

# 钢桥梁制造规范中有关组装尺寸允许偏差问题

李军平

(中铁宝桥集团有限公司, 陕西宝鸡 721006)

**摘要:**桥梁在投入运营后会承受频繁的动荷载,不同于一般的建筑结构,而对于钢结构桥梁来说,相比钢筋混凝土桥梁也具有一些特殊的性能要求,如:对钢桥梁杆件或钢梁(钢塔)节段的几何精度及焊接质量等有较高的标准要求。而合理的钢梁构件组装尺寸允许偏差要求,对确保成品尺寸精度、方便生产、确保质量尤为重要。但现行的行业规范、地方规范或项目的制造规则中,给出的组装尺寸允许偏差往往不够科学、合理,难以满足或匹配最终的成品基本尺寸允许偏差。

为此,从分析钢桥梁制造规范中组装尺寸允许偏差的现状入手,首先阐述了钢桥梁组装尺寸允许偏差的确定依据及相关事例:1)对于钢桁梁桥主桁杆件的高度组装允许偏差要求,Q/CR 9211—2015《铁路钢桥制造规范》给出的标准要求的比较合理、全面的;2)对于桥梁钢塔节段的组装允许偏差要求,一般的制造与验收规范中,钢塔节段组装允许偏差采用与成品的基本尺寸允许偏差一致的做法是不合理的;3)对于钢箱梁节段有关组装尺寸允许偏差问题,目前的行业规范、地方规范或钢箱梁项目的制造验收规则中,没有把最终的梁段基本尺寸允许偏差和组装尺寸允许偏差区别开来,要求两者之间的允许偏差基本一致也是不合理的。然后,介绍了制定钢梁构件组装尺寸允许偏差应注意的问题:1)对部分钢梁构件组装允许偏差的剖析,如:钢塔(钢箱梁)节段,由于制造工序多、影响因素多,不应该把成品基本尺寸允许偏差和组装尺寸允许偏差定成一致或接近;2)复杂钢梁构件的组装允许偏差应根据成品基本尺寸允许偏差结合其结构特点、制造工艺等而定;3)制定的钢梁构件基本尺寸允许偏差应该科学合理,如:大型钢箱梁的宽度公差等要求过严是无意义的,应该结合钢梁构件具体的结构特点、各项点的重要程度制定。

最后得出结论:确定科学合理的钢梁构件基本尺寸允许偏差意义重大,其组装允许偏差与制造工艺密切相关,应该由制造厂依据钢梁构件的基本允许偏差要求,结合结构特点、焊接收缩等因素在工艺上给出,规范上只需对组装工序的一些基本要求予以规定。

**关键词:**钢桥梁;制造规范;组装;允许偏差;探讨

## 0 前言

桥梁在投入运营后会承受频繁的动荷载,对于钢结构桥梁来说,相比钢筋混凝土桥梁还具有一些特殊的性能要求。为此,对钢桥梁的建造质量提出了较高的标准要求,尤其是钢桥梁的杆件或梁、塔段、块体的几何精度及焊接质量等,而钢桥梁的组装允许偏差作为保证钢桥梁构件几何精度和焊接质量的关键因素之一,必须给出科学合理的标准要求,才可能达到成品的允许偏差,从而,保证钢桥梁的制造质量及耐久性。

## 1 钢桥梁制造规范中组装尺寸允许偏差的现状

目前,有关钢桥梁制造方面的行业规范主要有Q/CR 9211—2015《铁路钢桥制造规范》<sup>[1]</sup>、JTG/T F50—2011《公路桥涵施工技术规范》<sup>[2]</sup>以及江苏省、安徽省、浙江省等相关地方规范<sup>[3-5]</sup>。由于钢桥梁型式的多样性、复杂性,这些规范很难全面、详细地对各种钢桥梁的制造、验收标准予以明确,故而对于一般的大型桥梁或特殊桥梁,都要根据相关规范

作者:李军平,男,1965年出生,硕士,教授级高级工程师,钢结构大师。

Email:370349073@qq.com

收稿日期:2021-01-22

及设计要求等编制针对具体项目的制造验收规范或规则。然而,这些行业或地方规范或项目的制造规则所制定的组装尺寸允许偏差往往不够科学、合理,难以满足或匹配最终的成品基本尺寸允许偏差要求,因此,也就失去了指导生产的作用,而对于非专业制造厂家,可能还会起到误导作用。

