

北京地区桥梁防水概述

沈中治, 张捷, 黄顺禧

(北京市市政工程设计研究总院, 北京 100045)

摘 要: 论文通过一些桥梁破损实例, 论述了桥面防水的必要性以及防水层对提高桥梁耐久性所起的重要作用。结合北京市桥面防水的发展情况, 以及近年出现的问题, 论证了桥面防水层在其自身所处条件下的特殊要求, 探讨了桥面防水卷材的受力特点, 分析了出现问题的原因, 提出了解决思路和方法。

关键词: 桥梁; 桥面防水; 防水卷材; 北京市

中图分类号: TU761.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2005)02-0006-05

1 桥面防水的目的和设置防水层的必要性

桥面防水在国外已有 40~50 a 历史。就国内而言, 主要是改革开放后, 城市道桥建设大规模兴起, 桥面防水才提到日程上来, 也就只有 20~30 a 时间, 以往由于设计规范不够明确, 对桥面防水不太重视, 但 20 世纪 80 年代以来, 随着旧桥维修改造的增多, 发现由于自然界因素带来的破坏非常严重, 本该 70~100 a 的桥梁使用期, 仅 20~30 a 就出现问题了。

这些自然因素主要是三方面的影响:

一是水的侵蚀使钢筋生锈, 特别是北方化冰盐、氯离子作用、钢筋钝化膜破坏, 腐蚀生锈; 另外城市空气质量差, CO_2 、 SO_2 等含量大, 形成“酸雨”, 也加速了混凝土的碳化、酸化过程。

二是混凝土的碱骨料反应, 由于水的存在加上混凝土中的钙含量和活性骨料, 三者生成硅钙胶凝体, 使混凝土异常膨胀而破坏。

三是混凝土冻胀破坏, 水进入混凝土微孔中, 由于温度正、负交替作用, 形成的反复冰胀压力, 致使混凝土产生大量的疲劳裂缝而降低使用寿命。

这就是混凝土耐久性的三大问题。从因果关系来说, 上述问题都是和“水”有联系的, 我们再通过工程看看, 这方面的例子是很多的。

2002 年, 北京市三环路改造时, 对全线上跨的 46 座桥梁进行普查和检测, 其中 11 座是 20 世纪 80 年代修建, 另 35 座是 90 年代修建, 最长年限 23 a。

这些桥梁普通存在的问题是:

桥面破损坑凹不平, 排水不畅, 栏杆及隔离带混凝土剥落, 由于排水口及伸缩缝的损坏, 水流冲刷了附近盖梁墩柱, 造成梁端混凝土的损坏, 由于渗水, 主梁大多数出现表面水迹、石灰质凝结覆盖物。

以上现象大多是由于桥面防水排水不当而造成。

对于 20 世纪 90 年代修建的桥梁, 尽管年限不长, 但混凝土裂缝超过 0.2~0.3 mm 以上的仍有 13 座, 占 37%。钢筋中度锈蚀以上的 3 座占 8%。对于 80 年代修建的桥梁, 损坏程度更重, 结构裂缝超过 0.2~0.3 mm 以上的 7 座, 占 64%。钢筋锈蚀在中度以上的 3 座, 占 27%。其中就有 2 座桥梁 (占 18%) 由于主梁产生开裂和梁变形以及钢筋产生锈蚀而建议更换主梁重建。

以上是一般性的例子, 再看一些典型的实例:

(1) 西直门立交桥:

1980 年修建, 1999 年改建, 不到 20 a 的使用期。此桥改建时, 经权威部门检测如下。

a) 上部结构: 主梁漏水出现白斑, 主横梁交叉处开裂严重, 由于伸缩缝漏水牛腿酥裂, 支座老化, 个别伸缩缝挤向侧边。

b) 下部结构: 墩顶竖向裂缝, 根部融雪侵蚀横向裂缝, 盖梁竖向裂缝, 个别混凝土压坏。

c) 最后结论: 裂缝Ⅲ级 (损坏比较严重, 需要补强), 承载力旧桥折算系数 0.85, 此桥“整体上看不能长期使用”。

(2) 大北窑桥 (一期):

1984 年修建, 1998 年改建, 共使用 14 a, 经检测存在问题:

a) 上部结构钢梁锈蚀, 漏水, 高强螺栓及垫圈生锈, 使预加力降低。

b) 混凝土盖梁病态、表面腐蚀, 水流经过之处

收稿日期: 2004-10-30

作者简介: 沈中治 (1939-), 男, 浙江嘉兴人, 教授级高级工程师, 顾问总工程师, 从事桥梁工程设计。

开裂剥落沿钢筋纵裂宽 0.2~2 mm。混凝土表面白色沉积外露,碳化严重的 23~30 mm,混凝土含钙量 5.2~14.6 kg/m³,超过 2~3 倍。

c)结论:桥梁损坏是盐水腐蚀和北方冻融所致,另外碱骨料反应也是一个附加的因素。此桥需拆除重建。

(3)三元立交桥:

1984 年建,至今已有 20 a 的历史了,早在五六年前就开始加固,主要的问题是:

a)混凝土碱骨料反应严重,盖梁酥裂。

b)混凝土严重开裂、漏水,主梁严重变形破坏,已影响到安全性。

c)碱骨料反应,混凝土含钙量超过 5 倍。此桥现在属于加固使用的状态。

应该着重指出的是目前一些新建的桥梁、刚建完不久梁侧就已经出现水痕斑斑和白沫的现象。北京市一座 2002 年国庆通车的重要桥梁,在不到 10 个月的使用时间里,就发现箱梁腹板上出现水平裂缝,缝内夹有铁锈附着物,缝间经常渗水不断,后经凿开探知,原来是预应力管道压浆不实存水,又由于管道和梁顶锚区相通,加上梁顶的防水层没有做好,因此桥面水由此“通道”流出,幸好发现较早,预应力钢绞线还未生锈,尚未造成严重的后果!因此,桥面防水到目前为止,是我们必须充分重视并予以解决的迫切问题,刻不容缓!

2 桥面防水层的特点

桥面防水层不同于建筑防水层,它有下列特点:

2.1 使用条件

桥梁是处于动态的工作状态,汽车荷载行驶时除竖向压力外,还有水平的制动力,离心力等作用在桥面上,因此对防水材料要有抗剪切的性能。

2.2 施工条件

桥面防水层上有沥青混凝土铺装层,其施工时要高温摊铺,由此引起压路机对防水层的局部承压硌破力及防水层需具有耐高温的能力。

2.3 荷载的反复作用条件

桥面的车辆活载是可变的反复周期性地作用,因此桥面结构的应力、变形、裂缝都是反复周期性地变化着。从这个条件看,桥面防水层只能适用柔性防水材料(卷材型、涂料型),对那些刚性防水材料(渗透型、结晶渗透型、外掺剂型)是不适合的。

另外由于是反复荷载的作用,会引起混凝土受拉区产生疲劳,使混凝土裂缝既有扩展又有增加,造成

“裂纹累积损伤”的现象,所以“动载”裂缝的防水似乎比“静载”裂缝的防水显得更加重要得多。

基于上述的特点,对于适用于桥面的防水材料,必须在满足于原有建筑材料行业标准的前提下,再结合桥梁的特殊要求,对其项目和指标作一些调整和补充,如以路桥用的 APP 改性沥青聚酯脂防水卷材为例(GB 18243—2000),按照建筑防水材料的行业标准,其规定的物理力学性能有六项强制性指标外,还应补充新的项目,并对指标作调整。作为路桥用的防水卷材材料性能标准如表 1 所示。

表 1 防水卷材材料性能表

序号	项目	性能指标
1	材料指标	可溶物质含量≥2100~2900 g/m ² ,厚度 3~4 mm
2	不透水性	0.30 MPa,30 min 不透水
3	拉伸性能	拉力强度 800 N/5cm,延伸率 40%
4	耐热性能	120 ℃,无滑动、流淌、滴落
5	低温性能	低温柔度 r = 15 mm,25 mm(t = 3 mm,4 mm);-15 ℃无裂缝,低温拉裂-15 ℃≤8 MPa
6	人工老化	720 min 氙弧光灯法,外观 1 级,无滑动、流淌、滴落,拉力保持率 80%,低温柔度 -10 ℃无裂纹
7	抗硌破性能	130 ℃/2h,500 g,300 mm 冲击后,500 mm 水柱不渗水
8	抗剪性能	23 ℃,τ≥0.30 MPa;50 ℃,τ≥0.15 MPa
9	粘结强度	8 ℃, >0.70 MPa;23 ℃, >0.40 MPa

3 北京市桥面防水层使用和发展情况

北京市桥面防水材料的采用,有一个发展的过程,从时间上分,概括为三个阶段,即上世纪 80 年代前、后和本世纪初。

(1)早在 20 世纪 50—60 年代,在某些桥梁也曾设置过油毡、沥青类的防水材料,但限于认识水平、材料质量等因素,效果如何不得而知。

到 20 世纪 80 年代,改革开放带来道桥的大规模建设,桥面防水提到日程上来,工程上采用的基本上是卷材和涂料两种材料,前者有各种建筑防水卷材,后者有阳离子乳化沥青,Cal,聚合脂等等,这是第一阶段,是防水卷材和防水涂料共用的阶段。

(2)第二阶段是进入 20 世纪 90 年代以后,从首都机场高速公路开始,由于 APP 改性沥青聚酯脂防水卷材的出现,鉴于其耐高温、抗老化、抗硌破的优良性能,逐渐为工程界所接纳,并通过不少的试验研究,为适合桥面使用作了不断的改进,逐渐替代不够完美的防水涂料,最终它发展成一种独立的“路桥专用防水卷材”产品系列,进入了一个正规化使用时期。图 1 为桥面铺装及防水层构造图。

