

文章编号: 0451-0712(2006)08-0285-04

中图分类号: U416.217;P333

文献标识码: B

# 多孔混凝土基层排水分析与计算

吴 彬

(广东广珠西线高速公路有限公司 佛山市 528312)

**摘 要:** 根据水力学的相关原理,分析了地表水通过沥青混凝土路面下渗的渗流规律、自由水在多孔混凝土排水基层中的流动状态和排除过程,计算了多孔混凝土排水基层满足排水要求的最小厚度,并对排水系统设置的场合进行了讨论。

**关键词:** 多孔混凝土; 基层排水; 设计渗入量; 排水能力; 渗流时间; 排水系统; 基层最小厚度

多孔混凝土亦称为大孔混凝土或多孔贫混凝土等,作为一种新型的排水基层材料,是介于水泥稳定碎石和普通水泥混凝土之间的一种贫水泥混凝土。由于具有更开的级配,并较之水泥稳定碎石的水泥用量有所增大,多孔混凝土的排水性能和强度都比水泥稳定碎石有很大提高。

国外对多孔混凝土做了不少研究,亦广泛应用在公路建设中。但我国在这方面起步较晚,始于1990年。2004年初,笔者参与建设的广珠西线高速公路,修筑了应用多孔混凝土组成排水系统的试验路,并以此为基础,进行了多孔混凝土基层在高等级公路沥青混凝土路面中的应用研究。

## 1 基层排水过程分析

### 1.1 渗流基本定律

液体在具有空隙的介质中流动时,要克服复杂

的边界摩阻作用,由此可见,流动中的能量损失对渗流运动有重要影响。19世纪中叶,达西(Darcy)通过大量试验得到了渗流能量损失与渗流流速之间的基本关系,即达西定律。其基本关系可表示为:

$$Q = kJA \quad (1)$$

式中: $Q$ 为渗流流量; $k$ 为反映土体透水性质的比例系数,亦称渗透系数,具有流速量纲; $J$ 为渗流坡降; $A$ 为截面面积。

圆筒渗流的断面平均流速是:

$$V = Q/A = kJ \quad (2)$$

由于均匀渗流流场中各点的流动状态都相同,故任一点的渗流流速有:

$$v = kJ \quad (3)$$

式(2)、式(3)统称均匀流的达西公式,反映液体在全场均匀流动的特点。

达西定律表明渗流水头损失与流速呈线性关

收稿日期:2006-07-11

面雨水积滞后渗入桥面铺装结构中的水。在施工过程中发现桥面雨水积滞而渗入桥面铺装结构的现象较为严重,并且无法及时排出。

为了迅速排除桥面积水,防止雨水积滞于表面并渗入梁体而影响桥梁的耐久性,在桥梁设计时除了通过纵横坡和桥面泄水孔排水外,还要有一个更完整的排水系统。为了迅速将渗入桥面的水排出桥面,在桥面的边缘增设一道断面尺寸为 $8\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 的碎石盲沟与桥面的泄水孔相连接。通过半年的运营实践证明,对桥面排水系统的更改是必要的、成功

的。调整后的桥面排水系统不仅能及时将桥面的雨水排出桥面,同时也能及时地将渗入桥面铺装结构中的雨水排出。

## 3 结语

中江高速公路通过近半年的运营,整条高速公路的排水系统良好,能及时地把路基、路面、桥面上的雨水排到路基之外,说明根据现场情况局部调整和优化后的中江高速公路路基路面排水设计,是满足排水需要的。

系。研究表明,随着渗流流速增大,水头损失将与流速的 1~2 次方成比例。这说明达西定律所反映的基本线性关系,只是渗流在层流运动时所遵循的规律,因此达西定律只能适用于层流渗流。渗透系数为单位水力坡度下的渗流流速,综合反映了土和水两方面对透水性能的影响。渗透系数的大小主要取决于结构中颗粒的性状、大小、组成情况和水的粘滞性,目前确定渗透系数的常用方法有以下几种。

