

同济大学“十二五”规划教材

◎ 本教材实验讲义及配套视频课件参编人员来自同济大学材料科学与工程学院、同济大学先进土木工程材料教育部重点实验室和上海同济建设工程质量检测站。

◎ 本教材实验讲义及配套视频课件请登录同济大学出版社网站

www.tongjipress.com.cn免费下载。

建筑功能材料

马一平 孙振平 主编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

014037269

TU5
107

建筑功能材料

马一平 孙振平 主编



北航

C1725499

TU5
107



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

085780410

图书在版编目(CIP)数据

建筑功能材料/马一平,孙振平主编.--上海:
同济大学出版社,2014.3

ISBN 978-7-5608-5367-3

I. ①建… II. ①马… ②孙… III. ①建筑
材料—功能材料 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 279982 号

同济出版社

马一平 孙振平 主编



建筑功能材料

马一平 孙振平 主编

责任编辑 张睿 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 25.25

字 数 630 000

版 次 2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5367-3

定 价 58.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

随着我国经济建设的发展和人民生活水平的提高,各种基础设施和建设项目正如火如荼地展开。建筑功能材料作为建筑材料的重要组成部分和建设工程的重要物质基础,正发挥着越来越大的作用。学习了解建筑功能材料的作用原理、组成结构及正确应用是保证建设工程质量和效能的重要一环。为此,我们根据高等学校材料科学与工程类专业本科的教学大纲要求编写了本书,内容适用于材料科学与工程本科专业,以及建筑学、土木工程、工业与民用建筑、建筑工程管理等专业。本书也可作为建筑、建材等部门有关科研、设计、施工、生产、管理人员的参考用书。

本书主要介绍建筑功能材料的基本原理、基本组成、基本特性、常用品种、选用原则与施工要点等,材料种类包括建筑防水材料、建筑绝热材料、建筑防腐材料、建筑防火材料、建筑声学材料、建筑装饰材料、绿色建筑材料。全书引用最近颁布的新标准和新规范编写而成,每章附有思考题。另编有部分实验讲义,并提供配套视频课件。

本书由同济大学马一平、孙振平主编。各章编写人员为:第1章钟世云;第2、4、6章马一平;第3、7章孙振平;第5章廖欣;附录A、D孙鸽梅、朱基千;附录B、C娄旻邦。

本书编写承蒙同济大学教务处资助,实验视频课件得到上海同济建设工程质量检测站的孙鸽梅、范珏、计亦奇和同济大学材料科学与工程学院专业实验室的朱东明、黄来平的帮助,谨此致以衷心感谢。由于编者学识水平有限,书中难免有疏漏谬误之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2013年9月

目 录

前言

第 1 章 防水材料	1
1.1 引言	1
1.2 防水材料的基本成分	5
1.3 防水卷材	22
1.4 防水涂料	41
1.5 防水密封材料	51
1.6 堵漏材料	62
1.7 其他防水材料	67
1.8 防水材料的选用与施工	82
思考题	89
参考文献	89
第 2 章 绝热材料	91
2.1 建筑热工基础	91
2.2 绝热材料绝热机理	94
2.3 绝热材料制备方法	95
2.4 绝热材料基本性质	101
2.5 常用绝热材料及其性能	112
2.6 绝热设计与施工	136
思考题	141
参考文献	141
第 3 章 防腐材料	142
3.1 防腐蚀材料	142
3.2 防辐射材料	213
3.3 防结雾、防结露和自清洁材料	218
思考题	222
参考文献	223
第 4 章 防火材料	224
4.1 建筑防火概论	224
4.2 高温(火灾)下建筑材料的性能	234
4.3 建筑防火涂料	242

4.4 建筑防火板	266
思考题	269
参考文献	269
第5章 吸声材料和隔声材料	271
5.1 建筑声学的基本知识	271
5.2 吸声材料	276
5.3 隔声材料	284
思考题	289
参考文献	289
第6章 装饰材料	290
6.1 建筑装饰材料概论	290
6.2 建筑装饰石材	297
6.3 建筑装饰玻璃与陶瓷	307
6.4 建筑装饰石膏	311
6.5 建筑装饰金属	313
6.6 建筑装饰木材	317
6.7 建筑装饰涂料及塑料墙纸、地板与地毯	320
思考题	327
参考文献	327
第7章 绿色建材	328
7.1 地球人口、资源、能源和环境现状	328
7.2 可持续发展和低碳经济是必然之路	340
7.3 材料的生产和使用对环境的影响	341
7.4 生态环境材料	343
7.5 绿色建材	346
思考题	360
参考文献	360
附录A 防水材料性能实验	361
附录B 绝热材料稳态热阻测定实验	373
附录C 装饰材料的性能测定实验	378
附录D 室内空气中总挥发性有机化合物(TVOC)检测实验	396

第 1 章 防水材料

1.1 引言

1.1.1 人类防水历史回眸

人和许多动物都有遮挡风雨的需要,人需要居住在没有风雨侵扰的场所。人的住所经历了山洞、窝棚、帐篷、房屋、石和砖的建筑。洞穴,像是野兽的现成房屋一样,也是人的现成房屋。原始人长期居住在天然的洞穴中,如图 1-1 所示是山顶洞文化年代北京人所居住的洞穴,距今约2.7万~3.4万年。洞穴是如此方便,所以,它们有时在文明世界中仍被采用。

