

寒区道路工程技术丛书

道路建筑材料

Daolu Jianzhu Cailiao

葛 勇 谭忆秋 袁 杰 编著



人民交通出版社

China Communications Press

寒区道路工程技术丛书

Daolu Jianzhu Cailiao

道路建筑材料

葛 勇 谭忆秋 袁 杰 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了道路工程材料的基本性质、沥青及改性沥青、沥青混合料、水泥混凝土的组成材料、普通水泥混凝土与高耐久性水泥混凝土的配合比设计、常用水泥混凝土、钢材、防水材料与接缝材料、高分子补强材料、土工织物等的组成、配制原理、性质与应用。

本书可供公路桥梁工程专业人员参考,也可供公路桥梁专业教学、研究和设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

道路建筑材料/葛勇,谭忆秋等编著. —北京:人民交通出版社, 2005.2

(寒区道路工程技术丛书)

ISBN 7-114-05397-5

I.道... II.①葛...②谭... III.道路工程-建筑材料 IV.U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 008624 号

寒区道路工程技术丛书

书 名: 道路建筑材料

著 者: 葛 勇 谭忆秋 袁 杰

责任编辑: 岑 瑜

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×980 1/16

印 张: 15.75

字 数: 246 千

版 次: 2005 年 3 月第 1 版

印 次: 2005 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05397-5

印 数: 0001—3000 册

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

寒区道路工程技术丛书

编 审 委 员 会

主 任 委 员：戴彤宇

副主任委员：白海莹

委 员：王哲人 张宝生 邴文山 余诗泉
鲍明伟 谭忆秋 葛 勇 寇晓波
唐林鹏 王延河

序

经过编写人员历时一年的精心编撰,《寒区道路工程技术丛书》终于与读者见面了。丛书囊括了公路路基、路面、桥梁设计与施工等方面的内容,并广泛地吸收了我国已建成高速公路的先进技术和经验,并吸取了国外有关的先进技术,是一套结合我国国情,理论联系实际,具有较高实际应用价值的科技丛书。

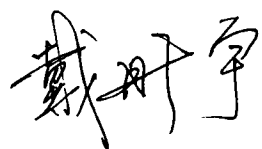
丛书共分五册,第一册《道路建筑材料》,第二册《路基工程》,第三册《沥青路面工程》,第四册《水泥混凝土路面工程》,第五册《桥梁工程》。该丛书既可作为在职道路桥梁方面技术干部的培训教材,又可供从事高速公路建设的科研、设计、施工和管理方面的人员学习、借鉴,也可供大专院校的师生参考,是一套难得的工具有书。

随着人类社会文明的进步和人民生活水平的提高,人们对交通事业的发展要求愈来愈高,对道路交通工程技术、工程质量的要求也不断提高。因此,不断地总结前期高等级公路的修筑技术和经验教训,大力推广先进技术成果,加强对相关技术的科学研究工作,就历史性地落在我们这一代人肩上。

黑龙江省自“九五”期间提出实施“科教兴交通”战略以来,已培养和引进了一批高学历、高层次的科技人才,但仍与交通事业的飞速发展不相适应。因此,培养和提高广大在职技术干部的素质和技术理论水平,是我省交通系统实施人才战略的重要措施。这套丛书的出版对加快我省交通人才的培养,为今后公路交通科技事业和整个交通事业的可持续发展提供了强有力的智力支持和保障。

愿这套丛书对传播新技术,培养高、尖人才,加快科技成果转

化,推动科技进步起到积极的作用。

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '戴' (Dai), '行' (Xing), and '宇' (Yu). The signature is written in a cursive, flowing style.

2004 年 12 月 20 日

前 言

改革开放以来,我国公路建设取得了长足发展,实现了历史性飞跃。公路交通对国民经济的适应能力和服务水平不断提高。到2004年底,我国的公路通车总里程已达到185.6万公里,其中代表现代交通发展水平的高速公路近3.42万公里,仍保持世界第二位。我国用10年的时间,走过了发达国家一般需40年走完的历程,公路设计、施工工艺以及整套技术都跨入了世界先进行列。

随着经济和社会的发展,科学技术的进步与创新,黑龙江省公路交通产业正处于基础设施建设任务繁重,急需加快发展的阶段。为适应需要,推动行业技术进步,培养高水平的科技人才,全面提高交通科技人员的素质,我们编写了这套《寒区道路工程技术丛书》,以供广大科技人员学习专业技能,提高自身素质之用。我们鼓励广大科技人员为发展黑龙江省交通事业更加刻苦、努力地学习,以全新的理念和意识迎接新世纪交通基础设施建设任务的挑战。

