

公路工程系列丛书

# 公路工程

# 材料手册

杨德斌 主编



中国建筑工业出版社

公路工程系列丛书

# 公路工程材料手册

杨德斌 主编

中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

公路工程材料手册/杨德斌主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009

(公路工程系列丛书)

ISBN 978-7-112-11395-8

I. 公… II. 杨… III. 道路工程-工程材料-技术手册

IV. U414-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 178883 号

本书包括的主要内容有: 土、砂石材料、石灰与石膏、水泥、掺合料及工业废渣、混凝土外加剂、混凝土与砂浆、建筑钢材、沥青、沥青混合料、防水密封材料、土工合成材料、无机结合料稳定类混合料、公路路面养护材料、灌注浆材料与修补加固材料。文后还有公路工程材料相关标准规范一览表; 常用符号、计量单位、计算公式; 数据处理三个附录。本书内容丰富、资料翔实。

本书可供从事公路工程设计、施工、检测、监理、维护管理等方面的工程技术人员使用, 也可供相关科研院所、大专院校的相关专业师生使用。

\* \* \*

责任编辑: 胡明安

责任设计: 张政纲

责任校对: 王金珠 陈晶晶

公路工程系列丛书

**公路工程材料手册**

杨德斌 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京华艺制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 40 字数: 975 千字

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月第一次印刷

定价: 98.00 元

ISBN 978-7-112-11395-8

(18649)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 前 言

近年来,高速公路、铁路等交通基础设施建设在我国得到了持续而快速的发展,并且在未来一段时期还将不断发展。发达国家的历史经验表明,无论交通土建工程的设计、施工,还是已建工程的维护、管理,工程材料都是至关重要的。现代交通正呈现高速度、大流量、重负荷、高效率等特点,对工程材料不断提出新的越来越高的要求。本书正是基于我国交通土建工程,尤其是公路工程领域的迫切需要,为该领域从事设计、施工、检测、监理、维护管理等方面的工程技术人员而编写,也可作为相关科研院所、大专院校的科技人员与师生的参考用书。

本手册所涉及的材料以公路工程中的路基、路面、隧道、桥涵为主线,兼顾铁路工程、城市轨道工程的特点,并考虑了已建工程的维修维护。对各类材料力求在讲清基本概念、定义及分类的基础上,着重介绍其技术性能特点与技术要求,以及加工制备或施工技术要点、适用范围等,并且尽可能反映近年来相关材料在国内外的最新研究与应用成果。通过使用本手册,不仅便于快捷准确地把握材料的性能特点与应用领域,合理选用与正确使用交通土建工程材料;而且有助于对相关材料的主要技术指标与产品质量进行检测、监控,以确保工程结构安全与延长工程使用寿命。

本手册第1章主要介绍与路基、路面密切相关的土的基本性质、分类及其在路基路面中的应用;第2章主要介绍与地基基础相关的岩石的种类与性质,以及砂石集料的技术性质与要求;第3章简要介绍路基处理中常用的石灰等气硬性胶凝材料;第4章在着重介绍通用硅酸盐水泥的基础上还介绍了铝酸盐、硫铝酸盐系列水泥及抗硫酸盐水泥等相关特种水泥;第5章重点介绍了掺合料及工业废渣的基本技术性能、技术要求及工程应用;第6章着重介绍了混凝土外加剂的分类、技术性能及要求、应用要点;第7章主要介绍量大面广的普通混凝土,高强及高性能混凝土、轻集料混凝土、纤维增强混凝土、聚合物混凝土、碾压混凝土等特种混凝土以及砂浆的基本技术性能、配合比设计与工程应用等;第8章介绍以钢材为主的公路工程用金属材料的技术要求与选用;第9、10章介绍路基路面大量应用的各种沥青及沥青混合料的配制、技术要求与应用;第11章介绍各类防水材料的技术要求与应用;第12、13章为各种常用的土工合成材料、无机结合料稳定类混合料;第14、15章主要介绍用于地基基础加固、防渗堵漏、路基路面修补加固的各类灌注、修补加固与养护材料。编写内容尽可能结合最新相关标准、规范与技术规程,并将其汇总于附录1,以便查阅。

全书由重庆交通大学杨德斌教授主编,参加编写的有王念(第8章)、王瑞燕(第4章,第7章第1、2节,附录2、3)、孙玉恒(第2章)、刘大超(第12章)、朱建勇(第3章,第7章第7节、附录2、3)、李力(第14章)、何丽红(第11、12章,附录2、3)、张兰芳(第5章、第7章第5、7、8、9节)、杨德斌(第15章,第6章第6节,第7

章第3、4、6节、前言)、周超(第6章)、黄维蓉(第9、10、13章)、熊出华(第1章、第14章第3节,附录1)。编写过程中引用甚至大量引用了不限于本手册已列出的参考文献中的有关内容,谨此向文献的原作者致以衷心感谢!

限于编者水平,书中不足乃至疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正!

