


公路施工现场技术人员上岗培训与考试用书

“十二五”交通土木工程专业大学生课程试验指导书

GONGLU GONGCHENG CAILIAO

CHANGGUI SHIYAN TUJIE



公路工程材料 常规试验

图解

刘培文 任少英 主编
傅晓薇 张青喜 参编
员莉萍 武庆焱 绘图



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

公路工程材料 常规试验图解

刘培文 任少英 主编
傅晓薇 张青喜 参编
员莉萍 武庆焱 绘图

清华大学出版社
北京交通大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书是按照各类公路、城市道路、厂矿道路、林区道路和专用道路与各类桥梁从事施工试验技术工作的初、中级试验人员上岗考核要求,同时结合全国高等院校大学本科教学大纲要求以图解方式编写的系列丛书。书中收录了交通运输部与人力资源和社会保障部联合启动的公路筑路与养护系列国家标准最新全国考试的初、中级技术试验员上岗要求的常规试验,以及交通类高等院校教学大纲要求的常用试验。

全书共分八章,分别叙述了石料、集料、水泥、沥青、水泥混凝土和沥青混合料、土工七大类常用材料和混合料等的常用试验,以及试验基本原理、试验目的、实验步骤和难点分析。书中内容翔实、图文并茂、直观明确、易于掌握、便于普及。

本教材可作为各类公路、城市道路、厂矿道路、林区道路和专用道路的初、中级试验员上岗资格技术等级考试和上岗培训用教材,亦可作为高等院校公路与桥梁专业在校学生相关课程的试验指导书,同时也可供广大一线技术人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

公路工程材料常规试验图解/刘培文,任少英主编. —北京:北京交通大学出版社,2011.12
ISBN 978-7-5121-0818-9

I. ①公… II. ①刘… ②任… III. ①道路工程-工程材料-材料试验-图解
IV. ①U414-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第253212号

责任编辑:陈跃琴 贾慧娟 特邀编辑:宋英杰

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京市德美印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:18.25 字数:450千字

版 次:2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0818-9/U·81

印 数:1~3000册 定价:36.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

几乎所有交通土建工程施工的总体要求可归纳为内在质量和外表形状，即所谓的“内坚外美”，而要达到这一要求在其施工过程中一般从十二个方面加以把握，即：工程定位正确、各部尺寸准确、工程材料合格、各部标高合适、施工组织合理、施工程序科学、施工工艺精湛、质量检查及时、机具选用得当、保护环境景观、合同承诺有效和确保施工安全。公路工程材料试验属上述诸方面把握要点中所谈及的工程材料合格的范畴。所谓工程材料合格是指无论何种工程施工都要用到建筑材料，而这些材料是否能够满足工程设计要求那就要通过一些试验来确定。多年来，国内外相关部门都出台了大量的规程来规范和要求工程试验标准、步骤及方法。在整个工程施工中，常规试验是占比例较大、应用频率较高的基础性试验，这些试验一般列在了《公路工程材料》、《土质与土力学》等相关大学教科书中，但很少有相应指导书和规程加以配套。随着我国高速公路的大规模修建，越来越多的施工技术人员进入了该行业参与施工，在这些人员中，基础参差不齐，特别是实验人员素质不一，即使是刚刚进入岗位的大中专学生，也存在需要规范与提高的问题。本系列教材给出了材料常规试验和检测的主要概念、基本原理、技术方法和相关步骤，并以图解形式加以叙述，直观明了，步骤翔实，对规范和引导试验有非常重要的意义。

本书是适用于初入公路工程试验岗位的技术人员和拟参加全国初、中级试验技术等级考核的人员和在校大中专学生参考学习。编写本书的宗旨是希望对不明试验仪器的选用和操作的实验人员和初入岗位的试验技术人员有所帮助。

众所周知，全国交通行业特有技术工种从高级技师直至初级考试已经于2007年在全国开始试点，本书主编曾担任全国筑路养护系列国家标准（6-23-09-02号）编写组副组长，编写本书时考虑了最新国家标准的考试要求，以满足广大考生的需要。

编写技术图解乃是一种新的尝试，但由于图解的体例和特点等所限，该系列教材难以将所有的试验包罗万象地加以收录，因此本书第一版只列出了一些常规的试验，在实际中以求起到抛砖引玉的作用，在以后版本中的试验数量将根据有关规程并结合国家职业资格最新考试要求不断充实和完善。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中不足和缺点之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作 者
2012年3月于北京

