

铁路桥梁结构设计算例丛书

简支劲性梁设计算例

吕佳欣 李晓煜 编著

JIANZHI JINGXINGLIANG SHEJI SUANLI

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

中国美术学院美术考级教材

网页美工设计案例

中国美术学院美术考级教材

中国美术学院美术考级教材

中国美术学院美术考级教材

铁路桥梁结构设计算例丛书

简支劲性梁设计算例

吕佳欣 李晓煜 编著

中国铁道出版社

2012年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

简支劲性梁设计算例/吕佳欣, 李晓煜编著. —北京:
中国铁道出版社, 2012. 3

(铁路桥梁结构设计算例丛书)

ISBN 978-7-113-14190-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 022072 号

书 名: 铁路桥梁结构设计算例丛书
简支劲性梁设计算例
作 者: 吕佳欣 李晓煜 编著

责任编辑: 张 婕 电话: (010)51873141 电子信箱: crph_zj@163.com
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 胡明锋
责任印制: 陆 宁

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: 三河市华丰印刷厂
版 次: 2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷
开 本: 880 mm × 1 230 mm 1/16 印张: 3.75 字数: 120 千
书 号: ISBN 978-7-113-14190-5
定 价: 16.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。

电话: (010) 51873170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

前 言

劲性梁在桥梁界并不陌生，它与结合梁同属于复合结构，而养护上又归结到钢筋混凝土结构。目前我国劲性梁使用的虽不很多，但因为有简化结构，降低梁高等很多优势，所以有很好的发展前景。应用这项技术，更多地了解劲性梁的特点是这本算例的主要目的。

劲性梁（Steel Reinforced Concrete，简称 SRC 结构）通常称为外包梁。劲性梁的构造定义：将 H 形钢或者焊接 I 截面钢梁周围包上钢筋混凝土，使其成为一个力学整体共同抵抗外力。

劲性梁中仅钢梁的下翼缘板底面裸露在外，其余部分几乎全部预埋在钢筋混凝土内。正是有了混凝土的支护，钢梁在发挥主要承载作用之外，在使用上得到了诸多方面的改善。

1. 混凝土的保护，避免钢梁的压溃稳定问题，可以减小受压区翼缘板的截面，还可以略去加劲肋，简化结构；
2. 钢梁的绝大部分表面都预埋在混凝土内，可以节省涂装和涂装养护费用，降低造价；
3. 可以避免钢梁的噪声污染，保护环境；
4. 混凝土桥面板增加了劲性梁的刚度，减小结构的振动，提高乘客乘坐的舒适度；
5. 梁低，可以替换既有线提速桥梁中的超低高度梁；
6. 因为梁低，不但美观和轻巧，而且可以增加桥下的净高。

因此劲性梁既保留了复合结构刚度大的优势，又克服了钢梁锈蚀、噪声、压屈稳定等弱点。

钢与混凝土的弹性模量比通常在 6~8，在同等梁高的情况下，劲性梁刚度完全可以等同于超低高度预应力混凝土梁。劲性梁的另一个优势是主梁可以充当施工支架，在架设现场可以省去脚手架和架桥机，显著缩短施工工期，降低施工成本。

若将混凝土比作人的肌体，钢筋比作人的韧带，钢梁可比作人的骨骼。那

么在负重中骨骼的作用该有多大，不言而喻。当然除了上述优点之外，劲性梁也有两点不足：一个是造价比钢筋混凝土梁略高，另一个是结构计算配筋也相对复杂。

综上所述，正是因为韧性大、抗震性好、梁低、施工方便等诸多实用性优势，劲性梁特别适合用于建筑高度受限制的（城市）交叉路口的低高度梁。在精打细算的日本，劲性梁已经作为成熟的结构普及使用了几十年，从容许应力设计法到极限状态设计法，一点一点的发展起来。如今 SRC 结构已经和钢结构，钢筋混凝土结构，木结构并列称作为四大主力结构。在历次大小地震中，坚固的 SRC 结构都经受住了考验，成为耐震的样板结构。

我国在高层建筑领域采用过 SRC 结构，桥梁方面也有过劲性梁设计的记载。但是总体上来讲，应用的不多。编者本人曾有过九次劲性梁详细设计（极限状态法）及若干次概略设计的经历。鉴于我国国情，本算例仍采用容许应力法。希望以这种设计算例的形式将劲性梁加以推广。