在撰写本套丛书时,我们采取了理论与实践相结合的方法。丛书不仅包括了公路路基、路面、桥梁的设计与施工,而且还包括了道路建筑材料有关规范、相关技术理论与实践方面的内容。

本套丛书既有理论性又有实践性,以培养现有技术人员的素质,提高专业技能为目标,既便于科研人员理论研究,又便于设计和施工人员借鉴参考。

《寒区道路工程技术丛书》共分五册:第一册《道路建筑材料》由葛勇、谭忆秋、袁杰编著;第二册《路基工程》由鲍明伟编著;第三册《沥青路面工程》由王哲人编著;第四册《水泥混凝土路面工程》由邴文山编著;第五册《桥梁工程》由余诗泉编著。

本套丛书不求全面,力争为从事寒区公路桥梁设计、施工、科研的工程技术人员提供一套实用的教材和参考资料。同时力争以新的视角分析、总结、归纳出一个针对发展中所提出的系统认识和现实可操作性的处理方法,以便提高交通系统广大在职工程技术人员的专业技能,以适应发展需要。

黑龙江省交通厅一直十分重视本套丛书的编写工作,省交通系统及哈尔滨工业大学、东北林业大学的有关专家和业内技术人员积极参与本套丛书的编写工作,并为丛书的编写及出版提出了具体指导性意见。在此,谨向所有关心、支持本丛书编写和出版的有关领导、专家、学者表示衷心感谢。

本套丛书由黑龙江省交通厅科技教育处白海莹处长策划并组织编写,张景致和沈家焯两位教授级高级工程师担任本丛书的主审。

参加本书编写的人员有:葛勇编写第一章、第四章、第五章的第三节和第四节,第七章;谭忆秋编写第二章、第三章;袁杰编写第五章的第一节、第二节、第三节,第六章;哈尔滨工业大学陈国明参编了第二章的第一节、第二节和第三章的第一节;哈尔滨工业大学董泽蛟参编了第二章的第四节,第三章的第二节、第三节、第四节和第五节;哈尔滨工业大学王抒音参编了第二章的第三节。全书由哈尔滨工业大学葛勇、谭忆秋、袁杰统稿并编著。

由于作者水平有限,书中疏漏及不足在所难免,恳请读者和同行批评指正。

编 者

2004年10月20日

目 录

第一章 道路材料的基本性质	1
第一节 物理性质.....	1
第二节 材料的力学性质.....	8
第三节 材料的化学性质	14
第四节 材料的耐久性	15
第二章 沥青及改性沥青	18
第一节 沥青材料概述	18
第二节 沥青材料的路用性能与评价体系	27
第三节 聚合物改性沥青	43
第四节 乳化沥青	54
第三章 沥青混合料	67
第一节 沥青混合料的组成结构与强度理论	67
第二节 沥青混合料的组成设计方法	72
第三节 现代交通对混合料的技术要求	93
第四节 特殊沥青混合料	95
第五节 再生沥青混合料.....	101
第四章 水泥混凝土的组成材料	107
第一节 水泥混凝土的基本组成材料.....	107
第二节 混凝土外加剂.....	130
第三节 混凝土矿物掺合料.....	141
第五章 混凝土配合比设计	147
第一节 普通混凝土配合比设计.....	147
第二节 公路水泥混凝土路面的配合比设计.....	154
第三节 混凝土结构耐久性设计与施工指南(CCES 01—2004)要点介绍	162
第四节 水泥混凝土路面的早期裂纹与预防.....	170
第六章 常用水泥混凝土	174

第一节	泵送混凝土	174
第二节	大体积混凝土	179
第三节	高强混凝土	183
第四节	高性能混凝土	189
第五节	纤维混凝土	193
第六节	耐磨混凝土	199
第七节	喷射混凝土	202
第八节	水下不分散混凝土	205
第九节	冬季施工混凝土	211
第十节	轻集料混凝土	218
第十一节	硫铝酸盐水泥超早强混凝土	221
第七章	路桥工程使用的其他材料	223
第一节	路桥工程常用钢材	223
第二节	防水材料与接缝材料	228
第三节	合成高分子补强材料	232
第四节	土工合成材料	234
参考文献		239



第一章 道路材料的基本性质

第一节 物理性质

一、密度、表观密度、毛体积密度、饱和面干密度、松方密度

(一) 密度

材料在绝对密实状态下(不含内部任何孔隙),单位体积的质量称为材料的密度,定义式如下:

$$\rho_t = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中: ρ_t ——材料的密度, g/cm^3 ;

m ——材料的绝对干燥质量, g ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积(不含内部任何孔隙的体积), cm^3 。

