

绪 论

本章介绍建筑材料的分类、常用标准、绿色建筑材料等概念及本课程学习方法。

1.1 建筑材料定义及其分类

建筑材料是指所有用于土木建筑工程中的材料,它是一切土木工程物质基础,也称土木工程材料。简言之,“建筑材料”加“结构”就是“建筑物”,建筑材料包括水泥、混凝土、钢材、沥青、塑料、玻璃、陶瓷、石材、铝材、木材、涂料等。在我国现代化建设中,土木工程材料占有极为重要的地位,由于组分、结构和构造不同,土木工程材料品种门类繁多,性能各不相同,价格相差悬殊。同时在土木工程中用量巨大,因此正确选择和合理使用土木工程材料,对整个土木工程的安全、实用、美观、耐久及造价有着重要的意义。建筑材料除了用于建设普通民用住宅、商场大厦、办公大楼、宾馆饭店、车站码头、电站、隧道桥梁、运输管道以外,还用于工业、农业、国防建设,如工业厂房、污水处理工程、采矿采油工程、海洋矿井工程、农林水利灌溉工程、国防军事工程、通信工程等,其分类方法很多。

(1) 按制造方法分类,建筑材料可分为天然材料和人工材料。天然材料如天然石材、木材、土、砂等;人工材料如钢材、铝合金、砖瓦、玻璃、塑料、石油沥青等。

(2) 按化学组成分类,建筑材料可分为无机材料、有机材料和复合材料。无机材料又分为金属材料和非金属材料,金属材料主要有建筑钢材、铝合金、不锈钢、铜、铸铁等,非金属材料包括天然石材、砖、瓦、水泥、混凝土、建筑陶瓷、建筑玻璃等,又称矿物质材料;有机材料包括天然的有机材料与合成的有机材料,天然有机材料如木材、竹材、沥青、漆、植物纤维等,合成有机材料如塑料、涂料、合成树脂、黏结剂、密封材料等;复合材料指两种或两种以上材料复合而成的材料,如钢筋混凝土、钢纤维混凝土、聚合物混凝土、沥青混凝土等。

(3) 按使用功能分类,建筑材料可分为结构材料、装饰材料、绝热材料、防水材料、吸声材料、防火材料等。

(4) 按使用部位分类,建筑材料可分为基础材料、结构材料、屋面材料、地面材料、墙体材料等。

1.2 建筑材料的技术标准与规范

建筑材料的技术标准是产品质量的技术依据,也是供需双方对产品质量进行验收的依据。标准内容大致包括材料的质量要求和检验两大方面,具体包括产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、标志、运输和储存等方面的内容。

我国建筑材料的技术标准由标准名称、标准级别代号、标准编号及颁布年代等组成,分为国家标准、行业标准、地方标准、企业标准四级。

(1) 国家标准。如《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007),其中“通用硅酸盐水泥”为该标准的技术(产品)名称;“GB”为国家标准的代号;“175”为标准编号;“2007”为标准颁布年代号,上述标准为强制性国家标准,任何技术(产品)不得低于此标准。此外,还有推荐性国家标准,以“GB/T”为标准代号。

(2) 行业标准。如《建筑生石灰》(JC/T 479—1992),其中“JC”为建材行业的标准代号;“T”表示推荐标准;“479”为此类技术标准的顺序号;“1992”为标准颁布年代号。

(3) 地方标准和企业标准。代号为“DB”、“DB/T”和“QB”,其后分别注明地方标准或企业标准代号、标准顺序号、制定年代号等。

另外还有国际标准。如:①团体标准和公司标准,指国际上有影响的团体和公司的标准,如美国材料与实验协会标准,代号为 ASTM;②区域性标准,如德国工业标准,代号为 DIN;③国际标准化组织标准,代号为 ISO。

