

绵阳市青石路涪江大桥主桥设计

应天益, 张春元

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 绵阳市青石路涪江大桥主桥为100 m+180 m+100 m三跨连续拱梁组合体系桥, 桥面标准段宽度42.0 m, 加宽段为52.0 m。边跨拱肋矢高为11.5 m, 矢跨比为1/8.7, 中跨拱肋矢高为24.5 m, 矢跨比为1/7.3, 拱肋采用倒梯形截面, 拱肋间采用网状横撑; 钢梁采用双边箱变高度截面, 梁高为2~6 m, 钢梁和拱肋间采用刚性网状吊杆, 吊杆与拱肋和钢箱梁的锚固均采用整体性焊接节点。刚性网状吊杆有效降低拱肋弯矩, 提高结构刚度, 改善桥梁结构的受力性能; 在形态上与网状横撑保持一致, 共同打造了“时空之隧”的设计理念; 在耐久性上可免去柔性吊索的更换工作, 使用寿命更长久。主桥上部结构采用先梁后拱的整体施工方案, 其中变高度钢箱梁采用调平胎架后采用双向顶推施工工艺, 大大加快施工进度。

关键词: 拱梁组合体系; 刚性吊杆; 结构分析; 墙式花瓶墩; 桥梁设计

中图分类号: U448.29; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)09-0189-05

Design of Main Bridge of Fujiang Bridge on Qingshi Road in Mianyang City

YING Tianyi, ZHANG Chunyuan

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The main bridge of Fujiang Bridge on Qingshi Road in Mianyang City is a (100 m+180 m+100 m) three-span continuous arch-beam composite system bridge. The standard deck width is 42.0 m, and the widening section reaches 52.0 m. The rise height of the side span arch ribs is 11.5 m, and the rise-span ratio is 1/8.7. The rise height of the middle span arch ribs is 24.5 m, and the rise-span ratio is 1/7.3. The arch ribs feature an inverted trapezoidal cross-section, and the mesh cross braces are used between the arch ribs. The steel girders are in a double-sided box variable height section, and a girder height is 2~6 m. The rigid mesh suspension rods are used between the steel girders and the arch ribs. The anchoring of the suspension rods to the arch ribs and the steel box girders are all used of integral welded joints. Rigid mesh suspension rods effectively reduce the bending moment of the arch ribs, enhance the structural rigidity, and improve the force-bearing performance of the bridge structure. In terms of form, it is consistent with the mesh horizontal bracing, jointly creating the design concept of “Tunnel of Time and Space”. In terms of durability, the need for the replacement of flexible slings can be eliminated and a service life is longer. An overall construction scheme of beams first and then arches is used for the superstructure of the main bridge, in which the variable-height steel box girders are constructed using a leveling formwork followed by a bidirectional incremental launching construction process, which greatly accelerates the construction progress.

Keywords: arch-girder composite system; rigid suspension rods; structural analysis; wall-mounted vase pier; bridge design

1 工程概述

绵阳市青石路涪江大桥工程^[1]位于绵阳市科技城新区北翼, 是新区重要的基础设施, 项目采用双向6车道标准, 设计时速60公里, 桥上设置非机动车道和人行道系统, 有效实现了快慢交通分离, 为两岸居

民提供了安全便捷的慢行交通环境。

桥位处河道通航标准为内河Ⅶ-(2)级, 通航等级低, 不控制桥梁主跨跨径。上下游已建桥梁的主跨跨径为140~255 m, 青石路涪江大桥的景观要求高, 主桥主跨不宜过小, 项目前期通过全国方案征集, 主桥桥型方案确定为100 m+180 m+100 m三跨连续拱梁组合桥, 见图1, 主桥立面布置见图2。

涪江大桥主桥标准断面为: 3.5 m(人行道)+3.5 m(非机动车道)+2.0 m(主拱区)+0.5 m(防撞护栏)+11.25 m(机动车道)+0.5 m(中央防撞护栏)+11.25 m

收稿日期: 2026-03-18

作者简介: 应天益(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

通信作者: 张春元(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。电子邮箱: zhangchunyuan@smedi.com



