

第 1 章

绪 论

人类的日常生活、工作、出行、娱乐以及各项社会活动都离不开建筑物或结构物。这些建筑物或结构物，与国民经济建设、工农业生产、国防及人们的日常生活息息相关，统称为社会基础设施。用于建造这些基础设施的所有材料称为建筑材料。建筑材料的性能和质量决定了施工水平、结构形式和建筑物的性能。随着科学技术的进步，我国建筑水平提高很快，建筑造型、结构、功能、装饰装修水平都明显改观，对建筑材料的要求越来越高，仅靠过去的传统材料已不能满足现代建筑的要求，发展多功能和高效的新型建筑材料及制品才能适应社会进步的要求。

在人类掌握了相当高水平科学技术的现代社会，人类的生产活动和营造自身生存环境的土木建筑活动已经显示出对自然环境的巨大支配力。大量建造的社会基础设施对人类生存环境发挥着巨大的积极作用，同时，也已经带来了不容忽视的消极作用，即大量地消耗地球的资源 and 能源，在相当程度上污染了自然环境和破坏了生态平衡。特别是传统建材工业的发展是以资源、能源的大量消耗和环境的严重破坏为代价的。因此，建筑材料与人居环境的质量，与土木建筑活动和社会的可持续发展密切相关。开发并使用性能优良、节省能耗的新型建筑材料，是人类合理地解决生存与发展、实现‘与自然协调、与环境共生’的一个重要方面。

我国党和政府一直大力提倡发展新型建筑材料。中共十四届五中全会《关

于制定国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标的建议》中指出要“大力开发新型建材及制品”。2000 年 10 月 11 日国家经贸委、国家计委发布的《关于发展新型建材的若干意见》指出：“发展新型建材 大力开发和推广应用新技术、新品种 带动行业整体素质的提高 是从根本上调整建材行业结构、推动产业升级，改善和提高人民居住条件和生活质量，实施可持续发展战略，促进建材和建筑业现代化的重要措施。”

1.1 新型建筑材料定义

新型建筑材料是在传统建筑材料基础上产生的新一代建筑材料。传统建筑材料主要包括烧土制品（砖、瓦、玻璃类）、砂石、灰、石灰、石膏、菱苦土、水泥、混凝土、钢材、木材和沥青七大类。新型建筑材料主要包括新型墙体材料、保温隔热材料、防水密封材料和装饰装修材料。

“新型建筑材料”的英文为 *New Building Materials* 在国外是一个泛指的名词，意思是新的建筑材料。这个名词出现于我国改革开放之初，在我国属于一个专业名词，界定“新型建筑材料”所包含的内容是一个比较复杂的问题。有专家经多方讨论拟定为除传统的砖、瓦、灰、砂、石外，其品种和功能处于增加、更新、完善状态的建筑材料。这就是说把“新型”的概念规范为既不是传统材料，也不是在花色品种和性能方面大致已经处于很少变化的材料。因此，以下均可作为新型建筑材料的定义：

新型建筑材料实际上就是新品种的房建材料，既包括新出现的原料和制品，也包括原有材料的新制品。

新型建筑材料一般指在建筑工程实践中已有成功应用并且代表建筑材料发展方向的建筑材料。

新型建筑材料是指最近发展或正在发展中的有特殊功能和效用的一类建筑材料，它具有传统建筑材料从来没有或无法比拟的功能，具有比已使用的传统建筑材料更优异的性能。

凡具有轻质高强和多功能的建筑材料，均属新型建筑材料。即使是传统建筑材料，为满足某种建筑功能需要而再复合或组合所制成的材料，也属新型建筑材料。

2001 年上海推出了新型建材认定的基本条件和认定的品种目录。新型建材认定的基本条件包括：非黏土作原料的产品；产品的能耗指标和性能达到目前国内同类产品的领先水平；产品的生产和施工达到我国及上海市的环保要求；利用工业废弃物、城市废弃物比率达到目前上海同类产品领先水平，产品质量达到

国家、行业或地方有关标准 产品已有国家、行业或上海地方标准的 产品内控质量标准达到国内领先水平,生产规模在国内同行业中较大的;产品未有国家、行业或上海地方标准的,其产品企业标准应达到国际同类产品的先进水平,使用寿命长于国内先进水平。新型建材认定品种目录包括:墙体材料,管道工程材料,建筑涂料 建筑门窗 防水材料 道路工程材料 桥隧和混凝土基础及结构工程材料,综合利用建筑材料和其他节能节水材料。

1.2 新型建筑材料分类

新型建材品种繁多,形成一套具有共识的分类原则对新型建材的发展非常必要 这不仅仅是编制规范、计划所必需 对统一市场语言、规范产品命名、方便使用、防止误导误用也很重要。由于新型建筑材料本身一直处于不断更新发展状态的材料 因此 它的分类和命名还较混乱。

(1)按用途分类

中国新型建材(集团)公司和中国建材工业技术经济研究会新型建材专业委员会编著的《新型建筑材料实用手册》(第二版)是采用“用途分类”的原则 把建材分为十六类 墙体材料 屋面和楼板构件 混凝土外加剂 建筑防水材料 建筑密封材料 绝热、吸声材料 墙面装饰材料 顶棚装饰材料 地面装饰材料 卫生洁具 门窗、玻璃及配件 给排水管道、工业管道及其配件 胶结剂 灯饰和灯具 其他。

