

大跨度箱形拱桥无支架施工工法

(TGJGF-03·04-04)

中铁十八局集团有限公司

一、前言

拱桥无支架吊装施工工艺在跨越深谷深水时,受地形限制较小而有较大的优越性。

中铁十八局集团五公司承建的万梁高速公路土地潭特大桥,平面位于 $R=580\text{m}$ 的曲线内,主跨为 $2 \times 100\text{m}$ 箱形混凝土拱,呈折线布置。拱肋分 120 段预制,逐孔架设成拱,为大跨径无支架箱形拱施工积累了成功经验。

二、工法特点

1. 充分发挥缆索吊空中运输功能,受地形限制小,减少施工便道及运输成本。
2. 跨越能力强,尤其是跨越深谷、深水及航道,不受水深及通航影响。
3. 无支架法施工,索道架设、下部结构施工及拱肋预制同步进行,缩短工期,缆索吊系统可重复使用,装拆方便,提高经济效益。
4. 缆索吊采用双吊钩设计,解决双基肋合拢后其他拱肋的吊装;扣锚索采用钢绞线和精轧螺纹钢相结合方式,可精确而方便地调整。

三、适用范围

本工法适用于跨越深谷、深水、繁忙的河道及地形复杂的山区的箱形拱桥施工。

四、工艺原理

无支架法吊装箱形拱桥施工,即不立支架,拱肋在预制场分节预制,用重型缆索吊装系统,将拱肋逐节悬拼安装合拢成拱。当跨径大于 80m 时,一般采用双基肋合拢(见图 1)。

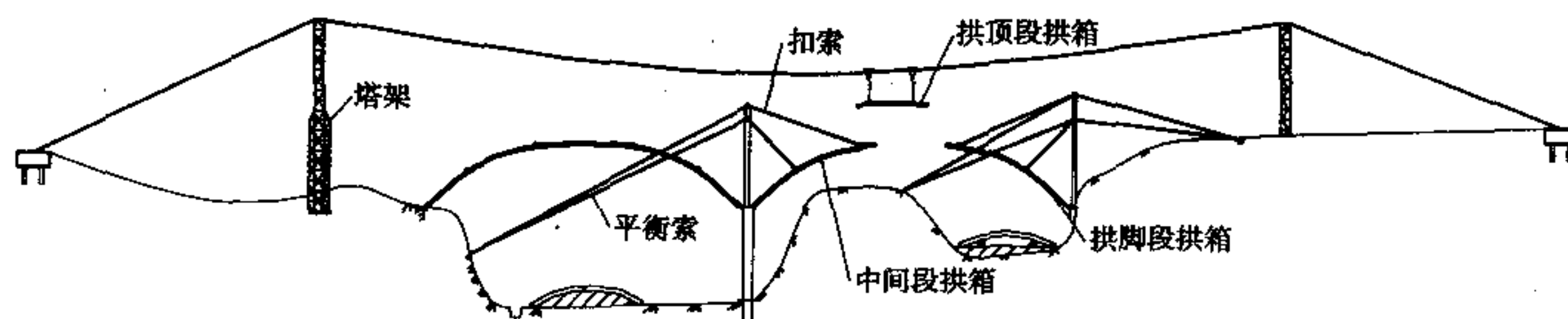


图 1 土地潭特大桥缆索吊装系统

五、施工工艺

(一) 工艺流程(见图 2)

(二) 主拱圈预制

主拱圈预制施工工艺与普通预制件基本相同。施工中应特别注意以下两点。

1. 预制台座一般采用土牛胎或用支架搭设胎座。无论采用何种形式,都必须保证设计拱圈线形。分段预制,要进行座标转换,在预制场地放出每段拱弧底板线,按弧线填筑土牛胎或支立胎座支架。采用土牛胎时,填土应分层压实,填完后复核表面线型,确保预制不变形;采用支架胎座时应对支架基础进行处理,确保拱段线形正确。

