

多空隙沥青混凝土面层排水设计中的降雨输入

徐 斌

(上海浦东路桥建设股份有限公司 上海市 200122)

摘 要: 讨论了道路采用多空隙沥青混凝土面层后,排水设计中降雨输入参数的意义及其选择依据,包括降雨历时、降雨强度与设计重现期,以期对这种路面的排水设计采取相对应的概念与方法。

关键词: 多空隙沥青混凝土面层; 降雨历时; 降雨强度; 设计重现期

多空隙沥青混凝土路面具有排水、降噪、抗滑和降温等优异性能,在欧美与日本的应用已相当普遍,我国也正在消化、引进这项技术。严格说来,多空隙沥青混凝土路面包括 2 种类型,即排水性沥青混凝土路面与透水性沥青混凝土路面。2 种类型路面具有不同的水力特性:排水性沥青混凝土路面排水以侧向流动为主,而透水性沥青混凝土路面排水则以下渗为主。多空隙沥青混凝土路面的排水设计理念与常规路面截然不同,下面仅对其中的降雨输入进行讨论。

常规路面的降雨输入是以路面汇流时间对应的降雨强度作为排水设施的计算基准,而降雨强度的历时分布采用了城市降雨强度公式(这里以上海市为例)其降雨强度公式为:

$$I = \frac{33.2(P^{0.3}-0.42)}{(t+10+71\lg P)^{0.82+0.071\lg P}} \tag{1}$$

式中: I 为在设计重现期和降雨历时内的降雨强度, mm/min; P 为设计降雨重现期, a; t 为降雨历时, min。

为了更为直观地了解 I 、 P 、 t 三者的关系,将其绘制成图,如图 1 所示。注意,这事实上是一种统计合成降雨,实际的降雨历时分布更为复杂。在本文的分析中,将从降雨历时、降雨强度和设计重现期等方面对多空隙路面的降雨输入特征进行讨论。

1 降雨输入特征

1.1 降雨历时

常规路面的排水设计中,降雨历时一般取为汇流历时(最远端降雨到达设计入水口的时间),包括

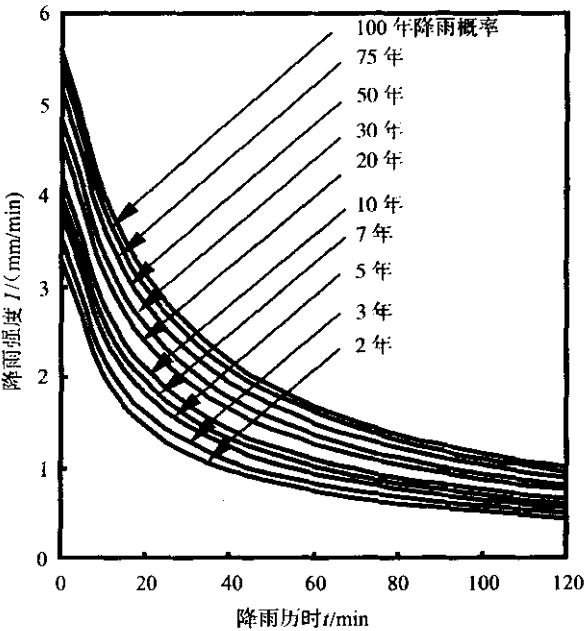


图 1 降雨强度~历时~概率曲线

路面流动时间与沟管流动时间 2 部分。入水口径流过程分布可按式(2)计算:

$$q(t) = \int_0^B \int_0^L I_{(t-T)} dx dy \quad (t \geq T) \tag{2}$$

$$T = t_1 + t_2 = 1.445 \left[\frac{m_1 L_s}{\sqrt{i_s}} \right]^{0.467} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{60v_i}$$

$$i_s = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$$

$$L_s(x, y) = y \sqrt{1 + i_y^2}$$

$$l(x, y) = x - i_y y$$

式中: $q(t)$ 为 t 时刻入水口的流量, m^3/s ; $I_{(t-T)}$

为 $(t-T)$ 时刻的降雨强度, m/s ; B 为路面单坡宽度, m ; L 为汇水区域长度或入水口间距, m ; t_1 为坡面汇流历时, min ; t_2 为沟管内汇流历时, min ; m_1 为地表粗度系数, 沥青混凝土路面为 0.013; L_s 为坡面流长度, m ; i_s 为坡面流坡度; l_i 为第 i 段沟管流动长度 (沟管数为 n), m ; v_i 为第 i 段平均流速, 可采用公式 $v = 20i_y^{0.6}$ 近似计算, m/s ; i_x 为路面横坡; i_y 为路面纵坡, 这里也作为沟管平均坡度。