注意：在参考本算例时，应依据相应规范进行严格计算，并酌情处理设计细节，不得完全生搬硬套。设计规范若有变更，应遵守新的条文规定。

本书是铁路桥梁结构设计算例丛书之一。若能借鉴算例进行实桥的设计，将是万分的荣幸。

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

2012 年 2 月

目 录

§ 1 设计条件	1
1.1 基本条件	1
1.2 设计荷载	1
1.3 使用材料	2
1.4 设计规范	2
1.5 符号说明	3
1.6 设计概图	4
§ 2 主梁设计	5
2.1 截面形状	5
2.2 荷载计算	6
2.3 外力计算	8
2.4 强度检算	9
2.5 刚度检算	16
2.6 裂纹检算	19
2.7 疲劳检算	20
2.8 施工检算	23
2.9 拼接计算	26
§ 3 支座设计	32
3.1 支点反力	32
3.2 水平位移	39
3.3 支座检算	41
§ 4 防落梁装置设计	45
4.1 水平反力	45
4.2 固定端防落梁装置检算	46
4.3 活动端防落梁装置检算	49
附录 劲性梁设计资料汇总表	51

§1 设计条件

1.1 基本条件

形式:	双线铁路简支劲性梁		
桥长:	25.200	m	
梁长:	24.600	m	
跨度:	24.000	m	
梁高:	1.500	m	
桥面宽:	10.800	m	
线路中心距:	4.000	m	
列车荷载:	中—荷载		
设计速度:	160	km/h	
道床类型:	有砟道床		
轨类型:	60	kg 钢轨	
线路数:	双线		
平面线形:	$R = \infty$ m (直线)		
纵断面线形:	水平		
桥面构造尺寸:	轨顶 ~ 桥面板顶面的高度		
	钢轨高度 (60 kg/m)	176	mm
	枕木厚 (含垫板)	230	mm
	道砟厚	350	mm
	道砟垫层厚	60	mm
	排水坡厚	100	mm
	合 计	916	mm
环境条件:	一般环境		
桥面横向排水:	2%		
设计水平震度:	$K_h = 0.20$		
支承类型:	板式橡胶支座		
防落梁装置:	方形空心型钢		

1.2 设计荷载

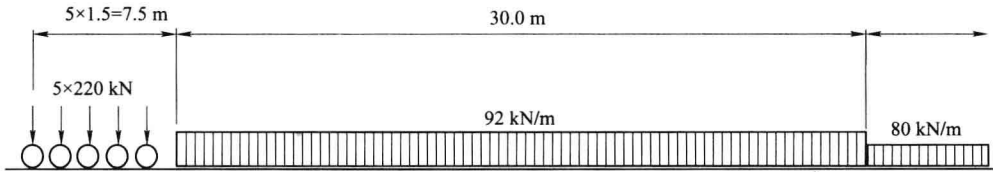
(1) 一期恒载 (D_1)

钢梁:	78.5 kN/m ³
劲性梁:	27.0 kN/m ³
钢筋混凝土:	25.0 kN/m ³
木制模板:	7.5 kN/m ³

(2) 二期恒载 (D_2)

混凝土:	23.0 kN/m ³
碎石道砟:	21.0 kN/m ³
声屏障:	10.0 kN/m/每侧
60kg/m 钢轨:	0.6 kN/m/根
轨枕及扣件等:	3.46 kN/根
轨枕数量:	1 667 根/km

(3) 列车活载(L)



(4) 动力系数 μ

$$\mu = \alpha \times \left(\frac{6}{30 + L} \right) \qquad \alpha \leq 2.0$$

(5) 温度变化

$$-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +35\text{ }^{\circ}\text{C}$$

(6) 混凝土极限压缩应变

$$\varepsilon_c = 0.0030$$

1.3 使用材料

- 混凝土强度等级: C45
混凝土弯曲受压容许应力: 15.0 N/mm²
钢筋材质: HRB335
钢筋抗拉强度标准值: 335 N/mm²
钢筋容许应力: 180 N/mm²
钢筋梁材质: Q370q
Q370qE 屈服强度: $\begin{matrix} 370\text{ N/mm}^2 & t \leq 16\text{ mm} \\ 355\text{ N/mm}^2 & 16 < t \leq 35\text{ mm} \\ 330\text{ N/mm}^2 & 35 < t \leq 60\text{ mm} \end{matrix}$
高强度螺栓: 螺栓直径 M22
钢材弹性模量: $E_s = 210000\text{ N/mm}^2$
钢筋弹性模量: $E_r = 200000\text{ N/mm}^2$
混凝土弹性模量: $E_c = 34500\text{ N/mm}^2$
混凝土线膨胀系数: $\alpha = 10 \times 10^{-6}\text{ } 1/^{\circ}\text{C}$

