

# 钻石型索塔施工技术研究及应用

周翔

保利长大工程有限公司

**摘要:** 由于索塔工程对质量提出较高的需求标准,所以在实际施工阶段中需要对工程质量及安全需求予以充分考虑,在施工准备、工艺流程及质量管理等方面做好控制工作,进一步提高索塔工程的施工质量和效率,促使项目符合桥梁设计需求。

**关键词:** 钻石型;索塔施工技术;应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.01.038

**引言:** 我国桥梁技术已经获得了跨越式发展,跨海大规模桥梁数量逐渐增多,拥有优美外形且受力性强的钻石型索塔工程广受人们热爱和欢迎,本文以舟山市富翅门大桥为例对索塔施工工艺进行总结归纳,为后续同类型施工提供参考。

## 一、总体施工工艺

富翅门大桥索塔高116米,结合塔柱结构及爬模施工的特点,将塔柱分为26个节段,采用翻模及液压爬模施工。标准节段浇筑高度控制为4.5m,塔梁结合段根据塔梁内腔尺寸适当调节塔柱分节高度。同时根据索塔线形变化点适当调整塔柱分节高度。根据塔柱结构变化,整个塔柱施工分成4个典型施工区段:下塔柱施工区段(1#~4#节段),中塔柱施工区段(5#~13#节段),合拢段施工区段(14#~15#节段),上塔柱施工区段(16#~26#节段)。

下塔柱第1#、2#节段采用搭设脚手架、翻模法进行施工,其余节段采用液压爬模进行施工,标准节段高为4.5m,设置劲性骨架进行钢筋定位、固定。下横梁施工采用塔梁异步施工方案,采用落地钢管支架和牛腿相结合进行施工,钢管支架支撑在塔座上,分两次水平分层浇筑下横梁砼。

## 二、钻石型索塔施工技术要点

### (一) 准备工作

从整体情况来看,在施工前从“人、机、料、法、环”等各方面分析对比,筛选出适宜的施工设备,确保塔柱施工符合设计标准。在塔柱施工中,塔吊是最为关键的设备之一,需根据工况选择合理数量及性能的起重设备。除此之外,现场施工期间,需结合实际情况布置直、斜爬电梯。与此同时,还需要不断优化施工现场内部的水管、泵管及电缆设置,为施工作业提供更多便捷性条件。

### (二) 模板施工

塔柱外模采用液压自爬模系统,外模平板区采用木梁胶合模板,面板采用芬兰进口维萨板,板厚20mm,背面竖向加劲采用20cm高木工字梁,木工字梁外侧横向背楞采用双拼14a槽钢,背楞与木工字梁用连接件连接,内外模板采用高强拉杆对拉,拉杆外套PVC管。

模板安装前,将模板表面清除干净,然后在模板内表面涂刷脱模剂,涂刷均匀;检查钢筋及结合面处,确

保清理干净,无杂物;仔细检查钢筋保护层垫块安装情况,对于保护层不够或偏大的,用手拉葫芦进行调整,然后再利用劲性骨架进行固定。模板施工环节关键控制因素是平整度、清洁度、平面位置,掌握好这几项关键能有效确保外观质量。

### (三) 支架施工

因索塔下塔柱和下横梁位置均需要借助翻模法加以施工作业,为了提高塔柱施工期间钢筋绑扎施工和模板拆卸施工的便捷性、安全性,需要在下塔柱和下横梁周边构造相应的辅助支架,支架通常以扣件式钢管脚手架为主,将其完全搭设于塔柱周边,可以与塔柱施工的操作平台等位置加以互通<sup>[1]</sup>。

通常情况下,塔柱翻模施工支架需要运用48×3.5mm规格的标准钢管加以搭设处理,杆间距1.5m,外侧满布剪刀撑,顶面满铺5cm钢踏板,外围竖杆高出作业平台1.2m高,并设置三层水平横杆。

下横梁支架采用“钢管+贝雷”体系。主要由钢管支撑、平联、卸荷砂箱、横梁、贝雷梁、分配梁等组成。钢管采用Φ820×10mm螺旋管,支撑于塔座上,均设计成直管。管柱间用2层Φ325×4mm平联管连成整体,并与下塔柱横撑管焊接固定。管柱顶端设砂箱,作为支架卸载的措施。

下横梁牛腿设置在下塔柱俯爬面共计3个,施工过程中牛腿占用下塔柱内撑管平面位置,导致下塔柱内撑管向内侧平移,由原来对顶实腹腔变为空腔。可考虑将牛腿减少2个,变为在塔柱外侧安装2根钢管立柱,既节约了下塔柱内撑管的安装空间,也减少了牛腿焊缝焊接质量隐患,同时也减少了预埋件数量,免除了后期修饰工作。