1.3 建筑材料的发展趋势

建筑材料是随着社会生产力的发展而发展的。远古时期人类居住在洞穴中,石器时代人类挖土凿石,伐木搭棚。中国早期生产的建筑材料,如公元前 7 世纪万里长城大量使用砖石材料,战国时期(公元前 475 年—公元前 221 年)人类学会用黏土烧制砖瓦,用岩石烧制石灰、石膏,广泛使用筒瓦、板瓦、大块空心砖和墙壁装修用砖等。公元前 2 世纪在欧洲已采用天然火山灰、石灰、碎石拌制天然混凝土。18—19 世纪欧洲工业革命带来了水泥、钢材、玻璃的相继发明,自 1824 年英国人 Joseph Aspdin 发明了水泥以来,建筑材料的生产 and 应用发展空前迅速,1850 年法国人制造了第一只钢筋混凝土小船,1872 年在纽约出现了第一座钢筋混凝土房屋,随后建造了高层建筑和桥梁。到了 20~21 世纪,化学建材蓬勃发展,以高分子材料、复合材料为代表,土木工程材料在性能、质量、品种上得到了快速发展。

建筑材料的大量生产,消耗了自然界中大量的原材料,材料的生产制造要消耗大量的能量,并产生废气、废渣,对环境构成污染。如生产水泥要使用石灰石和黏土类原材料,占混凝土体积大约 80% 的砂石骨料要开山采矿、挖掘河床,严重破坏了自然景观和自然生态。木材取自森林资源,森林面积的减少,加剧了土地的沙漠化。烧制黏土砖要取土,毁掉大片农田,对于人均耕地面积很少的我国不容乐观。每烧制 1t 水泥熟料消耗标准煤 178kg,同时

放出 1t 二氧化碳气体。建筑材料在运输和使用过程中,也要消耗能量,并对环境造成污染和破坏。在建筑施工过程中,由于混凝土的振捣及施工机械的运转产生噪声、粉尘、妨碍交通等现象,对周围环境造成了各种不良影响。研制和开发高性能建筑材料和绿色建筑材料是建筑材料工业的发展趋势,轻质、高强、高耐久性、优异装饰性和多功能的材料会越来越多。强度指土木工程材料必须有足够的强度,能够安全的承受设计荷载,自身的重量以轻为宜,以减少下部结构和地基的负荷;耐久性指具有与使用环境相适应的耐久性,以便减少维修费用;多功能则要求满足一定功能,用于装饰的材料,应能美化房屋并产生一定的艺术效果,用于特殊部分的材料,则应具有相应的特殊功能,如屋面材料要能绝热、防水,楼板和内墙材料要能隔声;绿色则指生产过程中还应尽可能保证低能耗及环境友好。

随着人类的进步和社会的发展,更有效利用有限的资源,全面改善及迅速扩大人类工作条件与生存空间势在必行,未来的土木工程必需在各种苛刻的环境条件下,实现多功能化,甚至智能化,以满足越来越高的安全、舒适、美观、耐久的要求。土木工程材料在原材料、生产工艺、性能及产品形式诸方面均将面临可持续发展和人类文明进步的严峻挑战。今后在原材料方面要最大限度地节约有限资源,充分利用再生资源及工农业废料。高性能建筑材料是指比现有材料的性能更为优异的建筑材料,如高性能混凝土就是通过混凝土中掺加化学外加剂和矿物超细粉使普通混凝土高性能化而获得的高工作性、高强度和高耐久性。绿色建筑材料又称生态建筑材料或健康建筑材料,它是指生产建筑材料的原料尽可能少用天然资源,大量使用工业废料,采用低能耗制造工艺和不污染环境的生产技术,产品配制和生产过程中不使用有害和有毒物质,产品设计是以改善生活环境、提高生活质量为宗旨,产品可循环利用,且使用过程无有毒、有害物质释放,既满足可持续发展的需要,又实现发展与环保的统一,不损害后代人利益。再生产工艺方面要大力引进现代技术,改造和淘汰陈旧设备,降低原材料及能源消耗,减少环境污染,在性能方面要力求轻质、高强、耐久、多功能及结构-功能一体化,在产品形式方面要积极发展预制技术,逐步提高软件化、单元化的水平。总之,高性能建筑材料的发展趋势有三个方面:发展高性能建筑材料,如高性能混凝土;发展复合多功能建筑材料,如聚合物混凝土;大量应用废弃资源、再生循环能源,生产对人体无害的绿色建材。

1.4 学习方法

建筑材料是建筑工程、建筑施工与建筑工程管理等专业必修的一门专业基础课。本课程的任务是使学生获得有关建筑材料的性质与应用的基本知识和基本理论,并获得主要建筑材料试验的基本技能。

