

高速铁路双层框架小桥设计

姜 琨

(北京汇佳国泰企业管理有限公司, 北京 100050)

摘要: 结构形式比选是高速铁路桥梁工程中重要的设计工序。随着山区高速铁路的快速发展, 其建设对结构功能、安全性、经济合理性及功能适应性提出更高的技术要求。本文介绍了新建沪渝蓉高速铁路荆门至宜昌段宜昌北站小里程侧山谷中为高填方路基, 设置钢筋混凝土双层结构框架小桥的设计过程, 框架小桥下层为排洪功能, 上层有交通功能, 可在减少填土厚度的同时, 减小结构尺寸。相比较单层双孔涵洞, 双层结构框架小桥优势明显, 可在满足交通兼排洪功能的同时减少工程量, 达到节约投资的目的。

关键词: 高速铁路; 涵洞; 双层框架; 结构计算

中图分类号: F532.5 **文献标识码:** A

1 基本情况

1.1 工程概况

该框架小桥位于新建沪渝蓉高速铁路荆门至宜昌段宜昌北站内, 设于山谷中, 属高填方路基, 宜昌北站股道较多, 且需考虑后续扩容需求, 路基较宽。经比较, 在此位置涵洞较为合理, 受线路标高控制, 该处设置单层涵洞, 平均填土高度为11m, 计算结构尺寸较大, 且单层涵洞不能充分兼顾交通及排洪功能, 故采用双层结构, 减小填土高以减小结构尺寸, 下层排洪、上层交通, 以满足生活生产需求。

1.2 地质条件

经地质勘察揭示, 框架小桥位置主要为软塑泥质粉质黏土、硬塑粉质黏土、弱风化砂岩夹泥岩等。桥涵范围内无明显沟渠, 地表水主要为水塘, 水深1~1.5m, 补给来源以大气降水为主, 排泄以大气蒸发为主。工点区地下水类型主要为基岩裂隙水, 赋存于砾岩风化裂隙中, 富水性不均、水量相对贫乏, 通过大气降水入渗补给, 排泄以侧向补给为主。稳定水位埋深7~17.3m。

2 结构设计

本框架小桥设计内容主要包括框架主体、CFG桩地基处理、出入口翼墙、基础及其他附属结构, 这里主要介绍框架主体的设计过程。

框架主体采用双层钢筋混凝土结构, 下层排洪层与沟渠顺接, 上层交通层填筑路基顺接, 设计荷载为ZK活载, 填土厚度为4m, 中板设计活载为公路I级。

2.1 结构尺寸的确定

根据沪渝蓉高铁远期预留需求及当地配套市政道路规划, 该处立交协议宽度为8m, 净高为4.5m, 以及为减少穿越铁路桥涵道路限高架设置, 综合考虑确定该处框架小桥孔径为净宽8m, 上层孔径净高6m, 下层孔径净高5m。

本框架小桥位于山谷中, 水流流向线右至线左, 汇水面积 $F=1.12\text{km}^2$ 。根据收集的水文勘测资料——当地水利部门的经验公式、《桥渡水文》^[1]第五章第二节铁路部门暴雨径流计算中“铁道部第四勘测设计院公式法”及形态法综合考虑, 经

过拟合得出流量计算公式为

$$Q=26 \times F^{0.73}$$

式中 Q ——流量, 单位为 m^3/s ,

F ——汇水面积, 单位为 km^2 。

可得流量 $Q=28\text{m}^3/\text{s}$, 根据部通图“通桥(2018)5401”^[2]。下层孔径净宽8m, 净高5m亦满足排洪要求。

综上, 框架小桥孔径为净宽8m, 上层孔径净高6m, 下层孔径净高5m可满足交通兼排洪要求。

2.2 结构计算

2.2.1 尺寸拟定

结构尺寸及配筋计算按“通桥(2018)5401”^[2]计算原则拟定单孔框架, 原则如下:

(1) 截面设计按容许应力法进行。

(2) 框架项底板按受弯构件计算, 不考虑内内力影响, 边墙、中墙按偏心受压构件计算。

(3) 受弯构件的强度按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10002—2017)^[3]第6.2.4条各式计算:

混凝土的压应力按下式计算:

$$\sigma_c = \frac{M}{W_0} \leq [\sigma_b]$$

式中: σ_c ——混凝土压应力, 单位为MPa;

