

5592

7/65447

681078

日 本 土 木 工 程 手 册

钢结构

中国铁道出版社

日本土木工程手册

钢结构

5592

Z/65447

[日]主 审 干 事 执笔者	足 立 洪	(日本公路公团)	编
	安藤慎一	(日本公路公团)	版
	足 立 洪	(日本公路公团)	开
	伊藤文人	(東京都立大学)	
	奥川淳志	(本州四国联络桥公团)	
	金谷和久	(川崎重工业)	
	高岡司郎	(横河工程)	
	田岛二郎	(本州四国联络桥公团)	
	成瀬泰雄	(日本钢管工程)	
	长谷川繁	(横河桥梁工厂)	
	横本隆夫	(名古屋大学)	
	横本隆夫	(東京都立大学)	
	横本隆夫	(東京钢结构桥梁工厂)	

董其展 宋慕兰 译

中 国 铁 道 出 版 社

1983年·北京

土木工学ハンドブック

土木学会 编

技报堂 1974

日本土木工程手册

钢 结 构

董其震 宋慕兰 译

中国铁道出版社出版

责任编辑 王能远

封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 850×1168 1/16 印张: 9 字数: 227 千

1983年3月 第1版 1983年3月 第1次印刷

印数: 0001—10,000册 定价: 1.10 元

内 容 提 要

本册译自日本土木工程手册（1974年第三版）的第十九篇，内容包括钢结构设计、制造、运输、安装各方面问题的叙述。对高强度钢材（60~80公斤级）的使用，也作了较详细的说明。

可供钢结构设计、制造、一般工程技术人员和高等院校师生参考。

出 版 者 的 话

从事各项工作的工程技术人员，都希望能得到一部内容较丰富而又切合实用的手册。

这些年来，我们在积极组织编写和出版有关铁路工程设计和施工技术手册的同时，征求一些国内专家对手册类工具书的意见。1979年中国土木工程学会桥梁及结构工程学会开会期间，同济大学李国豪校长推荐翻译出版日本土木学会主编的1974年修订出版的土木工程手册。这部手册在内容上有其特色，它反映了现代科学技术的新成就，加强了基础理论方面的内容。为此，根据我国情况及我社的出版能力，决定选译其中的应用数学、材料力学、结构力学、土力学、水力学和水文学、混凝土、钢筋混凝土结构、钢结构、基础及挡土结构、桥梁、隧道等十一篇，作为一个分册出版，供我国广大土木工程人员参考。

在各分册的翻译过程中，承陈英俊教授热心指导及各位参加译校同志的共同努力，提高了译文质量，我们在此深表感谢。

目 录

第1章 绪论	1
第2章 构件的设计	2
2.1 板件	2
2.2 压杆	11
2.3 梁	17
2.4 压弯杆件	25
2.5 拉杆	32
第3章 接头的设计	45
3.1 焊接接头	45
3.2 铆钉连接	56
3.3 高强度螺栓连接	62
3.4 普通螺栓接头	67
第4章 构件的连接	69
4.1 构件的对接	69
4.2 梁的连接	78
4.3 桁架节点	81
4.4 刚架隅角	86
4.5 钢管结构节点	93
4.6 销连接	99
第5章 结构稳定	102
5.1 梁式结构	102
5.2 桁架结构	108
5.3 刚架结构	112
5.4 拱结构	119
第6章 架设设计	123
6.1 架设和设计	123
6.2 架设时的荷载和安全系数	124
6.3 架设中的稳定问题	127
6.4 架设时构件的加固及所需的安装辅助配件等	132

6.5 架设用的临时设备和机具的设计	135
第7章 工厂制造	141
7.1 钢桥的发展史	141
7.2 放样	143
7.3 加工	150
7.4 组装焊接	173
7.5 试拼装	202
7.6 质量管理	205
7.7 防锈处理	215
第8章 运输	228
8.1 概述	228
8.2 卡车运输	229
8.3 海上运输	232
8.4 铁路运输	235
第9章 架设	241
9.1 测量	241
9.2 支座安装	243
9.3 构件的组装	246
9.4 工地连接的施工	258
9.5 涂装	269
9.6 检查	274
9.7 架设记录	276
参考文献	277