1.4 设计规范	《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》	简称:《混桥》
	(TB 10002.3—2005)	
	《铁路桥涵设计基本规范》	简称:《桥规》
	(TB 10002.1—2005)	
	《铁路桥梁钢结构设计规范》	简称:《钢桥》
	(TB 10002.2—2005)	
	《铁路工程抗震设计规范》	简称:《抗震》
	(GB 50111—2006)	
	《铁路钢桥制造规范》	简称:《制造》
	(TB 10212—2009)	
	《铁路轨道设计规范》	简称:《轨道》
	(TB 10082—2005)	
	《新建铁路桥上无缝线路设计暂行规定》	简称:《线路》
	《高速铁路设计规范(试行)》	简称:《高速》
	(TB 10621—2009)	
参考规范	《铁道构造物等设计标准·同解说 钢和混凝土复合构造物》	简称:《复合》
	(2002年3月,即日本平成14年12月)	
	《道路桥示方书·同解说 I 共通篇 II 钢桥篇》	简称:《道桥》
	(2002年3月,即日本平成14年3月)	

1.5 符号说明

1.5.1 外力,内力

- M — 弯矩
- V — 剪力
- C — 劲性梁中混凝土承载力
- T_r — 劲性梁中钢筋承载力
- T_s — 劲性梁中钢梁承载力

1.5.2 材料容许应力

- $[\sigma]$ — 钢材基本容许应力
- $[\sigma_w]$ — 钢材弯曲容许应力
- $[\sigma_0]$ — 钢材疲劳容许应力幅
- $[\tau]$ — 钢材剪切容许应力
- $[\sigma_b]$ — 弯曲受压时混凝土的容许应力

1.5.3 截面

- FLG — 钢梁翼缘板
- Web — 钢梁腹板
- A_{ve} — 劲性梁换算截面积
- I_s — 钢梁二次惯性矩
- I_{ve} — 劲性梁换算截面二次惯性矩

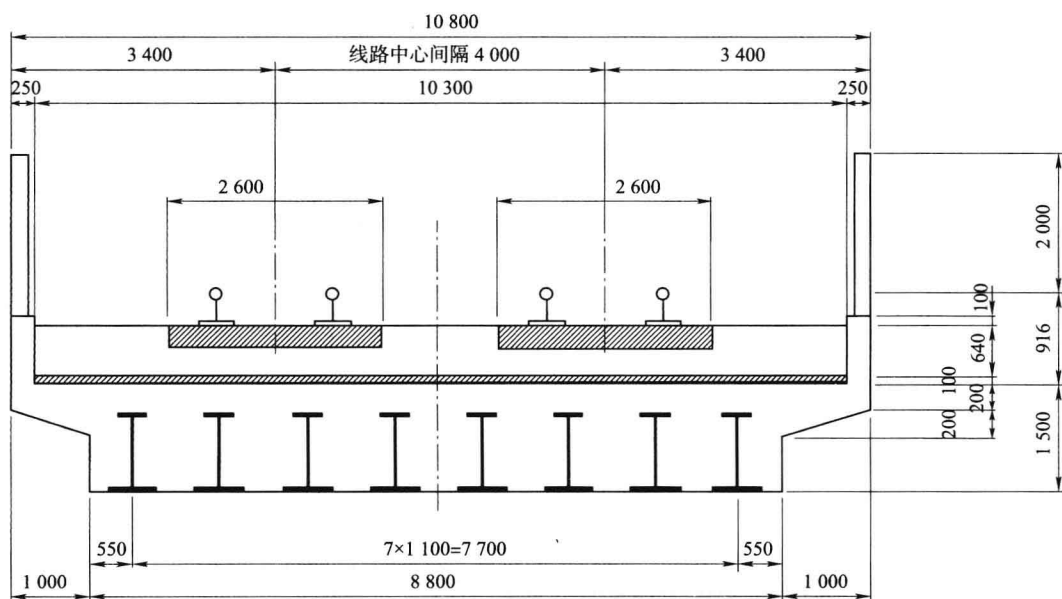
1.5.4 计算系数

- E_c — 混凝土的弹性模量
- E_s — 钢的弹性模量
- E_r — 钢筋的弹性模量
- ε_c — 混凝土压缩应变
- α — 混凝土的线膨胀系数
- t — 温度变化
- μ — 列车竖向动力系数
- 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 — 钢或者钢筋与混凝土的弹性模量比

