

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.01.016

# 预应力混凝土桥箱梁底面横向裂缝分析

伍静, 蒙波

(北京市建设工程质量第三检测所有限责任公司, 北京 100037)

**摘要:** 预应力混凝土箱梁由于在受力性能方面良好,在高速桥梁互通工程中得到了良好的应用,但是由于结构受力和施工工艺的复杂性,该类型桥梁在设计和施工都存在质量较难控制等原因,造成部分桥梁在投入使用过程中箱梁底面就出现较多的横向裂缝,裂缝的大量出现严重影响了桥梁的正常使用,对结构的承载能力存在一定的影响。以一座预应力混凝土箱梁桥为例,通过对材料强度、铺装层层厚度、预应力损失、承载力评定等方面对该桥箱梁底面横向裂缝进行了分析,并对防止此类裂缝提出了改进措施,可供类似工程借鉴。

**关键词:** 公路工程;预应力混凝土;箱梁;横向裂缝;承载能力

中图分类号: U448.21<sup>+</sup>3

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2018)01—0091—06

## Analysis of Lateral Cracks on the Bottom of Prestressed Concrete Bridge Box Girder

WU Jing, MENG Bo

(Beijing Construction Engineering Quality Third Test Institute Co., Ltd., Beijing 100037, China)

**Abstract:** Due to good mechanical behavior, the prestressed concrete box girder has been applied rapidly in the high-speed bridge interchange project, however because of the complexity of the structure stress and the construction technology, difficult in quality control and other reasons exist in the design and construction, there are a large number of surface cracks in part of the bridge in use, which seriously affect the normal use of the bridge, there is impacts on the bearing capacity of the structure for sure. In this paper a prestressed concrete box girder bridge is taken as an example, based on the strength of materials, pavement layers thickness, prestress loss, bearing capacity evaluation and other aspects of the box girder bottom surface transverse cracks are analyzed to prevent such cracks, improving measures are also proposed which can provide reference for similar engineering.

**Keywords:** highway engineering; prestressed concrete; box girder; transverse crack; load-bearing capacity

### 1 工程背景

某互通桥梁位于某高速公路,由主线桥和 A、B、B1、B2、C 五个匝道组成(见图 1)。其中主线桥采用分离式设计,桥梁全长左幅 345.0 m,右幅 321.0 m,单幅桥宽 12.25 m。桥面横向布置为:0.5 m(防撞护栏)+10.75 m(行车道)+0.5 m(防撞护栏)。桥梁上部结构均为预应力混凝土连续箱梁,截面为单箱单室。桥梁具体信息见表 1。

下部结构除 B1 匝道墩柱为钢筋混凝土单柱墩外,其它桥梁均采用钢筋混凝土双柱式桥墩,扩大基

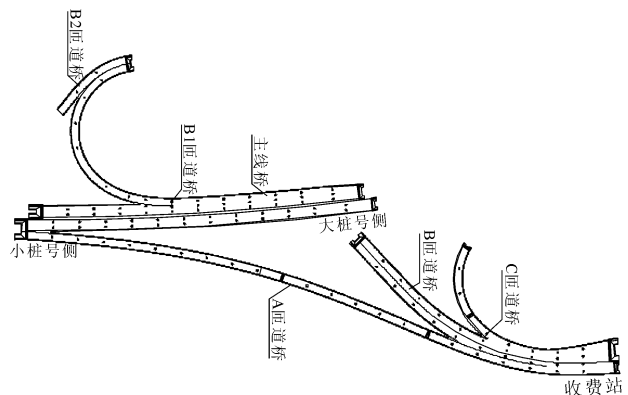


图 1 桥梁平面示意图

表 1 桥梁跨径组合信息

桥名	结构形式	跨径组合/m
主线桥	预应力混凝土连续箱梁	4 × 25 + 4 × 25 + (3 × 25 + 30 + 25)(左幅)
		3 × 25 + 4 × 25 + (3 × 25 + 30 + 25)(右幅)
A 匝道	预应力混凝土连续箱梁	5 × 25 + 5 × 25 + 6 × 25
B 匝道	预应力混凝土连续箱梁	5 × 25 + 6 × 25
B1 匝道	预应力混凝土连续箱梁	4 × 25 + 4 × 25
B2 匝道	预应力混凝土连续箱梁	3 × 25
C 匝道	预应力混凝土连续箱梁	4 × 23