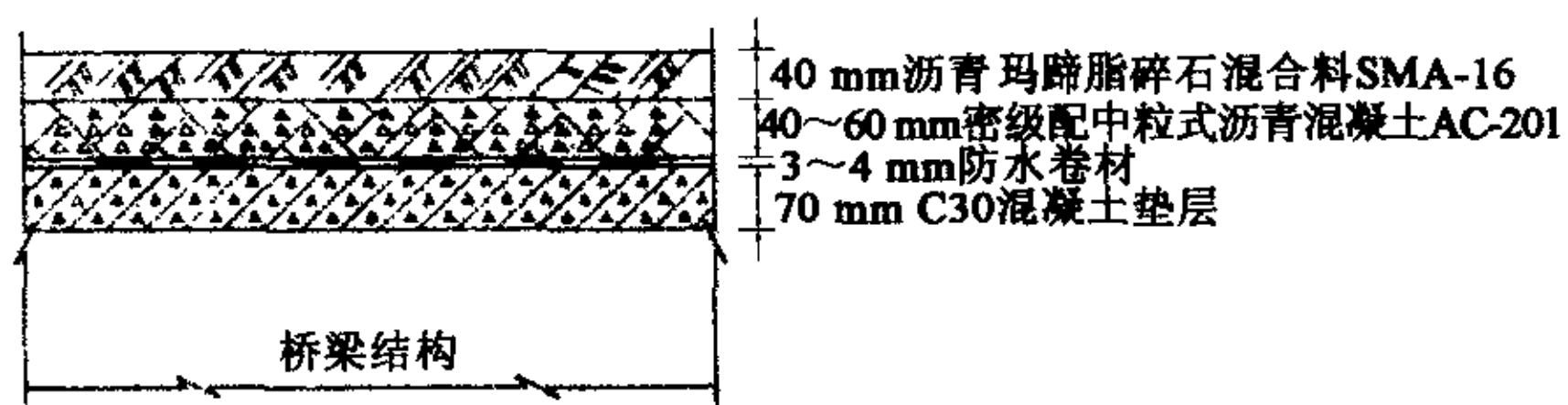


图1 桥面铺装防水层构造图

由于防水卷材大多有正规的生产厂家,质量容易保证,又由于防水效果明确。施工操作方便等原因,此后在我市的高速路、快速路、主干路上推广使用,使用范围占90%以上。

对于防水涂料(主要是阳离子乳化沥青六油两布),由于其厚度不易保证及各项物理力学性能指标(抗拉延伸率、抗硌破、渗透)低,仅在次干路、支路上采用。

对于其他刚性防水材料:渗透型、结晶渗透型、外掺剂型,如赛柏斯(XYPEX)、科密水(COMASTEL)、刚性K11等,只在个别场合下使用。

自20世纪90年代至今,路桥专用的“APP改性沥青聚酯脂防水卷材”已经存在有10多年的历史,大面积地使用在1992年以后的工程中,如北京三环路27万 m^2 ,四环48.5万 m^2 ,五环70万 m^2 等等。至今总共约有近千万平方米的桥梁使用面积,并也取得了设计、施工、养护,甲方的一致认可,具有无可争辩的优势,因此第二阶段是防水卷材十年发展时期。

