

路基路面设计中基层材料选型与性能分析研究

袁 琪

武汉科铁人才发展有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要] 基层是承载路面结构的承重部分, 基层选用材料直接影响到路面的使用质量及使用寿命。文章研究介绍了水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定粒料、沥青稳定碎石以及级配碎石等几种典型的基层类型, 对它们各自的工程特点进行了阐述, 在此基础上从交通荷载等级、气候环境条件、地基土质与水文条件、工程造价与施工条件、环保与可持续发展要求五个方面对基层材料的选择主要影响因素进行了详细的研究, 最后针对以上五个影响因素提出了采用多指标综合评价模型进行优选的方法并结合实际给出了不同类型公路的基层材料选择方案以及结构组合优化意见, 希望通过这些内容可以给路面设计工作者带来一定的借鉴意义。

[关键词] 路面基层; 材料选型; 半刚性基层; 性能分析; 综合评价

DOI: 10.33142/ect.v4i4.19529

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

Research on the Selection and Performance Analysis of Base Materials in Roadbed and Pavement Design

YUAN Qi

Wuhan Kettie Talent Development Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: The base layer is the load-bearing part that carries the pavement structure, and the selection of materials for the base layer directly affects the quality and service life of the pavement. The article introduces several typical types of base materials, including cement stabilized crushed stone, lime fly ash stabilized aggregate, asphalt stabilized crushed stone, and graded crushed stone, and elaborates on their respective engineering characteristics. Based on this, a detailed study was conducted on the main influencing factors of base material selection from five aspects: traffic load level, climate and environmental conditions, foundation soil and hydrological conditions, engineering cost and construction conditions, and environmental protection and sustainable development requirements. Finally, a multi index comprehensive evaluation model was proposed to optimize the selection of base materials for different types of highways, and combined with practical experience, suggestions for structural combination optimization were given, so as to provide some reference significance for pavement designers.

Keywords: road base layer; material selection; semi-rigid base layer; performance analysis; comprehensive evaluation

引言

基层是路面结构的主要承重层, 基层材料及施工质量的好坏直接影响到路面的使用质量和寿命长短, 近年来随着我国公路建设数量不断增加, 车辆重量逐年上升, 同时各地气候差别较大, 对基层材料的要求也越来越高, 《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017) 明确规定基层与底基层应有较高强度、优良抗疲劳开裂性能、良好耐久性与水稳定性。但是目前路面结构设计中基层材料的选择大多依赖工程经验, 缺少系统的评估以及优化措施, 使得一些路段出现了较早的破坏情况, 比如反射裂缝、唧浆、车辙等病害。因此, 本文梳理了常见基层材料及其特性, 分

析了选材影响因素, 提出了优化措施, 供设计参考。

1 常见路面基层材料类型及特性分析

路面基层材料根据力学性质可分为半刚性基层、柔性基层和刚性基层三种类型, 不同的路面基层材料之间有着很大的区别。半刚性基层主要有水泥稳定类与石灰粉煤灰稳定类等。水泥稳定碎石半刚性基层具有较高的强度及刚度、良好的整体稳定性, 但是容易出现裂缝问题。水泥稳定粒料的优点包括强度高、水稳定性好、抗冻性强以及耐冲刷能力强且温缩和干缩变形小等特点, 是很优秀的基层材料, 在水泥混凝土路面上可以作为基层也可以应用于各种等级的沥青路面的基层, 但是所有的无机结合料都会发