目 录

绪论	(1)
第1章 石料试验	(3)
1.1 石料试验相关技术基础理论	(3)
1.1.1 石料的种类和用途	(3)
1.1.2 石料的技术性质	(4)
1.1.3 石料之成料原岩(岩石)风化程度的鉴定	(11)
1.1.4 影响岩石工程性质的因素	(12)
1.1.5 各类石料(岩石)的工程性质	(13)
1.2 石料真实密度试验(密度瓶法)	(16)
1.2.1 试验目的和适用范围	(16)
1.2.2 仪器设备与试验步骤图解	(16)
1.2.3 结果整理与记录填写	(24)
1.2.4 岩石密度试验注意事项与难点分析	(25)
1.3 石料颗粒密度试验(李氏密度瓶法)	(25)
1.3.1 试验目的和适用范围	(25)
1.3.2 仪器设备与试验步骤图解	(25)
1.3.3 结果整理与记录填写	(30)
1.4 石料毛体积密度试验	(31)
1.4.1 试验目的与适用范围	(31)
1.4.2 仪器设备与试验步骤图解	(32)
1.4.3 结果整理与记录填写	(38)
1.4.4 石料毛体积密度试验注意事项与难点分析	(39)
1.5 石料饱水抗压强度试验	(39)
1.5.1 试验目的与适用范围	(39)
1.5.2 仪器设备与试验步骤图解	(39)
1.5.3 结果整理与记录填写	(43)
1.5.4 石料的饱水抗压强度试验注意事项与难点分析	(44)
1.6 石料吸水性试验	(44)
1.6.1 试验目的和适用范围	(44)
1.6.2 仪器设备与试验步骤图解	(45)
1.6.3 结果整理与记录填写	(47)
1.6.4 石料吸水性试验注意事项与难点分析	(48)
1.7 石料的磨耗率试验(洛杉矶法)	(48)

1.7.1	试验目的与适用范围	(48)
1.7.2	仪器设备与试验步骤图解	(49)
1.7.3	结果整理与记录填写	(54)
1.7.4	石料磨耗率试验注意事项与难点分析	(54)
第2章	集料试验	(55)
2.1	集料试验相关技术基础理论	(55)
2.1.1	集料的组成	(55)
2.1.2	细集料的物理性质	(55)
2.1.3	粗集料的技术性质	(58)
2.2	细集料筛分试验	(60)
2.2.1	试验目的与适用范围	(60)
2.2.2	仪器设备与试验步骤图解	(60)
2.2.3	结果整理与记录填写	(68)
2.2.4	试验注意事项与难点分析	(70)
2.3	细集料松装及紧装密度试验	(70)
2.3.1	试验目的与适用范围	(70)
2.3.2	仪器设备与试验步骤图解	(70)
2.3.3	结果整理与记录填写	(77)
2.3.4	试验注意事项与难点分析	(78)
2.4	细集料表观密度试验	(78)
2.4.1	试验目的与适用范围	(78)
2.4.2	仪器设备与试验步骤图解	(78)
2.4.3	结果整理与记录填写	(82)
2.4.4	试验注意事项与难点分析	(83)
2.5	粗集料压碎值试验	(83)
2.5.1	试验目的与适用范围	(83)
2.5.2	仪器设备与试验步骤图解	(84)
2.5.3	结果整理与记录填写	(90)
2.6	沥青路面用粗集料针、片状颗粒含量试验(游标卡尺法)	(90)
2.6.1	试验目的与适用范围	(90)
2.6.2	仪器设备与试验步骤图解	(90)
2.6.3	结果整理与记录填写	(93)
2.7	粗集料筛分试验	(93)
2.7.1	试验目的与适用范围	(93)
2.7.2	仪器设备与试验步骤图解	(93)
2.7.3	结果整理与记录填写	(99)
2.7.4	试验注意事项与难点分析	(100)
2.8	水泥混凝土用粗集料针、片状颗粒含量试验(规准仪法)	(101)
2.8.1	试验目的与适用范围	(101)
2.8.2	仪器设备与试验步骤图解	(101)
2.8.3	结果整理与记录填写	(104)

第3章 水泥试验	(105)
3.1 水泥试验相关技术基础理论	(105)
3.1.1 水泥及其种类	(105)
3.1.2 水泥的主要技术性质	(109)
3.2 水泥胶砂强度试验	(112)
3.2.1 试验目的和适用范围	(112)
3.2.2 仪器设备与试验步骤图解	(112)
3.2.3 结果整理与记录填写	(121)
3.3 水泥标准稠度用水量与凝结时间试验	(122)
3.3.1 试验目的、适用范围和引用标准	(122)
3.3.2 仪器设备与试验步骤图解	(122)
3.3.3 试验注意事项与记录填写	(128)
3.4 水泥安定性试验	(128)
3.4.1 试验目的与适用范围	(128)
3.4.2 仪器设备与试验步骤图解	(128)
3.4.3 试验报告与记录填写	(132)
第4章 沥青试验	(133)
4.1 沥青试验相关技术基础理论	(133)
4.1.1 沥青材料及组成结构	(133)
4.1.2 沥青的技术性质	(136)
4.1.3 其他品种沥青	(142)
4.2 沥青针入度试验	(148)
4.2.1 试验目的与适用范围	(148)
4.2.2 仪器设备与试验步骤图解	(148)
4.2.3 试验结果整理与记录填写	(152)
4.2.4 试验注意事项与难点分析	(153)
4.3 沥青软化点试验	(153)
4.3.1 试验目的与适用范围	(153)
4.3.2 仪器设备和试验步骤图解	(154)
4.3.3 试验数据整理与记录填写	(157)
4.3.4 试验注意事项与难点分析	(157)
4.4 沥青延度试验	(158)
4.4.1 试验目的与适用范围	(158)
4.4.2 仪器设备与试验步骤图解	(158)
4.4.3 试验结果整理与记录填写	(161)
4.4.4 试验注意事项与难点分析	(162)
第5章 沥青混合料试验	(163)
5.1 试验技术基础理论和原理	(163)