(1)经验法。在进行初步估算同时又缺乏可靠的实际资料时,可以使用有关规范、已建成工程的资料和经验公式来确定。

(2)实验室测定法。在实验室中建立模型模拟现场情况,采用达西试验装置测定渗透系数。

(3)现场测定法。通过现场钻芯取样,现场利用达西试验装置测定渗透系数。这种方法真实可靠,但需要较多的人力和物力。

## 1.2 排水基层内水文分析与计算

### 1.2.1 水在基层内的流动状态及排除过程

多孔混凝土排水基层采用的是透水性材料做基层,是一种路面排水层排水系统。降落在沥青混凝土路面上的水通过路面裂缝、左侧路缘带及路肩处的缝隙渗入到路面结构层中,首先通过竖向渗流进入排水基层,然后由横向渗流进入到纵向排水管道,最后经由按一定距离设置的横向排水管道排至路基之外。

### 1.2.2 分析与计算时的要求

排水系统中各项设施的排水能力应有所区别。具体来说,对于多孔混凝土排水基层排水系统,排水基层的排水能力应大于沥青混凝土路面水的渗入量,沿路线方向的纵向集水管排水能力应大于排水基层的排水能力,沿路线方向每隔一定间距设置的横向排水管的排水能力应大于纵向集水管的排水能力。

多孔混凝土排水基层的各项设施,应能顺畅排除渗入到沥青混凝土路面结构内的水。由于客观条件的限制,无法对水的渗入量进行准确估计。同时,多孔混凝土排水材料渗透系数的测定也存在一定的误差。所以,设计时各项设施的排水能力应预留较大的安全度通常,对于排水能力的安全系数采用 2.0。

为保证路面结构浸水时间不会过久,防止寒冷地区排水基层内的水分结冰膨胀导致基层内产生较大的破坏应力,水在路面结构内的渗流时间不能太久,渗流路径也不能太长。我国公路排水设计规范对

不同情况的最大渗流时间有不同的要求,具体见表 1。渗流路径的长度不宜超过 45~60 m。

表 1 不同情况最大渗流时间

不同情况	最大渗流时间/h
轻交通	4
重交通	2
冰冻地区	1

为防止过细颗粒进入排水设施中,设计时应考虑设置反滤装置以保证排水通道的畅通,同时应考虑建成通车后养护和维修的方便。

### 1.2.3 渗入量、排水能力、渗流时间等指标的分析

(1)设计渗入量、多孔混凝土基层排水系统的设计流量等指标的分析。

为合理确定渗入路面结构内水分的数量,需考虑以下一些因素:公路途经地的降水情况,如降水强度、降水的时间范围等;公路裂缝发展的程度、范围;沥青混凝土面层空隙率的大小及透水性的好坏等。实践证明,不同地区或同一地区的不同地段,以上因素的变化较大,因此准确确定表面水渗入路面结构内的数量比较困难。目前,有两类确定设计渗入量的方法。一种是依据降水条件来确定设计渗入量,另一种是依据路面的状况来确定设计渗入量。我国公路排水设计规范依据工程实践对表面渗入率的测定成果,参照 Ridgeway 确定的指标,即采用接、裂缝的渗入率作为指标,建议面层存在裂缝的沥青混凝土路面的表面水渗入率设计值为  $0.625 \text{ cm}^3/\text{h}/\text{cm}^2$ 。依据设计时选定的设计渗入率,按照沥青混凝土路面裂缝的数量,按式(4)来计算表面水渗入到沥青混凝土路面的设计渗入量:

$$Q_i = I_a B + k_p B \quad (4)$$

式中: $Q_i$  为每延米沥青混凝土路面表面水的渗入量,  $\text{m}^3/\text{d}/\text{m}$ ;  $I_a$  为每平方米有裂缝沥青混凝土路面的表面水设计渗入率,可按  $0.15 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^2$  取用;  $k_p$  为表面水对每平方米未开裂路面表面的渗透率,对于密级配沥青混凝土路面的面层而言,可取  $k_p = 0 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}^2$ ;  $B$  为单向横坡路面的宽度,  $\text{m}$ 。

