

中法沥青路面结构设计对比研究

李雪连^{1,2}, 崔之靖¹, 王随原³, YAWAVI BADJONA¹, 张起森^{1,2}

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.长沙理工大学 公路养护技术国家工程实验室, 湖南 长沙 410114; 3.中国路桥工程有限责任公司, 北京市 100011)

摘要:基于中法现行沥青路面设计规范,将两国沥青路面设计理念、设计理论及指标、设计参数和方法进行对比分析。研究发现:法国是将路基路面作为整体进行设计的,路面结构类型除比中国多了全厚式沥青路面结构外,其余路面结构类型相似。两国沥青路面设计理论相同,但法国路面设计指标比中国少了沥青混合料层永久变形和沥青面层低温开裂两个指标。两国设计均包括结构层组合与厚度拟定、设计参数和方案确定与验算,但设计参数取值或计算方法存在差异。两国均采用体积法进行混合料设计,但法国沥青路面材料与结构设计联系更紧密。值得注意的是,法国沥青路面设计特别注重路面抗冻性检验,而中国只建议在季节性冻土地区考虑。研究成果不但有利于完善中国沥青路面设计方法,而且能为援非道路建设者快速了解法国沥青路面设计方法提供帮助。

关键词:道路工程; 沥青路面; 规范; 路面结构设计; 参数; 设计方法

沥青路面因具有表面无缝、易养护维修且能承受弹性变形等优点在各国广泛应用^[1],沥青路面设计成功与否,直接影响路面使用性能和寿命。目前,各国的现行沥青路面设计方法存在较大差异。在中国,经过几十年的发展,已经形成一套符合中国国情的沥青路面设计方法^[2]。

“一带一路”项目建设使中国大量的道路工作者和建设单位投身于非洲的道路建设中。然而,目前非洲大多数国家采用的是法国沥青路面设计规范,与中国存在一定差异,困扰着中国道路援建者。因此,近年来,有学者陆续针对两国沥青路面设计特点开展研究。王乐宇等利用正交试验对比分析了中法沥青路面结构的设计参数,发现基层和土基参数的重要性在两国沥青路面设计中是相同的,而面层参数重要性在中国所占比例更大^[3];刘军勇等结合阿尔及利亚东西高速公路 W7 标段实体工程案例详细说明了法国规范中各设计参数取值方法和路面结构计算全过程^[4];雷宇等基于法国 LCPC—ALIZE 路面计算软件采用正交试验分析了法国沥青路面各结构层模量对路面设计指标的影响,研究表明:提高路面承台(法国将垫层和土基上 1 m 范围内称为路面承台)和底基层的模量能有效减小沥青层底拉应变和承台顶面压应变,采用高模量沥

青混合料也可达到同等效果^[5];Njock P G A 等利用有限元对法国和中国 4 种典型沥青路面结构进行计算与分析,结果表明:中国沥青路面典型结构的最大弯沉值大于法国沥青路面,同时,法国沥青路面采用的材料模量比中国高,从而让法国沥青路面具有更好的抗车辙能力^[6]。总之,对中法沥青路面结构设计研究大多集中在对比结构设计参数和分析法国规范的路面设计案例,尚未见到从设计理念、设计参数和设计过程等沥青路面结构设计全过程的对比分析,特别是与中国 2017 版沥青路面设计规范的对比分析。

该文基于法国 LCPC—2009《Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussée》和中国 JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》(简称 2017 年规范)对两国沥青路面设计进行对比,可为援非道路建设者快速理解和掌握法国沥青路面规范提供参考。

1 设计理念

1.1 道路类型

法国路面结构手册将道路分为结构性路网道路(VRS)和非结构性路网道路(VRNS)两部分;而中国道路主要分为公路和城市道路两部分,详见表 1。法国在

进行路面结构设计时,先根据交通功能选择合适的道路类型,再根据交通量和环境条件等参数确定路面材料与结构组合。而中国对于公路等级选择主要由国家路网规划和交通量大小等综合因素决定,对于城市道路则以道路使用功能为主确定等级。不同道路类型决定了路面结构层厚度、材料的选择和路基宽度等要素。

表1 道路分类

国家	道路类型	设计年限/年
法国	VRS 高速公路和快速道路	30
	VRNS 城市间干道和其他公路	20
	高速公路、一级公路	15
	二级公路	12
	三级公路	10
中国	四级公路	8
	快速路、主干路	15
	城市道路 次干路	10
	支路	8(10)

