

特大桥大悬臂预应力混凝土盖梁施工支架方案研究

唐鑫, 陈新华, 杨君磊

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

摘要:根据盖梁施工的复杂性和风险性,从盖梁支架方案的设计和选型角度出发,结合乌鲁木齐绕城高速(西线)工程 PPP 项目头屯河连接线特大桥大悬臂预应力盖梁施工,分别介绍了两种支架方案:(1)桁架式穿心棒法,其由传统的盖梁穿心棒法改进优化而来;(2)扇形托架支架方案,其由连续刚构桥梁 0 号块扇形托架改进而来。两种支架方案各有特点,均有效地解决了大悬臂预应力盖梁施工支架平台的搭设、拆除问题。与常规方案相比,大大地节约了工程措施费,保证了工程进度,所取得的经验可为后续类似工程施工提供借鉴。

关键词:头屯河连接线特大桥;大悬臂;预应力盖梁;桁架式穿心棒法;扇形托架支架方案

中图分类号: U444;U445;U442;U446

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2023)04-0040-05

Research on Construction Support Scheme of Large Cantilever Prestressed Concrete Cover Beam of an Extra-large Bridge

TANG Xin, CHEN Xinhua, YANG Junlei

(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: According to the complexity and risk of cover beam construction, starting from the angle of the design and selection of the cover beam support scheme, combined with the construction of the large cantilever prestressed cover beam of the Toutun River Link Extra-large Bridge of Urumqi Ring Expressway (Western Line) PPP project, this paper introduce two support schemes; one is the truss type piercing rod method, which is improved and optimized on the basis of the traditional piercing rod method; The other is the fan-shaped bracket support scheme, which is improved from the #0 block fan-shaped bracket of the continuous steel bridge. The two schemes have their own characteristics, and both effectively solve the problem of erecting and dismantling the support platform of the large cantilever prestressed cover beam. Compared with the conventional scheme, the project cost is greatly saved, the project progress is guaranteed. The experience gained can provide reference for similar projects.

Key words: Toutun River Link Extra-large Bridge; Large cantilever; Prestressed cover beam; Truss type piercing rod method; Fan-shaped bracket support scheme

1 概述

随着国内高速公路工程的不断发展,跨越山川河谷的各种特大桥应运而生。乌鲁木齐绕城高速(西线)工程 PPP 项目全长约 91.784 km,路线起点为乌鲁木齐东绕城高速的终点,路线终点为吐乌大高速甘泉堡互通,全线按双向八车道高速公路标准设计,设计速度为 100 km/h,路基宽度为 41 m。头屯河互通连接线是乌鲁木齐“三环十五射”中乌市西向重要放射线之一,在头屯河互通立交新建头屯河互通连接线,其路基宽度为 19 m,设计速度为 60 km/h,其等级为一级集散公路。

该连接线跨越乌鲁木齐头屯河,属于该工程中最长、最高的一座特大桥。

头屯河连接线特大桥起点桩号为 K0+014.000,终点桩号为 K2+306.000,全桥分为主桥部分和东、西引桥部分。西引桥上部结构为 5 联 3×40 m 预制小箱梁,先简支后结构连续体系;其下部结构:1 号~7 号墩柱为圆柱墩,8 号~15 号墩柱有矩形实心墩、等截面空心墩及变截面薄壁空心墩三种结构,墩柱高度在 23~62 m 之间,其中 1 号~7 号墩顶为一般混凝土盖梁,10 号~15 号墩顶为大悬臂预应力现浇混凝土盖梁。主桥跨径布置 82 m+4×15 m+82 m 连续刚构

收稿日期:2023-03-30

桥,主桥上部结构采用预应力混凝土箱梁,箱梁顶面设置1.5%双向横坡,底板水平,主墩采用变截面双肢空心矩形墩,主桥下部结构的16号~22号墩柱为变截面薄壁双肢空心墩,高度为85~112 m。东引桥桥跨布置 $4 \times (3 \times 60 \text{ m}) + 3 \times 45 \text{ m}$ 钢-混工字形组合梁,共计7联;其下部结构:23

