

GONGLU GONGCHENG HUNHELIAO
PEIHEBI SHEJI YU SHIYAN JISHU SHOUCHE

公路工程混合料配合比 设计与试验技术手册

徐培华 王安玲 编著

王秉纲 主审



人民交通出版社

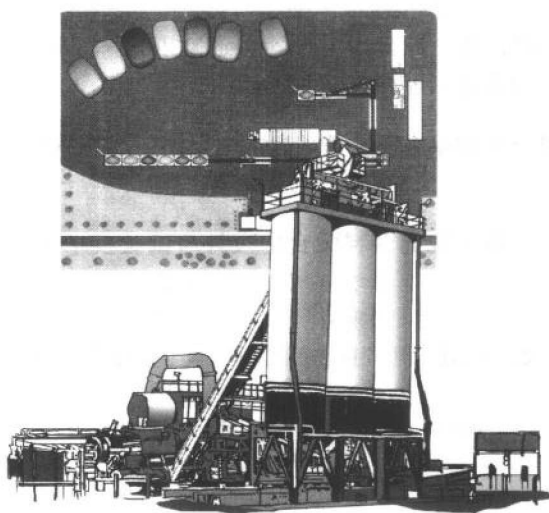


GONGLU GONGCHENG HUNHELIAO
PEIHEBI SHEJI YU SHIYAN JISHU SHOUC

公路工程混合料配合比 设计与试验技术手册

徐培华 王安玲 编著

王秉纲 主审



人民交通出版社



内 容 提 要

本手册以现行部颁公路工程设计规范、施工技术规范 and 试验检测规程为主要依据,同时融入了编者长期积累的试验检测工作经验,并引用了大量的工程实例资料编著而成。该手册分上、中、下三篇,其中包括无机结合料稳定土混合料配合比设计与试验技术、水泥混凝土配合比设计与试验技术、沥青混合料配合比设计与试验技术。各篇可自成体系,每篇均系统简明地介绍了混合料配合比设计原则、方法和步骤,并对各种配合比设计方法列举了实例;同时还对原材料质量要求和配合比试验方法作了详细的介绍,并提供了部分混合料的配合比参考表。该手册在编著中力求简明扼要、注重实用。

该手册内容新颖实用、文字通俗易懂,对从事公路工程混合料配合比设计和试验检测的技术人员具有参考价值。该手册可作为公路工程试验检测技术人员的岗前培训教材,也可作为从事公路工程建设管理、设计和施工、监理及监督等人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程混合料配合比设计与试验技术手册 / 徐培华,
王安玲编著. —北京:人民交通出版社,2001
ISBN 7-114-03933-6

I.公... II.①徐...②王... III.①道路工程-建筑
材料:配合料-混合比-设计②道路工程-建筑材料:配
合料-混合比-试验 IV.U414.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 25655 号

公路工程混合料配合比设计与试验技术手册

徐培华 王安玲 编著

王秉纲 主审

正文设计:涂 浩 责任校对:张 莹 责任印制:张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张:26.5 字数:664 千

2001 年 8 月 第 1 版

2001 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—5000 册 定价:50.00 元

ISBN 7-114-03933-6

TU·00075

前 言

混合料配合比设计与试验技术是一门新的工程应用技术,这项技术是在满足某些技术指标参数的前提下,以取得最大经济效益为目标。混合料配合比设计试验技术的目标是按指定的某些技术指标进行设计,并通过试验确定各种材料的质量控制参数和最佳配合比例,要实现这一目标的基本保证是合理的选材、科学的配制。

混合料配合比设计也称为材料组成设计,它是工程设计的重要组成部分,也是公路工程施工技术管理的重要内容之一。通过混合料配合比设计,选用能符合有关规范技术要求的原材料,使工程混合材料组成设计建立在科学的、经济的、合理的基础上,使所完成的工程在技术上是可靠的,经济上也是合理的。

随着公路工程建设范围日益扩大,技术水平不断发展,质量要求愈来愈高,混合材料配合比设计试验技术对于公路工程技术人员来说也愈加重要。编著本书的目的就在于为现代公路工程技术人员提供一册内容丰富、实用系统的公路工程混合材料配合比设计试验技术参考资料。

《公路工程混合料配合比设计与试验技术手册》以现行部颁公路工程设计规范、施工技术规范 and 试验检测规程为主要依据,同时融入了编者长期积累的试验检测工作经验,并引用了大量的工程试验资料,比较简明系统地介绍了公路工程混合料配合比设计与试验技术。该书共分三篇,其中包括上篇“无机结合料稳定土混合料配合比设计与试验技术”、中篇“沥青混合料配合比设计与试验技术”、下篇“水泥混凝土配合比设计与试验技术”。

该书内容丰富、取材新颖、简明系统、注重实用,是一本全新的公路工程混合料配合比设计试验技术资料。如果编者的努力能够引起更多同仁对该项技术的关注和兴趣,同时若能够给正在试验研究或正在从事该项工作的同行们一点启迪的话,那就如愿以偿了。

该书由长安大学公路学院徐培华高级工程师和西安公路研究所王安玲高级工程师编著,长安大学王秉纲教授主审。在编著过程中,得到长安大学公路学院和西安公路研究所有关领导和同事的支持和帮助。在书稿的修改过程中,陕西省高等级公路管理局赵杰工程师和陈海波同志及热心的读者和部分同仁对该书的初稿提出宝贵的建议,赵洁、陈海波并协助做了部分修订工作。另外,陕西省公路工程试验检测中心的刘连英工程师也给予了大力支持;周俊秋、李晓艳、李虹等同志也为该书做了大量的工作,编著者谨向诸位表示真挚的感谢。需要说明的是,在该书的编著和修改过程中参考了国内有关专著、内部资料、研究成果和试验报告,并引用了部分段落和个别实例,在此也向有关作者和单位表示谢意。