在下横梁施工期间,可以在顶、底板位置运用PVC管预留出4个吊孔,为后续施工支架的顺利拆除作业提供更多保障与支持,运用钢丝绳通过卷扬机将支架型钢、模板吊放于下部承台顶部位置,运用吊机将拆除结束后的型钢和模板放在承台顶部加以吊出。横梁支架拆除完毕后,对预留孔洞位置的钢筋进行补强处理,最后在悬吊模板的支持下对预留孔浇筑砼进行全封闭式处理<sup>[2]</sup>。

### (四) 塔柱临时横撑施工

在索塔施工技术应用期间,因施工作业过程中塔肢斜率较大,为了确保整体结构的稳定性及受力安全性,设置临时横撑。横梁浇筑前,在下塔柱第3节安装内撑管并进行顶推,塔柱第3节施工完成后顶推4000KN。中塔柱共设置三层内撑管。

### (五) 塔座施工

主塔设矩形塔座,塔座横桥向长度为31.4米,顺桥向宽度为13米,厚度为1.5~4.555米,塔柱交界面处为斜面,斜率为1:0.33。塔座钢筋深入承台1.2m,为保

证钢筋定位准确，需在塔座外围架立筋处设置角钢定位，待整体钢筋安装完成后拆除定位角钢。为控制裂缝，塔座底部50cm与承台一起浇筑，并应减少分次浇筑的龄期差，同时考虑 $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ 的掺量加入聚丙烯纤维。因塔柱起步段和塔座需同步浇筑，为避免塔柱内外模板荷载施加在塔座顶面钢筋上，需对应塔座位置处设置模板支撑支架，并作为塔座顶面钢筋定位架，保证顶面钢筋位置正确，避免局部下挠。

因塔座方量大，采用 $\Phi 27 \times 3.0\text{mm}$ 钢管布设3层冷却管，减少或消除温缩裂纹。施工中应对水管进行定位或支撑。强制降温一般持续14天，当砼内部最高温度与近3日平均温度相差 $15^\circ\text{C}$ 以内，可停止通水，后期利用砼自身徐变作用释放大体积砼自然降温产生的拉应力。为

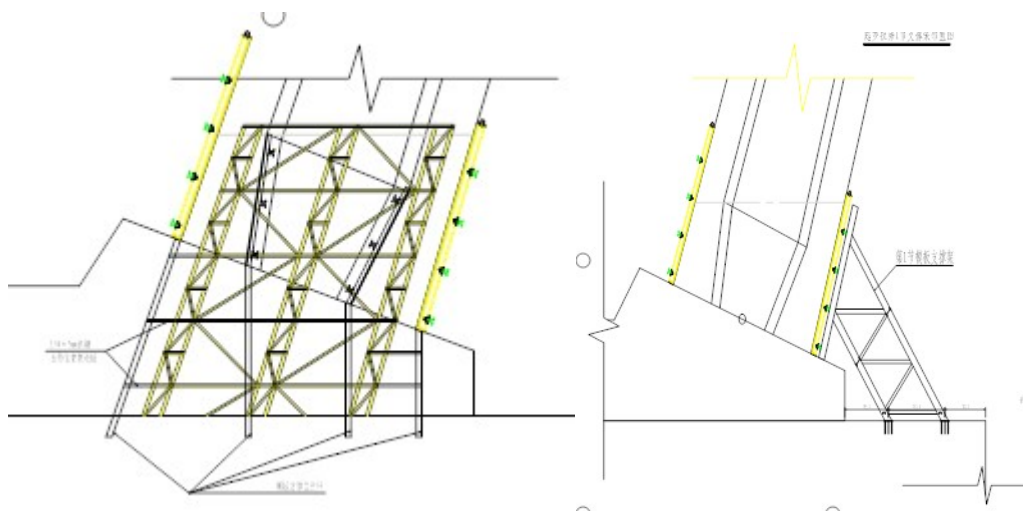
避免冷却水管形成腐蚀通道，砼表面出水管均采用胶管替代，压浆完成后予以割除。

### (六) 索塔施工

#### 1. 下塔柱施工

下塔柱起步段因与塔座一起浇筑，为避免模板荷载对塔座顶面钢筋造成局部沉降及变形，需设置模板托架，托架采用14#槽钢作为立柱， $\Phi 20\text{mm}$ 钢筋作为横向联系及斜拉杆件，局部采用 $L50 \times 5\text{mm}$ 角钢与劲性骨架用钢筋连接成整体。

为抵抗起步段塔柱砼水平分力，塔柱1-2节施工需设置外模支撑架，支撑架采用25a工字钢和10#槽钢制作成片架，两片之间用10#槽钢做平联。支撑架支撑在承台顶面，承台顶面设置预埋钢板。