按式(5)计算多孔混凝土基层排水系统的设计流量  $Q_c$ :

$$Q_c = Q_i L_c \quad (5)$$

式中: $L_c$  为出水口的间距,  $\text{m}$ 。

(2)排水层排水量。

从前述分析知,多孔混凝土排水基层的排水能

力应大于路面表面水的设计渗水量。由于设计渗水量的估值范围较大,渗透系数的测定有一定误差,系统的排水能力要有一定的余地。可用达西公式近似计算自由水在排水基层内的渗流量,按式(6)计算:

$$Q_0 = kiA \quad (6)$$

式中: $Q_0$ 为纵向每延米排水层的排水量, $m^3/d/m$ ;  $k$ 为多孔混凝土的渗透系数, $m/d$ ;  $i$ 为渗流路径的平均水力坡度,在基层位于超高路段且有纵向坡度时, $i$ 取合成坡度; $A$ 为纵向每延米排水层的过水断面面积,无纵坡时 $A=h$ ,有纵坡时 $A=hi_h/i$ ,其中 $i_h$ 为路面横坡、 $h$ 为排水层厚度, $m^2/m$ 。

### (3) 渗流时间。

渗入多孔混凝土排水基层的自由水,在层内的渗流时间和渗流路径的长短与渗流的速度有关,按下列各式计算:

$$t = \frac{L_s}{3600 v_s} \quad (7)$$

$$L_s = B \sqrt{1 + \frac{i_z^2}{i_h^2}} \quad (8)$$

$$v_s = \frac{1}{n_e} k \sqrt{i_z^2 + i_h^2} \quad (9)$$

式中: $t$ 为渗流时间, $h$ ;  $L_s$ 为渗流路径长, $m$ ;  $v_s$ 为平均渗流速度, $m/s$ ;  $B$ 为单向横坡路面的宽度, $m$ ;  $i_z$ 、 $i_h$ 为纵坡、横坡坡度; $k$ 为多孔混凝土的渗透系数, $m/s$ ;  $n_e$ 为多孔混凝土的有效空隙率。

### (4) 集水管、出水管的排水量。

多孔混凝土排水基层排水设施中的集水管和出水管的排水能力,应大于路表水的设计渗水量。以此作为依据,确定排水管尺寸。通过满宁公式计算确定集水管、出水管的排水量,按式(10)计算:

$$Q_g = vA \quad (10)$$

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

式中: $Q_g$ 为集水管或出水管的排水能力, $m^3/s$ ;  $v$ 为管内水流的平均流速, $m/s$ ;  $A$ 为过水断面面积, $m^2$ ;  $n$ 为管壁的粗糙系数,根据管材的不同具体选用; $R$ 为水力半径, $m$ ;  $i$ 为水力坡度。

通常,出水管间距较大时,管可以取较大的尺寸。反之,管的尺寸应取较小的尺寸。

## 2 排水系统的布设及设置场合

### 2.1 排水系统的布设

路面结构采用透水性材料做基层,渗入路面结构内的水,先竖向渗流进入排水层,然后横向渗流进

入纵向集水管或集水沟,再由间隔一定距离布设的横向出水管排引出路基。高速公路和一级公路新建路面,通常采用这样的排水系统布设方案。为了阻断地下水的毛细上升,可在路床顶面设置由开级配粒料组成的全宽式排水垫层。按所需排放的水量和透水材料的渗透性能,确定排水基层的厚度。在路面横坡上侧时,排水基层的宽度应超出面层边缘30cm;在路面横坡下侧时,排水基层要达到排水沟边缘同时超出面层边缘30~90cm。

### 2.2 排水系统设置场合

大量工程实践表明,路表排水系统可将降落在路表面的大部分水顺利地排到路基范围以外。但当降雨时间较长、强度较大且沥青混凝土路面面层出现裂缝时,仍有一部分水通过路面及其裂缝渗入到路面结构内,若不能将水及时排除,路面的使用性能将受到不良影响。因此,路面内部排水系统的设置显得尤为重要。

美国联邦公路局在路面结构排水系统设计指南中建议,当“公路沿线的降雨量在200~250mm以下,地下水影响较低;路基材料的透水性较好,不受冰冻影响;交通荷载以轻交通为主,交通量适中”时,可以考虑不设路面结构排水系统。除此之外,其国家重要的公路都要考虑设置路面结构排水系统。

1987年国际道路会议常设委员会建议,年降雨天数在150d以上且以100kN为标准轴载换算的货车交通量 $>2000$ 辆/d时,应该考虑设置路面结构排水系统。

我国公路排水设计规范建议设置路面内部排水系统的条件为:

- (1) 年降水量在600mm以上的多雨地区,路基透水性差的高速公路、一级公路和重要的二级公路;
- (2) 路基为粉性土组成的潮湿、过湿路段;
- (3) 路基两侧存在滞水且可能渗入路面结构内;
- (4) 改建公路需排除积滞在路面结构内的水。

### 3 满足排水要求基层最小厚度的确定

多孔混凝土排水基层的排水量必须大于路表水的设计渗水量,即满足 $Q_0 > Q_i$ 。同时,已知多孔混凝土基层的渗透系数,可按式(4)、式(6)计算满足排水要求的最小基层厚度。

## 4 工程应用实例

### 4.1 表面水设计渗水量

广珠西线高速公路路面宽度全幅为 33 m, 半幅宽度为 16.5 m, 除去半幅中央分隔带宽 1 m 及土路肩宽 0.75 m, 半幅沥青混凝土路面的宽度为  $B=14.75$  m。纵向每延米沥青混凝土路面表面水的渗入量  $Q_i=5.12 \times 10^{-5} \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。

#### 4.2 自由水在排水基层的作用时间

试验段纵向坡度  $i_z=1.0\%$ , 路面横向坡度  $i_h=2.0\%$ , 则自由水在排水基层内的渗流路径长  $L_s=16.49 \text{m} < (45 \sim 60) \text{m}$ , 渗流时间  $t=1.47 \text{h} < 2 \text{h}$ 。

因此, 该试验段满足排水的要求。

#### 4.3 所需排水基层的最小厚度

材料的渗透系数  $k=3.49 \text{cm/s}$ , 可求得排水基层排泄路面表面水设计渗入量所需的最小厚度  $h=0.073 \text{m}=7.3 \text{cm}$ 。

由此可知, 为满足排水要求, 试验路所需多孔混凝土排水基层的厚度应大于 7.3 cm。但是考虑到其他因素, 诸如结构设计、施工、后期空隙堵塞等原因, 厚度应该取大, 所以试验路排水基层厚度取为 19 cm。

#### 4.4 确定集水管和出水管管径

设出水口间距为 50 m, 则集水沟所需排泄的路面表面水渗入流量相应为  $Q_c=2.56 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ 。

选取波纹塑料管为集水管, 其管径  $d=0.10 \text{m}$ , 坡度与纵向坡度相同, 取为 1%。则其水力半径  $R=0.10/4=0.025 \text{m}$ , 集水管的过水断面面积  $A=7.85 \times 10^{-3} \text{m}^2$ 。

按满宁公式计算, 得出管内流速  $v=0.43 \text{m/s}$ , 集水管的出水量  $Q_g=3.38 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s} > Q_c (=2.56 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s})$ 。

因此, 可选用集水管管径为 10 cm。此外, 出水管管径与集水管相同, 亦为 10 cm。

#### 4.5 集水沟宽度

集水沟底面的最小宽度, 对于新建路面不应小于 30 cm。为便于施工, 试验路实际取为 40 cm。

### 5 小结

(1) 根据相关原理, 分析了水在多孔混凝土排水基层中的流动状态和排除过程。

(2) 对设计渗入量、排水能力、渗流时间等指标进行了分析, 讨论了排水系统的布设及设置场合。

(3) 计算多孔混凝土排水基层满足排水要求的最小厚度。

#### 参考文献:

- [1] 吴桢祥, 杨玲霞, 等. 水力学[M]. 北京: 气象出版社, 1994.
- [2] 姚祖康. 公路排水设计手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [3] 黄开宇. 高速公路路面防排水设计探讨[J]. 中外公路, 2003, (8).
- [4] 杨群, 黄晓明. 沥青稳定排水基层厚度设计方法[J]. 公路交通科技, 2002, (4).

## Analysis and Calculations of Drainage for Porous Concrete Base

WU Bin

(Guangdong Guang-Zhu West Expressway Co., Ltd, Foshan 528312, China)

**Abstract:** According to the hydraulic theory, the rules of the surface water seeping through the asphalt concrete pavement and the flowing state and its draining process of free water in the porous concrete base are analyzed. And then the minimum thickness that the drainage base of porous concrete meet requirements is calculated. Last, the placement of the drainage system is discussed.

**Key words:** porous concrete; base drainage; seepage quantity of design; drainage ability; seepage time; drainage system; minimum thickness of base