

铁路桥梁结构设计算例丛书

简支结合梁设计算例



吕佳欣 李晓煜 编著

JIANZHI JIEHELIANG SHEJI SUANLI

简支结合梁设计算例

吕佳欣 李晓煜 编著



中国铁道出版社

2011年·北京

图书在版编目(CIP)数据

简支结合梁设计算例/吕佳欣, 李晓煜编著. —北京:
中国铁道出版社, 2011. 5

(铁路桥梁结构设计算例丛书)

ISBN 978-7-113-12743-5

I. ①简… II. ①吕… ②李… III. ①铁路桥—简支梁桥—结构设计—
设计计算 ②铁路桥—组合梁桥—结构设计—设计计算 IV. ①U448. 212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 062159 号

书 名: 铁路桥梁结构设计算例丛书
简支结合梁设计算例
作 者: 吕佳欣 李晓煜 编著

责任编辑: 张 捷 电话: (010)51873141 电子信箱: crph_zj@163.com

封面设计: 郑春鹏

责任校对: 孙 玫

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市宣武区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

版 次: 2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

开 本: 880 mm × 1230 mm 1/16 印张: 4 字数: 121 千

书 号: ISBN 978-7-113-12743-5

定 价: 18.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部联系调换。

联系电话: 路 (021) 73170, 市 (010) 51873170

打击盗版举报电话: 路 (021) 73187, 市 (010) 63549504

前 言

结合梁是近年来公路和铁路桥梁中广泛采用的一种结构形式。结合梁将两种不同特性的材料结合在一起，从而获得单一材料所不具备的力学特性，在大，中，小跨度桥梁工程中有着比钢结构和钢筋混凝土结构更加优越的特性。随着我国桥梁建设的快速发展以及对桥梁刚度、抗噪声、耐疲劳等要求的提高，结合梁使用的频率会越来越多，并将成为中等跨长的主流结构形式。

计算机的发展和普及使得当今工程师们的设计方法和解析手段更加丰富，设计速度和计算精度以及设计效率都大大地提高。但与此同时，也会使一些设计人员对设计内容、设计过程及设计结果的判断、分析和思考能力均呈现出退化的趋势，从而使得技术水平出现空洞化。所以简捷的手算仍然是工程师们的一个基本功。本算例以手算为主，并对主要的结构进行计算。参照本算例时，还应依据具体的设计条件和要求酌情取值。

对于想从事结合梁设计的工程技术人员来说，最重要的就是将整个设计内容从头到尾串联起来。设计算例是行业工程师们设计的样板，有着极强的设计指导作用。通过本算例，可使工程师们了解到结合梁的最基本设计内容及设计细节，加快对结合梁设计的了解和认识，尽快地掌握其设计方法，提高设计效率，保障结构的安全性，加快我国铁路和公路的建设速度。若能借鉴本算例进行实桥的设计，将是万分的荣幸。

鉴于编者知识有限，编写内容中难免有不妥或疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

二〇一一年二月

目 录

§ 1 设计条件	1
1.1 基本设计条件	1
1.2 符号	2
1.2.1 外力	2
1.2.2 内力	2
1.2.3 应力	2
1.2.4 截面	2
1.2.5 计算系数	2
1.3 设计概图	3
§ 2 桥面板设计	4
2.1 设计条件	4
2.1.1 桥面板截面形状	4
2.1.2 材料	4
2.2 荷载计算	5
2.2.1 恒载	5
2.2.2 人行道荷载	6
2.2.3 列车荷载	6
2.2.4 动力系数	6
2.2.5 风力	6
2.3 截面力计算	7
2.3.1 弯矩(I — I 位置)	7
2.3.2 剪力(I — I 位置)	8
2.4 截面检算	9
2.4.1 强度检算	9
2.4.2 裂纹宽度检算	10
§ 3 主梁设计	11
3.1 截面形状	11
3.2 荷载计算	12
3.2.1 一期恒载(D_1)	12
3.2.2 二期恒载(D_2)	12
3.2.3 活载; L	13
3.2.4 动力系数; μ	13
3.2.5 纵向伸缩力; L_R	13
3.2.6 制动力或牵引力; B	13
3.2.7 列车横向摇摆力; L_F	14
3.2.8 风荷载; W	14
3.3 截面力计算	15
3.3.1 影响线	16
3.3.2 弯矩	18
3.3.3 剪力	19

3.3.4 轴力	20
3.4 截面力组合表	21
3.5 截面强度检算	23
3.5.1 计算前提	23
3.5.2 截面力	24
3.5.3 截面应力检算	25
3.5.4 局部稳定检算(板的宽厚比)	31
3.5.5 端加劲肋检算	33
3.6 挠度及上拱度设置	35
3.6.1 挠度计算	35
3.6.2 固有振动数计算	35
3.6.3 上拱度设置	36
3.7 疲劳检算	37
3.7.1 疲劳检算系数	37
3.7.2 发生的应力	39
3.7.3 跨中部的疲劳检算(Section—I)	40
3.7.4 跨中截面变化处的疲劳检算(Section—II)	41
3.8 拼接计算	42
3.8.1 计算原则	42
3.8.2 拼接计算	43
§4 传剪器设计	49
4.1 水平剪力计算	49
4.1.1 竖向剪力引起的纵向水平力	49
4.1.2 桥轴方向荷载引起的纵向水平力	52
4.1.3 混凝土干燥收缩引起的水平剪力	52
4.1.4 温度变化引起的水平剪力	52
4.1.5 荷载组合表	52
4.2 传剪器容许应力计算	54
4.3 传剪器间隔	55
4.4 传剪器配置图	55

