



全国成人高等教育规划教材

# 井巷工程

■ 黄小广 王新生 主编

全国成人高等教育规划教材

# 井巷工程

主 编 黄小广 王新生

副主编 朱昌星 韩宪军 王云飞

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

井巷工程/黄小广,王新生主编. --北京:煤炭工业出版社,2015

全国成人高等教育规划教材

ISBN 978-7-5020-4739-9

I. ①井… II. ①黄… ②王… III. ①井巷工程—成人高等教育—教材 IV. ①TD26

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第300168号

井巷工程(全国成人高等教育规划教材)

主 编 黄小广 王新生  
责任编辑 李振祥 周鸿超  
编 辑 张 成  
责任校对 李邓硕  
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社(北京市朝阳区芍药居35号 100029)  
电 话 010-84657898(总编室)  
010-64018321(发行部) 010-84657880(读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京市郑庄宏伟印刷厂  
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 18<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 字数 440千字  
版 次 2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷  
社内编号 7594 定价 33.00元



版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

## 内 容 提 要

全书共 13 章,介绍了井巷工程基本概念及其施工技术发展现状、煤岩物理力学性质及工程分级方法、凿岩机具及破岩技术等方面的基础知识与基本理论;同时对立井、巷道、硐室设计与施工技术,巷道维护与维修原理及方法,施工劳动组织和管理等进行了较详细的阐述。

本书通俗易懂、案例丰富、实用性强,可作为普通高校成人教育采矿工程、安全工程、地下工程、矿山建设工程等专业的教学用书,也可作为从事相关专业的工程技术人员和管理者的参考用书。

# 前 言

随着我国社会经济和现代科学技术的发展以及人民生活水平的不断提高,我国对矿产资源的需求量与日俱增。新建矿井数目、立井的开凿深度不断增加,城市地下工程和交通隧道工程也日益增多。井巷施工机械化水平、施工技术、施工工艺、劳动生产率和施工组织管理水平等方面都有很大提高。这对加快井巷施工速度、提高施工质量、保证施工安全具有非常重要的作用。

本书为全国成人高等教育规划教材。其根据现行规程、规范和国际、国家行业技术要求,并结合成人教育教学特点,组织编写而成。

《井巷工程》是采矿工程、安全工程、土木工程(地下工程方向、矿山建设方向)等专业的主要专业课之一,是一门应用性很强的工程学科,它具有一个特定的应用领域。本书在编写过程中力求做到内容丰富,明了易懂;基本概念明确,基础理论充实;点面结合、重点突出,举一反三;反映我国目前最先进的矿井建设方面的新技术、新工艺、新材料与新设备的应用。书中附有实例,实用性较强,对井巷工程的设计和施工有重要参考价值。

本书根据河南理工大学教师多年从事爆破工程、地下工程、井巷工程、隧道工程课程的教学实践经验,结合国内外井巷工程施工经验和作者近年来从事科学研究所取得的成果编写而成,由黄小广、王新生任主编。第一章、第二章、第三章和第十三章由王新生编写,第四章、第五章和第六章由朱昌星编写,第七章、第八章由韩宪军编写,第九章、第十章由黄小广编写,第十一章和第十二章由王云飞编写。全书由黄小广、王新生策划和统稿。

本书在编写过程中参阅和引用了大量相关文献资料,仅将主要参考文献附后,在此谨向文献作者致以诚挚的谢意!由于时间仓促和水平有限,书中可能存在不妥之处,希望各位同行、专家及广大读者批评指正。

