

连续刚构桥箱梁多工法混合快速拆除技术

钟雨村¹, 董春光²

(1. 重庆交通大学, 重庆 400074; 2. 保利长大工程有限公司, 广东 广州 510100)

摘要: 莞佛太平大桥主桥为四跨预应力混凝土连续刚构桥, 已经过多年的运营。针对承载力下降、继续对梁体加固难以满足超重车辆不断增多的现实需求, 决定拆除重建; 综合多方面比较, 采用“上部结构更换, 下部结构加固利用”的方案。两幅连续刚构桥箱梁的拆除施工快速、经济、环保, 施工过程结构应力和应变与理论计算比较均在合理的误差范围, 可为今后同类桥型的箱梁拆除提供经验参考与技术依据。

关键词: 连续刚构桥; 预应力混凝土箱梁; 快速拆除技术

中图分类号: U448.23

文献标识码: A

Rapid Demolition Technology of Continuous Rigid Frame Bridge Box Girders Using Mixed Construction Methods

ZHONG Yucun¹, DONG Chunguang²

(1. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Poly Changda Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510100, Guangdong, China)

Abstract: The major bridge of Guangong-Foshan Taiping Bridge is a four-span prestressed concrete continuous rigid frame bridge. After years of operation, the carrying capacity has decreased, and it is difficult to strengthen the beam body to meet the increasing number of overweight vehicles, so it is decided to demolish and rebuild it. By comparing various aspects, the method of “replacing the superstructure and strengthening the substructure” is adopted. The demolition of two continuous rigid frame bridge box beams is not only fast, economical and environmentally friendly, but also the structural stress and strain in the demolition process are within a reasonable range compared with the theoretical calculation, which provides an empirical reference and technical basis for the demolition of box beams of similar bridge type in the future.

Key words: continuous rigid frame bridge; prestressed concrete box beam; rapid demolition technology

莞佛太平大桥连续刚构桥旧桥运营多年后, 承载能力下降、结构病害较为严重, 运营期间也对梁体进行了反复加固, 仍无法满足安全通行要求。主要是早期的设计荷载偏低, 对预应力混凝土主拉应力、材料收缩徐变等认识不足, 预应力施工张拉龄期太短等先天性存在的问题, 导致继续对梁体维修加固意义不大, 须拆除重建。对于超负荷运营多年、跨径超过百米的大跨度连续刚构桥, 其健康状况比较复杂, 拆除过程存在较大风险, 施工技术要求高, 选择合理拆除方法是关

键。拆除过程须进行全面安全监控, 确保全过程安全。国内外桥梁拆除方法主要有爆破拆除法、机械破碎法与静力切割法。爆破拆除速度最快, 但对环境影响大且作业风险较高; 机械破碎法工艺简单, 但噪声较大且须封闭桥下空间; 静力切割法则具有振动噪声小、安全文明施工可控的优势。静力切割法的工艺技术还有待继续完善, 对于主跨径超过百米的连续刚构桥, 其方法、工艺和理论等还在探索研究阶段。

在旧桥拆除方面已有很多工程实践与研究成

收稿日期: 2024-07-31

作者简介: 钟雨村, 助理工程师, 硕士, 研究方向为钢混组合梁桥

果。例如福建绕城高速青口互通旧桥拆除和重建; 上跨甬台温高速公路的甬台温高速复线南塘至黄华段万岙分离桥旧桥采用专用临时支架小节段静力切割进行拆除^[1]; 周凌宇等^[2]对某预应力混凝土连续箱梁桥部分节段进行拆除, 放张已有预应力钢束并在重建后采用原设计张拉控制应力进行张拉, 重建后的梁体挠度与混凝土应力回归设计状态; 张志军等^[3]采用以静力切割、移动式模板台车和 BIM 技术为核心的新型绿色静力切割技术对沙黄花国际机场航站楼前 T1、T2 高架桥进行拆除; 徐志鹏等^[4]对预应力混凝土连续箱梁桥拆除方法及其结构开展分析研究; 原横坪公路上跨惠盐高速桥梁采用“门洞+支架”的方案进行拆除^[5]; 王广群等^[6]采用金刚石圆盘锯切割与镐头机破除的方法对多股道繁忙干线铁路下既有连续箱涵进行拆除; 谢均胜等^[7]开展带挂梁的 T 型刚构桥在拆除过程中受力特征分析。

1 工程概述

东莞太平大桥于 1997 年建成通车, 运营已有 20 余年。主桥为四跨预应力混凝土连续刚构桥, 跨径布置 (59+2×106+59) m, 检测发现

箱梁开裂严重、跨中挠度大、横向预应力锚头锈蚀等病害, 历经两次加固但病害仍在发展。由于路线运营繁忙且结构规模大, 采用“上部结构更换, 下部结构加固利用”维修设计方案, “桥面吊机+大节段吊装”施工方案; 拆除重建前的情况如图 1 所示。



图 1 太平大桥主桥拆除重建前

2 旧桥拆除总体方案

上部结构箱梁采用单箱单室变截面、三向预应力混凝土结构, 箱梁底下缘及底板上缘均采用二次抛物线变化, 箱梁截面如图 2 所示。施工时采用逐段对称平衡悬浇法, 图 3 为主桥箱梁分段示意图。

