

大跨度钢管混凝土拱桥成桥状态钢管应力优化研究

涂光亚, 袁航

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:为了优化大跨度钢管混凝土拱桥成桥状态主拱受力性能,提出了后拆扣索的新思路;在主拱圈合龙完成后对钢管采取继续保留扣索的措施,混凝土灌注完成达到强度后,再拆除扣索,钢管与混凝土共同承担后续荷载。采用有限元方法按以上思路对贵州大小井特大桥进行了分析研究。结果表明:如果混凝土灌注完成达到强度后再拆除扣索,与原方案相比,在成桥状态下拱肋上下弦钢管与管内混凝土的受力均得到改善,钢管应力值有所降低,管内混凝土应力值略有增加;在管内混凝土灌注前后扣索的索力值变化不大,扣索拉力值在允许范围内。因此通过该方法能够在一定程度上提高大跨度钢管混凝土拱桥拱肋截面的组合效率,改善主拱的受力性能。

关键词: 钢管混凝土拱桥; 成桥状态; 主拱应力; 扣索

钢管混凝土拱桥以其受力性能优越、施工简便,广泛应用于大跨度桥梁工程中,其施工方法是典型的结构组分不断增加的自架设方法,主拱圈的截面是不断形成的,截面中先施工部分先受力,因此施工加载程序对施工过程和成桥受力有很大影响。缆索吊装斜拉扣挂法作为中国修建大跨度钢管混凝土拱桥的主要方法之一,其一般是通过缆索将空钢管吊装架设成拱,再往主拱钢管内灌注混凝土。空钢管结构往往会先承受来自钢管自身的重量与混凝土的重量,这时钢管会产生初应力和初应变,影响拱桥在成桥状态下钢管的承载力,使钢管的屈服阶段提前,混凝土的抗压性能未能得到有效发挥,截面组合效率降低。因此,成桥状态下主拱受力性能的优化是大跨度钢管混凝土拱桥值得研究的课题之一。

目前,不少学者对钢管混凝土拱桥结构应力进行了大量的研究,其中主要包括初应力对钢管混凝土拱桥承载力的影响研究、钢管混凝土拱桥拱肋混凝土灌注工序对拱肋和成桥的影响研究等。这些研究侧重于主拱初应力的计算分析以及管内混凝土灌注施工工序研究,而对于是否能通过新施工工艺来降低钢管初应力,使大跨度钢管混凝土拱桥成桥状态受力性能得到优化的研究却很少见。该文以贵州大小井特大桥为工程依托,采用有限元软件 Midas/Civil 建立有限元计算模型,模拟在管内混凝土灌注完成并达到强度后,再拆除扣索,后续工况钢管与混凝土共同继续承受后期

荷载,研究此全过程钢管和混凝土的应力变化规律。

并将此方案与原施工方案在卸除扣索索力前后,管内混凝土灌注阶段,后续荷载下主拱钢管和混凝土的应力变化情况进行对比,得出主拱钢管和混凝土受力性能的优化效果。

1 工程概况

大小井特大桥是一座计算跨径为 450 m 的上承式钢管混凝土变截面桁架拱桥,采用悬链线作为该桥的拱轴线,拱轴线系数 $m=1.55$,矢高 $h=100$ m,矢跨比 $f=1/4.5$ 。主拱圈采用等宽变高空间桁架结构,拱脚截面高 14 m,拱顶截面高 8 m,分为左、右两幅,中心距为 16 m。拱肋外径 1 360 mm,拱肋上弦管壁厚依次取 35、28、32 mm;拱肋下弦管壁厚依次取 35、32、28 mm。钢管拱肋采用内法兰盘栓接和管外焊接的形式进行对接。桥面系采用钢—混凝土叠合梁,跨径为 31.6 m,顺桥每 3.95 m 设置一道钢横梁。桥面板宽 12.24 m,悬臂长度 2.87 m。大小井特大桥立面布置如图 1 所示。

主拱圈施工方法为缆索吊装斜拉扣挂法施工,单幅主拱圈对称分为 28 个吊装节段,1 个合龙段,整个主拱圈共分为 58 个节段,节段的最大吊装重量约为 160 t。先从第 1 拱段吊装至第 6 拱段,拱脚设完全铰,待第 6 拱段吊装完成后,采用混凝土后浇层将拱脚

封固,将铰接变成固结。原桥施工方案在主拱合龙后逐级松扣索,将扣索索力转换为拱的推力,使空钢管拱圈呈自重作用下的无铰拱状态。而新方案则继续张拉扣索,到管内混凝土灌注完成并到达强度之后,再松扣索。