图1 涪江大桥主桥效果图

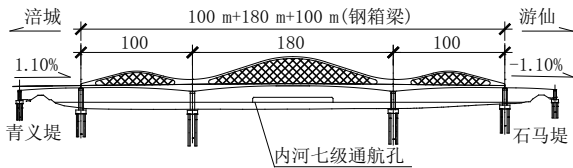


图2 主桥立面桥型布置(单位:m)

(机动车道)+0.5 m(防撞护栏)+2.0 m(主拱区+3.5 m(非机动车道)+3.5 m(人行道),总宽为42.0 m,在主墩处设置观景平台,人行道宽度加宽至8.5 m,桥宽加宽至52.0 m。该桥中墩处横断面详见图3。

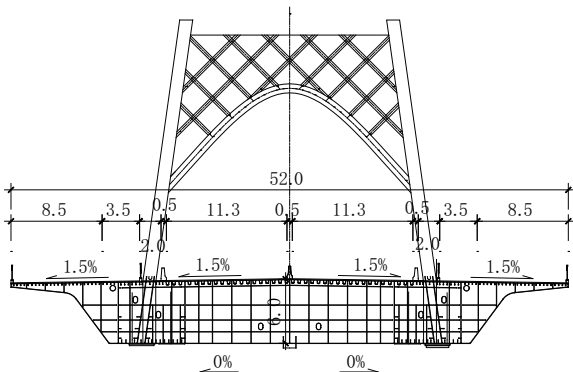


图3 主桥中墩顶横断面(单位:m)

2 主桥结构设计

涪江大桥主桥上部结构采用拱梁组合体系^[2-5],主桥桥面竖向荷载一部分通过吊杆传递到拱肋,再传递到桥墩,另一部分通过钢梁直接传递到桥墩。相比竖直吊杆,网状吊杆能有效降低拱肋弯矩,提高结构刚度,改善结构受力性能^[6-8]。涪江大桥方案阶段采用“时空之隧”的设计理念,为了将拱顶横撑和网状吊杆打造成风格统一的网状景观效果,同时免去后期更换柔性索体的成本,网状吊杆采用刚性吊杆。

由于刚性吊杆无法主动调整吊杆力,恒载、活载作用下拱和梁分摊的比例由构件的相对刚度确定,以恒载为例,拱肋承担的比例为边拱 29.5%、中拱 57.2%,钢梁承担的比例为边跨 70.5%、中跨 42.8%。

2.1 钢梁

钢梁由双边箱与中间正交异性桥面板^[9-11]及横梁、挑臂组成,采用全焊接结构,中跨跨中截面梁高2 m,高跨比为 1/90,边墩顶截面梁高 2 m,中墩顶截面梁高 6 m,高跨比为 1/30,梁高变化曲线为二次抛物线。

钢梁桥面宽度 42~52 m,外边线在中墩 80 m 范围内采用圆弧曲线变化。钢梁顶板设 1.5% 横坡,底板水平。

钢梁车行道处顶板厚 16 mm,采用 U 型加劲肋;双边箱顶板厚 16~25 mm,人行道和非机动车道处顶板厚 14 mm,均采用板肋进行加劲。钢梁腹板厚 14~30 mm,底板厚 14~30 mm,均采用板肋进行加劲。

横梁纵桥向间距 3.5 m,采用工字型实腹式横断面,道路中心线处梁高 2~5.4 m,底板宽度 0.5 m,底板厚 14~16 mm,腹板板厚 12~14 mm,腹板加劲采用板肋。

拱梁结合段钢梁采用 Q420qD,其余段钢梁均采用 Q345qD。

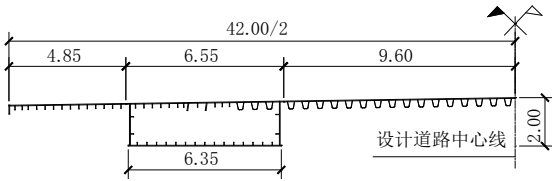


图4 1/2主梁跨中标准断面

2.2 主拱

涪江大桥的主拱由横桥向 2 片拱肋和横撑组成,其中拱肋横向内倾 8°。

为了提高桥梁的景观效果,拱肋采用较低的矢跨比,其中边跨拱肋矢高为 11.5 m,矢跨比为 1/8.7,中跨拱肋矢高为 24.5 m,矢跨比为 1/7.3。由于采用网状刚性吊杆,涪江大桥拱肋受力特点有别于常规拱桥,更接近桁架结构的上弦杆,表 1 是采用二次抛物线和直线+圆弧段的两种拱轴线形,拱肋关键截面的应力对比,结果表明两种线形下拱肋的受力差异并不明显。从景观考虑,涪江大桥拱肋拱轴线采用直线+圆弧段。

