

文章编号: 0451-0712(2007)03-0073-03

中图分类号: U445.465

文献标识码: B

斜拉桥水平转体施工主梁脱架影响分析

孙全胜^{1,2}, 孙永存¹, 王立峰¹, 王世杰¹

(1. 东北林业大学土木工程学院 哈尔滨市 150040; 2. 北京工业大学建筑工程学院 北京市 100022)

摘 要: 分段施工桥梁随着施工过程的进行, 桥梁结构受力和线形都在不断地发生变化。绥芬河斜拉桥为我国跨径最大, 转体重量最大的水平转体斜拉桥, 其所采用的单点平铰施工技术和采用的落地支架施工方法均为国内首次采用, 施工过程中梁体与支架接触, 桥梁结构受力不明确, 可供借鉴的施工经验少。主梁脱架后因主梁两侧混凝土浇注量的不均衡而产生的不平衡弯矩使斜拉桥整体向一侧倾斜, 为保证斜拉桥的顺利转体, 必须采取有效措施克服不平衡弯矩。本桥采用了在梁体一侧加沙袋的方法, 加载结果表明该方案切实可行。最终, 绥芬河斜拉桥顺利转体, 桥梁轴线偏差为 3 mm, 桥面高程偏差最大值仅为 12 mm。

关键词: 斜拉桥; 水平转体; 主梁; 脱架

桥梁结构分段施工方法及其分段施工技术的发展已经成为土木工程界最引人注目的成就之一, 而且得到了国内外工程界的广泛认可。桥梁分段施工要经历一个结构体系转换过程, 桥梁结构的受力状态与分段施工方法密切相关^[1]。斜拉桥多采用分段施工的方法进行施工, 对于斜拉桥主梁, 多采用悬臂浇注或悬臂拼装的施工工艺, 可供借鉴的施工经验比较丰富。本文介绍的是我国目前跨径最大, 转体重量最大的转体斜拉桥, 其主梁采用的施工工艺, 既不是悬臂浇注, 也不是悬臂拼装, 而是一种很少使用的落地支架施工法, 使用该方法对主梁线形的控制难度比较大。

1 工程概况及施工方案

绥芬河大桥为独塔单索面混凝土斜拉桥, 主桥桥跨为 100 m + 100 m, 如图 1 所示, 主梁为全预应力单箱三室混凝土结构, 梁高为 1.98 m, 桥面布置为双向四车道 (2 × 8 m), 另设双侧人行道 (2 × 1.75 m), 桥面宽度为 23.5 m, 桥上设 2% 的单向纵坡, 桥面设 1.5% 的双向横坡。主塔采用矩形截面, 塔高为 61 m。

该斜拉桥建成后, 将实现对 12 条铁路轨道和 2 个站台的跨越, 按常规跨越铁路线施工, 必然会对铁路运输产生频繁的干扰, 给列车行驶带来安全隐患, 且施工工期较长, 会造成不必要的经济损失。经过对铁路线上满堂支架法浇注施工、顶推施工、悬臂

