

# 疏港铁路T梁模型设计与制作研究

张华勋

中铁七局集团武汉工程有限公司

**摘要:** 本文主要论述了疏港铁路预制T梁的设计过程及制作过程中的具体要求, 主要根据工程实际考虑设计初期模型的稳固、拆装、周转等各方面性能; 在加工制作过程中底模反拱、横隔板几何形状、模型倒角等细部构造等方面性能。

**关键词:** 铁路梁模型; 设计; 制作

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2024. 04. 106

## 一、前言

湖北省襄阳市某工程铁路大、中桥计44座, 预制梁共414孔(单线), 是关键线路控制工程, 因工期比较紧凑。因此, 在模型设计时, 要满足拼装及拆卸方便, 轻巧耐用性能好, 使用便捷、循环利用时间长等特点。拼装后截面形状符合设计及生产许可证取证要求。

## 二、模型各关键部位受力简算

为了减少因模型接缝而产生的外观缺陷, 梁模型应采用大体积定型模型, 每块模型设计长度以8m为宜。为了增加模型循环周期, 钢模型采用 $\delta=8\text{mm}$ 的面板, 背筋骨架采用[14b槽钢, 模型的刚度、强度、稳定性须满足T梁各部位的形状、几何尺寸, 并拆装容易, 操作方便。以高为2.25米的32米预应力T梁为例, 其模型力学检算如下

### (一) 设计工艺

梁模型每侧由4块不同结构组成的单模组成, 模扇由接触面板、横撑、竖向撑三个主要部分组成。每单扇的长度8m, 面板为6mm的钢板, 支撑面板的背撑为[8的槽钢, 竖撑为12#槽钢与14b的槽钢, 通过纵、横向撑组合而成, 设计为1.0m间隙。

### (二) 力学模拟

**接触面板:** 面板的力学模拟为支承于间隔两横向、竖向支撑之上受水平均匀力。

**横撑:** 横撑简化为受力于间隔竖撑上的受均匀荷载的简支梁受力模拟。

**竖撑:** 竖撑的力学模拟可简化为支承顶、底两点受杆件传来的集中力的梁。

### (三) 接触面板的计算

由于3.5小时可全部浇筑梁混凝土, 所以混凝土浇筑高度等于梁体高度2.25米,  $\gamma=25\text{KN/m}$

各点压力  $P=\gamma H$

H为点到梁顶的距离

取中部模扇为计算对象, 按其结构绘制侧压力图如图1

$P_0=25 \times 2.25=56.3\text{KPa}$

$P_1=25 \times 1.96=49\text{KPa}$

$P_2=25 \times 1.81=45.3\text{KPa}$

$P_3=25 \times 1.51=37.8\text{KPa}$

$P_4=25 \times 1.21=30.3\text{KPa}$

$P_5=25 \times 0.91=22.8\text{KPa}$

$P_6=25 \times 0.6=15\text{KPa}$

由压力图分析, 竖撑间距1米, 横撑间距0.29米之间(0~1区间)的面板承受的侧压力较大。

均布荷载

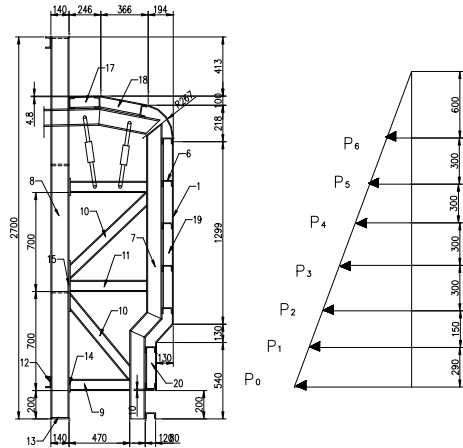


图1 侧压力图

$$q=(P_0+P_1)/2 \times b=(56.3+49)/2 \times 1=52.7\text{KN/m}$$

考虑振动荷载 $4\text{KN/m}^2$

$$q=52.7+4 \times 1=56.7\text{KN/m}$$

考虑到板的连续性, 其强度及刚度可按下式计算

$$M_{\max}=0.1q l^2=0.1 \times 56.7 \times 0.29^2=0.4768\text{KN}\cdot\text{m}$$

$$W=1/6 \times b h^2=1/6 \times 100 \times 0.62^3=6\text{cm}^3$$

$$\sigma=M/W=0.4768/6 \times 10^6=79.5\text{MPa} < [\sigma]=181\text{MPa}$$

$$f_{\max}=q l^4 / 128 E I = 52.7 \times 294 \times 12 / (128 \times 2.1 \times 10^6 \times 100 \times 0.63) = 0.08 < 0.15 \text{ (允许)}$$

