

文章编号:1671-8879(2006)03-0026-04

桥面防水系统设计方法

裴建中

(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)

摘要:根据桥梁的类型、性质、重要程度、结构特点和使用功能要求等将桥梁防水等级分为三级,设计时按不同等级设防。基于桥梁防水分级,对桥面防水系统的设计年限进行了研究,相应于桥梁防水等级的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级,防水系统的设计年限分别为 20 a、15 a 和 10 a。同时,提出了以抗剪强度为指标的防水系统结构设计方法,并对桥面细部构造设计提出了建议。最后对防水材料选择的指导原则和需要进行的室内试验评价指标进行了阐述。

关键词:道路工程;桥面;防水系统;防水分级;设计年限;设计方法

中图分类号:U443.31 **文献标识码:**A

Design Method of Waterproofing System for Concrete Bridge Decks

PEI Jian-zhong

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: According to the types, quality needs, structure performance and function of bridges, the waterproofing systems for concrete decks are divided to three grads. When designing the waterproofing systems, the plans are different with different grads. Based on the classifications, the life of waterproofing systems is studied. Corresponding to the gradeⅠ, gradeⅡ and gradeⅢ, the life of waterproofing systems is respectively 20 years, 15 years and 10 years. The design method of the waterprofing systems is presented, the method is based on the indices of anti-shear strengthe of structure. The suggestions about how to select waterprofing materials in different conditions are put forward. 4 tabs, 4 figs, 6 refs.

Key words: road engineering; concrete bridge decks; waterproofing system; waterprofing grads; design life; design method

0 引言

混凝土桥梁的耐久性问题一直受到人们的关注,其中混凝土内钢筋的锈蚀是导致混凝土结构耐久性降低的重要原因之一^[1-2]。钢筋锈蚀使钢筋截面积减小,直接影响结构的承载能力;同时当钢筋发生锈蚀时,锈蚀部分的体积发生急剧膨胀,甚至为原

来体积的 10 倍以上,从而对周围混凝土形成挤压,造成混凝土开裂、剥蚀,使截面有效尺寸减小,导致结构承载能力下降。钢筋锈蚀还会降低混凝土对钢筋的握裹力,并导致钢筋的预应力损失,严重影响结构寿命。

解决这一问题的常用方法是在桥面铺设柔性防水层。防水层可以同时保护桥面板和主梁钢筋不被

炭化和腐蚀破坏;防水层还可阻止渗入面层的水穿透梁体,避免在桥梁上形成钟乳石和白色盐霜,影响美观^[3]。但是该技术在中国尚未有成熟的理论指导和系统的经验总结,实践中问题较多。为此,本文研究提出桥面防水系统的设计方法。

1 桥面防水分级

目前国内外使用的防水材料种类繁多,不同材料性能差异较大,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,从防水的角度将桥梁分级,按不同等级设防。

现代桥梁中大多数都配钢筋或预应力钢筋,因此桥面防水分级主要考虑主梁中配钢筋的桥梁。

城市立交桥交通量大、水的渗流会影响城市桥梁美观,必须采取有效的排水防水措施;而北方的城市立交桥冬天多采用撒防冻盐的方式来除雪,因此宜将城市立交桥列入较高的防水等级。

桥梁跨径不同,动荷载的冲击影响也不一样,因此应将各种跨径桥梁分别设防。

高等级公路中的桥梁宜采用较高的设防等级,主要是考虑到高等级公路中交通量大,且较其他同类桥梁重要。

当桥面合成坡度大于 6% 时,不宜设防水层,原因有二:一是汽车在正常行驶时就会在铺装层内引起较大的剪应力,从而会使桥面铺装沿粘结薄弱的地方滑动而破坏;二是当桥面合成坡度较大时,桥上纵向排水已十分通畅,滞留在路面结构内的水分也较少,对主梁的破损影响也相对较小。