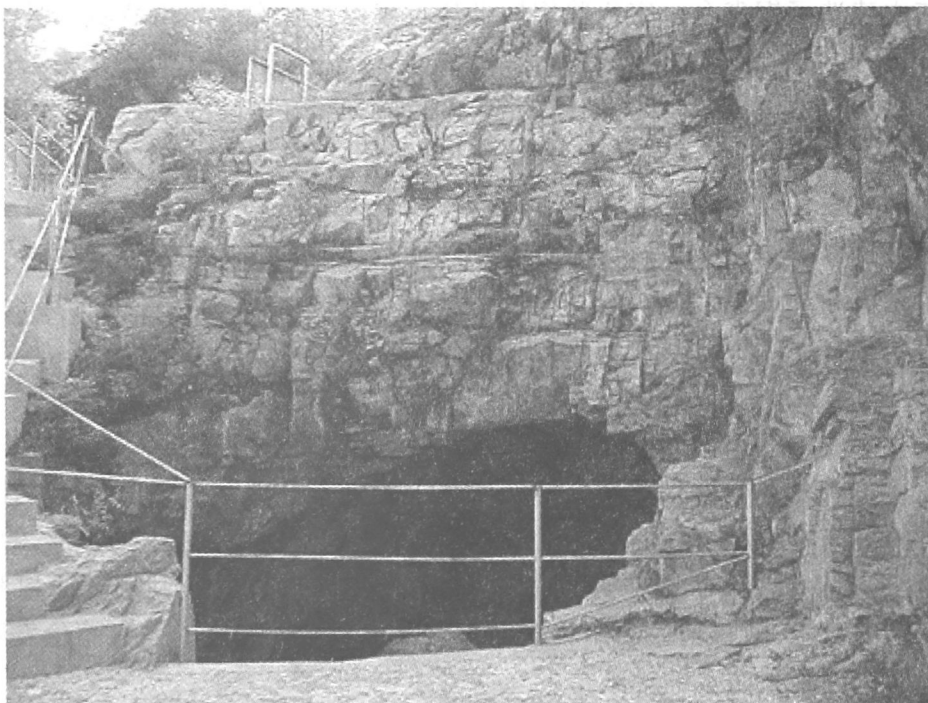


图 1-1 距今约 2.7 万~3.4 万年的山顶洞北京人所居住的洞穴(选自百度图片,由美梦 beginning 贡献)

至旧石器晚期,约 2.9 万~2.5 万年前,人类开始学会制造“房屋”。最原始的房屋是用浓密的大树叶遮挡的窝棚。例如:用许多 2 米多长的大棕榈叶靠在横木上构成的斜顶。进一步的发展是将带浓密树叶的树枝插在地上作为墙,再进一步则是用泥层覆盖自己用树枝搭成的茅屋两侧。至今,我们还使用某种类似的东西,被英国茅屋别墅的建筑者们称之为“油泥枝条”。在英国农村的街道上,到处都可以遇到同样的茅屋或牛栏,这是原始建筑术的另一种遗留。它的墙是用黏土块亦即用混有麦秸的泥堆成的。这种用泥或湿土制成的茅屋墙,在像埃及这样一些气候干燥的国家是极为普遍的,因为这种墙比起木墙来又便宜又好。在这之后,采用了太阳晒干的砖。它们只是适用建筑茅屋墙壁的同样的土块或掺着麦秸的泥块。在东方,这种太阳晒干的砖早在邃古时代就采用了。对于这类太阳晒干的砖来说,黏土泥原来是十足的水泥(粘结剂)。烧砖是后来的发明。对于烧制陶质食具的部族来说,获得这种发明是并不困难的。但是这种砖只在较为多雨的天气里才是必要的。例如:罗马人,他们不满足于单纯的

土砖,就进而用炉火烧砖瓦,并达到了极为完美的地步。

因此,树叶和兽皮是人所利用的天然防水材料。树叶和树枝、麦秸与泥土的结合,是人所改造的天然防水材料。

很显然,为了更好地砌筑泥土砖或者石头的墙壁,人们需要粘结材料,起先仍然是用黏土,然后发现了石灰。

在中国,关于石灰的最早记载见于《左传》。当时用贝壳烧灰,名为蜃灰,用作埋葬尸体的干燥剂。到战国时代,石灰被加入黏土中制成一合土、二合土之类的复合胶凝材料。从汉代起,石灰开始大量用于建筑工程。缪纪生等用近代分析方法研究北京顺义汉基石灰,证明其纯度及煅烧技术与近代的石灰相同。可见在 1800 年前我国已掌握大规模生产石灰的技术。1000 多年来,石灰作为主要的胶凝材料,被广泛用作砌筑石灰砂浆、石灰黏土砂石、三合土地坪路面、三七灰土地基、四六灰土地基,以及在夯土建筑中加入石灰以增加强度与抗水性能。石灰还与一些有机材料复合来提高耐久、防潮、抗水、抗冲击等性能。据历史记载,曹操曾将植物油掺入石灰中建造了铜雀台。宋代曾用糯米汁石灰砌筑了安徽和州城墙。明代南京城墙也使用糯米汁石灰,并用桐油石灰封顶以增强防水抗渗的能力。明代《天工开物》记载,将石灰 1 份、黄砂 2 份,用糯米、羊桃藤汁拌匀制作的储水建筑,有很好的防渗耐久性能。清乾隆年间曾用糯米、石灰加牛血建造了永定河河堤,长达数里。

古希腊人和古罗马人用燃烧含有泥土夹杂物(黏土质的)的石灰石生产出了水硬性石灰。此外,他们还知道使用某些火山沉积物经仔细粉磨后,与石灰和砂子拌合,所制成的灰浆不仅比普通石灰浆强度高,而且还耐水。

在水泥问世以后,人们在使用中发现,水泥坚固耐压,它的优点是可以随心所欲地做成各种形状;然而,它的缺点是水泥凝结以后容易收缩,造成细小的裂缝。这一缺点的存在使得它在地下工程的使用中受到了限制,因为水很容易从这些细缝中渗漏进来。最早在水泥中掺一些牛和羊的血以抗渗,现代则掺入防水剂和聚合物改性,以提高水泥砂浆和混凝土的抗渗性能。

用有机材料提高材料和物品的防水性能,已具有悠久的历史。兽皮是天然的有机高韧性防水材料,春秋末年鲁班妻子云氏曾用其做雨伞。公元前,中国人就利用某些树胶制造油漆,用于器具和织物的防水;阿拉伯人利用天然沥青给水槽和水渠密封。东汉蔡伦发明纸以后,出现了在伞纸上刷桐油用来防水的油纸伞。