1.2 路面结构类型

法国沥青路面结构主要以柔性基层为主,半刚性基层沥青路面只在法国东部地区使用,且多数是在交通量较小的道路。而中国主要受“强基薄面”观念影响,仍以半刚性基层沥青路面为主^[7],近些年柔性基层路面才逐渐受到重视^[8]。在法国沥青路面设计相关规范中,路面结构类型主要分为6类;而中国沥青规范则按基层材料性质分为5类,如表2所示。

表2 路面结构分类

国家	类型
法国	全厚式沥青路面、水硬性结合料处治基层沥青路面、水泥混凝土刚性基层沥青路面、组合式结构沥青路面、柔性结构沥青路面和倒装结构沥青路面
中国	无机结合料稳定类基层沥青路面、粒料类基层沥青路面、沥青结合料基层沥青路面和水泥混凝土基层沥青路面

表2中,全厚式沥青路面是法国目前最主要的沥青路面结构形式,占法国道路总里程50%以上^[9]。水硬性结合料处治基层沥青路面在法国东部地区较为常见,性能与中国的半刚性基层沥青路面类似。水泥混凝土刚性基层沥青路面需要根据土基的排水情况设置排水层,以避免土基受到水的侵蚀。组合式结构沥青路面规定沥青材料层厚度需超过路面总厚度的一半以上,是除全厚式沥青路面外在法国应用最为广泛的结构形式^[10]。倒装结构沥青路面是在全厚式沥青路面

基础上加了级配碎石层和水稳层。两国除对不同路面结构定义不同之外,沥青路面结构总体基本相似。此外,法国沥青路面常采用全厚式沥青路面结构。这种路面结构以高模量沥青混合料为主,与半刚性基层沥青路面相比,其优势在于路面结构厚度更薄^[9],同时有利于减少反射裂缝的产生,且将路面破坏限制在路面表面层,更有利于后期养护维修。

1.3 路面结构组合

法国路面结构设计是将路基路面作为一个整体进行考虑,没有“路基”这个概念^[10]。总体上,法国路基路面结构包括土基、垫层(CDF)和路面体。土基由土基上部(PST)及其顶面的整平层(AR)和天然土基组成。垫层和土基上部共同组成路面承台(PF),即路面承重层。路面体包括面层和基层,其中,面层包括磨耗层和联结层,而基层包括基层和底基层,具体如图1所示。与法国路面结构相比,除面层外,中国其余各结构层与法国类似,而面层按不同材料可分成3层,见图2。值得注意的是,2017版规范提出用“功能层”取代“垫层”这一概念。



图1 法国路面结构图

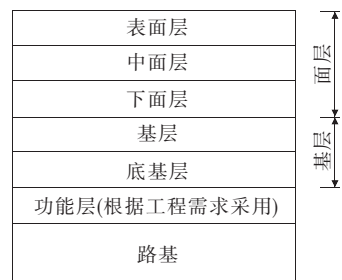


图2 中国路面结构图

(1) 土基上部

法国 LCPC—1998《Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves》中将土基约1m厚深度部分称为PST,类似于中国“路床”结构,同时PST上可根据不同道路要求增加改善层。为了确定PST的承载力,根据不同PST材料的性质以及含水状态等,将PST分为7个等级,如表3所示。此外,当PST使