5.1.1	沥青混合料的类型和组成结构	(163)
5.1.2	沥青混合料的三相体系与压实性能	(167)
5.1.3	沥青混合料的技术性质	(169)
5.2	马歇尔制件试验	(173)
5.2.1	试验目的与适用范围	(173)
5.2.2	仪器设备与试验步骤图解	(173)
5.2.3	试验结果整理与记录填写	(182)
5.2.4	试验注意事项与难点分析	(183)
5.3	沥青混合料马歇尔稳定度试验	(183)
5.3.1	试验目的与适用范围	(183)
5.3.2	仪器设备与试验步骤图解	(183)
5.3.3	试验结果整理与记录填写	(187)
5.3.4	试验注意事项与难点分析	(188)
第6章	水泥混凝土试验	(189)
6.1	试验相关技术基础理论	(189)
6.1.1	水泥混凝土的分类	(189)
6.1.2	拌和物的技术性质	(190)
6.1.3	混凝土实体的力学性质	(194)
6.1.4	影响混凝土强度的因素	(195)
6.1.5	混凝土的耐久性	(198)
6.2	水泥混凝土坍落度与混凝土试件制作试验	(198)
6.2.1	试验目的与适用范围	(198)
6.2.2	仪器设备与试验步骤图解	(199)
6.2.3	试验结果整理与记录填写	(204)
6.2.4	试验注意事项与难点分析	(204)
6.3	水泥混凝土试件抗压强度试验	(206)
6.3.1	试验目的和适用范围	(206)
6.3.2	仪器设备与试验步骤图解	(206)
6.3.3	结果整理与试验记录填写	(208)
6.3.4	试验注意事项与难点分析	(209)
第7章	土工试验	(210)
7.1	试验相关技术基础知识	(210)
7.1.1	土工试验的相关知识	(210)
7.1.2	土的颗粒组成测定方法	(210)
7.1.3	土的主要技术指标	(211)
7.1.4	击实试验技术基础	(214)
7.2	土的击实试验	(215)
7.2.1	试验目的与适用范围	(215)
7.2.2	仪器设备与试验步骤图解	(216)

7.2.3	试验数据整理与记录填写	(219)
7.2.4	试验注意事项与难点分析	(220)
7.3	土的压缩试验	(221)
7.3.1	试验目的与适用范围	(221)
7.3.2	仪器设备与试验步骤图解	(222)
7.3.3	结果整理与记录表格	(226)
7.3.4	试验注意事项与难点分析	(231)
7.4	土的液、塑限试验	(232)
7.4.1	试验目的与适用范围	(232)
7.4.2	仪器设备与试验步骤图解	(232)
7.4.3	试验数据整理与记录填写	(235)
7.4.4	试验注意事项与难点分析	(237)
7.5	土的含水率试验	(237)
7.5.1	试验目的与原理	(237)
7.5.2	仪器设备与试验步骤图解	(238)
7.6	土的直剪试验(慢剪试验)	(240)
7.6.1	试验目的与适用范围	(240)
7.6.2	仪器设备与试验步骤图解	(240)
7.6.3	试验结果整理与记录填写	(243)
7.6.4	试验注意事项与难点分析	(245)
7.7	土粒密度试验	(245)
7.7.1	试验目的与原理	(245)
7.7.2	仪器设备与试验步骤图解	(245)
7.7.3	试验结果整理与记录填写	(249)
7.7.4	试验注意事项与难点分析	(250)
7.8	土体密度试验(环刀法)	(251)
7.8.1	试验目的与原理	(251)
7.8.2	仪器设备与试验步骤图解	(251)
7.8.3	试验结果整理与记录填写	(254)
7.8.4	试验注意事项与难点分析	(254)
7.9	土体密度试验(灌砂法)	(254)
7.9.1	试验目的与原理	(254)
7.9.2	仪器设备与试验步骤图解	(255)
7.9.3	试验数据整理与记录填写	(260)
7.9.4	试验注意事项和难点分析	(261)
附录 A	公路试验检测工国家职业标准(报审稿)	(262)
附录 B	公路试验工国家职业标准考试(中级)模拟题(仅供参考)	(273)
参考文献		(280)