§2 主梁设计

2.1 截面形状

截面示意图



设计前提

- (1) 劲性梁的外力计算依据混凝土硬化前后而分为第一受力阶段和第二受力阶段。第一受力阶段的荷载为一期恒载,仅由钢梁承受。第二受力阶段的荷载为二期恒载和运营荷载,均由劲性梁承受。
- 一期恒载:混凝土硬化前的结构物自重,即钢梁、钢筋混凝土梁体、模板等质量。
- 二期恒载:混凝土硬化后的结构物重量,即排水层、挡砟墙、道砟、轨道、声屏障、模板等质量。
- 运营荷载:即列车活载、动力作用、长钢轨纵向水平力、离心力及附加力。

施工荷载:即一期恒载和施工临时荷载。

- (2) 劲性梁的单位容重 W 计算如下式

$$W = 25.0 \times (1 - \rho) + 78.5 \times \rho$$

$$\rho = \text{跨中钢梁截面积/劲性梁全面积}$$

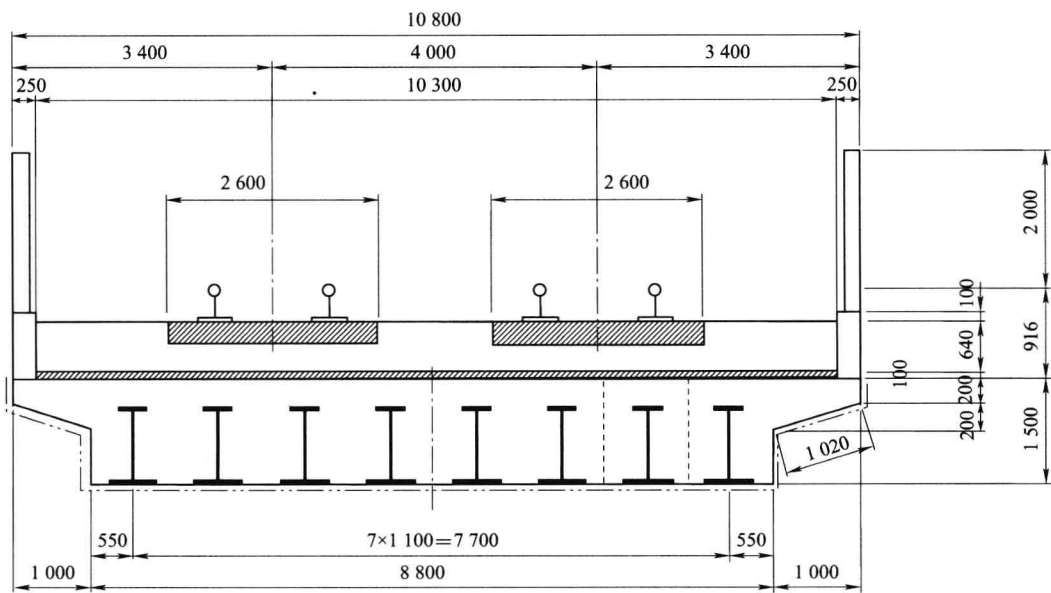
$$\text{通常情况下 } W = 26.5 \text{ kN/m}^3 \sim 28.0 \text{ kN/m}^3$$

- (3) 考虑到二期恒载中道砟重量的不确定性,道砟荷载计算时增加 20%。
- (4) 由于劲性梁的横向刚度较大,所以横向附加力省略。
- (5) 桥面板的检算可参照同类算例《简支结合梁设计算例》,此算例不再重复叙述。
- (6) 参照《混桥》条文说明 5.1.1,变形计算时,不计受拉区混凝土,截面刚度按 $0.8E_cI_{vc}$ 计算。
- (7) 一期恒载产生的外力,理论上应该采用格子梁进行解析计算,求解外梁与内梁的外力值。由于分配横梁的平衡作用,依据以往格子梁解析计算的结果,内外梁的外力值差别不大。所以可将格子梁解析简化成整体梁进行计算。
- (8) 截面检算时,偏于安全不计梗肋截面;而刚度计算时,考虑了梗肋截面。
- (9) 极限状态法设计在国外劲性梁设计中应用的极为广泛,有些国家已有近 30 年的设计累计并且逐步达到了成熟阶段。为此,本算例也附加了极限状态法的部分结果供参考。

