

# 透水性多功能混凝土研发与应用前景

吴初航<sup>1</sup>, 顾民治<sup>2</sup>

(1.上海市市政工程研究院, 上海市 200031; 2.上海市市政工程行业协会, 上海市 200002)

**摘 要:**透水性混凝土系采用水泥、沥青为胶结材料掺配高质量的同粒径或间断级配骨料所组成的,并具有一定空隙率的混合材料。将其制成混凝土路面、护坡及其制品时,能取得排水、抗滑、吸音、降噪、渗水效果,可改善地表生态循环,利于行车交通安全,保护生活环境,解决由于大规模现代化城市建设带来的负面影响。工程实践证明,透水性混凝土是一种新型多功能铺装材料。

**关键词:**透水性混凝土;铺面材料;抗滑;吸音;降噪;生态环境;多功能材料

**中图分类号:**TU528 **文献标识码:**B **文章编号:**1009-7716(2007)02-0100-03

## 1 前言

随着我国经济的飞速发展和城市建设步伐加快,城市的地表已逐渐被建筑物及路面覆盖,便捷的交通、平整的路面给市民的出行带来了极大的方便,但是,不透水的地表也给城市的生态环境带来了诸多负面影响。由于地表缺乏透水性和透气性,雨水不能渗入地下,造成地下水位降低,这也是城市逐年下沉的原因之一;不透水的地表很难与空气进行热量、水分的交换,缺乏对城市温度、湿度的调节,产生了所谓的“热岛现象”;当夏季集中降雨时,雨水只能通过排水系统排入河流,大大加重了城市排水设施的负担。当路面积水时,常导致交通事故发生。此外,上海地区普遍采用的不透水的水泥或沥青路面,如果不考虑相关的透水混凝土铺面材料及制品配套设施,也会大大降低道路路面使用功能,如防滑、降噪等。

在现代人类迫切寻求与自然和谐、维护生态平衡的思想指导下,欧美、日本等一些发达国家,从20世纪80年代起开始研发了透水性混凝土材料,并将其应用于广场、步行街、道路两侧和中央隔离带、公园内的道路及停车场等,增加了城市的透水、透气空间,对调节城市微气候,保持生态平衡起到了良好的效果。

本世纪初,我国相继开展透水混凝土的试验研究,并逐步在土木工程领域得到试点。特别是在路面及制品方面的应用取得了较好的社会环境效应,得到人们的关注。

透水混凝土系近代开发应用的一种新型功能型混凝土,当它作为道路铺面材料应用时,具有透水性、透气性、抗滑、降噪等生态环保和行车安全等特点。当今,透水混凝土作为一种新的环保型、

生态性的道路材料,已受到国内外土木工程界的瞩目。

新世纪伊始,我国在繁荣经济之际,已认识到保护环境、维护生态平衡,走可持续发展道路已成国策之重,因此,环保生态型的透水性混凝土铺面材料,是具有道路交通发展前景的新型多功能材料。

## 2 透水性混凝土的分类

到目前为止,用于道路铺装和地面的透水性混凝土主要有三种类型。

### 2.1 水泥透水性混凝土

这是以硅酸盐类水泥为胶凝材料、采用单一粒级的粗骨料,不用或少用细骨料配制的无砂、多孔混凝土。该种混凝土一般采用较高强度的水泥,集灰比为3.0~4.0,水灰比为0.3~0.35。混凝土拌合物较干硬,采用加压振动成形,形成具有连通孔隙的混凝土。硬化后的混凝土内部通常含有20%左右的连通孔隙,相应的表现密度低于普通混凝土,通常为1700~2200 kg/m<sup>3</sup>。抗压强度可达15~35 MPa,抗折强度可达3~5 MPa,透水系数为1~15 mm/s。该种透水性混凝土成本低,制作简单,可用于道路铺筑及预制成品应用。但由于含有较多的连通孔隙,其强度及耐磨性、抗冻性是工程应用技术主要指标。

### 2.2 高分子透水性混凝土

这是采用单一粒级的粗骨料,以沥青或高分子树脂为胶结材料配制的透水性混凝土。与水泥透水性混凝土相比,该种混凝土强度较高,但成本也高。同时由于有机胶凝材料耐候性较差,在日光大气因素作用下容易老化,其性能受温度影响较大,尤其是温度升高时,容易软化流淌,使透水性受到影响。因此,在保证空隙的前提下,抗老化、热稳定性就是保证质量的关键。

### 2.3 烧结透水性制品

收稿日期:2006-12-07

作者简介:吴初航(1938-),男,广东大埔人,高级工程师,从事土木工程材料检测研究工作。



以废弃的瓷砖、长石、高岭土、粘土等矿物的粒状物和浆体拌合,压制成坯体,经高温煅烧而成,具有多孔结构的块体材料。该类透水性材料强度高,耐磨性好,耐久性优良,但烧结过程需要消耗能量,成本较高,适用于用量较小的园林、广场、景观道路铺装部位。

