

连续刚构桥顶推关键技术研究

肖飞¹, 顾箭锋¹, 陈玉清², 文帆川³

(1. 长安大学, 西安 710064; 2. 山东建筑大学, 济南 250101; 3. 云南省公路工程监理咨询公司, 昆明 650021)

摘要:随着连续刚构桥桥型在我国桥梁建设中的广泛采用,顶推成为连续刚构桥施工过程中的关键工序。文章以怒江大桥(88+160+88 m 的连续刚构桥)为依托,对顶推工序进行了详细介绍,提出了顶推力值的计算方法。计算过程中考虑了升温效应对结构产生的有利变形,及底板预应力束张拉造成的不利变形。研究结果为其他同类桥梁顶推力值的计算提供参考。

关键词:连续刚构桥;顶推力;计算方法

中图分类号:U443.2

文献标志码:A

连续刚构桥兼顾了连续梁桥和刚构桥梁体连续、梁墩固结的特点,具有结构整体性好、跨越能力强、施工简便快捷的优点,是近几年我国桥梁建设中普遍采用的桥型之一。连续刚构桥为墩梁固结的超静定结构。连续刚构桥合龙后,桥梁体系发生转换,底板预应力束张拉、后期混凝土收缩徐变与降温效应相组合将使两主墩之间的主梁缩短、墩顶向跨中方向发生位移,导致墩顶、墩底产生较大的附加弯矩,主梁及桥墩结构内部产生拉应力,对结构将造成危害,尤其对矮墩或大跨、多跨结构更是如此^[1-2]。

工程上一般采用预顶工艺,即可采用在合龙段的锁定支撑刚性固结前对合龙段梁端施加水平预顶力来达到使墩顶预偏的目的,以部分抵消水平位移对墩顶的影响,调整桥墩受力状态,以满足运营阶段桥梁体系降温 and 混凝土收缩徐变等荷载对墩顶及墩底应力的要求^[3-4]。

1 工程概况

云南怒江大桥位于省道 S228 线六库~跃进桥段二级公路,为跨越怒江而设。主桥为 88+160+88 m 预应力混凝土连续刚构。箱梁断面采用单箱单室直腹板断面,顶板宽度为 12.0 m,箱梁根部梁高 10 m,箱梁底板下

缘按 1.6 次抛物线变化。

怒江大桥主桥由 2 个“T 型”悬臂梁、2 个边跨现浇段、2 个边跨合拢段及 1 个跨中合拢段组成。采用挂篮分段对称悬臂浇注的施工方法;边跨现浇段采用落地支架施工;边跨及中跨合拢段均采用挂篮进行合龙。桥型布置如图 1 所示。

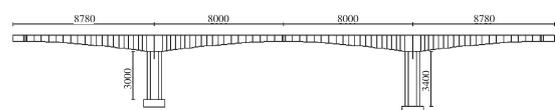


图 1 桥型布置图

怒江大桥主桥采用先 2 个边跨合拢,再进行跨中合拢的施工顺序。根据施工进度,怒江大桥主桥跨中合拢在 12 月中旬施工,对施工前 20 d 进行温度监测,凌晨 0 点—6 点的跨中位置的温度在 9℃~12℃ 之间变化;设计合拢温度为 15℃~20℃。

2 连续刚构桥顶推力施加三要素

为确保施工时能将适宜的顶推力准确的施加到桥梁结构上,并达到预计的效果,必须保证:(1) 传递顶推力的构件具有足够的强度和刚度;(2) 能够将顶推力最大化的存留在桥梁结构中;(3) 顶推力的大小要合适。

即要保证顶推力施加的三要素:顶推传力装置、顶推时机、顶推力大小^[4]。

2.1 顶推传力装置

怒江大桥在顶推过程中采用千斤顶施加顶推力,由于千斤顶的行程有限,需要设置适当的传力机构,将顶推力传递至已浇筑好的 20#块梁段上。根据设计要求,在合拢段两侧最近相邻块段相应位置上预埋顶推施工所需的止推预埋钢板及限位预埋钢板,两边预埋钢板顶面水平且处于同一高程,并高出混凝土面 5 mm,以便焊接施工,并确保焊缝质量。传力构件采用 40c 型槽钢。图 2 为顶推截面顶推限位板布置图。