依据《钢桥》4.1.1,“结构构件的内力应按弹性受力阶段确定”。所以在没有得到“认可”的情况下,不得采用极限状态法设计。

2.2 荷载计算

2.2.1 恒载



(1)一期恒载 D_1

		高 (mm)	宽 (厚) (mm)	容重 (kN/m ³)	系数	
梁 体 部 分	$W_1 =$	1500	× 8800	× 27.0	× 1 / 10 ⁶	= 356.40
外 侧 悬 臂	$W_2 =$	200	× 1000	× 25.0	× 2 / 10 ⁶	= 10.00
外 侧 梗 肋	$W_3 =$	200	× 1000	× 25.0	× 0.5 / 10 ⁶	= 2.50
外 侧 梗 肋	$W_4 =$	200	× 1000	× 25.0	× 0.5 / 10 ⁶	= 2.50
一 期 模 板	$W_5 =$	1300	× 100	× 7.5	× 2 / 10 ⁶	= 1.95
一 期 模 板	$W_6 =$	1020	× 100	× 7.5	× 2 / 10 ⁶	= 1.53
一 期 模 板	$W_7 =$	8800	× 100	× 7.5	× 1 / 10 ⁶	= 6.60
一 期 模 板	$W_8 =$	-750	× 100	× 7.5	× 8 / 10 ⁶	= -4.50
一 期 模 板	$W_9 =$	50	× 100	× 7.5	× 16 / 10 ⁶	= 0.60
						$W_{D1} = 377.58 \approx 380 \text{ kN/m}$

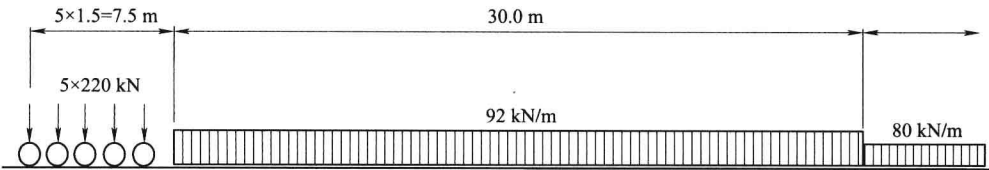
(2)二期恒载 D_2

		高 (mm)	宽 (厚) (mm)	容重 (kN/m ³)	系数	
道 砟 及 垫 层	$W_1 =$	10300	× 640	× 21.0	× 1.2 / 10 ⁶	= 166.12
枕 木	$W_2 =$	2600	× 230	× 21.0	× -2 / 10 ⁶	= -25.12
排 水 坡	$W_3 =$	10300	× 100	× 23.0	× 1 / 10 ⁶	= 23.69
挡 砟 墙	$W_4 =$	250	× 840	× 25.0	× 2 / 10 ⁶	= 10.50
轨 道	$W_5 =$	6.97	× 2 线			= 13.94
声 屏 障	$W_6 =$	10.0	× 2 侧			= 20.00
一期模板拆除	$W_7 =$					= -1.95
一期模板拆除	$W_8 =$					= -1.53
一期模板拆除	$W_9 =$					= -6.60
一期模板拆除	$W_{10} =$					= 4.50
一期模板拆除	$W_{11} =$					= -0.60
挡砟墙模板	$W_{12} =$					= 0.00
						$W_{D2} = 202.90 \approx 205 \text{ kN/m}$

轨道重量计算			
钢轨	0.60 kN/m/根	× 2 根	= 1.20
轨枕,扣件	3.46 kN/根	× 1667 根 / 1000 m	= 5.77
			= 6.97 kN/m

2.2.2 列车荷载(L)

中一荷载



2.2.3 动力系数 μ

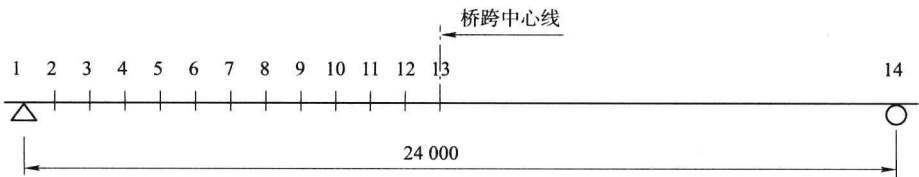
2.2.3.1 弯矩计算用动力系数 μ

$$\begin{aligned}\mu &= \alpha \times \frac{6}{30 + L} \\ &= 4 \times (1 - h) \times \frac{6}{30 + L} \\ &= 4 \times (1 - 0.640) \times \frac{6}{30 + 24.000} \\ &= 1.440 \times 0.111 \\ &= 0.160 \\ h &= 0.640 \text{ m} \quad (\text{轨底至排水层的厚度})\end{aligned}$$