§1 设计条件

1.1 基本设计条件

1. 设计构造物 既有线铁路桥梁
2. 构造形式 简支结合梁~双线两箱式
3. 线路 平面线形: 直线区间内
纵向线形: 水平区间内
4. 轨道构造 轨道构造: 道砟式轨道(60 kg 级钢轨)
线路中心距: 4.000 m

钢轨顶~箱梁腹板顶:	60 kg 级钢轨高	176	}	416 mm	
	轨道垫板厚	10			
	轨枕高	230			
	轨底道砟层厚	300	}	479 mm	
	桥面保护层厚	60			
	排水层厚	59			
	桥面板厚	280			
	梗肋高	80			
1 195 mm					
5. 构造尺寸 施工面宽度: 10.800 m(对称构造)
梁长: 49.100 m
跨度: 48.000 m
主梁中心距: 4.600 m
腹板中心距: 2.200 m
主梁腹板高: 3.000 m
6. 列车荷载 列车荷载: 中—活载
列车速度: 160 km/h
7. 风荷载 有车时: 1.25 kN/m^2
无车时: 2.10 kN/m^2
8. 人行荷载 : 4.0 kN/m^2
9. 温度变化 主梁设计时: 桥面板与钢梁的温度差 $\pm 15^\circ\text{C}$
10. 防噪声措施 防振材料: 箱梁腹板内侧设置
防振混凝土: 箱梁下翼缘板上设置(厚 $t = 150 \text{ mm}$)
11. 单位重量 钢材: $W = 78.50 \text{ kN/m}^3$
钢筋混凝土: $W = 25.00 \text{ kN/m}^3$
混凝土: $W = 23.00 \text{ kN/m}^3$
防振材料: $W = 0.25 \text{ kN/m}^2$
轨道重量: $W = 7.00 \text{ kN/m}$ (1组钢轨+扣件+枕木)
道砟: $W = 21.00 \text{ kN/m}^3$
过桥管线: $W = 1.00 \text{ kN/m}$ (含盖板)
模板(木制): $W = 1.00 \text{ kN/m}$
声屏障: $P = 5.00 \text{ kN/m}$ (每侧)
12. 使用年限 100年
13. 使用材料 混凝土强度等级: C55
混凝土弹性模量: $[E_c] = 36\,000 \text{ N/mm}^2$
主梁钢材: Q345q, Q420q
钢材弹性模量: $[E_s] = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
14. 设计规范 《铁路结合梁设计规定》 (TBJ 24—89) 简称:《结合梁》
《铁路桥涵设计基本规范》 (TB 10002.1—2005) 简称:《桥规》
《铁路桥梁钢结构设计规范》 (TB 10002.2—2005) 简称:《钢桥》
《铁路钢桥制造规范》 (TB 10212—2009) 简称:《制造》
《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》 (TB 10002.3—2005) 简称:《混桥》

1.2 符号

1.2.1 外力

- N — 轴向力
 M — 弯矩
 V — 剪力

1.2.2 内力

- N_h — 混凝土桥面板截面内的法向力
 N_s — 钢梁截面内的法向力
 M_h — 混凝土桥面板截面中的弯矩
 M_s — 钢梁截面中的弯矩
 σ_h — 混凝土桥面板的法向应力
 σ_s — 钢梁的法向应力

1.2.3 应力

- $[\sigma]$ — 钢材轴向容许应力
 $[\sigma_w]$ — 钢材弯曲容许应力
 $[\sigma_p]$ — 钢材承压容许应力
 $[\sigma_o]$ — 构件或连接的疲劳容许应力幅
 $[\sigma_c]$ — 中心受压时混凝土的容许应力
 $[\tau]$ — 钢材剪切容许应力
 $[\tau_c]$ — 纯剪时混凝土的容许剪应力
 $[P]$ — 高强度螺栓的容许抗滑承载力
 $[T]$ — 联结器的容许应力荷载
 $[T_n]$ — 联结器的容许疲劳荷载

