



高职高专路桥类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN LUQIAOLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

道路工程材料

胡雨来 主编
陆永青 主审



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

高职高专路桥类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN LUQIAOLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



- 道路制图
- 道路制图习题集
- 道路CAD
- 工程测量
- 工程测量实训指导书
- 工程力学
- 结构设计原理
- **道路工程材料**
- 道路工程材料实训指导书
- 工程地质与水文
- 土力学地基与基础
- 公路工程技术
- 道路工程施工
- 桥涵工程
- 公路工程造价
- 工程招投标与合同管理
- 公路施工项目管理
- 公路经济分析
- 公路与桥梁试验检测
- 公路养护与管理
- 施工监理基础
- 软土地基处理技术

ISBN 978-7-5083-9066-6



9 787508 390666 >

定价：32.00元



高职高专路桥类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN LUQIAOLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

道路工程材料

主 编 胡雨来
副主编 张 旭 吴 昉
参 编 江利民 车晓军 刘肖群
 周 黎 王雨楠
主 审 陆永青

本书以道路所需砂石、水泥、钢材、沥青等材料为主，结合工程需要对其试验、评定、分析、总结进行全过程教学，具有突出实践操作性、强调动手能力的特点。

本书适合作为公路工程、工程监理、道路桥梁工程技术等专业的
高职高专基础课程教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

道路工程材料/胡雨来主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

高职高专路桥类专业规划教材

ISBN 978-7-5083-9066-6

I. 道… II. 胡… III. 道路工程-建筑材料-高等学校: 技术学校-教材
IV. U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 116165 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑: 王晓蕾 电话: 010-58383277

责任印制: 陈焊彬 责任校对: 王瑞秋

北京丰源印刷厂印刷·各地新华书店经售

2009 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·17.25 印张·430 千字

定价: 32.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

前 言

为了满足高等职业技术教育道路与路桥专业实用型人才对道路建筑材料的基本知识和基本操作技能的需要,为了培养理论功底扎实、实践动手能力强、具有较强适应能力的高素质实用型人才,根据中国电力出版社建筑与机械出版中心组织的“高职高专路桥类专业系列规划教材编写会”于2008年5月23~25日在北京举行的专业教学研究与教材建设会议精神,编写了本教材。

本教材重点实现高职高专教育对“精检测、懂施工、会管理”人才培养目标的要求,结合高职教育的特点,理论与实践并重,突出学生实践技能、综合素质的培养。

本教材在编写的过程中,力求:

1. 符合“路桥专业高职教材编审原则”的规定,具有新、特之优势。新:采用了国家及行业最新技术标准和技术规范,选编最新材料、新工艺,充分反映当前道路建筑材料高新技术;特:有别于大、中专教材,为了适应生产和教学需要,本书较好地体现了针对性与先进性、实用性与可操作性、综合性与科学性。

2. 在理论方面,从实用角度出发,对道路建筑材料的定义、来源、分类、技术性能、影响因素、工程应用等方面作了全面叙述。在实践技能培训方面,根据现行国家标准和行业试验规程,从材料试验目的与适应范围,仪器设备与试样制备、试验步骤、试验记录、计算与结果整理及分析等方面,选编高等级公路建设中常用建筑材料的相关试验为主要实践实训内容。

3. 章节内容重点突出,主次分明,阐述简明。为了便于学生学习,理论部分每章都有重点内容与学习要求及复习思考题和习题,以便学生更好地了解掌握本章核心知识。

本教材为高职高专公路工程、工程监理、道路桥梁工程技术等专业的一门重要专业基础课程,具有突出实践操作性、强调动手能力的特点。本教材以道路所需砂石、水泥、钢材、沥青等材料为主,结合工程需要对其试验、评定、分析、总结进行全过程教学。本书配套出版了由吉林交通职业技术学院张旭主编的《道路工程材料实训指导书》。

本教材由武汉交通职业学院胡雨来主编,武汉理工大学陆永青教授主审。教材章节内容编写情况如下:绪论、第3章由武汉交通职业学院胡雨来编写,第1章由重庆交通大学应用技术学院江利民、武汉交通职业学院车晓军编写,第2章由浙江水利水电高等专科学校吴昉编写,第4章、第5章由山东交通职业技术学院刘肖群编写,第6章由吉林交通职业技术学院张旭编写,第7章由武汉交通职业学院周黎编写,第8章由吉林交通职业技术学院王雨楠编写。

