

文章编号: 0451-0712(2006)11-0039-05

中图分类号: U416.2

文献标识码: B

# 沙漠地区路面典型结构研究

李健华<sup>1</sup>, 王选仓<sup>2</sup>, 王亚军<sup>3</sup>

(1. 中交公路规划设计院 北京市 100010; 2. 长安大学公路学院 西安市 710064;

3. 内蒙古交通设计研究院 呼和浩特市 010010)

**摘 要:** 调查、分析了沙漠地区地理和自然气候状况、沙漠路面结构和材料现状以及沙漠路面使用状况, 结合沙漠地区交通状况, 划分了交通量等级。在沙基回弹模量实测基础上, 考虑一定的可靠度, 提出了不同沙漠分区沙基回弹模量推荐值。以上述研究成果为基础, 通过大量计算, 提出了不同沙漠分区沙漠路面典型结构, 供公路设计、施工使用。

**关键词:** 沙漠地区; 交通量等级; 沙基回弹模量; 路面典型结构

就沙漠公路而言, 以前主要以风积沙路基和路面材料研究为主, 对路面结构的研究主要针对某一具体的实体工程, 应用范围仅仅局限在特定的地区, 而对沙漠路面典型结构进行系统研究尚属空白。由于沙漠各地区有着类似的自然气候特征、筑路条件和交通状况, 针对沙漠地区进行典型结构的研究意义重大。

## 1 沙漠公路调查分析

调查典型沙漠地区的共 26 条沙漠公路, 其中高速公路 3 条、一级公路 2 条、二级公路 10 条、三级公路 10 条、四级公路 1 条。

### 1.1 自然气候状况分析

根据调查资料, 各条公路所经区域均属大陆性气候, 其显著的气候特点为: (1) 冬季寒冷漫长, 四季温差大, 霜冻期长; (2) 降水量少而集中, 蒸发量大, 气候干燥; (3) 风期长, 风力大, 风向以西北风为主。

沙漠地区夏季炎热, 太阳辐射强烈。调查路段经过地区夏季月平均最高气温基本都在 25℃ 以上, 最高气温基本都在 35℃ 以上, 一些地区达到 40℃ 以上。冬季严寒, 太阳辐射量较低。调查路段经过地区冬季月平均最低气温低于 -10℃, 最低气温除塔克拉玛干沙漠地区外, 其他均在 -30℃ 以下。

降水量少而集中, 蒸发量大, 气候干燥, 干燥度都在 1.0 以上。

自然气候分析表明, 在路面结构设计时需重点

考虑高温和低温对路面结构的影响, 而水的影响比较次要。

### 1.2 路面状况分析

(1) 目前我国沙漠公路等级处在较低水平上, 二、三级公路占了绝大部分。同时, 高等级公路也在崛起。在等级公路建设中, 四级公路建设规模较小。

(2) 高速公路路面面层主要采用中粒式和粗粒式沥青混凝土, 层次组合是 2 或 3 层, 厚度变化在 12~15 cm 之间。基层采用水泥稳定碎石(或砂砾)和水泥石灰粉煤灰综合稳定砂砾。3 条高速公路基层厚度都取 20 cm。底基层包括水泥稳定砂砾、二灰稳定砂砾和石灰土, 有的路段设了砂砾垫层。底基层加垫层厚度变化在 20~40 cm 之间, 基层加底基层厚度变化范围为 40~56 cm。

(3) 2 条一级公路面层采用细粒式加粗粒式沥青混凝土双层结构, 厚度为 7 cm。基层采用水泥稳定碎石和二灰稳定碎石, 底基层采用二灰土或水泥石灰粉煤灰综合稳定土。基层加底基层厚度为 40 cm。

(4) 二级公路面层以一层结构为主, 包括沥青混凝土、热拌沥青碎石、沥青表处和沥青上拌下贯等。只有采南~石西公路采用双层结构, 原因是在设计时考虑到此路属于油田用路, 重车较多。面层厚度范围为 2.5~7 cm, 主要以 3 cm 和 4 cm 为主。基层材料类型包括水泥稳定碎石(或砂砾)、二灰稳定碎石(砂砾)、水泥石灰稳定砂砾(土)及石灰土砂砾。基层厚度变