建筑材料是一门实用性很强的专业课,一般要从原材料、生产、组成、性质、技术标准(质量要求和检验)、工程应用特点、运输与储存等方面进行了解。其内容看似容易,实则不易,应避免“一听就能懂,一用就不会”的现象。为适应现代土木工程的发展,学生在学习建筑材料课程时,要听好课,多练习,在理解材料性能特点的基础上,自觉拓宽知识面,及时了解建筑材料的最新标准与发展情况,为今后从事专业技术和管理工作时能够合理选择和使用建筑材料打下基础。试验课是本课程的重要教学环节,其任务是验证基本理论,学习试验方

法,培养科学研究能力和严谨缜密的科学态度。做试验时,要严肃认真,一丝不苟,即使对一些操作简单的试验也不应例外。要了解试验条件对试验结果的影响,要能对试验结果做出正确的分析和判断。

教材各章小结对知识点按了解、理解和掌握三个层次提出考核要求。了解是最低层次的要求,凡是属于了解的内容,要求对它们的概念、理论及计算方法有基本的认识;理解是较高层次的要求,凡是属于理解的内容,要求理解有关内容的基本概念、基本理论、基本方法,并能在理解的基础上对相关问题进行分析和判断,得出正确结论;掌握是高层次的要求,凡是需要掌握的知识点,都是今后实际工作中需要应用的重要内容,要求熟练掌握。这些内容,不仅要深入理解,还要能够综合应用所学,解决实际建筑工程中涉及的问题。

1.5 本章小结

要求理论联系实际,掌握建筑材料课程的学习方法,重点理解建筑材料的分类、有关标准与发展特点。

思考题

1. 简述建筑材料的分类。
2. 我国建筑材料的技术标准分为哪四级?
3. 何谓绿色建筑材料?
4. 未来建筑材料的发展趋势如何?

第 2 章

建筑材料基本性质

本章介绍材料的基本物理性质、材料与水和热有关的性质、材料的力学性质与变形性能、材料的耐久性等。

建筑材料承受不同的作用,就需具备不同的性质,如结构材料承受外力,要求具备必要的力学性质,围护材料须满足房屋建筑的保温、隔热、防水及必要的环境要求,道路桥梁材料经受风吹、雨淋、日晒、冰冻而引起的温度变化、湿度变化及反复冻融等的破坏作用,要求材料具备一定的耐久性以满足长期暴露的大气环境或与侵蚀性介质相接触的环境。建筑材料的基本性质包括物理性质、力学性质以及耐久性,为了在工程设计与施工中正确选择和合理使用材料,必需熟悉和掌握各种材料的基本性质。

2.1 材料的组成与结构

2.1.1 材料的组成

1. 化学组成

化学组成指构成材料的基本元素与化合物。习惯上,金属材料的化学组成以主要元素的含量来表示;无机非金属材料则以各种氧化物含量表示。

2. 矿物组成

矿物是具有一定化学成分和一定结构特征的化合物或单质。矿物组成是指构成材料的矿物种类和数量。

2.1.2 材料的结构

材料的结构同样决定着材料的性质。一般从宏观、细观和微观 3 个层次来分析研究材料的结构与性质的关系。

1. 宏观结构

宏观结构(或称结构)是指材料宏观存在的状态,即用肉眼或放大镜就可分辨的粗大组织,其尺寸在 10^{-3} m 级以上。

2. 细观结构

细观结构(也称显微或亚微观结构)是指用光学显微镜所能观察到的材料结构,其尺寸范围在 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ m。

3. 微观结构

微观结构是指材料原子、分子层次的结构,其尺度范围在 $10^{-10} \sim 10^{-6}$ m,可借助电子显微镜、X 射线衍射仪等手段来分析研究该层次的结构特征。

材料的微观结构可分为晶体、玻璃体和胶体三类。

(1) 晶体是由其内部质点(离子、原子、分子)按规定的规则在空间呈无规则的排列所形成的结构。因此晶体有以下特征:具有一定的几何外形,各向异性,有固定的熔点和化学稳定性,结晶接触点和晶面是晶体破坏或变形的薄弱部分。