(2)按建筑各部位使用建筑材料的状况来分类

即除水泥、玻璃、钢材、木材这基本建设的四大主要原材料及传统的砖瓦灰砂石外,在 12 个建筑部位上所需要的品种花色日新月异的建筑材料,不论其原料属于哪个工业部门 其制品均可列为“新型建筑材料”。分为 外墙材料 包括承重或非承重的单一外墙材料和复合外墙材料。屋面材料:包括坡屋面材料和平屋面材料。保温隔热材料:包括无机类保温材料、有机类保温材料和无机有机复合类材料。防水密封材料 包括沥青防水卷材、高分子防水卷材、防水涂料、建筑密封材料和防水止漏材料。外门窗:包括分户门、阳台门、外窗、坡屋面窗等。外墙装饰材料 包括外墙涂料、装饰面材(如石材、陶瓷、玻璃、塑料、金属等装饰材料)。内墙隔断与壁柜:如分户隔墙、固定隔断与壁柜等。内门:包括卧室门、居室门、储藏室门、厨卫房门等。室内装饰材料 包括内墙涂料、壁纸、壁布、地面装饰材料、吊顶装饰材料、装饰线材等。卫生设备 如卫生洁具、卫生间附件、水暖五金配件等。门锁及其他建筑五金。其他:如管道、室外铺地材料等。

(3)按原材料来源分类

《新型建材跨世纪发展与应用》一书中则将新型建筑材料按原材料来源分为

四类 以基本建设的主要材料水泥、玻璃、钢材、木材为原料的新产品 如各种新型水泥制品、新型玻璃制品等。以传统的砖瓦灰砂石为原料推出的新品种，如各种加气混凝土制品、各种砌块等，这些新的产品也是新型建筑材料。以无机非金属材料为原料生产的各种制品，如各种玻璃钢制品、玻璃纤维制品等。采用各种新的原材料制作的建筑制品，如铝合金门窗、各种化学建材产品、各种保温隔热材料制品、各种防水材料制品等均属新型建筑材料。

1.3 新型建筑材料的特点

新型建材及制品工业是建立在技术进步、保护环境和资源综合利用基础上的新兴产业。新型建材产品在生产过程中，能源和物质投入、废物和污染物的排放与传统建筑材料相比都应该减少到最低程度，制造过程中副产物能重新利用，产品不污染环境，并可回收利用。可以说新型建筑材料是可持续发展的建筑材料产业，其发展对节约能源、保护耕地、减轻环境污染和缓解交通运输压力应具有十分积极的作用。

随着我国墙体材料革新和建筑节能力度的逐步加大，建筑保温、防水、装饰装修标准的提高及居住条件的改善，对新型建材的需求不仅仅是数量的增加，更重要的是质量的提高，即产品质量与档次的提高及产品的更新换代。随着人们生活水平和文化素质的提高，自我保护意识的增强，人们对材料功能的要求日益提高 要求材料不但要有良好的使用功能 还要求材料无毒、对人体健康无害、对环境不会产生不良影响，即新型建筑材料应是所谓的“生态建材”或“绿色建材”。

因此，新型建筑材料的特点可以归纳为：技术含量高，功能多样化；生产与使用节能、节地，综合利用废弃资源，有利于生态环境保护；适应先进施工技术，改善建筑功能 降低成本 具有巨大市场潜力和良好发展前景。

从新型建筑材料的特点可以看出，发展新型建材应遵循的原则：以市场为导向，以提高经济效益为中心，以满足建筑业的发展需求为重点，努力将新型建材培育成建材行业新的经济增长点。坚持节能、节土、节水，充分利用各种废弃物，保护生态环境，贯彻可持续发展战略。依靠科技进步和技术创新，努力发展科技含量高、附加值高的新产品，推进企业技术装备水平的提高和产品结构的升级，实现良性滚动发展。坚持因地制宜的方针，引导和支持各地发展适合当地资源条件、建筑体系和建筑功能要求的新型建材，做到生产和推广应用一体化。注重开发系列化、功能多样化的产品，提高新型建材整体配套水平。鼓励利用荒山、荒坡黏土资源 江河清淤、疏浚的淤泥生产黏土质墙体材料。

1.4 发展新型建筑材料的必要性

(1) 节约耕地，有利于农业的发展

实心黏土砖是我国沿用了 2000 多年的传统建筑材料，所用原料主要是黏土。近十几年来，大量城乡房屋的建设，使实心黏土砖产量在高速增长，已从 1978 年的 1100 亿块增加到 1997 年的 5492 亿块。每年烧砖耗土约近 20 亿 t，其中毁田取土 12 万亩。砖瓦企业 11 万个，占地 500 万亩。

新型墙体材料除个别外基本不用或较少用黏土作原料。要利用新型墙体材料逐步代替实心黏土砖，以保护耕地和农业的持续发展。

(2) 节约能源，促进国民经济的发展

建材工业是仅次于电力、冶金行业的耗能大户，占全国能耗的 9%，全国工业能耗的 13%，万元产值能耗近 5t 标煤。仅实心黏土砖的生产能耗就达 7000 万 t 标煤/a。如果再加上建筑采暖、降温能耗约 1.2 亿 t 标煤/a，二者合计约占国内年能源消耗总量的 15% 以上。现阶段大量采用的钢、铝门窗，其单位生产能耗比塑钢门窗高 4 倍和 8 倍；给排水用的钢管和铸铁管其生产能耗分别比塑料管高 1 倍和 2 倍，输水能耗要高 1 倍以上。