号~32号墩为变截面薄壁空心墩,33号~35号墩为等截面空心墩,36号墩为矩形实心墩,墩柱高度为37~83 m,墩顶均为大悬臂预应力现浇混凝土盖梁。大悬臂预应力盖梁结构见图1。

2 工程特点及难点

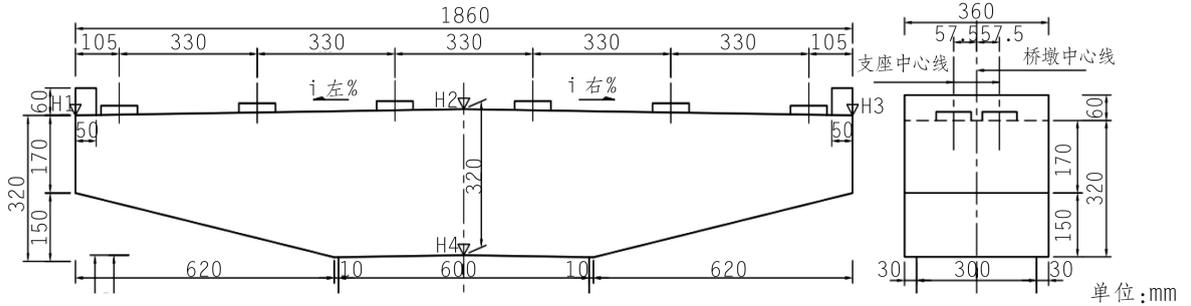


图1 大悬臂预应力盖梁结构图

2.1 大悬臂预应力盖梁的设计参数

头屯河连接线特大桥墩柱基本为薄壁空心结构,墩柱顶部的横向长度为6 m,路面宽度为19 m。盖梁的横向长度达18.6 m,宽度为3.6 m,中

心高度为3.2 m,端部高度为1.7 m,单侧悬挑长度达6.3 m。如此长度的悬挑盖梁在国内外均较少见,在盖梁内布置了10束预应力钢筋。大悬臂预应力盖梁预应力筋布置情况见图2。

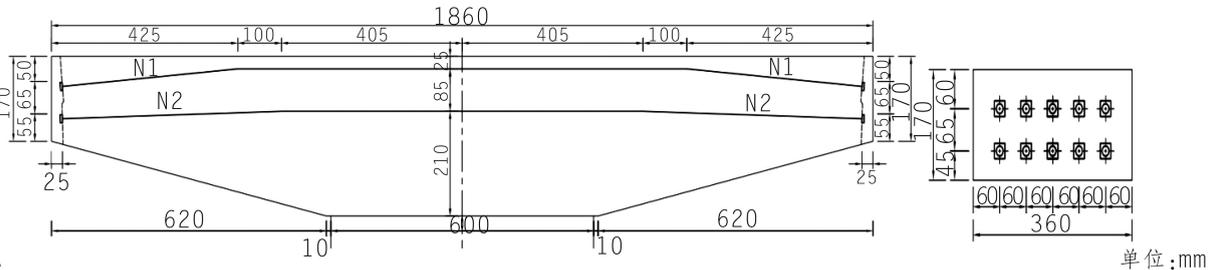


图2 大悬臂预应力盖梁预应力筋布置图

2.2 大悬臂预应力盖梁施工与支架设计难点

鉴于特大桥大悬臂预应力盖梁悬挑长度过长、结构体积大,且其墩柱高度一般在20 m以上。在如此高度的情况下布置盖梁支架施工平台,首先需要考虑的是支架结构设计的可靠性和安全性。该预应力盖梁为钢筋混凝土结构,在混凝土浇筑施工时,除考虑结构重量外,还需考虑施工人员、设备、材料、施工荷载等因素,其各种累计荷载达400 t,一旦支架平台出现严重变形、倾覆等不可控情况,其损失是不可估量的;另外,还需要考虑支架材料的垂直运输问题以及支架安装、拆除等问题,其支架构件的大小、重量等均需满足垂直运输设备的运行要求,同时要求施工前安装方便、施工完成后拆除快捷,能够满足工程进度要求。

大悬挑混凝土现浇结构意味着悬挑端在施工过程中容易出现较大的下扰甚至变形,因此,在支架平台设计和验算过程中,悬挑段的抗扰必须满足规范要求,其抗扰在可控范围内以保证盖梁结构的质量,确保施工安全。

