邻近既有线高大模板支架施工技术研究

许昆鹏

中铁十四局集团第二工程有限公司　山东泰安　271000

【摘　要】本文以新建潍坊至青岛高速公路跨胶济铁路、胶济客专2×85m T型刚构预应力混凝土箱梁为工程背景，并给出了该桥上部结构梁体现浇施工模板支架形式为钢管柱梁式+盘扣式组合支架形式。通过有限元软件Midas/Civil对组合支架主要部件进行有限元分析计算，确定各构件均达到了强度、刚度要求，满足了安全、经济、施工方便的原则，并提出了实施过程中控制重点的建议。

【关键词】T型刚构箱梁；现浇施工；钢管柱梁式支架；盘扣式支架

1　工程概况

潍坊至青岛公路在潍坊市坊子区与胶济铁路、胶济客专连续交叉，交叉角为78°，交叉处两铁路线间距约为150m，设计采用2座2×85m转体T构上跨铁路线，分别在铁路下行线侧设置转体主墩。上部T型刚构混凝土梁体为单箱五室斜腹板截面，斜率为2.5，梁体中支点中心梁高8.8m，端部中心梁高3.8m，梁底线形按1.8 次抛物线变化，端部等高段长7.4m，箱梁顶板宽度40.20m，翼缘板宽度为4.0m，悬臂板端部厚0.25cm，根部厚70cm；顶面设置双向2%坡度，箱梁底面为水平面。墩身高度11.5m，结构形式为异型空心薄壁墩，墩身上、下部各2.0m为实心段。施工时先顺铁路方向支架分段现浇混凝土梁体，待最后一段梁体张拉完成后，拆除支架进行转体跨越铁路。梁面至地面高度为26.0m，梁底至地面高度为17.2m～22.2m。

2　方案比选

现浇梁支架是本工程施工过程中至关重要的一环，支架一般有以下几种形式：盘扣式满堂支架、柱梁式支架、柱梁式+盘扣组合支架，根据本工程梁体设计情况、地质情况及我公司实际情况，对梁体现浇支架方案进行比选。

2.1　盘扣式满堂支架

盘扣式满堂支架适用于各种地形、地质条件，适用性较广，搭设方便、灵活，对支架基础要求不高，可以大面积同时施工，有利于加快施工工期。缺点是盘扣支架租赁费用较高、模板支架搭设高度不宜大于24m。

2.2　柱梁式支架

柱梁式支架一般适用于跨河、跨路、较高等不宜使用

表1　支架方案关键因素比选表

支架形式	满堂盘扣支架	柱梁式+盘扣组合支架
经济性	1.盘扣式支架4900t，租赁费用703万； 2.人工费244万元； 3.混凝土基础（25cm）95.4万元； 4.支架底部木板支垫11.8万元。合计1054.2万元。	1.螺旋管钢支柱及连接系（自有）1062.7t，摊销及人工费用296.9万元； 2.预埋件50t（购买），26.3万元； 3.钢筋混凝土条形基础156万元； 4.贝雷片及工字钢（租赁）1554.5t，租赁费170.3万元； 5.盘扣式支架1527.9t，租赁及人工费用275.2万元； 6.机械费用（25t汽车吊2台）48万元。合计972.7万元。
安全性	邻近营业线可采用塔吊吊装，安全性高	邻近营业线施工需要吊车吊装，对现场地基要求较严，应加强大型机械设备管理，防止吊车倾覆
工期	可大面积施工，缩短工期	施工速度较慢，需提前施工
经济风险	盘扣式支架租赁费用占比67%，施工进度对成本影响较大	贝雷片、工字钢及盘扣式支架租赁费用占比40%，施工进度对成本影响较小
比选结果	综合考虑各项因素，本项目选择钢管柱梁式+盘扣组合支架方案作为梁体现浇的实施方案。	

满堂支架的地方，主要由钢管承载梁体荷载，因此对地质条件要求较高，地基承载力不满足时需要施作桩基础，费用较高，支架顶部一般为平面，无法设置弧线，且钢管支架搭设需要机械配合，靠近铁路施工风险较高，适用范围较小。优点是柱梁式支架承载能力强，横向连接刚度大，可以适用于高度较大的支撑架。本工程由于梁底为抛物线型，柱梁式支架无法满足要求，故不选择此方案。

2.3 柱梁式+盘扣组合支架

柱梁式+盘扣组合支架结合以上两种支架的优点，具备承载能力强、横向连接刚度大、模板支架高度不受限制、顶部可设置弧线等优点。缺点是钢管支架搭设需要机械配合，靠近铁路施工风险较高，钢管横向连接为焊接，现场焊接质量难以掌控；施工时无法大面积实施，施工工期长。

