

文章编号: 1002-0268 (2004) 01-0071-03

大跨径 PC 连续梁桥悬臂 施工中的工艺控制

向木生¹, 陆伟¹, 朱红明², 周大华³

(1. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430063; 2. 湖北省路桥公司, 湖北 武汉 430056;
3. 湖北省襄十高速公路建设指挥部, 湖北 十堰 432000)

摘要: 结合实例, 分析大跨径预应力混凝土连续梁桥在悬臂施工过程中温度对主梁结构应力和挠度的影响。通过合理选择立模时机和在不同温度下适当调整立模标高, 使主梁线形平顺。在梁体温度均匀时张拉预应力钢束, 可减少结构的预应力损失。结构应力和应力增量的确定, 为改进施工工艺参数提供了科学依据。
关键词: 公路桥梁; 预应力混凝土; 悬臂施工法; 工艺控制
中图分类号: U448.21⁺5 **文献标识码:** A

Process Control Technology During Cast-in-place Cantilever Construction in Long Span Prestressed Concrete Continuous Beam Bridge

XIANG Mu-sheng¹, LU Wei¹, ZHU Hong-ming², ZHOU Da-hua³

(1. Wuhan University of Technology, Hubei Wuhan 430063, China;
2. Highway and Bridge Corporation of Hubei Province, Hubei Wuhan 430056, China;
3. Xiang-shi Express Construction Headquarters of Hubei Province, Hubei shiyan 432000, China)

Abstract: This paper analyses the effect of temperature on deflection and structural stress of main beam during cast-in-place cantilever construction in long span prestressed concrete continuous beam bridge with a practical example. An even alignment of main beam is formed by the rational selection of the time for the mould plate location and the adjustment of elevation of the mould plate under different temperature. The prestressed steel bar is drawn when there is uniform temperature of the main beam body, so that the prestress loss can be decreased. The determination of structural stress and its increase quantity is the basis for the improvement of parameters of construction technology.
Key words: Highway bridge; Prestressed Concrete; Cast-in-place cantilever method; Control of process technology

大跨径预应力混凝土连续刚构、连续梁等桥梁在悬臂施工过程中, 常常遇到合龙口相对高差过大使得桥梁线形不平顺, 导致行车不舒适。因预应力钢束张拉的原因, 引起桥梁结构的应力不足而开裂, 导致桥梁不能按设计载荷正常运行。由于桥梁设计中的理想状态与施工中的实际存在一定的差距, 特别是温度(日照)对T构的效应, 使得整个梁体处于动态变化之中。因此, 这类桥梁在悬臂施工过程中必须对立

模、预应力钢束张拉和结构应力的确定等进行工艺性分析, 对几个关键工序实施施工控制。

1 温度对悬臂施工主要工艺参数的影响

由于大跨径预应力混凝土桥梁的悬臂施工时间较长, 环境温度变化较大。当日温差较大时, 日照效应使得梁体温度梯度沿梁高方向呈非线性分布。
在理论上, 悬臂结构在自由状态下, 上下表面温

度均匀变化时,悬臂结构各点的位移将发生改变,但其截面的应力不会变化。当温度梯度沿高度方向按任意曲线分布时,对于静定结构,将产生温度自应力和沿轴向、竖向的位移;对于静不定结构,将产生温度次内力(NT、QT、MT)和温度次应力(纵向弯曲应力、弯曲剪应力)以及位移。

理论分析和实验测试表明,桥梁结构由日照、降温、年温度变化(季节温差)等温度差效应引起的最大应力可以达到甚至超出活载应力,对在悬臂状态下主梁最远截面的挠度也有很大的影响,其影响程度,视其截面位置的不同而各异。由此可见,主梁结构各截面的内力和线形是一个动态过程,温度对悬臂施工主要工艺参数会产生较大的影响。由于结构状态在时间历程上的非惟一性,因此,施工工艺参数应根据在不同温度状态下予以确定。

2 关键工序的施工控制

由于温度变化和主梁上下表面温差的增大,随着主梁施工节段的延伸,在不同的施工时刻,梁体所处的状态不同,施工工艺参数的相对稳定性,要求施工人员把握立模、预应力钢束张拉和结构应力的确定等几个关键工序的工作时机。