### (四) 横撑检算模型

#### 1. 均布荷载

横撑按简支梁均布荷载体系计算, 模拟跨径为1.0米, 作用于梁体各横撑的均布荷载(可参照图1计算)

$$q_0=0.49 \times 29/2 + 2/3 \times (0.563-0.49) \times 29/2=7.81\text{KN/m}$$

$$q_1=0.49 \times 29/2 + 1/3 \times (0.563-0.49) \times 29/2 + 0.453 \times 15/2 + 2/3 \times (0.49-0.453) \times 15/2=11.04\text{KN/m}$$

$$q_2=0.453 \times 15/2 + 1/3 \times (0.49-0.453) \times 15/2 + 0.378 \times 30/2 + 2/3 \times (0.453-0.378) \times 30/2=9.91\text{KN/m}$$

$$q_3=0.378 \times 30/2 + 1/3 \times (0.453-0.378) \times 30/2 + 0.303 \times 30/2 + 2/3 \times (0.378-0.303) \times 30/2=11.34\text{KN/m}$$

$$q_4=0.303 \times 30/2 + 1/3 \times (0.378-0.303) \times 30/2 + 0.228 \times 30/2 + 2/3 \times (0.303-0.228) \times 30/2=9.09\text{KN/m}$$

$$q_5=0.228 \times 30/2 + 1/3 \times (0.303-0.228) \times 30/2 + 0.15 \times 30/2 + 2/3 \times (0.228-0.15) \times 30/2=6.83\text{KN/m}$$

$$q_6=2/3 \times 0.15 \times 60/2 + 0.15 \times 30/2 + 1/3 \times (0.228-0.15) \times 30/2=6.03\text{KN/m}$$

由以上计算可知 $q_3$ 最大, 故取横撑3进行强度和刚度检算。

#### 2. 振动荷载

$$4 \times (0.3 + 0.3) / 2 = 1.2 \text{ KN/m}$$

3. 强度检算

横撑为8#槽钢，跨中最大受力弯矩，力学模拟按筒支梁计算

$$M_{max} = 1/8 q l^2 = 1/8 \times (1.2 + 11.34) \times 12 = 1.568 \text{ KN.m}$$

$$[8 \text{ 槽钢 } I_x = 101.3 \text{ cm}^4, W = 25.3 \text{ cm}^3]$$

$$\sigma = M/W = 1.568 \times 103 \times 106 / 25.3 = 62.0 \text{ MPa} < [\sigma] = 181 \text{ MPa}$$

4. 刚度检算

$$f_{max} = 5 q l^4 / 384 EI = 5 / 384 \times 12.54 \times 103 \times 14 / (2.1 \times 106 \times 106 \times 101.3 \times 10^{-8})$$

$$= 0.77 \text{ mm} < 3 \text{ mm}$$

5. 竖撑检算

竖撑按筒支体系计算，计算图式如图2，计算跨径为2.25m，竖撑承受的力为横撑的支撑反向力。

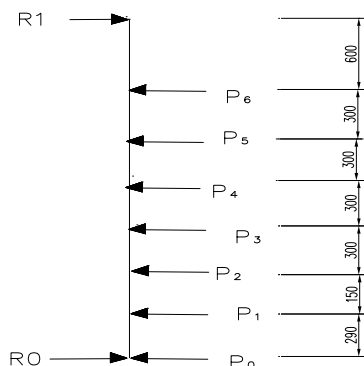


图2 竖撑计算图示

6. 求荷载P

荷载P简化为横撑简支于竖撑上反力计算。

$$P_0 = q_0 \times (L_1 + L_2) / 2$$

式中：P<sub>0</sub>——作用于竖撑各点的荷载之和

q<sub>0</sub>——作用于横撑的均布荷载之和

L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> ——竖撑两侧的横撑长度

由于 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>为1米，所以 P<sub>0</sub>数值上等于 q<sub>0</sub>