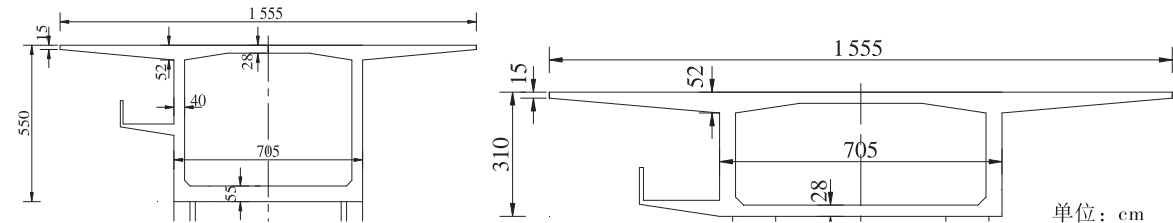


图 2 太平大桥主桥箱梁截面图

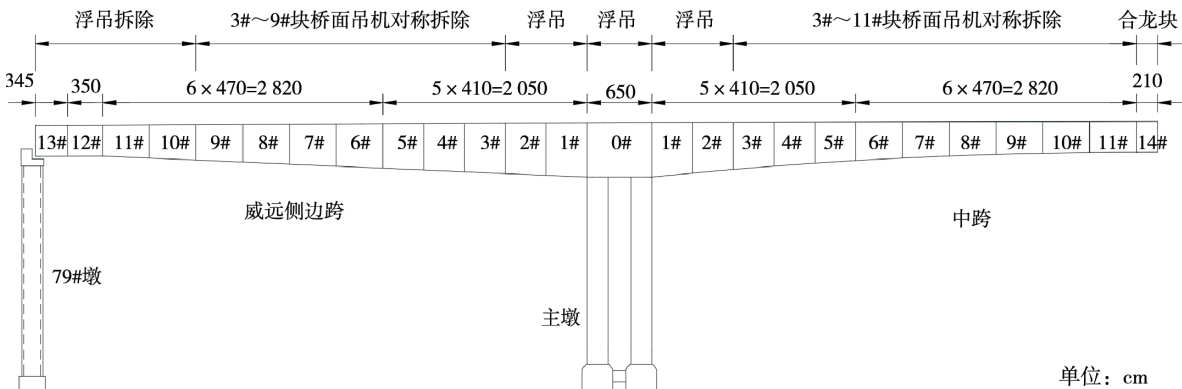


图 3 太平大桥主桥箱梁分段图

旧梁拆除前须进行交通组织导改, 将原有东行交通转换至西行双向 4 车道通行, 待东行施工完毕后, 将西行交通安全疏导至东行通行, 再进行西行旧梁拆除。为实现体系转换后结构稳定,

搭设墩旁临时支架、边跨现浇段支架。采用金刚石链式切割机切断箱梁, 跨中梁段用桥面吊机、墩顶梁段根据地质环境使用浮吊或汽车吊, 将箱梁吊运至平驳船或平板车上后送到混凝土梁破碎

堆料场处理。

3 箱梁拆除流程及关键工艺技术

3.1 箱梁拆除流程

采用桥面吊机切割下放两个中跨合龙段，放至水面驳船运离，同样方法拆除边跨合龙段；按照旧桥梁段悬臂施工时的分段对称切割下放梁段，威远侧边跨、中跨及太平侧中跨旧梁段放至

水面驳船运离；太平侧边跨旧梁段直接下放至地面，进一步切割后，采用平板车运离。拆除顺序及方法如图4所示。

桥面吊机拟采用浮吊整体吊离至驳船，转运回后场；主墩墩顶及支架上剩余墩顶梁段中0#块分3次吊离、过渡墩支架上现浇段采用浮吊拆除吊离，梁段吊放至驳船运至破碎场处理；支架上现浇段拟采用汽车吊分小块切割拆除（见图5）。