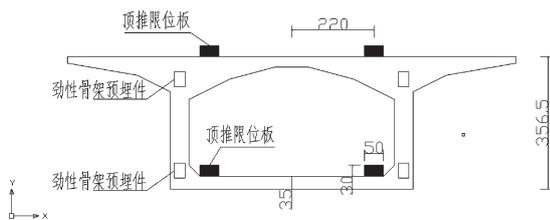


图 2 顶推限位板布置图

2.2 顶推时机

顶推时机即劲性骨架一端已固定,合拢口待完全锁定时。为了使合龙锁定到浇筑的时间尽量短,一般在实施顶推时,合龙段的模板已行走到位,只待锁定后将模板牢固固定在悬臂梁上,对不影响顶推及劲性骨架固定的钢筋绑扎完毕。

顶推一般选在箱梁整体温度较低时进行,以减少施加的顶推力大小。考虑到合拢口混凝土浇筑之后,在白天气温升高时混凝土应具有足够的强度,以防止混凝土开裂,另外,合拢口锁定时间不一定是箱梁混凝土平均温度最低时刻。因此,应合理兼顾这两方面,一般可取全天最低气温前后的 3 个小时内进行顶推及合拢锁定施工^[5]。

根据怒江大桥工程进度安排,顶推时间定为合拢段混凝土浇筑前一天的晚上进行。待顶推完成后立即焊接劲性骨架,锁定合拢口,并开始混凝土浇筑前的其他准备工作。

3 顶推力计算分析

计算思路:在各合拢段对梁体施加水平顶推力,使墩顶产生与收缩徐变及合拢温差等引起的水平位移值相等的反向位移,这样就消除了各墩顶因收缩徐变及合拢温差等引起的水平位移,同时也部分消除了结构附加应力。具体的计算中,需分施工阶段,通过循环迭代,求

得各阶段的顶推力,使各墩墩顶水平位移的累计值与合拢温差产生的墩顶水平位移值相抵消^[6]。按该法来计算顶推力时,是以墩顶的位移量来控制顶推力。顶推力需要通过循环迭代、多次试算才能确定。

对于墩梁固结的连续刚构体系,尤其是采用箱梁结构时,由底板预应力束张拉,混凝土收缩徐变等引起的结构次内力,从而导致的桥梁结构内力重分布和结构变位是非线性的,故很难通过手算计算。本桥顶推力的计算主要采用有限元软件 Midas Civil。

3.1 有限元模型建立

怒江大桥模型的建立共采用了 167 个节点、162 个单位。桥墩和上部结构的连接采用弹性连接模型;桥墩与基础的连接采用刚性连接模拟;顶推力的施加采用节点荷载模拟。有限元整体模型如图 3 所示。

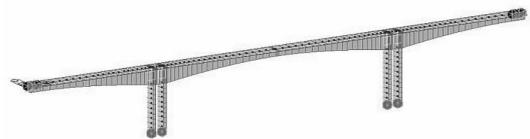


图 3 怒江大桥有限元模型

3.2 墩顶不利位移量分析

从目前对顶推的研究来看,合拢前顶推的主要作用是为了抵消底板预应力束张拉,混凝土收缩徐变及降温效应所产生的墩顶位移。怒江大桥主桥跨中合拢时温度为 9 ~ 12 ℃,低于设计合拢温度,且该温度为云南怒江地区年平均最低温度,属于低温合拢。低温合拢使结构产生有利变形,故在计算顶推力大小时,应将升温效应对结构产生的有利变形计算在内。

导致怒江大桥墩顶发生产生向边跨方向不利位移的主要原因有:大桥施工时底板预应力束张拉时产生的位移为主;大桥运营期以混凝土的收缩徐变为主^[7]。

研究资料表明,连续刚构桥成桥后 3 ~ 4 年即可完成大部分收缩徐变^[7-8],本桥在确定混凝土收缩徐变量的位移量时以 1200 d 的收缩徐变的位移量为参考值。以 5#墩→6#墩方向的位移为正,由于施工阶段底板预应力束张拉导致两墩双肢的位移数据见表 1。

表 1 底板预应力束张拉墩顶位移量 (mm)

	左肢	右肢	平均位移量
5#墩	6.275	7.382	6.8285
6#墩	-10.668	-9.561	-10.1145

由表 1 中的数据分析,可取 5#墩、6#墩墩顶在底板预应力束张拉作用下的位移分别为 7 mm、-10 mm。

怒江大桥成桥后 1200 d 由于预应力束收缩,混凝土

收缩徐变产生的位移量由有限元模型提取数据见表2。

表2 成桥后1200 d墩顶位移量(mm)