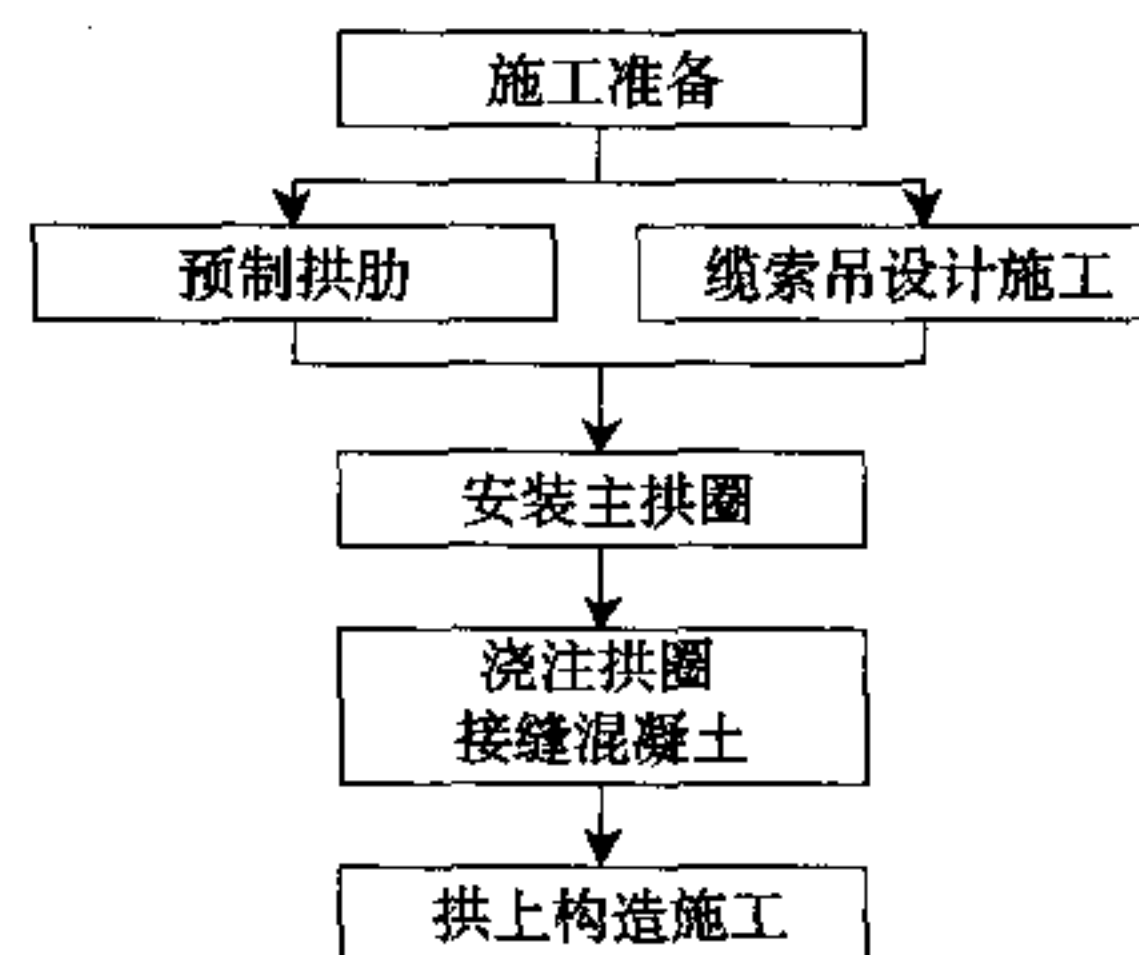


图 2 施工工艺流程

2. 拱段预制时应严格控制其各部位尺寸,以保证实际重量与理论重量相符。对拱段端部的尺寸、倾角,预埋铁件的位置、尺寸、角度,预制时要进行严格检查,保证吊装合拢顺利进行。

(三) 缆索吊设计

设计时应满足以下要求:预制拱段能方便进入吊装范围;具有足够的吊装净空;为适应拱肋呈折线布置的情况,采用两组主索,吊钩下设扁担梁,扁担梁上设活动吊点,以满足拱肋节段的全方位吊装;双基肋合拢后将扁担梁上活动吊点改为可横向移动的副吊钩,在天车吊钩不动的情况下,副吊钩可将拱肋节段起吊。

