

U270.331

## 209HS 转向架焊接构架的设计与计算

TG457.21

沈宏峻 沈培德

袁斌

(上海铁道大学轮轨系统研究所)

(南京浦镇车辆厂)

**摘 要:**介绍了 209HS 转向架焊接构架的结构形式,以及设计过程中对降低自重、提高疲劳强度和焊接处理等问题的考虑;对构架的静强度和疲劳强度,着重用 UIC 标准进行了评定。

**关键词:**客车,转向架,焊接构架,强度计算,疲劳强度

**分类号:**U270.331.8

\* 设计 \*

铁路车辆

从 1974 年起由南京浦镇车辆厂开始研制的 209 转向架,根据我国的生产特点采用了铸钢构架。该构架在设计时总结了我国原 201 和 202 转向架的经验,选择了比较合理的断面。但从世界各国客车转向架的发展看,其构架已从铸钢型过渡到焊接型。特别是高速车辆转向架采用铸钢构架的更少。由浦镇车辆厂设计的 209HS 转向架则采用了四块钢板拼焊的焊接构架。本文介绍了该构架的特点及设计中采用的一些研究方法。

## 1 结构型式的选择

209HS 焊接构架采用了钢板拼焊的型式。选择这种型式主要是考虑以下四个因素<sup>[1,2]</sup>:

1. 钢板拼焊构架不需要大型压力设备和大型昂贵的压型模具,因而设备投资少、上马快,并且避免了钢板模压工艺造成的构件缺陷(如小弯角产生的毛细裂纹等)。
2. 钢板拼焊构件的断面合理,可采用上下盖板较厚而立板较薄的结构型式,从而能在保证断面垂直方向的弯曲惯性矩较大的同时,断面面积较小,自重较轻。
3. 钢板压型件一般采用强度较低的钢材(如 Q235 等),若采用高强度结构钢,则不易采用模压成型工艺。钢板拼焊结构则可以采用如 16Mn 等强度较高的结构钢,其许用应力较前者提高 25% 左右。
4. 焊接构架的侧梁与横梁联结部位应力十分复杂,是最易产生疲劳裂纹的部位。两根压型构件的连接,很难避免在节点上的焊缝。而钢板拼焊的结构则可把侧梁上下盖板延伸到节点以外,即延伸到横梁上应力较低的区域再焊接,并可安排减少应力集中的过渡圆弧。例如:长春客车厂 209 焊接构架的节点在侧梁与横梁的连接处有焊缝,如图 1(a)所示;而图 1(b)所示的为本设计采用的拼焊方案,其侧梁的上下盖板沿伸到横梁上,在连接断面上,上下盖板无焊缝。

根据上述考虑,209HS 构架的侧梁上盖板由中间一块 12 mm 的钢板和两端两块 10 mm 的钢板组成;下盖板中间部位厚 16 mm,两侧加工到 12 mm;腹板厚 8 mm。横梁上下盖板厚皆为 12 mm;腹板厚 8 mm。整个构架称重 780 kg。