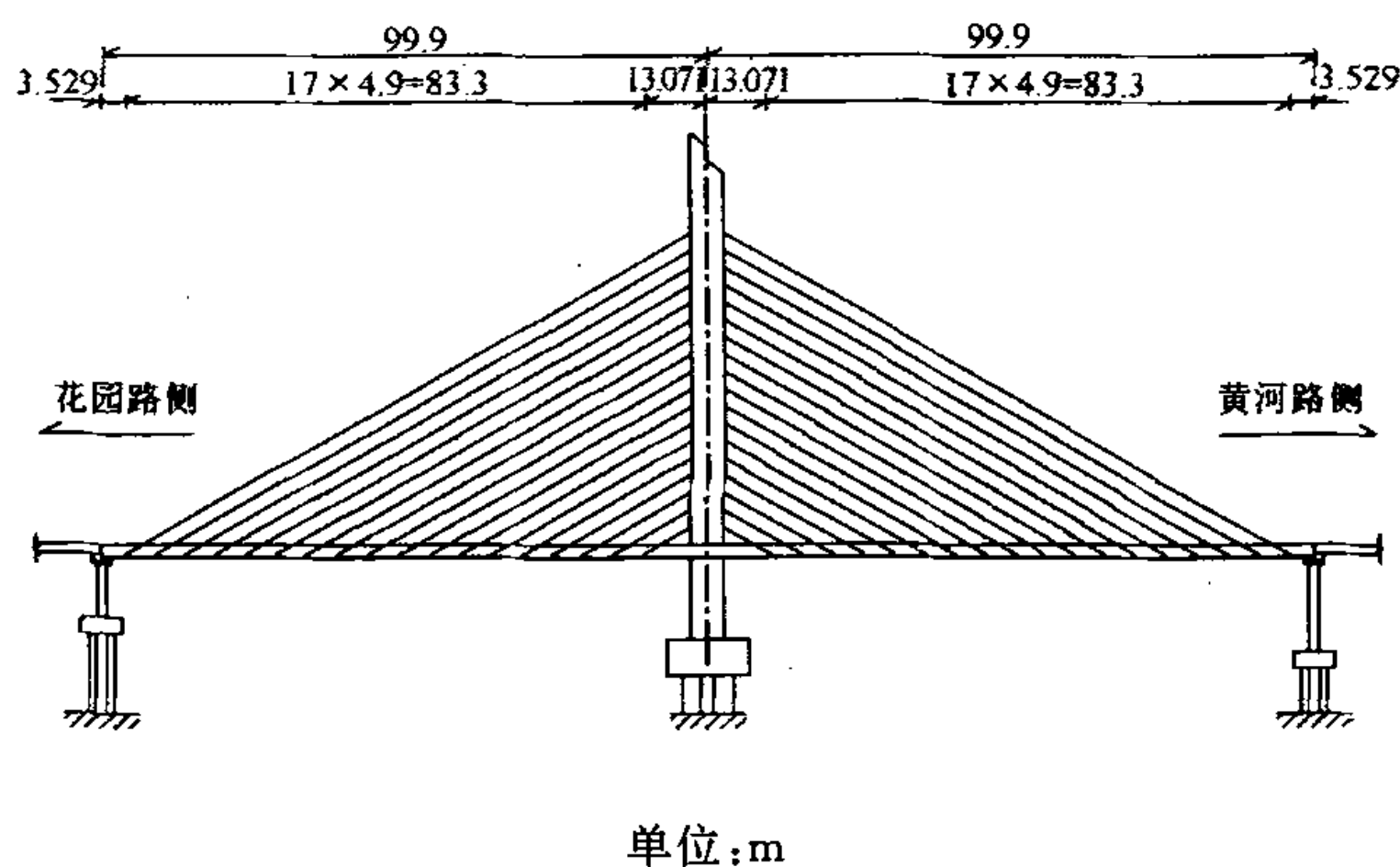


图 1 绥芬河斜拉桥结构简图

施工以及转体施工等诸多方案的论证, 认为转体施工方案最为经济合理。即采用简单支架顺着铁路预制拼装庞大的桥梁结构, 然后借助摩擦系数很小的转盘结构, 通过连续千斤顶的牵引作用, 将桥梁整体旋转到位。

该桥采用的简单支架施工工艺, 既不同于以往的满堂支架施工, 也不同于近几年兴起的移动支架施工, 而是采用一种斜拉桥施工工艺中从未采用过的落地支架施工法, 具体施工方案如下。

单侧支架跨度在 30 m 左右, 可同时支承 6 个标准梁段。1 号、2 号、3 号、4 号梁段施工结束 (即 1 号、2 号、3 号、4 号梁段的混凝土浇注完成, 预应力束、斜拉索全部张拉完毕), 5 号、6 号梁段施工开始进行时才拆除 0 号段下面的支架, 同时拆除 1 号、2 号梁

段下面的支架(在2号梁段前端保留2 m 支架),当进行7号、8号梁段施工时(5号、6号梁段的混凝土浇注完成,预应力束、斜拉索张拉完毕),同时拆除3号、4号下面的支架(在4号梁段前端保留2 m 支架),以此类推,待整个主梁浇注全部完成后,将支架一并拆除,进行水平转体。

