

拱肋扣索力倒拆分析的不闭合问题研究

刘云峰

(海南儒艺交通规划勘察设计有限公司 长沙分公司, 湖南 长沙 410000)

摘要:以湖南省张花(张家界—花垣)高速公路永顺连接线上的牛路河特大桥钢筋砼箱形拱结构主桥为例,采用 MIDAS/Civil 程序建立中拱肋空间三维模型,通过倒拆分析得到扣索的初始张拉力,然后利用分析结果进行正装分析,对倒拆与正装分析扣索张力在相同施工阶段不闭合的原因进行分析并提出了相应解决方法,为拱肋吊装施工提供可靠的控制依据。

关键词:桥梁;拱肋;倒拆分析;正装分析;扣索张力;不闭合

中图分类号:U441

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)02-0133-03

在大跨径拱桥拱肋吊装施工分析中,扣索的初始张拉力可通过倒拆分析方法计算获得。计算思路为:首先确定成桥设计理想状态,然后从该状态出发,按照结构的实际施工加载顺序的逆过程进行结构受力分析,得到结构在中间各施工阶段的理想安装位置和理想受力状态。若以倒拆分析计算结果再按照结构的实际施工加载顺序进行结构受力分析,在回到相同施工阶段时结构的内力与倒拆分析时一致,则称为闭合,反之为不闭合。该文以牛路河特大桥拱肋吊装施工分析中扣索的张拉力计算为例,采用倒拆分析得到初始张拉力进行正装分析,并对张力不闭合的问题进行讨论,进而提出解决方法。

1 工程概况

牛路河特大桥是湖南省张花(张家界—花垣)高速公路永顺连接线上的一座特大桥,跨径组合为 $5 \times 20 \text{ m} + 195 \text{ m} + 5 \times 20 \text{ m}$,全长 430.12 m。桥梁全宽 10.0 m,桥面宽度由净 9.0 m 行车道 + $2 \times 0.5 \text{ m}$ 护栏组成。主桥为 195 m 上承式钢筋砼箱形拱,拱上桥面板为 10 和 20 m 简支空心板,引桥上上部为 20 m 钢筋砼连续箱梁。荷载等级为公路—I 级。牛路河特大桥拱肋吊装施工见图 1。

主桥拱轴线为悬链线,矢跨比 $1/5$,计算跨径为 197.356 m,净矢高 $f_0=39 \text{ m}$,拱轴系数 $m=1.543$ 。拱箱横向由 1 个中箱及 2 个边箱组成,其中:预制中箱的顶板厚度为 15 cm,底板厚度为 25 cm,腹板厚度为 13 cm;预制边箱的顶板厚度为 15 cm,底板厚度为 25 cm,外侧腹板厚度为 25 cm,内侧腹板厚度为 13 cm;预制拱箱高度均为 350 cm。成桥后拱圈尺寸:拱圈高度为 360 cm(等高),拱圈宽度为 780

cm,单箱三室横断面,顶、底板厚度均为 25 cm,边腹板厚度为 25 cm,中腹板厚度为 46 cm。预制吊装的拱箱沿净跨相应拱轴线全长纵向分为 20 段。

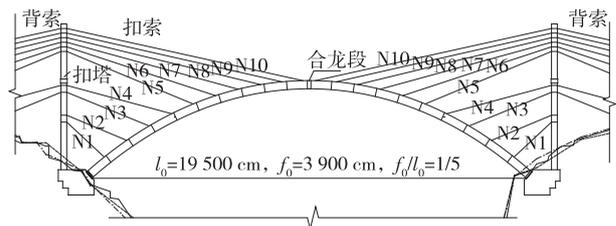


图 1 牛路河特大桥拱肋吊装施工示意图

主拱圈的三道拱箱采用现场分节段预制,然后通过钢绞线斜拉扣挂拱箱、千斤顶张拉或放松扣索、逐段固结、松扣成拱的顺序进行施工。

2 计算模型

采用 MIDAS/Civil 进行拱桥中拱肋施工过程中模拟。模型节点 121 个,单元 100 个,其中:拱肋单元 80 个,采用梁单元模拟;扣索单元 20 个,采用桁架单元模拟。中拱肋合龙三维模型见图 2。