本教材在编写过程中,得到中国电力出版社、武汉交通职业学院、重庆交通大学应用技术学院、浙江水利水电高等专科学校、山东交通职业技术学院、吉林交通职业技术学院和交通系统工程一线专家的指导、帮助,附于书后的主要参考文献的作者们对本书完成给予了极大的支持,在此一并致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中谬误和疏漏之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

编 者

目 录

前 言

绪论	1
第1章 砂石材料	4
1.1 岩石及岩石制品	4
1.2 集料	15
1.3 矿质混合料的组成设计	27
本章小结	38
思考题与习题	39
第2章 无机胶凝材料	41
2.1 水泥	41
2.2 石灰	60
本章小结	63
思考题与习题	64
第3章 水泥混凝土、砂浆和稳定土	66
3.1 普通水泥混凝土	66
3.2 水泥混凝土配合比设计	91
3.3 其他功能混凝土	106
3.4 建筑砂浆	110
3.5 无机结合料稳定土	114
本章小结	121
思考题与习题	122
第4章 沥青材料	124
4.1 沥青及其分类	124
4.2 石油沥青	125
4.3 煤沥青	142
4.4 乳化沥青	146
4.5 改性沥青	149
本章小结	152
思考题与习题	152
第5章 沥青混合料	153
5.1 沥青混合料的特点及分类	153
5.2 热拌沥青混合料	154
5.3 其他沥青混合料	174
本章小结	177

思考题与习题·····	177
第 6 章 烧土制品及混凝土路面砖·····	179
6.1 砌体材料·····	179
6.2 建筑砌块·····	188
6.3 建筑墙板·····	192
6.4 混凝土路面砖·····	197
本章小结·····	211
思考题与习题·····	212
第 7 章 钢材和木材·····	213
7.1 钢的冶炼和钢的分类·····	213
7.2 建筑钢材的主要技术性能·····	215
7.3 钢材在土木工程中的应用·····	222
7.4 木材·····	230
本章小结·····	239
思考题与习题·····	240
第 8 章 道路高分子材料·····	242
8.1 高分子材料基础·····	242
8.2 高分子材料在道路与桥梁工程中的应用·····	259
本章小结·····	268
思考题与习题·····	268
参考文献·····	269

绪 论

《道路工程材料》是道路与桥梁专业的一门技术基础课，是研究建造道路与桥梁所用各种材料的组成、性能和应用的一门课程。学好本课程必须具备先修课程的基础，它与物理学、化学、数学、力学和工程地质学等学科有着密切的联系。通过本课程的学习，为“桥梁工程”、“路基路面工程”、“市政工程”等专业课程的学习奠定了基础。

1. 道路工程材料研究的内容和任务

随着道路与桥梁建筑技术的发展，用于道路与桥梁建筑的材料不仅在品种上日益增多，而且对其质量也提出更新的要求。现就本教材主要讲述的内容分述如下。

(1) 砂石材料。砂石材料是人工开采的岩石或轧制的碎石以及地壳表层岩石经天然风化而成。在道路与桥梁建筑中最常用到的砂石材料主要是岩石、碎石和砂子。砂石材料可以直接应用于砌筑道路、桥梁工程结构物或铺筑隧道基础，也可以作为集料应用于配制水泥混凝土和沥青混合料。

(2) 无机结合料及制品。在道路与桥梁建筑中最常用到的无机结合料主要是石灰和水泥。水泥是各类水泥混凝土的主要材料，而水泥混凝土作为无机结合料的主要制品，成为应用最广泛的土木工程材料。另外，随着半刚性路面的发展，石灰和水泥广泛应用于路面基层，成为半刚性基层的重要组成材料。

(3) 有机结合料及其混合料。有机结合料主要指沥青材料。这种材料与不同粒径和级配的集料组成沥青混合料，可以铺筑成各种类型的沥青路面，成为现代公路建设中一种极为重要的筑路材料。

(4) 高聚物材料。高聚物材料主要用来改善水泥混凝土或沥青混合料的性能，随着我国化学工业的发展逐渐应用于道路与桥梁工程中，它是一种有发展前途的新材料。

(5) 建筑钢材。钢材是桥梁钢结构及钢筋混凝土结构的重要材料。

(6) 烧土制品。烧土制品是土木工程中十分重要的材料，但黏土烧制的砖已不常应用于房屋建筑中。陶粒空心砌块材料的使用，既能节约黏土资源，又可使工业废渣充分利用，从而保护了环境。在土木建筑工程中，合理选用烧土制品材料，不仅要考虑建筑物的功能、还应关注是否能够废物利用、保护环境，做到可持续发展。