表 1 不同拱轴线线型拱肋关键截面应力对比表 单位:MPa

拱肋方案	荷载	主拱拱顶	主拱 1/4 位置	边拱拱顶	边拱 1/4 位置
直线+圆弧线	恒载	-126.4	-116.9	-65	-86.1
二次抛物线	恒载	-120.6	-107.3	-62.7	-83.1
直线+圆弧线	活载	-21.6	-24.3	-19.6	-25.5
二次抛物线	活载	-19.5	-22.9	-18.9	-22

拱肋采用钢箱拱,为了简化吊杆和拱肋的锚固构造,拱肋横断面采用梯形截面,顶宽 1.2 m,底宽 0.75 m,拱肋腹板和吊杆顶底板共板。边拱截面高度为 1.4 m,中拱截面高度为 1.7 m。边拱肋顶、底、腹板板厚度均为 40 mm,中拱拱肋顶、底、腹板板厚度均为 45 mm,腹板采用板肋进行加劲,见图 5。

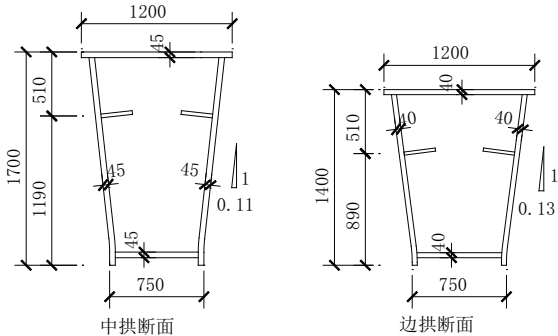


图 5 拱肋标准断面(单位:mm)

拱肋标准横隔板板厚 14~16 mm,吊点处横隔板厚 16~20 mm。中拱拱肋采用 Q420qD,边拱拱肋采用 Q345qD。

边墩处和中墩处拱梁结合段的纵桥向长度分别为 14.43 m 和 49.0 m,采用箱型截面,腹板板厚为 16~35 mm,分别与拱肋腹板和梁内增设的腹板连接,传力顺畅,见图 6、图 7。拱梁结合段采用 Q345qD。

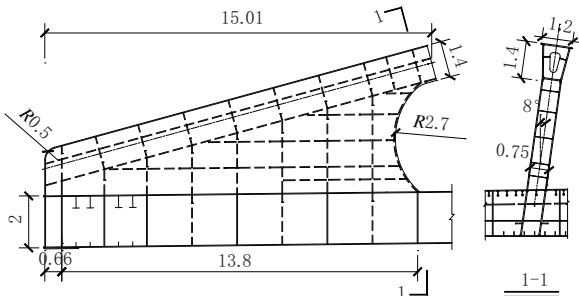


图 6 边支点拱梁结合段构造(单位:m)

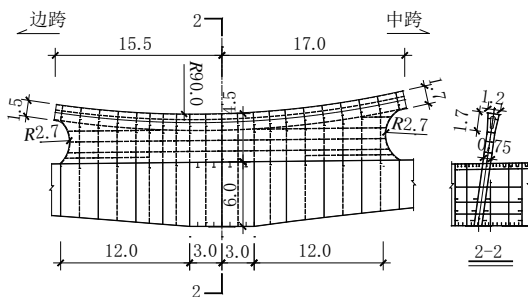


图 7 中支点拱梁结合段构造(单位:m)

两片拱肋横桥向采用网状风撑连接,风撑与风撑之间间距为 4.8~5.5 m。端部弧形和中间椭圆形横撑断面形式为箱型截面,截面尺寸为 0.5~0.8 m(宽)×0.5 m(高),其余风撑为工字型截面,截面尺寸为 0.4 m(宽)×0.5 m(高)。端部圆弧风撑顶、底、腹板板厚度

