

短线拼装曲线连续梁桥预制线形研究

袁武林¹, 殷新锋¹, 郑辉², 陈前融¹

(1.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410004; 2.湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412000)

摘要:节段梁线形控制是短线拼装中的关键,以往节段梁的预制施工控制利用已浇筑节段梁控制点的坐标,通过空间坐标转换计算下一匹配梁的位置,需经过多次计算和坐标转换,过于繁琐。文中在坐标计算的基础上推导短线法预制线形的坐标计算公式及节段梁从待浇段移到匹配段的平移坐标公式,探讨预制阶段施工工艺与控制措施及节段梁弯桥线形控制技术与特点。

关键词: 桥梁;连续梁弯桥;短线法;预制线形;坐标计算;施工控制

中图分类号:U441

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)05-0112-03

预应力砼桥梁节段梁的预制分长线法和短线法。长线法预制台座的制作与桥梁无应力结构底部边缘线形一致,开发较早,技术也较成熟,但成本较高,对施工场地需求较大。相比于长线法,短线法具有精度高、机械化程度高、施工周期短等优点,现已逐渐取代长线法,在桥梁施工中得到广泛使用,并朝着工厂化、标准化、装配化方向发展。该文结合嘉鱼长江公路大桥南岸滩桥,探讨短线拼装过程中节段梁线形控制思路和重要技术环节。

1 工程概况

嘉鱼长江大桥南岸滩桥平面位于直线和半径 $R=4\,800\text{ m}$ 的曲线范围内,为 $8\times(6\times 50\text{ m})+5\times 50\text{ m}$ 预应力砼连续箱梁,采用节段预制拼装施工方案,两边设置湿接缝,共 9 联,全长 $2\,650\text{ m}$ 。桥面纵坡分别为 -1.1% 和 0.5% ,设 2% 单向横坡。南岸引桥节段梁预制数量共 1 606 片,梁段预制长度依次为 1.95 、 2.94 、 3 、 3.2 、 3.3 、 3.4 m ,最大吊装重量为 196.5 t 。图 1 为箱梁断面。

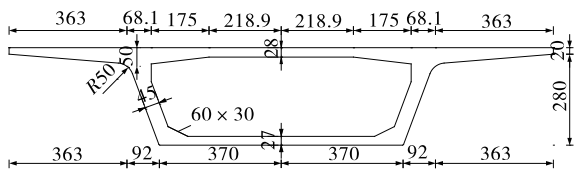


图 1 箱梁断面示意图(单位:cm)

2 施工工艺及控制原则

2.1 施工工艺

根据节段梁预制拼装要求,一般将节段划分为标准块、转向块、墩顶块三类。考虑到运输和吊装能

力,节段尺寸多采用 2~5 m,并满足模数化、标准化、对称化等原则。短线法是一种在有限场地内进行桥梁节段预制的方法,采用一套模板预制,除首节段和墩顶块采用一端固定端模、另一端活动端模外,其他节段采用一端固定端模、另一端以已浇筑梁段为匹配段。其中每跨首节段需进行 2 次匹配,故首节段预制成矩形。预制流程见图 2。

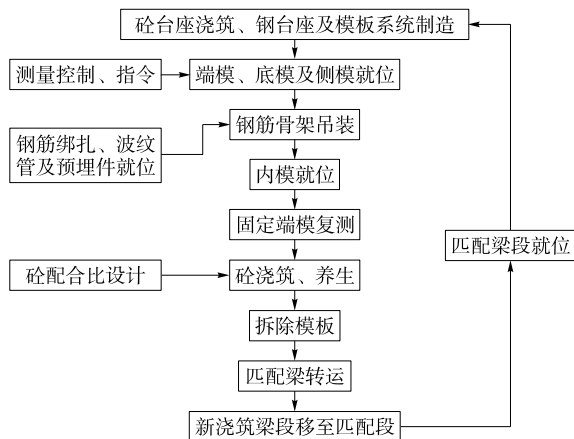


图 2 短线法箱梁梁段预制流程

2.2 控制原则

每跨的首片梁采用一端固定端模、另一端活动端模来固定浇筑节段,浇筑完毕在砼表面埋设测钉(见图3)。浇筑其他节段时,根据预制场坐标及上一节段梁实测测钉坐标计算该片梁作为匹配梁时的位置,然后通过液压系统调整该节段梁的位置(先调整高程,再调整平面),保证两节段之间匹配。浇筑完成养护后吊装匹配段至存梁场,直至浇筑完所有节段。短线法预制期间的主要计算是根据待浇段测钉数据在预制场坐标系下调整匹配梁段位置,保证

