

大跨度钢桁梁悬索桥主缆锚跨索股张力控制方法

程坤 王东太

湖北楚晟科路桥技术开发有限公司 湖北襄阳 441000

DOI:10.32629/ems.v8i5.20191

[摘要] 针对悬索桥锚跨索股张力这一施工控制难点, 本文以钢桁梁悬索桥为依托, 结合悬索桥锚跨索股的构造特点, 对锚跨索股张力的控制方法进行了研究, 得出了一种有效的锚跨索股张力调整方法。本文的研究成果可为将来大跨度悬索桥锚跨索股张力的施工控制提供有益参考。

[关键词] 悬索桥; 钢桁梁; 锚跨索股张力; 桥梁工程

引言

悬索桥由于跨越能力强, 成为跨江跨河的大型桥梁的首选桥型。保证主缆锚跨张力的均匀性是悬索桥重要的成桥目标之一, 因此, 在施工过程中, 必须对主缆锚跨张力进行监测和控制。近年来, 国内外学者在对悬索桥锚跨索股张力控制开展了许多相关的研究, 并取得了很多有价值的成果。沈锐利、王渊、汪涛^[1]对大跨度悬索桥锚跨索力及散索鞍偏角施工调整的计算方法进行了研究, 提出了基于影响矩阵法的大跨度悬索桥锚跨索力及散索鞍偏角施工调整计算方法。胡志坚、黄健伟^[2]对悬索桥锚跨张力控制方法进行了研究, 提出的锚跨张力调整简化方法。

本文以国内钢桁梁悬索桥为依托, 系统阐述了该桥施工过程中的主缆锚跨索股张力的监测与控制方法。

1 工程概况

贵州境内某已建简支单跨钢桁梁悬索桥, 跨径布置为(205+965+225)m, 中跨主缆矢跨比为1/10, 矢度96.5m。主塔采用薄壁空心门形索塔, 采用爬模施工。主梁为钢板桁组合结构梁, 加劲梁桁架中心距为23.5m, 桁架高7m, 主桁标准节间距7.5m, 共计65个节段, 采用缆索吊装及塔柱部分节段荡移施工工艺。全桥共设有2根主缆, 由预制平行钢丝索股(PPWS)法形成, 设有91股通长索股及4根背索, 主缆锚固系统为拉杆式锚固系统, 通过拉杆锚固在锚体上。

2 锚跨索股调整量理论分析

根据前期现场实测数据, 利用空间几何非线性有限元分析方法, 得出索股锚跨安装张力调整公式如下。

小里程侧主塔锚跨锚头位置调整近似公式: $\Delta L = \Delta F_T / 17.6$, 即实测张力比计算值小17.6kN时, 应使锚头沿锚固拉杆向前锚固位置前进1mm; 大里程侧锚跨锚头位置调整近似公式: $\Delta L = \Delta F_T / 27.6$, 即实测张力比计算值小27.6kN时, 应使锚头沿锚固拉杆向前锚固位置前进1mm。

3 锚跨索股张力现场实测与调整

本桥主缆锚跨张力在张拉阶段采用千斤顶控制, 锚固后的采用弦振式索力仪测试。

在主缆架设1/2、架设完成、加劲梁吊装、全桥合龙等关键工况, 通过弦振式索力仪对索股锚跨索股张力进行实测, 并与理论值进行比对得到调整量, 现场根据调整量进行锚跨索力调整, 调整顺序按索股编号从小到大进行。各轮次的索股调整量如下表1~表3所示。

表1 主缆架设完成后锚跨索股张力第一次调整

索股号	小里程侧		大里程侧		索股号	小里程侧		大里程侧	
	左幅	右幅	左幅	右幅		左幅	右幅	左幅	右幅
1	1	2/6	1/6	5/6	49	-1/6	1/6	1/6	-1/6
2	4/6	2/6	1/6	3/6	50	-1/6	-1/6	-2/6	-2/6
3	5/6	1/6	3/6	1/6	51	-2/6	-2/6	-2/6	-3/6
4	1/6	2/6	2/6	-1/6	52	-3/6	-3/6	-1/6	-1/6
5	-1/6	-3/6	2/6	—	53	-2/6	-3/6	-1/6	—
6	—	—	-1/6	1/6	54	-1/6	-2/6	-1/6	—
7	2/6	-1/6	1/6	2/6	55	1/6	-1/6	—	-3/6
8	2/6	—	1/6	-3/6	56	—	2/6	-1/6	2/6
9	3/6	1/6	-2/6	-1/6	57	4/6	2/6	-1/6	-4/6
10	1/6	-1/6	-1/6	1/6	58	3/6	—	-2/6	-1/6
11	1/6	-1/6	1/6	—	59	-2/6	-2/6	—	—
12	1/6	-1/6	-1/6	—	60	-2/6	—	2/6	—
13	2/6	1/6	-1/6	—	61	—	5/6	—	-2/6
14	1/6	-1/6	2/6	-2/6	62	1/6	—	-1/6	-3/6
15	—	-2/6	-1/6	-2/6	63	1/6	—	—	2/6
16	-3/6	1/6	3/6	1/6	64	1/6	—	-2/6	—
17	—	—	—	3/6	65	-3/6	-1/6	1/6	—
18	2/6	-1/6	-1/6	1/6	66	—	5/6	-1/6	-1/6
19	—	-1/6	-1/6	-2/6	67	2/6	1/6	2/6	-1/6
20	1/6	—	-1/6	2/6	68	1/6	2/6	-1/6	1/6