本课程的主要任务是论述材料的组成、结构、技术性能及它们之间的关系，论述某些材料的强度理论及其影响因素；论述材料的优缺点和可能改善的途径；介绍材料的检验方法，进行试验并评定其技术性能。

2. 工程材料应具备的工程性质

道路与桥梁既受到车辆荷载的作用力，又受到各种复杂自然因素的影响。所以，用于修建道路与桥梁的材料，不仅要有一定的力学性能，同时还要有在恶劣自然因素的作用下不产生明显强度下降的耐久性。这就要求道路材料应具备以下几方面性质：

(1) 力学性质。力学性质是指材料抵抗综合作用的能力。目前除了通过静态的拉、压、弯、剪等试验来反映材料的力学性质外，还采用磨耗、磨光、冲击等试验来反映其性能。

(2) 物理性质。通常通过测定材料的物理常数如密度、孔隙率、含水量等来了解材料的组成结构, 由物理常数来推断材料的力学性质。

影响材料性质的主要因素是温度和湿度。一般材料随温度的升高、湿度的加大而强度降低。因此, 测定材料的温度稳定性、水稳定性也成为某些材料性能的主要指标。

(3) 化学性质。化学性质是材料抵抗各种周围环境对其化学作用的能力。道路与桥梁用材料在受到周围介质(如桥墩在工业污水中)的侵蚀下, 会导致强度降低。在受到大气因素(如气温的交替变化, 日光中的紫外线, 空气中的氧、水等)的综合作用下, 会引起材料的老化, 特别是各种有机材料(如沥青材料等)更为显著。

(4) 工艺性质。工艺性质是指材料适合于按一定工艺要求加工的性能。例如, 水泥混凝土拌和物需要一定的和易性, 以便浇筑; 钢材需要一定的冷弯性, 以便室温变形。材料工艺性质通过一定的试验方法和指标进行控制。

3. 工程材料与路桥工程的关系

(1) 材料是工程结构物的物质基础。道路工程材料是道路、桥梁等工程结构物的物质基础。材料质量的好坏、配制是否合理及选用是否适当等, 均直接影响结构物的质量。道路工程结构物裸露于大自然中, 承受瞬时、反复动荷载的作用, 材料的性能和质量对结构物的使用性能影响极大。近年来由于交通量的迅速增长和车辆行驶的强化, 一些高等级路面出现较严重的波浪、车辙等现象, 这些与材料的性质都有一定的关系。

(2) 材料的使用与工程造价密切相关。在道路与桥梁结构的修建费用中, 道路材料费用通常在道路工程总造价中约占 60%。因此, 合理地选择和使用材料, 尽量就地取材, 这样对节约工程成本投资、降低工程造价十分必要。

(3) 材料科学的进步可以给工程提供优质的材料。工程建筑设计、工艺的更新换代, 往往要依赖于新材料的发展。同时, 新材料的出现和使用, 必然导致工程建筑设计、工艺的新突破。在道路与桥梁工程建设中, 材料同样是促进道路与桥梁工程技术发展的重要基础。

4. 道路工程材料检验方法及技术标准

道路工程材料试验是本课程的一个重要组成部分。材料应具有一定的技术性能, 而对这些性能的检验, 必须通过适当测试手段来进行。材料性质的检验分为实验室室内检验和施工现场的实地检验, 本课程主要研究在实验室内对原材料性质及复合材料性能的检验, 学习道路与桥梁建筑中常用材料的常规性试验方法。

工程材料及其制品必须具备一定的技术性质, 以满足工程的需要。由于材料自身固有的特性, 以及试验方法的不同导致试验结果的差异, 必须由统一的技术质量要求和统一的试验方法进行评价。这些方法体现在国家标准或有关的技术规范、规定的各项技术指标中, 在选用材料及施工中都应按技术标准、技术规范执行。

我国技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四类。对需要在全国范围内统一的为国家标准, 国家标准由国务院标准化行政主管部门编制计划, 组织草拟, 统一审批、编号、发布。我国国家标准以符号“GB”代表, 此外还要注明编号、制定机构, 修订年份及标准名称等。对没有国家标准而又需要在全国某行业范围内统一的技术要求, 可以制定行业标准。行业标准由国务院有关行政主管部门制定, 并报国务院标准化行政主管部门备案。

国家和行业标准代号	国际和国外标准代号
GB (中华人民共和国)	ISO (国际标准)
JTJ、JTG (交通部)	ANS (美国国家标准)
JC/T (建材部)	NF (法国标准)
SH (石油化工部)	BS (英国标准)
YB/T (冶金工业部)	DIN (德国工业标准)
	JIS (日本工业标准)
	ГОСТ (原苏联国家标准)