化在16~20 cm 之间。底基层材料类型包括石灰土、二灰土、水泥石灰稳定(沙)土、水泥石灰粉煤灰稳定(沙)土,厚度基本上保持在20 cm 左右。垫层代底基层结构用得较多,材料主要是天然砂砾,厚度根据路基干湿类型变化较大,干燥状态时基本上在12~25 cm之间,以16~20 cm 居多。二级公路基层加底基层(或垫层)厚度变化范围在30~65 cm 之间。

(5)三级公路面层采用2.5~5 cm 厚沥青碎石、沥青表处、沥青上拌下贯等单层结构。基层材料采用水泥稳定砂砾、石灰砂砾、水泥石灰稳定砂砾、石灰土等半刚性结构,厚度为16~20 cm;同时还有级配碎石(砂砾)柔性结构,厚度为10 cm。基本无半刚性底基层,在基层下直接铺筑天然砂砾垫层,厚度采用15 cm 和20 cm。

(6)对上面分析进行综合,面层结构厚度变化:高速公路为12~15 cm,一级公路为7 cm,二级公路为2.5~7 cm,三级公路为2.5~5 cm,其中二、三级公路比较接近。基层结构厚度变化:高速、一级公路为20 cm,二、三级公路为16~20 cm。底基层结构厚度变化:高速公路为20~36 cm,一级公路为20 cm,二级、三级公路为16~20 cm。垫层结构厚度因公路等级和路基干湿类型各异,高等级公路用得较少,二、三级公路用得较多。

(7)基层材料类型以水泥稳定粒料、水泥石灰(和粉煤灰)稳定粒料、二灰稳定粒料为主。

## 2 交通量等级划分

### 2.1 交通状况分析

共收集内蒙古自治区境内15条沙漠公路交通量,包括国道和省道。

以2003(或2002)年为起点,根据调查资料,交通量增长率取值变化在2.0%~8.0%之间,考虑到沙漠地区未来交通发展趋势,取交通量增长率为5%~8%。高速公路、一级公路路面设计年限取15年,车道系数取0.45。二级公路高级路面设计年限取12年,二级公路次高级路面取10年,车道系数取0.65。三级公路路面设计年限取8年,车道系数取0.65。按此计算设计期末轴载累计当量作用轴次。

从表1可以看出初年设计交通量:高速公路约为2 000 辆/昼夜~3 000 辆/昼夜;一级公路约为700 辆/昼夜~900 辆/昼夜;二级公路约为180 辆/昼夜~380 辆/昼夜;三级公路约为50 辆/昼夜~160 辆/昼夜。

表 1 轴载计算

| 公路等级 | 公路名称               | 初年交通量 | 初年 $N_1$ | 累计 $N_e$ /万次 |           |
|------|--------------------|-------|----------|--------------|-----------|
|      |                    | 辆/昼夜  | 次/日      | 5%<br>增长率    | 8%<br>增长率 |
| 高速   | G210 包头~东胜         | 2 965 | 4 029    | 1 428        | 1 797     |
|      | G110 噶口~巴拉贡        | 2 188 | 2 973    | 1 054        | 1 326     |
| 一级   | G304 通辽~好力保        | 774   | 1 052    | 373          | 469       |
|      | 省际通道宝力根陶海~桑根达贵~公主埂 | 900   | 1 223    | 433          | 545       |
| 二级   | G111 线新惠~下洼公路      | 368   | 500      | 189          | 225       |
|      | G207 线公路改建         | 270   | 367      | 110          | 126       |
|      | S303 甘旗卡~库仑        | 194   | 264      | 79           | 91        |
|      | G109 线东胜~察汉淖尔      | 336   | 457      | 136          | 157       |
| 三级   | S101 赛汉塔拉~锡林浩特公路   | 128   | 174      | 40           | 44        |
|      | G303 经棚~锡林浩特       | 157   | 214      | 49           | 54        |
|      | G208 赛汉塔拉~二连浩特     | 124   | 168      | 38           | 42        |
|      | S214 线锡尼镇~敖勒召其镇    | 79    | 108      | 24           | 27        |
|      | S217 线温都尔毛道~叉路口    | 77    | 105      | 24           | 26        |
|      | S307 巴彦诺日公~雅布赖     | 52    | 71       | 16           | 18        |