就屋面防水技术而言,有人把它分为 4 个阶段:第一阶段为新石器中期人类营造房屋的开始;第二阶段为瓦的出现;第三阶段为沥青纸胎油毡及石棉水泥瓦的使用;第四阶段为金属、玻璃、水泥及其他化学建材及复合材料用作屋面材料。

第一个阶段,新石器中期人类营造的房屋。我国新石器时代人们的住房主要有三种:其一是半地穴式建筑;其二是桩上建筑;其三是窑洞建筑。半地穴式房屋的屋顶是在木桩上架设横梁和椽子,铺上柴草,用草拌泥涂抹屋面,屋面为陡坡式。桩上建筑又称干栏式建筑。这种建筑是用竖立的木、竹桩构成高出地面的底架,再在架上用竹木、茅草等建造房屋,屋面用树皮和茅草。窑洞是利用自然土层掏洞而成,洞顶的防水主要利用上部土层的厚度以及形成的坡度。

第二个阶段,瓦。我国从西周开始出现瓦,瓦的种类已有数十种之多,其中有板瓦、筒瓦、半瓦当、各种纹饰的瓦等,距今已有 3000 多年了。砖比瓦的出现至少晚 700~800 年的时间。

第三个阶段,沥青纸胎油毡及石棉水泥瓦。美国 19 世纪 50 年代开始使用煤沥青叠层屋面。我国大约在 20 世纪 40 年代中后期开始沥青卷材生产。

第四阶段,是以金属、玻璃、水泥及化学建材、复合材料的使用为标志的。美国从 20 世纪

50 年代开始,我国从 20 世纪 70 年代末 80 年代初开始。

1.1.2 防水机理

防水材料有两种截然不同的防水机理。一类是靠材料自身的密实性起防水作用;另一类是利用疏水性毛细孔的反毛细管压力来防水。但就房屋或结构的防水而言,防水应该是疏堵结合的,一方面使用致密的材料来堵水;另一方面,通过良好的结构设计来排水。

绝大多数防水材料都是以自身密实性机理来防水的。材料的密实性可以用它的孔隙率来表征,而材料的孔隙率与它的透水性、或者说水渗透系数有密切关系。多孔材料的水渗透性可以用达西定律来描述:

$$Q=KFh/L \tag{1-1}$$

式中 Q ——单位时间渗流量, m/s ;

F ——过水断面, m^2 ;

h ——总水头损失(m 水柱或 Pa);

L ——渗流路径长度(m), $I=h/L$ 为水力梯度;

K ——渗透系数,当水头损失以水柱高度(m)表示时,其单位为 m/s ;当水头损失以压力(Pa)表示时,其单位为 $m^2/(Pa \cdot s)$;且有 $1m/s = 9800m^2/(Pa \cdot s)$, 或 $1m^2/(Pa \cdot s) = 1.02 \times 10^{-4}m/s$ 。

达西定律是由砂质土体实验得到的,后来推广应用于其他土体如黏土和具有细裂隙的岩石等。进一步的研究表明,在某些条件下,渗透并不一定符合达西定律,因此,在实际工作中我们还要注意达西定律的适用范围。

常见工程材料的典型渗透系数见表 1-1。强透水的粗砂砾石层渗透系数 $K>10m/昼夜$;弱透水的亚砂土渗透系数 K 为 $1\sim0.01m/昼夜$;不透水的黏土渗透系数 $K<0.001m/昼夜$ 。水泥混凝土的渗透系数受水灰比和龄期的影响(图 1-2),也与其毛细管孔隙率密切相关(图 1-3)。

表 1-1 常见工程材料的典型渗透系数

材 料		渗透系数 $K/(m \cdot s^{-1})$
岩石类	花岗岩、岩石	10^{-15}
	石灰岩	10^{-13}
	砂岩	10^{-11}
土类	黏土	10^{-9}
	粉质黏土	$1.2 \times 10^{-8} \sim 6.0 \times 10^{-7}$
	粉土	$6.0 \times 10^{-7} \sim 6.0 \times 10^{-6}$
	粉砂	$6.0 \times 10^{-6} \sim 6.0 \times 10^{-5}$
	细砂	$1.2 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-5}$
	中砂	$6.0 \times 10^{-5} \sim 2.0 \times 10^{-4}$
	粗砂	$2.4 \times 10^{-4} \sim 6.0 \times 10^{-4}$
	砾石	$6.0 \times 10^{-4} \sim 1.8 \times 10^{-3}$
水泥浆体		$(1 \sim 100) \times 10^{-14}$ (参见图 1-2)
水泥混凝土		$(1 \sim 100) \times 10^{-12}$ (参见图 1-2)
土工布[垂直渗透系数(GB/T 17638—2008)]		$(1 \sim 9.9) \times (10^{-3} \sim 10^{-5})$
复合土工膜		$10^{-11} \sim 10^{-15}$