根据我公司自有材料、设备，经过安全性、经济性、适用性等比选，我项目选择柱梁式+盘扣组合支架方案作为本项目梁体现浇支架的实施方案。（见表1）

3 设计方案

3.1 方案确定

根据方案的比选，本项目2×85mT构梁体现浇支架选择柱梁式+盘扣组合支架方案，桥址处地势平坦，地表0~1m范围为素填土，1~5.5m范围为粉质黏土。支架基础为钢筋混凝土条形基础，基础宽度为2.5m，厚度为1.0m，基础施作时预埋钢管支柱连接钢板。

3.2 支架结构形式

柱梁式+盘扣组合支架自下而上分别为：C25钢筋混凝土条形基础→Φ720×12mm螺旋管钢支撑→Ⅲ拼56a工字钢横梁→“321”贝雷片→Ⅰ16工字钢→Φ60.3×3.2mm盘扣支架→Ⅰ14工字钢分配梁→10cm×15cm横向方木→1.5cm 厚覆膜竹胶板底模。横向方木在梁高8.8m~4.3m（0#、1#、2#块）时方木间距20cm,梁高4.3m~3.8m（3#、4#块）时方木间距30cm，翼缘板范围内横向方木间距为30cm。当梁高为8.8m~5.5m时（0#、1#块），盘扣支架纵向间距为0.6m，腹板下横向间距为0.3m，箱室下横向间距为0.9m；当梁高为5.5~4.3m时（2#块），盘扣支架纵向间距为0.6m，腹板下横向间距为0.6m，箱室下横向间距为0.9m；当梁高为4.3~3.8m时（3#、4#块），盘扣支架纵向间距为0.9m，腹板下横向间距为0.6m，箱室下横向间距为0.9m。翼缘下横向间距为1.2m，水平杆步距为1.5m。

盘扣支架底部为横向Ⅰ16工字钢，间距为60cm（90cm），为确保工字钢分配梁的稳定性，工字钢顶部采用钢筋连接，间距6m一道。Ⅰ16工字钢横向放置于“321”贝雷梁上，贝雷梁腹板下间距为45cm，其余位置为90cm，贝雷梁采用专用“花架”连接形成框架体系，贝雷梁放置于Ⅲ拼56a工字钢横梁上，在工字钢横梁上焊接槽钢作为贝雷梁的限位装置。Ⅲ拼56a工字钢横梁采用钢板限位固定于螺旋管钢支撑顶部，钢支撑横向间距为3m/4.5m，纵向间距为6.0m，螺旋管钢支撑底部与基础预埋钢板进行焊接，底部设置8道加劲肋。支架纵横断面布置图如图1、图2所示。

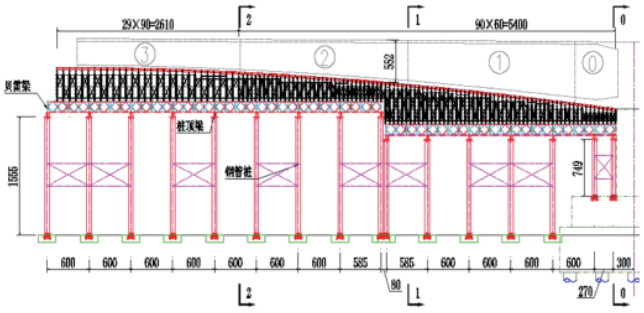

图1：支架纵断面图（单位：cm）

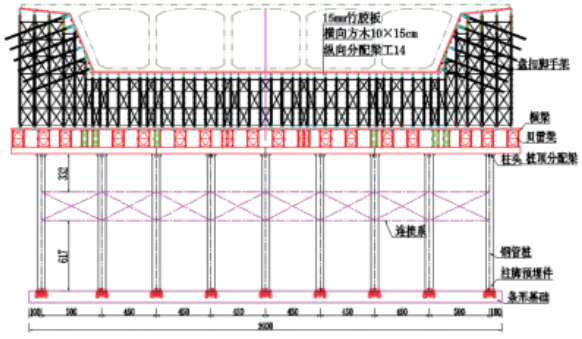

图2：支架1-1横断面图（单位：cm）

4 受力检算

为准确分析计算2×85mT构现浇支架各个杆件的应力、应变，确保其应力、应变满足规范要求，运用MIDAS CIVIL 2020（V1.1.1）及列表法对支架在施工阶段的受力进行模拟计算。计算结果经有资质的第三方进行复核确认，螺旋管最大应力 $f_{max}=118.8MPa<f=215MPa$；分配梁最

