

湖南省盖板涵洞通用图编制技术研究

彭小明,李毓坤,胡琼,夏禹涛

(湖南省交通规划勘察设计院有限公司,湖南长沙 410008)

摘要:涵洞作为公路主要构造物之一,具有量大面广的特点,受设计和施工等因素影响,长期以来工程病害十分突出。随着绿色公路建设理念的广泛推进和技术标准、设计规范不断更新,原有涵洞通用图已难以适应新形势下公路建设持续、健康发展的需要。湖南省交通规划勘察设计院有限公司对公路涵洞设计的关键技术进行了广泛深入的调查研究,立足新形势编制了新版涵洞通用图,该通用图能较好地适应公路建设可持续发展的要求,是对桥涵建设标准化的有力推广和应用。

关键词:盖板涵洞;通用图;设计;构造

中图分类号:U442.6

文献标志码:A

Research on General Drawing Design Technologies for Cover Culverts in Hunan Province

PENG Xiaoming, LI Yukun, HU Qiong, XIA Yutao

(Hunan Provincial Communications Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., Changsha, Hunan 410008, China)

Abstract: As one of the main structures of highways, a culvert has the characteristics of large quantity and wide range. Affected by design and construction factors, engineering diseases of culverts have been prominent for a long time. With the extensive promotion of the green highway construction concept and the continuous updating of technical standards and design specifications, the original general drawing of culverts fails to meet the needs of the sustainable and healthy development of highway construction under the new situation. Hunan Provincial Communications Planning, Survey & Design Institute has conducted extensive and in-depth investigation and research on the key technologies of highway culvert design and prepared a new version of general drawings of culvert, which can meet the requirements of sustainable development of highway construction, and it serves as a powerful promotion and application of bridge and culvert construction standardization.

Keywords: cover culverts; general drawings; design; structure

0 问题的提出

涵洞作为公路主要构造物之一,具有量大面广的特点,其主要作用是连接原有的路系、水系^[1]。合理的涵洞设计不仅对整个工程的造价及质量的控制有利,且能够极大地方便周围居民生产生活,有利于社会安定团结。

目前中国各省份正在使用的涵洞通用图编制较早,以湖南省为例,湖南省交通规划勘察设计院最早在

20世纪90年代初开展涵洞标准化设计工作,2000年首次编制完整的涵洞通用图。虽然于2011年、2016年、2018年对通用图进行了修编,但近年来,随着高速公路交通量逐步提升,绿色公路建设理念的广泛推进,技术标准和设计规范不断更新,特别是《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60—2015)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ3362—2018)、《公路涵洞设计规范》(JTGT3365-02—2020)等规范陆续颁布^[2-4],原有涵洞通用图在设计标准、材料选用、构造形

收稿日期:2023-10-08

基金项目:湖南省交通科技项目(编号:202404)

作者简介:彭小明,男,硕士,高级工程师.E-mail:997763247@qq.com

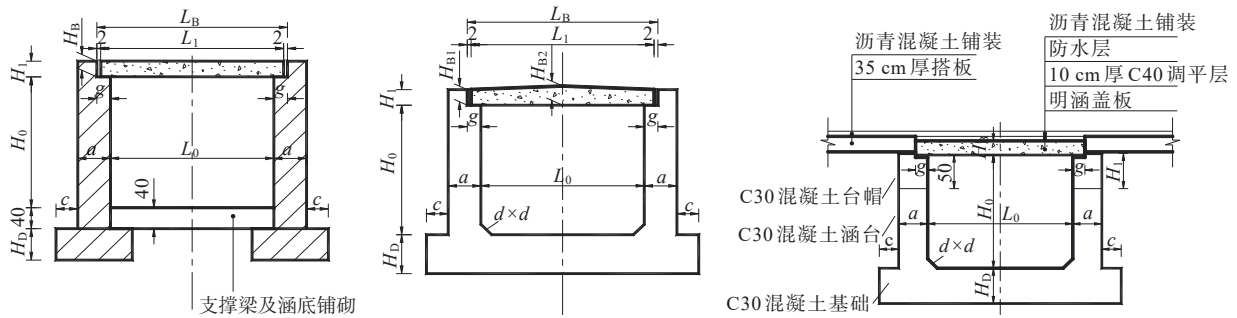


图2 分离式基础、整体式基础、明涵横断面图(单位:cm)

