

预应力钢筋混凝土长悬臂盖梁现浇支架施工技术研究

孔 锦

中国水利水电第十四工程局有限公司 云南 昆明 650041

摘 要：此次研究结合某工程项目实例，对高架桥预应力钢筋混凝土长悬臂盖梁现浇支架的施工工艺技术进行研究分析，论证出在一定的环境下可以快速安拆的现浇支架的经济性、合理性和可行性。常规的落地钢管支架或满堂支架需进行基础处理，成本高，工期长；为了节约成本和工期，设计出一种不落地的可以快速安拆的钢支架进行长悬臂盖梁现浇混凝土施工，可以节约成本，缩短工期，提高效率，值得在同类型工程中进行推广运用。

关键词：长悬臂；盖梁；支架；施工技术

前言

近年来，各大城市为了解决交通拥堵难题，都在大力兴建高架环路、快速路、高速公路等；为了节约城市建设用地，减少拆迁工程量，这些道路经常会选择在现状道路上设置高架桥的方式通过，为了减少对地面道路的干扰，一般在道路中间绿化带设桥墩，采用长悬臂盖梁的结构形式，减少了对地面的占用，将相互之间的干扰降到最低。预应力长悬臂盖梁结构复杂，施工难度大，常规的落地钢管支架或满堂支架需进行基础处理，成本高，工期长；本次设计使用的可以快速安拆，循环使用的不落地钢支架，可以节约施工成本和工期，提高施工效率，在同类型工程中具有良好的应用和借鉴意义。

1 工程概况

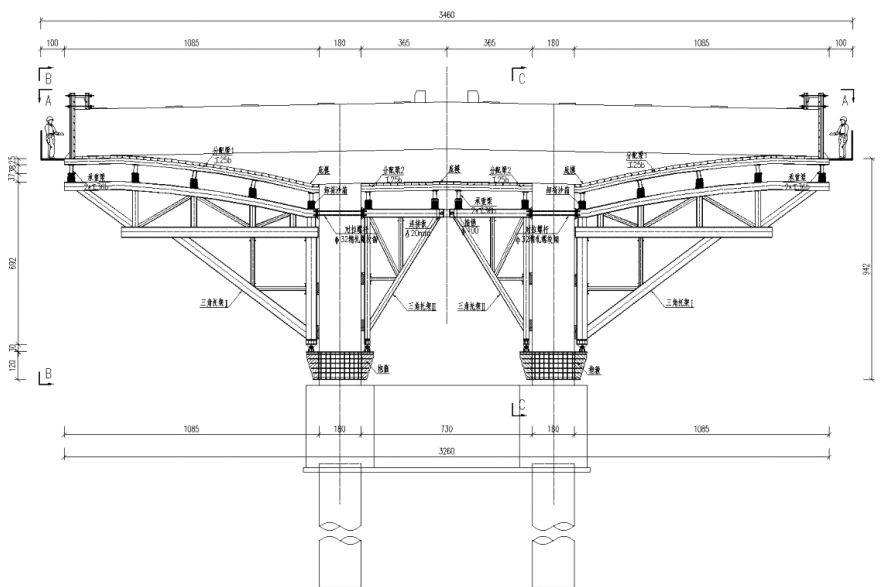
此次研究依托中开高速公路纬十二路高架桥建设项目，拟建高架桥位于广东省中山市翠亨新区，纬十二路高架桥与现状地面道路共线通过，全桥长度1211m，双向六车

道，桥梁宽度33m，预应力钢筋混凝土长悬臂盖梁长×宽×高为31.7m×3.889m×2.6m，最大悬臂长度为11.15m，墩柱最大高度为18.274m，最小高度为5.886m，墩柱形式均为方墩，墩柱平面尺寸为1.6m*1.8m，墩柱中心间距为7.8m。

2 结构设计

预应力钢筋混凝土长悬臂盖梁现浇支架采用三角托架形式，分为内侧托架和外侧托架，内侧支架主梁型号为工36b，立杆与斜向支撑为工25b型工字钢，斜撑为工16b型工字钢，承重梁为双拼工36b型钢，分配梁采用工25b型钢，两组内侧三角架间采用2cm厚钢板与贝雷梁插销进行连接固定。

外侧支架分两层主梁，上层主梁为工36b型工字钢，下层主梁为工45b型工字钢，分配梁为工25b型钢，承重梁为2*工36b型钢，斜向支撑为工45b型工字钢，竖向立杆为工36b型工字钢，斜撑为16b工字钢，各节点均采用焊接固定，节点间均设置加劲板，具体结构布置如下所示：



