

中法公路涵洞水文设计方法对比

毛雪松¹, 徐 旺¹, 臧芝树², 唐 可¹, 汤鑫磊¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 中国公路工程咨询集团有限公司, 北京 100097)

摘要: 为了分析公路涵洞水文设计方法在中国与非洲法语区国家的差异性, 将中法规范公路涵洞设计方法进行了对比, 结果表明: 在涵洞形式选择上, 中国规范需考虑设计流量、材料供给、土性及地形差异及填土高度等因素, 而法国规范只需考虑设计流量和填土高度; 中国规范设计流量计算方法有半理论半经验法(暴雨推理法、径流形成法)、经验法(形态调查法、直接类比法), 所涉及计算参数较多; 而法国规范设计流量计算方法只有半经验半理论法, 各方法之间有一定的联系并且所用计算参数较少; 中法规范公路涵洞水力验算内容基本上相同, 包括涵洞内流速、水深、涵前雍水, 但是评价标准、验算公式有一定的差异性。以具体涵洞为工程实例, 采用中法规范计算了涵洞的设计流量并进行了水力验算, 结果表明应用中国规范计算的涵洞设计流量大于法国规范。

关键词: 水文设计; 中法规范对比; 公路涵洞; 设计流量; 水力验算

中图分类号: TU411

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2019)05-0654-06

Comparison of hydrological design method for highway culvert between China and France

MAO Xuesong¹, XU Wang¹, ZANG Zhishu², TANG Ke¹, TANG Xinlei¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. China Highway Engineering Consultants Corporation, Beijing 100097, China.)

Abstract: In order to compare the differences in road culvert hydrological design methods and between China African French-speaking countries, the methods of calculating design flow and the hydraulic verification methods are compared. Results indicated that in the choice of culvert form, the Chinese standard needs to consider factors such as design flow, material supply, soil and topographical differences, and fill height while the French standard only need to consider design flow and fill height. Chinese standard flow calculation method has semi-theoretical and semi-empirical method (rainstorm reasoning method, runoff formation method) and empirical method (morphological investigation method, direct analogy method), and more calculation parameters are involved. However, the French standard design flow calculation method has only semi-empirical and semi-theoretical methods, and there is a certain relationship between each method and the calculation parameters used are less. The contents of verification calculation for highway culvert in the Chinese and French standard are basically the same and the flow velocity, water depth and swirl water in the culvert need to be checked, but the evaluation criteria and the calculation formulas have certain differences. Taking the concrete culvert as an engineering example, the design flow of the culvert was calculated by the Chinese-French specification and the hydraulic check was carried out. The results show that the culvert design flow calculated by Chinese standard is larger than the French norm.

Key words: hydrological design; highway culvert; comparison of Chinese and French standard; hydrological design; design flow; hydraulic verification

近年来, 中国向非洲国家提供了大量资金和优惠性贷款, 主要用于公路、铁路、桥涵、港口等重大基础设施建设, 在向非洲国家提供投资的同时, 我国很多设计研究院及施工单位也逐渐承担着工程设计和施工任务。由于我国公路技术人员刚刚涉及非洲公路设计, 两者设计理念、设

计方法存在一定的差异, 为了更好的保证工程质量, 迫切需要对中非规范之间的差异性。又由于历史遗留和现实存在等各方面的原因, 许多非洲国家一直使用法国现行标准, 所以, 进行中法规范对比十分重要。

目前关于中法公路修筑技术规范的对比, 主

要集中于中法公路设计标准^[1]、施工方法^[2]、岩土划分^[3]、地基处理设计^[4]、路基填料使用条件^[5]。涵洞作为重要的排水设施,其设计直接影响着路基的排水效果和稳定。为了进行合理的设计,我国工程设计人员应该考虑国内的涵洞设计与非洲国家项目所在地的差异性,推荐合理的设计方法。JIA Z等^[6]介绍了非洲国家肯尼亚缺乏水文资料时设计流量计算方法;刘毅等^[7]对阿尔及利亚东西高速公路一标段水文水力进行了计算,系统地介绍了法国涵洞水文设计方法;HU Yiming等^[8]介绍了基于不确定性的中国水文频率分析方法;华鹏年等^[9]提出了中国小流域设计流量计算方法;李长秋^[10]等按照中国涵洞水文设计方法对绥建公路24 km涵洞水文水力进行了计算。但是在涵洞设计流量计算及水力验算方面,尚无进行中国规范和法国规范的系统对比。本文从考虑公路涵洞设计流量计算方法和水力验算的差异性出发,以具体涵洞为工程实例,应用中国规范和法国规范进行了设计与验算。