(2) 玻璃体是熔融物在急速冷却时形成的无定形体。其质点呈无规则空间网络结构,其微观结构为近程有序、远程无序。故其具有化学不稳定性,亦即存在化学潜能,容易与其他物质反应或自行缓慢向晶体转换。另外,由于质点排列无规律,具有各向同性,没有固定的熔点。

(3) 胶体是物质以极微小的质点(粒径为 $1 \sim 100$ nm)分散在介质中所形成的结构。由于胶体的质点很微小,其总的表面积很大,因而表面能很大,有很强的吸附力,所以胶体具有较强的黏结力。胶体可以经脱水或质点的凝聚作用而形成凝胶,凝胶具有固定的性质,但在长期应力作用下,具有黏性液体的流动性质。

2.2 材料的基本物理性质

2.2.1 密度、表观密度和堆积密度

1. 密度

材料的密度 ρ 是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,计算式如下:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中: m ——绝对干燥状态下的质量, g;

V ——绝对密实状态下的体积, cm^3 。

土木工程中常用材料密度见表 2.1。绝对密实体积指不包含孔隙体积在内的固体实物体积,密度仅由材料的组成和材料的结构决定,它是材料的特征指标,与材料所处的环境、材料干湿和孔隙无关,能用于区分不同的材料。

表 2.1 常用建筑材料的密度

材料名称	密度/(g/cm ³)	表观密度/(kg/m ³)	堆积密度/(kg/m ³)
钢材	7.85		
铝合金	2.7		
碎石(石灰石)	2.6~2.8	2300~2700	1400~1700
碎石(花岗石)	2.6~2.9	2500~2800	
砂	2.5~2.8		1450~1650
粉煤灰	1.95~2.40		550~800
水泥	2.8~3.1		1600~1800
普通混凝土		2400~2500	
空心砖	2.6~2.7		1000~1400
玻璃	2.45~2.55	2450~2500	
红松木	1.55~1.60	400~600	
石油沥青	0.96~1.04		
泡沫塑料		20~50	

2. 表观密度

材料的表观密度 ρ_0 是指材料在自然状态下单位体积的质量,计算式如下:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

式中: m ——绝对干燥状态下的质量,kg;

V_0 ——自然状态下的体积(含开口、闭孔隙),m³。

表观密度也称为体积密度,计算时不包括或者忽略开口孔隙体积,表观密度有干表观密度和湿表观密度之分,必须注明含水情况,未注明者常指气干状态。

土木工程中用的粉状材料,如水泥、粉煤灰、磨细生石灰粉等,其颗粒很小,与一般石料测定密度时所研碎制作的试样粒径相近似,因而它们的表观密度,特别是干表观密度值与密度值可视为相等。砂石类散粒材料自然状态下的表观密度测定是将其饱水后在水中称量,然后按排水法计算其体积,体积包括固体实体和闭孔隙体积,而不包括其开口孔隙和颗粒间隙,测得结果为湿表观密度。块状材料体积采用几何外形计算体积,或用蜡封置换法求体积,包括材料全部体积即实体积与所含全部孔隙体积之和,测得结果为体积密度。

3. 堆积密度

材料的堆积密度 ρ'_0 是指粉状或颗粒材料在自然堆积状态下单位体积的质量,计算式如下:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$$

式中: m ——绝对干燥状态下的质量,kg;

V'_0 ——堆积状态下的体积(颗粒体积+空隙体积),m³。

按自然堆积体积计算的密度为松堆密度,以振实体积计算的则为紧堆密度。对于同一种材料,由于材料内部存在孔隙和空隙,故一般密度大于表观密度,表观密度大于堆积密度。注意:密实状态下的体积是指构成材料的固体物质本身的体积;自然状态下的体积是指固

体物质的体积与全部孔隙体积之和；堆积体积是指自然状态下的体积与颗粒之间的空隙之和。

2.2.2 密实度与孔隙率

密实度指材料中密实状态体积与材料在自然状态的体积之比的百分率,用符号 D 表示,反映固体材料密实的程度,计算式如下:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\%$$