该书在编著过程中作者虽已竭尽全力,但由于学识疏浅和客观条件所限,加之混合料配合比设计试验技术涉及知识面比较广,有许多方法、参数、指标等技术问题还有待于进一步深入研究和验证完善。为此,编著者期望读者能把该书看作一门新学科发展过程中的一个起点,期待着来自各方的有益之见,以便推动公路工程混合材料配合比设计试验技术在我国进一步完善和发展。

编著者

2001年3月6日

目 录

上 篇 无机结合料稳定土混合料配合比设计与试验技术

第一章 概论	1
第一节 常用路面基层混合料类型简述.....	1
第二节 路面基层混合材料的主要技术要求.....	4
第三节 无机结合料稳定土混合料的特点	10
第四节 无机结合料稳定土混合料组成设计方法	13
第五节 无机结合料稳定土混合料组成设计注意事项	20
第二章 水泥稳定土混合料配合比设计方法	25
第一节 概述	25
第二节 水泥稳定土基本知识	27
第三节 原材料基本要求	34
第四节 混合料配合比组成设计方法	36
第五节 混合料配合比设计注意事项	39
第六节 混合料配合比组成设计示例	42
第三章 石灰稳定土混合料配合比设计方法	50
第一节 概述	50
第二节 石灰稳定土基本知识	52
第三节 原材料基本要求	57
第四节 混合料配合比组成设计方法	58
第五节 混合料配合比设计注意事项	60
第六节 混合料配合比组成设计示例	63
第四章 综合稳定土混合料配合比设计方法	69
第一节 概述	69
第二节 综合稳定土基本知识	71
第三节 原材料基本要求	82
第四节 混合料配合比组成设计方法	83
第五节 混合料配合比设计注意事项	85
第六节 混合料配合比组成设计示例	87
第五章 无机结合料稳定土混合料配合比试验方法	89
第一节 标准击实试验方法	89
第二节 无侧限抗压强度试验方法	95

第三节	间接抗拉强度试验方法	99
第四节	抗压回弹模量试验方法	102

中 篇 沥青混合料配合比设计与试验技术

第一章	热拌沥青混合料配合比设计方法	107
第一节	沥青混合料的组成结构	107
第二节	沥青混合料技术性质	110
第三节	沥青混合料技术标准	113
第四节	沥青混合料组成材料技术性质	114
第五节	沥青混合料配合比设计方法	120
第六节	沥青混合料配合比设计示例	129
第七节	非连续级配沥青混合料配合比设计方法要点	135
第二章	热拌沥青混合料试验方法	138
第一节	沥青混合料取样方法	138
第二节	沥青混合料试件制作方法	140
第三节	沥青混合料试件的密度试验方法	148
第四节	沥青混合料稳定度试验方法	157
第五节	沥青混合料压缩试验方法	164
第六节	沥青混合料劲度模量试验方法	172
第三章	乳化沥青混合料配合比设计方法	177
第一节	乳化沥青和乳化沥青混合料简介	177
第二节	乳化沥青混合料强度形成过程	179
第三节	影响乳化沥青混合料性能的因素	180
第四节	乳化沥青混合料的材料组成和技术要求	183
第五节	乳化沥青混合料配合比设计方法	184
第六节	乳化沥青混合料配合比设计示例	189
第四章	乳化沥青材料和乳化沥青混合料试验方法	195
第一节	乳化沥青材料分类	195
第二节	乳化沥青材料技术标准	196
第三节	乳化沥青材料试验方法简介	197
第四节	乳化沥青混合料修正马歇尔试验方法	202
第五章	稀浆封层混合料配合比设计与试验方法	208
第一节	稀浆封层技术简介	208
第二节	稀浆封层混合料的原材料基本要求	209
第三节	稀浆混合料配合比设计方法	211
第四节	稀浆封层混合料配合比试验方法	212
第六章	SMA 混合料配合比设计方法	218
第一节	SMA 混合料组成特点	219
第二节	SMA 混合料形成机理	221

第三节	SMA 对原材料的基本要求	225
第四节	SMA 配合比设计方法	232
第五节	SMA 配合比设计检验	245
第六节	SMA 配合比设计示例	251

下 篇 水泥混凝土配合比设计与试验技术

第一章	普通水泥混凝土主要技术性能	259
第一节	概述	259
第二节	水泥混凝土的工作性	261
第三节	水泥混凝土强度	266
第四节	水泥混凝土变形	273
第五节	水泥混凝土耐久性	277
第二章	普通水泥混凝土组成材料基本要求	279
第一节	概述	279
第二节	水泥材料	280
第三节	细集料	283
第四节	粗集料	287
第五节	混凝土拌和用水	291
第六节	混凝土外加剂	292
第三章	普通水泥混凝土配合比设计方法	297
第一节	概述	297
第二节	普通水泥混凝土配合比设计方法	300
第三节	路面水泥混凝土配合比设计方法	307
第四节	水泥混凝土配合比设计示例	309
第五节	普通水泥混凝土配合比参考表	317
第四章	砌筑砂浆配合比设计方法	332
第一节	概述	332
第二节	水泥砂浆配合比设计方法	337
第三节	混合砂浆配合比设计方法	340
第四节	粉煤灰砂浆配合比设计方法	342
第五节	关于其它砂浆配合比问题	346
第六节	砂浆配合比参考表	347
第五章	普通水泥混凝土配合比试验方法	350
第一节	水泥混凝土试件制作及养护方法	350
第二节	水泥混凝土拌和物工作性试验方法	353
第三节	水泥混凝土强度常规试验方法	356
第四节	水泥混凝土强度快速试验方法	362
第六章	特种水泥混凝土配合比设计方法	367
第一节	掺粉煤灰混凝土配合比设计方法	367