σ_b ——混凝土的容许应力, 单位为MPa;

M ——计算弯矩, 单位为MNm;

W_0 ——对混凝土受压边缘及对所检算的受拉钢筋重心处的换算截面抵抗矩, 单位为 m^3 。

钢筋的拉应力按下式计算:

$$\sigma_s = n \cdot \frac{M}{W_s} \leq [\sigma_s]$$

式中: σ_s ——钢筋拉应力, 单位为MPa;

n ——钢筋的弹性模量与混凝土的变形模量之比, 当采用多层钢筋时, 应计算最外层钢筋的应力;

W_s ——对混凝土受压边缘及对所检算的受拉钢筋重心处的换算截面抵抗矩, 单位为 m^3 。

中性轴处的剪应力按下式计算:

$$\tau = \frac{V}{bz} \leq [\sigma_{\tau-1}]$$

式中: τ ——中性轴处的剪应力, 单位为MPa;

V ——计算剪力, 单位为MN;

b ——构件中性轴处的腹板厚度, 单位为m;

z ——内力偶的力臂，单位为 m ；

σ_{sp-1} ——有箍筋及斜筋时混凝土的容许主拉应力，单位为 MPa 。

偏心受压构件的强度按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》^[3]第6.2.5条各式计算，并按该规定计算主拉应力。

混凝土的压应力应按下列公式计算：

$$\sigma_c = \frac{N}{A_0} + \frac{\eta M}{W_0} \leq [\sigma_b]$$

式中： σ_c ——混凝土压应力，单位为 MPa ；

N ——换算截面重心处的计算轴向压力，单位为 MN ；

A_0 及 W_0 ——钢筋混凝土换算截面积（不计受拉区）及其对受压边缘或受压较大边缘35的截面抵抗矩，单位分别为 m^2 及 m^3 ；

M ——计算弯矩，单位为 MNm ；

η ——挠度对偏心距影响的增大系数。

混凝土的剪应力应按下式计算：

$$\tau = \frac{VS_c}{bI'_0}$$

式中： S_0 ——计算点以上部分换算面积对构件换算截面（不计混凝土受拉区）重心轴的面积矩，单位为 m^3 ；

I'_0 ——换算截面对重心轴的惯性矩，单位为 m^4 。

(4) 主筋采用HRB400钢筋，其弹性模量与混凝土变形模量之比 n 按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10002—2017)^[3]。

(5) HRB400钢筋接头方式应根据疲劳应力幅来确定。HRB400钢筋容许应力按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10002—2017)^[3]第3.3.4条取值，容许应力幅按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10002—2017)^[3]第3.3.5条取值。

按单孔框架计算，结构主体承受的主要荷载见表1：

表1 荷载组合类型

序号	工况类型	荷载分类
1	结构自重	主力
2	填土竖向土压力	主力
3	ZK活载	主力
4	填土水平压力 ($e_c=0.35$)	主力
5	填土水平压力 ($e_c=0.25$)	主力
6	列车引起的框架左侧水平压力 ($e_c=0.35$)	主力
7	列车引起的框架左侧水平压力 ($e_c=0.25$)	主力
8	列车引起的框架右侧水平压力 ($e_c=0.35$)	主力
9	列车引起的框架右侧水平压力 ($e_c=0.25$)	主力
10	作用于底板的汽车荷载	主力
11	底板铺装层	主力
12	底板水压力	附加力
13	顶板收缩	附加力
14	顶板升温	附加力
15	顶板降温	附加力

将框架划分为多个单元，利用有限元软件，分析各个单元内力及配筋。

通过调整结构尺寸及钢筋直径，反复计算，确保一定的安全储备并减少不必要的浪费，确定较为合理的尺寸。

计算结果如下：

主力作用下，混凝土压应力容许值为 $11.80MPa$ ，混凝土最大压应力为 $11.142MPa$ ，杆单元 $n=20$ ，

$i=2$ 。见表2。

表2 杆单元内力及物理参数

弯矩 (kN/m)	1371.17
轴力 (kN)	792.978
混凝土最大压应力 (MPa)	11.142
钢筋拉应力 (MPa)	209.65
最小受拉钢筋面积 (cm ²)	(12- ϕ 25)=58.90
最小受压钢筋面积 (cm ²)	(8- ϕ 14)=12.32
裂缝宽度 (mm)	0.1352

