

文章编号: 1004-3918(2006)04-0582-04

大跨度预应力混凝土刚构-连续梁桥悬臂 施工工艺研究

唐重光

(河南省路桥工程集团有限公司, 郑州 450052)

摘 要: 东明黄河公路大桥全长 4142.14m, 其中, 主桥为大跨度预应力混凝土刚构-连续梁组合体系, 1 联长 990m, 箱梁跨度为 120m。该桥具有规模大、施工技术复杂和难度高等特点, 为了保证该桥梁的顺利施工, 本文给出了桥梁悬臂施工工艺, 按照该工艺进行施工, 实现了桥梁跨度 120m 无强迫合拢, 合拢高程误差仅 3mm, 桥轴线误差仅 5mm, 箱梁悬浇施工周期平均为 6d, 做到了高速、高精度、安全施工。本文所给出的主桥上、下部箱梁悬臂浇注工艺可为其它类似桥梁的施工提供参考。

关键词: 刚构-连续梁桥; 箱梁; 悬臂施工; 施工工艺

中图分类号: U 445.466 **文献标识码:** A

东明黄河公路大桥全长 4142.14m, 共计 86 孔, 主桥为 9 孔预应力混凝土刚构-连续梁组合体系, 其跨径布置为 75m+7×120m+75m, 截面为单箱单室, 根部最大梁高 6.5m, 跨中 2.6m, 中间按二次抛物线变化。边孔不平衡段总长 16.27m (包括合拢段 2.2m), 除合拢段外, 其余梁高均为 2.6m。主桥混凝土设计强度为 50MPa。

全桥箱梁布置了纵、横、竖三向预应力。其中, 纵向预应力: 顶板束 25 根 $\Phi 15.24$ 钢绞线, 张拉控制力 4500kN, 每个 T 构共计 52 束; 底板束每束 15 根 $\Phi 15.24$ 钢绞线, 张拉控制力 2700kN, 每孔共计 28 束。横向预应力: 顶板每束 4 根 $\Phi 15.24$ 钢绞线, 张拉控制力 721kN。支座底板、横隔板处采用每束 5 根 $\Phi 15.24$ 钢绞线, 张拉控制力 900kN; 竖向预应力: 采用直径为 32mm 高强精轧螺纹钢, 每根控制张拉力 531kN, 每个 T 构共 477 根。

主跨箱梁每个 T 构除零号块和合拢段, 其余划为 12 个梁段, 梁段长度 3.0~5.1m。梁段块最大自重 199.16 t。全桥 8 个 T 构, 为节省投资, 用 4 套挂篮, 分两期悬浇。第一期施工 4 个 T 构, 合拢后再转移至其余 T 构施工。采用落地支架法施工 (支架采用万能杆件拼装, 利用下部承台作支承; 边孔不平衡段一端利用承台作支承, 另一端采用 2 根 $\Phi 180$ cm 钻孔灌注桩基础, 桩顶设盖梁作支承)。其余均利用挂篮进行分梁段对称悬浇施工。混凝土浇注采用泵送法施工。

1 箱梁悬浇施工工艺

箱梁每边的悬浇长度为 55.80m, 分 12 个现浇段, 每段现浇的长度、体积、重量见表 1。

1.1 挂篮构造

挂篮是箱梁悬臂浇注的最主要施工机具。箱梁节段的模板安装、钢筋绑扎、预应力管道安装、混凝土浇筑、预施应力操作、压注灰浆等所有工作均在挂篮上进行。当一个梁段的施工程序完成后, 挂篮即移向下一个梁段的承重结构^[1,2]。

该桥梁悬浇施工采用“滑动式斜拉挂篮”, 其设计达到了自重轻、结构简单、受力明确合理、承载力大、运行操作方便、坚固稳定、变形小、便于锚固及解体的目的。该挂篮的主要结构由主梁行走系统、拉带系统、锚固及限位系统、底模平台系统、模板系统组成。

收稿日期: 2006-03-03

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目 (0411052900)

作者简介: 唐重光 (1963-), 男, 河南确山人, 河南省路桥工程集团有限公司高级工程师, 主要从事公路桥梁施工研究。

表1 箱梁每段悬浇长度、体积、重量

Table 1 Every cantilever length, cubic content and weight of box beam

梁段号	长度(m)	高度(m)		体积(m ³)	重量(t)
		后端	前端		
1	3.00	6.432	6.036	58.38	157.79
2	3.50	6.036	5.601	64.89	168.71
3	4.00	5.601	5.140	70.18	182.47
4	4.00	5.140	4.717	66.27	172.30
5	5.10	4.717	4.234	76.60	199.16
6	5.10	4.234	3.814	71.76	186.58
7	5.10	3.814	3.456	67.88	176.49
8	5.10	3.456	3.160	64.62	168.01
9	5.10	3.160	2.927	61.98	161.51
10	5.10	2.927	2.756	59.63	155.04
11	5.10	2.756	2.648	58.23	151.40
12	5.10	2.648	2.600	57.46	149.40