第1章 砂 石 材 料

● 重点内容和学习要求

本章重点：砂石材料的技术性质和技术要求，矿质混合料的级配理论和组成设计方法。

本章要求：了解砂石材料的技术性质与技术要求，掌握级配理论和组成设计方法，会用图解法、试算法设计矿质混合料的配合比。

砂石材料是道路与桥梁建筑中用量最大的一种建筑材料，它是由岩石风化或加工而成。它可以直接（或经加工后）用作道路与桥梁的圬工结构；也可加工成各种粒径的集料，用作水泥混凝土或沥青混合料的骨料。天然石材具有抗压强度高、耐久性能好、耐磨性能好的性质，且资源分布广，便于就地取材，因而被广泛应用。但岩石还存在性质脆硬、抗拉强度较低、表观密度较大、硬度高、开采和加工比较困难等缺点。本章将重点讲述岩石、集料、矿质混合料的有关知识。

1.1 岩石及岩石制品

1.1.1 道路工程常用岩石

岩石是地壳中各种地质作用的自然产物，不同的岩石，其化学成分、矿物组成、内部结构和构造等不尽相同。

1. 岩石的种类

根据岩石的成因，可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

(1) 岩浆岩。岩浆岩又称火成岩，是地下深处的岩浆侵入地壳或喷出地表冷凝而成的岩石。道路工程上常用的岩浆岩有：

1) 花岗岩。花岗岩是由石英、长石及少量云母组成的岩石，其中 SiO_2 含量达 70% 左右。其表观密度为 $2600 \sim 2800\text{kg/m}^3$ ，孔隙率、吸水率均小于 1%，抗压强度为 $80 \sim 250\text{MPa}$ ，抗冻性可满足 F100 ~ F200 的要求。

花岗岩质地坚硬、晶粒结构明显，性能稳定，耐风化，耐酸和耐碱性良好，但耐火性差，适用于道路工程中的基础、桥涵、路面、阶石、勒脚等部位。其颜色有淡灰、淡红、青灰、灰黑、白黑等多种，经磨光的花岗岩还是优良的装饰材料。

2) 正长岩。正长岩是由正长石、斜长石、云母及暗色矿物组成的岩石。其外观类似花岗岩，但颗粒结构不明显，颜色较深暗，表观密度为 $2600 \sim 2800\text{kg/m}^3$ ，抗压强度为 $120 \sim 250\text{MPa}$ 。

正长岩质地坚硬，耐久性好，韧性较强，常用于工程基础等部位。

3) 辉绿岩。辉绿岩是由斜长石、辉石等组成的岩石。其表观密度为 $2900 \sim 3000\text{kg/m}^3$ ，

抗压强度为180~250MPa,吸水率小于1%,抗冻性良好,强度高,耐磨性好。

辉绿岩多为浅绿色,常用于配制耐磨或耐酸混凝土。由于其磨光板材光泽明亮,庄重美观,因此也用于装饰工程。

4) 玄武岩。玄武岩是含斜长石较多的暗色矿物岩石。表观密度为2900~3300kg/m³,抗压强度为250~500MPa,耐风化能力强。

玄武岩主要适用于基础、边坡、筑路等部位及作为混凝土骨料等。因具有气孔构造和杏仁构造,玄武岩和辉绿岩一样,也是生产铸石的良好原料。

5) 凝灰岩。凝灰岩也称火山凝灰岩,它是由粒径在7mm以下的火山尘和火山灰胶结压实而成的,属于岩浆岩中质地较差的一种。其表观密度为2300~2500kg/m³,抗压强度为40~250MPa。

凝灰岩多孔隙,易分割,可开采成方整石材,用于砌筑工程。

(2) 沉积岩。沉积岩又称水成岩,是在地表或近地表的常温常压条件下,露出地表的先成岩石(母岩)遭受风化剥蚀作用的破坏产物或生物作用与火山作用的产物,经原地或外力(风力、流水、冰川等)搬运所形成的沉积层,再经成岩作用而成的岩石。道路工程上常用的沉积岩有:

1) 石灰岩。石灰岩的主要成分是方解石(CaCO₃),常含有白云石、菱镁矿等。颗粒致密,耐碱而不耐酸,表观密度为1800~2600kg/m³,抗压强度为14~140MPa。