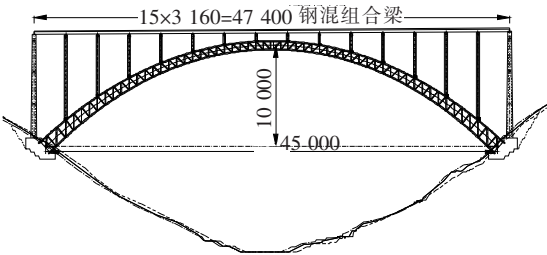


图1 大小井特大桥立面布置图(单位:cm)

2 计算模型

根据大小井特大桥工程实际,采用有限元软件Midas/Civil,建立模拟仿真计算分析模型。主拱圈拱脚处缀板采用板单元模拟,扣索采用桁架单元模拟,其余构件均采用梁单元模拟。其中主拱圈上下弦管和管内混凝土采用共节点梁单元模拟,立柱采用施工阶段联合截面进行模拟。边界条件为主拱圈钢管拱脚、扣索锚点固结。整个Midas模型有4392个节点,112个

受拉单元,8104个梁单元,24个板单元。

3 计算分析

3.1 计算工况

主要考虑原施工方案下的成桥恒载状态以及后拆扣索方案下的成桥恒载状态。

3.2 计算步骤

① 按照大小井特大桥原有施工方案,利用Midas计算主拱在成桥状态下钢管和混凝土的应力;② 按照后拆除扣索方案,利用Midas计算主拱在成桥状态下钢管和混凝土的应力;③ 将步骤①与步骤②所求得的应力值相减,得到其成桥状态下主拱应力变化情况;④ 利用Midas计算两种方案各自在拆除扣索之后的主拱竖向位移变化情况;⑤ 利用Midas计算分析出两种方案各自在拆除扣索之前的扣索索力值,再进行差值比较。

3.3 计算结果

根据以上计算步骤,通过Midas建模计算分析最得到原方案成桥状态下主拱的应力与后拆扣索工艺下主拱的应力比较见表2,主拱拱肋成桥状态下混凝土上下弦应力计算结果比较见表3。

表2 原方案与后拆扣索成桥状态下拱肋钢管上下弦应力比较									MPa	
项目	拱脚		L/8		L/4		3L/8		拱顶	
	上弦	下弦	上弦	下弦	上弦	下弦	上弦	下弦	上弦	下弦
先拆扣索	-154.5	-201.2	-158.4	-173.7	-162.5	-156.4	-142.9	-145.2	-157.7	-125.4
后拆扣索	-160.7	-191.4	-155.5	-172.7	-148.8	-159.2	-135.8	-135.1	-145.3	-107.1
差值	6.2	-9.8	-2.9	-1.0	-13.7	2.8	-7.1	-10.1	-12.4	-18.3

由表2可知:采用后拆扣索方案,成桥状态上下弦钢管应力整体降低,拱顶截面上弦降低12.4MPa,下弦降低18.3MPa;拱脚截面下弦应力降低9.8MPa,上弦应力略有增加为6.2MPa;全拱最大应力由201.2MPa降低至191.4MPa。上弦应力变化规律为拱脚位置至L/8处应力略有增加,L/8位置至拱顶处

应力普遍降低;下弦应力变化规律为拱脚、拱顶附近应力降低,L/4截面附近应力基本不变。总的来说,拱顶截面钢管上、下弦应力均有较大程度降低,拱脚截面下弦应力降低,上弦应力略有增加,但全拱最大应力降低了,结构安全性有一定提高。

表3 原方案与后拆扣索成桥状态下拱肋混凝土上下弦应力比较									MPa	
项目	拱脚		L/8		L/4		3L/8		拱顶	
	上弦	下弦	上弦	下弦	上弦	下弦	上弦	下弦	上弦	下弦
先拆扣索	-2.2	-11.2	-5.3	-8.2	-5.4	-6.5	-4.6	-5.1	-5.6	-4.4
后拆扣索	-1	-13.0	-5.8	-8.1	-6.7	-6.2	-5.2	-6.1	-6.5	-6.1
差值	-1.2	1.8	0.5	-0.1	1.3	-0.3	0.6	1.0	0.9	1.7

由表 3 可知:采用后拆扣索工艺,成桥状态上下弦混凝土应力整体有一定的增加,拱顶截面上弦增加 0.9 MPa,下弦增加 1.7 MPa;拱脚截面下弦应力增加 1.8 MPa,上弦应力降低 1.2 MPa;全拱最大应力由 11.2 MPa 升高至 13.0 MPa。上弦应力变化规律为拱脚位置至 $L/8$ 处应力略有降低; $L/8$ 位置至拱顶应力均为增加;下弦应力变化规律为拱顶、拱脚附近应力增加; $L/4$ 附近应力基本不变。总的来说,拱顶截面上、下弦混凝土应力均有一定增加,拱脚截面下弦应力增加,上弦应力略有降低,总的应力水平略有增加。