新型建筑材料能节约建材生产能耗和房屋建筑使用能耗。据概算，到 2000 年时，若能实现 40% 的新型墙体材料代替实心黏土砖，可节约生产能耗 900 万 t 标煤/a。采用新型节能墙体材料与门窗来降低建筑使用能耗，可节约 6700 万 t 标煤/a。二项共可节约 7600 万 t 标煤/a。因此，限制实心黏土砖生产，大力发展新型节能建筑材料，对节能降耗有着极为重要的作用。

(3) 降低建材运输量，减轻运输的压力

建筑材料运输在货物总量和货物周转量中占有较大的比重。从建筑施工的角度来看，以黏土砖为墙体的房屋建筑运输重量大，目前，每平方米房屋建筑面积的重量，运输重量约为 1200 ~ 1300kg，其中黏土砖约占 2/3，即为 800kg 左右，而新型建筑材料建造的房屋其重量可减轻 50% 以上。按城乡年竣工 15 亿 m² 房屋建筑计算，可节约运输量 10 亿 t 以上。这大大减轻了运输的压力。

(4) 综合利用工业废渣，有利环境保护

国内工业废渣的堆存量在逐年增多，堆存废渣的占地面积也相应扩大，其中还占用了大量农田。工业废渣的处理好坏，对工农业的发展有着直接影响。发展新型建筑材料可以“吃”掉许多工业废渣，如粉煤灰、煤矸石、尾矿、炉渣、磷石膏、脱硫石膏都可作为新型墙体材料和保温材料的原料，生产加气混凝土制品、建筑砌块、石膏制品、矿棉制品和各种非黏土砖等。与此同时，还能节约耕地和

减少生产能耗。据计算,生产相当于 1000 亿块实心黏土砖的新型墙体材料,可消纳工业废渣 7000 万 t,节约耕地 3 万亩,节约生产能耗 300 万 t 标煤,同时还能减少废渣的堆存占地,减少治理废渣的费用。综合利用工业废渣发展新型建筑材料可以变废为宝,有利于环境保护。

(5) 促进建筑技术进步,推动建筑业现代化

在今后的房屋建造任务中,一些大跨度建筑、高层建筑、超高层建筑以及现代化高级公共建筑的比重将有所增大。在数量最大的住宅建筑中,对保温、隔热、隔声、防水、防火等建筑功能质量将有更高的要求。

建筑现代化和房屋建筑现代化有赖于建筑技术的进步,而建筑技术的进步与建筑材料有着密切关系,如房屋结构、建筑功能、施工工艺的进步很大程度上取决于建筑材料。因此积极发展具有较好性能的结构、墙体材料,保温隔热材料,防水密封材料和装饰、装修材料等,是促进建筑技术进步的重要条件之一。因而,大力发展各种新型建筑材料,有利于促进建筑技术的进步,推动建筑业现代化。

(6) 改善工作、学习、生活环境 适应人们生活水平的不断提高

随着城乡人们生活水平的提高,相应地开始追求优美、舒适的工作、学习、生活环境。城镇住宅建筑在继续扩大人均居住面积的同时,对逐步提高房屋标准也提出了要求。主要是改善房屋的使用功能和装饰、装修质量以及增加有关设施;城市居民迁入新居前,自己花钱装修住宅已很普遍。而这些都是要有相应的各种新型建筑材料予以满足。

1.5 国内外新型建筑材料发展状况与比较

我国新型建材工业是伴随着改革开放的不断深入而发展起来的,从 1979 年到 1998 年是我国新型建材发展的重要历史时期。经过 20 年的发展,我国新型建材工业基本完成了从无到有、从小到大的发展过程,在全国范围内形成了一个新兴的行业,成为建材工业中重要产品门类 and 新的经济增长点。

(1) 新型墙体材料

新型墙体材料经过自主开发和引进国外生产技术和设备,开始走上多品种发展的道路,已初步形成传统黏土砖比重不断下降、砌块与板材迅速增长的墙体材料产品结构新格局。新型墙体材料在墙体材料总量中的比例由 1987 年的 4.58% 上升到 1997 年的 25.2%。目前,砖依然是墙体材料的主导产品,且实心黏土砖、黏土空心砖产量仍很大,掺废渣的黏土砖、非黏土砖所占比例偏低。砌块在“八五”期间以年均 20% 的速度增长,轻质板材从 20 世纪 70 年代后期开始

获得了较快的发展,尤其纸面石膏板发展较快,具有高强、质轻、节能、防火、隔音、耐久等功能的复合轻质板也得到了发展。但代表墙体材料现代化水平的各种轻板、复合板所占比例还不到整个墙体材料总量的 1%,与工业发达国家相比,相对落后 40~50 年。国内新型墙体材料的产品质量从总体上讲还不能完全适应建筑业发展的需要,与工业发达国家相比有较大差距。墙体材料与建筑物相关的主要问题,如抗震、抗裂、保温隔热墙体构造、节点部位处理等方面研究尚不够深入,对生产、设计、施工缺乏理论指导,在一定程度上阻碍了新型墙体材料的推广应用。由于利废政策法规贯彻执行力度不力,可操作性不强,企业经济效益不好、积极性不高。

