

Analysis of the Causes of Shear Damage in Newly Built Bridge Bearings and Reinforcement Measures

Yafeng Wang Zeng Yu Tao Shu

Shaanxi Transportation Holding Group Tongyu Transportation Research Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710118, China

Abstract

This paper analyzes the causes of bearing shear disease by modeling the finite element method during the construction and completion stages of new bridges, and obtains the longitudinal deformation of the bridge. The calculation results indicate that the compression deformation and temperature load caused by longitudinal prestressing are the main causes of longitudinal deformation of the beam. And provide a complete solution for lifting and resetting the deformed beam body, installing steel hoops on the top of the single column pier, installing jacks on the top of the cap beam and hoops for lifting, and conducting a detailed design of the hoop structure.

Keywords

new bridges; support shear; longitudinal displacement; support lifting

新建桥梁支座剪切病害成因分析及加固措施

王亚风 余曾 舒涛

陕西交控通宇交通研究有限公司, 中国·陕西 西安 710118

摘要

论文通过对已发生支座剪切病害的新建桥梁施工阶段和成桥阶段进行有限元建模, 得出不同工况下的桥梁纵向变形, 对支座剪切病害进行成因分析。计算结果表明, 由纵向预应力张拉导致的压缩变形和温度荷载是引起梁体纵向变形的主要原因。并且给出成套的解决方案, 对已变形梁体进行顶升复位, 并设置支座预偏位移, 对独柱墩顶部设钢抱箍, 在盖梁和抱箍顶部设千斤顶进行顶升, 并对抱箍构造进行详细设计。研究结论和处治措施具有一定的参考价值。

关键词

新建桥梁; 支座剪切; 纵向位移; 支座顶升

1 引言

支座病害是已运营公路桥梁上一种比较常见的病害, 常见病害为支座老化开裂、剪切、移位等病害^[1], 而新建桥梁发生支座病害的情况较少。论文通过对工程案例新建桥梁发生支座剪切病害进行描述, 并对原因进行分析, 并设计处治措施, 得出结论, 为之后单联较长桥梁设计、施工和支座病害处治提供参考。

2 工程概况

某特大桥平面位于R=2300m的左偏圆曲线上。全桥左右幅共6联, 均采用装配式预应力混凝土连续箱梁、现浇连续箱梁、钢箱梁, 其中第1、第3、第6联采用现浇连续箱梁,

第2联为钢箱梁; 下部结构20号桥台采用柱式台, 桥墩采用柱式墩, 墩台采用桩基础。

该桥右幅第六联为(33.8+34+40+28+25+22)m的6跨现浇连续箱梁, 总长度182.8m, 采用单箱多室截面, 满堂支架现浇施工。整体式桥面宽度: 0.525(0.5)m(防护栏)+15.185(15.25)m(行车道)+3.0m(中央分隔带)+15.15~25.497(18.270~19.514)m(行车道)+0.525(0.5)m(防护栏)=34.5~44.415m。右幅第6联支座共2种形式, 其中20#桥台及14#分隔墩顶采用LNR(H)系列水平力分散型橡胶支座, 15#~19#连续墩顶采用HDR系列高阻尼隔震橡胶支座。

箱梁预应力张拉完成后, 经现场踏勘, 发现该桥右幅第六联支座以17#桥墩为中心向17#墩方向出现了不同程度的变位, 上部结构梁体绕17#墩出现水平转动, 其中14#桥墩、20#桥台支座为纵横向滑移, 15#~19#桥墩支座为纵横向变形。且部分垫石出现裂缝, 支座最大变形量为3.4cm, 分隔墩及桥台处支座最大滑移、变形量为4cm, 支座变形量如图1所示。