编 者

2014年10月

# 目 次

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第一章 绪论             | 1   |
| 第一节 井巷工程一般术语       | 1   |
| 第二节 井巷施工技术的发展概况及现状 | 4   |
| 第二章 煤岩物理力学性质及工程分级  | 6   |
| 第一节 煤岩物理力学性质       | 6   |
| 第二节 煤岩工程分级         | 16  |
| 第三章 凿岩爆破           | 21  |
| 第一节 井巷掘进破岩方法及设备    | 21  |
| 第二节 炸药及其爆炸概论       | 26  |
| 第三节 起爆器材与起爆方法      | 38  |
| 第四节 破岩原理与爆破技术      | 47  |
| 第四章 巷道断面设计         | 52  |
| 第一节 巷道断面形状的选择      | 52  |
| 第二节 巷道断面尺寸的确定      | 54  |
| 第三节 水沟设计与管缆布置      | 68  |
| 第四节 工程实例           | 71  |
| 第五章 巷道掘进           | 81  |
| 第一节 凿岩爆破           | 81  |
| 第二节 巷道通风防尘         | 88  |
| 第三节 巷道装岩与运输        | 91  |
| 第四节 巷道快速掘进技术       | 100 |
| 第五节 复杂地段巷道的特殊施工方法  | 103 |
| 第六章 巷道的支护原理与方法     | 111 |
| 第一节 巷道的支护原理        | 111 |
| 第二节 巷道支护所用材料       | 112 |
| 第三节 巷道的支护方法        | 120 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第七章 采区巷道和采区煤仓施工       | 139 |
| 第一节 煤巷施工              | 139 |
| 第二节 半煤岩巷施工            | 145 |
| 第三节 上下山施工             | 147 |
| 第四节 煤仓施工              | 153 |
| 第八章 硐室、交岔点的设计与施工      | 158 |
| 第一节 井下主要硐室设计          | 158 |
| 第二节 硐室施工              | 169 |
| 第三节 交岔点设计与施工          | 172 |
| 第九章 立井井筒断面设计          | 183 |
| 第一节 立井井筒分类及结构         | 183 |
| 第二节 立井井筒装备、横断面布置及尺寸确定 | 187 |
| 第三节 立井施工方案            | 193 |
| 第十章 立井井筒的掘进施工         | 198 |
| 第一节 立井施工方法及选择         | 198 |
| 第二节 立井的掘进、装岩与出渣       | 202 |
| 第三节 立井井筒支护            | 215 |
| 第四节 立井施工辅助工作          | 217 |
| 第五节 立井施工机械化配套         | 218 |
| 第六节 立井井筒的防排水          | 219 |
| 第十一章 立井井筒延深           | 226 |
| 第一节 利用反井延深井筒          | 226 |
| 第二节 利用辅助水平延深井筒        | 232 |
| 第三节 利用延深间或梯子间延深井筒     | 235 |
| 第四节 井筒延深的安全技术措施       | 237 |
| 第五节 立井井筒延深方案的技术经济分析   | 242 |
| 第十二章 井巷维护与维修          | 246 |
| 第一节 巷道破坏的原因           | 246 |
| 第二节 巷道的维护原理与技术        | 247 |
| 第三节 巷道修复的安全措施         | 255 |
| 第十三章 井巷施工组织与管理        | 257 |
| 第一节 井筒施工组织与管理         | 257 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第二节 巷道施工组织与管理.....   | 261 |
| 第三节 井巷施工组织与管理实例..... | 267 |
| 参考文献.....            | 281 |



# 第一章 绪 论

## 学习要求

掌握井巷工程的一般术语，包括其基本概念和分类方法；了解我国井巷施工技术的发展现状。

## 第一节 井巷工程一般术语

人类在从事生产实践活动的过程中，为了满足不同的需求，常会在地层内开凿出一系列的通道，如煤炭、金属矿物等地下资源的开采，石油、天然气等地下能源的开发，地下铁路、地下人防工程等地下空间的开发与利用。这些在地层内开凿出来的各种通道的种类很多，根据其与地平面的相对位置，如果是与地平面垂直或斜交的，统称为“井”；如果是与地平面平行或近似平行的，统称为“巷（读音 hàng）”。二者合称“井巷”。在地层内开凿这些通道的工程就称为“井巷工程”。

