

带挂梁的T型刚构桥拆除过程受力特征分析

谢均胜

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510507)

摘要: 受长悬臂影响, 带挂梁的T型刚构在单侧失重情况下具有失稳破坏的特征, 目前对于病害严重的该类型桥梁一般采取拆除处理。为保障拆除施工期间的安全, 不因拆除而发生突然性倒塌, 需对拆除全过程进行受力特征分析, 针对性地提出控制措施。本文通过实桥拆除案例, 论证拆除计算要点, 并进行现场验证, 为类似的桥梁拆除提供参考经验。

关键词: T构; 挂梁; 旧桥拆除

中图分类号: U 455.6

文献标识码: A

Analysis of Mechanical Behavior during the Demolition Process of T-shaped Rigid Frame Bridge with Hanging Beam

XIE Junsheng

(Guangdong Communication Planning & Design Institute Group Co., Ltd., Guangzhou 510507, Guangdong, China)

Abstract: The T-shaped rigid frame with hanging beams has the characteristic of sudden failure under the influence of long cantilevers in the case of unilateral weight loss. Currently, for this type of bridge with severe diseases, demolition treatment is generally adopted. To ensure safety during the demolition construction period and prevent sudden collapse due to demolition, it is necessary to conduct a stress behavior analysis of the entire demolition process and propose targeted control measures. This article uses a real bridge demolition case, combined with the stress characteristics of the demolition process, to demonstrate the calculation points of demolition calculation, and conducts on-site verification, providing reference experience for similar bridge demolition.

Key words: T-structure; hanging beam; demolition of old bridges

带挂孔的T构受力明确, 温度及不均匀沉降产生的内力小, 跨越能力强, 20世纪建造的跨航道桥梁常采用该类型结构以满足通航净空需求。受制于当时的建造水平、材料性能、计算理论等, 该类桥梁实际使用过程中出现了悬臂端下挠、牛腿开裂等病害^[1], 且自身抗倾覆能力差, 一旦某一侧因意外发生落梁导致两侧荷载不平衡, 即有发生整体倾覆的风险, 具有突然破坏的特征。目前新建桥梁已较少采用该类结构, 对病害比较严重的该类在役桥梁也以拆除为主。本文以受外力撞击导致过渡墩发生偏位破坏的某挂孔T构桥梁拆除为例, 对拆除过程中的受力特征进

行研究, 详述该类桥梁拆除的计算要点及注意事项, 并与实施情况进行对比验证。

1 桥梁概况

某横跨通航水道的大桥(见图1)建成于20世纪80年代, 桥梁全长554.3 m, 行车道宽9 m, 两侧人行道各宽1.75 m, 合计12.5 m, 桥跨组合为:(6+7.3+7×30+2×52.5+7×30+7.3+6)m。该桥建成已近40年, 受限于当时的设计标准, 在近年来快速增长的交通流影响下, 桥梁超负荷服役, 已发生多处病害, 被评定为三类桥并设置限高架禁止货车通行。位于通航孔的9#过

收稿日期: 2023-08-23

作者简介: 谢均胜, 工程师, 本科, 研究方向为桥梁设计与加固



图1 现状桥梁示意图

渡墩因极端天气导致的不明漂浮物撞击发生偏位破坏,经应急抢险解除落梁风险后,结合航道规划、桥梁病害、区域路网分布等情况综合考虑将其拆除。

全桥拆除分应急拆除和常规拆除两个阶段进行,应急拆除阶段主要拆除受损主桥以恢复通航,剩余部分则由后续常规拆除阶段拆除。本文讨论的拆除属应急拆除阶段,主要对6#~10#墩范围的主桥上下部、引桥上构及受损的9#墩进行拆除,其中8#、9#墩基础拆除至规划河床面下50 cm处。如图2、图3所示。

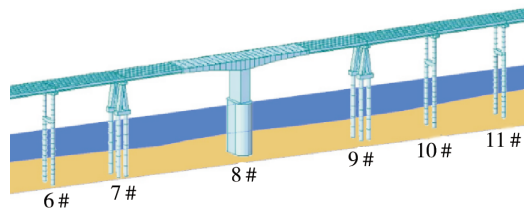


图2 应急拆除阶段拆除初设状态示意



图3 应急拆除阶段拆除末态示意

主桥上部采用预应力混凝土T型刚构加25 m挂梁组成两孔52.5 m通航孔,两侧引桥各采用7孔30 m预应力混凝土简支T梁。主墩为箱形薄壁墩,基础采用沉井基础,过渡墩(7、9号墩)采用A型墩,其余采用双柱墩,基础均为直径1.5 m钻孔灌注桩。