## 2 钢桥梁组装尺寸允许偏差的确定依据及相关事例

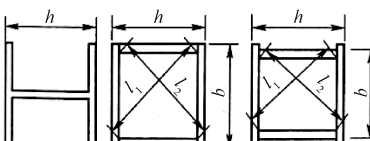
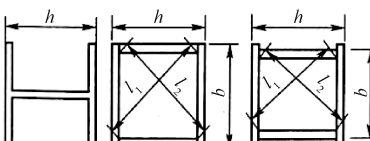
钢桥梁构件组装允许偏差的确定应以构件基本尺寸允许偏差即成品允许偏差为依据,并结合构件的结构特点、制造工艺、焊接要求等确定,具体应随构件的结构形式、板厚、焊接要求如角焊缝、坡口角焊缝或熔透角焊缝的不同而不同,不宜给成固定值,否则,很难达到最终的构件基本尺寸允许偏差要求,甚至还会影响构件的焊接质量。现以钢桁梁桥、桥梁钢塔、钢箱梁桥的部分构件组装尺寸允许偏差为例加以说明。

### 2.1 钢桁梁桥主桁杆件的高度组装允许偏差要求

对于钢桁梁桥的主桁杆件,不管是箱形杆件还是工形杆件,其断面高度尺寸允许偏差较为重要,是确保桥位顺利安装及安装质量的关键,《Q/CR 9211—2015》要求的基本尺寸允许偏差为:插入式为 $-2.0 \sim -0.5$  mm,对拼式为 $\pm 1.0$  mm。针对该基本尺寸允许偏差要求,该规范中对组装允许偏差给出了一个较为合理的值(表1),同时,还考虑了不同板厚、不同焊接量的影响等,增加了表1中注①:可根据坡口深度、焊脚尺寸及工艺方法调整。这是比较合理、全面的。

表1 主桁杆件组装允许偏差

Table 1 Allowable deviation of main truss

member assembly		mm
图例	项目	允许偏差
	主桁插入式	0 <sup>①</sup>
	斜、竖杆高度 $h$	-1.5
	主桁对拼式	+1.5 <sup>①</sup>
	斜、竖杆高度 $h$	0
	箱形杆件对角线差 $ l_1 - l_2 $	2.0
	箱形杆件宽度 $b$ (有拼接时)	$\pm 1.0$
磨光顶紧	局部缝隙	0.2

### 2.2 桥梁钢塔节段的组装允许偏差要求

因钢塔节段的结构一般较为复杂、焊缝密集、制作过程中需要翻身焊接等原因,通常采用短线法制作,即严格控制每个节段的基本允许偏差,断面宽

度、高度允许偏差 $\leq 2.0$  mm、扭曲 $\leq 3.0$  mm,待钢塔节段制作完成后再进行两两节段的立式预拼或水平预拼,钢塔预拼时相邻节段的错台 $\leq 2.0$  mm等。

为了保证钢塔节段的基本允许偏差要求,除了制定合理的组装方案外(图1为某桥钢塔节段的结构及组装方案),还必须根据结构特点、板厚、焊缝设计等制定合理的组装允许偏差要求,如图2中的钢塔节段,经分析其结构特点及焊接收缩等因素,制定了断面宽度6.8 m方向(图2中水平方向)组装允许偏差 $+3.0 \sim +4.0$  mm、断面高度5 m方向(图2中垂直方向)组装允许偏差 $+2.0 \sim +3.0$  mm、对角线差 $\leq 2$  mm。实践证明,该方案是较为合适的,钢塔节段焊接完成后不用修整就可达到基本尺寸允许偏差的要求。当然,组装时还采取了必要的焊接变形控制措施等。然而,一般钢塔项目的制造与验收规范中,钢塔节段组装允许偏差采用与成品的基本尺寸允许偏差(节段断面高、宽 $\pm 2$  mm,对角线差 $\leq 3$  mm,扭曲 $\leq 3$  mm)一致的做法显然是极为不妥的,因为,作为全焊结构的焊接收缩必须考虑,如:曾经在实测的几个钢塔节段后发现,钢塔节段焊完后,6.8 m方向平均收缩3.5 mm,如果组装时按0 mm控制,则焊后 $-3.5$  mm,不能满足 $\pm 2$  mm的标准要求;5 m方向平均收缩2.5 mm,显然,组装也不能按与成品的基本尺寸允许偏差 $\pm 2$  mm来控制。所以,有些规范<sup>[6-7]</sup>中钢塔节段断面的高度、宽度允许偏差尽管按 $\pm 2$  mm要求,但加了一个“注:该项根据经验及焊接收缩情况确定,具体由工艺给出”。这样就比较合理。

