

文章编号: 0451-0712(2005)12-0040-05

中图分类号: U448. 27

文献标识码: B

VSL SSI 2000 斜拉索体系在润扬长江公路大桥北汊斜拉桥中的应用

叶建良

(中铁大桥勘测设计院中铁武汉大桥工程咨询监理有限公司 武汉市 430050)

摘 要: 通过 VSL SSI 2000 斜拉索体系在润扬长江公路大桥北汊斜拉桥建设中的应用, 介绍 VSL SSI 2000 斜拉索体系的构造特点、施工工艺及索力控制方法, 以此来证明该体系的优越性。

关键词: 斜拉索; 钢绞线; 单孔千斤顶; 传感器; 张拉端; 锚固端

1 工程概况

润扬长江公路大桥北汊桥是 175.4 m+406 m+175.4 m 的双塔、三跨、双索面、钢箱梁斜拉桥。塔柱采用花瓶形的钢筋混凝土结构。钢箱梁的架设采用对称悬臂拼装的方法, 其具体步骤是: (1) 钢箱梁吊装到位并与已拼好梁段焊接; (2) 单根安装钢绞线, 并按监控指令单根张拉钢绞线; (3) 桥面吊机前移到位; (4) 对钢绞线进行第 2 次单根张拉。

众所周知, 斜拉索是斜拉桥的“生命线”, 斜拉桥

的箱梁自重及桥上活载绝大部分通过斜拉索传到塔柱上。因此, 斜拉索的安装质量将直接影响到桥梁合拢时的线形, 进而影响到斜拉桥的正常使用寿命。润扬长江公路大桥北汊斜拉桥每个塔柱两侧各设 13 对斜拉索, 总共 52 对 104 根斜拉索。斜拉索采用目前广泛使用的平行钢绞线, 而索的安装和张拉则采用在国内近几年才兴起却已迅速推广并被广泛接受的 VSL SSI 2000 斜拉索体系。

收稿日期: 2005-05-10

参考文献:

[1] 公路桥涵设计规范合订本[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.

[2] JTJ 041-2000, 公路施工技术规范[S].

[3] 刘金砺. 桩基础设计与计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.

[4] JTJ 071-98, 公路工程质量检验评定标准[S].

Test and Study on Bearing Capacity of Bridge Pile Foundation in Northwest of China

XIE Ren-wei

(The 1st Engineering Company of the 13th Bureau Group of the Railway Building Corporation of China, Dalian 116033, China)

Abstract: In order to understand the transfer rule of loads of ultra-long piles in loess flood land and collapsible loess in the northwest of China, and determind the vertical bearing capacity of a single pile, the static load tests of a single pile are done. The test conclusions are useful reference for the design of ultra-long piles.

Key words: pile foundation; static load test; anchor pile; loading system

2 VSL SSI 2000 斜拉索体系的构造及主要特点

2.1 VSL SSI 2000 斜拉索体系的构造

VSL SSI 2000 斜拉索体系,主要由 3 个部分组成:

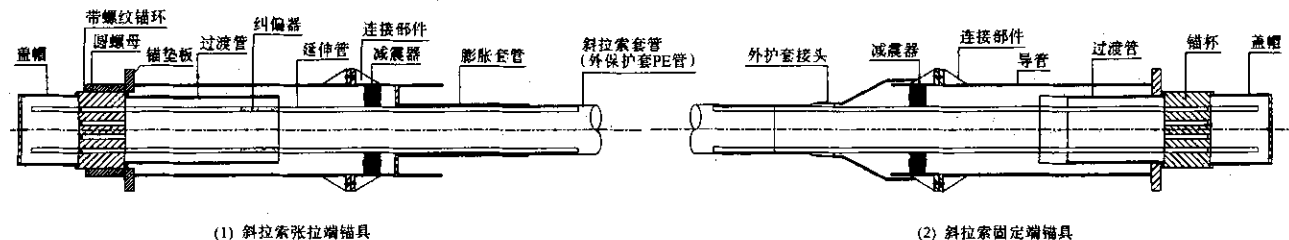


图 1 斜拉索构造

张拉端及固定端通过锚具使钢绞线与夹片锚固组成 VSL 斜拉索无粘接式锚固体系,此体系包括以下元件:锚头;螺母(仅限张拉端);过渡管;保护盖帽;夹片;单根钢绞线延伸导管;独立密封圈;定位器;预埋导管及锚垫板。