鉴于盖梁高空作业危险系数高、施工难度极大,支架方案的选型和设计在考虑安全、方便的前提下同样应尽量节省施工措施费。而以往采用的满堂脚手架在如此高结构中基本不适用,其效率低,成本高,因此,支架的设计要从施工全过程考虑,以便更好地适应施工现场的实际情况。

3 盖梁支架方案的选型及设计

3.1 常规盖梁支架方案

常规20 m以下的墩柱基本为圆墩柱结构,而该类型墩柱为一般结构盖梁,此类盖梁的施工常采

用抱箍法或穿心棒法搭设支架:抱箍法为采用钢抱箍箍紧圆墩柱在墩柱上形成基础,以此安装横梁等结构形成施工平台;而穿心棒法则是在墩柱浇筑过程中在墩柱中提前预埋钢棒、钢棒伸出墩柱结构一定的长度且以伸出结构的钢棒为基础安装横梁形成施工支架平台。上述两类支架的安装、拆除均比较方便,适合高度不大的桥梁盖梁结构的施工,此类施工工艺比较成熟,在中小桥梁工程中应用广泛;部分 20 m 以下的墩柱为实心墩结构,墩顶一般为现浇大盖梁,悬挑长度不长,在地面基础硬化处理后采用大钢管柱加贝雷梁的形式搭设支架平台即可满足施工要求。但在该工程中,由于墩柱高度为 30~80 m,且悬挑长度又过长,采用常规的支架方案已无法满足头屯河特大桥大悬臂预应力盖梁施工,必须重新进行方案优化和设计。

3.2 桁架式穿心棒盖梁支架方案

穿心棒在圆墩柱盖梁中的应用非常广泛,其通过在墩柱中预埋钢棒形成基础,将双拼工字钢安装在钢棒上形成支架平台。对穿心棒支架基础进行改进,使其适合大悬臂预应力盖梁施工;常规穿心棒法预埋的钢棒直径为 8 cm 左右即可。针对大悬臂预应力盖梁在其墩柱施工时可以增大预埋穿心钢棒的直径以满足支架基础承载力的要求。但在穿心棒方案中,主横梁采用的是双拼工

字钢结构,而对于预应力盖梁如此大的悬挑长度常规双拼工字钢是无法满足施工荷载要求的,故需要对主梁重新进行强化设计,采用其他的材料或结构形式进行替换。

在众多结构设计类型中,贝雷梁形式的桁架结构最具优势^[1],其能够充分发挥材料的作用,承受较大的拉力和压力,从而节省施工材料,减轻结构的重量,同时其稳定性好。将其用于悬挑结构施工时扰度可控,抗变形能力强,可以将穿心棒法中的主横梁替换为桁架结构,应用于该工程中的大悬臂预应力盖梁施工。

参考贝雷梁的结构形式并结合现场施工受力情况,采用工字钢或 HN 型钢拼焊成桁架结构用以替代穿心棒支架中的主横梁悬挂在墩柱中预埋的钢棒上作为支架平台,此时桁架上的横梁受力最大。最终采用 HN700 mm×300 mm 型钢做主梁,HW400 mm×144 mm 工字钢做主斜撑,HW300 mm×130 mm 工字钢做次斜撑,各个构件之间采用焊接方式连接牢固,采用 HW200 mm×204 mm 做分配梁,将其安放在主横梁上形成施工平台,穿心棒采用 $\Phi 16$ mm Mn 钢棒。为满足施工荷载要求,单个支架平台只需要两片桁架横梁即可形成支架施工平台。桁架式穿心棒法支架设计情况见图 3。