成桥线形。

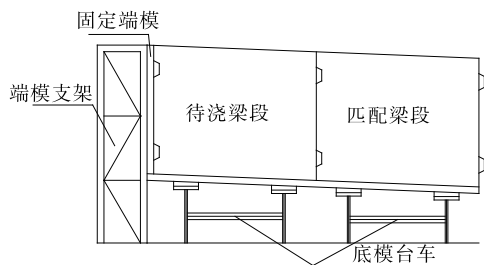


图 3 短线法浇筑示意图

固定端模与箱梁接触的一面为固定端,另外一端为活动端。局部坐标系 X 轴为节段梁轴线,方向为固定端指向活动端。 X 轴与固定端顶板交点为坐标系原点 O ; Z 轴以原点 O 为基准点,方向向上; Y 轴方向根据左手螺旋定则而定(见图 4)。

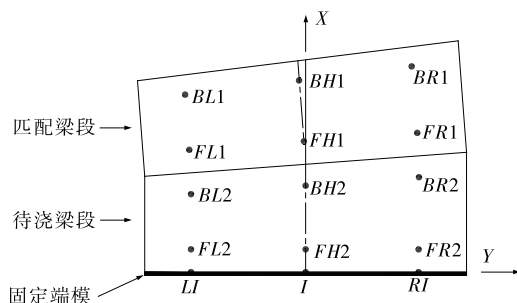


图 4 测钉坐标示意图

3 短线法预制坐标原理及计算公式

3.1 坐标计算原理

以往短线匹配法预制坐标计算思路:在局部坐标系内测量预制的第片梁测钉坐标,并转换成整体坐标系下坐标;在整体坐标系下计算匹配梁段坐标,并转换成预制坐标系下匹配梁段坐标。计算中需在两种坐标系下互相转换,较繁琐,也易出错。

为此,结合嘉鱼长江大桥南岸滩桥工程,提出一种新的坐标计算方法:该桥平面处于半径为 4 800 m 的曲线范围内,根据设计线形要求,按以直代曲的方式计算两节段梁之间的相对偏转角 θ 。先确定待浇梁段测钉埋置位置,根据局部坐标系确定待浇梁段测钉坐标;再根据待浇段与匹配梁段之间的关系确定局部坐标系下匹配梁段测钉坐标,计算匹配梁段与待浇梁段之间空间状态下的差值;最后由梁场建立的坐标系,测量首片节段梁的坐标,根据匹配梁段与待浇梁段之间的关系计算匹配梁段的位置。需说明的是,每跨第一片梁没有匹配梁段,只有活动端模,且第一片梁预制为有规则的矩形;每跨的最后

节段直接预制即可。

3.2 坐标计算公式推导

如图 5 所示,已知节段梁梁长为 L 、宽为 B ,待浇节段与匹配节段中心线的两个端点相交于圆心为 O 、半径为 R 的圆上。作圆心与节段梁中心线的连线,半径 R 与 2 块节段梁中心线组成一个等腰三角形。作匹配节段梁中心线的延长线,该延长线与待浇节段梁中心线有一夹角,此即偏转角 θ 。需说明的是,内弧侧半径小于 R ,外弧侧大于 R ,这个差值相对于半径 R 很小,对偏转角的影响可忽略不计。偏转角为:

$$\theta = 180 - 2\arccos(L/2R)$$

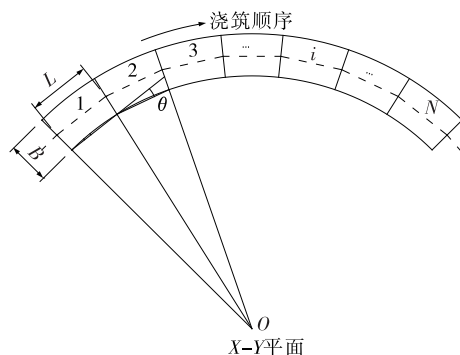


图 5 节段梁浇筑示意图

3.2.1 匹配梁段的坐标

以固定端模中心建立直角坐标系,2 个测点间的间距为 a ,测点距箱梁边缘为 b , a 、 b 值人为设置(见图 6)。设待浇节段梁 6 个测点坐标如下: $FL2$ 为 (X_{FL2}, Y_{FL2}) , $FH2$ 为 (X_{FH2}, Y_{FH2}) , $FR2$ 为 (X_{FR2}, Y_{FR2}) , $BL2$ 为 (X_{BL2}, Y_{BL2}) , $BH2$ 为 (X_{BH2}, Y_{BH2}) , $BR2$ 为 (X_{BR2}, Y_{BR2}) 。作 6 个测点 $FL2$ 、 $FH2$ 、 $FR2$ 、 $BL2$ 、 $BH2$ 、 $BR2$ 与固定端模中心点相连的直线,各直线长度为 D_{FL2} 、 D_{FH2} 、 D_{FR2} 、 D_{BL2} 、 D_{BH2} 、 D_{BR2} ,与对应中心线的夹角为 α_{FL2} 、 α_{FH2} 、 α_{FR2} 、 α_{BL2} 、 α_{BH2} 、 α_{BR2} 。设匹配段各点坐标如下: $FL1$ 为 (X_{FL1}, Y_{FL1}) , $FH1$ 为 (X_{FH1}, Y_{FH1}) , $FR1$ 为 (X_{FR1}, Y_{FR1}) , $BL1$ 为 (X_{BL1}, Y_{BL1}) , $BH1$ 为 (X_{BH1}, Y_{BH1}) , $BR1$ 为 (X_{BR1}, Y_{BR1}) ,可得:

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} X_{FL1} \\ Y_{FL1} \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + D_{FL2} \times \begin{Bmatrix} \cos(\alpha_{FL2} + \theta) \\ -\sin(\alpha_{FL2} + \theta) \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} X_{FH1} \\ Y_{FH1} \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + b \times \begin{Bmatrix} \cos\theta \\ -\sin\theta \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} X_{FR1} \\ Y_{FR1} \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + D_{FR2} \times \begin{Bmatrix} \cos(\alpha_{FR2} - \theta) \\ \sin(\alpha_{FR2} - \theta) \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} X_{BL1} \\ Y_{BL1} \end{cases} = \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + D_{BL2} \times \begin{Bmatrix} \cos(\alpha_{BL2} + \theta) \\ -\sin(\alpha_{BL2} + \theta) \end{Bmatrix}$$

$$\begin{cases} X_{BH1} \\ Y_{BH1} \end{cases} = \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + (L-b) \times \begin{Bmatrix} \cos\theta \\ -\sin\theta \end{Bmatrix}$$

$$\begin{cases} X_{BR1} \\ Y_{BR1} \end{cases} = \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + D_{BR2} \times \begin{Bmatrix} \cos(\alpha_{BR2} - \theta) \\ \sin(\alpha_{BR2} - \theta) \end{Bmatrix}$$

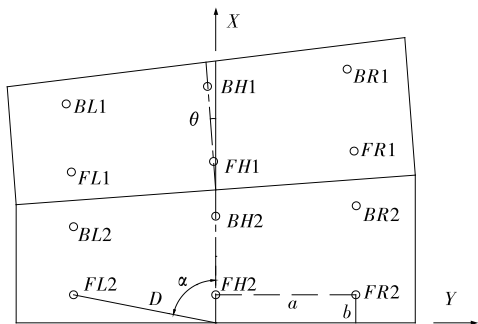


图6 各测点坐标示意图

匹配梁段的坐标等于该片梁作为待浇梁段时的坐标加上一组相对于局部坐标系原点的平移值 Δ , Δ 为:

$$\begin{cases} \Delta_{FL} \\ \Delta_{FH} \\ \Delta_{FR} \\ \Delta_{BL} \\ \Delta_{BH} \\ \Delta_{BR} \end{cases} = \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \cos\theta - 1 & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta - 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} X_{FL2} \\ Y_{FL2} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{cases} \Delta_{FH} \\ \Delta_{FR} \end{cases} = \begin{Bmatrix} L + b \cos\theta \\ -b \sin\theta \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} X_{FH2} \\ Y_{FH2} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{cases} \Delta_{FR} \\ \Delta_{BL} \end{cases} = \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \cos\theta - 1 & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta - 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} X_{FR2} \\ Y_{FR2} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{cases} \Delta_{BL} \\ \Delta_{BH} \end{cases} = \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \cos\theta - 1 & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta - 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} X_{BL2} \\ Y_{BL2} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{cases} \Delta_{BH} \\ \Delta_{BR} \end{cases} = \begin{Bmatrix} L + (L-b) \cos\theta \\ (L-b) \sin\theta \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} X_{BH2} \\ Y_{BH2} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{cases} \Delta_{BR} \\ \Delta_{BL} \end{cases} = \begin{Bmatrix} L \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \cos\theta - 1 & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta - 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} X_{BR2} \\ Y_{BR2} \end{Bmatrix}$$