21	-1/6	—	-2/6	-2/6	69	1/6	2/6	—	1/6
22	1/6	-1/6	3/6	5/6	70	-1/6	1/6	2/6	—
23	3/6	1/6	—	-1/6	71	-1/6	2/6	2/6	1/6
24	—	1/6	-1/6	1/6	72	2/6	2/6	-1/6	-1/6
25	-2/6	—	-1/6	-2/6	73	1/6	1/6	-1/6	—
26	-2/6	-3/6	—	-1/6	74	2/6	-3/6	—	—
27	-2/6	-1/6	-1/6	1/6	75	-1/6	-1/6	—	2/6
28	-1/6	-2/6	—	-1/6	76	-1/6	-4/6	—	1/6
29	—	-1/6	-1/6	2/6	77	-2/6	3/6	2/6	—
30	—	1/6	-2/6	—	78	-1/6	—	—	—
31	-1/6	-1/6	-3/6	1/6	79	1/6	1/6	1/6	-2/6
32	-3/6	-1/6	2/6	—	80	—	-1/6	—	—
33	-2/6	-1/6	3/6	—	81	-2/6	-4/6	-1/6	2/6
34	-2/6	—	-2/6	5/6	82	2/6	3/6	2/6	-1/6
35	1/6	3/6	-1/6	1/6	83	—	1/6	1/6	-2/6
36	1/6	1/6	-1/6	2/6	84	1/6	2/6	-1/6	-1/6
37	-1/6	1/6	2/6	—	85	-1/6	3/6	2/6	2/6
38	-1/6	—	—	2/6	86	-2/6	1/6	3/6	-1/6
39	—	1/6	3/6	-2/6	87	—	3/6	-1/6	-1/6
40	-1/6	—	-3/6	—	88	-1/6	1/6	1/6	2/6
41	-3/6	-3/6	—	—	89	1/6	3/6	2/6	—
42	-3/6	-3/6	-2/6	1/6	90	3/6	4/6	3/6	—
43	-2/6	-5/6	—	—	91	2/6	—	3/6	1/6
44	-1/6	—	—	—	BS92	-1/6	2/6	—	—
45	-2/6	1/6	-5/6	-3/6	BS93	1/6	-1/6	—	—
46	-3/6	-4/6	-2/6	-2/6	BS94	1/6	—	—	—
47	-2/6	-4/6	—	-1/6	BS95	—	-1/6	—	—
48	-2/6	-3/6	1/6	—					

表 2 主缆架设完成后锚跨索股张力第二次调整

索股号	小里程侧		大里程侧		索股号	小里程侧		大里程侧	
	左幅	右幅	左幅	右幅		左幅	右幅	左幅	右幅
1	2/6	—	—	2/6	49	2/6	—	2/6	—
2	2/6	—	—	2/6	50	2/6	2/6	—	—
3	—	—	—	—	51	—	—	—	—
4	—	—	—	3/6	52	—	—	—	3/6
5	2/6	—	—	—	53	—	—	—	—
6	—	—	2/6	—	54	3/6	—	—	—
7	2/6	2/6	2/6	—	55	—	—	—	—
8	—	—	—	—	56	—	—	2/6	—

9	—	—	—	3/6	57	3/6	1+—	2/6	—
10	—	2/6	2/6	—	58	2/6	—	—	3/6
11	—	2/6	—	—	59	—	—	—	—
12	2/6	2/6	4/6	—	60	—	—	2/6	—
13	2/6	—	—	—	61	—	2/6	—	—
14	—	2/6	—	—	62	—	—	2/6	—
15	—	2/6	2/6	2/6	63	2/6	—	—	—
16	—	—	—	—	64	—	—	2/6	—
17	2/6	—	—	2/6	65	—	2/6	2/6	—
18	—	2/6	3/6	—	66	—	—	—	2/6
19	—	2/6	2/6	—	67	2/6	2/6	—	2/6
20	—	—	2/6	4/6	68	—	2/6	—	—
21	—	—	—	2/6	69	—	—	—	—
22	2/6	2/6	—	2/6	70	—	—	4/6	—
23	—	—	2/6	3/6	71	—	—	4/6	—
24	—	—	—	—	72	3/6	—	—	—
25	—	—	4/6	—	73	—	—	—	—
26	—	4/6	—	3/6	74	3/6	—	—	—
27	—	3/6	—	—	75	—	—	2/6	2/6
28	—	—	—	2/6	76	—	—	—	—
29	—	2/6	2/6	—	77	—	—	2/6	—
30	—	—	—	—	78	—	—	2/6	—
31	3/6	2/6	—	—	79	—	—	—	—
32	—	2/6	2/6	—	80	—	—	—	—
33	—	—	3/6	2/6	81	—	—	—	—
34	—	—	—	—	82	2/6	2/6	4/6	—
35	—	—	—	—	83	—	—	—	1
36	—	—	2/6	—	84	—	—	2/6	—
37	3/6	—	—	2/6	85	2/6	2/6	2/6	4/6
38	2/6	—	—	—	86	—	—	4/6	—
39	—	—	—	—	87	—	—	—	—
40	2/6	—	—	—	88	2/6	—	—	3/6
41	—	—	—	—	89	—	—	3/6	—
42	—	—	—	—	90	3/6	3/6	3/6	—
43	2/6	—	—	—	91	3/6	—	4/6	3/6
44	3/6	—	—	—	BS92	—	—	—	—
45	—	—	—	—	BS93	—	—	—	—
46	—	3/6	2/6	—	BS94	—	—	—	—
47	—	—	—	2/6	BS95	—	—	—	—