材料的密度 ρ_t 取决于材料的组成与微观结构。当材料的组成与微观结构一定时,材料的密度 ρ_t 为常数。

为测得含孔隙材料的绝对密实体积 V ,须将材料研磨成细粉末,使材料内部的所有孔隙外露(即全部成为开口孔隙),用排开液体的方法来测定。

(二) 表观密度

材料在自然状态下不含开口孔隙时,单位体积的质量称为材料的表观



密度,又称视密度,定义式如下:

$$\rho_a = \frac{m}{V'} = \frac{m}{V + V_b} \quad (1-2)$$

式中: ρ_a ——材料的表观密度, g/cm^3 ;

V' ——材料在自然状态下不含开口孔隙时的体积, cm^3 ;

V_b ——材料内部闭口孔隙的体积, cm^3 。

测定材料的表观密度 ρ_a 时,直接采用排水法测定材料的体积 V' 。

(三)毛体积密度

材料在自然状态下,含内部所有孔隙时,单位体积的质量称为材料的毛体积密度,又称体积密度,定义式如下:

$$\rho_b = \frac{m}{V_0} = \frac{m}{V + V_p} = \frac{m}{V + V_b + V_k} \quad (1-3)$$

式中: ρ_b ——材料的毛体积密度, kg/m^3 或 g/cm^3 ;

V_0 ——材料在自然状态下的体积(包括材料内部所有闭口孔隙和开口孔隙的体积), m^3 或 cm^3 ;

V_p ——材料内部所有孔隙的体积($V_p = V_b + V_k$), m^3 或 cm^3 ;

V_k ——材料内部开口孔隙的体积, m^3 或 cm^3 。

材料的自然状态体积 V_0 ,对于规则形状的材料直接测定外观尺寸,计算其体积即可;对于不规则形状的材料则须在材料表面涂蜡后(封闭开口孔隙),用排水法测定。

材料的毛体积密度除与材料的密度有关外,还与材料内部孔隙的体积 V_p 有关系。材料的孔隙率越大,则材料的毛体积密度越小。

(四)饱和面干密度

材料在吸水饱和状态下,含内部所有孔隙时,单位体积的质量称为材料的饱和面干体积密度,又称饱和面干密度或表干密度,定义式如下:

$$\rho_s = \frac{m'_{sw}}{V_0} = \frac{m'_{sw}}{V + V_p} = \frac{m'_{sw}}{V + V_b + V_k} \quad (1-4)$$

式中: ρ_s ——饱和面干密度, g 或 kg ;

m'_{sw} ——内部吸水饱和,而表面干燥时(表面无发亮的水迹)材料的质量, g 或 kg ;

其余符号意义同式(1-3)。

(五) 松方密度

散粒材料或粉末状材料在自然堆积状态下,单位体积的质量称为松方密度,定义式如下:

$$\rho = \frac{m}{V'_0} = \frac{m}{V_0 + V_v} \quad (1-5)$$

式中: ρ ——材料的松方密度, kg/m^3 ;

V'_0 ——材料在堆积状态下的体积(包括颗粒间空隙的体积), m^3 ;

V_v ——材料颗粒间空隙的体积, m^3 。

按堆积的紧密程度分为自然堆积状态、捣实堆积状态、振实堆积状态,相应的松方密度称为堆积密度、捣实密度、振实密度。

材料的松方密度与材料的毛体积密度、堆积的紧密程度等有关。

二、密实度、孔隙率与空隙率

(一) 密实度

材料体积(自然状态)内固体物质的充实程度称为材料的密实度 D , 定义如下:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_b}{\rho_t} \times 100\% \quad (1-6)$$

密实度 D 反映材料的密实程度, D 越大, 材料越密实。

(二) 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料在自然状态下体积的百分率。孔隙率分为开口孔隙率和闭口孔隙率。

1. 孔隙率

材料内部所有孔隙的体积与材料在自然状态下体积的百分率称为材料的孔隙率 P , 定义式如下:

$$P = \frac{V_p}{V_0} = \frac{V_0 - V}{V_0} = 1 - \frac{V}{V_0} = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100\% \quad (1-7)$$

