

# 东平水道双索面曲线斜拉桥主塔爬模爬架法施工关键技术

尹本文<sup>1</sup>, 程 晔<sup>2</sup>, 谢瑾荣<sup>2</sup>

(1. 中铁港航局集团第二工程有限公司, 广东 广州 510800; 2. 中山大学 工学院, 广东 广州 510275)

**摘要:**以东平水道特大桥跨穗盐路斜拉桥为例, 详细介绍了其主塔爬模爬架法施工的关键技术, 其中包括变斜率截面模板选型, 爬模爬架体系组成功能及安装使用过程, 以及爬模爬架法的施工技术要点和质量安全保障措施等, 可为同类工程提供施工指导。

**关键词:**斜拉桥; 主塔; 爬模爬架法; 施工

**中图分类号:** TU755.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2012)03-0057-05

## 1 工程概况

东平水道特大桥跨穗盐路斜拉桥位于穗盐路东路与西环高速公路相交处, 主塔 47# 墩中心里程为 GDK815+258.83, 并在该处通过下横梁横穿西环高速, 孔跨布置为 32.6 m+175 m+175 m+32.6 m, 为四线铁路独塔双索面曲线斜拉桥, 其平曲线半径为  $R=1\,147.8\text{ m}$ , 见图 1。

穗盐路铁路大桥主塔采用 C55 混凝土, 坐落在中心高度为 4.657 m, 两边高度为 5 m 的塔座上, 索塔双肢均为变斜率空心的钢筋混凝土柱, 主塔总高(自塔座底部起)为 138.944 m, 其中索塔的下塔肢高度为 13.4 m, 下塔肢最大截面为 9 m×8.323 m, 中塔肢高度为 59.788 m, 上塔肢高度为 35.637 m。

主塔塔柱顺桥向外侧面自塔座往上 81.669 m 为直线段, 以 1:7.91 的斜率向内倾斜, 81.669 m 至 119.127 m 为圆曲线段, 采取半径为 300 m 的圆弧继续向内倾斜, 从 119.127 m 至塔顶, 共 19.82 m, 为斜拉索锚固区, 为竖直线段。主塔塔柱顺桥向内侧面自塔座顶往上 5.886 m 为竖直线段, 从 5.886 m 至 10.035 m 为圆曲线段, 采用半径为 40 m 的圆弧段向钢箱梁侧倾斜, 从 10.035 m 至 80.588 m 为直线段, 以 1:9.59 的斜率向钢箱梁中心线侧倾斜, 从 80.588 m 至 103.307 m 为圆曲线段, 以半径为 262.033 m 的圆弧亦向钢箱梁中心线倾斜, 最后从 103.037 m 至 137.944 m 为直线段(斜拉索锚固区)。主塔塔柱横桥向两侧面均以 1:137.02 的斜率承对称向塔柱中心倾斜。

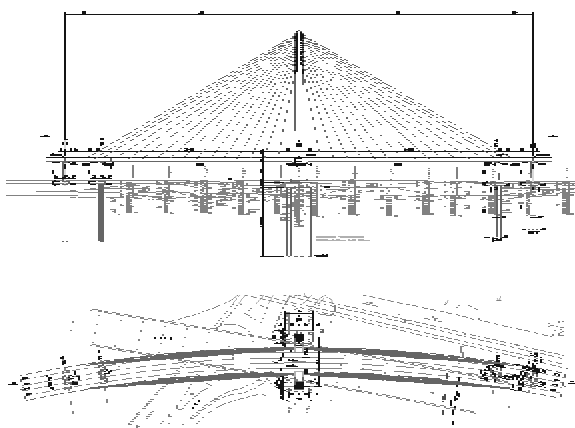


图1 独塔双索面斜拉桥示意图

## 2 主塔爬模爬架法施工方案及模板选型

### 2.1 主塔总体施工方案

依据工期计划安排, 同时结合以往成功的施工经验, 主塔施工标准节取 6 m, 在下塔柱区及上、下横梁处设置非标准节作为调整段。单个塔柱共分为 24 节施工。由于施工空间受西环高速公路桥的限制, 下塔柱第一节施工采取支架法进行, 第二节开始每个塔柱除了塔身内侧面无法安装爬架外, 其余三面可安