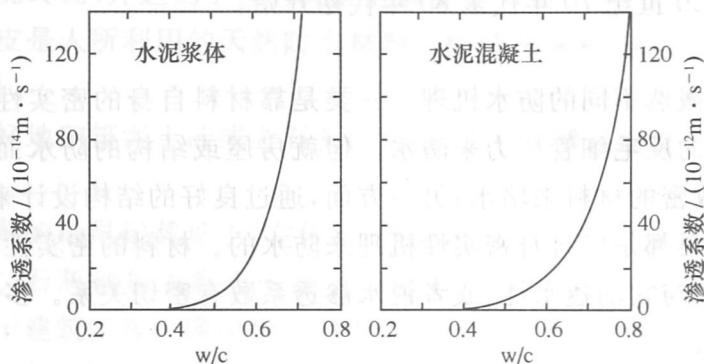


图 1-2 水灰比对水泥浆体和混凝土渗透性的影响

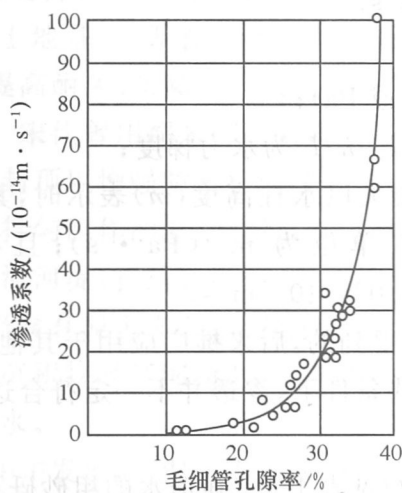


图 1-3 硬化水泥浆体的渗透系数与其毛细管孔隙率的关系

1.1.3 防水材料的分类

防水材料按机理可分为两类,其中以自身密实性起防水作用的材料使用量多面广,这里主要讨论该材料的分类。这类材料品种繁多,往往在同一工程中兼用多种防水材料,很难用严格的标准对他们进行分类。常见的分类方法有如下几种:一是把防水材料分成刚性和柔性两类,刚性防水材料主要是防水砂浆和防水混凝土,柔性防水材料指以高分子材料为基料的各种防水卷材、涂料和密封材料;二是按防水材料的防水性和价格,粗略地将其分为高、中、低三档;三是按化学成分分为无机类、有机类和复合类;四是按功能分成屋面防水材料、地下沟槽防水材料等。还有的按防水体系进行分类,有的按防水工程分类,如日本的建筑防水工程分为卷材防水工程、不锈钢片材防水工程、硅酸盐涂布防水工程和密封工程四类。我们为了讨论方便,根据比较通常的习惯(即按照防水材料的外观形态和使用功能)将防水材料分为以下几类:

1. 防水卷材(Waterproofing sheets or membranes):这是用量最大的一类防水材料,主要有沥青类、橡胶及弹性体类或称聚合物或高分子类防水卷材。在我国,沥青防水卷材仍是主要的屋面防水材料,比水泥瓦和石棉瓦轻;比聚合物材料价格便宜;其使用寿命一般可达 15 年。但据调查,石油沥青油毡屋面的使用寿命正在逐年缩短,20 世纪 50 年代竣工的工程使用寿命达 16 年,20 世纪 60 年代的为 7~9 年,20 世纪 70 年代的更短。因此,改性沥青卷材和高分子卷材的用量呈不断增长的趋势。

2. 防水涂料:防水涂料一般是以高分子合成材料为主体,在常温下呈无定型液态,经涂布后能在结构物表面结成坚硬防水膜的材料总称。主要特点是液体成膜,不受基材形状的限制,因而适用于防水的维修、异形屋面的防水及小面积复杂部位,如管道、下水道较多的厨房、

卫生间的防水,它也是防水卷材的重要补充。

3. 防水密封材料:密封材料是阻塞介质透过渗漏通道起密封作用材料的总称。建筑防水密封材料是指被填于建筑物的接缝、门窗框四周、玻璃镶嵌部位及建筑裂缝等处,能起到水密、气密性作用的材料。根据材料的形态分不定型密封材料和定型密封材料两类。前者主要指膏状材料如腻子、各类缝隙密封胶、胶泥等。后者是指具有各种异形截面形状的弹性固体材料,如橡胶止水带、密封条等。

4. 防水胶黏剂:它是防水材料的主要配套材料,用于粘接防水卷材,填充基层的微裂缝,填平粗糙的表面,使卷材与基层粘贴密实。它不仅具有较大的粘接强度,还应具有较好的耐水性和水密性。

5. 堵漏材料:这是一类能对工程中出现的渗漏水通道进行封堵的材料,包括抹面堵漏材料和灌浆材料。

6. 灌浆材料:这是为了防止基础渗漏、改善裂隙岩体的物理力学性质,增加建筑物和构筑物地基的整体稳定性,提高其抗渗性、强度和耐久性,通过压力向土体中灌入的材料。无机灌浆防水材料主要有水玻璃类、水泥类;有机灌浆材料主要有环氧树脂类灌浆材料、甲基丙烯酸甲酯类灌浆材料(甲凝灌浆材料)、丙烯酰胺类灌浆材料(丙凝灌浆材料)、聚氨酯类灌浆材料(氰凝灌浆材料)等。

7. 防水混凝土和防水砂浆:通过调整配合比或加入少量外加剂(防水剂)、聚合物等材料,抑制或减少孔隙率,改变孔隙特征,增加各原材料界面间的密实性等方法配制成的具有一定抗渗能力的水泥砂浆、混凝土类防水材料。对这类防水材料,要求其在使用条件(应力和环境)下不会产生裂缝。在结构或基层受力变形导致开裂的情况下,其防水功能即失效了。所以,防水混凝土和防水砂浆这类刚性防水材料通常要和具有一定变形能力的柔性防水材料配合使用。

此外,再介绍一下其他分类方法。例如,按照已有的美国和加拿大标准规范,可以把防水材料分成3大类:冷施工液体(cold liquid-applied)防水材料、热施工液体(hot liquid-applied)防水材料和单层(single ply)防水材料;并把还没有标准规范的材料列为其他类,如钠基蒙脱土(Sodium bentonite)防水材料。

1.2 防水材料的基本成分

刚性防水材料(防水砂浆和防水混凝土)的基本成分水泥、砂石和防水剂,将在后面介绍。柔性防水材料的基本成分是有有机化合物,主要有沥青和聚合物(橡胶、塑料)及相应的辅助材料。本节先对沥青和聚合物的基本性能进行简要介绍,而具体聚合物的性能将在相应章节内讨论。

1.2.1 沥青

沥青是人类较早利用的防水材料。包括石油沥青、煤沥青和煤焦油。长期以来,沥青是防水材料的主要原料。以沥青为原料制造的防水材料仍是用量最多的防水材料之一,如沥青防水卷材(或称沥青油毡)、沥青溶液(冷底子油)、乳化沥青、沥青胶(沥青玛蹄脂, asphalt mastic^①)、沥青砂浆和混凝土、沥青防水涂料、沥青油膏、沥青麻止水填料等。沥青防水材料具有

