

布敦岩沥青技术要求及试验方法探讨

吴忠青

[上海公路桥梁(集团)有限公司,上海市 200433]

摘要:首先,简要概述了印尼布敦岩沥青(BRA)的物理化学特性。与道路石油沥青相比,BRA的溶解度低、矿物成分含量高。与热拌沥青混合料相比,BRA的沥青含量高、矿料粒径极小。由于BRA的特殊化学组成,沥青或沥青混合料的试验方法不能完全适用于BRA。其次,分析了现行行业和部分省市标准中关于BRA的沥青含量、溶解度和灰分含量试验项目技术要求的合理性。灰分含量试验中,BRA在马弗炉中经900℃温度煅烧后,不仅其中的沥青被快速煅烧,矿物成分中的碳酸盐也被分解逸出二氧化碳气体,质量损失远大于实际沥青含量,不可将质量损失视为沥青含量。灰分残渣的化学成分已不同于BRA中原有矿物成分。现行标准中的灰分含量技术要求上限值应调低。

关键词:布敦岩沥青;沥青含量;溶解度;灰分含量

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)02-0214-04

0 引言

对天然岩沥青,我国交通运输部和部分省市制定了标准^[1-9]。目前,我国在道路工程中应用的岩沥青主要有印尼布敦岩沥青(buton rock asphalt,BRA; buton mastic asphalt,BMA)、北美岩沥青(gilsonite)、伊朗岩沥青、新疆岩沥青、青川岩沥青等^[1-9]。其中,应用最为广泛的是BRA。BRA产于印度尼西亚布敦岛,是沥青与矿物质受长期的海底沉积、承受压力和地质变动形成的产物。经加工后为黑褐色粉末,沥青含量为20%左右,其余为矿物质。BRA可作为沥青改性剂,掺到沥青混合料中,能改善沥青混合料的高温性能等,在我国应用已逾20 a。为了BRA的推广应用,交通运输部和部分省市颁布了产品或应用技术规程^[1-5,7-9],对BRA产品及沥青混合料的技术要求作了规定,包括沥青含量、在三氯乙烯中的溶解度和灰分含量等试验项目。

在上海,过去10余年,笔者有幸负责或参与了多个重要道路项目的BRA沥青混合料的试验、生产和施工工作,如2012年的S6公路、2014年的嘉闵高架、2016年的上海绕城高速和2021年的S7公路等。BRA主要用于道路下面层AC-25C和中面层AC-20C沥青混合料。通过对多年、多种来源和多生产商的BRA的试验结果总结发现,上述已颁布标准规范对BRA的技术要求存在不合理之处,可能会导

致广泛使用的典型BRA产品无法得到验收。另外,我国尚未专门制定BRA的试验方法。当按现行试验规程^[10]中的石油沥青或热拌沥青混合料的试验方法对BRA进行试验时,存在不适用的情况。本文主要分析了现行标准规范中BRA的沥青含量、在三氯乙烯中的溶解度、灰分含量这些关键试验项目技术要求和试验方法的有待商榷之处,并提出建议,以期与同行探讨,可供标准规范修编时参考。

1 标准规范中技术要求存在的问题和建议

目前已颁布的标准规范对BRA的沥青含量、溶解度、灰分含量、表观密度、含水率、颗粒级配、灰分颗粒级配、闪点、薄膜加热质量变化等多个试验项目作了规定^[8]。已知,BRA中的沥青含量对混合料配合比的影响至关重要,当其中的沥青含量较高时,在混合料中的掺量可适当降低;当沥青含量较低时,掺量则需适当提高。因此,本文主要对最关键的沥青含量、溶解度、灰分含量试验项目的技术要求的合理性和试验方法的可行性进行讨论。首先,需要了解BRA的物理化学特性。

1.1 BRA的物理化学特性

BRA与热拌沥青混合料、BRA中的沥青与道路石油沥青相比,主要具有如下显著区别:

(1)与热拌沥青混合料相比,沥青含量高。沥青含量在20%左右,其余80%为矿物质。对于热拌沥青混合料,上面层AC-13C混合料,典型沥青用量为4.8%~5.2%;中面层AC-20C混合料,典型沥青用量为4.1%~4.4%;下面层AC-25C混合料,典型沥青含量

收稿日期:2021-05-02

作者简介:吴忠青(1968—),女,本科,工程师,从事沥青混合料一线试验和生产工作。

为 3.6%~4.2%。可见,BRA 中的沥青含量远高于热拌沥青混合料的沥青含量。

(2)矿料粒径小。成品 BRA 为黑褐色粉末,矿料粒径小,主要集中在 2.36 mm 以下^[1-4],且 0.075 mm 以下颗粒含量高。而热拌沥青混合料的矿料是由各规格粗集料、细集料和填料按一定配合比混合而成,矿料粒径覆盖范围非常大,集料公称最大粒径大,如 AC-25C 沥青混合料,粒径范围为 0.075 ~ 26.5 mm,填料(通常称矿粉,即小于 0.075 mm 的颗粒)的比例仅为 3% ~ 7%^[11]。

(3)矿料与沥青的结合力强。热拌沥青混合料是将黏稠石油沥青和各规格粗集料、细集料和填料经机械设备拌和而成,而 BRA 中沥青与矿料经地壳沉积,二者吸附能力极强,远大于热拌沥青混合料中的沥青与矿料的结合力。

(4)BRA 中的沥青与道路石油沥青的四组分比例明显不同。四组分即将沥青组分分为沥青质、饱和分、芳香分和胶质^[10]。典型道路石油沥青的沥青质含量为 10%左右,BRA 中的沥青质含量远高于此值,如文献[12]的报道值为 34.33%,文献[13]的报道值为 44.3%。

(5)BRA 的溶解度低。道路石油沥青的溶解度不小于 99.5%^[11],而 BRA 含有 80%左右的矿物质,因此,其溶解度远小于道路石油沥青的溶解度。

由上述分析可知,BRA 的物理化学特性既不同于道路石油沥青,也不同于热拌沥青混合料。因此,当采用测定沥青混合料的沥青含量方法(T0722 离心分离法或 T0735 燃烧炉法)来测定 BRA 的沥青含量,或者采用测定沥青溶解度的方法(T 0614)来测定 BRA 的溶解度时,可能会出现不适用性,甚至错误的试验结果^[14]。

1.2 技术要求的合理性与试验方法的可行性分析

1.2.1 技术要求与试验方法

如表 1 所示,不同标准规范对 BRA 的沥青含量、在三氯乙烯中的溶解度和灰分含量的技术要求及对应的试验方法不尽相同。需要注意的是,试验名称虽相同,但试验方法和条件不同,试验结果也会不同,结果不具备可比性。

1.2.2 沥青含量试验

对 BRA 的沥青含量试验,目前尚无专门的标准方法。DB 11/T 1169—2015、DB 13/T 2511—2017 和 DB 41/T 1466—2017 参照沥青混合料的 T0722 离心分离法或 T0735 燃烧炉法进行试验。DBJ/CT 085—

表 1 沥青含量、溶解度和灰分含量技术要求及试验方法

标准	沥青含量 /%	试验方法	溶解度/%	试验方法	灰分含量/%	试验方法
JT/T 880.5—2014	—	—	—	—	≤80	T0614
DB 11/T 1169—2015	25 ~ 60	T0722 或 T0735	—	—	40 ~ 75	T0614
DB 13/T 2511—2017	25 ~ 30	T0722 或 T0735	≥18	T0607	65 ~ 75	T0614
DB 34/T 2323—2015	—	—	>25	T0607	65~75	T0735
DB 41/T 1466—2017	22 ~ 30	T0722 或 T0735	—	—	<80	T0614
DB 61/T 1184—2018	—	—	—	—	≤82	T0614
DBJ/CT 085—2010	22 ~ 40	T0607	≥22	T0607	实测	T0614

2010 采用沥青的 T0607 溶解度法结果代替沥青含量。已有文献^[14]表明,由于前文所述 BRA 的物理化学特性,T0722、T0735 和 T0607 并不能完全适用,具体讨论如下:

(1)采用沥青混合料的 T0722 离心分离法时,因 BRA 的沥青含量远高于热拌沥青混合料的沥青含量,且沥青与矿料的结合能力强,需耗用更多的三氯乙烯溶剂方能完成试验。BRA 的矿物成分占 80%左右,且颗粒粒径小,经抽提后,大量矿粉会泄漏到抽提液中,抽提液中的矿粉含量远大于沥青混合料经抽提试验后泄漏的矿粉含量。因此,对抽提液煅烧折算矿粉质量时,会存在较大误差,最终导致 BRA 的沥青含量计算产生较大误差^[14]。

(2)采用沥青混合料的 T0735 燃烧炉法时,按规程设定燃烧温度(538 ± 5)℃时,会发现 BRA 存在煅烧不彻底现象。这主要是因为 BRA 的沥青含量远高于沥青混合料的沥青含量,且沥青与矿物之间的结合力强,不易被完全煅烧干净。可见,此方法并不适用于 BRA 的沥青含量试验。另外,BRA 的沥青含量高,燃烧试验时会产生更多的沥青烟气,污染环境。

1.2.3 溶解度试验

上述标准规范采用溶解度试验的目的主要是通过溶解度结果来表示 BRA 中的沥青含量。DB 13/T 2511—2017 规定溶解度不小于 18%;DB 34/T 2323—2015 规定溶解度大于 25%;DBJ/CT 085—2010 规定溶解度不小于 22%。这与实际情况相符,该项技术要求合理。但采用沥青的 T0607 溶解度法对 BRA 进行试验时,会出现不能完全适用的情况。T0607 的适用范围是道路石油沥青、聚合物改性沥青、液体石油沥

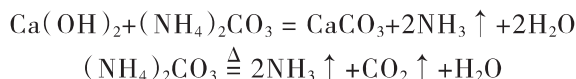
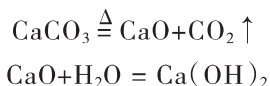
青或乳化沥青蒸发残留物的溶解度。这些沥青的溶解度均在 97.5% 以上^[11], 即不溶解成分是极少的。当按 T0607 试验方法时, BRA 中的矿物成分极易堵塞滤纸滤孔, 过滤速度变得非常缓慢, 需添加大量三氯乙烯清洗方可完成试验, 试验时间大大延长^[14], 挥发的三氯乙烯也会污染环境。

1.2.4 灰分含量试验

按试验规程^[12]的规定, T0614 沥青灰分含量试验方法适用于测定石油沥青、岩沥青、湖沥青等材料的灰分含量。采用高温炉, 煅烧温度为 $(900 \pm 10)^\circ\text{C}$, 煅烧至残留物无黑色为止。除 DB 34/T 2323—2015 标准规定灰分含量试验是按沥青混合料的 T0735 燃烧炉法, 且煅烧温度是 $(482 \pm 5)^\circ\text{C}$ 外, 上述其余标准采用的均是沥青的 T0614 方法。

虽然 T0614 的适用范围涵盖了岩沥青, 但不同类型岩沥青的沥青含量^[1,2,5-7]和矿物成分存在较大区别。BRA 的矿物成分主要是 CaCO_3 , 其次是 SiO_2 、 CaSO_4 ^[13-16], 其他成分 $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$ 含量较低^[14]。在 900°C 煅烧条件下, CaCO_3 分解生成 CaO 和 CO_2 , BRA 中的沥青烟气和 CO_2 均逸出。可见, 煅烧质量损失不可认为是沥青质量损失, 煅烧后剩余的灰分残渣也不是 BRA 中原有矿物成分, 其质量明显小于 BRA 中原有矿物质量。可见, 上述标准中对 BRA 的灰分含量技术要求规定值明显偏大。如表 1 所示, JT/T 880.5—2014 规定灰分含量不大于 80%, 并不能代表沥青含量不小于 20%; DB 11/T 1169—2015 规定灰分含量为 40% ~ 75%, 并不能代表沥青含量为 25% ~ 60%。