纯净的石灰岩为白色,含杂质时呈青灰、浅灰、浅黄等颜色,又俗称青石。主要用于基础、墙体、路面等,也是生产石灰、水泥等的主要原料。

2) 砂岩。砂岩是由粒径为0.1~2mm的砂粒经胶结而成的岩石。主要矿物有石英、长石、石灰岩、凝灰岩等。依据胶结物质的不同,它可分为硅质砂岩、钙质(CaCO₃)砂岩、铁质砂岩、泥质砂岩。表观密度为2200~2600kg/m³,抗压强度为47~140MPa。

致密的硅质砂岩性质近于花岗岩,钙质砂岩性质近于石灰岩,它们常用于基础、墙体、路面等。泥质砂岩遇水易软化,不宜用于接触水的工程。

3) 白云岩。白云岩主要是由白云石[CaMg(CO₃)₂]组成的岩石,它通常夹杂有方解石、石膏等。表观密度约为2500kg/m³,抗压强度约为80MPa。

白云岩颜色有白色、浅黄、浅绿等,有些外形很像石灰岩,难以利用直观区别,用途也与石灰岩基本相同。

(3) 变质岩。变质岩是地壳中已经存在的岩石,经变质作用所形成的新的岩石。道路工程上常用的变质岩有:

1) 大理岩。大理岩是由石灰岩或白云岩变质而成的重结晶岩石。主要成分是方解石和白云石,表观密度为2600~2700kg/m³,抗压强度为70~140MPa。

大理岩构造致密,硬度不大,易于加工。色彩丰富,磨光后美观高雅,多用于城市桥梁的装饰。

2) 片麻岩。片麻岩是由花岗岩重结晶而成的岩石,其矿物成分与花岗岩相似,多呈片麻状构造。表观密度为2600~2800kg/m³,抗压强度为120~200MPa。

片麻岩的用途与花岗岩相似,但有明显的片状节理,因此易风化,抗冻性也较差。常用作碎石、块石及城市道路中的人行道道板。

3) 石英岩。石英岩是由砂岩或化学硅质岩重结晶而成的变质岩。表观密度为 $2800 \sim 3000 \text{kg/m}^3$ ，抗压强度为 $150 \sim 400 \text{MPa}$ 。

石英岩主要矿物为石英，常呈白色或浅色，质地均匀致密，耐久性好，硬度高，可用于各种砌筑工程。

2. 岩石的结构和构造特点

岩石的结构是指其矿物的结晶程度、晶粒大小、晶粒的相对大小、晶体形状及矿物之间的结合关系等所反映出的岩石构成特征，即矿物与矿物之间的各种特征。

岩石的构造是指组成岩石的矿物集合体的大小、形状、排列和空间分布等所反映出的岩石构成特征，即矿物集合体之间的各种特征。根据岩石的结构和构造可以判断其形成条件和环境，并且可作为岩石分类的主要依据。

(1) 岩浆岩的结构和构造特点。岩浆岩按其结晶程度分为全晶质结构、半晶质结构和非晶质（玻璃质）结构。全晶质结构中矿物为结晶体，其矿物颗粒比较粗大，肉眼可以辨别。半晶质结构中矿物部分结晶，由于岩浆冷却较快，部分来不及结晶而冷凝为玻璃质，常见于喷出岩。非晶质结构中矿物全部为玻璃质，几乎不含结晶体，多是岩浆喷出地表而迅速冷却而成的岩石。

岩浆岩主要有块状构造、气孔构造、杏仁状构造、斑杂构造、流纹构造等不同的宏观构造。块状构造岩石中矿物颗粒为无序排列的组合，分布比较均匀，深成岩和部分浅成岩多为块状结构。在喷出岩中，由于岩浆冷却时大量气体未能逸出而在其内部形成气泡，使岩石中存在着大小不等的圆形或椭圆形孔洞。

(2) 沉积岩的结构和构造特点。沉积岩具有碎屑结构、泥质结构、化学结构与生物结构。碎屑结构是由碎屑物质被胶结而成的岩石结构；泥质结构是由极细小碎屑和黏土矿物堆聚而成的岩石结构，其结构质地较弱，但比较均匀一致；化学结构是通过化学溶液沉淀结晶而成的岩石结构；生物结构是由生物遗体或碎片相互堆聚所构成的结构。

沉积岩的构造主要有层理构造、层面构造和生物遗迹构造。层理构造是岩层按一定的顺序和形式，一层叠一层相互更替而构成的宏观结构，其成分、颜色、结构等通常沿层面法向变化，这也是沉积岩区别于岩浆岩最明显的标志之一。层面构造是沉积岩层面上经常保留有自然作用产生的一些痕迹，标志着岩层的特性。生物遗迹构造是指沉积岩中存有古代生物的遗体或遗迹（即化石），它也是沉积岩的重要标志。