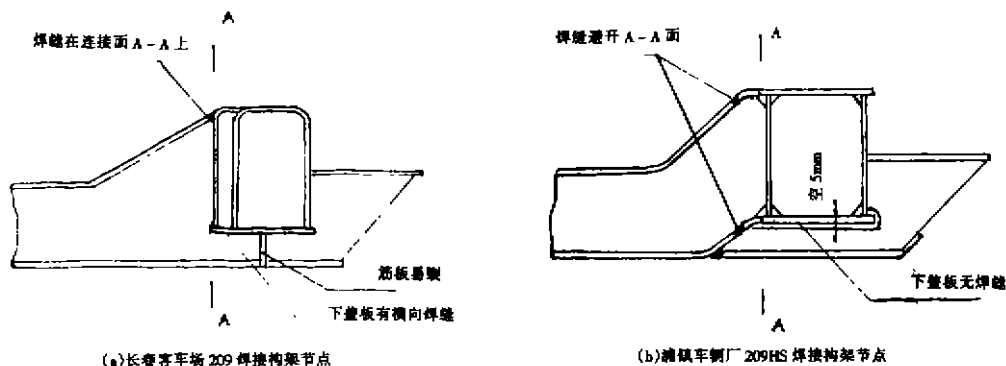


图 1 压型与拼焊结构的节点比较

## 2 设计中的几个问题

### 2.1 如何避免在疲劳试验中发生裂纹

长春客车厂和唐山机车车辆厂试制初期的 209 焊接构架,在疲劳试验时曾多次发生裂纹。裂纹发生在侧梁与横梁交接的外侧下筋板和侧梁与横梁交接内侧的下盖板上。为了避免在这些部位产生裂纹,本设计取消了下筋板,使侧梁的下盖板和横梁的下盖板直接连接;这可使力的传递更为合理,同时避免了裂纹的产生。另外,原设计在侧梁下盖板上进行焊接,因而容易在焊缝处产生裂纹;本设计则完全取消了下盖板上的焊缝。此外,本设计中吊杆座与侧梁下盖板之间空 5 mm 的间隙一直延伸到横梁上才开始焊接,也可避免裂纹的产生。

### 2.2 侧梁与横梁的拼焊

侧梁横梁分别焊好后,为保证拼焊后的总装尺寸,在侧梁立板内侧焊上一小块连接板。连接板需依据侧梁纵向中心线划线后加工。这样,两侧梁与横梁拼焊后,能保证两侧梁中心线的距离及其平行度。

### 2.3 吊杆座的焊接

吊杆座承受很大的垂直力。吊杆座的垂直力主要靠吊杆座的立板与构架侧梁之间的垂直焊缝传到构架上。经核算,如果只有两块立板,则两面焊接焊缝总数为 4 条,其焊缝剪切面积不够。故把吊杆座的立板改为 4 块,使焊缝增为 8 条,以保证足够的焊缝剪切面积。

## 3 构架的有限元静强度及疲劳强度计算

为了减轻自重,合理选择好断面尺寸及板材厚度,并保证构架的静强度和疲劳强度试验顺

利通过,对该构架进行了多种工况的有限元强度计算<sup>[3,4]</sup>。其有限元模型见图2。

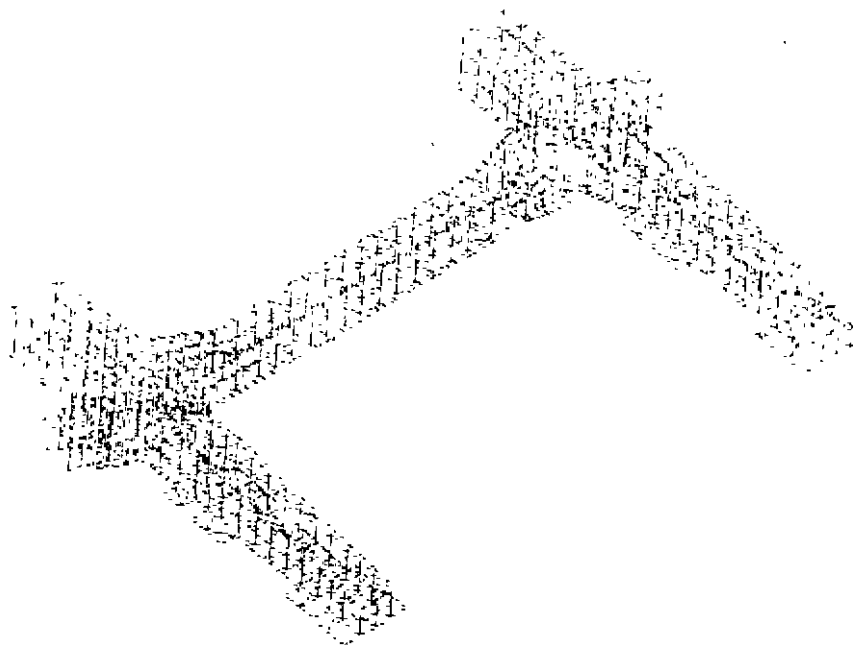


图2 二分之一构架有限元模型  
(二分之一构架共有1208个节点,1262块板壳单元组成)