表 3 PST 等级

PST 等级	划分依据
PST n°0	土壤: A、B ₂ 、B ₄ 、B ₅ 、C ₁ 等级土壤且为含水状态,不宜作为工程用土;情况:沼泽、泥炭质土地区等
PST n°1	土壤: A、B ₂ 、B ₄ 、B ₅ 、B ₆ 、C ₁ 、R ₁₂ 、R ₁₃ 、R ₃₄ 等级土壤和一些处于含水状态的 C ₂ 、R ₁₃ 、R ₆₃ 等级的土壤;情况:土质承载力差,且在长时间内,没有改善的可能
PST n°2	土壤: A、B ₂ 、B ₄ 、B ₅ 、B ₆ 、C ₁ 、R ₁₂ 、R ₁₃ 、R ₃₄ 等级土壤和一些处于含水状态的 C ₂ 、R ₁₃ 、R ₆₃ 等级的土壤;情况:土质剪应力强,但受雨水影响大,在雨水等长期作用下减弱
PST n°3	土壤: 与 PST n°2 土壤相同;情况:除与 PST n°2 情况相同外,可采取路面排水和整平层防水等措施提高土壤承载力
PST n°4	土壤: 与 PST n°1 相同,此外土颗粒粒径小,易于改良处理;情况:土质对水敏感,可通过水硬性材料对 0.3~0.5 m 深度的土壤进行改良处理
PST n°5	土壤: B ₁ 和 D ₁ 以及一些 R ₁₃ 等级的岩石;情况:含水层以外的 PST 为对水不敏感的细砂质土,不利于车辆行驶
PST n°6	土壤: D ₃ 、R ₁₁ 、R ₂₁ 、R ₂₂ 、R ₃₂ 、R ₃₃ 、R ₄₁ 、R ₄₂ 、R ₆₂ 等级的岩土以及一些 C ₂ 、R ₂₃ 、R ₁₃ 、R ₆₃ 等级的岩土;情况:土质是对水不敏感的砂粒或岩石,但存在整治和可行驶性方面的问题

注:表中土壤分类为法国规范中土壤和岩石材料 GTR 分类。

用的材料本身防水且承载能力高时,可取消垫层。

(2) 整平层

PST 的顶面称为 AR,其作用为承载上部结构的长期荷载,按其承受荷载的大小划分为 5 个等级,以模量表示,如表 4 所示。而中国仅在岩石、填石路基顶面设置整平层,厚度为 20~30 cm。

表 4 AR 等级

ARi	模量/MPa	ARi	模量/MPa
AR0	<20	AR3	120~200
AR1	20~50	AR4	>200
AR2	50~120		

(3) 路面承台

PF 一般由 CDF 和 PST 组成,按其承载路面长期荷载的水平一般分为 4 个等级,见表 5。确定 PF 等级是路面结构设计的前提,PF 各等级均与 AR 等级相对应,确定 PF 等级流程见图 3 所示。

表 5 PF 等级划分表

PFj	模量/MPa	PFj	模量/MPa
PF1	20	PF3	120
PF2	50	PF4	200

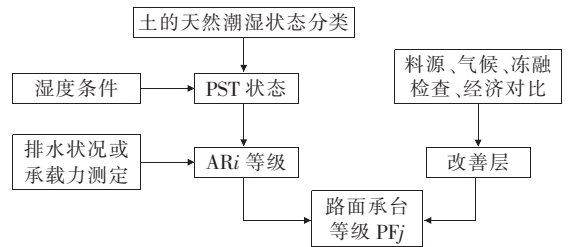


图 3 PF 等级划分步骤图

(4) 路面体

法国路面结构将面层分为磨耗层和联结层,其中磨耗层功能与中国表面层相同,起到直接承受车辆荷载和抗磨耗作用;联结层一般采用模量较高的材料,同时也有利于提高面层抗车辙能力。此外,法国路面结构层中基层部分与中国基本相同。

2 设计理论与指标

两国均采用双圆垂直均布荷载作用下的弹性层状体系理论,但法国的标准轴载是单轴双轮组 130 kN,而中国是单轴双轮组 100 kN,计算参数的差别见表 6。

表 6 标准轴载计算参数

国家	标准轴载/ kN	轮胎接地 压强/MPa	当量圆直 径/mm	两轮中心 距/mm
法国	130	0.662	250.0	375.0
中国	100	0.700	213.0	319.5

法国在进行沥青路面设计时,不同路面材料层采用不同的设计指标,具体分为 3 大类:① 沥青材料层底拉应变;② 土基顶面压应变;③ 半刚性或刚性材料层底拉应力。相关计算公式如下:

(1) 沥青混合料容许应变 $\epsilon_{r,ad}$

$$\epsilon_{t,ad} = \epsilon_6 \times \left(\frac{NE}{1 \times 10^6} \right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(15^\circ\text{C})}} \times K_c \times K_r \times K_s \quad (1)$$