### 3 透水性路面的吸音、降噪功能

沿用的混凝土路面的行车噪音随车速、车流、车载不断增大,以至噪声成为混凝土路面应用的环境障碍,尤其是对噪声敏感的居住区。

1992年,奥地利发明了“吸音混凝土”,使噪声降低6~10 dB(A),在120 km/h行驶速度下,其降噪效果可同沥青透水路面相比。此后,英国、比利时纷纷进行了相关研究开发。

吸音混凝土是通过外露的集料表面,使声波和压力波在空隙中自行消散。其结构组成是在普通混凝土路面上铺设4 cm厚混凝土,其中有由6~10 mm耐磨的优质石料混凝土所组成的磨耗层。为形成“露骨”,在摊铺后,即洒布缓凝剂经12~48 h后,用水清除水泥浆,从而形成多孔、抗滑的表面。集料越细,降噪效果越好,但颗粒越细越易脱落,且低噪音路面造价增加10%。

此外,为降低噪声,日本、荷兰还研究了孔隙率>20%的多孔混凝土,但后者必须掺加聚合物或类似掺加剂。

透水性路面除本身固有的防水溅和透水性能之外,还具有降低噪声的作用。排水路面所以能够降低噪声,是因为路面材料具有吸音功能。

任何筑路材料都或多或少地具有吸音功能,即通过导热、气流及机械振动等能量转换方式,使声音降低或消失。其吸音机制有多孔吸音、振动吸音和共鸣吸音等三种。

透水性路面具有多孔吸音和共鸣吸音的功能。这里,吸音材料的空隙起着重要作用。就吸音而言,透水性路面的孔隙形式,可以分为有效孔隙、半有效孔隙和无效孔隙。有效孔隙能够起多孔吸音作用,共鸣吸音为噪声共鸣所致。但是,如果透水性路面凹凸不平,便不能很好地共鸣,就会降低吸音效果。

关于透水性路面,在上述三种类型的吸音机制中,多孔型吸音占主要地位。多孔型吸音的吸音量的大小取决于孔隙对于气流的摩阻性、孔隙率、孔隙形状等。因此,要使路面具有比较好的吸音效果,必须从材料、配合比和施工方法等方面进行考虑和系统研究。

关于材料厚度对于吸音性能的影响,一般情况下,路面厚度加大,吸音效果就好,反之则相反。多孔型吸音的主要原理是孔隙对于气流的摩阻,声音的消失量与空气的流动速度成正比。因此,如果音波从空气流动速度快的位置入射,吸音效果就好,应该指出,必须始终保持路面材料具有某种程度的通气性,“厚度”理论才能成立。当然,如果材料孔隙对于气流的摩阻力、孔隙率和孔隙形状达不到要求,即使增加路面厚度,也不会收到良好的吸音效果。

综上所述,透水性路面的吸音效果受路面存在的孔隙条件和路面的厚度影响很大。厚度越大,吸音效果越好。

当然,降低透水性路面的噪音,取决于多种因素,因为交通噪音除车辆发动机的声音和行车的声音之外,还有轮胎和路面接触发出的声音。但是,从筑路方面采取措施,使路面具有吸音、降噪效果,则具有划时代的意义。

### 4 透水性铺面材料的生态环保功能

本文推荐的是区别于传统混凝土的新型混凝土。代表性的是透水性生态混凝土新型水泥混凝土或沥青混凝土材料铺面及其制品。

此前,至少在土木工程范围,坍落度足量小,足够密实的混凝土是拌制良好的混凝土的准则。然而,高流动混凝土即使其坍落度非常大也能拌制出来密实坚固的优良的混凝土,以高分子沥青等作为胶结材料制成的沥青混凝土,一般也是做成密实不透水的路面。

透水性混凝土与水泥、沥青混凝土是完全不一样的混凝土。但它们也有通用的技术(如:设计、生产、施工、养护等方面)。在此,对于透水性混凝土的要求背景及其可行的技术背景应作为今后的研发重心。

论述透水混凝土时,从“生态环境”角度阐述透水混凝土在以往的混凝土范畴里见到的是空隙多的不良混凝土,然而,此种空隙却赋予了混凝土以新的功能。该功能可使透水混凝土应用于各种生态环境,从而在各方面获得推广。