1 中法公路涵洞水文设计方法的差异性

中法公路涵洞设计流程基本上相同,都是先进行资料收集,然后计算涵洞设计流量,接下来初拟涵洞类型及尺寸,最后进行涵洞水力验算。但是,中法公路涵洞类型的确定、设计流量计算

方法、水力验算方法不完全相同。

1.1 中法公路涵洞类型的确定

法国规范按如下方面拟定涵洞类型^[11]:需按照对应的设计流量初步选择涵洞类型;当流量较小、无其他功能要求、涵洞顶面最大填土高度不大于8 m时,应采用圆管涵;当流量较大、无其他功能要求、涵洞顶面最大填土高度大于8 m时,应采用小孔径框架。

中国规范按如下方面拟定涵洞类型:缺少石料且有足够填土高度的地区应选用钢筋混凝土管涵;无石料且过水面积较大的地区应选用钢筋混凝土盖板涵;软土地区应选用钢筋混凝土箱涵;跨越深沟或高路堤地区应选用拱涵;石料丰富且过水流量较小地区应选用石板涵。在拟定涵洞类型时,法国规范只考虑了设计流量和填土高度,而中国规范还需考虑材料供给、土性及地形差异等因素。由于中国规范考虑的因素比法国规范多,考虑的更加全面,所以在拟定涵洞类型方面,中国规范更加合理。

1.2 中法公路涵洞设计流量计算方法

1.2.1 法国规范公路涵洞设计流量计算方法

法国公路涵洞设计流量计算方法主要参考的是由法国公路和高速公路技术研究所编写的文件《公路排水系统设施》,设计流量的计算方法有有理公式法、基底公式法、转换公式法,具体适用范围见表1^[12-13]。

表1 计算方法的适用范围

Tab. 1 Scope of application of the calculation method

适用区域	汇水面积/km ²			
	0~1	1~10	10~50	50~100
法国内除了滨海地区	有理公式法	转换公式法	基底公式法	基底公式法
滨海地区	有理公式法	有理公式法	转换公式法	基底公式法

(1) 有理公式法

有理公式法最为常用,其设计流量计算公式为

$$Q_{(T)} = \frac{C_{(T)} \times i_{(T)} \times S_{BVA}}{3.6} \quad (1)$$

式中: $Q_{(T)}$ 为设计流量(m³/s); $C_{(T)}$ 为地表漫流系数; S_{BVA} 为汇水面积(km²); $i_{(T)}$ 为平均降雨强度(mm/h),其公式为

$$i_{(T)} = a_{(T)} \times i_{c(T)}^{-b_{(T)}} \quad (2)$$

$C_{(T)}$ 与地表植被覆盖情况、地貌形态、地表坡度、土壤类型等有关,法国规范只规定了当重现期为10a时的地表漫流系数,对于任意重现期 T 的地表漫流系数可以采用相关公式计算。

(2) 基底公式法

该公式来自于法国农业部的规定,应首先计算重现期为10a的设计流量,然后推求重现期为100a的设计流量。

重现期为10a的计算公式为

$$Q_{(10)} = R \times \left(\frac{P_{(10)}}{80} \right)^2 \times S_{BVN}^{0.8} \quad (3)$$

式中:系数 R 为土壤的漫流能力系数,一般根据当地经验确定; $P_{(10)}$ 为重现期为10a的日降雨量(mm)。

重现期为100a的计算公式为

$$Q_{(100)} = b' \times Q_{(10)} \quad (4)$$

式中: b' 为参数,具体取值取决于汇水面积。

(3)转换公式法

转换公式法设计流量计算公式为

$$Q_{(T)} = \alpha \times Q_{R(T)} + \beta \times Q_{C(T)} \quad (5)$$

式中: α 、 β 为平衡系数, 两系数之和为 1, 当 $1 \text{ km}^2 < S_{BVN} < 10 \text{ km}^2$ 时, $\alpha = (10 - A)/9$, 当 $10 \text{ km}^2 < S_{BVN} < 50 \text{ km}^2$ 时, $\alpha = (50 - A)/40$; $Q_{R(T)}$ 、 $Q_{C(T)}$ 分别为有理公式法、基底公式法求得的设计流量。

