

城市道路透水性路面工程选址与类型选择的研究

董祥¹, 肖又元², 吴永俊²

(1. 南京工程学院 建筑工程学院, 江苏 南京 211167; 2. 南京工程学院 康尼学院, 江苏 南京 211100)

摘要: 针对当前我国城市道路透水路路面建设未重视工程选址与类型选择的不良现状, 从工程应用角度剖析了各类透水路路面的水流路径与铺面材料; 从透水路路面与路基相匹配的角度, 探究了我国透水路路面建设的工程选址与类型选择问题。结果表明: 不同水流路径的透水路路面功能及对地基时要求不同, 透水路路面砖、透水水泥混凝土、透水沥青混合料 3 类透水路路面材料在孔隙率、强度、常见病害、维护与维修方法上存在差异; 地质条件决定地基建透水路路面的适宜性与排水路径选型; 降雨、温度等气候条件影响透水路路面的工程选址与类型选择; 人文、交通条件决定城市不同功能区域与透水路路面类型的关联性; 工程条件影响透水路路面选型等。提出了从地质、气候、人文、交通、工程 5 方面综合考察的透水路路面工程选址与类型选择实用方法。

关键词: 透水性路面; 城市道路; 工程选址; 透水路路面类型

中图分类号: U41

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)05-0005-05

Research on Choice of Engineering Site and Type of Urban Pervious Pavement

Dong Xiang¹, Xiao Youyuan², Wu Yongjun²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China;

2. Kangni College, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211100, China)

Abstract: Aiming at shortcomings of neglecting selection of engineering sites and types of pervious pavements in our country's current urban road construction, analyzes flow paths and pavement materials of pervious pavements and the choice of their engineering sites and types from engineering applications and pervious pavement and subgrade matching. Results show that functions and foundation requirements of various types of pervious pavements are different. Three kinds of pervious pavement materials, including pervious pavement brick, pervious concrete and pervious asphalt differ in their porosity, strength, common diseases and methods of maintenance and repairs. Geological conditions determine the foundation suitability to pervious pavement construction and drainage path selection. Climatic conditions such as rainfall and temperature affect the choices of engineering sites and types of pervious pavement. Human conditions and traffic conditions determine the relevancies between urban function regions and previous pavement types. Engineering conditions affect the choice of pervious pavement types. And brings forward practical method for the selection of engineering sites and types of pervious pavement, which considers conditions of geology, climate, humanity, transportation and engineering comprehensively.

Keywords: pervious pavement; urban road; choice of engineering site; type of pervious pavement

传统的城市道路路面层多用密实的沥青混合料或水泥混凝土铺筑而成^[1], 路面排水主要依靠路拱横坡度实现, 当雨量较大、路拱横坡度不足或排水管道堵塞时易导致路面积水。相对于传统不透水性路面而言,

我国新近应用的透水性路面采用透水水泥混凝土、透水沥青混合料等多孔材料来铺筑面层, 因路面具有图 1 所示的强透水性而具有下列技术、生态优点: 1) 避免雨天路面积水与夜间反光, 提高车辆、行人出行的

收稿日期: 2009-07-14

收稿日期: 南京工程学院科技创新基金资助项目(N20081602)

作者简介: 董祥(1980-), 男, 江苏南京人, 南京工程学院讲师, 博士, 主要从事道路工程及道路建筑材料的研究,

E-mail: xdong@189.cn

安全性与舒适性^[2]；2) 吸收车辆行驶噪声，创造安静的交通环境；3) 雨水渗入地下，补给地下水，增加土壤含氧量，有利生态^[3]；4) 调节地表温湿度，缓解城市热岛现象。