缆索吊设计内容:

(1) 根据设计文件及现场地形情况确定施工方案,确定索吊总体布置方案(包括设计跨径、主索布置、两塔架顶高程、主索垂度、最大吊重及最小吊装净空等);

(2) 天车设计;

(3) 选定吊具、起吊滑轮组及扁担梁;

(4) 根据总吊重确定起重索、牵引索的布置;

(5) 索鞍及塔架设计,背索及主地锚设计;

(6) 依据拱肋安装顺序及荷载设计扣塔、扣索及扣锚;

(7) 根据地形情况布置风缆索及地锚。

缆索吊设计时必须对钢索、塔架、扁担梁等进行复核算,以保证各部件的强度、刚度、稳定性满足使用要求。

(四) 扣锚索系统施工设计

扣锚索系统包括扣锚索锚固端 P 锚、扣索钢绞线、扣索精轧螺纹钢、扣索钢绞线与精轧螺纹钢连接器、扣索锚碇(图 3)等。

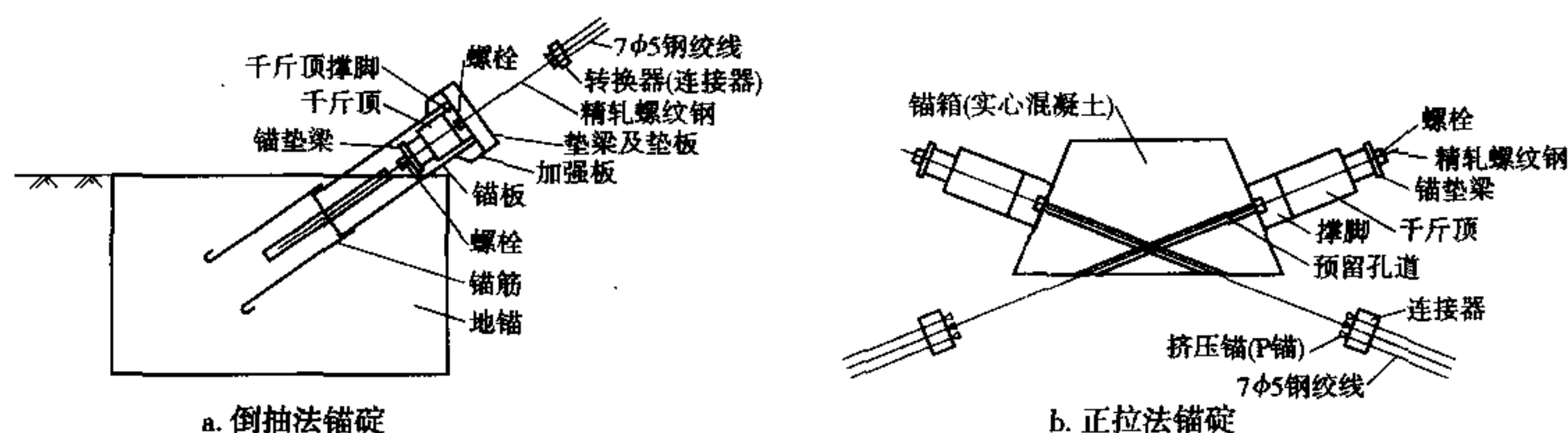


图 3 扣索锚碇方式

扣索锚固端 P 锚是钢绞线的安全锚固终结装置,其一端连接于拱肋吊点,另一端通过连接器精轧螺纹钢锚固于地锚上。

扣锚索锚碇有多种形式供施工时选用。

扣索通过 P 锚两端固结,其下料时等长下料,挤压头后按 120% 索力作张拉检验,以确保扣索的安全可靠。

(五) 拱肋安装

1. 吊装准备

(1) 施工前应对参与吊装工作的所有人员进行技术交底,明确岗位责任,使其对施工工艺及自己的个人职责、安全注意事项有足够的了解。

(2) 检查拱台。内容有拱台位置、实测跨距、拱座表面平整度、预埋件位置、拱座面倾角、台背后回填等。符合设计要求后,放出各片拱肋安装的位置中线及起拱线。

(3) 检查预制拱段。内容有拱段尺寸、各预埋件位置。对拱段端部作样板校验,标出拱肋中线,贴上标尺,以便安装时观测拱肋中线。检验合格后进行编号编组,编组时注意结合可以互换的位置,使各片拱段安装后长度误差值最小。