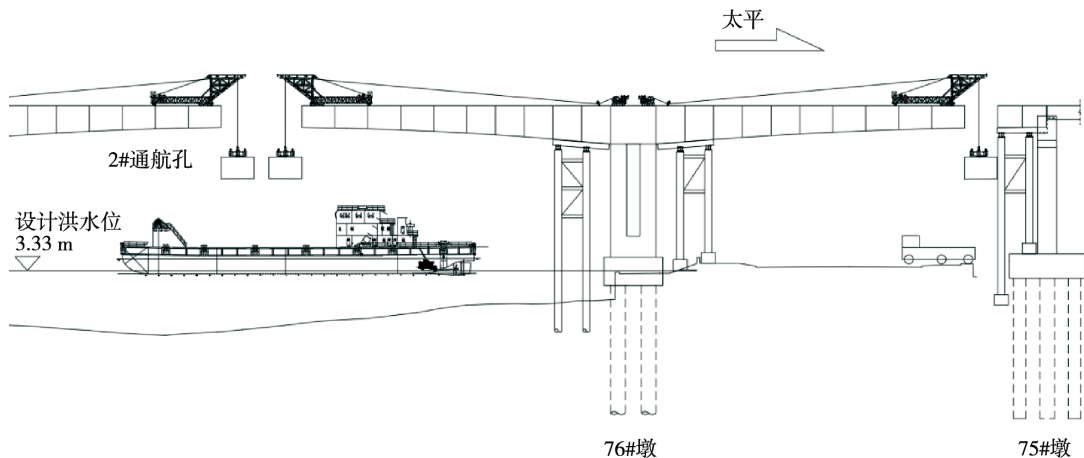


图4 合龙段、标准梁段拆除流程示意图

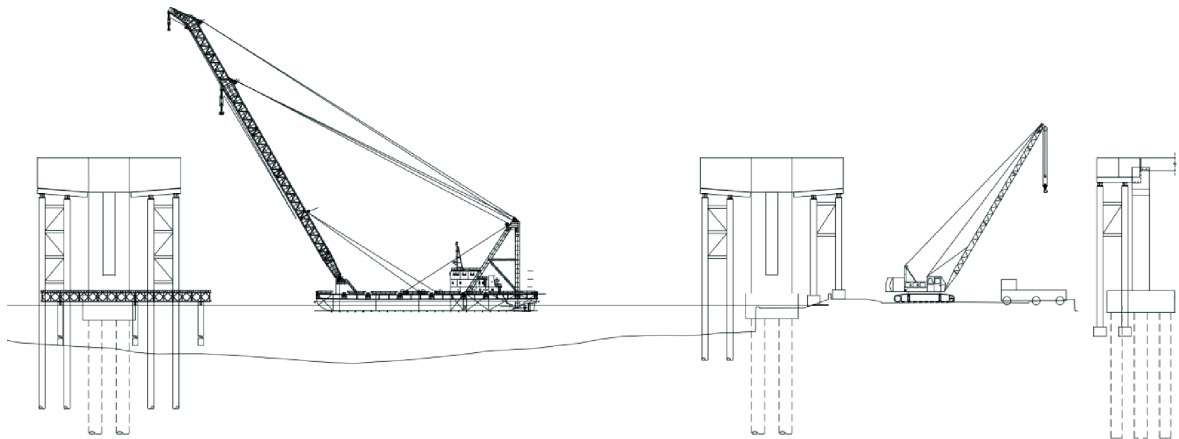


图5 边跨现浇段、墩顶段拆除示意图

3.2 梁段总体拆除顺序

旧桥拆除施工流程如图6所示。拆梁总体顺序为先拆除东行线梁段，后拆除西行线梁段。单幅梁段拆除顺序（见图7）为先拆除中跨2个合龙段，再采用桥面吊机对称拆除3#~11#旧梁段，最后采用浮吊拆除吊离墩顶梁段，完成旧梁拆除施工。

在连续刚构拆除施工过程中，合龙段拆除由连续刚构体系转为T型结构之后，随着T构的主梁悬臂长度不断减小，理论上认为T构悬臂段的自重会不断减小，相应梁端的体内预应力作用无

法完全解除，箱梁顶板的压应力和底板的拉应力都逐渐增大，会产生较大的结构安全隐患，因此在上部结构拆除过程中，应密切关注主梁顶、底板的应力变化。但实际拆除过程中墩顶上下缘的混凝土应力并未发生很大的变化，故在T构拆除过程中，预应力筋随着长度的减少，对箱梁混凝土产生的压应力也在逐步解除。

在梁段切割前，根据放线钻孔对梁截面厚度进行复核，复核梁段重量，确保吊装荷载在桥面吊机设备容许荷载范围内。

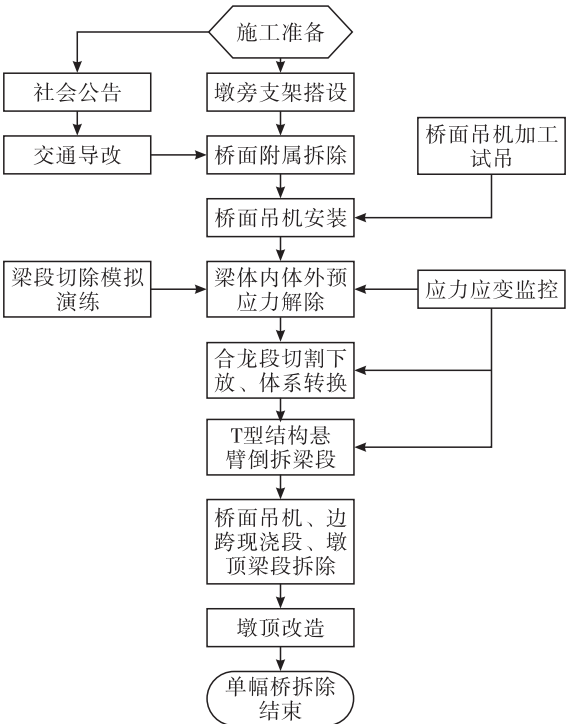


图6 箱梁拆除施工流程图

3.3 桥面吊机拆除工艺

3.3.1 合龙段拆除

中跨和边跨各有2个合龙段，先解除中跨合龙段，再解除边跨合龙缝。为防止两合龙段同时切断导致主梁变形过大，选择太平侧合龙段作为首开段先行切割，保证两侧合龙段不同时断开。两个边跨合龙缝在中跨合龙段切割完成后即可拆除。如边跨合龙缝位置两侧不对称，先拆除部分中跨部分梁段，T型结构两侧对称时再解除对应的边跨合龙缝，以保证T构受力平衡。墩旁支架搭设完成后，在主墩墩旁支架上采用千斤顶进行预顶，在一定程度上缓解合龙段切割后体系转换的影响。合龙段两端切成等腰梯形口，倾斜角5°，方便梁段下放（见图8）。