1.2.2 中国规范公路涵洞设计流量计算方法

中国公路涵洞设计流量计算方法主要参考 2007 年交通部发布的《公路涵洞设计细则》, 包括暴雨推理法、径流系数法、形态调查法和直接类比法^[14]。

(1)暴雨推理法

暴雨推理法是一种半经验半理论的计算方法, 一般适用于汇水面积小于 100 km^2 情况。其设计流量计算公式为

$$Q_P = 0.278 \left(\frac{S_P}{\tau^n} - \mu \right) F \quad (6)$$

式中: Q_P 为设计流量 (m^3/s); S_P 为雨力 (mm/h); τ 为汇流时间 (h); n 为暴雨递减系数; μ 为损失参数; F 为汇水面积 (km^2)。

(2)径流形成法

径流形成法是目前公路部门普遍使用的一种计算方法, 适用于汇水面积 $F \leq 30 \text{ km}^2$ 的小流域。其设计流量计算公式为

$$Q_P = \psi(h - z)^{\frac{3}{5}} F^{\frac{4}{5}} \beta \gamma \delta \quad (7)$$

式中: ψ 为地貌系数; h 为径流厚度; F 为汇水面积 (km^2); β 为洪水传播的流量折减系数; γ 为洪水区降雨量不均匀折减系数; δ 为小水库(湖泊)调节作用影响洪峰流量的折减系数。

(3)形态调查法

形态调查法是一种结合形态调查确定设计流量的方法, 目前公路部门应用较为普遍, 当有可靠的历史洪水调查资料时, 其适用范围不受限制。采用形态调查法时, 应首先计算断面流速和历史洪水流量, 然后计算涵洞形态断面处的洪峰流量, 最后推求拟建涵洞处设计流量。

(4)直接类比法

直接类比法是用已有涵洞作为形态断面, 采用类似形态调查法推求拟建涵洞设计流量的方法, 应用的前提条件是能调查到已有涵洞可靠的涵前洪水积水高度及相应的洪水频率。

1.2.3 中法公路涵洞设计流量计算方法对比

(1)设计流量计算方法的对比

中国规范的暴雨推理法、径流形成法和法国

规范计算方法都是半理论半经验法, 即利用一系列参数计算设计流量, 但法国规范计算方法之间有一定的联系, 例如有理公式法和基底公式法是转换公式法的基础; 中国规范特有经验方法—形态调查法、直接类比法, 它们都是通过某处洪峰流量推求拟建涵洞的设计流量, 可以大大提高设计流量计算的准确性。

(2)参数对比

中法规范有一些参数是相同的, 例如汇水面积、汇水时间、降雨量。但是法国规范用到的参数较中国规范参数少, 主要是因为有一些参数考虑了很多影响设计流量的因素, 例如地表漫流系数考虑了地表植被覆盖情况、地貌形态、地表坡度、土壤类型、日降雨量, 而中国规范需用到地貌系数、径流厚度、滞留厚度三个参数来反映这些因素的影响; 虽然在反映相同因素对设计流量计算的影响时, 中国规范用到的参数比法国规范多, 但是这样会使计算结果相对合理。另外, 中国规范引入了一系列折减系数、递减指数、损失参数, 而法国规范没有这些参数, 中国规范考虑的这些系数与实际情况更加相符, 这样会相对增加计算结果的准确性。

对于各个参数值的获取, 法国规范更多的是计算, 而中国规范更多的是查表选取经验值, 例如径流形成法除了汇水面积这一参数外其它参数都是查表获取, 显然在参数值获取方面法国规范比中国规范更加合理。

(3)适用范围对比

对于不同计算方法的适用范围, 法国规范主要依据汇水面积以及是否处于滨海地区进行区分; 中国规范主要依据汇水面积、是否有可靠的历史洪水调查资料以及河沟附近是否存在已建涵洞来选择计算方法, 应结合具体条件确定。在选择计算方法时, 法国规范的适用范围划分比中国规范明确, 方便设计人员进行选择。