经过综合研究,桥梁的防水分级见表 1。

表 1 桥梁防水分级

防水等级	桥 梁 类 别
I 级	城市立交桥;特大桥、大桥;跨海或临海桥,或长期受盐类或腐蚀性物质侵蚀的桥梁;寒冷地区冬天定期使用防冻盐类的中桥
II 级	中桥;高等级公路中的中小跨径桥梁
III 级	所有需设防水层的小桥

2 桥面防水层设计年限

确定防水层的设计寿命,首先应确定防水层的防水失效模式和判据。一般情况下,作为有机物的防水层材料,经过长期多变的荷载和结构综合作用后,宏观表现为老化、疲劳、裂缝(或龟裂),粘结能力、延伸能力和各种强度都明显降低;其微观表现为

许多官能基团的转移、氧化、重组、分解和丧失,其中老化和疲劳造成的破坏最为致命,往往使防水层失去应有的防水效能。考虑到防水层的功能,如果不能有效防水,或使面层加速破坏,就可以判定其已经达到设计年限。

综合已有的经验,防水层的设计年限取决于以下几个因素:①防水层材料自身的性能;②面层特性(包括面层厚度、级配类型等);③系统所处环境。由于中国桥面防水的时间、经验和所积累的数据有限,因此暂时难以对各因素做出准确的量化评估。

在沥青混凝土路面设计年限的规定中,对于高速公路、一级公路的设计年限为 15 a,二级公路的设计年限分别为 12 a 和 10 a(对应面层分别为沥青混凝土和热拌沥青碎石、沥青注入式),三级公路和四级公路的设计年限分别为 8 a 和 5 a。正常情况下沥青面层达到寿命后将重做面层,或在原路面上罩面,或将原面层铲除重铺,视原路面的实际破坏情况而定。罩面时,防水材料又会遭受一次热冲击,而此时的防水层材料经过十几年的运营,性能已经严重退化,能否继续有效使用,值得怀疑;铲除重铺时,与面层粘结的防水层必然遭到破坏(尤其面层较薄时)。因此,宜将防水层的设计寿命与相应等级的面层设计寿命相同。考虑到防水层不应在面层破坏前损坏,因此宜将防水层设计年限比面层提高 1~5 a。

表 2 桥梁防水层设计年限

桥梁防水等级	I 级	II 级	III 级
防水层设计年限/a	20	15	10

3 桥面防水系统结构设计

3.1 桥面防水系统组成

防水系统应包括防水和排水两部分,通过有效的排水措施,如桥面纵坡、横坡和一定数量的泄水管,将路表滞留水迅速排除,有利于桥面防水。由于防水层不能单独应用于桥面,必须和其他结构层配合使用,才能确保有效防水,因此防水层仅仅是防水系统的一个重要组成部分。混凝土桥面防水系统一般由以下结构层组成(图 1)。

3.2 桥面防水系统结构设计方法

- (1)根据桥梁特性和实况,确定桥梁防水分级。
- (2)根据桥梁防水分级、面层情况和其他影响因素,选择防水材料及其相关指标。
- (3)对所推荐材料及其结构进行室内试验,进行性能验算。

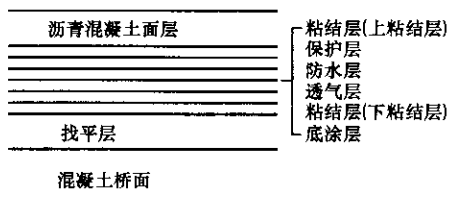


图1 防水系统结构图

(4) 进行细部结构设计。

据调查,层间抗剪性能不足是桥面铺装破坏的主要原因,因此在桥面铺装设计中,采用抗剪强度作为设计指标。按照极限状态法设计原则,荷载效应的设计值 S_d 须小于或等于结构抗力效应的设计值 R_d , 即 $S_d \leq R_d$ 。