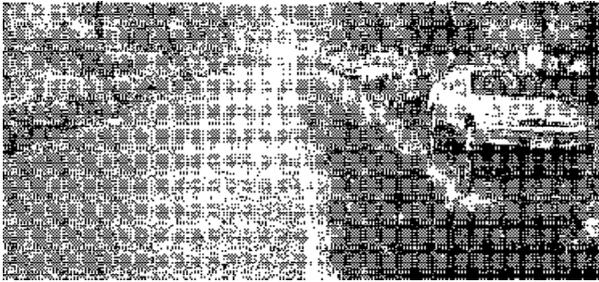


图1 雨天透水路面与传统不透水路面的比较
Fig. 1 Comparison between pervious pavement and traditional pavement after rain

德、美、日等发达国家从20世纪70年代起开始研究透水路面，并将其应用于人行道、城市道路、停车场、高速公路等，我国是从20世纪90年代后期才开始研究透水性路面的，目前已初步解决了透水材料强度等问题，但距离形成系统的设计理论、积累成熟的工程经验差距仍较大。

在绿色建筑等理念的指引下，近年来我国透水路面的工程量急速增加：北京2008奥林匹克公园、上海2010世博会公园、北京南北长街道路工程等均采用透水路面^[4]。我国目前透水路面建设存在理论支持滞后于实践应用的现象，在此背景下建设，出现了不少问题，通病之一是在不适宜的土基上、未经处理建设了不当类型的透水路面，雨水下渗使路基强度下降，导致透水路面破坏。笔者认为，产生这一问题的根源在于建设前对某地是否适合建设透水路面、应建何种类型的透水路面考虑不足，即未对城市道路透水性路面的工程选址、类型选择问题进行合理的考察研究。目前，国内尚无针对透水路面建设的成熟方法可供参照。对这一不良现状，本研究在从工程应用角度分析城市道路透水性路面实用分类的基础上，综合世界各国建设经验与我国的实际，探究了我国城市道路透水性路面建设的工程选址与类型选择问题，研究了实用的方法，以期对我国透水路面建设水平的提高产生一定的参考借鉴作用。

1 城市道路透水性路面的分类与分类意义

目前，城市道路透水性路面分类尚无统一标准，笔者认为与工程应用密切相关的有以下3种。

1) 按透水路面的用途可分为：人行道透水路面、非机动车道透水路面、机动车道透水路面、停车场透水路面等。此分类的工程意义在于：以上各类路面上作用荷载的类型、大小、频率相差较大，工程中应根

据不同使用场合来决定透水路面的材料、对路基本性能的要求等。

2) 按透水路面的水流路径可分为以下3类：

①排水型透水路面：仅面层使用透水材料，基层采用沥青类不透水材料或加设沥青封层^[5]。雨水透过面层后，沿不透水基层顶面直接排出路基之外，路基不受路面渗水的影响，如图2中a)所示。

②半保水型透水路面：不仅面层为透水材料、基层亦为透水性好的级配碎(砾)石等，垫层则为沥青砂等不透水材料，土基上方常加设非透水型防渗土工布^[6]。雨水依次透过面层、基层后，沿不透水垫层的顶面排出路基之外，路基亦不受路面渗水的影响，如图2中b)所示。

③全保水型透水路面：不仅面层、基层用透水材料，垫层亦为透水的砂垫层等，土基上方常设透水型土工网格布以提高承载力。雨水沿面层、基层、垫层一路下渗，最后渗入路基中，如图2中c)所示。

此分类的工程意义在于：其一，各类透水路面的功能不同，排水型、半保水型主要用于避免路面积水，而全保水型除此之外还有直接补给地下水的功能，故透水路面选型时应考虑具体的工程目的；其二，以上3种透水路面对土基、降雨的适应性不同，在工程选址时须考虑当地条件的限制。