再考虑振动荷载4 KN/m<sup>2</sup>，则有

$$P_0' = 4 \times 0.29 / 2 = 0.58 \text{ KN}$$

$$P_1' = 4 \times (0.29 + 0.15) / 2 = 0.88 \text{ KN}$$

$$P_2' = 4 \times (0.15 + 0.3) / 2 = 0.9 \text{ KN}$$

$$P_3' = 4 \times (0.3 + 0.3) / 2 = 1.2 \text{ KN}$$

$$P_4' = 4 \times (0.3 + 0.3) / 2 = 1.2 \text{ KN}$$

$$P_5' = 4 \times (0.3 + 0.3) / 2 = 1.2 \text{ KN}$$

$$P_6' = 4 \times (0.3 + 0.6) / 2 = 1.8 \text{ KN}$$

所以各荷载为：

$$P_0 = 8.39 \text{ KN}$$

$$P_1 = 11.92 \text{ KN}$$

$$P_2 = 10.81 \text{ KN}$$

$$P_3 = 12.54 \text{ KN}$$

$$P_4 = 10.29 \text{ KN}$$

$$P_5 = 8.03 \text{ KN}$$

$$P_6 = 7.83 \text{ KN}$$

7. 强度及刚度检算

竖撑为槽钢12#与槽钢14b，通过水平撑、斜支撑焊接而成其计算截面如图3所示。

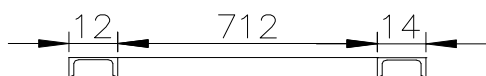


图3 竖撑横断面图 单位：cm

$$\text{单根 } [12 \text{ } A = 15.69 \text{ cm}^2, I_x = 388.5 \text{ cm}^4,$$

$$W = 36.4 \text{ cm}^3, [14b \text{ } A = 21.31 \text{ cm}^2,$$

$$I_x = 609.4 \text{ cm}^4, W = 87.1 \text{ cm}^3$$

$$\text{重心位置：离 } [12 \text{ } L = 71.2 \times 21.31 \div$$

$$(15.69 + 21.31) = 41 \text{ cm}$$

$$\text{离 } [14 \text{ } L = 71.2 \times 15.69 \div (15.69 + 21.31) = 30.2 \text{ cm}$$

$$I = 388.5 + 15.69 \times 472 + 609.4 + 21.31 \times 37.22 = 65146.7 \text{ cm}^4$$

截面抵抗矩

$$W_{min} = 65146.7 / 41 = 1588.94 \text{ cm}^3$$

由结构力学求解器求得

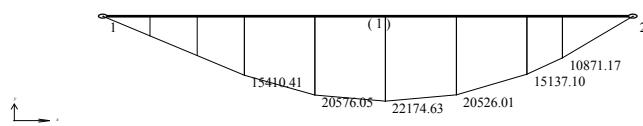


图4 弯矩图 单位：N.m

$$M_{max} = 22174.63 \text{ KN.m}$$

$$\sigma = M/W = 22174.63 \times 106 / 1588.94 = 13.96 \text{ MPa} < [\sigma] = 181$$

Mpa

8. 挠度计算

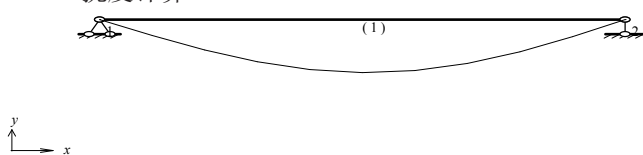


图5 挠度图

由结构力学求解器求得

$$f_{Max} = 0.00008 \text{ m} = 0.08 \text{ mm} < 3 \text{ mm}$$

所以竖撑的刚度及强度满足要求。

通过检算发现梁模型的面板、横撑、竖撑强度及刚度均可满足要求。

三、模型设计荷载计算

梁场模型在设计过程中，模型、连接支撑系统的平均荷载按 0.75KN/m<sup>3</sup> 考虑，混凝土单位体积重量按 26KN/m<sup>3</sup> 计算，捣固混凝土时对侧模板产生的水平力为 2.0kPa，对底模办产生的竖向力为 4.0kPa。