在工业发达国家,上世纪 50 年代已完成了从实心黏土砖向各种轻质、高效能、多功能的墙体材料的转变,形成了以新型墙体材料为主,常规墙体材料为辅的产品结构,实心黏土砖在发达国家所占墙体材料的比重一般不超过 5%。美国和日本建筑砌块已成为墙体材料的主要产品,分别占墙体材料总量比例的 34% 和 33%。欧洲国家中,混凝土砌块的用量占墙体材料的比例约在 10%~30% 之间。美国是纸面石膏板最大的生产国,目前的年产量已超过 20 亿平方米。日本自 20 世纪 60 年代以后形成大规模生产,目前的年产量为 6 亿平方米。国外的灰砂砖目前朝着空心化和大型化方向发展,德国是灰砂砖应用比较好和使用量较大的国家,年产量 55 亿块左右,灰砂砖占砌筑墙体材料总量的比例仅次于黏土砖(41%)达 32%。加气混凝土的性能进一步向轻质、高强、多功能方向发展。在原料方面,加大了对粉煤灰、炉渣、工业废石膏、废石英砂和高效发泡剂的利用。国外轻板的生产从原料处理、生产过程到成品包装基本或全部实现了机械化、自动化生产和计算机控制,并向规模大型化发展,因此,其成本低、劳动生产率高,如纸面石膏板生产线规模已发展到 5000 万 m^2/a ,甚至 8000 万 m^2/a ,线速度高达 120m/min。国内研制的 2000 万 m^2/a 石膏板生产线,线速度仅为 43m/min 左右。国内 GRC 平板生产线年产量一般为 20 万 m^2/a ,最高的也仅 50 万 m^2/a ,而德国的 Well-crete 法与 Topcrete 法制 GRC 板生产线的年产量则可达 300~350 万 m^2/a ,相当于国产线的 6~17 倍。

(2)保温隔热材料

1980 年以前,国内保温隔热材料的发展十分缓慢,进入 20 世纪 80 年代以后,才获得了较快的发展和比较广泛的应用,已发展成为品种比较齐全、初具规模的保温材料和技术体系。全国从事保温隔热材料的企业事业单位约 1500 家,年总产量约 80 万 t,其中矿岩棉约 20 万 t,玻璃棉约 4t,泡沫塑料约 5 万 t,膨胀珍珠岩约 600 万 m^3 (约合 45 万 t),其他材料 6 万 t。

在西欧、北欧、美国、日本,新建住宅一定要符合建筑保温的要求,旧楼房在

翻修过程中 屋顶、外墙、门窗要增加保温的功能。因此 西方发达国家保温材料的生产和应用量非常大,目前美国保温材料总产量已达 500~600 万 t,前苏联总产量已超过 300 万 t。国外保温隔热材料以矿 岩 棉、玻璃棉产品及泡沫塑料为主,美国、日本等国家矿棉、玻璃棉用量约占保温材料总产量的 80% 而我国保温材料目前仍以膨胀珍珠岩为主 矿 岩 棉、玻璃棉产量比例很低。

我国保温材料工业的生产工艺整体水平和管理水平需进一步提高,产品质量不够稳定,保温材料在建筑中的应用技术与开发多年来进展缓慢,严重地影响了保温材料工业的健康发展,在国外保温隔热材料的最大用户是建筑业,约占产量的 80% 而在我国建筑业市场尚未完全打开 其应用仅占产量的 10%。

(3) 新型防水、密封材料

我国建筑防水、密封材料在 20 世纪 50、60 年代基本上是纸胎油毡一统天下的局面。经 20 多年的努力,获得了较大发展,到目前为止已基本上发展成为门类较为齐全、产品规格档次多样、工艺装备开发已初具规模的防水材料工业体系。目前拥有包括沥青油毡(含改性沥青油毡)、合成高分子防水卷材、建筑防水涂料、密封材料、堵漏和刚性防水材料等五大类产品,建筑密封材料从品种上说已比较齐全。1997 年新型建筑防水材料产量约为 7670 万 m^2 市场占有率约为 19.17%,1998 年约为 27%。产品质量普遍偏低,假冒产品充斥市场,设计施工应用技术有待提高,建筑渗漏还相当严重。

工业发达国家在防水材料中,已大量使用聚酯胎油毡、玻璃纤维胎油毡,西欧的纸胎油毡 1994 年仅占 13%,2000 年下降到 10% 英国甚至已从国家标准中取消了纸胎油毡,并已发展成为改性沥青油毡和高分子防水卷材为主导产品的产品结构。意大利改性沥青油毡和高分子防水卷材的市场占有率已为 97% 法国为 93%~95% 英国为 80%~85% 德国为 86%~91% 美国为 88%~95%。

(4) 建筑装饰装修材料

我国建筑装饰装修材料的发展 虽然起步较晚 但起点较高,20 世纪 80 年代以来,国内自行研制开发了大量的新型建筑装饰装修材料,同时从国外引进了 2000 多项建筑装饰装修材料生产技术和装备,从而使国内建筑装饰装修材料的发展水平向国际先进水平靠近了一大步。建筑装饰装修材料花色品种已达 4000 多种,1996 年主要产品产量为 壁纸、墙布 2.1 亿 m^2 塑料地板 3600 万 m^2 建筑涂料 65 万 t 塑料管道 9 万 t 塑料门窗近 1000 万 m^2 化纤地毯 450 万 m^2 。目前三星级的宾馆装饰装修基本做到自己生产,四至五星级宾馆的装饰装修有 30%~40% 可以做到自给。与国外相比,我国生产企业规模偏小,产品质量不稳定 款色旧 档次低 配套性差 市场竞争能力弱 科研开发力量不足 产品更新换代能力弱 不能适应市场需求 产品结构不合理 中、低档产品比例大 高档材料

