

矮塔斜拉桥宽幅无索区箱梁底板裂缝成因分析

吴云鹏¹, 陈经纬², 周天应³

(1. 中交第四航务工程局有限公司, 广东 广州 510290; 2. 中铁上海设计院集团有限公司, 上海市 200070;

3. 中国港湾工程有限责任公司, 北京市 100027)

摘要:大尺寸预应力钢筋混凝土箱梁很容易因施工温度而产生底板裂缝。针对四川南充某矮塔斜拉宽幅箱梁施工初期出现的底板裂缝,建立混合单元计算模型,就水化热温差、日照温差、整体降温及其组合因素对7[#]节段箱梁底板的作用进行应力模拟计算,其中I、IV、V组合工况时底板部分区域的应力分别达到2.0、4.0、4.9 MPa,大于抗裂允许值,与实际裂缝情况相吻合;结合应力分析,后续箱梁施工采取双掺技术降低水化热、延长终凝时间至16 h、降低混凝土入模温度以及“内降外保”养护等措施,从而有效控制了底板裂缝。

关键词:箱梁; 底板; 裂缝; 混合单元; 防裂措施; 成因分析

中图分类号: U448.21

文献标志码: A

钢筋混凝土箱梁是大跨度桥梁最常见的主梁形式之一,而桥梁箱梁的裂缝是一个仍未解决好的问题。矮塔斜拉桥在中国正处于应用发展阶段,在主跨径不断增大、主梁形式各异及其结构趋薄、索塔锚固构造多样和桥面趋宽的情况下,箱梁裂缝更是呈现出各种不同形式,其成因也各不相同。近年来,虽然有些相关研究^[1-4],但有关矮塔斜拉桥箱梁底板防裂的成果少见。该文依托四川南充某单塔双索面矮塔斜拉桥实际工程施工,采用有限元计算对库区矮塔斜拉桥箱梁的底板裂缝进行成因分析,可为同类桥梁设计施工提供参考。

梁底板裂缝检测结果如下:纵向裂缝最长1.2 m,宽0.12~0.30 mm;斜向裂缝最长1.8 m,宽0.14~0.40 mm。底板裂缝基本位于后浇梁段根部与新老混凝土结合处。

1 工程概况

1.1 设计概况

大桥主桥采用单索面矮塔斜拉结构,墩塔梁固结体系,跨径组合为(122+220+122) m,主桥全长464 m,桥型布置如图1所示。主梁采用单箱三室大悬臂变截面预应力混凝土连续箱梁(图2),采用挂篮悬臂现浇法施工方案。该文主要针对出现裂缝的7[#]节段(无索区)进行计算分析,7[#]梁节段梁长4 m,前后端梁高5.967 m,底板厚0.671 m,宽18.164 m,边腹板厚0.6 m,中腹板厚0.5 m,重406.3 t。

1.2 裂缝概况

各梁段施工初期发现,混凝土浇筑后,拆除底模即发现部分底板出现少量不同长度、不同方向的裂缝,主

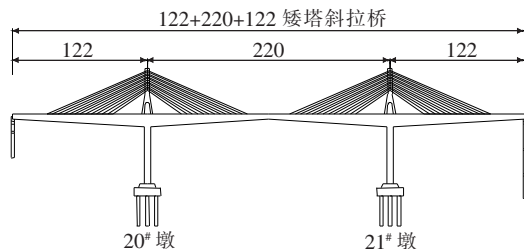


图1 桥梁总体布置图(单位:m)

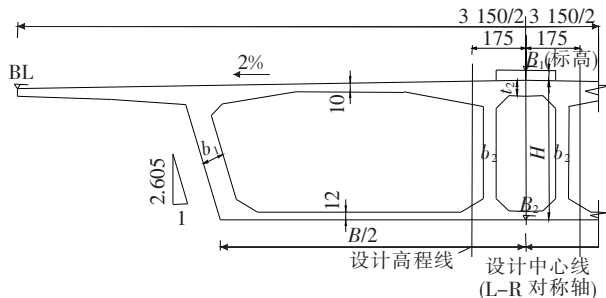


图2 桥梁断面示意图(单位:cm)