假设 B 为 11.25 m、 L_s 为 50 m、 i_x 为 0.02、 i_y 为 0.01, 则入水口径流分布如图 2 实线所示, 最大径流量对应汇流时间为 2.1 min。

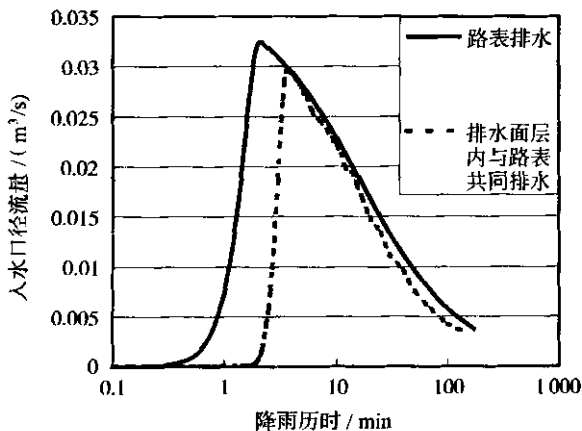


图 2 应用排水面层后道路入水口径流随降雨历时的变化

多空隙路面到入水口的径流量分布可按式 (4) 计算:

$$q(t) = \begin{cases} k_x i_x D L \frac{t}{t_2} & (t < t_2) \\ k_x i_x D L \left(t_2 \leq t < t_3, t_3 = \frac{Q(t_3)B - n_e B D}{k_x i_x D} \right) & (4) \\ \int_0^B \int_0^L [I_{(t-T)} - f] dx dy + k_x i_x D L & (t \geq T, t - T < t_3 \text{ 时 } I = f) \end{cases}$$

式中: k_x 为多空隙面层侧向 (水平) 渗透系数, m/s ; D 为多空隙面层厚度, m ; $Q(t_3)$ 为 t_3 时刻总的降雨量, m ; n_e 为多空隙面层连通空隙率; t_3 为多空隙面层蓄水饱和时间或称饱水时间, min ; f 为下渗量, $f = k_x i_x \frac{D}{B}$, m/s ; 其余变量意义同式 (2)。

若取 k_x 为 0.2 cm/s 、 D 为 4 cm 、 n_e 为 15%, 则可计算得 t_3 为 1.65 min, 相对应的入水口径流分布如图 2 虚线所示。从图 2 可见, 排水面层的作用延缓并减小了入水口的最大径流, 最大径流的发生时间推迟了 1.65 min (也即面层的饱水时间), 而最大径流量也减少了 8.3%。具体计算中, 可选取降雨历时为

面层饱水时间与汇流时间之和。当饱水时间足够长时 (如透水性路面), 最大径流量即为面层内排水量, 路表不发生径流, 此时的降雨历时事实上应与路面达到最大饱水量的时间相对应, 用于计算路面蓄水水平, 而侧向入水口可以取消。

1.2 降雨强度

多空隙沥青混凝土路面由于有滞水功能, 因此降雨强度对其排水性能的影响不是像常规路面那样直接影响其峰值径流量, 而且还受制于路面的下渗能力与蓄满后的排泄能力。路面下渗能力取决于路面的纵向渗透系数, 各设计重现期要求的路表初始不积水的最低纵向渗透系数如图 3 所示。从图 3 可见, 初始降雨强度也即最大降雨强度, 即便在设计重现期为 100 年时, 其数值仍在 0.01 cm/s 之内。日本规范要求排水性沥青混合料渗透系数大于 0.01 cm/s , 保证了多空隙路面降雨初期的不积水。

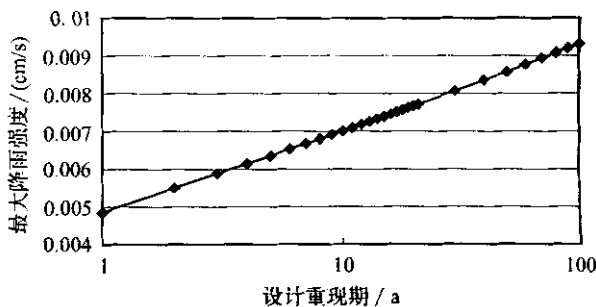


图 3 与设计重现期相对应的初始最大降雨强度

当多空隙路面蓄水饱和后, 路面就可能发生积水。一般将与一定降雨设计重现期相对应的路面蓄水饱和的时间称为该重现期下的饱水时间, 此时的降雨强度也就称为该重现期下的饱水强度。不过, 当重现期很小时, 有可能无论降雨历时多长, 路表也不积水, 此时路面无法达到饱水 (路侧排水强度大于降雨强度), 发生这种情况的最大重现期称为排水路面的净设计能力, 与之对应的饱水时间称为净饱水时间, 饱水强度称为净饱水强度。仍采用前面的实例, 其与设计重现期相对应的饱水时间曲线与饱水强度曲线如图 4 所示。该路面的净设计能力为 0.064 9 年一遇的降雨, 净饱水时间为 6.18 h, 净饱水强度为 0.065 mm/h 。这个净饱水强度是瞬时强度, 若按照 0.064 9 年这个重现期计算第一个小时的平均雨量, 其数值为 4.61 mm/h , 这属于中雨的范围。