落地支架的施工方法,与悬臂浇注或悬臂拼装的施工方法相比,优势在于相邻2个主梁节段可以交叉作业,即在前一节段混凝土养生的同时,当前节段可以进行钢筋绑扎,因而大大缩短了施工工期,而且该施工方法简单易行,不需要大型的施工设备。当然该施工方法的难点也是显而易见的,因为有别于传统的施工方法,所以没有现成的经验可供借鉴。施工过程中主梁节段在很多工况下都与桥下支架保持联系,受力不明确。

2 主梁脱架

在该斜拉桥的施工过程中,存在多次的受力转换,主梁脱架是转体斜拉桥施工过程中非常重要的一个施工环节,脱架过程是主梁支撑体系的转换过程,将形成塔、梁、索的结构受力重新分布,完全脱架后转体结构将形成双悬臂斜拉体系。此时,主梁结构施工内力达到最大值,梁体两端相对以前也将有一定的下挠^[2]。施工时需设好支架预抬值,尽量避免合龙前线形调整。

如果主塔两侧的混凝土浇注量近乎相等时,由于该桥横向对称,纵向基本对称,理论偏心距仅为1.3 cm,在支架拆除后,梁体两端的下挠量可基本持平,选择适当的天气就可以实施转体了。但是,由于主塔两侧施工队伍管理水平的差异,以及施工水平的差异,进而导致的主梁节段模板尺寸的差异和混凝土浇注量的差异就在所难免,由此造成的偏心距就可能发生变化,在主梁完全脱架后,有可能造成主塔两侧梁体悬臂端的下挠量不等,势必影响桥梁转体后的合龙,严重时将影响桥梁的转体。该桥在完全脱架后就存在这样的问题,梁体两端的实际下挠量与理论下挠值不等,如图2所示。

调查发现,该桥主塔两侧施工队伍施工水平上的差异较大,混凝土浇注量有所偏差,黄河路侧比花园路侧大0.5%左右,由于理论偏心距即偏向黄河路侧,因此,混凝土浇注量的偏差将导致偏心距增大。本桥采用单点支承的平板铰作为转动支承型式,因此主塔两侧不平衡重产生的不平衡弯矩将由平板铰

