

叠合梁斜拉桥随机制造误差研究

周郅哲

长沙理工大学 长沙 湖南 410076

[摘要]为研究叠合梁斜拉桥主梁随机制造误差对这类桥型的成桥线形的影响,通过无应力构形控制理论作为理论依据,以某公路大桥为研究对象,分析和研究长度制造随机误差和角度制造随机误差对主梁和成桥线形的影响,并且通过对误差的形成和传播进行深度分析,进一步的说明了制造误差的重要性,结果表明,主梁制造长度随机误差参数对叠合梁斜拉桥的成桥线形影响不大,但主梁制造角度误差参数对叠合梁斜拉桥的成桥线形影响较大。

[关键词]斜拉桥; 施工控制; 随机性; 制造误差; 误差传播规律

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.1332

引言

这些年来,预制钢箱梁因为其施工便利,能有效缩短施工周期的原因往往大范围的使用在大跨度斜拉桥之中,但是,在桥梁的实际施工操作中,随着施工进度的不断推进,线形和内力也会随之出现不可避免的误差,为了分析误差在施工过程中的积累所导致主梁结构最终与理想目标状态发生偏离的原因,所以提出对误差做出相应研究。

主梁节段随机制造误差^[1]主要体现在三个方面:梁段的随机长度制造误差、梁段间的随机角度制造误差和梁段的索锚点位置误差。箱梁的长度和拼装角度误差量值通常较小,虽然如此,但制造误差对成桥状态参数的敏感性^[2]较强,对成桥线形仍有不可忽略的影响,本文将说明随机制造误差在主梁上的传播规律和后续对成桥线形的影响。

1. 研究对象

利用有限元软件对某公路大桥进行计算模型的建立,并将收缩徐变与其他非线性影响加入并计算,全桥模型共划分为1712个节点,901个单元,其中单元节点的位置在本有限元程序中指代的是单元始末端点截面形心的位置。在主塔下塔柱与中塔柱之间主要截面变化处划分单元节点并进行相应计算

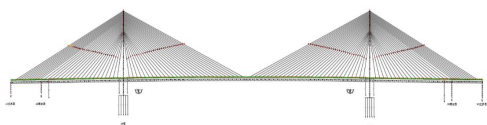


图1.1 某公路大桥网格图

2. 误差形成及传播规律

在施工作业过程中,如何有效的限制与控制误差的发展是施工控制的主要目标。其调整和控制误差的前提是对误差的形成和传播规律有着深入的了解和理解。误差不会是一直不变的,其会随着施工工况的推进和新梁段的吊装架设。下面将对梁段制造误差的发展规律进行分析,主梁制造误差分成三个主要的方面,首先是误差的形成,其次的误差的变化,最后则是误差的传播,下面将会对这三种误差进行解释和分析。

2.1 新梁段误差形成

以钢箱梁吊装完成的时间节点对施工的时间进行分割,将叠合梁斜拉桥主梁段的施工全过程分成两个阶段,钢梁的安装阶段和斜拉索完成施工阶段,其中钢箱梁起吊、匹配安装阶段为一般的误差形成阶段,而当前钢箱梁段的预制桥面板安装、与前一段梁段进行湿接缝浇筑和斜拉索的张拉即施工过程中存在新的误差产生,这是因为梁段的自身参数发生了相应的变化,假设当前需要安装的新梁段为N+1#梁段,则在此之前的N-1#梁段、N号梁段的前端点线形误差已经形成,则N+1号梁段的误差为刚刚最新形成的误差。

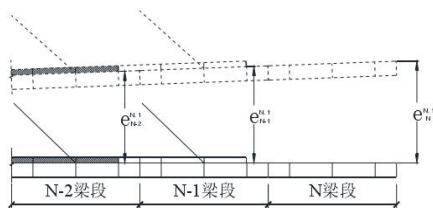


图2.1 叠合梁安装示意图

可根据新安装的梁段结构参数是否与理论设计基准值相同,将新梁段安装误差分成两类情况进行讨论:

1. 若新梁段的结构参数与理论设计基准值相同时,则此时新梁段前段点位置与理论设计基准模型的位置差值即为要求值,计算公式如下:

$$e_n^{n,1} = e_{n,1}^{n,1} + e_{n,2}^{n,1} \quad (2-1)$$

2. 若新安装梁段与理论设计基准值有差异时,则需要对式(2-1)进行补充,此时新梁段前段点误差 $e_n^{n,1}$ 出现了三个影响因素,计算公式如下:

$$e_n^{n,1} = e_{n,1}^{n,1} + e_{n,2}^{n,1} + e_{n,3}^{n,1} \quad (2-2)$$

2.2 钢梁安装后至斜拉索施工完成阶段的误差变化

由于新梁段在上述的安装阶段形成了误差,当新梁段的斜拉索张拉采用的是无应力索长控制,这样使得当前梁段的前端点误差线形会比之前计算的误差要小。

2.3 后续施工阶段的误差变化

钢梁施工完成后,线形误差形成,经过多步施工步骤,新梁段将成为已成梁段对后续起吊、拼装的新梁段产生误差影响,同样后续栓接拼装、浇筑的梁段将会对已成梁段的误差继续产生影响。

3. 误差影响

由规范可以得知,钢箱梁的预制误差长度允许偏差的范围为2mm~-2mm之间,所以可以将赤壁长江公路大桥的所有预制钢箱梁#1~#29梁段的长度都随机增加误差,通过计算实例,并通过多组数据进行分析选取其中三组最具有代表性的数据组,具体数据选择信息如下表3.1所示:

表3.1 长度误差随机输入变量

随机变量	分布类型	均值	标准差	变异系数(%)
随机误差组A	正态分布	0.000175	0.001182	6.74517
随机误差组B	正态分布	-0.0000943	0.000546	5.82768
随机误差组C	正态分布	0.000411	0.000533	13.40477

将通过计算得到的数据与理想设计状态下的无应力拼装数据相对比,得到的数据对比图如下图3.1和3.2所示:

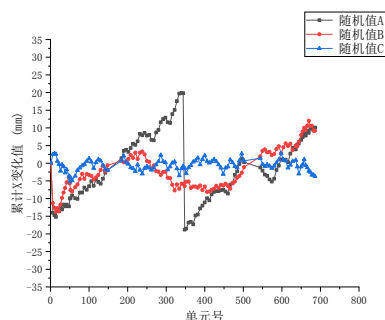


图3.1 无应力状态下长度累积变化值

通过图3.1和3.2可以得到以下结论:主梁长度随机误差对无应力长度累积误差的影响较为明显,并且通过对图3.1的观察可以得知其最大值为19.7mm和最小值为-18.9mm,且其最大值和最小值都主要出现在跨中合龙段的位置。从图3.2可以观察得出其最小值和最大值仅分别为-0.211mm和0.238mm。

将图3.1、3.2的无应力线形误差结果输入赤壁长江公路

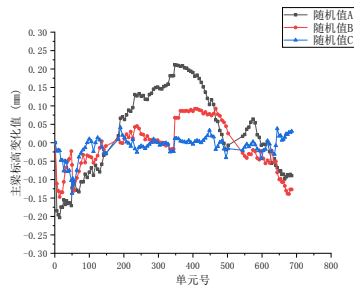


图 3.2 无应力状态下高程累计变化值

大桥正装计算模型，斜拉索初张力保持不变，经计算得到成桥状态主梁线形误差如下图所示：

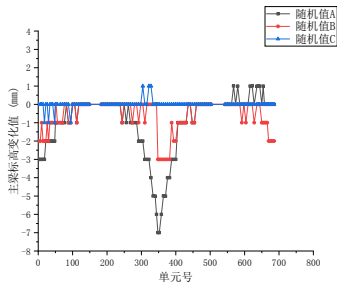


图 3.3 成桥标高变化值

由图3.3可知，主梁成桥线形误差在1mm~7mm之间。说明主梁的主梁制造长度误差对主梁成桥线形无较为明显的影响，并且通过三组数据可以观察到主梁误差均值的绝对值较小的误差组与主梁误差均值的绝对值较高的误差组相比其标高的变化越小，且计算结果表明更为平顺。

无应力曲率是无应力构形中另外一个十分核心的方面，为讨论随机制造角度误差对成桥主梁线形的影响，根据规范，下翼缘长度的允许偏差为±1mm，我们将在计算实例中进行相应的计算，并且将施工过程中所有的预制钢箱梁纳入误差产生对象

表 3.2 角度误差随机输入变量

随机变量	分布类型	均值	标准差	变异系数 (%)
随机误差组A	正态分布	0.000252212	0.000621504	2.464209356
随机误差组B	正态分布	0.000166372	0.000755292	4.539787725
随机误差组C	正态分布	-0.0000208	0.000306025	14.71524272