井巷工程属于地下工程的一个范畴。本教材以煤炭矿山的井巷为例，说明其具体的分类和命名。

根据不同的分类方法可以将井巷分为多种类型。按井巷空间位置可分为垂直巷道、水平巷道、倾斜巷道和硐室；按巷道的用途和服务范围可分为开拓巷道、准备巷道和回采巷道；按巷道掘进层位分为岩石巷道、煤层巷道、半煤岩巷。

### 一、按空间位置分

#### 1. 垂直（直立）巷道

(1) 立（竖）井。立井有通达地面出口，是进入地下的主要垂直巷道（图 1-1），一般位于井田中部。担负矿井主要提煤任务的称为主井，担负人员升降、下料和提矸等辅助提升任务的称为副井。

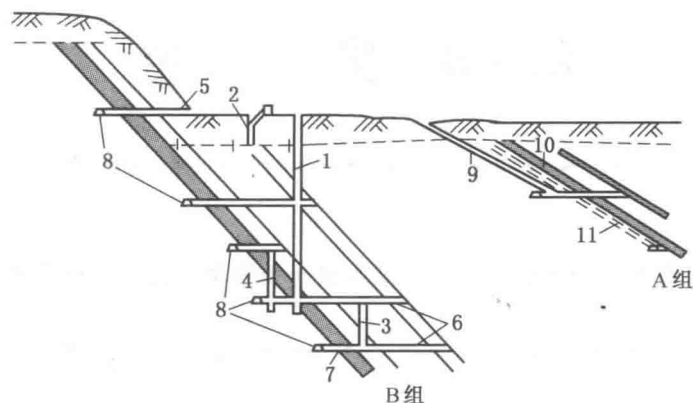
(2) 风井。它也有通达地面的出口，但断面和深度都较小，一般在井田上部边界地点，只作为地质勘探或临时提升以及通风等用（图 1-1）。

(3) 暗立井（盲立井）。没有直接通达地面出口的垂直巷道（图 1-1）。暗立井根据其所担负的任务不同可分为主暗立井（下一水平的煤炭提升井）、副暗立井（下水平的矸石提升、物料及人员的升降等）、溜煤井。

#### 2. 水平巷道

(1) 平硐。平硐有一个通达地面的出口，是进入地下的主要水平巷道（图 1-1）。

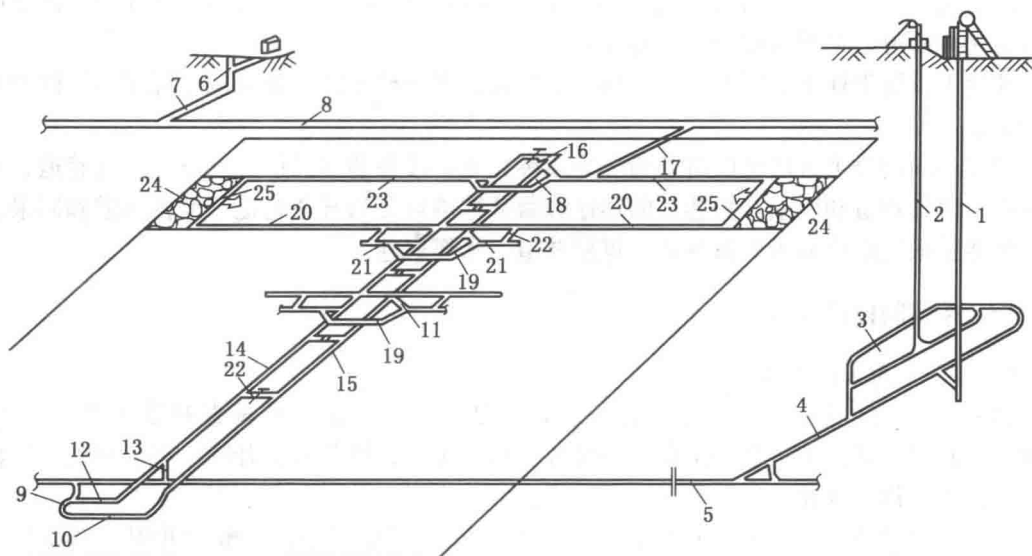
一般除运煤外，其还兼作运料、行人、通风、供电和排水等用。若开掘两条平硐，根据用途不同，也可分成主平硐和副平硐。



