

# 山区公路变宽度连续箱梁设计特点 与支架法现浇施工技术

李友明<sup>1</sup>, 白晓红<sup>1</sup>, 王启富<sup>2</sup>

(1. 中铁二局集团有限公司, 四川 成都 610031; 2. 中铁二局集团第一工程有限公司, 贵州 贵阳 550000)

**摘要:**针对山区公路桥梁的工程环境及功能需求,分析变宽度连续箱梁桥的设计特点及支架法现浇施工的技术难点。结合工程环境及结构设计特点,分析满堂式支架、梁柱式及组合式支架、抱箍(钢棒)或牛腿附墩式支架、地模等各种支架系统的技术可行性、安全性、可操作性和经济性,科学合理选择满堂式与梁柱式组合式支架方案,并介绍其施工质量控制要点。从钢模、木模板系统的经济性差异角度,推荐采用木模系统,并分析内模拆除与否对桥梁结构的影响。结合箱梁混凝土一次、两次浇筑方案的优缺点分析,详细阐述了山区公路变宽度连续箱梁的钢筋、混凝土、预应力施工质量控制技术对策。

**关键词:**山区公路桥梁;变宽度箱梁;支架法现浇;组合式支架

**中图分类号:** U445.4 **文献标志码:** A

随着中国公路建设的突飞猛进发展,经济不发达或欠发达区域的公路路网完善已成为当前公路建设的重要工作。公路新建的同时,必须科学合理地规划新建公路与既有公路的衔接工程,即需要增设互通立交工程;鉴于互通立交工程设置区域大都有交通不便、地形艰险的山区环境特点,工程设计者不得不采用桥梁结构方案,变宽度连续箱梁桥的应用成为必然选择。

在中国国内,针对山区及类似环境连续箱梁桥设计与施工技术研究已见报道。钟加峰、余定军、李燕、曹新龙等<sup>[1-4]</sup>对互通立交匝道桥连续箱梁支架法现浇施工技术进行了论述,匝道桥均为等宽度箱梁,支架系统采用了梁柱式结构,其最大高度达76 m;曹建<sup>[5]</sup>、吴肇宇<sup>[6]</sup>对山区公路互通立交匝道桥或主线桥连续箱梁支架法现浇施工技术进行了介绍,上部结构均采用等

边轴向拉力控制在200 kN以内,但旧桥结构受力复杂,理论计算结果和实际受力情况存在一定的差距,开拱的瞬间轴力迅速释放,将会对新桥产生冲击,故为安全起见,还需借助千斤顶开拱。

(3) 按上述拆桥过程的计算分析可知,在拆桥施工的过程中,旧桥最大应力和最大竖向位移均满足开拱要求。

(4) 新桥的强度和刚度均满足结构的受力要求,从而可以保证整个拆桥过程的安全性。

(5) 旧桥开拱前后最小临界荷载系数为15.30,大于工程上最小不低于4.0的要求,故旧桥拆除在最大悬臂状态下不会失稳,稳定性满足要求。

综上所述,按照现有的拆桥方案施工,其结构强度、刚度和稳定性均满足要求,可以确保拆桥全过程的安全性,该拆桥方案可行。

## 参考文献:

- [1] 包立新,喻院平.大跨度预应力混凝土桁式组合拱的拆除技术[C].全国斜拉桥关键技术论文集,2012.
- [2] 赵涵.大跨度预应力混凝土桁式组合拱桥拆除技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.
- [3] 陈敏,赵阳阳.桁式组合拱桥拆桥施工双影响矩阵法索力优化研究[J].公路,2018,63(11):136-140.
- [4] 田春艳,葛惠娟,郭晗,等.混凝土旧桥检测评估[J].中外公路,2019,39(6):126-129.
- [5] 王技.大跨径钢筋混凝土拱桥拆除施工及力学分析[J].现代交通技术,2007,4(2):39-41.
- [6] 戴云峰,杨超.大跨径钢筋拱桥拆除施工关键工艺研究[J].公路交通科技(应用技术版),2011(3):183-187.
- [7] 解威威,杨绿峰,王建军,等.钢管混凝土桁式拱桥稳定承载力的参数分析[J].中外公路,2018,38(6):83-86.