Figure 2 Cross section of separated foundation, integral foundation and open culvert (unit:cm)

表3 暗涵各部尺寸

Table 3 Dimensions of each part of concealed culvert

跨径 L_0	净空 H_0	板长 L_1	H_{B1}	H_{B2}	H_1	H_D	c	a	g
200	200,250	236	25~50	25~55	26~51	60~80	20~50	50	20
300	300,350	356	35~75	35~80	36~76	70~100	20~50	55~70	30
400	300,400,500	456	45~90	45~97	46~91	100~120	20~50	60~90	30
500	400,500,600	556	55~110	55~120	56~111	115~150	20~50	70~110	30
600	400,500,600	656	60~120	60~130	61~121	140~180	20~50	70~110	30

表4 明涵各部尺寸

Table 4 Dimensions of each part of open culvert

跨径 L_0	净空 H_0	板长 L_1	H_B	H_1	H_D	c	a	g
400	300,400,500	460	45	60	100	20	65,75,90	30
600	400,500,600	660	60	75	140	20	75,90,110	30

2.3 结构计算

(1) 计算标准与规范。《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)(以下简称《通规》)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)(以下简称《公预规》)、《公路涵洞设计规范》(JTG/T 3365-02—2020)(以下简称《涵洞规范》)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)(以下简称《公地规》)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)(以下简称《圬工规范》)。

(2) 计算参数。重度:填土 19 kN/m^3 ,素混凝土 25 kN/m^3 ,钢筋混凝土 26 kN/m^3 ;台背回填料内摩擦角: 39° ;钢筋抗拉强度设计值:HPB300、HRB400 分别为 250 MPa 、 330 MPa ;素混凝土抗拉、抗压强度设计值采用《圬工规范》取值;钢筋混凝土抗拉、抗压强度设计值采用《公预规》取值。

(3) 计算模型及内容。盖板按两端铰接支撑在涵台上端的简支板计算,不考虑涵台传来的水平力。盖板应进行承载能力极限状态的正截面、斜截面强

度和正常使用极限状态下裂缝宽度的验算。涵台按简支竖梁计算,以涵台上部盖板、涵底固定基础(或支撑梁)作为涵台的上下支撑点,验算墙身在竖直荷载和水平压力作用下的强度和稳定性。整体式基础按偏心受压构件计算,台身处基础弯矩可取 $0.7M_0$,基础跨中弯矩可取 $-0.7M_0$, M_0 为与计算跨径相应的简支梁跨中弯矩。

(4) 计算方法。采用 Excel 软件自编计算公式、有限元软件 Midas Civil 建模等方式进行计算。

3 专题研究与技术优化

3.1 对新规范的执行

(1) 结构设计安全等级。通用图的编制执行 2015 版《通规》有关于设计安全等级的最新规定:高速公路、一级公路、二级公路上的涵洞设计安全等级为二级,较原规定提高一级,结构重要性系数 γ_0 由 0.9 提高到 1.0。

(2) 耐久性要求。根据最新版《通规》《公预规》《涵洞规范》相关要求,涵洞结构设计使用年限为 50 年。湖南省冬季最冷月平均温度高于 4°C ,但考虑到湘西、湘北广大山区高速公路冬季常有冰冻发生,新通用图偏保守地按照 II 类环境编制,涵洞各构件的材料强度等级及保护层厚度见表 5。