主力作用下，混凝土剪应力容许值为 $0.83MPa$ ，混凝土最大剪应力为 $0.804MPa$ ，梁单元 $n=12$ ， $i=1$ 。见表3。

表3 梁单元内力及物理参数

弯矩 (kN/m)	851.3
轴力 (kN)	590.5
剪力 (kN)	768.5
混凝土最大压应力 (MPa)	7.15
混凝土最大剪应力 (MPa)	0.804
钢筋拉应力 (MPa)	146.43
最小受拉钢筋面积 (cm ²)	(9- ϕ 25)=44.18
最小受压钢筋面积 (cm ²)	(4- ϕ 14)=6.16
裂缝宽度 (mm)	0.1369

主+附作用下，混凝土压应力容许值为 $15.34MPa$ ，混凝土最大压应力为 $11.064MPa$ ，杆单元 $n=20$ ， $i=2$ 。见表4。

表4 杆单元内力及物理参数

弯矩 (kN/m)	1371.17
轴力 (kN)	792.978
混凝土最大压应力 (MPa)	11.064
钢筋拉应力 (MPa)	207.74
最小受拉钢筋面积 (cm ²)	(12- ϕ 25)=58.90
最小受压钢筋面积 (cm ²)	(8- ϕ 14)=12.32
裂缝宽度 (mm)	0.1339

主+附作用下，共有两处（底板两侧倒角处）截面混凝土剪应力超过 $0.83MPa$ ，需按要求配置抗剪箍筋，混凝土最大剪应力为 $0.840MPa$ ，梁单元 $n=8$ ， $i=1$ 。见表5。

表5 梁单元内力及物理参数

弯矩 (kN/m)	851.3
轴力 (kN)	590.5
剪力 (kN)	802.7
混凝土最大压应力 (MPa)	7.15
混凝土最大剪应力 (MPa)	0.840
钢筋拉应力 (MPa)	146.43
最小受拉钢筋面积 (cm ²)	(9- ϕ 25)=44.18
最小受压钢筋面积 (cm ²)	(4- ϕ 14)=6.16
裂缝宽度 (mm)	0.1369

拟定单孔框架尺寸（图1）：顶板厚度

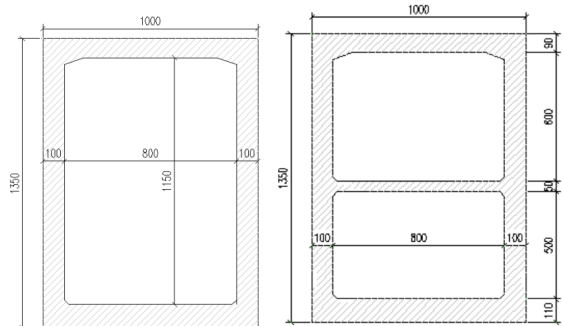


图1 拟定单孔框架与实际框架尺寸对比

90cm, 底板厚度110cm, 边墙厚度100cm, 净高115dm, 净宽8m。

2.2.2 结构尺寸检算

根据实际使用情况, 设置中板, 调整荷载作用位置, 将汽车荷载、铺装层调整至中板。荷载分类见表6。其余荷载作用位置保持不变, 利用迈达斯建模计算, 截面验算结果(主力)见表7, 截面验算结果(主+附)见表8。

表6 荷载组合类型

序号	工况类型	荷载分类
1	结构自重	主力
2	填土竖向土压力	主力
3	ZK活载	主力
4	填土水平压力 ($e_c=0.35$)	主力
5	填土水平压力 ($e_c=0.25$)	主力
6	列车引起的框架左侧水平压力 ($e_c=0.35$)	主力
7	列车引起的框架左侧水平压力 ($e_c=0.25$)	主力
8	列车引起的框架右侧水平压力 ($e_c=0.35$)	主力
9	列车引起的框架右侧水平压力 ($e_c=0.25$)	主力
10	作用于中板的汽车荷载	主力
11	中板铺装层	主力
12	底板水压力	附加力
13	顶板收缩	附加力
14	顶板升温	附加力
15	顶板降温	附加力

表7 截面验算结果(主力)