1.2 挂篮试压

为了保证挂篮结构的可靠性和清除非弹性变形,保证箱梁施工的安全和质量,在挂篮使用前,在58号T构2号梁段进行了实际混凝土重量1.3倍,即260t静载模拟试压。并根据试压结果推算各箱梁前端抬高量。

①计算原则:立足于试压实测数据,考虑主要影响因素,对部分数据进行合理修正,采用线性插值法进行合理推算。②考虑因素:斜拉带伸长(受力大小、角度、长度);主横梁变形(受力大小、角度);主梁前移及底模后移影响值;主梁下垫物压实。③试压方法:在挂篮两侧各设置8根 $\Phi 15.24$ 钢绞线,钢绞线下端用锚盘与配重系统联结,上端与YCD200T千斤顶联结,然后开动油泵进行加载,加载与卸载反复进行2~4次,直至消除非弹性变形为止。④推算结果:根据斜拉带应力相等,反算出各梁段相当加压重量,推算结果见表2,这样,在以后浇注混凝土时,按照箱梁设计高程与弹性曲线图进行施工标高的调整,而起到指导施工的效果。

表2 推算结果

Table 2 Calculate reckoning results

梁段号	Δ (mm)	ΔT (mm)	梁段号	Δ (mm)	ΔT (mm)	梁段号	Δ (mm)	ΔT (mm)
2号	13.55	9.0	6号	19.00	17.6	10号	14.85	13.8
3号	15.37	11.5	7号	17.56	16.3	11号	14.40	13.4
4号	14.30	10.7	8号	16.46	15.3	12号	14.20	13.1
5号	20.90	19.4	9号	15.66	14.5			

注: Δ —试压时测点抬高量(推算), ΔT —各梁段前端抬高量。

2 XYM型大吨位预应力工艺

2.1 纵向预应力工艺

主桥纵向预应力张拉吨位设计为4500kN,为保证张拉质量符合设计要求,综合分析国内外现有的质量锚固体系,并本着结构合理、紧凑、操作方便的原则,选择了XYM型锚固体系作为该桥大吨位预应力张拉锚固机具,XYM型锚固体系是20世纪80年代初引进国外预应力新技术后,经国内消化、吸收而研制出的适应国内预应力发展方向的新型张拉锚固体系,从根本上解决了夹片在无顶压条件下自行跟进和锚固的技术关键。

在预加应力前,对箱梁进行检验,外观几何尺寸必须符合质量标准。张拉强度必须达到设计强度80%以上,即40MPa。穿束前对孔道进行全面仔细检查,孔内是否有杂物,锚下垫板是否与孔道同心,竖面是否垂直,否则必须进行校正。

张拉预应力钢绞线执行双控(伸长量、拉力)及锚固总回缩 $<5\text{cm}$,以此作为检验张拉预应力筋质量的标准。张拉时采用双向对称张拉的方法。张拉程序为:0→初始应力→ δk →持荷5min→锚固,其中 δk 为设计控制张拉应力,如束长伸长量大于千斤顶行程,张拉时可分几次拉伸,累计伸长值,直至吨位。在张拉预应力筋达到吨位后,实际伸长值与计算伸长值之差控制在 $\pm 6\%$ 以内,否则停止张拉,待查明原因后再行张拉。

2.2 横向预应力工艺

横向束张拉工艺采用 BM15-4 扁平锚。张拉时采取单根张拉,在布置孔道时先穿束,并由压花机在横向束的一端压花,予埋在混凝土中作为锚固,张拉时,从零号块向两边逐束单向交错张拉,单根每次张拉吨位为设计吨位的 25%,分阶段张拉至设计吨位,以保证预加应力的均匀性。

2.3 竖向预应力工艺

竖向预应力筋采用精轧高强螺纹粗钢筋。张拉时从零号块向两边与桥轴线对称单向张拉。其锚具采用 YGM 锚,张拉程序与钢绞线相同,待张拉到设计吨位稳定后,才可锚固。

2.4 预应力张拉管理

箱梁顶板纵向束和底板束都是以曲线形布置,由于管道施工质量的差异,造成钢绞线与孔道的摩阻损失大小不一,所以在设计截面上施加的预应力值与设计值会有一定的误差,而这种误差,在施工过程中又难以掌握和评价,此外,施工中千斤顶、油表、油泵及人工操作等其它原因产生的误差等,也都会影响到张拉力的准确性。因此在张拉时,要进行研究。

摩阻系数 k 、 μ 是由施工、设计和材料决定的变化较大的参数,它们和很多因素有关。一般来说,多根预应力筋在圆形孔道中逐根张拉时摩阻最大,在扁形孔道中逐根张拉摩阻次之,在圆形孔道中成束同时张拉时摩阻最小;先灌混凝土后穿束时摩擦阻力大于先穿束后灌混凝土时的摩擦阻力。本桥经测试,结果为回缩值:3~4mm;孔道摩阻系数:0.21~0.25。一般采用超张拉的方法,使超张量等于最大的摩擦损失^[9]。

