

文章编号:1673-2049(2009)01-0019-05

桥面防水材料拉伸性能及其评价指标

裴建中¹, 王富玉²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 吉林大学 交通学院, 吉林 长春 130022)

摘要:进行了拉伸速度、试件宽度与长度等因素对典型桥面防水材料拉伸强度及断裂延伸率的影响规律试验;分析了桥面防水层在基层存在裂缝和桥面存在负弯矩情况下的受力特征,由此提出了桥面防水材料拉伸性能的评价指标。结果表明:防水材料试件随拉伸速度变化而变化,速度较大时,试验结果不稳定;断裂延伸率与试件宽度相关性不大,而拉伸强度与试件宽度成正比;断裂延伸率随着拉伸长度的增加而逐渐减小,但强度没有明显的规律性;试件老化对其拉伸强度和断裂延伸率均有显著影响,材料的强度和断裂延伸率比未老化前分别降低了10.9%和25.0%;同时考虑基层存在裂缝和桥面存在负弯矩时,可以计算桥面防水材料的抗拉强度标准。经综合分析,确定桥面防水材料拉伸试验速度为 $100\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,试件宽度为50 mm,长度为180 mm;材料抗拉强度指标为 $36\text{ N} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

关键词:桥面;防水材料;拉伸强度;评价指标

中图分类号:TU57 **文献标志码:**A

Tensile Properties and Its Evaluated Indexes of Waterproofing Material for Bridge Decks

PEI Jian-zhong¹, WANG Fu-yu²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, Jilin, China)

Abstract: Tests on the influencing rules of pulling speeds, specimen widths and lengths to tensile strength and fracture elongation were studied. Moreover, the force characteristics for bridge decks with negative moment and the cracks in base course were analyzed. Then, the evaluation indexes of tensile properties of waterproofing material for bridge decks were proposed. The results show that the waterproofing material specimens are subject to the changes of pulling speeds and the uncertainty attends test results in the relative high speed; the fracture elongations correlated weakly with specimen widths, but tensile strengths are directly proportional to specimen widths; the fracture elongation reduces with the stretching length increasing gradually, however, the material intensity has not appeared any obvious regularity. Specimen aging has a significant impact on its tensile strength and fracture elongation, which show the material strength and fracture elongation decrease 10.9% and 25.0% respectively after aging. Taking into account of cracks in base course and negative moment for the bridge decks, the

收稿日期:2008-10-12

基金项目:国家自然科学基金项目(50608006);陕西省自然科学基金研究计划项目(2007E₂23)

作者简介:裴建中(1976-),男,山西五台人,副教授,工学博士,E-mail:jianzhongpei@163.com。

standard of tensile strength of waterproofing material for bridge decks can be calculated. By analyzing comprehensively, the pulling test speed of $100\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, specimen width of 50 mm , length of 180 mm , material tensile strength index of $36\text{ N}\cdot\text{cm}^{-1}$ for waterproofing material in bridge decks are gained.

Key words: bridge deck; waterproofing material; tensile strength; evaluated index

0 引言

目前防水材料被广泛地应用于桥面防水,以阻止发生水侵入桥梁主梁内部,避免主梁内钢筋锈蚀^[1-7]。用于桥面的防水材料应具备抵抗面层摊铺和碾压设备的能力,可以抵抗热沥青混合料的高温作用和经受行车的考验,并在此条件下与桥面和面层黏结良好,在荷载、温度、裂缝等外界因素作用下,防水层应能随着上下接触层协调变形。

当防水层铺设在桥面板时,必须能抵抗混凝土裂缝造成的破坏。虽然在桥梁设计时,就通过配筋设计或设置预应力筋来确保桥面不出现裂缝,或将裂缝控制在一定的容许范围内并进行裂缝宽度验算,但仍有必要要求防水材料具有抵抗裂缝破坏的能力,其中交通荷载和桥面负弯矩(连续梁结构或悬臂梁结构)是造成裂缝的主要原因之一。当不利组合叠加时,出现裂缝的几率也会大大增加。裂缝或开或合,这种重复运动可能加大裂缝,也可能导致防水层材料疲劳破坏。

本文中通过拉伸试验和理论分析,对防水材料的拉伸性能及其评价指标进行了分析,并提出了合适的评价指标及标准。

1 试验概况

1.1 试验仪器与试件

采用拉力试验机,其量程为 $0\sim1\,500\text{ N}$,并且拉伸速率可在 $0\sim500\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 之间调整。

试件为矩形,尺寸为 $260\text{ mm}\times50\text{ mm}$,每端夹持长度为 40 mm ,因此拉伸有效长度为 180 mm ,每组 3 个试件。