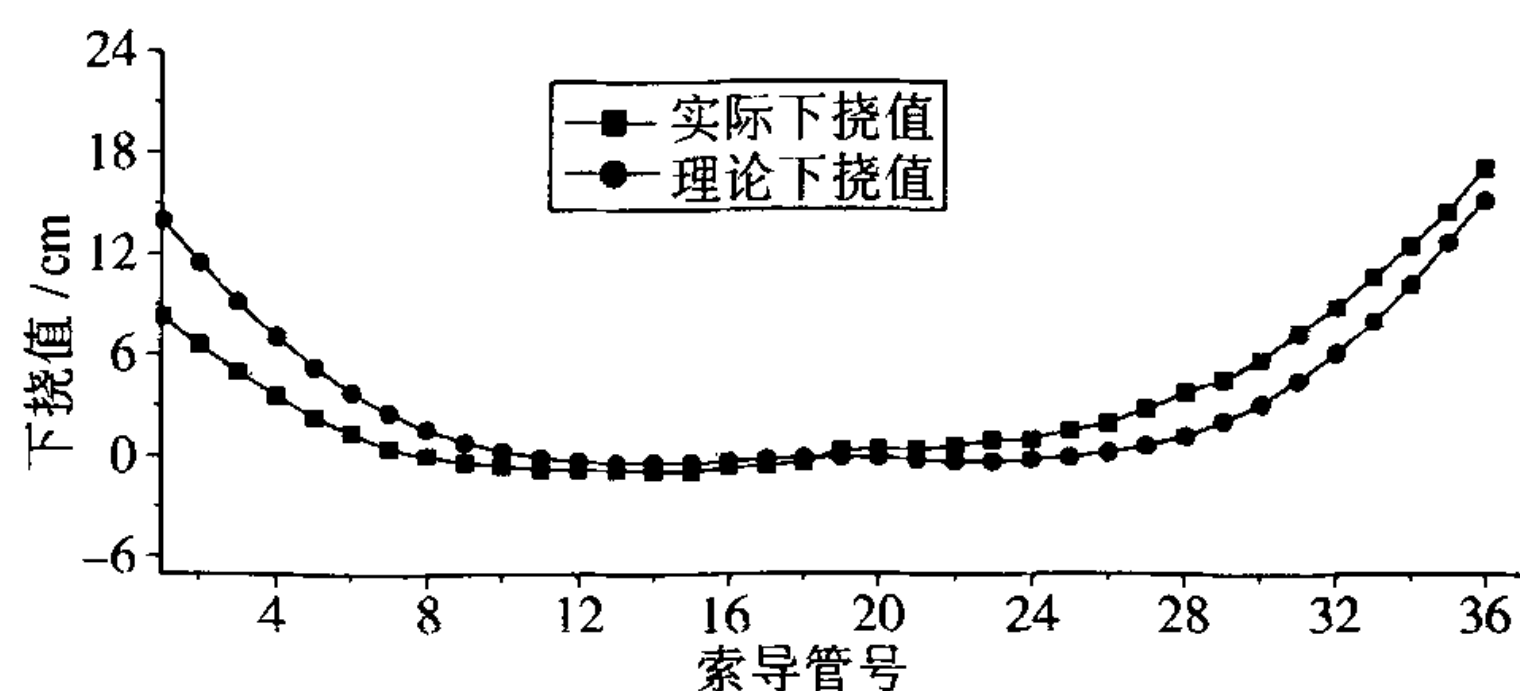


图2 主梁脱架后各索导管理论下挠值和实际下挠值的对比

来承受。平板铰是由上下2块钢板构成,钢板之间并非固结,为了顺利转体而留有一定的间隙,平板铰承受不平衡弯矩的结果势必导致梁体的倾斜,当不平衡弯矩相对较大时就表现为梁体两侧下挠量的明显不等。