^①asphalt mastic 或者写成 mastic asphalt,意思是很好的沥青。本书称沥青玛蹄脂。文献上“蹄”用王字边旁加帝王的帝字,这个字在多种中文输入法中都找不到。“蹄”字读音 dì,意思是“腹部肥”,“玛”字来自“玛瑙”。因此,用“玛蹄”来表示 mastic asphalt,意思还是比较贴切的。

良好的憎水性、粘结性和塑性(延性),能耐酸、碱、盐的腐蚀,抗冲击性能较好,价格便宜,因此得到最广泛的应用。沥青防水材料的缺点是大气稳定性和温度稳定性差,冬天易龟裂,夏天易流淌,强度偏低。

沥青是一种主要由烃类和非烃类有机化合物组成的复杂混合物。在常温下呈固体、半固体或液体形态,颜色呈辉亮褐色以至黑色,不溶于水,能溶于二硫化碳、四氯化碳、苯及其他有机溶剂中。具有良好的粘结性、塑性、不透水性及耐化学腐蚀性。其组成和性能依来源不同而不同。

1.2.1.1 沥青的分类

一般按沥青的来源进行分类,如图 1-4 所示。

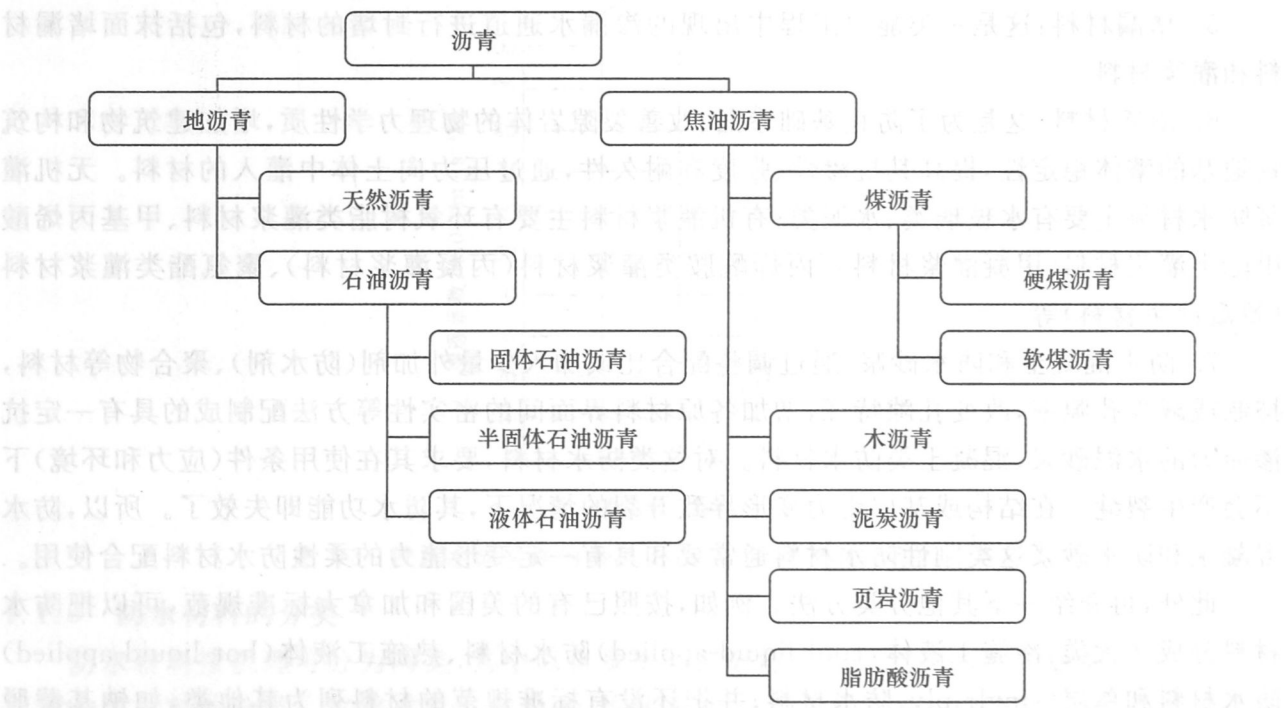


图 1-4 沥青的分类

天然沥青是由地下原油通过岩石隙绕流到地上,或浸入岩石之中,经过光照、空气的作用,轻馏分逐渐挥发掉,重馏分产生氧化、聚合作用以后而形成沥青材料。在自然界主要是以沥青湖、沥青脉的形式存在,或浸泡在岩石、土壤之中。天然沥青就是由这些沥青矿提炼制得的。

石油沥青是原油经过提炼后剩余的残渣再经过加工而制得的一种物质。显然,石油沥青与天然沥青的差别是轻馏分离的过程不同,石油沥青是原油经过人工分离轻馏分所得残渣,天然沥青是经过自然分离轻馏分所得残渣。因此,石油沥青性质与天然沥青是相近的。

焦油沥青是由各种有机物(如:煤、泥炭、木材……)经干馏加工得到的焦油,再经加工而制成的沥青类物质。例如:煤经高温干馏时排出的挥发性物质,经冷却而得到的黏稠物质,称为煤焦油。煤焦油经蒸馏加工而制得的残留物,称为煤焦油沥青,简称煤沥青;木材经干馏得到木焦油,木焦油蒸馏后的沥青类物质,称为木沥青。

页岩沥青是油页岩提炼石油后的页岩残渣经脱酸、蒸馏而制得的沥青类物质。因页岩沥青的制取方法与煤焦油沥青相似,故划为焦油沥青类。

在蒸馏高沸点有机物时,被分解作用或经树脂化作用而生成的脂肪酸沥青,也属于焦油沥青类。

焦油沥青俗称柏油,为黏稠的液体或固体,黑色而有光泽,且有臭味。熔化时易燃烧并有毒,与石油沥青相比,粘结性、抗水性和温度稳定性都比较差,但防腐性能好。

1.2.1.2 沥青的主要技术性能

1. 防水性

沥青是憎水性材料,不溶于水。本身构造致密,能紧密粘附于洁净的矿物材料表面,同时,还有很好的形变能力,能适应材料或构件的变形,所以具有良好的防水性。

2. 稠度

稠度也称黏滞性或黏性,系沥青软硬、稀稠程度的一种量度,反映的是沥青材料内部阻碍其相对流动的一种特性,即黏度或称绝对黏度,单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

