

短线法预制节段梁匹配线形控制测量技术研究

俞科峰¹, 吕牧², 束国强¹, 王芮文³

(1. 常州交通建设管理有限公司, 江苏 常州 213000; 2. 中交一公局第二工程有限公司, 江苏 苏州 215028;
3. 江苏森森工程质量检测有限公司, 江苏 镇江 212028)

摘要: 短线匹配法节段梁预制线形控制是悬臂拼装桥梁成桥线形满足设计要求的先决条件。施工时, 梁体因几何尺寸、高程等变化而发生角度偏转, 导致竖向及水平线形偏离设计要求。通过对节段梁线形控制理论和空间坐标转换方式的研究, 给出了节段梁匹配调节精准控制方法和误差分析方法, 实现相邻节段之间空间坐标的精准匹配。

关键词: 桥梁工程; 预制施工; 节段梁; 匹配调节; 测量方法

中图分类号: U445.4

文献标识码: A

Research on Key Technology of Alignment Measurement and Control for Prefabricated Segmental Beam with Short-line Method

YU Kefeng¹, LU Mu², SHU Guoqiang¹, WANG Ruiwen³

(1. Changzhou Traffic Construction Management Co., Ltd., Changzhou 213000, Jiangsu, China; 2. The Second Engineering Co., Ltd. of CCCC First Highway Engineering Co., Ltd., Suzhou 215028, Jiangsu, China;
3 Jiangsu Senmiao Engineering Quality Testing Co., Ltd. Zhenjiang 212028, Jiangsu, China)

Abstract: The alignment control of segmental beam prefabrication by short-line matching method is a prerequisite for the alignment of cantilever assembled bridge to meet the design requirements. During construction, the beam will deflect due to the changes in geometric dimensions and elevations, resulting in changes in vertical and horizontal alignment. Through the research on the linear control theory and spatial coordinate conversion method of segment beam, the precise control method and error analysis method of segment beam matching adjustment are given to achieve the precise matching of spatial coordinates between adjacent segments.

Key words: bridge engineering; prefabricated construction; segmental beam; matching adjustment; measurement method

悬臂拼装桥梁分节段预制有长线和短线两种方法。长线法预制通过一次调整台座底模即可完成整个桥跨线形调整工作, 测量工作集中且匹配精度高, 但对于平纵曲线变化较大的桥梁, 此工艺存在明显缺陷。节段梁短线匹配法预制是将桥梁划分成若干节段, 再把节段梁段的整体大地坐标体系变换为预制场预制台座上的局部坐标体系^[1], 然后进行梁段逐段匹配调节。使用短线法

预制工艺时, 每片梁钢筋骨架绑扎完毕均安放至同一套具有匹配调节功能的模板内进行浇筑, 其中待浇节段梁前端模板固定不动, 另一端为上一节段浇筑完成的节段梁体, 作为匹配梁进行匹配。此时, 待浇梁段位置应保持其平面、立面以及高程等固定, 通过调整匹配梁几何形态来保证施工完成后成桥线形与理论线形在平面、纵断面的一致性。

收稿日期: 2023-01-26

作者简介: 俞科峰, 高级工程师, 本科, 研究方向为公路与桥梁施工与管理、工程质量检测

基金项目: 江苏省交通运输科研项目: 节段梁智能匹配调节预制施工技术研究 (编号: CT-SGZT-28)

1 线形控制

1.1 控制原理

节段梁预制匹配施工线形调整是悬臂拼装桥梁线形控制中关键环节之一^[2]。在预制匹配时,可能会因存在几何尺寸偏差、高程变化等因素而导致梁体角度发生偏转,并使竖向和水平线形变化^[3]。节段梁匹配调节的目的是依靠测量匹配梁空间位置来保证成桥整体线形与设计线形保持一致。节段梁匹配线形原理如下:

1) 确定整体坐标。桥梁桥跨内划分的每一节段都有各自确定的三维坐标数据,即桥跨内节段所处的整体坐标系,用 $O\text{-}XYZ$ 表示^[4]。节段梁匹配预制时,根据设计线形参数确定整个桥梁在整体坐标系中的位置姿态,并计算出各相邻设计节段梁之间的拼缝理论位置、节段梁预埋控制点位置及其在整体坐标系中的坐标。