进一步分析,得出实际偏心距和偏心弯矩,并与理论值(不存在混凝土浇注量的差异)对比如表1所示。

表1 偏心距及偏心弯矩对比

项 目	偏心距/cm	偏心弯矩/(kN·m)
理论值	1.3	1 786
实际值	2.9	4 040

以黄河路侧梁体比花园路侧梁体超重按0.5%考虑,应用有限元分析软件重新计算,计算结果对比如图3所示。

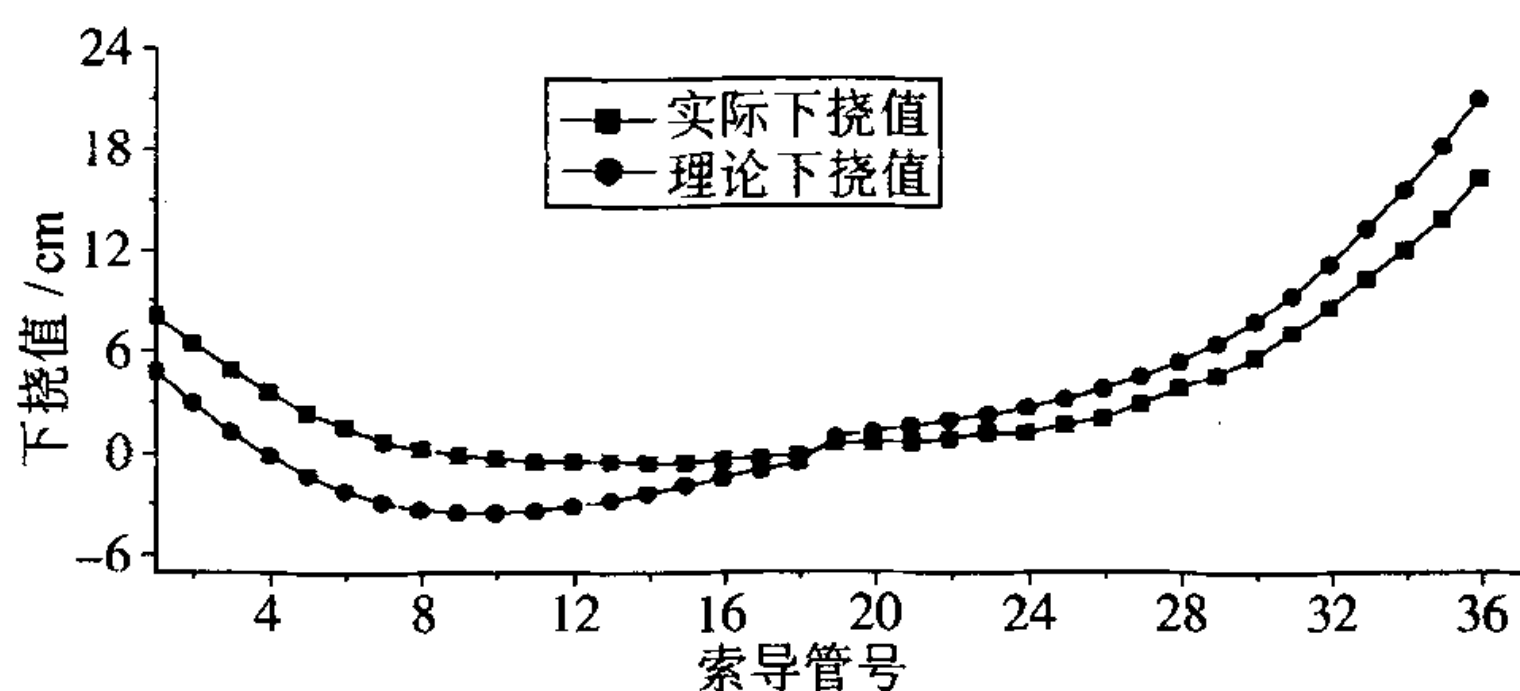


图3 考虑不平衡重的理论下挠值和实际下挠值对比

从计算结果可以看出,主塔两侧混凝土浇注量的不均衡,对于拆架后的梁体挠度影响十分大,黄河路侧悬臂端处的理论下挠值为22.1 cm,实际下挠值为17.1 cm,花园路侧的理论下挠值为4.9 cm,实际下挠值为8.3 cm。梁体两侧下挠值的差异是比较明显的,而考虑梁体重量偏差重新计算的理论与实际值又存在差异是有原因的。拆除支架呈现斜拉桥整体向黄河路侧倾斜时,由于对梁体的不平衡重估计不足,为确保斜拉桥的安全,当黄河路侧悬臂端下

挠值为 16.7 cm 时,及时将梁体下缘尚未撤走的支架上旋,将梁体顶紧,若梁体继续下挠时,梁底支架势必对梁体产生反作用力,这样一来,不平衡弯矩就由转盘和反作用力共同承受,当不平衡弯矩被克服时,梁体即停止下挠,所以黄河路侧悬臂端下挠值最终定格在 17.1 cm。由于黄河路侧不能继续下挠,花园路侧下挠值也最终稳定在 8.3 cm,比理论计算值偏大,计算结果合情合理。

为弄清不平衡重对水平转体斜拉桥主梁脱架后主塔两侧悬臂端下挠量的影响程度,现假定主墩与地面固结,不考虑转盘的影响,但黄河路侧仍比花园路侧梁体重约 0.5%,应用有限元软件计算并与考虑转盘影响的计算结果进行对比,如图 4 所示。

