

# 时速 200km 城际铁路简支箱梁设计优化研究

祁晓强

陕西西法(北线)城际铁路有限公司 陕西 西安 710075

**【摘要】**为适应国家城际铁路建设的迅猛发展,国家铁路局于 2015 年颁布了城际铁路设计规范,同时制定了《时速 200 公里城际铁路后张法预应力混凝土双线简支箱梁》系列图纸。城际铁路标准简支箱梁还未在我国城际铁路建设中得到应用推广,因其型式和经济性对城际铁路建设的投资影响较大,有必要对其进行优化设计。本文以《时速 200 公里城际铁路后张法预应力混凝土双线简支箱梁》系列图纸为基础,结合新建城际铁路西安至法门寺至机场线项目实际,从简支箱梁结构型式、设计荷载、箱梁构造及计算、附属工程设计等方面进行优化,提出适用本线的桥面宽度、桥梁高度等结构尺寸。为时速 200km 城际铁路建设的简支箱梁选型和类似项目的建设提供了宝贵的借鉴作用。

**【关键词】**城际铁路;简支箱梁;预应力混凝土;后张法;设计

## 0 引言

城际铁路是专门服务于相邻城市间或城市群,旅客列车设计速度 200km/h 及以下的快速、便捷、高密度客运专线铁路<sup>[1]</sup>。为了加快城际铁路桥梁结构在建设中的标准化实施,国家铁路局组织对 200 km/h 的有砟、无砟轨道常用跨度简支梁进行了设计研究,并由中铁工程设计咨询集团有限公司编制的《时速 200 公里城际铁路后张法预应力混凝土双线简支箱梁》通用图纸正式发布。胡所亭、徐升桥、邓运清等<sup>[2-4]</sup>已开展高速铁路标准简支箱梁设计优化研究,目前对城际铁路标准简支箱梁的设计优化研究还没有先例,本文对时速 200km 城际铁路简支箱梁设计优化研究将对我国城际铁路乃至世界城际铁路的发展有重要意义。

### 1 项目概况

2014 年 6 月国家发改委《关于关中城市群城际铁路网规划(20142020 年)的批复》(发改基础[2014]1449 号)文件确定了关中地区较大规模的城际铁路规划建设,西安至法门寺至机场城际铁路是关中城市群城际铁路网的重要组成部分,项目线路与银西高铁乾县站接轨,通过银西高铁接入西安北站。线路全长 236.517km,其中利用银西高铁 66.345km,新建线路乾县至新西安南站长 170.172km。经法门寺、眉县、周至、户县至新西安南站<sup>[5]</sup>。

## 2 简支箱梁设计优化基础

### 2.1 项目简支箱梁线间距

西安至法门寺至机场城际铁路车站多、站间距小,车站与正线段过渡时引起本线部分桥梁处于 4.2m~4.6m(5.0m)线间距,全线常用跨度简支箱梁不同线间距梁孔数统计见表 1。

标跨简支箱梁梁型	合计(孔)	占比
24m 预制梁 线间距=4.2m	148	52.5%
24m 预制梁 4.2m<线间距≤4.6m	127	45.0%
24m 预制梁 4.6m<线间距≤5.0m	7	2.5%
小计	282	100%
32m 预制梁 线间距=4.2m	1841	67.0%
32m 预制梁 4.2m<线间距≤4.6m	856	31.2%
32m 预制梁 4.6m<线间距≤5.0m	49	1.8%
小计	2746	100%

表 1 西安至法门寺至机场线城际铁路箱梁简表

根据统计,线间距 4.2m 简支梁桥长约 63.9km,非 4.2m 简支梁桥长约 32.9km,占本线标跨简支梁总桥长的 34%,结合本线特点可考虑线间距 4.2m~4.6m 的桥梁采用统一桥面宽度。

### 2.2 通图桥面系布置特点及存在问题

#### 2.2.1 桥面系布置主要特点

本线采用技术标准为设计时速 200km/h 的有砟轨道城际铁路,设计采用 ZC 活载。《时速 200 公里城际铁路后张法预应力混凝土双线简支箱梁》(通桥(2015)222A)标跨简支箱梁系列图纸(以下简称“通图”)可分为 32m、24m。该通图中通信信号电缆槽敷设于箱梁悬臂顶部,电力电缆敷设于箱梁腹板内侧的电缆槽内,见图 1。



