

文章编号: 0451-0712(2006)07-0066-05

中图分类号: U443.31

文献标识码: B

# 桥面防水材料选型研究

裴建中

(长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室 西安市 710064)

**摘 要:** 从桥面对防水材料的要求出发,对防水材料选型过程中的关键技术问题逐一进行分析。本文主要就防水材料选型标准、建筑防水材料的适应性、防水材料选择影响因素、防水材料分类选型和厚度选型等进行了深入分析。

**关键词:** 混凝土桥面; 防水材料; 选型

目前在混凝土桥面沥青混凝土铺装中铺设防水层已成为一种共识。我国防水层使用实践表明,设防水层的桥面铺装具有明显的优势,病害更少,桥梁更耐久。

桥面防水是依靠防水材料粘贴到桥面板上,形成具有良好弹性的防水薄膜,隔断水与混凝土的接触,起到防水作用。同时防水材料自身有良好的渗透能力,能从混凝土表面孔隙中进入混凝土内部,堵塞混凝土内部空隙,强化混凝土表面的防水性,提高混凝土的自防水能力。这种双重屏蔽作用保证了防水材料的有效性。

然而,防水层在我国推广的历史还很短,目前的专用桥面防水材料大多数是由建筑防水材料转变过来的,材料品种单一,产品质量参差不齐。况且国内还没有制定出关于桥面防水材料的试验方法,因而公路建设部门在设计防水层时只能按照建筑防水材料的试验方法和指标来筛选材料。

众所周知,桥面防水比屋面防水要求的条件要苛刻得多。桥面防水层除了要求防水材料具有不透水、耐高温、耐低温、耐腐蚀、耐老化、与上下接触层粘结良好外,更重要的是桥面防水材料还会受到汽车荷载水平和垂直应力的综合作用、沥青混合料的高温碾压、动荷载的冲击、桥面裂缝的张拉和疲劳影响等。因此在评价桥面防水材料的技术性能时,只参考建筑防水的试验方法和指标是很片面的,使用中会引起较大的偏差。

经调查,现在尽管一些桥面铺装采用了防水层,

但桥面防水市场十分混乱,实际工程中存在不少问题:(1)没有防水规范的指导,对桥面防水缺乏系统的认识,设计时盲目性很大;(2)即使在一些桥梁上设了防水层,但未考虑桥梁的一些细部构造处理,结果防水仍然失败;(3)在如何选择防水材料上,只凭经验和厂家的推荐,而现在的建筑防水材料厂家众多,良莠不齐,鱼目混珠,真正能直接用作桥面防水的材料是少之又少;(4)一些建设单位单纯片面强调经济效益,施工简单,而忽视必要的防水机理和过程,或者片面追求新产品、保险安全,造成大量浪费;(5)施工技术人员素质低下,不能完全执行设计意图,或者施工设备简陋、落后,往往也会事倍功半;(6)仅在室内抽检材料的几项性能,而对现场施工质量则无任何检测控制措施;(7)施工时,对桥面只做简单的处理,或者根本不做任何处理。而据研究,桥面的平整度、含水量以及是否有灰尘等杂物,都会对防水效果产生影响。

基于上述认识,有必要对我国现有的防水材料进行梳理,以便于工程技术人员合理选择和正确应用。

## 1 桥面防水材料的选型标准

### 1.1 桥面防水材料性能要求

根据桥面防水材料的工作环境和特点,经综合分析,应具有如下性能。

(1)不透水性。

作为防水材料,在桥面可能遇到的各种情况下



都应该是不透水的,包括交通荷载促使路面结构内空隙水造成的瞬间高压。另外,面层、主梁、防水层上的接缝处,尤其应注意防水层的不透水性。

#### (2)力学性能稳定。

防水层分离面层(作用交通荷载)和桥梁结构,因此防水层材料不仅应具有提供有效防水的全部性能,而且需具有良好的力学性能,能够适应结构的各种变化,且在面层承受的各种荷载应力下(包括垂直应力和水平剪力)或在急弯、陡坡区域不会使面层和主梁脱离,成为“两张皮”。在桥面可能遇到的所有温度状况下,保证力学性能稳定,不致由于设置防水层而导致面层早期破坏,尤其对较厚的防水材料(4~5 mm以上)更重要。

#### (3)抵抗桥面裂缝处的破坏。

当防水膜铺设在桥面板时,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、温缩效应和桥面负弯矩(连续梁结构或悬臂梁结构)造成的裂缝是最主要的。当这三种方式组合叠加时,出现裂缝的机率也会大大增加。裂缝或开或合,这种重复运动可能加宽裂缝,也可能导致防水层材料疲劳破坏。

