

# 系杆拱桥施工“先梁后拱”技术浅析

刘韧

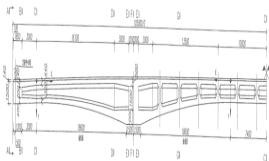
安徽省路桥工程集团有限责任公司

**摘要：**系杆拱桥是梁、拱组合的超静定结构体系，其受力分析过程较一般桥梁体系复杂。目前，系杆拱桥的受力特性以及分类界定虽然有了一些研究成果，但仍需作进一步深入研究。本文直接以实体案例为背景，系统性介绍了系杆拱桥系杆、拱肋以及吊杆主要构件的施工方法。

**关键词：**系杆拱桥；系杆；拱肋以及吊杆；施工方法

## 一、工程概述

县河大桥位于县河与扁担河交汇处下游，桥梁轴线与河道中心线夹角 105 度，桥跨组成为 4×25m 小箱梁+ (25+55+25) m 拱梁组合桥+4×25m 小箱梁，桥梁全长为312米。主桥桥面横向布置为：5m（人行道+拉索区+栏杆）+14m（机动车道）+5m（人行道+拉索区+栏杆）。本桥全部位于直线段上，最大纵坡为3.092%。拱桥墩台5#墩和6#墩为主墩，基础为φ1.5m钻孔桩。主桥箱梁采用变截面单箱三室预应力混凝土箱型截面，梁体全长105m。



## 二、技术分析

本桥采用先梁后拱的施工方案，即先施工系梁再施工拱肋。支架搭设完成后进行预压，预压后进行钢筋的绑扎并安装拱脚预埋钢管及其他预埋件、安装预应力，现浇系梁和拱脚，待混凝土强度达到设计要求后，进行纵横向预应力钢筋张拉。在箱梁上搭设支架及预压后，进行钢筋混凝土拱肋钢筋绑扎、模板安装及混凝土浇筑，按照设计顺序安装张拉吊杆，检测并调整吊杆力至设计值。最后拆除拱肋及现浇箱梁支架，并进行风撑的拼装及安装。

## 三、施工方案

### （一）现浇梁施工工序流程如下所示

地基处理及硬化→支架搭设并预压→支立模板→绑扎底板、腹板钢筋→底板砼浇筑→腹板钢筋绑扎、安装内侧模及顶模→绑扎顶板钢筋、埋设预应力管道、安装预埋件、预留孔→现浇混凝土、养护→预应力张拉→压浆，完成箱梁施工。

#### 1. 盘扣支架搭设

地基处理完成、硬化且具有一定强度后在其上方弹线布置底托并搭设盘扣支架，盘扣式支架需受力验算符合。

#### 2. 模板设计安装

箱梁内模采用竹胶板，支撑采用钢管支架。支架沿横向、竖向均设置可调节长度的顶托及底座。背肋采用8cm×6cm方木，间距30cm；内模满堂支架按60cm（纵）×90cm（横）×90cm（竖）搭设，沿桥纵向每排加设剪刀撑一道支撑倒角模板，内模支架横竖向顶紧内模，通气孔位置穿φ25mm拉杆，加强侧模横向联系。

#### 3. 支架预压

铺设好箱梁底模板，在加载预压之前测出各测量控制点标高，加载分四个阶段进行，即加载60%、80%、100%、120%，对加载及卸载后各测量点标高值进行测量，根据预压成果整理及预拱度设置。

#### 4. 钢筋加工及安装

底模安装完预压后，对底板标高进行仔细调整（考虑支架弹性变形量及预留拱度），经检查合格后，对底模进行清扫，

绑扎钢筋。预应力钢绞线切割采用砂轮锯，钢筋切割采用切断机；非预应力螺纹钢焊接采用闪光对焊；钢筋弯制成型采用弯曲机，并用样板控制弯制尺寸。

#### 5. 拱脚预埋段施工

拱脚预埋段要在系梁混凝土浇筑前进行预埋，预埋时要特别注意拱脚预埋钢筋的定位，确保钢筋 混凝土拱肋的坐标和倾角准确无误。拱脚定位支架采用22a的槽钢焊接而成，支架底部放置在混凝土垫块上。拱脚处普通钢筋及预应力钢筋密集，但钢筋调整的前提是一定要保证拱肋的位置准确。

#### 6. 预应力工程施工

纵向预应力钢束管道采用金属波纹管成孔，应优先保证管道位置。预应力的施工以张拉力和钢束伸长值进行双控，并以张拉力为主，钢束伸长值作校核。该桥张拉顺序为：先底腹板后顶板，从外到内左右对称张拉，中横梁、端横梁横向预应力筋在纵向预应力筋张拉后再张拉，最后张拉桥面横向预应力钢筋，并及时压浆。