第二节	轻质集料混凝土配合比设计方法	374
第三节	水下浇筑混凝土配合比设计方法	383
第四节	掺外加剂混凝土配合比设计方法	391
第五节	喷射混凝土配合比设计方法	397
第六节	高强混凝土配合比设计方法	403
第七节	防水混凝土配合比设计方法	406
第八节	小砌块混凝土配合比设计方法	410
参考文献		414

上篇 无机结合料稳定土混合料配合比设计与试验技术

第一章 概 论

凡是采用无机结合料(又称水硬性结合料)稳定的各种土,当其强度符合有关技术规范的基本要求时,都统称为无机结合料稳定土混合材料,包括水泥稳定土、石灰稳定土、石灰稳定工业废渣和综合稳定土。本篇中的水泥稳定土和石灰稳定土都是一个广义的名称,它既包括稳定各种细粒土(如粘性土、砂性土和石屑等),也包括稳定各种中粒土和粗粒土(如砂砾土、碎石土、级配砂砾和级配碎石等)。

第一节 常用路面基层混合料类型简述

我国路面所用的基层材料已走向规格化和定型化,同时路面基层的设计和施工也更具科学性,这是公路交通量和路面工程技术发展到一定水平后的必然结果。

作为沥青路面和水泥混凝土路面的基层材料,应该具有以下几个特点:

(1)在路面使用过程中比较稳定,很少产生形变。从这点出发,应该采用密实类型的材料如各种结合料稳定材料、级配碎石、级配砾石和填隙碎石,而不宜采用多孔隙的材料,如“干压碎石”及手摆片石之类。

(2)材料的透水性小、孔隙率小,从而在材料层内所能积存的自由水也少,以保持基层本身、底基层以及土基的强度稳定。从这点出发,也应采用密实类型的材料,而不宜采用多孔隙的材料。

(3)基层和底基层材料都应适宜于机械加工(包括原材料的加工和混合料的加工)以及机械铺筑,以保证质量、提高功效和减小劳动强度。

我国常用的基层材料包括六类,即水泥稳定土、石灰稳定土、石灰工业废渣稳定土、级配碎石、级配砾石和填隙碎石,而且在同一类材料中有的还包括几种不同形式或“亚类”。例如,在水泥稳定土类中,有水泥土、水泥稳定粒料(土)亚类,而且粒料(土)的颗粒组成范围相当宽。显然,这六类基层材料和不同的亚类材料用做路面基层时会具有不同的结构功能。换句话说,这些不同基层材料并不是可以不加选择地用到任何等级道路上去的,它们有各自适用的范围。

一、水泥稳定土

由于可被水泥稳定的土的范围相当广泛,同时水泥剂量愈多,水泥稳定土混合料的强度愈高,因此,水泥稳定土的强度可以在大范围内进行调整,以适应不同等级道路以及不同路面结

构层位(基层或底基层)对材料的强度要求。例如,水泥稳定土的无限侧抗压强度低可以低到小于 1MPa,高可以高到 10MPa 以上(7d 龄期),直到水泥混凝土的强度。因此,单纯从强度而言,水泥稳定土可以适用做各种等级道路路面的基层。但是,考虑不同水泥稳定土的干缩性能、温缩性能、抗冲刷性能等因素后,对于不同等级道路的路面以及对于不同的路面结构层位,应该选用技术和经济都最合适的材料。例如:稳定细粒土,特别是稳定各种砂性土、粉性土和粘性土,不应直接用做高级路面的基层,而只应用做底基层。作为高等级道路上路面的基层,不但应选用稳定粒料,而且粒料的级配应符合基层施工规范中规定的集料级配范围,或级配碎石基层或级配砾石基层的集料级配范围,以改善水泥稳定粒料基层的干缩和温缩性以及提高其抗冲刷能力。对于其他等级道路上的路面基层,则可以选用基层施工规范中水泥稳定土基层颗粒组成范围内的任何当地材料进行稳定。

二、石灰稳定土

石灰稳定土的强度较水泥稳定土的强度低得多。例如,良好的石灰土 3 个月龄期无侧限抗压强度只有 2.0~2.5MPa,间接抗拉强度只有 0.19MPa(这是指一般的情况,实践中曾遇到过石灰土的无侧限抗压强度高达 5~6MPa 的特殊情况)。此外,石灰土的强度没有大的可调整范围。但是,实践证明,石灰稳定土基层有很大的刚性和荷载分布能力,它仅略次于水泥稳定土基层,因此,它仍是一种较好的路面基层和底基层材料。它虽然可用做各种路面的基层和底基层,但是将它用到高等级道路上却要十分注意。即使是石灰土稳定良好的级配碎石,在高速公路上也不宜用做基层(至少根据目前对这种材料的性能的了解),其主要原因是这种材料的抗拉强度较低和抗冲刷能力较差,收缩性也较大。

石灰土不应直接用做高级路面的基层,而只应用做底基层。作为高级路面的基层,不但应选用石灰稳定粒料土或石灰土稳定粒料,而且粒料的比例应该为 80%~85%。同时其级配应符合基层施工规范中规定的级配碎石基层或级配砾石基层的集料级配范围。由于石灰土的冰冻稳定性较差以及在过分潮湿情况下难于成型和达到高的强度,实践证明,在冰冻地区的潮湿和过分潮湿路段以及其他地区的过分潮湿路段不宜采用石灰土做基层。在只能采用石灰土时,应该采取措施防止水分浸入石灰土结构层。

