DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.231188

交叉撑框构桥设计研究

于长久,刘柏强
(武汉设计咨询集团有限公司,湖北 武汉 430000)

摘　要: 由于受道路线位和渠道走向限制,市政工程中跨渠桥梁常存在交叉角度过大的问题。对于大偏角斜交桥梁,实际工程中通常采用闭合框构结构形式。部分桥梁由于基底承载力低,需采取复合地基处理。当桥下管网较密集时,不具备施打复合地基桩的条件,无法采用大面积板式基础。针对上述不利建设条件,提出了交叉撑框构桥方案。基础采用钻孔灌注桩,基桩根据地下管网分布灵活布置。在基桩顶部设置交叉撑,增加桩顶水平支撑。相比双排桩一字型桥台,交叉支撑梁经济性更好,施工工期短,基桩顶部承受弯矩,受力相对复杂。在顶板端部自由边设置加强梁,用于改善桥面板受力状况。结合工程实例,对大偏角交叉撑框构桥的关键设计内容进行了分析研究,通过相关成果为类似建设项目提供借鉴参考。

关键词: 跨渠桥;大偏角斜交桥梁;交叉撑框构桥;加强梁
中图分类号: U448.41;TU997　　**文献标志码:** B　　**文章编号:** 1009-7716(2026)01-0238-04

Study on Design of Cross-braced Frame Bridge

YU Changjiu, LIU Baiqiang
(Wuhan Design Consulting Group Co., LTD., Wuhan 430000, China)

Abstract: Due to the restriction of road alignment and channel direction, there is often the problem of overly large cross angle of bridges spanning channel in municipal engineering. For the oblique bridge with large deflection angle, the closed frame structure is usually adopted in practical engineering. Some bridges need to adopt composite foundation treatment due to the low bearing capacity of the base. When the pipe networks under the bridge are dense, there is no condition for laying the composite foundation piles, and it is impossible to use the large-area slab foundation. In view of the above unfavorable construction conditions, a cross-braced frame bridge scheme is proposed. The bored pile is used for the foundation, and the foundation pile is flexibly arranged according to the distribution of underground pipeline network. A cross brace is set at the top of the foundation pile to increase the horizontal support of the pile top. Compared to the double-row pile linear abutment, the cross-bracing beams offer better economic efficiency with a shorter construction time. The top of the foundation pile bears bending moments, and the stress acting on it is relatively complex. A stiffening beam is arranged on the free side of the roof end to improve the stress condition of the bridge deck slab. Combined with the engineering cases, the key design contents of cross-braced frame bridge with large deflection angle are analyzed and studied, and the relevant results can provide reference for similar construction projects.

Keywords: cross-channel bridge; large deflection oblique bridge; cross-braced frame bridge; stiffening beam

1　工程概况

焦沙东路位于武汉市青山区北湖新城开发区,路线以桥梁形式跨越北湖港,交叉角度约155°。场地地基土主要由淤泥、淤泥质土、软~可塑状黏性土、粉质黏土夹粉土、粉砂夹粉土、稍-中密粉细砂构成,下部基岩为白垩系的泥质砂岩。淤泥及淤泥质土土层较厚,地质条件较差。为保障过水能力,现状北湖港将进行改造升级。渠道断面按规划形成,底宽 9 m,深 2.2 m,上开口宽 18.4 m,安全水位 0.6 m。桥址下方有一排 DN1200 mm 钢筋混凝土污水重力管,两排 DN1000 mm 球墨铸铁污水压力管。管道走向与道路中心线基本平行,污水重力管埋深约5.2 m,污水压力管埋深约1.35 m。桥位平面见图1。

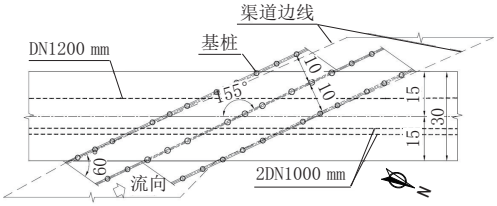

图1　桥位平面图(单位:m)