式中: ϵ_6 为材料进行疲劳试验100万次的应变; NE 为标准当量轴数; b 为沥青材料计算参数,一般为-0.2; $E(10^\circ\text{C})$ 为 10°C 时的模量; $E(15^\circ\text{C})$ 为 15°C 时的模量; K_c 为材料修正系数,法国常用的高模量沥青混合料为1.0; K_r 为路面破坏风险系数, $K_r = 10^{-ub\delta}$; u 为与风险值相关的递减系数,取值见表7; δ 为材料疲劳断裂对数的差异参数, $\delta = [SN^2 + (c^2/b^2)Sh^2]^{0.5}$,其中 SN 为材料计算参数,对于沥青材料为0.25; Sh 为与路面结构层厚度 h 相关的系数,取值见表8; c 为与路面厚度相关联的系数,一般取 0.02 cm^{-1} ; K_s 为土基的承载能力系数,取值见表9。

表7 递减系数

风险值	递减系数 u	风险值	递减系数 u
1	-2.326	10	-1.280
2	-2.050	15	-1.040
5	-1.650	20	-0.840

表8 Sh 值

h/cm	Sh
<10	1
10~15	$1 + 0.3 \times (h - 10)$
>15	2.5

表9 K_s 值

E/MPa	K_s
<50	1/1.2
50~120	1/1.1
>120	1

(2) 土基顶面竖向变形 $\epsilon_{z,ad}$

$$\epsilon_{z,ad} = 0.012(NE)^{-0.222} \quad (2)$$

$$\epsilon_{z,ad} = 0.016(NE)^{-0.222} \quad (3)$$

交通量较大采用式(2)计算,交通量较小则采用式(3)计算。

(3) 半刚性或刚性材料层的容许应力 $\sigma_{t,ad}$

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t(NE) \times K_r \times K_d \times K_c \times K_s \quad (4)$$

式中: $\sigma_t(NE)$ 为试件进行一年弯曲试验对应的断裂应力; K_d 为非连续修正系数,对于水硬性结合料稳定材料一般取1.0。

与法国设计指标相比,2017版规范中增加了沥青混合料层永久变形和沥青面层低温开裂两个设计指标,这两个指标是分别针对中国沥青路面易产生车辙破坏和在季节性冻土地区沥青面层易低温开裂提出的。此外,中国沥青路面设计指标更加具体,对不同的基层类型提不同的设计指标。

3 设计参数

3.1 交通等级

确定交通等级是进行路面结构设计的前提。目前,法国规范中将荷载大于35 kN的重型车辆作为交通等级划分依据;其中,对于VRS道路用 TCi_{30} (30年内累计交通量*i*级)表示;对VRNS道路用 TCi_{20} (20年内累计交通量*i*级)表示。与法国相比,中国根据车辆构造和轴组类型等,将车辆分为11种类型,并只考虑其中2~11类车辆作用;同时,将交通等级按累计交通量划分为5个等级,具体划分见表10。对于法国交通量和累计轴数计算分别见式(5)、(6),中国先按3个水平确定当量轴载换算系数后,根据2017版规范计算当量轴载累计次数。

$$TCi_{20或30} = 365 \times T \times C \quad (5)$$

$$NE = TCi \times CAM \quad (6)$$

式中: T 为重车行车道平均日交通量(MJA); C 为设计年限交通量年增长率, $C = d + t \times d \times (d - 1) / 2$, d 为路面初始设计年限, t 为重型交通年线性增长率(%); CAM 为平均侵害系数,与路面结构类型和车道分类有关的平均结构折算系数,见表11。

3.2 土(路)基

在法国设计理念中,并没有“路基”这一说法,但其结构组合中,垫层加土基上部组成的结构与中国路基的概念类似。在法国规范中,土基参数包括AR等级、PST等级以及土基中PST加垫层组成的PF等级。其中,当垫层施工厚度未达到设计厚度要求时,此时PF等级以AR等级代替^[11];当垫层施工厚度达到设计厚度要求时,则PF等级和AR等级划分分别见表4、5。

在中国,路基一般包括路床和路堤两部分,其中路床结构与法国PST结构相似。目前,中国路基按交通荷载等级分成4类,以路基顶面回弹模量表示,如表12所示。路基分为干燥、中湿和潮湿3种干湿类型。在进行路面设计时,路基应处于干燥或中湿状态。