然后根据梁场建立的坐标控制网测量待浇段数据,加上坐标平移值 Δ ,即可求得该片梁作为匹配梁段的坐标。

3.2.2 匹配梁段高程控制

根据待浇段实测高程,加上MIDAS/Civil计算出的预拱度(自重+1/2活载),即可求得匹配梁段的高程。

4 预制成果分析

把上述控制方法基于Visual Basic平台编制预制线形专用控制程序GLCS-FSLB,并运用于嘉鱼长江大桥南岸滩桥施工控制。受篇幅限制,仅列出

其中一跨的结果,该跨预制完毕后高程和轴线与设计的偏差见图7、图8。

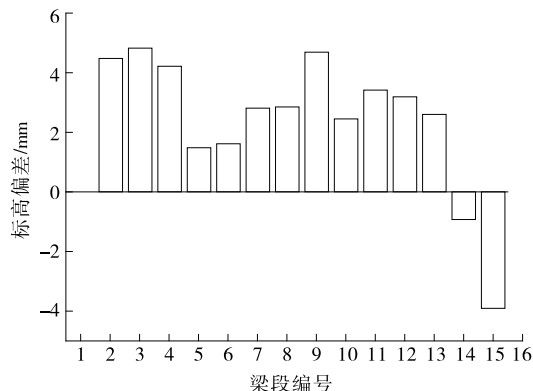


图7 预制完毕后高程与设计的偏差

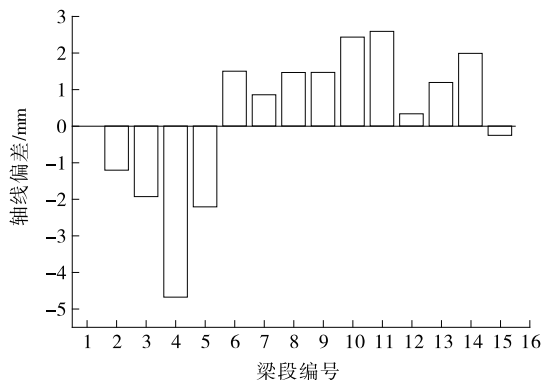


图8 预制完毕后轴线与设计的偏差

由图7、图8可知:节段梁高程偏差控制在6 mm以内,轴线偏差控制在5 mm以内,满足设计要求。受现场测量误差及施工误差等因素的影响,预制线形会出现偏差,且前一节段的误差会传递给下一节段,需不断对预制线形进行修正,前一节段产生的误差可通过下一节段来修正。

5 结语

短线匹配法预制拼装技术将桥梁建设由高空作业变为地面工厂作业,将桥梁建设化整为零,上下部结构同时施工,能缩短施工周期,已在桥梁建设中逐渐推广。其中预制线形控制是重点。该文针对预制线形提出一种简单的坐标计算方法,并将该方法编制成程序应用于嘉鱼长江大桥南岸滩桥工程,将节段梁高程偏差控制在6 mm以内、轴线偏差控制在5 mm以内,满足设计要求。

参考文献:

- [1] AASHTO, Guide specifications for design and construction (下转第117页)

1.25 m < 4.7 m, $a_y = 2.75 - 2/2 = 1.75$ m < 4.7 m (a_x 、 a_y 为冲跨,即柱或墩台边缘到桩边缘的水平距离)。 a_x 取 1.25 m, a_y 取 1.75 m, 冲跨比 λ_x 、 λ_y 为:

$$\lambda_x = a_x / h_0 = 0.265\ 957\ 447$$

$$\lambda_y = a_y / h_0 = 0.372\ 340\ 426$$

冲切承载力系数 α'_{px} 、 α'_{py} 为:

$$\alpha'_{px} = 0.8 / (\lambda_x + 0.2) = 1.717$$

$$\alpha'_{py} = 0.8 / (\lambda_y + 0.2) = 1.398$$

$$0.6 f_{td} h_0 [\alpha'_{px} (b_y + a_y / 2) + \alpha'_{py} (b_x + a_x / 2)] = 55\ 096\ \text{kN}$$

$$\gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 24\ 769 = 27\ 246\ \text{kN} < 55\ 096\ \text{kN}$$