2 计算荷载及组合

2.1 计算荷载

① 模板、支架自重:1.5 kPa;② 主梁自重:混凝土

重度取 26 kN/m³；③ 施工人员及施工设备材料等荷载：2.0 kPa；④ 振捣混凝土时产生的振动荷载：2.0 kPa；⑤ 风荷载：0.3 kPa；⑥ 水化温差：混凝土浇筑后经历了升温与降温两个过程，对桥梁的实测表明：在腹板厚度方向，存在温度梯度，对于 30 cm 的腹板厚度而言最大温差 5℃左右，而对 60 cm 的腹板厚度而言一般在 7℃左右。最大温差一般发生在浇筑 20 h 后，4~5 d 温差消失，结构温度与环境温度趋于一致。因此，腹板梯度温差取 6℃，底板梯度温差取 8℃；⑦ 日照温差：无论是规范还是实测数据均表明在太阳辐射作用下，混凝土箱梁沿截面高度的温度分布是非线性的。虽然腹板横向温差一般不大，在正常情况下对 50 cm 厚的腹板而言，外侧与内侧温差也只有 3~4℃。但在恶劣天气条件下，这种内外温差可能更大。该桥取内外温差 3~4℃计算；⑧ 整体温差：体系降温 5℃。

2.2 荷载组合

根据 JTG/T F50—2011《公路桥涵施工技术规范》5.2.6 节规定进行荷载组合，具体见表 1。

表 1 荷载组合		
组合类别	荷载组合	备注
I	①+②+⑤+⑥	水化热温差 6~8℃
II	①+②+⑤+⑦	日照温差 3~4℃
III	①+②+⑤+⑧	整体降温 5℃
IV	①+②+⑤+⑥+⑦+⑧	水化热+日照温差+整体降温
V	组合 IV+收缩	

2.3 计算模型

根据该桥计算内容，采用混合单元法进行建模分析。混合单元模型中，挂篮采用梁单元模拟，箱梁采用实体单元模拟。全桥共计 3 297 个节点，3 107 个单元。

悬臂端部混凝土节点不约束，悬臂根部与已浇筑完成的混凝土结合面处混凝土节点采用铰接约束，挂篮纵横梁与实体混凝土仅竖向提供单向支撑，挂篮后锚节点以及吊带端点采用铰接约束。考虑混凝土模板为平整、光洁的表面和脱模剂作用，计算模型未计模板表面对混凝土的切向约束作用。

3 应力分析及防裂措施

3.1 单项荷载应力

图 3 为自重作用下箱梁底板顶、底面应力图(上图

为顶面、下图为底面。后文同)。由图 3 可知：顶、底面新老混凝土交界面附近应力为-0.3 MPa 左右，自重及挂篮变形对底板混凝土应力影响较小。

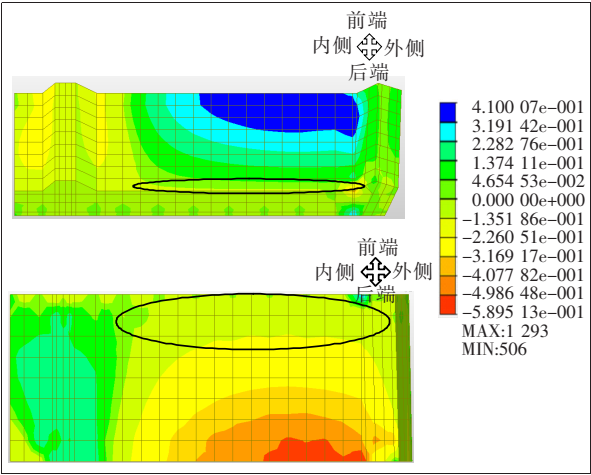


图 3 自重作用下底板顶、底面应力图(单位：MPa)

图 4 为水化温差作用下底板顶、底面应力图。由图 4 可知：顶、底面新老混凝土交界面附近应力基本为 3.0 MPa 左右，横向基本满布整个底板顶面，底板混凝土拉应力基本超过混凝土抗拉设计值。

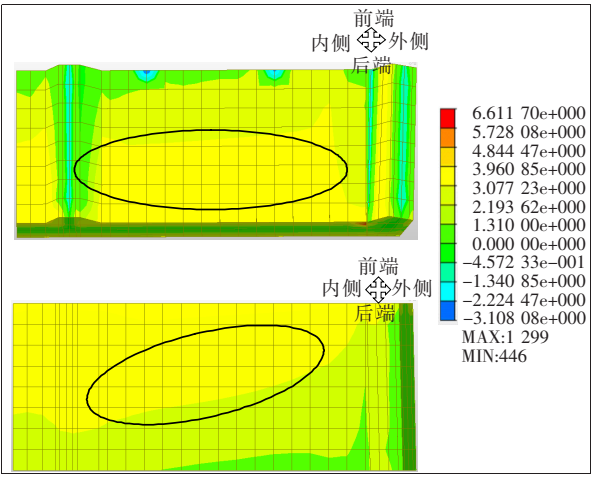


图 4 水化温差作用下底板顶、底面应力图(单位：MPa)