1—立井；2—风井；3—暗立井；4—溜煤井；5—平硐；6—联络石门；  
7—煤门；8—平巷；9—斜井；10—上山；11—下山

图 1-1 矿井井巷

(2) 平巷。平巷是没有通达地面的出口，在地下的煤层中或岩层中沿其走向所开掘的水平（ $5^\circ$ 以下坡度）巷道。一般有集中运输平巷（图 1-1）、主要运输平巷（图 1-2）、区段运输与回风平巷（图 1-2）等。



1—主井；2—副井；3—井底车场；4—主要运输石门；5—主要运输平巷；6—回风井；7—主要回风石门；  
8—回风大巷；9—采区运输石门；10—采区下部材料车场；11—上、中部车场甩车道；12—行人进风斜井；  
13—采区煤仓；14—运输上山；15—轨道上山；16—上山绞车房；17—采区回风石门；18—采区上部车场；  
19—采区中部车场；20—区段运输平巷；21—下区段回风平巷；22—联络巷；23—区段回风平巷；  
24—开切眼；25—采煤工作面

图 1-2 矿井巷道系统

(3) 石门。石门是没有通达地面的出口,在岩层中开掘的垂直或斜交于岩层走向的水平巷道。一般有联络石门(图1-1)、运输石门(图1-2)、回风石门(图1-2)等。

(4) 煤门。煤门是没有通达地面的出口,在煤层中开掘的垂直或斜交于煤层走向的水平巷道(图1-1)。一般在厚煤层中较为常见。

### 3. 倾斜巷道

(1) 斜井。斜井有一个通达地面的出口,是进入地下的主要倾斜巷道(图1-1)。其用途与立井相同并有主、副井之分。

(2) 上山。上山是没有通达地面的出口,且位于开采水平之上,沿煤层或岩层从主要运输大巷由下向上开掘的倾斜巷道。根据其服务范围不同,可分为阶段上山、采区上山等。根据其用途不同,可分为输送机上山和轨道上山(图1-2)。有的采区布置有通风或行人上山、集中溜煤上山等。

(3) 下山。下山的位置和开掘方向与上山相反。除溜煤下山、输送机下山是向上运煤和轨道下山是从上向下运料以外,其他与上山相似。

(4) 溜煤眼。其是专作溜煤用的小斜巷。

(5) 开切眼。开切眼是连接区段运输平巷和区段回风平巷的斜巷(图1-2),用来准备开采的采煤工作面。

### 4. 硐室

井下生产系统的组成还必须设置一定的硐室。硐室实际上就是长度较小,断面较大的特殊巷道。一般有变电所、水泵房、炸药库、电机车库、躲避所、井下调度室、候车室等。

## 二、按用途和服务范围分

### 1. 开拓巷道

为全矿井或一个开采水平服务的巷道称为开拓巷道。如井筒(或平硐)、井底车场、回风井、主要石门、主要运输和回风平巷等巷道为开拓巷道。

### 2. 准备巷道

为一个采区或两个以上的采煤工作面服务的巷道称为准备巷道。如采区车场、采区煤仓、采区上(或下)山、区段集中平巷、区段集中石门等巷道为准备巷道。

### 3. 回采巷道

为一个采煤工作面服务的巷道称回采巷道。如区段车场、区段运输和回风平巷、工作面开切眼等巷道为回采巷道。

## 三、按巷道掘进层位分

由于巷道掘进层位不同,根据巷道掘进断面中岩石与煤层所占的比例,巷道可分为岩石巷道(岩巷)、煤层巷道(煤巷)和半煤岩巷。

在掘进断面中,岩石面积占 $\frac{4}{5}$ 以上(包括 $\frac{4}{5}$ )的巷道称为岩石巷道;沿煤层掘进的巷道,在掘进断面中煤层占 $\frac{4}{5}$ 以上(包括 $\frac{4}{5}$ )时称为煤巷;当巷道在薄煤层中掘进时,为了保证巷道的高度和坡度不变,必定有部分巷道断面位于岩层中,若岩层占掘进工作面面积的 $\frac{1}{5} \sim \frac{4}{5}$ (不包括 $\frac{1}{5}$ 和 $\frac{4}{5}$ ),则称为半煤岩巷。