模板托架及支撑架示意图

标准段爬模施工从2节施工完成后拼装使用，至塔顶结束。标准段钢筋按4.5m安装，采用劲性骨架定位。外模利用液压爬架脱模及爬升，爬架同时作为外模操作平台；内模利用塔吊提升，并与操作平台相连。

标准段施工阶段需做好整体模板系统的控制工作，即要保证塔柱上模板成形迹线按理论方向一致，不能出现模板倾斜度校正不到位的情况。在爬模过程中整个仰爬面与俯爬面可以同步动作。

塔柱外侧液压自爬模和内腔设操作平台，操作面的宽度均应大于700mm。外侧操作平台仅供绑扎钢筋及操作时用，承重不得超过设计荷载。内腔平台可放置内模板及人群荷载。内腔平台采用整体可拆卸式平台，首先在塔柱内壁埋设预埋件，焊接成型的牛腿通过螺栓锚固在预埋件上，其次在牛腿上铺设承重梁，最后铺分布梁和钢踏板。考虑平台整体提升利用，当顺桥向内腔截面未变化时，在预埋件布设时，上下两节错开埋设，内腔平台可整体提升至下一节段使用。

因下塔柱与中塔柱斜率变化，液压爬架顺轨道直线爬升，需进行多次爬架体系转换。在液压爬架体系转换时，须考虑最不利工况，确保起重设备及吊索吊具满足液压爬架体系转换需求。

由于塔柱第1、2节安装脚手架，需拆除脚手架后方可进行爬架安装，且仍无法安装爬轨爬升，仍需要利用大型设备对主架体进行提升挂设至第3节，下塔柱至中塔柱液压爬架转换时，因斜率及角度变化，每节段施工工况均不连续，涉及液压爬架吊具辅助提升、构件完善、体系转换，满堂式支架翻模施工较液压爬模施工可节约工期约10~12天。故针对类似钻石型或A字型塔柱施工，且下塔柱高度在18-27米时（即下塔柱分为4-6节施工时），可考虑满堂式支架翻模施工，工期较优。

#### 2. 中塔柱各节段施工

中塔柱标准节段采用液爬模施工，施工工序：塔柱第5节施工→下塔柱内撑管安装顶推→爬架体系转换→第6节塔柱施工→爬架体系转换→第7节塔柱施工→爬架完善吊平台→第8节塔柱施工→下横梁支架现浇→拆除下塔柱内撑管并释放顶推力→张拉下横梁第一批预应力束→第9节塔柱施工→中塔柱第一道内撑安装→第10、11节塔柱施工→中塔柱第二道内撑安装→第12、13节塔柱施工→释放第一、二道内撑并安装第三道内撑顶推。

通常情况下，中塔柱因两个肢段之间距离较短，内侧爬架出现相互影响等情况，需要开展异步施工，左右塔肢错开2节段左右，防止爬模系统出现相互接触和碰

撞等不良现象。中塔柱合拢段为14-15节段，在塔柱交汇位置处需要及时构设出完善的支架，以此作为一定的支撑性结构。

### 3. 上塔柱标准直线段施工

上塔柱采用液压爬模施工。上塔柱为拉索锚固区，为抵抗斜拉索竖向剪力设置了 $\phi 28\text{mm}$ 水平箍筋，转角处存在钢筋叠放及搭接，无法正常安装通拉杆；另整个塔柱存在防裂钢筋网，理论净保护层 $3\text{cm}$ ，PVC+高强拉杆方案及H型锥塑螺母不适用（高度为 $5\text{cm}$ ），为提高塔柱耐久性，可选用 $\phi 20\text{mm}$ 直螺纹套筒进行深埋+外置高强螺杆方案，能解决拉杆外露形成腐蚀通道的问题。另外模板周转导致模板局部受损，通常采取更换维萨面板的措施，但模板与木工字梁通过螺丝及角码连接，更换多次会导致木工字梁损伤较多，可考虑直接在外模板上覆盖一层木模板的工艺进行优化，既可以避免损伤木工字梁，也可以节约模板更换时间。

## 三、钻石型索塔施工质量控制措施

### （一）索塔节段错台质量控制

首先，索塔模板加工制作环节中，需要完全遵循验收标准和审核制度加以落实。索塔的外观质量需以模板作为核心要素，进入施工场地的模板须满足质量标准。在施工前，需按照施工规范、评定标准对模板进行全面检查，如果模板出现问题需在第一时间进行处理。一般情况下，索塔施工阶段中部分模板需要展开全面化拼装操作，为了确保节段错台控制在规范范围内，重点检查模板拼接位置连接是否紧固、重点监督测量调模偏差是否在合格范围内、重点检查模板及背楞及拉杆是否焊接密贴松紧合适，确保最终安装质量，并在此基础上对模板的平整度及垂直度加以检测，当出现不达标和不合格等问题后需要展开返工操作，在根本上对模板质量加以管控。