对于荷载效应的设计值,可用理论计算的方法求得。如文献[4],根据不同的面层厚度来确定相对应的在垂直和水平荷载作用下的最大剪应力,当面层为常见的“5+4”结构(5 cm 的沥青混凝土下面层和 4 cm 的沥青混凝土抗滑表层)时,厚度为 9 cm,此时防水层与沥青混凝土层间的 $\tau_{\max 1} = 0.3266 \text{ MPa}$,防水层与水泥混凝土桥面间的 $\tau_{\max 2} = 0.2438 \text{ MPa}$,结构的容许抗剪强度 $\tau_m = \max\{0.3266, 0.2438\} = 0.3266 \text{ MPa}$ 。

材料的抗剪强度可在室内试验确定。在利用直剪试验确定材料抗剪强度时,对结果影响较大的因素包括:试验时的垂直压力、水平剪切速率、温度和混凝土的表面状况,表达式为

$$\tau_R = f(\sigma, v, T, Q) \quad (1)$$

式中, τ_R 为结构的容许剪应力; σ 为试验时的垂直压力; v 为试验时的水平剪切速率; T 为试验时的环境温度; Q 为混凝土表面状况。

因此材料在实际的行车速度、垂直压力、温度和桥面状况时,其抗剪强度应大于 0.33 MPa ; 一般情况下, $v = 40 \sim 120 \text{ km/h}$, 取决于设计速度, $\sigma = 0.7 \text{ MPa}$, $T = 25^\circ\text{C}$, Q 为原始表面,未作任何处理。

对不同的材料(材料类型、厚度等),上述因素影响规律不同。在实际试验时,上述参量可以适当调整,以方便试验。如建立实际行车速度与试验时的剪切速率关系,可以假设材料抗剪强度适用于摩尔-库仑理论,对试验材料回归出 c 和 φ 值,而 c 值只与剪切速率有关等,就可以确定试验时的抗剪强度。此时,桥面抗剪强度可按式(2)进行验算。

$$\tau_m < \tau_R \quad (2)$$

3.3 桥面防水系统细部构造设计

防水系统细部构造设计包括路缘石、护栏、泄水管、伸缩缝等处防水层的设计。

伸缩缝处的防水层最难处置,常规的方法是直接将防水层向上折起与混凝土壁粘结牢固,向上延伸的长度不小于 5 cm 。有时伸缩缝施工时是先铺面层,后单独做伸缩缝,此时应在铺防水层时预留一定长度(大于 10 cm),然后在做伸缩缝的混凝土时将其压进去。如果在伸缩缝处设置渗水花管,此时防水层应包住渗水花管(图2)。

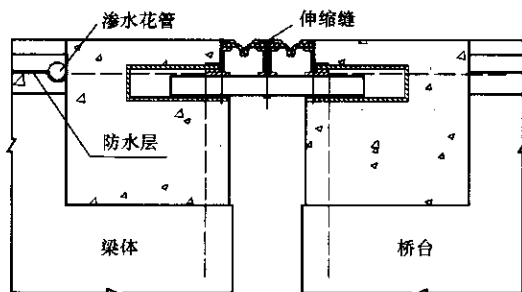


图2 设渗水花管时防水层设置

防水层可以在整个桥面满铺,压在护栏下面。这种方法简单,但容易受到护栏(路缘石)等施工时的破坏,并不可靠。因此,应将防水层沿护栏向上折起、贴紧。另外还可以在内侧拐角处用水泥砂浆砌成 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 的圆弧,有时可在护栏上距离桥面 5 cm 的地方向内凿成 $5 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 的凹槽,将防水层向上折进去后贴紧,然后用聚氨酯胶泥或水泥砂浆填充、修整光滑(图3)。