1.2 试验结果处理

(1)拉力值为数字显示仪的最大值或记录曲线应力坐标的最高值。如试件断裂处距夹具小于 20 mm 时,该试件试验结果无效,应在同一样品上另行切取试件,重做试验。

(2)断裂延伸率计算公式为

$$\epsilon_R = \frac{\Delta l}{l} \times 100\%$$

(1)

式中: ϵ_R 为断裂延伸率; Δl 为断裂时的延伸值; l 为上下夹具之间的有效距离。

1.3 试验材料

选用美国桥面专用防水材料 Bituthene 5300, 简称为 B5300。该材料由高抗渗的橡胶沥青和坚韧、能抵抗热碾刺破的聚丙烯加强网布形成,为热拌沥青混凝土铺装下桥面防水专用材料。它具有以下一些特点:①自黏、冷铺;②柔韧,适用于侧面、边角和达 0.6 mm 的收缩裂缝;③预制,保证厚度不随现场施工变化;④网布加强,具有尺寸稳定性和抵抗破坏能力;⑤橡胶沥青、自黏弹性体复合材料能在行车紧急制动时提供足够的附着力,具体性能见表 1。

表 1 B5300 技术性能
Tab. 1 Technical Performances of B5300

参数	抽样试验结果	试验方式
厚度/mm	1.6	
颜色	黑色	
拉伸强度/N	750	ASTM E-154-88
断裂延伸率/%	100	ASTM D-412
低温韧性($-32\text{ }^{\circ}\text{C}$)	无裂纹	ASTM D1970-90
抗刺破能力/N	900	ASTM D-882

2 拉伸性能试验

2.1 不同拉伸速度试验

采用 3 种拉伸速度各进行 3 次试验,结果见表 2。

表 2 不同拉伸速度的试验结果
Tab. 2 Testing Results Under Different Pulling Speeds

拉伸速度/ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	拉伸强度/N				断裂延伸率/%			
	试验 值 1	试验 值 2	试验 值 3	均值	试验 值 1	试验 值 2	试验 值 3	均值
25	721	720	784	741.7	36.1	37.3	35.2	36.2
100	786	802	810	832.7	41.6	45.0	46.1	44.2
400	880	700	854	811.3	36.5	34.3	31.0	33.9

从表 2 可以看出:当拉伸速度较高时,试验速度太快,而且所测得的拉伸强度结果离散性大,难以控制,人为影响因素大,可信度低;当拉伸速度较低时,如 $25\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,试验时间偏长;而拉伸速度为 $100\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,结果较稳定,时间合理,容易接

受。又参照屋面防水材料技术规程 CECS 47:93,桥面防水材料拉伸试验速度可取标准试验拉伸速度为 $100\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

2.2 不同试件宽度的拉伸试验

采用 2 种试件宽度各进行 3 次试验,结果见表 3。

表 3 不同试件宽度的拉伸试验结果
Tab.3 Tensile Testing Results Under Different Specimen Widths

试件 宽度/cm	拉伸强度/N				断裂延伸率/%			
	试验 值 1	试验 值 2	试验 值 3	均值	试验 值 1	试验 值 2	试验 值 3	均值
2	304	318	328	316.7	33.3	34.4	39.4	35.7
5	786	802	810	799.3	41.6	45.0	46.1	44.2

从表 3 可以看出,断裂延伸率与试件宽度相关性不大,而两者拉伸强度平均值之比约为 2.5,排除试件裁取、试验设备和人为读数等因素影响,可以认为拉伸强度与试件宽度成正比。试件越宽,读数越稳定,受试验机影响越小,且易于操作,因此桥面防水材料可取标准试件宽度为 5 cm。

2.3 不同试件长度的拉伸试验

采用 3 种试件长度各进行 3 次试验,结果见表 4。

表 4 不同试件长度的拉伸试验结果
Tab.4 Tensile Testing Results Under Different Specimen Lengths

试件 长度/cm	拉伸强度/N				断裂延伸率/%			
	试验 值 1	试验 值 2	试验 值 3	均值	试验 值 1	试验 值 2	试验 值 3	均值
140	775	820	815	803.3	45.7	50.0	47.9	47.8
160	755	735	735	741.7	40.0	38.8	39.4	39.4
180	780	790	825	798.3	34.4	33.3	8.8	35.6