表 10 交通等级

法国		中国			
VRS	车辆数/10 ⁶	VRNS	车辆数/10 ⁶	设计交通荷载等级	设计年限累计交通量/(10 ⁶ 辆)
TC1 ₃₀		TC1 ₂₀			
TC2 ₃₀	0.5	TC2 ₂₀	0.2		
TC3 ₃₀	1.0	TC3 ₂₀	0.5	极重	≥50.0
TC4 ₃₀	3.0	TC4 ₂₀	1.5	特重	50.0~19.0
TC5 ₃₀	6.0	TC5 ₂₀	2.5	重	19.0~8.0
TC6 ₃₀	14.0	TC6 ₂₀	6.5	中等	8.0~4.0
TC7 ₃₀	38.0	TC7 ₂₀	17.5	轻	<4.0
TC8 ₃₀	94.0	TC8 ₂₀	43.5		

表 11 CAM 值

结构类型	CAM 值	
	VRS	VRNS
沥青结构	0.8	0.50
未处理砂砾结构	—	1.00
复合结构	1.2	0.75
半刚性与刚性结构	1.3	0.80

表 12 路基等级

交通荷载等级	回弹模量/MPa	交通荷载等级	回弹模量/MPa
极重	≥70	重	≥50
特重	≥60	中等、轻	≥40

3.3 路面

法国沥青路面材料设计理念基本与中国沥青路面材料设计相同,包括原材料选择和沥青混合料设计;不同之处在于法国在材料设计上更成体系,且与路面结构层结合更紧密。

在原材料选择方面,两国均以方孔筛为标准筛,但尺寸大小不一,法国以 0~125 mm 分成 35 档,而中国以 0~75 mm 分成 17 档,法国对此划分更为细致^[12]。法国在粗集料方面比中国少了压碎值和冲击值要求,但对于不同层位粗集料的指标要求各不相同,中国则未考虑不同结构层的要求。两国对于细集料与填料要求大致相同,且对于基质沥青的技术指标要求基本类似,但对于聚合物改性沥青,由于法国本土气候原因要求更加全面,在低温性能方面要求更高^[13]。

在沥青混合料设计方面,两国均采用体积设计法。

法国沥青混合料设计采用 4 级试验法,包括水稳定性试验、高温稳定性试验、劲度模量和疲劳试验,而中国则采用马歇尔设计法。法国路面结构层材料设计的模量等参数通过室内试验确定;而中国材料设计参数的确定分为 3 个水平。高速公路和一级公路采用水平一确定,即根据室内试验确定;其他等级公路可采用水平二或三确定,即通过经验法或代表值确定。此外,就两国确定参数的试验方法而言,法国试验方法及设备更简便实用,而中国则由于路面结构类型和材料种类较多,且对不同结构和材料采用的试验方法不同,导致中国相关试验方法复杂且设备种类较多。

3.4 环境条件

沥青是温度敏感性材料,故在沥青路面设计时需要考虑温度变化对路面性能的影响。其中,疲劳等效温度法是最常用的一种方法^[14],两国都采用这个方法。在法国,路面等效温度的定义:某一温度造成的路面损伤与一年内实际温度造成的路面损伤相同。根据法国本土和西非地区的气候不同,法国本土的等效温度采用 15 °C,西非地区采用 28~32 °C。在中国,主要根据道路工程所在的环境、路面结构类型与结构层厚度等因素,采用两种措施考虑温度变化对路面的影响:一种以温度调整系数表征温度对路面结构疲劳和路基顶面竖向压应变的影响,具体方法为先将路面结构换算成当量的面层、基层和路基 3 部分,然后对不同温度换算成标准温度 20 °C 路面各层等效破坏,从而得到温度调整系数;另一种以等效温度表征温度变化对沥青混合料层永久变形的影响,用式(7)表示:

$$T_{pef} = T_{\varepsilon} + 0.016h_a \quad (7)$$

式中: T_{pef} 为沥青混合料层等效温度($^{\circ}\text{C}$); T_{ξ} 为基准等效温度($^{\circ}\text{C}$); h_a 为沥青混合料层厚度(mm)。

3.5 路面可靠度

法国路面设计以计算风险值表示路面使用可靠度,计算风险即在不结构性养护条件下,在 n 年间路面发生功能性破坏导致其使用性能失效的概率,具体取值范围见表13。中国路面设计采用目标可靠度和目标可靠指标评定路面使用可靠性,取值如表14所示。