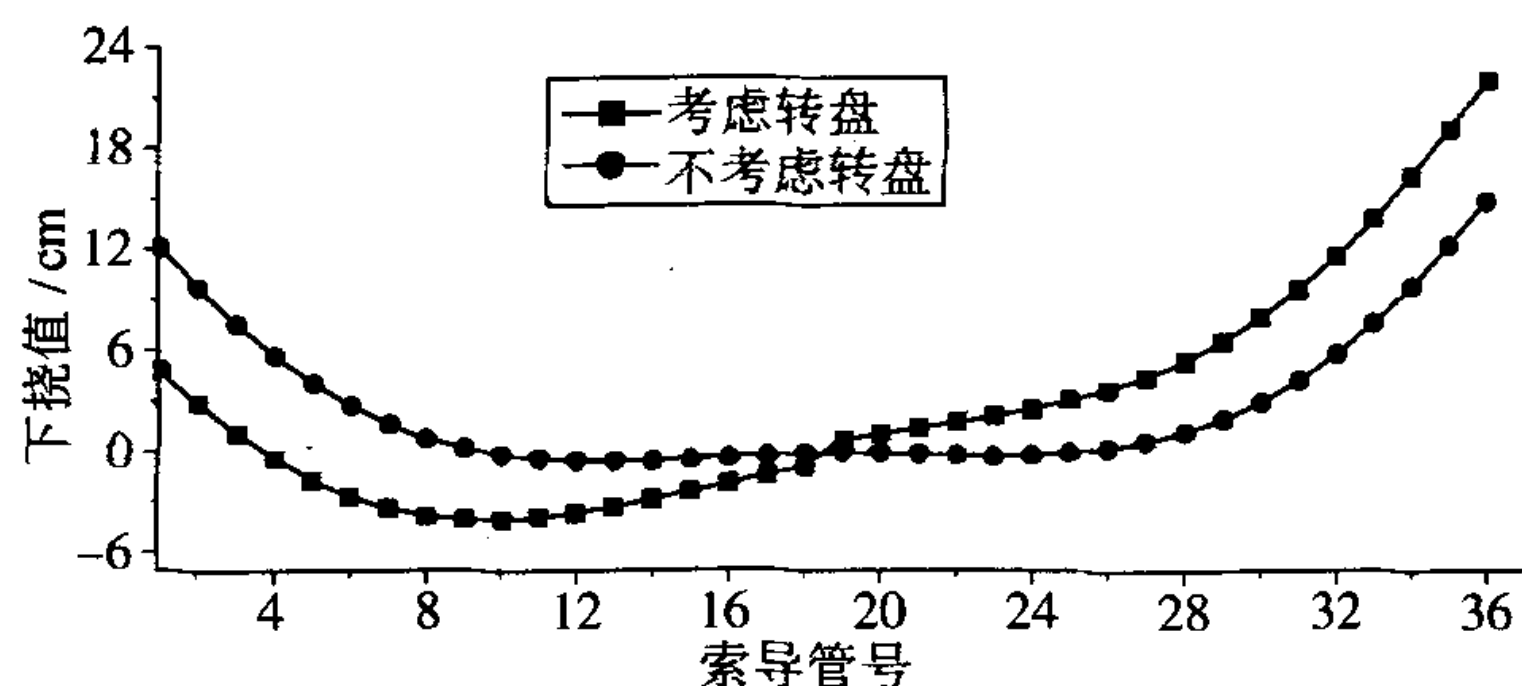


图4 转盘对下挠值的影响

当不考虑转盘影响时,主塔两侧梁体悬臂端处下挠值分别为 12.1 cm 和 14.8 cm,下挠差值为 2.7 cm,远小于考虑转盘影响的 17.2 cm,0.5%的梁体重量偏差对于非转体斜拉桥来说影响不大;相反,水平转体斜拉桥由于存在转盘影响,主塔两侧的不平衡重产生的不平衡弯矩对主梁脱架后悬臂端下挠量的影响十分大,为确保主梁脱架后斜拉桥能够顺利转体,以及转体后能够顺利合龙和成桥后斜拉桥能够呈现一个合理的受力状态,需严格确保主塔两侧混凝土浇注量的一致。

3 转体

为实现斜拉桥的转体,必须采取措施克服已经产生的不平衡弯矩。由不平衡弯矩为 4 040 kN·m 和花园路侧悬臂长度 97.9 m,最终决定在花园路侧悬臂长度为 90 m 处添加 4.6 t 沙袋来克服不平衡重,并选择一个合适的天气实施转体。