为 25 mm,椭圆形风撑顶、底、腹板板厚度为 20 mm,工字型风撑顶、底、腹板板厚度为 20 mm。风撑采用 Q345qD。

2.3 吊杆及锚固

拱肋与主梁之间采用网状吊杆连接,吊杆在钢梁上的锚固点纵桥向间距为 7 m,横桥向间距为 26.1~26.4 m,吊杆与水平面夹角为 45.00°~49.18°。

网状吊杆以轴向受力为主,以恒载为例,轴力产生的应力占比为 68.5%。吊杆间受力差异大,靠近拱脚的短吊杆由于线刚度大,杆件的轴力大,恒载作用下,短吊杆产生的轴力是靠近跨中长吊杆的 5.6~22.0 倍。为此,根据受力的不同,吊杆采用箱型截面和工字型截面。箱型吊杆截面尺寸为 0.55 m(宽)×0.75 m(高),工字型吊杆为 0.4 m(宽)×0.75 m(高)。箱型吊杆板厚为 40~45 mm,工字型吊杆顶、底、腹板板厚为 16~40 mm。拱脚附近受力较大的矩形短吊杆采用 Q420qD,其余吊杆均采用 Q345qD。

吊杆与拱肋和钢箱梁的锚固都采用整体性焊接节点,吊杆上端的顶底板与拱肋腹板共板,下端截面的顶底板穿透箱梁顶板后与横梁腹板焊接,上下端的锚固构造简单,受力顺畅。

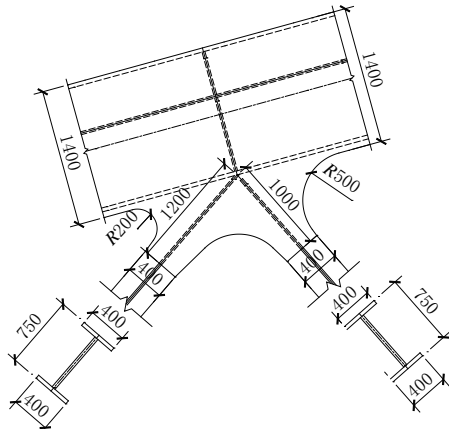


图 8 吊杆与拱肋典型节点构造(单位:mm)

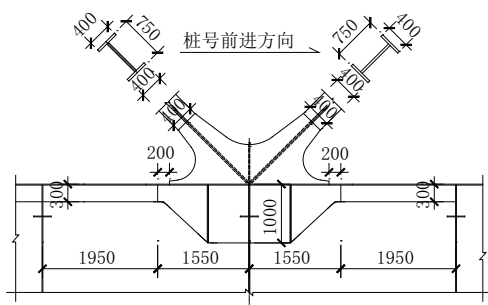


图 9 吊杆与主梁典型节点构造(单位:mm)

2.4 主桥下部结构

主桥中墩及边墩采用墙式花瓶墩^[12],墩底宽 20.8 m,墩顶宽 33.6 m,纵桥向厚 4.0 m,桥墩高 15.0~

19.4 m,其中墩顶横向变宽段高度为14.2 m,见图10。桥墩基础采用直径2.0 m的钻孔灌注桩,持力层为中风化泥质粉砂岩。

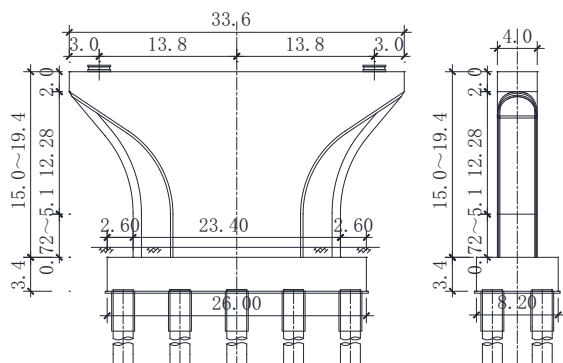


图10 主墩构造图(单位:m)

