

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.05.017

引用格式:赵威,苏小超,孟庆峰,等.断索后斜拉桥拉索索力变化分析[J].公路与汽运,2024,40(5):100-102+123.

Citation: ZHAO Wei, SU Xiaochao, MENG Qingfeng, et al. Analysis of cable force change of cable-stayed bridge after cable breaking[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(5): 100-102+123.

断索后斜拉桥拉索索力变化分析

赵威¹, 苏小超², 孟庆峰³, 李亦桢¹

(1. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南长沙 410014; 2. 江苏现代路桥有限责任公司, 江苏南京 210016; 3. 湖南省水务规划设计院有限公司, 湖南长沙 410008)

摘要: 以某混凝土斜拉桥为研究对象, 利用 MIDAS/Civil 建立空间有限元数值模型, 通过删减拉索单元模拟典型断索工况, 分析断索对斜拉桥其他索力分布的影响。结果表明, 拉索损伤后, 同侧其他拉索索力变化明显, 内力向相邻拉索进行分配, 距损伤拉索越近的拉索, 其索力变化越大; 主梁跨中拉索断裂和端锚索断裂引起的索力增幅最大, 实际工程中应增大主跨跨中拉索和端锚索的应力储备。

关键词: 桥梁; 斜拉桥; 拉索断裂; 索力变化

中图分类号: U441.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)05-0100-03

混凝土斜拉桥在不利环境及外界荷载等因素作用下, 一些构件会出现不同程度损伤, 如拉索腐蚀、主梁开裂等, 结构性能退化规律较复杂。对结构进行安全评定时, 若对损伤考虑不足将产生误判, 带来重大安全隐患^[1]。因此, 开展拉索损伤工况下索力变化研究具有重要理论和工程意义。

文献[2]研究了不同位置拉索损伤对主梁线形的影响, 指出背索和跨中拉索损伤对主梁线形的影响最大, 短索损伤对桥梁整体线形的影响较小。文献[3]研究了不同长度、不同位置拉索损伤对全桥索力和结构内力的影响。文献[4]建立空间有限元模型, 分析了拉索损伤对斜拉桥挠度和索力的影响。文献[5]研究了拉索损伤后结构的动力响应。文献[6]提出了拉索腐蚀损伤下大跨度斜拉桥可靠性评估方法。现有研究主要分析拉索损伤对斜拉桥性能的影响, 对拉索断裂引起的索力变化的研究较少。本文以某服役混凝土斜拉桥为工程背景, 建立该桥空间有限元模型, 通过删减拉索单元模拟拉索断裂, 分析拉索断裂对斜拉桥索力分布的影响, 为斜拉桥服役性能评估和损伤识别提供参考。

1 数值模型与断索工况设计

1.1 工程背景

某服役斜拉桥为刚构体系双塔预应力混凝土斜

拉桥, 桥跨布置为 210 m + 420 m + 210 m, 采用塔墩梁固结形式。主梁为预应力混凝土纵肋式连续梁, 顶面全宽 30 m, 标准截面梁高 3 m, 标准节段长 6 m。索塔为 H 形塔, 高 146.3 m。斜拉索采用扇形双索面布置, 梁上索距为 6 m, 每个索塔设置 34 对斜拉索。桥型布置见图 1。

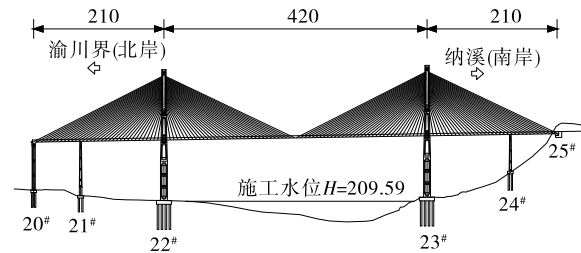


图 1 某斜拉桥桥型布置示意图(单位:m)

利用 MIDAS/Civil 建立该桥空间有限元模型(见图 2), 对断索工况下桥梁静力进行分析。主梁和墩塔采用梁单元模拟, 斜拉索采用仅受拉索单元模拟。主梁采用 C60 混凝土, 弹性模量和剪切模量分别为 3.46×10^4 MPa、 1.33×10^4 MPa, 泊松比

