

日本岩黑岛大桥 津轻海峡线

《铁道工程学报》增刊

铁道工程学报增刊
日本岩黑岛大桥

主办者	中国铁路工程总公司 中国铁道学会铁道工程学会
编辑者	《铁道工程学报》编辑部
出版者	中国铁道出版社
印刷者	铁一局印刷厂
发行者	北京铁路局图书服务部

1991 年 12 月 出版 定价 6 元 代号(87)—58

目 录

岩黑石岛桥的设计	(1)
岩黑石岛桥上部工程的工厂制造	(73)
岩黑石岛桥的架设	(90)
津轻海峡线	(129)

岩黑岛桥的设计

(日) 大槻敏 明田启史 照山修

郑志译 宋传照校

1. 前言

岩黑岛桥五家公司企业联合体在 1982 年 2 月, 由本州四国联络桥公团承包了联接儿岛一坂出路线的香川县坂出市岩黑岛与羽佐岛的岩黑岛桥上部工程。同年 4 月, 在冈山市设立事务所, 着手详细设计, 于 1984 年 3 月完成了预期的设计内容。

岩黑岛桥的主要特征可归纳如下:

① 在跨度、规模方面, 是世界上最大的斜拉桥, 并作为斜拉桥在主梁上采用桁架一区一点, 是结构上罕见的桥梁 (图 1)。

② 本桥为公路、铁路两用桥, 在设计、施工上必须满足抗疲劳的严格要求。

③ 为了进行边跨的大组件架设, 中跨悬拼架设, 要求有满足上述架设条件的设计。

下面介绍本桥的详细设计的内容。

2. 联合体的组成

联合体的组成如图 2 所示。设计部门会议各公司 3 人, 计成员 15 名。为掌握庞大的研究项目与设计项目, 以桥面板桁架、主梁、塔架为分组单位进行工作。另外, 架设部门会议各公司 2 人, 计成员 10 名。但在工作最繁忙期间, 请求各公司各部门会议支援 1 人。