绝对黏度的测定方法因材料的黏度大小而异,且较为复杂,工程中常用相对黏度(标准黏度和针入度)来表示沥青的黏性。

标准黏度用标准黏度计来测定,是在规定温度(20°C , 25°C , 30°C 或 60°C)和规定直径(3mm , 5mm 或 10mm)的孔口流出 50cm^3 沥青所需的时间秒数。主要用于较稀的石油沥青和液体石油沥青。

针入度用针入度仪来测定,是在规定温度(25°C)条件下,以规定质量(100g)的标准针,经历规定时间(5s)贯入试件中的深度,以 $1/10\text{mm}$ 为单位表示。针入度反映沥青抵抗剪切变形的能力。针入度越小,表示黏度越大。

3. 塑性

指沥青在外力作用时产生变形而不破坏,除去外力后,仍保持变形后形状的性质。沥青的塑性用延度(伸长度)表示,延度是把沥青制成 8 字形标准试件,在规定温度(25°C)的水中和规定速度($5 \pm 0.2\text{cm/min}$)下拉伸,其断裂时的延伸长度(cm)。

4. 温度敏感性

温度敏感性亦称温度稳定性或耐热性,用软化点来表示。软化点是沥青从固态变为具有一定流动性液态时的温度。由于沥青是非晶态的复杂混合物,没有固定的熔点,从固态到液态有一个转变范围,因此要规定软化点的测定方法。一般用环球法测定沥青的软化点,将沥青试件装进规定尺寸(直径约 16mm ,高 6mm)的钢环内,试件上放置一标准钢球(直径 9.5mm ,重 3.5g),浸入水或甘油中,以规定的升温速度(5°C/min)加热,使沥青软化,沥青连同钢球下垂到规定距离(25.4mm)时的温度即为软化点,以摄氏度($^{\circ}\text{C}$)单位表示。

5. 大气稳定性

指沥青抵抗老化的性能。在自然气候(阳光、空气和热)的作用下,沥青的化学组成和性能都会发生变化,低分子物质将蒸发或逐渐转变成高分子物质,流动性和塑性逐渐减小,硬脆性逐渐增大,直至脆裂,这个过程称为沥青的老化。大气稳定性常以蒸发损失和蒸发后针入度比来评定。测定方法是先测定沥青试件的质量和针入度,然后将试件置于加热损失实验专用烘箱中,在 $163^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 下蒸发 5h ,待冷却后再测定其质量及针入度。计算蒸发损失占原质量的百分数称为蒸发损失。计算蒸发后针入度占原针入度的百分数,称为蒸发后针入度比。蒸发损失愈小,蒸发后针入比愈大,表示大气稳定性愈高,老化愈慢。

6. 溶解度

溶解度是指沥青在三氯乙烯、四氯化碳或苯中溶解的百分率,以表示沥青中有效物质的含量,即纯净程度。那些不溶解的物质会降低沥青的性能。

7. 闪点和燃点

闪点是沥青在加热时液面上挥发出的可燃气体和空气混合物在规定条件下与火焰接触，初次闪火(有蓝色闪光)时的沥青温度(℃)。闪点是保证安全施工的温度控制指标，闪点越低，表明沥青引起火灾或爆炸的可能性越大。施工时，沥青的加热温度必须低于闪点。

燃点是继续加热沥青，产生的气体和空气的混合物与火焰接触能持续燃烧 5s 以上时的沥青温度(℃)。燃点温度比闪点约高 10℃。

例如：建筑石油沥青的闪点约为 230℃，在熬制时一般将温度控制在 185℃～200℃，为安全起见，沥青还应与火焰隔离。

我国建筑石油沥青技术要求的国家标准是《建筑石油沥青》(GB/T 494—2010)，见表 1-2。为了便于说明问题，把美国 ASTM D 312—00(Reapproved 2006)的技术指标要求列于表 1-3。在区别不同牌号的沥青方面，两国标准的延度和软化点都能完全区分各种牌号。两国标准最大的差别在针入度指标，我国标准按照 25℃ 针入度，可以把 10 号、30 号和 40 号沥青完全分开，但美国标准的 4 种牌号的屋面沥青，其针入度都可以交叉。进一步对比两个标准的延度指标，可以发现，美国标准的延度要求比我国标准略微大一点，例如：软化点为 70℃～80℃的 Type II，延度不小于 3cm；我国标准的 30 号沥青，软化点不低于 75℃，延度要求不小于 2.5cm。也就是说，在软化点相同的条件下，美国标准允许较宽的针入度范围，但要求有较大的延度，即针入度可以小一些，但延度不能小。如前所述，针入度是黏稠度的一种表征，延度是塑性变形能力的一种表征。也就是美国标准要求沥青黏度可以大一点，但变形能力也大一点。读者可以结合下一节石油沥青的组成，进一步分析两国沥青的差别。

表 1-2 建筑石油沥青 (GB/T 494—2010)

项目		质量指标			实验方法
		10 号	30 号	40 号	
针入度 (25℃, 100g, 5s)/(1/10mm)		10~25	26~35	36~50	GB/T 4509
针入度 (46℃, 100g, 5s)/(1/10mm)		报告 ^①	报告 ^①	报告 ^①	
针入度 (0℃, 200g, 5s)/(1/10mm)	不小于	3	6	6	
延度 (25℃, 5cm/min)/cm	不小于	1.5	2.5	3.5	GB/T 4508
软化点 (环球法)/℃	不低于	95	75	60	GB/T 4507
溶解度 (三氯乙烯)/%	不小于	99.0			GB/T 11148
蒸发后质量变化 (163℃, 5h)/%	不大于	1			GB/T 11964
蒸发后 25℃ 针入度比 ^② /%	不小于	65			GB/T 4509
闪点 (开口杯法)/℃	不低于	260			GB/T 267