生温缩和干缩变形小问题,强度达到一定水平之后会发生唧泥冲刷等问题。石灰粉煤灰稳定粒料(二灰碎石)除了早期强度偏小之外,其他优点与水泥稳定粒料性能相近,但是它的抗裂效果要好得多,可用于各级公路及城市道路的基层。石灰稳定土一般只用于高等级路面的底基层;水泥稳定碎石和二灰稳定粒料均可作为高等级路面的基层。柔性基层包括沥青稳定碎石以及级配碎石两种。级配碎石作为柔性基层的优点在于它有很好的排水性能,不会出现半刚性基层所特有的沥青路面反射裂缝现象,也是欧美发达国家高速公路的主要基层形式之一;但它缺点就是强度很低、稳定性很差、承载力很小。ATB(密级配沥青稳定碎石混合料)是一种柔性结构层,设计空隙率为3%~6%,按公称最大粒径分为ATB-25、ATB-30、ATB-40等主要等级。与半刚性基层相比,ATB有效地阻止及减少了沥青路面反射裂缝的发生,改善了路面的使用性能。沥青稳定碎石混合料的抗剪强度取决于沥青黏聚力和集料内摩擦力,它不仅耐高温,而且有很好的防水和抗裂性能。刚性基层以水泥混凝土基层为主,它的强度和刚度都非常高,适用于极重、特重交通荷载等级的路面结构,但是价格昂贵并且接缝处理麻烦。

2 路基路面设计中基层材料选型影响因素分析

2.1 交通荷载等级对材料选型的影响

交通荷载等级是选择基层材料的主要依据,无机结合料稳定类里,稳定级配碎石或砾石可用于各类交通等级的基层及底基层,沥青结合料与水泥混凝土可用于极重、特重交通的基层。对于特重、极重交通,必须使用强度较高的一类无机结合料稳定层或水泥混凝土基层才能使路面抗疲劳开裂能力和抗永久变形能力满足要求。而对于轻、中交通等级,可采用粒料类基层或者水泥稳定未筛分的碎石作为基层。近年来再生工程实际证明冷再生沥青混合料能够使现有路面铣刨料得以再利用,适用于各级公路基层或者底基层,厂拌热再生沥青混合料建议用在重交通及以上的公路建设中,随着交通压力不断加大,基层材料设计指标也要做出改变,比如增大无侧限抗压强度的标准值、限制弯沉指标等。

2.2 气候环境条件的影响

气候环境因素对基层材料的耐久性有着重大影响。对于阴冷潮湿多雨的地方来说,基层材料应该有较好的耐水性,这样才能保证材料不会因为水分而降低强度,并引起唧浆等现象。水泥稳定材料的耐水性比石灰稳定材料好很多,所以适合用在潮湿的地方;而对于季节性的冻胀地区的底层材料则要特别注重它的抗冻性。对于那些温差较大

的路段的基础与基层间可以考虑铺设垫层,这种垫层要有一定的强度以及较好的耐水性,在冰冻地区还要有较好的耐冻性。而在炎热地区的沥青稳定碎石基层,需要加强它的抗高温能力,在适当加大中粒径集料用量的情况下可提升ATB-25、ATB-30的抗高温、低温能力。寒冷地区的路基必须考虑材料对于冻融循环及低温下抗裂性的要求,石灰粉煤灰稳定类由于它的收缩量小的优势更为明显。

2.3 地基土质与水文条件影响

地质条件与地下水位对基层材料的选择有很大影响,在软弱地基处要用模量较高、整体性强的半刚性基层来提高路面路基的整体强度,在地下水位高或者排水效果差的路段要首先使用排水性能好的基层材料来减少水的影响,级配碎石柔性基层排水能力强、抗裂性良好,可以作为潮湿路段的功能层材料。如果在膨胀土区域的话,基层材料要有良好的抗变形能力,防止地基因为膨胀而产生的影响;如果是盐渍土地区的话,材料的抗腐蚀能力就成为主要的考虑因素了,水泥稳定类和沥青稳定类都是要比石灰稳定类好的,可以有效抵抗这种腐蚀能力较强的土壤。另外,在路基干湿类别选择上与基层的设计有关联,通常情况下需要保证路基为干燥或者中湿条件,在路基湿度状况较差的情况下应当采用粒料改良层或排水层等措施。