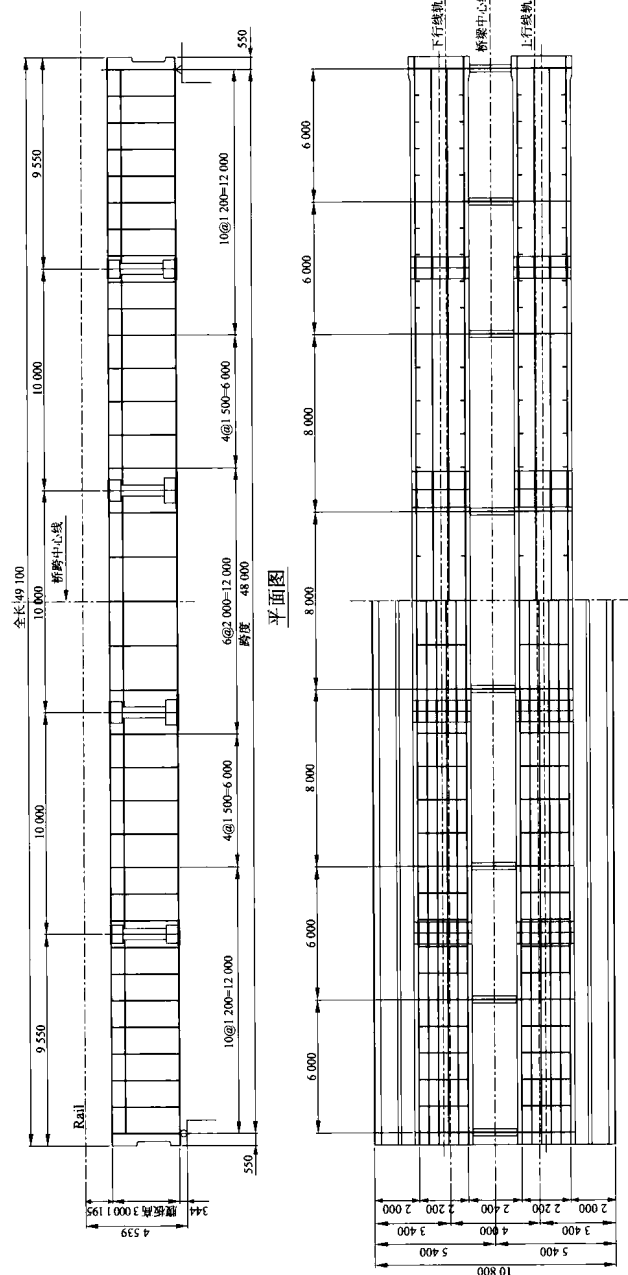
1.2.4 截面

- SLAB — 桥面板
FLG — 钢梁翼缘板
Web — 钢梁腹板
Rib — 钢梁纵向加劲肋
 A_n — 截面积(换算成钢)
 I_h — 混凝土桥面板自身的惯性矩
 I_s — 钢梁自身的惯性矩
 I_n — 结合梁截面的换算惯性矩(换算成钢)
 S — 面积矩(换算成钢)

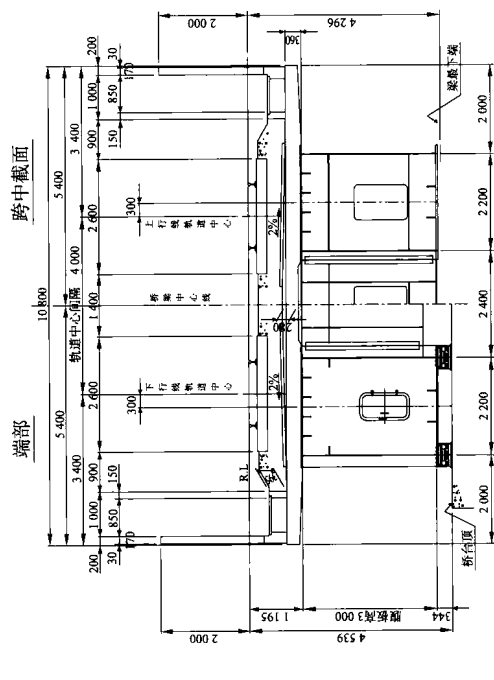
1.2.5 计算系数

- E_h — 混凝土的弹性模量
 E_s — 钢的弹性模量
 ε — 混凝土的收缩率
 α — 钢或混凝土的线膨胀系数
 t — 钢梁与混凝土桥面板的温度差
 μ_t — 活载冲击力的动力系数
 μ_0 — 高强度螺栓连接的钢材表面抗滑移系数
 m — 高强度螺栓连接处的抗滑面数
 k — 安全系数
 n — 计算温度变化影响时,钢与混凝土的弹性模量比
 n_1 — 计算考虑徐变的恒载和混凝土收缩时,钢与混凝土的弹性模量比
 n_2 — 计算活载时,钢与混凝土的弹性模量比

结合梁设计概图 $S=1/100, 1/50$



截面图 S=1 / 50



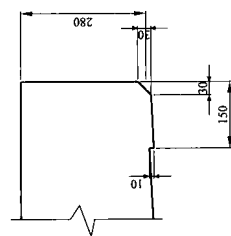
端部

跨中截面

軌頂起尺寸

主梁支垫面	主梁上下端距离
50 kg 钢枕	176
垫板	10
垫层	300
道砟	230
轨枕保护层	60
排水坡	59
桥面板	280
硬肋	80
	1 195
下翼缘板厚	4 195
下翼缘板底	48
拼接板	26
垫圈	5
螺母	24
合计	4 298

主梁最下端距离



桥面板滴水槽大样 $S=1/5$

说明: 1. 本图尺寸均以mm为单位。
2. ϕ 为活动端, Δ 为固定端。

设计条件

[illegible][illegible]

设计	000	000	设计事务所	工程名称	000	000	工程
负责人	000	000					
设计人	000	000					
审核人	000	000					
日期	000	000					
比例	000	000					
图号	000	000					

第 0 页 共 0 页

结合梁设计概图

§ 2 桥面板设计

前提:

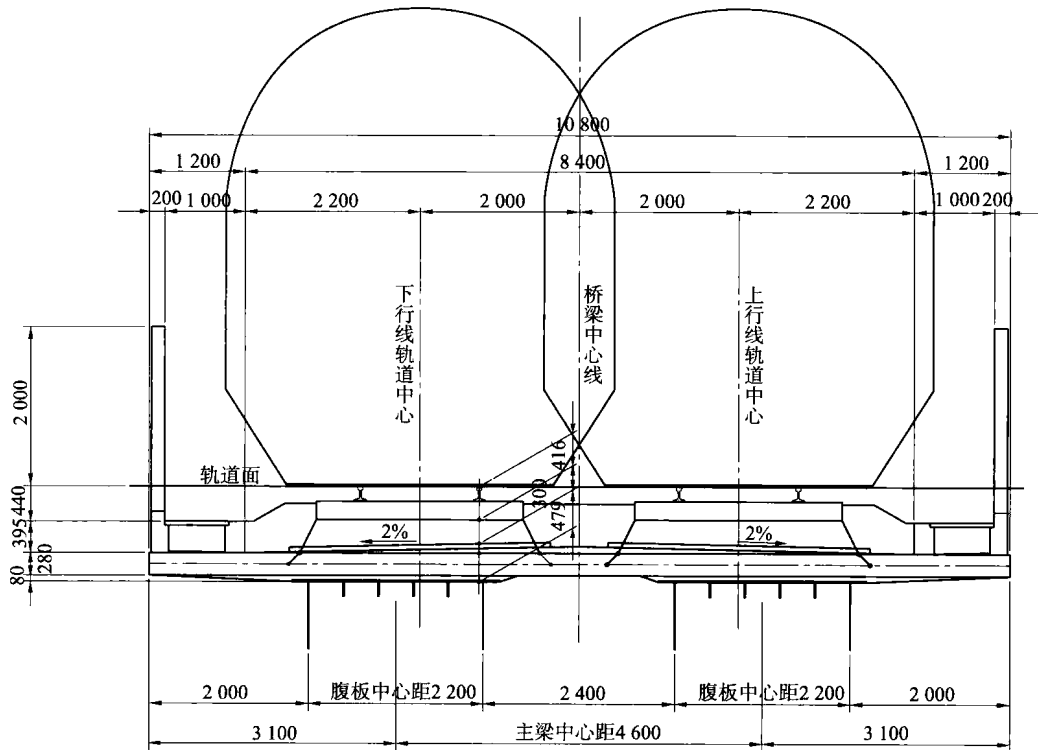
(1)桥面板用钢筋混凝土设计理论进行检算。

(2)荷载沿桥轴方向 1.0 m 长作为单向板计算单位。

(3)桥面板通常是以钢梁腹板作为支点,连续梁模式计算。由于作用在悬臂部分的截面力较大,所以本设计对悬臂部分做详细计算。

2.1 设计条件

2.1.1 桥面板截面形状



2.1.2 材料

混凝土

混凝土强度等级:C55

设计弯曲受压强度: $[\sigma_b]$ = 18.5 N/mm²

钢筋混凝土主拉应力: $[\sigma_{tp-1}]$ = 2.97 N/mm²

混凝土弹性模量: $[E_c]$ = 36 000 N/mm²

弹性模量比: n = 10

钢筋

普通螺纹钢筋:HRB335

设计张拉强度: $[f_s]$ = 335 N/mm²

钢材弹性模量: $[E_s]$ = 200 000 N/mm²

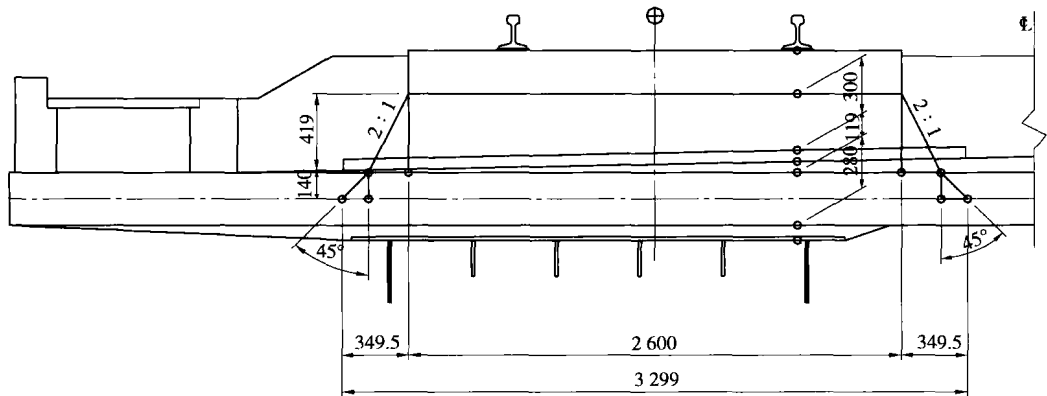
截面最小配筋率: ρ = 0.20%

钢筋的净保护层厚度:桥面板上面 30 mm

桥面板下面 35 mm

2.2 荷载计算

- 轨道重量和列车重量的分布宽度：
(轨枕宽度) + (两端轨枕下道砟层 2:1 坡底的宽度) + (45°至桥面板有效厚度中心位置的宽度)