收稿日期: 2012-06-13

作者简介: 尹本文 男 1963 年出生 高级工程师

装爬架,利用爬架提供施工平台,塔身内侧面仍采取钢管脚手架搭设施工平台。第三节即可安装塔身内侧面爬架,并采取爬模爬架法完成剩余塔柱的混凝土灌注。

主塔整体施工流程为:施工准备(塔吊安装)→塔座施工→下塔柱施工(爬模安装)→墩旁支架及西环防护棚施工→提升站及横移支架施工→下横梁区塔柱施工→塔身施工(安装爬架)→中塔柱施工→上塔柱及塔冠施工。

## 2.2 爬模爬架法施工方案与模板选型

主塔外表面的液压自爬模施工自下横梁处(即从塔身段)开始,爬模爬架布置见图2。每肢有一面俯爬,两面斜爬和一面仰爬,仰爬面与横梁相接。塔身段仰爬面斜率不发生变化,该面自爬模一经安装就可一直爬升到达中横梁底。下横梁采用支架法支模浇筑,为了不因下横梁施工而耽误主塔柱施工进度,主塔柱与下横梁要分开浇筑。使用液压自爬模的专用爬模板连续浇筑9个标准节段,每个节段浇筑6 000 mm,再加上一个高度为4.553 m的非标准节段就到达高程84.6 m(中横梁与塔柱交接处底点)。外墙截面长和宽变化相应要求削减模板。下部的仰爬面及俯爬面长度最大,且截面长度变化最快,为适应上部的截面,平台搭设范围有限,角部的处理方法是在两边的平台上放置活动式跳板,但仍然要求对该活动式跳板牢固搭设防护栏杆。由于仰爬面及俯爬面长度较大,故该两面安装3个机位,机位布置间距为2.6 m;斜爬面较窄,故只安装两个机位,布置间距为3.2 m。

由于主塔表面承流线型变化,若采用钢模,需要的钢模规格太多,不利于模板的调整组拼,且浪费较大,故主塔爬模面板采用组拼式大块木结合模,木胶合板拟采用进口堆萨板,爬模系统主要包括方木条、工字钢、2[14b型钢背梁、对拉拉杆、紧固件及扣件等,主塔内模采用木模,采取预埋角钢牛腿搭设施工平台进行安装。

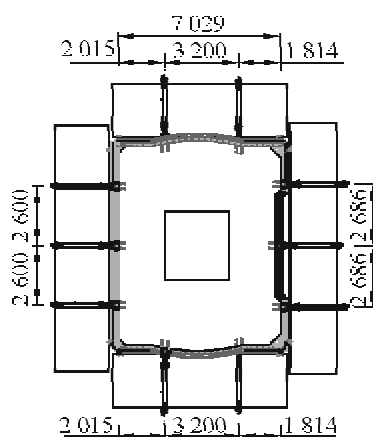


图2 爬模布置图(单位:mm)

## 3 爬模爬架法施工技术

### 3.1 爬模爬架体系组成及使用功能

索塔拟采用液压自动化爬模系统<sup>[1-3]</sup>进行施工,自动液压爬模体系主要由液压爬架和模板体系组成,其中爬架系统包括爬升装置、模板移动支架、后移装置、外爬架、液压系统等部件组成,自动液压爬模体系主要部件有:主梁,立杆,可调斜撑,中平台,下平台,上平台架体,液压顶升装置等。自爬模的顶升运动通过液压油缸对导轨和爬架交替顶升来实现<sup>[4-5]</sup>,导轨和爬模架互不关联,二者之间可进行相对运动,当爬模架工作时,导轨和爬模架都支撑在埋件支座上,二者之间无相对运动,退模后在退模留下的爬锥上安装受力螺栓、挂座体及埋件支座,调整上下铰棘爪方向来顶升导轨,待导轨顶升就位于埋件支座上后,拆除位于下平台处的埋件支座、爬锥等部件,在解除爬模架上所有拉结之后就可以开始顶升爬模架,此时导轨保持不动,调整上下棘爪方向后启动油缸,爬模架相对导轨向上提升,通过导轨和爬模架这种交替提升,爬模架即可沿着墙体上预留的爬锥逐层提升。

### 3.2 体系安装

爬架分段进行组装,主要分为附墙段和工作段两部分。根据爬架结构进行分块,在拼装场将承重架段组合成爬升架组件,爬架孔与孔之间的尺寸误差应满足要求,并检查组合架的稳定性和牢固性。安装爬升模板前,应检查工程结构上预埋螺栓的孔径和位置是否正确,如有偏差,必须纠正后方可安装爬升模板,以下介绍主要部件的安装方法<sup>[6-7]</sup>:

(1)安装预埋件。依次拆除模板支撑用的加固钢管、拆除对拉螺杆,退模并清理模板;装外墙埋件总成系统,包括外墙挂座体,受力螺栓,埋件支座等受力螺栓必须拧紧到位;再将挂座体就位,由墙的侧面将埋件支座套入挂座体,预埋件即安装就绪。

(2) 组装并吊装外侧承载三角架。将外墙主梁(含后移装置)、立杆、可调斜撑组装为外墙承载三角架(图3),并安装附墙装置。将承重楔插入埋件支座腰形孔,按图4所示吊点吊装外侧三角架准确就位。

(3) 安装主平台。安装外墙主平台及时安装各机位连接角钢,控制各端承载三角架之间的距离,保证各端承载三角架所组成的平面垂直于墙面,并且相互平行;吊装支承槽钢;搭设主平台跳板;搭设主平台跳板时预留人孔,制作爬梯,配置人孔盖板。

(4) 安装爬模上平台及模板,液压装置,中下平台。组装外墙上平台;吊装上平台,插入销子及发卡并将可调支撑一端与上平台连接,可调支撑另一端安装在后移装置上;在模板指定位置安装埋件;吊装模板就位;搭设外架平台钢管;吊装结束后,将各上平台用钢管连接并加固;搭设上平台跳板,搭设时预留人孔,制作爬梯,配置人孔盖板;各平台搭设完毕后,进行整体爬模架的加固;安装上下缸、油缸及液压油路。

(5) 模板拼装。外模板的拼装步骤为:测量底口位置并固定好底口平面位置,并与塔柱体顶紧牢靠;调整顶口平面位置,并调整顶口标高保持一致,定位后将模板临时固定于劲性骨架上;安装第二块模板,模板之间的缝口通过竖肋、横肋连接固定;逐块模板按顺序依次拼装完;穿拉杆固定模板。内模拼装前需先搭设好钢管脚手架做为施工平台及模板顶撑系统。第一节钢管脚手架为落地式,第二节开始,采用在前一节施工时预埋角铁做为牛腿,然后在牛腿上焊接临时平台,在平台上搭设钢管脚手架施工。模板拼装完成后如图5所示。

(6) 退模后安装导轨。调整可调斜撑使模板脱离墙面上安装埋件总成面,并用搬手转动齿轮轴使后移装置移动540 mm左右,插入销子固定。清扫模板,安装埋件系统。拆去导轨下方的滚轮装置。塔吊提导轨自上而下的插入,先后通过两个埋件支座,主梁限位板,上缸盖、上缸底,下缸盖、下缸底和附墙滚轮装置,防坠器,直到导轨承载舌与第一个埋件支座相抵为之(此时应注意:插入导轨过程当中如需要向上提起导轨必须将上下缸摇臂转动到导轨提升状况,即摇臂倾斜)。安装导轨下部滚轮装置。进入正常的液压自爬模作业。

导轨安装完成后提升外墙爬模架;安装中、下平台,搭设中、下平台跳板,搭设时预留人孔,制作爬梯,配置人孔盖板;在下平台靠墙面一侧搭设可翻转的防坠落板。至此,进入外墙液压自爬模循环作业。

### 3.3 爬模爬架法施工技术要点

液压自爬模的主要工作步骤如下:①在已经浇筑好的混凝土结构上安装预埋件;②安装上、中、下平台及模板;③固定模板;④浇筑混凝土;⑤退模、安装预埋件;⑥顶升并固定导轨;⑦顶升爬架;⑧重复步骤③,如此往复。以下主要介绍导轨爬升、爬架爬升、预埋件及模板施工的主要工作流程及技术要点<sup>[6-7]</sup>:

(1) 导轨爬升。导轨爬升前应做好以下工作:①安装上部爬升锚板和爬靴并及时检查其实际位置与理论位置是否一致,不符合要求的应进行相应的调整。爬升悬挂件安装好后,应派专人检查其连接高强螺栓是否完全到位。用棉纱清洁导轨,并在导轨表面涂上润滑油。改变上下换向盒舌体的状态,使其一致向上。导轨爬升时,液压装置应由专人操作,现场施工负责人必须到场。与实验室联系确认砼强度是

