

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.07.038

大跨度混凝土斜拉桥拆除过程的施工监控

彭玮¹, 范昭¹, 陈晋², 杨允表³, 董书鸣³

(1.上海城投航道建设有限公司, 上海市 200441; 2.上海市基础工程集团有限公司, 上海市 200433;

3.上海科路土木工程咨询有限公司, 上海市 200433)

摘要: 可供大跨度混凝土斜拉桥拆除施工参考的工程实例不多, 其拆除过程的施工监控对整个拆除施工起到重要的指导作用。以上海市泖港大桥老桥中跨 200 m 的混凝土斜拉桥为工程实例, 讨论了老桥拆除施工监控的原则, 介绍了施工监控结构分析的主要思路与内容, 设计了满足拆桥监控需要的现场监测系统。在老桥拆除过程中, 通过斜拉索索力、主塔偏位、主梁位移这些主要控制参数理论值与实测值的比较以及关注主塔与主梁关键截面应力的变化, 对拆桥过程的结构安全风险进行了有效的控制, 确保了老桥的顺利拆除。

关键词: 大跨度混凝土斜拉桥; 老桥拆除; 监控原则; 位移与应力测点布置; 自动化实时监测系统

中图分类号: U448.27

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)07-0140-04

1 工程概况

泖港大桥老桥位于松江区泖港镇叶新公路, 跨越大泖港, 为双塔双索面预应力混凝土斜拉桥。主桥全长 370 m, 跨径布置为 85 m+200 m+85 m, 在每个边跨 1/3 及 2/3 处各设一锚固墩, 桥面宽 12 m, 其中行车道 7 m, 人行道各 2.5 m。泖港大桥老桥立面如图 1 所示。

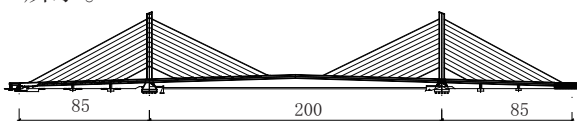


图 1 泖港大桥老桥立面图(单位:m)

大桥桥面结构由分离式双箱梁及 π 形车道板组成, 桥面除主墩墩顶 40 m 范围与桥台顶端 17 m 为现浇混凝土外, 其他为预制安装后浇接头形式。桥面横向分三块预制构件—两只边箱梁及一块带横梁纵肋的车道板; 每只边箱梁高 2.2 m, 顶宽 2.51 m, 底宽 1.9 m, 长度 5.9 m, 附带横梁及斜拉索锚梁, 重量为 30~36 t 不等, 全桥共计 72 件; 车道板长 5.9 m, 高 1.64 m, 宽 4.9 m, 每件重 23 t, 全桥共计 36 块。

大桥主塔为双柱钢筋混凝土直塔, 纵向直柱形, 横向带交叉腹杆的双柱式刚架, 柱中心距 8.7 m, 柱高中心部设置十字交叉形抗风腹杆 4 道。桥面以上塔高 44 m, 离地面 52 m 高, 主塔外包尺寸 3.4 m \times 1.2 m。斜拉索为竖琴式密索布置, 塔柱前后设置 11

组斜拉索, 全桥共 164 根斜拉索, 由 $\Phi 5$ 高强钢丝(光面)经手工编制而成的平行钢丝绳, 水平索距 6.5 m, 垂直为 3.25 m。拉索两端分别配装固定端锚和张拉端锚, 锚具为冷铸镦头锚, 梁内锚固, 塔端张拉。

该桥于 1982 年 6 月竣工通车, 是上海第一座斜拉桥, 也是当时上海跨径最大的桥梁。经过近四十年的风雨历程, 车辆超载等原因导致桥梁结构劣化, 老桥的通行能力已不满足日益增长的交通需求, 加之泖港航道等级提升, 老桥的通航净空不能满足航道整治提升后的通航净空需求。经多次论证后, 决定将老桥拆除重建。

2 老桥拆除监控原则的确定

在泖港大桥老桥将近四十年的运营期间, 经历过车辆撞击斜拉索、船舶撞击主梁以及车辆超载等各种损伤, 结构的强度与刚度等都有不同程度的弱化, 虽然老桥拆除原则上是按照桥梁建造的逆顺序进行^[1], 但拆除过程面临很多不确定因素, 如何确保拆除全过程中结构体系、机械设备和人员的安全是施工监控的目标。

