DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260493

基于ABAQUS的混凝土箱梁偏载效应及敏感参数分析

邹品德,蒲　玲,陈　旭,徐　旭
(四川路桥桥梁工程有限责任公司,四川 泸州 646300)

摘　要: 为明确几何参数对箱梁纵向分布正应力的作用规律,以混凝土箱梁为研究对象,基于ABAQUS软件建立空间有限元模型,通过单次改变跨度、箱梁高度、悬臂板宽度以保证单一变量,系统分析宽跨比、高宽比、板宽比3类几何参数对箱梁纵向分布正应力的影响。结果表明,宽跨比、高宽比、板宽比越大,正应力越小;宽跨比对无偏载侧腹板与上翼板交汇处正应力影响最大;高宽比对腹板与下翼板交汇处正应力影响最显著,箱梁1/10跨、高宽比为0.423、0.563时,偏载侧腹板与下翼板交汇处正应力相对高宽比为0.282时分别降低了34.8%、52.4%;板宽比对偏载侧腹板与上翼板交汇处正应力影响较强,箱梁1/20跨、板宽比为0.5、1.0时,偏载侧腹板与上翼板交汇处正应力相对于无悬臂板时最大降低了44.36%、51.80%;研究结果可为箱梁桥的优化设计与结构安全性提升提供参考依据。

关键词: 薄壁箱梁;偏心荷载;有限元;正应力分布;敏感参数
中图分类号: U448.213　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1009-7716(2026)11-0045-05

Analysis on Eccentric Load Effect and Sensitive Parameters of Concrete Box Girders Based on ABAQUS

ZOU Pinde, PU Ling, CHEN Xu, XU Xu
(Sichuan Road and Bridge Engineering Co., Ltd., Luzhou 646300, China)

Abstract: To clarify the action law of geometric parameters on the longitudinal distributed normal stress of box girders, taking the concrete box girder as the research object, a spatial finite element model is established based on the ABAQUS software. By changing the span, the height of the box girder and the width of the cantilever plate at one time to ensure a single variable, the influence of three types of geometric parameters, namely the width-span ratio, the high-width ratio and the plate-width ratio, on the longitudinal distributed normal stress of the box girder is systematically analyzed. The results show that the larger the width-span ratio, height-width ratio and plate-width ratio, the smaller the normal stress. The width-span ratio has the greatest impact on the normal stress at the intersection of the unbiased side web plate and the upper wing plate. The height-width ratio has the most significant influence on the normal stress at the intersection of the web plate and the lower wing plate. When the box girder is at 1/10 span and the height-to-width ratio is 0.423 and 0.563, the normal stress at the intersection of the eccentric load side web plate and the lower wing plate is decreased by 34.8% and 52.4% respectively compared to when the height-to-width ratio is 0.282. The plate-width ratio has a stronger influence on the normal stress at the intersection of the eccentric load side web plate and the upper wing plate. When the box girder is at 1/20 span, and the plate-width ratio is 0.5 and 1.0 respectively, the normal stress at the intersection of the eccentric load side web plate and the upper wing plate is reduced by up to 44.36% and 51.80% respectively compared with the situation without cantilever plates. The research result can provide reference basis for the optimal design and structural safety improvement of box girder bridges.

Keywords: thin-walled box girders; eccentric load; finite element; normal stress distribution; sensitive parameters

0　引　言

混凝土箱梁因其整体刚度大、抗扭性能优异、承载能力强、适应复杂施工场景等优点,被广泛应用[1-2]。

近年来,在箱梁空间应力分析方面已开展大量研究工作。蔺鹏臻等[3]对单箱双室简支箱梁的剪力滞效应展开研究,结合数值方法分析了荷载作用下的剪力滞分布规律;乔朋等[4]采用有限元法分析扁