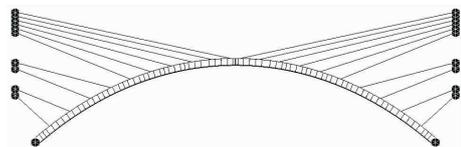


图 2 中拱肋合龙三维模型

根据实际施工过程,拱肋施工步骤简化为:1) 同步对称吊装 1 号节段,其下端与拱座形成临时铰;2) 安装 N1 扣索,利用扣索及吊索将 1 号节段前端调整到监控指定高程;3) 安装扣索的同时安装横向

缆风索,拆除吊索;4) 2号节段吊装就位,安装 N2 扣索,利用扣索及吊索将 2 号节段前端调整到监控指定高程;5) 按第 4 步依次吊装 3~10 号节段;6) 浇筑中箱拱顶合龙段,锁定拱脚铰,中箱成拱。

3 计算结果与分析

先通过倒拆分析法计算得到扣索的初始张拉

力,然后将计算得到的初始张拉力按拱肋实际施工顺序进行正装分析,取两种分析过程相应施工阶段的扣索张拉力进行对比分析。

以扣索全部安装完毕后的 2 个施工阶段(即扣索 N10 安装完毕、拱顶合龙前,拱肋成拱且扣索张拉力未钝化之前)为例,倒拆分析和正装分析所得扣索张拉力对比见表 1。

表 1 倒拆分析与正装分析相应施工阶段扣索张拉力对比

kN

扣索编号	拱肋成拱且扣索张拉力未钝化之前的扣索张拉力			扣索 N10 安装完毕、拱顶合龙前的扣索张拉力		
	倒拆分析	正装分析	差值	倒拆分析	正装分析	差值
N1	244.832	252.099	7.267	326.232	296.486	-29.747
N2	242.795	248.325	5.530	391.605	348.096	-43.508
N3	245.581	255.342	9.761	437.936	410.843	-27.093
N4	248.458	262.020	13.562	474.386	464.519	-9.867
N5	252.475	270.915	18.440	525.743	533.808	8.065
N6	254.522	275.186	20.664	550.188	562.280	12.093
N7	255.558	276.702	21.144	559.745	565.520	5.775
N8	506.208	526.464	20.256	808.506	800.405	-8.101
N9	1 005.115	1 023.304	18.188	1 299.890	1 268.206	-31.684
N10	1 004.249	1 023.738	19.489	1 289.221	1 288.151	-1.070

注:差值=正装分析结果-倒拆分析结果,下同。

由表 1 可知:正装分析和倒拆分析所得相同施工阶段的扣索张拉力不相等,张拉力差值无规律变化,变化幅度为-11.1%~8.27%。在弹性范围内,正装分析和倒拆分析所得扣索张拉力在同一阶段应该相同,出现上述差异的原因主要有合龙段在倒拆分析和正装分析时的结构体系差异、拱脚临时支撑与永久支撑的转换、砼徐变对结构的影响等。

由此可见,倒拆分析方法由于其模拟分析过程

并不是按实际施工顺序来进行,分析过程中存在诸多无法避免的局限性和缺陷,会导致前后相同阶段的张拉力不闭合。为了避免倒拆分析方法的不足,采用以施工阶段的效应作为变量,目标值设为成桥阶段效应的正装分析方法(以下简称目标正装分析法)重新进行分析计算,并对两种分析方法成拱状态下的结果(这里仅取节点位移和单元轴力)进行比较(见表 2、表 3)。

表 2 成拱状态倒拆分析法与目标正装分析法拱圈节点竖向位移对比

cm

拱圈节点				拱圈节点			
编号	拱圈节点竖向位移			编号	拱圈节点竖向位移		
	倒拆分析	目标正装分析	差值		倒拆分析	目标正装分析	差值
1	0.000	0.000	0.000	42	-33.179	-0.016	33.163
6	1.732	-3.612	-5.344	45	-29.023	0.900	29.923
10	-4.349	-4.549	-0.200	48	-26.811	0.375	27.185
14	-6.845	-4.737	2.108	52	-24.533	-0.916	23.617
18	-10.629	-4.489	6.140	56	-20.193	-2.413	17.780
22	-14.990	-3.704	11.287	60	-14.990	-3.704	11.287
26	-20.193	-2.413	17.780	64	-10.629	-4.489	6.140
30	-24.533	-0.916	23.617	68	-6.845	-4.737	2.108
34	-26.810	0.375	27.185	72	-4.349	-4.549	-0.200
37	-29.023	0.900	29.922	76	1.732	-3.612	-5.344
40	-33.179	-0.016	33.163	81	0.000	0.000	0.000