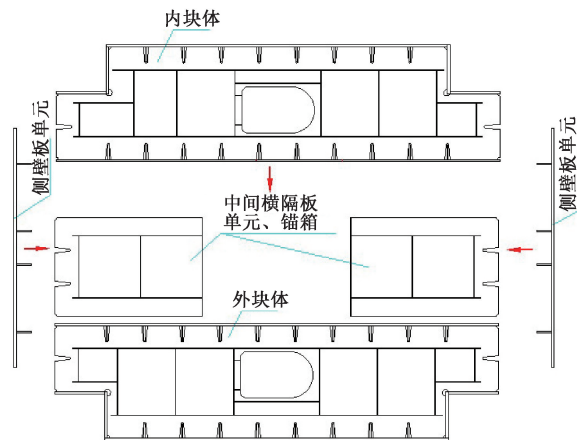
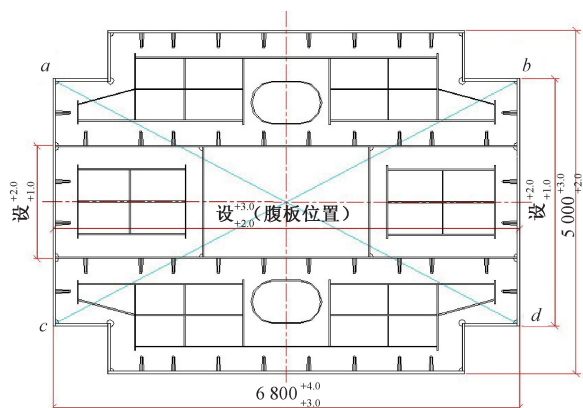


图1 某桥钢塔节段的结构及组装方案

Fig. 1 Structure and assembly scheme of steel tower section of a bridge

### 2.3 钢箱梁节段有关组装尺寸允许偏差问题

JTG/T F50—2011对钢箱梁节段基本尺寸允许偏差的几个要求:1)当梁高 $h \leq 2$  m时,允许偏差为



对角线要求:  $|ad-cb| \leq 2 \text{ mm}$ ; 内(外)壁板、腹板纵基线允许偏差  $\leq 1.0 \text{ mm}$ 。

图2 钢塔节段组装公差要求

Fig. 2 Tolerance requirements for section assembly of steel tower

$\pm 2 \text{ mm}$ ; 当  $h > 2 \text{ m}$  时, 允许偏差为  $\pm 4 \text{ mm}$ ; 2) 腹板中心距允许偏差为  $\pm 3 \text{ mm}$ ; 对角线差允许偏差为  $\leq 4 \text{ mm}$ 。而在同一本规范<sup>[2]</sup>中, 梁高的组装尺寸允许偏差要求与其基本允许偏差一样, 给出的箱形梁宽度组装尺寸允许偏差为  $\pm 2 \text{ mm}$ , 对角线差  $\leq 3 \text{ mm}$ 。可以看出, 该规范<sup>[2]</sup>制定的钢箱梁组装允许偏差没有考虑钢箱梁焊接量大小及焊接收缩等因素的影

响, 这肯定是不合理的。而且, 该规范<sup>[2]</sup>对于大型钢箱梁节段基本允许偏差的项规定不详, 新版 JTG/T 3650—2020《公路桥涵施工技术规范》更没有具体的要求, 而江苏、安徽等省份制定有相关的地方规范。