收稿日期:2026-05-06
作者简介:邹品德(1980—),男,学士,高级工程师,从事道路桥梁施工管理。

平钢箱梁的剪力滞效应，探讨了截面尺寸、隔板参数等对剪力滞效应的影响。张亚辉等[5]针对宽箱双室波形钢腹板组合箱梁桥，开展了力学性能研究及相关参数分析；周凌宇等[6]基于试验研究，采用有限元方法对大跨度开口钢箱-混凝土组合箱梁进行参数分析，明确了多种设计参数对箱梁力学性能的影响规律；汪洋生等[7]对斜腹板薄壁箱梁的横向内力进行分析，探讨了相关参数对横向内力的影响机制；李永鹏等[8]针对钢桁腹-混凝土组合箱梁的畸变效应展开研究，建立了畸变控制微分方程，分析了梁宽、钢腹杆俯角等参数对畸变内力的影响。张玉元等[9]基于剪力滞附加挠度，运用Hamilton原理推导箱梁弯曲自振频率解析解，分析了截面尺寸等参数对自振特性的削弱影响。

综上所述，箱梁宽跨比、宽高比等几何参数对箱梁正应力、剪力滞效应等影响显著，本文基于ABAQUS详细分析偏载作用下箱梁几何参数对箱梁翼板与腹板交汇处正应力的影响分布，研究成果为箱梁桥的合理设计提供了参考。

1　宽跨比（$2b_1/l$）的影响分析

1.1　模型梁基本情况

以文献[9]介绍的简支箱梁为例，箱梁跨度40 m，宽跨比$2b_1/l$取0.1775、0.25、0.325，即b_3=3.55 m，b_1=b_2分别取3.55 m、5 m、6.5 m，t_u=t_b=0.25 m，t_w=0.4 m，弹性模量E=35 GPa，泊松比μ=0.1667。荷载按《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60—2015）规定的公路-Ⅰ级车道荷载施加单侧偏载[10]，施加方式为集中荷载P_k=340 kN作用于跨中截面上翼板和腹板交汇处，均布荷载q_k=10.5 kN/m作用于全跨翼板和腹板交汇梁肋处，荷载布置纵向示意如图1所示，截面尺寸如图2所示，荷载截面作用位置如图3所示。

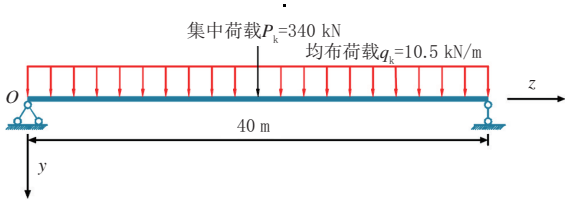


图1　荷载布置纵向示意图

1.2　有限元模型

有限元模型仅考虑材料的线弹性，采用ABAQUS中的C3D8R单元建立简支箱梁空间有限元模型。宽跨比为0.177 5的模型梁共划分75 978个节点、50 400个实体单元；宽跨比为0.25的模型梁共划分94 068个节点、62 400个实体单元；宽跨比为0.325的模型梁共划分112 158个节点、74 400个实体单元。所有模型单元网格划分特征尺寸为150～200 mm。有限元模型如图4所示，部分变形云图如图5所示。

