

浅析型钢骨架混凝土拱桥设计要点

杜亚光¹ 曾向往² 向 毓¹

1. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司 湖北武汉 430015;

2. 湖北省城建设计院股份有限公司 湖北武汉 430051

【摘要】以武山湖绿道八号桥为工程背景,介绍了一种适用于小跨径上承式混凝土拱桥的型钢骨架混凝土主拱圈设计方法与施工步骤,通过与满堂支架法对比,验证配置型钢骨架对混凝土拱桥主拱圈施工措施费用、工期及施工难度改善效果显著。

【关键词】上承式混凝土拱桥;型钢骨架;拱圈施工;临时措施

1 引言

上承式混凝土拱桥构造简洁、施工方便。与单孔拱桥相比,多孔连拱布置形式造型更丰富有韵律,在城市公园等场景中应用广泛。该类桥梁混凝土主拱圈主要采用支架法施工,支架上立拱盔及侧模,现浇主拱圈,后拆除支架。

根据桥梁建设经验,混凝土拱桥与常规混凝土梁桥结构相比,其主拱圈主要承受轴压力,材料利用率更高;但通常同等规模的混凝土拱桥造价和工期明显高于混凝土梁桥。原因主要有三点:1、拱桥结构基础通常更大;2、混凝土拱桥梁措施费用占工程总费用比例高;3、施工步骤中支架搭设与预压施工周期较长,导致工程建设周期较长。

多孔连拱拱桥随着工程规模增加,其建设投资及施工周期相对于梁桥方案的劣势将更明显。探索一种针对费用和工期的优化方案,将很好的拓宽这类桥型的应用空间。

2 工程背景

2.1 桥梁方案

武穴市武山湖环湖绿道八号桥为城市重点景观节点,上跨武山湖国家湿地公园水域,人行桥设计标准,桥梁总长494.4m,如图1所示,方案主体结构为27孔连拱桥梁,桥上



图1 八号桥完工鸟瞰图

设置三处景观廊亭。

连拱桥梁主拱跨径14~23m,拱轴线均采用半圆弧形,桥梁标准宽6.9m,局部加宽至12.9m布置廊亭立柱。为避免连拱效应导致的水平推力累积,方案仅中间三跨(跨度大于20m)采用拱桥结构,主拱圈为厚度50cm实心混凝土板拱,其余跨(跨度小于20m)采用空心板梁桥加外包厚度15cm拱形装饰板。

2.2 主拱圈施工方案

桥址处湖面常水位水深2~3m,考虑到水源地环境保护要求禁止大规模填土,拟采用钢管桩平台+钢管支架形式施工拱圈。湖底至常水位以上2m修建钢栈桥及钢平台,平台之上搭设满堂支架及拱盔,立模板并现浇主拱圈混凝土。

桥梁下部结构拱座施工阶段已搭设部分拱脚处钢平台,可直接利用,如图2所示,仅搭设跨中部分钢平台,钢平台之上设满堂支架。所有钢平台均采用采用壁厚10mm的 $\phi 630$ 钢管桩作基础,桩头采用[22槽钢剪刀撑焊接,钢管桩上为双拼45a工字钢作承重梁,然后再架设贝雷梁作为分配梁。

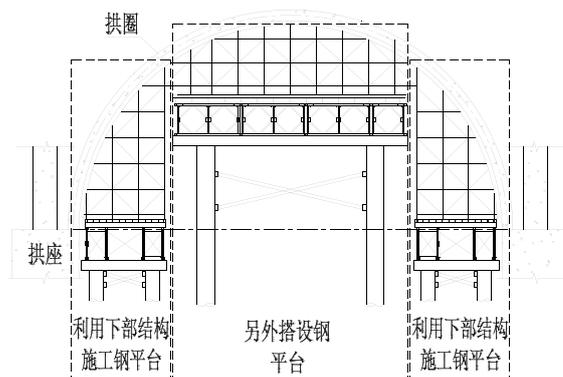


图2 单孔主拱圈满堂支架示意图

由于桥梁连拱数量多，支架数量巨大、临时措施费用偏高，另外大量的钢管桩插打、支架搭设、预压与拆除工序导致施工周期长，难以保证在一个枯水期以内完成计划内容。

鉴于此，工程以减少临时支架为出发点，探索了配置型钢骨架的混凝土主拱圈拱桥方案。

3 型钢骨架混凝土

劲性骨架混凝土和钢混结合构件是工程上常用的无支架施工混凝土的解决方案。

劲性骨架混凝土多用于的钢混结合主拱圈方案，通过在混凝土拱肋中设置钢管、钢桁架等劲性骨架，主要满足施工阶段临时支撑需要。该方法设计及施工发展成熟，研究成果较多^{[2][3]}。钢混结合截面形式在民用建筑结构中应用较广，通常在混凝土梁、柱中配置一定面积比的型钢或格构式钢构件，成型后混凝土与钢构件作为联合截面共同参与整体受力。