### 3.1 按《铁道车辆强度设计及试验鉴定规范》要求对该构架作静强度计算

依据《铁道车辆强度设计及试验鉴定规范》要求,计算了单独心盘垂直载荷、垂直载荷加侧向载荷、垂直载荷加侧向载荷加垂直斜对称载荷、垂直载荷加垂直斜对称载荷等4种工况下的应力,并用第三强度理论评定。经计算,最大主应力为侧梁下盖板位于枕梁外侧的282号板单元,主应力值为162.9 MPa;按第三强度理论计算的最大合成应力发生在侧梁腹板的317号单元,合成应力为198.5 MPa。二者皆未超过所用材料(16Mn钢)的许用应力(216 MPa)。

### 3.2 按《UIC-515》规定的计算载荷用GOODMAN曲线评定构架的疲劳强度

《UIC-515》规定的计算方法是采用GOODMAN曲线定量地评定构架的疲劳强度。图3为德国ST52材料的GOODMAN曲线,它是一种应力疲劳的破坏包络线。当计算应力都处于该曲线范围内,材料在200万次应力循环以内,就不会发生疲劳破坏。图中横座标为平均应力( $\sigma_m$ );纵座标刻度与横坐标相同,为循环应力幅( $\Delta\sigma_a$ )、最大循环应力( $\sigma_{max}$ )与最小循环应力( $\sigma_{min}$ )共用。判断构架的疲劳强度是否合格时,只需在该图横座标上找到计算应力点的平均应力,然后通过该点作垂直线,与GOODMAN曲线的上下包络线相交;上部交点纵座标为 $\sigma_{max}$ 的允许值,下部交点为 $\sigma_{min}$ 的允许值;两允许值之差的一半为许用应力幅值( $[\Delta\sigma]$ )。若计算应力幅超过许用应力幅,则构架疲劳强度不合格;反之为合格。从图中可看出平均应力数值相同时,拉伸应力的许用应力幅小于压缩应力的许用应力幅,即表明材料受拉伸应力时,更易发生

疲劳破坏。另外,该图由  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b$  三条线封闭线组成; $b$  线适用于无焊缝处的计算点; $a_1$  线与  $a_2$  线适用于有焊缝处的计算点。其中  $a_2$  线为有对接焊缝或有较大缺陷的计算点。从图中可看出:焊缝对构架的疲劳有很大影响,特别是存在横向焊缝时,许用应力幅值将大大降低。因此,在设计构架时要尽量避免侧梁下盖板的横向焊缝。