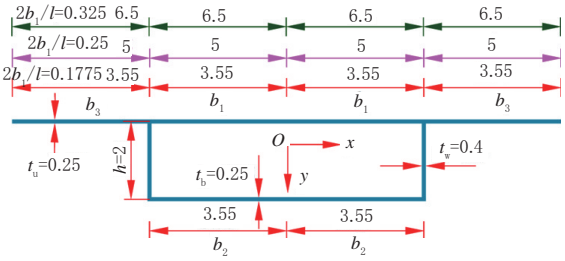


图2　截面尺寸（单位：mm）

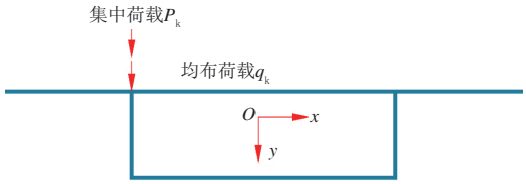


图3　荷载截面作用位置

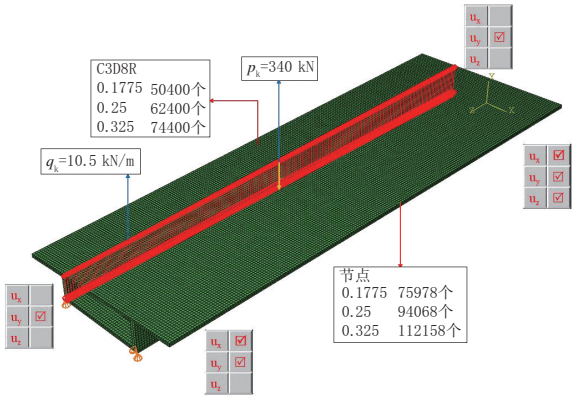


图4　有限元模型

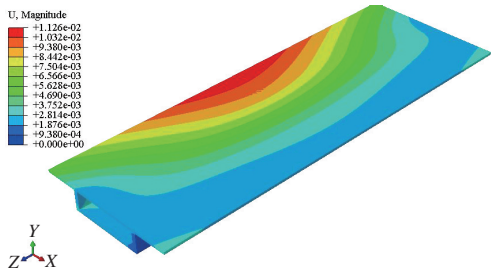


图5　有限元变形云图（部分）

1.3　有限元结果分析

定义上翼板与偏载侧腹板交汇处纵向应力σ_{is}，上翼板与无偏载侧腹板交汇处纵向应力为σ_{js}，下翼板与偏载侧腹板交汇处纵向应力为σ_{ix}，下翼板与无偏载侧腹板交汇处纵向应力为σ_{jx}，各处纵向应力对应位置分布如图6。

定义纵向应力变化百分比κ_i为衡量各参数对正应力变化的影响：

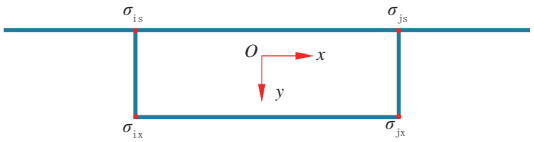


图 6　正应力对应位置分布图

$$\kappa_i = \frac{\sigma_{i-jn}}{\sigma_{i-jn-1}} \times 100\% \tag{1}$$

式中：i 为正应力位置，取 is、js 等；n 为各参数取值，如板宽比取 0、0.5、1 等。

取翼板与腹板交汇梁肋处，提取有限元计算结果，绘制纵向应力分布图和变化百分比分布图，如图 7 和图 8 所示。

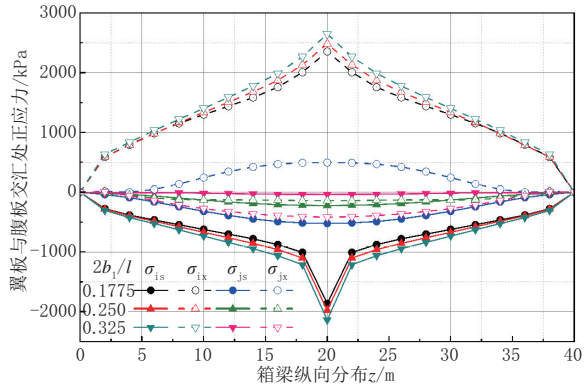


图 7　翼板与腹板交汇处正应力

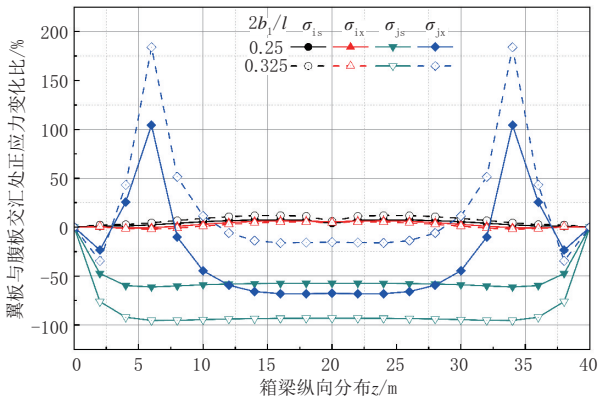


图 8　翼板与腹板交汇处正应力变化百分比

由图 7、图 8 可见，宽跨比越大，纵向应力越小；宽跨比对无偏载侧腹板与翼板交汇处纵向应力影响显著，其纵向应力变化百分比曲线在梁端附近存在明显突变。在 3/20 跨位置，宽跨比为 0.25、0.325 时，上翼板与无偏载侧腹板交汇处分别减小了 61.2%、95.4%；而下翼板与无偏载侧腹板交汇处分别增大了 109.9%、193.7%。