宽度箱梁,支架系统采用了梁柱式支架与盘扣式(碗扣式)支架组合式支架方案;毛昌庆等<sup>[7]</sup>针对山区公路匝道桥连续箱梁,对双抱箍支撑体系进行了研究,匝道桥也为等宽度箱梁,抱箍附着在圆柱墩上,其上部依次设置调高立柱、落梁装置、均衡梁、分配梁及纵桥向贝雷梁,形成梁柱(抱箍)式支架系统;张爱春<sup>[8]</sup>结合鄂尔多斯高原的大风、严寒和大温差的环境和桥墩高度小的结构特点,对匝道桥现浇连续箱梁土模法方案进行了介绍,该方案因地制宜、经济实用;李萍<sup>[9]</sup>针对桥墩高度为52~58 m、桥面宽度为10.5~16.5 m的山区匝道桥梁,研究采用了SPS桁架式门支架支撑进行箱梁现浇施工技术,该桥最大跨度17 m、桥墩高度大且为薄壁空心墩。

变宽度连续箱梁桥是互通立交桥工程中主线桥与匝道桥顺利衔接的过渡桥型结构,在主线桥、匝道桥均采用连续箱梁结构时的必然需求,工程应用比较广泛,但其施工技术报道不多,特别是支架系统方案比选、梁体分次浇筑方案及有针对性的质量控制措施还不系统。该文针对其工程环境及功能需求,在分析桥梁设计特点及施工技术难点的基础上,系统地论述箱梁支架法现浇施工关键技术,供类似工程设计和施工参考。

## 1 工程概况

贵州省威宁至围仗(黔滇界)高速公路么站互通立交工程石口子大桥位于V字形山谷中,为分离式桥梁,起讫里程ZK13+784.5~ZK14+031.5/YK13+822.2~YK14+006.2。该桥左幅桥为4×30 m+4×30 m先简支后连续预应力混凝土T梁桥,桥长247 m;右幅桥为4×30 m先简支后连续预应力混凝土T梁+(16+20+16) m预应力混凝土箱梁桥,桥长184 m。右幅桥第5、6、7跨为预应力现浇箱梁结构,接么站互通E匝道现浇梁,最高墩4<sup>#</sup>墩31.6 m,最低处7<sup>#</sup>台高4 m。现浇箱梁高1.4 m,梁宽23.499~16.553 m渐变,采用单箱四室结构(图1)。

## 2 变宽度连续箱梁桥特点及施工技术难点

### 2.1 桥梁设计特点

综合分析石口子大桥(16+20+16) m预应力混凝土连续箱梁和类似桥梁设计情况<sup>[10-12]</sup>,山区公路变

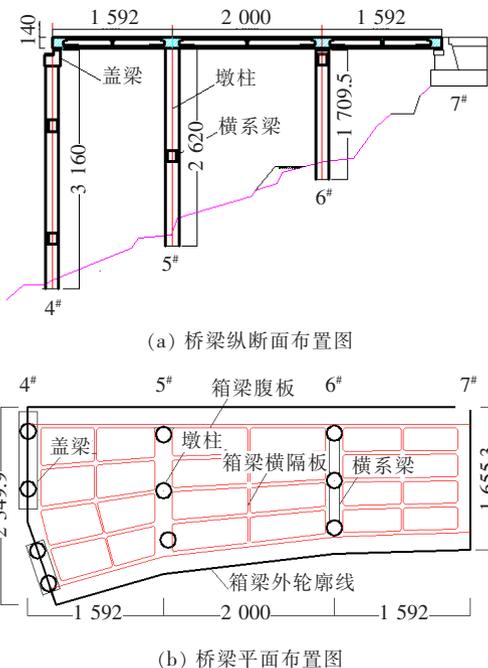


图1 桥梁总体设计图(单位:cm)

宽度连续箱梁桥主要特点如下:

(1) 桥位地形高差大。山区地形地貌一般具有地形起伏较大、沟谷切割较深等特点,特别是V形沟槽时纵桥向坡角达 $30^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ,横桥向地形高差也很明显,因此,桥位区域地形高差大是其显著环境特点。

(2) 桩+柱形墩身结构高度大。对于中小跨度公路桥梁,墩身一般采用桩+柱形墩身结构,墩柱间通过横向系梁(盖梁)连接成框架结构,且此类型墩身高达30~50 m,其纵桥向偏心承载能力较弱。

(3) 单箱多室变宽度箱梁结构。为实现公路主线桥与匝道桥顺接,桥梁宽度需从主线桥宽度渐变至主线桥+匝道的宽度,再加上曲线的影响,上部结构一般采用单箱多室变宽度箱梁结构,且根据跨度大小设置1~2道横隔板。

(4) 桥梁横桥向坡度大。一般地段公路桥梁横向坡度2%,但由于互通立交匝道桥梁曲线半径均较小(最小半径约50 m),桥梁横向坡度一般为2%~6%。

### 2.2 施工技术难点

山区变宽度连续箱梁桥采用支架法现浇施工的主要施工技术难点如下:

(1) 支架系统安全风险控制。因山区变宽度连续箱梁桥支架具有高度大、荷载大的特点,施工安全风险高,属超过一定规模的危险性较大工程<sup>[13-14]</sup>,支架系统的方案设计及安装、拆除施工安全风险控制是施工技术难点之一。

(2) 箱梁混凝土质量控制。由于桥梁采用预应力混凝土连续箱梁结构,且桥梁宽度较大,纵桥向整联一次性浇筑或分段浇筑(高度方向可分两次),单次浇筑的混凝土方量大,再加上箱梁单箱多室结构的多腹板、横隔板导致浇筑不便,箱梁混凝土易出现质量缺陷。

(3) 桥梁线形控制。支架系统及基础的弹性和非弹性变形对梁体的线形影响较大,再加上混凝土收缩徐变的影响,桥梁线形控制也属施工技术难点。

### 3 变宽度连续箱梁现浇施工技术

#### 3.1 支架系统设计及施工

##### 3.1.1 支架结构形式及适用条件

桥梁现浇支架包括满堂式、梁柱式、梁柱+满堂组合式、抱箍(钢棒)附墩式、牛腿附墩式、地模等类型,各种类型支架的结构形式、适用条件、优缺点见表 1。

表 1 各类型支架系统结构形式及适用条件

支架类型	结构形式	适用条件	优点	缺点
满堂式 支架	采用碗扣式、盘扣式或大力神支架搭设的落地支架	桥墩高度较小( $\leq 20$ m)、地形较平坦	支架安拆方便,不需大型起吊设备;梁体预拱度调整方便	支架安装质量人为因素影响较大
梁柱式 支架	采用大直径钢管、贝雷梁或军用梁搭设的落地支架	桥墩高度较大( $> 20$ m)、地形高差大	支架结构较简单,对桥梁结构影响较小,适应性强	支架安拆要大型起吊设备,梁体预拱度不便调整
梁柱+满 堂组合 式支架	采用大直径钢管、贝雷梁或军用梁与碗扣式、盘扣式或大力神支架组合搭设的落地支架	桥墩高度较大( $> 20$ m)、地形高差大	支架对桥梁结构影响小,适应性强;梁体预拱度调整方便	支架结构较复杂,安拆需大型起吊设备;满堂支架安装质量人为因素影响较大
抱箍(钢 棒)附墩 式支架	采用抱箍(钢棒)、贝雷梁或军用梁(可与碗扣式、盘扣式或大力神支架组合)搭设的附墩式支架	桥墩为柱式结构且高度较大( $> 20$ m)、地形高差大	支架附着墩柱,工程量较小;梁体预拱度调整方便(组合式)	对桥墩偏心受力大;支架安拆需大型起吊设备;满堂支架安装质量人为因素影响较大
牛腿附 墩式 支架	采用钢牛腿、贝雷梁或军用梁(可与碗扣式、盘扣式或大力神支架组合)搭设的附墩式支架	桥墩薄壁空心结构且高度较大( $> 20$ m)、地形高差大	支架附着墩身,工程量较小;梁体预拱度调整方便(组合式)	对桥墩偏心受力大;支架安拆需大型起吊设备;满堂支架安装质量受人为因素影响较大
地模	直接利用土方填筑成梁体外形后铺设外模系统	桥墩高度较小( $\leq 10$ m)、地形较平坦	不需专用支架材料,经济实用;利于冬期保温施工	梁体线形受地基变形影响较大;外观质量控制难度较大