$\alpha \leq 2.0$

2.2.3.2 剪力计算用动力系数 μ

节点设定



节点坐标及剪力计算用动力系数

节点	X (m)	L (m)	剪力计算 μ	注 解
1	0.000	24.000	0.160	支 点
2	1.000	23.000	0.163	
3	2.000	22.000	0.166	
4	3.000	21.000	0.169	
5	4.000	20.000	0.173	
6	5.000	19.000	0.176	
7	6.000	18.000	0.180	
8	7.000	17.000	0.184	变截面 Section—2
9	8.000	16.000	0.188	
10	9.000	15.000	0.192	
11	10.000	14.000	0.196	
12	11.000	13.000	0.201	
13	12.000	12.000	0.206	跨中截面 Section—1
14	24.000	0.000	0.160	支 点

2.3 外力计算

任意位置恒载弯矩计算公式

$$M_x = [1/8 \times q \times L^2] \times [4 \times (X/L - X^2/L^2)] = [M_{\text{跨中}}] \times [4 \times (X/L - X^2/L^2)]$$

任意位置恒载剪力计算公式

$$S_x = [q \times L/2] \times (1 - 2 \times X/L)$$

活载计算值采用程序解析(轮位连动荷载)

外力汇总表

位 置		弯矩 (kN · m)				剪力 (kN)				备 注
		恒 载		单线活载		恒 载		单线活载		
节点	$X(m)$	M_{D1}	M_{D2}	M_L	M_{μ}	S_{D1}	S_{D2}	S_L	S_{μ}	
1	0.000	0	0	0	0	4560	2460	1484	237	支点
2	1.000	4370	2358	1377	220	4180	2255	1377	224	
3	2.000	8360	4510	2547	408	3800	2050	1273	211	
4	3.000	11970	6458	3645	583	3420	1845	1174	198	
5	4.000	15200	8200	4564	730	3040	1640	1078	186	
6	5.000	18050	9738	5377	860	2660	1435	986	174	
7	6.000	20520	11070	6053	968	2280	1230	898	162	
8	7.000	22610	12198	6585	1054	1900	1025	814	150	Section—2
9	8.000	24320	13120	7028	1124	1520	820	734	138	
10	9.000	25650	13838	7310	1170	1140	615	657	126	
11	10.000	26600	14350	7482	1197	760	410	585	115	
12	11.000	27170	14658	7550	1208	380	205	516	104	
13	12.000	27360	14760	7480	1197	0	0	451	93	Section—1

