位置采用钢绞线作吊杆,与主拱肋连接成整体,这样不仅可以减小贝雷片的挠度,而且可有效降低整体钢管拱的重心位置。在整体钢管拱滑移过程中,增强结构的整体稳定性。

[0100] 6.2)、落架、体系转换

[0101] 拱脚约束钢绞线及贝雷 26 安装完成后,采用两台 200t 千斤顶、两端同步、对称张拉拱脚钢绞线,张拉时分五级(10%、20%、50%、80%、100%)缓慢进行,直至张拉至 115 吨,拱脚张拉过程中,采用全站仪全过程测量监控拱脚的位移变化,并通过拱肋 6 的应力应变片监控钢管拱肋的应力变化情况。为保证在体系转换过程中,钢管拱的全部重量均转换为支撑贝雷来承受,为保证支撑贝雷横梁的结构安全,在贝雷悬臂端设置应力应变监控片,随时监控贝雷的应力变化情况和变形情况。

[0102] 拱脚张拉至设计吨位后,及时调节、拧紧贝雷片端头精轧螺纹钢螺母将贝雷组与拱脚抱箍连接,使之形成整体,钢绞线与贝雷片 26 共同受力。钢绞线张拉后,拱脚将向内收缩位移。为监控理论拱脚张拉力与实际拱脚的张力是否一致,防止因内力不平衡导致轮箱前后位移过大,在前后四个轮箱 17 支撑贝雷横梁处,安装 8 台 30t 电子吊称,电子吊秤与梁面锚固,呈八字形布置,以便测量监控在钢管拱体系转换过程中,内力的平衡情况,同时采用 30t 导链葫芦来调节内力的平衡。

[0103] 拱脚张拉完成后,采用四台 200t 千斤顶在原拱肋支点位置将拱肋顶住,拆除安装用拱肋支座,四台千斤顶同步、缓慢下落,同时观察拱脚水平位移,此时拱脚将向外张移,如与钢管拱理论线型误差较大,则可通过再次张拉钢绞线来控制钢管拱的拱脚坐标,调节拱肋整体线型。在实际施工中,钢绞线张拉至 115t 后,拱脚往内位移 12mm,当落架完成后,拱脚往外位移 10mm,与拱脚设计位置基本一致,完全满足钢管拱线型要求。

[0104] 7)、钢管拱整体滑移动力系统施工技术

[0105] 钢管拱整体落架、完成体系转换后,即可进行整体滑移,钢管拱动力系统的选择是实现滑移的关键。根据钢管拱整体自重以及摩擦力的大小,滑移动力采用两台 100t 液压连续顶推千斤顶,布置在前进方向两端,该液压连续顶推千斤顶一个顶推行程 1.0m,顶推速度 0.5m/min,顶推过程中,左右两台千斤顶同步、对称顶推。

[0106] 该顶推千斤顶通过夹轨器利用钢轨提供反力,千斤顶推器在钢轨上爬行,钢轨既承受顶推反力,又为顶推导向,轨道钢轨起反力和导向作用。

[0107] 液压顶推千斤顶的滑移装置由 100 吨级液压千斤顶和自动夹轨器组成。液压千斤顶的前端与滑移轮箱连接,后端与夹轨器连接,夹轨器骑在钢轨上。液压千斤顶伸缸时,夹轨器自动夹住钢轨提供顶推反力,液压千斤顶的后端顶着夹轨器,前端就徐徐伸出推动钢管拱整体向前滑移。液压千斤顶缩缸时,夹轨器自动松开钢轨,随千斤顶缩回,到达下一个行程位置。因此在顶推作业中,液压顶推千斤顶是自动在钢轨上爬行的。液压泵站为提供

动力,两台千斤顶配置一台泵站,保证两端千斤顶同步滑移。

[0108] 8)、钢管拱整体滑移精确对接关键施工技术

[0109] 钢管拱整体滑移到位后,能否与拱脚预埋钢管精确对接,能否保证桥面预埋吊杆孔与钢管拱吊杆孔的位置准确,是钢管拱能否滑移成功的关键。因此在钢管拱还尚未滑移到位前,就必须精确测量钢管拱的轴线位置和吊杆孔的孔位坐标,以便在滑移过程中及时调整。钢管拱轴线的调整通过滑移轨道的位置来调整,标高的调整通过调节轨道的标高和千斤顶来调整。