#### (4)耐久性。

柔性防水材料多为有机材料或高分子改性沥青材料,而有机物最大缺点是容易老化。在热、光、风雨、微生物、氧、紫外线等各种因素综合作用下,防水材料会发生以过氧基为中间体的链式反应(自动氧化过程)。不少研究表明,这种自动氧化反应在常温下进行缓慢,而当加热时,由于在热分解的同时还发生热氧化分解,使反应加速。老化后,材料会丧失原先的一些优良性能,如弹性、韧性、强度、防水性能都会逐渐退化。如果耐老化性能过差,还会降低与其他层次的粘结力,导致面层早期破坏。因此,要求防水材料应具有优良的耐久性能,尤其不应含有已老化的再生胶等。

#### (5)与其他材料的协调性。

防水层材料位于桥面板混凝土与面层沥青混合料之间,因此它与上下层间的协调配合性能就显得尤为重要,不仅表现在力学性能上,而且表现为物理、化学性质的协调上。防水层材料应能适应桥面的各种变化,如不平整、粗糙、灰尘、有一定的潮湿;当

沥青混凝土施工时,防水层材料在这种高温碾压的骨料作用下,仍具有上述各项优良性能。

#### (6)施工可操作性。

野外现场施工,需将薄的不透水的材料铺设到大面积的桥面上,此时,施工过程简单、方便,自动化程度高,劳动强度低的材料就具有相当大的竞争优势。另外,防水层材料应能适应宽的温度范围施工,不太复杂的施工工艺,便于一般技术人员操作。施工时,应尽可能少的出现气泡、针孔、龟裂等病害。同时材料应无污染,在正常的机械设备作用下不应破坏。

### 1.2 桥面防水材料性能评价标准

桥面防水材料在使用之前,需进行必要的室内试验,以检验其性能是否满足桥面要求。经过研究,提出如下控制指标及标准体系,分别见表1~表3。

表1 桥面防水材料物理性能试验评价

指标	主要评价方法与标准
不透水性	判断防水材料在原始状态下的不透水性能
耐高温性能	用来评价施工时抵抗沥青混凝土高温破坏的能力,耐热标准可选用140℃
耐低温性能	评价防水材料在地温状况下的抗裂能力,指标与当地年极限最低气温有关
拉伸性能	用拉伸试验评价在荷载、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能力

表2 路用性能室内试验评价项目

试验项目	主要评价方法与标准
裂缝联结性能	当桥面上出现微裂缝时,不至于破坏防水层,在一定宽度裂缝处不破坏
粘结性能	标准条件下的粘结强度大于确定抗剪强度时的 $c$ 值
抗剪性能	标准条件下的抗剪强度大于0.33 MPa
耐老化性能	80℃,5 d加速老化后延伸性保留未老化前的80%

表3 抗施工损伤性能试验评价项目

项 目	指 标
抗大型施工设备损伤性能	抵抗摊铺机、压路机等大型设备的破坏,实测
抗刺破及不透水性	①140℃面层级配下碾压无刺破 ②30 min的不透水压达到0.3 MPa
抗燃料污染性能	抵抗汽油、柴油等有机溶剂的破坏,在有机溶剂中浸泡2 h无变化

## 2 建筑防水材料的适应性分析

建筑防水材料主要用于屋面防水和地下防水,分防水卷材和防水涂料两种,其中卷材占整个防水层材料的80%左右。

我国的建筑防水材料,早期一直以纸胎石油沥青为主,后来经过多年的研究与开发,胎体已发展为



玻璃纤维胎、聚酯胎、黄麻胎、金属箔胎等。所用的浸涂沥青材料,有催化氧化沥青和各种高分子改性沥青,如无规聚丙烯(APP)、苯乙烯-丁二烯-苯乙烯(SBS)、丁苯橡胶(SBR)等高聚物改性沥青生产的各种塑性体沥青卷材、弹性体沥青卷材以及优质氧化沥青卷材等。覆面材料已发展为采用膜面,如聚乙烯(PE)膜、铝箔膜等,还有各种矿物粒料,如采砂、河砂、片岩等。同时还发展了合成高分子防水卷材,其中有三元乙丙橡胶(EPDM)、聚氯乙烯(PVC)、氯化聚乙烯(CPE)等多种高档防水卷材。