注:初始交通量以黄河JN-150为标准车换算。

当交通增长率变化在5%~8%之间时,高速公路、一级公路设计年限设计车道累计轴载作用次数基本为350万次~1 800万次,二级公路设计年限设计车道累计轴载作用次数为100万次~250万次,三级公路设计年限设计车道累计轴载作用次数为100万次以下且集中在50万次以下。

### 2.2 交通量等级划分

本文主要考虑以累计当量轴次对路面基层和底基层厚度的影响程度及公路等级的因素来划分交通等级。综合考虑沙漠地区经济发展前景及交通需求,确定沙漠交通分级标准见表2。

表 2 交通分级标准

| 公路等级      | 交通等级 | 累计当量轴次(设计车道)/万次 |
|-----------|------|-----------------|
| 高速公路及一级公路 | T6   | 1 200~1 800     |
|           | T5   | 800~1 200       |
|           | T4   | 350~800         |
| 二级公路及三级公路 | T3   | 150~350         |
|           | T2   | 50~150          |
|           | T1   | <50             |

注:T6、T5适用于高速公路;T5、T4适用于一级公路;T3、T2适用于二级公路;T2、T1适用于三级公路。

3 沙基回弹模量推荐值

通过大量现场试验,压实度大于等于 95%时沙基的回弹模量整理于表 3。

表 3 压实度大于等于 95 %时沙基回弹模量 $E_0$  MPa

| 区号 | 公路及路段                        | $E_0$<br>( $Z_a=1.5$ ) | $E_0$<br>( $Z_a=1.645$ ) | $E_0$<br>( $Z_a=2.0$ ) |
|----|------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Ⅱ  | G303 克旗~达米诺尔                 | 89.83                  | 84.78                    | 72.78                  |
|    | G207 线公路改建工程                 | 82.34                  | 74.54                    | 56.00                  |
|    | G111 通辽地区(K738+075~K748+200) | 84.42                  | 83.02                    | 79.62                  |
|    | G111 通辽地区(K815+300~K817+300) | 93.94                  | 87.75                    | 73.03                  |
|    | S303 通辽地区                    | 76.93                  | 74.23                    | 67.62                  |
|    | G304 通辽地区                    | 76.38                  | 71.36                    | 59.41                  |
|    | G111 线赤峰~敖汉                  | 57.87                  | 53.56                    | 43.33                  |
| Ⅲ  | 府深线同克~达镇                     | 89.34                  | 84.41                    | 72.69                  |
|    | 府深线乌兰陶勒盖                     | 108.02                 | 99.11                    | 85.20                  |
|    | 榆靖试验路                        | 81(实测)                 |                          |                        |
| Ⅳ  | 榆神路                          | 86(调查)                 |                          |                        |
|    | S307 雅干~孟根                   | 96.94                  | 95.80                    | 93.08                  |
|    | 乌巴线(Ⅰ)                       | 128.17                 | 127.04                   | 124.3                  |
|    | 乌海地区                         | 54.00                  | 51.91                    | 46.95                  |
| Ⅵ  | 乌巴线新路基                       | 92.02                  | 89.36                    | 82.82                  |
| Ⅶ  | 彩南~石西                        | 100(设计值)               |                          |                        |
| Ⅶ  | G315 线且末~塔中一井                | 100(设计值)               |                          |                        |
|    | 塔里木沙漠石油公路                    | 100(设计值)               |                          |                        |