此外, 制造和架设部门会议, 都要按照需要保持会晤, 要把各部门会议的要求尽力反映到设计内容中。

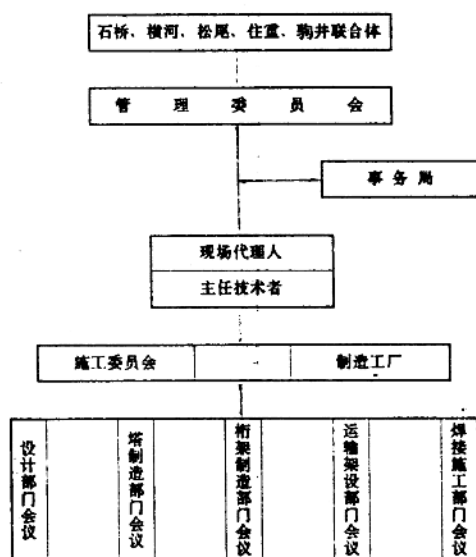


图 2 联合体组成机构图

3. 设计条件、范围

表 1 示出详细设计的基本条件, 表 2 示出设计范围。

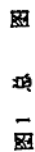
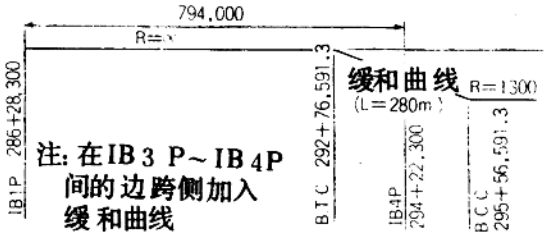
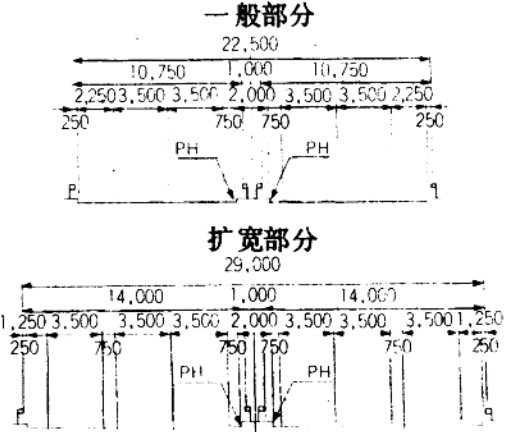
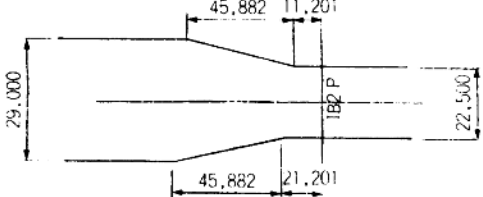
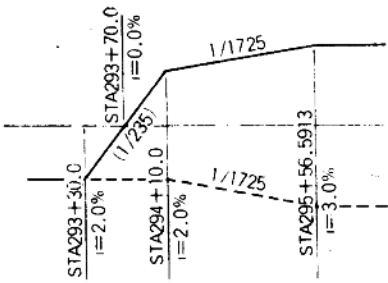
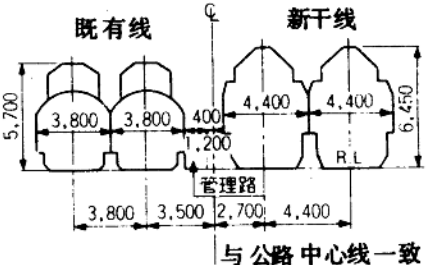
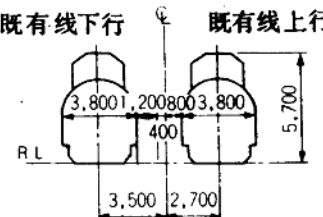


圖 一

表1 基 本 条 件

项 目	内 容	备 注
①	公 路 标 准	第1种第2级(V=100km/h)
②	铁 道	既有线复线 (V=120km/h) 新干线复线 (V=160km/h)
③	平面线形(公路、铁路两用)	 注: 在IB3P~IB4P间的边跨侧加入缓和曲线
④	纵 坡 度	10%直线(固定)
⑤	公路宽度组成(构造标准)	
⑥	扩宽部分的缓和段	

续表 1-1

项 目			内 容	
⑦	公路的横 向坡度	基本坡度	20% 直线	
		向曲线部分超 过高度的顺波 段(施工期)		
⑧	铁路桥梁 建筑限界	完工时(四线)		
		施工期(二线)		
⑨	曲线区段铁 路的超高度	超高度	新干线	$C_m = 180\text{mm}$
			既有线	$C_m = 50\text{mm}$
		超高度的 顺波	$C = \frac{C_m}{2} (1 - \cos \frac{X}{L} \pi)$	
		超高度的 附加方法	新干线	将外侧钢轨按超高度的 1/2 抬高, 将内侧钢轨按超高度的 1/2 下降
			既有线	以曲线内侧钢轨为基准, 将外侧钢轨抬高

续表 1—2

项 目		内 容		备 注
⑩	公路、铁路的高低差	PH~RL 之间 12.510m		公路在上方
⑪	航道限界	航首高	由 NHHWL260 以上	
		航道宽	2P~3P 下部结构工程之间	
⑫	桥梁区段	STA286+29.5~STA294+21.75		
⑬	跨度分布	185+420+185m (加劲梁跨度 3P~4P184.995m)		
⑭	坐标系	海峡部地区坐标系		在制造反挠度时考虑地球的曲率半径
⑮	主梁高	H = 13.9m		
⑯	主梁宽	B = 27.5m		
⑰	缆索	11 段多股型		
⑱	塔顶高	IB3P	T.P.156.600m	岩黑岛侧
		IB3P	T.P.160.800m	羽佐岛侧
⑲	塔基面高	T.P.+8.500m		桥墩顶部高
㉑	塔高	IB2P	148.100m	
		IB3P	152.300m	
㉒	塔形式	两层刚节结构		
㉓	塔柱间隔	上部	B = 27.5m	
		基础部	B = 30.0m	

表 2 设计范围

项 目		内 容	项 目		内 容
1	主梁桁架	详细	7	缆索、缆索锚定座	详细
2	塔	详细	8	端连杆、塔连杆	详细
3	钢桥面板	详细	9	三角连杆、固定支座	详细
4	桥面板桁架	详细	10	转动支座	详细
5	平衡重梁	详细	11	缓冲梁	详细
6	铁路梁铁道管理通路	详细	12	隔音工程	详细

续表 2-1

项 目		内 容	项 目		内 容
13	弹力支座	详 细	18	排水装置	详 细
14	伸缩装置	详 细	19	主梁作业车钢轨	详 细
15	通信、电力	复 核	20	塔作业车钢轨	详 细
16	公团附属物	详 细	21	电气设备	详 细
17	路缘、高栏	详 细	22	作业车、电梯	详 细