2) 确定局部坐标。节段梁施工除了采用整体大地体系外,还需在预制场建立一套参考坐标系,即预制场预制台座上的局部坐标系,以描述节段梁预制中从待浇梁段到匹配梁段所经历的三维坐标变化。此坐标体系的原点为固定端模中心^[5],本研究以左手定则建立,见表1。现场施工节段的测量控制工作即以此坐标系为依据。

表1 左手坐标体系规则

手指	桥梁所处的整体坐标参考系统 $O\text{-}XYZ$	节段梁所处的预制单元坐标参考系统 $O\text{-}XYZ$
拇指	指向路线前进的方向, X 轴	指向目标塔方向,即固定端模方向, X 轴
食指	指向道路横断面方向, Y 轴	指向节段梁横断面方向, Y 轴
其他手指	向上,指向高程方向, Z 轴	向上,指向高程方向, Z 轴

3) 坐标转换。需要将节段梁上预埋控制点的整体大地坐标体系转换为预制场预制台座上局部坐标系中的坐标,计算出浇筑梁段从浇筑结束处移动到匹配梁位置的距离,并通过程序运算,得出匹配梁在局部和整体两坐标系夹角余弦及其相对整体大地坐标体系的坐标位置,实现坐标转换^[6]。需要明确,每座桥首次预制的梁段不存在匹配梁,只有活动端模板;而最后一个预制节段无需计算平移量。

4) 线形控制。要实现节段梁线形精准控制,需保证相邻节段之间空间坐标转变计算的准确性。预制前,测量节段梁底模平竖曲线并保证其

具有较高测量精度。底模测量完成后应测量匹配梁各控制点的空间坐标并进行测量匹配控制,将实测值与图纸给出的理论值对比分析。最后,结合桥梁成桥空间线形及两坐标体系间坐标转换结果来确定匹配梁理论坐标位置^[7]。

1.2 空间坐标转换

节段梁施工测量控制应首先将整体大地坐标体系转换为预制场预制台座上局部坐标体系^[8]。两个任意不同的坐标体系在不同位置会存在空间夹角^[9]。假定整体大地坐标体系与预制场预制台座上局部坐标系在空间上夹角为 α ^[10],并令预制场预制台座局部坐标系的原点在整体大地坐标体系下坐标为 (X_0, Y_0) ^[11],见图1。由此推导出坐标系之间的转换关系,见式(1)、(2)。

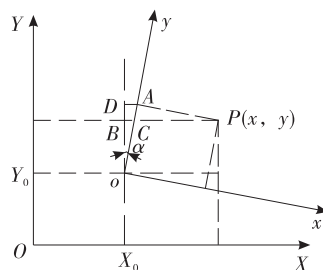


图1 坐标系

$$\begin{cases} x = (X - X_0) \cos \alpha - (Y - Y_0) \sin \alpha \\ y = (X - X_0) \sin \alpha - (Y - Y_0) \cos \alpha \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

节段预制时,应在梁段之间拼缝处布设控制点,一般在左、中、右侧共布3个。左右2点用于高程控制,中间点用于控制其平面位置。

假设两节段之间拼缝 i 处预埋的3个控制点处于整体大地坐标体系中,其坐标可表示为 $L_i(X_{Li}, Y_{Li}, Z_{Li}), R_i(X_{Ri}, Y_{Ri}, Z_{Ri}), C_i(X_{Ci}, Y_{Ci}, Z_{Ci})$ 。此拼缝的走向、平面位置、高程等均由这3个点坐标表示并实施控制,如令 $\{\delta_{Li}\} = [X_{Li}, Y_{Li}, Z_{Li}]^T, \{\delta_{Ri}\} = [X_{Ri}, Y_{Ri}, Z_{Ri}]^T, \{\delta_{Ci}\} = [X_{Ci}, Y_{Ci}, Z_{Ci}]^T$, 可以用向量 $\{\delta_i\} = [\delta_{Li}, \delta_{Ri}, \delta_{Ci}]^T$ 表示。