大弯曲应力为 $f_{max}=138.4MPa<f=215MPa$，最大剪应力为 $\tau_{max}=8.3MPa<f_v=125MPa$；横梁最大弯曲应力为 $f_{max}=162.3MPa<f=215MPa$，最大剪应力为 $\tau_{max}=102.9MPa<f_v=125MPa$，支架结构强度、刚度及整体稳定性满足受力要求，地基承载力按180kPa来控制。

5 施工工艺及控制重点

邻近既有线进行支架现浇梁施工，存在基础承载力不足支架体系失稳、大型机械倾覆侵限、人员坠落等安全风险，施工前应分析各个流程环节，明确控制措施，并制定现浇支架搭设专项施工方案，在支架施工中，应严格遵循相关规范要求，做好重点控制。

5.1 施工流程

顺既有线方向满堂支架现浇箱梁，施工工艺流程见图3。

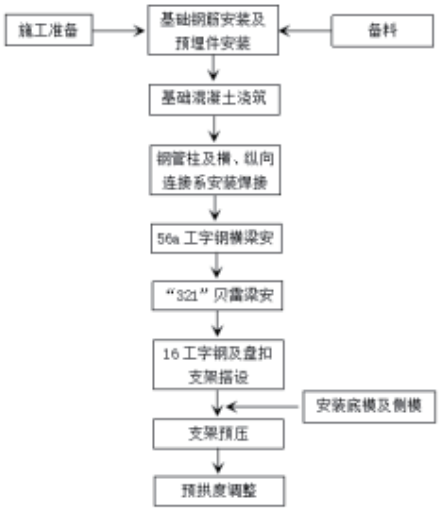

图3：现浇梁支架搭设施工工艺流程图

5.2 施工工艺及方法

5.2.1 支架基础

支架基础是整个支架工程中最重要的工序，基础承载力能否满足设计要求是本项目能否顺利实施的关键，根据设计文件，本项目地表为杂填土，地表1m以下为粉质黏土，基础截面尺寸（宽×高）为2.5m×1.0m，支架基础全部设置在粉质黏土层，基坑开挖后用轻型动力触探仪进行检测地基承载力是否满足设计要求（不小于180kpa），合格后采用压路机进行碾压；否则应进行换填碎石处理。

施工时由主墩（0#块）往梁端（4#块）依次进行，经碾压合格后安装基础钢筋、预埋钢管柱连接钢板、模板安装加固并浇筑基础混凝土。基础完成后，在基础四周设置排水沟，将雨水等引排至支架范围外，防止雨水浸泡基础。

施工时注意事项：①地基承载力满足设计要求；②预埋钢管柱连接钢板顶面应水平，严禁倾斜；③为确保预埋钢板底部密实，钢板中心预留振捣孔，混凝土浇筑时由一侧向另一侧浇筑；④为确保预埋钢板的抗拉拔力，预埋钢板上焊接5根“U”型钢筋，钢筋深入混凝土50cm。

5.2.2 柱梁式支架搭设

钢管柱安装采用汽车吊吊装，安装时按照由主墩往梁端、由靠近铁路侧向远离铁路侧分区域依次进行。每3排3列划分为一个单元，待本单元贝雷梁安装完成后方可施工下一个单元。

①钢管柱采用汽车吊吊装，吊装时应先将底部对中就位——钢管柱外边缘与预埋钢板上定位线一致，然后采用2m长靠尺检测钢管柱垂直度，检测时应按照纵、横两个方向检测，待垂直度满足要求后方可进行定位焊接。焊接时，应先在纵、横四个方向进行定位焊接，定位焊接后再次检测钢管柱垂直度，满足要求后将钢管柱底部满焊焊接，然后在底部四周均匀设置8道加劲肋与预埋钢板满焊焊接，焊接采用双面角焊缝，焊脚尺寸不小于6mm（见图5）。