浇筑混凝土时对侧模产生的两侧水平力：

$$\text{振捣棒捣固混凝土时：} P_{max} = k \gamma h$$

当  $V/t < 0.035$  时， $h = 0.22 + 24.9 V/t$  当  $V/t > 0.035$  时， $h = 1.53 + 3.8 V/t$

式中 P<sub>Max</sub>——浇注混凝土对模型的最大侧压力 (KPa)

h——有效压头高度 (m)

V——混凝土浇筑的速度 (m/h)

t——混凝土浇筑时的温度 (°C)

γ——混凝土的容重 (KN/m<sup>3</sup>)

k——修正系数 k=1.2

附着式振动器振捣时

当  $V < 4.5$ ， $h \leq 2R$  时  $P_{max} = \gamma h$ ；当  $V \geq 4.5$ ， $h \leq 2R$  时

$$P_{Max} = \gamma (0.27V + 0.78) k_1 k_2$$

式中 H——对模型产生压力的混凝土浇筑层高度 (m)

R——振动器作用半径 (m) R=1

k<sub>1</sub>——混凝土坍落度系数 k=1.2

k<sub>2</sub>——混凝土温度系数，5°C~7°C 为 1.15，12°C~17°C 为 1.0，28°C~32°C 为 0.85。

混凝土浇筑时产生的水平荷载按 4.0KPa 进行计算

(一) 模型刚度以下列控制数据作为依据及执行标准

(1) 模型钢板允许形变为 1.0mm；

- (2) 主架构件及支撑形变为3.0mm;
- (3) 模型挠度为构件跨度的1:400。

**二、强度验算**

模型设计采用如下荷载组合对强度进行验算:

**1. 底板模型**

- ① 施工人员、机料具堆放荷载;
- ② 张拉力影响;
- ③ 混凝土结构自重;
- ④ 混凝土捣固时产生的激振力;
- ⑤ 模型及支撑自重;
- ⑥ 保温、降温设施荷载。

**2. 侧板模型**

- ① 作业人员及机、料、具堆放荷载;
- ② 混凝土入模时产生的冲击力;
- ③ 混凝土捣固时产生的激振力;
- ④ 新浇筑混凝土对模型产生的侧压力。

综合考虑其他一些情况对模型产生的影响并计算模型的整体可靠性,通过受力模型分析,决定模型所必需的各类规格型号的型材。

**四、材料选型**

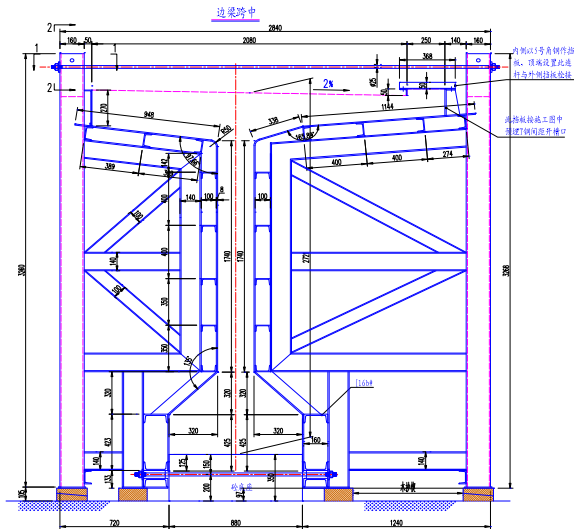
模型在计算、加工过程中,主要必须型钢为以下几种:

**(一) 底板模型**

模型面板为 $\delta=8\text{mm}$ 厚钢板,底板下层为14#槽钢、钢结构,面板与底板下层利用钢结构力学特性焊接组合。

**(二) 侧板模型**

模型面板为 $\delta=8\text{mm}$ 厚钢板,主骨架竖向为16#工字钢,横向背肋撑为14槽钢和10槽钢,模板单块之间采用16a#、14#、10#槽钢组合焊接,模型底部为16槽钢固定,模型顶部两侧设有 $\delta=6\text{mm}$ 厚钢板剪切而成的安放湿接头桥面钢筋的梳筋板,且每隔80cm设有14#槽钢焊接组成的连接杆件,侧面模型设计为8m单块,相邻两块模型间连接通过 $\phi 20$ 高强螺栓连接。见下图:



在设计过程中,为了便于脱模,一是优化所有变截面处的棱角,将所有棱角处原设计硬角度,与设计院沟通,均变更为30mm圆弧,减小脱模时混凝土对模型的切向及法向黏结力,降低拆模时的梁体混凝土的损坏;二是将横隔板外露部分与模型整体分离,待钢筋吊装后再进行封闭,通过减少模型与隔板的接触面来减小模型与混凝土之间的摩擦力,减少梁体棱角损伤。在考虑安装及拆除梳筋板的困难强度时,将原采用焊接连接的梳筋

板改为模板底加螺栓连接方式,方便了模型的拆除,同时减少了因模型拆除困难而损坏梳筋板,降低了因操作困难或人为粗暴拆除而带来的模板构件消耗。

在设计过程中底板模型还必须设置提梁孔调节块,其位置应在梁体支点允许范围内,长度为500mm,调节块需与底模板强度、刚度保持一致,要在反面加强背肋型钢固定。拼装后严格检查保证其接缝严密,且几何尺寸与底模板一致,并检查其四周密封性,保证在浇筑混凝土过程中不滑动、不变性、不漏混凝土。

另外,还须考虑侧模上下端预留压缩量。模型预留压缩量就是在预应力张拉后,为了抵消由于施加预应力而导致梁长及跨度发生缩短或伸长变化,而预先在模型设计时对模型长度进行缩短或伸长的预留量。即设置预留压缩量后,梁体正面投影在张拉前呈正梯形;在张拉后,若设置理想呈长方形,反之呈倒梯形。如在模型设计时未考虑预留压缩量,可能会导致梁的长度和跨度不合格而报废。一般情况下,模型上端不设压缩量,模型下端设 $L(\text{梁长mm})/1000$ 。

**五、模型制作**

在模型制作过程中,委派技术人员驻场,及时解答设计问题,监控制造过程,提高加工精度,对支撑体系、倒角位置、面板钢材质量、横向张拉孔纵横向距离、焊缝焊接饱满度、弯角加工弧度等关键部位,加工一件检测一件,避免整套试拼时,出现结构性严重错误,导致返工返修,影响模型整体刚度。

模型制造过程中,面接缝均进行双面保护焊满焊,焊缝打磨平滑或打磨成光滑,焊接工艺应保证焊后变形量最小,对于焊接后由于温度较高导致变形的,还需及时进行补强或者校正处理,满足模板设计几何尺寸要求。模板槽钢主架用二保焊焊接模型面上,保证与面板连接处型变量最小。横向支撑槽钢用间隔焊接于支撑骨架上,焊接长度10cm,间距10cm,焊接堆高6mm;连接型钢与模板面连接用堆塞焊接方式,间距20cm,其余部位均采用间隔焊,焊接长度10cm,间距20cm,焊接堆高6mm。

端隔板模型的加工制作在模型制造过程中一个关键结构之一,其与整体模型连接近于 $94^\circ$ ,其成型后每个面的角度、尺寸均不一样,形状为梯形台,上口、下口几何差20mm,内边、外边尺寸几何差10mm,端隔板还有线性渐变角。要用专门加工的胎卡具进行下料校准及试拼,每经行一次试拼工序均进行严格核查几何尺寸并进行误差校正,精密卡控裁剪及制造公差,最终达到设计意图和施工过程中的安装、拆卸和周转效果。

**六、结束语**

铁路T梁作为铁路建设中重要的构件,在模型设计和制作及材料的选择上尤为重要。随着国家铁路建设的不断发展,铁路T梁模型有望与铁路箱梁模型在设计 and 制作上接近,实现模型施工机械化。

**参考文献**

- [1]《预制后张法铁路桥简支T梁技术条件》TB/T3043-2018
- [2]《建筑施工计算手册》(第二版)江正荣 中国建筑出版社
- [3]新疆富蕴县额尔齐斯河西大桥建设工程T梁模型的设计与制作
- [4]李朝伟,唐明亮,李新玉.《科技风》;2009-03-10