图 5 为日照温差作用下底板顶底面应力图。

由图 6 可知：底板顶面新老混凝土交界面附近应力为 1.2 MPa 左右，底板底面新老混凝土交界面附近应力为-0.3 MPa 左右，横向基本满布整个底板底面。

图 6 为整体降温作用下底板顶、底面应力图。由图 6 可知：顶、底面新老混凝土交界面附近应力为 1.0 MPa 左右，横向基本满布整个底板顶面，纵向由新老

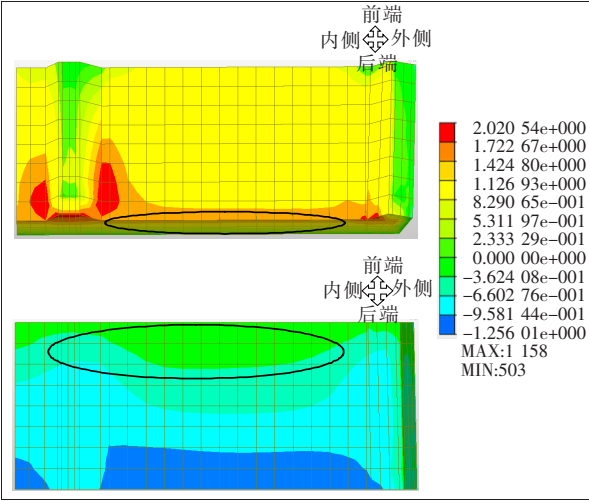


图5 日照温差作用下底板顶、底面应力图(单位:MPa)

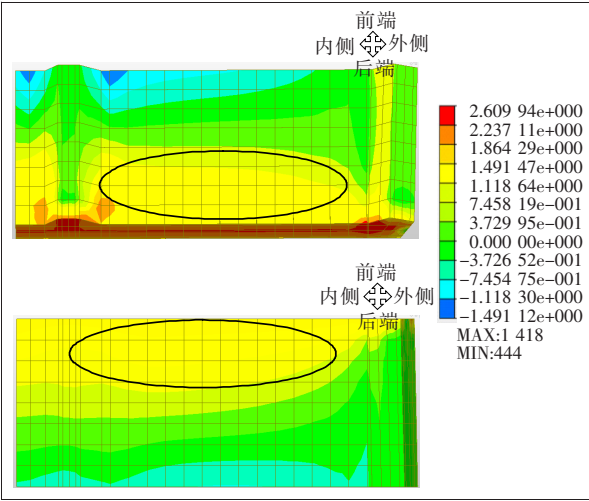


图6 整体降温作用下底板顶、底面应力图(单位:MPa)

混凝土交界面向前端延伸 0.5~2.0 m。

3.2 组合荷载应力

根据各主梁段施工初期现场检测情况,底板裂缝为顺桥梁走向、且集中分布出现在分段现浇混凝土新老接缝交界部位,底板纵向裂缝最长 1.2 m,宽 0.12~0.30 mm;斜向裂缝最长 1.8 m,宽 0.14~0.40 mm。该文结合现场裂缝状况和组合荷载计算应力进行对比分析。

图 7、8 为组合 I 作用下底板顶、底面应力图。由图 7、8 可知:顶、底面新老混凝土交界面附近应力为 2.0 MPa 左右,横向基本满布整个底板顶面,混凝土拉应力基本超过混凝土抗拉设计值。应力最大位置基本与裂缝发展区域吻合。

图 9、10 为组合 II 作用下底板顶、底面应力图。由图 9、10 可知:顶、底面新老混凝土交界面附近应力基

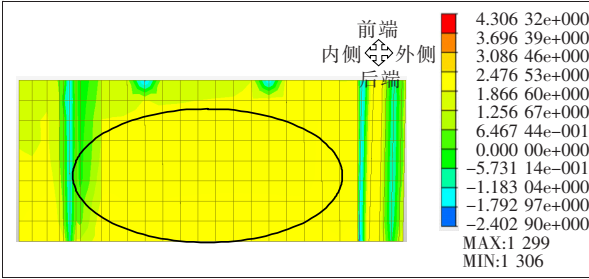


图7 组合 I 作用下底板顶面应力图(单位:MPa)