4. 设计流程图

图 3 示出设计流程图。

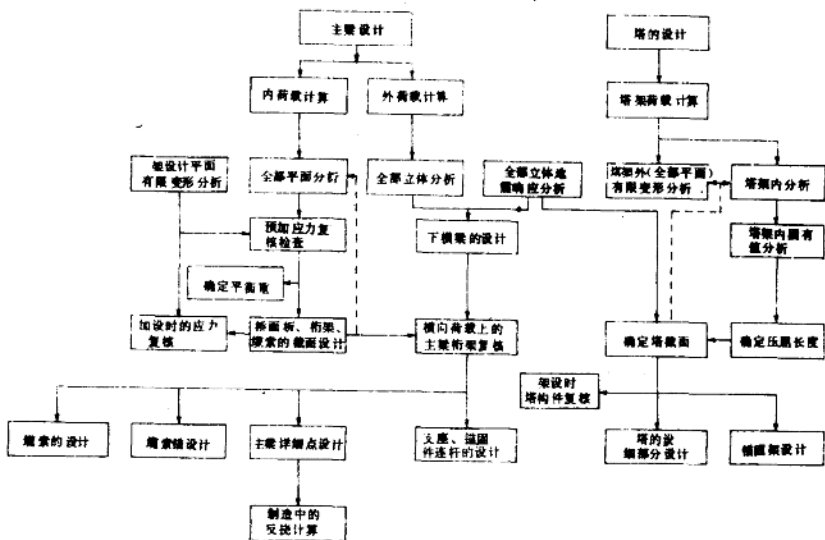


图3 设计流程图

5. 设计标准

设计是按照“上部构造设计基准”^①进行的,但对斜拉桥的组合荷载要按表3考虑。

此外, 由于铁道钢桥的设计标准正处于修改时期, 所以采用表 4 所示疲劳标准。表 5 示出冲击系数。

表3 组合荷载

组合荷载		附加系数	主梁	塔	缆索	桥面板桁架	横梁	桥面系	支座
1	D+L	1.00				⊙	○	⊙	
2	D+L+T(SD+E)	1.00	⊙	⊙	⊙				⊙
3	D+L(F)	1.00	⊙		○	⊙		○	○
4	D+L+LR	1.00				○	⊙	○	
5	D+W(L)+L(W)+T	1.35	○	○	○	○	○		
6	D+W+T+(SD+E)	1.50	○	⊙	○		○		○
7	D+EQ+L(EQ)+T+(SD+E)	1.50	○	○	○	⊙	⊙		⊙
8	EQ	1.70	已在7中考虑						
9	ER	1.25	⊙	○	○	○	○	○	○
10	W	1.50	已在6中考虑						
11	D+L+BK+LR	1.25				○	○	○	○
12	BK+W(L)	1.25					○		
13	LF+W(L)	1.25					○	○	
14	D+W(L)+L(W)+LR	1.40					○	○	○
15	D+W(L)+L(W)+LF	1.40	○		○		○	○	
16	D+W(L)+L(W)+BK	1.40					○	○	
17	D+W(L)+L(W)+BK-LR	1.50					○	○	○

表4 疲劳标准

项目	内 容					备 注
验算式	$\sigma_{\max} - \sigma_{\min} < \sigma_{fa}$ $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$: 拉伸为正, 压缩为负 疲劳容许范围为 $\sigma_{fa} = a, b, \sigma_{fo}$ a: 表示累积疲劳受损效果的降低系数 b: 按负的成分的比率附加的系数 σ_{fo} : 基本疲劳容许应力范围					根据设计标准表(S57.12.3) 剪切力检验式省略
σ_{fo}	疲劳等级	A	B	C	D	
	$\sigma_{fo}(\text{kg/cm}^2)$	1530	1270	1050	800	

续表 4

项 目	内 容				备 注
a	对双层路线斜拉桥的主梁 $a = 1.0$				
	桥面板桁架下弦杆 $a = 0.85$				
	桥面板桁架斜杆、竖杆 $a = 0.90$				
b	$\psi = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}$				
	焊 接 接 缝	$\psi < -1$	$- < \psi < -0.5$	$-0.5 < \psi$	
		1.3	$\frac{13}{16 + 64}$	1.0	
	非焊接 接 缝	$\psi < -1$	$-1 < \psi < 0$	$< \psi$	
		无需验算	$\frac{2}{2 + 4}$	1.0	