(4)检查缆索吊装设备与试吊。根据缆索吊设计文件对已安装完毕的缆索吊进行全面检查,包括主索空载时垂度、锚固系统的可靠性、动力系统的状态、行走系统的运行状态。

各系统均满足设计要求后进行试吊:首先跑车空载反复运行,然后静载试吊,最后吊重运行(按设计吊重的60%、100%、120%三次加载进行)。每阶段均应观测各系统的工作状况,如塔架位移、主索垂度、每根主索受力均匀度、动力装置的工作状况、牵引索及起重索在各转向轮上的运行状况、主索地锚稳固情况、通讯指挥系统的畅通性及工作组间的协调性等,确保运行正常。

试吊后对观测数据和检查情况进行综合分析和鉴定,提出完善预防措施。

2. 拱肋吊装

(1)拱段可采用龙门吊或轨道平车运输,一般拱段采用两点起吊两点搁置,较长或曲率较大拱段可采用四个吊点。

(2)基肋采用五段吊装合拢。

拱脚段拱肋吊装就位时,下端先对准拱座上标画的中线,上端中线位置用风缆控制。待下端落到拱座并对准中线及起拱线后,连接拱肋与拱座,调整前端标高:前端头标高比设计标高高出15~20cm时,收紧并卡紧扣索,徐徐松起重索,不取吊钩,用风缆调整拱肋中线,中线偏差小于1cm时,固定风缆,取走吊钩。用同样的方法吊装另一边拱脚段。

中间段拱肋吊装到位后,先将底板螺栓孔对好,穿上螺栓,然后调整中线,穿好顶板螺栓。接头螺栓不可拧得太紧,应留出2mm间隙。中间段的就位,使边扣索受力增加,边段拱肋上端标高下降。为保持拱脚段与中间段拱肋接头轴线平顺,避免接头附近拱肋开裂,中间段上下接头预留高度,近似控制在 $\Delta_{y上} = 2\Delta_{y下} = 10\text{cm}$,并由中间段风缆控制其中线位置。在控制 $\Delta_{y上} = 2\Delta_{y下}$ 、每次升降幅度在2cm左右的原则下,收紧中间段扣索,调一次拱脚段扣索,松一次起重索,如此反复多次,直至起重索松完连接螺栓拧紧,中线偏差小于1cm。用同样的方法就位另一边中间段拱肋。

拱顶合拢段拱肋就位时,按以下步骤进行。拱顶段运到位置后锁死轨道天车。徐徐松下起重索直到拱顶段左右两端头标高比设计值高2~3cm时停止。两端不得碰着相邻拱肋。两侧按照先拱脚段后中间段并以1:2的比例慢慢对称均匀地放松扣索,同时慢慢放下拱顶段拱肋,以每次使各接头标高变化不超过1cm为宜,经多次循环,直至拱顶段接头合拢,安装并拧紧各接头螺栓,调整拱肋中线偏差至0.5~1cm时固定风缆。

采用分层、间隔、交错施焊的方法,从跨中向两岸、最后拱座的顺序对称焊接接头部件,每层不宜焊得过厚,不得灼伤周围混凝土。用薄钢板嵌塞拱肋接头缝隙。焊后做两肋间横向临时固定,检查拱肋中线,调整其偏差至0.5cm时固定风缆,对各接头及拱顶高程作好记录,松索成拱。

拱圈合拢松索的过程是对拱圈进行受力体系转换的过程,松索一定要按照拱脚段扣索、中间段扣索、起重索三者的先后顺序对称均匀地进行。合拢过程中应对各接头的标高、拱顶标高、1/4跨处的标高及拱肋中线情况随时观测。松索合拢成拱后,可保留起重索和扣索部分受力,起重索受力一般保留5%~10%,扣索基本放松,待拱肋接头连接工序全部完成后再完全松索。

