

文章编号: 0451-0712(2005)02-0016-07

中图分类号: U448.216.5

文献标识码: B

用支座位移法对组合梁桥施加预应力

高建伟

(江苏省常州市建设局 常州市 213003)

摘 要: 钢—混凝土组合连续梁桥的中间支座附近为负弯矩区,会导致桥面混凝土开裂,缩短使用寿命。本文结合常州市马公桥工程的建设,对采用支座位移法来施加预应力,避免桥面混凝土开裂的技术进行了研究。通过施工过程中实测数据和仿真计算结果的比较,明确实际效果,得出有关经验和建议。

关键词: 钢—混凝土; 组合梁桥; 预变形; 支座位移; 预应力

钢—混凝土组合梁桥是中小跨径钢桥中的一种重要结构形式。这种组合结构以钢结构作为梁,用钢筋混凝土作为桥面板,两种不同性质的材料依靠剪力传递器连接成整体共同作用,作为桥梁的主要受力结构。当组合梁承受正弯矩作用时,混凝土板处于受压区,钢梁大部处于受拉区,因而能够充分发挥两种材料各自的力学性能。同钢筋混凝土梁相比,组合梁能够大大减轻结构自重,具有更大的跨高比,组合简支梁跨径可达 50 m;同钢梁相比,组合梁又具有抗弯刚度大,结构高度小,稳定性好等优势。因此,钢—混凝土组合梁桥近年来得到了较为广泛的应用。

由于混凝土的抗拉性能很差,在钢筋混凝土中,是用钢筋来代替混凝土承受拉力的。但是,混凝土的极限拉应变也很小,每 m 仅能伸长 0.1~0.15 mm,再伸长就要出现裂缝。所以,当组合梁用作连续梁或悬臂梁,需要承受一定的负弯矩时,就会导致钢筋混凝土桥面板局部段受拉,桥面开裂。因此,必须采取一定的措施,来降低混凝土中的拉应力,使裂缝不出现或控制在一定范围内。对于这种情况,施加预应力是一种非常有效的处理方法。

1 施加预应力的几种方法

1.1 引入纵向力法

引入纵向力来施加预应力一般可分为两种形式:

第一种是在中间支座附近的混凝土桥面板中,沿桥梁轴线方向埋设预应力筋(包括预应力粗钢筋、

预应力钢绞线等),通过张拉,对埋设预应力筋的区段施加预应力;

第二种是在钢梁下翼缘施加一个张力,使钢梁变形后对上翼缘的混凝土桥面板施加一个预压应力。

1.2 预加荷载法

对于像悬臂梁这样的外部静定结构,可以采用预加荷载法来施加预应力,见图 1 所示。

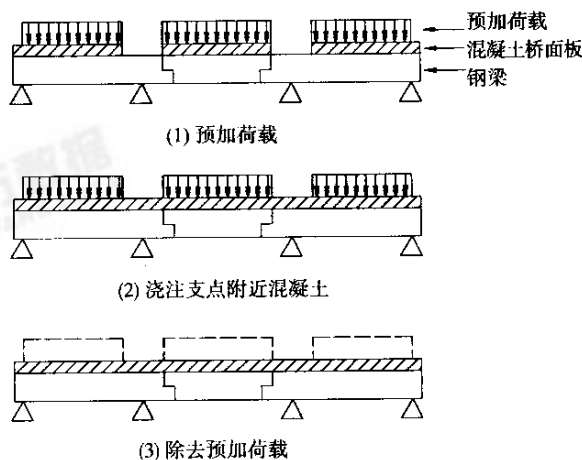


图 1 预加荷载法施工示意

现以悬臂梁为例加以说明(见图 1)。首先,浇注悬挂跨、锚固跨跨中部分桥面板的混凝土,当其达到一定强度后,在这些桥面板上预加临时荷载;然后再浇注支座附近的桥面板混凝土,等混凝土达到设计强度后便将预加荷载去掉,由于预加荷载的加载和