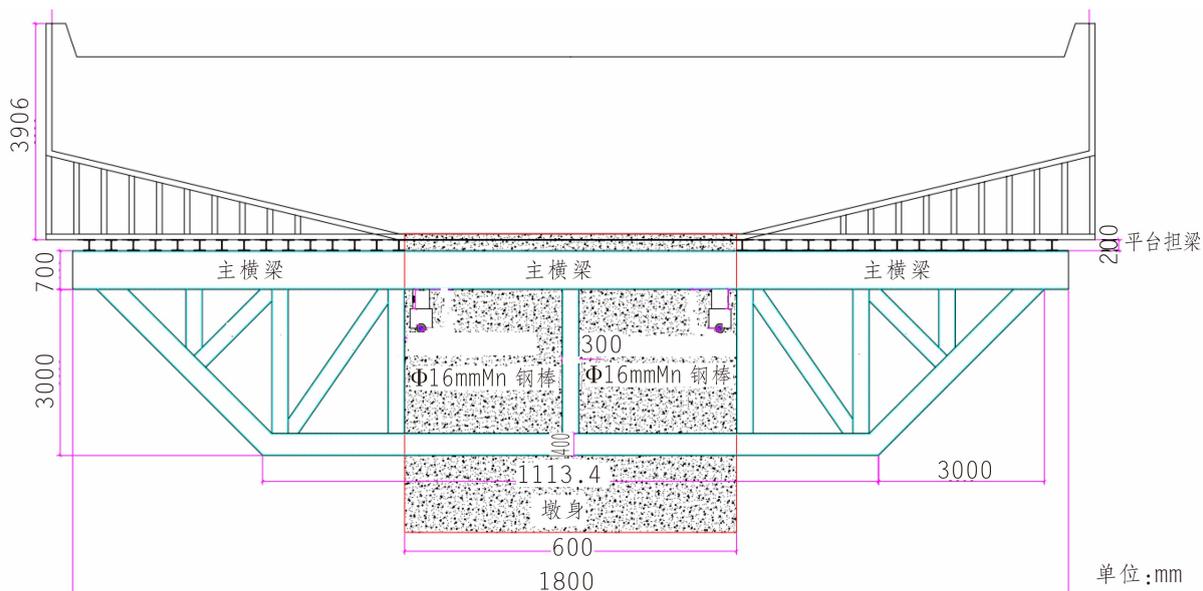


图 3 桁架式穿心棒法支架设计图

优化设计后的方案经过 3D 建模验算后得知其强度、刚度和稳定性均满足安全要求^[2],初步计

算单片桁架主横梁重约 8 t,其委托专业生产厂家制作。桁架横梁整片生产完成后直接运至现场使

用;一般情况下,对于高度40 m以下的墩柱不配置塔吊设备,而是直接使用汽车吊进行材料的垂直运输。穿心钢棒顺桥梁纵轴线方向进行预埋安装,其安装位置在考虑受力均衡、稳定的情况下尽量向盖梁两悬挑方向靠近以减少支架平台悬挑的长度,所预埋的高度需考虑卸落装置、分配梁以及模板结构尺寸,以保证其安拆方便。钢棒安装完成后,将生产好的桁架横梁整片运至现场,使用汽车吊进行桁架主横梁的安装,将其直接悬挂在预埋的钢棒上,安装过程相对方便、快捷;但针对高度40 m以上的高墩,其材料垂直运输需使用塔吊^[3],桥梁工程预制梁的长度一般为20 m、30 m、40 m,采用塔吊邻近墩柱进行安装可以覆盖塔吊附着墩柱的前后两个墩柱,即一台塔吊可以控制三个墩柱。但是,塔吊在20~40 m处的起吊重量较小,而单片桁架横梁重达8 t左右,致使塔吊无法进行起吊安装。因此,该类型支架适用于高度40 m以下的高墩大悬臂预应力盖梁施工,单个盖梁施工完成后,可以直接采用汽车吊在各墩柱之间快速周转支架平台,从而大大加快施工效率。该类型的支架在该项目大桥、特大桥工程中得到了广泛应用。

3.3 扇形托架式盖梁支架方案

在连续刚构桥梁中,墩柱和梁属于刚性钢筋混凝土现浇结构。墩柱施工完成后,墩顶的0号块需要搭设施工平台进行现浇施工。常规的施工方案为安装扇形托架后形成施工平台,该施工工艺在连续刚构0号块施工中运用广泛,其同样为悬挑结构,可以将扇形托架引入大悬挑预应力盖梁施工中,但是0号块悬挑长度不长,其一般悬挑的长度为3 m左右。而该工程盖梁的悬挑长度长达6.3 m,且其扇形托架的主要结构为上横杆和斜撑结构,需要将扇形托架的断面结构尺寸调大,对其单个构件的长度和悬挑长度均需进行加长设计以满足预应力盖梁的施工要求;扇形托架采用三角架结构设计,三角架各个杆件之间采用活销连接,托架上横杆采用双拼工字钢焊制而成,斜杠同样采用双拼工字钢以满足施工荷载要求;在预应力盖梁两侧悬臂段各安装两副扇形托架,在墩柱内预埋直径32 mm的PSB830精轧螺杆,在精轧螺杆上安装托架定制的抗剪牛腿,采用高强螺栓对拉固定两副牛腿^[4],托架与牛腿同样采用活销连接以形成施工平台。扇形托架式支架设计方案见图4。