角桩冲剪承载力富余 102.2%。

3.4.2 边桩的验算

方桩直径 b_p 取圆桩直径的 0.8 倍, 即 $b_p = 2.5 \times 0.8 = 2$ m。边桩冲剪承载力验算如下:

$$\gamma_0 F_{ld} \leq 0.6 f_{td} h_0 [\alpha'_{px} (b_p + h_0) + 0.667 \times (2b_x + a_x)] = 67\ 967\ \text{kN}$$

$$\gamma_0 F_{ld} \leq 0.6 f_{td} h_0 [\alpha'_{py} (b_p + h_0) + 0.667 \times (2b_y + a_y)] = 60\ 893\ \text{kN}$$

$$\gamma_0 F_{ld} = 27\ 246\ \text{kN} < 60\ 893\ \text{kN}$$

边桩冲剪承载力富余 123.5%。

3.5 冲剪承载力验算(柱、墩台向下冲切承台)

冲剪承载力需满足下式:

$$\gamma_0 F_{ld} \leq 0.6 f_{td} h_0 [2\alpha_{px} (b_y + a_y) + 2\alpha_{py} (b_x + a_x)]$$

$b_x = 4$ m; $b_y = 7.15$ m; $h_0 = 4.7$ m; $0.2h_0 = 0.94$ m; $a_x = 2.25 - 2/2 = 1.25$ m < 4.7 m; $a_y = 2.75 - 2/2 = 1.75$ m < 4.7 m。 a_x 取 1.25 m, a_y 取 1.75 m, 得冲跨比:

$$\lambda_x = a_x / h_0 = 0.266, \lambda_y = a_y / h_0 = 0.372$$

冲切承载力系数为:

$$\alpha_{px} = 1.2 / (\lambda_x + 0.2) = 2.575$$

$$\alpha_{py} = 1.2 / (\lambda_y + 0.2) = 2.097$$

$$0.6 f_{td} h_0 [2\alpha_{px} (b_y + a_y) + 2\alpha_{py} (b_x + a_x)] =$$

$$265\ 982\ \text{kN}$$

$$\gamma_0 F_{ld} = 135\ 753.948\ \text{kN} < 265\ 982\ \text{kN}$$

冲剪承载力富余 95.9%。

3.6 验算结果(见表 3)

表 3 群桩承台承载力验算结果

验算内容	设计值/ kN	允许值/ kN	富余量/ %
撑杆抗压	64 367.0	380 952	491.8
系杆抗拉	34 261.0	71 560	108.9
斜截面抗剪	54 491.8	135 595	148.8
角桩向上冲剪承台	27 245.9	55 096	102.2
边桩向上冲剪承台	27 245.9	60 893	123.5
柱、墩台向下冲剪承台	135 753.9	265 982	95.9

4 结论

根据上述验算结果, 得以下结论: 1) 加大承台尺寸, 截面惯性矩加大, 相应承台承载能力提高, 相对而言, 改变承台高度提高承载力的效果更好。2) 承台冲剪最为不利, 一般情况下, 若承台冲剪承载力满足规范要求, 则其他也相应满足规范要求。

参考文献:

- [1] 邵旭东, 程翔云, 李立峰. 桥梁设计与计算[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [2] JTG D62—2012, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [3] 邵旭东. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [4] 程翔云. 梁桥理论与计算[M]. 北京: 人民交通出版社, 1990.
- [5] 中国建筑标准设计研究院. 桩基承台[M]. 北京: 中国计划出版社, 2006.

收稿日期: 2018-05-18

(上接第 114 页)

of segmental concrete bridges[S].

- [2] CJJ/T 111—2006, 预应力混凝土桥梁预制节段逐跨拼装施工技术规程[S].
- [3] 何旭辉, 马广. 预应力混凝土箱梁短线法节段预制线形控制[J]. 桥梁建设, 2009(5).
- [4] 李甲丁, 刘钊. 短线法节段预制拼装桥梁线形控制探讨

[J]. 现代交通技术, 2009(6).

- [5] 侍钢, 徐霞飞, 伍贤智, 等. 基于非线性最小二乘的短线法节段预制线形控制研究[J]. 世界桥梁, 2014(6).
- [6] 谭坤, 周玲敏, 葛斌斌. 短线匹配节段梁预制及架设的线形偏差调整[J]. 铁道建筑技术, 2015(5).

收稿日期: 2018-03-12