

适用于湖北省的硬质沥青标准研究^{*}吕卫兵¹, 杨华², 何文华³, 黄婉利⁴

(1.恩施土家族苗族自治州公路管理局, 湖北 恩施 445000; 2.恩施州恒通工贸有限公司, 湖北 恩施 4450002;
3.中南安全环境技术研究院股份有限公司, 湖北 武汉 430071; 4.中国石化炼油销售有限公司, 上海 200050)

摘要: 通过考察湖北省的气候特征, 根据室内试验结果, 提出适宜湖北省的沥青 PG 分级推荐值, 指出 50[#] 硬质沥青比 70[#] 沥青更适宜湖北省的实际应用; 提出湖北省的硬质沥青应用标准, 建议采用延度和弯曲蠕变劲度评价硬质沥青的低温性能并适当放宽硬质沥青延度要求, 采用 60 ℃ 动力粘度评价硬质沥青的高温性能并提高技术指标要求。

关键词: 公路; 硬质沥青; 应用标准; 低温性能; 高温性能; 动力粘度; 湖北省

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)02-0048-04

为防止沥青路面产生车辙病害, 道路沥青向低标号方向发展。对比国外气候特征相似的区域, 中国南方所用沥青从 90[#] 逐渐转向 70[#] 沥青甚至 50[#] 硬质沥青, 取得了显著效果。该文根据湖北省的气候特征, 对 70[#] 沥青、50[#] 硬质沥青、30[#] 硬质沥青进行试验, 研究适宜湖北省的沥青 PG 分级推荐值, 主要考虑硬质沥青的高温性能和低温性能, 提出硬质沥青在湖北省的应用标准及具体指标, 以满足硬质

沥青在湖北省的应用需要。

1 硬质沥青的适用气候分析

美国公路战略研究计划 (SHRP, Strategic Highway Research Program) 中的沥青混合料性能分级 (PG 分级) 建立在气候调查的基础上, 能反映沥青混合料在不同环境下的使用性能。对湖北省某气候监测点近 30 年的监测结果进行统计, 结果见表 1。

表 1 湖北某监测站气温监测结果统计

年份	极限最低气温		极限最高气温		连续 7 d 平均最高气温	
	气温/℃	出现时间	气温/℃	出现时间	气温/℃	出现时间
1973	-10.1	12-25	37.4	08-22	35.8	08-21-27
1974	-8.6	02-07	36.9	08-09	35.9	08-03-09
1975	-6.5	12-14	36.5	07-20	34.7	07-17-23
1976	-8.4	12-28	37.6	08-06	36.8	08-02-08
1977	-18.1	01-30	36.8	07-05	36.1	07-04-10
1978	-6.9	01-17	38.8	08-03	37.2	08-02-08
1979	-5.3	01-31	37.2	08-08	36.5	08-03-09
1980	-11.2	02-01	37.0	07-27	34.8	07-22-28
1981	-6.6	01-28	37.4	06-20	35.9	06-16-22
1982	-9.8	02-06	35.7	07-08	34.1	07-04-10
1983	-5.8	01-24	37.5	08-06	36.0	08-01-07
1984	-12.8	01-22	37.0	08-06	35.8	08-01-07
1985	-7.6	12-11	37.5	08-07	35.9	08-01-07
1986	-5.2	01-05	37.4	08-15	35.7	08-09-15
1987	-4.1	12-12	34.9	08-05	33.4	07-31-08-06
1988	-3.8	02-17	38.5	07-19	36.1	07-14-20
1989	-3.8	01-14	37.7	07-21	37.0	07-16-22

^{*} 基金项目: 湖北省交通运输厅公路管理局公路科技项目(鄂路计[2016]170 号文)

续表 1

年份	极限最低气温		极限最高气温		连续 7 d 平均最高气温	
	气温/℃	出现时间	气温/℃	出现时间	气温/℃	出现时间
1990	-6.4	02-01	37.8	07-26	36.4	07-21-27
1991	-9.6	12-29	38.2	07-24	36.9	07-22-28
1992	-3.9	01-14	38.6	08-01	37.4	07-30-08-05
1993	-8.0	01-16	35.5	06-27	34.8	07-10-16
1994	-3.5	01-21	38.0	07-03	36.4	07-02-08
1995	-2.6	12-26	38.1	07-23	36.9	07-19-25
1996	-4.3	12-18	37.0	07-31	35.6	07-22-28
1997	-3.9	01-24	36.0	08-08	35.5	08-06-12
1998	-3.7	01-19	37.7	07-12	36.5	07-09-15
1999			36.9	07-31	35.1	07-26-08-01
极值	-18.1	1977-01-30	38.8	1978-08-03	37.4	1992-07-30-08-05
平均值	-6.9		37.2		35.9	
偏差	3.5				1.0	