础。桥台均为重力式 U 型桥台, 支座采用板式橡胶支座。

桥面铺装采用 4 cm 抗滑表层 + 6 cm 中粒式沥青混凝土 + 防水层 + 5 cm 水泥混凝土铺装层, 并在 5 cm 水泥混凝土中布设钢筋网。伸缩缝均采用 EM-80 浅埋式伸缩缝。桥梁设计荷载为“汽车 - 超 20、挂车 - 120”。

在桥梁营运过程中, 历次检测发现该桥主要存在病害及处治方法如下:

(1) 第一次定期检查发现该桥预应力混凝土箱梁存在较多的横桥向裂缝, 主要包括底板横向裂缝, 部分裂缝延伸至腹板呈“L”形或“U”型, 裂缝多位于跨中区域或附近、最宽 0.24 mm(见图 2、图 3)。部分裂缝初步判定为弯曲受力裂缝, 对桥梁承载能力造成不利影响。根据《公路桥涵养护技术规范》<sup>[1]</sup>(JTG H11—2004), 桥梁的总体技术状况等级为“三类”, 处于较差状态。

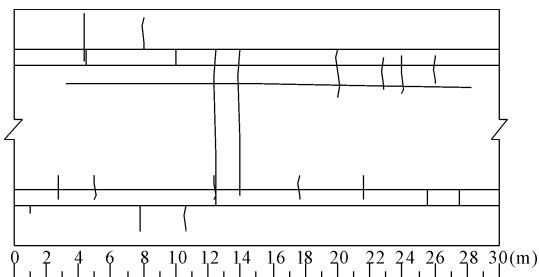


图 2 左幅第 12 跨箱梁底面纵向裂缝

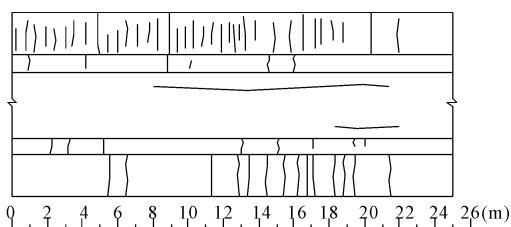


图 3 B2 匝道第 2 跨箱梁底面纵向裂缝

根据第一次检查结果对该桥病害进行了处治, 对裂缝宽度  $< 0.15 \text{ mm}$  时采用表面封闭法修补, 涂刷专用环氧树脂胶进行封闭; 裂缝宽度  $\geq 0.15 \text{ mm}$  时, 采用压力注浆法修补。并对部分桥跨裂缝较多的进行了粘贴碳纤维布(见图 4、图 5)<sup>[2]</sup>。

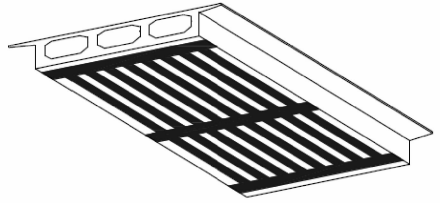


图 4 箱梁底面碳纤维加固



图 5 箱梁腹板碳纤维加固

(2) 维修处治后, 为进一步了解该桥裂缝修补后的发育情况, 抽选了主线桥左幅第 9~13 跨、右幅第 8、9、11 跨和 B2 匝道桥第 2、3 跨进行箱梁裂缝专项检查。发现在桥梁跨中区域仍存在较多新开裂的横向裂缝, 部分裂缝延伸至腹板形成“L”型, 裂缝宽度多在 0.10 mm~0.16 mm 之间, 部分跨梁底碳纤维布处理后, 仍在碳纤维布条间发现横向裂缝(见图 6)<sup>[1]</sup>。

## 2 现场检测结果

为进一步分析该桥裂缝产生的原因, 对该桥进行了如下专项检查:

### 2.1 混凝土抗压强度检测

混凝土强度不足是引起结构开裂的原因之一。为准确获得结构混凝土强度, 采用钻芯法对主梁混凝土强度进行检测(见图 7)。根据桥梁病害情况及受力特点, 本次选取主线左幅 13 跨右侧腹板进行钻芯取样<sup>[3]</sup>。

根据钻芯法检测混凝土强度技术规程的相关要求, 对所取芯样进行抗压强度检测<sup>[3]</sup>, 结果见表 2。

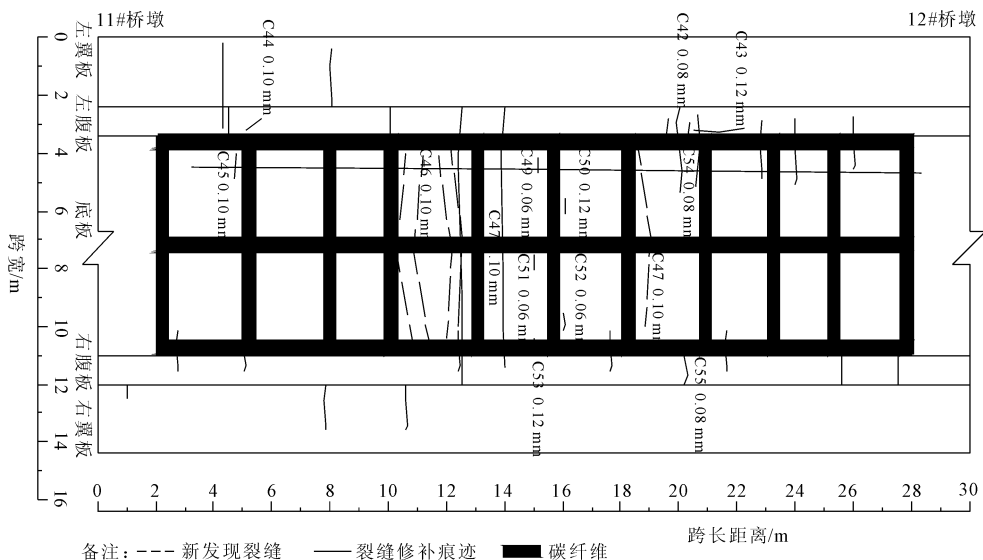


图 6 主线桥左幅第 12 跨箱梁底面裂缝分布图

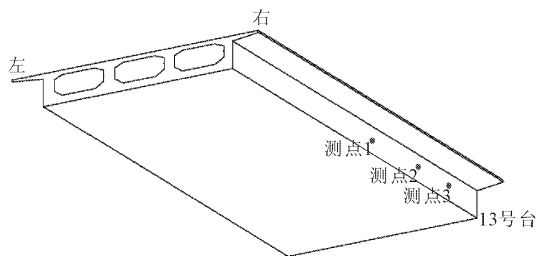


图 7 钻芯取样测区位置

表 2 右腹板钻芯取样混凝土强度试验结果表

测点	外观	破坏荷载 /kN	样芯抗压强度 /MPa	尺寸修正系数	尺寸换算系数	抗压强度 /MPa	
						换算值	方块值
1	密实	320.5	40.8			33.7	38.7
2	密实	454.0	57.8	0.87	0.95	47.8	52.8
3	密实	573.8	73.1			60.4	65.4

从试验结果来看,3 个试件的推算强度值分别是 38.7 MPa、52.8 MPa 和 65.4 MPa,依据《钻芯法检测混凝土强度技术规程》<sup>[3]</sup> (CECS03: 2007) 中第 3.2.5 的相关规定,单个构件的混凝土最终推算强度为 38.7 MPa,小于设计强度 40.0 MPa。

### 2.2 桥面铺装层厚度检测

桥面铺装的结构和厚度的实际状况可能与原设计存在较大的差异。为了了解各桥铺装层的实际施工厚度,为桥梁加固设计和承载能力计算提供数据支撑。对桥面铺装结构厚度采用钻芯取样的方法进行检测(见图 8)。桥面铺装层钻孔位置的选取,原则上每座桥梁顺桥向选取 5 个断面,每个断面横桥