大桥桥墩墩顶横向变宽段高度 h 仅为墩顶横桥向宽度 b 的42%,设计时采用实体有限元进行受力分析,通过应力积分后计算的基本组合下墩顶拉杆拉力为33 543 kN,仅为《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)第8.4.7条规定的计算公式(8.4.7-1~2)计算值的50.9%。相关研究也表明^[13-14],当 $h/b \geq 0.5$ 时,计算公式(8.4.7-1~2)具有较好的精度,但当 $h/b < 0.5$ 时,由于传力路径发生较大变化,拉压杆内力臂 z 已不适宜取定值 $5/9h$,需对该计算公式的结果进行修正。

2.5 约束体系

桥址处地震基本烈度为VII度,震动反映谱周期为0.45 s,地震动峰值加速度为0.135g。为降低地震作用下的结构动力响应,主桥采用摩擦摆减隔震支座,并在桥墩顶设置横向挡块,其中中墩墩顶设置JZQZ-50000-GD/DX/SX型摩擦摆支座,边墩顶设置JZQZ-12500-DX/SX型摩擦摆支座,支座最大位移均为200 mm,支座隔振周期均为4.0 s,支座的减隔震起始力均为竖向承载能力的15%,剪切销满足温度作用、汽车制动力作用下不剪断,同时满足E1地震作用不剪断,在E2地震作用下剪切销剪断,支座发挥耗能减震作用。

3 结构分析

3.1 计算模型

桥梁整体分析采用MIDAS Civil空间有限元程序,钢梁采用梁格模型,系梁、横梁、拱肋、吊杆和横撑均采用空间梁单元,拱梁连接处采用板单元模拟,见图11,整体分析考虑施工阶段的影响。

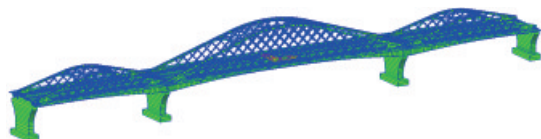


图11 全桥结构有限元分析模型

3.2 主要计算结果

(1)计算结果表明,中跨主梁活载挠跨比为1/3 000;边跨主梁活载挠跨比为1/2 723,主梁刚度满足规范要求。

(2)基本组合作用下,边拱肋最大压应力为-188 MPa(出现在拱肋1/4跨截面顶缘),最大拉应力为198.0 MPa(出现在边拱与中墩拱梁结合段相交位置顶缘),中拱肋最大压应力为-252 MPa(出现在拱肋1/4跨截面顶缘),最大拉应力为128 MPa(出现在中拱与拱梁结合段相交位置顶缘)。拱肋最大剪应力156 MPa(拱肋和拱梁结合段相交位置),拱肋最大Mises应力为273.4 MPa。拱肋强度满足规范要求。

(3)基本组合作用下,钢梁顶板最大拉应力为193 MPa,最大压应力为-86.0 MPa,底板最大拉应力为178 MPa,最大压应力为-219 MPa,腹板最大剪应力为140.3 MPa。钢梁强度满足规范要求。

(4)基本组合作用下,风撑最大拉应力225 MPa,最大压应力-221 MPa,吊杆最大拉应力258 MPa,最大压应力-194 MPa。风撑和吊杆强度满足规范要求。

4 施工方案

主桥边墩靠近河堤,桥墩基础采用筑岛围堰施工桩基础后再钢板桩围堰施工承台,中墩墩基础采用先钻孔平台施工钻孔桩后再围堰施工承台的方案。

主桥采用“先梁后拱”的整体施工方案^[15]。钢箱梁采用双向顶推,临时墩支架纵桥向间距为31~52 m,钢梁底采用钢胎架进行调平,钢箱梁设置前后钢导梁,导梁长度分别为34 m和15 m。

钢梁顶推合龙后,梁上设置支架,拱肋、吊杆和风撑在梁上支架上进行拼装,拼装完成后拆除相关支架,完成结构体系转换后进行桥面附属设施的施工。

5 结语

绵阳青石路涪江大桥是一座三跨连续拱梁组合体系桥梁,钢梁墩顶和跨中截面跨高比分别为1/30和1/90,网状吊杆有效降低拱肋弯矩,提升结构受力性能,拱肋矢跨与截面高度之比边跨为1/71,中跨为