位置	顶板	侧墙	中板	底板
板厚 (cm)	90	90	50	100
混凝土应力 (MPa)	3.87	7.14	5.35	4.94
限值		11.80		
钢筋应力 (MPa)	161.55	174.06	165.27	188.88
限值		210		
裂缝宽度 (mm)	0.158	0.173	0.165	0.176
限值		0.20		
混凝土剪应力 (MPa)	0.62	/	0.40	0.88
限值		0.83		

表8 截面验算结果(主+附)

位置	顶板	侧墙	中板	底板
板厚 (cm)	90	90	50	100
混凝土应力 (MPa)	4.98	7.20	5.42	4.98
限值		15.34		
钢筋应力 (MPa)	208.27	176.25	167.45	190.44
限值		270		
裂缝宽度 (mm)	0.199	0.175	0.167	0.178
限值		0.24		
混凝土剪应力 (MPa)	0.62	/	0.40	0.88
限值		0.83		

根据计算结果, 依据《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10002—2017)^[3]的各公式验算截面配筋, 对弯起钢筋的位置进行适当调整。考虑宜昌北站远期规划, 下层单层涵洞配筋按双层涵洞下层配置, 接长时可直接在侧墙植筋, 增加上层侧墙及顶板, 避免拆除浪费。

根据确定的尺寸进行涵节布置, 考虑公路顺接, 单层涵洞超出路基坡脚2~3节涵节, 双层涵洞出口采用耳墙收坡。最终确定框架小桥上层长度190.60m, 下层长度242.80m。

3 经济性比较

该处框架在初步设计阶段采用两孔净宽8m, 净高6m框架方案, 平均填土高度11m, 在相同设计原则的情况下计算结果为: 顶板厚度1.3m, 底板厚度1.5m, 边墙厚度1.2m, 中墙厚度1.2m, 涵长205m。相关尺寸见图2。

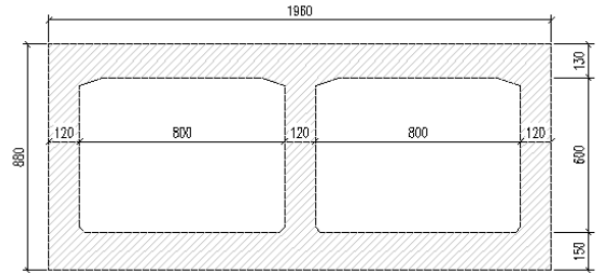


图2

主要工程数量对比见表9。

表9

结构形式	结构混凝土 (m ³)	基础混凝土 (m ³)	钢筋用量 (t)	地基处理 (m ³)
双层	10360.26	501.28	1212.723	2519.7
单层双孔	15805.5	820	1896.660	4100
差值	-5445.24	-318.72	683.937	-1580.3
节约比例	34%	39%	36%	39%

经过主要工程数量的对比, 可直观地体现出在高填方、有较高交通及排洪需求位置处, 双层涵洞较常规双孔涵洞的优势主要有以下几个方面:

(1) 主体工程数量减少34%~39%。在框架横延米较长的情况下, 双层框架的优势更加明显。

(2) 功能区分明显。在华中、华东长江沿岸地区, 雨量较为充沛, 且地势起伏明显, 较小山谷地区或车站范围内设桥不经济时, 采用双层框架, 在极端降雨天气下, 可减小对交通的影响。

4 结束语

结构形式比选是高速铁路桥梁工程中的重要设计工序, 通过两种框架形式的比较可以分析出, 在高填方、框架横延米较长、交通与排洪功能要求较高的情况下, 如本文的新建沪渝蓉高速铁路荆门至宜昌段场景, 双层框架的经济性更为合理, 下层有排洪功能, 上层有交通功能, 可在减小填土厚度的同时, 减小结构尺寸。既能满足节约投资的要求, 亦能满足生产生活需求。

随着山区高速铁路建造的高速、高质量发展, 对结构功能的要求越来越高, 需要在结构安全性、经济合理性及功能适应性的原则下加深结构形式比选, 选择合适的结构形式, 这样才能取得更好的设计经济效益。

参考文献

- [1] 铁道部第三勘测设计院. 铁路工程设计技术手册: 桥渡水文[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [2] 中国铁路总公司. 铁路工程建设通用参考图《高速铁路钢筋混凝土框架箱涵-通桥(2018)5401》
- [3] 国家铁路局. 铁路桥涵混凝土结构设计规范: TB 10002—2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.