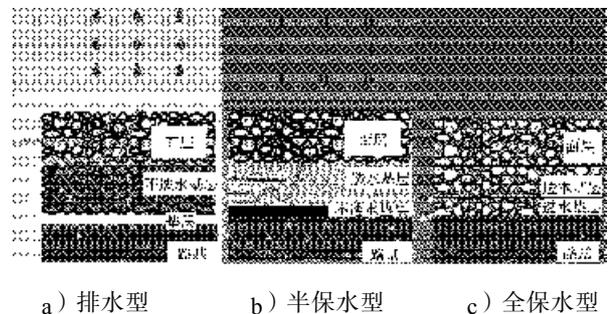


图2 不同类型透水路面的水流路径

Fig. 2 Rain flow paths of different pervious pavements

3) 按透水路面的面层材料可分为以下几种：

①透水路面砖：其是将粒径相近的砂、石用无机或有机胶凝材料胶结，压制成带通道孔的砖坯，经养护成为具有一定强度的混凝土透水路面砖或自然砂透水路面砖；或将粒径相近的陶瓷碎粒配料压制成型后，烧结成带通道孔的陶瓷透水路面砖^[7]。通道孔的存在使透水路面砖具有透水性。

②透水水泥混凝土：实为大孔混凝土^[8]，其是采用单一粒级粗骨料，同时严格控制水泥浆的用量，使其恰好包裹粗骨料表面、而不致流淌填充骨料间的空隙，这样便在粗骨料颗粒间形成了可透水的较大空隙。透水水泥混凝土通常不加砂，但也可以加少量砂增加强度^[9]。

③透水沥青混合料：其采用较大用量的单一粒级粗集料制成，砂与填料用量较少，属于级配沥青混合料的一种，空隙率在20%左右^[10]。透水沥青混合料对沥青胶结料的要求较高，需具备较高粘度方可有效粘结矿料、保证强度，如日本所用TPS改性沥青，60℃动力粘度高达117 000 Pa·S^[11]，为普通沥青的近千倍。

此分类的工程意义在于：其一，以上各种透水性

料的强度与孔隙率不同，适用于不同的工程场合；其二，不同透水材料铺筑面层的典型病害、维护与维修方法及难易程度不同，工程中选择透水路面材料时应考虑到这一差别。笔者在综合国内外实践经验的基础上，将不同材料透水性面层的孔隙率、强度特征、常见病害、维护与维修方法总结列于表1。

表1 不同材料透水性面层的性能

Table 1 The performance of pervious pavements with different pervious materials

面层材料	面层孔隙率	强度特征	常见病害	维护方法	维护难易	维修方法	维修难易
透水路面砖	15%~20%	抗压强度 25~45 MPa, 抗折强度 4.0~6.0 MPa	砖块断裂、砖块沉陷、砖块松动、砖块隆起、砖块翘曲	挖除不良砖块, 加铺新砖块	简单	挖除损坏砖块, 加铺新砖块	简单
透水水泥混凝土	15%~30%	抗压强度 10~20 MPa, 抗折强度 2.5~4.0 MPa	孔隙阻塞、面层裂缝	水柱冲洗	简单	切割混凝土, 挖除后重新加铺	复杂
透水沥青混合料	15%~25%	马歇尔稳定度 3~4 kN, 流值 2~3 mm, 动稳定度 550~800 次/mm	孔隙阻塞、粒料剥落、路面车辙	水柱冲洗	简单	铣刨沥青混合料后重新加铺	复杂

2 城市道路透水性路面的工程选址与类型选择

欧美等国城市道路透水性路面设计主要包括5步：工程选址与评估→透水铺装材料选用与评估→透水路面结构设计分析→透水路面施工与质量控制→透水路面成效评估^[12]，其中，“工程选址与评估”为首要步骤，与透水路面选型密切相关，两者共同决定透水路面工程的可行性、适用性、实用性、经济性；但具体操作方法不尽相同：美国偏重试验法，日本采用试验-经验法，我国台湾则采用人文、水文、地质调查法。综合上述各方法优点，结合我国实际，笔者认为我国在进行城市道路透水性路面建设工程选址与类型选择时，可在常规工程选址调查的基础上，综合考察图3所示的地质、气候、人文、交通、工程5方面条件，做出合理决策。