T构主梁采用400号混凝土,为单箱双室的单向预应力结构,梁高由根部4.25 m渐变至悬臂端部1.8 m,单侧含牛腿最大悬臂长28.2 m。原桥采用节段预制拼装施工工艺,单侧悬臂共分11个节段,最大节段长2.8 m,除墩顶0#块与1#节段间采用15 cm湿接缝连接外,其余节段均采用

用环氧树脂进行胶接,如图4所示。

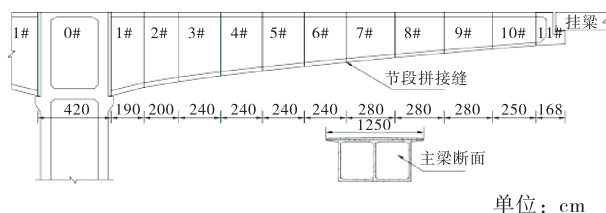


图4 主桥立面构造(单跨)

挂孔横向布置5片25 m T梁,梁高1.8 m,主梁间距2 m,桥面板及横隔板间采用钢板焊接连接。

桥面行车道采用6~13 cm厚的水泥混凝土铺装形成1.5%的双向坡,两侧由支撑梁和人行道板组成整体高出桥面行车道20 cm的人行道,外侧设置不锈钢防护栏杆。

受制于桥梁两侧建筑物及上下游邻近桥梁等,本桥无法采用爆破拆除。经论证比选后上部主梁采用浮吊分片吊装移除挂梁+简易挂篮支撑分段切割的拆除方案,下部结构则采用分块切割吊运的拆除方式。拆除采用与原桥施工相反的顺序,遵循先附属后主体、先上部后下部的拆除原则,即桥面系拆除→挂梁对称拆除→T构主梁分段拆除→T构下部分块切割拆除的拆除顺序。

T构上部主梁横桥向沿节段拼接缝采用金刚石绳锯在挂篮的支撑下完成分块切割,单跨分11个节段,全桥含0#块共23个节段,分段位置详见图4。1#~11#节段在顶板与中腹板位置处钻孔穿绳(见图5),通过浮吊将拆除的梁段转至驳船外运完成现场拆除工作,0#块则纳入主桥下部进行拆除。

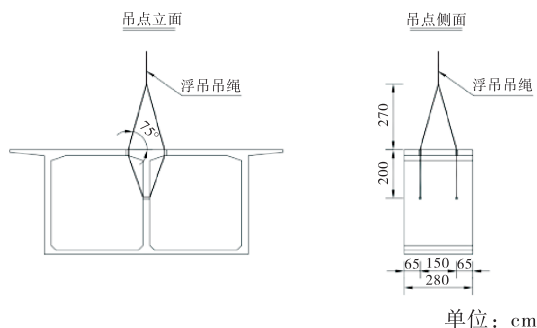


图5 主梁节段吊装示意

主墩墩身和墩顶0#块采用化整为零的思路(见图6),在墩身两侧搭设施工辅助支架将下部结构沿竖向和水平向进行分块切割,分块尺寸以匹配既有浮吊吊运能力为原则。墩身和基础竖向各分成7层,最大层厚4.18 m,单个墩身节段再

细分为7小块,基础节段则细分为10小块。

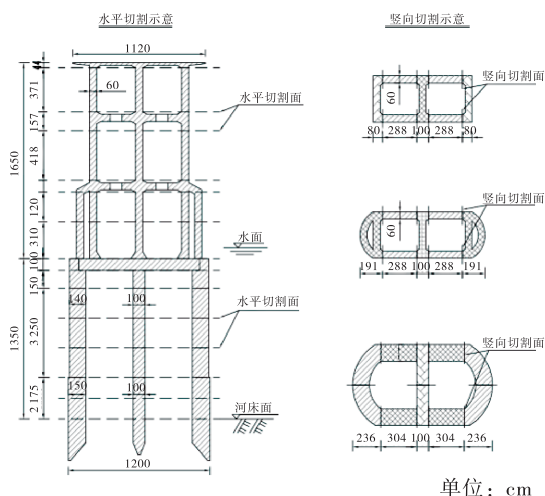


图6 主墩分块切割示意

2 拆除过程T构受力特征分析

桥梁拆除施工过程属结构设计中的短暂状况,拆除时应保证在永久作用、施工荷载、风荷载、温度荷载等多重因素的作用下,桥梁不因承载能力不足而发生意外倒塌或者失稳破坏,因此需对拆除过程中的主墩、基础受力进行分析^[2-3]。