与新建桥梁不同, 施工监控除了要确保结构在施工过程中的安全外, 还需要确保每一施工步骤中结构的内力、变形及索力与设计预期一致, 这样才能保证大桥成桥时的标高和索力满足设计要求。而拆桥因无运营要求, 其拆除过程的监控主要还是以预警为核心来建立安全体系。为此, 根据以建桥逆序进行拆桥为原则而拟定的施工方案进行施工监控的前期结构分

收稿日期: 2021-10-08

作者简介: 彭玮(1979—), 男, 本科, 高级工程师, 从事工程项目施工及技术管理工作。

析,特别关注正序施工时未出现过的施工工况,根据分析结果优化施工方案,并参考类似桥梁的监控经验^[2-3],结合老桥近期的检测情况^[4-5],明确拆桥过程的关键控制参数。在拆桥实施过程中,通过现场监测系统针对关键控制参数所采集的数据进行分析并与理论预测值进行比较,以保证整个拆桥施工过程的安全。

根据前期的监控结构分析并经过多次技术讨论与技术评审,确定了以下老桥拆除监控的原则:

(1)老桥拆除施工原则上按建桥时的施工顺序逆向进行;

(2)以主梁及塔顶位移控制为主,拉索索力及塔梁应力控制为辅;

(3)每个主塔两侧拉索索力在拆除过程中尽量保持对称;

(4)因老桥结构现状情况与理论分析可能存在较大的差别,针对每个拆桥工况特别是关键工况,应加强理论分析结果与实际结构变化情况(例如每个工况前后主梁、主塔的位移变化量)的对比,如果两者差别较大,应及时进行分析以判断是否需要调整局部施工方案;

(5)拆桥过程中应避免瞬时冲击荷载对未拆除部分结构造成的影响。

3 施工监控的计算分析

柳港大桥老桥为主跨 200 m 双塔双索面预应力混凝土斜拉桥,结构体系为塔梁固结,墩梁铰接,单悬臂加吊梁的竖琴式混凝土斜拉桥,在恒载下结构为三孔外部静定的悬臂梁,活载作用下为七孔超静定的连续悬臂梁。老桥结构的计算分析采用大型结构分析软件 Midas Civil 建立三维空间模型,其中塔柱与主梁采用梁单元,拉索采用索单位,计算模型如图 2 所示。

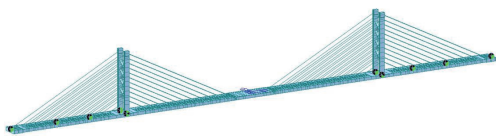


图 2 柳港大桥老桥的计算模型

由于老桥是 20 世纪 70 年代设计,结构设计非常精细而经济,考虑的施工步骤繁多,老桥结构的监控计算分析非常复杂,需要考虑的问题很多,由于文章的篇幅有限,下面简要地介绍一下计算分析的主要思路与内容:

(1)首先需要确定老桥拆除前的结构状态。在建

立计算模型时考虑老桥建桥时候的主要施工阶段,调整斜拉索索力使之与其竣工图里的设计索力基本一致,考虑收缩徐变效应,得到运营期间结构的自振频率、索力、主梁位移与检测报告的结果^[4-5]进行对比,根据对比结果,对模型中的成桥索力进行微调,得到一个相对合理的老桥拆除前的结构基准状态。

(2)根据以建桥逆序进行拆桥为原则而拟定的拆桥施工流程^[1],建立拆桥施工阶段的模型。

(3)利用计算模型,详细分析拆桥过程的施工荷载效应(主梁节段切割时浮吊提升力大小的优化)、斜拉索切割顺序以及节段切割长度的优化等,确保过程结构稳定性与主梁、主塔以及拉索索力承载力满足要求,主塔偏位与主梁位移的变化在正常范围之内。

(4)根据最终的拆桥流程修正模型,提取每个施工阶段的索力、主梁位移与主塔偏移的变化值作为预测值,与施工过程现场监测的实测值进行比较,如果两者相差太大而影响到结构与施工的安全,则进行施工流程的局部调整。

4 现场监测系统的设计

现场监测系统的设计是老桥拆除施工监控的重要一环,主要包括主梁竖向变形监测、主塔偏位监测、斜拉索索力监测、结构应力监测以及自动化监测系统。

4.1 主梁竖向变形与主塔偏位监测

主梁竖向变形监测主要是监控拆桥过程中各阶段变形的合理性,避免拆除过程中受力的不对称。主梁竖向变形监测主要分为常规监测与实时监测,常规监测采用电子水准仪人工测量,每拆除一个节段就对余下节段进行测量。实时监测采用高精度静力水准仪,实现 24 h 连续监测,有异常变形情况及时预警。