向布置 3 个测点,桥梁长度较短的可适当减少,但不应少于 3 个断面,共计 81 个测点。

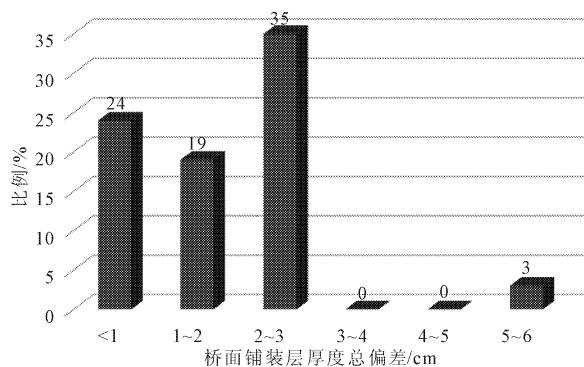


图 8 桥面厚度总偏差分布图

通过对桥面沥青铺装层厚度检测数据进行分析,本次桥面铺装层厚度 81 个测点中总偏差介于 0 cm~3 cm 居多,共计 78 处,占总测点的 96.3%。进一步计算分析,桥面铺装实测厚度较原设计值厚约 1.7 cm,从而造成箱梁跨中下缘增加 0.008 MPa 的拉应力。

### 2.3 预应力损失测算

为进一步了解该预应力混凝土连续箱梁目前的应力分布状况,推断该部位受力状态,采用应力释放的方法对该桥进行恒载作用状态下的应力量测。

钢筋应力释放法是指在桥梁在自重、预应力等持久荷载作用下,结构及其中普通钢筋存在较大的应力,通过切割普通钢筋进行应力释放,则释放出的应力值就等于结构现存的应力值,由此分析结构的实际有效预应力或结构的预应力度,从而对整个结构进行评价<sup>[4]</sup>。

(1) 测点布置。选取主线桥左幅第 13 跨正弯

矩控制截面进行应力测量,截面的位置示意图如图 9 所示。应力测点选取箱梁底板底面上层顺桥向钢筋进行试验,应力测试方向与桥梁纵轴线平行,用以测试纵向弯曲应力。

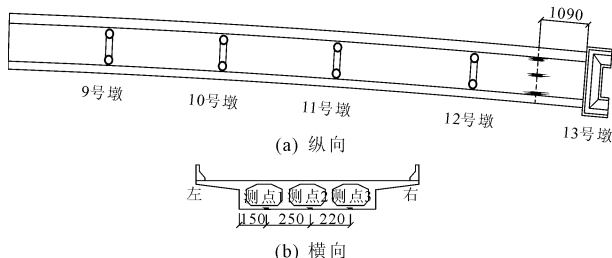


图 9 应力释放位置示意图

(2) 测试结果。采用桥梁专用有限元计算分析软件 MIDAS/Civil 2012 对结构进行建模计算<sup>[5]</sup>,通过对模型施加自重、二期恒载、预应力及收缩徐变荷载,求得结构在恒载作用下<sup>[6]</sup>的结构应力图如图 10 所示。

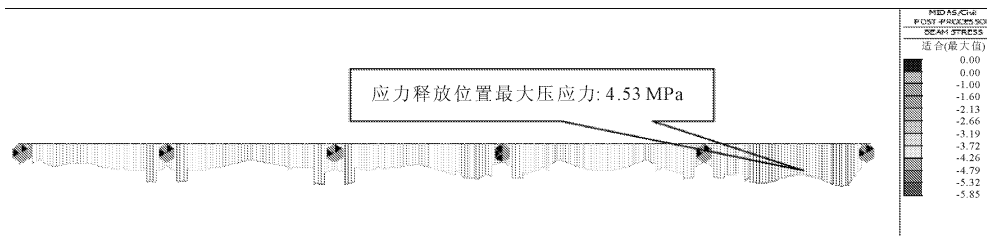


图 10 恒载作用下应力图

通过计算可得,箱梁底板应力释放位置恒载作用下的最大压应力值为 4.53 MPa<sup>[6]</sup>,即最大压应变  $\epsilon = 139.4 \mu\epsilon$ 。现场实测钢筋应变  $\epsilon_g = 122 \mu\epsilon$ ,因此主线桥有效预应力度约为 88%。