第1章 绪 论

钢结构广泛应用在桥梁、水闸、水力发电站的有压水管和一般水管等管槽类的各种土建工程中，是与钢筋混凝土结构、土工结构并列的土建工程结构物的主要类型之一。

近来，钢结构还扩展到了海洋结构物和管道等新的领域。而且，随着结构物的长大化，在其用料方面业已使用了80公斤级的高强度钢和超过100mm的极厚钢板。此外，还可以见到在工厂制就的重达100t的大型构件。

和土木工程的其他领域一样，在钢结构方面，其材料、设计和施工也有惊人的进步。

本篇就是在这样的背景下，阐述各种钢结构物在设计和工厂制造上的共同的问题，并以钢桥作为钢结构工地安装架设的一个具有代表性的例子，来叙述其架设方法。

本篇专辟了架设设计一章，以便确保施工安全。在工厂制造一章中，考虑到近来的发展，将焊接作为重点。在运输方面，着重讲述使用最多的卡车运输，同时，也叙述了作为大分块施工法基础的海上运输方法。

此外，需要说明的是，关于设计的基础知识在第3篇“材料力学”、第4篇“结构力学”中已有讲述。至于钢结构在各种具体结构物中的应用及其特有的问题，可参考第21篇“桥梁”等有关章节。

第2章 构件的设计

2.1 板 件

2.1.1 受压板

组成构件的板件，当其在全宽上作用有匀布压力时，必须按板件在屈曲方面是安全的条件来设计。在一般的钢结构中，板状的板件常按适当间隔配置有加劲肋，从桁架、梁和其他板件（横隔板、腹板等）来看，大多分成矩形的板段。所以，作为板件来讲，矩形的板件是重要的。

一般的矩形板件，其屈曲应力可用下式表示：

$$\sigma_k = k \frac{E\pi^2}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 = k\sigma_s \quad (2.1)$$

屈曲系数 k 是常数，其大小视边界支承条件和加载情况而定。如果板件中存在有因焊接等而产生的残余应力时，其屈曲应力要比式(2.1)求得的价值低，可用下式表示：

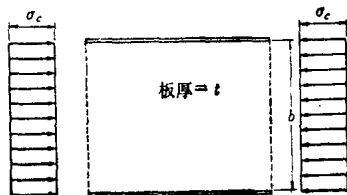


图-2.1 均匀受压的板件

$$\sigma_k = R^2 k \sigma_s \quad (0 < R \leq 1.0) \quad (2.2)$$

其中 R 是屈曲参数，它随残余应力分布的情况和荷载状态而变化。根据上式，设荷载产生的最大应力为 σ ，安全系数为 s ，以应力不超过 $s\sigma$ 时不会发生屈曲作为必要条件，可建立关系：

$$\frac{b}{t} \leq R \sqrt{\frac{k\pi^2 E}{12(1-\nu^2) s \sigma}} \quad (2.3)$$

通常，在钢结构设计中，长细比为零时的容许应力是以屈服应力除以必要的安全系数给出的。所以，为了使计算应力与容许应力

大致接近, 令 $s\sigma = \sigma_y$ 就可以了。

σ_y 是屈服应力。当计算应力小于容许应力时, 若由 $s\sigma = \sigma_y$ 来定出 $\frac{b}{t}$ 那将是不经济的, 此时可使安全系数不变, 而按计算应力值定出 $\frac{b}{t}$ 。不过, 应当注意随着 σ 变小, R 的值也有下降的趋势。

日本在桥梁方面的规范中规定, 均匀受压的板件, 相应于 σ_y 的 R 值取作 0.7。另外, 限制 $\frac{b}{t}$ 不得超过其最大值(表-2.1)。至于屈曲系数值, 在两边支承时是 4.0, 仅一边支承时是 0.43。因为这已考虑了在压力作用方向上板件是足够长的, 所以, 不必设置与荷载方向正交的加劲肋。