阶段	5#墩			6#墩		
	左肢	右肢	平均位移量	左肢	右肢	平均位移量
钢束	5.106	6.212	5.659	-8.826	-7.719	-8.2725
徐变	13.681	12.102	12.8915	-17.484	-19.065	-18.2745
收缩	11.675	10.925	11.3	-15.668	-16.418	-16.043
合计	30.376	26.603	28.4895	-37.509	-41.284	-39.3965

由表1与表2中数据可知,5#墩及6#墩的墩顶发生的对结构不利的位移分别为36 mm, -49 mm。

3.3 顶推力值计算分析

怒江大桥在低温条件下合拢,整体升温效应会使墩顶向两边跨方向位移,产生对结构有利的位移。查阅云南怒江的地质水文资料可知怒江地区最高温度可达42℃,有限元模型中取整体升温15℃的位移量为升温效应的有利位移,数据见表3。

表3 整体升温15℃墩顶位移量(mm)

	左肢	右肢	平均位移量
5#墩	-13.066	-11.604	-12.335
6#墩	16.735	18.134	17.4345

由表3数据看,可取大桥整体升温照成的墩顶有利位移为-12 mm、17 mm。分别在顶推点施加1000 kN、2000 kN、3000 kN的顶推力^[7-10],由有限元模型分析得墩顶位移量见表4。

表4 顶推力作用下墩顶位移量(mm)

顶推力(kN)	5#墩			6#墩		
	左肢	右肢	平均位移量	左肢	右肢	平均位移量
3000	-25.448	-27.221	-26.3345	38.913	37.144	38.0285
2000	-15.774	-17.558	-16.666	25.152	23.369	24.2605
1000	-6.099	-7.895	-6.997	11.392	9.595	10.4935

由跨中预应力束张拉、混凝土收缩徐变、升温效应造成的位移叠加可得5#、6#墩剩余位移量分别为31 mm、-32 mm。结合表4中数据,并经专家组评审,最终决定顶推力值取3000 kN。

文对怒江大桥采用有限元软件在顶推力作用下的受力情况进行了分析。主要分析了怒江大桥成桥阶段及成桥后1200 d,墩顶、墩底及上部结构的最大组合应力,并与不设顶推力情况下应力状况进行了对比分析,见表5与表6。

4 顶推力作用下受力分析

为确保桥梁在顶推力作用下结构受力的安全性,本

表5 墩顶及墩底各阶段最大组合应力(MPa)

阶段	位置	施加3000 kN顶推力				不施加顶推力			
		5#墩		6#墩		5#墩		6#墩	
		左肢	右肢	左肢	右肢	左肢	右肢	左肢	右肢
跨中合拢	墩顶	-8.4	-7.4	-7.9	-9.0	-5.6	-7.1	-6.5	-5.8
	墩底	-9.4	-8.6	-9.1	-10.0	-6.7	-6.3	-7.5	-7.0
成桥后1200 d	墩顶	-4.7	-7.7	-7.6	-5.0	-7.5	-10.3	-13.0	-10.1
	墩底	-4.9	-7.8	-7.9	-5.3	-9.4	-12.3	-11.0	-8.0

表6 上部结构各阶段最大组合应力(MPa)

阶段	施加3000 kN顶推力			不施加顶推力		
	5#墩墩顶	跨中	6#墩墩顶	5#墩墩顶	跨中	6#墩墩顶
跨中合拢	-10.2	-15.1	-10.3	-10.0	-15.0	-10.3
成桥后1200d	-9.0	-8.8	-9.0	-9.2	-8.5	-9.2

通过对怒江大桥施加顶推力和不施加顶推力状态下的各阶段应力数据对比分析可知:桥墩施加顶推力后跨中合拢阶段的应力较不施加顶推力时要大,但大桥收缩徐变完成后桥墩的应力较不施加顶推力状态下要小;顶推力的施加对上部结构的应力状态影响不大。

5 顶推力施加过程分析

在对怒江大桥顶推过程中采用了四个千斤顶施加顶推力,为避免顶推力施加过程中对顶推截面产生偏心距,需要对各千斤顶的顶推力进行分配。通过有限元软件Midas Civil截面特性计算器计算出顶推截面的中性