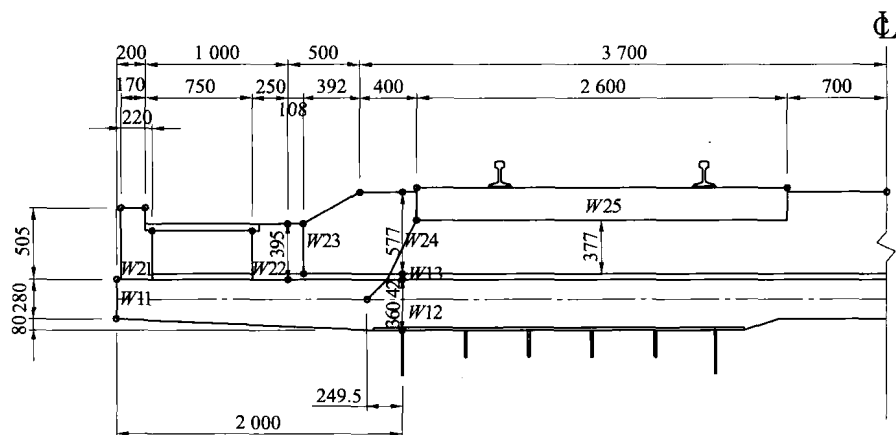


轨道重量和列车重量的分布宽度

$$\text{分布宽度 } b_e = 2.600 + 0.419 + 0.280 = 3.299 \text{ m}$$

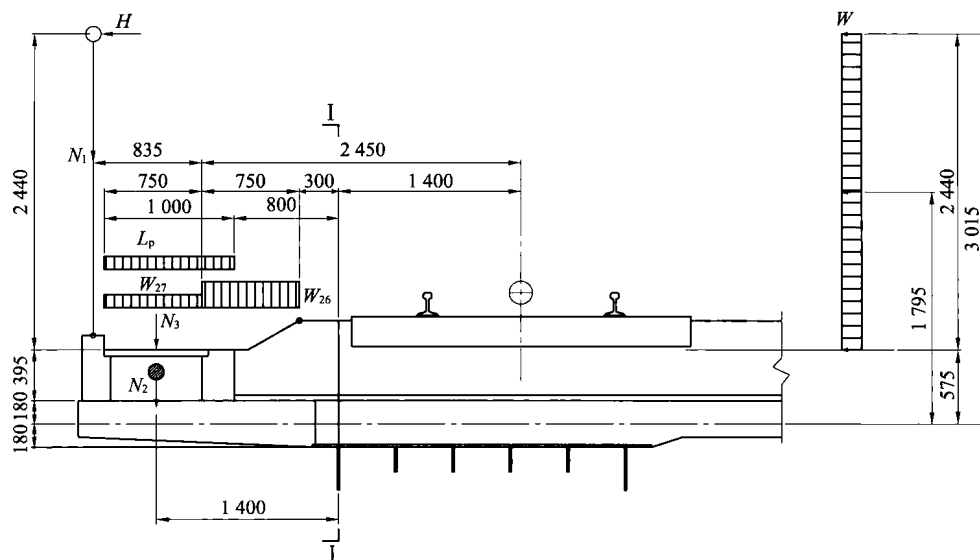
2.2.1 恒载

- 恒载:桥面板自重,排水坡,道砟,轨道,电缆槽外墙,挡砟墙,栏杆和立柱,电缆,声屏障。
- 由于道砟实际重量的不确定性,所以计算道砟荷载时重量增加 10%。
- 考虑到人工养护道砟桥面时,在人行道上有堆砟以及更换轨枕的需要,所以将其也计入恒载之中,但不与列车荷载组合。



调整系数

桥 面 板	W_{11}	$= 25.0 \times 0.280 \times 1.000 \times 1.0 = 7.0 \text{ kN/m}$	
	W_{12}	$= 25.0 \times 0.360 \times 1.000 \times 1.0 = 9.0 \text{ kN/m}$	
排 水 坡	W_{13}	$= 23.0 \times 0.042 \times 1.000 \times 1.0 = 1.0 \text{ kN/m}$	
电 缆 槽 外 墙	W_{21}	$= 25.0 \times 0.505 \times 1.000 \times 1.0 = 12.6 \text{ kN/m}$	
挡 砟 墙	W_{22}	$= 25.0 \times 0.395 \times 1.000 \times 1.0 = 9.9 \text{ kN/m}$	
道 砟	W_{23}	$= 21.0 \times 0.353 \times 1.000 \times 1.1 = 8.2 \text{ kN/m}$	
	W_{24}	$= 21.0 \times 0.577 \times 1.000 \times 1.1 = 13.3 \text{ kN/m}$	
轨 道	W_{25}	$= 7.0 / 3.299 \times 1.000 \times 1.0 = 2.1 \text{ kN/m}$	
堆 放 道 砟	W_{26}	$= 1.0 \times 10.0 = 10.0 \text{ kN/m}$	轨道中心 ~ 2.45 m 以内 《桥规》4.5.1
堆 放 道 砟	W_{27}	$= 1.0 \times 4.0 = 4.0 \text{ kN/m}$	轨道中心 ~ 2.45 m 以外 《桥规》4.5.1
声 屏 障	N_1	$= 1.0 \times 5.0 = 5.0 \text{ kN}$	
电 缆	N_2	$= 1.0 \times 1.0 = 1.0 \text{ kN/m}$	
道 砟 车	N_3	$= 1.5 \text{ kN}$	《桥规》4.5.1