绪 论

路桥工程施工中的一个十分重要的问题是选材合格，因此材料是控制工程内在质量的关键因素之一。

工程建筑的材料根据构造或构件的作用性质不同可分为单体材料、集料、结合料。单体材料也叫个体材料，是指体积比较大的一些单个材料，如块状石料、砖等。集料是颗粒状的松散材料，如碎石、卵石、砂等，一般情况下不能单独使用，必须用其他材料把它们联结为一个整体。根据颗粒大小可将集料分为粗集料和细集料。结合料是能够把松散材料联结为一个整体的材料。结合料按与矿料作用方式可分为胶凝材料或胶结材料，根据结合料的化学成分可将其分为无机结合料和有机结合料，有机结合料是碳氢化合物及其非金属衍生物的混合料，无机结合料是矿物质材料。按照硬化条件可将结合料分为气硬性胶凝材料和水硬性胶凝材料，气硬性胶凝材料只能在空气中硬化，并只能在空气中保持强度或继续提高强度，道路工程最常用的气硬性胶凝材料是石灰，气硬性胶凝材料适用于干燥环境的建筑物；水硬性胶凝材料，可以在空气中硬化，也可以在水中硬化，并且能在水中保持强度和继续提高强度，建筑工程中最常用的水硬性胶凝材料是水泥。应该强调的是，水硬性胶凝材料在水中硬化比在空气中硬化强度要高。因此，对水泥制成品要进行一定时间的洒水养护，否则会使其制品强度降低或影响其制品的工程性质。无机结合料使用时，必须要加水拌和才能发生一系列的物理化学作用从而具有胶凝性。

选材中有两大问题。一是原材料的选择问题。如钢筋混凝土的原材料有水泥、砂、碎石和外加剂，钢筋等，通过试验选择水泥、砂、碎石和外加剂，钢筋，这就是钢筋混凝土工程的原材料选择。因不同的工程结构对选择原材料的要求并不相同，因此原材料的选择要对料场材料进行相关的试验才能确定，具体试验一些什么样的项目，这就要根据有关的规范、规程来确定。这里有些试验基本上是根据划分这种材质质量等级或标号所相应的规范，以及规程赋予技术指标项目的基础上而规定的。如水泥的强度等级（标号）划分是依据胶砂抗压、抗折、标准稠度用水量、安定性、细度等指标来划分，故试验项目不外乎是上述的指标。如某工程使用强度等级为 C50 的水泥混凝土，而相应的水泥强度等级至少要 625#，则应在所述试验基础上对照国标来看出厂水泥是否达到 625# 的要求，如果达到则可以使用，否则不宜使用。类似这样的问题还有沥青路面施工中的沥青原材料的标号选择等，都是对照划分标号或质量等级的规范或标准来对应试验划分依据的项目，然后从中抉择其可用性；二是由各原材料组成的实体结构物在路桥等工程修筑前后的一些试验。例如钢筋混凝土工程，在修筑前要进行混凝土的配合比设计，这个配合比包括理论配合比、试验配合比、施工配合比。施工中当然用的是后者，但后者源于前者。因此，理论配合比计算后的试验室配比是非常关键的。目前，普通混凝土理论配合比的计算方法有绝对体积法和假定容重法两种。理论配合比计算中除对原材料进行必要的试验，如碎石的压碎值、筛分，砂的坚固性、筛分等试验及水泥的胶砂抗压、抗折、标准稠度用水量、安定性、细度等试验及外加剂的一些试验外，还要对由以上材

料搅拌而成的混凝土混合料进行试验，如对混合料制成试件养生后进行抗压和抗折试验以确定该工程使用的混凝土标号是否达到设计的要求。此外，混合料在浇筑前，要进行可模性、黏聚性、保水性等试验（即坍落度或工作度试验）。如不进行这些试验，虽然可能能够保证混凝土的强度，但在施工中会产生粗、细料分离，模板边角难以填实，入模后发生蜂窝、麻面等不良现象。综上所述，对混凝土进行的抗压、坍落度等试验是对实体钢筋混凝土工程内在质量（强度）的间接判断依据，它是检测内在工程质量的一种间接手段。随着检测技术的进一步提高，还可以用其他方法直接或间接测定其内在质量，如钻心取样试验、超声波检测、核子检测等。

材料试验的方法可归纳为两类：一类是利用化学分析的办法；另一类是利用物理试验的办法。因为工程所用的原材料和混合料大多重视其物理性质，故常采用物理力学的试验方法，这类方法可以包括以下几种。一是决定分散材料颗粒粗细组成的检测办法。这一类试验通常有土、石子和砂子等材料的筛分法及粒径小于 0.1 mm 土的密度计法和移液管法。只要是颗粒状的材料，分析其粗细程度都可以用这种方法。二是决定半固体物质稠稀和黏结性的检测办法。如土的塑液限、沥青材料的针入度和水泥的沉入度等试验，这类试验大多是用一定质量的锥或针在自身的质量下，在规定的时间内，规定的温度下插入这种半固体物质的深度表示。三是对于结构工程的强度高低的检测办法。对于混凝土和圬工结构物用材，往往有一个强度等级（标号）的要求，如混凝土和石料的抗压、抗折试验等用单位面上的承担力（拉压、弯、扭的力）试验表示，通常要做拉、压、弯、扭试验。