板件厚度的选择, 除考虑屈曲外, 还应考虑腐蚀、制造、搬运等因素, 所以不能太薄。决定最小厚度的原则是, 铁路桥主要构件为 9mm, 公路桥和铁路桥次要构件为 8mm。

表-2.1 桥梁结构中受压板宽厚比(b/t)的限值

钢 材 种 类	两 边 支 承		仅 一 边 支 承	
	公 路	铁 路	公 路	铁 路
SS41 SM41 SMA41	40<48	40<50	13<16	13<16
SS50	36<43	—	12<14	—
SM50	34<41	34<50	12<14	11<16
SM50Y SM53 SMA50	32<38	32<50	11<13	10<16
SM58 SMA58	28<34	—	10<12	—

(注) 不等号左边的值是荷载产生的应力等于受压容许应力时的值。不等号右边的值是即使荷载产生的应力较小, 也不得超过的限值。

2.1.2 受 弯 板

对于板梁腹板等以受弯为主的板件,可考虑仍采用式(2.3)。这时,由于残余应力而使屈曲荷载下降的量是极小的,故可以设 $R = 1.0$, 这对实用几乎无甚影响。当弯矩产生的最大压应力和最大拉应力相等时,屈曲系数可取 $k = 23.9$ 。此外,考虑到板梁腹板在屈曲后仍然显示出相当大的承载力,所以,对于屈曲荷载的安全系数,可以取得比均匀受压板小,采用1.4(公路桥)到1.5(铁路桥)。

表-2.2 受弯板宽厚比(b/t)的限值(无水平加劲肋时)

	SS41 SM41 SMA41	SM50	SM50Y SM53 SMA50	SM58 SMA58
公路桥	152<182	130<156	123<147	110<128
铁路桥	155<200	130<200	125<200	—

(注) 不等号左边的值是计算受弯压应力等于容许受弯压应力时的值,不等号右边的值是计算受弯压应力小时所容许的限值。

当腹板的高度大时,有时在与受压边缘距离为 $1/5$ 腹板高度的地方设置水平加劲肋是有利的。对于这种情况的设计方法,公路桥梁规范(道路桥设计示方书)与铁路桥梁设计标准是稍有差异的。在公路桥中,是被水平加劲肋分割开的上下两个板段分别作为四边支承的矩形板段

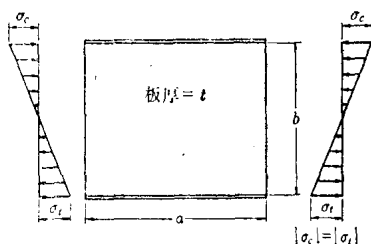


图-2.2 受弯板件

来考虑,以使其中任一板段均应具有必要的承载力为条件,来规定高度 b 和板厚 t 的比值。

在铁路桥中,把包含水平加劲肋在内的上下两个板段看作一个整体,按中间有水平加劲肋、高度为腹板全高的矩形板来考虑。这时的屈曲系数根据加劲肋的刚度不同而取 23.9 到 129.4 的

数值。若加劲肋具有足够大的刚度，可使用极薄的板。但是，当板太薄时，除了前一节所述理由外，因残余应变和初曲影响将变大，屈曲安全系数的计算值恐难保证符合要求。再有，考虑到列车运行时振动影响也很大，腹板向面外反复弯曲，有发生疲劳裂纹的危险等原因，所以限制 b/t 值应低于250。这样一来，铁路桥所使用的钢材，必要的最大屈曲系数是 $k=94.2$ ，而水平加劲肋所需要的刚度则可稍小。按现行规定的要求，铁路桥水平加劲肋所需刚度应能保证达到 $k=110$ 左右。

表-2.3 受弯板宽厚比(b/t)的限值 (有水平加劲肋)