收稿日期:2023-10-08
作者简介:于长久(1985—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

2　技术标准

（1）道路等级：城市次干路；

（2）设计荷载：汽车荷载采用城-A 级，人群荷载 3.5 kN/m²；

（3）桥梁宽：2×[2.0 m（人行道）+1.5 m（绿化带）+2.5 m（非机动车道）+9.0 m（机动车道）]=30.0 m；

（4）规划最高控制水位：+19.83 m；

（5）航道与净空：无航道，设计水位梁底净空不小于 0.5 m；

（6）抗震设防标准：地震动峰值加速度为 0.05g，抗震基本烈度为 6 度。按 6 度采取抗震措施。

3　总体设计

桥梁偏角 155°，大于 135°，若采用大角度斜交梁桥方案，会出现梁体错体、支座偏移以及主梁裂缝等病害[1-5]。对于大偏角斜交桥梁，实际工程中通常采用闭合框构结构形式。闭合框构的大面积底板要求较高的地基承载力，本项目地质条件较差，需进行复合地基处理。桥址下方复合地基桩距离管道净距按不小于 1 m 考虑，对于 2DN1000 管道复合地基桩的布置间距过大，无法达到地基承载力要求，闭合框构桥梁方案不成立。综上分析，桥梁改用钻孔灌注桩，基桩距离管道最小净距不小于 1 m。桥梁立面见图 2。

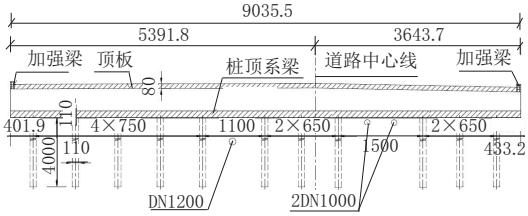

图 2　桥梁立面图（单位：cm）

依据水利计算结果[6-8]，桥梁过水断面宽为 20 m。桥梁为钢筋混凝土结构，跨径组合确定为 2×10 m，见图 3。洞口处顶板与壁板交角为 60°，两洞口错孔布置[9-15]。结构顶面铺装为 10 cm 厚 C40 防水钢筋混凝土，远期加铺 12 cm 沥青混凝土。

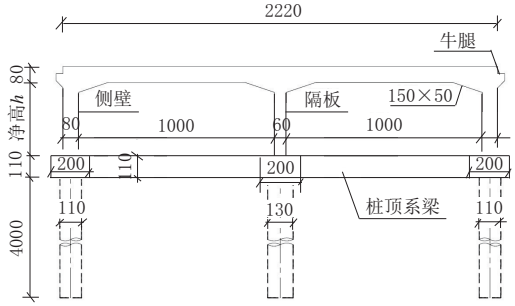

图 3　桥梁横断面图（单位：cm）

4　结构设计

4.1　顶板

结构顶板坡度与道路一致，顶板厚 80 cm。顶板与壁板相交处设置加腋，加腋尺寸为水平向 150 cm 和竖向 50 cm。顶板端部伸出道路范围，在洞口处采用 60°交角。顶板预埋钢筋，用于桥面铺装层混凝土连接。顶板端部分别设置加强梁，以改善顶板受力状况。按照有无加强梁两种情况，对端部顶板局部范围计算分析对比。顶板与墙壁连接处按固结考虑，顶板模型局部边界按铰接考虑。未设置加强梁时，顶板外侧端部按自由边考虑。设置加强梁时，顶板外侧端部按铰接考虑。两种模型计算垂直板边最不利弯矩值见表 1。

表 1　顶板弯矩比较表　　单位：kN·m

三边约束板			四边约束板		
边号	最大弯矩	最小弯矩	边号	最大弯矩	最小弯矩
1	−32.4	−430.8	1	−32.7	−224.3
2	7.4	0.7	2	7.5	0.8
3	−36.4	−256.7	3	−4.6	−234.8
4	3.7	−173.5	4	13.4	−19.2