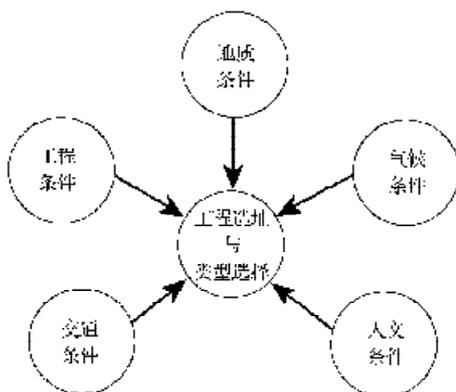


图3 城市道路透水性路面工程选址与类型选择的考察条件

Fig. 3 Researching conditions for choice of engineering site and type of urban pervious pavement

2.1 地质条件

地质条件主要指原地基土的性质，调查地质条件可确定2大问题：其一，原地基是否适合建设透水路面；其二，若可建设，宜建何种类型的透水路面。目前，美国、台湾等地均按照《Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)》(ASTM D2488-2006)进行透水路面地层土壤的描述与鉴别。该法先进行地表土层取样，制成非原状土样后进行目视-手工操作鉴别，最后按统一土壤分类法分类^[13]。据国外经验，可将地基土按适宜建设透水路面程度的不同分为表2所示的3类。由其可见，适宜建设透水路面的多为砂性土地基，粉土、饱和度较高的粘性土则不宜建设，这一结论值得我国参考。当土基不符合要求、但又必须建设时，应先对地基进行加固处理、甚至是换土。

表2 地基表层土壤类别对建设透水路面的适宜性

Table 2 Suitability of ground soil types to pervious pavement construction

地基表层土壤类别	土壤类别对建设透水路面的适宜性
GW、GP、SW、SP	适合建设排水路面、全保水路面、排水路面
GMd、SMd、GMu、GC、SMu	适合建设排水路面、半保水路面
SC、ML、CL、OL、MH、CH、OH、Pt	不适合建设透水性路面

2.2 气候条件

当遭遇可能出现的较大降雨时，透水路面应能保证雨水顺利下渗、路面不致出现雍水现象，故在透水

路面工程选址与类型选择时,应充分考虑当地的气候条件。发达国家大多利用“设计雨型”的概念来考察建设透水路面的气候条件^[14],设计雨型可理解为当地较有可能出现的典型暴雨的设计降雨量在时间上的分布情况。设计雨型对透水路面建设的作用在于:其一,工程选址时,若某地设计雨型的降雨强度很小(如干旱区等),应从技术-经济角度评估其有无建设透水路面的必要;其二,根据设计雨型可推算典型降雨强度,进而估算某地透水路面所需适应的雨水流量,以便选择透水路面类型。研究表明,透水路面蓄水量与面层孔隙率、厚度、透水路面类型等有关——面层材料孔隙率大者,透水性较大;若不考虑渗水对路基强度的影响,全保水路面由于渗水路径长、蓄水量大,较不易产生路面滞水现象;而排水路面因竖向排水路径仅为面层厚度,雨量较大时易出现路面雍水。故就气候条件而言,降雨强度较大的地区宜选孔隙率较大的面层材料、全保水型透水路面;反之,降雨小的地区宜选孔隙率较小的面层材料、排水型透水路面。

近年来国外特别重视环境温度对透水路面性能的影响,我国陶有生也于2006年提出透水路面砖的抗冻

性问题,故我国在透水路面工程选址、材料选择时应考虑对拟建工程地区的温度条件加以考虑,笔者认为以下2点尤为重要:其一,因沥青混合料高温稳定性较差、且易受水损害,加之透水沥青混合料对沥青粘度要求高、技术难度大,故在我国高温、高湿的南方地区建透水路面时应当慎用;其二,因多数透水路面砖强度较低、抗冻性较差,故在我国寒冷的北方地区建透水路面时也应慎用。