(3) 变质岩的结构和构造特点。变质岩是重结晶的岩石，其结构与岩浆岩相似，主要结构形式有变晶（即重结晶）结构、变余结构（又称残余结构）等。变晶结构是由重结晶作用形成的，是变质岩中最常见的结构，根据变晶矿物颗粒的相对大小可分为等粒变晶结构、不等粒变晶结构和斑状变晶结构。变余结构是原岩在变质作用时，重结晶不完全，残留着部分原岩的结构，它也是变质岩的最大特征之一。

变质岩的构造主要有片理构造、块状构造和条带状构造。片理构造是岩石中所含的大量片状、板状和柱状矿物在定向压力作用下，平行排列形成，又分为片麻构造、片状构造、千枚构造和板状构造等。块状构造是矿物颗粒无定向排列且均匀的构造。条带构造是由不同的矿物成分和结构交替形成具有一定宽度条带的构造。三大类岩石的基本特征见表 1-1。

1.1.2 道路和桥涵用岩石制品

石材是指具有一定的物理、化学性能，可用作工程砌筑材料的岩石。它分为天然形成的和人工制造的两大类。

天然石材是由天然岩石开采的，经过粗加工或不经加工而得到的石材。人造石材是将岩石经过机械破碎得到的碎石加工后得到的石材。

道路与桥梁建筑用主要石料制品见表1-2。

表1-1 三大岩石的基本特征与分布情况

岩类	分布情况		常见品种	产状	形成环境	结构	构造	主要矿物
	依据重量	依据面积						
岩浆岩	95%	25%	花岗岩 玄武岩 正长岩 辉绿岩 凝灰岩	侵入 喷出	降温 降压	大部分为结晶的岩石，粒状、斑状等，部分隐晶质、玻璃质	多为块状构造，喷出岩具气孔状、杏仁状、流纹状等构造	石英、长石、橄榄石、辉石、角闪石、云母等
变质岩			大理岩 片麻岩 石英岩	多随 原产状 而定	增温 增压	重结晶岩石，具颗粒状、斑状、鳞片状等各种变晶结构	大部分具片理构造，部分为块状构造	石英、长石、辉石、角闪石、云母等外，常含变质矿物
沉积岩	5%	75%	石灰岩、白云岩、砂岩	层状 产出	常温 常压	碎屑结构、泥质结构、化学结构和生物结构	各种层理构造，水平层理、斜层理、交错层理等，常含生物化石	石英、长石等外，富含黏土、方解石、白云石、有机质，多含生物化石

表1-2 道路与桥梁建筑用主要石料制品

石料名称	技术要求
高级铺砌用的整齐块石	整齐块石用的尺寸为：大方块石 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times (120 \sim 150)\text{mm}$ ，小方块石为 $120\text{mm} \times 120\text{mm} \times 250\text{mm}$ 。岩石的抗压强度不低于 100MPa ，磨耗率洛杉矶法不大于 5%
路面铺砌用半整齐块石	经粗琢而成立方体的方块石或长方体条石，顶面与底面平行，顶面积与底面积之比不小于 $40\% \sim 70\%$ 。半整齐块石宜用硬质岩石制成，为修凿方便，常采用花岗岩。顶面不进行加工，因此顶面平整性较差，一般只在特殊地段使用，如土基尚未沉实稳定的桥头引道及干道或铁轮履带车经常通过的地段等
铺砌用不整齐块石	不整齐块石又称为拳石，经粗加工而得。要求顶面为一平面，底面与顶面基本平行，顶面积与底面积之比大于 $40\% \sim 60\%$
锥形块石	又称“大块石”，用于路面底基层。锥形块石是由片石进一步加工而成的集料，要求上小下大，接近于截锥形。其底面积不应小于 100cm^2 ，以便砌筑稳定。锥形块石的高度一般为 $160\text{mm} \pm 20\text{mm}$ 、 $200\text{mm} \pm 20\text{mm}$ 、 $250\text{mm} \pm 20\text{mm}$ 等。通常底基层边长应为石块高的 $1.1 \sim 1.4$ 倍