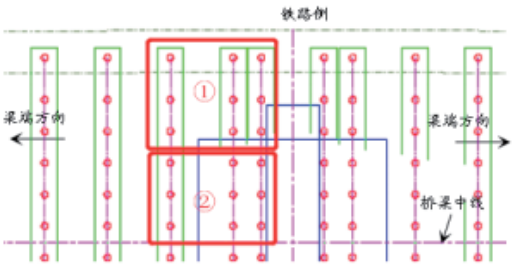

图4：钢管柱安装顺序图

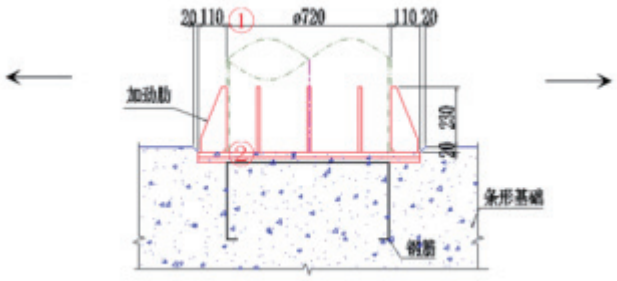

图5：钢管柱脚结构图（单位：mm）

②为加强钢管的整体稳定性，在钢管柱距地面2/3处设

置纵、横向连接系，连接系采用［16槽钢，槽钢与钢管柱采用带坡口的钢板连接，焊缝质量达到Ⅱ级。槽钢与钢板相接处采用三面围焊，焊缝为角焊缝，两斜向槽钢相交处采用角焊缝焊接，所有连接系角焊缝焊脚尺寸不小于6mm。

施工前先在胎架上焊接成骨架，为确保吊装后焊接质量，骨架保留同侧2块钢板不焊接，吊装就位后临时固定连接系，再焊接剩余2块钢板。连接系焊接属于高空作业，焊接时应确保作业范围内无易燃物，焊接时设置接火盆。

③横梁安装

该单元钢管桩安装完成后，及时吊装56aⅢ拼工字钢横梁，为确保工字钢接头全部位于钢管柱顶部，按照12m+2×9m+12m进行配置。56a工字钢在地面上每3根焊接成整体，焊接时每间距2m将相邻工字钢翼缘进行焊接，每处焊缝长度15cm，焊接完成后采用汽车吊整体吊装就位，就位后及时采用限位钢板固定于钢管柱顶。限位钢板采用δ=12mm钢板加工成三角形，其中一直角边按照56a工字钢翼缘的形状加工（如图7），将限位钢板焊接在钢管柱顶钢板上，防止工字钢横梁滑移。

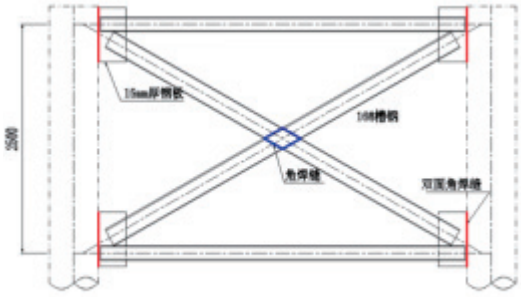

图6：连接系结构图

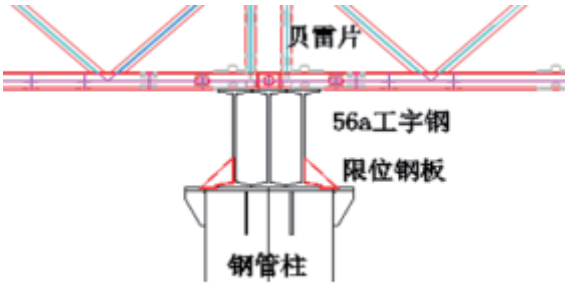

图7：限位钢板布置图

④贝雷梁安装

本方案中贝雷梁采用“321”型标准贝雷片组成，根据设计方案，先将单个贝雷片组成9m/12m贝雷组合片，2~3个贝雷组合片通过专用“花架”形成贝雷梁桁架，贝雷梁桁架应采用专用的销轴及螺栓连接，销轴应设置开口销防止销轴脱落。贝雷梁桁架通过汽车吊吊装就位，贝雷梁桁架安装前用油漆在56a工字钢横梁上标出贝雷梁桁架具体位置。为确保贝雷梁桁架在受力时不发生位移，就位后设置限位装置（［10#槽钢）固定，限位装置焊缝均采用Hf=4mm角焊缝，保证焊接质量（见图8）。

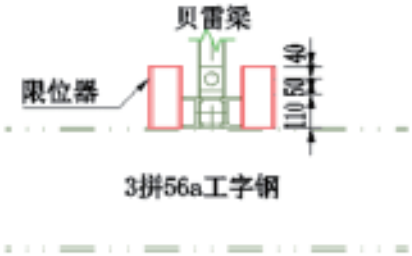

图8：限位器结构图（单位：mm）

5.2.3 盘扣式支架搭设

盘扣支架搭设在一排贝雷片安装完成后进行，搭设时由中间往两侧对称进行，根据测量确定底托外露高度，然后根据支架设计图纸按立杆、横杆、斜杆、剪刀撑的顺序逐层搭设，形成基本的架体单元，以此扩展搭设成整体脚手架体系。