节段梁预制时,可以将梁段 n 的固定端模一端作为梁段 $n+1$ 匹配端模(即活动端模),然后根据两梁段拼缝 i 的相对位置构造出局部坐标系,且将控制点 C 作为局部坐标系原点,将 C 与目标塔之间的连线(亦即 C 与另一相邻接缝中心点的连线)作为局部坐标系中的 x 轴,依据左手定则构建出 y 轴和 z 轴。

此时,此拼缝 i 的三个坐标轴在整体坐标系

中的向量可表述为 $\{x_i\} = \{\delta_{Ci-1}\} - \{\delta_{Ci}\}$, $\{y_i\} = \{\delta_{Li-1}\} - \{\delta_{Ci}\}$, $\{z_i\} = \overline{\{x_i\}} \times \overline{\{y_i\}}$, 三向量与整体大地坐标系的三个坐标轴存在夹角, 分别记做 α_{1i} 、 β_{1i} 、 γ_{1i} ; α_{2i} 、 β_{2i} 、 γ_{2i} ; α_{3i} 、 β_{3i} 、 γ_{3i} , 由此, 很容易得到整体大地坐标体系和预制场预制台座上局部坐标体系中各坐标轴之间的夹角余弦值, 见式 (3)、(4)、(5)。

$$[\cos\alpha_{1i}, \cos\beta_{1i}, \cos\gamma_{1i}]^T = \frac{\{x_i\}}{|\{x_i\}|} \quad (3)$$

$$[\cos\alpha_{2i}, \cos\beta_{2i}, \cos\gamma_{2i}]^T = \frac{\{y_i\}}{|\{y_i\}|} \quad (4)$$

$$[\cos\alpha_{3i}, \cos\beta_{3i}, \cos\gamma_{3i}]^T = \frac{\{z_i\}}{|\{z_i\}|} \quad (5)$$

对上述向量进行整体与局部转换, 可以确定拼缝 i 的整体大地坐标体系下转换成预制场预制台座上的局部坐标体系矩阵, 见式 (6)。

$$[t_i] = \begin{bmatrix} \cos\alpha_{1i} & \cos\beta_{1i} & \cos\gamma_{1i} \\ \cos\alpha_{2i} & \cos\beta_{2i} & \cos\gamma_{2i} \\ \cos\alpha_{3i} & \cos\beta_{3i} & \cos\gamma_{3i} \end{bmatrix} \quad (6)$$

如果用 $\{\delta_j\}$ 表示相邻下一节段梁的拼缝在整体大地坐标体系中的坐标, 用 $[T_i]$ 表示坐标进行转换时的对角矩阵, 用 $\{\Delta\}$ 表示整体大地坐标系原点和预制场台座局部坐标系原点的相对偏移值, 那么, 下一节段拼缝 j 三个控制点在上一节段拼缝 i 的位置预制场预制台座局部坐标系中的坐标可表示为 $\{\delta_j\}_j$, $\{\delta_j\}_j$ 计算见式 (7)。

$$\{\delta_j\}_j = [T_i]\{\delta_j\} + \{\Delta\} \quad (7)$$

在预制到下一节段时, 拼缝 j 的中心控制点 C_j 为预制场预制台座局部坐标系的原点, 则计算结果见式 (8):

$$\{\delta\} = -[\delta_C, \delta_{Cj}, \delta_{Cj}, \delta_{Cj}]^T \quad (8)$$

以此为据, 先计算本节段拼缝 i 的预制场预制台座局部坐标, 并计算上一拼缝 $i-1$ 和拼缝 i 的控制点坐标向量 $\{\delta_{i-1}\}_i$ 、 $\{\delta_i\}_i$, 然后可计算下一拼缝 $i+1$ 为预制场预制台座局部坐标系原点二拼缝坐标向量 $\{\delta_{i-1}\}_{i+1}$ 、 $\{\delta_i\}_{i+1}$, 二者相减得到本预制节段的坐标理论偏移量 $[D_i]$, 见式 (9)。

$$[D_i] = \begin{bmatrix} \{\delta_{i-1}\}_{i+1} - \{\delta_{i-1}\}_i \\ \{\delta_i\}_{i+1} - \{\delta_i\}_i \end{bmatrix} \quad (9)$$