上述结果表明，宽跨比增大时，箱梁扭转与畸变效应增强。在无偏载侧，约束扭转和畸变产生的翘曲正应力在上翼板处为拉应力，与整体弯曲压应力抵消，使正应力减小；下翼板处同样为拉应力，与整体弯曲拉应力叠加，使正应力增大。

2　高宽比（$h/2b_1$）的影响分析

2.1　模型梁基本情况

模型梁除腹板高度外，其余参数与文献[9]中的原始简支梁模型一致，$h/2b_1$ 取 0.282、0.423、0.563，即 h=2、3、5 m，其荷载大小和加载方式与前文一致。荷载布置纵向示意如图 1 所示，截面尺寸如图 9 所示，荷载截面作用位置如图 3 所示。

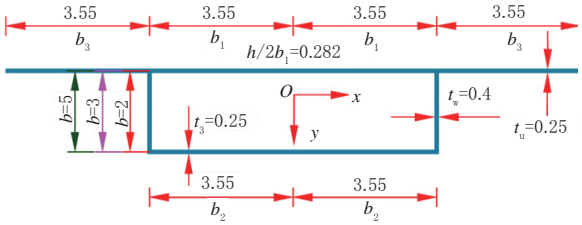


图 9　截面尺寸（单位：mm）

2.2　有限元模型

有限元模型仅考虑材料的线弹性，采用 ABAQUS 中的 C3D8R 单元建立简支箱梁空间有限元模型。高宽比为 0.282 的模型梁共划分 75 978 个节点、50 400 个实体单元；高宽比为 0.423 的模型梁共划分 82 008 个节点、54 400 个实体单元；高宽比为 0.563 的模型梁共划分 88 038 个节点、58 400 个实体单元所有模型单元网格划分特征尺寸均为 150 ~ 200 mm。有限元模型如图 10 所示，部分变形云图如图 11 所示。