表 5 冲 击 系 数

项 目	内 容			备 注
列 车 载 荷	对 主 梁、 缆索、塔	既有线	0.06(0.10)	适用吊桥的加劲梁、吊杆的冲击 ()内是单线载荷时
		新干线	0.12(0.20)	
	对桥面板、 桁架、桥面系	既有线	$i = \frac{2V_0}{500L0.2} + \frac{15}{100+L}$	桥面板桁架 $L =$ 主梁间距 B
		新干线	$i = \frac{V_0}{500L0.2} + \frac{15}{100+L}$	桥面系 $L =$ 节间长 λ V_0 : 列车设计速度(km/s)

公路、铁路两用桥，由于构件不同，随恒载、活载、公路荷载而产生的应力比率不同，在“上部构造设计基准”上将构件作了区分。本次的适用范围示于表 6。

表 7 示出详细设计的主要构件用的材质。

表 6 构 件 区 分

项 目		内 容	备 注
构 件 的 定 义	主 梁 桁 架	共 用 构 件	
	下 横 梁	共 用 构 件	
	公路桥面系	共 用 构 件	主梁上弦杆的一部分
	下承桥面系	铁 道 构 件	

续表 6

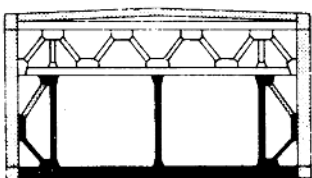
项 目	内 容	备 注
构件的定义	桥面板桁架 • 端侧桥面板桁架全部为共用构件; • 塔柱部分与平衡重部分桥面板桁架除下弦杆(铁道构件)外, 全部为共用件。  公路构件 铁路构件 共用构件	

表 7 主要构件的材质

项 目	型 号	备 注
主 梁	SM58	上弦杆、斜杆、竖杆 SM50Y
塔	SM58	锚定螺栓 SNB24-5
钢桥面板	SM50Y	一部分使用 SM41A
桥面板桁架	SM50Y	
平衡重梁	SS41	
铁道梁	SM41	支座 SC46
缆 索	SWRS77B ~82B	锚定座 SC46, 承窝 S40C
塔连杆、端连杆	SM50Y	轴套 SFVQ2B、SCMn2A、支杆 SUS431
三角杆、固定支座	SM58	轴套 SCMn2A、锚定螺栓 SNB24-5, 硬质橡胶
转动支座	SCMn2A	橡胶、不锈钢包层钢板
缓冲梁	SM41	支座 SCMn2A
隔音工程	SS41	石棉板
弹力支座	SUP10	直杆 SNB24-5, 轴套 SCMn2A
伸缩接缝	SM41	接头 SC46, 支杆 SUS304
通信电力	SS41	支座橡胶
公团附属物	SS41	供气管、给水管
路缘、高栏	SS41	

续表 7

项 目	型 号	备 注
排水装置	STK41	硬质聚氯乙烯管进水井 SC46
主梁检查车钢轨	SM50Y	钢轨 SUS304
塔检查车钢轨	SS41	不锈钢包层钢板
电气设备	ME	
检查车电梯	A-5083	铝合金、不锈钢索

6. 桥 面 系

6.1 公路桥面系

公路桥面系如图 4 所示, 由台面板、纵肋 (槽形肋)、横肋和纵梁组成钢桥面板, 是在主梁上弦杆上合成的结构, 除去端侧的一个节间 (平衡重部分) 外, 整个桥都是连续的。另外, 纵梁与主梁节间共合 12.3~12.4m 间距上, 是钢桥面板上弦杆支承的。