3 荷载计算

3.1 组合原则

1、基本组合：用于强度、稳定性及抗倾覆性计算（6级风），风荷载组合系数为0.6。

$$S_1 = 1.2 \times \text{恒载} + 1.4 \times (\text{活载} + 0.6 \text{风})$$

2、标准组合：用于刚度（变形）计算

$$S_2 = 1.0 \times \text{恒载} + 1.0 \times \text{活载} + 0.6 \text{风}$$

3.2 工况分析

按正常施工工况和非正常施工工况考虑，工况一为正常施工工况，主要荷载为结构自重、混凝土荷载及各施工活载；工况二为非正常施工状态，指考虑极端风荷载（12级风）作用下盖梁支架施工工况，主要荷载为结构自重以及风荷载作用。

4 结构计算

4.1 主构件受力验算

主要结构采用ANSYS有限元软件辅助计算，单元选定为梁系结构，三角架间上、下支点均按铰接考虑，内三角架间连接按固接考虑，型钢各构件间均按固接考虑。

经过计算，工况一时外侧支架最大等效应力为184MPa < f = 215MPa，支架整体最大竖向变形为23.4mm < 2*L/400 = 26mm，内侧支架最大等效应力为132MPa < f = 215MPa，满足设计规范要求。

工况二时外侧支架最大横向变形为52.1mm，构

$$\frac{276 \times 1000}{5350} + \frac{0.91 \times 10^6}{1.2 \times 422400} + \frac{3.2 \times 10^6}{1.05 \times 50339} = 113.93 \text{Mpa} \leq 215 \text{Mpa}$$

斜向支撑的长细比计算如下：

$$\begin{aligned} \frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x} (1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}}} &\leq f \\ &= \frac{276 \times 1000}{0.939 \times 5350} + \frac{0.85 \times 0.91 \times 10^6}{1.2 \times 422400 (1 - 0.8 \times \frac{276 \times 1000}{6.86 \times 10^7})} \\ &= 56.47 \text{Mpa} \leq 215 \text{Mpa} \end{aligned}$$

斜向支撑长细比如下：

回转半径：i = 0.099m；

长细比： $\lambda = \frac{l_0}{i_x} = \frac{0.5 \times 6.83}{0.174} = 19.6$ ，查表得稳定系数

$\varphi_x = 0.97$ 。

由计算结果可知，内侧支架斜向支撑件稳定性满足设计规范要求。

4.2.2 外侧支架

件最大等效应力为139MPa，上支点最大横向反力为23.64KN，下支点最大横向反力为2.36KN；内侧支架最大横向变形为7.26mm，各构件最大等效应力为77.9MPa，上支点横向反力最大值为16.97KN，下支点横向最大反力为0.23KN，满足设计规范要求。

结构各构件在风荷载作用下最大等效应力为139MPa < 215MPa，满足设计规范要求；外侧支架整体最大变形为52.1mm < 2*L/400 = 55.75mm，内侧支架最大横向变形为7.26mm < 2*L/400 = 19.5mm，满足设计规范要求。

4.2 压弯构件稳定性验算

内、外侧支架斜向支撑件为最不利杆件，其轴力及应力均较大，计算时只对斜向支撑杆件进行压弯稳定性验算。

4.2.1 内侧支架

斜向支撑件的最大轴力为276KN，最大弯矩为Mx = 0.91KN.m，My = 3.2KN.m，内侧支架斜向支撑构件为工25b型工字钢，其压弯构件强度计算如下：

$$\frac{N}{A} + \frac{M_x}{\gamma_x W_x} + \frac{M_y}{\gamma_y W_y} \leq f$$

其中， γ_x 取1.2， γ_y 取1.05， W_x 取422400mm³， W_y 取50339mm³，其计算如下：

弯矩作用平面内的稳定性验算如下：

斜向支撑件的最大轴力为1210KN，最大弯矩为Mx = 23.5KN.m，My = 2.4KN.m，内侧支架斜向支撑构件为工45b型工字钢，其压弯构件强度计算如下：

$$\frac{N}{A} + \frac{M_x}{\gamma_x W_x} + \frac{M_y}{\gamma_y W_y} \leq f$$

其中， γ_x 取1.2， γ_y 取1.05， W_x 取1502222mm³， W_y 取117366mm³，其计算如下：

弯矩作用平面内的稳定性验算如下：

$$\frac{1210 \times 1000}{11100} + \frac{23.5 \times 10^6}{1.2 \times 1502222} + \frac{2.4 \times 10^6}{1.05 \times 117366} = 141.52 \text{Mpa} \leq 215 \text{Mpa}$$