2.1 拆除过程T构根部受力分析

不平衡荷载是导致结构失稳破坏的根本,拆除过程中的最大不平衡力发生在长悬臂阶段。结合施工工序及本桥特点,最大悬臂拆除状态下可能的不平衡荷载有:

(1) 在桥面系对称拆除的前提下,挂梁拆除不同步,单侧两片T梁脱离,另一侧仍处于支撑连接状态。

(2) 两侧10#、11#节段拆除不同步(梁端两节段尺寸小、自重轻,按同步拆除考虑),极端情况下已拆除端同时发生挂篮脱落事故,挂篮重量按最大节段重的0.45倍进行取值。

(3) 假定旧桥T构两侧结构尺寸存在偏差,不均匀度按自重偏差4%考虑。

(4) 施工现场管理不当,梁体上方随意堆放工具材料造成一侧悬臂作用10 kN/m均布荷载,另一侧悬臂空载。

(5) 考虑T构两侧悬臂受不对称的静阵风荷载作用,不平衡系数为0.5,风速按重现期为100年的基本风速取值,施工阶段风速重现期系数按重现期10年进行取值。

(6) 考虑桥墩受纵桥向风荷载作用,施工阶段风速重现期系数同样按重现期10年进行取值。

根据荷载是否同时存在的情况,得到如下三组荷载组合及对应的不平衡弯矩:

组合1: 两侧挂梁拆除不同步+结构尺寸存在偏差+施工荷载不平衡+风荷载=36 359.8 kN·m。

组合2: 边节段拆除不同步且发生挂篮脱落+结构尺寸存在偏差+施工荷载不平衡+风荷载=51 204.6 kN·m。

组合3: 边节段拆除不同步+结构尺寸存在偏差+施工荷载不平衡+风荷载=44 035.5 kN·m。

由上可知,在梁端节段拆除不同步且发生挂篮脱落事故的情况下T梁根部不平衡弯矩最大,对应的主墩轴压力 $N_1 = 16\ 109.7$ kN。

2.2 T构主墩强度分析

T构主墩为端部椭圆形的空心薄壁结构,长8.36 m,宽3.9 m,壁厚0.6 m,墩高17.3 m。结合前文的最不利荷载计算,长悬臂状态在单侧挂篮意外脱落工况下主墩结构安全度为0.9,略有不足。为保障T构拆除过程中的安全,需通过加固桥墩或者降低T构根部的不平衡弯矩增加结构安全度。

挂篮意外脱落属偶然突发状况,通过精心组织、规范施工可以避免,故强调在拆除作业中严禁出现单侧挂篮脱落事故,并尽量选择在无风或微风状态下对T构两侧进行同步拆除,同时严格控制梁顶施工设施的堆载,梁段的拆除做到即拆即运。

2.3 主墩沉井基底承载力及稳定性分析

原桥利用桥位处覆盖层薄的特点,主墩采用(11.8×6.8×17) m的沉井基础,基底落入中风化砂岩。沉井竖向共分三个节段,第1、2节均为高度5 m的钢筋混凝土结构,第3节采为7 m高钢沉井,沉井内部利用片石砟进行填芯加强抗倾覆能力。为防止长悬臂拆除状态下的倾覆力矩造成地基破坏发生倾覆失稳,需对施工过程中的基底承载力及基础稳定性进行分析。

表1中计算结果显示,基底最大应力小于地基容许承载力要求,抗倾覆和抗滑动稳定性均满足规范对施工阶段稳定性系数不小于1.2的要求^[4],拆除过程中基础是稳定可靠的。

3 T构拆除过程中主梁应力分析

分节段对预应力混凝土T构进行拆除是节段正装的逆过程。拆除作业过程中主梁的预应力钢束均处于全部张拉且孔道已灌浆封闭状态,无法做到随悬臂节段的拆卸对相应节段钢束进行全程

表 1 基础稳定性计算结果

类别	数值	单位	备注
合力偏心距 e_0	0.91	m	
基底最小压应力 $p_{\min}$	68.09	kPa	
核心半径 ρ	1.05	m	
容许偏心距 $[e_0]$	1.26	m	1.2ρ
偏心距计算结果	满足		$e_0 < 1.2\rho$
基底最大压应力 $p_{\max}$	1001.6	kPa	
抗力系数 γ_R	1.25		
基底承载力容许值 f_a	1500	kPa	
最大承载力是否满足	满足		$p_{\max} < \gamma_R f_a$
抗倾覆稳定系数 k_0	5.4		
抗倾覆稳定系数检算结果	满足		$k_0 > 1.2$
基底摩擦系数 μ	0.4		
抗滑移稳定系数 k_c	79.5		
抗滑移系数检算结果	满足		$k_c > 1.2$

