

斜拉索安装过程牵引力控制分析研究

张国强 邹世程

(柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005)

摘要:斜拉索安装是大跨度斜拉桥施工的重要环节,以临海高等级公路灌河大桥斜拉索施工安装为例,通过分析灌河大桥斜拉索施工在不同牵引力控制情况,得出更为优化的挂索方案,该方案可以降低斜拉索梁端锚固安装难度,提高斜拉索施工的安装效率,确保了安全、优质、高效的施工质量。

关键词:斜拉桥 软牵引 牵引力控制 工效利用率

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2016.05.007

1 前言

采取“塔端张拉,梁端锚固”形式的高塔斜拉桥中,斜拉索安装多采用“软牵引”的安装方法,即:“通过在张拉端锚具连接一定长度的牵引钢绞线对斜拉索进行临时锚固,在此工况下梁端可以在较小的拉力下完成锚固,然后通过塔端千斤顶张拉牵引钢绞线,将张拉端锚具牵引至锚固位置并锚固。”软牵引长度越长,梁端锚固时牵引力就越小,锚固难度则越低。但是,过长的软牵引也必然会导致张拉端牵引时间延长,整体挂索效率下降。因此,如何选择软牵引长度才能达到最佳施工效果,是我们在施工过程中必须要考虑的问题。

本文选取临海高等级公路灌河大桥斜拉索施工安装16#、17#斜拉索作为试验索,采取不同长度的软牵引进行施工,对不同软牵引长度下斜拉索安装整体效率进行实测对比,通过对数据进行分析,确定最佳工况下的牵引长度。

临海高等级公路灌河大桥主跨400m,边跨178m,采用双塔双索面半漂浮体系钢与混凝土组合梁的结构形式。塔高167.5m,索塔两侧各布置17对斜拉索,拉索最长无应力索长215.733m,单根平行钢丝拉索最大重量18.4t。

2 工艺分析

从施工质量方面分析,牵引力控制在一定安全范围内,索的质量安装有保障,在以往的施工案例中,出现过梁端索夹拉伤或者拉断HDPE的情况,其直接原因就是梁端锚固牵引力过大所引

起。因此,有效的控制梁端锚固安装时的牵引力是非常必要的。

从施工安全方面分析,梁端锚固牵引力适当减小,起重设备安全系数相应增大,同时施工操控难度降低,安全性更有保障性。

从施工效率方面分析,梁端锚固难度适当减小,同时塔端牵引时间也没有过份加长,因此整体挂索效率提高,施工安装周期缩短,不但可以给下一步斜拉索安装提高充足准备时间,而且加快了主桥总体建设进度。

从施工成本方面分析,如果施工效率增加,进度加快,必然减少施工成本。同时,当施工难度降低,对人工、机械的要求便会降低,施工成本同样会减少。

3 斜拉索安装实施过程

3.1 斜拉索施工准备

灌河大桥最重的斜拉索重量为20t,斜拉索起重机械采用40t塔吊提升与装盘,桥面运输采用桥面平板车双向运输和展索。

3.1.1 塔顶吊架系统

索塔封顶后在塔顶安装起吊系统,用于将拉索塔端锚头提升至塔上进行挂设施工。起吊系统主要由起吊架及卷扬机动力系统组成。两台10t起重卷扬机分别放在承重主梁上面。滑车组采用2轮滑车组,钢丝绳走4线,钢丝绳由定滑轮绕出。塔顶吊架最大起吊重量为40t。

3.1.2 卷扬机系统

卷扬机为挂索施工过程中主要牵引设备,包

括桥面牵引和塔顶牵引。在塔顶左右塔肢各安装2台10t牵引卷扬机,全桥共4台;同时塔顶各布置1台5t牵引卷扬机,全桥共4台;在桥面布置4台5t卷扬机,用于放索和牵引长索。

3.1.3 牵引系统

软牵引采用 $\phi 15.24$ 光面钢绞线,工具锚以及连接部分构成。硬牵引采用螺牙式张拉杆、张拉

螺母、哈弗螺母、限位板以及连接套组成,张拉杆一端与软牵引系统连接装置相接,另一端通过连接套与锚头相接。(如图1)

软牵引设备的配置根据拉索最大的戴帽力进行配置,长索施工时软牵引采用1500kN级循环千斤顶,配7根 $\phi 15.24$ 光面钢绞线。为保证牵引安全,软牵引阶段牵引力控制在400kN以内。