在一般情况下, 每个大型或特殊桥梁项目开始前, 参照相关行业规范、省部级规范或以前类似项目的制造验收规则, 制造单位要编制一个针对具体钢箱梁桥项目的制造验收规则, 经过专家评审后用于该项目钢箱梁的制造及成品验收。但这些行业规范、省部级规范和为项目制定的制造验收规则有一个共同的特点, 就是没有把最终的梁段基本尺寸允许偏差和组装尺寸允许偏差区别开来, 更没有考虑钢箱梁制造工艺的特殊性。如: DB 34/T 2225—2014《公路桥梁钢箱加劲梁制造安装技术规程》<sup>[4]</sup>, 钢箱梁制造基本尺寸允许偏差的梁高、梁宽、端口尺寸相关要求见表 2, 而对应的梁段组装相关尺寸允许偏差见表 3。可以看出, 两者之间的允许偏差基本一致, 没有考虑焊接收缩的影响等因素, 自然是不合理的, 而且, 对于比较关键的吊点的横向位置或梁段中心距允许偏差没有给出要求。

表 2 大型钢箱梁基本尺寸允许偏差

Table 2 Allowable deviation of basic size of large steel box girder

位置	项目	允许偏差/mm	示意图	测量方法	
梁高	高度 $H$	$\pm 2$		测量两端口, 以底部为基准, 采用全站仪、钢盘尺测量高度	
梁宽	2 车道	$\pm 2.5$		在梁段两端口用钢盘尺测量宽度	
	梁半宽 $B/2$ 、顶板半宽 $B_1/2$ 、底板半宽 $B_2/2$	4 车道			$\pm 3$
		6 车道			$\pm 4$
端口	对角线差 $ L_1 - L_2 $	$\leq 6$		用钢盘尺测量对角线, 检查测量值之差	

表 3 梁段组装尺寸允许偏差

Table 3 Allowable deviations of beam segment assembling dimension

位置	项目	允许偏差/mm	示意图	测量方法	
梁高	中部高度 $H_1$	$\pm 2$		钢尺	
	边部高度 $H_2$				
梁宽	顶板半宽 $B_1$	2 车道		在梁段端口处用钢尺或经纬仪测量	
	梁半宽 $B$	4 车道			$\pm 3.0$
	底板半宽 $B_2$	6 车道			$\pm 4.0$
端口	对角线差 $ L_1 - L_2 $	$\leq 6.0$		测量两端口, 用钢尺或经纬仪测量	

另外, DB 32/T 947—2006《公路桥钢箱梁制造规范》<sup>[3]</sup>规定的钢箱梁段制造尺寸允许偏差:梁高 $\pm 2$  mm;梁宽(半宽):2车道 $\pm 5$  mm( $\pm 2.5$  mm),4车道 $\pm 6$  mm( $\pm 3$  mm),6车道 $\pm 8$  mm( $\pm 4$  mm),端口对角线差 $\leq 6$  mm。而对梁段组装允许偏差要求:梁高 $\pm 2$  mm,梁宽(用梁段上的两吊点横向中心距代替):2车道、4车道、6车道分别为 $\pm 5$ 、 $\pm 6$ 、 $\pm 8$  mm,端口对角线差 $\leq 4$  mm。这里,控制梁段上吊点的横向间距允许偏差是有意义的,所给的允许偏差也是合理的,但这应该是成品的基本尺寸允许偏差要求。而不应该是组装允许偏差要求。因为,若组装时满足该公差要求,当钢箱梁组焊完成并解马(钢箱梁与总拼胎架解除约束)后,因刚性约束解除、应力释放会使梁段的几何尺寸发生变化,此时很难达到梁段的基本尺寸允许偏差要求。而且,对梁段顶、底板或轮廓尺寸宽度的尺寸允许偏差分别要求为 $\pm 5$  mm(2车道)、 $\pm 6$  mm(4车道)、 $\pm 8$  mm(6车道)的意义也不大。