① 报告应为实测值。
② 测定蒸发损失后样品的 25℃ 针入度与原 25℃ 针入度之比乘以 100 后，所得的百分比，称为蒸发后针入度比。

表 1-3 美国屋面沥青的物理要求[ASTM D 312—00(Reapproved 2006)]

性能	Type I		Type II		Type III		Type IV	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
软化点/℃	57	66	70	80	85	96	99	107
闪点/℃	260	—	260	—	260	—	260	—
针入度/(1/10mm)								
at 0℃	3	—	6	—	6	—	6	—
at 25℃	18	60	18	40	15	35	12	25
at 46℃	90	180	—	100	—	90	—	75
延度(25℃)/cm	10	—	3	—	2.5	—	1.5	—
溶解度(三氯乙烯)/%	99	—	99	—	99	—	99	—

1.2.1.3 石油沥青

1. 石油沥青的组成

石油沥青是由许多分子量较高的碳氢化合物及其非金属(主要为氧、硫、氢等)衍生物组成的复杂混合物。含有的主要元素有 C、H、O、S、N 及某些微量金属元素,其中 C 和 H 占 90%~95%以上。沥青的化学组成复杂,对组成进行分析很困难,因此一般不作沥青的化学分析,只从使用角度将沥青中化学成分及性质极为接近、并且与物理力学性质有一定关系的成分划分为若干个组,称为组分。

石油沥青的化学组分划分方法很多,有近百种的“组分”分析方法。其中,“三组分法”和“四组分法”应用最多。这两种分析方法都是以沥青在吸附剂上的吸附性和在抽提溶剂中溶解性的差异为基础的分析方法,可以称为吸附法。例如:先用低分子烷烃沉淀出沥青质,再用吸附剂(活化硅胶、白土、氧化铝等)吸附可溶分,将其分成吸附部分(胶质)和未被吸附部分(油分),这样,可将沥青分成可溶分油分、胶质和沥青质三个组分。当使用不同抽提溶剂分离未吸附部分时,可以将未吸附部分区分为饱和分和芳香分,从而将沥青分成四组分。

在我国应用最多的为“四组分法”(参见 NB/SH/T 0509—2010 石油沥青四组分测定法),将沥青分为饱和分(Saturates)、芳香分(Aromatics)、胶质(Resin)和沥青质(Asphaltene),取其英文词的首字母组成 SARA,所以四组分法也称 SARA 法。其方法概要为:将试件用正庚烷沉淀出沥青质,过滤后,用正庚烷回流除去沉淀中夹杂的可溶分,再用甲苯回流溶解沉淀,得到沥青质。将脱沥青质部分吸附于氧化铝色谱柱上,依次用正庚烷(或石油醚)、甲苯、甲苯-乙醇展开洗出,对应得到饱和分、芳香分、胶质。直馏石油沥青四组分的一般性状见表 1-4。

表 1-4 直馏石油沥青四组分的一般性状

组分	含量(质量分数)/%	外观	相对分子质量	H/C 原子比	芳香度
饱和分	5~25	无色液体或半固体	300~1000,平均 500	1.8~2.0	0
芳香分	20~50	黄红色黏稠液体	500~2000,平均 800	1.5~1.7	0.20~0.30
胶质	30~60	棕褐色黏性半固体	800~3000	1.2~1.5	0.30~0.40
沥青质	0~20	褐色脆性粉末状固体	1000~10000	~1.0	>0.4

各组分含量多寡与沥青的技术性质有直接关系。沥青中各组分及主要特性如下。

(1) 油分。油分包括饱和分和芳香分,为淡黄色至红褐色的油状液体,是沥青中分子量最小和密度最小的组分,分子量约为 370~710,密度介于 $0.7\sim 1\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。在 170°C 较长时间加热,油分可以挥发。油分能溶于石油醚、二硫化碳、三氯甲烷、苯、四氯化碳和丙酮等有机溶剂中,但不溶于酒精。油分赋予沥青以流动性,在沥青中含量为 45%~60%,其含量高时,沥青软化点低。油分中芳香分与饱和分的比值对沥青的结构有很大影响。这是因为芳香分对许多高分子烃和非烃类有很强的溶解能力。

(2) 胶质(树脂、沥青脂胶)。为黄色至黑褐色黏稠状物质(半固体),分子量比油分大,密度为 $1.0\sim 1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 。胶质中绝大部分为中性树脂,还有少量酸性树脂。中性树脂难溶于酒精和丙酮,而溶于三氯甲烷、苯和汽油,赋予沥青良好的粘结性、塑性和可流动性。酸性树脂即地沥青酸和地沥青酸酐,颜色较中性树脂深,是油分氧化后的产物,具有酸性,易溶于酒精、氯仿而难溶于石油醚和苯。酸性树脂能为碱皂化,是沥青中的表面活性物质,改善了石油沥青对矿物材料的浸润性特别是提高了对碳酸盐类岩石的粘附性粘附性,并有利于石油沥青的乳化。胶质对沥青的延度和粘结能力影响显著。

(3) 沥青质。为深褐色至黑色固态无定形物质,分子量比胶质更大,密度大于 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。不溶于酒精或乙醇、石油醚,但溶于氯仿和二硫化碳,染色力强,对光的敏感性高,感光后不能溶解。沥青质是决定石油沥青温度敏感性、黏性的重要组成部分。其含量愈多,则沥青的软化点愈高,黏性愈大,性愈硬脆。