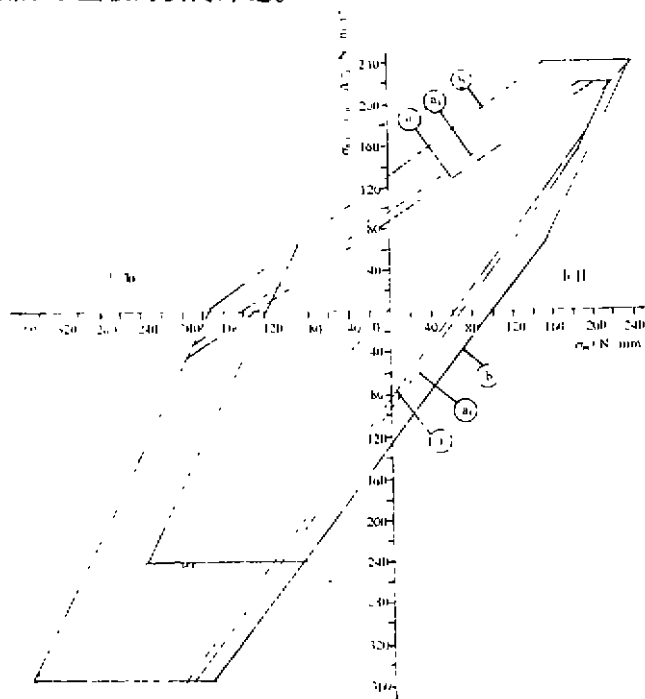


图3 抗拉强度大于  $520 \text{ N/mm}^2$  材料的 GOODMAN 曲线

《UIC-515》还规定了构架的9种计算工况(见表1)。其受力简图见图4。 $\alpha$  为考虑车辆运行在曲线上时横向力引起的垂直增减载荷系数; $\beta$  为考虑浮沉点头振动的垂直动力系数; $F_z$  为作用于构架上垂直载荷的一半; $F_y$  为作用于构架上的侧向力。

表1 《UIC-515》规定的9种计算工况

载荷工况	作用于构架一侧的垂直载荷		作用于一个构架的横向载荷
	$F_{z1}$	$F_{z2}$	
1	$F_z$	$F_z$	0
2	$(1 + \alpha - \beta) F_z$	$(1 - \alpha - \beta) F_z$	0
3	$(1 + \alpha - \beta) F_z$	$(1 - \alpha - \beta) F_z$	$F_y$
4	$(1 + \alpha + \beta) F_z$	$(1 - \alpha + \beta) F_z$	0
5	$(1 + \alpha + \beta) F_z$	$(1 - \alpha + \beta) F_z$	$F_y$
6	$(1 - \alpha - \beta) F_z$	$(1 + \alpha - \beta) F_z$	0
7	$(1 - \alpha - \beta) F_z$	$(1 + \alpha - \beta) F_z$	$-F_y$
8	$(1 - \alpha + \beta) F_z$	$(1 + \alpha + \beta) F_z$	0
9	$(1 - \alpha + \beta) F_z$	$(1 + \alpha + \beta) F_z$	$-F_y$

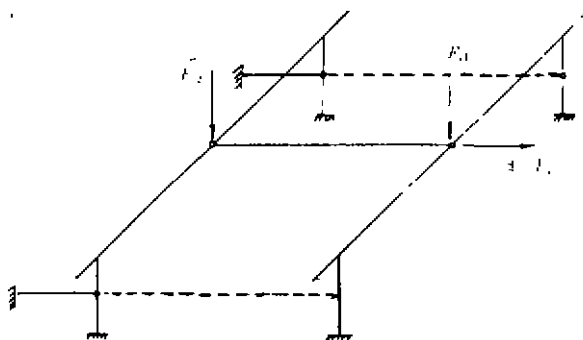


图4 《UIC - 515》规定的构架受力简图

经对209HS焊接构架按上述9种工况计算,得到表2所示的前10个具有最大应力幅的板单元。其中  $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$ ;  $\Delta\sigma = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$ ;  $[\Delta\sigma]$ 由图3的 GOODMAN 曲线获得。

表2 UIC - 515 规定的9种计算工况对应的计算结果

单元号	应力方向	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{\min}$	$\sigma_{\text{mean}}$	$\Delta\sigma$	$[\Delta\sigma]$
186	x	134.7(工况5)	30.16(工况7)	82.43	52.27	66.91
170	x	134.7(工况5)	30.32(工况7)	82.51	52.19	66.20
184	x	-137.5(工况5)	-47.64(工况7)	-92.57	44.93	124.36
168	x	-137.9(工况5)	-47.55(工况7)	-92.73	45.18	142.72
305	x	138.6(工况5)	3.982(工况7)	71.29	67.31	71.00
200	x	-104.4(工况5)	-49.33(工况7)	-94.87	45.54	127.41
258	x	142.0(工况5)	47.03(工况7)	94.52	47.49	58.90
216	x	-141.9(工况5)	-49.73(工况7)	-95.82	46.09	125.20
259	x	147.0(工况5)	34.02(工况7)	90.51	56.49	63.63
313	x	136.3(工况5)	14.24(工况7)	75.27	61.03	69.10