图 12 钢箱梁顶推过程



图 13 拱肋施工过程

1/106,桥梁结构纤细。网状吊杆采用型钢构件,与横撑在构件形态上保持一致,景观效果好,同时避免了柔性吊索后期的更换工作,使用寿命更长。主桥桥墩墩顶横向变宽段高度与墩顶横桥向宽度比值小于0.5,采用实体有限元对规范计算公式的墩顶拉杆拉力进行了修正,使结构设计更加合理。该桥的顺利实施(见图14),为类似桥梁建设提供可借鉴经验。

参考文献:

[1] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.绵阳市青石路涪江大桥工程图纸[Z].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2023.
[2] 陈亮,邵长宇,汤虎,等.济南齐鲁黄河大桥420 m跨网状吊杆系杆拱桥设计[J].桥梁建设,2022,52(3):113-120.
[3] 邵长宇.现代拱桥[M].北京:人民交通出版社,2021.



图 14 全桥实景图

[4] 李映.拱梁组合体系桥梁的拱梁相对刚度分析[J].桥梁建设,2008(1):50-53.
[5] 郝峻峰,徐海军,林英,等.东港大桥主桥设计与结构分析[J].公路,2006(10):-10.
[6] 刘钊,吕志涛.竖吊杆与斜吊杆系杆拱结构的桥式研究[J].土木工程学报,2000,33(5):63-67.
[7] 唐虎,王伟,路辉,等.济南齐鲁黄河大桥420 m网状吊杆系杆拱桥主拱设计[J].桥梁建设,2022,52(4):117-124.
[8] Tveit P. An Introduction to the Optimal Networ Arch[J]. Structural Engineering International, 2007(17): 184-187.
[9] 刘厚军,傅战工.芜湖中山桥改建工程方案设计[J].桥梁建设,2021,51(2):118-123.
[10] 林上顺.正交异性钢板桥面板典型疲劳细节变形与裂纹尖端应力分析[J].世界桥梁,2020,48(1):71-76.
[11] 曾春清,徐勇,屈健,等.成都西一线跨绛溪河大桥设计[J].桥梁建设,2023,53(2):105-111.
[12] 谭平荣,宋宇鹏.实体花瓶墩的应力分析及配筋计算[J].公路,2013(8):132-135.
[13] 罗兵.不同高宽比下桥墩墩顶拉力计算分析[J].上海建设科技,2023(5):41-45.
[14] 胡剑,程龙.基于拉压杆模型的花瓶桥墩受力分析[J].公路,2012(5):175-178.
[15] 王伟,唐茂林,赵世超.济南齐鲁黄河大桥网状吊杆系杆拱桥施工关键技术[J].世界桥梁,2024,52(4):22-28.

(上接第 170 页)

施工技术规范[S].

[12] DB61/T 1332—2020 天然沥青高模量混合料施工技术规范[S].
[13] DB15/T 2886—2023 复合岩沥青高模量沥青改性剂应用技术规范[S].
[14] 冯冰天.机场绕滑道工程高性能沥青混合料研究与应用[J].城市道桥与防洪,2022(2):218-221.
[15] 王梅.高模量沥青混合料试验研究与应用[J].城市道桥与防洪,2025(8):98-101.
[16] GB/T 1033.1—2008 塑料非泡沫塑料密度的测定 第1部分:浸渍法、液体比重瓶法和滴定法[S].
[17] GB/T 3682.1—2018 塑料热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定 第1部分:标准方法[S].
[18] GB/T 17037.4—2003 塑料热塑性塑料材料注塑试样的制备 第

4部分:模塑收缩率的测定[S].

[19] GB/T 1633—2025 塑料热塑性塑料维卡软化温度(VST)的测定[S].
[20] GB/T 1034—2008 塑料吸水性的测定[S].
[21] JTG 3410—2025 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
[22] GB/T 19466.3—2004 塑料差示扫描量热法(DSC)第3部分:熔融和结晶温度及热焓的测定[S].
[23] GB/T 1040.1—2025 塑料拉伸性能的测定 第1部分:总则[S].
[24] GB/T 1040.2—2022 塑料拉伸性能的测定 第2部分:模塑和挤塑塑料的试验条件[S].
[25] GB/T 7141—2008 塑料热老化试验方法[S].
[26] JTG D50—2017 公路沥青路面设计规范[S].