打开中跨合龙口是拆桥过程中的关键工况，中跨合龙段打开后，纵向、竖向约束释放，合龙段内力转换为外力施加到悬臂梁端上。体系发生转换，结构内力重新分布，墩顶的负弯矩水平增加。经过有限元分析，结构变形相对较大，主梁

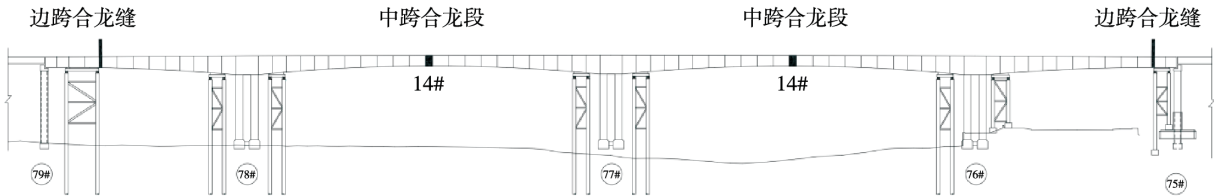


图7 梁段拆除顺序图

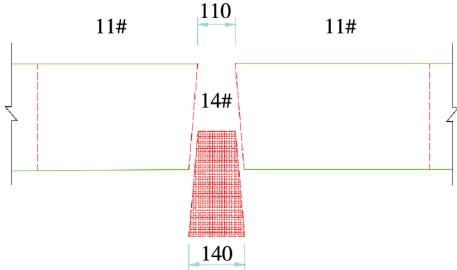


图8 合龙段等腰梯形切割

最大竖向位移为12.2 cm，主墩最大横向位移为5 mm，位移、应力均在允许范围内。在切割之前采用缓冲装置将合龙段与其两端的11#梁段临时连接，分担合龙段下坠产生的冲击作业，保护桥面吊机。单个合龙段设置2个缓冲装置，设置在梁段顶面腹板位置骨架主梁采用2I45b工字钢。合龙段与悬臂段分离瞬间会产生较大的冲击力，不利于结构稳定，在下放过程中，应同步调整钢丝绳提吊力，力值控制在梁段重量的80%。中跨合龙段切除后，太平侧边跨11#块与12#块切断联

系，解除边跨合龙状态。威远侧边跨待切除9#块前解除合龙状态。

3.3.2 标准段拆除

标准段拆除主要分为3个主墩T构进行拆除。拆除时应配备好对讲机，注意每个T构两端下放的同步性和3个T构下放的同步性，原则上相差不得超过一个节段。T构标准节段使用桥面吊机进行依次对称拆除，梁段切割采用金刚石链式切割机。每块梁段应前置50 cm切割，切割前使用取芯机提前在相应位置开孔，错开当前梁段的预应力锚头位置。梁段间切口采用3台切割机切割，如图9所示。切割前须检查好设备、人员情况，切割过程中，箱内及合龙段上不得留有人。切割时，先切割中间部分的底板，再同步切割两侧腹板部分，最后切割中间部分的顶板。每部分从下至上进行切割，即先切割底板，再切割腹板，最后切割顶板。

对上部结构拆除过程进行有限元分析发现，拆除阶段后期，由于梁体自重荷载效应明显小于

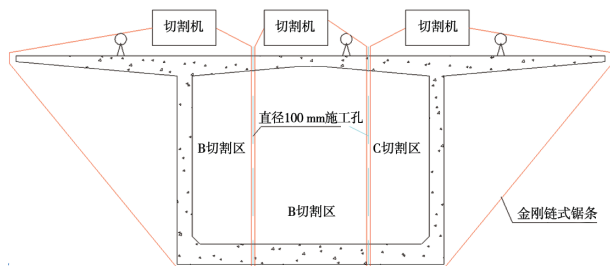


图9 金刚石链式切割机工作

顶板钢束的效应,出现底板受拉、顶板受压,底板拉应力水平较高且超限范围较大,顶板压应力水平也较高但低于限值。

3.4 浮吊拆除工艺

对于墩顶旧砼梁段(0#、1#+2#),分别采用浮吊进行吊装。为降低每块拆除重量,分块如图10所示。主墩墩顶1#+2#梁段切割完成之后采用浮吊整体吊放,钢丝绳通过兜翼板进行吊装。梁段切除完成之后与未切除梁段缝隙较小,穿绕钢丝绳困难。考虑到在切割5#标准梁段之前切断了0#块翼板钢束,因此,在1#+2#梁段切割前,优先将中间不少于60cm的翼板切割下放(图11),从而方便切除梁块之后穿绕钢丝绳。