轴位置,然后对顶推力进行等效力矩分配,求解出各千斤顶所施加的顶推力数值。怒江大桥顶板顶千斤顶推力值为 791.6 kN,底板千斤顶顶推力值为 708.4 kN。

施加顶推力时按照 0→25%→50%→75%→100% 的顺序分四级加载,分级加载时保证箱梁位移的足够时间。测量两墩墩顶的水平位移和高程变化情况,同时量测千斤顶活塞行程,以便与位移观测值相校核,数据见表 7。在顶推的同时,注意观察墩梁结合部,防止出现异常情况。当加载至 3000 kN 时,两墩墩顶相对位移若尚未达到计算位移值,经监理、设计和监控三方人员研究后确定是否继续加载。当两墩墩顶相对位移达到计算位移值时即使顶推力未达到 3000 kN 后停止加载,顶推完成。

表 7 顶推过程墩顶位移记录表 (mm)

顶推力	25%	50%	75%	100%
5#墩	-6	-15	-20	-27
6#墩	9	17	24	33

顶推力达到 100% 即 3000 kN 时,两墩位移分别为 -27 mm、33 mm,达到预计位移量,经专家组决定,不再施加顶推力,顶推结束。

6 结 论

通过本文的分析研究,可以得出如下结论:

(1) 理论分析计算和现场顶推数据表明,通过消除墩顶由底板预应力束张拉,混凝土收缩徐变造成的不利位移,并考虑升温效应造成墩顶有利位移的顶推力计算方法合理可行,可为同类桥梁顶推力计算提供参考。

(2) 由于墩身高度不同,两桥墩在同一荷载作用下的位移量差别较大,墩身较高的一侧墩顶位移较大,墩

身较高的一侧墩顶位移较小。

(3) 顶推力计算数据表明,顶推力和墩顶位移量呈线性关系。

(4) 顶推力的施加有效的减小了连续刚构桥收缩徐变结束后桥墩的应力水平,但对桥梁上部结构基本无影响。

参 考 文 献:

- [1] 郝海峰.多跨预应力混凝土连续梁桥合理合龙方案研究[D].西安:长安大学,2011.
- [2] 周嘉文.探讨宽桥面挂篮设计与悬灌施工技术[J].路桥建设,2012,19(11):159.
- [3] 林玉森,张运波,强士中.宽桥面挂篮设计与悬灌施工技术[J].铁道工程学报,2006(2):39-42,51.
- [4] 王小光.高矮墩大跨连续刚构桥合拢技术研究[D].武汉:武汉理工大学,2009.
- [5] 胡清和.多跨连续刚构桥构造分析及合拢技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2009.
- [6] 张茂龙,杨成斌.矮墩连续刚构桥合拢顶推力研究[J].湖南工程学院学报,2011,21(2):92-94.
- [7] 栾坤鹏,张雪松,高洪如.连续刚构桥合拢顶推力优化计算方法[J].鲁东大学学报:自然科学版,2011,27(1):92-96.
- [8] 吴彪.矮墩连续刚构桥合拢段的顶推施工[J].公路,2011(7):165-167.
- [9] 王纲.浅析长沙市黄兴大道捞刀河大桥挂篮结构验算[J].广州建材,2011(4):90-94.
- [10] 李英俊,胡国伟.客运专线大跨度连续刚构桥挂篮结构计算的应用研究[J].科技情报开发与经济,2008,18(6):141-142,152.

Research on the Key Technology of Continuous Rigid-frame Bridge Jacking

XIAO Fei¹, GU Jian-feng², CHEN Yu-qing², WEN Fan-chuan³

(1. Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China; 3. Yunnan Highway Engineering Supervision and Consultancy Company, Kunming 650021, China)

Abstract: Along with the continuous rigid-frame bridge type widely used in bridge construction in our country, pushing has been proved to be the key working procedure in the process of continuous rigid-frame bridge construction. Takes the Nu River bridge (continuous rigid-frame bridge with 88 + 160 + 88m) as the backing, the pushing processes is introduced in detail, and the calculation method of jacking force value is put forward. Both the favorable deformation of structure caused by temperature effect and the bad deformation caused by bottom plate prestress tension are considered in the calculation process. The research results can provide reference for the calculation of the pushing force value of other similar Bridges.

Key words: continuous rigid-frame bridge; pushing force value; calculation method