编 者

# 目 录

|                             |    |                                      |    |
|-----------------------------|----|--------------------------------------|----|
| 1 土 .....                   | 1  | 2.3.1 工程用砂的质量标准 .....                | 37 |
| 1.1 土的概述 .....              | 1  | 2.3.2 工程用碎石和卵石的质量<br>标准 .....        | 42 |
| 1.1.1 土的三相组成及比例<br>指标 ..... | 1  | 3 石灰与石膏 .....                        | 53 |
| 1.1.2 土的工程分类 .....          | 2  | 3.1 石灰 .....                         | 53 |
| 1.2 土的物理性质 .....            | 10 | 3.1.1 概述 .....                       | 53 |
| 1.2.1 含水率 .....             | 10 | 3.1.2 石灰的性质、技术标准 .....               | 54 |
| 1.2.2 密度 .....              | 10 | 3.1.3 石灰的应用 .....                    | 57 |
| 1.2.3 土的比重 .....            | 10 | 3.2 建筑石膏 .....                       | 59 |
| 1.2.4 颗粒分析 .....            | 10 | 3.2.1 概述 .....                       | 59 |
| 1.2.5 相对密度 .....            | 10 | 3.2.2 建筑石膏的性质、技术<br>标准 .....         | 60 |
| 1.3 土的水理性质 .....            | 11 | 3.2.3 石膏的用途 .....                    | 62 |
| 1.4 土的力学性质 .....            | 11 | 4 水泥 .....                           | 63 |
| 1.4.1 击实性 .....             | 11 | 4.1 通用硅酸盐水泥 .....                    | 63 |
| 1.4.2 土的承载比 (CBR) .....     | 12 | 4.1.1 通用硅酸盐水泥定义及<br>分类 .....         | 63 |
| 1.4.3 回弹模量 .....            | 12 | 4.1.2 通用硅酸盐水泥的技术<br>标准 .....         | 63 |
| 1.5 工程应用及技术标准 .....         | 12 | 4.1.3 通用硅酸盐水泥技术性能<br>检测 .....        | 65 |
| 1.5.1 一般路基 .....            | 12 | 4.1.4 水泥的包装、标志、运输与<br>贮存 .....       | 65 |
| 1.5.2 软土地基 .....            | 13 | 4.2 专用水泥和特种水泥 .....                  | 65 |
| 1.5.3 红黏土与高液限黏土地基 .....     | 14 | 4.2.1 道路硅酸盐水泥 .....                  | 65 |
| 1.5.4 膨胀土地基 .....           | 15 | 4.2.2 抗硫酸盐硅酸盐水泥 .....                | 66 |
| 1.5.5 公路路面基层用土 .....        | 16 | 4.2.3 中热/低热硅酸盐水泥、低热<br>矿渣硅酸盐水泥 ..... | 67 |
| 2 砂石材料 .....                | 20 | 4.2.4 白色硅酸盐水泥 .....                  | 68 |
| 2.1 石料 .....                | 20 | 4.2.5 彩色硅酸盐水泥 .....                  | 68 |
| 2.1.1 岩石的组成与分类 .....        | 20 | 4.2.6 硫铝酸盐水泥 .....                   | 69 |
| 2.1.2 石料的技术性质 .....         | 22 | 4.2.7 铝酸盐水泥 .....                    | 71 |
| 2.2 集料 .....                | 27 | 5 掺合料及工业废渣 .....                     | 73 |
| 2.2.1 集料的定义及分类 .....        | 27 | 5.1 概述 .....                         | 73 |
| 2.2.2 集料的物理性质 .....         | 28 |                                      |    |
| 2.2.3 集料的力学性质 .....         | 35 |                                      |    |
| 2.2.4 集料的耐久性质 .....         | 36 |                                      |    |
| 2.2.5 集料的其他性能 .....         | 37 |                                      |    |
| 2.3 集料的质量标准 .....           | 37 |                                      |    |

|                             |    |                               |     |
|-----------------------------|----|-------------------------------|-----|
| 5.2 粉煤灰 .....               | 73 | 6.3.1 缓凝剂的定义与分类 .....         | 98  |
| 5.2.1 粉煤灰的形成与分类 .....       | 73 | 6.3.2 缓凝剂与缓凝减水剂的技术要求 .....    | 98  |
| 5.2.2 物理性质 .....            | 73 | 6.3.3 缓凝剂与缓凝减水剂的性能检测与评定 ..... | 98  |
| 5.2.3 矿物组成与化学性质 .....       | 75 | 6.3.4 缓凝剂与缓凝减水剂的应用 .....      | 98  |
| 5.2.4 粉煤灰在工程中的应用和技术要求 ..... | 76 | 6.4 早强剂 .....                 | 100 |
| 5.3 高炉矿渣 .....              | 80 | 6.4.1 早强剂的定义与分类 .....         | 100 |
| 5.3.1 来源和分类 .....           | 80 | 6.4.2 早强剂及早强减水剂的技术要求 .....    | 100 |
| 5.3.2 化学组成与质量评定 .....       | 81 | 6.4.3 早强剂及早强减水剂的性能检测与评定 ..... | 100 |
| 5.3.3 工程应用 .....            | 82 | 6.4.4 早强剂及早强减水剂的应用 .....      | 101 |
| 5.4 钢渣 .....                | 85 | 6.5 速凝剂 .....                 | 102 |
| 5.4.1 来源与分类 .....           | 85 | 6.5.1 速凝剂的定义与分类 .....         | 102 |
| 5.4.2 物理力学性质 .....          | 85 | 6.5.2 速凝剂的技术要求 .....          | 102 |
| 5.4.3 矿物组成与化学性质 .....       | 86 | 6.5.3 速凝剂的性能检测与评定 .....       | 103 |
| 5.4.4 工程应用与技术要求 .....       | 87 | 6.5.4 速凝剂的应用 .....            | 103 |
| 5.5 煤矸石 .....               | 88 | 6.6 膨胀剂 .....                 | 104 |
| 5.5.1 来源 .....              | 88 | 6.6.1 膨胀剂定义与分类 .....          | 104 |
| 5.5.2 矿物组成及化学成分 .....       | 88 | 6.6.2 膨胀剂的技术要求 .....          | 105 |
| 5.5.3 工程应用 .....            | 89 | 6.6.3 膨胀剂的性能检测与评定 .....       | 106 |
| 5.6 电石渣 .....               | 89 | 6.6.4 膨胀剂的应用 .....            | 106 |
| 5.6.1 来源及组成 .....           | 89 | 6.7 引气剂 .....                 | 109 |
| 5.6.2 工程应用 .....            | 89 | 6.7.1 引气剂的定义与分类 .....         | 109 |
| 5.7 磷石膏 .....               | 90 | 6.7.2 引气剂及引气减水剂的技术要求 .....    | 109 |
| 5.7.1 来源与组成 .....           | 90 | 6.7.3 引气剂及引气减水剂的性能检测与评定 ..... | 109 |
| 5.7.2 工程应用 .....            | 90 | 6.7.4 引气剂及引气减水剂的应用 .....      | 110 |
| 6 混凝土外加剂 .....              | 91 | 6.8 泵送剂 .....                 | 112 |
| 6.1 概述 .....                | 91 | 6.8.1 泵送剂的定义与分类 .....         | 112 |
| 6.1.1 定义 .....              | 91 | 6.8.2 泵送剂的技术要求 .....          | 112 |
| 6.1.2 分类及代号 .....           | 91 | 6.8.3 泵送剂的性能检测与评定 .....       | 112 |
| 6.1.3 技术要求 (GB 8076) .....  | 92 | 6.8.4 泵送剂的应用 .....            | 112 |
| 6.1.4 外加剂的选择 .....          | 92 | 6.9 防冻剂 .....                 | 114 |
| 6.1.5 外加剂掺量 .....           | 92 | 6.9.1 防冻剂的定义与分类 .....         | 114 |
| 6.1.6 外加剂的质量控制 .....        | 92 | 6.9.2 防冻剂的技术要求 .....          | 114 |
| 6.2 减水剂 .....               | 95 |                               |     |
| 6.2.1 减水剂的定义与分类 .....       | 95 |                               |     |
| 6.2.2 减水剂的品种 .....          | 95 |                               |     |
| 6.2.3 减水剂的性能检测与评定 .....     | 95 |                               |     |
| 6.2.4 减水剂的应用 .....          | 95 |                               |     |
| 6.2.5 聚羧酸系高性能减水剂 .....      | 97 |                               |     |
| 6.3 缓凝剂 .....               | 98 |                               |     |