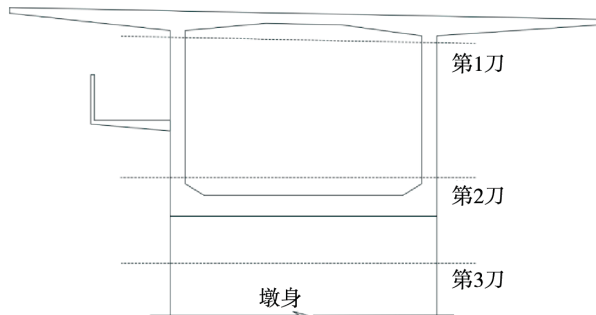


图10 0#块切割示意图

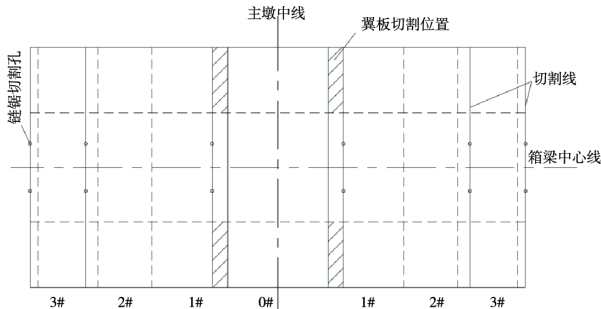


图11 翼板切除位置大样图

3.5 汽车吊拆除工艺

75#墩位于岸上,墩顶梁段分块切割成小块,用汽车吊离,如图12所示。

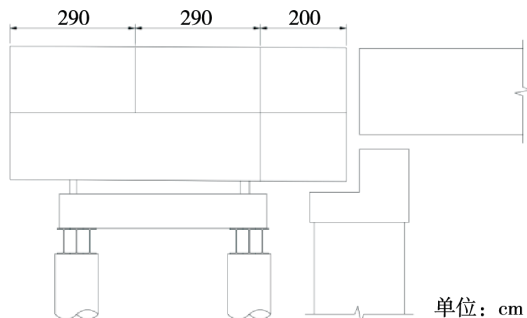


图12 75#墩顶梁段切割示意图

3.6 地面梁段切碎

75#、76#墩之间的3#~13#梁段由桥面吊机或汽车起重机吊运至地面,切碎后运送至破碎堆料场,地面上梁段使用链式切割机切碎为5块,如图13所示。

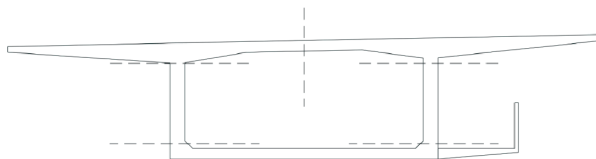


图13 地面梁段切碎示意图

4 施工监控

太平大桥主桥旧桥运营已20多年,存在较多病害,承载能力及结构性能下降,又有混凝土收缩徐变及预应力损失等因素影响,对旧桥现有受力状态难以作精确评估,为降低拆桥过程风险,有必要对拆除过程实施施工监控,也为后续一些病害严重的连续刚构桥拆除积累经验数据。

连续刚构桥拆桥与悬臂浇筑的施工监控有很多不同之处,监控目的、方法手段及监控项目等都不同。桥面吊机悬臂倒拆连续刚构施工监控工作内容:①通过有限元模拟计算获取施工过程结构响应的理论数据;②现场数据采集施工过程结构响应的实测数据;③通过参数识别,分析导致结构响应理论数据与实测数据偏差的影响因素;④判断未拆桥梁的结构安全,是否须采取措施保证结构安全。

4.1 拆桥过程结构响应理论分析

根据拟定的拆桥施工流程进行模拟计算,获得各工况下的结构响应理论值,作为施工监测参照数据。结构安全验算阶段主要有体外束解除阶段、体系转换阶段、对称悬臂拆除主梁阶段。

计算软件将使用商用桥梁分析软件 Midas Civil,该计算软件能考虑各施工节段的激活和钝

化、施工临时荷载的变化、预应力的张拉、日照和年温度变化以及混凝土徐变收缩值的差异等影响因素，可以模拟拆除施工的桥梁施工控制计算。采用增量有限元法模拟大桥主梁拆除过程，