三、石灰工业废渣稳定土

石灰工业废渣稳定土中具有普遍意义的主要材料是石灰粉煤灰稳定类,它包括:石灰粉煤灰细粒土(如石灰粉煤灰、石灰粉煤灰土、石灰粉煤灰砂等)、石灰粉煤灰中粒土和粗粒土(如石灰粉煤灰砂砾或砂砾土、石灰粉煤灰碎石、石灰粉煤灰矿渣以及石灰粉煤灰其他粒料)。后两者也可简称石灰粉煤灰粒料或二灰粒料。

就石灰粉煤灰土或二灰土而言,其强度随 3 个组成部分的配合比而变。但在原材料不变及压实度相同的情况下,其 7d 龄期的无侧限抗压强度 R_7 变化不大。例如,根据有关资料, R_7 的变化范围为 0.50~0.90MPa。某些二灰细粒土的强度虽然可能明显超过二灰粒料的强度,但考虑前者的干缩和温缩系数明显大于后者,以及前者的抗冲刷性能次于后者,因此,二灰细粒土不应用做高级路面的基层,而只用做高级路面的底基层。

二灰砂砾和二灰碎石(使用质量好的粉煤灰时)的 3 个月龄期的强度大致相当于水泥砂砾

和水泥碎石的强度;二灰矿渣(铁渣)3个月龄期的强度,特别是其抗拉强度甚至可超过水泥碎石的强度,因此,二灰粒料与水泥砂砾或水泥碎石一样可用做高等级道路上路面的基层。但是,作为高等级道路上路面的基层,宜采用粒料占80%以上的二灰粒料混合料,同时粒料应具有良好的级配,且其中0.075mm以下的颗粒含量应接近于0,以减小二灰粒料基层的收缩性并增加其抗冲刷性能。二灰粒料可用做各种等级道路上路面的基层。

四、级配碎石

级配碎石是不用结合料的传统基层材料中最好的一种材料。在不少国家用承载比(*CBR*)作为检验基层材料是否合适的技术指标时,对级配碎石通常不提*CBR*值的要求,也不做*CBR*试验。因为,当级配碎石的颗粒组成符合规定的级配范围以及塑性指数小于规定的限值时,其*CBR*值完全满足要求。在用抗剪强度作为路面设计的技术指标之一时,也认为级配碎石是一种免检材料。

级配碎石实际上可在各种等级道路上用做不同等级路面的基层。但是,在重交通的高等级道路上用做沥青路面的基层,而基层下又无半刚性材料层时,其上往往需要铺筑厚层沥青面层。例如,国外高等级道路的级配碎石基层上沥青面层的厚度一般为22~30cm。日本的第一条高速公路(名神高速公路)曾采用级配碎石基层和10cm厚沥青混凝土面层。但该路使用不到10年,不少路段上的沥青路面就开始破坏。他们总结得出的破坏原因之一就是级配碎石作为高速公路的基层强度不够。因此,日本在后来建设的一些高速公路上,当采用级配碎石基层时,其上沥青结构层的总厚度为25~28cm,实际上把级配碎石层作为底基层看待。

在一些国家的重交通高等级道路上,常采用级配碎石作为半刚性基层与沥青面层间的隔离层或应力消减层。在这种情况下,级配碎石层上的沥青面层可大大减薄,直至仅厚5~10cm。

在石料丰富的地区,采用级配碎石基层往往是比较经济的。在潮湿多雨地区,采用级配碎石基层更具优越性,因为施工过程中降雨对其性质的影响很小。目前,至少在二级以下的公路上采用级配碎石基层时不需要厚沥青面层,可以采用与半刚性基层上相同厚度的沥青面层。

五、级配砾石或级配砂砾

承载比、级配、塑性指数或塑性指数与0.5mm以下颗粒含量的乘积都满足规定要求的级配砾石,如用做薄沥青面层下的基层时,它只能用在轻交通道路上。

在某些国家的高速公路上也有采用级配砾石做沥青路面中的基层(或实际上的底基层)的,但此时其上沥青结构层的总厚度常在25~30cm。只是在级配砾石层很厚(60~80cm)的情况下或级配砾石层下无机结合料处治层时,其上沥青结构层的厚度才稍薄(18~24cm)。在实际生产中,可用少量石灰或水泥改善级配砾石的塑性指数或强度,使其符合规定的基层材料技术要求。这种改善材料的应用范围与级配砾石相同。

六、填隙碎石

填隙碎石也是一种不用结合料的良好基层材料,它的力学性质接近于级配碎石,优于级配砾石。

干法施工的填隙碎石在国外(英国、印度等)的施工规范中称干结碎石,湿法施工的填隙碎石在国外的施工规范中称水结碎石。在二级以下的公路上,填隙碎石可以用做各种路面的基层。填隙碎石也可以用做应力消减层。干法施工的填隙碎石特别适宜用在干旱地区,因为它可以不要用水。

此外尚有沥青稳定碎石等,国外有不少应用。

第二节 路面基层混合材料的主要技术要求

基层混合材料的质量对整个路面工程,特别是沥青路面的强度、使用性能和耐久寿命都有十分重要的影响,因此,作为路面基层,无论是水泥混凝土路面还是沥青路面的基层,一般必须具备以下几个基本条件:

一、足够的强度和刚度

1. 强度

基层必须能承受车轮荷载的反复作用,即在预定设计标准轴次反复作用下,基层不会产生过多的残余形变,更不会产生剪切破坏(无结合料的粒料基层)或疲劳弯拉破坏(用各种结合料处治的基层)。基层要满足上述技术要求,除必需的厚度外,主要取决于基层材料本身的强度。对基层材料的强度要求,在重交通道路上要比一般道路的高。材料的强度包括两个方面:一方面是石料颗粒本身的硬度或强度,可用集料压碎值或集料磨耗值表示,我国也用岩石的抗压强度表示;另一方面是混合材料整体的强度或刚度,如回弹模量、承载比、抗压强度、抗剪强度、抗弯拉强度或间接抗拉强度(劈裂强度)等。

在我国《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—2000)中,采用了仪器简单、操作方便以及试验精度高的集料压碎值作为选择粒料的技术指标。集料压碎值既可用来检验碎石,也可用来检验砾石以及其他粒料是否符合技术要求。

在我国路面基层施工规范中,对于用水硬性结合料处治的材料,只采用一个抗压强度指标,而没有采用其他指标。这一方面是因为抗压强度是一个已使用了数十年的大家熟知的指标,从试件的制备到试验本身都是比较简单易行的,也已积累了很丰富的资料和经验;另一方面,不同强度指标是互有联系的,许多试验结果表明,同种材料的不同强度指标间具有较好的统计关系。例如,综合不同地区、不同单位的比较试验结果,已初步得出下列弯拉强度 R_b 与间接抗拉强度 R_t 之间的统计关系:

交通部公路科学研究所用石灰或水泥分别稳定和综合稳定细粒土的 $R_b/R_t = 2.07 (n = 104, C_v = 24.4\%)$ 。如将石灰土和水泥土分别计算,则石灰土的 $R_b/R_t = 2.03 (n = 55, C_v = 20.0\%)$,水泥土和水泥石灰综合稳定土的 $R_b/R_t = 2.14 (n = 52, C_v = 29.7\%)$ 。

重庆公路科学研究所采用石灰粉煤灰土、石灰粉煤灰砂以及石灰粉煤灰碎石土的对比试验资料表明, $R_b/R_t = 2.85 (n = 16, C_v = 21.0\%)$ 。

上海市政工程研究所的对比试验结果表明,石灰锰渣、石灰水淬渣、石灰粉煤灰和石灰炉渣四种材料的 $R_b/R_t = 2.63 (C_v = 17\%)$ 。

京津塘高速公路路面设计时的对比试验结果表明,石灰粉煤灰粒料(砂砾或矿渣占 70%

以上)的 $R_b/R_i = 2.51 (n = 46)$ 。

西安公路研究所用水泥砂砾、石灰粉煤灰砂砾、石灰土和石灰粉煤灰土做的对比试验表明,综合在一起,这些材料的 R_b/R_i 平均为 2.0,偏差系数 15%。

为使用方便起见,可取抗弯拉强度为间接抗拉强度的两倍,即 $R_b/R_i = 2.0$ 。

2. 刚度

基层的刚度(回弹模量)必须与面层的刚度相配。如面层和基层的刚度差别过大,则面层会由于过大的拉应力或拉应变而过早开裂破坏。各种基层材料,就其强度和刚度而言,大致可分为三个等级。强度和刚度最高的一级中可包括水泥稳定粒料(土)、石灰粉煤灰稳定粒料(土)、石灰土稳定碎石(或砂砾)或石灰稳定砂砾土、沥青碎石(混合料)及沥青贯入式碎石(后两种含沥青的材料仅指在较低温度下的表现);强度和刚度中等的一级中可包括水泥土、石灰粉煤灰土、石灰土、级配碎石和填隙碎石;强度和刚度最低的是级配砾石和级配碎砾石。当然,在同一等级中的不同材料的强度和刚度也是有明显差别的。例如,水泥稳定粒料和石灰粉煤灰粒料的强度和刚度大致相同,但它们的强度却明显高于石灰土碎石或石灰砂砾土;又如,同样是石灰粉煤灰粒料,石灰粉煤灰矿渣的强度大于石灰粉煤灰碎石,而后的强度又大于石灰粉煤灰砂砾。因此,在沥青面层下,应该选用结合料稳定材料做基层,特别是用水泥或石灰粉煤灰等稳定的粒料。

温度较低时,沥青面层的刚度往往较大。在轻交通和中等交通道路上,沥青面层的厚度较薄,即使在重交通道路上,由于我国目前沥青资源不足,沥青混合料的单价较高,也不可能铺筑过厚的沥青面层。当然,客观上也不一定需要厚沥青面层,厚沥青面层也不一定就好。在沥青面层较薄的情况下,整个路面的承载能力将主要依靠基层来满足,这就要求基层材料具有较高的强度和刚度,而且基层的厚度也要较大。使用强度大的、承载能力高的基层,以适应较薄的沥青面层,或适当减薄沥青面层,在我国当前的具体情况下具有很大的现实意义和经济意义。

采用半刚性材料,特别是厚层的半刚性材料(它可以是同一种半刚性基层材料,也可以是两种不同半刚性材料的组合),可使路面具有很高的承载能力。

在重交通道路、一级公路和高速公路上,基层材料还应该有的抗疲劳破坏能力。就各种材料的抗疲劳破坏能力而言,由强到弱的排列次序为:沥青混凝土、沥青碎石(混合料)、石灰粉煤灰粒料(矿渣、碎石、砾石)、水泥粒料(碎石、砾石、砂砾土)以及石灰土粒料或石灰粒料土。