表5 构件材料强度等级及保护层厚度
Table 5 Strength grade of component material and thickness of protective layer

构件	材料强度等级	保护层厚度/mm
盖板	C35	30
涵身及基础	C30	30
洞口构造、涵底铺砌	C25或M7.5浆砌片石	—

(3) 土压力的计算。根据2020版《涵洞规范》,填土对涵洞产生的竖向压力强度:

$$q_v = K\gamma h \quad (1)$$

式中: γh 为土柱重量; K 为竖向土压力系数,按照《涵洞规范》表9.2.2取值。盖板涵通用图编制过程中,统一按照 $B_g/D > 10$ 的最不利情况确定 K 值,在安全第一的原则下有利于涵洞标准化设计。

填土对涵洞结构产生的水平土压力强度按照土柱重量 γh 与水平土压力系数的乘积确定。关于水平土压力系数的取值,2020版《涵洞规范》取为静止土压力系数 $\xi = 1 - \sin \varphi$,2007版《涵洞设计细则》取为主动土压力系数 $\lambda = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$ 。以往编制通用图时,内摩擦角 φ 一般取 30° ,按此计算静止土压力系数 $\xi = 0.5$,主动土压力系数 $\lambda = 0.33$ 。可见在涵顶填土高度和材料特性不变的情况下,《涵洞规范》的涵台水平土压力较《涵洞设计细则》增加超过50%,存在新、旧规范的跳跃性。因此编制新通用图时有必要对内摩擦角的取值进行探讨,以保证新通用图与旧通用图较好地衔接。《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610—2019)要求涵洞两侧回填料宜采用粒径小于50 mm的碎石土等透水性材料,分层厚度不大于150 mm,压实度不小于96%。根据经验,此类回填料内摩擦角为 $37^\circ \sim 42^\circ$ 。如台后回填料内摩擦角取平均值 39° ,此时静止土压力系数 $\xi = 0.37$,这一系数不仅与旧通用图的主动土压力系数 $\lambda = 0.33$ 衔接良好,亦与《铁路桥涵设计规范》(TB 10002—2017)的工程调查分析结论“涵洞水平土压力系数,采用0.25或0.35”契合。

3.2 高填方涵洞地基承载力容许值的修正

随着交通事业的迅猛发展,交通建设逐步向山岭重丘区延伸,对涵洞填土高度的要求日益增大^[12],原盖板涵洞通用图最大填土高度仅12 m,已不能适应山区公路建设的需要。为增大盖板涵适用范围,减少高填方涵洞病害的发生,新通用图将整体式基础盖板涵最大填土高度增加到20 m。

以往整体式基础盖板涵洞地基承载力基本容许值 $[f_{a0}]$ 的计算直接采用上部荷载所产生地基地应力 $[f_a]$,没有考虑涵洞两侧填土压载对地基承载力的提高作用,导致高填方涵洞通用图对地基承载力要求普遍高,地基处理费用增加,造成投资浪费^[13-15]。新通用图整体式基础涵洞的地基承载力基本容许值 $[f_{a0}]$ 按《公地规》第4.3.4条规定进行修正^[16]:

$$[f_{a0}] = [f_a] - k_1\gamma_1(b-2) - k_2\gamma_2(h-3) \quad (2)$$

从安全角度出发,宽度和深度修正系数按照基底为新近沉积黏性土取 $k_1 = 0, k_2 = 1$,其余各参数定义及取值详见《公地规》4.3.4规定。新通用图考虑涵洞两侧填土压载对地基承载力的提高作用,解决了原通用图对地基承载力要求过高,造成投资浪费的问题。以4 m×4 m整体式基础正交盖板涵洞为例,各填土高度下,新、旧通用图的地基承载力基本容许值对比见表6。

表6 新、旧通用图地基承载力基本容许值对比
Table 6 Comparison of basic allowable values of foundation bearing capacity between new and old general drawings