### 3 制定钢梁构件组装尺寸允许偏差应注意的问题

#### 3.1 对部分钢梁构件组装允许偏差的剖析

钢桥梁制造验收规范或规则是钢梁制造过程中必须严格遵守的重要技术标准,只有科学合理的要求才能起到指导生产的作用,而钢梁构件的组装允许偏差是保证成品尺寸精度的关键,必须认真对待。从钢桁梁桥杆件高度组装允许偏差的确定可以看出(2.1节),钢桁梁桥的工形、箱形杆件,由于组成零件少、结构相对简单,规范容易给出较为合理、与基本尺寸允许偏差相匹配的组装允许偏差要求;而对于断面尺寸较大、组成零件多且对几何精度要求较高的钢塔节段,必须结合其结构特点、组装方案、焊接变形等综合因素来确定其组装允许偏差(2.2节);对于大型钢箱梁节段来说,制造工序多、影响因素多,梁段的几何精度受组装工艺、焊接变形等多种因素的影响,所以,把梁段组装尺寸允许偏差和成品尺寸允许偏差定成一致或接近是不合理的、也是不科学的(2.3节)。因此,必须结合具体钢桥梁构件的结构特点、焊缝设计、制造工艺等因素确定其组装允许偏差。

#### 3.2 如何确定复杂钢梁构件的组装允许偏差

要制定合理的钢梁构件组装尺寸允许偏差,不但要清楚其成品基本尺寸允许偏差要求,更要了解其结构特点、制造工艺等。实际上,对于大型钢箱梁节段,从制造流程上来说,根本不存在整体的组装允许偏差要求,因为钢箱梁节段是边组装边焊接的工艺,如:首先,底板从中间向两边、两边向中间依次组

装、焊接(最后组焊合龙底板),再将横隔板从一端向另一端组装、焊接,之后,顶板从中间向两边、两边向中间组装、焊接,最后,组焊合龙顶板单元等。也就是说,钢箱梁节段并不是整体组装完成后再焊接的,而是边组装边焊接,所以,制造规范给的钢箱梁节段组装尺寸允许偏差,在生产中是无法操作的,因为组装完成意味着焊接完成,检测的几何尺寸为解马前的尺寸。而钢箱梁在解马后,会因为焊接内应力使梁段宽度两侧发生反弹等,从而使得解马前后的尺寸发生变化,即解马前的尺寸与梁段成品尺寸允许偏差也是不同的。

因此,对于较复杂的钢梁构件,保证构件成品尺寸允许偏差的关键应该是深厚的造桥理念、科学合理的工艺方案、工艺设计及工艺留量等,组装尺寸允许偏差应在制造工艺中考虑。在制造验收规范或规则中,对钢梁构件组装工序规定一些基本要求是必要的,如:板单元的对接错边、对接或组装间隙等要求,但对于梁段整体的几何精度等要求,在规范中很难给出合理的标准要求,应该由制造厂在工艺中体现,其目标就是确保达到制造验收规范或规则中的成品基本尺寸允许偏差要求。

#### 3.3 制定的钢梁构件基本尺寸允许偏差应该科学合理

钢梁构件的基本尺寸允许偏差是基于结构安全、安装顺利而定的,过严的规范要求会大大增加制造成本且无益于结构安全及桥位安装,如:对于30~50 m宽度的钢箱梁来说,一味地要求宽度尺寸允许偏差达到 $\pm 6$  mm(4车道)、 $\pm 8$  mm(6车道)是没有意义的,因为,对于由多个板单元组成并经过多次组装、焊接工序才能完成的钢箱梁节段来说,达到较高的公差要求难度较大,也没有必要。所以,国外发达国家的相关规范规定,钢箱梁节段的宽度允许偏差为 $\pm(4+B/2)$  mm( $B$ 为钢箱梁宽度, m),如: $B=40$  m,则宽度允许偏差为 $\pm 24$  mm。可以看出,这个宽度尺寸允许偏差比国内规范要宽松得多。当然,对于比较关键的指标,从严要求是合理的,如:钢箱梁节段上吊点位置精度、相邻钢箱梁节段的错台、隔板与顶板组装间隙等要求,不过,按同一工艺且采用预拼装匹配制作的梁段,相邻梁段的错台达到 $\leq 2$  mm的要求是容易达到的。即应该结合钢梁构件具体的结构特点、各项点的重要程度等制定科学合理的基本允许偏差要求。

## 4 结论

科学合理的钢梁构件基本尺寸允许偏差要求,

不仅有利于确保结构安全、方便制造及桥位安装,更有利于节省制造成本。而组装允许偏差与制造工艺密切相关,尤其对于较复杂的钢梁构件,应该由制造厂依据钢梁构件的基本允许偏差要求,结合结构特点、焊接收缩等因素在工艺上给出,规范上只需对组装工序的一些基本要求予以规定。

#### 参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 铁路钢桥制造规范:Q/CR 9211—2015[S]. 北京:中国铁道出版社,2015.
- [2] 中华人民共和国交通部. 公路桥涵施工技术规范:JTG/T F50—2011[S]. 北京:人民交通出版社,2011.