[0110] 钢管拱整体滑移至拱脚后,测量钢管拱以及拱脚预埋钢管的轴线位置是否满足钢管拱对接要求,拱的横向轴线偏差不大于10mm,拱肋接缝错台不大于0.2壁厚,即3.2mm,如偏差过大,则及时调整。同时测量钢管拱的矢高以及各吊杆孔位高程以便控制拱的轴线方程及吊杆索的安装精度,测量钢管拱各吊杆孔的孔位坐标是否与桥面预埋吊杆孔相符合,如有误差,则通过平差的方法将吊杆孔的误差分配至各个吊杆孔上,严格控制将误差累计集中在一根吊杆之上。按着钢管拱整体滑移的设计构造尺寸,钢管拱滑移至拱脚后,拱脚调节段为1.22m,通过实际测量后,准确确定拱脚调节段的实际长度,实现整体钢管拱滑移后与拱脚精确对接、就位。

[0111] 在实际滑移过程中,钢管拱稳步前进,用时48h,滑移210m,将钢管拱6整体滑移就位,与拱脚预埋拱肋横向误差8mm,与桥面预埋吊杆孔位置相差10mm,实现了钢管拱6的精确对接。

[0112] 以上是本发明的一个具体实施例,本发明的实施不限于此。

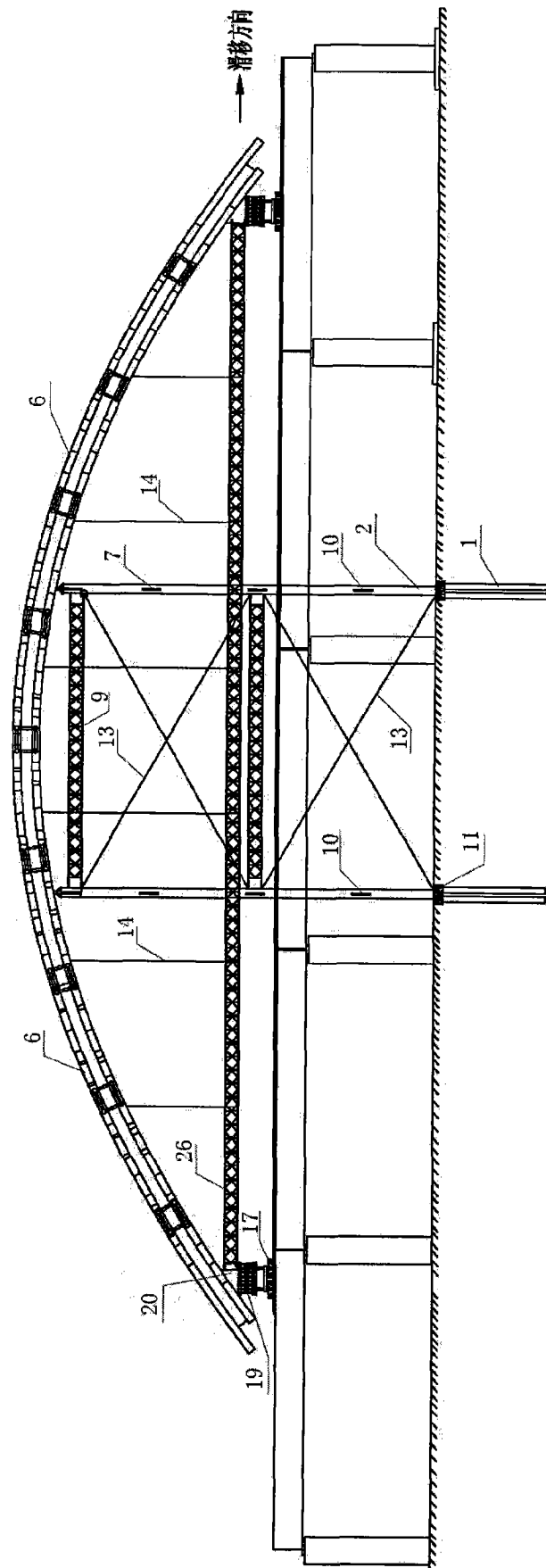


图 1