2. 开口孔隙率

材料内部开口孔隙的体积与材料在自然状态下体积的百分率称为材料



的开口孔隙率 P_k 。由于水可进入开口孔隙,工程中常将材料在吸水饱和状态下所吸水的体积 V_{sw} ,视为开口孔隙的体积 V_k ,开口孔隙率可表示为:

$$P_k = \frac{V_k}{V_0} = \frac{V_{sw}}{V_0} = \frac{m_{sw}}{V_0} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中: V_{sw} ——吸水饱和状态下所吸水的体积, cm^3 ;

m_{sw} ——吸水饱和状态下所吸水的质量, g ;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 。

3. 闭口孔隙率

材料内部闭口孔隙的体积与材料在自然状态下体积的百分率称为材料的闭口孔隙率 P_b ,定义式如下:

$$P_b = \frac{V_b}{V_0} = \frac{V_p - V_k}{V_0} = P - P_k \quad (1-9)$$

(三)空隙率

材料在堆积状态下,颗粒间空隙的体积 V_v ,占堆积体积的百分率称为空隙率,又称间隙率,定义式如下:

$$n = \frac{V_v}{V'_0} = \frac{V'_0 - V_0}{V'_0} = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_b}\right) \times 100\% \quad (1-10)$$

对于致密砂石,如普通天然砂、石,可用视密度 ρ_a 近似替代体积密度 ρ_b ,式(1-10)可写为:

$$n = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_a}\right) \times 100\% \quad (1-11)$$

对于水泥混凝土用集料,通常采用自然堆积状态和振实状态下的空隙率。对于沥青混合料用集料,通常采用捣实状态下的空隙率,又称间隙率 VCA_{DRC} 。

在配制水泥混凝土、砂浆、沥青混合料等时,为节约水泥、沥青等胶凝材料,改善混凝土、沥青混合料的性能,宜选用空隙率 n 或间隙率 VCA_{DRC} 小的砂、石。

三、材料的吸水性与耐水性

(一)材料的吸水性

吸水性是材料在水中吸收水分的性质,用 w_m 表示,定义式如下:

$$w_m = \frac{m_{sw}}{m} \times 100\% = \frac{m'_{sw} - m}{m} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中: m_{sw} ——材料吸水饱和时所吸水的质量, g 或 kg;

m'_{sw} ——材料吸水饱和时材料的质量, g 或 kg。

当材料未达到饱和状态时, 由上式计算得的结果称为含水率。

砌筑石材采用真空吸水饱和, 混凝土、砂石集料采用常压吸水饱和。

吸水率主要与材料的孔隙率, 特别是开口孔隙率有关。孔隙率大或体积密度小, 特别是开口孔隙率大的亲水性材料具有较大的吸水率。

岩石的吸水率与岩石的致密程度和岩石的矿物组成有关。侵入岩和多数变质岩的吸水率较小, 一般不超过 1%。二氧化硅的亲水性较好, 因而二氧化硅含量高则吸水率较高, 即酸性岩石 ($\text{SiO}_2 \geq 65\%$) 的吸水率相对较高。岩石的吸水率越小, 则岩石的强度与耐久性越高。

由于常压下封闭孔隙不吸水, 而主要是开口孔隙吸水, 因此可以认为当材料吸水饱和时, 材料所吸水的体积 V_{sw} 与开口孔隙的体积 V_k 相等, 即 $V_{sw} = V_k$ 。由此可知材料的吸水率可直接或间接反映材料的部分内部结构及其性质, 即可根据材料吸水率的大小对材料的孔隙率、孔隙状态及材料的性质做出粗略的评价。

(二) 材料的耐水性

材料长期在水的作用下, 保持其强度的能力称为材料的耐水性。

材料的耐水性用软化系数 K_p 来表示, 定义式如下:

$$K_p = \frac{f_{sw}}{f_d} \quad (1-13)$$

式中: f_{sw} ——材料在吸水饱和状态下的抗压强度, MPa;

f_d ——材料在绝干状态下的抗压强度, MPa。

材料的软化系数 K_p 的选值为 0 ~ 1.0。 $K_p \geq 0.85$ 时称为耐水性材料。经常受到潮湿或水作用的结构, 须选用 $K_p \geq 0.75$ 的材料, 重要结构须选用 $K_p \geq 0.85$ 的材料。

四、材料的抗渗性

抗渗性是指材料抵抗压力水或其他液体渗透的性质。抗渗性用渗透系数 K 来表示, 计算式如下:



$$K = \frac{Qd}{AtH} \quad (1-14)$$

式中: K ——渗透系数, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 或 m/h ;

Q ——渗水量, m^3 ;

d ——试件厚度, m ;

A ——渗水面积, m^2 ;

t ——渗水时间, h ;