用途	加劲肋根数	SS41 SM41 SMA41	SM50	SM50Y SM53 SMA50	SM58 SMA58	水平加劲肋	
						所需刚度比 γ	所需截面 惯性矩
铁路桥	1	250	250	250	—	$\left(\frac{22a}{b}\right)$	$2af^3$
公路桥	1	$256 < 307$	$220 < 264$	$209 < 251$	$188 < 225$	$30.0 - \frac{a}{b}$	$(2.73af^3)$
	2	$310 < 372$	$310 < 372$	$291 < 353$	$262 < 314$		

(注) 1. 不等式左边数值表示计算应力等于容许压应力时之限值。不等式右边数值表示计算应力小于容许压应力时之限值。

2. 括号内的公式是为了便于比较，由规范换算来的。

梁较高时，采用两层水平加劲肋对进一步减薄腹板厚度是有利的。

在公路桥梁规范中，对这种情况也明确地作出了限制。图-2.3中所示的水平加劲肋的设置位置，是加劲肋的最有效的作用位置。桥梁的有关规定，就是以加劲肋设置在这种位置为前提而定出的。

2.1.3 承受组合荷载的板

(1) 剪力与弯矩的组合

四边简支的矩形板承受剪应力 τ 时的屈曲系数，在 $a > b$ 范围内可近似地表示为：

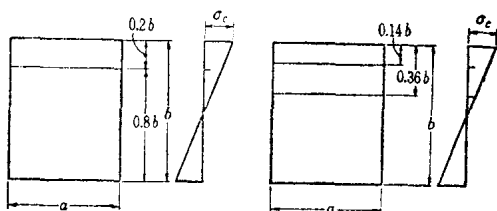


图-2.3 采用水平加劲肋时，加劲肋的位置

$$k_r = 5.34 + 4.00 \left(\frac{b}{a} \right)^2 \quad (2.4)$$

$a < b$ 时，可从上式导出下式：

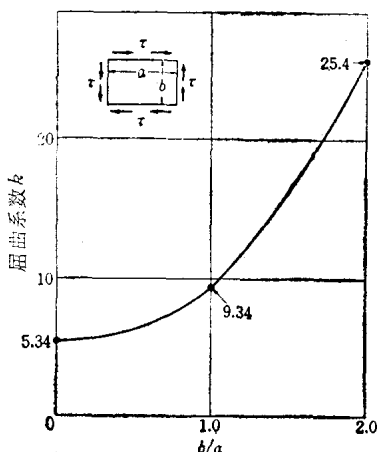
$$k_r = 4.00 + 5.34 \left(\frac{b}{a} \right)^2 \quad (2.5)$$

也就是说，与板宽 b 相比，板长 a 越大，屈曲系数越小，亦即屈曲荷载越小（图-2.4）。所以，为了防止剪力引起屈曲，以适当间距设置加劲肋，把长板分割成板段将是有效的方法。

对于同时承受剪力和弯矩的板，可以认为在满足下式时发生屈曲。

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2 = 1$$

图-2.4 受剪矩形板的屈曲系数



式中， σ_{cr} 是仅承受弯矩时的屈曲应力， τ_{cr} 是仅承受剪力时的屈曲应力。因为仅受弯时屈曲系数 $k_\sigma = 23.9$ ，采用式 (2.1)，若设安全系数为 s ，由式 (2.6) 可得设计上的屈曲验算公式如下：

$$s^2 \left(\frac{b}{t} \right)^4 \left\{ \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 E} \right\}^2 \left\{ \left(\frac{\sigma}{k_\sigma} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{k_r} \right)^2 \right\} \leq 1 \quad (2.7)$$

有水平加劲肋时, 若采用与之相应的 k_r , k_σ , 就仍可用式(2.7)作为屈曲验算公式。

此外, 由于式(2.6)是一个圆的方程, τ/τ_{cr} 或 σ/σ_{cr} 若小于某个值时, 即使将其忽略, 在实用上也不会产生多大误差。若可省去 σ 项, 式(2.7)的形式就变得非常简单, 因而可使设计工作简化。为此, 在铁路桥设计标准中, 给出了可以省略 σ 项的条件和省略 σ 项时所使用的另一个屈曲验算公式。