由表 1 可知:湖北省近 30 年的历史极限最高气温为 38.8℃,一般为 37~38℃,平均为 37.2℃;最低气温为-18.1℃,一般为-3~-10℃,平均为-6.9℃;连续 7 d 平均最高气温为 37.4℃,一般为 34~37℃,平均为 35.9℃。

借鉴 Superpave 计算公式,在 98%保证率时,路表面深 20 mm 处温度为 59.9℃,计算得:

$$T_{20\text{ mm}}=0.954\ 5\times(T_{\text{air}}-0.006\ 18\text{Lat}^2+0.229\ 8\text{Lat}+42.2)-17.78=0.954\ 5\times[(35.9+2\times1)-0.006\ 18\times30^2+0.229\ 8\times30+42.2]-17.78=59.9\text{℃}$$

路面最低设计温度为-10.2℃,计算得:

$$T_{\text{mim}}=0.895\ T_{\text{air}}+1.7=0.895\times(-6.9-2\times3.5)+1.7=-10.2\text{℃}$$

湖北省各地区路面高温设计温度差别不大,基本在 64℃级别范围内,低温设计温度基本位于最低温-10℃级别范围内。考虑到湖北省的气候特点,PG 分级中的高温和低温等级可适当提高一级,高温等级提升为 70℃,低温等级提升为-16℃,即适宜湖北省的沥青 PG 分级推荐值为 PG70-16。

2 高温性能

高温稳定性不足的沥青路面会产生车辙,而沥青的高温性能直接影响沥青路面的高温稳定性。评价沥青高温性能的指标有软化点、60℃动力粘度和车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 。该文重点研究沥青的 60℃动

力粘度和 $G^*/\sin\delta$ 。

2.1 动力粘度

粘度是流体抵抗流动的能力,粘度越大,沥青在荷载作用下产生的剪切变形较小,弹性恢复性能好,残留的永久性变形小,抗车辙性能好。70# 沥青、50# 硬质沥青、30# 硬质沥青的 60℃动力粘度试验结果见表 2。

表 2 各标号沥青的 60℃动力粘度试验结果

沥青标号	60℃动力粘度/(Pa·s)	
	试验结果	技术要求
70#	268	≥180
50#	387	≥200
30#	907	≥260

由表 2 可知:硬质沥青的 60℃动力粘度远大于规范要求,其中 30# 沥青为 70# 沥青的 3.4 倍、50# 沥青的 2.3 倍,50# 沥青为 70# 沥青的 1.4 倍。文献[2]~[3]指出 50# 沥青的 60℃动力粘度一般大于 300 Pa·s,文献[4]~[6]认为 30# 沥青的 60℃动力粘度大于 900 Pa·s,有的甚至接近 2 000 Pa·s,均远大于现行规范对硬质沥青 60℃动力粘度的要求。夏季沥青路面的温度一般高达 50~70℃,采用 60℃动力粘度可真实地反映沥青路面的实际使用情况。因此,有必要考虑通过提高硬质沥青的 60℃动力粘度标准来提高沥青路面的高温抗永久变形的能力。

2.2 车辙因子

车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 表征沥青材料抵抗永久变形的能力,其值在高温下越大则沥青的流动变形愈小,相应混合料的抗车辙能力愈佳。采用应变控制模式进行动态剪切流变试验,各标号沥青的试验结果见表3。

表3 各标号沥青的 $G^*/\sin\delta$ 试验结果

沥青标号	原样沥青不同温度(℃)下的 $G^*/\sin\delta/\text{kPa}$			RTFOT 残留沥青不同温度(℃)下的 $G^*/\sin\delta/\text{kPa}$		
	64	70	76	64	70	76
70 [#]	1.625 4	0.589 1	—	2.235 6	1.131 7	—
50 [#]	—	1.162 0	0.625 8	—	2.563 0	1.187 0
30 [#]	—	1.850 0	0.892 0	—	3.402 0	1.666 0
SHRP 指标	≥ 1.0			≥ 2.2		