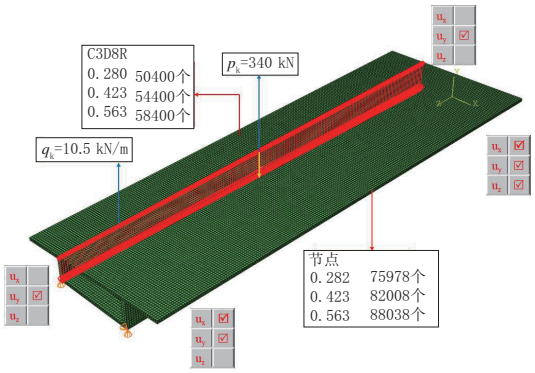


图 10　有限元模型

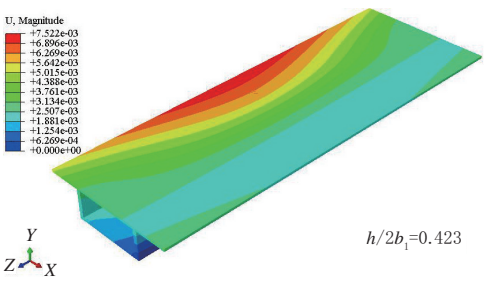


图 11　有限元变形云图（部分）

2.3　有限元结果分析

绘制纵向应力分布图和纵向应力变化百分比分布图，如图12、图13所示。

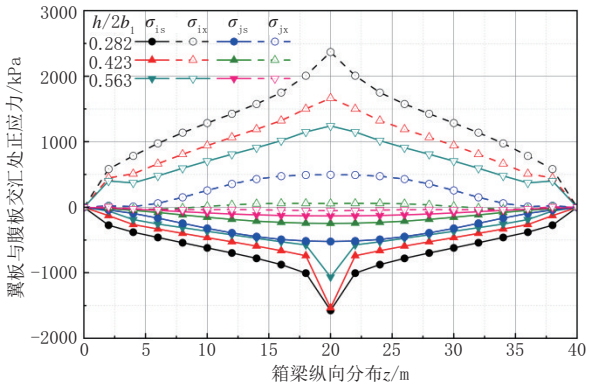


图12　翼板与腹板交汇处正应力

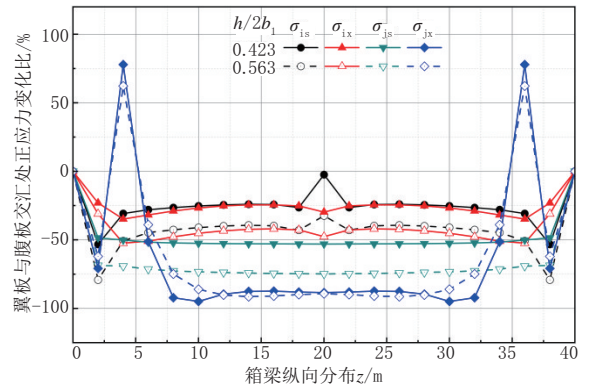


图13　翼板与腹板交汇处正应力变化百分比

由图12、图13可见，高宽比越大，纵向应力越小；高宽比对无偏载侧腹板与下翼板交汇处正应力影响显著。在1/8跨位置，高宽比为0.423、0.563时，纵向应力分别增大了77.9%、62.2%，其余位置正应力普遍减小了89%左右。

3　板宽比(b_3/b_1)的影响分析

3.1　模型梁基本情况

在上述简支箱梁算例的基础上，仅改变悬臂板宽度，其他尺寸及跨度不变，顶板半宽取b_1=3.55 m，悬臂板宽度b_3=0、1.775、3.55 m，对应板宽比b_3/b_1=0、0.5、1，荷载大小和加载方式与前文一致；荷载布置纵向示意如图1所示，截面尺寸如图14所示，荷载截面作用位置如图3所示。

3.2　有限元模型

有限元模型仅考虑材料的线弹性，采用ABAQUS中的C3D8R单元建立简支箱梁空间有限元模型。板宽比为0的模型梁共划分为55 476个节点、36 800个实体单元；板宽比为0.5的模型梁共划分65 727个节点、43 600个实体单元；板宽比为1的模型梁共划分