1.3 中法公路涵洞水力验算对比

中法公路涵洞的设计都是根据设计流量初拟涵洞类型及孔径后, 再进行水力验算^[15-16]。

(1)验算内容对比

中法规范验算内容基本上相同, 需要验算涵洞内流速、水深、涵前雍水。

(2)验算标准对比

在水力验算标准方面, 中法规范有一定的差异性, 具体对比见表 2。

表 2 验算标准对比

Tab. 2 Comparison of checking standards

法国规范	中国规范
验算标准 涵前雍水高 $H_{am} \leq 1.2H$ ，其中 H 为涵洞的进口高度； 无压力式涵洞顶面至最高流的净空高度应满足规范要求； 路基边缘至涵前雍水顶面的高差不得小于 0.5 m.	无压力式涵洞顶点至最高流水面的净空应满足规范要求； 涵前水深应小于或等于涵洞净高的 1.15 倍.

对于涵洞净空高度，法国规范认为它只与涵洞进口高度有关，中国规范认为它还与涵洞类型有关，并且中国规范取值更大，相对保守一点；另外，法国规范还需考虑路基边缘至涵前雍水顶面高差，而中国规范没有提及，法国规范这方面

比较合理.

(3)验算公式对比

当水流状态为临界流或正常水流时，中法规范都可以用相关公式计算涵洞内水流高度和流速，具体公式见表 3. 中法规范涵前雍水公式见表 4.

表 3 水流高度和流速公式

Tab. 3 Water flow height and velocity formula

	临界水流	正常水流
法国规范	$H_c = \sqrt[3]{\frac{Q_{(T)}^2}{B^2 g}}$ $v_c = \sqrt{H_c g}$	$Q_{(T)} = k_n \times R_b^{\frac{2}{3}} \times p_n^{\frac{1}{2}} \times S_n$ $v_n = \frac{Q_{(T)}}{S_n}$
中国规范	$v_k = \sqrt[3]{\frac{Q_p g}{\xi B_k}}$ $h_k = \frac{Q_p}{\xi v_k B_k}$	$Q_p = vA$ $v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$

注： $Q_{(T)}$ 、 Q_p 为设计流量(m^3/s)； B 、 B_k 为净宽(m)； ξ 为侧向压缩系数； k_n 、 n 为粗糙系数； R_b 、 R 为水力半径(m)； S_n 、 A 为流水断面面积； p_n 为设计纵坡； I 为水力梯度.

表 4 涵前雍水公式

Tab. 4 Water flow height and velocity formula

法国规范	中国规范
涵前雍水 $H_{am} = H_b + (1 + k_e) \frac{v_b^2}{2g}$	$H_y = H_q + 0.9h_k + \frac{v_{qs}}{2g\varphi} - \frac{v^{-2}}{2g}$

注： H_{am} 为涵前雍水高； H_b 、 v_b 分别为涵洞进口处的水流高度(m)和流速(m/s)； k_e 为涵洞进口导流系数； H_y 为涵前雍水位； H_q 为涵前铺砌面高程(m)； v_{qs} 为涵内收缩面流速(m/s)， $v_{qs} = \frac{v_k}{0.9}$ ； φ 为流速系数； \bar{v} 为涵前行径流速(m/s).

从表 3 可以看出，计算临界水流状况下涵洞水流高度以及流速时，中国规范公式化简为 $v_k = \sqrt{h_k g}$ 、 $h_k = \sqrt[3]{\frac{Q_p^2}{\xi^2 B_k^2 g}}$ ，与法国规范对比可以看出，公式形式差别不大，中国规范考虑了涵洞的侧向压缩系数，比较切合实际；计算正常水流状况下涵洞水流高度以及流速时，中国规范公式可转化为 $Q_p = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} A$ ， $v = \frac{Q_p}{A}$ ，与法国规范对比可以看出，公式极其相似，只是粗糙系数取值不同. 由表 4 可以看出，计算涵前雍水时，由于中国规范的水流高度和流速代入公式时考虑了折减系数，比较合理.

2 工程实例分析

以文献^[17]的阿尔及利亚东西高速公路 W5 标段 K34+482 涵洞为工程实例，应用中法公路涵洞水文设计方法进行了计算和结果对比.

2.1 工程概况

阿尔及利亚东西高速公路 W5 标段沿线地形以丘陵为主，地形起伏大，部分路段位于平原地段，地形平坦. 沿线没有大型河流，一些小的河沟是季节性的，干旱期长，但是雨季强度大.

