

# 贵南高铁 168m 系杆拱桥拱肋异位拼装、平移临时支撑体系设计及受力计算要点分析

李小健

中铁北京工程局集团有限公司

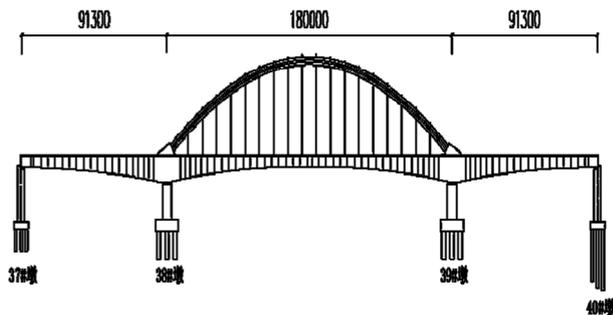
**摘要:**较大跨度系杆拱桥在市政公用、公路及铁路等工程领域应用较为广泛,系杆拱桥中梁板因为吊索间距较小,能合理的减小梁板跨度及截面尺寸、配筋,从而减小其自重;拱肋结构采用钢管砼结构,抗压性能较好,较小的断面其受压性能大大提高;吊索仅承受拉力,采用抗拉强度较高的新型材料时较小截面、较小自重情况下能很好的满足受力性能。系杆拱桥一般跨越既有道路及铁路、河流等,常规施工方法在既有线路上方施工周期较长,安全防护风险较大;采用在边跨部位先进行拱肋拼装然后整体平移至设计位置可有效规避此方面的风险。拱肋拼装、平移涉及的临时支撑体系较多,而且存在各种工况受力不均衡的问题。本文依据设计规范,结合拱肋异位拼装及平移施工工况对涉及的临时支撑体系进行设计及受力计算要点分析,为项目安全可靠实施提供有效的理论依据。

**关键词:**高速铁路 大跨系杆拱桥 拱肋异位拼装 平移 临时支撑体系 受力计算要点

## 1. 项目概况

贵南高铁(91.3+180+91.3)m系杆拱桥为梁拱结构,跨越既有高速公路。连续梁为预应力钢筋混凝土结构;钢管拱跨度180m、矢跨比1/5、矢高36m,拱肋位于竖直面内,拱轴线采用二次抛物线。

系杆拱桥立面图见下图示意。



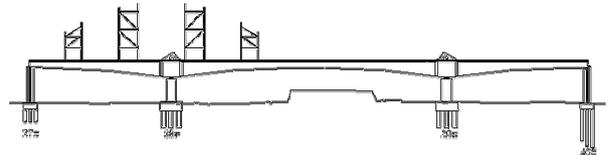
拱肋为钢管混凝土结构,采用哑铃形等截面形式,截面高度3m,钢管直径1m,由壁厚24mm和28mm的钢板卷制而成,每根拱肋的两钢管间采用壁厚16mm和20mm的腹板连接。两拱肋横向中心距为14.8m,钢管和腹腔内均填充C55微膨胀混凝土;两榀拱肋之间共设置9道横撑,拱顶处为米字撑,两侧为K撑。钢管拱顺桥向吊杆间距9m,全桥共设置18组双吊杆,吊杆采用GJ15-12钢绞线整体挤压拉索;吊杆上端穿过拱肋,锚于拱肋上缘张拉底座,下端锚于梁体吊点横梁下缘固定底座。拱脚混凝土分两次浇筑,第一次浇筑混凝土时前拱脚钢管安装加固就位,拱肋拼装安装完成后浇筑二次混凝土。

## 2. 主要施工工况及结构体系受力要点

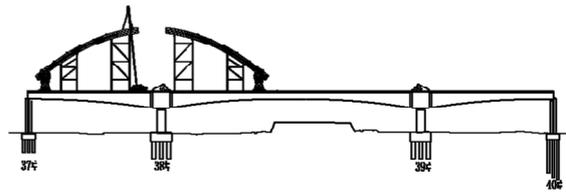
本桥采用“先梁后拱”的方案施工,连续梁采用挂篮悬臂浇筑施工,钢管拱采用“异位拼装、整体纵向平移就位”的方法进行。钢管拱在桥梁小里程侧搭设临时支架(避开主跨高速公路)进行拼装,完成后整体纵向平移至桥位处就位。