通过应力释放试验,此推定预应力钢束损失约为 12%。考虑到该方法目前无相关规程可依,因此该测试结果仅供参考。

### 2.4 承载能力试验

结合本桥受力特点和现场病害情况,选取左幅第 3 联(跨径组合为 3 × 25 m + 30 m + 25 m)进行荷载试验,利用桥梁专用有限元计算分析软件 MIDAS/Civil 计算在设计荷载(汽车 - 超 20、挂车 - 120)作用下的最大内力值<sup>[7-8]</sup>,并根据测试截面(见图 11)影响线进行等效加载<sup>[4-7]</sup>。

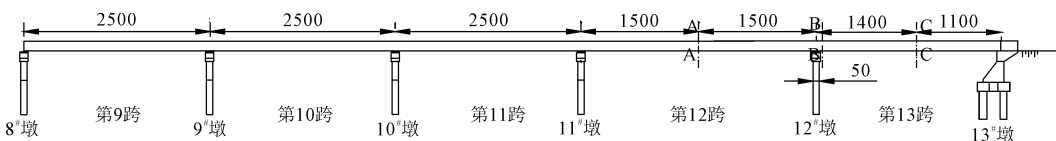


图 11 荷载试验测试截面位置(单位:cm)

根据计算结果结合现场实际情况,试验测试工况为:工况 1(第 13 跨最大正弯矩工况),工况 1(12#墩顶截面最大负弯矩工况),工况 3(第 12 跨最大正弯矩工况)。试验时应变测点布置在箱梁底板及腹板,具体位置见图 12,挠度测点布设在各跨跨中、墩顶及四分点位置。

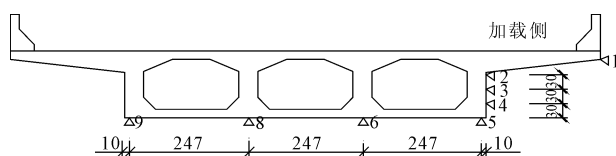


图 12 应变测点布置示意图(单位:cm)

表 3 静载试验测试结果

试验工况	设计内力值 (kN·m)	试验内力值 (kN·m)	加载效率	应变/ $\mu\epsilon$		挠度/mm	
				计算值	实测值	计算值	实测值
工况 1	5947	5625	0.98	69	85	-7.53	-8.77
工况 2	-3854	-3930	1.02	-44	-59	—	—
工况 3	5808	5755	0.99	73	87	-4.34	-6.68

通过对每个试验工况作用下的数据分析计算,桥梁试验跨主要控制测点结构校验系数均小于 1,主要测点相对残余变位或相对残余应变均小于 20%;但试验过程中通过对第 12 跨跨中截面选取的 10 条横向裂缝宽度的监测发现,裂缝宽度随荷载等级的增加呈现增大趋势,属于结构裂缝,对结构承载力有一定影响。

### 3 原因分析

#### 3.1 桥梁设计原因

根据设计图纸,以主线桥第 3 联为例进行计算,该联为  $3 \times 25 \text{ m} + 30 \text{ m} + 25 \text{ m}$  预应力混凝土连续箱梁,计算结果显示,在正常使用极限状态下,该桥 30

m 跨跨中下缘拉应力达 3.06 MPa,已不满足部分预应力 A 类混凝土构件要求。即在理论计算上存在开裂的可能。现场检查中也发现,该跨跨中附近存在大量横向、L 型、U 型裂缝,裂缝形态与弯曲受力裂缝一致。具体可见图 13<sup>[8-15]</sup>。