卸载,使梁各处受到一个大小相等、符号相反的弯矩。

预加荷载可以用砂、碎石、钢块、水等堆放在桥面上,特别是把水盛在水袋里的方法,具有一定的精确度,不仅可作预加荷载,还可用作浇注混凝土时调整上弯度的平衡重。

1.3 支座位移法

按不同支座的位移,可分为中支座位移法和端支座位移法。

(1)中支座位移法。

中支座位移法施加预应力的过程可以用图 2 加以简单说明。首先,在钢梁吊装、拼接结束后,将中间支点抬高。接着,浇注桥面板混凝土,当其达到设计强度后,将中间支座下降,使组合梁落到最终支座上。这样由于组合梁的下落、变形,就在钢筋混凝土桥面板中产生了预压应力。这种方法的优点是沿梁全长均施加了预应力。图 3 为移动支座产生的弯矩图。

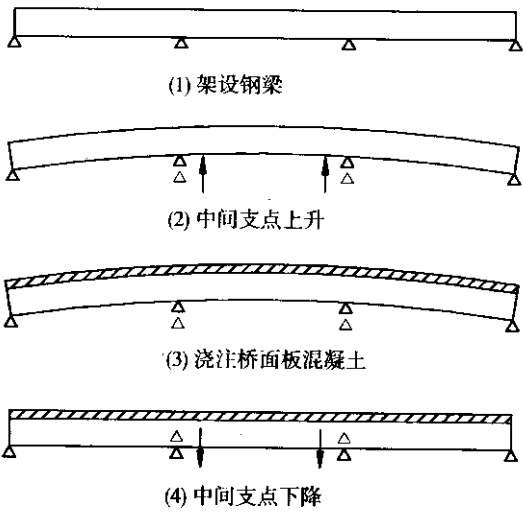


图 2 中支座位移法施工顺序

对于长度较大的梁,钢梁中部需要抬高很多,在实际施工中有很大难度。按图 4 所示方法给组合梁设铰,可以克服这一困难。在设铰处,上拱度是不连续状态,如图 4 所示,钢梁中部的抬高量可以大大降低。最后,通过设置临时支撑并将这些铰在竖直方向顶高,或在设铰处用千斤顶引进所需的弯矩,使组合梁在纵向恢复顺直,并进行连接、固定,让组合梁恢复连续性。

像其他长期荷载一样,桥面中的预应力值将随着混凝土徐变的增大而降低。尤其是这种由强迫变形所引起的预应力,下降得更为厉害。为使预应力保

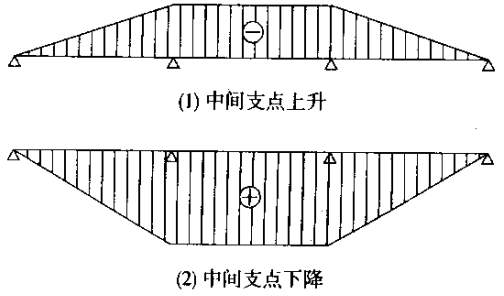


图 3 移动支座产生的弯矩

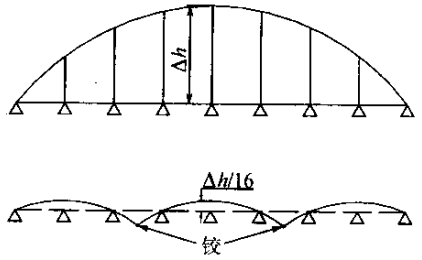


图 4 不连续设置上拱度

持较高值,应尽可能迟一些将梁下落到最后支座位置,以使混凝土浇注后得到足够的养护时间,减少徐变量。

支座位移法施加预应力具有施工方便、经济实用的特点。避免了预加荷载法搬运堆积荷载的麻烦,也不需精确定位预应力钢筋,确保波纹管的畅通以及张拉、灌浆、封锚等工序,施工简便,省工、省力,而且基本不需额外增加辅助材料,省却了预应力筋、锚具等费用。