H ——水头(水压力), m 。

渗透系数 K 越大, 材料的抗渗性越差。

材料的抗渗性与材料内部的孔隙率, 特别是开口孔隙率有关。开口孔隙率越大, 大孔含量越多, 则抗渗性越差。

混凝土类材料的抗渗性常采用抗渗等级来表示, 即在规定试验方法下, 混凝土材料所能抵抗的最大水压力来表示。如 P2、P4、P6、P8、P10、P12 等, 分别表示可抵抗 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2MPa 的水压力。对于抗渗性高的高性能混凝土材料, 水压法难以表征其抗渗性, 因此目前采用 Cl^- 离子扩散系数、电导量等来表征其抗渗性。混凝土的氯离子扩散系数 D_{NEL} 评定标准见表 1-1。

混凝土渗透性的氯离子扩散系数 D_{NEL} 评定标准 (CCES01—2004) 表 1-1

氯离子扩散系数 ($10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$)	> 1000	500 ~ 1000	100 ~ 500	50 ~ 100	10 ~ 50	< 10
混凝土渗透性等级	I	II	III	IV	V	VI
混凝土渗透性评价	很高	高	中	低	很低	可忽略

桥梁、隧道等与水或腐蚀介质接触的工程等, 所用材料应具有一定的抗渗性。对于防水材料则应具有很好的抗渗性。

材料的抗渗性与材料的耐久性(抗冻性、耐腐蚀性等)有着非常密切的关系。一般而言, 材料的抗渗性越高, 水及各种腐蚀性液体或气体越不易进入材料内部, 则材料的耐久性越高。

五、材料的抗冻性

抗冻性是材料抵抗冻融循环作用, 保持其原有性质的能力。对结构材料主要指其保持强度的能力, 并多以抗冻等级来表示。抗冻等级用材料在吸水饱和状态下(最不利状态), 经冻融循环作用, 强度损失不超过 25% (慢冻法) 或动弹性模量损失不超过 20% (快冻法), 且质量损失不超过 5% 时所

能抵抗的最多冻融循环次数来表示。如 F25、F50、F100、F150、F200、F250、F300 等,分别表示在经受 25、50、100、150、200、250、300 次的冻融循环后仍可满足使用要求。快冻法较慢冻法的试验条件更为严酷,因此,对于同一混凝土快冻法的冻融循环次数较慢冻法略少。目前工程上规定采用快冻法测试(动弹性模量法)。

材料在冻融循环作用下产生破坏,主要是由于材料内部毛细孔隙及大孔隙中的水结冰时的体积膨胀(约 9%)以及水分迁移产生的渗透压等造成的。膨胀会对材料孔壁产生巨大的压力,由此产生的拉应力超过材料的抗拉强度极限时,材料内部产生微裂纹,造成强度下降。此外在冻结和融化过程中,材料内外的温差所引起的温度应力也会导致微裂纹的产生或加速微裂纹的扩展。

影响材料抗冻性的主要因素有:

(1)材料的孔隙率 P 和开口孔隙率 P_k

一般情况下, P 越大,特别是 P_k 越大,则材料的抗渗性差,即材料含水量越多,因此材料的抗冻性越差。

(2)孔隙的充水程度

充水程度以水饱和度 K_s 来表示,定义式如下:

$$K_s = \frac{V_w}{V_p} \quad (1-15)$$

理论上讲,若材料内部孔隙分布均匀,当水饱和度 $K_s < 0.91$ 时,结冰不会引起冻害,因未充水的孔隙空间可以容纳由于水结冰而增加的体积。但当 $K_s > 0.91$ 时,则已容纳不下结冰增加的体积,故对材料的孔壁产生压力,因而会引起冻害。实际上,由于局部饱和的存在和孔隙分布不均匀, K_s 须比 0.91 稍少才安全。如对于水泥混凝土, $K_s < 0.80$ 时冻害才会明显减少。

对于受冻材料,吸水饱和状态是最不利的状态,因其水饱和度 K_s 最大。可以用下述关系式来估计或粗略评价多数材料抗冻性的好坏。

$$K_s = \frac{V_{sw}}{V_p} = \frac{V_k}{V_p} = \frac{W_v}{P} = \frac{P_k}{P} \quad (1-16)$$

为提高材料的抗冻性,在生产材料时常有意引入部分封闭的孔隙,如在混凝土中掺入引气剂。这些引入的闭口孔隙可切断材料内部的毛细孔隙,当开口的毛细孔隙中的水结冰时,所产生的压力可将开口孔隙中尚未结冰的水挤入到无水的封闭孔隙中(由于毛细作用,微细孔隙中水的冰点低于