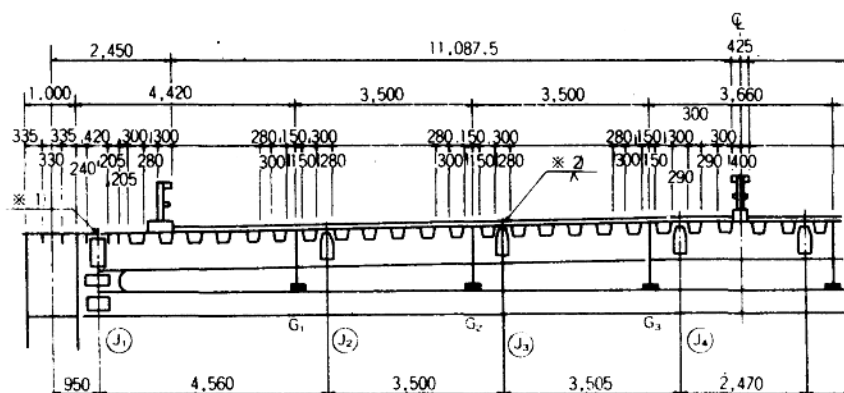


图 4 公路桥面系的标准截面

- * 1) 现场 HTB (螺栓连结) 或现场 (地面组装) 焊接
- * 2) 现场 (地面组装) 焊接

除台面板外, 纵接缝与桥轴直角方向的接缝全是在工厂焊接的。

因此, 钢桥面板上除了作为公路桥面系的应力外, 也有作为主桁架作用的应力 (压缩轴向力) 发生作用。

6.1.1 钢桥面板的构造

(1) 桥面板与纵肋

桥面板以板厚 12mm 为标准, 材质按照作为主桁架作用的应力大小, 采用 SM50Y 型钢

材,或 SM41 型钢材。纵肋根据示于图 5 的形状连续冷轧成形法(冷轧成形)使用成形的成品。材质与桥面板一样,采用 SM50Y 或 SM41 型钢材。

此外,主梁及其装配部分也采用断开的肋
(PL=170×16)。

(2) 横 肋

横肋间隔在标准节间为 2058mm、腹板高度根据纵肋扇形缺口部分的剪切应力确定为 700mm,钢材型号在中间部分为 SM41,桥面板桁架上(纵梁支点处)为 SM50Y。

(3) 纵 梁

纵梁配置也和纵肋的配置相关。要考虑下述有关条件:

- 纵梁和控制标志位置相应一致。
- 纵肋间隔为槽形的腹板间隔,即 300mm 左右,与纵梁腹板的间隔是考虑焊接作业而设为 150~200mm。
- 在路缘升高部分的正下方,配置纵肋腹板。
- 减少纵肋的种类。
- 推敲主梁连接处及其装配形状。

此外,纵梁对于作为主桁架作用的轴向力而形成有效截面,所以腹板以抗压加劲板进行设计,腹板厚度在 12~14mm 范围中采用了 SM50Y 型钢材。

(4) 接头

桥轴垂直方向的接头,原则上在主梁的一个节间为一处,设在自主梁节点组装方向前方 2.6m 的位置。桥轴方向的接头如图 4 所示设置 8 处, J_1 与 J_3 为现场接头(大组件部分在现场组装时), J_2 与 J_4 都是在工厂接合的。

桥面板的接合形式基本上为焊接,仅表面材料架设部分(中跨)的 J_1 作成螺栓形式。这是 J_1 在标准部分的有效宽度之外。由于没有路面,因之由桥面板焊接引起的变形影响小。在扩宽部分, J_1 在有效宽度以内,为了避免在路面部分出现螺栓,作成焊接结构。

纵肋的接合形式也是以焊接为主,纵梁两侧由于难以焊接而采用螺栓接合。

横肋、纵梁都是按照高强度螺栓作摩擦接合的。

(5) 纵梁的支点

支承纵梁的桥面板桁架上弦杆,因为考虑到对涂饰的维修简化而设置成封闭式截面,所以作了在上弦杆上设螺栓孔方案(参照表 8)的研究。其结果,根据对将来易于更换支座;就桥面板桁架上弦杆而言,对于外压屈构成的固定点等方面,采用了刚体结构方案。

但是,刚体结构方案带有下列问题:

- 因为桥面板桁架上的两个支点间距小,所以或在左方或在右方的支座上发生负反力。
- 由于正负反力差增大,紧固螺栓的轴向力变化幅度大,螺栓的耐疲劳性不理想。
- 根据两个支点的反力差,在桥面板桁架上弦杆上产生扭矩,在小的组装斜杆上产生弯曲力矩。

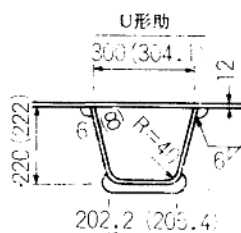
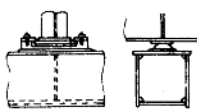
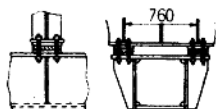