表-2.4 承受剪力和弯矩时的屈曲验算公式

水平加劲肋	a/b	类型	验 算 公 式	备 注
无	≥ 1	公路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{3650} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{810 + 610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	$a/b \leq 1.5$
		铁路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{3250} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{720 + 540(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	$a/b \leq 2.0$
	< 1	公路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{3650} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{610 + 810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	
		铁路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{3250} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{540 + 720(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	
一层	≥ 0.8	公路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{9500} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{1270 + 610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	$a/b \leq 1.5$
		铁路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{15000} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{1130 + 540(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	$a/b \leq 2.0$
	< 0.8	公路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{9500} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{970 + 810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	
		铁路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{15000} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{850 + 720(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	
两层	≥ 0.64	公路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{31500} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{1970 + 610(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	$a/b \leq 1.5$
	< 0.64	公路桥	$\left(\frac{b}{100t}\right)^4 \left[\left(\frac{\sigma}{31500} \right)^2 + \left\{ \frac{\tau}{1480 + 810(b/a)^2} \right\}^2 \right] \leq 1$	

在四边均作用有剪力时, 对于为防止屈曲而设置的竖直加劲肋的刚度, 从理论上来看, 其刚度越高, 屈曲系数越大, 并有趋向于一个常数的倾向。所以, 问题就变为, 刚度采用一个什么样

的数值,才能使屈曲系数“足够地”接近这个极限值的问题。德国的DIN4114(德国工业标准)把这个极限值规定的比较低。AASHO(美国公路和运输工作者协会*)的规定则比它大一倍左右。对此,世界上并没有统一的规定。在日本,铁路桥采用与AASHO完全相同的公式,公路桥规范给出的结果与AASHO大致相同,而公式形式更为简单。在任何情况下,加劲肋所需的截面惯性矩都必须大于由下式算得的值:

$$\left. \begin{aligned} \text{公路桥: } I &= \frac{bt^3}{11} \gamma, \quad \gamma = 8.0 \left(\frac{b}{a} \right)^2 \\ \text{铁路桥: } I &= \frac{bt^3}{11} \gamma, \quad \gamma = 25 \left(\frac{b}{a} \right)^2 - 20 \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

且 $\gamma \geq 5.0$

根据这些公式计算出来的所需最小刚度,有时只需要极小的加劲肋就可以了。但由于在上述计算中并未考虑板在面外方向上受载等的作用,担心其不利的影响,故应当注意加劲肋伸出肢的宽度不宜过小,加劲肋的板厚则应按一侧支承的受压板来决定。

因为一般在设计中,板的宽厚比(b/t)是由作用弯矩来决定的,所以这个验算公式是用来决定板梁竖直加劲肋的间距的。但是,若板厚大于某个尺寸时,即使竖直加劲肋的间距很大, k 也总能大于5.34,就是说,不用竖直加劲肋也可以。在实用上,设计规范在規定这个界限时总是偏于安全方面的。

表-2.5 可以不用竖直加劲肋的宽厚比的界限

类 型	SS41 SM41 SMA41	SM50	SM50Y SM53 SMA50	SM58 SMA58
公路桥	70<84	60<72	55<66	50<60
铁路桥	70<110	60<110	55<110	—

* 译注: AASHO现改称AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)。

(2) 承受轴向压力和弯矩的板

当板同时承受轴向压力和弯矩时,若板在加载方向的长度超过某个数值后,其屈曲系数和荷载分布状态间的关系将如图-2.5所示。其中 ψ 是最小压应力(若为拉应力则取负号)与最大压应力之比值。