以上两种钢混结合截面都利用先期实施的钢结构做支撑来施工混凝土。但劲性骨架混凝土构件中劲性骨架形式复杂构件繁多，施工复杂；型钢混凝土截面中钢混结合传剪力措施构造较复杂。将以上两种截面形式的优点加以整合利用，研究适合20m左右跨径混凝土主拱圈快速施工的解决方案。结合小跨径混凝土主拱圈结构自身特点：

1、小跨径混凝土拱桥主拱圈受力不大，自身混凝土截面很容易满足受力需求，成桥阶段不需要型钢截面贡献额外强度刚度。

2、主要解决主拱圈混凝土快速施工问题，临时支撑结构仅需要承受拱圈施工荷载。

基于此，最大化考虑施工便捷性，型钢骨架混凝土主拱圈设计方案为：混凝土主拱圈中配置少量型钢构件形成临时骨架，骨架仅施工阶段支撑主拱混凝土施工，不考虑型钢与混凝土结合传剪。设计准则可按以下控制：1、准则一：型钢仅考虑施工阶段作用，运营阶段不计入型钢作用，仅做安全储备；2、准则二：型钢不设传剪措施；3、准则三：型钢支撑体系自身强度及稳定性满足要求。

相对钢筋混凝土截面，型钢骨架混凝土拱圈主要增加了三部分设计，1、沿主拱圈通长设置的型钢骨架，2、横向各型钢骨架间型钢剪刀撑；3、拱座处型钢骨架预埋件。

4 型钢骨架混凝土主拱圈工程设计

4.1 设计方案

武山湖八号桥共计27孔拱结构，主拱圈分为厚度50cm真拱结构和厚度15cm装饰拱结构两种，均为钢筋混凝土实心板。

采用文中型钢骨架混凝土方式进行优化设计，根据施工阶段模型计算分析，厚度50cm主拱圈横向配置4根 I 40a^[4]型钢骨架，如图3所示。厚度15cm装饰板拱圈由于板厚较薄，按板厚15cm配置的型钢高度太小，为得到足够支撑刚度，横向配置4根 I 32c^[4]型钢骨架，型钢处装饰拱局部加厚设置40x40cm矩形纵梁。各片型钢之间采用角钢设置剪刀撑形成横向连接，全桥最大跨径23m，型钢单片最大吊重2.5吨，均采用分段预制、现场拼接成整体后，一次整片吊装。

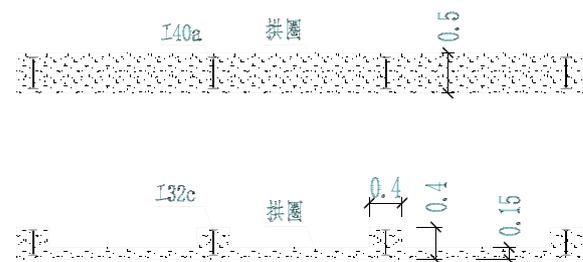


图3 主拱圈(上)/装饰拱(下)圈断面示意(未示意侧墙)

型钢骨架处单独配置一个沿纵向通长布置的闭合箍筋，箍筋可与型钢点焊固定，保证型钢与主拱圈混凝土钢筋骨架的联系。

4.2 施工工艺

拱圈混凝土施工时：1、型钢预弯成形；2、浇筑拱座，预埋型钢连接件；3、现场逐片吊装型钢拱肋；4、以型钢拱肋为支撑，挂支模板浇筑主拱圈；5、其余步骤同常规混凝土拱桥施工工艺。

型钢骨架混凝土拱圈主要施工步骤如下图4所示。工程下部结构施工阶段即可进行型钢骨架的工厂预制工作，根据运输条件分节段运至现场，拼接成整体后一次整片吊装。

以型钢骨架体系作为临时支撑，吊底模板，立侧面及顶面模板，绑扎钢筋及现浇混凝土工艺与常规满堂支架工艺相同。满堂支架施工步骤中预压目的主要是消除支架非弹性变形，型钢骨架无需预压工序。