主梁共设置 44 个常规挠度监测断面,每对索布置一个监测断面,每个断面横向布置 2 个测点,分别位于桥面拉索点位置,横向主要监测桥面扭转情况;同时,在每个主塔与主梁相交处布置一套高精度自动监测静力水准仪,每套 2 个,位于塔根部的为参考基点,全桥共布置两套,共 4 个静力水准仪。

主塔在每个斜拉索锚固位置设置 1 个偏位监测测点,每塔共设置 11 个断面,贴反光片,全桥共布置 44 个反光片监测断面。为方便塔拆除,在塔上 5 号索位置布置测斜仪,每塔布置 1 个监测点,全桥共布置

2个测斜仪塔偏位监测测点。其中反光片测点采用人工测量,监测每个节段拆除后塔的偏位情况。塔上测斜仪采用自动化实时监测系统,24 h监测塔偏位情况,出现异常时随时报警。

主梁挠度静力水准仪监测测点与主塔测斜仪布置如图3所示。

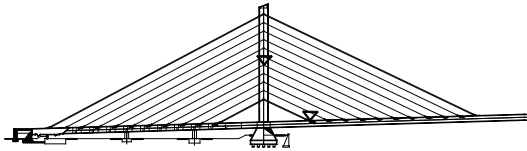


图3 老桥结构位移测点布置示意图

4.2 斜拉索索力监测

斜拉桥索力监测是评估在拆除各节段过程中对余下节段影响的重要指标。本桥对索力测试采用频率法。

全桥共拉索82对(164根),视情况进行测量。具体测量步骤为:在老桥拆除前,先全桥索力测一遍,在每个节段拆除后对余下的索索力进行测量,评估索力变化的合理性,直至全部拉索节段拆除。

4.3 结构应力监测

为了确保大桥在拆除施工过程中的结构安全,及时掌握结构关键截面的受力状态,在主梁和塔的多个断面处安装应变传感器,以测量结构内部的应变(应力)变化值。拆除施工过程中监测截面的关键点位采用表面振弦式应变计,并接入自动采集系统,实现实时监测与及时预警。

因是拆除施工,应力监测点的布置一方面要准确、可靠,另一方面要保证不对施工造成影响。所以老桥主塔应力监测点仅在塔与梁相交的断面进行布置,主梁应力测点布置于中跨靠近塔处的梁变截面位置。全桥共布置4个断面,主梁2个断面,每断面布置4个测点,主塔2个断面,每个断面布置4个测点,共16个测点,具体布置如图4所示。

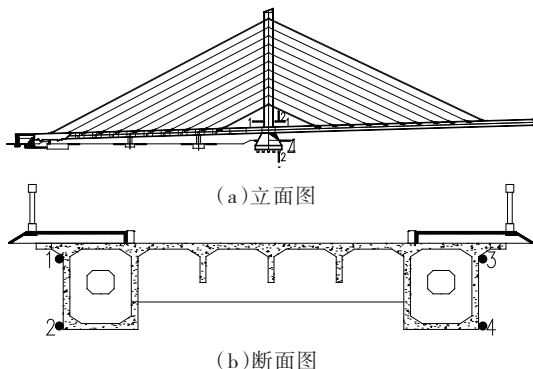


图4 老桥结构位移测点布置示意图

此外,由于温度对结构内力的影响较为显著,需要在结构内埋设温度测点进行结构内温度场测试,

确定温度测点布置与应力测点布置相同,在同一位置上直接利用温度型应变计的温度读数。

4.4 自动化监测系统

自动监测系统在施工监控中已有应用^[6],通过在结构中预埋测试元件,与采集及传输设备形成系统,全天24 h对结构进行应力及位移的自动测量及监控,形成实测数据库。通过实测数据库测量数据与结构计算模型分析数据的对比分析,验证结构设计及施工方法的有效性。