采用后拆扣索工艺,空钢管在成拱之后,管内混凝土灌注前、后的主拱竖向位移增量及先拆扣索工艺下与后拆扣索工艺下在管内混凝土灌注前、后主拱竖向位移增量差值比较如图 2 所示,后拆扣索工艺下各扣索索力值变化如图 3 所示。

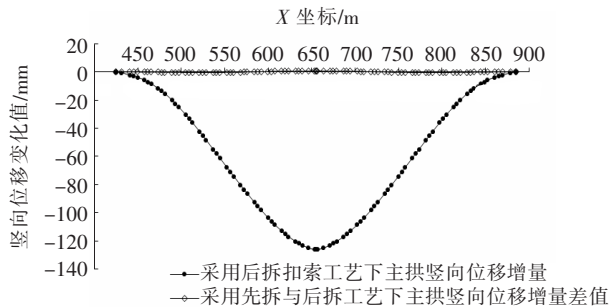


图 2 管内混凝土灌注前、后的主拱竖向位移增量及两种工艺下主拱竖向位移增量的差值图

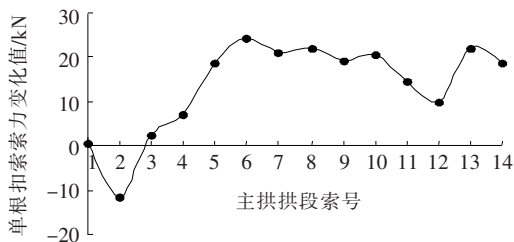


图 3 后拆扣索索力变化差值图

由图 2 可知:采用后拆扣索方案,管内混凝土灌注期间主拱竖向位移有一定的变化,最大竖向位移变化量为 -126 mm,而且采用后拆扣索方案与采用原方案在管内混凝土灌注期间主拱竖向位移变化基本一致;与此同时由于扣索本身较长,该竖向位移变化引起的扣索力变化较小(图 3),除了 2 号扣索索力降低了 11 kN 外,其他扣索索力都略有增加,扣索索力增加值最大不超过 25 kN。由此可见,在混凝土灌注期间保留扣索不会对扣索的受力安全产生过大的影响,也不会对扣挂系统产生不可接受的额外负担。

对于两种施工方案,拆除扣索工况所引起的主拱竖向位移变化比较如图 4 所示。

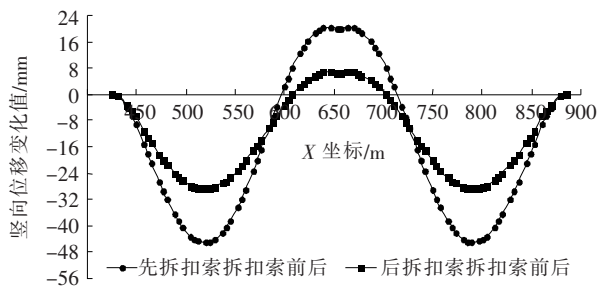


图 4 主拱竖向位移变化图

由图 4 可知:两种方案拆除扣索所引起的主拱竖向位移变化规律基本一致,都是拱顶的位置竖向位移向上, $L/4$ 位置竖向位移向下;但后拆除扣索方案主拱竖向位移变化要小一些,主要是因为对于后拆扣索方案,此时管内混凝土已达到强度,整个结构的刚度加大了,所以竖向位移要小一些;但差别并不是很明显,最大位移差值仅为 16 mm。由于拆索时机的改变,两种方案主拱最终的累积位移也会有所差别,但只要事先给予充分的考虑,通过制造线形的相应改变完全可以使最终成桥线形满足要求。

4 结论

(1) 采用后拆扣索方案能在一定程度上降低成桥恒载状态钢管拱肋的整体应力水平和最大应力,管内混凝土的应力整体上也会有所增加。考虑到钢管应力对整个拱桥结构安全起控制作用,因此,采用该方案能在一定程度上提高拱桥结构在恒载状态下的受力安全性。

(2) 采用后拆扣索方案,对成桥恒载状态拱顶附近约 $L/4$ 范围内上、下弦钢管应力改善比较明显, $L/4$ 附近上、下弦钢管应力基本不变,拱脚附近上弦钢管应力略有增加,下弦钢管应力有一定程度减小。

(3) 采用扣索后拆方案在混凝土灌注期间,扣索力会一定程度的增加,但增量较小,该增量对扣索和整个扣挂系统安全性的影响较小,基本可以忽略不计。

参考文献:

- [1] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [2] 黄福云,陈宝春. 钢管混凝土拱桥初应力问题[J]. 公路交通科技,2006(11).