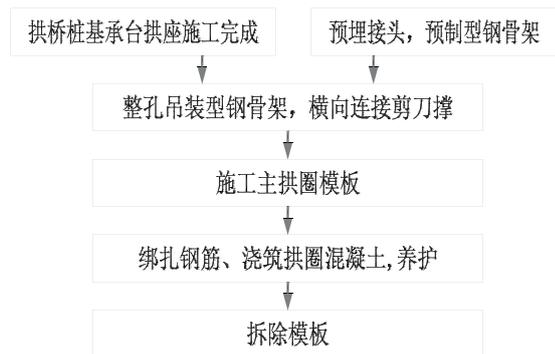


图4 型钢骨架主拱圈施工步骤图

按此方法，型钢骨架混凝土拱圈施工过程中不需搭设拱圈施工支架，也无支架预压与拆除工序，可明显简化施工流程，降低工程造价。

4.3 效用对比

以武山湖八号桥20m跨径单孔拱圈施工为对象，分别采用满堂支架、型钢骨架无支架两种方式进行施工组织设计分析。该主拱圈跨径20m，拱轴线长度31.42m，矢跨比1/2，宽度6.9m，厚度0.15m。

满堂支架施工的支架布置方式如图2所示， $\phi 630$ 钢管桩底嵌入强风化灰岩，单桩长度按22m计，经计算支架强度、刚度及稳定性均满足要求。型钢骨架方案配置4片 I 32c^[4]型钢骨架，经计算施工阶段型钢截面最大应力156MPa，最大挠度16mm。两种方案中主拱圈临时支撑措施相关的内容估算对比如下表1。

表1 拱圈支架施工方案对比表

| 方案 | | 型钢骨架 | 满堂支架 |
|--------|-------------------------|--------------------------|------|
| 项 | | | |
| 临时构件 | 型钢、横联、拱脚预埋件等，型钢共计：10.9t | 分配梁、面板及斜撑等，型钢共计：4.4t | |
| | | 钢管桩28.1t | |
| | | 碗扣架：730m ³ | |
| | | 贝雷梁：120m ³ | |
| 主要设备类型 | 吊装、焊接 | 移运、吊装、焊接，钢管桩插打 | |
| 特点 | 整片吊装，用钢量小，施工速度快 | 工序繁多，钢管桩插打、支架搭设、预压等环节工期长 | |
| 工期估算 | 3天 | 30天 | |
| 费用估算 | 6万 | 18万 | |

从以上20m单跨拱圈临时支撑措施对比可知，型钢骨架方案在拱圈施工支架费用和工期的节约幅度均大于60%，效果十分显著。本工程主拱宽度及跨度种类较多，未逐一列出相应支架布置方案及型钢骨架方案。

由于工程连拱数量多达27孔，配置型钢骨架后可省掉全桥拱圈施工支架搭设、预压及拆除工序，可显著降低措施费用，简化施工流程，根据施工预算及施工计划，工程施工措施费降低约13.5%，工期节约至少2个月，型钢骨架方式优化后效果十分显著。

5 结语

本文介绍了一种小跨径上承式混凝土拱桥主拱圈配置型钢骨架的设计方法与要点，以27孔连拱桥工程案例为背景，通过与一般混凝土拱桥采用满堂支架法对比，配置型钢骨架对混凝土拱桥在造价、施工难度和工期上均有明显改善。目前该工程已顺利完工。

对于适用于满堂支架法施工的中小跨混凝土拱桥，配置型钢骨架对工程造价、施工难度及工期均有较好的优化。对于多孔连拱桥、桥下净空或水深较大条件下，型钢骨架法优势尤为突出。

参考文献：

- [1] 邵旭东，桥梁工程（第五版）[M]，人民交通出版社，2019.05.
- [2] 邓年春，李长胜等，钢管混凝土劲性骨架拱桥主拱圈施工方法进展[J]，科学技术与工程，2021.21(15):6132-6139.
- [3] 魏冬寒，大跨度劲性骨架混凝土拱桥受力特性研究[D]，石家庄铁道大学，2019.
- [4] GB/T 706-2016，《热轧型钢》[S]，2016.12.

通讯作者简介：

杜亚光（1988.05.23—），男，汉族，工学硕士，高级工程师，从事桥梁结构设计及仿真工作。