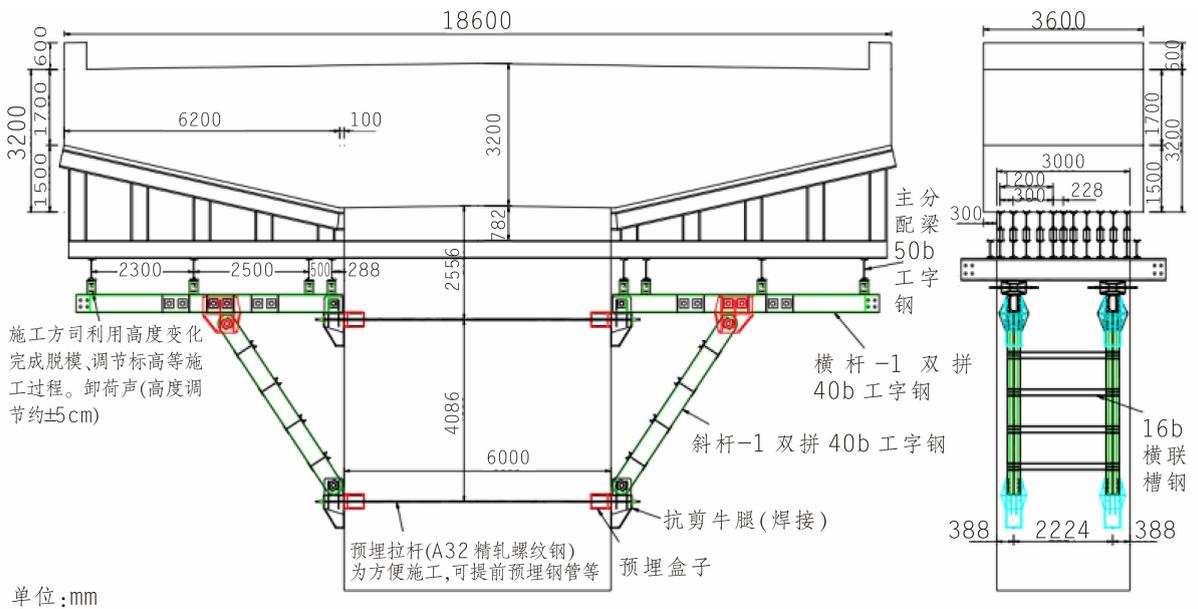


图4 扇形托架式支架设计方案示意图

扇形托架方案经过3D建模验算其强度、刚度和稳定性均满足施工安全要求;该扇形托架构件委托专业的厂家生产,各类杆件均采用焊接的方式进行生产制作后运至施工现场再进行拼装。

墩柱施工过程中需根据托架结构、卸落装置、盖梁模板等结构的尺寸在合理的位置预埋两根钢管,并在钢管的两端头紧贴墩柱表面预埋抗剪牛腿的钢盒子,墩柱施工完成后,通过预埋的钢盒子和钢

管穿入精轧螺杆,使用起重设备吊起抗剪牛腿,由人工配合穿入精轧螺杆中、安装进预埋的钢盒子,然后采用穿心式千斤顶张拉精轧螺杆^[5],并采用双高强螺栓进行锚固。抗剪牛腿的张拉工序十分重要,且整副托架的受力均在牛腿上,因此,必须张拉至牛腿牢固嵌入预埋钢盒子内为止。扇形托架的单个配件重量不足 1 t,对于高度 40 m 以下的墩柱采用起重吊车将其起吊至安装位置、插销插入安装即可;针对高度 40 m 以上的高墩大悬臂预应力盖梁施工,其垂直运输设备为塔吊,亦可采用塔吊直接进行托架的安装施工。两侧扇形托架安装完成后,采用槽钢将同一侧的两个托架斜撑有效连接在一起以加强单侧扇形托架的整体稳定性。在横梁上的相应位置安装卸落装置,在卸落装置上安放分配梁,最终形成施工平台。