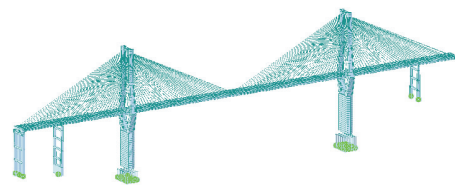


图 2 某斜拉桥有限元模型

为0.3。斜拉索采用高强钢丝,弹性模量和剪切模量分别为 2×10^5 MPa、 7.69×10^4 MPa,泊松比为 0.3。

1.2 断索工况设计

该桥共 136 对斜拉索。由于结构呈对称布置,为简化计算,取一半对称结构进行分析。拉索编号见图 3,编号规则为 BKN、ZKN,如边跨拉索 28 编号为 BK28,中跨拉索 18 编号为 ZK18。设置一对斜拉索同时断裂进行断索工况有限元数值模拟。参考已有工程的拉索实际服役受力状态^[7],选取跨中位置拉索(BK12、BK28、ZK34)、端部位置拉索(BK34)断裂 4 种典型断索工况进行分析。

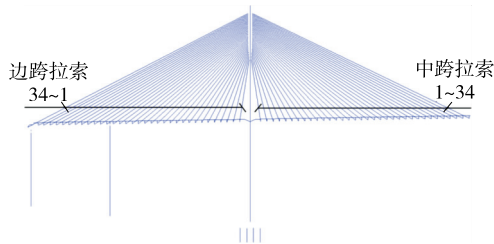


图 3 斜拉桥一半对称结构的拉索编号

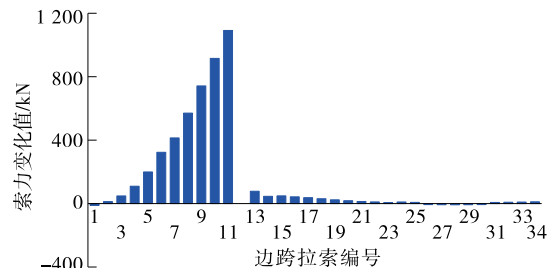
2 断索工况下斜拉桥索力变化分析

为模拟拉索断裂对该桥索力的影响,按顺序依次删减 BK12、BK28、BK34、ZK34 索单元,在进行下一组断索前,将前一组拉索进行单元恢复和索力恢复。

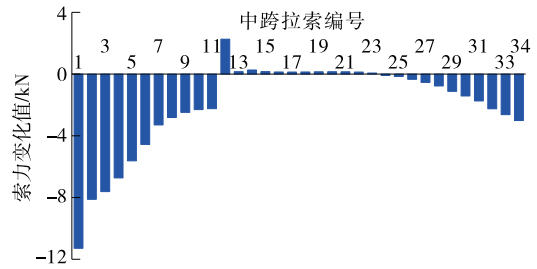
2.1 跨中断索工况下斜拉桥索力变化

边跨跨中拉索 BK12 断裂时,拉索 BK12 的索力为零,边跨其他拉索的索力变化见图 4(a),中跨拉索的索力变化见图 4(b)。由图 4 可知:1) 拉索 BK12 断裂后,将对先于其施工的拉索和其附近的拉索产生影响,先于其施工的拉索和其附近拉索的索力增加,且索力增加幅度较大,拉索 BK11 和 BK10 的索力分别增加 1 098.3 kN、951.2 kN。2) 拉索 BK12 断裂后,与其对应的中跨拉索 ZK12 索力增加。由于边跨 BK1~BK11 拉索的索力明显增加,中跨 ZK1~ZK11 拉索的索力一定程度减小,但变化幅度相对于边跨拉索而言不大,可忽略不计。分析其原因,混凝土桥塔刚度较大,边跨拉索的索力变化已由桥塔承担,因而中跨索力变化较小。