在 SHRP 沥青分级的 PG 标准中,高温特性根据 $G^*/\sin\delta$ 超过 1.0 kPa(原样沥青)和 2.2 kPa(经烘箱老化后)的临界温度将沥青分成不同等级。由表3可知:70[#] 沥青属于 PG64 沥青,50[#]、30[#] 硬质沥青属于 PG70 沥青,表明 50[#]、30[#] 沥青的高温性能优于 70[#] 沥青。硬质沥青的临界温度为 70℃,高于 70[#] 沥青的临界温度 64℃,说明硬质沥青更适用于夏季炎热地区。

湖北省大部地区 7—8 月的最高气温在 35℃ 以上,部分地区还会持续出现日最高气温 ≥ 40 ℃ 的酷热天气。而沥青路面结构中的温度一般比气温高 20℃,即沥青路面的实际温度在 60℃ 以上。根据最高临界温度,尽管 70[#] 沥青能适应湖北省的高温天气,但采用 50[#] 硬质沥青更合适。

3 低温性能

中国现行规范以 10 和 15℃ 延度作为沥青低温抗裂性能指标,SHRP 以沥青结合料弯曲蠕变试验(BBR)的极限劲度模量 S 和 m 值评价沥青的低温抗裂性能。

3.1 延度

各标号沥青的延度试验结果见表4。由表4可知:50[#] 和 30[#] 沥青的低温性能指标中,A 级 50[#] 沥青的延度均合格,A 级 30[#] 沥青的低温延度均不合格。文献[2]~[3]、[6]~[8]的研究结果也表明,硬质沥青延度试验均不理想,主要表现为 50[#] 沥青基本满足要求,而 30[#] 沥青很难达到规范要求。

表4 各标号沥青的延度试验结果

沥青标号	10℃ 延度/cm		15℃ 延度/cm	
	试验结果	技术要求	试验结果	技术要求
70 [#]	20.8	≥ 15	> 100	≥ 100
50 [#]	15.0	≥ 15	> 100	≥ 80
30 [#]	0.8	≥ 10	8.3	≥ 50

延度的试验温度一般为 10 和 15℃,而沥青应用时的极端低温天气一般为 -10℃,故延度指标很难反映硬质沥青路面的使用实际。而硬质沥青用于高等级公路中下面层或二级及二级以下公路面层时并不需要过多考虑低温性能。国外标准评价沥青低温性能时一般不考虑延度指标。因此,有必要重新审视延度指标或放宽延度标准或引入其他试验方法来评价硬质沥青的低温性能。

3.2 弯曲蠕变劲度

通过 BBR 试验可以获得以下两个指标:1) 弯曲蠕变劲度模量 S (弯拉模量),其表征沥青结合料对蠕变荷载的抗力,要求其值不超过 300 MPa。2) m 值,其为加载过程中沥青劲度—时间曲线的斜率,要求其值不小于 0.3。在 PG 分级中这两个指标用于确定沥青低温等级。各标号沥青的 BBR 试验结果见表5。

表5 各标号沥青的 BBR 试验结果

沥青标号	不同温度(℃)下的蠕变劲度 S/MPa			不同温度(℃)下的 m 值		
	-6	-12	-18	-6	-12	-18
70 [#]	—	231	452	—	0.325	0.252
50 [#]	—	255	543	—	0.301	0.224
30 [#]	145	330	—	0.343	0.266	—
技术要求	≤ 300			≥ 0.300		

根据时间—温度等效的换算原则,根据试验结果,满足 S 、 m 技术指标的沥青温度应在相应试验温度的基础上减少 10℃,所得温度即为 PG 分级沥青低温等级温度。由表5可知:1) 70[#] 和 50[#] 沥青的 PG 分级低温等级为 -22℃,30[#] 沥青为 -16℃;湖北省大部地区的极限最低气温为 -18.1℃,一般为 -3~-10℃,平均为 -6.9℃,表明硬质沥青完全适用于湖北省的低温条件。2) 采用 BBR 试验评价硬质沥青的低温性能,在 $S \leq 300$ MPa、 $m \geq 0.300$ 的条件下,50[#] 沥青的低温等级应不大于 -22℃,30[#] 沥青应不大于 -16℃。3) 50[#] 和 70[#] 沥青的低温性能相当,用 50[#] 硬质沥青取代 70[#] 沥青更适应