目前,透水混凝土主要用于路面、护岸和排水方面。利用其非常好的透水性,制造透水性混凝土制品,并广泛用于地下水集水、道路排水路面及其配制成品。

近来,透水混凝土不仅只限于工厂制品,而且被进一步推广到现场浇注的透水性混凝土。如日本建设省还主张对于河川的护岸尽量不使用混凝



土的方针。全面不使用混凝土是因为不能确保首要的安全性,而实际上有 1/2 护岸不使用构筑物,其余的做成混凝土护岸及看不见混凝土的混凝土护岸,即所谓的自然性护岸。这方面就是指植被型的透水性混凝土。作为护岸的构筑物,一方面要确保其安全性,一方面也要使混凝土本身具有能使植物生长的空隙。其要求性能是很高的,必须既能确保植物生长,又能维持其必要的强度。因为植被是由空隙量的大小影响其生长面积的。所以确保实足的植被和有足够的强度使这一相互矛盾的特性达到恰当的平衡,各地正在广泛地进行开发与实验。

传统的混凝土骨料由胶结材料和砂浆完全包裹,不能形成空隙。采用近似单一粒径的骨料分布,骨料与骨料之间近似点的结合,这样可以保证形成足够多的空隙。为此,必须使用强力的胶结材料。无论用水泥或沥青做胶结材料都必须有一定的点粘结强度。

众所周知,混凝土的空气量每增加 1%,其抗压强度下降 4%~6%。为确保透水性有一定百分率的连续空隙,确保植被生长,20%的连续空隙还是很有必要的。所以混凝土的强度难以保证,而改善水泥浆的质量足可以确保能达到一定强度的,但还不能说能达到一般普通混凝土的强度。

沿用的护岸的水泥混凝土,一般 C20 为保证质量的最低强度。在透水性混凝土使用初期,无条件采用这个标准,在技术经济上是有一定难度的。

与普通的水泥混凝土路面相比,透水性道路能够使雨水迅速地渗入地表,还原成地下水,使地下水资源得到及时补充,保持土壤湿度,改善城市地表植物和土壤微生物的生存条件;同时透水性路面具有较大的孔隙率,与土壤相通,能蓄积较多的热量,有利于调节城市空间的温度和湿度,消除热岛现象。

## 5 透水混凝土路面的排水防滑功能

随着我国交通运输事业迅猛发展,对道路行车的安全舒适性有更高的要求,为了保证车辆高速行驶的安全度,提高路面粗糙度对防滑性能至关重要。作者曾于上世纪八九十年代进行抗滑路面的研究,由于成本高,工艺难度大而未能推广应用。

2003 年出现的新世纪渗透性和排水性路面抗滑性能较好。这种渗透性和排水性路面被命名为开级配摩阻层 (O、G、F、C),在美国受到汽车驾

驶员的欢迎。其特点是具有“开式”集料结构,其中粒径较大的集料是由聚合物改性和纤维增强的作为高性能分级的沥青混合料胶结在一起的,这种具有 15%以上孔隙的开式铺面结构,可使水通过摩阻层渗流到下面的不透水层中,并流入路旁边沟。应用结果是消除轮胎溅水和路表水膜形成,可保证路面的抗滑性和行车的安全度。

透水性铺面是在表层或在表层和基层中利用具有高空隙率的多孔优质沥青。由于在排水性混合物层(排水层)下设置非透水层,因此渗入到排水层的水会在非透水层上流动,从而很快地被排水设施渗入到路基下。透水性铺面主要具有以下的特点。

首先能提高车辆的行驶安全:(1)提高雨天时路面的防滑性能(缓和 hydroplaning 现象)。(2)减少雨天车辆行驶时所产生的水飞沫,提高能见度。(3)缓和雨天夜间行车时车辆的前灯所产生的路面反射。(4)提高雨天时路面标示的能见度。

其次,改善沿途的环境:(1)减少车辆行驶时的噪音。(2)减少沿途行驶车辆的溅水,防低路面水膜形成,提高行车安全度。(3)当集中降雨时,能够减轻排水设施的负担,防止路面积水和夜间反光,提高车辆、行人的通行舒适性与安全性;大量的孔隙能够吸收车辆行驶时产生的噪音,创造安静舒适的环境。

一般情况下透水混凝土路面摩阻力测定值按路面的种类,配合比设计,骨材的种类、纹理等条件的差异,其差值以百分数分布数值范围表示。透水混凝土路面摩阻系数可有用摆式仪测定,其摆值均在 50 以上,高于沿用混凝土路面粗糙度要求。

## 6 结语

随着现代化建设的发展,城市地表逐步被混凝土等不透水工程材料所占领,如我国道路铺盖率已达到了 7%~15%,便捷的交通运输给人们生活、生产带来方便的同时,其负面影响也越来越显著。

由于不透水性工程材料覆盖地表的日益增长,造成地面沉降,雨水回流受阻,影响生态循环,导致气候变异,已为世人瞩目。透水性工程材料所具有的特性及其研发与应用,可望缓解上述生态环境难题。