二、足够的水稳性和冰冻稳定性

1. 水稳性

沥青面层,特别是喷撒型的沥青表面处治和沥青贯入式面层,往往是透水的,尤其在使用初期,其透水性较大,因此,雨季表面水有可能透过沥青面层进入基层和底基层中。表面水也有可能从两侧路肩或路面与路肩的结合处以及中央分隔带的路缘石与路面的结合处透入路面结构层中。如果沥青面层上产生了裂缝,表面水更会从裂缝透入路面结构层中。在地下水位接近地表的地段,特别在路基填土不高时,地下水可通过毛细作用进入路面结构层;在冰冻地区,由于冬季水分重分布的结果,路基上层和路面底基层都可能处于潮湿或过分潮湿状态。沥青面层虽不是完全不透水的,但却能阻碍路面结构层和土基中的水分蒸发。调查试验表明,水分从沥青面层中蒸发出来要比透进去困难得多。进入路面结构层的水能使含土较多、土的塑

性指数较大的基层或底基层材料的含水量增加,使强度大大降低,从而导致沥青路面过早破坏。在冰冻地区,这种水造成的危害更大。

在 20 世纪 60 年代和 70 年代推广渣油表面处治期间,一些原来没有破坏的泥结碎石和级配砾石等中级路面,在加铺表面处治之后,路面反而很快破坏,其主要原因就是加铺渣油表面处治以后,土基及泥结碎石或级配砾石等路面结构层的含水量增大,这些含土多、土的塑性指数大的路面材料的水稳性不好。因此,必须用水稳性好的材料做路面的基层和底基层。

对于一些暂时铺筑的中级路面,如在不久的将来有可能改建成沥青路面时,也应该用水稳性好的材料做路面的承重层,然后在其上铺筑一层细粒料磨耗层兼保护层。这样可以避免将来一旦铺筑沥青面层时将原路面全部挖翻的既不经济又麻烦的做法,而且还可以保证质量。

在老路改建和对原路面进行补强设计时,应对原路面材料进行检验,只有原路面材料的技术性能符合公路路面基层施工技术规范对相应材料的技术要求时,才能将原路面层作为改建路面结构的一部分,即可以直接在原路面上铺筑补强层。否则,应先处理原路面材料,使其达到规定的技术要求,然后再铺筑补强层。

就各种基层材料的水稳性而言,石灰粉煤灰粒料和水泥粒料的水稳性最好,细土含量多且塑性指数大的级配碎石和级配砾石的水稳性最差。水泥处治粒料土及石灰处治粒料土的水稳性随其中细土含量的增加及其塑性指数增大而降低。

鉴于同样的理由,在确定基层材料的强度时,必须考虑表面水不可避免地要进入基层的最不利情况。

实践证明,无论对于石灰稳定土还是对于水泥稳定土,只有在浸水的最不利情况下,才能确切判断它是否具有足够的强度或是否可用做路面结构层。例如,曾用 8% 的石灰(有效钙含量略大于 40%)处治膨胀土,湿养 7d 后的无侧限抗压强度为 0.8~1.0MPa,这个强度水平作为路面底基层是完全可以的,但实际应用后却发生了问题。其后的试验表明,8% 石灰处治这种胀缩性粘土根本没有水稳性,试件经过 6d 和 13d 养生后浸入水中立即崩解。即使是石灰剂量高达 15%,也不能完全避免这种浸水崩解的情况。用水泥稳定土也同样发生过这种情况。

2. 冰冻稳定性

用于冰冻地区,特别是重冰冻地区的路面基层材料还应该有足够的冰冻稳定性。

在冰冻地区,在地下水位接近地表或路基两侧有长期积水的情况下,如果路基填土高度不大,在冬季土路基中会发生水分重分布。在 0~-3℃ 温度 F,水分较长期滞留的深度范围内会形成严重的聚冰现象,土层中会有很多冰晶体,甚至冰夹层。这层土常称做路基中的聚冰带。至春融期间该聚冰带化冻时,土层变得过分潮湿,使土基的强度急剧下降。如果在这种可能变得过分潮湿的土基上铺筑直接与土基相接触的路面结构层的材料具有明显的毛细水作用,例如含细土较多的粒料土、石灰土、水泥土等,则在这种材料层内也会发生水分重分布现象。如这些材料层又位于冰冻深度范围内,则在这些材料层内也可能发生聚冰带,到春融化冻期间,这些材料的强度也会明显下降,导致路面整体承载能力明显下降,甚至发生破坏。在冰冻地区,当石灰土用在过分潮湿路段时,常发生路面破坏,就是因为石灰土的冰冻稳定性不好。因此,在冰冻地区的潮湿路段上,在路面的底基层或基层内有可能产生聚冰带时,应该采用冰冻稳定性好的材料。各种粒料、含土少的粒料土、结合料稳定粒料和稳定粒料土都是冰冻稳定性好的材料。在冰冻地区的潮湿路段上,当只能使用石灰土时,应采用隔水措施,使冰冻期间水