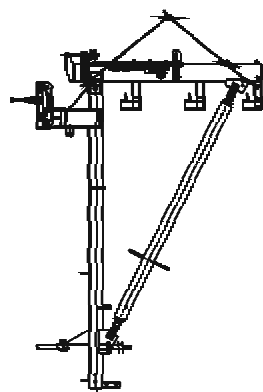


图3 三角架示意图

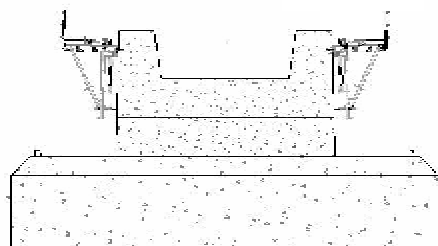


图4 外侧三角架吊装图

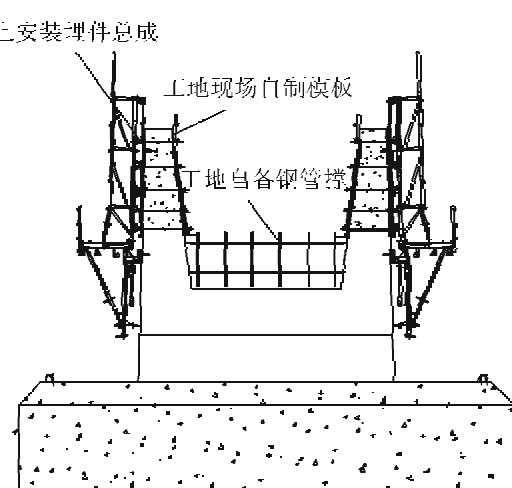


图5 模板拼装完成后示意图

否已达到 20 MPa 以上。②确认爬升准备工作完全符合要求后,启动液压控制柜,开始导轨的爬升。③导轨爬升时,外爬架 0 号平台及 1 号平台上个配 3 人和一台对讲机,并选用专用频道,以保证通讯畅通。④轨道每爬升一格时应通过对讲机联络,并确认上下爬箱是否都到位,到位后才可开始下一格爬升。⑤导轨爬升至接近上部悬挂靴的高度时暂停,复核导轨与爬靴上导轨槽口的位置是否一致,若不一致,调节下方的支撑脚,使导轨能够顺利地通过悬挂靴的导轨槽口。⑥导轨爬升到位后,应换向盒换向,对导轨预压。⑦关闭控制柜、切断电源,完成导轨的爬升。⑧拆除下层爬架悬挂件,取出混凝土内的预埋锚锥,及时修补螺栓孔,以便进行爬架的爬升。⑨发现导轨爬升不同步及其它异常情况时应停下来研究处理。

(2)爬架爬升。爬架爬升前应做好以下工作:①撤除各层平台中所有连接平台。应清除爬架上不必要的荷载(如钢筋头、氧气乙炔空瓶等)。抬起爬升导轨底部支撑脚,并旋转伸长使其垂直顶紧塔身混凝土面。将承重架下支撑的支撑脚完全缩回。改变上下换向盒的状态,使其一致向下。检查爬架长边与短边的连接(如电线)等是否已解除及安全保护绳是否已套牢。检查塔吊至爬架主电缆的悬挂长度,保证爬架爬升时电缆有足够的长度。爬架爬升时,液压装置应由专人操作,现场施工负责人必须到场。检查上节段砼修补是否已符合要求。②经确认爬架爬升准备工作已完全符合要求后,启动液压控制柜,拔去安全插销,开始爬升。第③和第④步工作要求同导轨爬升。⑤当爬架爬升到位后,应及时插上承重销及安全插销。⑥关闭控制柜、切断电源,完成爬架的爬升工作。⑦旋上支撑脚至混凝土面,调节支撑架使竖向支架与混凝土面平行。⑧爬架爬升到位后,检查异常并确保所有平台角部防护是否已恢复到平台使用状态。

(3)预埋件及模板施工。①预埋前,现场技术员应检查其是否完全进入锥形螺母。②预埋时,严禁采取电焊固定方式。③严格控制钢筋堆放在爬架上的重量。④等混凝土达到一定强度后,拆除模板系统的对拉杆及附着在模板上的悬挂螺栓。⑤模板拆除后应及时进行确定爬架悬挂预埋件位置的工作,在此过程中,操作工人应严格按现场技术人员所提供的数据进行作业,同时值班技术员应跟班作业。⑥每次模板安装前,应通知测量测放相应施工节段的模板底标高。⑦模板按测量所放理论位置安装到位后,应及时通知测量复核。⑧应确保模板下口与已浇节段砼的结合严密。同时应保证模板间接缝严密。⑨模板对拉杆安装时,应确保端部塑料套与模板的结合严密,同时应使拉杆处于拉直状态。⑩浇筑过程中应派专人观察模板的变形及偏位情况,并做出及时处理。