续表

石料名称	技术要求
片石	形状不受限制,但薄片者不得使用。一般片石中部最小尺寸应不小于15cm,体积不小于0.01m ³ ,每块质量一般在30kg以上。用于圬工工程主体的片石,其极限抗压强度应不小于30MPa,用于附属圬工工程的片石,其极限抗压强度应不小于20MPa
块石	块石形状大致方正,无尖角,有两个较大的平行面,边角可不加工。其厚度应不小于200mm,宽度为厚度的1.5~2.0倍,长度为厚度的1.5~3.0倍,砌缝宽度一般不大于20mm,个别的边角砌缝宽度可达30~35mm,石料的强度应符合设计文件的规定
方块石	石料大致方正,厚度不小于200mm,宽度为厚度的1.5~2.0倍,长度为厚度的1.5~4.0倍,砌缝宽度不大于20mm,石料的强度应符合设计文件的规定
粗料石	形状和极限抗压强度符合设计文件的规定,其表面凹凸相差不大于10mm,砌缝宽度小于20mm
细料石	形状和极限抗压强度符合设计文件的规定,其表面凹凸相差不大于5mm,砌缝宽度小于15mm
镶面石	受气候因素晴、雨、冻融的影响,损坏较快,一般应选择较好的、坚硬的岩石。岩石的外露面可沿四周琢成20mm的边,中间部分仍保持原来的天然石面。石料上、下和两侧均加工粗琢成垛口,垛口的宽度不得小于100mm,琢面应垂直外露
碎石	由硬质岩石经人为破碎、筛分而成的岩石颗粒。碎石一般含杂质较少,具有棱角,表面粗糙
石屑	经轧制并筛分碎石所得粒径为2~8mm的粒料
矿粉	符合工程要求的一般粒径小于0.3mm的石粉及其代用品的统称
砾石	经自然条件作用而形成的粒径为5~100mm的无棱角的天然粒料;大于200mm的称为漂石
砂	岩石经风化或水流长期搬运作用或轧制而成的粒径小于4.75mm的粒料
砂砾	砂和砾石的混合物

1.1.3 石料的技术性质

石料的技术性质可分为物理性质、力学性质、化学性质和工艺性质。

1. 物理性质

石料的物理性质包括物理常数(如密度、毛体积密度、孔隙率等)、吸水性(如吸水率、饱水率等)、耐候性(耐冻性、坚固性等)。

(1) 物理常数。石料的物理常数是石料矿物组成结构状态的反映,它与岩石的技术性质有着密切的联系。

石料内部组成结构,主要是由矿质实体(V_s)、闭口(不与外界连通)孔隙(V_n)和开口(与外界连通)孔隙(V_i)三部分组成[图1-1(a)]。各部分的质量与体积的关系如图1-1(b)所示。

1) 真实密度。真实密度简称密度,是石料在规定条件下,单位真实体积(不含孔隙的矿质实体的体积)的质量。由图1-1(b)可知,石料的密度如式(1-1)所示。

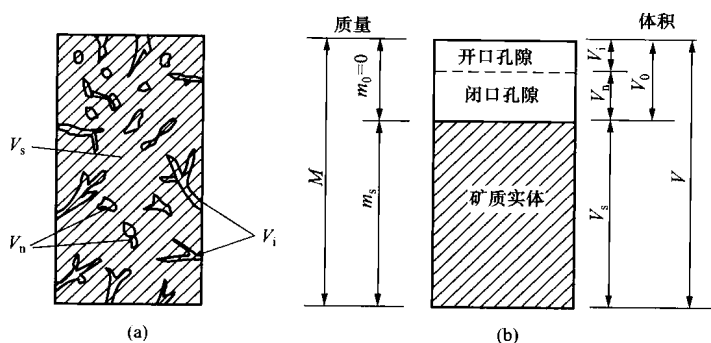


图 1-1 石料组成结构示意图

(a) 石料组成结构外观示意图; (b) 石料的质量与体积关系图

$$\rho_t = \frac{m_s}{V_s} \quad (1-1)$$

式中 ρ_t ——石料的密度, g/cm^3 ;

m_s ——石料矿质实体的质量, g ;

V_s ——石料矿质实体的体积, cm^3 。

由于测定岩石密度时是在空气中称量岩石质量的, 所以令岩石中的空气质量 $m_0 = 0$, 矿质实体的质量就等于岩石的质量, 即 $m_s = M$, 故式 (1-1) 可改写为式 (1-1')。

$$\rho_t = \frac{M}{V_s} \quad (1-1')$$

式中 M ——石料的质量, g 。

岩石密度的测定方法, 按我国现行《公路工程岩石试验规程》(JTG E41—2005) 的规定, 将岩石样品粉碎磨细后, 在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的烘箱内烘干至恒重, 并在干燥器内冷却至室温, 称得其质量。然后在密度瓶中加水煮沸后, 使水充分进入闭口孔隙中, 通过“置换法”测定其真实体积, 由此求得真实密度。