2.3 人文条件

人文条件为透水路面使用的人文环境。城市按区域功能的不同可分为工业区、商业区、文教区、住宅区、观光区等,不同功能区的空气环境不同。而由表3可知,透水路面对使用环境中空气质量的要求较高,一旦孔隙阻塞,维护、维修较困难。故笔者认为,我国在进行透水路面工程选址时,应充分考虑人文条件,将透水路面建在适宜的地区——重工业区空气悬浮物多,易阻塞面层孔隙,故不宜建透水路面;透水路面最宜建在空气质量与环境卫生较好的文教区、住宅区和观光区;城市各功能区域空气特征及建设透水路面的适宜程度列于表3。

表3 城市各功能区域建设透水路面的适宜性

Table 3 Suitability of different urban function districts to pervious pavement construction

功能区域	空气特征	交通特征	建设透水路面的适宜性	适用场合
重工业区	空气悬浮物多	交通量大,车辆轴载大	不适合	-
轻工业区、科学园区	空气悬浮物较多	交通量较大,车辆轴载较大	较适合	人行道、非机动车道等
商业区	空气悬浮物较少	交通量大,车辆轴载小	较适合	人行道、非机动车道、停车场等
文教区、住宅区、观光区	空气悬浮物少	交通量小,车辆轴载小	适合	人行道、非机动车道、机动车道、停车场等

2.4 交通条件

城市道路透水性路面必须服务于特定的交通需求,建设前应充分考虑以下方面:

1) 就工程选址而言,交通量、交通轴载决定了某地是否适宜建透水路面。笔者认为,因透水材料孔隙率高、强度相对较低,故不适用于交通量大、重载交通多的重工业区;相反,在车辆较少、特别是重载交通少的文教区、住宅区、观光区则最适宜建透水路面;城市各功能区域交通特征及建设透水路面的适宜程度列于表3。值得注意的是,表3从空气特征角度、交通特征角度来分析某区域是否适合建透水路面的结论具有一致性,原因在于空气特征、交通特征都是受到该区域人类生产、生活活动的影响。

2) 在选择透水路面面层材料时应考虑交通特征,以下2点值得重视:①因沥青类材料具有显著的“时-温关系”,流变性明显,在停车场、交叉口、收费站等车辆较多、车速较低的地点,易出现车辙等病害,故笔者认为这些地点应优先选用透水水泥混凝土^[15];②透水路面砖因砖块间易产生高低错落,而非机动车行驶

对路面平整度的要求较高,故在非机动车道不宜使用。

2.5 工程条件

在工程选址阶段,工程条件主要指建设透水路面的工程目的,透水路面选型要考虑到工程目的。若建透水路面仅为避免路面积水,可选排水型或半保水型;若建设目的是为了兼具避免路面积水与直接补给地下水的功能,则应选择全保水型,但某地究竟是否适合建设全保水型透水路面,还要受到上述地质条件等的限制。

由此可见,城市道路透水性路面建设的工程选址与类型选择是一项既重要、又复杂的工作,笔者认为应在综合考察地质、气候、人文、交通、工程等各方面条件的基础上,经过反复比选与评估,方能做出合理的选址决策与类型选择,以确保城市道路透水性路面建设的可行性、适用性、实用性、经济性。

3 结论

1) 当前,我国城市道路透水性路面建设存在着理论支持滞后于实践应用的现象,工程实践中出现问题

的根源之一在于建设前未重视透水路面的工程选址与类型选择。

2) 城市道路透水性路面按水流路径可分为排水型、半保水型、保水型, 其功能及对地基的要求等不同; 透水路面面层可用透水路面砖、透水水泥混凝土、透水沥青混合料等材料, 其孔隙率、强度、常见病害、维护与维修方法各不相同。

3) 城市道路透水性路面的工程选址与类型选择应考虑透水路面与路基的匹配性, 综合考察地质、气候、人文、交通、工程 5 个方面的条件——地质条件决定土基是否适合建透水路面、应建何种排水路径的透水路面; 气候条件包括降雨与温度, 影响透水路面的工程选址与类型选择; 人文条件、交通条件决定城市功能区域的不同与透水路面建设类型的关联性; 工程条件影响透水路面选型。

参考文献:

- [1] 董 祥. 碾压混凝土在我国道路建设中的意义及工程应用实例[J]. 建筑科学, 2008(11): 105-108.
Dong Xiang. The Significance and Engineering Application Examples of Roller Compacted Concrete in Road Construction of China[J]. Building Science, 2008(11): 105-108.
- [2] 雷颖占, 董 祥. 土木工程概论[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 17-30.
Lei Yingzhan, Dong Xiang. Introduction of Civil Engineering [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2009: 17-30.
- [3] Rune Elvik, Poul Greibe. Road Safety Effects of Porous Asphalt: A Systematic Review of Evaluation Studies[J]. Accident Analysis and Prevention, 2005(37): 515-522.
- [4] Maupin Jr G W. Asphalt Permeability Testing: Specimen Preparation and Testing Variability[C]//Transportation Research Board 80th Annual Meeting. Washington DC: TRB Publisher, 2001: 33-39.
- [5] 刘娟红, 王胜永, 王 波, 等. 无砂透水混凝土在北京市南北长街道路工程中的应用研究[J]. 混凝土, 2006(3): 81-83.
Liu Juanhong, Wang Shengyong, Wang Bo, et al. No-Fines Pervious Concrete in the Beijing North-South Long Street Road Engineering[J]. Concrete, 2006(3): 81-83.
- [6] Raab M N. Interlayer Shear Performance: Experience with Different Pavement Structures[C]//Proceeding of the 3rd Euroasphalt & Eurobitumen Congress. Vienna: Kan Findes Pa Publisher, 2004: 535-545.
- [7] 张巨松, 张添华, 赵雅静, 等. 透水路面设计的几个问题[J]. 北方交通, 2007(1): 1-4.
Zhang Jusong, Zhang Tianhua, Zhao Yajing, et al. Some Problems about Pervious Pavement Design[J]. Northern Communications, 2007(1): 1-4.
- [8] 陶有生. 关于发展和推广透水路面砖的看法[J]. 新型建筑材料, 2006(12): 74-75.
Tao Yousheng. Opinion on Development and Popularization of Porous Pavement Brick[J]. New Building Materials, 2006(12): 74-75.
- [9] 柯昌君, 杨国忠, 董 祥, 等. 建筑与装饰材料[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006: 100-103.
Ke Changjun, Yang Guozhong, Dong Xiang, et al. Materials Building and Decoration Materials[M]. Zhengzhou: The Yellow River Hydraulic Press, 2006: 100-103.
- [10] Dong X, Gao J M, He P L, et al. Study on Influences of Activity Mineral Admixture on Mechanical Properties of High Performance Lightweight Aggregate Concrete[C]//Proceedings of the 6th International Symposium on Cement & Concrete. Beijing: Foreign Languages Press, 2006: 922-928.
- [11] 董 祥, 方新财. 透水性路面的铺面材料与工程应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2009, 26(6): 39-42.
Dong Xiang, Fang Xincan. Paving Material and Application of Penetrated Pavement[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2009, 26(6): 39-42.
- [12] 大有建设株式会社. 再生排水性舗装用改「TPS-R」を用いた再生排水性装[EB/OL].[2009-04-10]. <http://www.taiyu.co.jp/>
- [13] Ballester Tom, Briggs Josh, Houle Kris, et al. Hydrologic Performance of Porous Asphalt for Porous Asphalt for Stormwater Management[C]//2007 Annual CASFM Conference. Breckenridge: Matrix Design Group, Inc, 2007: 12-14.
- [14] ASTM D2488-2006. Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure) [S].
- [15] Vittorio Ranieri. Runoff Control in Porous Pavements[D]. Bari, Italy: Department of Highways and Transportation, Polytechnic University of Bari, 2001.
- [16] 董 祥. 碾压混凝土在道路建设中的应用及施工技术[J]. 路基工程, 2008(3): 15-17.
Dong Xiang. Application and Construction of Roller Compacted Concrete in Road Construction[J]. Subgrade Engineering, 2008(3): 15-17.

(责任编辑: 张亦静)