从表 4 可以看出,断裂延伸率随着拉伸长度的增加而逐渐减小,但拉伸强度则没有明显的规律性。沿用建筑上的标准长度 l ,即 $l=180\text{ mm}$ 。

2.4 老化后的拉伸试验

防水层在面层沥青混合料施工时会遭受 1 次热冲击,会导致短期老化,在长期使用过程中还会受到热、雨、氧等自然因素的综合作用。而防水材料作为有机材料,在经受上述因素作用后,其主要性能(抗拉、黏结、抗剪等)往往会降低,直至其不能满足桥面防水的需要。

由于防水材料本身仅有 1~3 mm 厚,且其上覆有 6 cm 以上的面层,试验中仅考虑材料的热老化性

能。材料老化后,一个显著的变化是其拉伸性能(强度及延伸率)衰退,因此用拉伸指标来衡量。

根据材料老化的不同阶段,可分为短期老化和长期老化。对于短期老化,据国外资料,50~60 mm 厚的沥青面层在 $140\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 铺设时,防水层中的温度可达 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$,并可维持约 10 min。为模拟防水层工作中的实际情况,试验时先将烘箱温度调至 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$,将防水材料放入 10 min 后,将温度在 4 h 内降低到 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对试验结果有显著影响的是不同的材料、加速老化温度和时间。试验结果见表 5。

表 5 加速老化后的拉伸试验结果
Tab.5 Tensile Testing Results After Accelerated Aging

材料	拉伸强度平均值/N		断裂延伸率平均值/%	
	老化前	老化后	老化前	老化后
B5300	798.3	711.7	35.6	26.7

从表 5 可以看出,老化后材料的拉伸强度和断裂延伸率平均值比未老化前分别降低了 10.9%和 25.0%,性能下降比较明显。因此在防水材料施工过程中和防水材料施工后及桥面铺装施工时均应预防防水材料的老化,同时,桥面防水材料也应该适应这种要求,具有良好的抗老化性能。

3 评价指标

3.1 基层出现裂缝时防水层受力分析

当防水层在基层裂缝上受均匀竖向荷载作用时,由于缝隙的存在,防水层下陷,其下陷变形曲线呈圆弧形,同时因延伸而产生张力 T (每单位宽度的力),如图 1 所示,张力方向沿圆弧的切线方向。

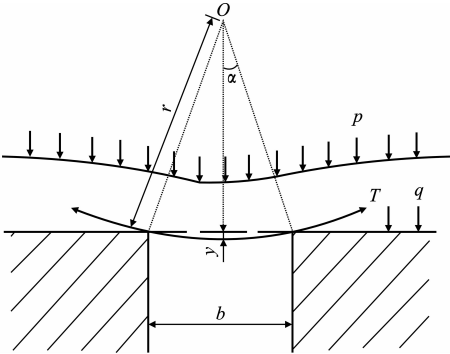


图 1 基层裂缝上的防水层张力计算
Fig.1 Tensile Calculation of Waterproofing Layer on Crack of Base

防水层呈圆弧形,其圆方程为

$$\left. \begin{aligned} r^2 &= (r-y)^2 + (\frac{b}{2})^2 \\ \alpha &= \arcsin \frac{b}{2r} \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

式中: b 为缝隙宽度; r 、 α 、 y 含义如图 1 所示。

在平面应变条件下, 防水层的张力计算可简化为图 2 所示的计算。取缝隙上防水层为隔离体(纵向取单位长度), 则防水层的张力 T 为

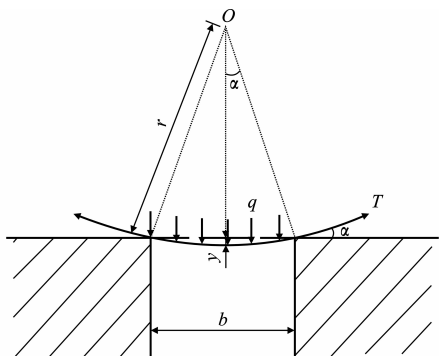


图 2 防水层张力的简化计算

Fig. 2 Simplified Calculation of Tensile of Waterproofing Layer

$$T = \frac{qb}{2\sin\alpha} \quad (3)$$

由式(2)、(3)可得

$$T = \frac{qb}{2\sin\alpha} = \frac{1}{4}qb\left(\frac{2y}{b} + \frac{b}{2y}\right) \quad (4)$$

此时, 取

$$f(\epsilon) = \frac{1}{4}\left(\frac{2y}{b} + \frac{b}{2y}\right) \quad (5)$$

则

$$T_c = qbf(\epsilon) \quad (6)$$

式中: T_c 为缝隙上防水层所受的张力; q 为作用于防水层上的压力, 标准轴载作用于面层时的轮压 $p = 0.7$ MPa, 传递到防水层时随路面厚度 h 增大而减小, 这里为安全起见, 取 $q = p = 0.7$ MPa; ϵ 为防水层的延伸率; $f(\epsilon)$ 为因防水层延伸率而异的计算因子(量纲为 1)。