(2)端支座位移法。

中间支座上升、下降的效果,用移动端支座的方法同样可以达到。端支座位移法的施工顺序与中支座位移法基本相同,只要把中间支座上升、下降,改为端支座的下降、上升即可。

根据工地实际情况,往往移动端支座比移动中间支座施工更为方便,主要体现在如下。

①中间支座往往位于河道中,水中搭设支架或脚手较为困难;而端支座在岸边,可方便地搭设支架或利用台帽搁置千斤顶,对钢梁进行顶高、下降,操作方便、安全。

②端支座移动比中间支座所需的顶升力要小,对顶升设备及支架的要求不高,施工较为方便。

2 研究目的和内容

支座位移法采用简单的施工处理技术来施加预

应力,具有施工方便、经济实用的特点。从理论上讲,大多数中小跨径钢—混凝土组合连续梁桥都可以采用这一方法,来解决中间支座附近的负弯矩问题,从而避免或控制混凝土裂缝的产生。常州市马公桥工程设计采用了钢—混凝土组合连续梁桥,并用支座位移法施加预应力。

- 结合该工程开展以下几方面的研究:
- (1)通过计算机仿真计算,验证设计计算结果以及质量控制指标;
 - (2)通过现场布置测试元件,测试相关技术数据,以确定预应力施加效果;
 - (3)通过系列研究,达到保证马公桥工程施工质量的目的,解决该工程的关键技术问题,并对以后类似工程建设提出一些建议。

3 常州市马公桥概况

马公桥位于常州市市区西南侧,是城市主干道上的一座重要桥梁,担负着繁重的交通流量。

新建马公桥总长 69 m,为 3 跨钢—混凝土组合连续梁桥,中跨计算跨径为 28 m,两侧边跨各为 18 m,组合梁总长 64.6 m,桥梁宽 36.6 m。桥梁两侧纵坡均为 2.5%,竖曲线半径为 1 150 m,桥面横向不设横坡。

设计荷载标准:汽车—超 20 级,挂车—120,人群 4.5 kN/m²。

马公桥下部结构:桥墩为桩柱式,灌注桩桩径为 1.2 m,长 41 m,立柱直径为 1.0 m,灌注桩和立柱各 16 根;桥台为浆砌块石重力式桥台,基础为桩径 1.0 m 的灌注桩,长 25 m,共 40 根。

4 施加预应力的方法

马公桥采用端支座位移法施加预应力。首先在钢梁吊装前,在台帽的支座垫石上放置支座调整钢板(每个支座垫石上叠放 5 块规格为 50 cm×50 cm×2 cm 的钢板,总厚度 10 cm),如图 5 所示;然后将板式橡胶支座放在钢板顶面上,进行钢梁吊装;待钢梁拼接完成形成整体后,每侧台帽上放置一定数量的千斤顶(慢车道桥 6 只,快车道桥 8 只),同步将钢梁顶高,抽去支座调整钢板,使钢梁端部整体下落 10 cm;然后在钢梁上铺设压型板,扎钢筋、浇桥面混凝土;待桥面混凝土养护 10 d 后,重新用千斤顶将组合梁端部顶高,垫回支座调整钢板,使端支座抬高 10 cm,顶高过程中一定要保证每只千斤顶顶升速

度的同步性,否则,桥面混凝土因横向受力不均,易产生裂缝;最后,将钢梁平稳地落在支座上。这样,由于组合梁的被迫变形,桥面混凝土被施加了预压应力。操作的流程为:

在支座垫石上安放 10 cm 厚的调整钢板和橡胶支座→吊装钢梁→钢梁拼装、焊接,抽走 10 cm 厚的调整钢板、钢梁下落→铺设压型板、绑扎桥面钢筋→浇筑桥面混凝土、养生、顶高钢梁→重新垫入 10 cm 厚的调整钢板→钢板四周用砂浆封闭、防腐。

5 测试方案

5.1 测点布置

马公桥的快车道共布置 6 个测点,每个测点分别用扎丝将压力传感器固定在钢筋混凝土桥面板厚度的中部;纵桥向布置于桥墩盖梁靠近跨中一侧的边线处,两侧对称;横桥向分别位于 3 号钢梁、中线、8 号钢梁处,详见图 6。

5.2 测试设备

(1)振弦式混凝土应变计共 4 个;其参数见表 1。

表 1 振弦式混凝土应变计参数

编号	规格 mm	电阻 Ω	频率 Hz	温度 C	防渗水 压力 MPa	绝缘 MΩ
497	100	810.8	1 742	17	0.2	500
494	100	808.0	1 762	17	0.2	500
460	100	821.4	1 739	17	0.2	500
471	100	809.2	1 736	17	0.2	500