可以获得各个施工阶段结构的内力和变形理论值（增量值与累计值），包括主梁挠度、墩变形、主梁应力及墩应力等。主梁解除体外预应力阶段竖向位移分析结果见图 14。

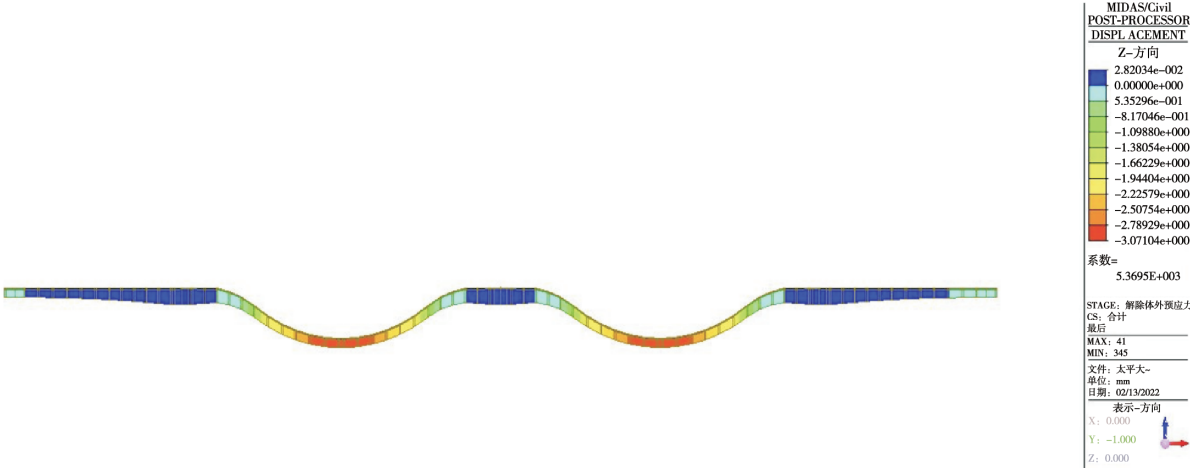


图 14 主梁解除体外预应力阶段竖向位移

4.2 旧梁拆除施工过程监测点布置及监测方法

旧梁拆除过程中的现场测量内容主要包括结构几何变形测量、结构应力测量、主梁裂缝和温度监测等。主梁结构变形响应几何线型监测采用全站仪监测，每种工况前后都监测一次，主墩沉降监测采用精密水准仪监测，监测频率与主梁线型监测相同。结构应力测量采用表贴式振弦应变计，采集设备采用综合测试仪自动监测。主梁线

型监测及应力截面、桥墩沉降及应力监测点布置见图 15，主梁标高及应力横桥向测点布置见图 16，桥墩沉降及偏位监测、应力测点布置见图 17。通过施工过程结构应力监测，掌握施工过程中桥梁结构各组成部件在当前状态下的应力状态及其与预测值之间的差异。日照方向和温度变化会引起结构的内力变化，观测时间宜选择无日照、温度相对稳定的时间段。

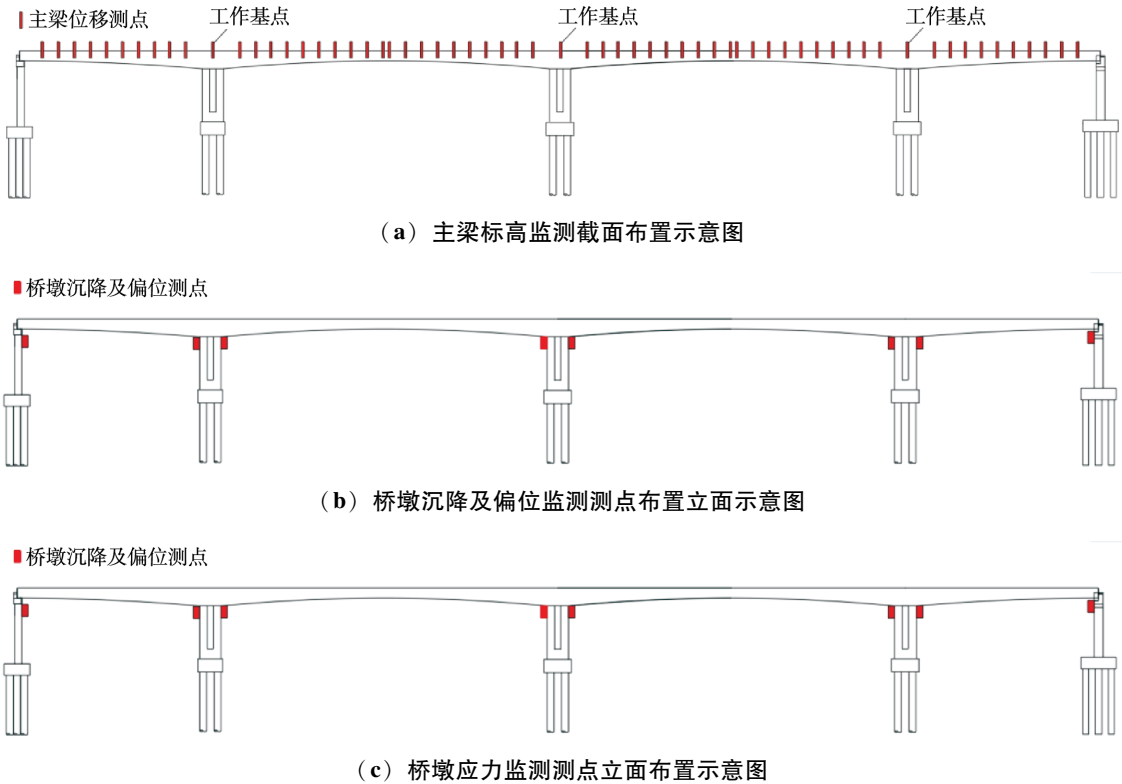
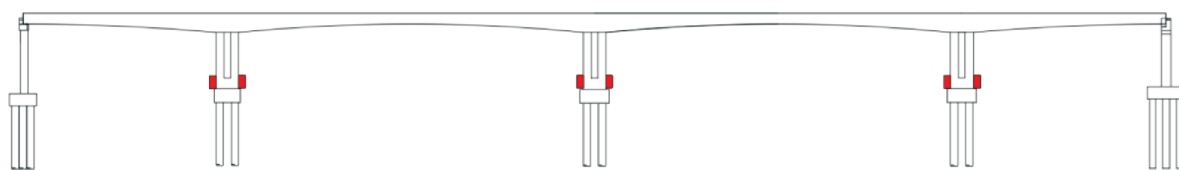