透水性铺面材料的研发与应用,可以取得良好的技术经济和社会环境效益,是值得推广的多功能性混凝土工程材料。



# 地质雷达在节段梁注浆密实度检测中的应用

殷习军<sup>1</sup>, 王修勇<sup>2</sup>

(湖南科技大学, 湖南湘潭 411201)

**摘 要:**在预应力后张法施工过程中, 注浆密实性成为影响工程质量的一个十分重要的因素。随着雷达检测技术的日益成熟, 并在不断的实践中显现出其无损、操作方便、检测速度快、检测范围大等优点。该文结合工程实践总结出雷达检测技术在注浆密实度方面的应用方法, 表明了雷达在检测密实度方面的应用是可行的。

**关键词:**雷达; 无损检测; 密实度

**中图分类号:** TN95 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2007)02-0103-03

## 0 前言

雷达, 意为“无线侦察与定位”, 出现于 1842 年, 并先后应用于航海与军事。1985 年, 美国采用线性调频脉冲雷达技术检测纽约地铁结构完整性, 由此, 雷达技术开始在考古、矿产资源勘探、岩土勘查、无损检测及工程建筑物结构调整中得到广泛应用。

在预应力后张法构件中, 由于其预应力一部分来源于钢筋(索)与水泥浆之间的摩擦, 因而注浆的密实程度对于预应力损失有着至关重要的作用。此外, 若注浆不密实, 也将使钢筋(索)直接与空气接触, 使其产生锈蚀。因此, 本文通过利用中国电波传播研究所青岛分所研制的 LTD-2000 型探地雷达对广州地铁 4 号线节段梁预应力孔道注浆密实度的检测情况, 并对不同注浆质量的雷达图示对照分析, 表明利用雷达可准确判断孔道内注浆的密实性。

## 1 雷达特性及检测原理

### 1.1 波动方程

探地雷达探测是一种高频电磁波勘探方法, 雷达电磁波可近似为均匀平面电磁波。在介质中传播时, 它的电场分量瞬时波动方程为:

$$E_x(z, t) = E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) \quad (1)$$

式中:  $E_0$ —— $z = 0$ ,  $t = 0$  时的电磁场强度

$\alpha$ ——衰减系数

$\beta$ ——相移系数

$z$ ——传播距离

$\omega$ ——电磁波的角频率

### 1.2 电磁波速

从式(1)中可知, 当  $\cos(\omega t - \beta z) = 1$  时, 电磁场强度最大, 可求得电磁波波速的表达式为:

$$v = \omega / \beta \quad (2)$$

$$\beta = (\omega^2 - \mu \epsilon / 2)^{1/2} [1 + (\sigma / \omega \epsilon)^2]^{1/2} + 1 \quad (3)$$

式中:  $\mu$ ——磁导率

$\epsilon$ ——介电常数

$\sigma$ ——电导率

对于混凝土介质,  $\sigma / \omega \epsilon \ll 1$ ,  $\mu = 1$ , 式(2)可简化为:

$$V = \frac{V_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

式中:  $V_0$ ——电磁波在空气中的传播速度, 0.3 m/ns

$\epsilon_r$ ——介质的相对介电常数

### 1.3 衰减系数

$$\text{式(1)中 } \alpha = \omega \epsilon, \sigma = 2\pi f \epsilon, \sigma \quad (5)$$

由式(5)可知电磁波的衰减系数与介质的相对介电常数、电阻率有关, 因而对于空气电磁波衰减很慢, 而对金属物质则会很快衰减。

### 1.4 反射系数

地质雷达主要电磁波在不同介质中传播特性的差异, 造成雷达反射回波在波幅、波长及波形上有相应的变化。根据这一原理, 由雷达的发射天线向被探测介质的内部发射高频电磁波, 在电磁特性有变化的地方, 雷达波一部分被反射回来, 部分则发生散射, 剩下的继续向内透射, 反射回波由

收稿日期: 2006-11-21

作者简介: 殷习军(1982-), 男, 湖南常德人, 硕士在读, 研究方向为大跨度桥梁结构静动力分析与设计理论。

透水性混凝土用于路面铺装具有吸音、降噪、排水、防滑效果, 有利于交通运输行车安全。

透水性混凝土用于河道护岸、广场、园林, 则具有促进生态水循环, 减少地面沉降, 改善城市地表植物和土壤微生物的生存条件, 有利生物生长, 保护水土平衡。

在汽车工业、交通设施高度发达的 20 世纪末期, 人类已经共同认识到保护地球环境, 维护生态平衡, 走可持续发展之路是 21 世纪人类的首要任务。在这个世界背景下, 研究开发环保、生态型的透水性路面材料具有极为重要的社会意义和广阔的发展前景。