得到的数据分别与理想设计状态下的无应力拼装数据对比，得到的数据如下图3.4和3.5所示：

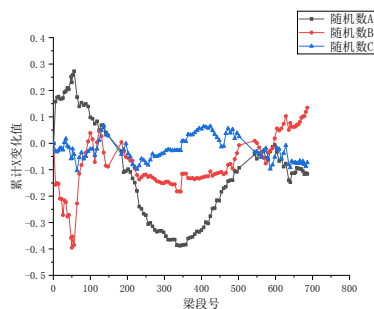


图 3.4 无应力状态下长度累计变化值

由图3.4和图3.5可知主梁角度随机误差对无应力高程误差的影响较为明显，最大值和最小值分别为-52.21mm和42.11mm，主梁角度随机误差对无应力长度累计误差的影响不太明显，最小值和最大值仅分别为-0.387mm和0.273mm。

将图3.4、3.5的无应力线形误差结果输入赤壁长江公路大桥正装计算模型，斜拉索初张力保持不变，经计算得到成桥状态主梁线形误差如下图所示：

由图3.6可知，主梁成桥线形误差在31.5mm~-42.2mm之间。说明主梁的主梁制造角度误差对主梁成桥线形有较为明显的影响，但与无应力高程累计误差相比成桥高程误差最大

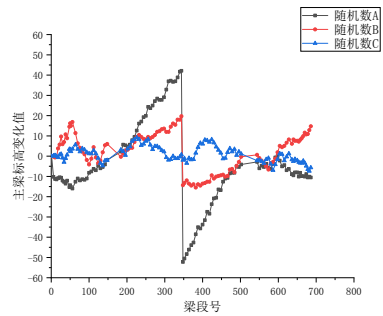


图 3.5 无应力状态下高程累计变化值

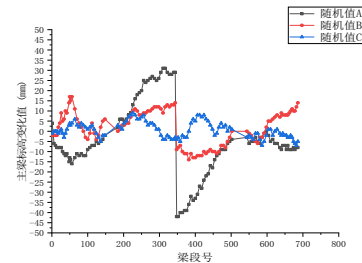


图 3.6 成桥标高变化值

减小了10mm。

4. 结论

1. 线形误差的形成与已生成结构参数和新生成结构参数的误差所导致的误差有关，已生成结构参数的误差实际导致的直接结果就是已成梁段前端点误差，例如N#梁段在它安装阶段的前端点线形误差与它自身梁重误差有关，同时也跟它之前梁段的梁重误差有关。

2. 线形误差的形成与新旧梁段的相互影响所导致的误差有关。

3. 已形成的线形误差不是一成不变的，随着当前梁段张拉的索长控制和后续梁段的施工一直在变化。

4. 随着施工的进行，斜拉桥主梁的误差会随着施工的进展而逐渐的呈现收敛状态，通过成桥线形与无应力拼装线形相比，可以看出，成桥线形的误差峰值在无应力拼装线形的误差上还是有所减小的。

5. 通过上述对主梁长度制造误差和角度制造误差分析，可以得出角度制造误差相比于长度制造误差对主梁的线形具有更大的影响，并且这种误差会对主梁的施工安全产生较大的影响，并会严重影响施工进度

参考文献

[1] 蔡禄荣. 大跨度钢桁架拱桥预拱度设置及拼装误差理论研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.

[2] 李忠三, 雷俊卿, 颜东煌. 大跨度混合梁斜拉桥参数敏感性分析[J]. 北京交通大学学报, 2012, 36(1): 154-160.

[3] 颜东煌, 陈常松, 董道福, 涂光亚. 大跨度钢主梁斜拉桥的自适应无应力构形控制[J]. 中国公路学报, 2012, 25(01): 55-58+82.

[4] 李乔, 卜一之, 张清华. 基于几何控制的全过程自适应施工控制系统研究[J]. 土木工程学报, 2009, 42(07): 69-77.

[5] 苏成, 范学明. 斜拉桥施工参数灵敏度与可靠度分析[J]. 土木工程学报, 2005, 38(10): 81-87.

[6] 郝超. 大跨度钢斜拉桥的施工监控及其目标精度值[J]. 中国公路学报, 2003(01): 55-58.

[7] 孙立山. 大跨度混合梁斜拉桥几何控制计算方法[D]. 西南交通大学, 2010.

[8] 元阳阳. 分阶段施工桥梁几何状态控制研究[D]. 浙江大学, 2020.

[9] 秦顺全. 分阶段成桥过程控制的无应力状态控制法[J]. 中国工程科学, 2009, 11(10): 72-78.

[10] 秦顺全. 分阶段施工桥梁的无应力状态控制法[C]. 第十八届全国桥梁学术会议论文集(下册). 2008: 270-281.

[11] 杨贤舒. 分阶段施工桥梁的无应力状态控制法探讨[J]. 山西建筑, 2015, 41(23): 155-156.