路面的破坏有结构内部破坏和表面功能性破坏两类，而结构内部破坏主要是由于材料或结构抵抗弯形能力不足引起的，故目前表征路面整体强度高低的办法有两种：一种是一定荷载下的变形；另一种是一定变形下的荷载。前者的试验方法就是通常所用的弯沉试验；后者的试验方法就是通常的 CBR 法试验。因为，结构的强度在一定程度上取决于其密实度大小，故施工中的压实度试验就是间接测定路基路面结构层强度的一种方法。

试验检测包括实体检测和原材料试验两个方面，其中原材料试验有一个取样的过程，取样又包括自然随机取样和压密制样。自然随机取样通常都用四分法取自然状态下的试样，如砂、石子、土等；压密制样是指取样后再经过捣实成制成圆柱体或立方体的规则形状，如混凝土试件、击实试验试件、石灰土试验试件等。

从试验仪器的构造机理看，不外乎有以下构造和使用特点：一是压密制样所涉及的仪器，往往对应一定的击实功能，所以仪器制造时，应采用一定的电控设备来控制落锤时间间隔和次数等。这类仪器往往是由电子和机械结合的仪器。二是试验是测定试件变形或压力的，变形测定方法有三类：第一类是利用应力环结合千分表式；第二类是采用电阻应变片式；第三类是采用电传感器类。测定压力一般用游标式、电子式及表式几种方式。不论是什么样的检测和试验仪器，它们均是基于上述的原理所制造的各种组件结合而成，试验检测仪器的加压系统，往往采用触压或机械齿轮方式。

应该指出，有相当的检测试验，是借助现代的超声波、地质雷达、激光、计算机等技术来完成的。如路面结构检测、钻孔桩的桩基检测、路面的厚度测定等，它们主要用于测定实体结构的内部宏观结构情况。



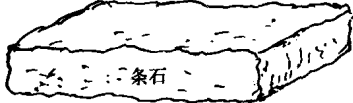
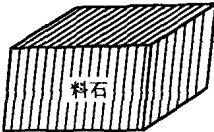


石料试验

1.1 石料试验相关技术基础理论

1.1.1 石料的种类和用途

石料是公路桥梁建筑中常用的建筑材料，按其形状、开采加工方式及用途的不同可分为片石、块石、条石、料石、锥形块石和拳石。石料使用的总体要求是高强度、抗风化、耐腐蚀、寿命长。天然石料制品及用途见表 1-1。

表 1-1 天然石料制品及用途

石料名称	形状示意图	形状描述	主要用途
片石		由爆破直接得到形状不规则的石块。基本尺寸为：长边尺寸在 300~400 mm 间；最小边尺寸在 150 mm 以上	圻工结构的基础及结构物本身砌筑，如：挡土墙、桥涵台、护坡、基础等
块石		层状岩石经打眼放炮或人工直接开采而得到的大致正方、无尖角并有两个较大平行面的块状石料。基本尺寸为：厚度一般不小于 200 mm；宽度为厚度的 1.0~1.5 倍；长度为厚度的 1.5~3.0 倍	常用于砌筑桥梁基础、铺筑路面结构层等
条石		经粗琢加工而成的近似六面体，每个面呈长方形、上下面平行、表面平整的石料	用于铺砌高级路面面层或过水路面等
料石		是人工或机械开采较规则的长方体石块再略加凿琢而成。又可分为粗料石和细料石	主要用于砌筑拱桥的拱圈和挡土墙的外表层等
锥形块石		利用爆破或人工劈解的片石再进一步加工而得到的上下大小接近锥形的粗打石料	过去曾用于铺筑路面基层
拳石		石料的顶面和底面接近平行、侧面没有尖锐突出、正面应用四边形或多边形轮廓，形状接近棱柱体或锥体的粗打石料	用于桥涵或其他加固工程物的铺砌

1.1.2 石料的技术性质

石料的微观结构是由各种矿物组成的，矿物成分可以影响或决定其技术性能。石料使用要求与石料的技术性质相关。技术性质包括物理、力学性质等。

1. 石料的结构

石料的宏观内部结构包括矿质实体、开口孔隙和闭口孔隙，开口孔隙是指与外界连通的孔隙，闭口孔隙是指与外界不连通的孔隙，如图 1-1 (a) 所示。通常，闭口孔隙被气体充满；开口孔隙的浅部被水充满，深部充有气体和液体。石料质量与体积的关系如图 1-1 (b) 所示。习惯上，将占据孔隙的液体、气体连同矿质实体（固体）称为三相体，在描述石料的技术性质时，分别将液体、气体、固体抽象到一起画出如图 1-1 (c) 所示的三相图。