辅助墩和边墩跨度内跨中拉索 BK28 断裂时,边跨其他拉索的索力变化见图 5(a),中跨拉索的索力变化见图 5(b)。由图 5 可知:1) 拉索 BK28 断裂对先于其施工的拉索索力影响明显,且其附近拉索的索力明显增大,如拉索 BK27 的索力增加



(a) 边跨拉索索力变化

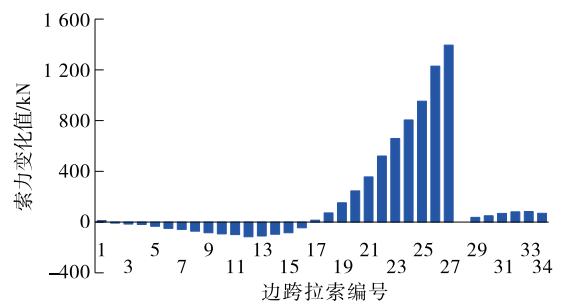


(b) 中跨拉索索力变化

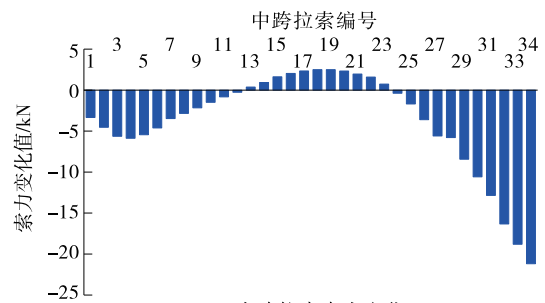
索力变化值为断索工况索力值与正常工况索力值的差值,下同

图 4 跨中拉索 BK12 断裂时其他拉索的索力变化

1 394.8 kN。由于斜拉桥是由主塔、拉索与主梁组成的超静定结构,在部分拉索索力发生突变时,会对结构内力进行重分配,使整体达到新的平衡,这会进一步导致主塔至边跨跨中区域的拉索索力不同程度减小。2) 拉索 BK28 断裂对主跨跨中区域拉索索力有一定影响,如 ZK34 的索力变化值为 -21.2 kN。主要是由于此时边跨端锚索索力增加,使主跨的跨中拉索索力减小。整体而言,拉索 BK28 断裂对中跨拉索索力的影响较小。



(a) 边跨拉索索力变化



(b) 中跨拉索索力变化

图 5 跨中拉索 BK28 断裂时其他拉索的索力变化

中跨跨中拉索 ZK34 断裂时,中跨其他拉索的索力变化见图 6(a),边跨拉索的索力变化见图 6(b)。由图 6 可知:1) 拉索 ZK34 断裂使其附近拉索的索力明显增大,距离其越近,索力增加越大,如拉索 ZK33 的索力增加 1 957.1 kN。2) 拉索 ZK34 断裂对边跨拉索的影响也较明显,由于中跨跨中位置处拉索断裂,附近拉索的索力大幅度增加,靠近端锚索附近的拉索索力减小。

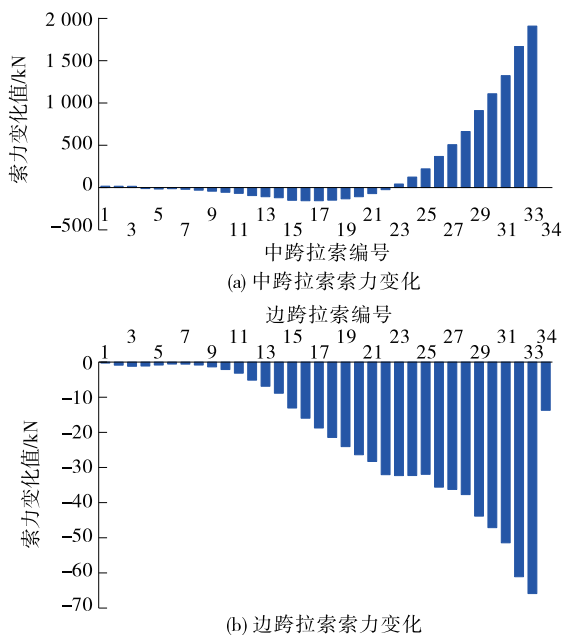


图 6 跨中拉索 ZK34 断裂时其他拉索的索力变化

对比斜拉桥跨中断索工况,主跨跨中断索引起的拉索索力增幅最大,最大达 1 957.1 kN,分别为拉索 BK12、拉索 BK28 断裂所引起最大索力增幅的 1.8 倍、1.4 倍。因此,实际工程中应加大主跨跨中拉索的应力储备。