图 5 U 型肋 截面

表 8 钢桥面板纵梁的支座构造表

形 式		线支座方案	密闭橡胶支 座 方 案	刚 体 结 构 方 案	橡胶垫方案
构 造					
约 束 回 转	桥 轴 方 向	自 由 回 转	自 由 回 转	根据桥面板桁架 的扭转变形可能回 转	同 左
	桥轴垂 直方向	约 束 回 转	自 由 回 转	约 束 回 转	可 能 回 转
更换支座		伴随焊接清理作业难以更换		若能固定螺栓(HTB)易拆卸临时支承 也很方便	
与负反力 相 对 应		用焊接、带头螺栓对应, 形成 1~ 2mm 的附加游间		用 HTB 对应(若引入轴向力, 应力几 乎不变化)	
维 修		在线支座上设有 必要的防锈措施	由于密闭式对橡 胶老化的担心少	HTB 的防锈措 施	HTB 的防锈措 施, 橡胶耐久性 20 年
桥轴方向 的 限 定		形成 1~2mm 的附加游间		刚 体 结 构	

就这些担心的问题, 桥面板桁架上弦杆抗扭刚度与按小的组合斜杆上弦杆的约束扭力考虑的平面骨架分析而进行研究。固定螺栓的轴向力变动幅度, 对紧固轴向力 $B = 20.5t/\text{根}$ (H.T.BM22 (F10T), $B = 0.75\sigma_y$) 来说, 确认 $B = 18.6 \sim 20.8t$ 是低的, 桥面板桁架受到的影响, 即上弦杆单位扭转剪切应力 $\tau = 126\text{kg}/\text{cm}^2$ (SM50Y, $\tau_s = 1200\text{kg}/\text{cm}^2$), 小的组装斜杆弯曲应力 $\sigma = 220\text{kg}/\text{cm}^2$ (SM50Y, $\sigma_s = 2100\text{kg}/\text{cm}^2$) 也是小的。

6.1.2 结构分析

(1) 荷载与应力的组合

采用表 9 所示的荷载和应力的组合。

本桥是公路、铁路两用桥, 因为是大跨度, 所以由主桁架作用而引起的汽车荷载的比率明显地小, 如在路标上显示那样, 在含有恒载的容许应力上如果一律按 1.4 倍增大考虑时,

有可能偏于危险。因此，就桥面系作用的应力与主桁架作用的各种应力的组合上进行研究，决定出表 9。

表 9 钢桥面板设计荷载的组合

	构 件	设 计 荷 载	荷载的加成	冲 击 系 数	L 的选用方法
桥 面 板 作 用	钢桥面板	F-20、TF-43 的轮(载荷)	1.2	0.4	
	横 肋			20 / (50+L)	纵梁间隔
纵 梁	钢桥面板 纵 梁	等效 L 荷载	1.0	$\frac{20}{50 + L}$	桥节间间距
主 桁 架	钢桥面板 纵 梁	等效 L 荷载	1.0	$\frac{20}{50 + L}$	加劲梁跨度
组 合 应 力	钢桥面板	$L(S) + L(D) \leq \sigma_a$ $L(R) + \frac{D + L(H) + (SD + E)}{1.4}$ $+ \frac{T + L(S) + L(D)}{1.4} \leq \sigma_a$		L(S): 纵梁的应力度 L(D): 桥面板应力度 L(F): 地面板桁架应力度 L(M): 主梁的应力度 D: 恒载 L(R): 列车荷载 L(H): 汽车荷载 (SD+E): 支点移动误差 T: 温度	
	横 肋	$\frac{L(D)}{1.4} + L(F) \leq \sigma_a$			
	纵 梁	$L(S) + L(M) \leq \sigma_a$			

(2) 桥面系作用的应力分析方法

a) 钢桥面板

根据正交异性板理论进行计算。

b) 横肋

对于弯曲力矩由横肋、纵梁（和主梁上弦杆）构成的多跨连续格子梁进行分析，主梁上弦杆有抗弯刚度外，还保持抗扭刚度，在支点处为约束扭转变形的模型。

对于剪切力是以横肋作为简支梁求出的。

c) 纵梁

纵梁的截面力是以横肋、纵梁（和主梁上弦杆）构成作为 5 跨连续格子梁进行分析，主梁上弦杆除有抗弯刚度外，还带有抗扭刚度，在支点处为约束扭转变形的模型。一般部分的纵梁的截面力采用 5 跨当中的中跨值。