其主要施工工况及结构体系受力要点如下:

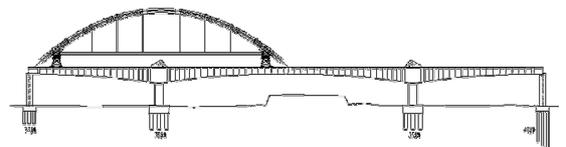
工况一:连续梁施工完成后,在连续梁小里程边跨和主跨部分区域搭设拱肋安装辅助承重支架(见下图示意)。此工况下连续梁主要承受辅助承重支架自重荷载和吊车荷载。



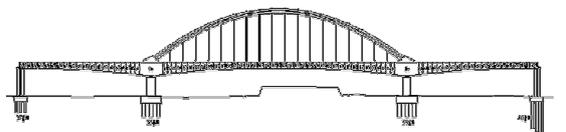
工况二:安装拱肋滑移轨道及滑移台车,将滑移台车与轨道临时固接;用汽车吊侧方位吊取拱肋节段、桥面上进行拱肋节段2#~8#的吊装;拱肋安装顺序为先拱脚节段后拱顶节段(见下图示意)。此工况下辅助承重支架及滑移台车承受其自重及部分拱肋自重荷载;连续梁主要承受拱肋自重通过辅助承重支架和滑移台车(含自重)作用于连续梁上的类集中荷载和最不利位置下吊车荷载效应。



工况三:拱肋节段2~8全部吊装完成后,安装拱肋水平及竖向钢绞线进行预紧;辅助承重支架逐步拆除,完成后拱肋体系纵向滑移(见下图示意)。此工况下拱肋全部自重荷载作用于滑移台车上;连续梁承受滑移过程中滑移台车移动荷载的作用效应。



工况四:纵向滑移拱肋节段至桥位设计位置后,安装拱脚合龙段,浇筑拱座二期混凝土,然后拱圈内浇筑混凝土,张拉吊杆(见下图示意)。此工况下临时支撑体系受力转换完成。

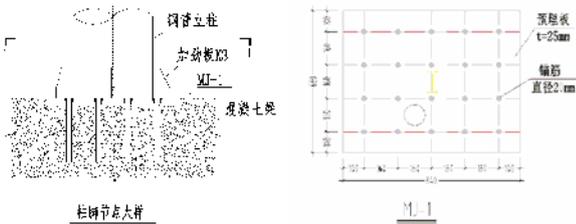


## 3. 主要结构体系设计及受力计算要点简要分析

### 3.1 辅助承重支架设计及受力计算要点分析

1) 辅助承重支架承担各个拱段的自重荷载和外部荷载,属重要受力结构,要求支架具有足够的刚度、强度和稳定性。根据拱肋现场拼装及架设需求,在每两件拱段对接位置设置辅助承重支架和作业平台。

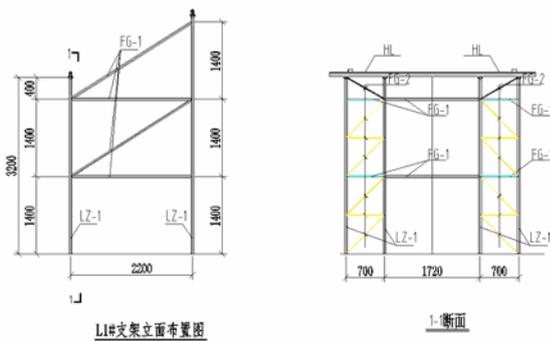
2) 支架预埋件: 辅助承重支架安装时通过预埋件与混凝土连续梁刚性连接; 每根立柱预埋件由锚板和锚筋组成, 锚板板厚为 25mm, 锚筋采用 20 根  $\phi 20\text{mmHRB400}$  级钢筋, 锚筋预埋深度为 460mm, 如下图所示。



受力计算要点分析说明: 锚栓需进行锚固深度计算、锚栓截面抗拉计算, 其抗拉承载力需满足作用于钢管立柱竖向荷载的要求; 加劲板与钢管立柱采用角焊缝连接需进行角焊缝抗拉或抗压计算, 其承载力也需满足作用于钢管立柱竖向荷载的要求; 预埋钢板厚度需满足规范规定的构造要求等。以上计算参考依据为《钢结构设计标准》GB 50017-2017 及《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010。