2.4 工程造价与施工条件因素

工程造价是基层材料选择的实际限制因素。半刚性基层因可以当地利用,容易加工,因而造价较低,在我国使用最多。石灰粉煤灰稳定类早期强度较低,但原料价格便宜,造价较低,适用于工期宽松的工程;但其施工后需要一定的养生期。碎石基层材料费用适中,但是对施工的质量要求高。施工条件包括施工设备、施工季节、工期需求等也都对材料的选择有很大的影响。水泥稳定材料的施工受季节影响较大,一般要求施工温度不低于5℃,但是石灰粉煤灰稳定类基层早期强度增长缓慢,不适合于低温或者雨季施工。低水泥用量稳定级配碎石基层综合了半刚性基层、柔性基层的优点,是性能可靠、经济合理的中间方案。

2.5 环保与可持续发展要求

在绿色环保思想普及下,环保、绿色、节约成为基层材料选择的主要依据之一。使用建筑垃圾再生材料来代替传统道路中的天然碎石已经成为普遍趋势,在建筑垃圾再生材料作为基层和底基层中的使用越来越常见,完全使用建筑垃圾再生骨料替代自然石材,保证道路基层和底基层的质量稳定可靠。大量使用建筑垃圾再生骨料对于提升资源利用效率有极大的好处,而且可以降低环境污染带来的

成本损失,同时还有着极高的环境价值;再生水稳材料的无侧限抗压强度达到了 4.5~5.5MPa,完全可以满足高等级道路底基层规范的要求;同开矿产相比,在生产过程中可以少释放大约 65%的二氧化碳气体。另外,温拌沥青工艺以及废胎胶粉改性沥青等一些绿色的产品,在路面基层的应用越来越多。固废基胶凝材料代替传统的水泥稳定技术的应用也在逐渐普及,减少了公路工程建设过程中的碳排放水平。在选择材料的过程中也要考虑全寿命期的碳排放量、资源消耗以及对生态环境的影响等因素。

3 路基路面设计中基层材料优化选型方法与设计策略

3.1 多指标综合评价模型构建

基层材料选择受多因素制约,建立多层次综合评价模型才是选择最优材料的正确方法。评价指标一般是从技术指标、经济指标以及环境指标三大方面进行设置,包括强度、稳定性、抗冻融性等技术指标与投资金额、施工难易程度、是否符合环保要求等内容。而层次分析法(AHP)及模糊综合评判法是道路工程材料比选的常用方法,在其中分别设置了决策指标的层次结构和模糊关系矩阵来求出各指标的权重大小,从而对不同的材料做出比较全面的评价。根据实际的道路等级、区域条件及工程项目的要求,针对各个评价指标也可以有不同的权重系数。比如:高速公路可以适当增加对材料力学性能指标的比重;而农村道路就要注重经济和施工便捷程度等。而物元分析法可以从经济、技术以及环境三个因素出发设立道路建设用材料系统评估指标集并对不同的评估指标的量化值加以判断。

3.2 基于性能的材料选型方法

基于性能的选择方法是以工程的需求为出发点,将材料性能指标与结构设计指标直接对应。其核心是先明确路面结构对基层的性能要求(如设计弯沉、基层顶面拉应力、疲劳寿命等),再选取满足指标的材料组合并比选最优方案。《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017)按公路等级、使用功能、承载能力,结合当地的自然环境因素以及材料、工程技术条件等要素来进行结构组合、材料设计、厚度设计,通过技术和经济效益的比选最终确定方案。性能评估方面,半刚性基层的主要性能参数有无侧限抗压强度、抗压回弹模量、劈裂强度、干缩系数;柔性基层主要以抗永久变形能力、回弹模量以及疲劳性为主。

3.3 不同等级公路基层材料选型建议

不同等级公路对于基层材料的技术指标要求各不相

同,在选择的时候要根据实际情况而定,下表是不同等级公路基层材料的选择建议。

表1 不同等级公路基层材料选型建议

公路等级	推荐基层材料	可选基层材料	底基层材料建议	选型要点
高速公路 一级公路	水泥稳定碎石	二灰碎石 ATB 沥青稳定碎石	低剂量水泥稳定碎石 级配碎石	高强度、抗疲劳、抗裂性、耐久性优先
二级公路	水泥稳定碎石 二灰稳定粒料	低水泥剂量稳定碎石	水泥稳定土 石灰稳定土	兼顾性能与经济性
三级公路	石灰粉煤灰稳定粒料 水泥稳定砂砾	级配碎石	石灰粉煤灰土 天然砂砾	经济性优先 保证基本承载力
四级公路	级配碎石 填隙碎石	水泥稳定土 石灰稳定土	天然砂砾 改善土	就地取材 满足最低强度要求