应力的消除,造成逐节段拆除过程中,主梁顶缘的应力累计增加,底缘应力累计减少。为防止因应力过大导致压溃或者拉裂破坏,需对拆除过程中的顶底缘应力变化进行分析。结合旧桥竣工图钢束的布置情况利用桥梁 Midas Civil 建立模型模拟主梁分节段拆除的过程,对拆除过程中的应力状态进行分析(见图 7)。

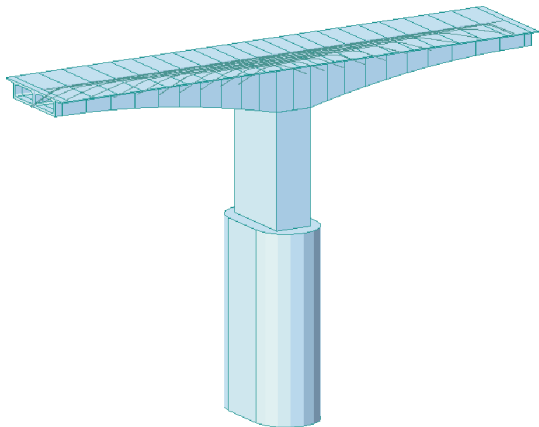


图 7 T 构有限元计算模型

旧桥拆除作业过程中局部的裂缝不足以影响施工安全,但经过几十年的运营,混凝土碳化等作用对强度有一定影响,拆除设计中偏安全的依规范按新建桥梁在施工阶段的应力要求进行控制,即:

压应力: $\sigma_{cc}^t \leq 0.7f_{ck}$ 拉应力: $\sigma_{ct}^t \leq 1.15f_{ct}$

主梁为旧规范下的 400 号混凝土,换算为现行规范强度等级约为 C38。顶、底缘混凝土在施工阶段短暂状况下的法向压应力、拉应力要求^[5]见表 2。

表 2 拉、压应力限值要求

单位: MPa

指标	f_{ck}	f_{tk}	$0.7f_{ck}$	$1.15f_{tk}$
限值	25.44	2.30	17.81	2.64

主梁拆除过程中待拆节段某一截面位置处的应力为预应力作用下的恒载应力与已拆节段的恒载对该截面产生的应力之和,应力计算偏保守的不考虑预应力钢束与压浆料之间因握裹力下降造成的应力损失影响(后文应力正负号约定:拉应力为正、压应力为负)。单跨 T 构拆除初态在恒载下的顶底缘应力如图 8 所示。

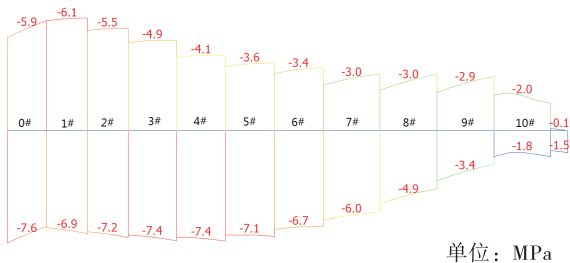


图 8 单跨 T 构拆除初态在恒载下的顶底缘应力图

从挂孔 T 梁桥面铺装拆除起至 T 构悬臂块件拆除结束,T 构各截面顶底缘应力最大增幅如图 9 所示。

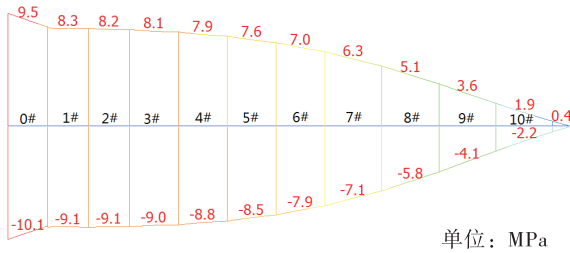


图 9 单跨 T 构各截面顶底缘最大应力增量

图 8 和图 9 显示,长悬臂状态在预应力和自重、外加挂梁等恒载作用下,梁体顶底缘均处于受压状态。随着节段的拆卸,作为外力施加于 T 构体系的恒载逐渐减小,已拆节段的自重对 T 构体系的应力作用被累增至待拆节段,最后拆除的 0#块应力增量最大,成为最不利截面。该截面顶缘混凝土法向压应力:

$$\sigma_{cc,\max}^t = -5.9 - 9.5 = -15.4 \text{ MPa} \leq 0.7 \times -25.44 = -17.81 \text{ MPa}$$