根据桥梁设计单位提供的计算书,30 m 跨径跨中位置正常使用极限状态组合 2(移动荷载作用下(汽车-超 20)+永久荷载(结构自重、预应力、混凝土收缩及徐变影响力)+温度荷载),法向拉应力为 3.39 MPa,正常使用极限状态组合 3 作用下(移动荷载(挂-120)+永久荷载(结构自重、预应力)),法向拉应力为 4.41 MPa,均超过了规范对 A 类构件的容许应力 2.34 MPa。

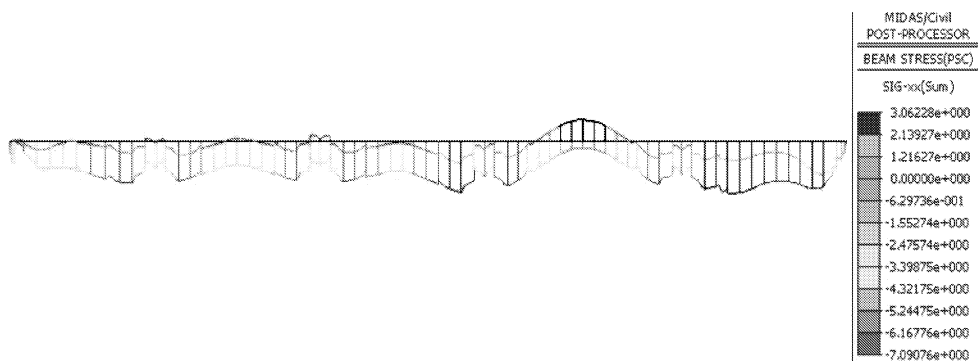


图 13 主线桥左幅第 3 联正常使用极限状态截面下缘正应力包络图

综上可得,桥梁在原设计状态下应力较大,存在开裂可能。同时,设计时所依据的《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》<sup>[5]</sup>(JTJ 023—1985)中规定对缺少实测资料时,对温度梯度仅考虑桥面板升温  $5^\circ\text{C}$ ,与现行规范有明显差距,也是应力储备考虑不足的原因之一。

#### 3.2 桥梁施工原因

(1) 混凝土强度偏低:钻芯取样法的测试混凝土强度最低仅为 38.7 MPa,小于设计强度 40.0 MPa,混凝土强度偏低在一定程度上增加了开裂风险。

(2) 桥面铺装层偏厚:实测桥面铺装厚度明显大于设计值,从而造成箱梁跨中下缘增加了 0.008 MPa 左右的拉应力。

(3) 其它可能的原因:施工时的预应力张拉不足或存在损失(应力释放结果表明预应力钢束损失约为 12%)、混凝土浇筑质量差(梁体外观存在大量的蜂窝、露筋、混凝土不平整)。

## 4 结论

(1) 在设计阶段需采用不同的方法计算,在结构设计计算时采用平面分析,而在施工阶段需采用空间分析验算的结论。必要时采用实体模型对箱梁的底板下缘纵向正应力、顶板下缘横向正应力进行验算<sup>[9]</sup>。

(2) 施工阶段应加强对预应力损失的控制和检测,选择合理的张拉器具、规范张拉工序,做到预应力张拉值和均匀度满足规范要求。

(3) 当预应力混凝土箱梁底板较多横向受力裂缝时,说明该桥承载能力下降,应立即采取相应方法对结构进行补强(如粘贴钢板等方法),进一步提高结构承载能力。

(4) 施工阶段要严格按照规范进行施工作业,施工质量的低下是造成该桥裂缝产生的主要原因之一。

#### 参考文献:

- [1] 公路桥涵养护规范:JTG H11—2004[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 公路桥梁加固设计规范:JGJ/T J22—2008[S].北京:人民交通出版社,2008.
- [3] 钻芯法检测混凝土强度技术规程:CECS03:2007[S].北京:人民交通出版社,2008.
- [4] 北京迈达斯技术有限公司.midas Civil2010 分析设计原理手册[M].北京:北京迈达斯技术有限公司.
- [5] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范:JTJ 023—85[S].北京:人民交通出版社,1985.
- [6] 公路桥涵设计通用规范:JTJ 021—89[S].北京:人民交通出版社,1989.
- [7] 公路桥梁承载能力检测评定规程:JTG/T J21—2011

[S].北京:人民交通出版社,2010.