W5 标段 K34+482 处有一条河沟，汇水区范围主要为耕地，地表土为黏土，汇水面积 25.3 km^2 ，该汇水区漫流长度 $L_1 = 3\,320 \text{ m}$ ，平均纵坡 $P_1 =$

0.074, 径流长度 $L_2 = 5\ 660\text{ m}$, 平均纵坡 $P_1 = 0.052$, 近十年和近百年来日降雨量的最大深度分别为 $P_{(10)} = 120\text{ mm}$ 、 $P_{(100)} = 450\text{ mm}$, 拟设 $1-8 \times 5.5\text{ m}$ 箱形涵洞, 涵洞采用水泥混凝土结构, 洞口设计为八字墙, 该河沟汇水区范围内最低处路基边缘高程分别为 391.8 m , 涵洞进出口高程拟定为 389.0 m 和 388.5 m , 涵洞长为 46.1 m .

2.2 法国公路涵洞水文设计方法

2.2.1 设计流量计算

(1) 采用有理公式法计算 $Q_{R(100)}$

第一段水流为间断流, 其水流速度 $v_1 = 1.4P_1^{\frac{1}{2}} = 0.38\text{ m/s}$, 第二段水流为连续流, 其水流速度 $v_2 = 15P_2^{\frac{1}{2}} = 3.42\text{ m/s}$, 水流汇集时间 $t_{c(10)} = \frac{L_1}{v_1} + \frac{L_2}{v_2} = 10\ 369\text{ s} \approx 173\text{ min}$, 由公式(2)计算得 $i_{(10)} = 10.43\text{ mm/h}$; 查法国规范表得, $C_{(10)}$ 取 0.7 . 由公式(1)计算得 $Q_{R(10)} = 51.13\text{ m}^3/\text{s}$. 由法国规范公式得 $P_0 = \left[1 - \frac{C_{(10)}}{0.8}\right] \times P_{(10)} = 15\text{ mm}$, 地表漫流系数 $C_{(100)} = 0.8 \times \left[1 - \frac{P_0}{P_{(100)}}\right] = 0.77$, 雨水汇集时间 $t_{c(100)} = t_{c(10)} \times \left[\frac{P_{(100)} - P_0}{P_{(10)} - P_0}\right]^{-0.23} = 125\text{ min}$, 由公式(2)计算得 $i_{(100)} = 30.28\text{ mm/h}$, 由公式(1)计算得 $Q_{R(100)} = 163.86\text{ m}^3/\text{s}$.

(2) 采用基底公式法计算 $Q_{C(100)}$

由有理公式计算可知, $b' = \frac{Q_{R(100)}}{Q_{R(10)}} = 3.19$, 由于汇水区土壤渗透性较差, R 可取 1.5 , 由公式(3)和(4)计算得 $Q_{C(10)} = 44.75\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $Q_{C(100)} = 142.75\text{ m}^3/\text{s}$.

(3) 采用转换公式法计算 $Q_{(100)}$

由于该河沟处于滨海地区, 汇水面积在 $10 \sim 50\text{ km}^2$ 范围内, 所以应该采用转换公式法来计算设计流量, 其中, $\alpha = (50 - 25.3)/40 = 0.62$, $\beta = 1 - \alpha = 0.38$, 由公式(5)计算得 $Q_{(100)} = 155.84\text{ m}^3/\text{s}$.

2.2.2 水力验算

由法国涵洞临界水流公式计算得 $H_c = 3.39\text{ m}$, $v_c = 5.76\text{ m/s}$. 对于砣结构, $k_n = 60 \sim 70$, 可取 65 , 涵底设计纵坡 $P_n = \frac{389.0 - 388.5}{46.1} = 0.011$, 由法国涵洞正常水流公式计算得 $H_n = 2.27\text{ m}$ 、 $v_n = 8.62\text{ m/s}$. 由于 $H_n < H_c$, 可推知涵洞为急流, 则涵洞进出口处的水流高度和流速与临界流一致, 即 $H_b = H_c = 3.38\text{ m}$ 、 $v_b = v_c = 5.76\text{ m/s}$. 洞口为八字墙时, k_c 取 0.5 , 由涵前雍水高公式计算得 $H_{am} = 5.95\text{ m}$, 故本涵洞 $\frac{H_{am}}{H} = \frac{5.95}{5.5} = 1.08 < 1.2$; 涵洞

的净空高度 $R = 2.12\text{ m} > 1\text{ m}$; 路基边缘至涵前雍水顶面的高差 $h = 3.15\text{ m} > 0.5\text{ m}$. 经法国规范水力验算得, 该涵洞设计合理.