此外,还可以提一下沥青中的蜡、碳和碳化物。

石油沥青中的蜡存在于石油沥青的油分中。油和蜡都是烷烃,它们的区别在于物理状态不同。一般讲,油是液态烷烃,蜡为固态烷烃,是呈片状、带状或针状的晶体。蜡的化合物主要以正构烷烃和熔点与正构烷烃接近的长烷基侧链的少环烃类为主。蜡会降低石油沥青的黏性和塑性,同时,对温度特别敏感,即温度稳定性差。所以蜡是石油沥青的有害成分。采用氯盐(如 AlCl_3 、 FeCl_3 、 ZnCl_2 等)处理法,高温吹氧法,减压蒸馏法和溶剂脱蜡法等处理多蜡石油沥青,其性质可以得到改善。

碳和碳化物为无定形的黑色固体粉末,是在高温裂化、过度加热或深度氧化过程中脱氢而生成的,是石油沥青中分子量最大的组分。它降低了石油沥青的粘结力。在沥青中含量为 2%~3%。

2. 石油沥青的胶体结构

石油沥青的结构是以沥青质为核心(胶胞),周围吸附部分树脂和油分构成胶团,无数胶团分散在油分中而形成的胶体结构。在这个分散体系中,分散相为吸附部分树脂的沥青质,分散介质为溶有树脂的油分。在胶体结构中,从沥青质到油分是均匀递变的,并无明显界面。

根据胶胞和胶团粒子大小和数量以及在连续相中的分散状态,沥青的胶体结构可以分为溶胶型(sol)、凝胶型(gel)和溶-凝胶型(sol-gel)。

石油沥青的胶体结构和性质随各组分的数量不同而变化。当油分和树脂较多时,胶团外膜较厚,胶团之间相对运动较自由,这种胶体结构的石油沥青称为溶胶型石油沥青。其特点是流动性好和塑性较好,开裂后自行愈合能力较强,但对温度的稳定性差,温度过高会流淌。当油分和树脂含量较少时,胶团外膜较薄,胶团靠近聚集,相对吸引力增大,胶团间相互移动比较困难,这种胶体结构的沥青称为凝胶型石油沥青。其特点是弹性和黏性较高,温度敏感性较小(即对温度的稳定性较好),但开裂后自行愈合能力较差,流动性和塑性较低。在溶胶型和凝胶

型之间的结构称为溶-凝胶型结构,其组分含量和性质也介于溶胶型和凝胶型之间。

对于建筑防水沥青希望使用凝胶型沥青,这种沥青具有良好的高温抗流淌、低温抗裂的性能。

此外,也有人认为石油沥青是一种高分子溶液。分散相(地沥青质,相当于前述沥青质)与分散介质(地沥青脂,相当于前述树脂和油分)具有很强的亲和力,在每个地沥青质分子的表面上紧紧地保持着一层沥青脂的溶剂分子,形成高分子溶液。石油沥青高分子溶液对电解质具有较大的稳定性,即加入电解质不能破坏高分子溶液。较浓的高分子溶液,地沥青质含量多,相当于前面所讲的凝胶型石油沥青;较稀的高分子溶液,地沥青质含量少,地沥青脂含量多,相当于溶胶型石油沥青;浓度居中者相当于溶-凝胶型石油沥青。

3. 石油沥青的分类及选用

可以有多种方法对石油沥青加以分类。

按生产方法分为:直馏沥青、溶剂脱油沥青、氧化沥青、调合沥青、乳化沥青、改性沥青等。

按外观形态分为:液体沥青、固体沥青、稀释液、乳化液、改性体等。

按用途分为:道路沥青、建筑沥青、防水防潮沥青、以用途或功能命名的各种专用沥青等。

石油沥青的组分和性能与原油的成分和性能有关,所以,有按原油的成分或产地对石油沥青进行分类的方法。按原油的成分,石油沥青可分为石蜡基沥青、沥青基沥青和混合基沥青。石蜡基沥青由含大量的石蜡基原油提炼制得,沥青中的含蜡量一般大于5%。沥青基沥青系以沥青基石油提炼而制得,该类沥青含较多的脂环烃,含蜡质较少,一般小于2%,性能好,亦称无蜡沥青,广东茂名沥青即属此类。混合基沥青系以蜡质介于石蜡基和沥青基石油之间的原油提炼而制得,其含蜡2%~5%,玉门沥青,兰州沥青均属此类。此外,也有按石油沥青的生产方法进行分类的,分成残留沥青、蒸馏沥青、氧化沥青、裂化沥青、酸洗沥青等。除残留沥青为石油直馏后的残渣外,其余均是将残渣再进行加工而制得的沥青。

多数国家按用途对石油沥青进行分类,根据使用场合制订出不同品种和牌号,由此制订出不同品种牌号的质量规格要求和实验方法标准,以此规范产品的品质。用户按规格标准检验和选用所需的产品。按我国标准,石油沥青可以分成道路石油沥青、建筑沥青等20多种产品(NBSHT 0652—2010 石油沥青专业名词术语)。许多沥青都按针入度指标划分为若干牌号,牌号越高,针入度越大,而黏性越小,延伸度越大,软化点越低。

制造防水材料主要使用建筑石油沥青。在制造密封材料、粘结剂以及沥青涂料时也选用黏性较大和软化点较高的道路石油沥青。

选用沥青还要根据工程环境和要求而定。一般屋面用沥青材料的软化点应比本地区屋面最高温度高20℃以上,以避免夏季流淌。但也不宜过高,若软化点过高时,沥青延伸度小,冬季低温时易发硬变脆甚至开裂。

单一牌号的沥青往往不能满足工程技术要求,此时,可用不同牌号沥青进行调和。调和时,为使调和后的沥青胶体结构不被破坏,应选用表面张力相近且化学性质相似的沥青。同产源(同属石油沥青或同属煤沥青)的沥青掺配,容易保证掺配后沥青胶体结构的均匀性。

调合沥青的配制方法很多,主要有黏度曲线法、软化点计算法、针入度计算法和组分调配法等。在建筑防水材料中,以软化点计算法应用较多。用软化点计算法调和两种沥青的比例,可用式(1-2)进行计算:

$$B_g = \frac{T_R - T_{R1}}{T_{R2} - T_{R1}} \times 100\% \quad (1-2)$$