弯矩作用平面内的稳定性验算如下：

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x} (1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}})} \leq f$$

$$= \frac{1210 \times 1000}{0.97 \times 11100} + \frac{0.85 \times 23.5 \times 10^6}{1.2 \times 1502222 (1 - 0.8 \times \frac{1210 \times 1000}{1.07 \times 10^9})}$$

$$= 123.56 \text{ Mpa} \leq 215 \text{ Mpa}$$

斜向支撑的长细比计算如下：

回转半径： $i = 0.099 \text{ m}$ ；

长细比： $\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{0.5 \times 6.83}{0.174} = 19.6$ ，查表得稳定系数

$\varphi_x = 0.97$ 。

由计算结果可知，外侧支架斜向支撑件稳定性满足设计规范要求。

4.3 抱箍受力验算

4.3.1 螺栓受力验算

根据有限元计算可知，外侧托架柱脚的竖向反力分别为934.43kN、913.6kN和934.43kN，内侧托架柱脚的竖向反力分别为443kN、401kN和443kN，单个抱箍所承受的竖向力为总计约为 $F = 4069.5 \text{ kN}$ 。根据钢结构设计规范可知，钢结构和橡胶垫间摩擦抗滑移系数取0.5（Q345b），高强螺栓的预拉力 P 取290kN（10.9级 M27 高强螺栓）。

螺栓的承载力设计值计算如下：

$$N_v^b = 0.9 n_f \mu p = 0.9 \times 1 \times 0.5 \times 290 = 130.5 \text{ kN}$$

抱箍所受的轴向压力 $P = \frac{F}{u} = \frac{4069.5}{0.5} = 8139 \text{ kN}$ ，方柱墩尺寸为1.6m*1.8m，抱箍高度为1.2m，则对应的单侧最大压力 $P = 2355 \text{ kN}$ 。

螺栓承受的轴向拉力值

$$N_0 = \sqrt{2} P = 2355 \times \sqrt{2} = 3330 \text{ kN}$$

所需的螺栓最小数量 $u = \frac{N_0}{N_v^b} = \frac{3330}{130.5} = 25.52$ ，取 $u =$

26，实际设计中单侧受拉抱箍螺栓数量一共为32根，满足设计要求；

每根螺栓拉应力值计算如下：

$$\sigma = \frac{N'}{A} = N_0 (1 - 0.4 \frac{n_1}{n_2}) / A$$

$$= 130.5 \times 1000 \times (1 - 0.4) / (3.14 \times 13.5 \times 13.5)$$

$$= 136.8 \text{ MPa}$$

根据《钢结构设计规范》可知，10.9级承压型连接高强度螺栓的抗拉强度设计值 $f_t^b = 500 \text{ MPa}$ ，螺栓拉应力的安全系数 $\gamma = \frac{500}{136.8} = 3.65$ ，满足设计要求。

4.3.2 抱箍体强度验算

根据7.1中计算结果可知，抱箍壁体承受的侧向拉力值 $F = 3330 \text{ kN}$ ，抱箍体采用Q345b型钢板，厚度为15mm，抱箍高度为1200mm，则抱箍壁体对应的拉应力计算如下：

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{3330 \times 1000}{1200 \times 15} = 185 \text{ MPa} < f = 295 \text{ MPa}$$
，满足设计规范要求。

5 现浇支架制作加工控制重点

1.各焊缝应严格按照图纸要求及相应规范进行施工，不得少焊、漏焊。焊缝质量须符合《钢结构工程施工质量验收规范》（GB50205-2001）中相关焊接要求，不符合要求的焊缝应重新补焊。

2.焊接材料应与钢材性能相适应，选用与主材相适应的结构钢焊条，焊接材料应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》。

3.各构件进行焊接之前，应将焊缝位置附近的铁锈、氧化铁皮和油污清理干净之后，再进行焊接施工。

4.焊接完成后，应及时清理焊缝表面焊渣并进行外观质量检查，对于不符合要求的焊缝应重新进行焊接。

5.抱箍加工完成后应检查焊缝，保证各构件间焊缝饱满、不开焊；抱箍使用的螺栓应为高强螺栓。

6 支架安装控制重点

1.抱箍安装：墩柱混凝土达到设计强度后，测量确定抱箍位置，先在抱箍的安装位置用1cm厚橡胶垫层覆盖墩柱，然后采用吊装抱箍，抱箍间采用高强螺栓进行紧固，紧固时应保证各个螺栓受力均匀且达到设计强度；吊装过程中防止抱箍撞击墩柱导致变形；抱箍处钢面板与橡胶垫层的接触面要求进行喷砂后生赤锈处理。