##### 3.1.2 支架系统方案比选

根据前述山区桥梁设计特点,因桥墩为圆柱墩结构和地形高差大两个因素,牛腿附墩式支架、满堂式支架、地模方案可直接排除;因梁柱式支架方案存在梁体预拱度调整不便的缺点,也不宜采用;而抱箍(钢棒)附墩式支架方案尽管支架工程量较小,但由于对桥墩纵向偏心受力能力要求高,存在桥梁结构安全风险,应慎重选用。综上所述,从技术可行性、安全性、可操作性和经济性分析,选择梁柱+满堂组合式支架方案。

##### 3.1.3 支架系统方案设计

梁柱+满堂组合式支架由支架基础、钢管立柱及分配梁、贝雷梁纵梁、满堂式支架等几部分组成,支架

系统总体设计立面图、平面图及横断面设计图分别见图 2~4。

对于支架系统结构设计及检算,无论箱梁在高度上一次还是分两次浇筑成型,支架系统承受的箱梁自重荷载均按箱梁全断面计算,不考虑第一次浇筑完成的槽形梁参与受力。支架系统设计及检算具体要求如下:

(1) 支架基础:由于承受的荷载较大,支架基础应采用条形基础或桩基础<sup>[15]</sup>。若采用条形基础,应验算其地基承载力并按构造要求配置钢筋以防混凝土开裂;若地形起伏较大,宜采用人工挖孔桩+桩帽基础,既可保证承载力要求又方便施工。



表 2 各行业对支架系统预压标准及要求

行业	适用范围	预压范围	预压荷载及分级	监测内容及点位	分级加载及卸载标准
铁路	各种支架	首段及代表段支架及基础一次预压	支架承受最大荷载的 110%，按 60%、100% 和 110% 三级加载	基础、架体及相邻结构物竖向、水平位移，测点根据支架类型设置	各级加载完 1 h 开始，间隔 6 h 监测，相邻两(三)次差小于 2 mm 可下级加载(卸载)
公路	各种支架	全部支架及基础一次预压	支架承受最大荷载的 1.05~1.1 倍加载，未明确分级加载标准	未明确	未明确
市政	满堂式支架	代表性基础、架体分别预压	基础、架体分别按承受荷载的 1.2 倍、1.1 倍加载；基础一次性加载，架体按 60%、80% 和 100% 三级加载	基础、架体竖向位移，测点根据支架类型设置	基础：各测点连续 24 h、72 h 沉降平均值小于 1 mm、5 mm；架体：各级加载后间隔 12 h 监测一次，沉降平均值小于 2 mm 可下级加载(卸载)

### 3.3 钢筋工程施工

箱梁钢筋分底腹板、顶板分次安装，按设计图纸和施工规范要求施工即可，但有两个问题应注意：① 钢筋保护层厚度控制，应保证保护层垫块数量，特别是腹板、横隔板以及倒角区域应适当增加；② 支座上方梁体、预应力齿块等区域的钢筋间距应能保证混凝土顺利通过，否则应协调设计单位适当调整。