2.2 端锚索断裂工况下斜拉桥索力变化

边跨端锚索 BK34 断裂时,边跨其他拉索的索力变化见图 7(a),中跨拉索的索力变化见图 7(b)。由图 7 可知:1) 端锚索 BK34 断裂使其附近拉索的索力明显增大,距离其越近,索力增幅越大,如 BK33 的索力增幅达 1 405.1 kN,而 BK21 的索力增幅仅 35.2 kN。此外,端锚索附近拉索索力激增,导致边跨跨中区域拉索的索力减小,边跨靠近主塔处拉索的索力增加,相比其他断索工况,该工况引起的其他索力增幅较大,最大达 102.4 kN。这主要是因为端锚索断裂时,边跨拉索索力发生内力重分布。2) 端锚索 BK34 断裂对中跨靠近主塔处拉索索力的影响明显,这是由于边跨靠近主塔处拉索的索力

增加,使中跨对应位置处拉索的索力减小。

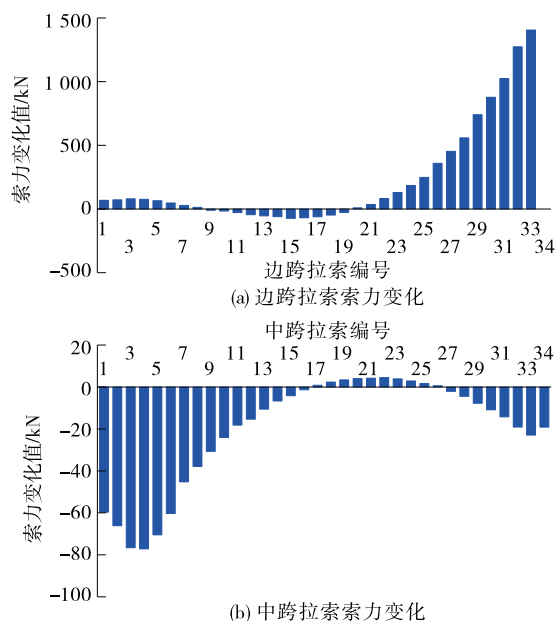


图 7 端锚索 BK34 断裂时其他拉索的索力变化

3 结论

本文建立某混凝土斜拉桥空间有限元分析模型,对典型拉索断裂工况下其他拉索的索力分布进行分析。主要结论如下:

- (1) 拉索断裂时,内力迅速向相邻拉索进行分配,距损伤拉索越近的拉索,其索力变化越大;拉索断裂对先于断裂拉索施工的附近拉索的影响更大。
- (2) 拉索断裂时,由于斜拉桥结构内力重分布,对同侧拉索的影响效应远大于异侧拉索。
- (3) 主跨跨中拉索和端锚索断裂对斜拉桥其他拉索索力的影响最大,实际工程中应加大对主跨跨中拉索和端锚索的应力储备。

参考文献:

- [1] 杨鸥,李惠,欧进萍.钢筋混凝土斜拉桥寿命期内整体极限承载力分析[J].土木工程学报,2012,45(3):116-126.
- [2] 陶俊杰,王慧平,付兆茜.斜拉桥拉索损伤对主梁线形的影响分析[J].中外公路,2019,39(6):90-93.
- [3] 邢心魁,刘顺,覃荷瑛,等.拉索损伤下的斜拉桥状态分析和损伤识别[J].科学技术与工程,2021,21(5):2055-2060.
- [4] 张可心,孙全胜.拉索损伤对斜拉桥静力性能影响分析[J].公路工程,2016,41(3):35-39.

(下转第 123 页)