(3)第三个阶段是2002年至今,从本世纪初开始,防水卷材在使用中出现了一些问题,尽管原因甚多,但问题现象单一,这就是防水层的“错动”。

首先是2000年5月,机场路航站楼2号桥拐弯处,桥面沥青铺装出现多道垂直裂缝(如图2)。

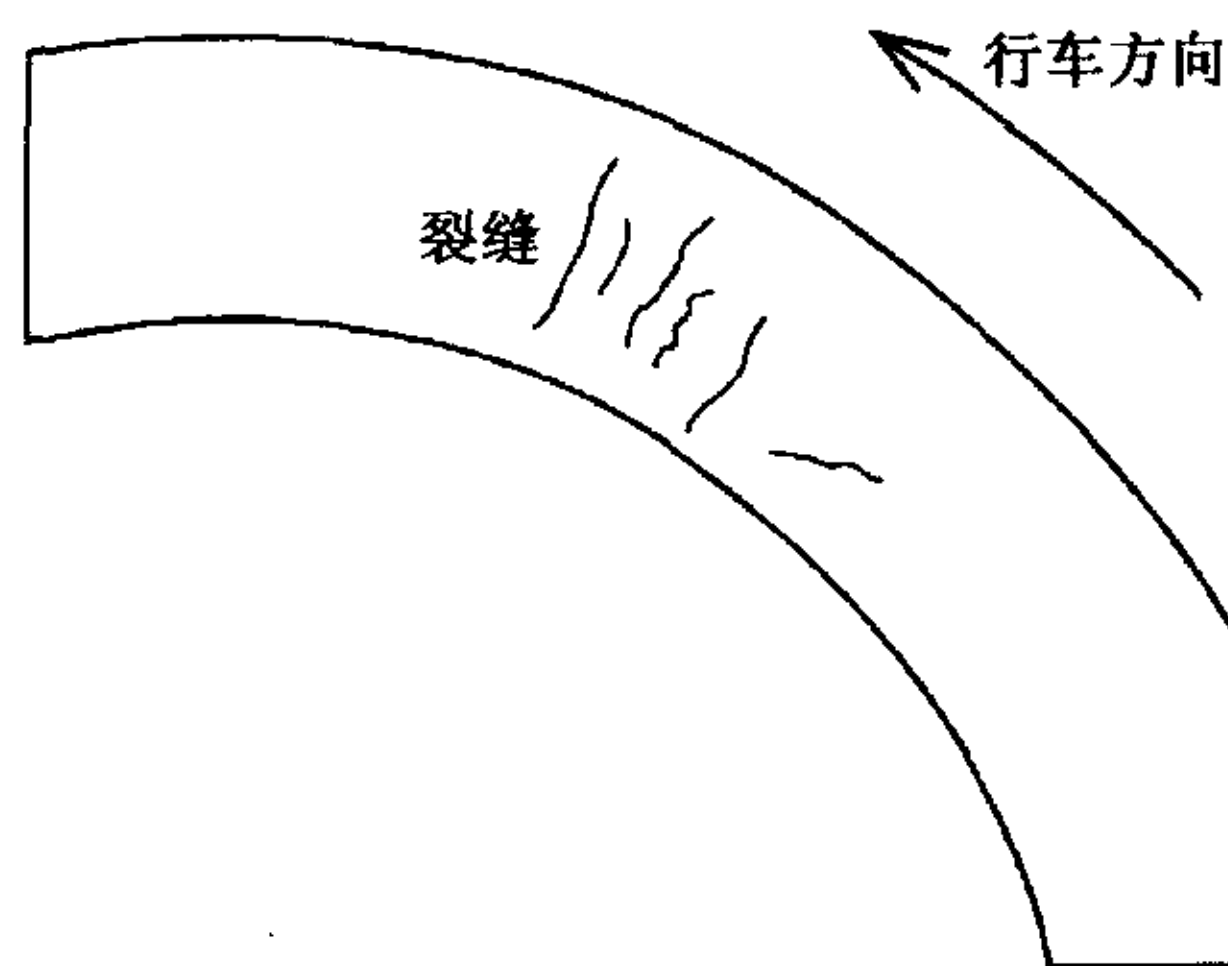


图2 多道垂直裂缝示意图

其原因:桥梁拐弯超高处由于卷材反水流方向铺设、水流渗入防水层下面,致使粘结性能降低,在车辆离心力作用下致使防水层沿混凝土桥面滑动。

其次是2002年8月,西四环复兴路、紫竹院、丰台高架桥等处局部出现了桥面铺装开裂,防水层错

动的现象,其普遍规律是:

- 铺装开裂的位置都在车道外侧上(重车道)。
- 在桥面下坡处,或在桥头红绿灯前。
- 一般都发生在高温天气或雨后。

最后,2003年5月六环路窑平路、京通路立交桥桥面,上述情况再次发生,呈现的规律是:

- 桥面上出现台阶型形状开裂裂缝,长宽约为10 m \times 1 m左右,横缝宽约5 cm(图3);伸缩缝附近也有较大横裂缝。

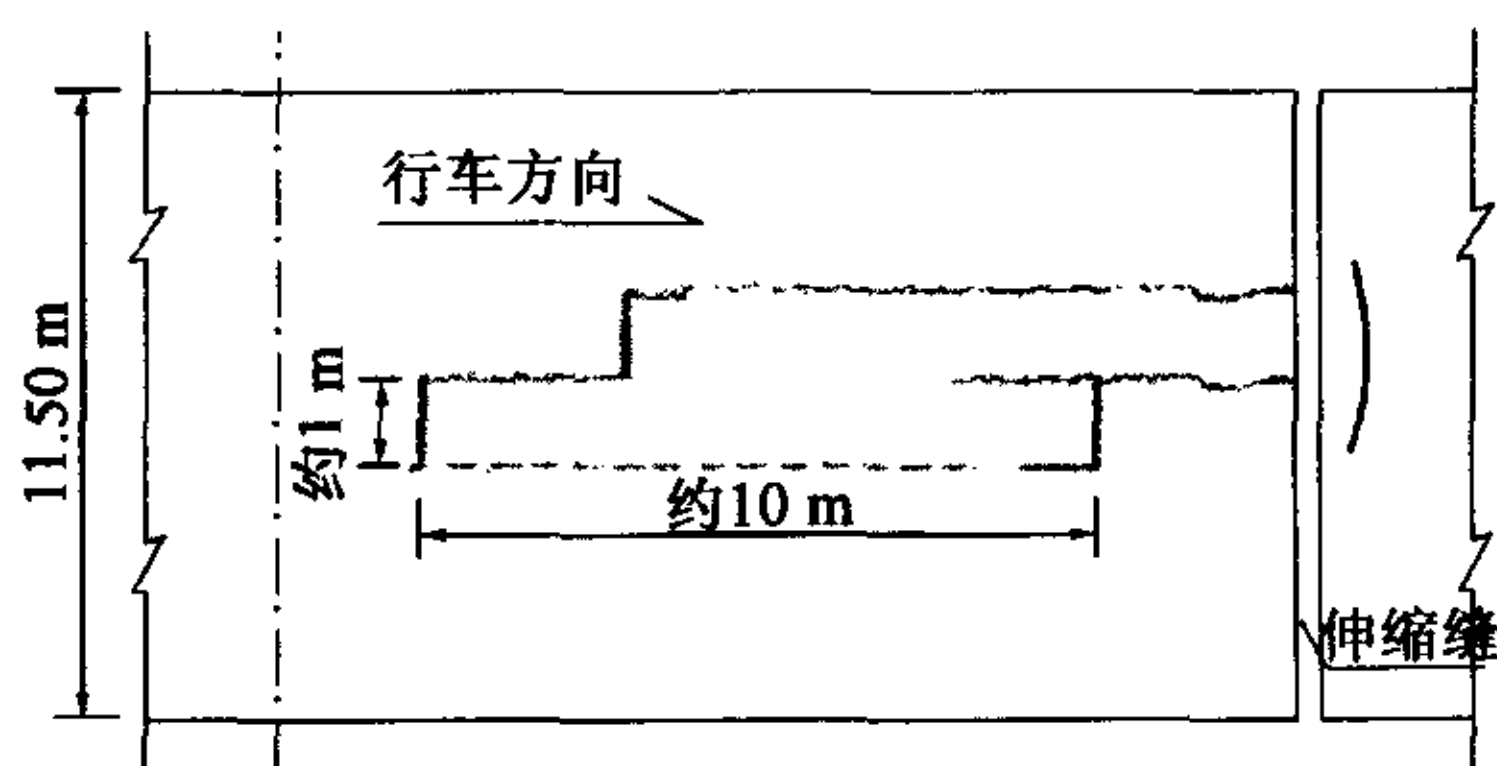


图3 台阶型形状开裂裂缝

- 由于在六环的上、下行线中以下行线(西→东)重载车很多,故均发生在下行线上,并以下坡的半桥居多。

- 刨开沥青混凝土铺装后,防水层容易用手揭起,混凝土基面光滑潮湿。

综述上面三组实例均反映了防水卷材和混凝土基面“错动”的事实,但就其原因来说是多方面的,概括为:

外因:水平荷载大——重车、超载作用,尤以下坡区,车辆制动区为甚。

内因:防水层抗剪强度低:

- 施工上:混凝土基面平整度、粗糙度、干燥度、粘结度差,卷材接头、铺设方法不对,逆向铺设防水层抢水。

- 设计上:构造问题有防水层与栏杆、中间隔离带、伸缩缝接头弱,对沥青面层渗水排泄不畅等。

- 总之,还没有一套完整的系统的适合桥面使用的防水卷材材料指标、设计施工规程等等。

目前,在防水卷材受到广泛质疑的前提下,如何总结经验、改进方法、提高质量、满足工程要求,这是工程界所共同关注的。

因此,第三阶段是一个桥面防水发展、改革、提高的阶段,它迫切需要跟上建设发展形势的要求,满足科技发展时代的需要。

4 防水层抗剪问题的探讨

4.1 关于水平剪力的大小

众所周知,车辆荷载作用在桥上,除了竖向压力以外,还会有水平方向的力,诸如车辆启动刹车时的制动力和弯桥上行驶时的离心力,以及桥面坡度形成的水平分力等等。上述诸力素均可按照规范公式计算,其数值的确定一般是不困难的。但是由于计算时所涉及的已知变量很多,在工程使用上却很不方便。

为了解决这个问题,我们借助于“摩擦力”的概念来解决。主要依据是:“车辆的各种水平力是通过车轮与桥面间摩擦力传递到桥面铺装乃至防水层上的”。

根据摩擦定律:

(1)物体在外力(F)作用下,其摩擦力(T)的大小和重量(W)与摩擦系数(f)的乘积成正比(图 4)。

$$T = W \cdot f$$

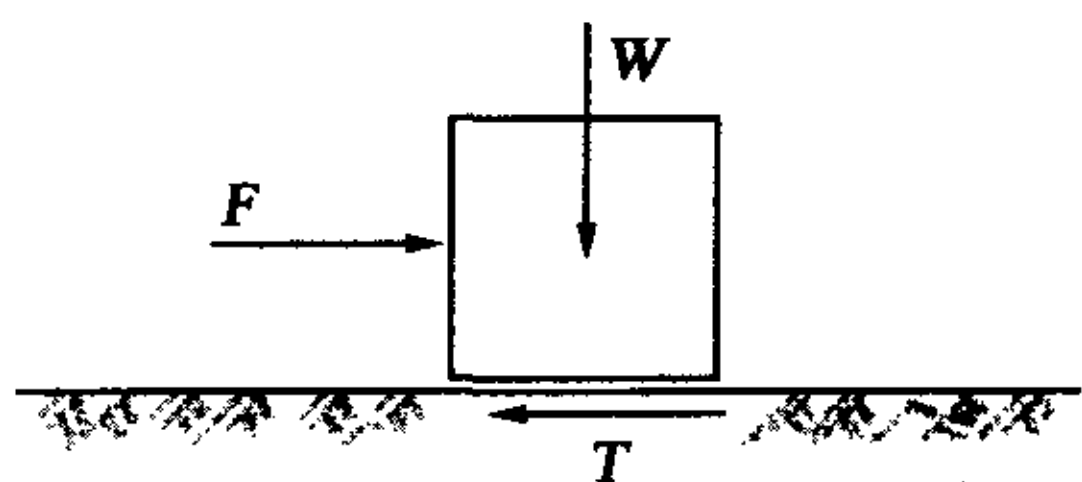


图 4 $T = W \cdot f$ 示意图

(2)当水平外力小于摩擦力时,物体不动为静摩擦,此时摩擦力等于水平外力值。

$$T = F$$

(3)当水平外力大于摩擦力时,物体滑动为动摩擦,此时摩擦力小于水平外力值(图 5)。

$$T < W \cdot f$$

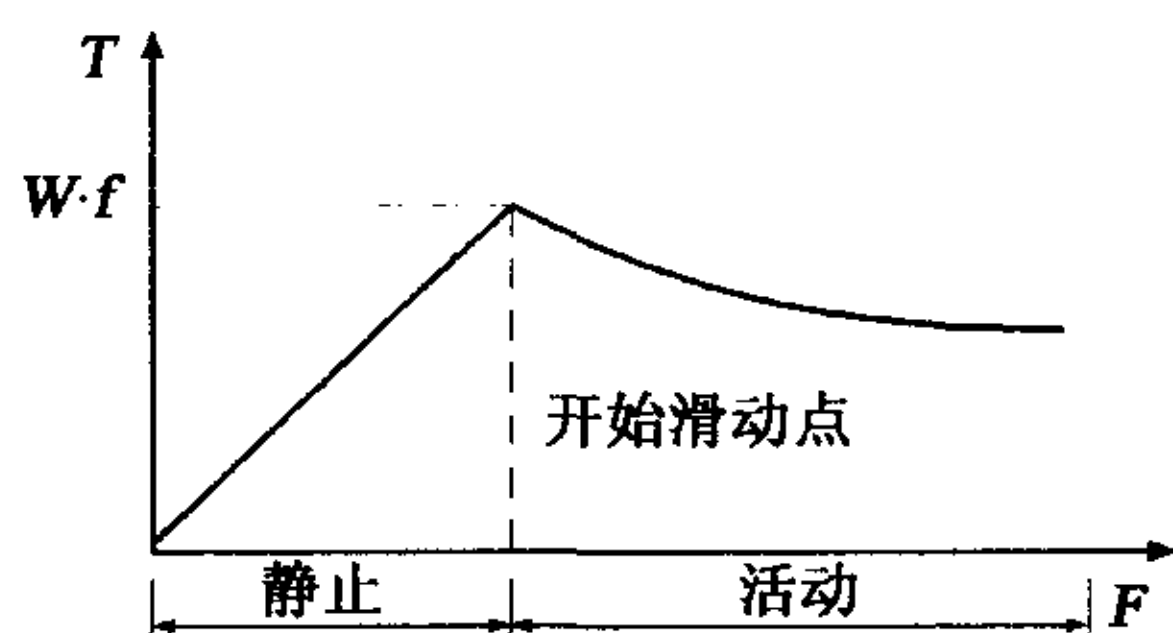


图 5 $T < W \cdot f$ 示意图

因此,可以认为不管水平外力值的大小都可以用一个最大的摩擦力值来包络。

如图 6 所示,在车辆荷载作用下,铺装和防水层的受力情况可以采用隔离体来分析:

τ :作用于铺装表面,由水平力产生的剪应力。

根据规范规定的加重车轮轮轴重量,轮子的着地面积和橡胶轮子和沥青混凝土的摩擦系数,计算而得正应力 $\sigma \approx 0.50 \text{ MPa}$, $\tau \approx 0.30 \text{ MPa}$ 。