人行道道砟

2.2.2 人行道荷载

• 人行道荷载:人群荷载,栏杆推力。依据《桥规》4.5.1 立柱和扶手应按 1.0kN 集中力考虑,但是本设计中设置了声屏障,因而可不计。

$$\text{人群荷载 } L_p = 1.0 \times 4.0 = 4.0 \text{ kN/m}$$

《桥规》4.5.1

$$\text{栏杆水平推力 } H = 1.0 \times 0.75 = 0.75 \text{ kN}$$

《桥规》4.5.1

2.2.3 列车荷载

轨枕长度方向等分布荷载

$$W_L = P / b_e = 220 / 3.299 = 66.7 \text{ kN/m}$$

$$P = 220 \text{ kN} \quad (\text{列车轴重})$$

$$b_e = 3.299 \text{ m} \quad (\text{横向分布宽度})$$

2.2.4 动力系数

$$\begin{aligned} \mu &= 4 \times (1 - h) \times 6 / (30 + L) \\ &= 4 \times (1 - 0.377) \times 6 / (30 + 0.499) \\ &= 0.490 \end{aligned}$$

《桥规》4.3.5

$$h = 0.377 \text{ m} \quad (\text{轨枕底道砟平均厚度})$$

$$L = 2 \times 0.2495 = 0.499 \text{ m} \quad (\text{计算长度})$$

2.2.5 风力

$$\text{有车时 } W_d = W \times H_w = 1.250 \times 2.440 = 3.050 \text{ kN/m}$$

$$\text{无车时 } W_d = W \times H_w = 2.100 \times 2.440 = 5.124 \text{ kN/m}$$

2.3 截面力计算

2.3.1 弯矩(I—I 位置)

桥面板

$$\begin{cases} 9.00 \times 2.000 \times 2.000 / 2 \\ -2.00 \times 1.800 / 2 \times (-1.800 / 3 + 2.000) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} &= 18.00 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &= -2.52 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

排水坡

$$\begin{cases} 1.00 \times 0.800 \times 0.800 / 2 \\ 1.00 \times 0.700 \times (2.000 - 0.250 - 0.700 / 2) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} &= 0.32 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &= 0.98 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

电缆槽外墙

$$12.60 \times 0.220 \times (2.000 - 0.030 - 0.220 / 2)$$

$$= 5.16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

挡砟墙

$$9.90 \times 0.250 \times (2.000 - 1.200 + 0.250 / 2)$$

$$= 2.29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

道砟

$$\begin{cases} 8.20 \times 0.800 \times 0.800 / 2 \\ 13.30 \times 0.300 \times 0.300 / 2 \\ (13.30 - 8.20) \times 0.392 / 2 \times (0.30 + 0.392 / 3) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} &= 2.62 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &= 0.60 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &= 0.43 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

轨道

$$2.10 \times 0.2495 \times 0.2495 / 2$$

$$= 0.07 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

声屏障

$$5.00 \times (2.000 - 0.030 - 0.170 / 2)$$

$$= 9.43 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

电缆

$$1.00 \times 1.400$$

$$= 1.40 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

M_{D1}

$$= 38.77 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

堆放道砟

$$10.00 \times 0.750 \times (0.750 / 2 + 0.300)$$

$$= 5.06 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

堆放道砟

$$4.00 \times 0.750 \times (0.750 / 2 + 1.050)$$

$$= 4.28 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

换砟车

$$1.50 \times 1.400$$

$$= 2.10 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

M_{D2}

$$= 11.44 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

人群荷载

$$4.00 \times 1.000 \times (1.000 / 2 + 0.800)$$

$$= 5.20 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

水平推力

$$0.75 \times (2.440 + 0.395 + 0.360 / 2)$$

$$= 2.26 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

M_{LP}

$$= 7.46 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

列车荷载

$$M_L = 66.70 \times 0.2495 \times 0.2495 / 2 \times 1.000 / 0.499$$

$$= 4.16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

动力荷载

$$M_\mu = 4.16 \times 0.490$$

$$= 2.04 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

有车时风力

$$M_{w1} = 3.050 \times (2.440 / 2 + 0.395 + 0.360 / 2)$$

$$= 5.47 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

无车时风力

$$M_{w2} = 5.124 \times (2.440 / 2 + 0.395 + 0.360 / 2)$$

$$= 9.20 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

荷载组合(弯矩) (kN·m)

荷载组合	恒载	换砟	人群	列车	动力荷载	有车风力	无车风力	设计用值
	D_1	D_2	L_p	L	μ	W_1	W_2	Σ
弯矩特征值	38.77	11.44	7.46	4.16	2.04	5.47	9.20	
$D_1 + L_p + L$	1.00		1.00	1.00				50.39
$D_1 + L + \mu + W_1$	1.00			1.00	1.00	1.00		50.44
$D_1 + W_2$	1.00						1.00	47.97
$D_1 + D_2$	1.00	1.00						50.21

2.3.2 剪力(I — I 位置)

桥面板

9.00 × 2.000

−2.00 × 1.800 / 2

= 18.00 kN

= −1.80 kN

排水坡

1.00 × 0.800

1.00 × 0.700

= 0.80 kN

= 0.70 kN

电缆槽

12.60 × 0.220

= 2.77 kN

挡砟墙

9.90 × 0.250

= 2.48 kN

道砟

8.20 × 0.800

13.30 × 0.300

(13.30 − 8.20) × 0.392 / 2

= 6.56 kN

= 3.99 kN

= 1.00 kN

轨道

2.10 × 0.2495

= 0.52 kN

声屏障

5.00

= 5.00 kN

电缆

1.00

= 1.00 kN

S_{D1}

= 41.02 kN

堆放道砟

10.00 × 0.750 × (0.750 / 2 + 0.300)