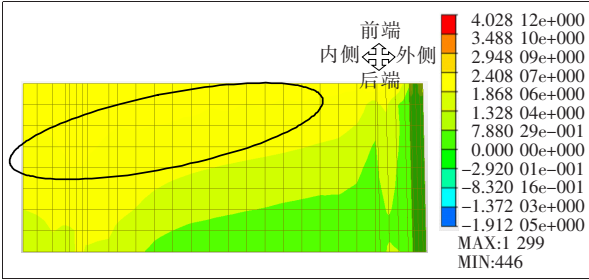


图8 组合 I 作用下底板底面应力图(单位:MPa)

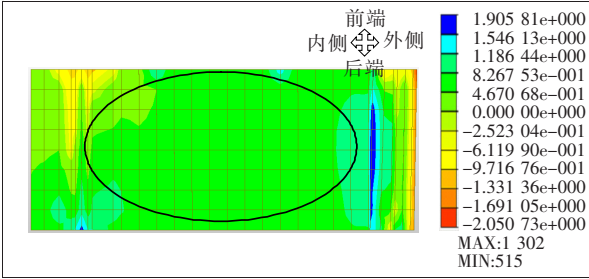


图9 组合 II 作用下底板顶面应力图(单位:MPa)

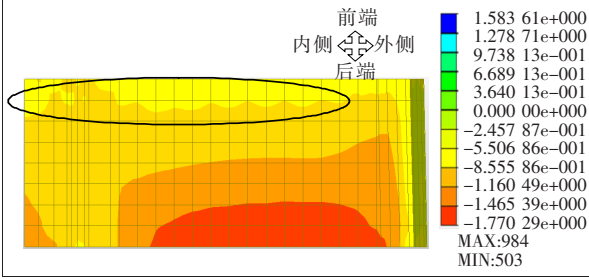


图10 组合 II 作用下底板底面应力图(单位:MPa)

本为-0.6~0.6 MPa,横向基本满布整个底板顶面,混凝土拉应力尚未超过混凝土抗拉设计值。

图 11、12 为组合 III 作用下底板顶、底面应力图。由图 11、12 可知:顶、底面新老混凝土交界面附近应力为 1.0 MPa 左右,横向基本满布整个底板,混凝土拉应力尚未超过混凝土抗拉设计值。

图 13 为组合 IV 作用下底板顶、底面应力图。由图 13 可知:顶、底面新老混凝土交界面附近应力基本为 4.0 MPa,横向基本满布整个底板顶面,底板混凝土拉

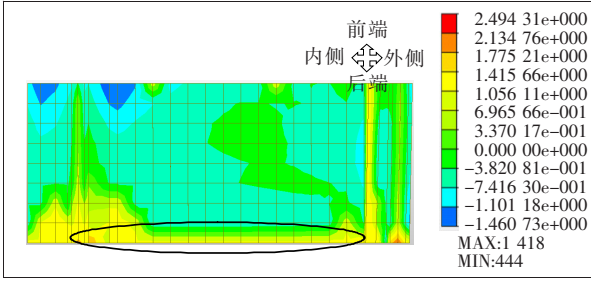


图 11 组合Ⅲ作用下底板顶面应力图(单位:MPa)

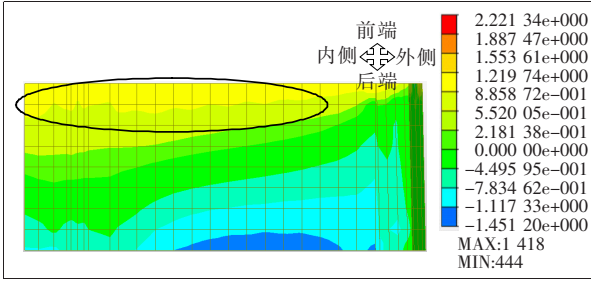


图 12 组合Ⅲ作用下底板底面应力图(单位:MPa)