【课题项目】在役典型桥梁智能化通行方案与关键性病害研究。

【作者简介】王亚风(1990-), 男, 中国陕西大荔人, 本科, 工程师, 从事道路与桥梁工程基本理论, 桥梁检测、监测, 桥梁养护研究。

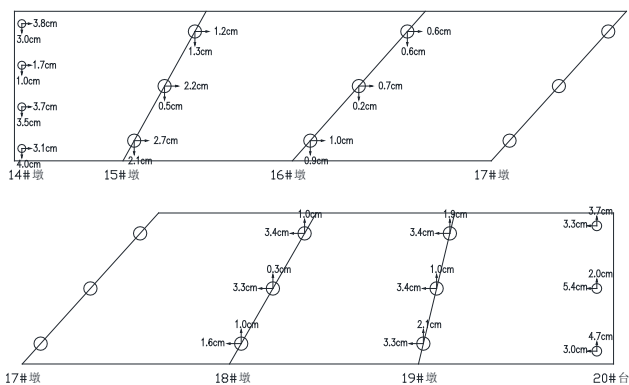


图1 右幅第六联支座变形量、滑移量示意图

3 有限元模拟计算

3.1 模型建立

目前,桥梁结构受力计算方法主要有单梁法、梁格法、板壳及三维实体有限元方法。单梁法难以准确模拟弯箱梁桥各个支座处的位移情况;板壳及三维实体有限元方法计算精度高,但建模过程烦琐,难以施加自动考虑影响面的汽车荷载;梁格法则是桥梁结构空间分析的实用精细化模拟方法,因此论文中采用梁格法对第六联进行建模^[2]。

①按照梁格法对该桥进行离散,横向划分为5片纵梁,包括2片边梁和3片中梁,横向联系按照箱梁顶底板厚度建立单位进行模拟,模型离散示意图如图2所示,横断面示意图如图3所示。

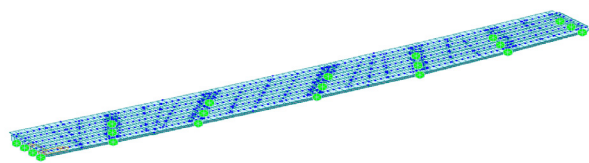


图2 模型离散示意图



图3 主梁横断面示意图

②施工过程按照满堂支架、预应力张拉、落架、施工桥面现浇层和成桥等5个阶段进行模拟,成桥后对整体温度荷载和收缩徐变两个工况进行模拟^[3]。

③计算参数:

混凝土:重力密度 $\gamma=26.0\text{kN/m}^3$,弹性模量为 $E_c=3.45 \times 10^4\text{MPa}$ 。

沥青混凝土:重力密度 $\gamma=24.0\text{kN/m}^3$ 。

预应力钢绞线:弹性模量 $E_p=1.95 \times 10^5\text{MPa}$,松弛系数 $\zeta=0.3$ 。

锚具:锚具变形、钢筋回缩取6mm(一端)。

管道摩擦系数: $\mu=0.15$ 。

管道偏差系数: $\kappa=0.0015$ 。

支座边界条件:按照支座厂家提供的刚度进行取值。

3.2 分析结果

3.2.1 施工过程主梁轴向变形

全部预应力张拉完成:14号墩到20号桥台墩顶位置主梁变形依次为21mm、16mm、8mm、-1mm、-8mm、-14mm、-21mm(正值代表往大里程方向,负值为小里程方向),如图4所示。

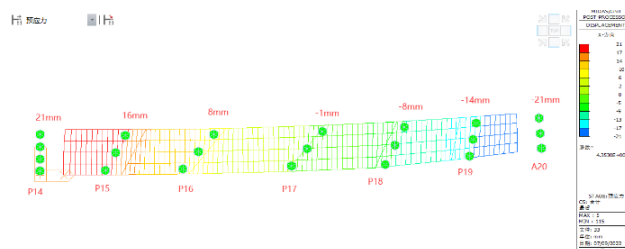


图4 预应力作用下主梁轴向变形

成桥阶段:14号墩到20号桥台墩顶位置主梁变形依次为25mm、17mm、9mm、-2mm、-9mm、-16mm、-24mm(正值代表往大里程方向,负值为小里程方向),如图5所示。