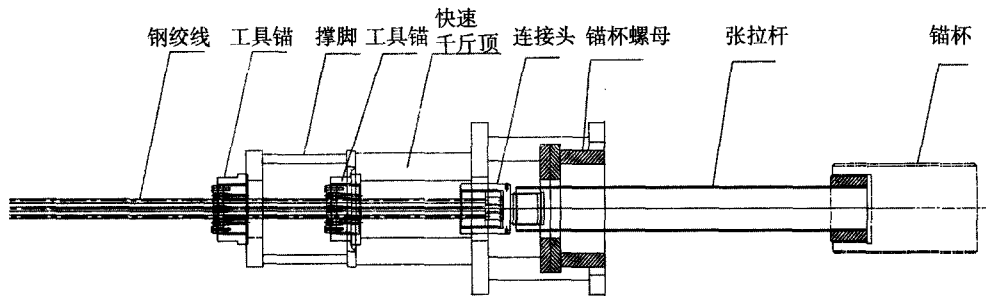


图1 张拉牵引系统连接图

2.2 斜拉索主要施工流程

拉索上桥及桥面装盘→桥面展索→塔端临时锚固→梁端牵引锚固→塔端牵引及张拉。

2.2.1 索上桥面

根据斜拉索安装计划,斜拉索制造厂将验收后待交付的斜拉索陆路运输至现场。斜拉索采用40t塔吊提升置于桥面平板车上,用平板车将索盘运至相应索道管附近。吊装时为了避免对斜拉索外包PE的伤害,采用大直径纤维绳或10t软吊

带进行吊装。

2.2.2 桥面展索及塔端临时锚固

利用吊车配合放索盘将斜拉索张拉端锚头提起放置于小车上→卷扬机牵引托索小车至塔柱根部→安装张拉端软牵引钢绞线、吊点索夹连接塔顶门架起吊系统→塔顶门架起吊系统提升拉索锚头至索导管口处→塔顶卷扬机从塔内牵引软牵引进入塔内锚固。(如图2、图3)

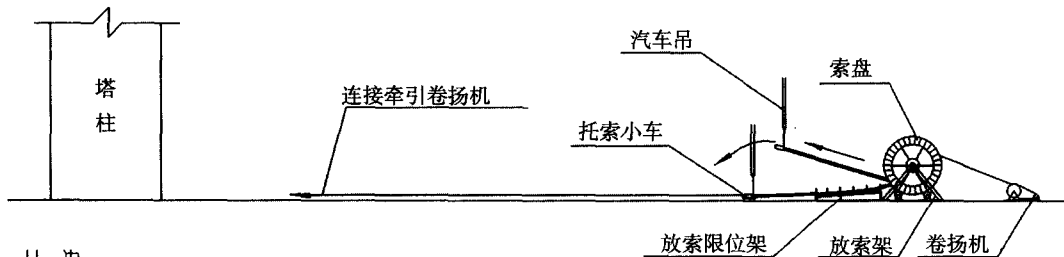


图2 桥面展索

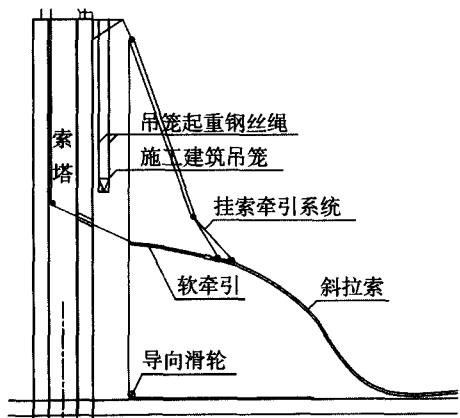


图3 拉索起吊

2.2.3 梁端牵引锚固及张拉

梁端锚头处安装牵引索夹连接牵引卷扬机滑车组→桥面吊机吊钩与索夹处连接后提升至合适高度→汽车吊垂直提升、卷扬机滑车组牵引,调整角度使锚头与索套管轴线同心→直至梁端锚头出钢锚板设计位置,完成锚固→斜拉索塔端进行软牵引与硬牵引→根据监控指令,塔端进行张拉。(如图4)