从计算结果可以看出，增设板端加强梁后，1 号边（顶板与侧墙连接处）及 4 号边（外侧端部自由边）垂直板边弯矩明显减小。1 号边弯矩最大降幅约 47.9%，4 号边弯矩最大降幅约 88.9%。

4.2　侧壁及隔板

侧壁及隔板高度按线形变化，板顶正交横坡与道路一致为 1.5%。侧壁板厚 80 cm，隔板厚 60 cm。与路基衔接位置设置牛腿，用于放置搭板。牛腿注意预埋钢筋，用于侧壁与搭板连接。

4.3　桩顶系梁及基桩

桩顶系梁宽 2 m，高 1.1 m，桩顶系梁下方设置 30 cm 厚 C20 素混凝土垫层。桩顶系梁主要起到连接侧壁、隔板及基桩的作用。由于基桩需避让地下管线，基桩间桩顶系梁长度不均匀，最大桩间系梁长度为 15 m。全桥共设置 35 根基桩，根据桩顶反力基桩共分为 2 种桩径，分别为 1.1 m 和 1.3 m，桩长均为 40 m。

4.4　交叉支撑梁

桩顶系梁之间设置交叉支撑梁，用于抵抗桩顶以上主动土压力，提供桩顶处水平支撑。撑梁两端均位于基桩顶部，平面成交叉布置，见图 4。撑梁截面尺寸为 1 m×1.1 m，撑梁与桩顶系梁连接节点设置加腋用于减小应力集中效应。

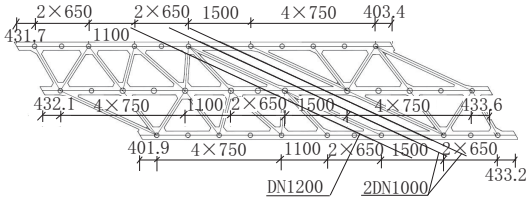

图4　撑梁平面图（单位：cm）

若取消交叉支撑梁，则可采用双排桩一字型桥台用于抵抗台背填土压力。取消撑梁后的双排桩一字台梁桥方案的横断面及基础平面布置见图5、图6。

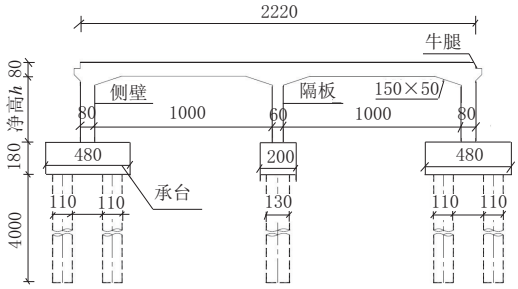

图5　双排桩一字台框构桥横断面图（单位：cm）

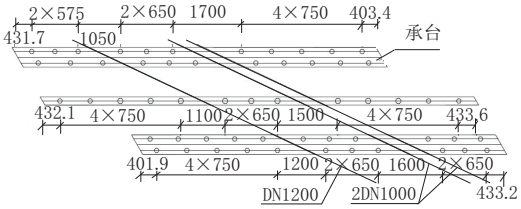

图6　双排桩一字台框构桥基础平面图（单位：cm）

两方案在工程数量上差别较大，具体工程量对比见表2。

表2　交叉支撑梁与双排桩一字台工程量对比表　单位：m^3

方案	桩顶系梁	承台	交叉撑梁	基桩
	C40	C30	C40	C30
交叉撑梁	692.4		407.3	1 466.2
双排桩一字台		1 653.1		2 302.5

从对比结果可以看出，对于本项目，交叉撑梁方案基础总的混凝土方量约为2 565.9 m^3，双排桩一字台方案基础总的混凝土方量约为3 955.6 m^3，后者较前者基础混凝土方量增加约54.2%。采用交叉撑梁方案，桥梁基础工程量明显减小。