= 5.06 kN

堆放道砟

4.00 × 0.750 × (0.750 / 2 + 1.050)

= 4.28 kN

换砟车

1.50 × 1.400

= 2.10 kN

S_{D2}

= 11.44 kN

人群荷载

S_{LP}

= 4.00 × 1.000

= 4.00 kN

单向板宽 有效宽

列车荷载

S_L

= 66.70 × 0.2495 × 1.000 / 0.499

= 33.35 kN

动力荷载

S_{μ}

= 33.35 × 0.490

= 16.34 kN

荷载组合(剪力) (kN)

荷载组合	恒载	换砟	人群	列车	动力荷载	有车风力	无车风力	设计用值
	D_1	D_2	L_p	L	μ	W_1	W_2	Σ
剪力特征值	41.02	11.44	4.00	33.35	16.34			
$D_1 + L_p + L$	1.00		1.00	1.00				78.37
$D_1 + L + \mu + W_1$	1.00			1.00	1.00	1.00		90.71
$D_1 + W_2$	1.00						1.00	41.02
$D_1 + D_2$	1.00	1.00						52.46

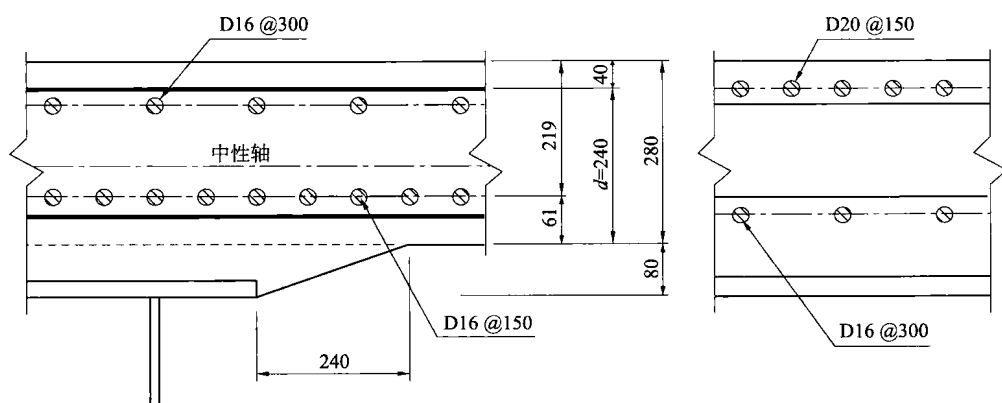
2.4 截面检算

前提：

- (1) 桥面板悬臂部承受负弯矩的同时,剪力也较大。为了简化计算,剪力也在同一位置检算。
- (2) 单筋设计较双筋设计安全而且简捷,所以本设计采用单筋设计。
- (3) 由于梁端设置了端横梁,所以不用配筋进行补强也可。但配筋类型太多,所以与悬臂部同样处理。

2.4.1 强度检算

梗肋高 60 mm,箱形梁上翼缘板厚度假定按 20 mm 计。



弯曲强度计算

螺纹主筋 D20 (HRB335)

$$A_s = 1000 / 150 \times 314.2 = 2094 \text{ mm}^2$$

$$n = 10$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 240 \text{ mm}$$

$$p = A_s / (b \times d) = 2094 / (1000 \times 240) = 0.0087$$

$$n \times p = 10 \times 0.0087 = 0.087$$

$$\alpha = [(n \times p)^2 + 2 \times (n \times p)]^{0.5} - (n \times p) = 0.3395$$

$$x = \alpha \times d = 0.3395 \times 240 = 81.5 \text{ mm}$$

$$J = 1 - \alpha / 3 = 0.8868$$

$$M = 50.44 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} \sigma_s &= M / (A_s \times J \times d) \\ &= 50.44 \times 10^6 / (2094 \times 0.8868 \times 240) \\ &= 113.2 \text{ N/mm}^2 < [\sigma_s] = 180 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_c &= 2M / (a \times J \times b \times d^2) \\ &= 2 \times 50.44 \times 10^6 / (0.3395 \times 0.8868 \times 1000 \times 240^2) \\ &= 5.8 \text{ N/mm}^2 < [\sigma_b] = 18.5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

剪应力强度计算

$$\begin{aligned} \tau &= V / (b \times d) \\ &= 90.71 \times 10^3 / (1000 \times 240) \\ &= 0.4 \text{ N/mm}^2 < [\sigma_{ip-1}] = 2.97 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