需要指出的是,不同的钢材有不同的 GOODMAN 曲线。由于德国 ST52 钢板 ( $\delta < 16 \text{ mm}$ ) 的抗拉强度为 510 MPa ~ 680 MPa,其屈服限为 355 MPa,与本设计选用的 16Mn 钢强度相当,故采用 ST52 钢的 GOODMAN 曲线评定 209HS 构架的疲劳强度。

由表2看出,  $\Delta\sigma$  接近  $[\Delta\sigma]$  的单元为侧梁下盖板靠横梁处的 305、313、259 号单元。这些单元的应力幅值都小于并接近相应的许用应力幅值。因此该构架的疲劳强度合格,且材料也已得到充分利用。

### 3.3 用四方车辆研究所规定的原 209 焊接构架的疲劳试验载荷计算构架的疲劳强度

考虑到 209HS 焊接构架须通过四方车辆研究所的疲劳试验,且该构架还准备推广应用到 209PK 转向架上,故疲劳计算时还采用了原长春客车厂 209 焊接构架所用试验载荷(最大垂直载荷 57 t,最小垂直载荷 13 t),对该构架用 GOODMAN 曲线作了评定。计算结果表明,全部应

力点的应力幅都处于图 4 的  $a_1$  线内。

209 HS 焊接构架于 1994 年 5 月在四方车辆研究所一次性通过静强度和疲劳试验。客车焊接构架研制后,能一次性通过疲劳试验,这在我国是少有的。这表明,如果试验载荷作用下构架应力幅在 GOODMAN 曲线范围内,则构架通过疲劳试验就没问题。

#### 4 结论与建议

1. 209HS 焊接构架结构设计合理,重量轻,使我国客车转向架设计水平上了一个新台阶。该构架之所以比较成功,是由于设计时对构架的受力、焊缝对母材的强度影响等方面作了周密的考虑和详尽的计算。

2. 从这次计算工作以及笔者曾做过的多次计算来看,用 UIC 标准和 GOODMAN 曲线来评定构架的疲劳强度有较高的准确性。它定量地考虑了焊缝对许用应力幅的影响,以及钢材受拉和受压时许用应力幅的差别。这些情况如按《铁道车辆强度设计及试验鉴定规范》计算是反应不出来的。因此,建议今后在构架的强度计算时,除了采用上述规范外,还应采用 UIC 标准,应用 GOODMAN 曲线计算和评定构架的疲劳强度。两者都通过后,再下料试制,并做有关静强度及疲劳强度试验,最后再投入批量生产。

#### 参 考 文 献

- 1 徐灏. 机械设计手册(3). 北京:机械工业出版社,1991:195~213
- 2 程育仁,缪龙秀,候炳麟. 疲劳强度. 北京:中国铁道出版社,1990:155~180
- 3 成建民. 有限单元法及其在车辆强度计算中的应用. 北京:中国铁道出版社,1988:157~171
- 4 李庆生. 材料强度学. 太原:山西科学技术出版社,1990:297~319

### Design and Calculation of 209HS Welded Bogie Frame

Shen Hongjun Shen Peide

(Inst. of Wheel Rail System, Shanghai Tiedao Univ.)

Yuan Bin

(Nanjing Puzhen Passenger Car Manufacturing Factory)

**Abstract:** This paper introduces the structure type of 209HS welded bogie frame, and some main problems we considered when we designed the frame, such as keeping down the weight, enhancing the fatigue strength and the welded seam processing. The strength of the frame is calculated with the standard of UIC.

**Keywords:** passenger car, bogie, welded frame, strength calculation, fatigue strength