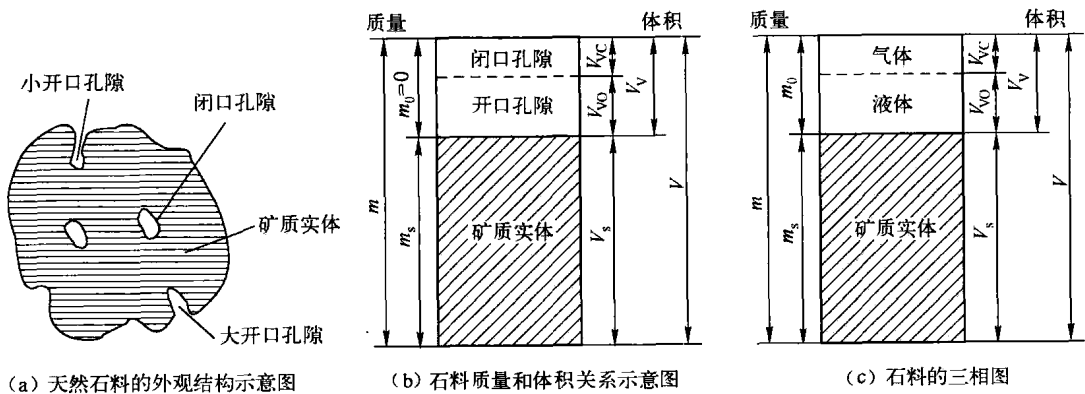


图 1-1 石料组成结构示意图

图 1-1 中
符号释义

- m ——石料块体的质量；
- m_0 ——孔隙内气体和液体的质量；
- m_s ——石料矿质实体质量；
- V ——石料块体的体积（毛体积）；
- V_s ——石料矿质实体的体积， $V_v = V_{v0} + V_{vc}$ ；
- V_v ——石料孔隙（包括开口孔隙和闭口孔隙）的体积， $V_v = V_{v0} + V_{vc}$ ；
- V_{v0} ——石料开口孔隙的总体积；
- V_{vc} ——石料闭口孔隙的体积， $V_{vc} = V_{va} + V_{vb}$ ；
- V_{va} ——石料小开口孔隙的体积；
- V_{vb} ——石料大开口孔隙的体积。

2. 石料的基本物理性质

石料的基本物理性质是由于组成石料的固、液、气三相介质的相对比例关系不同所表现出来的物理状态。基本物理性质主要用石料的密度和石料的空隙性表达。

1) 石料的密度	(1) 颗粒密度 (真实密度)	概念	<p>颗粒密度也称为真实密度, 是指石料在规定的条件 (全干状态、在温度为 105℃ 的烘箱中烘干后) 下, 石料的单位真实体积 (不包括开口孔隙和闭口孔隙) 的质量。石料的颗粒密度和毛体积密度通常用来计算石料用量、构件总质量、石料运输量等。另外, 石料的密度与强度之间有密切的关系, 通常密度越大, 其强度越高。</p>
		公式	$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (1-1)$
		符号释义	<p>ρ_s 为颗粒密度, 其他见图 1-1 中相应符号的释义。</p>
		试验原理	<p>测量石料的密度是把石料磨成石粉 (目的是求不含孔隙的矿质实体部分的体积), 在 105℃ 的烘箱中烘至恒重, 将称得规定质量的试样用漏斗贯入洗净烘干的比重瓶中, 并注入蒸馏水至瓶的一半处, 使得石粉分散。然后将密度瓶 (旧称比重瓶) 放在砂浴上煮沸, 使得气体逸出, 用排水体积法测定矿质实体的体积。根据质量和体积计算颗粒密度大小。</p> <p>根据试验原理, 式 1-1 在实际计算中可改写成如下公式:</p> $\rho_s = \frac{m_1}{m_1 + m_2 + m_3} \rho_{wt} \quad (1-2)$ <p>式中: ρ_s —— 石料的真实密度 (颗粒密度), g/cm^3; ρ_{wt} —— 与试验同温度液体的密度, 如用蒸馏水做试验时, 可查相应蒸馏水密度表; 如用煤油做试验时, 按下式计算:</p> $\rho_{wt} = \frac{m_5 - m_4}{m_6 - m_4} \times \rho_w \quad (1-3)$ <p>式中: ρ_w —— 经排除气体洁净水的密度, g/cm^3; m_1 —— 烘干试样质量, 即岩石粉的干质量, g; m_2 —— 瓶加水的总质量; m_3 —— 瓶、水与试样的总质量; m_4 —— 密度瓶的质量, g; m_5 —— 瓶与煤油总质量, g; m_6 —— 密度瓶与经排除气体洁净水的总质量, g。</p>

2. 石料的基本物理性质 (续 1)