分不会明显进入石灰土层中。

在重冰冻地区,即使在干燥路段上,石灰土和水泥土,特别是剂量不足或强度达不到要求的上层石灰土和水泥土,经过冬季的冰冻作用,其强度也会明显下降。

三、收 缩 性

对于高等级道路上的半刚性基层,还应该要求有期收缩性指标。半刚性材料的收缩性包括两个方面,一是由于水分减少而产生干缩的程度,二是由于温度降低而产生温度收缩的程度。

1. 干缩性

干缩性大的半刚性材料基层铺成后,在铺筑沥青面层前就可能产生干缩裂缝。例如,石灰土、水泥土或水泥石灰土基层碾压结束后,如果不及时养生或养生结束后未及时铺筑沥青封层或沥青面层,只要曝晒 2~3d 就可能出现干缩裂缝。随曝晒时间增长,裂缝会越来越严重,将基层表面切割成数平方米大小的小块。即使是干缩性小的石灰粉煤灰粒料和水泥粒料铺筑的基层,在养生结束后,如曝晒时间过久(时间长短随各地当时的气候条件而变),一般也会产生间距为 5~10m 的横向干缩裂缝。就各种半刚性材料的干缩裂缝而言,主要是横向裂缝,大部分间距是 3~10m;也有少数纵向裂缝,缝的顶宽约 0.5~3mm。这种裂缝是最危险的。在沥青路面使用过程中,在某种条件下,裂缝会逐渐向上扩展并通过沥青面层出现在表面,或在某种条件下,基层的裂缝会促使沥青面层表面先开裂,并逐渐向下扩展与基层的裂缝相连。由这两种方式形成的沥青面层的裂缝都俗称“反射裂缝”。因此,在铺筑沥青面层前,采取措施防止半刚性基层开裂是个十分重要的问题

在采用干缩性大的半刚性材料做沥青路面的基层时,如果沥青面层较薄而又处于较干旱地区,即使在铺筑沥青面层时基层并未开裂,在路面使用过程中基层混合料的含水量仍能明显减少并产生干缩裂缝(先于沥青面层开裂),从而促使沥青面层开裂,产生反射裂缝。试验证明,石灰土的干缩变形特别严重,而且当失水量为 2.5% 左右时其干缩系数达到最大值,高达 $(1\ 200 \sim 1\ 500) \times 10^{-6}$,此时将产生 $(3\ 000 \sim 3\ 750) \times 10^{-6}$ 的干缩应变。在这样大的干缩应变下,石灰土必将开裂。在干旱和半干旱地区以及在较薄沥青面层下,石灰土的含水量损失 2.5% 左右是很可能的,因此,石灰土最容易先于沥青面层开裂。

在采用干缩变形小的半刚性材料做沥青路面的基层时,如果施工碾压时的含水量合适,且能保护基层在铺筑沥青面层前不开裂,则在铺筑较厚沥青面层后,一般情况下基层就不会先于沥青面层开裂。例如,水泥砂砾在失水量为 50% 最大失水量时的半风干状态所产生的干缩应变只有 $(13 \sim 18) \times 10^{-6}$,干缩系数只有 $(5.3 \sim 8.0) \times 10^{-6}$,密实式二灰砂砾在失水量为 50% 最大失水量时的半风干状态所产生的干缩应变为 $(25 \sim 37) \times 10^{-6}$,干缩系数为 $(13.5 \sim 15.5) \times 10^{-6}$ 。这样小的干缩应变是不会使基层产生干缩裂缝的。在有沥青面层覆盖的情况下,在一般地区半刚性基层混合料干燥到相当于风干状也是不可能的。另一方面,在潮湿多雨地区,较厚沥青面层下的半刚性基层混合料往往能保持其含水量接近施工时的最佳含水量。因此,如能保持半刚性基层在铺筑沥青面层前不开裂,较厚沥青面层铺筑后,一般情况下半刚性基层就不会再先于沥青面层产生干缩裂缝。

但是,如果施工碾压时的含水量偏大,即使已铺上一层或两层(6~12cm)沥青面层,在旱季

或冬季基层也可能产生干燥裂缝,同时将沥青面层拉裂或很快反映到沥青面层上。

就半刚性材料的干缩性而言,稳定细粒土的干缩系数大于稳定中粒土和稳定粗粒土。在稳定细粒土(如水泥土和石灰土)中,稳定塑性指数大的粘性土混合料的干缩系数大于稳定塑性指数小的粉性土或砂性土混合料的干缩系数。此外,石灰粉煤灰土的干缩系数小于石灰土和水泥土的干缩系数。在稳定中粒土和粗粒土时,稳定粒料土的干缩系数大于稳定不含细土的粒料的干缩系数,而且细土的含量愈多,混合料的干缩系数愈大。

2. 温缩性

半刚性基层内部的温度变化和温差会产生温度应力。在寒冷季节,半刚性基层表面的温度低,基层的顶部会产生拉应力;在暖和的春季,半刚性基层底部的温度低(特别在薄沥青面层的情况下),在基层的底部可能产生温度应力。这个应力与行车荷载在基层底部产生的拉应力相结合,会促使基层底面开裂。因此,半刚性基层材料的温度收缩特性对沥青路面,特别是薄沥青面层的开裂有重要影响。

不同半刚性材料的温缩性质有很大差异。石灰土、水泥土和石灰粉煤灰土等稳定细粒土的温缩性(包括温缩系数和温缩应变)最大。但是,除非在日温差大的地区,通常即使是稳定细粒土基层,如在养生过程中或在养生后能及时地铺筑沥青面层,在正常温度下就不致产生温缩裂缝。因为沥青面层,特别是较厚的沥青面层对半刚性基层有很好的隔温保护作用,使基层顶面的温度变化幅度明显小于沥青面层或暴露的基层表面的温度变化幅度。在面层厚 10cm 的情况下,半刚性基层中的温度梯度可降低 40%,这些都将明显减小半刚性基层顶部产生的温度拉应力。此外,基层顶面的温度变化速度也较面层表面的温度变化速度要小,有利于基层材料中温度应力的松弛。但是,半刚性基层即使是温缩性最小的水泥稳定粒料和石灰粉煤灰料稳定粒料基层,较长期地暴露或在上仅有较薄的沥青封层,会受到日温差产生的温度应力的反复作用。此温度应力与基层顶面产生的干缩应力相结合,更容易引起半刚性基层开裂。在冰冻地区,暴露的半刚性基层容易受到负温度作用而开裂,温缩性大的基层材料更是如此。此外,在冬季,暴露的温缩性大的半刚性材料层受到水和反复冻融的作用,其上层还容易冻坏变松。基层一旦开裂,在其上铺筑沥青面层后,就容易在沥青面层内形成反射裂缝或对应裂缝。因此,在基层养生结束后,应立即铺筑沥青面层。