## 4 施工安全与质量保证措施

主塔从承台面计算高度约为 142 m,比西环桥面仍要高出 132 m,施工存在的安全风险非常大,为了不出现高空坠物砸到行车及西环结构的情况,采取双层保护措施<sup>[7]</sup>对主塔施工进行控制:①为主塔爬模施工采取全包围式防护,爬模爬架所有操作平台用钢管护栏及密目网进行包围,不留空隙。同时塔吊吊装施工时,吊栏采用五面围蔽措施;②为在主塔施工里程方向两侧 60 m 范围内,利用墩旁支架平台满铺钢板和在西环桥面上搭设固定式防护棚进行防护,防止意外坠物直接砸落至西环桥面上。

同时,对爬模爬架采取的主要措施<sup>[7]</sup>有:①因模板在拆除和安装时面板与面板之间相互错动,易导致面板端头容易破损,在面板端头增设边肋角钢进行保护。②每层墙体浇筑完成后,在砼墙体上弹线找平,沿线切割砼表面,切线应平直,混凝土上表面在冲洗干净后再合模夹紧。③下平台与墙面接口处采用合页护栏,以确保不会有杂物从接口处掉落。④模板合模时,外墙模板的移动是由齿轮齿条机构来完成的。移动即将结束前注意使拉紧螺栓插入移动齿条的相应连接孔中,并且旋紧该螺栓,这样既可使模板紧靠混凝土墙体,又能有效地抵抗风荷载。⑤外平台模板移动前,调整可调斜撑使模板倾斜;外平台模板移动结束后,及时将后移装置与主梁连接的销轴插好就位,以防风荷载等引起上平台大幅晃动,发生安全事故。在模板移动的过程中齿条销始终被插入齿条插口,如发现大风一起,操作工人只要随手用榔头敲打齿条销就可以有效地停止移动。⑥模板架升降结束后一定要立即及时在承重三角架的主梁外部与下部埋件支座之间拉好防风缆绳。⑦模板拆除时,应由上至下进行,所拆的材料,不得抛扔。拆下的模板及木方运到指定地点清理干净、堆码整齐,不得乱堆乱放,平台上严防模板及木方的钉子朝天伤人。

## 5 结语

液压爬模是目前国内斜拉桥塔身施工中较为先进的施工工艺,既能满足进度要求,又给作业人员提供了一个安全、宽敞的作业平台。液压自爬模的动力来源于本身自带的液压顶升系统,通过液压系统可使模板架体与导轨间形成互爬,从而使液压自爬模在施工过程中无需其它起重设备爬升速度快、操作方便、安全性高,使施工质量和工期均得到了保障。目前该工程施工进展顺利,表明本文爬模爬架法施工技术安全可行。

## 参 考 文 献

- [1]冯军武. 单塔无背索斜拉桥索塔施工技术[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2010,23(1):102-106.
- [2]楼永良,蒋金生,蒋超民. 液压爬模技术在郑州绿地广场工程中的应用[J]. 施工技术,2010,39(7):114-117.
- [3]胡文俊,林强,江海. 液压自爬模在忠县长江大桥11号墩主塔施工中的应用[J]. 世界桥梁,2009(2):34-36.
- [4]桑嘉麟. 超高层建筑巨型柱结构液压爬模施工技术[J]. 建筑施工,2011,33(12):1106-1108.
- [5]薛万凯. 自爬升式液压爬模初始安装及爬升施工技术[J]. 山西建筑,2012,38(7):102-103.
- [6]牛谋. 铁罗坪特大桥塔身液压自爬模施工工艺[J]. 交通科技,2008(7):8-13.
- [7]王波华. 浅谈液压爬模在索塔施工上的应用[J]. 城市道桥与防洪,2009(9):248-251.

## Key Construction Technologies for Climbing Formwork Bracket of Main Tower of Curvilinear Cable-stayed Bridge with Double-cable Planes over Dongping Waterway

Yin Benwen<sup>1</sup>, Cheng Ye<sup>2</sup>, Xie Jinrong<sup>2</sup>

(1. Second Engineering Co., Ltd. of China Railway PMB Group, Guangzhou 510800, China;

2. School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Taking Suiyan Road in Dongping Waterway Cable-stayed Bridge as example, the key points of climbing formwork bracket construction of main tower are introduced, which include the selection of slope-variable section formwork, the system and the installation process of climb formwork bracket, and the quality security measures. It may provide helpful guidance for the construction of similar projects.

**Key words:** cable-stayed bridge; main tower; climbing formwork bracket method; construction

(责任编辑 刘宪福)