2.三角托架安装：三角托架安装时采用整体吊装，底部直接落于抱箍上并与抱箍支座用插销进行连接，单个墩柱的内外三角托架需同时安装，保证墩身及抱箍的受力平衡；三角架需顶紧墩身面，竖杆与墩身间可采用钢板塞垫；调整好位置后，将内外三角架与精轧螺纹钢进行锚固，精轧螺纹钢的螺栓用扳手人工拧紧。内侧两个三角托架用连接板与插销进行连接以形成整体，且三角托架横向应加槽钢进行连接。

3.三角架安装完毕后吊装卸荷砂箱及横梁，并铺设分配钢；横梁采用双拼工36b工字钢，分配梁采用工25b工字钢，分配梁安装好后安装盖梁模板。

4.模板安装完成后进行支架预压，预压前应根据设计要求调整支架的预拱度。

5.支架安装完成后需进行预压，采用三级分级加载预

压形式, 预压荷载不小于支架承受的混凝土结构荷载与模板重量之和的1.1倍, 预压过程中需观测并记录支架结构预压产生的变形值。

7 支架拆除控制重点

1. 支架卸荷: 盖梁的混凝土达到设计强度后, 利用铁钎将砂箱底部预留孔洞撬开, 将砂箱中砂子清理干净; 通过降低支架高度, 消除盖梁混凝土对支架的荷载; 卸荷时先处理中间位置的砂箱, 再处理两边的砂箱。

2. 模板拆除: 砂箱卸落后进行盖梁模板拆除, 进行模板拆除时先拆除侧模后拆除底模; 模板拆除完成后, 通过吊车将分配梁和承重梁吊放至地面, 拆除砂箱。

3. 三角托架拆除: 首先拆除内侧两个托架间的插销及连接板, 拆除三角托架与抱箍间的连接, 解除精轧螺纹钢连接螺栓, 利用吊车将三角托架进行整体下放。

4. 解除抱箍的高强螺栓, 将抱箍从墩身拆除。

5. 模板及各构件拆除完成后, 应整理维修并分类保管, 方便下一次的使⽤。

8 效益分析

长悬臂预应力钢筋混凝土盖梁现浇支架施工技术有以下方面取得了积极的成效:

1. 技术借鉴: 该支架占地面积较少, 对地面承载能力要求不高, 特别适用于桥下地质情况较差, 存在软基的地区; 支架结构相对简单, 安拆较方便, 可重复利用, 成本较低; 本同类型桥梁下部结构施工具有良好的借鉴作用。

2. 建设成本: 该类型的盖梁混凝土方量大, 结构自重大, 受力复杂, 导致普通的现浇支架工程量大, 造价高, 特别是下部地质情况较差, 承载力较低时需进行地基处理, 成本更高, 该现浇支架结构简单, 无需进行地基处理, 可以重复利用, 可大幅节约施工成本。

3. 施工工期: 该现浇支架采用模块化制作加工, 现场安装拆除相对简单, 施工周期较短, 可一定程度上节约

盖梁的施工工期。

4. 质量安全风险: 经过预压试验, 该现浇支架承载能力可靠, 变形较小, 满足盖梁施工质量要求; 支架结构采用模块化设计, 可大幅减少现场的焊接和安拆工作量, 降低了现场施工安全风险。

9 结语

预应力钢筋混凝土长悬臂盖梁近年来在高速公路和市政高架道路中得到广泛应用; 该类型的现浇支架可以减少占地面积, 减轻对地面交通的影响, 对地面的承载能力要求不高, 无需进行地基加固处理; 采用模块化设计, 安拆方便, 技术可靠, 施工工艺相对简单; 支架结构合理, 承载能力满足施工要求, 对盖梁施工质量有保证, 可一定程度上降低盖梁施工安全风险; 该支架可重复利用, 单个支架安拆时间较短, 可节约施工工期, 降低施工成本。为同类型桥梁工程盖梁施工积累了宝贵的施工经验, 实现了较好的技术效益和经济效益。

参考文献

- [1] 《公路桥涵设计通用规范》(TB 1002-2017)
- [2] 《钢结构设计规范》(GB50017-2014)
- [3] 《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205-2001)
- [4] 《《钢结构焊接规范》(GB50661-2011)
- [5] 《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2012)
- [6] 《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTGD64-2015)
- [7] 《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)
- [8] 建筑结构静力计算实用手册(第二版)(中国建筑工业出版社/2014)
- [9] 路桥施工计算手册(第一版)(人民交通出版社/2001)
- [10] 《中山至开平高速公路中山段一期工程施工图设计》