2.1 主梁悬臂施工中的立模

预拱度是主梁线形控制的主要参数之一,也是决定边跨和其它各跨能否顺利合龙、应力分布是否合理的关键。大跨径预应力混凝土连续刚构、连续梁等桥梁,在悬臂施工过程中,按预拱度的设置理论^[1]和误差调整理论(如:最小二乘法、卡耳曼滤波、灰色理论、人工神经网络方法等)^[2,3]确定立模标高。由于主梁顶面二期恒载的铺装,竖曲线在小范围的可调性,一般情况下,控制主梁底板立模标高。立模时应避开温度变化较大的时段,在主梁上下表面温度比较均匀时确定最后的立模标高。尽可能在早6:00前或下午8:30后,但应避开日出前和日落后半小时左右时段进行立模。由于施工的连续性,不能在常温下立模时,可将立模标高适当调整,以保证主梁线形平顺。在高温状态下,由于主梁有向下的位移,立模标高应相应地减小;在低温状态下,由于主梁有向上的位移,立模标高应适当地增大。立模标高的调节量视主梁延伸的长度和温差的大小而定。

2.2 预应力钢束张拉

预应力钢束张拉后常常会出现主梁混凝土结构的应力不足和主梁两侧或上下游应力不对称的问题。导致这些问题的原因是多方面的,也是很复杂的,除预

应力的6大损失^[4]外,与张拉设备、张拉方法和张拉时机也有密切的关系。从施工工艺上,减少预应力损失的主要途径包括:张拉设备的完好性、张拉的技巧性和张拉温度的合理性3个方面。

张拉设备除按施工规范^[5]定期检定外,必须明确每台顶的标定曲线、泵油速度与张拉力的关系曲线。

预应力钢束应两侧和上下游对称张拉,以减少不对称张拉引起的预应力损失。如果各顶的标定曲线不一致,在张拉时应根据各泵的标定特性掌握泵油速度,控制两端和上下游各顶张拉力的大小。为了减小不对称的因素,可以采取分级(5~8级)同步的方式,或者采取交换顶的位置进行张拉。为了减少预应力损失,对于短索,可超张拉($\leq 105\% \sigma_{con}$)以减小锚口损失;而长索,则采取延长持荷时间,以减小沿程损失。

预应力钢束应在梁体温度比较均匀的状态下、必须避开高温时段进行张拉。测试表明,在某大桥引桥上的30m预应力T梁,在高温状态下与在梁体温度比较均匀的状态下张拉预应力钢束比较,前者梁体跨中截面下表面压应力比后者小约2MPa。高温状态下张拉对主梁顶板索的预应力影响最大,当主梁在高温状态下或上下表面温差较大时,主梁沿纵向伸长,且上下表面伸长量不同。张拉预应力钢束后,尽管钢束与混凝土的线膨胀系数接近,但钢束与混凝土表面存在温差,且钢束温度梯度与混凝土温度梯度不同,当梁体温度一致时,两者间由温度变化产生的位移存在差别,引起钢束预应力损失。因此,在施工过程中,必须把握张拉时机。

2.3 结构应力的确定

预应力混凝土桥梁结构应力的测试程序为在其关键截面预埋应变传感器、按施工工况进行混凝土结构应变测试、经过测试误差分析及处理后,确定实际结构的真实应力^[6]。一般来说,预应力混凝土桥梁结构应力在较长时期内的连续测量,其应力全量值与实际结构的真实应力间的相对误差偏大,有时甚至可达15%左右。但是,在预应力混凝土桥梁的悬臂施工过程中,每一节段预应力钢束张拉前后,结构应力增量的测量误差很小,因此,可以用于指导张拉施工。结构应力测量时,应在梁体温度比较均匀的状态下进行,以避免因温度效应产生的附加应力而影响测试实际结构真实应力的精度。

3 工艺控制实例分析

在湖北省境内的汉十、襄荆高速公路连接线上某

特大桥，主桥为 75+5×120+75m 七跨一联三向预应力混凝土连续梁桥。6 个 T 构的每侧各为 15 节段，采用挂篮悬臂施工，逐节段向前推进。施工中，对主梁底板立模和预应力钢束张拉前后、截面应力等关键工序采用逐节段跟踪控制。

在 T 梁悬浇过程中，预应力张拉时，晴天一般在夜晚 11 点以后、早晨 10 时前结束，在该时段内梁体温度比较均匀，由于张拉工艺因素所引起的预应力损失较小；阴雨天按施工进度及时张拉。