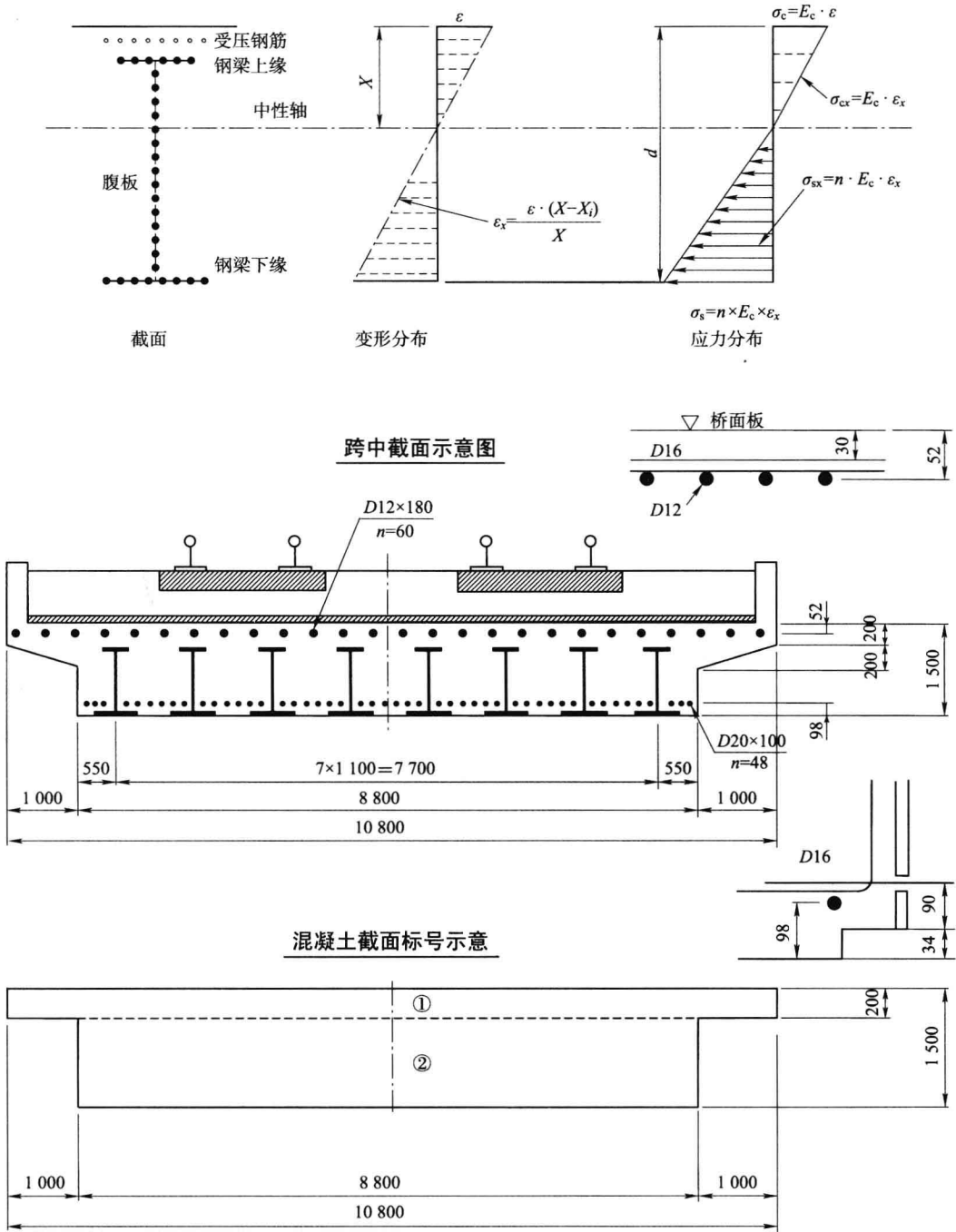
截面检算用设计值

节 点	荷载类型	符号	弯矩 (kN · m)			剪力 (kN)			备 注
			计算值	系数	设计值	计算值	系数	设计值	
13	一期荷载	D ₁	27360	1.00	27360	0	1.00	0	跨中截面 Section—1 (拼接位置)
	二期荷载	D ₂	14760	1.00	14760	0	1.00	0	
	列车活载	L	7480	1.80	13464	451	1.80	812	
	动力荷载	μ	1197	1.80	2155	93	1.80	167	
	D ₁ + D ₂ + L + μ				57739			979	
8	一期荷载	D ₁	22610	1.00	22610	1900	1.00	1900	变截面 Section—2
	二期荷载	D ₂	12198	1.00	12198	1025	1.00	1025	
	列车活载	L	6585	1.80	11853	814	1.80	1465	
	动力荷载	μ	1054	1.80	1897	150	1.80	270	
	D ₁ + D ₂ + L + μ				48558			4660	

2.4 强度检算

截面计算以下述假定为依据

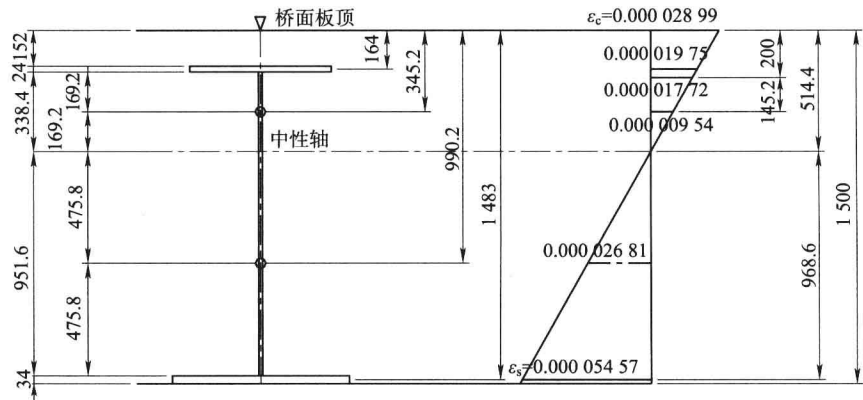
- (1) 应变从中性轴起与距离成比例关系,即构件受力并发生弯曲变形以后,仍保持为平面(平截面假定)。
- (2) 受压区混凝土及钢视作为弹性体,即压应力与应变成正比 $\sigma = E \cdot \varepsilon$ 。
- (3) 混凝土不承受拉应力。