2.3 中国公路涵洞水文设计方法

2.3.1 设计流量计算

根据《公路涵洞设计细则》(JTG/T D65-04-2007), 由于汇水面积小于 30 km^2 , 可采用径流形成法计算设计流量. 该河沟的平均纵坡在 $6.0\% \sim 10.0\%$ 之间, 汇水面积在 $20 \sim 30\text{ km}^2$ 之间, 则 ϕ 可取 0.08 、 τ 可取 80 min ; 由于 W5 标段地形以丘陵为主且干旱期长、暴雨强度大, 所以它类似于我国的暴雨分区 9 区; 由暴雨分区、土壤类型、汇流时间、重现期, 查表可得 $h = 65\text{ mm}$; 河沟附近为耕地, 则 z 可取 35 mm ; 汇水面积离涵洞很近, β 值应取 1 ; 汇水区宽度小于 5 km , γ 可直接取 1 ; 涵洞附近没有小水库或湖泊, δ 也可直接取 1 . 由公式(7)计算得 $Q_P = 168.96\text{ m}^3/\text{s}$.

2.3.2 水力验算

由中国涵洞临界水流公式计算得 $v_k = 5.92\text{ m/s}$ 、 $h_k = 3.57\text{ m}$. 由于涵洞采用砣结构, n 可取 0.013 , 由中国涵洞正常水流公式计算得 $v = 10.01\text{ m/s}$ 、 $h = 2.21\text{ m}$. 由于 $v > v_k$, 流速不满足要求. 经中国水力验算得, 该涵洞设计不合理.

2.4 中法公路涵洞计算结果对比

中法规范设计流量计算结果分别为 $168.96\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $155.84\text{ m}^3/\text{s}$, 中国规范计算结果比法国规范大 10% 左右, 结果偏差与基底公式法用 $10a$ 重现期计算设计流量然后转换成 $100a$ 重现期的设计流量有关, 而中国规范直接用重现期 $100a$ 来选择参数值进行计算设计流量, 这样导致了中国规范设计流量计算值比法国规范计算值大; 法国规范水力验算合格而中国规范水力验算不合格, 这与设计流量大小、侧向压缩系数、粗糙系数取得值有关.

3 结论

通过对中法公路涵洞水文设计方法进行介绍和对比, 并通过工程实例计算, 可以得出如下结论:

(1) 在拟定涵洞类型时, 法国规范主要考虑最大填土高度(以 8 m 为界限)和设计流量大小, 而中国规范还需考虑材料的供给问题、土性以及地形差异等因素.

(2) 中国规范设计流量计算方法既有半理论半经验法如暴雨推理法、径流形成法又有经验法如形态调查法、直接类比法, 而法国规范只有经验法, 但是法国规范各方法之间有一定的联系, 例

如有理公式法和基底公式法是转换公式法的基础,并且法国规范计算参数较少。

(3)中法公路涵洞水力验算内容基本上相同,都需验算涵洞内流速、水深、涵前雍水三方面内容,但是它们评价标准有一定的差异性。水力验算公式基本上相同,但一些参数取值不相同。