由于基桩数量相对减少，交叉撑框构桥的施工工期可显著缩减。双排桩一字台桥梁的基桩受力简单明确，一般按照轴向受压构件考虑。交叉撑框构桥基桩受力相对复杂，可通过实体建模得到精确内力结果。基桩顶部除承受轴向压力外，还需与交叉撑梁共同分担侧壁传递的弯矩。

4.5　变形缝

由于桥梁规模较大，隔板长度为107.66 m，为减小混凝土材料收缩和整体升降温产生的不利影响，桥梁主体结构需设置变形缝。在隔板中心线与道路中心线交点处设置一道垂直桥轴线方向的变形缝，变形缝宽3 cm。桥梁顶板、侧壁、隔板被变形缝隔断，桩顶系梁及支撑梁保持连续完整。变形缝两侧结构之间通过CB型橡胶止水带连接，变形缝填塞聚乙烯泡沫塑料板，四周用聚硫密封膏封边。

4.6　防水设计

（1）结构自防水

桥面铺装应采用防水混凝土。防水混凝土抗渗等级不小于P6。结构的裂缝宽度不大于0.2 mm，并不得贯通。主筋保护层厚度不小于50 mm。桩顶系梁顶面及侧面、壁板内外侧、顶板下面均采用DPS防水剂粉刷。

（2）接缝处理措施

施工缝采用中埋式镀锌钢板止水带，先、后期施工界面上涂刷水泥基渗透结晶涂料。施工缝先浇结构面应涂刷水泥基渗透结晶型防水材料作为界面剂。

4.7　排水设计

桥梁范围内雨水通过桥面排至桥头两侧雨水井，由雨水井集中收集排入雨水管网。顶板道路外侧三角区域覆土雨水通过碎石盲沟集中排入PVC泄水管，再散排至水渠中。

5　计算分析

5.1　计算模型

结构总体静力计算采用MIDAS Civil进行空间三维建模，见图7。桩基采用土弹簧模拟桩土相互作用。全桥离散为5 248个节点，1 467个梁单元，4 033个板单元。

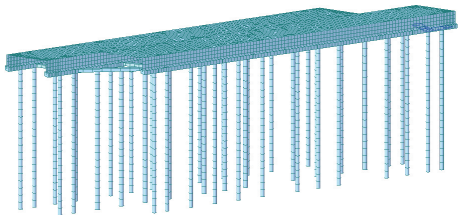

图7　有限元模型

5.2　验算荷载

成桥阶段的分析荷载组合：恒载（包含收缩徐变）+汽车+人群+温度。

按实际施工步骤划分施工阶段，全桥共分为4个施工阶段，各阶段施工内容列于表3。

5.3　顶板验算

桥梁顶板分别按照纵横向验算，顶板配筋由受弯承载力控制。

表 3　施工阶段列表

阶段号	阶段工作内容
1	基桩、桩顶系梁、撑梁施工
2	框架壁板、顶板施工
3	桥面铺装、人行道板、栏板覆土等二期工程施工
4	10 年收缩徐变

顶板横向各部位基本组合、准永久组合内力值及配筋结果见表 4。

表 4　顶板横向验算结果表

部位	基本组合		准永久组合	实际配筋/mm
	弯矩/(kN·m)	剪力/kN	弯矩/(kN·m)	
跨中	1 002	60	602	E22@125
隔板顶	−895	−361	−586	E22@125
壁板顶	−616	297	−433	E22@125

顶板纵向各部位基本组合、准永久组合内力值及配筋结果见表 5。

表 5　顶板纵向验算结果表

部位	基本组合		准永久组合	实际配筋/mm
	弯矩/(kN·m)	剪力/kN	弯矩/(kN·m)	
顶板	695	490	−80	E20@125

从计算结果可以看出，顶板纵横向承受弯矩值差距不大，配筋水平基本相当。

5.4　侧壁、隔板验算

桥梁侧壁、隔板配筋由压弯承载力控制。

侧壁各部位基本组合、准永久组合内力值及配筋结果见表 6。

表 6　侧壁验算结果表

部位	基本组合			准永久组合	实际配筋/mm
	弯矩/(kN·m)	剪力/kN	轴力/kN	弯矩/(kN·m)	
顶部	648	265	372	447	E20@125
底部	469	239	1 299	383	E20@125