防水涂料从20世纪70年代开始应用以来,发展迅速。据有关资料介绍,主要产品分为高档高分子防水涂料、中档改性沥青和低档沥青基防水涂料三类。高分子防水涂料,目前主要有聚氨酯、硅橡胶防水涂料、水型三元乙丙橡胶复合防水涂料、CB型丙烯酸酯弹性防水涂料等;改性沥青防水涂料有氯丁胶乳沥青、SBS改性沥青、PVC煤焦油等防水涂料;沥青防水涂料有膨润土沥青、水性石棉沥青、石灰沥青、乳化沥青等防水涂料。以上各类材料中,还可分为溶剂型、水乳型和反应型。

由于建筑防水材料和桥面防水材料所处的工作环境不同,因此所要求的性能和标准也不同。建设部门对建筑防水有专门的规定,在文献[5]中详细规定了屋面防水对材料的要求,对卷材主要包括外观质量要求和物理性能要求,对涂膜主要包括物理性能要求,但是对比上述提出的桥面防水材料技术性能要求,还差得很远。因此,开发桥面专用防水材料,成为必然。

防水层的功能能否得以实现,首先取决于防水材料的技术性能。桥面防水材料与建筑防水材料有一定的区别,其特殊的布设位置要求前者不仅要具备防水材料的常规性能,而且还应满足桥面的特殊要求。比如,桥面防水材料要具有适应桥面板的灵活性,抵抗行车荷载的冲击和施工车辆的碾压、推挤的能力,以及抵抗桥面变形和裂缝的能力。但是目前在我国的防水材料市场中,专用的桥面防水材料大多数是由建筑防水材料改进而成,产品质量不一,分类混乱,也没有专门的技术评定指标与方法,因此在实际中,不能根据工程的需要和特点合理选择防水材料。开发适应不同环境的桥面专用防水材料,成为未来发展趋势。

### 3 桥面防水材料选择影响因素

#### (1) 桥梁防水分级。

目前国内外使用的防水材料种类繁多,不同材料之间性能差异较大,所能起到的防水效果也不同。因此宜根据桥梁的类型、性质、重要程度、结构特点、使用功能要求等,从桥面防水的角度将桥梁进行分级,按不同等级设防。将需设防水层的桥梁分级设防,规定不同的设防要求和选用相应的防水材料。

桥梁防水等级越高,对防水的要求和材料的要求也越高。在建筑屋面防水体系中,如果防水等级要求高,则可以采取多道设防或者采用防水性能更强的合成高分子材料,但在桥面防水中,防水层的厚度增加将会导致桥面铺装整体性能降低,严重的还会促使面层早期破坏。因此如果需要,可采用柔性防水材料和结构自防水或者刚性防水剂等方式相结合。

#### (2) 气候。

防水层材料对温度的敏感性较大,不同材料的温度敏感性不同。我国幅员辽阔,南北方之间温差较大,尤其是夏季最高气温和年极端最低气温相差较大,年降雨量也不同。国外研究显示,当环境温度为30℃时,暴露在外的防水膜中温度可达70~75℃,50 mm、100 mm、150 mm 沥青面层下的防水膜温度分别可达50~55℃、40~45℃、35~40℃,有可能超过防水膜的软化点;当气温降到-20℃时,暴露防水膜、50 mm、100 mm、150 mm 沥青面层下的防水膜温度分别为-18℃、-14℃、-10℃、-10℃。这些气候上的差别,要求设计人员选择防水材料时要有针对性,需要针对不同地方的气候特点来优选材料。

为此,从桥面防水的角度,根据气温的不同,将全国分为不同的区域,来选择防水材料可能更合理。

#### (3) 施工条件。

卷材类和涂膜类防水材料所使用的施工工具不同,施工要求也不一样。因此,在选择防水材料时,应充分考虑当地的施工条件、施工人员的素质(原则上防水系统施工应由经过专门培训,经考核合格的工程人员进行),同时,也应考虑各地的使用习惯。