钢绞线张拉力通过夹片传到锚头上。张拉端的锚头带有螺纹,且通过一可调节的螺母把荷载传递到锚垫板上,再通过锚垫板传到塔柱上。而锚固端锚头直接作用在锚垫板上,荷载通过锚垫板传到桥面上。

主梁锚具(固定端)与主塔锚具(张拉端)之间的部分称为斜拉索自由伸缩区,主要包括:

①单根涂油外层挤压 PE 钢绞线;②带外双螺纹的双层挤压成型 HDPE 外套管;③热胀延伸管;④预埋管连接器。

2.2 VSL SSI 2000 斜拉索体系的主要特点

(1)由于该体系采用无粘结锚具设计,故钢绞线的安装和张拉可逐根进行,长期维护时亦可单根检查钢绞线应力,并且在需要的情况下可单根更换钢绞线而不影响桥的正常使用。这是 VSL SSI 2000 斜拉索体系的核心,也是该体系相对于其他斜拉索体系的优势所在。

(2)防腐性能优良。在 VSL SSI 2000 斜拉索体系中,钢绞线本身就有 2 层保护(内涂油脂+外包聚乙烯外皮),加上双层同步挤压成型的全密封的高密度聚乙烯管(HDPE),从里到外 3 层保护,保证了斜拉索的密封性和防腐性。同时,张拉端和固定端的锚具均有防腐保护且配置保护帽,内填防腐油脂把钢绞线超长部分包住。使两端的锚具系统亦处于防锈油脂的密封保护之下,而不致发生氧化锈蚀的情况。

(3)施工设备轻便。由于采用单根安装和张拉钢绞线的方法,既可省去在工厂生产成品索的烦琐过程及繁杂的运输,又可避免使用重型起吊、张拉设

备,张拉端锚固区、斜拉索自由伸缩区和固定端锚固区。具体构造见图 1 所示。

备,仅用小型卷扬机和轻便的张拉工具,就可完成索的安装和张拉工作。

3 VSL SSI 2000 斜拉索体系的施工工艺

VSL SSI 2000 斜拉索体系的核心是 SSI,即单根安装钢绞线。因此,仅用小型、轻便设备,精确、高效地完成安装、张拉工作,并保证单根钢绞线之间索力的均衡性,及整索索力偏差严格控制在规定范围内,是该体系的技术关键。

整个斜拉索安装过程可以分以下 5 个步骤,即:安装前的准备工作→安装 HDPE 外套管→单根安装钢绞线→单根张拉钢绞线→最终组装。

3.1 安装前的准备工作

- (1)按要求将塔外索导管接长段和预埋管相连接;
- (2)将已连接成整体的导向管、延伸管、锚头,分别安装到张拉端和固定端;
- (3)锚具安装后,要将张拉端与固定端锚头上的锚孔统一编号,一一对应,防止钢绞线穿错孔位,确保每根钢绞线是互相平行的。

3.2 安装 HDPE 外套管

(1)根据锚点坐标算出 HDPE 外套管长度,并利用专用焊接机,将分段的外套管焊成所需长度。在前两对斜拉索施工时,由于桥面不够长,所以外套管的焊接工作在长江堤岸上进行,以后就可以在桥面上现场焊接。

(2)用特制吊装夹具夹住外套管一端,用塔吊吊至塔柱索导管出口处,并用钢丝绳扣将其挂在该索导管上。另一端则用特制夹具夹住后,用绳子或手拉葫芦将其挂在固定端索导管上。

3.3 单根安装钢绞线

(1)准备钢绞线。

钢绞线进入塔柱处斜拉索外套管和桥面预埋管

前,应对钢绞线两端进行环向剥皮,用干布将钢绞线表面油脂擦干净,并在钢绞线的张拉端去掉一定长度的外圈钢丝(去掉周围 6 丝,仅留中心一丝),以便将它连接到同钢丝绳连接着的穿梭板上。

(2)穿钢绞线。

①将处理后的钢绞线张拉端穿过工作台上的工具同穿梭板连接,并临时固定;