底缘混凝土法向拉应力:

$$\sigma_{ct,\max}^t = -7.6 - (-10.1) = 2.5 \text{ MPa} \leq 1.15 \times 2.3 = 2.64 \text{ MPa}$$

分析结果显示,T 构倒拆的全过程箱梁顶底缘应力均未超过规范对短暂状况下的应力要求,结构不会因拆除过程中应力的累增导致压溃或者

拉裂的破坏。因此，原拟定拆除的工序理论上在应力控制方面是可行的，不会因施工而发生突然性的结构破坏。

4 T 构拆除过程中监控要求

为确保拆除安全，约束现场拆除过程与理论计算的边界条件基本一致，同时对拆除计算进行验证，对拆除施工提出相关监控要求。

4.1 T 构拆除过程竖向位移差监控

T 构位移监控量测目的在于控制两侧不平衡荷载，防止发生倾覆破坏。T 构竖向位移监控以位移差的方式进行，即监控 T 构两侧对称位置点的竖向位移差值（见图 10），通过位移差值警醒施工单位控制不平衡荷载。

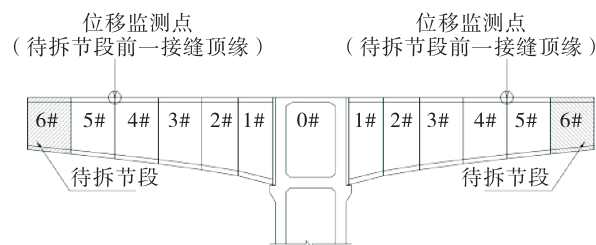


图 10 位移监控纵向布点示意

位移监控点布设在待拆除节段的前一节段接缝中心位置处，在两侧荷载发生变化前后各进行不少于 1 次的高程观测，相应节段位移差出现大于表 3 的数值时即应停止施工，查明原因，清除不平衡荷载。

表 3 各测点允许最大竖向位移差							单位: mm
测点	9#	8#	7#	6#	5#	4#	3#~1#
位移差	16	11	9	6	5	3	1

4.2 T 构拆除过程应力监控

主墩预应力混凝土 T 构拆除为正装的逆过程，施工过程需对箱梁顶缘应力变化及底缘梁段拼缝情况进行监测监控。应力监测点选择悬臂箱梁 0#截面及 5#截面顶缘中心位置，从桥面系拆除起，监测每一个施工阶段的应力增加幅值，监测数据最大幅值应小于图 9 所示数值（各截面顶缘正应力最大增量）或与其吻合，底缘拼缝则进行裂缝观测，监测施工过程中拼缝位置处是否出现

开裂情况。

5 结语

目前，该桥已顺利完成拆除工作，现场各应力及位移监控指标均小于或与设计值相吻合，从施工角度验证了拆除计算的可靠性，在源头上保障了桥梁拆除作业的安全。结合前文分析及现场实践验证，带挂孔连续 T 构的拆除应重点关注以下方面：

（1）查阅竣工图，结合桥位周边环境优选拆除方式，对不具备爆破施工条件的区域结合桥型特点重点研究原桥施工方案，采用与原施工顺序相反的拆除方式。

（2）关注主桥拆除后过渡墩的受力状态，防止主桥侧单边卸载造成过渡墩偏心受力发生倒塌破坏。

（3）主桥的拆除重点在长悬臂阶段，要求两侧对称拆除，防止不平衡荷载导致发生倾覆破坏。

（4）受孔道封闭，无法做到随悬臂节段的拆卸对相应节段钢束进行全程应力消除，拆除过程中应关注待拆节段的梁体应力水平，结合理论计算成果选取典型截面对梁体顶底缘的应力进行监控，确保拆除过程中应力不超限，不发生拉裂或压溃破坏。

结合桥梁结构类型，利用结构自身受力特点制定相应的拆除方案，精心设计、精心施工是桥梁拆除工作安全有效的唯一途径。

参考文献：

[1]荣桂民.T 型刚构挂孔结构体系的探讨[J].天津建设科技,2013(3):58-59.

[2]邵旭东,程翔云,李立峰.桥梁设计与计算(第2版)[M].北京:人民交通出版社,2012.

[3]杜正国.结构力学教程[M].成都:西南交通大学出版社,2012.

[4]中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵地基与基础设计规范:JTG 3363—2019[S].北京:人民交通出版社,2019.

[5]中交公路规划设计院有限公司.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范:JTG 3362—2018[S].北京:人民交通出版社,2018.