另外,材料的密实度也可写成

$$D = \frac{\rho_0}{\rho}$$

材料的孔隙率是指材料内部孔隙的体积与材料总体积的比值。孔隙率 P 与密实度的关系为

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% = 1 - P$$

材料的孔隙特征包括材料孔隙开口与闭口状态和孔隙的大小。如图 2.1 所示,材料的开口孔隙对材料的强度、抗渗、抗冻和耐久性均不利,闭口孔隙在材料内部,是封闭的,微小而均匀的闭口孔隙对材料抗渗、抗冻和耐久性无害,可降低材料表观密度和导热系数,使材料具有轻质绝热的性能。

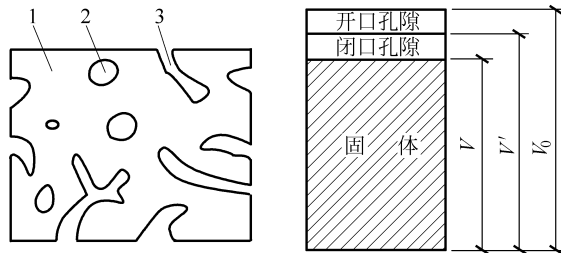


图 2.1 含孔材料的体积组成图

1—固体; 2—闭口孔; 3—开口孔

2.2.3 填充率与空隙率

填充率 D' 表示散装材料颗粒填充的程度。材料的空隙率 P' 是指散粒状堆积体积中,颗粒间空隙和材料内部孔隙的体积与材料总体积的比值。它们的计算公式如下:

$$P' = \frac{V'_0 - V}{V'_0} \times 100\% = \left[1 - \frac{\rho'_0}{\rho_0} \right] \times 100\%$$

$$D' = \frac{V}{V'_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho_0} \times 100\% = 1 - P'$$

空隙率的大小反映了散粒材料的颗粒互相填充的致密程度,在配制混凝土、砂浆和沥青混合料时,为了节约水泥和沥青,基本思路是粗骨料空隙被细骨料填充,细骨料空隙被粉体填充,粉体空隙被胶凝材料(水泥或沥青)填充,以达到节约胶凝材料的效果。

2.2.4 材料与水有关的性质

1. 亲水性与憎水性

当材料与水接触时,能被水润湿的材料具有亲水性,不能被水润湿的材料具有憎水性。材料具有亲水性或憎水性的原因在于材料的分子结构。材料与水接触时,材料分子与水分子之间的亲和作用力大于水分子间的内聚力,材料表面易被水润湿,表现为亲水性;反之,当接触的材料分子与水分子之间的亲和作用力小于水分子间的内聚力,材料表面不易被水润湿,表现为憎水性。

亲水性和憎水性材料用润湿角区分,见图 2.2。当材料与水接触时,在材料、水和空气的三相交点处,沿水滴表面的切线与水与固体接触面所形成的夹角 θ ,称为润湿角, θ 角越小,浸润性越好。如果润湿角 θ 为零,表示材料完全被水所浸润。工程上,材料润湿角 $\theta \leq 90^\circ$ 为亲水性材料;材料润湿角 $\theta > 90^\circ$ 为憎水性材料。

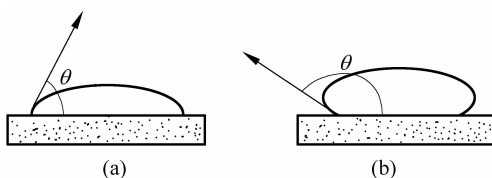


图 2.2 材料润湿角

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

土木工程中的多数材料,如骨料、墙体砖与砌块、砂浆、混凝土、木材等属于亲水性材料,表面能被水润湿,水能通过毛细管作用被吸入材料的毛细管内部;多数高分子有机材料,如塑料、沥青、石蜡等属于憎水性材料,表面不易被水润湿,水分难以渗入毛细管中,适宜作防水材料和防潮材料,还可涂覆在亲水性材料表面,以降低其吸水性。