(2)振弦式钢筋计 2 个;其参数见表 2。

表 2 振弦式钢筋应变计参数

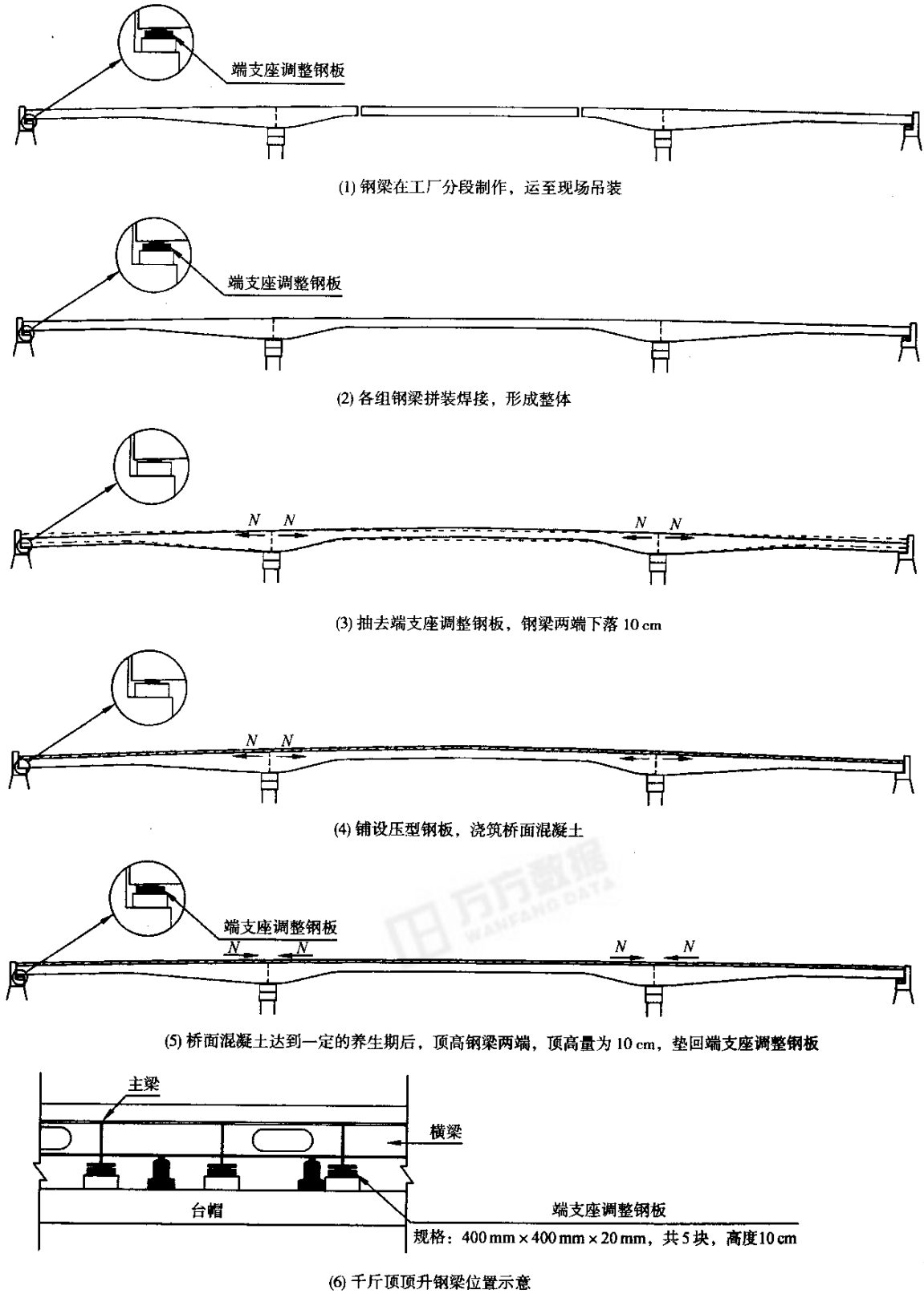
编号	规格 mm	电阻 Ω	频率 Hz	温度 C	防渗水 压力 MPa	绝缘 MΩ
12108	φ12	787.0	1 369	17	0.3	500
12183	φ12	792.1	1 368	17	0.3	500