巷道是岩巷、半煤岩巷,还是煤巷,选择什么类型的巷道最终取决于巷道位置及经济效益。由于采煤的需要,回采巷道必须是煤巷。从经济效益出发,在煤层中开挖巷道成本低、掘进快,但后期巷道稳定维护成本高;在岩层中掘进巷道,初期投资大,但后期维护成本低。

## 第二节 井巷施工技术的发展概况及现状

井巷施工技术是伴随着人类日益增长的需求和科学技术的发展而不断发展起来的。它的发展速度与水平体现了一个国家或地区的综合技术水平。新中国成立后,为发展和恢复国民经济,我国在煤炭能源开采方面投入了大量的人力和财力,恢复和改造了一些老矿井,并进行了开拓延深和扩建工程,同时也相继建成了一大批新矿井,井巷施工技术得到了迅猛发展。主要体现在以下几个方面:

### 1. 井巷施工机械化水平显著提高

20世纪70年代以前,井筒掘进采用手持式风动凿岩机、人工操纵气动抓岩机、吊桶等小型设备;20世纪70年代后,我国一些矿区相继装备了以大型凿井绞车、提升机、新IV型和新V型大型凿井井架、伞钻、大型抓岩机为主要设备的机械化作业线。岩石巷道以前采用风动工具凿岩、装岩机装岩,但仍然是人抱钻、人力推车;现在打眼、装岩、转载、运输等工序基本上实现了机械化,有力地推动了快速掘进技术的发展。煤巷和半煤岩巷中采用了掘进机与刮板输送机、吊挂式胶带运输机等配套设备。斜井施工技术逐步形成了包括激光指向、光面爆破、耙斗机装岩、箕斗提升、矸石仓储矸、潜水泵排水、长距离输料等的综合配套技术。

### 2. 爆破技术不断取得进步

炸药由硝酸铵类炸药和甘油炸药(品种单一,安全性差)发展到煤矿乳化炸药、岩石乳化炸药、硬塑型煤矿乳化炸药、水胶炸药。煤矿用的雷管,由火雷管、瞬发电雷管和秒延期电雷管发展到毫秒延期电雷管、岩石型10段高精度延期电雷管、瞬发电雷管和煤矿许用毫秒延期电雷管。国产的电容式发爆器已形成系列,并建立起一整套炸药、雷管性能的测试装置和方法。光面爆破、大直径深孔爆破技术得到迅速发展和应用。

### 3. 锚喷支护技术得到了广泛应用

目前,锚喷支护、金属支架、混凝土和钢筋混凝土支护已成为主要支护形式。

### 4. 井巷特殊施工技术迅速发展

冻结法已成为中国煤矿穿越深厚表土不稳定含水流砂层的主要方法。钻井法已成为矿井井筒穿过厚表土软岩层的主要施工方法之一。普通沉井法创造了下沉深度192.75 m的国内纪录,偏斜率0.688%。帷幕法在不稳定含水浅表土层中具有工艺设备简单、造价低廉等优点。注浆现已成为含水地层井巷施工中不可缺少的工艺。

### 5. 地面建筑施工技术有了长足进步

针对煤矿地面工业建筑地质条件复杂、现浇混凝土结构的比重占90%以上的特点,我国积极发展了人工地基加固和抗滑防滑新技术,在筒仓和井塔的施工中普遍采用了组合钢模和液压滑模、爬模、大模板施工新工艺,创造了钢筋混凝土井塔(架)预建整体平移的新方法。