### 3.4 混凝土浇筑

#### (1) 浇筑方案比选

公路山区变宽度连续箱梁混凝土浇筑纵桥向可整联一次性浇筑或分段浇筑(当整联长度大于 80 m 或一次性浇筑混凝土数量大于 800 m<sup>3</sup> 时宜分段浇筑，分段线一般位于 1/5 跨度位置)。箱梁高度方向可一次或分次浇筑(先浇筑底、腹板，安装顶板钢筋后再浇筑顶板)，其比较见表 3。从理论上而言两种方案均可行，但应针对各自的特点采取相应的技术措施：分次浇筑时要尽量缩短两次浇筑的时间间隔(不宜超过 10 d)，以防止顶板产生横桥向收缩裂纹，且应适当增大支架纵梁刚度，防止先浇筑梁体开裂；一次浇筑方案更应注意提前做好施工组织和技术交底工作。

表 3 箱梁混凝土浇筑方案比选

方案类型	优点	缺点
一次浇筑	梁体整体性好；工期略短	内模支撑麻烦；底板混凝土浇筑难度大，一次浇筑数量大
两次浇筑	内模支撑简单；底板混凝土浇筑方便，一次浇筑数量较大	梁体腹板与顶板交界处存在施工缝，整体性略差；工期略长

#### (2) 箱梁内模拆除的影响分析

箱梁内模在梁体施工完成后应拆除，以降低箱梁自重，但由于山区公路变宽度连续箱梁箱室多、空间高度小，内模拆除不便且需在顶板上预留多处孔洞，对结构造成一定程度损伤。根据箱梁内模采用木模系统的一般结构设计(15 mm 厚面板+100 mm×100 mm 分配方木+120 mm×150 mm 框架)分析，内模重量折算成箱梁底、顶板混凝土增厚 3.0~3.5 cm，引起箱梁自重增加 5%~7%，对箱梁结构承载能力影响不大，因此，若在桥梁设计时考虑此因素影响，该文认为箱梁内模不考虑拆除更有利。

#### (3) 混凝土浇筑顺序及质量控制

为便于施工组织，箱梁混凝土浇筑工作面不宜超过两个，否则，施工人员配置、混凝土供应均可能存在问题。箱梁纵向浇筑顺序：若桥梁纵坡不大，箱梁混凝土浇筑可采用从整联的两端向中间的顺序；若桥梁纵坡大，应从低端向高端单工作面推进。箱梁横向浇筑按先腹板与底板交界区域、再底板、后腹板剩余部分、最后顶板的顺序进行。混凝土浇筑过程中应注意以下质量控制要点：① 提前做好混凝土配合比设计及工艺性试验工作，在保证其力学性能的基础上关注工作性能(初凝时间应延长)；② 针对支座上部、横梁等钢筋密集区域，采取预埋混凝土入料管(兼捣固口)技术措施，保证混凝土密实性；③ 按“斜向分段、水平分层”原则进行混凝土浇筑并做好层间衔接，防止混凝土施工冷缝产生；④ 安排专人负责箱梁顶面的混凝土抹面工作(二次抹面工艺)，控制好平整度防止收缩裂纹产生。

鉴于箱梁混凝土一次浇筑量大、时间长，混凝土浇筑过程及完成后均应及时做好养护工作：① 箱梁底

板、顶板混凝土初凝后及时覆盖,待终凝后立即进行保温保湿养护;②由于山区条件较差特别是干燥气候条件时,应延长带模养护时间,防止产生温度裂纹和收缩裂纹;③模板拆除后应加强箱梁底板和顶板底侧、腹板内侧等区域的养护,必要时喷养护剂养护,确保混凝土强度及耐久性满足设计要求。

### 3.5 预应力施工

箱梁预应力施工除严格按照设计图纸和施工规范要求施工外,还应注意以下几个方面:①预应力管道定位钢筋应适当加密,特别是对于小半径曲线箱梁应协调设计单位增设防崩钢筋;②预应力束宜采用整束安装工艺,若采用单根穿束时应两端对应编号,防止预应力束打绞;③预应力束张拉宜采用预张拉工艺,以防止混凝土早期收缩裂纹产生;④针对小半径预应力束张拉,应采用空张拉工艺(先不安装工作锚具)并增加分级级数和持荷时间,以防止预应力束断丝,并通过增加初始应力(15%以上),保证预应力束张拉伸长值、应力均满足设计和施工规范要求。