2) 毛体积密度。毛体积密度是指在规定条件下, 单位体积 (包括矿物实体和孔隙体积) 的质量。由图 1-1 可知, 石料包括孔隙在内的单位体积质量按式 (1-2) 求得:

$$\rho_h = \frac{M}{V_s + V_i + V_n} \quad (1-2)$$

式中 ρ_h ——石料的毛体积密度, g/cm^3 ;

V_i ——开口孔隙体积, cm^3 ;

V_n ——闭口孔隙体积, cm^3 ;

岩石毛体积密度的测定方法, 按我国现行《公路工程岩石试验规程》(JTG E41—2005) 规定, 可分为量积法, 水中称量法和蜡封法。量积法适用于能制备成规则试件的各类岩石; 水中称量法适用于除遇水崩解、溶解和干缩湿胀的其他各类岩石; 蜡封法适用于不能用量积法或直接在水中称量进行试验的岩石。

3) 孔隙率。孔隙率是指石料孔隙体积占石料总体积的百分率。由图 1-1 可知石料孔隙率按式 (1-3) 求得:

$$n = \frac{V_0}{V} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_t}\right) \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 n ——孔隙率, %;

V_0 ——料孔隙 (包括开口和闭口孔隙) 体积, cm^3 ;

V 、 ρ_t 、 ρ_h ——意义同前。

岩石的物理常数 (真实密度、毛体积密度和孔隙率) 不仅反映岩石的内部组成结构状态, 而且还能间接地反映岩石的力学性质 (如相同矿物组成的岩石, 孔隙率越低, 其强度越高)。尤其是岩石的孔结构, 会影响其所轧制成的集料在水泥 (或沥青) 混凝土中, 对水泥浆 (或沥青) 的吸收、吸附等化学交互作用的程度。

(2) 吸水性。吸水性是岩石在规定条件下吸水的能力。石料与水作用后, 水很快湿润石料的表层填充了石料的孔隙。因此水对石料破坏作用的大小, 主要决定于石料造岩矿物性质及组成结构状态 (即孔隙分布情况和孔隙率大小) 等。为此, 我国现行《公路工程岩石试验规程》(JTG E41—2005) 规定, 采用吸水率和饱和吸水率两项指标来表征岩石的吸水性。

1) 吸水率。石料吸水率是指在室内常温 ($20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) 和常压条件下, 将称量后烘干 ($105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 干燥至恒重) 的石料试件置于盛水容器中内, 先注水置试件高度的 $1/4$ 处, 以后每隔 2h 分别注水至试件高度的 $1/2$ 和 $3/4$ 处, 6h 后将水加至高出试件顶面 20mm, 以试件内空气溢出。试件全部被水淹没后再自由吸水 48h, 石料试件最大的吸水质量占质量的百分率。吸水率按式 (1-4) 计算。

$$\omega_x = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 ω_x ——石料吸水率, %;

m_1 ——烘至恒量时的试件质量, g;

m_2 ——吸水至恒量时的试件质量, g。

2) 饱水率。石料饱水率是指石料在煮沸或真空抽气条件下, 石料试件最大吸水的质量占石料试件干燥时质量的百分率。

煮沸法: 将称量后的试件放入水槽, 注水至试件高度的一半, 静止 2h。再加水使试件浸没, 煮沸 6h 以上, 并保持水的深度不变。煮沸停止后静置水槽, 待其冷却, 取出试件, 用湿纱布擦去表面水分, 立即称其质量。

真空抽气法: 将称量后的试件置于真空抽气干燥器中, 注入洁净水, 水面高出试件顶面 20mm, 开动抽气机, 抽气时真空压力需达 100kPa, 保持此真空状态至无气泡发生为止 (不少于 4h)。经真空抽气的试件应放置在原容器中, 在大气压力下静置 4h, 取出试件, 用湿纱布擦去表面水分, 立即称其质量。因为当真空抽气后, 石料开口孔隙内部的空气被排出, 当恢复常压时, 水很快进入石料孔隙中, 此时水分几乎充满开口孔隙的全部体积, 所以饱水率大于吸水率, 其计算方法与吸水率相同。

吸水率、饱水率的大小主要取决于石料本身的矿物成分、组织构造、孔隙特征及其孔隙率的大小。石料吸水后, 降低矿物组成的粘结力, 破坏岩石的结构, 降低了石料的强度, 所以吸水性强易被水溶蚀的岩石, 耐水性较差。

(3) 耐久性。道路与桥梁都是暴露于自然界中无遮盖的建筑物, 经常受到各种自然因