1) 石料的密度 (续)	(2) 块体密度 (毛体积密度)	基本概念	<p>块体密度, 也称为毛体积密度, 是指石料在规定的条件 (全干状态、在温度为 105℃ 的烘箱中烘干后) 下, 石料的单位真实体积 (包括开口孔隙和闭口孔隙) 的质量。块体密度包括天然密度、干密度和饱和密度。测定块体密度之关键在于测定块体的体积。测定方法有量积法、水中称量法和蜡封法等。本节介绍其中常用的方法。</p>				
		计算公式	<p>块体密度通用计算公式 $\rho = \frac{m}{V}$ (1-4)</p>				
			干密度	$\rho_d = \frac{m_d}{V}$ 或 $\rho_d = \frac{m_d}{m_b - m_w} \rho_w$	饱和密度	$\rho_b = \frac{m_b}{V}$ 或 $\rho_b = \frac{m_b}{m_b - m_w} \rho_w$	天然密度
		符号释义	<p>ρ_t——天然密度; ρ_b——饱和密度; ρ_d——干密度; ρ_w——水的密度; V——岩石的体积; m_t——试件烘干前的质量; m_d——试件烘干后的质量; m_b——试件强制饱水后的质量, m_w——试件吸收的质量。</p>				
		试验原理方法	量积法	<p>将石料加工成规则形状的圆柱体或长方体试件。用游标卡尺直接测量其体积, 再用天平称量其质量, 两者相除便是毛体积密度。该法适用于能够制成规则试件的各种石料。其特点是方法简易、不受环境的影响, 结果准确。但试验时必须保证试件制备有足够的精度。</p>			
水中称量法	<p>将称量后的试件置于盛水容器内, 按规定的方法逐渐加水, 以利试件内水分的逸出。当试件全部被水淹没并自由吸水 48 小时后, 用湿纱布擦去试件表面水分, 立即称量其质量 (m_1), 再称量其在水中的质量 (m_2), 用下式计算石料的体积: $V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_w}$。此法应用广泛, 但试验结果会受到岩石类型和试验环境 (温度和湿度) 变化的影响。</p>						

2. 石料的基本物理性质 (续 2)								
2) 石料的孔隙率	<p>石料的孔隙率对石料的性能影响很大, 石料的孔隙性不但与石料强度等性能有关, 而且同一种石料的强度、吸水性等大小, 主要决定于石料本身的孔隙率。此外, 孔隙率还与爆破性能有关。</p>							
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">总孔隙率</td> <td>基本概念</td> <td>石料总孔隙体积占总体积的百分率</td> </tr> <tr> <td>计算公式</td> <td>$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) \quad (1-5)$</td> </tr> <tr> <td>代号释义</td> <td>见图 1-1 中相应符号的释义</td> </tr> </table>	总孔隙率	基本概念	石料总孔隙体积占总体积的百分率	计算公式	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) \quad (1-5)$	代号释义	见图 1-1 中相应符号的释义
	总孔隙率		基本概念	石料总孔隙体积占总体积的百分率				
			计算公式	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) \quad (1-5)$				
		代号释义	见图 1-1 中相应符号的释义					
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">总开口孔隙率</td> <td>基本概念</td> <td>石料总开口孔隙体积占总体积的百分率</td> </tr> <tr> <td>计算公式</td> <td>$n_o = \frac{V_{v0}}{V} \times 100\%$</td> </tr> <tr> <td>代号释义</td> <td>见图 1-1 中相应符号的释义</td> </tr> </table>	总开口孔隙率	基本概念	石料总开口孔隙体积占总体积的百分率	计算公式	$n_o = \frac{V_{v0}}{V} \times 100\%$	代号释义	见图 1-1 中相应符号的释义
	总开口孔隙率		基本概念	石料总开口孔隙体积占总体积的百分率				
			计算公式	$n_o = \frac{V_{v0}}{V} \times 100\%$				
		代号释义	见图 1-1 中相应符号的释义					
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">小开口孔隙率</td> <td>基本概念</td> <td>石料小开口孔隙体积占总体积的百分率</td> </tr> <tr> <td>计算公式</td> <td>$n_a = \frac{V_{va}}{V} \times 100\% \quad (1-6)$</td> </tr> <tr> <td>代号释义</td> <td>见图 1-1 中相应符号的释义</td> </tr> </table>	小开口孔隙率	基本概念	石料小开口孔隙体积占总体积的百分率	计算公式	$n_a = \frac{V_{va}}{V} \times 100\% \quad (1-6)$	代号释义	见图 1-1 中相应符号的释义
	小开口孔隙率		基本概念	石料小开口孔隙体积占总体积的百分率				
			计算公式	$n_a = \frac{V_{va}}{V} \times 100\% \quad (1-6)$				
		代号释义	见图 1-1 中相应符号的释义					
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">大开口孔隙率</td> <td>基本概念</td> <td>石料大开口孔隙体积占总体积的百分率</td> </tr> <tr> <td>计算公式</td> <td>$n_b = \frac{V_{vb}}{V} \times 100\%$</td> </tr> <tr> <td>代号释义</td> <td>见图 1-1 中相应符号的释义</td> </tr> </table>	大开口孔隙率	基本概念	石料大开口孔隙体积占总体积的百分率	计算公式	$n_b = \frac{V_{vb}}{V} \times 100\%$	代号释义	见图 1-1 中相应符号的释义
	大开口孔隙率		基本概念	石料大开口孔隙体积占总体积的百分率				
计算公式			$n_b = \frac{V_{vb}}{V} \times 100\%$					
代号释义		见图 1-1 中相应符号的释义						
<table border="1"> <tr> <td rowspan="3">闭口孔隙率</td> <td>基本概念</td> <td>石料闭口孔隙体积占总体积的百分率</td> </tr> <tr> <td>计算公式</td> <td>$n_c = \frac{V_{vc}}{V} \times 100\% \quad (1-7)$</td> </tr> <tr> <td>代号释义</td> <td>见图 1-1 中相应符号的释义</td> </tr> </table>	闭口孔隙率	基本概念	石料闭口孔隙体积占总体积的百分率	计算公式	$n_c = \frac{V_{vc}}{V} \times 100\% \quad (1-7)$	代号释义	见图 1-1 中相应符号的释义	
闭口孔隙率		基本概念	石料闭口孔隙体积占总体积的百分率					
		计算公式	$n_c = \frac{V_{vc}}{V} \times 100\% \quad (1-7)$					
	代号释义	见图 1-1 中相应符号的释义						
3. 石料的水理性质								
<p>石料的水理性质是指石料在水溶液作用下表现出来的性质, 包括吸水性、软化性、抗冻性。水对石料的作用决定于石料孔隙的结构、尺寸大小和分布情况。石料吸水率主要决定于石料孔隙的大小和孔隙特性。一般来说, 孔隙越大, 吸水性越强。由于水分不宜渗入闭口孔隙, 而粗大的开口孔隙中的水也难以存留, 所以有些石料, 尽管孔隙率较大, 但吸水率仍然很小。只有那些很多细微开口孔隙的石料, 其吸水率才较大。当水进入石料的孔隙后, 当温度降到零度以下时, 孔隙中的水因结冰而冻胀, 引起石料内部破坏。</p>								
1) 吸水性	<p>岩石在一定的试验条件下吸收水分的能力, 称为岩石的吸水性, 包括吸水率、饱和吸水率和饱水系数。</p>							