预应力张拉质量主要按钢束的伸长量、油表压力进行双控，通过张拉前后截面应力的实际增量与理论计算增量的偏差和张拉前后箱梁挠度改变量（反拱值）进行评价。当节段应力增量相对差大于 10%、小于 30%（应力偏小时），采取补张拉（或二次张拉）方式，增加压应力储备，有时补张拉后的应力增量可达 0.3MPa。当应力测量值与计算值全量绝对差

大于 1.5MPa，或节段应力增量相对差大于 30% 时，监理单位会同设计、监控和施工单位综合质量分析，找出原因后，才能进行下一节段的施工。

表 1 给出了某特大桥右幅 37T 构 1[#] 截面应力全量随各节段张拉后测量值与设计计算值。图 1 给出了该截面应力全量随各节段浇注混凝土后和张拉后的测量值与设计计算值的变化曲线。从表 1 和图 1 可以看出，第 3~5 节段张拉后 1[#] 截面混凝土压应力全量均偏小，北侧应力全量偏小近 1.50MPa，且南北两侧呈非对称状态。针对应力不足过大的现象，分别采取了分级同步张拉，以解决非对称的问题；延长持荷时间，使预应力沿程分布均匀；适当超张拉，减小锚口损失；张拉时机均在箱梁温度比较均匀的时候；在第 8 节段施工时，把两束备用索变为实际用索。经过工艺上的调整，第 15 节段施工完成后，1[#] 截面混凝土压应力全量基本上达到了设计值。

某特大桥右幅 37T 构 1[#] 截面应力 (MPa) 随各节段张拉后测量值 表 1

悬浇节段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
设计计算值	1.11	2.31	3.46	4.03	4.27	4.47	5.27	5.43	6.09	6.18	6.19	6.12	5.97	6.01	6.58
南侧测量值	1.16	1.89	3.31	3.67	3.67	4.54	5.11	5.32	5.49	5.91	5.86	5.61	6.09	6.27	6.38
北侧测量值	1.09	1.77	2.38	2.63	3.43	4.34	4.48	5.04	5.25	5.70	5.60	5.37	5.74	6.05	6.21

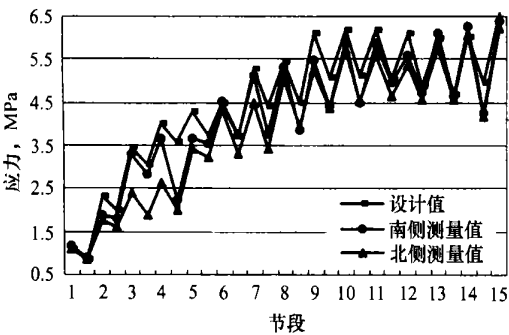


图 1 1[#] 截面应力随节段工况变化曲线

箱梁立模标高主要控制箱梁底板立模标高，立模时一般在早 6 :00 前或下午 8 :30 后，避开日出前和日落后半小时左右时段进行立模。有时由于施工的连续性，不能在常温下立模时，将立模标高进行调整，高温时立模标高适当减少，低温时立模标高适当加大。

T 构悬浇完成后，7 个合龙口两侧的相对高差（扣除理论高差后）均在 1cm 以内，相对高差能满足控制精度要求，成桥线形与原设计竖曲线一致；控制截面的应力接近设计值。

4 结束语

由于大跨径预应力混凝土连续梁、连续刚构桥具

有行车舒适、易维护且费用低等优点，在桥梁设计中越来越广泛地使用。随着悬臂施工技术，尤其是其中的预应力钢束的张拉技术的进步和完善，施工机械化程度的提高，加上使用计算机辅助工艺设计和科学、高效的施工控制手段，悬臂施工法将成为现代大跨度桥梁建造的主要方法。

参考文献:

[1] 雷俊卿. 桥梁悬臂施工与设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000

[2] 向中富. 梁桥工程控制技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001

[3] 陈建阳, 等. 大跨度桥梁施工控制中的神经网络方法 [J]. 桥梁建设, 2001, 140 (6): 42—45

[4] 李国平. 预应力混凝土结构设计原理 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.

[5] 中华人民共和国交通部. 公路桥涵施工技术规范 (JTJ041—2000) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.

[6] 向木生, 等. 大跨度预应力混凝土梁桥监测监控技术研究 [J]. 公路交通科技, 2002, 19 (4): 266—269.