拱肋在拼装过程中的纵向稳定是通过控制好接头标高,及时完成接头的连接工作,使拱肋由铰结拱状态变成无铰拱状态得到保证。横向稳定是借助于缆风索和临时横向联接系来保证。

(3)拱肋纵横向连接。各片拱肋安装完后要及时按设计要求浇灌接缝混凝土。接缝混凝土采用微膨胀混凝土,浇注时从拱脚向拱顶对称进行,如纵缝混凝土工程量较大时,可分层浇注。

3. 拱肋吊装过程中的观测

(1)缆索吊装系统注意观测主索垂度及索力、扣索索力、塔架位移、各类地锚稳固情况等。

(2)安装拱肋时,应对拱肋中线进行全过程的观测,以控制拱圈线形。观测时,将经纬仪架在桥墩上,使视线与拱肋中线重合,直接观测事先贴在拱肋上的水平标尺。

在安装拱段时一般只对安装接头进行拱肋高程观测控制;合拢时,除应观测各接头标高变化外,还应对拱顶及1/4跨处拱肋标高进行观测,以掌握拱圈在合拢过程中的受力情况和纵向稳定情况。观测时将水准仪架在墩台上或专门搭设的观测台上,直接读出立在各观测点上塔尺读数。

(六)拱上结构施工

拱上结构施工工艺同一般简支梁桥。施工中应注意:

1. 拱上加载应严格按照设计顺序对称进行,避免拱圈纵向失稳;
2. 为充分发挥重型缆索吊的吊装功能,拱上构件宜采用预制安装。

六、缆索吊装主要机具(见表1)

表1 2组360kN缆索吊机吊装主要机具

序号	设备名称	规格	单位	数量	使用部位	备注
1	万能杆件		t	900	主塔、扣塔	含螺栓
2	塔顶横梁	I40B工字钢	t	50	塔顶分配梁	自制
3	钢丝绳	φ47.5	m	8000	主索、背索	
	钢丝绳	φ32	m	300	千斤绳	
	钢丝绳	φ21.5	m	4500	起重索、牵引索	
	钢丝绳	φ19.5~26.5	m	31000	风缆索、平衡索等	
4	钢丝绳卡子	各类	个	1200		
5	钢绞线	φj15.24	t	16	扣索	
6	精轧螺纹钢	φ32	t	2	扣索、吊杆	
7	吊环	500kN	个	8	主吊钩	
	吊环	50~300kN	个	88	扣索、风缆等	
8	滑车组	500kN	个	8	主吊钩	
	滑车组	50~320kN	个	80	背索、风缆等收紧	
9	卷扬机	80kN	台	6	牵引及起重用	
	卷扬机	50kN	台	8	各缆风紧索用	
10	千斤顶	1000kN	只	6	扣索张拉用	
	千斤顶	600kN	只	4	扣索张拉用	
11	龙门吊机	600kN	台	1	运梁	自制
12	天车	360kN	台	4	运梁	自制
13	索鞍		件	8	主塔、扣塔	自制
14	扁担梁	36m	片	2	吊梁横移	军用梁组拼
15	电动葫芦	100kN	台	2	吊运工具等杂物	
16	手拉葫芦	50~100kN	只	20	调整拱肋位置,收风缆用	
17	指挥用品				指挥用	对讲机、口哨、红绿旗、扩音器、望远镜、喇叭

七、劳动组织(见表2)

表2 拱肋吊装劳动组织

作业组名称	人 员	工作内容	人数	总人数
指挥	总指挥	全面负责吊装的指挥协调工作	1	3
	缆索吊指挥	负责缆索吊系统指挥	1	
	拱肋吊装指挥	负责拱肋安装指挥	1	
卷扬机操作组	操作人员	起重、牵引卷扬机的操作	8	10
	检修人员	起重过程中地锚、卷扬机等检测	2	
缆索吊检测组	测工	塔架位移及主索垂度观测	4	10
	检修人员	塔架、主索、地锚、钢丝绳等检修	6	
拱肋架设组	起钩	地面运梁及挂钩	4	15
	拱肋连接	拱上拱肋连接	7	
	高程轴线测量	控制拱肋高程及轴线	4	
各索收紧组	张拉人员	扣索收放	8	14
	风缆收紧人员	风缆收放	6	
后勤保障		生活及物资保障	6	8
电工		设备及照明供电	2	
合计				60