3. 石料的水理性质 (续 1)			
1) 吸水性 (续)	(1) 吸水率	基本概念	石料吸水率是指岩石试件在大气压力和室温条件下, 自由吸入水的质量与岩样干质量之比。石料的吸水率大, 则水对岩石颗粒间结合物的浸湿、软化作用就强, 石料强度和稳定性受水作用的影响也就越显著。
		计算公式	$w_a = \frac{m_1 - m_d}{m_d} \quad (1-8)$
		代号释义	w_a ——石料吸水率; m_1 ——石料试件吸水至恒重时的质量; m_d ——石料试件烘干至恒重时的试件质量。
		试验原理	测量石料的吸水率是让石料在 25℃ 且正负误差不超过 5℃ 的室内常温吸水后, 在烘箱中烘至恒重, 分别在天平上称得石料试件吸水前后的质量后用公式计算吸水率。
	(2) 饱和吸水率	基本概念	石料的饱和吸水率和吸水率属于同一物理概念, 只是试验条件不同。饱和吸水率是指石料在规定的 (常温和常压) 条件下, 吸水质量与烘干质量之比百分率。而饱和吸水率是常温和真空抽气 (抽到真空度 2.66 kPa) 的条件下, 其最大吸收水分的能力。
		计算公式	$w_{sa} = \frac{m_2 - m_d}{m_d} \quad (1-9)$
		代号释义	w_{sa} ——石料饱和吸水率; m_2 ——石料试件强制吸水至恒重时的质量; m_d ——石料试件烘干至恒重时的试件质量。
	(3) 饱水系数	基本概念	石料的吸水率与饱和吸水率之比, 称为饱水系数。反映岩石中大、小开空隙的相对比例关系。
		计算公式	$m_w = \frac{w_a}{w_{sa}} \quad (1-10)$
		代号释义	m_w ——石料饱水系数; w_a ——石料吸水率; w_{sa} ——石料饱和吸水率。
2) 软化性	有些石料含有黏土矿物颗粒, 孔隙较大, 吸水率高时与水作用后发生软化而丧失强度和稳定性, 这种现象称为石料的软化。石料软化性决定于石料的矿物成分、组成结构和构造特征。		
	(1) 软化系数	基本概念	石料在饱水状态下的极限抗压强度和在风干状态下的极限抗压强度的比。
		计算公式	$K_R = \frac{\sigma_{cw}}{\sigma_c} \quad (1-11)$
		代号释义	K_R ——石料的软化系数; σ_{cw} ——石料试件在饱水状态下的极限抗压强度; σ_c ——石料试件在风干状态下的极限抗压强度。