图 1 通桥(2015)222A 箱梁断面示意

路基段落区别与桥梁段落,通信信号电缆槽与电力电缆槽相邻而设,桥路过渡时电力电缆需从箱梁底板进入。

### 2.2.2 存在问题

32m 简支箱梁最低点梁高 2.3m，跨中箱内净高为 1.82m，梁端范围箱内净高仅 1.32m，电缆养护维修或更换时工作空间狭小，工作难度大。一般电缆槽底部距底板顶面约 0.8m，变高度桥梁如连续梁结构等在中支点附近梁高变化较快。电缆槽支架预埋螺栓应注意与 T 束管道位置的干扰，支点附近向两侧过渡时，电缆在锯齿块顶部位置约 0.5m，中支点梁附近电缆距离底板高 1.5m，检修不便。

## 3 简支箱梁设计优化研究

### 3.1 主要设计原则

#### 3.1.1 结构形式

##### 3.1.1.1 截面类型

单箱单室等高度简支箱梁，梁端顶板、底板、腹板局部向内加厚，双线梁采用斜腹板，单线梁采用直腹板。

##### 3.1.1.2 梁长及跨度

梁长采用 32.6m，计算跨度 31.5m。

#### 3.1.1.3 桥面宽度设计

通图梁顶宽度为 11.3m，将电力电缆槽由箱内移至防护墙外侧后电力电缆槽宽度应增加 0.2m，电力槽与通信信号合槽之间设竖墙 0.1m。因此，对 4.2m 线间距通图箱梁修改后箱梁顶宽应为 11.9m，对桥梁长度占比不高的线间距 4.6m 和 5m 箱梁的电缆槽宽度进行优化设计，接触网基础处于干扰时采用预制倒 T 型隔板进行电缆槽的隔离以满足相关专业要求，电缆在接触网立柱基础的一定范围内进行顺接过渡。优化后的桥面宽度在 4.2m ~ 4.6m 线间距均可采用 11.9m。

#### 3.1.1.4 梁高

最低点梁高与通图一致为 2.3m，泄水管距离梁端统一采用 1.8m，因线间距不同中心线处双线梁高增加 0.083m 和 0.087m，较通图中心线梁高增加 ≤ 6mm，线路中心处轨底高度至梁顶高差较通图 ≤ 2mm。修改后箱梁桥面横向布置主要参数见表 2

表 2 箱梁桥面横向布置主要参数表 (m)

线间距	梁顶宽	梁高	防护墙距	泄水管距	通信信号槽宽	电力槽宽	线路中心轨底 - 梁顶
通图	11.3	2.381	2.25	1.6	0.65/0.35	箱内 0.35	0.71
4.2m	11.9	2.383	2.25	1.8	0.35	0.5/0.2	0.708
4.6m	11.9	2.383	2.25	1.8	0.35/0.25	0.3/0.2	0.712
5m	12.3	2.387	2.25	1.8	0.35/0.25	0.3/0.2	0.708

#### 3.1.2 设计荷载

结构自重按《铁路桥涵设计规范》(TB10002-2017)取值，C50 容重 26kN/m。二期恒载重量包括钢轨、扣件、道砟、轨枕等线路设备重，以及防水层、保护层、人行道栏杆或声屏障、遮板、防护墙、接触网支柱、电缆槽盖板及竖墙等附属设施重量，其中轨下枕底道砟厚度为 35cm。与通图相比，二期恒载本次设计变化包含保护层、道砟、竖墙和盖板 4 项数值的增加，4.2m 线间距梁二期恒载增加 3.3 KN/m，4.6m 线间距梁二期恒载增加 5.7 KN/m，设计统一按增加 6 KN/m 计算，详见表 3。

表 3 二期恒载计算值 (KN/m)

线间距	梁顶宽	栏杆直线	声屏障直线	栏杆曲线	声屏障曲线
通桥	11.3	162	162	162	162
4.2/4.6m	11.9	168	168	168	168
5m	12.3	174	174	174	174

活载、附加力、特殊荷载及荷载组合均按照《铁路桥涵设计规范》(TB10002-2017)和《城际铁路设计规范》(TB10623-2014)相关要求取值。

#### 3.1.3 主要设计指标

锚口及喇叭口损失按锚外控制应力的 6% 计算，管

道摩阻按抽拔管成孔计算，管道摩擦系数  $\mu=0.55$ ，管道偏差系数取  $K=0.0015$ 。列车竖向静活载所引起的竖向挠度： $L \leq 40m$  时 3 跨及以上双线简支梁，不大于  $L/1750$ 。在列车横向摇摆力、离心力、风力和温度力的作用下，梁体的水平挠度不大于梁体计算跨度的  $1/4000$ 。在竖向静活载作用下，梁端竖向转角限值不应大于  $3\% \text{ rad}$ 。列车竖向静活载作用下梁体扭转引起的轨面不平顺限值在 3m 长的线路范围，一线两根钢轨的竖向相对变形量不大于 3mm。轨道铺设后，有砟桥梁的徐变上拱值不应大于 20mm。