重交通、特重交通等级的路基可选用水泥混凝土或者高强水泥稳定碎石,必要时可采用沥青稳定碎石联结层来加强结构的整体稳定性。在湿地区域,可以采用水泥稳定材料作为基层并建立良好的排水系统,在寒冷的冰雪区域,则需考虑基层材料具有一定的抗冻能力,需要设置抗冻层。现在复合式基层(比如半刚性基层+级配碎石过渡层)在高等级公路应用广泛,可有效缓解反射裂缝的问题。

3.4 基层结构组合优化设计

基层材料组合优化是改善路面使用性能的重要方法之一。国内半刚性基层沥青路面施工过程中,反射裂缝一直是困扰建设领域的技术难题,它也是引起沥青路面早期破坏的原因所在。为了减缓半刚性基层反射裂缝的发生、降低路面早期损坏程度、延长道路使用寿命,现阶段我国广泛采用复合基层结构。复合基层一般指的是在水泥稳定碎石基层与沥青层之间增设一层级配碎石作为过渡,从而可以有效抑制反射裂缝的发生、增强排水、实现延长沥青路面使用寿命的效果。通过实践检验、质量鉴定,复合基层解决了半刚性基层上沥青路面的反射裂缝问题,同时改善单纯柔性基层上的车辙病害,延长路面使用年限。除复合基底外,还有大厚度半刚性基层以及全深式沥青路面也是新型结构形式。大厚度半刚性基层采用一次摊铺成型,减少层间薄弱面,提升结构整体性;全深式沥青路面是取消半刚性基层,以厚层沥青稳定碎石为承重层的设计方法,从根本上去除了反射裂缝的产生条件,但是造价较高。在具体设计当中应根据交通等级、环境条件以及工程经济性

来选择合适的基层结构组合,重载交通路段可以采用“水泥稳定碎石基层+级配碎石过渡层+沥青面层”组合结构,一般交通路段可以采用单一水泥稳定碎石基层结构设计方式,在低温多雨地区应当设置排水层与防冻层。合理的基层结构组合可提升道路耐久性与使用寿命。

4 结语

基层材料选型是路基路面工程的关键环节,直接影响着路基路面的使用寿命及全寿命周期成本。本文系统分析水泥稳定碎石、二灰稳定粒料、沥青稳定碎石、级配碎石等常用基层材料性能,明确交通荷载、气候环境、地基土质、工程造价、施工条件及环保要求对选型的影响,指出缺少系统的评估手段也是目前造成工程中出现较多早期病害的原因之一。多层次综合评估模型以及基于性能的选择材料法是进行科学选择的有效手段,各级别公路基层材料选择方案以及结构组成优化方案对于路基的设计具有

指导意义。将来会因为绿色公路的理念越来越普及以及大数据、人工智能等相关技术的研究发展而产生出智能化的基层材料的选择方案以及全生命周期优化的方案等新技术。

【参考文献】

- [1]霍畅维.道路基层水泥稳定碎石材料配比设计对强度的影响[J].城市建设,2025(14):38-40.
- [2]闫升,武旭,魏定邦,等.钢渣基道路基层材料设计与路用性能研究[J].公路,2024,69(1):41-47.
- [3]尹锦明,姜毅,孟玮,等.基于基层的海绵型道路与材料的设计研究[J].新型建筑材料,2017,44(11):143-146.
- [4]马健生,孙大伟,余地,等.装配式道路基层结构填缝材料配比设计及性能分析[J].公路,2017,62(10):17-21.

作者简介:袁琪(1992—),男,汉族,重庆市垫江县,工程师,2015年06月毕业于中国地质大学江城学院,本科,现主要从事的工作道路工程方向。