在冰冻地区,特别是在重冰冻地区,温缩变形大的半刚性材料基层上为薄或较薄的沥青面层时,由于这种基层材料的温缩系数明显大于沥青混凝土的温缩系数,在冬季气温急剧降低时,半刚性基层会产生温度收缩裂缝。半刚性基层一旦开裂,在持续低温或又一次降温的过程中,半刚性基层的裂缝张开很容易将沥青面层拉裂并形成反射裂缝,从而增加沥青面层内裂缝的总数。半刚性基层材料的刚性越大,铺筑半刚性基层时的温度与冬季温度之间的差别越大,半刚性基层就越容易产生温度裂缝,裂缝的间距也就越小(即单位长度内的裂缝数量多),缝的开口也越宽。观测表明,大部分横向裂缝将在水泥稳定土层铺筑后的第 1 个冬季出现;在第 2 年、第 3 年的冬季,在原来未发生裂缝的路段上也可能出现少量裂缝;然后情况开始稳定,不再出现新的裂缝。多数情况下,缝的间距在 3~5m。冬季,缝的宽度达 3~30mm;夏季,多数场合缩小到不足 1mm。

半刚性基层混合料的温缩系数小于沥青面层材料的温缩系数时,由于基层所遭受的负温度和温度变化明显小于面层的温度变化,特别在沥青面层较厚的情况下更是如此,基层往往不

会率先开裂(严格地说,面层和基层材料的温缩开裂还取决于极限拉应变的大小)。试验证明,水泥砂砾在负温度时的平均温缩系数 $\bar{\alpha}_t$ 只有 $(10 \sim 16) \times 10^{-6}$,二灰碎石在负温度时的 $\bar{\alpha}_t$ 只有 $(12 \sim 16) \times 10^{-6}$,石灰土砂砾负温度时的 $\bar{\alpha}_t$ 也只有约 17×10^{-6} 。特别在 -5°C 以前,水泥砂砾和水泥砂砾土(土的含量小于30%)以及二灰碎石和二灰碎石土的平均温缩系数都约在 11×10^{-6} 以下,它们明显小于沥青混凝土的温缩系数。

目前,我国高等级道路上的沥青面层一般厚度为 $8 \sim 15\text{cm}$,个别路段厚度达到 20cm 以上,如果能选用适宜的半刚性材料(如水泥粒料和二灰粒料等)做基层,就可能避免在路面使用过程中半刚性基层先于沥青面层产生温度收缩裂缝。

半刚性基层材料温缩性的大小大致与其干缩性的大小有相同的规律,即:稳定细粒土的温缩系数明显大于稳定中粒土和稳定粗粒土的温缩系数;石灰粉煤灰土的温缩系数明显小于石灰土的温缩系数;稳定粒料土的温缩系数明显大于不含细土的稳定粒料的温缩系数,而且中粒土或粗粒土中细土含量愈多,混合料的温缩系数愈大。

3. 干缩性和温缩性的对比

虽然至今一些单位已做了不少半刚性材料的干缩特性和温缩特性的试验,也取得了不少有益的资料,但所用资料仍有较大的局限性,加之各单位所用的试验方法不完全相同,亦影响了资料的可比性。因此,根据目前资料所作的归纳(见表1-1-1)仅能作为说明问题的初步依据。

半刚性材料的干缩系数和温缩系数

表 1-1-1

材 料 名 称	干缩系数($\times 10^{-6}$)/(%)		温缩系数($\times 10^{-6}$)/($^\circ\text{C}$)	
	1/2 最大失水量	最大失水量	-5°C	-15°C
石灰土	680 ~ 930	420 ~ 484	25.6 ~ 35.7	63.5 ~ 78.7
二灰土	19 ~ 104	84 ~ 172	7.3 ~ 15.4	29.5 ~ 50.6
水泥土	386 ~ 545	304 ~ 384	7.9 ~ 17.9	31.2 ~ 36.4
石灰土粒料	—	104 ~ 122	—	16.7
二灰粒料(悬浮式)	23	109	7.7	16
二灰粒料(密实式)	13.5 ~ 15.5	55 ~ 65	4.2	12
水泥粒料	5.3 ~ 8	41 ~ 83	7.0 ~ 12	10 ~ 16

由表1-1-1所列数据可以看到,同样材料的干缩系数比温缩系数大得多,这大概是国外一些研究工作者着重于研究半刚性材料的干缩性的重要原因。

四、与面层结合良好

面层与基层间的良好结合,对于沥青面层的使用质量是非常重要的。与不结合的情况比较,它可以减小面层底面由行车荷载引起的拉应力和拉应变(一般情况下可减小5%以上,有时甚至可减小到 $1/4$),还可以明显减小由温度变化引起的沥青面层内的拉应力和拉应变。基层与面层良好结合可以使薄沥青面层不产生滑动、推移等破坏。为此,基层表面应该稳定并且具有一定的粗糙度,表面还应该结构均匀,无松散颗粒。对于无机结合料处治基层,不应有局