注:(1)表中数据斜体为已有研究成果;(2)沙漠公路分区见相关研究成果。

由于风积沙压实标准采用严格的施工工艺和方法是容易达到的,尤其对于高等级公路,沙基压实效果则更是显著,因此数据的离散性可以得到控制,当保证率取到 95%时,可以保证沙基回弹模量代表值既不过于保守又可以保证安全。据此,取压实度(重型击实标准)大于 95%、保证率为 95%时回弹模量代表值作为沙基回弹模量建议值是可取的。根据沙漠公路区划,Ⅰ区和Ⅱ区区划指标比较接近,Ⅴ区和Ⅶ区指标比较接近,在推荐沙基回弹模量建议值时可将Ⅰ区和Ⅱ区合在一起,Ⅴ区和Ⅶ区合在一起。

由于风积沙属于透水性较好的材料,具有压缩性小、稳定性强、沉降量小等优点,且受气温、含水量的影响较小,当压实度满足压实标准要求时,路基稳定性相当好。而且,大部分沙漠地区极其干燥,降雨量比较少。所以,本文认为沙基回弹模量推荐值可以不考虑不利季节影响,特殊情况下视各地区实际情况按 0%~10%进行季节影响折减。

根据以上数据和论述,推荐出不同分区沙基回弹模量取值范围见表 4。

表 4 不同沙漠分区沙基回弹模量推荐值

| 区号             | Ⅰ、Ⅱ   | Ⅲ      | Ⅳ      | Ⅵ   | Ⅴ、Ⅶ |
|----------------|-------|--------|--------|-----|-----|
| 推荐值 $E_0$ /MPa | 70~90 | 85~100 | 90~120 | 100 | 100 |

注:Ⅰ区为呼伦贝尔、嫩江沙地,干燥度 $<1.5$ ,冷热比值 $>1.0$ ;Ⅱ区为内蒙古东部高原沙地区,包括科尔沁沙地、浑善达克沙地,干燥度为 $1.5\sim2.0$ ,冷热比值在 $0.8\sim1.0$ 之间;Ⅲ区为内蒙古高原中部沙地(漠)区,包括毛乌素沙地、部分库布其沙漠,干燥度为 $1.5\sim2.0$ ,冷热比值在 $0.4\sim0.50$ 之间;Ⅳ区为阿拉善高原沙地(漠)区,包括乌兰布和沙地、腾格里沙漠、巴丹吉林沙地、部分库布齐沙漠,干燥度为 $4\sim16$ ,冷热比值在 $0.4\sim0.5$ 之间;Ⅴ区为青藏高原沙地(漠)区,包括柴达木沙地、共和沙漠、藏北高原羌塘地区零星沙漠,干燥度为 $16\sim32$ ,冷热比值在 $0.7\sim0.8$ 之间;Ⅵ区为北疆区,包括古尔班通古特沙漠,干燥度为 $4\sim8$ ,冷热比值在 $0.6\sim0.7$ 之间;Ⅶ区为南疆区,包括塔克拉玛干沙漠、库木塔格沙漠、鄯善沙漠,干燥度 $>32$ ,冷热比值 $>0.3$ 。

沙基回弹模量取值方法:(1)根据沙漠公路区划指标确定分区;(2)同一分区含水量小、风积沙级配好且施工质量高的地区可取高值,反之应取低值。

沙基回弹模量是影响路面结构厚度的最敏感因素之一。在划分沙基等级时,以不同沙基等级对路面基层或底基层厚度产生大致相同的效应和相邻分级对其厚度不产生较大的变化为分级原则。根据设计与施工经验,相邻土基等级对基层和底基层厚度以分别产生 3~4 cm 和 4~6 cm 的影响为宜。

按照以上原则,各分区沙基回弹模量不需进一步分级。

4 无机结合料稳定风积沙材料设计参数推荐值

对 5 种无机结合料稳定风积沙进行室内试验,各力学指标试验结果见表 5。

表 5 95 %保证率下各参数计算值汇总

| 材料/最佳配合比           | 龄期<br>d | $R_{0.95}$<br>MPa | $E_{0.95}$<br>MPa | $\sigma_{sp0.95}$<br>MPa |
|--------------------|---------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| 水泥沙/10.7:89.3      | 90      | 2.75              | 1 191             | 0.30                     |
| 水泥粉煤灰沙/7:14:79     | 90      | 3.29              | 1 257             | 0.41                     |
| 水泥石灰粘土沙/8:4:15:73  | 90      | 3.60              | 1 154             | 0.37                     |
| 二灰沙/10:20:70       | 180     | 3.67              | 1 578             | 0.65                     |
| 水泥石灰炉渣沙/5:15:10:70 | 90      | 3.56              | 1 011             | 0.35                     |