- [3] 江苏省质量技术监督局. 公路桥钢箱梁制造规范:DB 32/T 947—2006[S]. 南京:凤凰出版传媒集团江苏科学技术出版社,2007.
- [4] 安徽省质量技术监督局. 公路桥梁钢梁加劲梁制造与安装技术规程:DB 34/T 2225—2014[S]. 北京:人民交通出版社,2015.
- [5] 浙江省交通运输厅. 公路钢结构桥梁制造指南:ZJ/ZN 2019—14[S]. 2019.
- [6] 中铁宝桥集团有限公司. 泰州长江公路大桥钢塔柱制造与安装规则[S]. 2008.
- [7] 安徽省质量技术监督局. 公路桥梁钢塔制造与安装技术规程:DB 34/T 2224—2014[S]. 北京:人民交通出版社,2015.

## The Allowable Deviation of Assembly Dimension in Steel Bridge Manufacturing Specification

Junping Li

(China Railway Baoji Bridge Group Co., Ltd., Baoji 721006, China)

#### Abstract:

Bridges will bear frequent dynamic loads after being put into operation, which is different from the general building structure. For steel bridge, compared with reinforced concrete bridge, it also has some special performance requirements, such as higher standard requirements for the geometric accuracy and welding quality of steel bridge bar or steel beam (steel tower) section. The reasonable allowable deviation requirement of steel beam assembly size is particularly important to ensure the dimensional accuracy, convenient production and quality of finished products. However, in the current industry norms, local norms or manufacturing rules of the project, the allowable deviation of assembly size given is often not scientific and reasonable, and it is difficult to meet or match the allowable deviation of the final basic size of the finished product.

Based on the analysis of steel bridge manufacture assembly size with the current situation of allowable deviation in the specification, it expounded the steel bridge assembly dimensions determine the allowable deviation of basis and related examples: 1) the height of the steel truss girder lord bar assembly tolerance requirements, Standard of Railway Steel Bridge Manufacture(Q/CR 9211—2015) is more rational and comprehensive; 2) the allowable deviation requirements of bridge steel tower segment assembly. In general manufacturing and acceptance specifications, it is unreasonable to adopt the allowable deviation of steel tower segment assembly consistent with the allowable deviation of the basic size of the finished product; 3) the allowable deviation of steel box girder segment assembly size is not distinguishable between the allowable deviation of the final basic size of the girder segment and the allowable deviation of the assembly size in the current industry standard, local standard or the manufacturing acceptance rule of steel box girder project. It is unreasonable to require that the allowable deviation between the two is basically the same. Then, the paper introduced the making steel component assembly dimension deviation should be allowed the problems: 1) assembly of allowable deviation for the part of the steel girder structure analysis, such as: steel tower, steel box girder segment, due to the manufacturing process, influencing factors, should not put the finished product basic size deviation and assembly size allowed allowable deviation as a consistent or near; 2) How to determine the assembly allowable deviation of complex steel beam members should be determined according to the allowable deviation of the basic size of the finished product combined with its structural characteristics and manufacturing technology; 3) to develop the basic size of the steel girder components allowed deviation should be scientific and reasonable, such as: large steel box girder width tolerance requirements were too strict was meaningless, should be combined with the specific structural characteristics of the steel girder components, the importance of the point of the degree of development.

Finally it drew the conclusion; the basic dimension tolerance to determine the scientific and reasonable steel components was of great significance, the assembly tolerance was closely related to the manufacturing process, should be determined by the factory according to the basic allowable deviation of steel components, combining with the characteristics of structure, welding shrinkage factors such as given on process, specification, just set forth some basic requirements for the assembly process.

**Key words:** steel bridge; manufacturing specification; assembly; allowable deviation; discussion