实际上, T0614 未采用 AASHTO T 111—11 标准的关键条款。该标准的 6.3 条规定, 当沥青材料含有碳酸盐时, 应对经马弗炉煅烧后的灰分残渣添加 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 溶液, 然后再对残渣在 $(100 \pm 10)^\circ\text{C}$ 的条件下烘干处理^[17]。显然, 该条款的主要目的是恢复和补偿因 CaCO_3 分解逸出 CO_2 气体造成的质量损失。对残渣添加 NH_4HCO_3 或 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 溶液时, 溶液中的水与 CaO 反应生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与 NH_4HCO_3 或 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 反应生产 CaCO_3 , NH_3 气体和 H_2O 逸出, 在 100°C 烘干过程中, 多余的 NH_4HCO_3 或 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 完全分解成气体逸出, 不增加反应残留物残渣的质量。按这种试验方法获得的灰分含量可计算出沥青含量。上述反应过程可描述为:



DB 34/T 2323—2015 虽规定灰分含量试验是按 T0735 燃烧炉法执行, 且是在 $(482 \pm 5)^\circ\text{C}$ 条件下连续燃烧 3 min, 试样质量每分钟损失率小于 0.01% 时, 停止燃烧, 获得固体残留物。但前文已述, 该温度条件和试验时间远不能将 BRA 中的沥青完全煅烧干净, 尽管 CaCO_3 未分解, 但根本不能获得正确的灰分结果。

文献^[14]报道, 固体沥青特立尼达湖沥青 (Trinidad Lake Asphalt, TLA) 的矿物成分主要是 SiO_2 、云母、 Fe_2O_3 , 碳酸盐含量很低, 煅烧中因碳酸盐分解贡献的质量损失很小。质量损失主要是由沥青成分和少量其他有机物贡献。 900°C 煅烧条件下的灰分含量试验中的质量损失基本可以代表沥青含量。可见, 固体沥青灰分含量试验中的质量损失是否能代表沥青含量, 取决于矿物成分的组成和性质。

2 实例

采用北京天和嘉业商贸有限公司提供的 BRA 样品, 经 50°C 烘干去除水分后, 对同一样品, 分别进行了如下试验, 并对结果进行比较。

试验 1: 取 BRA 每份约 2 g, 按 T0607 进行溶解度试验, 此结果可视为 BRA 的沥青含量。

试验 2: 取 BRA 每份约 5 g, 按 T0614 进行灰分含量试验, 试验条件为 900°C 。计算 BRA 在此试验条件下的灰分含量和质量损失。

试验 3: 对试验 2 中获得的灰分残渣, 添加足够的浓度为 10% 的 NH_4HCO_3 溶液使得灰分残渣反应完全, 然后在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 条件下烘干至恒重, 计算 BRA 在此试验条件下的修正灰分含量和质量损失。

试验 4: 取 BRA 每份约 200 g, 按 T0735 燃烧炉法, 482°C (规程规定的煅烧温度下限) 条件下煅烧 4 h 以上, 计算 BRA 在此试验条件下的沥青含量。

试验 5: 对试验 4 获得的灰分残渣, 再在 538°C (规程规定的煅烧温度上限) 条件下煅烧 4 h 以上, 计算 BRA 在此试验条件下的沥青含量。

试验结果见表 2。

可将表 2 中的试验 1 的溶解度 24.72% 视为 BRA 的沥青含量标准值。试验 2 中, BRA 经 900°C 煅烧后, 灰分含量为 53.62%, 可见, 表 1 中的灰分含量技术要求不大于 75%、80% 或 82% 均明显偏大。另外, 灰分含量结果 53.62% 无法满足 DB 13/T 2511—

表 2 溶解度、不同试验条件下的灰分含量和沥青含量试验结果

试验	溶解度 /%	灰分含量 /%	沥青含量 /%
试验 1	24.72	—	—
试验 2	—	53.62	—
试验 3	—	77.51	—
试验 4	—	—	26.17
试验 5	—	—	28.83