|        |                            |     |       |               |     |
|--------|----------------------------|-----|-------|---------------|-----|
| 6.9.3  | 防冻剂的性能检测与评定                | 115 | 7.5.3 | 轻集料混凝土的配合比设计  | 167 |
| 6.9.4  | 防冻剂的应用                     | 115 | 7.5.4 | 轻集料混凝土的性能     | 173 |
| 6.10   | 防水剂                        | 118 | 7.5.5 | 应用            | 180 |
| 6.10.1 | 防水剂的定义与分类                  | 118 | 7.6   | 流动性混凝土        | 181 |
| 6.10.2 | 防水剂的技术要求                   | 118 | 7.6.1 | 概述            | 181 |
| 6.10.3 | 防水剂的性能检测与评定                | 119 | 7.6.2 | 泵送混凝土         | 181 |
| 6.10.4 | 防水剂的应用                     | 120 | 7.7   | 碾压混凝土         | 184 |
| 6.11   | 其他混凝土外加剂                   | 120 | 7.7.1 | 定义            | 184 |
| 6.11.1 | 阻锈剂                        | 121 | 7.7.2 | 原材料的技术要求      | 184 |
| 6.11.2 | 加气剂                        | 122 | 7.7.3 | 配合比设计         | 185 |
| 6.11.3 | 着色剂                        | 123 | 7.7.4 | 新拌及硬化混凝土的技术性能 | 190 |
| 7      | 混凝土与砂浆                     | 125 | 7.7.5 | 工程应用          | 193 |
| 7.1    | 混凝土简介                      | 125 | 7.8   | 聚合物改性混凝土      | 193 |
| 7.2    | 普通混凝土                      | 125 | 7.8.1 | 概述            | 193 |
| 7.2.1  | 混凝土质量的基本要求                 | 125 | 7.8.2 | 聚合物混凝土        | 193 |
| 7.2.2  | 普通混凝土拌合物性能                 | 125 | 7.8.3 | 聚合物水泥混凝土      | 197 |
| 7.2.3  | 普通混凝土的力学性能                 | 126 | 7.8.4 | 聚合物浸渍混凝土      | 201 |
| 7.2.4  | 普通混凝土的耐久性能                 | 130 | 7.9   | 建筑砂浆          | 202 |
| 7.2.5  | 普通混凝土的变形性能                 | 133 | 7.9.1 | 定义及分类         | 202 |
| 7.2.6  | 普通混凝土配合比设计<br>(按立方体抗压强度设计) | 134 | 7.9.2 | 砌筑砂浆          | 203 |
| 7.2.7  | 普通混凝土配合比设计<br>(按抗弯拉强度设计)   | 138 | 7.9.3 | 抹面砂浆          | 207 |
| 7.2.8  | 混凝土质量评定                    | 140 | 7.9.4 | 装饰砂浆          | 209 |
| 7.3    | 高强及高性能混凝土                  | 142 | 8     | 建筑钢材          | 211 |
| 7.3.1  | 引言                         | 142 | 8.1   | 概述            | 211 |
| 7.3.2  | 高强混凝土                      | 143 | 8.1.1 | 钢材的分类         | 211 |
| 7.3.3  | 高性能混凝土                     | 147 | 8.1.2 | 钢材机械性能名词解释    | 212 |
| 7.4    | 纤维增强混凝土                    | 155 | 8.1.3 | 钢产品牌号表示方法     | 214 |
| 7.4.1  | 定义                         | 155 | 8.2   | 建筑钢材常用钢种的技术条件 | 217 |
| 7.4.2  | 纤维混凝土分类                    | 156 | 8.2.1 | 碳素结构钢         | 217 |
| 7.4.3  | 一般技术规定与要求                  | 156 | 8.2.2 | 优质碳素结构钢       | 220 |
| 7.4.4  | 钢纤维混凝土配合比设计                | 157 | 8.2.3 | 低合金高强度结构钢     | 221 |
| 7.4.5  | 合成纤维混凝土                    | 162 | 8.2.4 | 合金结构钢         | 223 |
| 7.5    | 轻集料混凝土                     | 165 | 8.2.5 | 桥梁用结构钢        | 235 |
| 7.5.1  | 轻集料的定义与分类                  | 165 | 8.2.6 | 高耐候结构钢        | 238 |
| 7.5.2  | 轻集料混凝土的定义与分类               | 165 | 8.2.7 | 焊接结构用耐候钢      | 239 |
|        |                            |     | 8.2.8 | 冷镦钢           | 241 |
|        |                            |     | 8.3   | 常用钢材的技术条件和尺寸  | 244 |