2.4.2 裂纹宽度检算

因为,桥面板上面设有排水坡,所以采用有防护措施的裂纹宽度容许值
裂缝宽度检算

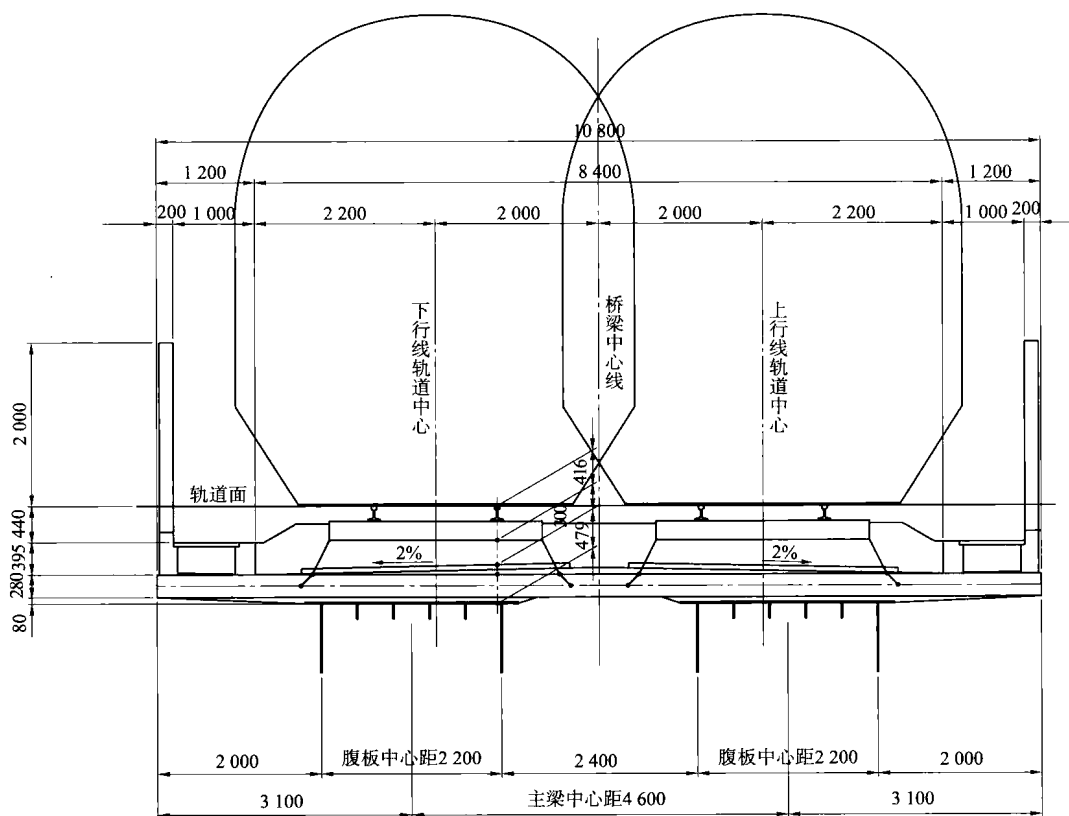
$$\begin{aligned} w_f &= K_1 \times K_2 \times r \times \sigma_s / E_s \times [80 + (8 + 0.4d) / \mu_z^{0.5}] \\ &= 0.8 \times 1.472 \times 1.2 \times 100.9 / 200000 \times [80 + (8 + 0.4 \times 20) / 0.0262^{0.5}] \\ &= 0.13 \text{ mm} < [w_f] = 0.25 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{《混桥》5.2.8}$$

式中

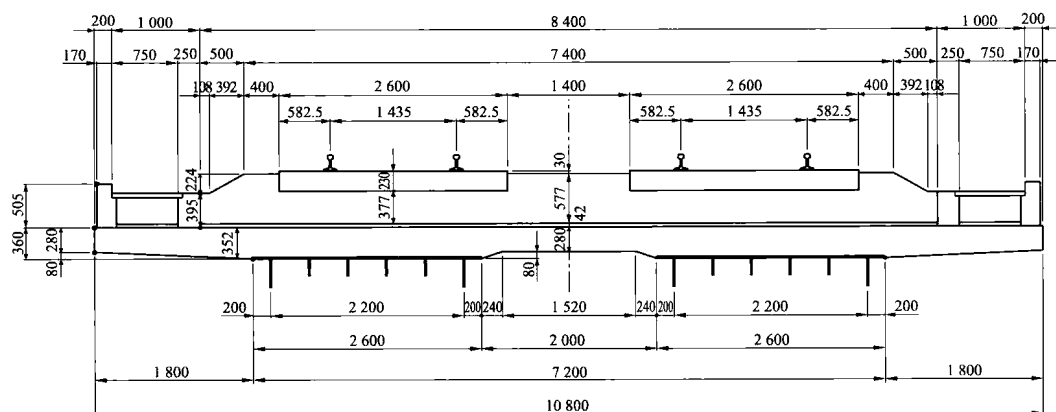
$$\begin{aligned} K_1 &= 0.8 \quad \text{螺纹筋} \\ K_2 &= 1 + \alpha \times M_1 / M + 0.5 \times M_2 / M = 1.472 \\ \alpha &= 0.3 \quad \text{系数:采用螺纹筋} \\ M_1 &= 6.2 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{活载作用下的弯矩(含动力系数)} \\ M_2 &= 38.77 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{恒载作用下的弯矩} \\ M &= 44.97 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{全部荷载作用下的弯矩} \\ x &= 81.5 \text{ mm} \\ r &= (280 - x) / (280 - x - 40) = 1.252 \quad \text{取 } 1.2 \\ \sigma_s &= 44.97 / 50.4 \times 113.2 = 100.9 \text{ N/mm}^2 \\ d &= 20 \text{ mm} \quad \text{螺纹筋直径} \\ \mu_z &= (B_1 \times n_1 + B_2 \times n_2 + B_3 \times n_3) \times A_{sl} / A_{cl} = 0.0262 \\ A_{sl} &= 2094 \text{ mm}^2; \\ A_{cl} &= 2 \times a \times b = 2 \times 40 \times 1000 = 80000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

§3 主梁设计

3.1 截面形状



截面形状图



桥面形状图