48	—	—	—	—					
----	---	---	---	---	--	--	--	--	--

表 3 主缆架设完成后锚跨索股张力第三次调整

索股号	小里程侧		大里程侧		索股号	小里程侧		大里程侧	
	左幅	右幅	左幅	右幅		左幅	右幅	左幅	右幅
1	—	—	1+2/6	—	49	—	—	2+1/6	—
2	—	—	—	—	50	—	—	—	—
3	—	2	—	—	51	—	—	—	—
4	—	—	—	—	52	—	—	—	-1
5	—	—	—	—	53	—	—	—	—
6	2+2/6	—	—	1+1/6	54	—	—	—	—
7	—	—	—	—	55	—	—	—	—
8	—	—	—	—	56	—	—	—	—
9	1+3/6	—	—	—	57	—	—	—	—
10	1	—	—	—	58	—	—	—	—
11	—	—	—	—	59	—	—	—	—
12	—	—	—	—	60	—	—	—	—
13	—	—	—	1	61	—	—	—	—
14	—	—	—	—	62	—	—	-1	—
15	—	—	—	—	63	—	—	—	—
16	—	—	—	—	64	—	—	—	—
17	1	—	—	—	65	—	1+3/6	—	2+2/6
18	—	—	—	—	66	—	—	—	-(1+2/6)
19	—	—	—	—	67	—	—	—	-(1+3/6)
20	—	—	—	—	68	—	—	—	—
21	—	—	—	—	69	—	—	—	—
22	—	—	—	—	70	—	—	—	—
23	—	—	—	—	71	—	—	-1	—
24	—	—	2+2/6	—	72	—	—	—	—
25	—	—	-1	—	73	—	—	—	—
26	—	—	—	—	74	—	—	—	—
27	—	—	2+5/6	—	75	—	—	—	—

28	—	—	—	—	76	—	—	—	—
29	—	—	—	—	77	—	—	—	—
30	—	—	—	—	78	—	—	-1	—
31	—	—	—	—	79	—	—	2+1/6	—
32	—	—	2+1/6	—	80	—	—	—	—
33	—	—	—	—	81	—	—	—	—
34	—	—	—	—	82	—	—	—	—
35	—	—	—	—	83	-1	—	—	-1
36	—	—	—	—	84	—	—	-1	—
37	—	—	—	—	85	—	—	—	—
38	—	—	—	—	86	-1	—	—	—
39	—	—	—	—	87	-1	—	-1	—
40	—	—	—	—	88	—	—	—	—
41	—	—	—	—	89	-1	—	—	—
42	—	—	—	—	90	—	—	—	—
43	—	—	—	—	91	—	—	—	—
44	—	—	—	—	BS92	—	—	—	—
45	—	—	—	—	BS93	—	—	—	—
46	—	—	—	1	BS94	—	—	—	—
47	—	—	—	—	BS95	—	—	—	—
48	—	—	—	—					

上表 1~表 3 为各锚跨索股需要的调整量，“—”表示不用调整。拉杆螺纹间距为 4mm，表中结果为锚固拉杆的六角螺母需要扭转的圈数。正值表示使锚头沿锚固拉杆向前锚面位置前进，负值表示使锚头沿锚固拉杆向远离前锚面的方向后退。如：“2+3/6”表示向前锚面方向拧 2 个整圈再加 3/6 圈；“-(1+2/6)”表示向散索鞍方向拧 1 个整圈再加 2/6 圈。

4 总结

经过多轮次的锚跨索股张力调整，该桥索股架设期间未出现滑移，锚跨索股力均匀，力值偏差满足设计要求，索股张力整体控制效果良好。目前，该桥已于 2025 年顺利通车运营，证实了该方法的实用性。

[参考文献]

[1]沈锐利,王渊,王涛.大跨度悬索桥锚跨索力及散索鞍偏角施工调整的计算方法[J].中国公路学报,2017,30(5):81-88.
 [2]胡志坚,黄健伟.悬索桥锚跨张力控制方法研究[J].中山大学学报:自然科学版(中英文),2021,60(4):129-135.