|        |                              |     |       |                        |     |
|--------|------------------------------|-----|-------|------------------------|-----|
| 8.3.1  | 低碳钢热轧圆盘条 .....               | 244 | 9.2   | 石油沥青 .....             | 297 |
| 8.3.2  | 钢筋混凝土用热轧光圆<br>钢筋 .....       | 245 | 9.2.1 | 组成与结构 .....            | 297 |
| 8.3.3  | 钢筋混凝土用热轧带肋<br>钢筋 .....       | 247 | 9.2.2 | 基本性能及评价方法 .....        | 297 |
| 8.3.4  | 钢筋混凝土用余热处理<br>钢筋 .....       | 251 | 9.2.3 | 技术标准 .....             | 303 |
| 8.3.5  | 预应力混凝土用热处理<br>钢筋 .....       | 253 | 9.3   | 改性沥青 .....             | 311 |
| 8.3.6  | 冷轧带肋钢筋 .....                 | 254 | 9.3.1 | 改性剂种类 .....            | 311 |
| 8.3.7  | 预应力混凝土用钢丝 .....              | 256 | 9.3.2 | 改性沥青制备 .....           | 313 |
| 8.3.8  | 预应力混凝土用钢绞线 .....             | 259 | 9.3.3 | 技术性质及评价指标 .....        | 314 |
| 8.3.9  | 桥梁缆索用热镀锌钢丝 .....             | 262 | 9.3.4 | 技术标准 .....             | 316 |
| 8.3.10 | 凿岩钎杆用中空钢 .....               | 263 | 9.3.5 | 常用改性沥青的性质及<br>应用 ..... | 320 |
| 8.4    | 常用型钢的品种规格和理论<br>质量 .....     | 264 | 9.4   | 乳化沥青 .....             | 322 |
| 8.4.1  | 常用型材的统计分类和理论<br>质量简易计算 ..... | 264 | 9.4.1 | 乳化沥青的组成材料 .....        | 322 |
| 8.4.2  | 圆钢和方钢 .....                  | 266 | 9.4.2 | 乳化沥青的制备方法 .....        | 324 |
| 8.4.3  | 热轧六角钢和八角钢 .....              | 270 | 9.4.3 | 乳化沥青的形成及分裂<br>机理 ..... | 325 |
| 8.4.4  | 热轧 L 型钢 .....                | 272 | 9.4.4 | 基本性能及评价方法 .....        | 326 |
| 8.4.5  | 热轧不等边角钢 .....                | 272 | 9.4.5 | 技术标准 .....             | 328 |
| 8.4.6  | 热轧等边角钢 .....                 | 275 | 9.4.6 | 改性乳化沥青 .....           | 329 |
| 8.4.7  | 热轧扁钢 .....                   | 278 | 9.4.7 | 应用 .....               | 330 |
| 8.4.8  | 热轧工字钢 .....                  | 281 | 9.5   | 天然沥青 .....             | 331 |
| 8.4.9  | 热轧 H 型钢和剖分 T<br>型钢 .....     | 282 | 9.5.1 | 湖沥青 .....              | 331 |
| 8.4.10 | 热轧槽钢 .....                   | 289 | 9.5.2 | 岩石沥青 .....             | 332 |
| 8.5    | 紧固件 .....                    | 289 | 9.5.3 | 沙石沥青 .....             | 332 |
| 8.5.1  | 六角头螺栓 .....                  | 289 | 9.5.4 | 沥青岩 .....              | 332 |
| 8.5.2  | 六角头铰制孔用螺栓 .....              | 290 | 9.6   | 煤沥青 .....              | 332 |
| 8.5.3  | 钢结构用高强度大六角头<br>螺栓 .....      | 291 | 9.6.1 | 组成与结构 .....            | 332 |
| 8.5.4  | 钢结构用扭剪型高强度螺栓<br>连接副 .....    | 291 | 9.6.2 | 基本性能及评价方法 .....        | 333 |
| 8.5.5  | 地脚螺栓 .....                   | 293 | 9.6.3 | 技术标准 .....             | 334 |
| 8.5.6  | 铆钉 .....                     | 293 | 9.6.4 | 应用 .....               | 334 |
| 9      | 沥青 .....                     | 295 | 9.7   | 液体石油沥青 .....           | 335 |
| 9.1    | 概述 .....                     | 295 | 9.7.1 | 组成 .....               | 335 |
| 9.1.1  | 沥青材料的发展现状 .....              | 295 | 9.7.2 | 基本性能及标准 .....          | 335 |
| 9.1.2  | 沥青的分类 .....                  | 295 | 9.7.3 | 应用 .....               | 336 |
|        |                              |     | 9.8   | 环氧沥青 .....             | 336 |
|        |                              |     | 9.8.1 | 组分及性质 .....            | 336 |
|        |                              |     | 9.8.2 | 制备方法 .....             | 338 |
|        |                              |     | 9.8.3 | 技术标准 .....             | 339 |
|        |                              |     | 9.8.4 | 应用 .....               | 340 |
|        |                              |     | 9.9   | 调和沥青 .....             | 341 |
|        |                              |     | 9.9.1 | 调和方法及机理 .....          | 341 |