考虑室内外试验的差异性,参考以往研究成果及规范要求,对室内试验结果进行折减。

推荐的无机结合料稳定风积沙材料设计参数列于表 6 中。

表 6 无机结合料稳定风积沙设计参数推荐值

| 混合料名称   | 推荐配合比            | 抗压模量 $E/\text{MPa}$ | 劈裂强度 $\sigma/\text{MPa}$ |
|---------|------------------|---------------------|--------------------------|
| 水泥沙     | 12 : 100         | 950                 | 0.25                     |
| 水泥粉煤灰沙  | 9 : 18 : 100     | 1 000               | 0.35                     |
| 水泥石灰粘土沙 | 8 : 4 : 15 : 73  | 900                 | 0.30                     |
| 二灰沙     | 10 : 20 : 70     | 1 200               | 0.50                     |
| 水泥石灰炉渣沙 | 5 : 15 : 10 : 70 | 800                 | 0.30                     |

## 5 路面典型结构设计

### 5.1 确定典型结构的原则

确定路面各结构层材料和厚度时主要考虑以下几点。

(1) 保证路面结构的承载力。

在确定沥青混凝土面层厚度时,主要考虑道路等级(交通量)的影响。有关资料表明,沥青混凝土路面厚度从 9 cm 增加到 15 cm,对路面整体承载力并无影响。为使高等级半刚性基层沥青混凝土路面承载能力的季节性变化减小,应保证半刚性基层的最小厚度达到 20~25 cm。由于大部分沙漠地区干旱,在考虑这一点时,可适当放宽此限制。

(2) 综合考虑各种病害。

沙漠地区,自然气候条件恶劣,温度对路面的影响最为明显,主要表现为高温车辙和低温裂缝。

(3) 路面材料的选择要合理。

选择沙漠路面材料时,应综合考虑路面结构性能及经济性。面层材料选用优质沥青及碎石材料,在高、低温要求高的地区可选用硅藻土改性及其他改性剂改性的沥青及沥青混合料。高等级公路面层选用沥青混凝土;二级公路及二级以下公路在交通等级低时,根据具体情况可选用热拌沥青碎石及沥青表处。高级公路、一级公路及二级公路基层材料采用水泥稳定粒料类或二灰稳定粒料类半刚性基层,以增强基层的强度和稳定性,减少低温收缩裂缝。同时考虑用水问题及目前国内外柔性基层路面结构的研究和应用,基层也可采用柔性结构。底基层材料采用 3 种材料:一是常用的半刚性材料;二是考虑充分利用风积沙材料,在一级公路、二级公路底基层应用无机结合料稳定风积沙;三是对沿线富有砂砾材的地区,可以选用粒料基层,有利于解决沙基表层松散等问题。

综合各方面要求,结合沙漠路面结构、材料现状调查,同时考虑经济性,建议各结构层厚度如下。

(1) 高速公路、一级公路沥青混凝土面层总厚度取 7~15 cm,二级公路沥青混合料面层总厚度取 3~

10 cm,三级公路沥青混合料面层总厚度取 2.5~6 cm,具体厚度范围根据公路等级及交通等级确定。(2) 半刚性基层、底基层厚度变化在 15~35 cm 之间。高等级公路基层、底基层不提倡采用极限施工厚度,一般低限取到 16 cm。低等级公路不受此限制,主要考虑施工可行性。(3) 沥青稳定碎石基层厚度取 16~20 cm。沥青碎石基层厚度取 8~12 cm。(4) 级配碎石、级配砂砾及天然砂砾层厚度变化在 10~35 cm 之间。