3 箱梁施工高程管理

箱梁施工高程管理分为 T 构阶段与合拢体系转换 2 个阶段。

T 构阶段主要控制各段的立模标高及混凝土浇注后的标高,以保持各 T 构的线型不超过规定的允许误差范围。合拢体系转换阶段,主要控制合拢段混凝土浇注前的剪刀差。

3.1 T 构阶段

根据设计规定箱梁合拢前两悬臂端高程误差不大于 2cm,中线误差不大于 1cm。

为控制各段箱梁纵向中心线和梁体受不同大小、方向之日照温度等因素引起的沿流向方向的摆动,主桥箱梁悬浇施工每个节段设 8 个观测点(其中顶板 5 个,底板 3 个,均设在端面顶部)。每次工况测量都应观测已浇梁段所设有观测点的挠度和轴线位置。

观测内容分 5 种工况:浇注混凝土前工况;浇注混凝土后工况;预应力张拉前工况;预应力张拉后工况;移动挂篮后工况。

此外,在每天早上 6~8 时日照前和中午 14~15 时定时及连续 24h 观测日照温差对挠度的影响值,并在墩顶,箱梁根部和跨中截面埋设钢筋计,以便在上述各工况下及合拢体系转换时进行应力观测,掌握各个施工过程中的应力变化。经对上述各项数据汇总整理后,作为下一个梁段施工确定立模标高的依据。

3.2 合拢及体系转换阶段

合拢及体系转换阶段的高程管理除了上述 T 构浇注阶段高程管理范围以外,尚应对两相邻 T 构在合拢段浇注前的剪刀差进行控制,使其不大于 2cm,根据相邻 T 构间的高程完成情况,在最后施工的 2、3 个节段中相互瞄准调整。

合拢前 48 小时连续观测表明:箱梁轴线误差在 1~2mm,且无规律,多系仪器和人为因素。合拢束张拉后,悬臂端轴线均向上游移动 4~5mm,合拢段混凝土浇注后,轴线又恢复到原来位置,本桥主桥 9 个合拢段合拢后相对高程误差最大 6mm,最小 3mm,完全符合设计和规范要求。

4 合拢段施工

箱梁合拢的关键主要是悬臂端标高的控制,这种边悬浇边合拢的方法,可以依次瞄准已形成的箱梁来调整标高,同时也便于横向张拉等工序依次进行,扩大工作面,有利于加快施工进度。

(1)第一期合拢施工 准备工作→安装临时刚性支撑→张拉第一批预应力钢束→浇注合拢段混凝土→张拉第二批预应力钢束→体系转换。

张拉完毕后,拆除直线段支架,解除 T 构临时约束,主桥由静定 T 构变为超静定结构,实现第一次体系

转换^[4]。

(2)第二期合拢施工 第二期合拢内容包括全部剩余 T 构及解除全桥临时支座约束,实现东明黄河公路大桥主桥贯通,达到设计结构体系状态。

5 结束语

大跨度预应力刚构连续梁桥在我国尚不多见,和其它类型桥梁相比,其施工难度较大,东明黄河公路大桥主桥的施工由原河南省交通工程局总承包。该桥在建设单位协助下,在施工中加强科学管理,建立健全质量保证体系,施工单位大胆创新、精心施工,终于实现了跨度 120m 无强迫合拢,其合拢高程误差仅 3mm,桥轴线误差仅 5mm,各项指标均符合设计要求,箱梁悬浇施工周期平均为 6d,做到了高速度、高精度、安全施工。东明黄河公路大桥的建成,为我国发展更大跨径的同类型桥梁积累了宝贵的资料,也为其它类似桥梁的施工提供参考。

参考文献:

- [1] 杨文渊,徐舜. 桥梁施工工程师手册[M]. 北京:人民交通出版社,1997.
- [2] 黄绳武. 桥梁施工及组织管理[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [3] 范立础. 预应力混凝土连续梁桥[M]. 北京:人民交通出版社,1988.
- [4] 马智永,黄新河,刘海龙. 桥梁工程施工力学问题的研究和应用[J]. 河南科学, 2003, 21(5): 558-561.

Study on Cantilever Construction Technology in Long Span Prestressed Concrete Rigid Continuous Compound System Bridge

TANG Chong-guang

(Henan Road and Bridge Co.Ltd., Zhengzhou 450052, China)

Abstract: The full-length of Dongming Yellow River Highway Bridge is 4142.14m. In the meanwhile, the main bridge is a long span prestressed concrete rigid continuous compound system bridge. One long unit of the bridge is 990m and the span of the box beam is 120m. It has particular features such as large scale, complex construction and difficulty. In order to construct the bridge, cantilever construction technology and the main skill craft of the long span prestressed concrete rigid continuous compound system bridge have been given. Following the construction technology, no compulsive folding in 120m of the bridge, altitude error of the folding only 3mm and axial line error only 5mm have been realized. And the cantilever construction cyclic of the box beam is only 6 days. High speed, high precision and safe construction have been achieved. In a word, the cantilever construction technology of the box beam can offer the related data to such bridge's construction.

Key words: rigid continuous compound system bridge; box beam; cantilever construction; construction technology