表13 法国路面计算风险取值

交通等级	风险/%		
	柔性结构	刚性或半刚性结构	组合结构
TC2	30	12.5	50
TC3	18	10.0	35
TC4	10	7.5	20
TC5	5	5.0	10
TC6	2	2.5	3
TC7	1	1.0	2
TC8	1	1.0	1

表14 目标可靠度和目标可靠指标

公路等级	目标可靠度/%	目标可靠指标 β
高速公路	95	1.65
一级公路	90	1.28
二级公路	85	1.04
三级公路	80	0.84
四级公路	70	0.52

从表13可知:法国路面计算风险值取决于路面结构类型和交通等级,使路面可靠度更具有针对性;由表14可知:中国目标可靠度仅与公路等级有关,且目前仅提出目标可靠度和目标可靠指标这两个指标,对于如何根据可靠度进行沥青路面设计还缺乏相关指导,同时也未考虑不同路面结构类型对可靠度的影响。

4 沥青路面结构设计方法

在法国,沥青路面设计有两种设计方法:卡片法(即典型结构设计法)和软件法。根据法国多年来沥青路面设计经验,LCPC—1998《Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves》总结了VRS道路中的25种结构卡片和VRNS道路中的27种结构卡

片,同时将抗冻性检验作为法国路面结构设计的一个特色,这也是这个手册的重要内容之一。首先根据该手册初选路面结构组合,再利用道桥研究中心(LCPC)的ALIZE软件进行计算,经过卡片和软件计算的双重验算后,确定最终结构组合和厚度;然后,进行冻融检验,满足要求则该拟定结构组合是可行的;最后,确定最优路面结构组合,具体设计流程如图4所示。中国沥青路面结构设计方法基本与法国相同,也包括结构层组合与厚度拟定、设计参数和方案确定与验算,不同的是各个阶段采用的方法存在一定差异。

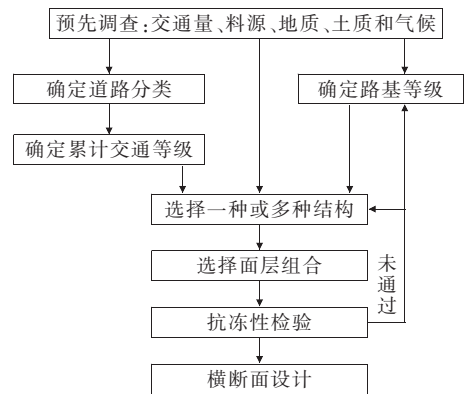


图4 路面结构设计流程

在路面结构验算阶段,法国路面结构层厚度最后需要通过抗冻性检验,主要是检测路面的抗冻性是否符合规范要求,检验示意如图5所示。

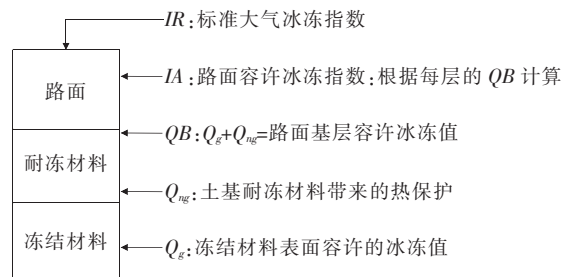


图5 抗冻性检验指标

在图5中, Q_g 根据材料的膨胀系数 p 换算而来,见表15; Q_{ng} 由式(8)确定。当 $IA > IR$ 时,该结构层及材料满足路面抗冻性能要求;当 $IA < IR$ 时,则需调整路面结构层厚度或材料^[15]。而中国则针对5个设计指标提出对应的验算方法,且将路面结构弯沉值作为验收指标之一,包括路基顶面弯沉和路表弯沉;同时,增加防冻厚度验算,与法国抗冻性检验不同的是,中国仅在季节性冻土地地区路基处于中湿或潮湿状态下,才会对沥青路面进行抗冻性验算。

$$Q_{ng} = A_n \times \frac{h_n^2}{h_n + 10} \quad (8)$$

式中: A_n 取决于结构层材料的性质,对于细粒土为 0.15,砂质或砾质土为 0.13; h_n 为耐冻材料结构层厚度。

表 15 Q_g 值

材料膨胀系数 p	Q_g 值
$0.05 < p \leq 0.25$	4
$0.25 < p \leq 1$	$1/p$
$p > 1$	0

5 结论

(1) 法国将路基路面作为一个整体,其路基路面与中国基本类似,不同之处在于中国道路类型划分更细且设计年限更短。

(2) 两国沥青路面设计理论均是弹性层状体系,但计算参数取值存在差异且法国设计指标比中国少沥青混合料层永久变形和沥青面层低温开裂两个指标。

(3) 在路面设计参数方面,法国将交通等级分为 8 个等级,且两种道路划分范围取值不同,而中国则统一将道路分为 5 个等级。法国规范对土基参数划分较为详细,包括 AR 等级、PST 等级以及土基中 PST 加垫层组成的 PF 等级;而中国仅将路基按回弹模量大小分为 4 个等级。