隔板各部位基本组合、准永久组合内力值及配筋结果见表 7。

表 7　隔板验算结果表

部位	基本组合			准永久组合	实际配筋/mm
	弯矩/(kN·m)	剪力/kN	轴力/kN	弯矩/(kN·m)	
顶部	553	208	322	377	E20@125
底部	250	169	1 175	171	E20@125

从计算结果可以看出，侧壁、隔板按照压弯构件验算，总体受力差距不大，配筋水平基本相当。

5.5　支撑梁验算

桩顶支撑梁配筋由受弯承载力控制。

支撑梁各部位基本组合、准永久组合内力值及配筋结果见表 8。

表 8　支撑梁验算结果表

部位	基本组合		准永久组合	实际配筋/mm
	弯矩/(kN·m)	剪力/kN	弯矩/(kN·m)	
跨中	783	0	591.9	8E25，8E25
基桩顶	−1 073	364.9	−830	8E25，8E25

从计算结果可以看出，支撑梁主筋配置由基桩顶负弯矩控制，梁顶底面配筋对称布置。

6　结　语

本文基于大偏角斜交桥梁，在地质条件差，地下管网复杂的建设条件下，提出了交叉撑框构桥方案。对桥梁的总体布置及各主要构件设计做了详细分析研究。通过增设加强梁，改变顶板端部边界条件，大幅降低顶板弯矩内力值。基桩顶设置交叉支撑梁，为基桩顶部提供水平支撑，大幅降低桥梁基础工程量，使施工更加简便。通过有限元梁板建模分析，结合受力模式，进行构件配筋设计，结构验算满足规范要求，方案安全可行。通过本文，为市政工程中类似建设条件的大偏角斜交桥梁设计提供借鉴参考。

参考文献：

[1] 秦怀仁．大角度斜交桥的病害成因与整治措施[J]．安徽建筑工业学院学报(自然学科版)，2006，14(6)：38-41.
[2] 胡淼，吕新建，赵彦博，等．斜交混凝土梁桥病害分析及加固研究[J]．城市道桥与防洪，2013(10)：53-55.
[3] 卫星，强士中．铁路斜交框架桥顶板裂纹原因分析[J]．桥梁建设，2004(1)：66-68.
[4] 张伟，阎贵平，林昱．某框架桥裂缝原因分析与处理[J]．铁道建筑，2007(4)：21-23.
[5] 卢江波，方鸿，戴小冬．倒箱形截面门式框架斜桥顶板底面斜向裂缝成因分析[J]．中外公路，2019，39(5)：165-167.
[6] 陆浩，高冬光．桥梁水力学[M]．北京：人民交通出版社，1994 .
[7] 拾兵，贺如泓，于诰方．斜交桥渡的雍水及设计计算[J]．水科学进展，2001(2)：201-205.
[8] 季日臣，刘有录，宁贵霞．多线大角度斜交桥渡模型试验研究与工程实践[J]．城市道桥与防洪，2005(7)：106-108.
[9] 毛红涛．大角度斜交桥设计[J]．城市道桥与防洪，2022(8)：55-58.
[10] 李文治．某大角度斜交箱涵的受力分析与方案比选[J]．北方交通，2014(9)：17-20.
[11] GB 50010—2010，混凝土结构设计规范[S].
[12] 范立础．预应力混凝土连续梁桥[M]．北京：人民交通出版社，1988.
[13] 陈玉刚，周清学．大斜交角度简支梁桥设计新法[J]．城市道桥与防洪，2005(3)：114-115.
[14] 罗杰，王东权，于广云，等．空心型箱形铁路框架桥的力学性能分析[J]．世界桥梁，2012，40(1)：60-64.
[15] 范香艳，李青宁，王剑，等．可动荷载下斜交框架地道桥空间受力分析[Z]．西安：中国力学学会结构工程专业委员会，2018.