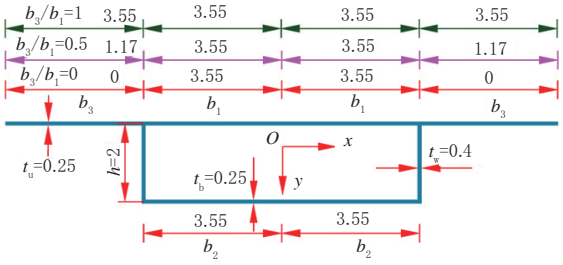


图14　截面尺寸（单位：mm）

75 978个节点、50 400个实体单元所有模型单元网格划分特征尺寸为150～200 mm。有限元模型如图15所示，部分变形云图如图16所示。

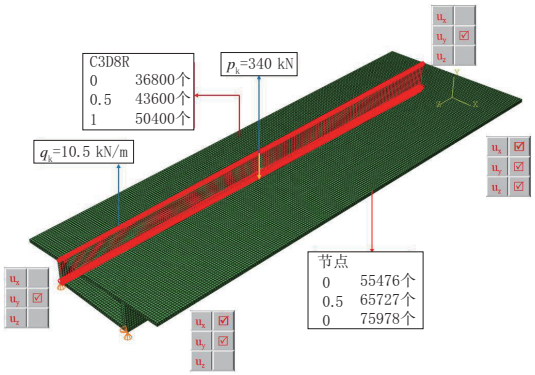


图15　有限元模型

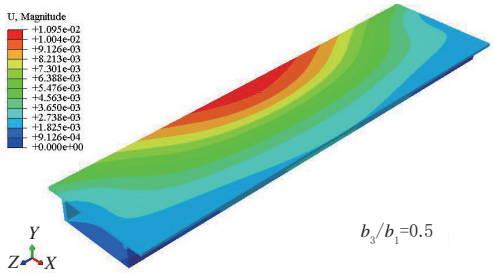


图16　有限元变形云图（部分）

3.3　有限元结果分析

提取有限元计算结果，绘制纵向应力分布图和插值比分布图，如图17、图18所示。

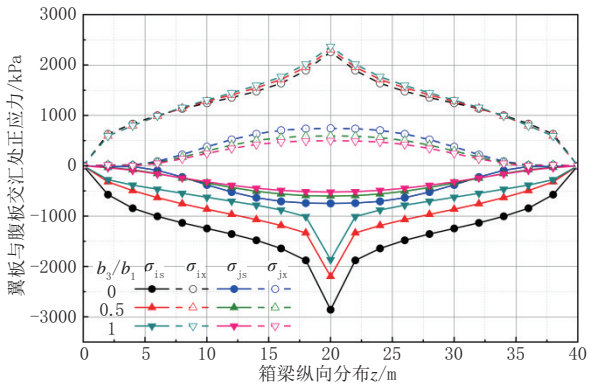


图17　翼板与腹板交汇处正应力

由图17和18可见，板宽比越大，沿箱梁纵向分布翼板与腹板交汇处纵向应力越小；板宽比对无偏

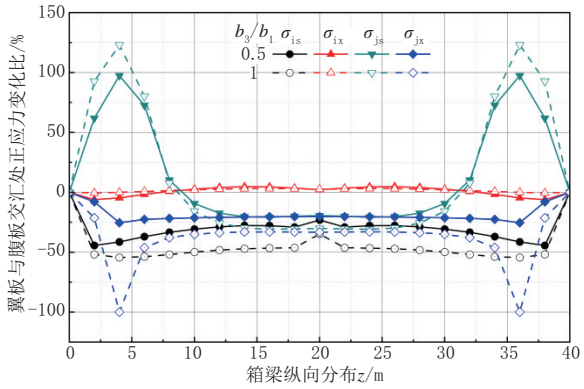


图 18　翼板与腹板交汇处正应力变化百分比

载侧腹板与上翼板交汇处纵向应力影响显著。在 1/10 跨位置，板宽比为 0.5、1 时，无偏载侧腹板与上翼板交汇处纵向应力分别增大了 97.4%、123.1%。

综上可知，偏载侧腹板和上翼板交汇处纵向应力，几何参数对其影响从大到小依次为板宽比、高宽比、宽跨比，板宽比最大正应力变化比为 51.8%；腹板和下翼板交汇处纵向应力，几何参数对其影响从大到小依次为高宽比、宽跨比、板宽比，高宽比最大正应力变化比为 52.4%；无偏载侧腹板和上翼板交汇处纵向应力，几何参数对其影响从大到小依次为宽跨比、高宽比、板宽比，宽跨比最大正应力变化比为 95.4%。

5　结　语

本文基于 ABAQUS 对比研究了箱梁几何参数对箱梁纵向分布翼板与腹板交汇处正应力的影响，得到以下几个结论：

（1）宽跨比、高宽比、板宽比越大，箱梁上下翼板与两侧腹板交汇处纵向应力越小。

（2）宽跨比对无偏载侧腹板与上翼板交汇处纵向应力影响程度最大，箱梁 3/20 跨、宽跨比为 0.25、0.325 时，纵向应力比宽跨比为 0.1775 分别降低了 61.2%、95.4%。

（3）高宽比对腹板与下翼板交汇处纵向应力影响最大，箱梁 1/10 跨、高宽比为 0.423、0.563 时，偏载侧腹板与下翼板交汇处纵向应力比高宽比为 0.282 分别降低了 34.8%、52.4%。