根据延伸率 ϵ 的定义, 当 $y \leq 0.5b$ 时可得

$$1 + \epsilon = \frac{1}{2}\left(\frac{2y}{b} + \frac{b}{2y}\right) \arcsin\left[\frac{1}{2}\left(\frac{2y}{b} + \frac{b}{2y}\right)\right]^{-1} =$$

$$2f(\epsilon) \arcsin \frac{1}{2f(\epsilon)} \quad (7)$$

由式(7)可知, $f(\epsilon)$ 随 ϵ 呈一定规律变化, 可绘制成如图 3 所示的曲线。

考虑到计算模型的假设、荷载的重复性、应力集中和其他自然因素的影响, 用式(6)计算时乘以一定的安全系数 K_s , 得

$$T_c = K_s qbf(\epsilon) \quad (8)$$

一般情况下, 按照土工合成材料相关规范的规定, K_s 可取 3.0。

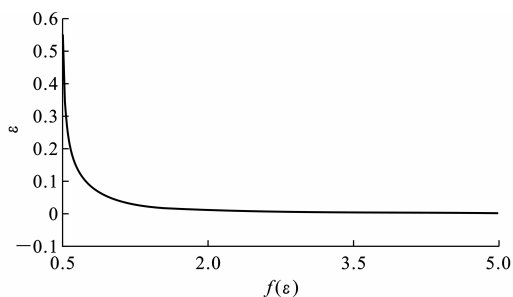


图 3 $f(\epsilon)$ 随 ϵ 的变化规律

Fig. 3 Changing Rules of $f(\epsilon)$ with ϵ

由式(8)可知, 对延伸率低的防水层, 要求具有高的抗拉能力, 但并不是防水层的抗拉强度高就能防裂, 而是在基层裂缝宽度一定时, 变形能力大的防水层适应能力就强。

3.2 桥面防水层在负弯矩作用下的力学分析

当桥梁上部结构采用一些超静定结构, 如连续梁或悬臂梁结构时, 主梁内在存在正弯矩的同时, 还会出现负弯矩, 使桥面受拉。负弯矩的出现会使桥面防水层中产生拉应力, 如果与防水层在交通荷载作用下产生的弯拉应力叠加, 则会对防水层拉伸强度低的材料构成威胁, 因此需要对负弯矩给防水层造成的影响进行力学分析。对于梁的情况, 负弯矩的出现位置一般在支点两侧一定范围内, 但最大值一般在支点附近。

按照材料力学计算方法, 将负弯矩的计算模型简化为如图 4 所示的模型。

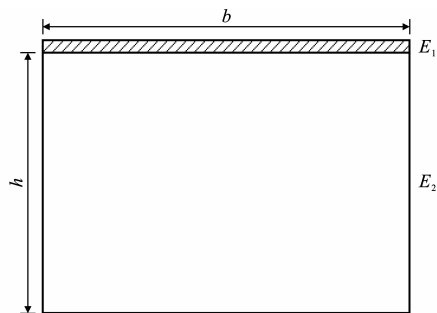


图 4 负弯矩的计算模型

Fig. 4 Calculation Model of Negative Moment

不考虑防水层厚度及宽度对整个组合截面惯矩变化的影响, 则在负弯矩作用下, 混凝土上表面的拉应变 ϵ_2 为

$$\epsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_2} \quad (9)$$

式中: σ_2 为混凝土上表面的拉应力; E_2 为混凝土的弹性模量。

假定防水层与混凝土上表面黏结良好, 连续接触, 协调变形, 那么同一点处的拉应变应相等, 即

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_2} = \frac{1}{E_2} \frac{M}{\omega_x} \quad (10)$$