##### （1）纵向预应力筋张拉

张拉顺序及原则：采用两端同时张拉，先外后内，以梁中线为对称轴两侧对称进行。张拉工艺流程：0→0.1δk→1.0δk（持荷5min）→锚固。张拉锚具安装程序：安装工作锚→安装限位板→安装千斤顶→安装工具锚→在工具锚夹片后钢绞线上作量测伸长量的标记→张拉，预应力张拉：预应力张拉两端同步进行，分级控制，升压或降压均应缓慢进行，两端伸长量之和与理论计算值比较，限差为+6%，符合者持荷5分钟。

##### （2）横向预应力筋张拉

张拉顺序及原则：采用单端张拉，钢管两侧对称张拉。张拉工艺流程：0→0.1δk→1.0δk（持荷5min）→锚固。预应力张拉：张拉采用双控法，以油压表读数为主，油压表的误差不得超过+2%，伸长量的误差不得超过+6%。

##### （3）伸长值计算公式

$$\text{精确计算式: } \Delta L = \frac{P_j L_T}{A_p \cdot E_s} \left[ \frac{1 - e^{-(\mu L_T + \theta)}}{KL_T + \mu \theta} \right]$$

式中：

- P<sub>j</sub> —— 预应力筋张拉力；
- A<sub>p</sub> —— 预应力筋截面积；
- E<sub>s</sub> —— 预应力筋弹性模量；
- L<sub>T</sub> —— 从张拉端至计算截面的孔道长度；
- K —— 每米孔道局部偏差对摩擦的影响系数；
- μ —— 预应力筋与孔道移之间的摩擦系数；
- θ —— 从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角 (rad)；

简化计算式：

$$\Delta L = \frac{P \cdot L_T}{A_p \cdot E_s}$$

$$P = \left( 1 - \frac{KL_T + \mu \theta}{2} \right) P_j$$

式中：P——预应力筋的平均张力，取张拉端的拉力与计算截面处扣除孔道摩擦系数损失后的拉力平均值。

#### 7. 混凝土工程施工

拱脚段实体混凝土及箱室混凝土均采用一次性浇筑。拱

脚处纤维混凝土要和梁体处混凝土分开。两台泵车从两端向中间浇筑直至合拢。为减小收缩、徐变的影响,避免产生施工裂缝,砼浇筑断面上按底板、腹板、顶板(拱脚)分层浇筑。振捣时尤其要注意锚垫板和下倒角处混凝土的密实性。系梁拱脚段混凝土为大体积混凝土,浇注时预埋冷却管,降低混凝土内部温度,减少水化热,有效控制开裂。箱梁采用洒水法养生,洒水养生包括对未拆模板时模内洒水和无模板砼表面用麻披覆盖洒水养生。

### (二) 钢筋混凝土拱施工

支架直接架设在梁面上,支撑方式采用满堂式盘扣支架并进行预压调整。为保证现浇拱桥的外观质量、光洁度、表面平整度和线形,加快施工进度,底模、侧模均使用定型钢模板。顶模在拱圈钢筋绑扎以后及时安装,安装要注意各方面尺寸,固定牢固。按照浇筑段落预留孔洞,以方便混凝土的振捣。钢筋绑扎采用分段预留的方式,待相应段落混凝土浇筑完成以后再行机械连接。拱桥混凝土的浇筑采用分段浇筑,中间设间隔槽,对称于拱顶进行,各段的接缝面应与拱轴线垂直。混凝土在养护期间或未达到一定强度之前,防止遭受振动。

### (三) 支架拆除

支架拆除应在主桥吊杆张拉压浆完成并达到设计强度后方可拆除下部支架,支架拆除应先拆除拱肋满堂支架,后拆除现浇梁满堂支架。

### (四) 吊杆安装张拉

拱肋混凝土强度达到设计强度的90%后,拆除现浇箱梁上临时支架。开始安装吊杆并张拉。吊杆垂直布置,间距为4m,每侧10根,全桥共计20根。吊杆采用成品不锈钢套管平行钢丝绳。1. 施工流程:施工准备→安装吊杆→张拉至吊杆的控制力→张拉力调整→配套附件的安装→不锈钢护罩安;2. 吊杆的安装:现浇梁及拱肋施工时注意预埋吊杆预留孔、锚头钢筋及螺旋钢筋预埋件等。吊杆实际下料时,应在拱肋混凝土灌注完成后,精确测量上锚垫板顶面标高,并由设计单位根据施工过程