- [8] 朱汗华,陈孟冲,袁赢杰.预应力混凝土连续箱梁桥裂缝分析与防治[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [9] 李增锋,庄一舟,程俊峰,等.横向预应力对装配整体式空心板桥纵向抗裂性能的影响[J].水利与建筑工程学报,2017,15(3):127-133.
- [10] 单积明,蔡 飒,伍 静.山区高速公路单向纵坡箱梁桥梁体纵向滑移分析[J].水利与建筑工程学报,2017,15(2):176-182.
- [11] 史慧彬.砼桥梁有效预应力检测方法试验研究[D].西安:长安大学,2007.
- [12] 朱利明,刘 华.三腹板预应力混凝土连续箱梁底板纵向裂缝病害原因分析及对策[J].桥梁建设,2005(S1):114-116.
- [13] 叶 俊,吴小军.预应力混凝土连续箱梁跨中横向裂缝原因分析[J].公路交通科技(应用技术版),2012(12):243-244.
- [14] 张兆宁,贺拴海,赵 煜.底板横向裂缝对箱梁强度及刚度影响模拟分析[J].郑州大学学报(工学版),2011,32(6):18-21.
- [15] 谭 竣.预应力混凝土连续箱梁桥的顶板力学术性能研究[J].中外公路,2009,29(5):131-134.

(上接第 58 页)

#### 参考文献:

- [1] 李晓晖.塑性混凝土防渗墙在张峰水库大坝基础防渗中的应用研究[J].水利与建筑工程学报,2007,5(2):39-40,44.
- [2] 向广银.塑性混凝土防渗墙在北湖水库加固中应用[J].中国农村水利水电,2015(8):141-142,146.
- [3] 李谈谈,杨具瑞,李续楠,等.红黏土及水泥掺量对塑性混凝土性能影响研究[J].水力发电学报,2016,35(8):105-113.
- [4] 许尚杰,程素珍,王可良.橡胶塑性混凝土性能试验研究[J].水利与建筑工程学报,2012,10(4):118-120,126.
- [5] 田建设,张雷顺.塑性混凝土渗透试验方法的探讨[J].混凝土,2013(9):1-4,9.
- [6] 宋 力,刘璐璐,高玉琴.塑性混凝土相对弹性变形特性试验研究[J].长江科学院报,2016,33(3):147-150.
- [7] 李家正,王迪友,杨华全.塑性混凝土配合比设计及试验方法探讨[J].长江科学院院报,2002,19(4):58-61.
- [8] 李清富,张 鹏,张保雷.塑性混凝土弹性模量的试验研究[J].水力发电,2005,31(3):30-32.

- [9] 王四巍,于怀昌,高丹盈,等.塑性混凝土弹性模量室内试验研究[J].水文地质工程地质,2011,38(3):73-76.
- [10] 袁自立,王立霞,黑君森,等.塑性混凝土弹性模量试验方法研究[J].人民黄河,2013,35(8):84-87,90.
- [11] 高丹盈,王四巍,宋帅奇,等.塑性混凝土单向受压应力-应变关系的试验研究[J].水利学报,2009,40(1):82-87.
- [12] 高丹盈,宋帅奇,杨 林.真三轴应力下塑性混凝土性能及破坏准则[J].水利学报,2014,45(3):360-367.
- [13] 王四巍.单轴和三轴应力下塑性混凝土性能研究[D].郑州:郑州大学,2010.
- [14] 王四巍,潘旭威,王忠福,等.多轴应力下塑性混凝土峰值后变形特征[J].建筑材料学报,2014,17(4):654-658.
- [15] 王 冠,谢凌志,侯正猛,等.岩盐三轴压缩试验方法及数据处理方式的对比研究[J].岩土力学,2014,35(2):429-434.
- [16] 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准:JBJ 52—2006[S].北京:中国建筑工业出版社,2006.