3) 辅助承重支架: 根据拱肋分段情况, 在靠近每段拱肋的端部位置设置双柱型格构柱, 单侧拱肋共布置 8 组立柱, 主管规格为  $\Phi 299 \times 10\text{mm}$ 、 $\Phi 273 \times 8\text{mm}$ , 腹杆规格为  $\Phi 219 \times 6\text{mm}$ 、 $\Phi 140 \times 5\text{mm}$ 、 $\Phi 114 \times 5\text{mm}$ 。所有钢管材质均为 Q235B。支架顶部横桥向设置双拼 40a 工字钢。

L1 辅助承重支架立面、断面图见下图示意:



受力计算要点分析说明: 通过每根钢管立柱分配的上部拱肋长度计算作用于钢管立柱的竖向荷载; 钢管立柱通过与其连接的纵、横向支撑的刚度、竖向布置间距及其截面尺寸等综合分析计算其计算长度系数及长细比, 从而查表确定其受压稳定系数, 再结合钢管立柱截面面积、材料抗压强度设计值计算其受压稳定承载力, 使钢管立柱满足承受的竖向荷载要求。以上计算参考依据为《钢结构设计标准》GB 50017-2017。

### 3.2 顶推滑移系统结构设计及受力计算要点分析

#### 3.2.1 顶推滑移系统结构设计说明:

1) 钢管拱整体纵向顶推滑移系统结构由临时拱座、加

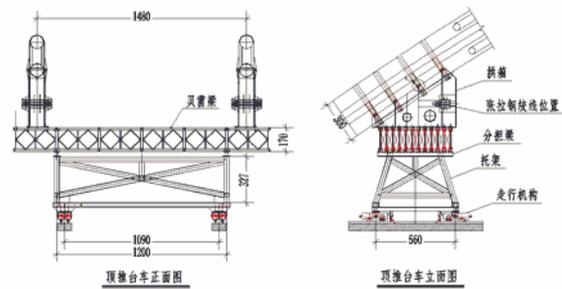
强型单层贝雷片横梁、型钢分配梁、高度调整节钢管桁架、走行轮箱、液压系统及夹轨器等组成, 轮箱底部设置钢轨和轨道基础。

2) 加强型单层贝雷片横梁: 考虑到钢管拱及补强加固的自重, 横梁选择采用单层加强型贝雷梁结构, 布置数量为 12 组间距@450mm, 贝雷梁之间采用加强交叉杆进行横向联系。

3) 顶推支撑托架: 为保证贝雷横梁组传递的上部荷载有效的传递到走行结构上, 也考虑顶推体系结构纵向滑移时不受已施工完成拱脚结构的影响, 保证施加顶推力时结构体系稳定, 在贝雷横梁与走行机构间设置支撑托架; 支撑托架结构纵向宽度设计为 5600mm, 主要采用  $\Phi 351 \times 16\text{mm}$ 、 $\Phi 351 \times 10\text{mm}$  (Q235) 钢管, 分配梁均采用由 2I32b (Q235) 组合而成的结构。

4) 拱肋与拱座锁定: 顶推滑移系统的临时拱座与拱肋通过特制抱箍连接, 抱箍与临时拱座间连接用 M36mm10.9 级高强螺栓。为了防止拱肋下滑, 在临时拱座顶端与拱肋下弦管连接处焊接 3 块  $300 \times 150 \times 20\text{mm}$  的加劲钢板进行连接。

顶推滑移系统结构见下图示意:



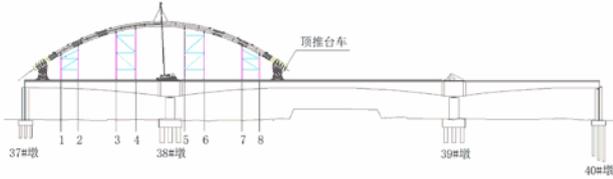
#### 3.2.2 顶推滑移系统结构受力计算要点分析

拱肋拼装完成并与临时拱座锁定后, 拱肋体系为整体结构, 其自重荷载作用于两端顶推滑移台车上, 主要为竖向荷载。顶推滑移台车系统贝雷梁为梁模型, 经简化分析, 贝雷梁受力模型为单跨简支对称外伸梁, 跨度 12.0m, 主要承受拱肋作用下的集中荷载, 对称作用于悬臂段; 对贝雷梁主要进行受弯、受剪和变形计算, 根据结构形式可考虑每个贝雷片均匀受力。贝雷梁下部托架为空间桁架结构, 主要承受贝雷梁传递的作用于两端分担梁上的竖向均布线荷载和顶推时作用于托架底部的水平推力, 采用桁架受力模型对内部杆件进行受拉、受压稳定及受弯计算分析。以上计算参考依据为《钢结构设计标准》GB 50017-2017,《装配式公路钢桥多用使用手册》及《装配式公路钢桥-制造》JTT 728-2008 等。

#### 3.3 临时支撑体系对连续梁结构的受力影响分析

##### 3.3.1 拱肋拼装阶段:

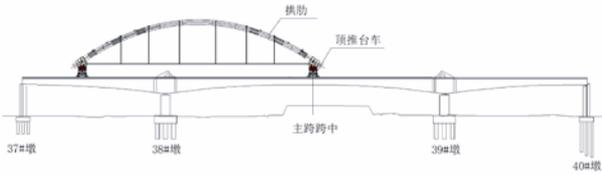
拱肋拼装阶段拱肋自重作用于辅助承重支架上, 再通过辅助承重支架支腿以集中荷载形式作用于连续梁上; 经分析, 拱肋拼装完成阶段在临时支撑体系作用下连续梁受力最为不利。此工况下连续梁受力模型见下图示意:



此工况下连续梁承受两端顶推滑移台车走行轮、1#~8#辅助承重支架支腿以及吊车等作用于连续梁上的集中竖向荷载效应(吊车荷载按照移动荷载取最不利位置进行分析)。对连续梁进行受力分析时首先建立计算模型分析计算在上述荷载作用下主梁最不利截面承受的最大弯矩、最大剪力或最大变形值,再结合最不利截面的截面尺寸,预应力筋、普通钢筋在截面的位置、规格、数量等计算截面的最大抗弯、抗剪承载力设计值等,据此判定连续梁受力及变形能否满足要求。以上计算参考依据为《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 等。

3.3.2 拱肋顶推滑移阶段:

拱肋顶推滑移阶段辅助承重支架已全部拆除,仅拱肋系统两端顶推滑移台车承受拱肋自重作用下的竖向荷载;经分析当前端顶推滑移台车移动至主跨跨中时,连续梁受力最为不利。此工况下连续梁受力模型见下图示意:



此工况下连续梁主要承受梁段顶推滑移台车走行轮等作用于连续梁上的集中竖向荷载效应。对连续梁进行受力分

析时首先建立连续梁计算模型分析计算在上述荷载作用下主梁最不利截面(跨中截面)承受的最大弯矩、最大剪力或最大变形值,再结合最不利截面的截面尺寸,预应力筋、普通钢筋在截面的位置、规格、数量等计算截面的最大抗弯、抗剪承载力设计值等,据此判定连续梁受力及变形能否满足要求。以上计算参考依据为《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010 等。

4. 结束语

结构设计规范在施工技术中应用时要结合施工过程受力工况进行准确的分析,这是与主体结构设计的最大不同点,另外还应结合结构特点对计算模型进行合理的简化,以便与相关设计规范中的计算要求和构造要求相对应,这样才能将设计理论与施工技术进行有效结合,才能将复杂的受力结构简化分析为通过手算或简单软件模块即可完成计算分析的效果,使更多的项目技术人员能掌握计算要点,在方案制定时起到节约及控制工程措施费的目的。

参考文献:

- [1]《钢结构设计标准》GB 50017-2017
- [2]《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010
- [3]《铁路预应力混凝土连续梁(刚构)悬臂浇筑施工技术指南》TZ 324-2010

作者简介:

李小健, 1995年毕业于西安地质学院(现长安大学);主要从事工程施工技术管理及设计咨询工作,并能在工作中将施工技术与设计规范、理论有效结合;高级工程师、注册土木工程师(岩土)、一级注册结构工程师。