②操作塔顶大卷扬机牵引钢绞线至塔外工作平台处;

③将钢绞线同由塔内小卷扬机牵引的、从相应的锚具孔穿出的钢丝绳上的连接器连接,然后去掉钢绞线和穿梭板的连接;

④操作塔内小卷扬机将钢绞线拉入锚具,并使钢绞线露出锚头至千斤顶张拉所需的工作长度;

⑤桥面工作处按要求割断钢绞线,并按规定长度在端部剥皮后,插入固定端锚具至露出锚头约 100 mm;

⑥安装固定端和张拉端锚头夹片并顶紧后,松开钢绞线和钢丝绳的连接。

3.4 单根张拉钢绞线

结合润扬长江公路大桥北汊斜拉桥钢箱梁架设的具体工况,斜拉索的张拉分 3 次完成:第 1 次张拉、第 2 次张拉和成桥后的调索。

(1)第 1 次张拉。

第 1 次张拉分安装张拉和补偿张拉。

①安装张拉。

安装张拉和钢绞线的安装是交替进行的,即每安装完 1 根钢绞线后就要对其进行张拉。由于钢绞线的张拉是逐根进行的,所以其后张拉的钢绞线必定会对已张拉钢绞线的索力产生影响,即已张拉钢绞线的应力在正在张拉钢绞线影响下有下降的趋势。这种现象在前 5 根钢绞线的安装张拉过程中尤其明显。为保证安装完最后 1 根钢绞线后,此索内的所有钢绞线应力的均衡性,先前张拉的钢绞线的张拉力必须大于其后张拉的钢绞线的张拉力。为此,VSL 使用专门编制的计算软件,来精确计算每根钢绞线的安装力。

②补偿张拉。

虽然在理论上,可以保证所有钢绞线的力在安装完后是相等的,但由于现场施工条件与理论计算假定条件不可避免地会存在差异,因此实际索力与理论索力总有差别。为此,在安装张拉中,通常安装张拉的控制索力比监控指令要求的索力低 100 kN

左右,待穿完全部钢绞线以后,再用单孔千斤顶对全部的钢绞线作补偿张拉,使所有钢绞线的索力达到监控指令要求的索力。

(2)第 2 次张拉。

第 2 次张拉在桥面吊机前移到位以后开始张拉。张拉方法与第 1 次张拉中的补偿张拉类似,即用单孔千斤顶对全部钢绞线施加监控指令要求的索力。拉完以后,通常也要进行 1~2 次的索力平均,以确保所有钢绞线索力偏差在规定范围内。

(3)成桥后的调索。

润扬长江公路大桥北汊斜拉桥钢箱梁架设,采用索力与线形双控的手段,对施工过程进行监控,但以线形控制为主,所以在边跨合拢、中跨合拢过程中及中跨合拢成桥以后,为使桥面线形达到监控要求,通常要对某些乃至全部的斜拉索索力进行调整。

调索张拉一般分 2 种情况:再张拉和放索。

①再张拉。

当某段梁的桥面标高低于期望标高时,为使梁段达到理想标高,通常要对某些斜拉索进行再张拉。再张拉可以用单孔千斤顶,也可以用群锚千斤顶。

②放索。

当某段梁的桥面标高高于期望标高时,为使梁段达到理想标高,通常要对某些斜拉索的索力进行释放。一般情况下的操作,是用群锚千斤顶把钢绞线提起,然后旋转螺母,若仅调节螺母仍难满足要求,可以把螺母下的垫片去掉 1 个或 2 个。

无论是再张拉还是放索,总之,调索张拉以延伸量控制为主,但调索张拉完成后,为保证索内钢绞线索力的均衡性,仍要进行索力平均。

3.5 最终组装

在成桥调索完成以后,就可以对斜拉索进行最后组装。

(1)安装减振器;

(2)安装热胀延伸管(张拉端)及钢锥管(固定端);

(3)在张拉端和固定端锚头安装锚头防护罩并灌注防腐油脂。

4 索力控制

在挂索施工中,索力的控制采用千斤顶和传感器相结合的双控方法来进行,即在张拉端用千斤顶油泵数显示油表控制张拉端索力,而锚固端则安装传感器来检测索力,从而达到张拉端索力和锚固端