八、质量要求

吊装前对预制构件长、宽、高、中线、预埋件位置等做全面检查,把问题解决在吊装以前。其预制精度

要求如下:预制构件拱肋内弧长 $\pm 5\text{mm}$,拱肋外弧长 $\begin{smallmatrix} +0 \\ -10 \end{smallmatrix}\text{mm}$,拱肋宽度和高度 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -10 \end{smallmatrix}\text{mm}$,顶底板厚 $\begin{smallmatrix} +10 \\ -0 \end{smallmatrix}\text{mm}$,预埋件位置 $\pm 5\text{mm}$,拱肋端头尺寸和方向应与样板吻合。

拱肋合拢时,中线偏移控制在 10mm 以内,拱顶标高允许误差为 $+10 \sim +30\text{mm}$,两对应接头标高差应小于 20mm 。

九、安全措施

1. 吊装作业前必须对参与施工作业的人员进行安全知识教育和技术交底,重点做好高空吊装作业的安全防护及编制详细可行的安全操作规程。

2. 吊装作业由具有丰富吊装经验的专业人员统一指挥,配备足够的通讯设备,确保指挥人员随时掌握各处的状态,及时对每位操作人员发出号令。

3. 吊装前要检查缆索吊各部位,发现不安全因素及时排除。缆索吊机不得超负荷作业。

4. 作业前应掌握供电情况,备好发电机。作业中如遇停电或其他特殊情况,应将重物落至地面,不得悬在空中。作业完毕后应将吊钩收紧或放到地上,切断电源。

5. 卷扬机的各部件、电气设备、千斤顶、手拉葫芦等符合现行的国家标准。

6. 高空作业人员要定期或随时检查身体,发现有不适宜登高的病症,不得从事高空作业;严禁酒后高空作业;高空作业时使用的工具应放在工具袋内。

7. 运送人员和物件的各种升降电梯、吊笼要有可靠的安全装置。人员严禁乘坐运送物件的吊栏。

8. 夜间施工时,现场必须有符合操作要求的照明设备。

9. 风力超过五级时,停止吊装作业。

十、技术经济分析

1. 在跨越深谷、深水时运用本工法修建大跨径拱桥,不但能减少施工便道及运输成本,大量节省脚手架,其拱上结构可采用预制安装,以充分利用缆索吊机的吊运功能,减少大量空中作业。

2. 预制安装容易形成流水作业,平行作业,缩短工期,减少大量模板等周转材料配置,降低成本。

3. 缆索吊设备结构简单,安全可靠,装拆方便,操作灵活,起吊高度大,经济效果好。

十一、工程实例

万梁高速公路土地潭特大桥,主跨为 $2 \times 100\text{m}$ 箱形拱,横截面为六肋,每肋五段,全桥拱肋分为120段预制,每段弦长约 22m ,最大吊重为 36t 。左右幅桥错孔近 10m 布置,平面位于 $R=580\text{m}$ 的圆曲线及其缓和曲线内。施工缆索吊跨径 300m ,设双组主索,每组主索为8股 $\phi 47.5\text{mm}$ 钢丝绳,组间距 28m 。每组主索上设前后两个天车,单钩净吊重 180kN ,总吊重 $4 \times 180\text{kN}$ 。前后吊钩下各设一根扁担梁,其下设可横移副吊钩,吊装拱肋十分方便;扣索采用复合扣锚索系统,使安装时各索受力十分明确,在保证施工安全的同时提高了安装精度。该桥于2002年4月全部架设完毕,取得了较好的经济效益和社会效益。

执笔:王存江 杜殿锁 陈晓忠 李春强 凌建军