虽然扇形托架的支架方案在任何高度的墩柱中均可适用,但扇形托架的安装和拆除过程较为复杂,其安装工序较多,对人工操作的依赖性较大,在高空进行支架的安装和拆除时其整体施工难度较大,安全风险系数高且施工耗时较长,一个墩柱托架的安、拆过程需要 2 d 左右,相比桁架式穿心棒法而言,虽然扇形托架适用的范围更广,但其施工效率与其相比略低一些。但针对高度 40 m 以上的高墩大悬臂预应力盖梁,该类支架能够很好地解决施工材料垂直运输限重的问题,并在该工程头屯河连接线特大桥中得到了充分应用。

4 结 语

乌鲁木齐绕城高速(西线)工程 PPP 项目头

(上接第 22 页)

[4] 靳俊杰. 某水电站引水隧洞不良地质洞段初期支护措施研究[J]. 现代商贸工业. 2017, 27(6): 197-198.
 [5] 李瑞. 新疆某隧洞不良地质洞段支护及地质缺陷处理措施研究[J]. 东北水利水电. 2022, 40(5): 4-7.

作者简介:

赵文剑(1989-),男,甘肃天水人,工程师,一级建造师,从事水利

(上接第 34 页)

[2] 建筑边坡工程技术规范,GB 50330-2013[S].
 [3] 孔思丽. 多项技术措施在某公路边坡塌方中的综合应用[J]. 建筑技术, 2009, 40(2): 180-182.
 [4] 杨培武. 某基坑塌方事故的分析与抢险[J]. 福建建设科技, 2004, 18(2): 13-14.

屯河连接线特大桥中的大悬臂预应力盖梁在常规桥梁建设中十分罕见。由于大悬臂预应力盖梁施工的复杂性和风险性,盖梁的结构线形及外观质量均成为施工控制的首要指标,因此,对其支架方案的设计和选型十分重要。文中所述的桁架式穿心棒法和扇形托架法两种方案相比常规的支架方案而言,避免了对支架地基的处理,其支架材料用量少,进而降低了施工成本,同时在施工现场可以根据墩柱高度的不同选择适合现场施工的支架方案。其整体施工平台安装速度快,支架周转效率高,进而加快了工程进度,缩短了工期,同时其施工安全可靠,减少了安全事故的发生。

经综合分析后得出上述大悬臂预应力盖梁施工方法不仅可以降低成本、加快施工进度,还能缩短工期,提高其安全性,具有较好的直接和间接经济效益和社会效益,所取得的经验可以在类似工程施工中大力推广。

参考文献:

[1] 钢结构设计标准,GB 50017-2017[S].
 [2] 建筑结构荷载规范,GB 50009-2012[S].
 [3] 公路桥涵施工技术规范,JTG/T 3650-2020[S].
 [4] 钢结构高强度螺栓连接技术规程,JGJ 82-2011[S].
 [5] 桥梁预应力张拉施工技术规程,DB 45T 1550-2017[S].

作者简介:

唐 鑫(1990-),男,四川安岳人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工
 唐新华(1989-),男,甘肃定西人,工程师,学士,从事建设工程施工技术及管理工
 杨君磊(1989-),男,湖北枝江人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工
 (责任编辑:李燕辉)
 水电工程建设施工技术与管理工
 唐洪应(1982-),男,湖北恩施人,高级工程师,一级建造师,学士,
 从事水利水电工程建设施工技术与管理工
 万 柯(1985-),男,四川成都人,工程师,学士,从事水利水电工程建设施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)

[5] 冯科明. 复杂环境条件下基坑边坡失稳与加固[C]. 第十届深基础工程发展论坛论文集. 2020: 44-47.

作者简介:

胡 欣(1984-),男,湖北孝昌人,分局副局长,高级工程师,双
 学士,从事工程建设施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)