加载前后主塔两侧梁体悬臂端理论计算下挠值对比如图 5 所示。

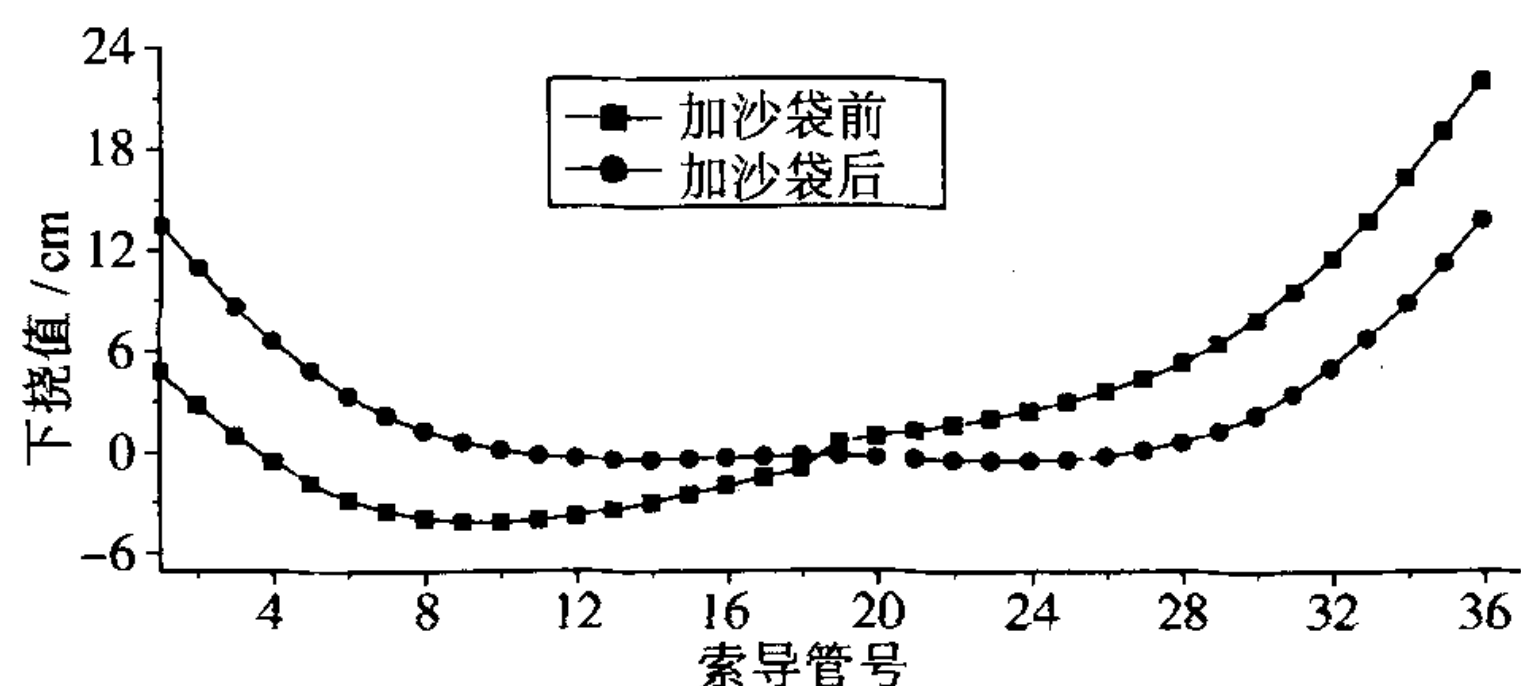


图5 花园路侧沙袋加载前后梁体下挠对比

加沙袋后,基本克服了主塔两侧的不平衡弯矩,两侧梁体悬臂端下挠量也基本一致了,因此,可以选择合适的天气实施转体。

绥芬河斜拉桥于 2005 年 9 月 27 日上午 9:18 开始转体,桥梁轴线偏差为 3 mm,桥面高程偏差最大值仅为 12 mm。

4 结语

绥芬河斜拉桥是我国目前跨径最大,转体重量最大的转体斜拉桥,它所采用的单点平铰水平转体施工技术史无前例,所采用的落地支架施工法在斜拉桥施工中也是首次采用,施工过程中出现瑕疵在所难免,找出问题的根源是解决问题的关键。经分析得出结论如下。

(1)采用支架施工的转体斜拉桥,由于受转盘影响,在主梁完全脱架后,主塔两侧梁体悬臂端下挠值受主塔两侧不平衡重产生的不平衡弯矩影响较大,为保证斜拉桥的顺利转体及转体后的合龙,必须严格控制主塔两侧梁体的混凝土浇注量,使其保持一致。

(2)主塔两侧产生不平衡弯矩时,可采用旋顶临时顶紧的措施。当确定不平衡弯矩值后,可在一侧梁端用配重来克服不平衡弯矩。

参考文献:

- [1] 葛耀君. 分段施工桥梁分析与控制[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 宋杰,李艳哲. 稀索转体斜拉桥主梁采用支架法施工的技术要点[J]. 公路交通技术,2004,(4).
- [3] 孙全胜,傅科奇. 斜拉桥转体施工温度影响效应分析[J]. 公路交通科技,2006,(10).