2. 吸水性与吸湿性

材料浸入水中吸收水分的能力为吸水性,用吸水率表示。材料在潮湿的空气中吸收空气中水分的能力为吸湿性,用含水率表示。

吸水率分为质量吸水率和体积吸水率。质量吸水率是材料吸水饱和时,所吸收水的质量与材料干燥质量之比,质量吸水率 W_m 的计算式为

$$W_m = \frac{m_b - m_g}{m_g} \times 100\%$$

式中: W_m ——材料的质量吸水率, %;

m_b ——材料吸水饱和状态下的质量, g;

m_g ——材料干燥状态下的质量, g。

体积吸水率是材料在吸水饱和时,所吸收水分的体积占材料干燥状态体积的百分率。按下式计算:

$$W_v = \frac{m_b - m_g}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\%$$

式中: W_v ——材料的体积吸水率, %;

V_0 ——干燥材料在自然状态下的体积, cm^3 ;

ρ_w ——水的密度(常温下取 1), g/cm^3 。

土木工程材料一般采用质量吸水率。质量吸水率与体积吸水率有以下关系:

$$W_v = W_m \rho_0$$

一般孔隙率越大,吸水性越强。材料具有闭口孔隙,水分不易进入;粗大开口孔隙,水分易渗入孔隙,但材料孔隙表面仅被水湿润,不易吸满水分;微小开口且连通孔隙(毛细孔)的材料,具有强的吸水能力。材料吸水会使材料的强度降低,表观密度和导热性增大,体积膨胀,因此,材料中水对材料性质产生不利影响。

例 2-1 质量为 3.4kg、容积为 10L 的容量筒装满干燥石子后的总质量为 18.4kg。若向筒内注入水,待石子吸水饱和后,再注满此筒,共注入水 4.27kg。将上述吸水饱和的石子擦干表面后,称得总质量为 18.6kg(含筒重)。求该石子的质量吸水率、体积吸水率、表观密度和堆积密度。

解: 石子的质量: $m = 18.4 - 3.4 = 15.0(\text{kg})$, 石子的堆积体积为 $V'_0 = 10\text{L}$

石子所吸水的量: $m_w = 18.6 - 18.4 = 0.2(\text{kg})$, 故水的体积为 0.2L

开口孔隙体积为石子吸收水的量,即 $V_k = 0.2\text{L}$, 注入筒内的水的体积为 $V_w = 4.27\text{L}$

该体积等于石子间空隙的体积与石子开口孔隙之和,即 $V_s + V_k = 4.27\text{L}$

故石子的质量吸水率: $W_m = m_w/m = (0.2/15) \times 100\% = 1.3\%$

石子的体积吸水率: $V_v = V_k/V_0 = 0.2/(10 - 4.27 + 0.2) \times 100\% = 3.4\%$

石子的堆积密度: $\rho'_0 = m/V'_0 = 15/10 = 1.5(\text{kg}/\text{L}) = 1500(\text{kg}/\text{m}^3)$

石子的表观密度: $\rho_0 = m/V_0 = 15/(10 - 4.27 + 0.2) = 2.53(\text{kg}/\text{L}) = 2530(\text{kg}/\text{m}^3)$

3. 材料的耐水性

材料的耐水性是指材料吸水后抵抗破坏作用的能力,常用软化系数表示:

$$K_R = \frac{f_1}{f_0}$$

式中: K_R ——材料的软化系数;

f_1 ——材料在吸水饱和状态下的抗压强度,MPa;

f_0 ——材料在干燥状态下的抗压强度,MPa。

一般材料遇水后,内部质点的结合力被减弱,强度都有不同程度的降低,如花岗岩长期浸泡在水中,强度将下降 3%,黏土砖和木材吸水后强度降低更大。

软化系数的大小是选择耐水材料的重要依据。材料软化系数在 0~1 之间,钢铁、玻璃、陶瓷近似于 1,石膏、石灰的软化系数较低。通常认为软化系数大于 0.85 的材料为耐水材料。长期受水浸泡或处于潮湿环境的重要建筑物必须选用软化系数不低于 0.85 的材料建造;受潮较轻或次要建筑物的材料的软化系数也不宜小于 0.75。

4. 材料的抗渗性

材料的抗渗性是指材料抵抗压力水渗透的性质,材料的抗渗性用渗透系数或抗渗等级来表示,渗透系数越小,表示材料抗渗性越好。

$$K = \frac{Qd}{AtH}$$

式中: K ——材料的渗透系数, cm/h ;