比重低，不能满足高档建筑装饰装修的需求。

国外主要发展建筑涂料、壁纸壁布、塑料管道、塑料门窗等。近年来无机高分子涂料受到各国重视，日本将其列为低公害产品加以发展，欧美国家也大力推广。新型高档涂料不断出现，如氟树脂涂料、自干型氟树脂涂料等。国外还相继出现了防水涂料、防潮涂料、杀虫涂料、高亮度光涂料、防海水侵蚀等功能性涂料。壁纸壁布发展方向主要是增加花色品种和改善性能，抗污染性、颜色的稳定性、可剥离性、抗霉菌性等越来越受到重视。塑料管道在建筑中的应用日益广泛，已成为塑料在建筑中应用量最大的产品。20 世纪 80 年代以后，发达国家加强了塑料管品种的研究开发，并注重改善管材的性能，开发出了双壁波纹管、异型塑料管、高抗冲击管及塑料与金属的复合管，提高了产品的刚性、耐压性和耐温性，提高了塑料管的市场竞争力。今后国外塑料管的开发重点将放在提高生产效率、降低成本和拓展应用领域等方面。塑料门窗具有保温节能、外形美观、尺寸稳定、密封性好等许多优点，在许多国家都得到大力的推广应用。德国是最早采用塑料门窗的国家，塑料门窗的应用比例也最高，目前已经超过木门窗的用量，占全部门窗市场的 50% 以上。奥地利、英国、法国、加拿大、韩国的市场比例在 30% 以上。各国的应用比例今后还会继续增加。美国的塑料门窗起步晚于西欧各国，但目前的发展速度很快，年均增长量在 10% 以上。今后国外的塑料门窗将进一步朝着绝缘性、多种颜色、视觉的触觉性良好的方向发展。

1.6 新型建筑材料教学要求和目的

本课程是土木工程专业和建筑学专业的一门选修课。其任务是使学生扩大关于新型建筑材料和新型装修材料方面的知识，通过对新型建材的生产工艺、性能特点，选择使用及施工要点等内容的讲授，培养学生在今后的工作实践中能合理选用各种新型建材的能力。

从社会大角度来说，新型建材产品的社会价值只有在建筑上得到应用之后，才能最终体现出来，所以建筑业是建材工业的主要服务对象。因此，需要建材建工相互配合，共同联手才能促进新型建材健康向前发展。如节能建筑要通过新型墙体屋面材料、节能门窗、优质保温隔热材料等采用和配套的设计与施工才能加以实现。

又如国内屋面防水工程渗漏原因调查结果是：材料产品质量约占 25% ~ 30% 设计和施工质量约占 50% ~ 60% 管理不当占 10% 左右。由此表明：光有好的防水材料是不够的，还必须有好的设计、施工和管理相配合。也就是说，新型建筑材料只有和建筑设计、建筑施工以及物业管理联手，紧密配合，切实解决

产品品种问题、质量问题、配套问题、施工中的各种技术问题以及物业管理中的有关问题，一种新产品、新技术才能得到顺利的发展，才能在建筑工程中逐渐推广开来。

在建筑工程中最大限度地采用各种新型建筑材料是建材、建工部门的共同愿望。新型建筑材料 20 多年来的发展历程中 建材、建工部门紧密配合 携手并进，有力地促进了我国新型建筑材料的迅速发展。新世纪里建材、建工部门在原有基础上更要相互做好配合工作，为促进我国新型建筑材料更好、更快地发展做出更大贡献。

第 2 章

混凝土矿物外加剂

混凝土矿物外加剂（即掺和料）是指以氧化硅、氧化铝和其他有效矿物为主要成分，在混凝土中可以代替部分水泥、改善混凝土综合性能，且掺量一般不小于 5% 的具有火山灰活性或潜在水硬性的粉体材料。常用品种有粉煤灰、磨细水淬矿渣微粉（简称矿粉）、硅灰、磨细沸石粉、偏高岭土、硅藻土、烧页岩、沸腾炉渣等矿物材料。随着混凝土技术的进步，矿物外加剂的内容也在不断拓展，如磨细石灰石粉、磨细石英砂粉、硅灰石粉等非活性矿物外加剂在混凝土制品行业也得广泛应用。特别是近年来研制和应用的复合矿物外加剂，可以说是混凝土技术进步的一个标志。生产和应用实践证明，采用两种或两种以上矿物原料复合，并掺入各种改性剂，可以达到优势互补，比单一品种更有利于改善混凝土综合性能。

混凝土矿物外加剂的应用，正如水泥生产中应用混合材料一样，在早期可以说主要是为了节约水泥。因此在名称上有“掺和料”、“掺合料”、“细掺料”等。随着研究和应用的不断深入，人们发现混凝土矿物外加剂不仅能节约水泥，更重要的是能改善混凝土的综合性能，从现代混凝土技术的发展来说，已成为不可缺少的重要组分。因此在国外有将粉煤灰等矿物外加剂称为“第四组成材料”，即砂、石、水泥、矿物外加剂四种固体材料。在我国也早在 20 世纪 90 年代初提出了“第六组分”的概念，即砂、石、水泥、水、化学外加剂和矿物外加剂。随着高性能混凝土的推广应用，明确提出了“矿物外加剂（Mineral admixtures）”的概念。

念在 2002 年发布实施的《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736—2002) 中正式启用了这一名称。对高强高性能混凝土来说, 化学外加剂和矿物外加剂起着同等重要的作用。