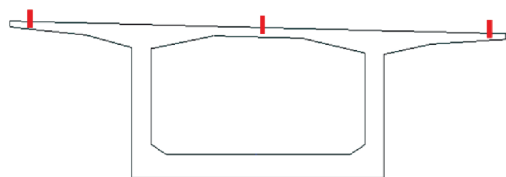
图 15 主梁标高及应力、桥墩沉降及应力监测纵桥向布置示意图

■墩身应力测点

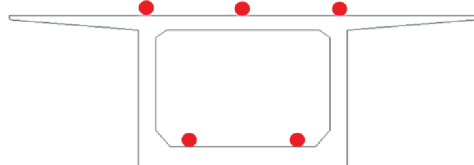


(d) 主梁应力监测断面示意图

图 15 (续)

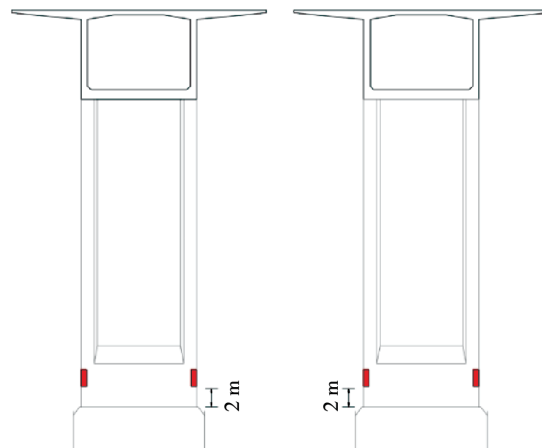


(a) 主梁标高测点横截面布置示意图



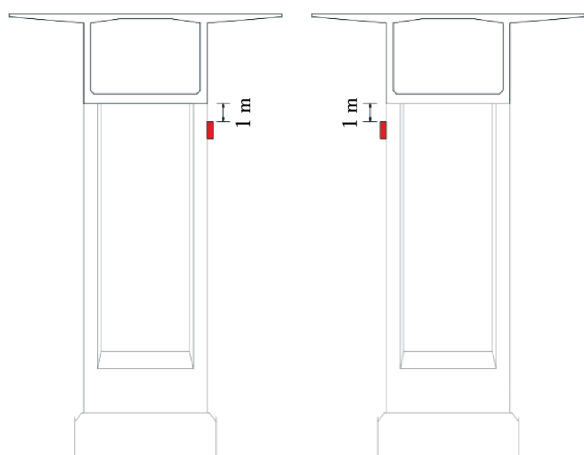
(b) 主梁应力监测断面测点布置示意图

图 16 主梁标高及应力测点横截面布置示意图



(b) 桥墩应力监测测点横截面布置示意图

图 17 桥墩沉降及偏位监测、应力测点布置立面示意图



(a) 主墩沉降及偏位监测测点布置示意图

4.3 施工控制成果

以主桥左幅 76#墩 T 构理论响应计算与实测对比为例,旧梁拆除过程理论变形和实测变形对比如图 18 所示。考虑温度、测量误差等因素的影响,主梁位移实测结果与理论计算总体吻合,对比结果如图 19 所示。拆桥过程绝对应力 = 拆除前恒载应力(计算) + 拆除过程应力增量(实测)。主梁所有测试断面拆除施工前后总体上还处于全截面受压状态,除个别测点外,主梁各测点实测应力变化趋势与理论变化基本一致,实测应力变化总体比理论应力变化小。

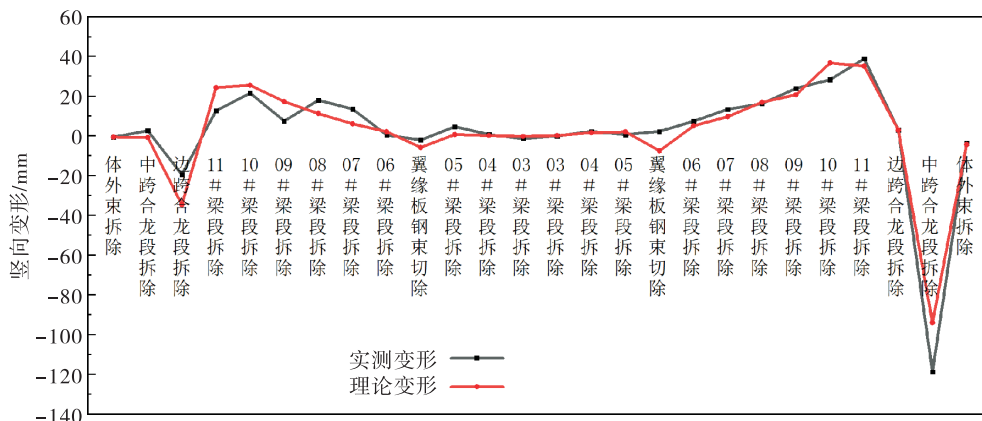


图 18 左幅 76#墩 T 构主梁悬臂端竖向位移变化量

(下转第 81 页)