表3 成拱状态倒拆分析法与目标正装分析法拱圈单元轴力对比 kN

拱圈单元		拱圈单元轴力		拱圈单元		拱圈单元轴力	
编号	倒拆分析	目标正装分析	编号	倒拆分析	目标正装分析	编号	倒拆分析
1	-7 841.25	-8 187.96	42	-423.19	-1 314.90		
6	-7 273.57	-7 551.00	45	-1 332.21	-2 604.22		
10	-6 697.32	-6 769.25	48	-2 265.07	-3 566.54		
14	-6 074.80	-6 157.30	52	-3 246.08	-4 298.82		
18	-5 359.68	-5 640.27	56	-4 228.75	-4 869.90		
22	-4 461.87	-5 093.86	60	-5 091.36	-5 365.04		
26	-3 439.63	-4 472.33	64	-5 838.80	-5 905.38		
30	-2 410.59	-3 690.69	68	-6 439.35	-6 493.86		
34	-1 420.19	-2 677.27	72	-6 954.14	-7 229.84		
37	-449.88	-1 337.34	76	-7 414.59	-7 782.17		
40	478.96	-132.18	80	-7 794.87	-8 141.57		

从表2可以看出:目标正装分析法所得拱圈节点竖向位移为0~-4.737 cm,倒拆分析法所得拱圈竖向位移为0~-33.179 cm。与倒拆分析法相比,目标正装分析法对成拱后拱圈位移的控制具有明显优势。

由表3可知:目标正装分析法所得拱圈单元轴力为-132.18~-8 187.96 kN,倒拆分析法所得拱圈单元轴力为478.96~-7 841.25 kN。目标正装分析法所得轴力最大值出现在拱脚处,轴力相对倒拆分析法大4.4%,但拱圈截面没有出现拉力,全部为受压;而倒拆分析法结果表明拱圈合龙段出现了拉力,这对拱的受力不利。目标正装分析法在拱圈受压分析上也更具优势。

4 结论

(1) 单纯的倒拆分析法不能得到可信的分析计算结果,难以指导实际施工,通过与目标正装分析法分析结果对比可检验扣索张力设置的合理性。

(2) 扣索张力计算中影响倒拆分析法不闭合的因素主要有结构体系转换、拱脚临时支撑与永久

支撑的转换、砼徐变对结构的影响。

(3) 采用以施工阶段的效应为变量,目标值设为成桥阶段效应的正装分析方法可避免张力不闭合的问题,且能得到更理想的拱圈受力效果。

(4) 施工控制计算必须考虑施工的可行性和方便性,避免理论脱离实际。

参考文献:

[1] 徐君兰.大跨度桥梁施工控制[M].北京:人民交通出版社,2000.
 [2] 苗家武.超大跨度斜拉桥设计理论研究[D].上海:同济大学,2006.
 [3] 李乔,单德山,卜一之,等.大跨度桥梁施工控制倒拆分析法的闭合条件[A].第十七届全国桥梁学术会议论文集(下册)[C].2006.
 [4] 毛昌时,杜国华,范立础.混凝土斜拉桥徐变倒退分析[J].中国公路学报,1995,8(增刊1).
 [5] 辛克贵,冯仲.大跨度斜拉桥的施工非线性倒拆分析[J].工程力学,2004,21(5).

收稿日期:2016-10-07

(上接第132页)

建筑,2009(12).
 [3] 李岩.C80 高强高性能混凝土的试验研究[J].山西建筑,2009,35(21).
 [4] 黄尊红.高强高性能混凝土的设计方法及试验研究[D].兰州:兰州理工大学,2004.
 [5] 刘海霞.高性能混凝土性能研究及工程应用[D].济南:

山东大学,2010.
 [6] 吴中伟,廉慧珍.高性能混凝土[M].北京:中国铁道出版社,1999.
 [7] 赵铁军,冯乃谦.高性能混凝土的配合比[J].混凝土,1994(2).

收稿日期:2016-11-18