

鸭嘴岩曲塔混合梁斜拉桥施工控制分析

方震

中铁四院集团西南勘察设计有限公司

摘要：本文以怀化鸭嘴岩曲塔混合梁斜拉桥为背景，对该曲塔混合梁施工过程进行了施工控制全过程分析，对带支腿的曲塔混合梁施工控制具有指导意义。

关键词：曲塔；混合梁；施工监控

近年来，桥梁作为城市景观甚至地标，对主梁、主塔造型的需求越来越多样化。怀化鸭嘴岩大桥是一座曲塔混合梁斜拉桥属

于一种异性塔斜拉桥，其兼备了斜拉桥跨越能力突出的优点，同时主塔造型优美，曲线样式与怀化“鹤城”遥相呼应，是怀化市新的地标建筑。但该曲塔混合梁斜拉桥因主塔为异性塔，主梁不对称分布，以及带有支持斜腿，施工过程中主塔及支撑腿应力情况复杂，施工难度较大。

一、工程背景

鸭嘴岩大桥长402米，其结构布置图如图1所示。

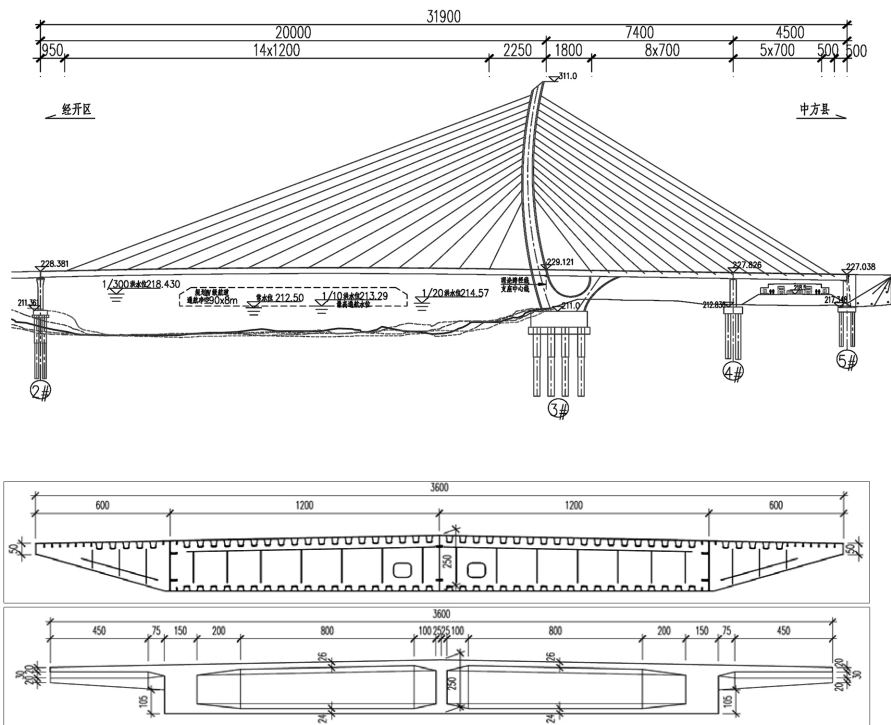


图1 主桥桥型布置图及钢/砼主梁断面图（单位：cm）

二、鸭嘴岩大桥合理成桥状态分析

MIDAS/Civil进行施工控制模拟的第一步是确定合理成桥状态使得成桥结构内力合理，主梁线形顺畅^[1-2]。首先将斜拉桥建立一次成桥模型进行静力分析，该分析为多次超静定结构包含多个未知斜拉索索力的静力分析，设定斜拉桥在自重、二期恒载下的主梁、主塔线形以及梁、塔、索的限制约束条件，采用“未知荷载系数法”可以求得满足上述条件的斜拉索索力^[3-5]。未知荷载系数法的作用是以已搭建的全桥模型为基础，计算在特定的桥梁约束控制条件（目标函数）下，满足设定的最小误差的荷载系数。约束的目标函数可以如：斜拉索的成桥索力相对均匀而不是出现较大差别将桥梁荷载集中到某几个斜拉索上，主梁的变形最小，混凝土梁全部处于受压状态，“A”“H”型主塔不受弯矩作用或者弯矩在较小范围内。以设计资料及计算复核为依据确定鸭嘴岩大桥成桥在主梁变形最小、混凝土梁受压、双曲塔最不利截面应力最小为控制目标下的成桥合理索力应力值对比如图2所示。