一般来讲,与承受均匀压力的板相比较,纯弯曲的板在屈曲后承载力还可以增加,而且残余应力的影响也小,故式(2.3)中的 R 值在纯弯时可取等于1.0,安全系数可取1.4~1.5。并且,对于设计板厚的限制,若用图-2.5求出的 k 值,仍代入(2.3)式求算其 $\frac{b}{t}$ 限值时,可将此限值适当放宽。一般,计算时是将 R 和安全系数 s 考虑为 ψ 的线性函数,且通常是将计算结果表示为简明的形式而列入规范的。图-2.6就是表示如何将此 b/t 限值与均匀受压时 b/t 限值之比作为 ψ 的函数而规范化的,其中 $\left(\frac{b}{t}\right)_c$ 是均匀受压时的宽厚比限值。

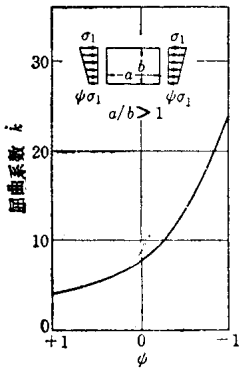


图-2.5 承受轴向力和弯矩的板的屈曲系数

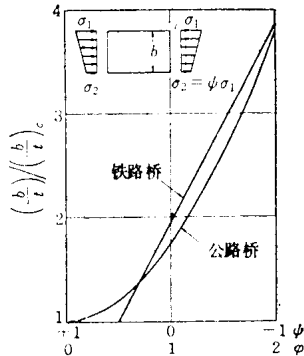


图-2.6 在桥梁中对承受轴向力和弯矩的板宽厚比的规定值

2.1.4 加劲受压板

对于在与压力平行的方向上,布置有等间距加劲肋的矩形板,在设计中应当使它与长、宽相同但不加劲的板具有相同的屈曲安全系数。即,若假定受压板与加劲板的安全系数和屈曲参数

相等，则下式必须成立。式中下标 s 表示加劲板，下标 0 表示受压板。

$$k_s \geq k_0 \left\{ \frac{(b/t)_s}{(b/t)_0} \right\}^2 \quad (2.9)$$

若是均匀受压， $k_0 = 4.0$ 。至于 k_s ，若加劲肋设在 n 等分线上，且 $a = \alpha b$ 时，

$$\left. \begin{aligned} &\text{若 } \alpha < \sqrt[4]{1+n\gamma}, \text{ 则} \\ &\quad k_s = \frac{(1+\alpha^2)^2 + n\gamma_s}{\alpha^2(1+n\delta)} \\ &\text{若 } \alpha \geq \sqrt[4]{1+n\gamma}, \text{ 则} \\ &\quad k_s = \frac{2(1+\sqrt{1+n\gamma_s})}{1+n\delta} \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

当每一根加劲肋的截面积为 F ，截面惯性矩为 I_s 时，可用下式计算 δ ， γ ：

$$\delta = \frac{F}{bt} \quad (2.11)$$

$$\gamma = \frac{12(1-\nu^2)}{bt^3} I_s \quad (2.12)$$

将式 (2.10) 代入式 (2.9)，可求得必需的刚度比 γ_s ：

$$\left. \begin{aligned} &\text{若 } \alpha < \sqrt{2n^2 \left(\frac{t_0}{t} \right)^2 (1+n\delta) - 1}, \text{ 则} \\ &\quad \gamma_s = 4\alpha^2 n \left(\frac{t_0}{t} \right)^2 (1+n\delta) - \frac{(\alpha^2 + 1)^2}{n} \\ &\text{若 } \alpha \geq \sqrt{2n^2 \left(\frac{t_0}{t} \right)^2 (1+n\delta) - 1}, \text{ 则} \\ &\quad \gamma_s = \frac{1}{n} \left[\left\{ 2n^2 \left(\frac{t_0}{t} \right)^2 (1+n\delta) - 1 \right\}^2 - 1 \right] \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

即加劲肋的刚度比必须大于由式 (2.13) 所算出的值。

若纵向加劲肋具有足够的刚度，则可以将加劲肋间的板件考虑为两边支承的受压板。

横向加劲肋的最小刚度比 γ_r ，是根据加劲肋的位置需成为屈曲波形的节线，而且加劲板的屈曲系数应与正交异性板的最小值