当进行节段梁坐标偏移量推导时, 预制场预制台座上的局部坐标计算显得尤为重要, 特别是计算本拼缝中心控制点 C 的 X 坐标、 Y 坐标、 Z 坐标。

2 测量控制与调整

2.1 控制与调整

节段梁预制期间线形控制是悬臂拼装法桥梁整体线形控制的关键。预制时应保证预制匹配梁段在平、竖曲线, 高程, 轴向及转动方向上的变量数据符合要求。这些变量不仅与测量方法、匹配方法和施工过程有关, 还与悬臂拼装时所用设备、工艺等有关, 这些因素均应提前考虑, 并在测量方案中详细给出。预制测量方案还需充分考虑预制后的节段在整体坐标系下拼装工作与体系转换环节, 与桥梁墩台、支座的相互关系, 混凝土弹性模量和安装预应力管道摩阻力等。

预制施工所用的模板制作尺寸、角度、拼缝、平整度情况、匹配梁段的最初精度、匹配调节的质量和测量仪器精度等都是决定节段梁预制后是否满足成桥后线形要求的关键。因而, 为便于观测, 应在节段梁浇筑完成后, 在尚未硬化的混凝土顶板顶面特定位置埋设 2 个高程控制点和 4 个轴线控制点。

在施工操作过程中, 需要测量 6 个控制点的坐标, 再使用坐标转换方法计算坐标偏移量 $[D_i]$, 从而可推导出下一节段梁的空间坐标。

当桥梁实际线形不同时, 其匹配计算方法也有所区别。①如果成桥线形为直线, 则在预制匹配时, 将上一节段平行移动至匹配位置即可达到精准匹配的目的。②如果成桥线形存在弯道平曲线, 应将匹配梁移动到匹配梁处, 在平面方向上进行旋转, 旋转角度为 α 。③如果成桥线形存在上下坡道竖曲线时, 应在匹配梁就位之前, 将底模台车在立面上旋转, 其角度为 α 。

考虑到节段梁在预制阶段不存在成桥应力, 需要根据成桥线形进行预拱度的设置。设置时, 可采用切线初始位移方法得到桥跨结构竖向变形值累计数据, 取其相反数作为预拱度设置值。

2.2 误差分析

通常情况下, 匹配梁进入匹配位置后, 其水平方向位置和竖直方向高程均有可能与理论值之间存在误差, 且此误差如不及时纠正调整会不断地逐梁传递产生更大的累积误差。如预制偏差逐渐积累会造成最终成桥后梁长的改变, 另外, 当相邻两节段位置出现相对偏转时, 会引起桥梁整体角度与理论线形不符。

当浇筑本梁节段 n 时, 上一片节段梁 $n-1$ 作为匹配端模, 当上一片节段梁发生角度偏转

时,本梁段的线形必然会跟随其产生更大的误差。出现这种情况时,需对本节段坐标值实施误差修正,尽可能让下一片梁 $n+1$ 误差最小,从而消除逐梁预制的误差累积,以阻止误差进一步向后续节段传递。现假定本梁段进行预制时,上一片梁作为匹配梁和本梁段的端模,发生偏移角度为 α ,见图2。

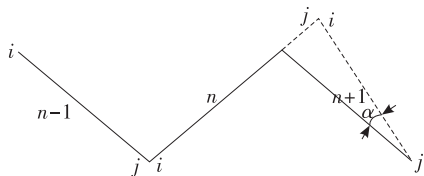


图2 节段梁误差累积

节段梁预制时,线形调整必须考虑两个因素,即成桥后的理论线形和施工拼装顺序。因此,节段预制匹配的顺序应与悬臂拼装施工顺序相同,才更能保证预制线形的精准度。如图3所示,桥梁拼装时,当上一节段 $n-1$ 拼装完成而本梁段 n 出现偏转角度 α ,本梁段 n 的拼缝由位置 j 变成了 j' ,而下一节段 $n+1$ 则由 i 变成了 i' 。