4 结语

当前，课程思政教学已从 1.0 时代走向 2.0 时代，专业课不仅要融入课程思政元素，更要形成专业层面的“分阶分段、阶梯递进”课程思政教学体系。通过构建结构化课程思政资源建设模式，创新课程思政元素挖掘与融入方式，形成与思政元素融合的教学目标体系，搭建“三链集成”的教学环境，实施“探悟启辨行”的教学流程，改进课程思政教学方法，完善课程考核评价体系，多措并举，推动专业课程与思政深度融合，全面提升人才培养质量。

参考文献：

[1]王丽君,朱景达.基于职业锚理论的高职院校专业思政建设研究[J].中国职业技术教育,2024(23):77-85.

[2]韩衍蝶,翁清曼,赵艳艳.思政元素融入课堂教学有效性探究[J].新教育,2022(25):58-60.

[3]陈晓春,施京京,高南.课程思政融入高校通识教育课程生命科学与生物技术概论的探索与实践[J].高教学刊,2024,10(27):193-196.

[4]滕跃民,蒋丹.刍议课程思政的教学方法与效果[EB/OL].(2023-03-14)[2024-09-12].https://learning.sohu.com/a/653950429_121372077.

(上接第 26 页)

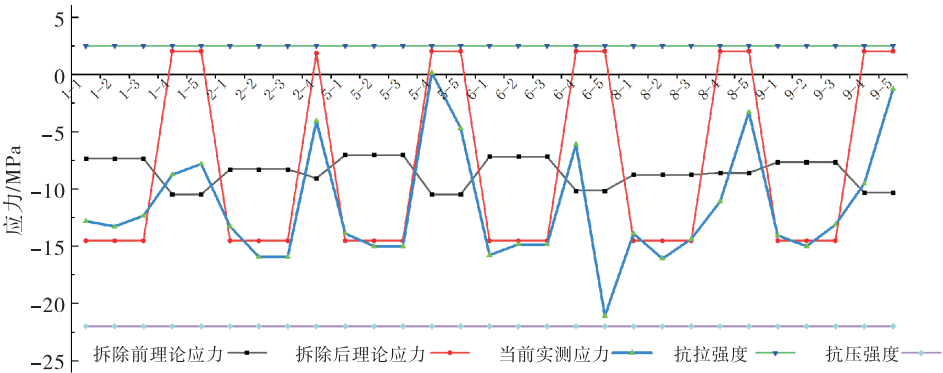


图 19 左幅主梁应力水平

5 结论

莞佛高速太平大桥路线繁忙且结构规模大，箱梁拆除选择“桥面吊机 + 大节段吊装”，单幅箱梁拆除重建，另一幅维持双向通车的实施方案。东行幅拆除历时 40 天，西行幅历时 30 天，T 型结构每对梁段拆除周期为两天时间，均在计划时间内完成。有了第一幅的实践经验，第二幅桥拆除时间提前了 10 天时间。

整个箱梁拆除过程对结构构件进行实时监控，箱梁的受力、变形安全可控，墩旁支架受力和变形均满足要求。利用本套施工工法与技术对箱梁进行拆除，科学、安全地完成了施工任务，取得了良好的经济、社会与环境效益，能为西行线箱梁拆除提供指导，更能为今后同类桥型的箱梁拆除提供经验参考与技术依据。

参考文献：

[1]刘胤,刘炎,别亚威,等.上跨高速公路旧桥快速化拆除施工技术[J].城市道桥与防洪,2019(6):201-204.

[2]周凌宇,濮星旭,张汉一,等.在建预应力混凝土连续箱梁桥节段拆除技术[J].施工技术,2019,48(15):103-07.

[3]张志军,肖列,姜早龙,等.新型绿色静力切割技术在城市核心区高架桥拆除工程中的应用研究[J].施工技术,2019,48(4):119-124.

[4]徐志鹏,张晓阳.预应力混凝土连续箱梁桥拆除方法及其结构分析研究[J].智能施工,2020(4):175-176.

[5]朱超宇,袁鑫,田石柱.跨高速公路连续梁桥拆除施工方案研究[J].世界桥梁,2020,48(1):77-81.

[6]王广群,丁小虎,谢宝.繁忙干线下既有连续箱涵保护性拆除技术[J].工程技术与应用,2022(6):76-80.

[7]谢均胜.带挂梁的 T 型刚构桥拆除过程受力特征分析[J].广东交通职业技术学院学报,2024,23(3):29-33.