(1)主梁跨中截面

混凝土截面			钢梁·钢筋		
桥面板宽	$b_e = 10.800\text{ m}$		受压钢筋 (A_{rc})	60 - Φ 12	113.1 52 = 6786 mm ²
桥面板厚	$t_e = 0.200\text{ m}$		上翼缘板 (A_{sc})	8 - U - FLG	400 × 24 = 76800 mm ²
悬臂长度	$b = 1.000\text{ m}$		腹板	(A_{sw}) 8 - Web	1290 × 12 = 123840 mm ²
劲性梁宽	$b_w = 8.800\text{ m}$		下翼缘板 (A_{st})	8 - L - FLG	750 × 34 = 204000 mm ²
劲性梁高	$h_w = 1.500\text{ m}$		受拉钢筋 (A_{rt})	48 - Φ 20	314.2 98 = 15080 mm ²
钢梁高度	$h_s = 1.348\text{ m}$				

混凝土 C45	$[\sigma_b] = f_c/K_1 = 30 / 2.00 = 15\text{ N/mm}^2$	$E_c = 34500\text{ N/mm}^2$
钢材 Q370q	$[\sigma] = \sigma_b/K_2 = 510 / 2.50 = 204\text{ N/mm}^2$	$E_s = 210000\text{ N/mm}^2$
钢筋 HRB335	$[\sigma_s] = f_s/K_3 = 335 / 1.86 = 180\text{ N/mm}^2$	$E_r = 200000\text{ N/mm}^2$



截面中性轴试算

项 目		b	t	A	y	$y_0 - y$	ε	E	σ_y	$\Delta P = A \cdot \sigma_y$
		m	m	m ²	m	m	0.00002899	N/mm ²	$E \cdot \varepsilon$	
混 凝 土	①	10.800			0.00000	0.51444	0.00002899	34500	1.000	
	①	10.800	0.2000	2.1600	0.20000	0.31444	0.00001772	34500	0.611	1.740
	②	8.800			0.20000	0.31444	0.00001772	34500	0.611	
	②	8.800	0.3144	2.7670	0.51444	0.00000	0.00000000	34500	0.000	0.845
钢 梁	8 - U. FLG	0.400	0.0240	0.0768	0.16400	0.35044	0.00001975	210000	4.148	0.319
	8 - Web	0.012	0.3384	0.0325	0.34520	0.16924	0.00000954	210000	2.003	0.065
	8 - Web	0.012	0.9516	0.0914	0.99020	-0.47576	-0.00002681	210000	-5.630	-0.515
	8 - L. FLG	0.750	0.0340	0.2040	1.48300	-0.96856	-0.00005457	210000	-11.460	-2.338
钢 筋	受压区	60 × Φ 12		0.0068	0.05200	0.46244	0.00002606	200000	5.212	0.035
	受拉区	48 × Φ 20		0.0151	1.40200	-0.88756	-0.00005001	200000	-10.002	-0.151
Σ 混凝土										2.585
Σ 钢梁										-2.469
Σ 钢筋										-0.116
Σ 合计 (换算混凝土)										0.000
假定中性轴 (桥面板顶为基准)					$y_0 = 0.514436\text{ m}$					

- 注:(1)混凝土 $\Delta P = A \times (\sigma_{y1} + \sigma_{y2}) / 2$;
(2)钢筋及钢梁的 ΔP 为各个钢单元重心位置的应力 σ_y 与钢材截面面积 A_r (或 A_s) 的乘积值;
(3)中性轴位置 (y_0) 为轴向力 (ΔP) 的总和使其作用于截面上的轴力为 0.000 的位置;
(4)钢筋及钢梁的 σ_y 均为混凝土换算值 (乘弹性模量值);
(5)钢梁的截面积及截面的二次惯性矩为混凝土梁内预埋的全部值。