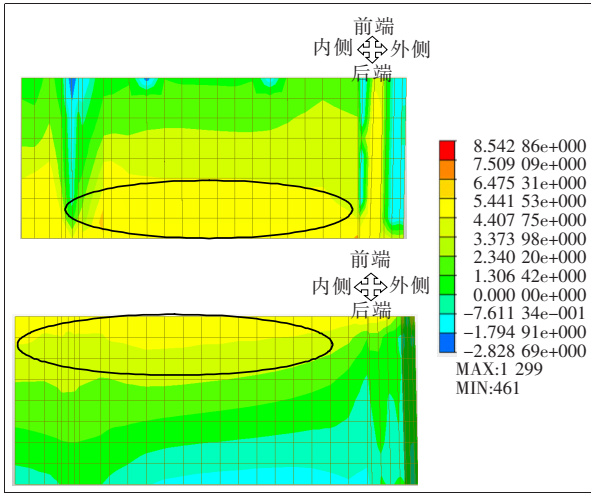


图 13 组合Ⅳ作用下底板顶、底面应力图(单位:MPa)

应力完全超过混凝土抗拉设计值。应力最大位置基本与裂缝发展区域吻合。

图 14 为组合 V 作用下底板顶、底面应力图。由图 14 可知:顶、底面新老混凝土交界面附近应力增加,基本为 4.9 MPa,横向基本满布整个底板顶面,混凝土拉应力完全超过混凝土抗拉设计值。应力最大位置基本与裂缝发展区域吻合。

5 种荷载组合作用下底板顶、底面应力图见图 15、16。

3.3 成因分析^[5-6]

(1) 自重及挂篮刚度对底板应力影响较小。

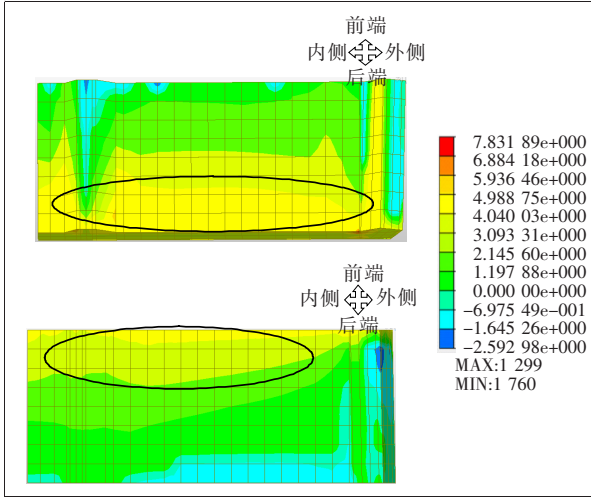


图 14 组合 V 作用下底板顶、底面应力图(单位:MPa)

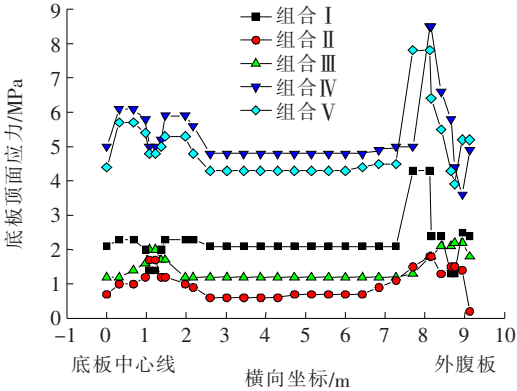


图 15 组合作用下底板顶面应力图

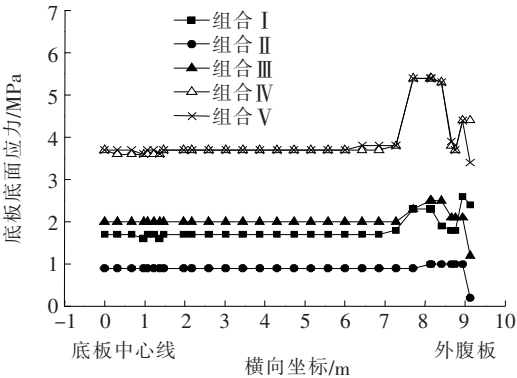


图 16 组合作用下底板底面应力图

(2) 水化温差作用下底板拉应力较大,单项荷载应力即超过混凝土抗拉设计值。

(3) 日照温差及整体降温对底板应力影响不大。

(4) 组合 I (自重、水化温差) 作用下,底板拉应力较大,基本超出混凝土抗拉设计值。该组合对底板的影响范围基本在新旧混凝土接缝前端 1.5~4.0 m 范围,应力最大位置基本与裂缝发展区域吻合。