索力相互检查来共同控制索力的目的。

4.1 千斤顶控制张拉端索力

检查索力前,先将圆环状限位垫片套在锚头上,然后将专用叉刀放于限位垫片上,再将单孔千斤顶穿入待检查钢绞线并顶在叉刀上后,即可操作油泵慢慢加压。由于限位垫片厚约4~5 mm,而垫片上又有叉刀,这样限位垫片既给夹片提供了4~5 mm的松动空间,可让操作工人观察到夹片的位移,又可由叉刀限制夹片的过度位移。当锚头处操作工人注意到夹片稍有松动时立即停止加压,数显油表稳定后的读数即为此钢绞线的检查索力。

4.2 传感器检测固定端索力

振弦式压力传感器安装在锚固端的第1根钢绞线上。虽然只在第1根钢绞线上安装传感器,但由于张拉完毕后,所有钢绞线的索力偏差很小,因此以传感器所测得的单根钢绞线的力 f 乘以钢绞线的根数 N 得: $F=f \times N$,其值基本上可真实反映出此根斜拉索锚固端的索力。

4.3 工程实例

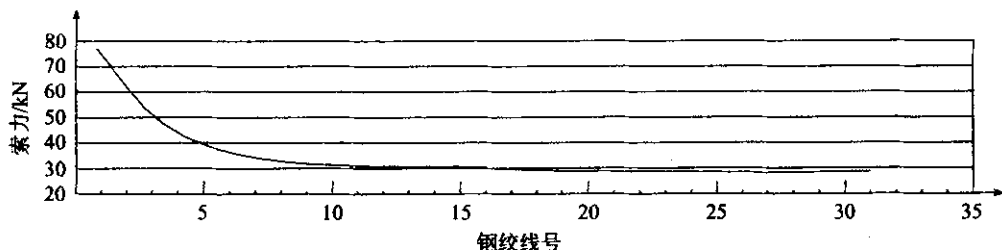


图2 安装索力曲线

(3)按计算所得安装索力逐根安装,并张拉钢绞线。

(4)穿完钢绞线以后,对每根钢绞线施加 $f_{\text{张拉}} = F_{\text{张拉}}/N = 1\,010/31 = 32.58$ kN的力进行索力平均张拉。

(5)用千斤顶检查张拉端索力,同时用传感器检测固定端索力。

千斤顶检查索力结果见表1。

从表1不难看出,单根钢绞线索力偏差在 $\pm 1.1\%$ 之间,总索力偏差上游为0.21%,下游为-0.33%,与理论值基本相等。

传感器检测固定端索力结果见表2。

从表2中可以看出,固定端实测索力与理论值基本相符。

桥面标高统计见表3。

用千斤顶和传感器相结合的双控方法贯穿于斜拉索安装和张拉的全过程。下面以润扬长江公路大桥北汊斜拉桥13号主塔岸侧4号索第1次张拉为例,详细说明索力控制的全过程。

(1)监控组给出挂索指令。

$F_{\text{张拉}} = 1\,010$ kN, $F_{\text{锚固}} = 967$ kN, 钢绞线数量 $N = 31$, 张拉前桥面高程 $H_1 = 32.455$ m, 张拉后桥面高程 $H_2 = 32.565$ m, $\Delta H = 0.120$ m。

(2)安装索力计算。

张拉端安装索力通常比监控组给出的理论值 $F_{\text{张拉}}$ 小100 kN,即 $F_{\text{安装}} = 910$ kN,即安装完所有31根钢绞线后,每根钢绞线的平均索力为: $f_{\text{安装}} = 910/31 = 29.35$ kN。把此斜拉索的安装索力 $f_{\text{安装}}$ 、现场钢绞线的单位长度重量 q 、截面积 A 、弹性模量 E 、根数 N 、斜拉索外套管单位长度重量 g 以及桥面和塔柱锚固点的坐标 x_1, y_1, z_1 和 x_2, y_2, z_2 依次输入到VSL专利电算程序中,计算出实际安装索力曲线如图2所示。