### 5.2 推荐沙漠路面典型结构

表 7 为 I、II 区沙漠路面典型结构,其他各区与此类似。

关于典型结构的几点说明:

(1) 沙基表面松散层必须经过处理后方能进行底基层或基层施工,处理方法包括砂砾表面处理、石灰土处理或土工材料处理等,宜根据具体情况选用;

(2) 推荐结构中的无机结合料稳定风积沙包括水泥稳定沙、水泥粉煤灰稳定沙、水泥石灰粘土稳定沙、二灰稳定沙、水泥石灰炉渣稳定沙,具体选用时根据各地实际情况确定;

(3) IV、V、VI、VII 区的砂砾丰富,碎石较少,因此高速公路、一级公路路面基层、底基层选择集料时应优先选用砂砾,当砂砾级配等指标不满足基层、底基层要求时可考虑采用碎石;

(4) 对应交通等级 T6、T5 的典型结构适用于高速公路,对应交通等级 T5、T4 的典型结构适用于一级公路。

## 6 结语

(1) 沙漠地区自然气候条件特殊,温度对路面的影响较大,高等级沙漠公路较少。沙漠公路路面以常规的沥青混凝土路面结构为主,路面材料也是常规的沥青混合料、半刚性基层材料,风积沙几乎没有作为路面材料应用在沙漠公路上。

(2) 考虑沙漠地区未来交通发展趋势,将交通量按照 BZZ-100 换算的累计当量轴次划分为 6 个不同等级:T6(1 200~1 800 万次)、T5(800~1 200 万次)、T4(350~800 万次)、T3(150~350 万次)、T2(50~150 万次)及 T1(<50 万次)。

(3) 风积沙是一种很好的填筑路基材料,沙基参数取值合理与否直接影响路面结构的稳定性和经济性。本文在实测及可靠度分析的基础上提出了不同沙漠分区沙基回弹模量推荐值。