## 4 结论

山区公路桥梁的工程环境及功能需求决定了变宽度连续箱梁桥的设计特点和梁部支架法现浇施工的技术难点,该文通过支架系统设计、模板系统设计、钢筋工程施工、混凝土浇筑、预应力张拉等方面采取针对性的技术措施进行分析,得到以下结论:

(1)满堂式与梁柱式组合式支架方案是山区变宽度连续箱梁支架法现浇的适宜方案,在支架系统设计中应注意与桥梁结构的协调。

(2)箱梁混凝土采用一次或分次浇筑(先浇筑底、腹板,安装顶板钢筋后再浇筑顶板)方案均可行,但应针对其存在的缺点采取相应的技术措施。

(3)箱梁内模重量折算成箱梁底、顶板混凝土增厚 $3.0\sim 3.5$  cm(引起箱梁自重增加 $5\%\sim 7\%$ ),对箱梁结构承载能力影响不大,若在桥梁设计时考虑此因素影响,箱梁内模不考虑拆除更有利于施工。

(4)箱梁混凝土浇筑应根据桥梁纵坡大小,采用从两端至中间两个工作面或从低端向高端单工作面的顺序进行,并采取切实有效的技术措施进行质量控制。

(5)箱梁预应力施工应尽量采用整束安装、预张

拉和空张拉工艺,以保证其施工质量。

### 参考文献:

- [1] 钟加峰,张威. 贝雷梁钢管柱柱式支架在山区桥梁施工中的应用[J]. 山西建筑,2016,42(2):175-177.
- [2] 余定军,任军. 超高钢管桩支架在山区桥梁施工中的应用[J]. 铁道标准设计,2008,48(6):47-49.
- [3] 李燕. 浅析梁柱式支架法在大目溪互通C匝道桥高墩现浇连续箱梁中的应用[J]. 江西建材,2016(12):208-209.
- [4] 曹新龙. 以角互通D匝道桥现浇箱梁施工技术[J]. 交通世界,2015(33):50-52.
- [5] 曹建,刘伟煜. 贝雷梁钢管柱和盘扣式组合支架体系在山区桥梁中的应用[J]. 建材发展导向,2018,16(8):87-91.
- [6] 吴肇宇. 浅谈某山区公路桥梁高墩现浇箱梁支架施工技术[J]. 四川水泥,2019(4):43-44.
- [7] 毛昌庆,彭鹏,陈平. 山区高速公路匝道桥双抱箍支撑支架施工技术[J]. 施工技术,2018,47(2):96-98.
- [8] 张爱春. 匝道桥现浇连续箱梁施工支架方案设计[J]. 铁道建筑,2006,46(6):5-7.
- [9] 李萍. SPS桁架式门支架在高墩变截面现浇梁中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版),2019,15(7):133-135.
- [10] 余思军,朱宇峰. 现浇预应力混凝土弯箱梁 $2\times 35$  m匝道桥优化分析[J]. 交通科技,2012(1):24-26.
- [11] 曾爱. 小半径曲线匝道桥梁设计优化探讨[J]. 山西科技,2013,28(2):89-90.
- [12] 包启航. 现浇单箱多室宽箱梁横梁受力特性研究[J]. 中外公路,2018,38(6):109-112.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部37号令. 危险性较大的分部分项工程安全管理规定[Z],2018.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部建办质〔2018〕31号文. 关于实施《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》有关问题的通知[Z],2018.
- [15] 贺亚林,赵煜成,田启军. 桥梁现浇支架整体平移施工关键技术研究[J]. 中外公路,2017,37(3):157-160.
- [16] 中铁二局集团有限公司,中铁二十四局集团有限公司. 铁路混凝土梁支架法现浇施工技术规程:TB 10110-2011[S]. 北京:中国铁道出版社,2011.
- [17] 中交第一公路工程局有限公司. 公路桥涵施工技术规范:JTG/T F50-2011[S]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [18] 宏润建设集团股份有限公司. 钢管满堂支架预压技术规程:JGJ/T 194-2009[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.