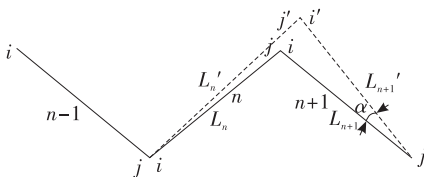


图3 预制线形的修正

假定下一节段梁在误差纠偏后理论梁长度为 $n+1$,本节段 n 实际测量得到的梁长度为 L_{Cn} ,本节段 n 和下一节段 $n+1$ 成桥后理论梁长度为 L_n 和 L_{n+1} ,那么,对下一节段 $n+1$ 的理论梁长度纠偏值为式(10):

$$n+1 = L_{n+1} - (L_{Cn} - L_n) \quad (10)$$

在平面误差角度计算之前,假定预制节段梁平面上发生偏差引发的角度偏差为 α_p ,上一节段 $n-1$ 左右两个控制点之间的距离在平面上的理论投影长度为 L_{ll} ,上一节段 $n-1$ 左右两个控制点之间的距离在平面上的实测投影长度为 L_{sc} ,上一节段 $n-1$ 中左右两个控制点变换至预制场预制台座上局部坐标下理论匹配至整体坐标 X 的坐标为 X_{bh}^m 、 X_{fh}^m ,上一节段 $n-1$ 中左右两个控制点变换至预制场预制台座上局部坐标体系下理论匹配至整体坐标 Y 的坐标为 Y_{bh}^m 、 Y_{fh}^m ,上一节段 $n-1$ 中左右两个控制点在预制场预制台座上局部坐标体系下实际匹配至整体坐标 X 的坐标为 X_{bh}^{ml} 、

X_{fh}^{ml} ,上一节段 $n-1$ 中左右两个控制点在预制场预制台座上局部坐标体系下实际匹配至整体坐标 Y 的坐标为 Y_{bh}^{ml} 、 Y_{fh}^{ml} ,上一节段 $n-1$ 两端 j 、 i 位于整体坐标系中的整体大地坐标分别为 Y_j 和 $Y_i^{[12]}$ 。据此,可以准确地计算出平面角度的匹配偏差。见式(11)、(12)。

$$\begin{cases} \alpha_p = \arcsin\left(\frac{X_{bh}^m - X_{fh}^m}{L_{ll}}\right) - \arcsin\left(\frac{X_{bh}^{ml} - X_{fh}^{ml}}{L_{sc}}\right) \\ L_{ll} = \sqrt{(X_{bh}^m - X_{fh}^m)^2 + (Y_{bh}^m - Y_{fh}^m)^2} \\ L_{sc} = \sqrt{(X_{bh}^{ml} - X_{fh}^{ml})^2 + (Y_{bh}^{ml} - Y_{fh}^{ml})^2} \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{竖直面误差为 } \Delta Y = Y_j - Y_i \quad (12)$$

先假定上一节段 $n-1$ 左右两个控制点之间的距离在立面实测投影数值和理论投影数值分别为 L_1 、 L_3 ,上一节段 $n-1$ 前后两个控制点之间的距离在立面上的实测投影数值和理论投影数值分别为 L_2 和 L_4 ,上一节段 $n-1$ 前后和上下4个控制点在预制场预制台座上局部坐标体系中理论匹配 Z 坐标和 Y 坐标分别为 Z_{bl}^m 、 Z_{fl}^m 、 Z_{br}^m 、 Z_{fr}^m 、 Y_{bl}^m 、 Y_{fl}^m 、 Y_{br}^m 、 Y_{fr}^m 。上一节段 $n-1$ 前后和上下4个控制点在预制场预制台座上局部坐标体系中实际测量匹配 Z 坐标和 Y 坐标分别为 Z_{bl}^{ml} 、 Z_{fl}^{ml} 、 Z_{br}^{ml} 、 Z_{fr}^{ml} 、 Y_{bl}^{ml} 、 Y_{fl}^{ml} 、 Y_{br}^{ml} 、 Y_{fr}^{ml} 。由此,根据不同情况采用不同的计算方法进行计算。