(4)对阿尔及利亚东西高速公路 W5 标段 K34 + 482 涵洞进行了设计流量计算和水力验算,发现中国规范设计流量计算结果比法国规范大。

参考文献 References

- [1] 丁小军,王佐. 法中公路设计标准、规范的差异比较[J]. 公路,2008(9):7-14.
DING Xiaojun, WANG Zuo. Comparison of differences in design standards and specifications between French and Chinese highways[J]. Highway, 2008(9): 7-14.
- [2] 郭喜,王弘一. 中法公路施工部分规范的区别简析[J]. 工程技术,2016(16):63-66.
GUO Xi, WANG Hongyi. A brief analysis of the differences between Chinese and French highway construction specifications[J]. Engineering Technology, 2016(16): 63-66.
- [3] 张青宇. 中、法岩土规范岩土体分类对比分析[J]. 水电站设计,2016,32(3):65-69.
ZHANG Qingyu. Comparative analysis of classification of rock and soil in Chinese and French rocks[J]. Design of Hydropower Station, 2016, 32(3): 65-69.
- [4] 江涛. 阿尔及利亚贝贾亚高速公路可压缩土的地基处理设计[J]. 中外公路,2017,3(1):10-14.
JIANG Tao. Foundation treatment design of compressible soil for Algeria's Bejaia highway [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2017, 3(1): 10-14.
- [5] 齐元新. 中国与法国规范下土方填料分类及使用条件对比[J]. 铁道建筑技术,2013(3):39-43.
QI Yuanxin. Comparison of classification and use conditions of earthwork fillers under Chinese and French regulations [J]. Railway Construction Technology, 2013(3): 39-43.
- [6] JIA Z, TANG S, LUO W, et al. Estimation of design floods in ungauged catchments using a regional index flood method[J]. Journal of Environmental Management, 2014, 67: 4-11.
- [7] 刘毅,何山清. 阿尔及利亚东西高速公路桥涵水文设计方法及其应用[J]. 交通科技,2009(6):33-35.
LIU Yi, HE Shanqing. Hydrological design method of bridge and culvert of the east-west expressway in Algeria and its application[J]. Traffic Technology, 2009 (6): 33-35.
- [8] HU Yiming, LIANG Zhongmin, LIU Xinsheng, et al. Uncertainty assessment of estimation of hydrological design values[J]. Springer Journal, 2015, 29:501-511.
- [9] 华鹏年,雷伟,刘新生. 小流域公路桥涵设计流量计算方法研究[J]. 公路,2014(4):4-7.
HUA Pengnian, LEI Wei, LIU Xinsheng. Study on calculation method of design flow of bridge and culvert in small watershed[J]. Highway, 2014(4): 4-7.
- [10] 李长秋,隋秀良,陈长俊. 绥建公路 24 km 涵洞水文计算及涵洞施工体会[J]. 黑龙江交通科技,2001(1):48-50.
LI Changqiu, SUI Xiuliang, CHEN Changjun. Hydrological calculation and culvert construction experience of 24 km culvert in Suijian Highway[J]. Heilongjiang Transportation Technology, 2001(1): 48-50.
- [11] 杨磊磊. 阿尔及利亚东西高速公路涵洞水文水力及洞口防冲刷计算[J]. 四川建材,2014,40(1):137-140.
YANG Leilei. Hydrological hydraulics and anti-scour calculation of culverts in the east-west expressway of Algeria[J]. Sichuan Building Materials, 2014, 40(1): 137-140.
- [12] French Highway and highway Technology Institute. System facilities of highway drainage[S]. French Republic: Ministry of Transport, Housing, Tourism and Marine Equipment, 2006.
- [13] French Highway and Highway Technology Institute. Road drainage guide [S]. République française: Ministère des transports, du logement, du tourisme et des équipements maritimes, 2006.
- [14] 河北省交通规划设计院. 公路涵洞设计细则: JTG/T D65-04-2007[S]. 北京:人民交通出版社,2007.
Hebei Provincial Communications Planning and Design Institute. Guidelines for design highway culvert: JTG/T D65-04-2007: [S]. Beijing: China Communications Publishing, 2007.
- [15] 张江峰,李隆. 西非某国公路升级改造桥涵水文水力设计实践[J]. 山西建筑,2013,39(20):170-171.
ZHANG Jiangfeng, LI Long. Hydrological and hydraulic design practice of upgrading and reconstructing bridges and culverts in a highway in West Africa[J]. Shanxi Architecture, 2013, 39(20): 170-171.
- [16] 中交路桥技术有限公司. 公路排水设计规范, JTG/T D33-2012; [S]. 北京:人民交通出版社,2012.
Zhongjiao Road and Bridge Technology Co., Ltd. Specifications for drainage design of highway, JTG/T D33-2012; [S]. Beijing: China Communications Publishing, 2012.
- [17] 美国联邦高速公路局运输处. 河流桥梁水力工程[M]. 西安:中交第一公路勘察设计院有限公司,2006.
US Federal Highways Transportation Office. River bridge hydraulic engineering[M]. Xi'an: CCCC First Highway Consultants Co., LTD, 2006.

(编辑 沈 波)