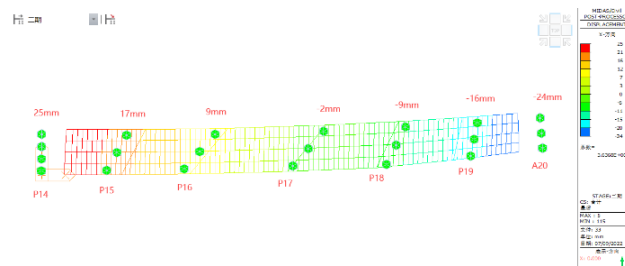


图5 成桥主梁轴向累计变形

3.2.2 温度荷载

整体升温或整体降温作用轴向变形随温度变化基本呈线性关系,温度升高20℃,14号墩到20号桥台墩顶位置主梁变形依次为19mm、14mm、7mm、0mm、-7mm、-12mm、-18mm,如图6所示。

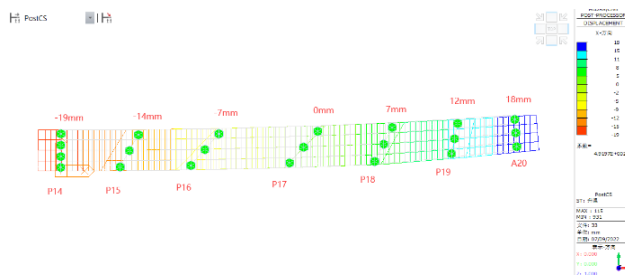


图6 温度荷载主梁轴向变形

3.2.3 收缩徐变

分别计算1年、2年、3年、4~10年的收缩徐变效应,计算结果如表1与图7所示。

表 1 右幅第六联各墩位置主梁收缩徐变轴向变形量

年数	14#	15#	16#	17#	18#	19#	20#
第 1 年	16	11	6	-1	-6	-12	-15
第 2 年	6	4	2	0	-2	-4	-6
第 3 年	3	2	1	0	-1	-2	-3
第 4~10 年	11	7	4	0	-4	-7	-10
累计	36	24	13	-1	-13	-25	-34

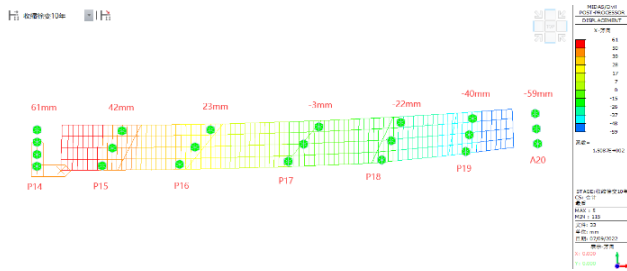


图 7 10 年后成桥轴向变形累计值

3.3 原因分析

结合现场检测数据和理论计算结果，支座发生纵、横向偏位的原因主要有以下几个方面：

①由于该联桥梁较长，大量的纵向预应力荷载施加于梁体断面上产生压应力，使梁体产生了压缩变形，两端往中间靠拢，呈现离几何中心越远，压缩变形越大的趋势，梁端最大压缩变形 21mm。

②温度荷载对梁体轴向压缩敏感，温度每变化 10℃，梁体轴向变形约 9mm。混凝土浇筑后产生大量水化热，温度峰值达到 60℃~70℃。当混凝土终凝后，梁体和支座形成整体，混凝土温度逐渐下降，梁体收缩带动支座产生变形。按照 30℃温差估算，梁端变形可达到 27mm。

③理论分析表明，梁体横向变形仅为 5mm 以内，实际梁体达到 40mm（右幅第六联），理论与实际有一定差距。考虑到本桥为长联斜交变宽桥梁，受力十分复杂，边界条件、实际预应力作用也难以与实际完全吻合，产生偏差是完全可能的。但是，从定性可以判断，收缩徐变对梁体的横向变形影响很小，后续横向变形也将不会继续发展。