### 6. 煤矿建设管理水平逐步提高

煤矿建设的管理经历了以速度为中心向以质量、效益为中心的转变过程。我国开始建立业主负责制，推行了项目管理与全面质量管理，开展了工程监理和招标、投标，对投资、工期、质量进行控制，推广应用了网络计划技术和计算机技术，揭开了我国煤矿基本建设管理的新篇章。



## 复习思考题

1. 什么是井巷工程？
2. 井巷的分类方法有哪些？具体是如何分类的？
3. 简述我国井巷施工技术的发展现状。

## 第二章 煤岩物理力学性质及工程分级

### 学习要求

掌握煤岩的物理力学性质及含义；了解煤岩工程分级的目的和意义，掌握具体的分级方法及其优缺点。

### 第一节 煤岩物理力学性质

煤岩的物理力学性质与井巷掘进的关系密切。井巷掘进施工的目的，就是用最有效的方法将既定范围内的岩石或煤进行适度破碎，必要时，再将破碎后的岩石或煤进行抛掷，以形成设计所要求的井筒、巷道以及硐室等地下空间结构，并对这些结构进行必要的支护，防止被保留岩体或煤体的进一步变形和破坏。为了采取科学、有效的措施对这些地下空间结构进行凿岩、爆破与支护，就必须掌握煤岩的物理力学性质，并制定出科学的工程分级方法，从而为工程的设计、施工以及工程成本计算提供依据。

#### 一、岩石的物理力学性质

岩石的物理力学性质中，对井巷工程掘进影响较大的因素主要有：岩石的密度、孔隙率、碎胀性、水理性质这些物理性质，以及岩石的强度、变形特性、硬度、波阻抗、可钻性、可爆性这些力学性质。

##### （一）岩石的物理性质

###### 1. 密度

岩石由固体、水、空气三相组成。岩石密度是指岩石基本集合相（固相、液相和气相）单位体积（包括岩石的孔隙体积在内）的质量。按照岩石含水状况的不同，岩石密度又可分为干密度、天然密度和饱和水密度。干密度是指单位体积岩石绝对干燥时的密度，天然密度和饱和水密度分别指天然含水 and 饱和水状态下的密度。

$$\rho_d = \frac{G}{V} \quad (2-1)$$

$$\rho_{nw} = \frac{G_{nw}}{V} \quad (2-2)$$

$$\rho_{sw} = \frac{G_{sw}}{V} \quad (2-3)$$

式中  $\rho_d$ ——岩石的干密度， $\text{g}/\text{cm}^3$ ；

$G$ ——岩石试件烘干后的质量, g;

$V$ ——岩石试件的体积,  $\text{cm}^3$ ;

$\rho_{\text{nw}}$ ——岩石在天然含水状态下的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$G_{\text{nw}}$ ——岩石试件在天然含水状态下的质量, g;

$\rho_{\text{sw}}$ ——岩石在饱和水状态下的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$G_{\text{sw}}$ ——岩石试件在饱和水状态下的质量, g。

## 2. 孔隙率

孔隙率  $\eta$  是指岩石中各种裂隙、孔隙的总体积  $V_0$  占岩石总体积  $V$  的百分比, 它表征的是岩石内裂隙和孔隙的发育程度。

$$\eta = \frac{V_0}{V} \quad (2-4)$$

岩石的孔隙率对岩石的其他性质有显著影响。裂隙和孔隙的存在会削弱岩石的整体性, 随着孔隙率的增大, 岩石的密度和强度降低, 其透水性也会增强。

## 3. 碎胀性

岩石破碎后的体积比破碎前的体积增大的性质称为岩石的碎胀性。其常用岩石的碎胀系数  $K_p$  (也称松散系数) 来表示, 是指岩石破碎后处于松散状态下的体积  $V_1$  与岩石破碎前处于整体状态下的体积  $V$  之比, 即

$$K_p = \frac{V_1}{V} \quad (2-5)$$

岩石的碎胀系数对于选用装载、运输、提升设备的容积, 确定岩石爆破所需膨胀空间大小都具有重要作用, 尤其对采煤工作面的顶板管理有着非常重要的意义。表 2-1 列出了煤矿常见岩石的碎胀系数。