### 3.2 简支箱梁构造及计算

本次优化设计采用 BSAS Pro 2017 软件建立平面杆系有限元模型，模拟各施工阶段和运营阶段工况，计算各施工阶段和运营阶段各截面的内力、应力和变形。横向计算采用 Midas Civil 2017 软件取主梁的典型断面进行横向环框计算。箱梁计算取双线顶宽 11.9m，桥跨布设 32m 跨度。

#### 3.2.1 简支箱梁构造及钢束布置

双线简支箱梁采用单箱单室、等高度、斜腹板预应力结构。主要结构参数与通图基本保持一致，详见表 4。

表 4 简支箱梁主要构造参数表 (m)

梁型	梁顶宽	低点梁高	中心梁高	顶板厚	底板厚	腹板厚
通桥	11.3	2.3	2.381	0.311-0.511	0.25-0.55	0.32-0.8
优化后	11.9	2.3	2.383	0.313-0.513	0.25-0.55	0.32-0.8
梁型	梁底宽	支座距	悬臂长	悬臂厚	腹板斜率	
通桥	5	4.1	2.785	0.22-0.499	1/5	
优化后	5.4	4.4	2.885	0.22-0.496	1/5	

### 3.2.2 简支箱梁纵向计算

#### 3.2.2.1 计算模型

双线简支箱梁共分 21 个节点, 20 个单元, 截面特性如表 5。

表 5 简支箱梁截面特性

位置	截面积 /m <sup>2</sup>	截面惯性矩 /m <sup>4</sup>	中性轴至梁底 /m
梁端	10.19	6.94	1.3775
跨中	6.55	4.89	1.5341

有效宽度按规范计算, 跨中顶底板有效宽度折减系数为 0.957、0.964; L/4 跨顶底板有效宽度折减系数为 0.942、0.953; 梁端顶底板有效宽度折减系数为 0.741、0.778。

#### 3.2.2.2 施工步骤

主要施工步骤为箱梁预制、吊装存梁、运架梁设、成桥后架桥机过孔、桥面设施施工、运营。

#### 3.2.2.3 内力计算

双线简支箱梁主要计算荷载如表 6。

表 6 简支箱梁荷载信息表

荷载类型	指标 /kN/m	总重 /kN	备注
自重	183.9	6045	
二期恒载	183.0	6005	栏杆曲线
ZC 活载	146.3	4768	
合计	513.2	16818	
运梁车荷载 8640 kN/31.8m, 约 272 kN/m			

#### 3.2.2.4 施工阶段及运营阶段计算

本次计算共分为 4 个施工阶段和 1 个运营阶段, 经计算结果均满足相关规范的规定。

### 3.2.3 简支箱梁横向计算

#### 3.2.3.1 计算模型

双线简支箱梁梁单元 59 个, 节点数量 59 个, 计算截面宽度取 1m, 边界条件为简支。

0 100 200 300 400 500

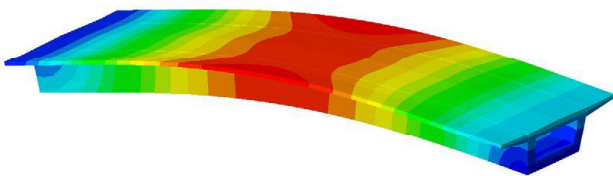


图 2 跨中、梁端结构离散图

#### 3.2.3.2 内力计算

结构内力计算结果见表 7。

表 7 内力计算结果表

工况组合	顶板内力最大值 (kN·m)	
	负弯矩	正弯矩
自重 + 运梁车	-135.3	23
自重 + 架梁	-3017.6 (轴力)	
恒载	-99.8	18.6
恒载 + ZC 活载	-123.8	30.3
恒载 + ZC 活载 + 接触网立柱荷载 A/B	-254.4	26
恒载 + ZC 活载 + 声屏障立柱荷载 (主)	-137.8	27.4

恒载 + ZC 活载 + 声屏障立柱荷载 (主 + 附)	-142.3	27
恒载 + ZC 活载 + 升温	-125.5	29
恒载 + ZC 活载 + 降温	-123.8	30.3

#### 3.2.3.3 钢筋布置

钢筋布置与通图一致, 主要钢筋布置可参照通图。

#### 3.2.3.4 截面检算

自重 + 架梁车支点轴力值为 3020.7kN, 支点腹板截面尺寸 1×0.895m, 高度 0.5m。横向环框计算各种工况下钢筋应力 ≤ 141MPa, 混凝土应力 ≤ 6.4MPa, 裂缝宽度 ≤ 0.15mm, 均满足规范要求。