填土高度/m	新通用图 $[f_{a0}]/\text{kPa}$	旧通用图 $[f_{a0}]/\text{kPa}$
0.5~4.0	200	200
4~6	200	250
6~8	200	300
8~10	200	350
10~12	200	400
12~14	250	—
14~16	300	—
16~18	400	—
18~20	450	—

3.3 盖板构造及配筋优化

盖板构造及配筋采用两种设计形式:涵顶填土高度不超过8 m时,盖板采用等厚度设计,主筋按通长直钢筋布置。填土高度8 m及以上时,为有效抵抗跨中弯矩,盖板跨中截面高度较端部截面增加5~10 cm,盖板顶面以人字坡过渡,底面布置2层或3层主筋,第2、3层主筋在支点附近弯起,以提高构件抗剪能力,箍筋由4肢减少至2肢,见图3。

3.4 涵台基础构造及配筋优化

为适应高填方的设计工况,整体式基础与涵台连接处内侧增设倒角,改善连接处受力。涵台内侧设直径8 mm、网格间距10 cm×10 cm冷轧带肋钢筋网,可有效防止混凝土产生干缩裂缝和温度裂缝。

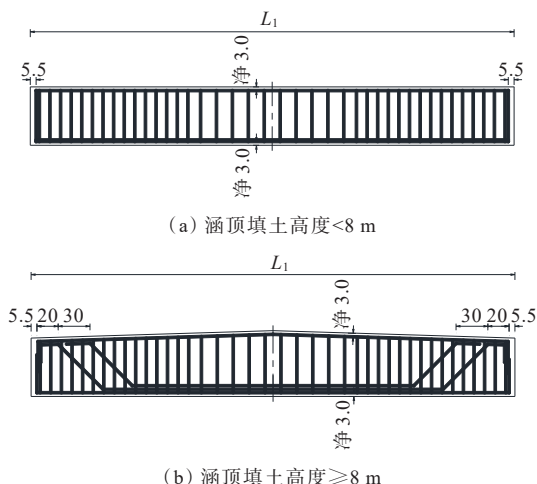


图3 盖板钢筋布置示意图(单位:cm)

Figure 3 Cover plate reinforcement layout (unit:cm)

涵台外侧增设纵向间距 20 cm 的 $\phi 20$ mm 竖向短钢筋,钢筋深入基础 60 cm,以增强侧墙与基础间的抗剪能力并承担涵台部分弯矩。基础按纵、横向间距 40 cm \times 40 cm 设置 $\phi 12$ mm 箍筋,以满足基础抗剪要求。根据《涵洞规范》9.4.5 条,基础在涵台处承受与跨中大小相同、反向相反的弯矩,因此基础底部增设与顶部相同的横向主筋。整体式基础及涵台钢筋布置见图 4。

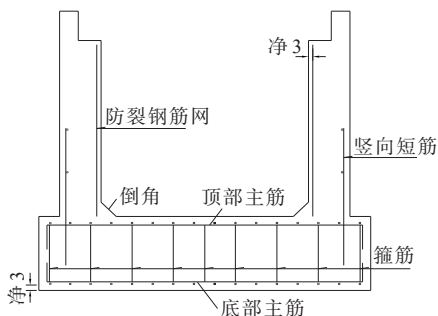


图4 整体式基础及涵台钢筋布置示意图(单位:cm)

Figure 4 Integral foundation and culvert abutment reinforcement layout (unit:cm)

以往分离式基础涵洞底部铺砌采用施工质量难保证的浆砌片石,涵底铺砌在涵台侧向水平压力下易发生隆起开裂。新通用图的分离式基础涵底铺砌材料采用 C25 素混凝土或 M7.5 浆砌片石,根据工程实际情况选用。当采用浆砌片石铺砌时,沿涵洞纵向每隔 2 m 设一道截面尺寸 40 cm \times 40 cm 的支撑梁,以提高结构整体性和抵抗涵台侧向水平压力,具体构造见图 2。