矿物外加剂在混凝土中的主要功能有:

(1) 改善混凝土的和易性

大部分矿物外加剂具有比水泥更细的颗粒, 能填充水泥颗粒间的孔隙, 比表面积大, 吸附能力强, 因而能有效改善混凝土的粘聚性和保水性。其中矿粉、沸石粉、磨细石灰石粉和石英砂粉在掺量适当时, 还能提高混凝土的流动性。粉煤灰中由于含有部分玻璃微珠, 细度和掺量适当时也能提高混凝土的流动性。

部分矿物外加剂能有效降低混凝土的粘性和内聚力, 从而改善混凝土的可泵性、振捣密实性及抹平性能。

(2) 降低混凝土水化温升

粉煤灰、沸石粉和非超细磨的矿粉等能降低混凝土的水化温升, 推迟温峰出现时间。对大体积混凝土的温度裂缝控制十分有利。

(3) 提高早期强度或增进后期强度

部分矿物外加剂, 如硅灰和偏高岭土等能有效提高混凝土早期强度。经超细磨的微矿粉也能提高混凝土的早期强度。而粉煤灰、沸石粉等则早期强度可能略有下降, 而后期强度增进速度快。

(4) 改善内部结构 提高抗腐蚀能力

由于矿物外加剂的细骨料填充效应和后期水化作用, 一方面能改善混凝土的孔结构, 使孔结构细化, 均匀性增加、密实度提高, 从而提高抗腐蚀能力。另一方面, 由于矿物外加剂改变了水泥的部分水化产物和结构, 如氢氧化钙晶体量减少, 而水化硅酸钙等凝胶体增加, 从而提高混凝土的抗腐蚀能力。再者, 偏高岭土、硅灰、沸石粉等对钾、钠和氯离子具有极强的吸附能力, 从而有效抑制混凝土的碱-骨料反应和提高对钢筋的保护作用。

(5) 提高混凝土的抗裂性能

有大量试验研究表明, 粉煤灰、矿粉和沸石粉减小混凝土的早期收缩, 提高抗裂性能。偏高岭土使混凝土的冲击韧性得以改善。

(6) 提高混凝土的耐久性

矿物外加剂提高混凝土的抗腐蚀性和抗裂性是提高混凝土耐久性的表现之一。另一方面, 细粉料还能提高混凝土的抗渗性能、抗冻性能。

当然, 由于矿物外加剂降低了混凝土的碱性, 在一定程度上会降低混凝土的抗碳化性能, 以及对钢筋的保护作用。但这一点可以通过提高混凝土密实性和细化孔结构等得以补偿。

2.1 粉煤灰

粉煤灰 (fly - ash) 是指煤粉炉燃烧煤粉时, 从烟道气体中收集到的细颗粒粉末。磨细粉煤灰 (pulverized fly - ash) 是指干燥的粉煤灰经粉磨加工达到规定细度的粉末。粉磨时可添加适量的助磨剂。

一、粉煤灰的技术性能和作用机理

粉煤灰中含有大量直径以 μm 计的实心或中空玻璃微珠 以及少量的莫来石、石英等结晶物质。原状粉煤灰的细度与电厂所用煤粉细度及收尘装置有关。含碳量则与锅炉性质及燃烧技术有关。原状粉煤灰的颗粒级配与活性均不尽理想, 只有少量电除尘收集的或经过分级风选的 I 级粉煤灰性能优异。对于颗粒较粗的粉煤灰, 通常采用粉磨技术, 以进一步提高粉煤灰的细度, 提高强度活性, 并改善颗粒级配, 降低需水量比。

粉煤灰的主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 等, 约占粉煤灰总量的 85% 左右 共同构成 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 矿物体系, 一般呈球状铝硅玻璃珠状 粒径为: $1 \sim 50\mu\text{m}$ 比表面积可达 $300 \sim 600\text{m}^2/\text{kg}$ 水泥的比表面积 $300 \sim 350\text{m}^2/\text{kg}$), 具有较大的吸附作用, 能与水泥熟料矿物共同反应, 形成水硬性化合物, 通常作为活性细掺料掺入混凝土中形成粉煤灰混凝土, 是一种有效的再生资源。

粉煤灰作为矿物外加剂的应用研究, 可追溯到 20 世纪 30 年代 美国学者 R. K. Davis 等进行了粉煤灰在混凝土中应用的研究。1948 年 ~ 1953 年美国垦务局在建造蒙大拿州的俄马坝工程时, 大量应用了芝加哥的粉煤灰取得了预期的改善性能和节约水泥的优良效果。此后, 许多国家在大坝工程中广泛应用粉煤灰。

我国从 1958 年上海的地下工程中采用粉煤灰混凝土, 1959 年三门峡水利枢纽工程中大量利用粉煤灰以来, 为了推动和促进粉煤灰的利用, 国家和地方制订了一系列鼓励粉煤灰资源综合利用的政策, 并在粉煤灰应用技术方面进行各种性能的实验研究, 取得了一定的成果。粉煤灰能赋予混凝土新的技术性能, 按材料学的观点, 宏观性能取决于微观结构, 而粉煤灰混凝土的微观结构主要取决于粉煤灰效应。

粉煤灰作为混凝土的矿物外加剂, 在水泥基混凝土中的主要作用机理有:

1. 火山灰活性效应

由于粉煤灰具有无定型玻璃体形态的活性 SiO_2 、 Al_2O_3 且比表面积大 这些成分能与水泥水化过程中析出的氢氧化钙缓慢进行“二次反应”, 在表面生成具

有胶凝性能的水化铝酸钙、水化硅酸钙等凝胶物质，填充在骨料之间形成紧密的混凝土结构。同时氢氧化钙的消耗使水泥石的碱度降低，在此环境中更有利于水化铝硅酸盐的形成。从而使后期强度增长较快，甚至超过同级别的混凝土强度值。

2. 微骨料效应

混凝土在微观结构上是非匀质体，理论上，粗骨料的空隙由细骨料填充，细骨料的空隙由水泥浆填充，水泥颗粒的空隙则由水和水泥水化产物及毛细孔填充。由于满足混凝土施工和易性的需要，实际用水量比水泥水化理论需水量多得多，再加上水泥在若干年之内不可能完全水化，因此，凝胶孔和毛细孔是大量的。孔隙率占凝胶体的 25% ~ 30%。而粉煤灰，特别是经粉磨的超细灰，具有极小的粒径，在水泥水化过程中，均匀分散于孔隙和凝胶体中，起到填充毛细管及孔隙裂缝之中，改善了孔结构，提高了水泥石的密实度。另一方面，未参与水化的颗粒分散于凝胶体中起到骨料的骨架作用，进一步优化了凝胶结构，改善了与粗细骨料之间的粘结性能和混凝土的微观结构，从而改善混凝土的宏观综合性能。

3. 形态效应

由于粉煤灰含大量的球状玻璃微珠，填充在水泥颗粒之间起到一定的润滑作用。因此，优质粉煤灰的需水量比小于 100%，即达到同样流动性时可以降低用水量。另一个重要的原因是，在混凝土流动性相同时，掺粉煤灰的混凝土比不掺的内摩擦阻力减小，更容易泵送施工和振捣密实。特别是在掺减水剂或泵送剂的混凝土中，这一特性更加显著。当粉煤灰超量取代水泥，并用超量部分粉煤灰取代等体积的砂，混凝土的和易性得到进一步改善。

二、粉煤灰的质量指标

根据国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB 1596—91)，粉煤灰的主要质量指标有细度、烧失量(含碳量)、需水量比、三氧化硫含量。根据质量指标分为三个等级。见表 2.1。标准中同时规定了各项技术指标的检验方法。

表 2.1 粉煤灰质量指标

粉煤灰等级	细度(45 μ m)方孔筛筛余(%)	烧失量(%)	需水量比(%)	SO ₃ 含量(%)
I 级	≤12	≤5	≤95	≤3
II 级	≤20	≤8	≤105	≤3
III 级	≤45	≤15	≤115	≤3

注：1. III级粉煤灰主要用于素混凝土，一般不宜用于钢筋混凝土，当用于钢筋混凝土时，必须经过试验验证。

2. 高钙粉煤灰的游离氧化钙含量不得大于 2.5% 且体积安定性检验必须合格。

与之配套的国家标准是《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146—90)。由于普通混凝土中掺入粉煤灰后,虽然可以改善混凝土的和易性、提高抗侵蚀性、提高密实度、改善抗渗性等,但由于粉煤灰的水化消耗了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 降低了混凝土的碱度,因而影响了混凝土的抗碳化性能,减弱了混凝土对钢筋锈蚀的保护作用。为了保证混凝土结构的耐久性,GBJ 146—90 中规定了粉煤灰的最大限量,见表 2.2。

表 2.2 粉煤灰取代水泥的最大限量 (GBJ 146—90)

混凝土种类	粉煤灰取代水泥的最大限量(%)			
	硅酸盐水泥	普通水泥	矿渣水泥	火山灰水泥
预应力钢筋混凝土	25	15	10	—
钢筋混凝土,高强度混凝土,高抗冻融性混凝土,蒸养混凝土	30	25	20	15
中、低强度混凝土,泵送混凝土,大体积混凝土,水下混凝土,地下混凝土,压浆混凝土	50	40	30	20
碾压混凝土	65	55	45	35

值得探讨的是对普通混凝土适用的粉煤灰质量标准和应用技术规定,对目前普遍采用外加剂的预拌混凝土,特别是针对大量应用的高强高性能混凝土,是否仍然适用?虽然粉煤灰的细度、需水量比和烧失量在一定程度上反映了粉煤灰的活性,但毕竟是间接指标。为此国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736—2002) 中及时提出了磨细粉煤灰的质量指标要求,见表 2.3。该标准实际上将 GB 1596—91 中的筛余量调整为比表面积,这样更能直接反映粉煤灰的性能。另一方面,增加了活性指数,粉煤灰的重要应用指标得以直接反映。

表 2.3 高强高性能混凝土用矿物外加剂中的粉煤灰质量指标

指标	化学性能				物理性能			活性指数	
	$\text{MgO}(\%)$ $\leq$	$\text{SO}_3(\%)$ $\leq$	烧失量 ($\%$) $\leq$	氯离子 ($\%$) $\leq$	比表面积 (m^2/kg) $\geq$	含水率 ($\%$) $\leq$	需水量比 ($\%$) $\leq$	7d($\%$) $\geq$	28d($\%$) $\geq$
I 级	1	3	5	0.02	600	1.0	95	80	90
II 级	1	3	8	0.02	400	1.0	105	75	85

澳大利亚对用于水泥的粉煤灰也根据质量指标分为三级。

细灰 :75% 通过 $45\mu\text{m}$ 筛 烧失量小于 4% ;