（4）板宽比对偏载侧腹板与上翼板交汇处纵向应力影响较大，箱梁 1/20 跨、板宽比为 0.5、1.0 时，偏载侧腹板与上翼板交汇处正应力比无悬臂板时分别降低了 44.36%、51.80%。

参考文献：

[1] 蔺鹏臻，马俊军，刘应龙．混凝土箱梁的力学特性与耐久性[M]．北京：科学出版社，2025.
[2] 项海帆．高等桥梁结构理论[M]．第 2 版．北京：人民交通出版社，2013.
[3] 蔺鹏臻，孙理想，杨子江，等．单箱双室简支箱梁的剪力滞效应研究[J]．铁道工程学报，2014，31(1)：59-63.
[4] 乔朋，周绪红，狄谨．扁平钢箱梁剪力滞效应分析[J]．交通运输工程学报，2014，14(4)：36-44.
[5] 张亚辉．变截面宽箱双室波形钢腹板组合箱梁桥力学性能和参数分析[D]．郑州：郑州大学，2020.
[6] 周凌宇，贺桂超．大跨度开口钢箱-混凝土组合箱梁有限元参数分析[J]．铁道科学与工程学报，2012，9(1)：5-11.
[7] 汪洋生，张元海．斜腹板薄壁箱梁横向内力分析及其参数影响研究[J]．铁道学报，2017，39(3)：104-111.
[8] 李永鹏，丁南宏，冀伟．钢桁腹-混凝土组合箱梁畸变效应研究[J]．计算力学学报，2023，40(6)：1016-1022.
[9] 张玉元，张元海，张慧．基于剪力滞附加挠度的箱梁弯曲自振特性分析[J]．西南交通大学学报，2024，59(6)：1431-1439.
[10] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范 [S].

（上接第 34 页）

field test[J]. Catena, 2022, 212: 106164.
[6] 李业彤，杨更社，叶万军，等．冻融作用下伊犁原状黄土水力特性劣化规律与微观机制[J]．工程地质学报，2023，31(4)：1261-1268.
[7] 牛亚强，周源，李倩倩，等．冻融作用下水泥-纤维复合改良黄土渗透特性试验研究[J]．水文地质工程地质，2025，52(5)：142-151.
[8] 王之鲁，王凯，吕闻起．考虑冻融因素的石灰改良黄土力学特性及边坡稳定性分析[J]．科学技术与工程，2025，25(15)：6453-6462.
[9] 樊兴祥，赵云峰．干湿-冻融循环作用下地聚物固化黄土力学特性及微观结构研究[J]．水利水电技术(中英文)，2026，57(6)：293-307.
[10] 刘德仁，安政山，徐硕昌，等．靖远地区大厚度黄土地基浸水湿陷过程及土中竖向应力特征试验研究[J]．岩土力学，2023，44(1)：268-278.
[11] 张全，张艳阳，张紫昭．冻融循环作用下伊犁黄土性质劣化特征及其对滑坡稳定性的影响[J]．工程地质学报，2023，31(4)：1319-1332.
[12] 屈耀辉，黄生勇，吴映坤，等．黄土区公路侧向约束防水地基试验研究[J]．岩土工程学报，2026，48(增刊 1)：162-168.
[13] 关甫洋，马国纲，童景盛，等．基于深大厚度湿陷性黄土现场浸水试验的监控量测方案研究[J]．科技创新与应用，2025(27)：120-123.
[14] 杨校辉，潘国杰，郭楠，等．黄土高填方地基水分运移规律与浸水变形特性研究[J]．岩石力学与工程学报，2025，44(12)：2512-2523.
[15] 张琬，牟洪坤，刘奉银．湿载作用下加筋黄土地基模型试验研究[J]．工程科学与技术，2025，57(2)：118-127.
[16] 邓友生，刘华，王景环．水泥粉煤灰后压浆加固湿陷性黄土地基承载性能研究[J]．交通运输工程学报，2023，23(4)：156-168.