|                                  |     |                                  |     |
|----------------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 9.9.2 应用 .....                   | 341 | 10.5.6 适用范围 .....                | 391 |
| 9.10 阻燃沥青 .....                  | 341 | 10.6 彩色沥青混合料 .....               | 391 |
| 9.10.1 沥青的阻燃机理及<br>阻燃剂 .....     | 341 | 10.6.1 定义 .....                  | 391 |
| 9.10.2 沥青阻燃剂 .....               | 342 | 10.6.2 组成材料 .....                | 392 |
| 9.10.3 沥青阻燃性能的评价<br>方法 .....     | 343 | 10.6.3 配合比设计方法 .....             | 394 |
| 10 沥青混合料 .....                   | 344 | 10.6.4 适用范围 .....                | 395 |
| 10.1 概述 .....                    | 344 | 10.7 冷补沥青混合料 .....               | 395 |
| 10.1.1 沥青混合料的分类 .....            | 344 | 10.7.1 组成材料 .....                | 395 |
| 10.1.2 沥青混合料的组成结构 .....          | 347 | 10.7.2 技术性能与评价方法 .....           | 397 |
| 10.1.3 强度形成原理 .....              | 348 | 10.7.3 技术标准 .....                | 398 |
| 10.2 热拌沥青混合料 .....               | 350 | 10.7.4 配合比设计方法 .....             | 398 |
| 10.2.1 沥青混合料的组成材料 .....          | 350 | 10.7.5 适用范围 .....                | 399 |
| 10.2.2 沥青混合料的路用性能及<br>评价方法 ..... | 354 | 10.8 沥青表面处治 .....                | 399 |
| 10.2.3 沥青混合料的技术标准 .....          | 362 | 10.8.1 定义 .....                  | 399 |
| 10.2.4 热拌沥青混合料的配合比<br>设计方法 ..... | 366 | 10.8.2 材料规格和用量 .....             | 400 |
| 10.2.5 适用范围 .....                | 374 | 10.8.3 适用范围 .....                | 400 |
| 10.3 SMA 混合料 .....               | 374 | 10.9 沥青贯入式 .....                 | 400 |
| 10.3.1 SMA 定义 .....              | 374 | 10.9.1 定义 .....                  | 400 |
| 10.3.2 SMA 对组成材料的要求 .....        | 374 | 10.9.2 材料规格和用量 .....             | 401 |
| 10.3.3 SMA 技术性能及评价<br>方法 .....   | 377 | 10.9.3 适用范围 .....                | 403 |
| 10.3.4 SMA 混合料技术要求 .....         | 378 | 10.10 沥青碎石封层 .....               | 403 |
| 10.3.5 SMA 配合比设计 .....           | 378 | 10.10.1 定义与分类 .....              | 403 |
| 10.3.6 SMA 适用范围 .....            | 380 | 10.10.2 材料规格和用量 .....            | 404 |
| 10.4 排水性沥青混合料 .....              | 381 | 10.10.3 适用范围 .....               | 406 |
| 10.4.1 定义 .....                  | 381 | 10.11 其他沥青混凝土 .....              | 406 |
| 10.4.2 组成材料 .....                | 381 | 10.11.1 大粒径 LSAM 沥青<br>混凝土 ..... | 406 |
| 10.4.3 技术性能及评价方法 .....           | 383 | 10.11.2 多碎石沥青混凝土 .....           | 408 |
| 10.4.4 技术标准 .....                | 385 | 10.11.3 纤维加筋沥青混凝土 .....          | 409 |
| 10.4.5 配合比设计方法 .....             | 385 | 10.11.4 土工合成材料加筋沥青<br>混凝土 .....  | 413 |
| 10.4.6 适用范围 .....                | 386 | 10.11.5 水工沥青混凝土 .....            | 415 |
| 10.5 浇注式沥青混凝土 .....              | 387 | 11 防水密封材料 .....                  | 417 |
| 10.5.1 定义 .....                  | 387 | 11.1 概述 .....                    | 417 |
| 10.5.2 组成材料 .....                | 387 | 11.2 防水卷材 .....                  | 418 |
| 10.5.3 技术性能及评价方法 .....           | 389 | 11.2.1 沥青防水卷材 .....              | 418 |
| 10.5.4 技术标准 .....                | 390 | 11.2.2 聚合物改性沥青防水<br>卷材 .....     | 422 |
| 10.5.5 配合比设计方法 .....             | 391 | 11.2.3 合成高分子防水卷材 .....           | 432 |
|                                  |     | 11.3 防水涂料 .....                  | 439 |