④如不进行处理，考虑温度修正（当前 30℃与设计温度 15℃偏差）和 10 年收缩徐变效应后，设计温度（15℃）作用下支座偏移量最大达到 -70mm（如表 2 所示），若考虑最大降温工况 20℃（即 -5℃），最大倾斜偏移达到 -84mm~-58mm（如表 3 所示），将降低设计承载力要求。

表 2 10 年之后设计温度（15℃）下支座偏移量（mm）

右幅第六联	墩号	15#	16#	18#	19#
	当前值	27	10	-34	-34
	温度修正值（15℃）	11	5	-5	-11
	后期收缩徐变	24	13	-13	-25
	实际值	62	28	-52	-70

表 3 10 年后 -5℃（降温 20℃）极端低温下支座偏移量（mm）

右幅第六联	墩号	15#	16#	18#	19#
	实际值	62	28	-52	-70
	降温 20℃	14	7	-7	-14
	合计	76	35	-59	-84

4 处治措施

考虑到支座安装期间基本处于桥址处最高温度（安装时间为 6 月中下旬），且支座现状变形方向与温度降低及收缩徐变效应后引起的变形方向一致，如不进行处理，支座变形将始终朝向一侧，且在极端最低温度时，变形量较大，将降低支座的承载能力，因此需对支座进行整治。

本次整治总体思路是上部结构顶升平移，恢复上部结构位置，调整支座、更换上支座钢板，按照安装温度对支座设置预偏，防止支座在极端温度时变形过大，以确保结构安全。

具体处治措施如下：

①根据墩台处净高，搭设钢管脚手架作为施工工作平台。

② 14# 墩、20# 桥台：2 个墩台处设有盖梁，可在盖梁顶直接布设顶升平移装置及临时支撑。15#~19# 桥墩：根据墩柱顶空间情况，原墩柱顶除垫石外空间不满足千斤顶及临时支撑布设要求，采用在柱顶抱箍增大柱顶空间的方案来满足顶升需求。根据墩顶支反力计算结果，15#~18# 桥墩每个支座处设置 8 台 200t 竖向顶升千斤顶。柱顶抱箍立面图和平面图如图 8 所示。

③顶升平移、检查更换支座。采用 PLC 同步顶升设备对 6 孔一联上部结构进行整体顶升、平移，恢复上部结构位置，恢复支座原始状态。顶升时按 2mm 为一级分级顶升，顶升总高度控制在 1cm 范围以内。

根据现场检测结果，14# 墩、20# 台顶支座变形量较小，且支座预埋钢板满足支座滑移要求，可无需对支座进行更换；对于 15#、16#、18#、19# 桥墩支座产生变形较大的支座，在顶升梁体后，根据支座复原情况确定是否更换支座。

支座更换完成后，核查上钢板位置，偏移支座中心线需进行更换。

施工时应先将上支座钢板与支座固定，再根据现场偏移后梁底锚杆位置并考虑支座预偏距离后进行现场打孔，在支座预偏到位后采用锚栓将上支座钢板与梁体进行固定。

④考虑到施工温度与设计温度可能存在偏差，以及收缩徐变等效应，支座安装时需考虑对支座设置预偏。预偏采用在梁底设置反力架，在支座上钢板下焊接支撑钢板，每个支座处设置 2 个顶升点，在新支座固定在支座垫石后，纵桥向顶升支撑钢板，调整支座预偏量，使上支座钢板螺栓孔中心与套筒中心对齐后，紧固螺栓，完成支座预偏。