5.3 测试结果

- (1)顶高后组合梁在墩顶预压应力见表 3。
- (2)顶高前后部分桥面标高的变化见表 4。

6 仿真计算

由于组合梁计算理论不够完善,本文采用有限



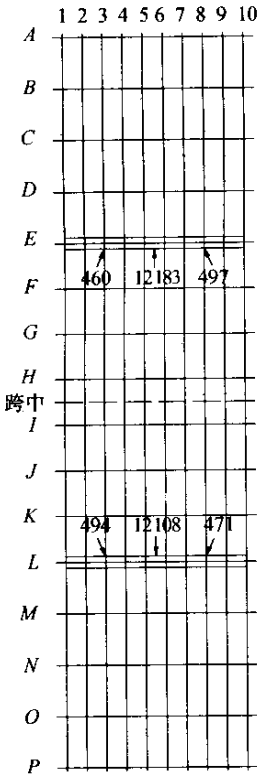


图 6 测点布置平面示意

表 3 桥面应变实测值

测点号	471	12108	494	497	12183	460
顶高前 初读数	1 715	14 467	19 137	1 827	1 435	1 789
顶高后 终读数	1 691	1 406	1 888	1 811	1 393	1 766
应 变 (力)值	3.75 ×10 ⁻⁵	1.633 kN	3.98 ×10 ⁻⁵	2.54 ×10 ⁻⁵	1.710 kN	3.47 ×10 ⁻⁵

元方法来分析结构在预弯过程中的受力状态,通过大型分析软件 sap2000 对马公桥施加预应力的过程进行仿真计算,从而得出结构在顶升过程中的变形值和应力状态。

6.1 计算模型

由于结构在横梁方向具有对称性,故只取一榀单元进行计算。结构模型中包括主梁、横梁以及混凝土桥面。主梁和横梁的几何尺寸采用实际的结构尺寸,主梁两边的混凝土桥面取 87.5 cm,为横梁跨度的一半,厚度为 20 cm。

模型中主梁两端先预弯 10 cm,中间支座为实际标高,主梁轴线本身为一微弯曲线。主梁为一变截面钢梁,在计算中根据实际情况输入尺寸。

表 4 桥面标高实测记录

点号	顶高前	顶高后	偏差/mm
A-3	7 937	8 040	103
A-5	7 943	8 048	105
A-8	7 946	8 050	104
C-3	8 199	8 241	42
C-5	8 196	8 248	52
C-8	8 194	8 240	46
E-3	8 384	8 390	6
E-5	8 383	8 389	6
E-8	8 385	8 385	0
G-3	8 503	8 475	-28
G-5	8 504	8 473	-31
G-8	8 508	8 470	-38
跨中-3	8 525	8 488	-37
跨中-5	8 521	8 485	-36
跨中-8	8 529	8 483	-46
J-3	8 514	8 483	-31
J-5	8 511	8 485	-26
J-8	8 519	8 484	-35
L-3	8 378	8 385	7
L-5	8 384	8 388	4
L-8	8 388	8 385	-3
N-3	8 196	8 244	48
N-5	8 202	8 247	45
N-8	8 202	8 240	38
P-3	7 958	8 058	100
P-5	7 952	8 058	106
P-8	7 958	8 060	102

6.2 计算结果

(1)应力结果。

在计算中,主梁两端的支座向上移动 10 cm,在混凝土中建立预应力。计算结果表明通过这一过程能在中间墩顶建立起 1~2 MPa 的预压应力。应力分布两边对称,分布范围和数量值符合实际情况,说明本次有限元分析模拟是成功的,其计算结果也是真实可信的。

(2)位移结果。

在计算中,不但要关心结构的应力分布状态,还要关心结构在顶升过程中的位移大小,也就是桥面标高的变化。在顶升过程中,中间桥墩固定不动,两端顶升,桥中位置下降,逐渐恢复到设计标高。