τ_1 :作用于防水层表面的剪应力。

由于铺装层对表面荷载的扩散,以及铺装自身抗力作用传递到防水层的表面。

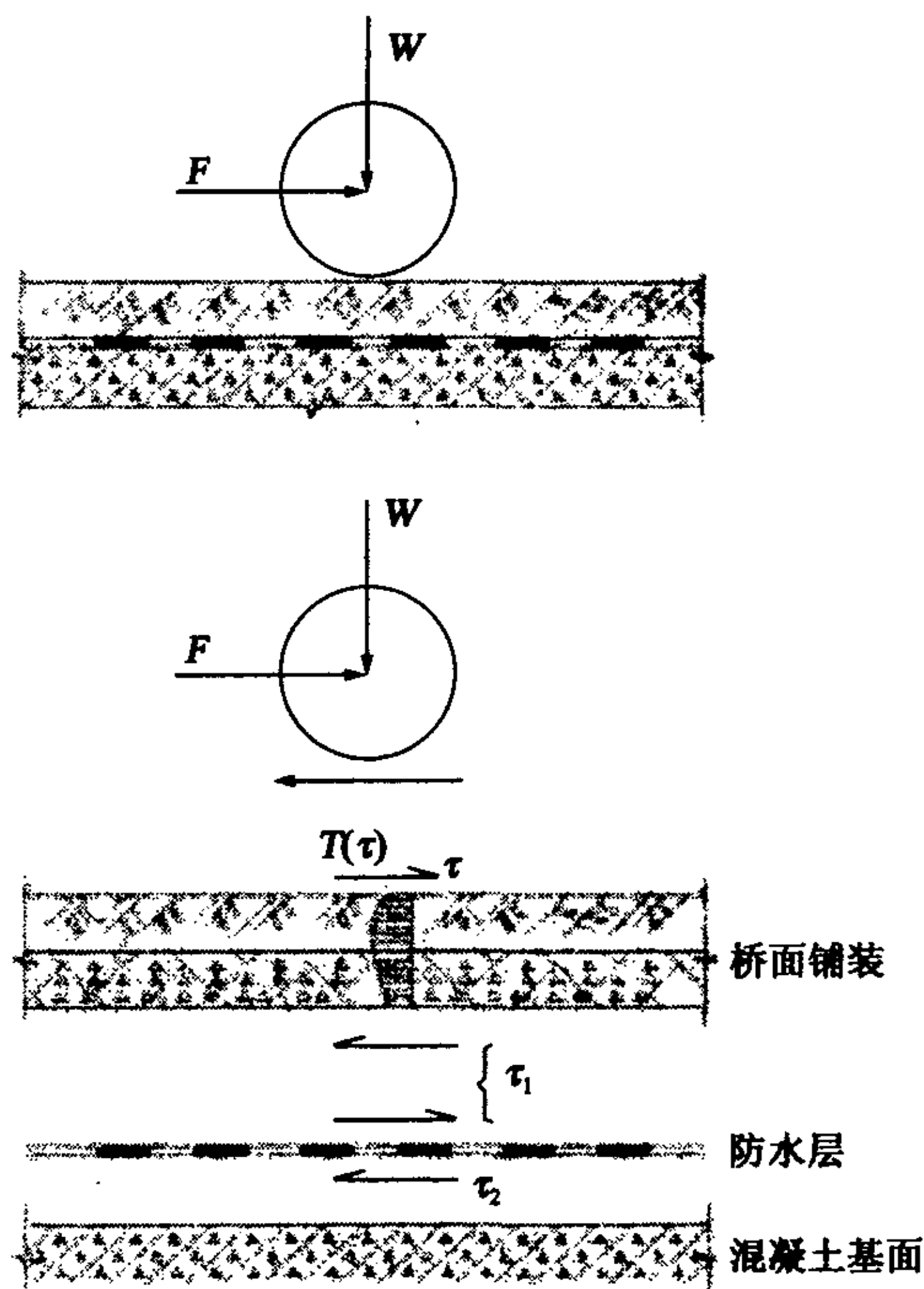


图 6 铺装层和防水层受力情况图

τ_2 :防水层和混凝土基面之间的剪应力。

由表面层的 τ_1 通过防水层整体传递至底面和混凝土基面之间的剪应力 τ_2 。

经计算得 $\tau_2 \approx 0.15 \text{ MPa}$ 。

这就是确定了前面所说的控制防水层与混凝土面的抗剪强度数据。它是必须要满足的,不满足就会滑动。

关于抗剪强度的测试方法如图 7 示。

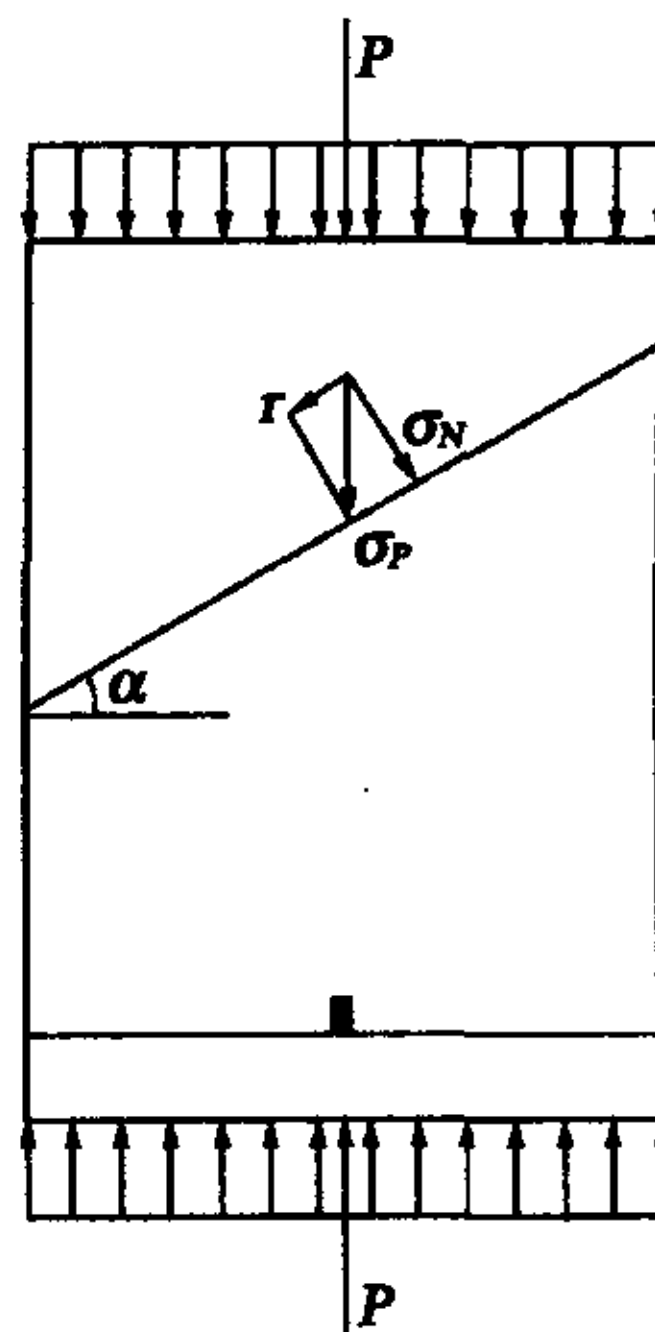


图 7 抗剪强度测试示意图

由于车辆水平力和垂直力是相“偶联”的,因此可以推导出剪应力 τ 和正应力 σ_N 成下列关系公式:

$$\sigma_N = \sigma_P \cos^2 \alpha \quad (1)$$

$$\tau = \sigma_P \sin \alpha \times \cos \alpha \quad (2)$$

由上式(1)、(2)中将:

$\sigma_N = 0.50 \text{ MPa}$, $\tau = 0.30 \text{ MPa}$, $\alpha = 10 \text{ cm}$ 代入,
得: $\alpha = 31^\circ$, $\sigma_P = 0.681 \text{ MPa}$, $P = 6.80 \text{ kN}$

由于正应力 σ_N 和剪应力 τ 存在一定的关系,试验时,当剪应力未达到 0.30 MPa 时,正应力还未达到 0.50 MPa 和实际情况虽然还存在差异,但这样做认为是安全的。

4.2 影响抗剪的因素

经过分析,主要有以下几点:

(1)桥面铺装的厚度、硬度及稳定度。铺装越厚,硬度越高,高温稳定性越好就越不易滑动。

(2)防水层厚度。防水层薄不易滑动,但又不能无限减薄它的厚度,因为它又和防水性能形成一对矛盾。

(3)混凝土基面的影响。要求表面平整,粗糙及干燥不含水份。

(4)施工因素。混凝土基面处理合格,卷材 100% 粘结,要融透及均匀,接头方式满足要求。

(5)要解决好材料中:耐高温~耐低温,强度~延伸率,厚度中:防水~抗剪;粗糙度中:硌破~抗剪的一系列矛盾,要找出它们的“优化点”予以取用。

(6)桥面构造:排水(包括渗水)畅通,伸缩缝、隔离带、泄水孔等与防水层的细部衔接处构造要合理。

总之,影响因素是多方面的,是一个“系统工程”,要通盘考虑,选择最佳方案。

5 几点意见

(1)桥面防水是涉及桥梁耐久性的重要内容,对延长桥梁使用寿命起到关键性的作用。必须严格做到,并建议在桥梁设计规范中列为强制性条文执行,不能忽视。桥面防水层的价格只占桥梁造价的 $1\% \sim$

2% ,如果你忽视它,以后造成的损失,其代价会超过 $10\% \sim 20\%$ 还多,这是最不合算的。

当前急需制定桥面防水材料的技术标准,并制订出相应的设计、施工、技术规程。加强技术研究,以达到新的水平。

(2)桥面防水是一个“系统工程”,光靠防水层材料是不够的,任何优良的防水材料,还要和结构、施工、使用、自然条件等配合,才能起到完美的作用。关于“系统防水”的概念,国外(德国)就很明确,我们近年来通过工程的实践,对此认识也越来越深刻。因此我们必须通盘考虑,综合治理来解决好桥面防水问题。

(3)防水卷材是一种良好的桥面防水材料,国外(如德国、美国等)大量采用,国内使用也有 10 多年的历史经验,目前迫切地需要解决抗剪“错动”问题,据笔者理解可从下列方面考虑:

a)提高卷材材料的高温抗剪性能、指标。

b)革新卷材“接头”构造,试采用机械的办法,如“压条”、“锚钉”等既实用又方便施工的方法。

c)改变桥面沥青铺装层材料的性能,使其增加刚度、强度、热稳定性等(如德国采用浇铸沥青混凝土等)。

d)混凝土基面的处理要求达标(也可以找出一种适合的粘结材料等)。

(4)桥面防水从目前的情况来看,应采用柔性防水材料,尽量不用刚性防水材料,而柔性材料中还应以卷材为主,涂料为副的方针,至少在北方地区应该是这样。

本文得到穆祥纯副院长的指导和建议,在此表示感谢!

巫峡长江大桥建成通车

巫峡长江大桥于 2001 年年底开工兴建,历经 3 a,于 2005 年 1 月 8 日建成通车。该桥全长 612.2 m ,主跨 492 m ,引道全长 7.4 km ,耗资 1.96 亿元。

该桥系大型钢管拱桥,是目前世界上跨度最大的中承式钢管拱桥。

巫峡是长江三峡之一,大宁河在重庆市巫山县境内汇入长江,形成高峡出平湖的美景。在湖面的东南方向,就是巫峡口。巫峡长江大桥就紧紧“扎根”在两岸的峭壁上。这座大桥遍身桔红色,远远望去,巨大的拱形桥梁就象一道迷人的彩虹,与周围景致浑然一体。站在桥上眺望对面的巫山移民新城和大宁河小三峡口,如同欣赏一幅气势恢弘的画卷;转身再看巫峡,长江象巨龙一样流淌在风光秀丽的巫峡十二峰中,令人叹为观止。大桥下面,时有轮船驶过,给长江带来生气和活力。