表 2-1 煤矿常见岩石的碎胀系数

| 岩石名称       | 砂岩          | 黏土   | 煤    | 黏土页岩 | 沙质页岩      | 硬砂岩       |
|------------|-------------|------|------|------|-----------|-----------|
| 碎胀系数 $K_p$ | 1.06 ~ 1.15 | <1.2 | <1.2 | 1.4  | 1.6 ~ 1.8 | 1.5 ~ 1.8 |

## 4. 水理性质

岩石在水作用下表现出来的性质称为岩石的水理性质。岩石的水理性质主要包括吸水性、软化性、抗冻性、透水性以及溶蚀性几个方面。

### 1) 吸水性

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。主要指标有吸水率、饱和吸水率和饱水系数。

岩石的吸水率  $W_a$  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  $m_{w1}$  与岩样干质量  $m_s$  之比, 用百分数表示, 即

$$W_a = \frac{m_{w1}}{m_s} \times 100\% \quad (2-6)$$

岩石的饱和吸水率  $W_p$  是指岩石试件在高压 (一般为 15 MPa) 或真空条件下吸入水的质量  $m_{w2}$  与岩样干质量  $m_s$  之比, 用百分数表示, 即

$$W_p = \frac{m_{w2}}{m_s} \times 100\% \tag{2-7}$$

岩石的吸水率  $W_a$  与饱和吸水率  $W_p$  之比, 称为饱水系数。它反映了岩石中大、小开孔隙的相对比例关系。表 2-2 列出了几种岩石的密度、孔隙率和吸水率指标。

表 2-2 某些岩石的密度、孔隙率和吸水率指标

| 岩石名称 |     | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 孔隙率/%     | 吸水率/%      |
|------|-----|--------------------------|-----------|------------|
| 岩浆岩  | 花岗岩 | 2.30~2.80                | 0.50~1.50 | 0.10~0.92  |
|      | 玄武岩 | 2.50~3.10                | 0.10~0.20 | 0.31~2.69  |
|      | 辉绿岩 | 2.53~2.97                | 0.60~1.20 | 0.22~5.00  |
| 沉积岩  | 石灰岩 | 2.30~2.77                | 0.53~2.00 | 0.10~4.45  |
|      | 砂岩  | 2.20~2.71                | 1.60~2.80 | 0.20~12.19 |
|      | 砾岩  | 2.42~2.66                | 0.34~9.30 | 0.20~5.00  |
|      | 页岩  | 2.30~2.62                | 1.46~2.59 | 0.20~12.19 |
| 变质岩  | 石英岩 | 2.40~2.80                | 0.50~0.80 | 0.10~1.45  |
|      | 大理岩 | 2.60~2.70                | 0.22~1.30 | 0.10~0.80  |
|      | 片麻岩 | 2.30~3.05                | 0.70~4.20 | 0.10~3.15  |

一般来说, 饱水系数越大, 岩石中大开孔隙相对越多, 而小开孔隙相对越少。另外, 饱水系数大, 说明常压下吸水后余留的孔隙就越少, 岩石越容易被冻胀破坏, 因而其抗冻性就越差。

2) 软化性

岩石浸水饱和后强度降低的性质称为岩石的软化性, 通常以软化系数  $K_R$  表示, 其定义为岩石试件的饱和抗压强度  $\sigma_{cw}$  与干抗压强度  $\sigma_c$  的比值, 即

$$K_R = \frac{\sigma_{cw}}{\sigma_c} \tag{2-8}$$

当岩石中含有较多的亲水性和可溶性矿物, 且大开孔隙较多时, 岩石的软化性较强, 软化系数较小。一般认为:  $K_R \geq 0.75$ , 表明岩石的软化性弱, 工程地质性质较好;  $K_R < 0.75$ , 表明岩石的软化性强, 工程地质性质较差。