2017 标准规定的灰分含量为 65%~75% 的范围。另外,也不可 将质量损失 46.38% 视沥青含量。若灰分含量技术要求对应的试验方法依据 T0614 执行,那么,建议将灰分含量技术要求调整为不大于 60%。试验 3 中,对试验 2 中获得的灰分残渣再添加 NH_4HCO_3 溶液使得碳酸盐损失的质量得到恢复,修正的灰分含量值恢复为 77.51%,即质量损失为 22.49%,与 24.72% 很接近。这表明采用这种方法测定 BRA 的沥青含量是可行的。且由于该方法只需数克试样,煅烧产生的沥青烟气对环境的污染极小。对于试验 4 和试验 5,虽然煅烧时间已长达 4 h,试验后仍有黑褐色颗粒,但沥青含量仍比 24.72% 大,说明可能存在其他矿物成分被分解。可见,T 0735 燃烧炉法无论采用何种温度,均不适用于 BRA 的沥青含量测定。本试验结果与文献[14]报道的结果相一致。

3 结 语

通过上述讨论,得出以下结论:

(1)BRA 的物理化学特性既不同于道路石油沥青,也不同于热拌沥青混合料。沥青或沥青混合料的试验方法对 BRA 的沥青含量、在三氯乙烯中的溶解度、灰分含量试验不能完全适用。

(2)BRA 的主要矿物成分是 CaCO_3 。在 900℃ 煅烧条件下, CaCO_3 分解也会造成质量损失。煅烧质量损失不可认为是沥青质量损失,煅烧后剩余的灰分残渣也不同于 BRA 中原有矿物成分,其质量明显小于 BRA 中原有矿物质量。因此,现行规范中的灰分

含量技术要求上限明显偏大。当灰分含量试验仍按此方法执行时,建议灰分含量技术要求调整为不大于 60%。

(3)采用沥青溶解度方法虽然能获得 BRA 的沥青含量,但会耗用较多的三氯乙烯溶剂,且试验时间大大延长,不能完全适用于 BRA。

(4)对 BRA 经 900℃ 煅烧条件下的灰分残渣添加 NH_4HCO_3 或 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 溶液,可使碳酸盐的煅烧损失得到恢复和补偿,可按这种方法获得修正的灰分含量和沥青含量。

(5)应根据 BRA 的物理和化学特性,制定专门的试验标准。

参考文献:

[1] JT/T 880.5—2014, 沥青混合料改性添加剂 第 5 部分:天然沥青[S].
[2] DB 11/T 1169—2015, 岩沥青改性沥青路面施工技术规范[S].
[3] DB 13/T 2511—2017, 布敦岩改性沥青混合料应用技术指南[S].
[4] DB 34/T 2323—2015, 道路用布敦岩沥青[S].
[5] DB 41/T 1466—2017, 岩沥青改性沥青混合料施工技术规范[S].
[6] DB 51/T 2569—2019, 四川岩沥青改性沥青路面技术规范[S].
[7] DB 61/T 1184—2018, 道路岩沥青[S].
[8] DBJ/CT 085—2010, 布敦天然岩沥青 BMA 改性沥青路面应用技术规程[S].
[9] T/CECS G:D 54-02—2020, 道路用布敦岩沥青应用技术规程[S].
[10] JTG E20—2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
[11] JTG F40—2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].
[12] 刘树堂, 杨永顺, 房建果, 等. 布敦岩沥青改性沥青混合料试验研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007, 35(3): 351-355.
[13] 查旭东, 胡锦涛, 刘安辉, 等. 布敦岩沥青材料性质试验分析[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2017, 14(4): 10-17.
[14] 杨正宏, 尹义林, 于龙, 等. 布敦岩沥青的沥青含量试验方法, 中国: 110441188 A[P]. 2019-08-15.
[15] 文龙, 王晓江, 柳浩, 等. 布敦岩天然沥青的材料特性与改性机理分析[J]. 公路, 2011, (6): 142-145.
[16] 邓鹏飞. 布敦岩沥青性能研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
[17] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), AASHTO T 111-11, Standard method of test for mineral matter or ash in asphalt materials (2019).

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com