表 7 I、II 区沙漠路面典型结构

续表

| 公路等级      | 交通等级 | 典型结构组合                     |                               | 公路等级 | 交通等级 | 典型结构组合                     |                               |
|-----------|------|----------------------------|-------------------------------|------|------|----------------------------|-------------------------------|
| 高速公路、一级公路 | T6   | 沥青混凝土(15)                  | 沥青混凝土(15)                     | 三级公路 | T2   | 沥青碎石(3~6)                  | 沥青碎石(3~6)                     |
|           |      | 水泥稳定粒料(18)                 | 水泥稳定粒料/二灰粒料(30~35)            |      |      | 水泥稳定粒料/二灰稳定粒料/水泥石灰稳定粒料(15) | 水泥稳定粒料/二灰稳定粒料/水泥石灰稳定粒料(17~22) |
|           |      | 水泥稳定粒料(20~25)              | 天然砂砾(30)                      |      |      | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(15~20)  | 天然砂砾(20)                      |
|           | T5   | 沥青混凝土(15)                  | 沥青混凝土(15)                     |      | T1   | 沥青碎石(3~6)                  | 沥青碎石(3~6)                     |
|           |      | 水泥稳定粒料(20)                 | 沥青稳定碎石(18~20)                 |      |      | 水泥稳定粒料(15)                 | 级配粒料(15)                      |
|           |      | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(25~30)  | 级配碎石(35)                      |      |      | 无机结合料稳定风积沙(15~20)          | 天然砂砾(32)                      |
|           | T4   | 沥青混凝土(12)                  | 沥青混凝土(12)                     |      | T1   | 沥青碎石(3~6)                  | 沥青碎石(3~6)                     |
|           |      | 水泥稳定粒料(18)                 | 水泥稳定粒料/二灰粒料(28~33)            |      |      | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(30~35)  | 无机结合料稳定风积沙(28~33)             |
|           |      | 水泥稳定粒料(18~23)              | 天然砂砾(30)                      |      |      | 沥青表处(2.5~3)                | 沥青表处(2.5~3)                   |
|           | T3   | 沥青混凝土(12)                  | 沥青混凝土(12)                     |      | T1   | 水泥稳定粒料/二灰稳定粒料/水泥石灰稳定粒料(15) | 水泥稳定粒料/二灰稳定粒料/水泥石灰稳定粒料(15)    |
|           |      | 水泥稳定粒料(20)                 | 沥青稳定碎石(17~19)                 |      |      | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(15)     | 天然砂砾(10~15)                   |
|           |      | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(23~28)  | 级配碎石(35)                      |      |      | 沥青表处(2.5~3)                | 沥青表处(2.5~3)                   |
| 二级公路      | T4   | 沥青混凝土(7~12)                | 沥青混凝土(7~12)                   |      | T1   | 水泥稳定粒料(15)                 | 级配粒料(10~15)                   |
|           |      | 水泥稳定粒料(18)                 | 水泥稳定粒料/二灰粒料(26~31)            |      |      | 无机结合料稳定风积沙(15)             | 天然砂砾(15)                      |
|           |      | 水泥稳定粒料(16~21)              | 天然砂砾(30)                      |      |      | 沥青表处(2.5~3)                | 沥青表处(2.5~3)                   |
|           | T4   | 沥青混凝土(7~12)                | 沥青混凝土(10~12)                  |      | T1   | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(20~25)  | 无机结合料稳定风积沙(18~23)             |
|           |      | 水泥稳定粒料(20)                 | 沥青稳定碎石(16~18)                 |      |      |                            |                               |
|           |      | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(20~25)  | 级配碎石(35)                      |      |      |                            |                               |
|           | T3   | 沥青混凝土(7~12)                |                               |      | T1   |                            |                               |
|           |      | 水泥稳定粒料(20)                 |                               |      |      |                            |                               |
|           |      | 无机结合料稳定风积沙(30~35)          |                               |      |      |                            |                               |
|           | T2   | 沥青混凝土(7~10)                | 沥青混凝土(7~10)                   |      | T2   | 水泥稳定粒料/二灰稳定粒料/水泥石灰稳定粒料(18) | 水泥稳定粒料/二灰稳定粒料/水泥石灰稳定粒料(20~25) |
|           |      | 水泥稳定粒料/二灰稳定粒料/水泥石灰稳定粒料(18) | 天然砂砾(30)                      |      |      | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(20~25)  | 天然砂砾(20)                      |
|           |      | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(20~25)  |                               |      |      |                            |                               |
|           | T2   | 沥青混凝土/沥青碎石(3~6)            | 沥青混凝土/沥青碎石(3~6)               |      | T2   | 水泥稳定粒料(20)                 | 沥青混凝土(5)                      |
|           |      | 水泥稳定粒料/二灰稳定粒料/水泥石灰稳定粒料(18) | 水泥稳定粒料/二灰稳定粒料/水泥石灰稳定粒料(20~25) |      |      | 沥青碎石(10~12)                |                               |
|           |      | 石灰土/水泥石灰(粉煤灰)土/二灰土(20~25)  | 天然砂砾(20)                      |      |      | 级配粒料(20)                   |                               |

注:括号内数字为结构层厚度,单位为 cm。

(4)沙漠地区遍地沙漠砂,本文考虑将无机结合料稳定风积沙应用到沙漠筑路中。

(5)借鉴国内外成功经验,推荐了适用于沙漠特点的不同沙漠分区沙漠公路路面典型结构,可供沙漠公路设计、施工使用。

参考文献:

[1] 内蒙古交通设计研究院有限责任公司,等. 沙漠地区路面结构设计、施工及材料研究[R]. 2005.

[2] 甘肃省交通厅工程处,长安大学,等. 甘肃黄土地区高等级公路路面典型结构研究报告[R]. 2002.

[3] 武和平. 高等级公路路面结构设计方法[M]. 北京:人民交通出版社,1999.

[4] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面[M]. 北京:人民交通出版社,1998.

[5] 孟庆营. 无机结合料稳定风积沙路用性能研究[D]. 长安大学,2003.

[6] University of technology brno. Faculty of Civil Engineering Department of Roads[Z]. The evalucation of pavement in desert rigion in libya,2002.