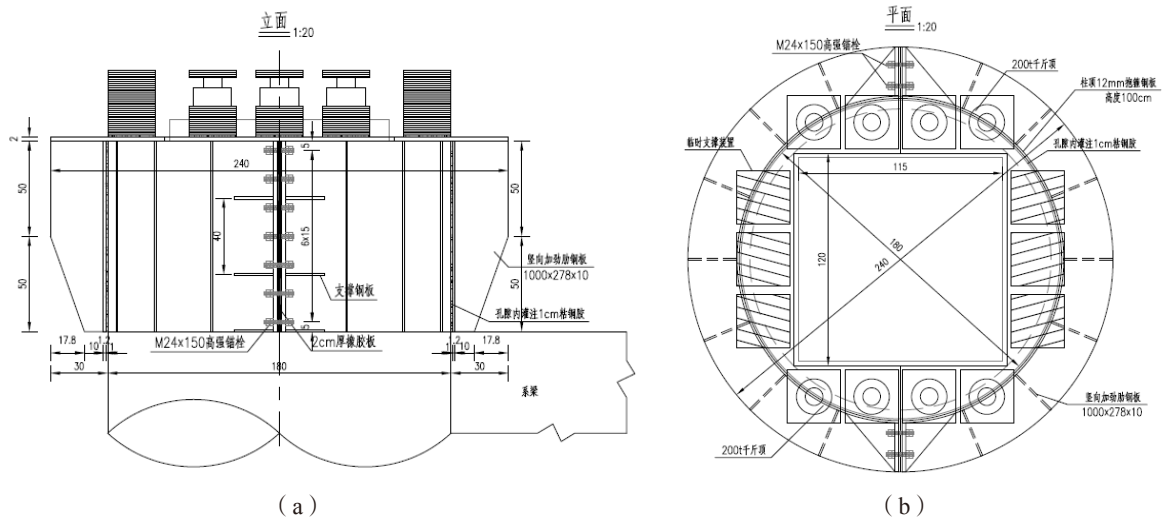


图 8 柱顶抱箍设计图

考虑温度修正（当前 30℃与设计温度 15℃偏差）和 3 年收缩徐变效应对支座设置预偏，预偏方向与后续变形方向相反，支座预偏设计值如表 4 所示。

表 4 支座预偏设计值（mm）

墩号	15#	16#	18#	19#
后期收缩徐变（3 年）	15	8	-8	-16
20℃时温度修正值	4	2	-2	-4
25℃时温度修正值	7	3	-3	-7
30℃时温度修正值	11	5	-5	-11
35℃时温度修正值	15	7	-7	-15
40℃时温度修正值	18	8	-8	-18
20℃时预偏设计值	-19	-10	10	20
25℃时预偏设计值	-22	-11	11	23
30℃时预偏设计值	-26	-13	13	27
35℃时预偏设计值	-30	-15	15	31
40℃时预偏设计值	-33	-16	16	34

5 结论

新建桥梁支座剪切变形、移位等病害比较少见，论文通过对工程案例桥梁进行有限元建模，结合实际施工条件，分析得出支座剪切病害原因，并针对该病害，列出处治措施，供之后设计者参考。得出结论如下：

①由于该联桥梁较长，纵向预应力荷载施加于梁体断面上产生压应力，使梁体产生了压缩变形，两端往中间靠拢，呈现离几何中心越远，压缩变形越大的趋势。因此，对于联长较长的桥梁，可采取分次多批张拉纵向预应力，也可减少联长，以减少梁端由预应力张拉引起的纵向位移。

②混凝土浇筑后产生大量水化热，温度峰值达到 60℃~70℃以上。当混凝土终凝后，梁体和支座形成整体，混凝土温度逐渐下降，梁体收缩带动支座产生变形。对于大体积混凝土结构，可采取底板→腹板→顶板的浇筑方式，也可采用冷却管的方式减少大体积混凝土浇筑时产生的水化热。

③对于已发生支座剪切、移位病害的桥梁，需进行顶升支座，核查是否需要更换支座，核查支座上钢板是否需要更换，且需要根据收缩徐变和温度设置支座预偏，预偏值通过计算得出。

参考文献

- [1] 焦海峰. 橡胶支座病害分析及顶升法更换桥梁支座[J]. 公路交通科技:应用技术版, 2009(8):3.
- [2] 吴睿麒, 段文志, 高鑫崇, 等. 宽幅独柱墩桥梁抗倾覆精细化验算及加固方案研究[J]. 市政技术, 2023, 41(10):156-163.
- [3] 颜东煌, 田仲初, 李学文, 等. 混凝土桥梁收缩徐变计算的有限元方法与应用[J]. 中国公路学报, 2004(2):56-59.