施工时严格控制竖杆的垂直度以及扫地杆和剪力撑的数量和间距。接头是立杆同横杆、斜杆的连接装置，应确保接头锁紧，且同一截面接头数量不大于总数量的50%。支架搭设顺序是：立杆→横杆→接头锁紧→斜撑→剪刀撑。

模板支架可调托撑伸出顶层水平杆长度严禁超过650mm，且丝杆外露长度严禁超过400mm，否则采用调节杆进行调节。作为扫地杆的最底层水平杆中心线距离可调托座的底板不应大于550mm。可调托撑安装完成后，立杆外表面应与可调螺母吻合，立杆外径与螺母台阶外径差不应大于2mm。水平杆及斜杆插销安装完成后，应采用锤击方法抽查插销，连续下沉量不应大于3mm。脚手架搭设完成后，立杆的垂直偏差不应大于支撑架总高度的1/500，且不得大于50mm。

5.3 施工控制重点

柱梁式支架为集中受力，上部梁体的重量通过贝雷梁、56a横梁传递给螺旋管柱，因此螺旋管柱安装质量影响着支架的承载力。根据本项目实施过程中发现的问题，总结以下几个控制重点：

（1）本项目所用螺旋管为我公司周转性材料，材料进场后对原材进行外观验收，对于外观破损、变形严重的不予使用。同时委托有资质的第三方对周转性材料进行力学性能检测，确保材料性能满足使用要求。

（2）建模计算时螺旋管柱底部采用固结，分配梁中间采用铰接进行连接，施工时螺旋管柱与基础预埋钢板采用焊接连接，焊接时满焊，焊脚尺寸符合设计要求，在螺旋管柱四周设置8个加劲肋板与预埋钢板焊接。螺旋管柱安装时应确保其垂直度，保证其受力性能。

（3）为加强螺旋管柱的稳定性，在柱高2/3处设置纵、横向连接系，连接系采用16槽钢，槽钢与螺旋管柱采用钢板连接。为确保焊接质量，钢板与螺旋管柱接触面应做成45°坡口，焊接时方可熔透，焊缝质量达到Ⅱ级。

（4）56a工字钢横梁安装位置应位于螺旋管柱的中心，防止螺旋管柱形成偏心受压。56a工字钢安装就位后，采用限位钢板固定于螺旋管柱顶部，防止56a工字钢横梁移位、倾覆。

（5）为确保贝雷梁在外力作用下无位移，每榀贝雷梁两侧采用［10槽钢限位，槽钢焊接在56a工字钢横梁上。相邻贝雷片采用销轴连接，端部设置防脱销装置。

（6）上部盘扣支架安设在I16工字钢上，防止立杆滑移，采用顶托代替底托，工字钢应位于托座中心。支架搭设时按先立杆后水平杆再斜杆的顺序搭设，形成基本的架体单元，扩展成整体支架体系。水平杆及斜杆插销安装完成后，应采用锤击方法抽查插销，连续下沉量不应大于3mm。

（7）支架的预压前须每15m设置一道观测点，观测点按照每断面布设5个，分别为中心线、左右10m处、翼缘板处，利用2mm钢丝绳由支架顶部垂到地面附件，距地面约1.5m处下端设置一钢筋，保证钢丝绳受力绷紧，在钢筋上设置刻度条用于沉降观测。

6 实施情况

2021年9月20日开始基础施工，0#块2022年4月25日支架搭建完成并进行开始预压，加载时按照设计荷载的60%、80%、100%三个等级加载预压，经观测24小时沉降量小于2mm，符合《公路桥涵施工技术规范》，通过精确调节底托、顶托螺纹、进行测量控制等，确保了顶部模板标高控制在容许误差范围内，7月15日开始混凝土浇筑施工，施工期间结构受力状态良好。

7 结论

本文以潍坊至青岛高速公路跨胶济铁路、胶济客专立交桥工程2×85m预应力T型刚构箱梁为例进行邻近既有线高大模板支架方案研究，在充分利用现有施工材料的基础上，比选确定最优方案，实施完成后达到了预期效果，成功解决了支架现浇施工过程中安全、工期、成本的既定目标，为今后邻近既有线高大模板支架施工积累了经验。

参考文献：

［1］《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》JGJT231-2021

［2］《钢结构焊接规范》GB50661-2011

［3］《建筑工程大模板技术标准》（JGJT 74-2017）

作者简介：

许昆鹏（1987.09-），男，山东省菏泽市人，中级工程师，主要从事公路桥梁、路基施工技术。