3.5 增加盖板锚栓设计

为增强盖板与涵台连接的整体性,在盖板与涵

台之间设置竖向锚栓,并用 C20 小石子混凝土填满捣实空隙,使盖板两端与涵台顶紧。每块盖板预制件的两支撑端中心处各设置一个锚栓,具体构造为:盖板预制时预留 $\phi 8$ cm 锚栓孔,涵台浇筑时,与盖板锚栓孔对应位置预留 $\phi 10$ cm 锚栓孔,盖板安装就位后,在预留锚栓孔中插入 $\phi 22$ mm 锚栓钢筋,并用热沥青灌满锚栓孔,使盖板与涵台连接。具体构造见图 5。

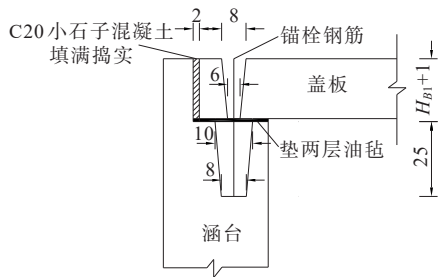


图5 盖板锚栓构造示意图(单位:cm)

Figure 5 Structure of cover plate anchor bolt (unit:cm)

3.6 补充防水措施和沉降缝构造设计

原通用图未明确涵洞防水措施和沉降缝构造的设计要求,致使实际施工中相应要求标准不一,质量参差不齐,常造成沉降缝处填料剥落、渗水涌砂、台背掏空等病害。新通用图在涵洞与填土接触部分涂热沥青 3 道,沉降缝处施作 50 cm 宽 SBS 防水卷材,接缝外侧填沥青木丝板,内侧填塞 5 cm 沥青浸制麻絮,有效防止涵身渗水与沉降缝病害。具体构造见图 6。

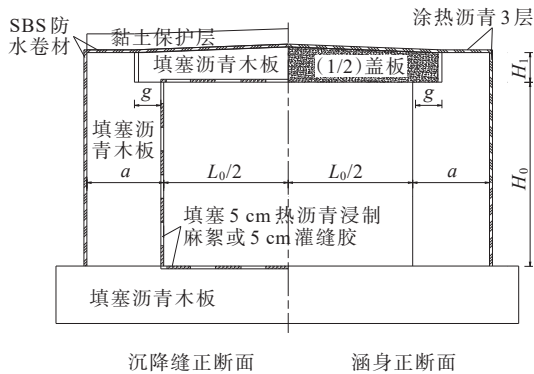


图6 涵身防水与沉降缝构造示意图

Figure 6 Structures of waterproof culvert abutment and settlement joint

3.7 补充明涵构造设计

补充明涵设计,涵台后设置 5 m 长搭板,厚度 35 cm,实现涵顶与台后路基之间刚度渐变过渡,解决浅埋涵洞差异沉降过大造成的路面开裂与涵台跳车病害。明涵构造见图 2。

4 主要材料用量指标分析

为研究新版通用图主要材料用量指标的合理

性,以 6 m×5 m 整体式基础盖板涵为例,统计对比了新通用图、某省院参考图、旧通用图的混凝土和钢筋用量指标如表 7、8 所示。

表 7 盖板主要材料用量指标对比
Table 7 Comparison of main material consumption indexes of cover plate

填土高度/ m	新通用图			某省院参考图			旧通用图		
	C35/	HRB400/	含筋量/	C35/	HRB400/	含筋量/	C35/	HRB400/	含筋量/
	(m ³ ·m ⁻¹)	(kg·m ⁻¹)	(kg·m ⁻³)	(m ³ ·m ⁻¹)	(kg·m ⁻¹)	(kg·m ⁻³)	(m ³ ·m ⁻¹)	(kg·m ⁻¹)	(kg·m ⁻³)
0.5~2.0	3.9	710.3	182.3	3.90	584.4	150.0	2.97	462.1	155.6
2~4	3.9	864.7	221.9	3.90	749.6	192.4	3.63	714.3	196.8
10~12	6.2	1 498.3	243.1	6.16	1 216.1	197.3	—	—	—
18~20	8.1	1 973.9	243.3	8.11	1 754.2	216.2	—	—	—