三、鸭嘴岩大桥倒拆后正装迭代施工过程分析

从成桥静力状态逐步倒拆各斜拉索索力变化值，以斜拉索拆除前最后一次索力值作为正装分析初始拉力参考值可以逐一得到斜拉索M1~M15, S1~S1530对索的参考初张拉力。以参考初始拉

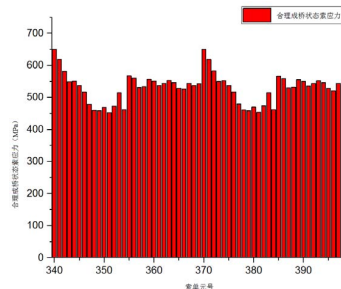


图2 一次成桥合理状态斜拉索应力（MPa）

力作为依据对模型进行正装试算，分析过程中利用影响矩阵结合分析施工阶段最大应力人工调整，试算发现后续斜拉索应力对前序张拉索力影响小于对后续施工阶段斜拉索索力的影响，据此逐步逼近合理参数。正装分析并调整索力以后得到符合要求的初张拉力再进行二次调索，见表1。

四、结果分析

根据正装理想初拉力可以求出施工各阶段斜拉索索力的变化，施工各阶段结构单元的应力变化，斜拉桥主梁线形和塔偏量，每个阶段钢主梁最大拉应力和压应力，每个阶段边跨混凝土

表1

索单元	理想初拉力	二次张拉	索单元	理想初拉力	二次张拉	索单元	理想初拉力	二次张拉
340	2559	443	360	2685	0	380	2059	0
341	2424	731	361	2575	0	381	1906	0
342	2551	725	362	2424	0	382	1693	0
343	2506	711	363	2282	0	383	1362	0
344	2482	645	364	2259	0	384	978	0
345	2402	581	365	2233	0	385	5247	1281
346	2315	515	366	2269	0	386	4518	860
347	2141	440	367	2415	0	387	3322	770
348	2100	326	368	2564	0	388	2363	1067
349	2026	201	369	2821	0	389	3025	0
350	2059	0	370	2559	443	390	2685	0
351	1906	0	371	2424	731	391	2575	0
352	1693	0	372	2551	725	392	2424	0
353	1362	0	373	2506	711	393	2282	0
354	978	0	374	2482	645	394	2259	0
355	2059	1281	375	2402	581	395	2233	0
356	1906	860	376	2315	515	396	2269	0
357	1693	770	377	2141	440	397	2415	0
358	1362	1067	378	2100	326	398	2564	0
359	978	0	379	2026	201	399	2821	0

主梁最大拉应力及压应力。这里给出保证施工过程应力安全及说明成桥结构内力、线形满足要求的关键最不利数据。包括1. 在施工过程至成桥各阶段斜拉索的最大应力值; 2. 正装斜拉桥与一次成桥状态斜拉桥索力对比图见3。主塔最大压应力值、钢主梁最大绝对应力值、边跨混凝土施工各阶段最大压应力。按照中国《公路斜拉桥设计规范》(JTG/D65-01-2007)规定斜拉索的安全系数为2.5,即以斜拉索选用钢材标准强度的40%作为容许应力上限,鸭嘴岩大桥斜拉索施工容许应力 $[\sigma]=1860 \times 40\%=744\text{MPa}$ 。

由图可以知道,在整个施工过程中大部分斜拉索最大拉应力在600MPa以下,最大索力为352号单元(斜拉索标号为M3)为733.6MPa,满足施工过程安全应力。

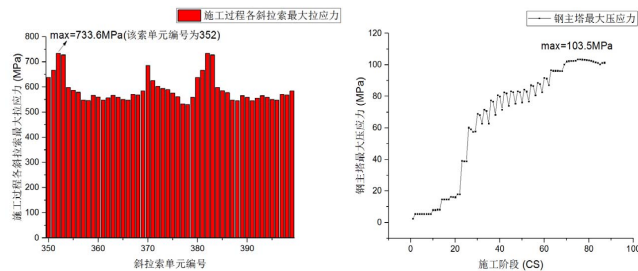


图3 施工过程304~399单元最大拉应力 图4 施工各阶段钢主塔最大压应力

由图4可知,在施工过程正装分析中,主塔上部钢主塔部分最大压应力为103.5MPa,小于Q345容许应力。主塔下部为混凝土塔柱最大应力为拆除钢主梁满堂支架及边跨混凝土梁下临时支承