|        |                         |     |        |                               |     |
|--------|-------------------------|-----|--------|-------------------------------|-----|
| 11.3.1 | 沥青类防水涂料 .....           | 440 | 13.4.2 | 混合料的组成设计 .....                | 505 |
| 11.3.2 | 高聚物改性沥青防水<br>涂料 .....   | 441 | 13.4.3 | 工程应用 .....                    | 506 |
| 11.3.3 | 合成高分子防水涂料 .....         | 443 | 13.5   | 固化土 .....                     | 507 |
| 11.3.4 | 聚合物水泥防水涂料 .....         | 448 | 13.5.1 | 组成材料 .....                    | 507 |
| 11.4   | 防水密封材料 .....            | 450 | 13.5.2 | 混合料的组成设计 .....                | 507 |
| 11.4.1 | 非定型密封材料 .....           | 450 | 13.5.3 | 工程应用 .....                    | 508 |
| 11.4.2 | 定型密封材料 .....            | 460 | 14     | 公路路面养护材料 .....                | 509 |
| 11.5   | 刚性防水材料和堵漏止水<br>材料 ..... | 464 | 14.1   | 概述 .....                      | 509 |
| 11.5.1 | 刚性防水材料 .....            | 464 | 14.2   | 水泥混凝土路面养护<br>材料 .....         | 509 |
| 11.5.2 | 堵漏止水材料 .....            | 469 | 14.2.1 | 养护材料基本要求和养护<br>质量标准 .....     | 509 |
| 12     | 土工合成材料 .....            | 472 | 14.2.2 | 水泥混凝土路面裂缝修补<br>材料 .....       | 510 |
| 12.1   | 土工织物 .....              | 472 | 14.2.3 | 水泥混凝土路面接缝修补<br>材料 .....       | 511 |
| 12.1.1 | 有纺土工织物 .....            | 473 | 14.2.4 | 水泥混凝土路面板块修补<br>材料 .....       | 516 |
| 12.1.2 | 无纺土工织物 .....            | 474 | 14.2.5 | 板下封堵灌浆材料 .....                | 519 |
| 12.1.3 | 土工织物的应用要求 .....         | 476 | 14.3   | 沥青路面养护材料 .....                | 519 |
| 12.2   | 土工膜 .....               | 477 | 14.3.1 | 沥青路面养护材料基本要求和<br>养护质量标准 ..... | 520 |
| 12.3   | 复合型土工合成材料 .....         | 478 | 14.3.2 | 乳化沥青稀浆封层 .....                | 521 |
| 12.3.1 | 复合土工膜 .....             | 478 | 14.3.3 | 再生沥青及再生沥青<br>混合料 .....        | 525 |
| 12.3.2 | 复合土工织物 .....            | 480 | 14.3.4 | 泡沫沥青及泡沫沥青<br>混合料 .....        | 532 |
| 12.3.3 | 复合防排水材料 .....           | 480 | 15     | 灌注浆材料与修补加固材料 .....            | 539 |
| 12.4   | 特种土工合成材料 .....          | 484 | 15.1   | 注浆材料 .....                    | 539 |
| 12.4.1 | 土工格栅 .....              | 484 | 15.1.1 | 浆液的分类及概述 .....                | 539 |
| 12.4.2 | 土工膜袋 .....              | 488 | 15.1.2 | 粒状浆材 .....                    | 539 |
| 12.4.3 | 土工网 .....               | 490 | 15.1.3 | 悬浊型浆液 .....                   | 542 |
| 12.4.4 | 土工网垫和土工格室 .....         | 491 | 15.1.4 | 水玻璃浆液 .....                   | 548 |
| 12.4.5 | 土工其他材料 .....            | 494 | 15.1.5 | 高分子类浆液 .....                  | 558 |
| 13     | 无机结合料稳定类混合料 .....       | 495 | 15.1.6 | 高分子复合浆液 .....                 | 562 |
| 13.1   | 概述 .....                | 495 | 15.1.7 | 浆液的选定 .....                   | 563 |
| 13.2   | 石灰稳定类材料 .....           | 497 | 15.2   | 水泥基灌浆材料 .....                 | 564 |
| 13.2.1 | 组成材料 .....              | 497 | 15.2.1 | 概述 .....                      | 564 |
| 13.2.2 | 混合料的组成设计 .....          | 498 | 15.2.2 | 水泥基灌浆材料的性能要求<br>与检验 .....     | 565 |
| 13.2.3 | 工程应用 .....              | 500 | 15.2.3 | 水泥基灌浆材料的工程                    |     |
| 13.3   | 水泥稳定类 .....             | 500 |        |                               |     |
| 13.3.1 | 组成材料 .....              | 501 |        |                               |     |
| 13.3.2 | 混合料组成设计 .....           | 502 |        |                               |     |
| 13.3.3 | 工程应用 .....              | 503 |        |                               |     |
| 13.4   | 工业废渣稳定类 .....           | 504 |        |                               |     |
| 13.4.1 | 组成材料 .....              | 504 |        |                               |     |

|                                |     |                                      |     |
|--------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| 设计 .....                       | 566 | 15.3.5 加固修复用胶粘剂 .....                | 589 |
| 15.2.4 水泥基灌浆材料的施工与<br>验收 ..... | 568 | <b>附录1 公路工程材料相关标准规范</b><br>一览表 ..... | 594 |
| <b>15.3 加固修复材料</b> .....       | 568 | <b>附录2 常用符号、计量单位、计算</b><br>公式 .....  | 606 |
| 15.3.1 概述 .....                | 568 | <b>附录3 数据处理</b> .....                | 616 |
| 15.3.2 聚合物复合修补材料 .....         | 569 | <b>参考文献</b> .....                    | 626 |
| 15.3.3 纤维复合修补材料 .....          | 576 |                                      |     |
| 15.3.4 化学灌浆补强修复材料 ...          | 578 |                                      |     |

# 1 土

## 1.1 土的概述

### 1.1.1 土的三相组成及比例指标

#### 1. 土的三相组成

土是由固体颗粒、水和气体组成的三相体系。土的固相物质包括无机矿物颗粒和有机质，是构成土的骨架的基本物质。土的液相是指存在于土孔隙中的水，包括结合水（强结合水和弱结合水）和自由水（毛细水和重力水）。土的气相是指充填在土的孔隙中的气体，包括与大气连通或不连通两类。

#### 2. 土的三相比例指标

土的三相物质在体积和质量上的比例关系称为三相比例指标，包括试验指标和换算指标。土的三相比例指标反映了土的干燥与潮湿状态、疏松与紧密程度，是评价土的工程性质最基本的物理性质指标，也是岩土工程勘察报告不可缺少的基本内容。

##### (1) 试验指标

##### 1) 土的密度 $\rho$

土的密度是指单位体积土的质量，一般在  $1.6 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$  范围。公式表示为：

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

##### 2) 土粒相对密度 $G_s$

土粒相对密度是指土的固体颗粒质量与同体积  $4^\circ\text{C}$  时纯水的质量之比，一般参考值见表 1-1。公式表示为：

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (1-2)$$

土粒相对密度参考值

表 1-1

| 土名     | 砂土          | 砂质粉土 | 黏质粉土 | 粉质黏土        | 黏土          |
|--------|-------------|------|------|-------------|-------------|
| 土粒相对密度 | 2.65 ~ 2.69 | 2.70 | 2.71 | 2.72 ~ 2.73 | 2.74 ~ 2.76 |