湖北省的气候条件。

4 适用于湖北省沥青路面的硬质沥青标准

针对湖北省的气候特点,主要考虑硬质沥青的高温性能、低温性能,适用于湖北省沥青路面的硬质沥青技术指标及标准(见表 6)为:

(1) 适宜于湖北省的沥青 PG 分级推荐值为 PG70-16,其中 70[#] 沥青性能分级为 PG64-22,50[#] 硬质沥青性能分级为 PG70-22,30[#] 硬质沥青

性能分级为 PG70-16。50[#] 硬质沥青比 70[#] 沥青更适宜于湖北省的实际应用。

(2) 采用延度和弯曲蠕变劲度评价硬质沥青的低温性能,同时适当放宽硬质沥青的延度要求。对于弯曲蠕变劲度,在 $S \leq 300 \text{ MPa}$ 、 $m \geq 0.300$ 的条件下,50[#] 沥青的低温等级不大于 -22 ℃,30[#] 沥青的低温等级不大于 -16 ℃。

(3) 50[#] 沥青的 60 ℃ 动力粘度 $\geq 300 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,30[#] 沥青的 60 ℃ 动力粘度 $\geq 600 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

表 6 适用于湖北省沥青路面的硬质沥青技术标准

项目	沥青标号		试验方法
	50 [#]	30 [#]	
针入度(25 ℃,5 s,100 g)/(0.1 mm)	40~60	20~40	T0604
针入度指数	-1.5~+1.0		T0604
软化点(R&B)/℃	≥ 49	≥ 55	T0606
60 ℃ 动力粘度/(Pa·s)	≥ 300	≥ 600	T0620
10 ℃ 延度/cm	≥ 10	实测	T0605
15 ℃ 延度/cm	≥ 100	≥ 5	
低温等级($S \leq 300 \text{ MPa}$, $m \geq 0.3$)/℃	≤ -22	≤ -16	T0627
蜡含量(蒸馏法)/%	≤ 2.0		T0615
闪点/℃	≥ 260		T0611
溶解度/%	≥ 99.5		T0607
密度(15 ℃)/(g·cm ⁻³)	实测记录		T0603
TFOT 或 RTFOT 后	质量变化/%		T0610 或 T0609
	± 0.8		
	残留针入度比(25 ℃)/%	≥ 63 ≥ 65	T0604

5 结论

(1) 适宜于湖北省的沥青 PG 分级推荐值为 PG70-16;50[#] 硬质沥青比 70[#] 沥青更适宜于湖北省的实际应用。

(2) 适用于湖北省沥青路面的硬质沥青技术标准主要为:采用延度和弯曲蠕变劲度评价硬质沥青的低温性能;将 50[#]、30[#] 硬质沥青的 60 ℃ 动力粘度指标分别提高为 300、600 Pa·s。

(3) 对于硬质沥青的低温性能,适当放宽硬质沥青的延度要求;采用弯曲蠕变劲度试验,在 $S \leq 300 \text{ MPa}$ 、 $m \geq 0.300$ 的条件下,50[#] 沥青的低温等级 $\leq -22 \text{ ℃}$,30[#] 沥青的低温等级 $\leq -16 \text{ ℃}$ 。

参考文献:

[1] 樊亮,樊秀芝,李永镇.硬质沥青的发展及性能比较[J].石油沥青,2015,29(1).

[2] 关志深.南方湿热地区 50 号硬质沥青路用性能研究[J].公路交通技术,2010(1).

[3] 柴志杰,黄婉利,董德安,等.调合法生产 50 号道路沥青工艺研究及其产品评价[J].石油沥青,2015,29(3).

[4] 韩青英.,廖宣锦,邹桂莲.国产 30 号硬质沥青高温性能研究[J].石油沥青,2009,23(6).

[5] 王金勤,罗来龙,向阳.30 号、50 号硬质沥青在不同地区的应用研究[J].公路交通科技:应用技术版,2014(10).

[6] 韩青英,黄婉利,沈家永,等.中石化抗车辙沥青母粒性能研究[J].石油沥青,2013,27(10).

[7] 王娟玲.硬质沥青在沥青路面薄层罩面中的应用研究[D].西安:长安大学,2010.

[8] 梁春雨.30[#] 硬质沥青用于沥青路面中下面层的试验研究[D].长春:吉林大学,2007.

[9] 龚子桥,谭波.30[#] 硬质沥青混合料性能试验研究[J].公路与汽运,2015(3).

收稿日期:2018-07-10