系统主要是采集系统、传输系统和接收系统组成。现场应变、位移测试仪器通过有线的方式接入现场自动采集机箱,自动采集机箱通过无线的方式将数据传至数据存储及分析服务器。

5 监测数据分析及结论

在老桥拆除过程中,理论分析给出预测值,现场监测系统提供实测值,每个拆桥步骤特别是关键步骤结束后,如果两者基本吻合,则理论模拟与实际结构相近,可进行下一步的拆桥步骤,反之,需要仔细分析原因并且评估之后的拆除工序是否对未拆除结构的安全造成较大的风险,给出是否需要修正之后的拆除工序,等确保理论分析结果表明结构是安全后,才能进行下一拆桥步骤的施工。

老桥中间挂孔为30 m T梁,重约360 t,是整个拆桥过程的第一步,也是关键的步骤之一。中间跨孔拆除后,主梁跨中悬臂端发生向上的位移,主塔塔顶发生向岸侧的偏位,其实测值与理论预测值的对比如表1所示。

表1 中间跨孔拆除后结构的位移对比 单位:mm

项目	东侧实测	西侧实测	理论值
主梁位移	326.0	332.5	366.0
主塔偏位	8.5	9.6	7.9

从表1的数据对比可以看出,中间挂孔拆除这一关键工况下,老桥的理论预测值与实测值非常接近,说明老桥结构还保持良好的弹性工作状态。由于老桥拆除过程中的监测数据较多^[7],文中不能一一列举,给出以下一些总结性的分析结果与结论:

(1)根据应力实时监测数据分析得到,在未进行切索与吊梁施工时,大多数位置测点应力与温度之间相关度较高,在不受荷载变化的情况下,应力基本上是随温度呈规律变化。拆桥施工过程中应力变化比较明显的部位分别是主塔河跨侧与主梁下缘,特别是挂孔梁拆除后应力变化比较明显,后续施工过

程中应力变化有所减小。总的来说,主梁应力变化略小于其理论值,主塔应力变化略大于其理论值,拆桥过程中主塔与主梁应力变化正常。

(2)根据主塔偏位实时监测数据分析得到,挂孔梁拆除后对塔偏位有比较明显的影响,主塔5#索位置顺桥向位移主要在-40 mm与40 mm之间变化,此工况下理论值为44 mm,实测值与理论值较接近。在切索与切梁过程中,塔偏位随着河跨侧荷载减小,塔偏位慢慢恢复。后继节段拆除施工中,主塔偏位数据呈规律性变化且变化正常,无异常情况发生。

(3)从主梁静力挠度(桥面竖向位移)实时监测数据分析得到,大多数时间段,主梁挠度变化与相应温度变化相关度较高,在拆桥工况变化时,数值变化比较明显,实测值与理论值比较接近,主梁位移变化正常。

(4)从索力的测试数据分析得到,各工况下,索力变化值与理论计算值基本接近,最大差值在200 kN左右,相对拆桥工况来说,索力差在控制范围内。

所以,老桥在拆除过程中各项数据变化正常。

6 结 语

在柳港大桥老桥拆除过程中,施工监控单位根

据制定的监控方案对老桥结构进行了监测,在拆除施工过程中采集了大量的数据并对数据进行了有效的分析,这些监测数据与分析结果在拆桥过程中起到了重要的作用。

柳港大桥老桥已成功拆除完毕,拆除过程中所积累的工程经验可为其他类似项目所借鉴。

参考文献:

- [1] 上海建工集团股份有限公司. 平申线航道(上海段)整治工程(叶新公路柳港大桥)老桥拆除施工专项方案[R]. 上海:上海建工集团股份有限公司, 2020.
- [2] 朱慈祥, 刘昂, 易小峰, 等. 通航条件下非对称组合结构斜拉桥拆除技术[C]//中国公路学会养护与管理分会第八届学术年会, 厦门, 2018.
- [3] 贾建国. 秦东上联线转体斜拉桥拆除中内力控制[J]. 山西建筑, 2011, 37(20):178-180.
- [4] 上海市公路工程质量检测中心. 松江区柳港大桥检测桥梁检测报告[R]. 上海:上海市公路工程质量检测中心, 2012.
- [5] 上海市建筑科学研究院. 柳港大桥检测与评估报告[R]. 上海:上海市建筑科学研究院, 2013.
- [6] 袁明军. 大跨度V形刚构桥实时监测系统设计及实施[J]. 中国市政工程, 2014, 173(3):17-19.
- [7] 上海科路土木工程咨询有限公司. 平申线航道(上海段)整治工程(叶新公路柳港大桥)老桥拆除施工监控报告[R]. 上海:上海科路土木工程咨询有限公司, 2020.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyf.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com