##### 3) 含水率 $w$

土的含水率是指土中水的质量与固体颗粒质量之比，一般变化范围较大。公式表示为：

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-3)$$

## (2) 换算指标

### 1) 干密度 $\rho_d$

干密度是指土的固体颗粒质量与土的总体积之比，是填土压实的施工控制指标。公式表示为：

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-4)$$

### 2) 饱和密度 $\rho_{sat}$

土的饱和密度是指全部充满孔隙的水的质量与颗粒质量之和与土的总体积之比。公式表示为：

$$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (1-5)$$

### 3) 浮密度（或浸水密度） $\rho'$

土的浮密度是指土浸在水中受到水的浮力作用时单位体积的质量。公式表示为：

$$\rho' = \frac{m_s - V_v \rho_w}{V} \quad (1-6)$$

### 4) 孔隙比 $e$

土的孔隙比是土中孔隙的体积与固体颗粒体积之比，可评价土的紧密程度。公式表示为：

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-7)$$

### 5) 孔隙率 $n$

孔隙率是指土中孔隙体积与总体积之比。公式表示为：

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-8)$$

### 6) 饱和度 $S_r$

饱和度是指孔隙中水的体积与孔隙体积之比，可描述土中水充满孔隙的程度。公式表示为：

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-9)$$

## 1.1.2 土的工程分类

### 1. 公路工程

#### (1) 分类标准

公路工程中土的分类标准为《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)。土的分类依据包括土颗粒组成特征、土的塑性指标（液限  $w_L$ 、塑限  $w_p$  和塑性指数  $I_p$ ）和土中有机质存在情况。

其中，按筛分法 (T0115—1993) 确定各粒组的含量，并以土的级配指标的不均匀系数 ( $C_u$ ) 和曲率系数 ( $C_c$ ) 表示土颗粒组成特征；按液限塑限联合测定法 (T0118—2007) 确定液限和塑限；按《公路土工试验规程》中 3.4.8 方法判别有机质存在情况。

土的颗粒组成特征指标有：不均匀系数（ $C_u$ ）和曲率系数（ $C_c$ ）。土中各粒组的划分范围见表 1-2，按照筛分法（T0115）可确定土中各粒组的含量。

土的粒组划分表 表 1-2

| 200        |             | 60     | 20 | 5 | 2 | 0.5 | 0.25 | 0.075 | 0.002 (mm) |
|------------|-------------|--------|----|---|---|-----|------|-------|------------|
| 巨粒组        |             | 粗粒组    |    |   |   |     |      | 细粒组   |            |
| 漂石<br>(块石) | 卵石<br>(小块石) | 砾 (角砾) |    |   | 砂 |     |      | 粉粒    | 黏粒         |
|            |             | 粗      | 中  | 细 | 粗 | 中   | 细    |       |            |

不均匀系数  $C_u$  反映粒径分布曲线上的土粒分布范围，公式表示为：

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \tag{1-10}$$

曲率系数  $C_c$  反映粒径分布曲线上的土粒分布形状，公式表示为：

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \tag{1-11}$$

其中， $d_{10}$ 、 $d_{30}$ 和  $d_{60}$ 为特征粒径，分别指土的粒径分布曲线上，小于该粒径的土粒质量分别为总土质量的 10%、30%、60%。

(2) 分类总体系

公路工程用土分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土。分类总体系见图 1-1。

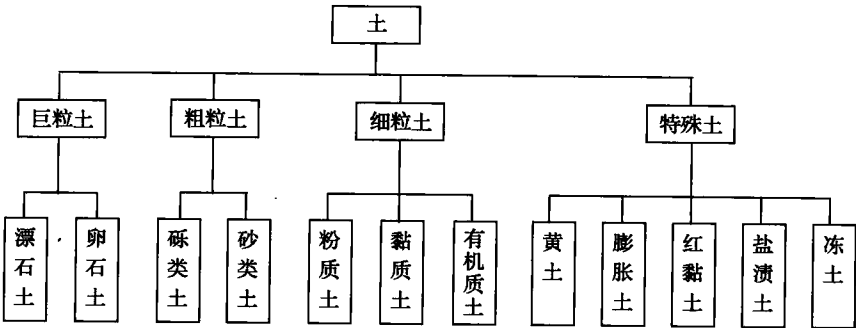


图 1-1 土的分类总体系

(3) 土类的名称和代号

土的成分、级配、液限和特殊土的基本代号见表 1-3。土类的名称和代号见表 1-4。

土的成分、级配、液限和特殊土的基本代号 表 1-3

| 成分<br>代号 | 成分 | 漂石   | 块石             | 卵石             | 小块石             | 砾 | 角砾             | 砂    | 粉土 | 黏土 | 细粒土<br>(C 和 M<br>合称) | (混合) 土<br>(粗、细粒<br>土合称) | 有机<br>质土 |
|----------|----|------|----------------|----------------|-----------------|---|----------------|------|----|----|----------------------|-------------------------|----------|
|          | 代号 | B    | B <sub>s</sub> | C <sub>b</sub> | Cb <sub>s</sub> | G | G <sub>s</sub> | S    | M  | C  | F                    | SI                      | O        |
| 级配代号     | 级配 | 级配良好 |                |                |                 |   |                | 级配不良 |    |    |                      |                         |          |
|          | 代号 | W    |                |                |                 |   |                | P    |    |    |                      |                         |          |

续表

| 成分<br>代号   | 成分  | 漂石  | 块石             | 卵石             | 小块<br>石         | 砾 | 角砾             | 砂   | 粉土 | 黏土 | 细粒土<br>(C和M<br>合称) | (混合)土<br>(粗、细粒<br>土合称) | 有机<br>质土 |
|------------|-----|-----|----------------|----------------|-----------------|---|----------------|-----|----|----|--------------------|------------------------|----------|
|            | 代号  | B   | B <sub>a</sub> | C <sub>b</sub> | Cb <sub>a</sub> | G | G <sub>a</sub> | S   | M  | C  | F                  | SI                     | O        |
| 液限高<br>低代号 | 液限  | 高液限 |                |                |                 |   |                | 低液限 |    |    |                    |                        |          |
|            | 代号  | H   |                |                |                 |   |                | L   |    |    |                    |                        |          |
| 特殊土<br>代号  | 特殊土 | 黄土  |                |                | 膨胀土             |   |                | 红黏土 |    |    | 盐渍土                |                        |          |
|            | 代号  | Y   |                |                | E               |   |                | R   |    |    | S <sub>i</sub>     |                        |          |