表 8 涵台及基础主要材料用量指标对比
Table 8 Comparison of main material consumption indexes of culvert abutment and foundation

填土高度/ m	新通用图			某省院参考图			旧通用图		
	C30/	HRB400/	含筋量/	C30/	HRB400/	含筋量/	C30/	HRB400/	含筋量/
	(m ³ ·m ⁻¹)	(kg·m ⁻¹)	(kg·m ⁻³)	(m ³ ·m ⁻¹)	(kg·m ⁻¹)	(kg·m ⁻³)	(m ³ ·m ⁻¹)	(kg·m ⁻¹)	(kg·m ⁻³)
0.5~2.0	11.5	607.4	52.9	13.8	543.3	39.5	—	—	—
2~4	11.3	601.1	53.0	13.8	543.3	39.5	10.3	372.5	36.1
10~12	13.0	851.6	65.7	12.8	673.6	52.6	—	—	—
18~20	15.7	1 009.6	64.5	13.6	941.6	69.2	—	—	—

由表 7、8 可知:① 与旧通用图相比,新通用图的盖板混凝土方量增幅 7.4%~31.3%,含筋量增幅 12.8%~17.2%,涵台及基础的混凝土方量增幅在 10% 以下,由于基础配筋模式的变化,含筋量有明显的增加;② 与某省院参考图相比,新通用图的盖板混凝土方量基本一致,含筋量的增幅为 12.5%~23.2%,涵台及基础的混凝土方量在填土高度小时减少,填土高度大时增加,含筋量的增幅为 25%~34%。

新通用图混凝土方量和含筋量指标变化的主要原因是新规范对结构重要性系数 γ_0 、竖向土压力系数 K 、水平土压力系数 ξ 等参数的调整,使涵洞结构的设计荷载增大 20%~40%;同时新的《公预规》对裂缝计算控制也较原来更加严格。因此新通用图混凝土方量和含筋量指标出现上述变化是完全合理的。

5 结语

本文简要介绍了钢筋混凝土盖板涵洞通用图的编制思路、编制内容、关键技术研究、主要技术改进等内容,以期在使用过程中与同行加强沟通,为其他单

位编制通用图提供思路。如何利用桥涵专业软件实现本套通用图基于 BIM 的涵洞数字化、信息化设计,是下一步研究工作迫切需要解决的问题。该通用图根据最新规范编制,遵循安全、耐久、适用、环境友好、经济美观的工程建设理念,能较好适应新形势下公路建设可持续发展的要求,是对桥涵建设标准化的有力推广和应用。

参考文献:
References:

[1] 顾克明.公路桥涵设计手册-涵洞[M].北京:人民交通出版社,1993.
GU Keming. Design manual for highway bridges and culverts-culverts[M]. Beijing: China Communications Press,1993.

[2] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵设计通用规范:JTG D60—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
CCCC Highway Consultants Co., Ltd.. General specifications for design of highway bridges and culverts:

- JTG D60—2015[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2015.
- [3] 中交公路规划设计院有限公司. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG 3362—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- CCCC Highway Consultants Co., Ltd.. Specifications for design highway reinforced concrete and prestressed concrete bridges and culverts: JTG 3362—2018[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [4] 中交公路规划设计院有限公司. 公路桥涵设计通用规范: JTG D60—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- CCCC Highway Consultants Co., Ltd.. General specifications for design of highway bridges and culverts: JTG D60—2015[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2015.
- [5] 广东省交通运输厅. 高速公路设计标准化看广东[J]. 中国公路, 2019(11): 96-99.
- Guangdong Provincial Department of Transportation. Guangdong viewed from the standardization of expressway design[J]. China Highway, 2019(11): 96-99.
- [6] 张卫兵, 刘保健. 西部山区高填路堤涵洞病害及其防治对策[J]. 中外公路, 2007, 27(1): 35-39.
- ZHANG Weibing, LIU Baojian. Diseases of culverts with high embankments in western mountainous areas and their prevention countermeasures[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2007, 27(1): 35-39.
- [7] 彭立, 胡琼, 鲍卫刚. 板式桥梁通用图标准化成套技术研究概论[J]. 公路, 2009, 54(11): 6-13.
- PENG Li, HU Qiong, BAO Weigang. Introduction to the study of complete sets of technologies for standardization of general drawings of slab bridges[J]. Highway, 2009, 54(11): 6-13.
- [8] 王玉, 凤懋润, 鲍卫刚. 公路桥梁结构标准化技术的发展与应用[J]. 公路, 2009, 54(11): 1-5.
- WANG Yu, FENG Maorun, BAO Weigang. Development and application of highway bridge structure standardization technology[J]. Highway, 2009, 54(11): 1-5.
- [9] 陆耀忠, 雷波, 张之斐, 等. 矮T梁通用图标准化设计技术研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2016, 12(12): 88-92.
- LU Yaozhong, LEI Bo, ZHANG Zhifei, et al. Research on standardized design technology of general drawing of short T-beam[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (Applied Technology), 2016, 12(12): 88-92.
- [10] 王耀明, 梁长海. 低高度密肋式T梁上部通用图编制研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2012, 8(4): 246-250.
- WANG Yaoming, LIANG Changhai. Study on the general drawing of the upper part of low-height multi-ribbed T-beam[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (Applied Technology), 2012, 8(4): 246-250.
- [11] 杨耀铨, 金晓宏. 公路桥涵通用设计图成套技术研究[J]. 公路, 2009, 54(11): 40-45.
- YANG Yaoquan, JIN Xiaohong. Study on complete set technology of general design drawings for highway bridges and culverts[J]. Highway, 2009, 54(11): 40-45.
- [12] 郭治胜, 浑铁链, 荀嘉雷. 山西中南部重载铁路通道涵洞选型研究[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(4): 80-85, 113.
- GUO Zhisheng, HUN Tielian, XUN Jialei. The study of culvert type selection in the central and southern heavy haul railway corridor in Shanxi Province[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(4): 80-85, 113.
- [13] 刘保健, 谢永利, 程海涛, 等. 上埋式公路涵洞地基及基础的设计[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2006, 26(3): 17-20.
- LIU Baojian, XIE Yongli, CHENG Haitao, et al. Design of soil-foundation system of culvert under high embankment[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2006, 26(3): 17-20.
- [14] 蒯行成, 刘先伟, 潘成筋. 高速公路构造物地基极限承载力的理论分析[J]. 中南公路工程, 2006, 31(2): 80-83, 92.
- KUAI Xingcheng, LIU Xianwei, PAN Chengjin. Theoretical analysis on ultimate load of foundation soil of constructions in highway[J]. Central South Highway Engineering, 2006, 31(2): 80-83, 92.
- [15] 凌忠, 刘敦平, 蒯行成, 等. 高路堤下构造物的地基处理研究[J]. 中南公路工程, 2005, 30(2): 91-94.
- LING Zhong, LIU Dunping, KUAI Xingcheng, et al. Foundation treatment for structures under high embankments[J]. Central South Highway Engineering, 2005, 30(2): 91-94.
- [16] 中交公路规划设计院有限公司. 公路桥涵地基与基础设计规范: JTG 3363—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.
- CCCC Highway Consultants Co., Ltd.. Specifications for design of foundation of highway bridges and culverts: JTG 3363—2019[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.