泄水管处防水层须垂直伸下泄水管约 5 cm ,并设法将其与管壁粘结牢固(图4)。

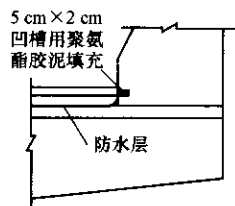


图3 护栏处防水层处置

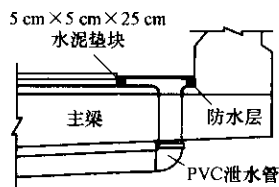


图4 泄水管处防水层设置

4 桥面防水系统材料设计

4.1 防水材料选择指导原则

4.1.1 桥梁防水分级

桥梁防水共分为三级,防水等级越高,对防水的要求和材料的要求也越高。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。因此可采用柔性防水材料与结构自防水或刚性防水剂等方式相结合。

4.1.2 气候

试验证明,防水材料的温度敏感性较大,不同材料的温度敏感性不同。国外研究表明,当环境温度为

30℃时,暴露在外的防水层中温度可达 70℃~75℃,50 mm、100 mm、150 mm 沥青面层下的防水层温度分别可达 50℃~55℃、40℃~45℃、35℃~40℃,有可能超过防水层的软化点;当气温降到-20℃时,暴露防水层、50 mm、100 mm、150 mm 沥青面层下的防水层温度分别为-18℃、-14℃、-10℃、-10℃。因此需要针对不同地方的气候特点优选防水材料。

4.1.3 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。

4.1.4 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同,选择材料时应考虑面层的结构类型。

4.2 防水材料室内试验评价方法

桥面防水材料在使用之前,须进行必要的室内试验,以检验其性能是否满足桥面要求。桥面防水材料的室内试验性能评价可分为两部分,分别为物理性能评价^[5]和路用性能评价^[6](表 3、表 4)。

表 3 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 4 桥面防水材料路用性能试验评价

指 标	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按照计算结果确定的值
耐老化性能	加速老化后延伸性比未老化前不能降低很多

5 结 语

(1)各类防水材料性能差异较大,所能起到的防水效果不同。根据桥梁的类型、性质、重要程度、结构特点和使用功能要求等将桥梁进行防水分级,共分为三级,设计时按不同等级设防。

(2)基于桥梁防水分级,对桥面防水系统的设计

年限进行了研究,相应于桥梁防水等级的 I、II、III 级,防水系统的设计年限分别为 20 a、15 a 和 10 a。

(3)为便于工程设计,提出了以抗剪强度为指标的防水系统结构设计方法,并研究了桥面细部构造设计。

(4)在桥面防水系统材料设计中,提出了材料选择的指导原则和需要进行的室内试验评价指标。

参考文献:

References:

[1] 陈先华,黄 卫,王建伟,等. 浇注式沥青混凝土铺装破坏原因[J]. 交通运输工程学报,2004,4(4):5-9.
CHEN Xian-hua, HUANG Wei, WANG Jian-wei, et al. Damage Causes of Mastic Asphalt Pavement on Orthotropic Steel Deck Plate[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(4): 5-9.

[2] 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 of Technical Performance of Waterproofing Material for Bridge Decks[D]. Xi'an: Chang'an University, 2001.

[3] 王钧利. 桥面铺装疲劳性能参数及可靠性[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(3):39-42.
WANG Jun-li. Fatigue Performance Parameters and Reliability of Bridge Deck Pavement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(3): 39-42.

[4] 张占军,王 虎,胡长顺,等. 水泥混凝土桥面沥青铺装及防水层荷载弯曲应力分析[J]. 中国公路学报, 2004,17(4):37-40.
ZHANG Zhan-jun, WANG Hu, HU Chang-shun, et al. Analysis of the Load Bending Stress of Concrete Bridge Decks with Asphalt Pavement and Waterproofing Layer[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(4): 37-40.

[5] 张占军,周庆华,胡长顺,等. 桥面防水层 90°剥离仪的开发及实验[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004, 24(5):35-39.
ZHANG Zhan-jun, ZHOU Qing-hua, HU Chang-shun, et al. Testing and Developing of 90° Peel Apparatus for Concrete Bridge Deck Waterproofing Layer[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24 (5): 35-39.

[6] GB50207-94. 屋面工程技术规范[S].
GB50207-94. Specification of Roofing Engineering Technology[S].