#### 3.2.4 简支箱梁动力计算

二期恒载按 183kN/m 进行动力特性计算, 一阶振型为竖向弯曲如图 3 所示。

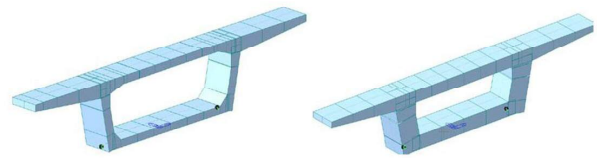


图 3 一阶振型图

32m 简支箱梁竖向自振频率应不低于 3.06Hz, 分析计算为 3.34 Hz, 满足规范要求。

### 3.3 附属工程设计

在通图的基础上结合《高速铁路常用跨度梁桥面附属设施》通桥 (2016) 8388 图纸进行本线简支箱梁附属工程设计。

#### 3.3.1 防护墙

防护墙高度在曲线外侧为 1050mm, 曲线内侧及直线为 900mm, 防护墙每 4m 设 10mm 断缝。在每孔梁梁端对称设置宽度 300mm 过人槽口, 防护墙按照水平脱轨荷载 10t/m 进行设计, 作用点位于防护墙顶面。

#### 3.3.2 电缆槽

防护墙外侧设置通信信号合槽及电力电缆槽, 通信信号电缆槽宽度按 0.35m, 接触网基础干扰时按 0.25m; 电力电缆槽宽度按 0.3m, 接触网基础干扰时按 0.2m; 两电缆槽之间采用 0.1m 厚竖墙进行强弱电分隔。

#### 3.3.3 防落梁设施

简支箱梁采用墩梁间设置限位钢棒的方式对梁部结构进行纵横向限位, 钢棒两端分别位于梁体内及桥墩内。制梁时将预埋钢筒 A 预埋在梁体相应位置, 预埋钢筒中心线与梁底垂直, 预埋套钢 A 内放置上半部分限位钢棒。墩顶设置预留孔, 预埋钢筒 B 放置在预留孔内。下半部分限位钢棒放置在预埋钢筒 B 内。准确定位后, 安装法兰盘螺栓, 钢筒 A 内灌注发泡聚氨酯, 钢筒 B 内灌注乳化沥青。墩顶预留孔采用支座灌浆料灌注密实。

#### 3.3.4 其他设施

人行道栏杆及声屏障、桥梁伸缩缝、桥面排水、电

缆上下桥方式、通风孔、桥面排水、泄水管、吊装孔、接触网支柱及基础均与通图一致。

#### 4 结束语

本线采用的 32m 双线简支箱梁是在《时速 200 公里城际铁路后张法预应力混凝土双线简支箱梁》梁图基础上进行优化设计，一是把电力电缆槽由箱内移至防护墙外侧增加了梁宽，二是拓展了箱梁对 4.6m 线间距桥梁的适用范围，综合考虑通信、信号、电力要求后桥梁顶

宽采用 11.9m。该优化设计满足城际铁路相关规范要求，优化后的简支箱梁比通图箱梁梁体圬工及钢束等工程数量增加约 4%，但取消了腹板预埋电缆托架及电缆槽等工程，整体经济指标节省约 0.9 万元 / 孔。西法城际铁路开通运营后，更有利于电力电缆的运营养护工作，该设计优化的方法和理念将随着西法城际铁路的运营逐步得到检验和证实，在城际铁路建设中应用前景广阔，对其他城际铁路也有重要的借鉴作用。

#### 【参考文献】

- [1] 国家铁路局 . TB10623-2014. 城际铁路设计规范 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [2] 胡所亭, 牛斌, 柯在田, 等. 高速铁路常用跨度简支箱梁优化研究 [J]. 中国铁道科学, 2013, 34(1): 15—21.
- [3] 徐升桥. 高速铁路常用跨度桥梁技术 [J]. 桥梁建设, 2011(2): 62—65.
- [4] 邓运清. 客运专线简支箱梁综述 [c]. 全国铁路客运专线建设工程技术研讨会论文集, 2005: 65—71.
- [5] 中铁第一勘察设计院集团有限公司 . 新建城际铁路西安至法门寺至机场线可行性研究总说明书 [Z]. 西安 . 中铁第一勘察设计院集团有限公司 , 2018.

#### 【作者简介】

祁晓强 (1979—), 男, 陕西郴州人, 2018 年毕业于陕西工商管理硕士学院工商管理专业, MBA, 助理工程师, 主要从事项目管理工作。