$$\sigma_1 = E_1 \epsilon_1 = \frac{E_1}{E_2} \frac{M}{\omega_x} \quad (11)$$

式中: ϵ_1 为防水层内的拉应变; E_1 为防水层的弹性模量; M 为荷载作用下支座处负弯矩; ω_x 为混凝土截面惯性矩。

公路桥梁设计验算荷载——挂车荷载作用下等跨等截面连续梁桥支座位置的最大负弯矩值的计算公式为

$$M_{\max} = 0.411 \ 9 PL \quad (12)$$

式中: M_{\max} 为挂车荷载作用下支座处最大负弯矩; P 为荷载标准轴力; L 为桥梁跨径。

此时,防水材料的拉力 T_m 为

$$T_m = \frac{0.411 \ 9 P L E_1 B d}{E_2 \omega_x} \quad (13)$$

式中: T_m 为由于负弯矩产生的拉力; B 为材料宽度; d 为材料厚度。

3.3 拉伸性能评价指标

根据第3.1、3.2节,同时考虑基层开裂和桥面负弯矩的作用,桥面防水材料的拉伸性能指标 T_A 就可以确定,即

$$T_A = T_c + T_m \quad (14)$$

根据相关研究,混凝土内的裂缝不应超过2 mm,此时对延伸率为30%的防水材料,按照式(8),由于裂缝导致的张力约为 $2.1 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$,换算成拉伸强度为 $10^5 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

如果验算荷载取为挂-120, $P = 3 \times 10^5 \text{ N}$, $L = 100 \text{ m}$,那么,根据式(12)可以计算得到最大负弯矩 $M_{\max} = 1.235 \ 7 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

在一般情况下, $E_2 = 28 \ 000 \sim 32 \ 000 \text{ MPa}$, $E_1 = 10 \sim 300 \text{ MPa}$, $\omega_x = bh^2/6$,这里取典型情况, $E_2 = 30 \ 000 \text{ MPa}$, $E_1 = 100 \text{ MPa}$;对于 ω_x ,在典型的箱梁结构中,取 $b = 8.0 \text{ m}$, $h = 1.0 \text{ m}$,梁为单箱单室和单箱双室时, ω_x 分别为 $0.208 \ 0 \text{ m}^3$ 和 $0.437 \ 4 \text{ m}^3$ 。

设防水材料幅宽为1 m,厚度为3 mm,那么此时防水材料须承受的拉力应为 $594 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$,换算成拉伸强度为 $29.7 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

考虑对拉伸性能有要求的桥面裂缝和负弯矩,则两者的极限拉伸强度要求之和为 $36 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

4 结 语

(1)通过不同条件拉伸试验研究,确定桥面防水材料拉伸试验速度为 $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,试件宽度取为50 mm,试件长度取为180 mm。

(2)试验结果表明,老化后桥面防水材料的拉伸强度和断裂延伸率比未老化前分别降低了10.9%和25.0%,性能下降比较明显,在拉伸试验中应考虑老化问题。

(3)通过对桥面防水材料在裂缝和负弯矩情况下的力学分析,推导出同时考虑这2种因素的材料抗拉强度计算公式,并提出了具体材料抗拉强度指标为 $36 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

参考文献:

References:

- [1] GB 50207—94,屋面工程技术规范[S].
GB 50207—94, Housing Project Technical Specification[S].
- [2] 包琦玮.北京地区混凝土桥梁耐久性若干问题及对策[J].城市道桥与防洪,2000(2):16-20.
BAO Qi-wei. Number of Issues and Countermeasures to Concrete Bridge Durability in Beijing [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2000(2):16-20.
- [3] 裴建中.桥面柔性防水材料技术性能研究[D].西安:长安大学,2001.
PEI Jian-zhong. Study on Technical Characteristics of Flexible Waterproof Material for Bridge Decks [D]. Xi'an: Chang'an University, 2001.
- [4] 裴建中,李鹏辉,王秉纲.桥面防水层施工技术研究[J].筑路机械与施工机械化,2006,23(2):40-43.
PEI Jian-zhong, LI Peng-hui, WANG Bing-gang. Study of Construction Technology of Waterproofing Layer for Concrete Bridge Decks [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2006, 23(2):40-43.
- [5] 陈昌伟,李昌铸,张健.桥梁钢筋锈蚀及其对策[J].公路,1999(6):1-6.
CHEN Chang-wei, LI Chang-zhu, ZHANG Jian. Reinforcing Steel Corrosion for Bridge and Countermeasures [J]. Highway, 1999(6):1-6.
- [6] 杨军,潘友强,邓学钧.桥面铺装浇注式沥青混凝土性能[J].交通运输工程学报,2007,7(1):49-53.
YANG Jun, PAN You-qiang, DENG Xue-jun. Gussasphalt Performances on Bridge Deck [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1):49-53.
- [7] 顾兴宇,吴一鸣.钢桥桥面铺装层间剪应力影响因素及简化计算[J].交通运输工程学报,2007,7(3):70-75.
GU Xing-yu, WU Yi-ming. Influence Factors and Simplified Calculation of Interbedded Shear Stress of Asphalt Paving on Steel Bridge [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(3):70-75.