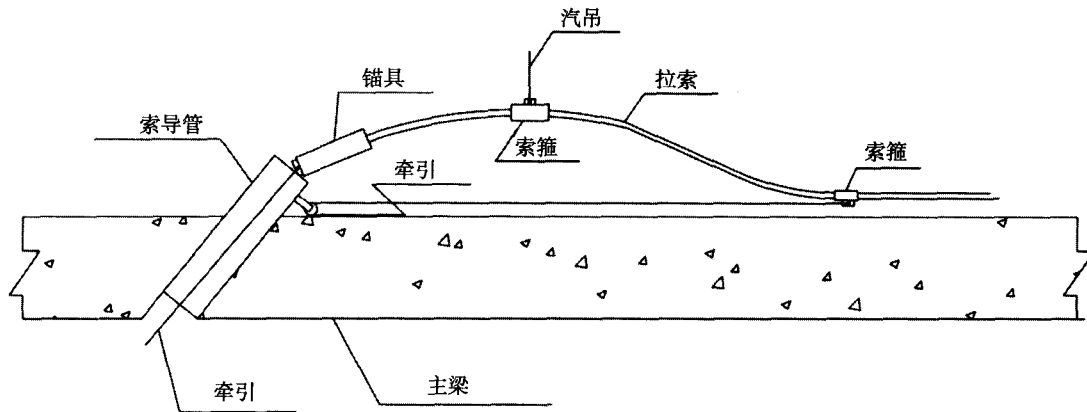


图4 梁端牵引

4 工艺工效分析

本文以灌河大桥的最后两号斜拉索16#、17#索安装为例进行分析。

4.1 牵引力计算

根据索的长度 L ，上下两端索孔锚板中心的几何距离 L_0 ，可估算出牵引力为 T 时，拉索上端离塔柱上相应索孔锚板端面的距离 ΔL 。

$$\Delta L = L_0 - L + (\omega^2 L_x^2 L_0) / (24T^2) - TL/AE$$

ΔL —牵引力为 T 时拉索锚杯相应索孔锚板端面的距离

L —成桥后斜拉索总长度

L_0 —上下两段索孔锚板中心的几何距离

ω —斜拉索单位长度重量

L_x — L 的水平投影长度

T —牵引力

T_0 —施工阶段二张索力

A —钢丝截面面积

E —弹性模量

第一步：根据设计图提供的成桥索力，先

设定索的牵引力 T ，然后计算 ΔL ，计算软牵引长度。

第二步：计算戴帽索力，设定 $\Delta L = -H$ （锚杯高度），计算出索对应的牵引力 T ， T 为戴帽索力。

以上公式估算索力时，因公式没有考虑桥面标高变化，计算软牵引长度时满足精度要求，计算戴帽索力时存在一定误差（施工方案中可将牵引、张拉工具安全系数适当加大，消除误差风险）。

根据表1提供的索力，从16#、17#斜拉索中各选5根，分别为S16-1、S16-2、S16-3、S16-4、M16-1、M17-1、M17-2、M17-3、M17-4、S17-1，然后采取不同工况下的牵引方式进行工效分析。同一索号的五根索作为一组进行对比，其不同点在于不同的梁端牵引力控制。梁端牵引力大小不等，则塔端牵引长度也必然相应发生变化，具体参数见表2。

表1 牵引力与牵引距离统计表

T (kN)	250	240	230	220	210	200	190	180	170	160	150
S16 ΔL (m)	2.8	3.1	3.3	3.6	3.9	4.3	4.8	5.3	5.9	6.7	7.6
M16 ΔL (m)	4	4.3	4.6	5	5.5	6	6.7	7.4	8.2	9.3	10.5
S17 ΔL (m)	3.1	3.4	3.7	4	4.4	4.8	5.3	5.9	6.5	7.3	8.3
M17 ΔL (m)	4.6	5.0	5.4	5.9	6.5	7.1	7.9	8.7	9.7	10.9	12.4
T (kN)	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40
S16 ΔL (m)	8.6	10	11.7	13.9	16.8	20.7	26.1	34	46.2	66.5	103.8
M16 ΔL (m)	12	13.9	16.3	19.3	23.3	28.7	36.2	47.2	64.2	92.3	144
S17 ΔL (m)	9.5	11	12.9	15.3	18.5	22.7	28.7	37.4	50.9	73.1	114.1
M17 ΔL (m)	14.2	16.4	19.2	22.8	27.5	33.9	42.8	55.8	75.8	109.1	130.1

表2 工况分配表

第一组 (16#索)				第二组 (17#索)			
工况	对应索号	T (kN)	ΔL (m)	工况	对应索号	T (kN)	ΔL (m)
1	S16-1	250	2.8	1	M17-1	250	4.6
2	S16-2	200	4.3	2	M17-2	200	7.1
3	S16-3	150	7.6	3	M17-3	150	12.4
4	S16-4	100	16.8	4	M17-4	100	27.5
5	M16-1	80	36.2	5	S17-1	70	37.4

在五种不同牵引力工况控制下,第一组和第二组的每一根斜拉索对应一种工况,在此工况下,斜拉索的安装有两个主要工点受影响最大,工点分别是梁端锚固和塔端牵引锚固。当塔端牵引长度缩短时,牵引时间缩短,但梁端锚固牵引