土类的名称和代号

表 1-4

| 名称    | 代号              | 名称      | 代号  | 名称         | 代号             |
|-------|-----------------|---------|-----|------------|----------------|
| 漂石    | B               | 级配良好砂   | SW  | 含砾低液限黏土    | CLG            |
| 块石    | B <sub>a</sub>  | 级配不良砂   | SP  | 含砂高液限黏土    | CHS            |
| 卵石    | C <sub>b</sub>  | 粉土质砂    | SM  | 含砂低液限黏土    | CLS            |
| 小块石   | Cb <sub>a</sub> | 黏土质砂    | SC  | 有机质高液限黏土   | CHO            |
| 漂石夹土  | BSI             | 高液限粉土   | MH  | 有机质低液限黏土   | CLO            |
| 卵石夹土  | CbSI            | 低液限粉土   | ML  | 有机质高液限粉土   | MHO            |
| 漂石质土  | SIB             | 含砾高液限粉土 | MHG | 有机质低液限粉土   | MLO            |
| 卵石质土  | SICb            | 含砾低液限粉土 | MLG | 黄土（低液限黏土）  | CLY            |
| 级配良好砾 | GW              | 含砂高液限粉土 | MHS | 膨胀土（高液限黏土） | CHE            |
| 级配不良砾 | GP              | 含砂低液限粉土 | MLS | 红土（高液限粉土）  | MHR            |
| 细粒质砾  | GF              | 高液限黏土   | CH  | 红黏土        | R              |
| 粉土质砾  | GM              | 低液限黏土   | CL  | 盐渍土        | S <sub>i</sub> |
| 黏土质砾  | GC              | 含砾高液限黏土 | CHG | 冻土         | F <sub>i</sub> |

土类名称可用一个基本代号表示。当由两个基本代号构成时，第一个代号表示土的主成分，第二个代号表示副成分（土的液限或土的级配）。当由三个基本代号构成时，第一个代号表示土的主成分，第二个代号表示液限的高低（或级配的好坏），第三个代号表示土中所含次要成分。

(4) 巨粒土分类

试样中巨粒组质量多于总质量 50% 的土称巨粒土。巨粒土分类体系见图 1-2。

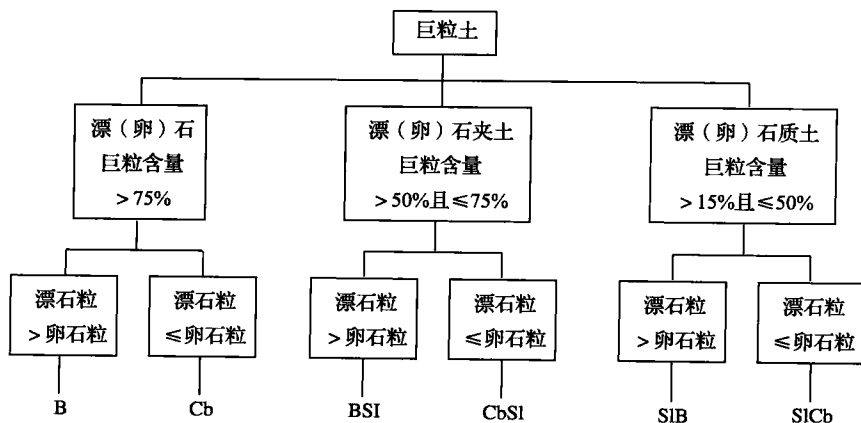


图 1-2 巨粒土分类体系

（注：巨粒土分类体系中的漂石换成块石，B 换成 B<sub>s</sub>，即构成相应的块石分类体系；巨粒土分类体系中的卵石换成小块石，Cb 换成 Cb<sub>s</sub>，即构成相应的小块石分类体系。）

### (5) 粗粒土分类

试样中巨粒组土粒质量小于或等于总质量 15%，且巨粒组土粒与粗粒组土粒之和多于总土质量 50% 的土称粗粒土。粗粒土中砾粒组质量多于砂粒组质量的土称为砾类土。砾类土根据其中细粒含量和类别以及粗粒组的级配进行分类，分类体系见图 1-3。

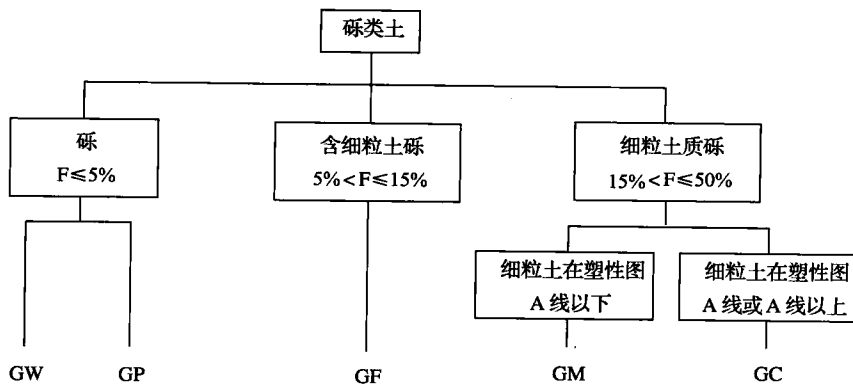


图 1-3 砾类土分类体系

（注：砾类土分类体系中的砾石换成角砾，G 换成 G<sub>s</sub>，即构成相应的角砾土分类体系。）

粗粒土中砾粒组质量少于或等于砂粒组质量的土称为砂类土。砂类土根据其中细粒含量和类别以及粗粒组的级配进行分类，分类体系见图 1-4。

### (6) 细粒土分类

试样中细粒组土粒质量多于或等于总质量 50% 的土称细粒土。细粒土根据塑性图分类，分类体系见图 1-5。塑性图见图 1-6。