1) 若竖直面误差大于0,则计算如下:

$$\begin{cases} \alpha_L = \arctg\left(\frac{Z_{bl}^{ml} - Z_{fl}^{ml}}{L_1} + \frac{Z_{br}^{ml} - Z_{fr}^{ml}}{L_2}\right) - \arctg\left(\frac{Z_{bl}^m - Z_{fl}^m}{L_3} + \frac{Z_{br}^m - Z_{fr}^m}{L_4}\right) \\ L_1 = \sqrt{(Z_{bl}^{ml} - Z_{fl}^{ml})^2 + (Y_{bl}^{ml} - Y_{fl}^{ml})^2} \\ L_2 = \sqrt{(Z_{br}^{ml} - Z_{fr}^{ml})^2 + (Y_{br}^{ml} - Y_{fr}^{ml})^2} \\ L_3 = \sqrt{(Z_{bl}^m - Z_{fl}^m)^2 + (Y_{bl}^m - Y_{fl}^m)^2} \\ L_4 = \sqrt{(Z_{br}^m - Z_{fr}^m)^2 + (Y_{br}^m - Y_{fr}^m)^2} \end{cases} \quad (13)$$

2) 若竖直面误差小于0,则计算如下:

$$\begin{cases} \alpha_L = -\arctg\left(\frac{Z_{bl}^{ml} - Z_{fl}^{ml}}{L_1} + \frac{Z_{br}^{ml} - Z_{fr}^{ml}}{L_2}\right) + \arctg\left(\frac{Z_{bl}^m - Z_{fl}^m}{L_3} + \frac{Z_{br}^m - Z_{fr}^m}{L_4}\right) \\ L_1 = \sqrt{(Z_{bl}^{ml} - Z_{fl}^{ml})^2 + (Y_{bl}^{ml} - Y_{fl}^{ml})^2} \\ L_2 = \sqrt{(Z_{br}^{ml} - Z_{fr}^{ml})^2 + (Y_{br}^{ml} - Y_{fr}^{ml})^2} \\ L_3 = \sqrt{(Z_{bl}^m - Z_{fl}^m)^2 + (Y_{bl}^m - Y_{fl}^m)^2} \\ L_4 = \sqrt{(Z_{br}^m - Z_{fr}^m)^2 + (Y_{br}^m - Y_{fr}^m)^2} \end{cases} \quad (14)$$

具体调整方法可按下述步骤进行:

1) 建立预制场预制台座局部坐标体系。设坐标系原点为本节段 n 的后端拼缝 j , 见图4。

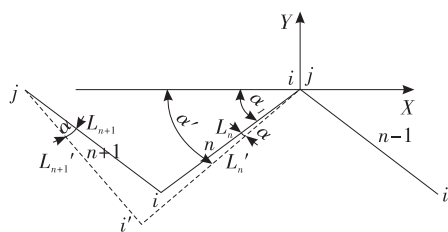


图4 线形修偏

2) 设定本节段 n 的前端拼缝 i 在平面和立面的转角 α_p 、 α_l 至修偏以后的理论位置为 i' , 此时, 应先将 α_p 、 α_l 数据求出, 再采用平面和立面的旋转方式, 将旋转后的 i' 在预制场预制台座局部坐标系下投影, 然后确定二者整体与局部坐标系之间的转换关系。进行旋转时, 应对 X 和 Y 坐标的微小影响忽略不计。

考虑节段梁旋转时所处的方向和象限不同, 偏转角度 α' 的计算可能有所差异, 做以下说明。

假定本梁段 n 的前端和后端接缝 i 、 j 在修偏之前, 整体大地坐标参考体系下的坐标值为 x_i 、 y_i 、 z_i 、 x_j 、 y_j 、 z_j , 本梁段 n 位于其平面和立面上投影之后与坐标轴 Y 的夹角为 α_1 、 α_2 , 本梁段 n 在高程和平面坐标误差修偏以后, 立面和平面投影与坐标轴 Y 的夹角为 α'_l 、 α'_p , 高程偏差和平面偏差所造成的角度改变为 α_l 、 α_p 。则有:

$$\begin{cases} \alpha_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{x_i - x_j}{y_j - y_i}\right) \\ \alpha'_p = \alpha_1 + \alpha_p \end{cases} \quad \begin{cases} \alpha_2 = \operatorname{arctg}\left(\frac{z_i - z_j}{y_j - y_i}\right) \\ \alpha'_l = \alpha_2 + \alpha_l \end{cases} \quad (15)$$