#### (4) 经济条件。

防水系统的初始造价约占桥梁总造价的1%~5%,在这个范围内是可以接受的。卷材与涂膜的生产成本不一样,就单位面积的造价,一般来说卷材比涂膜要高。

#### (5) 桥梁类型及特点。

对于可能出现负弯矩的桥梁,要选用拉伸强度高、延伸率大、耐老化的防水材料,以避免早期破坏。



如果桥面为弯桥或者有纵坡,应适当考虑选择抗剪强度较大的材料。

#### (6) 面层类型。

不同的面层结构类型,在施工时对防水层的影响不一样,选择材料时应考虑面层的结构类型。

## 4 桥面防水材料分类选型研究

### 4.1 卷材与涂膜的选择

目前国内外常用的防水材料主要分为两类,即卷材和涂膜。这两类材料具有截然不同的使用性能,见表4。因此在选择时,宜根据实际情况,结合材料自身特点,综合确定。

表4 卷材和涂膜类防水材料的性能对比

项 目	卷 材	涂 膜
室内试验	便于室内试验。	不便于室内试验。
材料质量	材料质量取决于生产厂家;施工后有接缝或搭接;厚度均匀。	取决于施工质量;施工后形成连续防水膜;难以控制涂膜厚度。
对桥面的适应能力	工厂预制成一定宽度和长度,立面和阴阳角处较难处理;对桥面陡的起伏适应能力较差。	与桥面几何形状无关;薄的涂膜要求桥面相对平整。
施工情况	对沥青类(包括改性沥青)防水材料需用喷火加热设备,合成高分子需用胶粘剂,施工劳动强度大。	使用时无需加热,可以减少污染,相对简便;施工周期长,受风、雨影响较大。
经济性	造价相对较高。	造价相对较低。

### 4.2 胎体增强材料的选择

胎体增强材料是指在防水层中增强用的化纤无纺布、玻璃纤维网布等。防水卷材中的胎体在出厂时已层压进材料中与涂覆材料粘为一体,防水涂膜中的胎体则要根据桥梁实际情况设计成不同的厚度和层次结构(一般为一层或两层)。

防水层中设置胎体的主要目的是:(1)提高防水层的整体性和尺寸稳定性;(2)减少防水材料的流淌,提高耐热性能;(3)提高防水层材料的拉伸性能,尤其当桥面由于负弯矩或其他因素出现裂缝时,胎体显得尤为重要;(4)提高防水层材料在施工中高温碾压和以后长期营运过程中的抗刺破性能。

目前,在工程中常用的胎体增强材料,由聚合物纤维为原材料,通过针刺、热粘、编织、化学等方式制成,原材料中又可分为长纤维和短纤维等。

用作防水层胎体增强的材料应具有以下性质:(1)具有良好的力学性能,能充分抗拉、抗刺破、抗冲击,以防在施工中被破坏;(2)不能太厚,应保证涂覆

层能充分浸透,因此不宜使用格栅或者粗丝织造的材料,且应与浸涂材料有较好的物理化学协调性能;(3)应具有足够充分的尺寸稳定性,在一个方向受力时,其他与之垂直方向的尺寸不能发生显著变形;(4)良好的耐久性能,尤其是老化性能要满足要求;(5)良好的耐高温、耐低温性能,如未采取任何加强措施的聚乙烯织物不能使用;(6)经济合理,不能使防水层造价大幅上扬。

### 4.3 国外常用的防水材料

20世纪70年代,NCHRP在“防水层对混凝土桥面的保护”研究中,对当时市场上147种防水材料产品进行了研究。通过简单的筛选试验,便选出最有前景的5种卷材类产品,而排除了所有涂膜类防水材料,且这5种产品均须使用粘结层以增强卷材与桥面的粘结力。1986年,NCHRP的后续研究报告又调查了包括新建桥梁中的防水层,其中有11个州使用卷材,4个州使用涂膜,1个州两者兼之,并认为卷材是一种良好的防水产品。

尽管卷材使用很普遍,但在一些地区(尤其加拿大)更乐意采用涂膜,且大多数自20世纪70年代即开始使用一种热铺橡胶沥青。同时基于高分子聚合物树脂的涂膜在欧洲应用很普遍,而在北美则使用有限,只有俄勒冈州和加拿大的亚伯大省使用过树脂基涂膜。因此可以看出,国外的涂膜类材料也大都为沥青基材料。

ALASKA(阿拉斯加州)分别在1993年和1997年推荐了自己容许使用的产品,见表5。

## 5 桥面防水材料厚度选型研究

### 5.1 不同厚度防水层抗剪性能试验研究

不同厚度防水材料抗剪性能试验结果,见表6。

在同一条件下,即室温25℃,基层未做任何处理保持为原状,相同的垂直压力、水平剪切速率时,将不同厂家、同类产品不同型号材料放在一起做对比试验研究,结果见表6。从试验结果可以看出,由于破坏面在防水层与混凝土表面间,而这些材料外观的差别除厚度外,均反映在防水层与沥青混凝土的接触面上,因此同一厚度下,各种品牌的产品差别不大,扣除试验时的主客观因素影响,可以认为理论上这些值差别不大。但材料D厚度较大,其抗剪强度相应也较大。