(5) 组合Ⅳ(各种作用叠加)作用下,底板拉应力较大,基本超出混凝土抗拉设计值。该组合对底板的影响范围基本在新旧混凝土接缝前端 0.5~2.5 m 范围,应力最大位置基本与裂缝发展区域吻合。

(6) 水化温差是影响底板应力的主要因素。

(7) 在后续混凝土养护期间,由于混凝土收缩将加剧箱梁主拉应力。

3.4 防裂措施

结合以上施工裂缝成因分析,针对水化、日照和整体温差等影响裂缝的主要因素,在后续箱梁施工中采取如下防裂处置措施,从而有效防止了底板裂缝问题,效果良好。

(1) 混凝土容易产生裂缝的时段为混凝土水化热最大、强度较低的初凝阶段,为降低混凝土水化热,需有针对性地优化配合比,采用双掺技术,使用大掺量粉煤灰、硅粉代替水泥用量来降低水化热^[7-10]。

(2) 调整混凝土的缓凝时间,从原来 8 h 调整至 16 h,以达到消除混凝土浇筑过程中各种情况产生的形变对结构产生的影响,腹板裂缝明显减少。

(3) 降低混凝土的入模温度,在浇筑前可采取降低骨料的温度,冷却拌和用水等措施,从而降低混凝土在水化过程中其内部的温度。

(4) 箱梁混凝土的养护要遵循“内降外保”的原则,在箱梁混凝土浇筑后,要注意通过覆盖洒水的方式维持箱梁混凝土表面的温度。

(5) 减小底模对箱梁底板的约束作用,底模的平整度、光滑度至关重要,可通过涂刷脱模剂,在底模上铺设一层纸板等措施减小底模对底板的约束作用。

4 结论

(1) 混凝土浇筑养护期间的温度变化即水化热温

差、日照温差、整体降温及其组合因素是产生大尺寸箱梁底板裂缝的主要诱因。

(2) 对 7# 节段箱梁底板应力作用采用混合单元模拟计算,在水化温差作用下底板拉应力较大,单项荷载应力即超过混凝土抗拉设计值,Ⅰ、Ⅳ、Ⅴ组合工况时底板应力分别达 2.0、4.0、4.9 MPa,大于抗裂允许值,其与实际出现裂缝的范围相吻合,证明混合单元模拟计算方法合理。

(3) 箱梁混凝土施工时采取双掺技术降低水化热、延长终凝时间至 16 h、降低混凝土入模温度以及“内降外保”养护等措施,能较好地控制底板裂缝问题。

参考文献:

- [1] 丁勇,赵启林,马方圆,等.普通钢筋混凝土箱梁桥腹板竖向裂缝成因分析[J].工业建筑,2009,39(s1):918-922.
- [2] 王建强,吕忠达,赵卓,等.预应力混凝土连续箱梁顶板早期裂缝控制研究[J].铁道工程学报,2019,36(9):43-48.
- [3] 王一霏,梁伟.中央索面宽幅五箱室矮塔斜拉桥施工期腹板斜裂缝成因分析[J].公路,2020,65(11):194-198.
- [4] 常建国.桥梁工程中预应力钢筋混凝土箱梁预制施工质量控制[J].山西建筑,2019,45(15):113-114.
- [5] 韦锋,杨洋,苏成,等.华南地区混凝土刚构桥典型病害调查及分析[J].中外公路,2018,38(1):95-98.
- [6] 毛建平,唐庚,蒙方成,等.预应力混凝土连续桁梁刚构桥裂缝分析及加固[J].中外公路,2020,40(3):168-172.
- [7] 阎培渝,郑峰.水泥水化反应与混凝土自收缩的动力学模型[J].铁道科学与工程学报,2006,3(1):56-59.
- [8] 高小建,巴恒静,马保国.混凝土早期自收缩、强度与水泥水化率的关系[J].工业建筑,2006,36(2):64-67.
- [9] 宋冰泉.津滨轻轨预应力连续箱梁混凝土水化热温度试验[J].铁路标准设计,2003,47(6):24.
- [10] 唐国栋,季文玉,卢文良.预应力混凝土箱形梁水化热试验分析[J].铁道建筑,2004,34(2):78-80.