两端顶升了 100 mm,中间 2 个桥墩不动。它们中间的 3 个横梁与主梁的交点分别向上位移了 67.5 mm,42.0 mm,21.6 mm。桥最中间处向下位移了 63.1 mm。

7 理论数据与实测值进行比较分析

(1)顶高前后,桥面标高变化的实测值与计算结果较为吻合,见表 5。

表 5 实测位移与仿真计算位移的比较 mm									
位 置	横梁 A	横梁 C	横梁 E	横梁 G	跨中	横梁 J	横梁 L	横梁 N	横梁
实测位移 平均值	103	47	1	31	42	32	2	42	101
仿真计算 位移	100	42	0	49	63	49	0	42	100

(2)桥面混凝土墩顶位置实测的预压应力为:平均应变值 $(3.435 \times 10^{-5}) \times$ 弹性模量 $(3.5 \times 10^4 \text{ MPa}) = 1.2 \text{ MPa}$,与仿真计算结果 1~2 MPa 也较为吻合。

8 支座位移法施加预应力的研究结论

8.1 支座位移法的优点及不足

8.1.1 优点

- (1)力学效果好。
支座位移法施加的预应力,能够抵抗连续梁在墩顶承受的负弯矩,对避免墩顶处桥面裂缝的产生起到了良好的作用。
- (2)全长施加了预应力。
在连续梁全长施加了预应力,对预防桥面横向裂缝的产生起到了积极作用。
- (3)经济。
基本不需要额外增加辅助材料,节省了预应力筋、锚具等费用,经济实用。
- (4)施工方便。
避免了预加荷载法搬运堆积荷载的麻烦,施工较为简便,省工、省力。

8.1.2 不足之处

- (1)工期长。
支座位移法施加的预应力,受混凝土徐变的影响较大,由于混凝土的养护期较长,伸缩缝又不能同步施工,因此工期较长。
- (2)徐变影响大。
试验证明,加荷时混凝土的龄期越早,则混凝土

的徐变越大。随着徐变的不断增加,桥面混凝土中的预应力值将不断减少。

- (3)预应力值较小。
实测数据表明,支座位移法施加的预应力值较小。

8.2 在支座位移法施工中的一些建议

- (1)同步顶高。
在组合梁的顶升过程中,要严格控制每根钢梁的顶升速度,确保整个组合梁同步顶升。如顶升不同步,就会在桥面混凝土中产生横桥向应力,严重时会导致桥面产生纵桥向裂缝。建议采用同步控制千斤顶来顶升桥梁。
- (2)钢梁落不下的情况。
在抽走调整钢板,钢梁下落 10 cm 时,有时会出现局部钢梁落不到底,钢梁与支座有间隙的情况。这要查清原因,到底是钢梁局部被杂物卡住,还是钢梁自身刚度较大,仅依靠自重无法下落到支座上。通过排除杂物或加压的方法,使所有钢梁与支座密切贴合。
- (3)支座垫石表面要平整。
支座垫石浇筑时,要做到表面平整,既要保证单个支座垫石表面的平整度,还要保证一个台帽上所有支座垫石的表面均在同一个平面内,否则,端横梁将承受额外的应力。浇筑混凝土时要予以足够的重视,可采取带通线的方法对垫石表面进行收光。一旦在支座垫石间出现高差,应用 1~5 mm 的薄钢板垫入调整。支座位移时,薄钢板始终留在垫石上,以保证每根钢梁的升降量相同。
- (4)养护时间尽量要长。
试验证明,加荷时混凝土的龄期越早,则混凝土的徐变越大。随着徐变的不断增加,桥面混凝土中的预应力值将大大减少。为了尽量减少混凝土徐变,要加强对桥面混凝土的养护,保持较高的湿度,并尽可能延长混凝土的养护时间,最好在 28 d 以后再顶高钢梁,以降低预应力值的衰减。同时,减少桥面混凝土中的水泥用量,降低水灰比,对减少混凝土的徐变量也是有好处的。
- (5)钢板的毛刺要清除干净,并进行必要的防腐处理。
支座调整钢板如果采用气焊切割成型,必须将钢板边缘留下的毛刺剔除干净,使钢板与钢板之间能密切贴合,以保证钢板能均匀受力,并使各支座上的钢板总厚度保持统一的 10 cm。为了使钢板能长期