(4) 在材料设计方面,两国基本相似,但法国对标标准划分更细,与路面设计结合更密切;两国沥青混合料设计均属于体积法,但法国相关设计参数通过室内试验确定,而中国只有水平一是这样的。

(5) 在环境影响方面,法国以等效温度表征不同地区气候条件对沥青路面设计的影响,但中国则以温度调整系数和等效温度共同表征不同气候条件对路面不同结构破坏的影响。

(6) 在路面可靠度方面,两国均考虑可靠度指标,法国对此有一套较为完整的计算过程及理论依据,但中国仅提出目标可靠度和目标可靠指标两个指标,对于如何根据可靠度进行沥青路面设计还缺乏相关指导。

(7) 在结构设计方面,两国都包括结构层组合与厚度拟定、设计参数和方案确定与验算,但交通等级、结构层参数、环境条件和路面可靠度等设计参数取值或计算方法不同。其中,路面抗冻性检验对法国路面结构设计而言至关重要,但中国只在季节性冻土地区

考虑。

该文进行两国沥青路面现行设计对比分析,不仅有利于援非道路建设者快速理解和掌握法国沥青路面设计方法,也可为进一步完善中国沥青路面设计方法提供参考。

参考文献:

- [1] 罗芳艳,孙立军.基于使用性能的沥青路面结构设计方法研究[J].中国公路学报,2001(S1):37-40.
- [2] 张起森,李雪连.70年来中国沥青路面结构设计方法发展沿革[J].中外公路,2019,39(6):30-38.
- [3] 王乐宇,廖公云,李植淮,等.中法沥青路面结构设计参数重要性对比分析[J].中外公路,2015,35(5):81-87.
- [4] 刘军勇,李刚,张留俊,等.基于法国标准的沥青路面结构设计[J].公路工程,2010,35(5):85-88,102.
- [5] 雷宇,李刚.柔性基层沥青路面各层模量变化对沥青路面设计指标的影响[J].中外公路,2009,29(3):326-328.
- [6] NJOCK P G A, LI Yue-guang. Comparative Study of French and Chinese Asphalt Pavement Design Methods [J]. Journal of Applied Sciences, 2015, 15(6): 923.
- [7] REN Rui-bo, LI Hi-wen, WANG Zhe-ren. Analysis of Semi-Rigid Asphalt Pavement with Flexible Base as a Sandwich Layer[C]. Selected Papers from the Geohunan International Conference, 2009.
- [8] QIAN Guo-ping, HU Chang-hao, YU Hua nan, et al. Case Study: Ten Year Field Performance Evaluation of Flexible Base Asphalt Pavement Design in Heavy Load Condition[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2020, 32(7).
- [9] 刘锋,李刚,丁小军.法国规范体系下全厚式沥青混凝土路面结构设计方法[J].公路,2008(9):139-142.
- [10] 蒋松利,丁淑巍.基于法国标准的复合式基层沥青路面结构设计案例分析[J].中外公路,2018,38(5):69-72.
- [11] 王书伏,张协,李刚,等.法国规范体系下路面承台及路面结构的综合设计[J].中外公路,2009,29(3):321-326.
- [12] 夏全平,孙杰,李庶安,等.EME2高模量沥青混合料性能对比试验研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2018,34(1):11-21.
- [13] 柴福斌,李刚,赵明,等.中、法沥青路面材料试验体系的差别[J].中外公路,2009,29(4):293-297.
- [14] 谈至明,吁新华.沥青面层的疲劳等效温度[J].同济大学学报(自然科学版),2013,41(2):197-202.
- [15] 邵财泉.中外沥青路面设计方法对比研究[D].东南大学硕士学位论文,2015.