事实上, 并不是降雨量或降雨强度越大, 行车安全性就越低。当降雨强度很大时, 一方面司机视线受

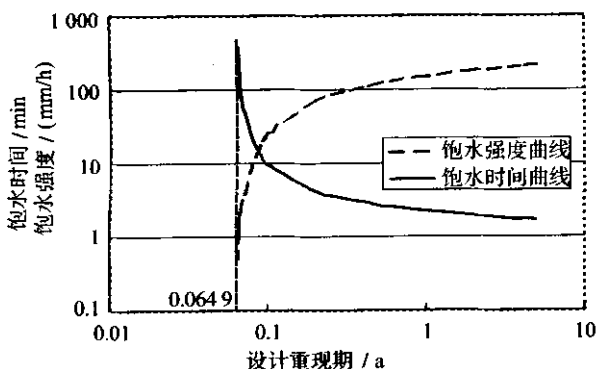


图 4 与设计重现期相对应的饱和度时间曲线与饱和度强度曲线

阻,另一方面道路积水也迫使司机减缓车速,相反地,行车安全性却得到了保障。据报道,中雨天气下交通事故率最高,排水路面主要应针对这种气候;而透水性路面由于需要解决城市局部泛洪现象,因此其抗暴雨设计能力要大大高于排水性路面。

1.3 设计重现期

由于排水性沥青混凝土路面蓄水量小,因此不能以其表面不积水相对应的重现期作为排水管道等的设计依据。如本文的例子,以路表不积水为目标的设计重现期为 0.0649 年。如果采用每年超越概率的概念,采用式(5)进行换算:

$$AEP = 1 - e^{-\frac{1}{ARI}} \quad (5)$$

式中: AEP 为暴雨重现期; ARI 为每年超越概率。

根据计算,其超越概率高达 99.999 98%,显然作为控制指标不适宜。从另一个方面看,排水路面的作用事实上提高了原有排水设备的设计重现期等级,按本文数据的计算结果如图 5 所示。原设计能力

越大,则应用排水路面后排水能力的提高幅度也越大。若采用透水性路面,可以将设计重现期的概念直接应用于路面结构的设计。当厚度的增加对透水路面设计重现期的提高不经济时,应考虑采用溢流管。

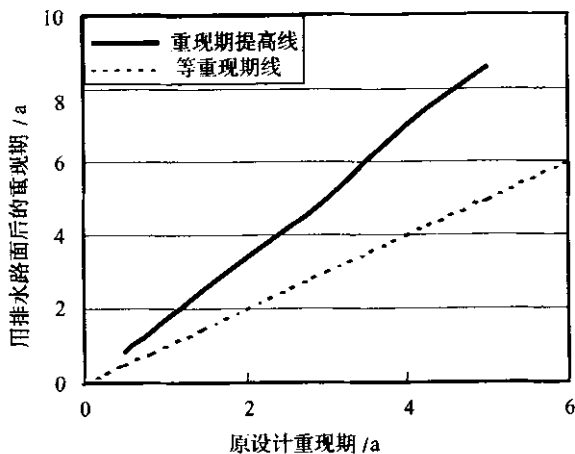


图 5 采用排水路面后原道路入水口设计重现期的提高

2 结语

多空隙路面面层在进行排水设施的抗暴雨设计时,应充分考虑面层内排水的作用,根据本文,有如下结论:

- (1) 排水设施的降雨历时应取为排水路面蓄水饱和的时间加上一般意义中的汇流历时;
- (2) 排水路面的初期下渗速率可以保证路表不积水;
- (3) 排水路面不积水的目标降雨为中雨,其控制指标为排水路面的净设计能力;
- (4) 排水路面提高了原有排水系统的抗暴雨能力。

Rain Input in Drainage Design for Surface Layer of Porous Asphalt Concrete Pavement

XU Bin

(Shanghai Pudong Road and Bridge Construction Co. Ltd., Shanghai 200122, China)

Abstract: The importance and the selection basis of inputted rain parameters including rainoff duration, rainoff intensity and design return period in drainage design for porous asphalt concrete pavement are discussed in this paper, which is expected to adopt the suitable concept and method in this kind of issue.

Key words: surface layer of porous asphalt concrete pavement; rainoff duration; rainoff intensity; design return period