力随之增大,施工难度增加,锚固时间延长;反之,当塔端牵引长度增长时,牵引时间增长,但梁端锚固牵引力随之减小,施工难度降低,锚固时间缩短。具体施工时间统计见表3、表4,数据对比分析综合评价见表5。

表3 16#索施工用时统计表

工况	位置	工序	小时 (h)																				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	S16-1	梁端锚固	6	■																			
		塔端牵引锚固	1						■														
2	S16-2	梁端锚固	4	■																			
		塔端牵引锚固	1.5				■																
3	S16-3	梁端锚固	3	■																			
		塔端牵引锚固	2.5			■																	
4	S16-4	梁端锚固	2	■																			
		塔端牵引锚固	6		■																		
5	W16-1	梁端锚固	2	■																			
		塔端牵引锚固	12.6		■																		

表4 17#索施工用时统计表

工况	位置	工序	小时 (h)																				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	M17-1	梁端锚固	6	■																			
		塔端牵引锚固	1.5						■														
2	M17-2	梁端锚固	4	■																			
		塔端牵引锚固	2.5				■																
3	M17-3	梁端锚固	3	■																			
		塔端牵引锚固	4			■																	
4	M17-4	梁端锚固	2	■																			
		塔端牵引锚固	9.5		■																		
5	W17-1	梁端锚固	2	■																			
		塔端牵引锚固	13		■																		

表5 数据对比综合评价表

项目	工况1	工况2	工况3	工况4	工况5
技术指标	施工难度大	施工难度大	技术成熟	技术成熟	耗时久
质量保证	质量差	质量差	较好	较好	好
安全性能	风险高	风险高	一般	安全	安全
16#索综合用时(h)	7	5.5	5.5	8	14.6
17#索综合用时(h)	7.5	6.5	7	11.5	15
工效利用率	较高	较高	较高	较低	低
成本	较高	较高	适中	适中	高
综合评述	差	差	良好	良好	差

4.2 分析结果

通过表3~表5可以得出以下结论:

工况1和工况2施工效率较高,但由于梁端锚固牵引力较大,对施工机具要求相对提高,施工质量控制比较困难。更为关键的是,由于牵引力增大,施工风险随之增大。因此,不建议采用工况1或工况2。

工况3施工质量,安全,效率,成本都处于较为理想的状态。

工况4与工况5梁端牵引力相对较小,因此可以很好的确保施工质量和施工安全,但是施工效率偏低,施工成本较高。

通常情况下,在实际施工过程中,塔内牵引

边、中跨共用一套设备;梁端牵引上、下游共用一套设备。因此,梁端锚固,塔端牵引,上、下游施工等工作环节都是相互衔接的。比如:中跨上游(M17-1)梁端锚固完成后随即开始塔端牵引和中跨下游(M17-2)梁端锚固工作;同理,边跨下游(S17-2)梁端锚固完成后随即开始塔端牵引和边跨上游(S17-1)梁端锚固工作。而塔内牵引必须是中跨上游(M17-1)完成后,边跨上游(S17-1)才能开始;同理,边跨下游(S17-2)塔内牵引结束后,中跨下游(M17-2)才能开始。

合理安排工序,才能在最大程度上提高施工效率,节约施工成本。

表6 施工工序衔接表

工况	位置	工序	小时(h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	M17-1	梁端锚固	3	■																			
		塔端牵引锚固	4				■																
2	M17-2	梁端锚固	3				■																
		塔端牵引锚固	4							■													
3	M17-2	梁端锚固	3	■																			
		塔端牵引锚固	3.5				■																
4	M17-1	梁端锚固	3				■																
		塔端牵引锚固	3.5							■													

5 结语

综上所述,当梁端牵引力控制在10t~15t时,塔端安装队伍与梁端安装队伍工效利用率较高,成本控制较为有利,各工序配合衔接顺畅,不会出现过多窝工现象,梁端安装队伍较早完成桥面工作,有充足的时间准备下一步工作。同时,梁端施工操作难度降低,施工质量和安全保障得以提高。

参考文献

- [1] 陈明宪《斜拉桥建造技术》[M]. 北京:人民交通出版社, 2003
- [2] 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京人民交通出版社, 2004
- [3] 万华. 荆岳长江公路大桥超长斜拉索全墩牵引安装技术, 湖南交通科技[J]. 2011, 37(2)
- [4] 张弘, 饶华荣, 王蔚, 邓惠斌. 苏通长江公路大桥超长斜拉索安装总结[M]. 人民交通出版社出版, 2007