接下来, 假设本梁段 n 长度修正后的理论值为 L'_n , 本梁段 n 在高程偏差修偏后、平面偏差修偏后角度改变为 α'_l 和 α'_p , 本梁段 n 前端拼缝 j 在整体大地坐标体系内的坐标为 x_j 、 y_j 、 z_j , 本梁段 n 后端拼缝 i 经平面和立面修偏以后在整体大地坐标体系内坐标为 x'_i 、 y'_i 、 z'_i 、 x''_i 、 y''_i 、 z''_i , 梁的节段在平面和立面进行修偏旋转后, 本梁段 n 的后端拼缝 i 在整体坐标系中的坐标为:

$$\begin{cases} x'_i = x_j - L'_n \sin \alpha'_p \\ y'_i = y_j - L'_n \cos \alpha'_p \\ z'_i = z_j \end{cases} \quad \begin{cases} x''_i = x_i \\ y''_i = y'_i \\ z''_i = z'_i - L'_n \sin \alpha'_l \end{cases} \quad (16)$$

此时, 可依照误差修偏以后的线形得出已经

浇筑完成的节段梁控制点在上一梁段的局部坐标, 并可据此进行匹配梁的定位, 从而很容易地降低节段梁匹配线形误差。

3 结语

节段梁匹配线形控制质量是保证成桥线形符合设计要求的首要环节。通过对预制节段匹配线形控制原理研究, 得出以下结论: ①空间坐标转换计算方法是确保整个测量控制质量的关键。本研究构建了匹配梁在整体和局部坐标系的关系模型, 保证了匹配坐标数据准确性。②应根据桥梁具体线形对匹配线形进行控制, 保证成桥线形符合设计要求。当桥梁线形为直线、平曲线、竖曲线等情况下, 应选择不同匹配线形控制和预拱度设置方法。③匹配施工各个工序均有可能造成匹配线形误差累积, 应对匹配梁进行误差修偏, 并得出待浇梁在匹配梁段的局部坐标, 从而降低节段梁匹配线形误差。

参考文献:

- [1] 贾布裕, 茅思奕, 陈扬文, 等. 节段预制梁桥短线匹配的几何控制改进方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2022, 43(5): 649-656.
- [2] 石雪飞, 傅青松, 马海英. 短线匹配节段梁预制线形摄影测量技术与参数优化研究[J]. 施工技术(中英文), 2022, 51(15): 88-93, 103.
- [3] 解兵林, 余晓琳, 胡雨, 等. 短线法节段梁预制拼装过程控制技术研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(6): 1453-1461.
- [4] 朱佳友. 短线法节段梁预制拼装线形控制[J]. 中国高新科技, 2021(7): 124-125.
- [5] 戴东利. 短线法预制节段梁线形综合控制技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2021, (3): 79-82, 99.
- [6] 马智亮, 刘昱, 刘世龙, 等. 预制梁场中节段梁模板位姿快速测量方法[J]. 光学学报, 2022, 42(15): 60-70.
- [7] 赵波, 王军舰. 短线法单测量塔节段梁预制匹配测量技术[J]. 工程建设, 2022, 54(4): 63-67.
- [8] 王晓磊. 短线法节段梁预制和架设施工质量控制技术研究[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(1): 108-112.
- [9] 朱佳友. 短线法节段梁预制拼装线形控制[J]. 中国高新科技, 2021(7): 124-125.
- [10] 戴东利. 短线法预制节段梁线形综合控制技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2021(3): 79-82, 99.
- [11] 戴东利. 市域铁路节段梁短线法预制线形控制调整技术[J]. 建筑机械化, 2021, 42(3): 57-59, 80.
- [12] 吴涛. 节段梁预制技术[J]. 广东建材, 2020, 36(3): 58-61.