软化系数是评价岩石力学性质的重要指标, 特别是在水工建设中, 对于评价坝基岩石的稳定性具有重要意义。部分岩石的软化系数见表 2-3。

表 2-3 几种岩石的软化系数

| 岩石名称 | 干试件抗压强度 $\sigma_c$ /MPa | 水饱和试件抗压强度 $\sigma_{cw}$ /MPa | 软化系数 $K_R$ |
|------|-------------------------|------------------------------|------------|
| 黏土岩  | 20.3~57.8               | 2.35~31.2                    | 0.08~0.87  |
| 页岩   | 55.8~133.3              | 13.4~73.6                    | 0.24~0.55  |
| 砂岩   | 17.3~245.8              | 5.6~240.6                    | 0.44~0.97  |
| 石灰岩  | 13.1~202.6              | 7.6~185.4                    | 0.58~0.94  |



## 3) 抗冻性

岩石抵抗冻融破坏的能力称为抗冻性。常用抗冻系数  $R_d$  和质量损失率  $K_m$  来表示。

$$R_d = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}} \times 100\% \quad (2-9)$$

式中  $\sigma_{c2}$ ——岩石试件经反复冻融后的干抗压强度；

$\sigma_{c1}$ ——冻融前的干抗压强度。

$$K_m = \frac{m_{s1} - m_{s2}}{m_{s1}} \times 100\% \quad (2-10)$$

式中  $m_{s1}$ 、 $m_{s2}$ ——岩石试件冻融前、后干质量。

一般认为,  $R_d > 75\%$ 、 $K_m < 20\%$  的岩石抗冻性高。

## 4) 透水性

在一定的水力梯度或压力差作用下, 岩石能被水透过的性质, 称为透水性。表征岩石透水性的主要指标是渗透系数。一般认为, 水在岩石中的流动, 如同水在土中流动一样, 也服从于线性渗流规律——达西定律。由达西公式  $Q = kAI$  可知, 单位时间内的渗水量  $Q$  与渗透面积  $A$  和水力坡降  $I$  呈正比关系, 其中  $k$  称为渗透系数, 单位为  $\text{cm/s}$ 。

在井巷施工中, 一般通过抽水或压水试验来测定岩石的透水性。不同的岩石透水性差别极大。对于某些岩石, 即使是同种类型, 其透水性也可以在很大范围内变化。表 2-4 列出了几种岩石的渗透系数值。

表 2-4 几种岩石的渗透系数

| 岩石类型     | 渗透系数/ $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$      | 测定方法  |
|----------|----------------------------------------------|-------|
| 泥岩       | $10^{-4}$                                    | 现场测定  |
| 粉砂岩      | $10^{-8} \sim 10^{-9}$                       | 实验室测定 |
| 细砂岩      | $2 \times 10^{-7}$                           | 实验室测定 |
| 坚硬砂岩     | $4.4 \times 10^{-5} \sim 3.9 \times 10^{-4}$ |       |
| 砂岩或多裂隙页岩 | $> 10^{-3}$                                  |       |
| 致密的石灰岩   | $< 10^{-10}$                                 |       |
| 有裂隙的石灰岩  | $2 \sim 4$                                   |       |

## 5) 溶蚀性

由于水的化学作用而把岩石中某些组成物质带走的现象称为岩石的溶蚀性。如果把试件浸在  $80^\circ\text{C}$  的纯水中, 经过 24 h, 从水中离子的变化就可以看出水的溶蚀作用。溶蚀作用可使岩石致密程度降低, 孔隙率增大, 导致岩石强度降低。钟乳石、石笋的形成就是岩石溶蚀性的体现。溶蚀现象在某些围岩为石灰岩的矿井中较常见。

## (二) 岩石的力学性质

岩石的力学性质主要有强度、变形特性、硬度、波阻抗以及可钻性、可爆性。

## 1. 强度

岩石抵抗外来荷载破坏的能力称为岩石的强度。岩石在任一点的应力状态都可分解为压缩应力、拉伸应力和剪切应力。岩石的破坏也都是由这些基本应力引起的。因此岩石的