防腐,对每一块钢板都要进行彻底除锈,涂防锈油漆,具体要求与钢梁相同。在把组合梁顶高施加预应力后,调整钢板将永久留在支座垫石上,因此,需用 1:2 的水泥砂浆将钢板外露面封闭,阻断钢板与空气的接触,进一步起到防腐效果。

(6) 栏杆带、侧石先浇时要留设变形缝。

由于工期要求紧,往往在组合梁顶高前,可以用桥面混凝土的养护时间进行桥面栏杆带、侧石的现浇工作。为了在组合梁顶高过程中,留出足够的变形空间,防止混凝土被压碎,应在现浇栏杆带、侧石的墩顶、跨中位置留设 1 cm 宽的变形缝。这样,一方面使栏杆带、侧石在组合梁顶高过程可以自由变形,另一方面也避免增加顶升组合梁所需的顶升力。

9 结论

目前通过支座位移来施加预应力的方法,在钢—混凝土组合结构桥梁中得到了一些应用,这种方法比传统的预应力张拉方式有较大优势,其施工方法比较简单,有较高的经济效应。鉴于目前此种结构的分析理论还不完善,本文结合常州市马公桥工程的实例,对钢—混凝土组合桥梁中支座位移法施加预应力的技术进行了研究,主要得出以下结论。

(1) 用支座位移法在钢—混凝土组合梁桥中施加预应力是切实可行的方法,实测数据与仿真计算的结果基本吻合,所产生的预应力明确有效。

(2) 支座位移法施加的预应力,能够抵抗连续梁在中间支座附近承受的负弯矩,对预防中间支座附

近的桥面产生裂缝具有明显效果,并且在连续梁全长施加了预应力,对预防桥面横向裂缝的产生也起到了积极的作用。马公桥经过了一年多的使用,实践证明质量情况良好,桥面(包括负弯矩区)无任何可见裂缝。

(3) 实测数据表明,支座位移法施加的预应力值较小。而且随着混凝土徐变的不断增加,桥面混凝土中由支座位移施加的预应力值将不断减少。因此,这种方法不适用于要求预应力值较大及以预应力直接承受荷载的结构。

参考文献:

- [1] 小西一郎,宋慕兰,等译. 钢桥[M]. 北京:人民铁道出版社,1980.
- [2] 顾发祥,强士中,译. 钢桥设计论文选译[M]. 北京:中国铁道出版社,1986.
- [3] 胡夏闽. 欧洲规范 4 钢筋混凝土组合梁设计方法(7)—组合梁的受力性能和计算理论[J]. 工业建筑,1995,25(10).
- [4] 胡夏闽. 压型钢板组合梁的抗弯设计[J]. 南京建筑工程学院学报,1998,(3).
- [5] DL/T 5085—1999,钢—混凝土组合结构设计规程[S].
- [6] 聂建国,樊健生,王挺. 钢—压型钢板混凝土组合梁裂缝的试验研究[J]. 土木工程学报,2002,35(1).
- [7] 聂建国,崔玉萍,石中柱,等. 部分剪力连接钢—混凝土组合梁受弯极限承载力的计算[J]. 工程力学,2000,17(3).

Prestress Applied by Support Displacement Method to Steel-Concrete Composite Beam Bridge

GAO Jian-wei

(Changzhou Municipal Construction Department of Jiangsu Province, Changzhou 213003, China)

Abstract: Negative bending moment nearby the middle supports of composite steel-concrete continuous beam bridge, will cause floor deck concrete to crack and shorten its life. Combined with the construction of the Magong Bridge in Changzhou City, the prestress technique by means of the support displacement method to avoid cracks in floor deck concrete caused by tensile stress is studied. Through comparing the metrical datum with the simulative computed results, the actual effect is further confirmed. At the same time, some experiences and suggestions in constructing bridges are elicited.

Key words: steel-concrete; composite beam bridge; pre-deformation; support displacement; prestress 万方数据