中实测拱肋变位情况,修正有关计算参数,计入拱肋在桥面系恒载作用下竖向变位推算值影响后,确定实际下料长度。同时上锚头预留长度调整差±50mm,交由专业厂家下料并及时安装吊杆与锚具。吊杆采用吊车安装,吊杆的安装次序按照设计要求进行。在拱肋混凝土强度达到设计值要求,采用千斤顶在拱肋顶单端张拉,按设计顺序张拉至初始应力后锚固。先梁后拱法施工钢筋混凝土拱肋时,在现浇梁施工后,先后经过钢筋混凝土拱肋混凝土灌注、吊杆安装、桥面二次恒载等加载步骤。吊杆安装张拉完成后,拆除现浇梁支架,进行桥面设备二次恒载等施工,桥面设备安装完成后,应根据设计要求对吊杆预应力进行张拉调整,调整时必须按设计顺序对称进行,张拉力完毕及时做好保护罩,保证梁拱体系在施工过程中的受力平衡及成桥时吊杆应力符合设计要求。待拱肋混凝土达到90%强度,且桥面支架拆除后方可进行吊杆张拉。张拉时按设计顺序同幅拱肋对称张拉,两侧交替进行,张拉时采用4根吊杆同时张拉。根据监控方下达的吊杆张拉施工控制指令进行张拉,保证同幅拱肋对称、分级张拉。张拉时分阶段进行,按设计张拉力的0→20%→60%→100%进行张拉。

### (五) 支架及模板拆除

现浇梁侧模及内模待预应力张拉施工完成后即可拆除。现浇梁支架必须在拱肋施工及吊杆张拉调整完成后方可拆除。拆除顺序和搭设顺序相反,先搭的后拆后搭的先拆。

### 结束语

系杆拱桥体系略显烦琐,施工中存在一定技术困难,此次研究依托县河大桥实体案例,梳理与分析了系杆拱桥特点及施工工艺,本文的分析可以为类似桥梁项目的建设作业提供借鉴。

### 参考文献

- [1] 颜东煌. 组合体系拱桥的发展与应用综述[J]. 世界桥梁 2007.
- [2] 范立础. 桥梁工程[M]. 人民交通出版社. 2001.

(上接第130页)

如:经济方面、社会方面、社会服务管理方面以及生态方面。所以,不能将空间建设以及发展规划分割,需要将其视为总体,共同开展。

### (四) 国土空间规划体系当中的详细规划编制方式

从市、县层面开展的国土空间总体规划,需要应用多规合一的方法,这便需要将市、县空间规划总图编制的策略区划城乡覆盖进行体现<sup>[1]</sup>。针对纵向进行传递,以及相应的深化工作,需要将市县域的全覆盖有所实现,并符合相关要求。编制过程中,需要有效安排具体的地块用途以及相应的开发建设强度,属于国土空间开发保护活动,是国土空间用途管制实施,以及核发发放城乡建设项目规划许可等各项工作的重要依据。具体来说,包括城镇开发边界内的详细规划编制、城镇开发边界外的规划乡村地区编制,两项规划工作进行拼合,便可以使城乡全覆盖的目标有所实现。

### (五) 规划行政事权划分以及成果体系创新

为了将行政管理规划效率进行提升,还需要合理划分行政事权规划。在以往总结的经验前提下,提出各级政府针对编制规划开展时、审批以及监管,需要对事权划分原则进行应用。具体来说便是:管理某项,批准某项,并结合“谁批准、谁监管”的方法,对国土空间规划审查备案制度分级建立。为将

这一改革思路深入落实,编制规划内容成果体系以及配套的形式,都需要做出相应的调整以及创新<sup>[2]</sup>。

针对规划成果体系制定的创新目标,不但要与规划行政事权划分有更理想的契合,还需要使市、县总体规划的公共策略属性以及战略定位有所彰显。规划成果,要保证公众能够有所明确,所以需要之前技术性的图表和条纹表达形式进行创新。在全新的方法中,需要用全新的新媒体手段,如图文并茂的方法,对总体规划战略进行阐述。

### 三、结束语

总之,国土空间规划体系的建构,有益于省、市国土空间的发展更加科学,其中对于逻辑以及运作策略的编制,需要强化新规划体系的法治建设契合、进行国土空间规划的分级分类编辑以及制定传导机制,以便积极改革之前的国土空间规划体系,建立全新规划体系背后的行政逻辑。

### 参考文献

- [1] 周小平,赵萌,钱辉. 协同治理视角下空间规划体系的反思与建构[J]. 中国行政管理, 2017, 000(010):10-15.
- [2] 余天亮,蔡银莺. 国土空间规划管制与区域经济协调发展研究——一个分析框架[J]. 自然资源学报, 2017, 032(008): 1445-1456.