### （二）原材料质量控制及温控措施

砼结构的综合质量对索塔占据着至关重要的地位，需从配比设计、材料进场、生产控制、运输、现场浇筑、养护等各环节把控。在浇筑期间应安排试验员在前后场分别把控砼生产质量，减少砼生产至入模的波动性。因砼的浇筑受恶劣天气或特殊环境条件影响较大，需制定相关的措施以备不时之需。通常可参考以下方面要素：一是在开展砼施工期间提前做好原材料的运输储存工作，应对现场的粉煤灰、水泥等胶凝材料展开一系列温度检测工作，如果温度过高，需禁止该材料的进场；二是在大体积砼施工期间应做好原材料、出仓温度、入模温度的检测，一旦出现温度超标可用制冷机、冰块等降低拌和用水温度，同时可设置封闭式的集料仓减少太阳直射对集料温度的影响；三是科学合理的设置冷却水管，并委托专业单位采用温度感应探头实时监控砼结构内部温度，并根据监控结果及时调整进水温度及流量，强化对整体施工项目的温度控制，防止因温度控制不到位或不合理产生过多裂纹等问题<sup>[3]</sup>。

### （三）施工工艺控制

从整体视角来看，施工工艺控制主要体现在施工作

业期间对大体积砼原材料、配合比、砼生产过程、浇筑步骤、养护等加以严格把控。

①在根本上管控结构的裂纹问题。砼浇筑施工前，所有原材料必须满足“先检后用”原则，原材料指标必须满足舟山市富翅门大桥工程两阶段施工图设计文件及《公路桥涵施工技术规范》等要求。

②为了保证砼配合比的计量准确性，砼生产前，搅拌站计量系统必须满足如下要求：集料物料称误差 $\leq 2\%$ ；胶凝材料、粉态外加剂物料称误差 $\leq 1\%$ ；液态外加剂物料称误差 $\leq 0.4\%$ 。

③砼生产前，需全面检查搅拌站各项工作性能，保证在砼生产过程中能正常运转。严格控制水泥进场温度低于 $60^\circ\text{C}$ 。保证施工过程中砼入模温度 $\leq 28^\circ\text{C}$ 。

④浇筑过程中应注意分层，振捣时，应采取正确振捣方法，避免因插入深度不够造成先后两层砼之间出现冷缝，避免漏振导致砼出现“狗洞”，浇筑时应合理布点，避免用振捣棒横拖驱赶砼拌和物，以免造成离下料口远处砂浆过多而开裂。砼振捣需采用二次振捣工艺。

⑤由于索塔是处于海面大风速环境下的砼结构物，浇筑后结构物顶面应立即覆盖保湿养护，避免塑性开裂，此外应避免间断浇水造成表面干湿循环。48小时龄期才能脱模，脱模后立即涂刷砼养护剂进行养护，养护剂要求涂刷均匀，能互相垂直地涂刷两遍。

⑥如果施工过程中遇到气象极端低温条件时，砼结构物脱模后外涂成膜性能较好的养护剂之外，还需进行土工布与薄膜包裹保温，减少砼与外界的温度差异。高温条件天气，需要在砼养护阶段中积极采用喷淋隔热措施，对大体积砼进行防风包裹，以此来强化其整体养护效果，促使高温状态下的索塔可以长期处于湿润等状态，在根本上降低外部环境的温度差影响效果，规避裂纹的产生。

所以需要施工工艺控制予以高度重视，将收缩裂纹的发生概率降低至最小化，在开展施工作业期间需要不断强化工艺控制，对此技术展开进一步探究分析，在施工作业开展前进行交底工作，必须根据相关制度体系加以管控。

结论：综上所述，在桥梁工程快速发展的时代背景下，斜拉桥施工的要求日益增高，在索塔施工期间面临着众多严峻挑战，相关施工部门单位需要结合实际情况不断强化各环节监督与管控，以此来保障桥梁建设工程项目可以有序开展。

### 参考文献

- [1] 蒋延超. 试析大跨径悬索桥索塔施工技术与管理[J]. 工程设计与设计, 2022, (17): 223-225.
- [2] 曾运发. 基于斜拉桥索塔施工技术要点研究[J]. 运输经理世界, 2022, (24): 93-95.
- [3] 邓银华, 刘小飞. 大跨度悬索桥索塔施工技术控制研究[J]. 交通世界, 2022, (07): 13-15.

作者简介：周翔（1982.9.21-），男，籍贯：湖南省长沙市，汉族，本科，路桥工程师，研究方向：公路与桥梁。