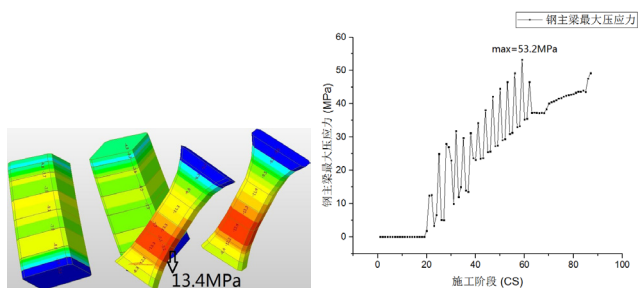


图5 主塔下部混凝土支腿最大压应力 图6 施工各阶段钢主梁最大应力绝对值(MPa)

之后,该阶段下部混凝土塔柱最大压应力为9.1MPa,支腿出现最大压应力为13.4MPa,如图5所示,其最大应力小于C50容许应力。

在施工过程正装分析中,随着斜拉索的张拉,钢主梁控制截面-临近主塔的第一段钢主梁的应力不断发生变化,为了保证施工过程的安全性,分析每阶段钢主梁出现的最大压应力和拉应力,正装迭代计算施工过程中每个阶段钢主梁出现的最大应力绝对走势如图6所示,由图可知在施工过程至成桥的过程中,钢主梁最大应力为53.2MPa,小于Q345容许应力。

边跨混凝土梁采用现浇支架施工,施工完成后张力斜拉索之前,所有混凝土梁张拉纵向、横向预应力钢筋,在施工过程正装分析中,该斜拉桥边跨混凝土梁始终处于受压状态,每个阶段边跨混凝土主梁出现的最大压应力走势如图7所示,最大应力为12.9MPa,小于C55容许应力。

按照初张拉力和二次张拉确定的成桥状态斜拉索索力分布如图8所示。

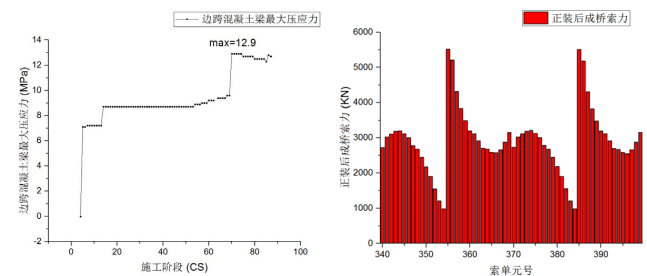


图7 施工各阶段边跨砼主梁最大压应力值(MPa) 图8 倒拆-正装法成桥索力分布图(KN)

按照初张拉力和二次张拉确定的成桥状态斜拉索索力误差均在5%以内,满足设计要求。成桥线形及最大变形如图9所示。

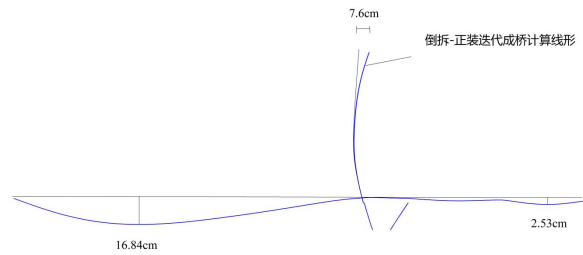


图9 倒拆-正装法成桥线形计算图

五、结论

1. 通过倒拆-正装迭代法,可以实现曲塔混合梁斜拉桥施工过程模拟。

2. 通过倒拆-正装迭代法,可以得到初张力及二次张拉力。

3. 倒拆-正装迭代法得到的指导索力,能确保施工过程中结果检算的各项结果满足要求。该法可以用于指导同类曲塔混合梁斜拉桥施工控制。

参考文献

[1] 李熠,颜东煌,李学文,等. 混凝土斜拉桥合理成桥状态研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2008, 27(6): 1017-1019.
 [2] 颜东煌,李学文,刘光栋,等. 混凝土斜拉桥合理成桥状态确定的分步算法[J]. 中国公路学报, 2003, 16(1): 43-46.
 [3] 于永生,胡展飞. 基于未知荷载系数法的斜拉桥索力计算与优化[J]. 山东交通科技, 2016(4): 83-86.
 [4] 张建民,肖汝诚. 斜拉桥合理成桥状态确定的一阶分析法[J]. 力学季刊, 2004, 25(2): 297-303.
 [5] 康春霞,杜仕朝,郭晓光. 斜拉桥合理施工状态计算方法对比分析研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(1): 87-93.