### 5.2 不同防水层厚度对抗刺破性能的影响

不同防水层厚度抗刺破性能试验结果,见表7。



表 5 美国阿拉斯加州(ALASKA)APL 计划推荐的 7 种防水材料

材料名称	材料组成	对面层的要求	施工要求
Protecto Wrap M-400A-cold	玻璃纤维网布与橡胶地沥青形成的薄膜	沥青面层最大集料粒径为 12.7 mm, 沥青温度在 135~148.9℃	环境温度大于 4.4℃, 或者使用适合寒冷气候的透层油
Bituthene 5000	聚丙烯无纺布与橡胶地沥青形成的薄膜	最小加铺 38.1 mm 的沥青面层, 沥青面层最高温度在 135~148.9℃	环境温度大于 4.4℃, 使用 Bituthene P-3000 透层油, 不允许先施工粘结层
Royston	聚酯无纺布与改性沥青形成的防水薄膜	加铺最小 38.1 mm 沥青面层	环境温度大于 7.2℃时使用 Royston7BA 透层油, 环境温度介于 -3.9~7.2℃时, 使用 Royston74c 低温透层油
Petrotac	聚酯无纺布与改性沥青形成的防水薄膜	加铺最小 38.1 mm 沥青面层, 沥青面层最高温度在 148.9℃	未洒布透层油时环境温度应为 21.1℃, 若温度低于 21.1℃, 应使用 Henrys 透层油和 Field400 透层油
Geotac	聚酯无纺布与改性沥青形成的防水薄膜	加铺最小 38.1 mm 沥青面层, 不要求洒布透层油	环境温度大于 10℃, 没有最低面层温度的要求
Polyguard 655	聚丙烯无纺布与改性沥青形成的防水薄膜	加铺最小 50.8 mm 沥青面层, 要求洒布透层油	环境温度大于 4.4℃, 没有最低面层温度的要求, 但要求摊铺温度最高不大于 148.9℃
Bituthene H&B	聚丙烯无纺布与改性沥青形成的防水薄膜	加铺最小 38.1 mm 沥青面层, 要求洒布透层油, 沥青温度在 121.1~162.8℃	环境温度大于 4.4℃, 使用 Bituthene P-3000 透层油

表 6 不同厚度材料试验结果

材料代号	材料属性	试验结果
材料 A	厚 3 cm, 上表面覆有石屑	0.064 9
材料 B	厚 3 cm, 上表面覆有细砂	0.087 9
材料 C	厚 3 cm, 上表面无任何覆盖物	0.077 3
材料 D	厚 4 cm, 上表面无任何覆盖物	0.130 6

表 7 材料厚度对抗刺破性能的影响

防水材料代号	级配	碾压温度	观察结果描述
材料 A	AC-20	140℃	无破损, 8 处浅而小的黑斑
材料 B			无破损, 20 处大小不等的黑斑
材料 C			无破损, 有一大片明显的大小不等的黑斑
材料 D			无破损, 几乎无明显的黑斑

上述试验结果显示, 不能简单地说防水层越厚, 其抗刺破性能越好, 但防水层内胎体的抗冲击、顶破强度(与胎体厚度、材料组成、编织方式等有关)越高, 其抗刺破性能越好。另外, 防水材料有涂覆物比没有涂覆物好, 涂覆物中石屑又比细砂粒的抗刺破性能要高。

采用路面透水仪对试件进行抗渗试验, 结果发现渗水系数远小于 1 ml/min。采用自制不透水仪对所有试件进行试验, 结果所有试件在 0.4 MPa 压力、10 min 时间内均没有发生渗透, 这与材料未被刺

破、防水层与沥青混合料面层粘结良好有关。

## 6 结论

针对桥面防水材料使用过程中的选型问题, 得出如下结论。

(1) 根据桥面防水材料的使用环境, 提出了桥面防水材料的选型标准, 并对建筑防水材料用作桥面防水的可行性进行了探索。

(2) 提出了选择桥面防水材料的影响因素, 并着重对防水材料类型选择和厚度选择进行了研究。在不同使用环境下, 宜选择不同类型的防水材料; 推荐了国外常用的桥面防水材料; 卷材和涂膜各有优劣; 抗剪试验和抗刺破试验表明, 材料厚度及其覆面材料对抗剪强度, 尤其抗刺破性能有较大的影响。

## 参考文献:

- [1] 裴建中. 桥面柔性防水材料技术性能研究[D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2001.
- [2] 叶琳昌, 薛绍祖. 防水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [3] JTJ021-89, 公路桥梁设计通用规范[S].
- [4] 卢铁瑞. 立交桥桥面防水层性能研究及应用[J]. 石油沥青, 1996, 10(1).
- [5] GB50207-94, 屋面工程技术规范[S].