从表3看出,标高也符合要求。

从以上分析不难看出,安装完一道索后,无论是张拉端用千斤顶检测的索力还是固定端用传感器检测的索力,其实测值与理论值相符得很好,标高偏差也在允许范围内,说明用千斤顶和传感器相结合的索力双控方法的可行性,也有力地证明了VSL SSI 2000斜拉索体系的合理性和优越性。

5 结语

VSL SSI 2000斜拉索体系在润扬长江大桥北汊斜拉桥中的应用,充分发挥了其设备轻便、安装快捷、索力精确的特点,大大地提高了钢箱梁的安装速度,曾创造了4 d安装1对钢箱梁的记录。再加上其优越的防腐性能和合理有效的索力控制方法,VSL SSI 2000斜拉索体系必将成为今后大跨径斜

表 1 张拉端索力检查结果

上游岸侧：A4 索力				下游岸侧：A4 索力			
回归方程： $y=3.442\ 5x+1.571\ 4$ 理论总索力：1 010 kN				回归方程： $y=3.502\ 8x+2.125$ 理论总索力：1 010 kN			
编号	油压表读数	张拉吨位/kN	偏差%	编号	油压表读数	张拉吨位/kN	偏差%
1	114	32.66	0.2	1	115	32.22	−1.1
2	114	32.66	0.2	2	116	32.51	−0.2
3	115	32.95	1.1	3	116	32.51	−0.2
4	114	32.66	0.2	4	115	32.22	−1.1
5	113	32.37	−0.7	5	117	32.80	0.7
6	115	32.95	1.1	6	116	32.51	−0.2
7	114	32.66	0.2	7	117	32.80	0.7
8	115	32.95	1.1	8	115	32.22	−1.1
9	114	32.66	0.2	9	115	32.22	−1.1
10	115	32.95	1.1	10	117	32.80	0.7
11	113	32.37	−0.7	11	116	32.51	−0.2
12	113	32.37	−0.7	12	115	32.22	−1.1
13	114	32.66	0.2	13	117	32.80	0.7
14	114	32.66	0.2	14	117	32.80	0.7
15	115	32.95	1.1	15	115	32.22	−1.1
16	113	32.37	−0.7	16	115	32.22	−1.1
17	114	32.66	0.2	17	115	32.22	−1.1
18	113	32.37	−0.7	18	116	32.51	−0.2
19	114	32.66	0.2	19	117	32.80	0.7
20	114	32.66	0.2	20	116	32.51	−0.2
21	115	32.95	1.1	21	116	32.51	−0.2
22	113	32.37	−0.7	22	117	32.80	0.7
23	113	32.37	−0.7	23	115	32.22	−1.1
24	113	32.37	−0.7	24	115	32.22	−1.1
25	114	32.66	0.2	25	117	32.80	0.7
26	115	32.95	1.1	26	116	32.51	−0.2
27	114	32.66	0.2	27	116	32.51	−0.2
28	115	32.95	1.1	28	115	32.22	−1.1
29	114	32.66	0.2	29	115	32.22	−1.1
30	114	32.66	0.2	30	117	32.80	0.7
31	113	32.37	−0.7	31	115	32.22	−1.1
∑		1012	0.21	∑		1006.7	−0.33

注：上、下游岸侧 A₄ 索,理论张拉吨位均为 32.58 kN。

表 2 固定端索力统计

斜拉索编号	实测值			理论值 kN	偏差值 kN	偏差百分比/%	上下游索力平均值 kN	偏差值 kN	偏差百分比%
	单根 kN	根数	总值 kN						
上游 A ₄	29.90	31	927	967	−40	−4.1	950	−17	1.8
下游 A ₄	31.39	31	973	967	6	0.6			

表 3 张拉前后桥面标高统计

测点位置	实测标高/m	理论标高/m	偏差/mm	允许偏差/mm
上游 A4	32.548	32.565	−17	±20
下游 A4	32.550		−15	

拉桥斜拉索施工的首选方案。

参考文献：

[1] 林元培. 斜拉桥[M]. 北京:人民交通出版社,1994.

[2] 江苏省交通规划设计院,北京建达道桥咨询公司. 润扬长江公路大桥北汉斜拉桥设计图[Z].

[3] 中港二航四公司. 润扬长江公路大桥北汉斜拉桥上部结构安装施工组织设计[Z].