泥石流冲击作用下桥墩动力响应研究

黄云

(广西交通设计集团有限公司, 广西南宁 530022)

摘要: 针对桥墩在泥石流作用下的动力冲击问题, 该文基于 SPH-FEM 耦合的数值方法, 研究块石-浆体-桥墩之间的动态作用。分析含大块石泥石流冲击桥墩的全过程、冲击力时程、关键点位移时程、桥墩破坏情况等动力学行为。并将桥墩的冲击破坏机理与工程经验相结合, 分析桥墩外包钢板和桥墩外包缓冲层+钢板两种优化措施对桥墩的防护效果。研究表明: 大块石对桥墩的冲击作用容易对桥墩受冲击处造成局部破坏, 且墩顶位移较大; 在对桥墩进行外包钢板加固后, 墩顶位移有很大程度上降低, 桥墩所受的冲击力较未加固时有所增加, 综合考虑, 钢板厚度为 10 mm 时防护效果较好; 对桥墩进行泡沫铝和钢板加固后, 墩顶位移下降, 并且桥墩所受冲击力也较未加固时有所降低, 从桥墩所受冲击力的降低效果和桥墩塑性变形等方面综合考虑, 外包缓冲层+钢板桥墩防撞性能最优, 综合考虑, 泡沫铝厚度为 20 cm 时防护效果较好。采用 SPH-FEM 耦合数值方法对桥墩受含大块石泥石流冲击的动力响应有很好的模拟效果。

关键词: SPH-FEM 耦合; 泥石流; 动力学行为; 数值计算; 桥墩

1 前言

泥石流是一种存在于世界各地山区沟谷中的自然灾害, 是由地震、暴雨等激发的特殊洪流。据对中国西南山区及甘肃地区 38 条泥石流灾害现场统计来看, 其中含有体积大于 2 m^3 的大块石的泥石流条数占比达 71.1%, 含有体积大于 6 m^3 的巨大块石的泥石流条数占比达 28.9%, 泥石流裹挟大块石是很普遍的现象。

与一般的泥沙流相比, 由于携带的块石具有巨大的冲击动能, 其冲击破坏力更强。桥梁是保障交通干线贯通的重要结构, 但是由于泥石流灾害的频繁发生, 其桥墩经常会被冲坏, 对山区的交通沿线造成了重大的影响, 严重威胁了人民的生命财产安全。

泥石流冲击桥墩过程中, 最关键的问题是泥石流动态冲击的评估, 它直接关系到桥墩的设计。泥石流动态冲击过程中, 浆体与大块石、浆体与桥墩、块石与桥墩之间存在相互耦合作用, 泥石流的冲击力主要由

[3] 周水兴. 钢管初应力对钢管混凝土拱桥承载力的影响研究[D]. 重庆大学博士学位论文, 2007.

[4] 曹志光. 初应力对钢管混凝土拱桥极限承载力的影响研究[D]. 中南大学硕士学位论文, 2010.

[5] 孙晋城. 考虑初应力的钢管混凝土桁式拱桥极限承载力计算方法研究[D]. 福州大学硕士学位论文, 2013.

[6] 黄红兵, 崔海兴, 王耀君, 等. 考虑初应力的大跨度钢管混凝土拱桥极限承载力计算方法研究[J]. 工程质量, 2011(8).

[7] 赵均海, 李艳, 梁文彪, 等. 考虑初应力的哑铃型钢管混凝土拱肋极限承载力统一解[J]. 中国公路学报, 2012(5).

[8] 于洪刚, 周水兴, 陈强, 等. 钢管初始应力对大跨径钢管混

凝土拱桥稳定承载力的影响[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2005(2).

[9] 解威威, 杨绿峰, 王建军, 等. 钢管混凝土桁式拱桥稳定承载力的参数分析[J]. 中外公路, 2018(6).

[10] 顾箭峰. 钢管混凝土拱桥灌注混凝土仿真分析研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2012.

[11] 吴何. 钢管混凝土拱肋混凝土灌注工序研究[D]. 西南交通大学硕士学位论文, 2017.

[12] 涂光亚, 朱帆, 阳弛. 大跨度钢管混凝土拱桥混凝土灌注工序分析[J]. 交通科学与工程, 2019(2).

[13] 陈卫华. 大跨度钢管混凝土拱桥施工优化分析[J]. 中外公路, 2017(5).