中灰 :60% 通过 $45\mu\text{m}$ 筛 烧失量小于 6% ;

粗灰 :40% 通过 $45\mu\text{m}$ 筛 烧失量小于 12%。

从中可看出，细灰和中灰对应我国的 Ⅰ级、Ⅱ级粉煤灰，其对细度的要求较低，而对烧失量的要求较高。

美国则根据 CaO 含量将粉煤灰分为低钙灰 (F) 和高钙灰 (C) 两类：

低粉煤灰：无烟煤或烟煤的粉煤灰 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量大于 70%。

高粉煤灰：褐煤或亚烟煤的粉煤灰 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量大于 50%。

我国也将 CaO 含量大于 10% 的粉煤灰称为高钙灰，未加说明时，一般指低钙灰。

三、粉煤灰对混凝土性能的影响

1. 对新拌混凝土性能的影响

粉煤灰对混凝土和易性的影响是多重性的，单从流动性指标来看，品质优良的 Ⅰ级粉煤灰，可以提高混凝土的流动性，但 Ⅲ级粉煤灰则使混凝土流动性下降 见图 2.1。这一规律对不掺外加剂的混凝土和掺化学外加剂的混凝土是相似的。

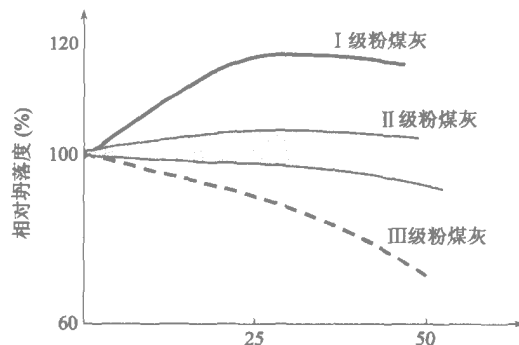


图 2.1 粉煤灰取代量对混凝土坍落度的影响 (%)

粉煤灰的形态效应和微骨料效应直接影响混凝土的流动性，即玻璃微珠的含量、细度是影响流动性的内因，这一点与锅炉形式、收尘方式等相关。另一方面，粉煤灰中的含碳量（即烧失量）对流动性也有直接影响。特别是当掺化学外加剂时，由于碳粒对外加剂的吸附作用较强，导致外加剂的作用效果下降，混凝土流动性会受到严重影响。

不同等级粉煤灰对混凝土的扩展度和坍落度桶流出时间的影响，与对坍落度的影响规律基本相似。但在外加剂作用下的流动性则反映出较大差异。若用维勃稠度表示，几乎所有的 Ⅱ级粉煤灰在掺量 30% 以内时，均使流动性提高。

Ⅲ级粉煤灰只有当掺量大于 15% 时,才使流动性下降。另有大量试验研究和实践证明,当混凝土坍落度相同时,掺粉煤灰混凝土在振捣棒或平板振动器作用下更容易振捣密实,特别是对低流动性混凝土,这一特性更加突出。

从粉煤灰混凝土流变学特性可知,由于玻璃微珠的形态效应和细粉料的微骨料效应,粉煤灰的掺入使新拌混凝土的内摩擦角和粘滞系数减小,从而其运动阻力减小,因而混凝土的可泵性大大改善。上海东方明珠电视塔和金贸大厦泵送混凝土施工时均掺入了大量粉煤灰,其中主要目的之一就是为了改善混凝土的可泵性。

原状灰有可能增大混凝土的泌水性,而磨细粉煤灰通常能减小混凝土的泌水性。掺入粉煤灰后,混凝土的凝结时间通常延长,且随掺入量增加而增加。

2. 对混凝土强度的影响

粉煤灰对混凝土强度的影响,根据粉煤灰品质不同,其影响规律略有不同。对优质的Ⅰ级粉煤灰来说在掺入量小于 10% 时不仅强度提高而且早期强度也不下降。但当掺量超过一定值后,混凝土早期强度略有下降,但后期强度仍可高于不掺粉煤灰的基准混凝土,见图 2.2。但这一规律还受到水灰比和养护温度的影响。当水灰比较小时,低掺量粉煤灰对强度影响较显著,对高掺量粉煤灰影响率下降。而水灰比较大时,情况恰好相反。

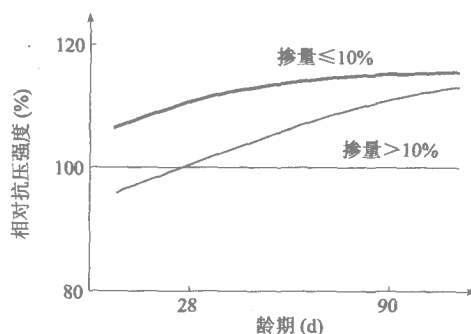


图 2.2 Ⅰ级粉煤灰对混凝土强度的影响

养护温度对掺粉煤灰混凝土强度发展规律的影响应引起重视。温度较低时,粉煤灰严重影响混凝土强度的发展,不仅影响早期强度,后期强度也下降。而当养护温度提高时,特别是对大体积混凝土,水化温升使混凝土内部温度达 60℃ 以上,对掺粉煤灰混凝土强度发展极为有利。见图 2.3。这是因为湿热养护对粉煤灰活性激发非常有利,而对水泥混凝土,养护温度提高虽然也有利于早期强度的发展,但使后期强度增长率大大下降,严重时可导致强度倒缩。因此,对大体积混凝土、高温高湿环境中施工或使用的混凝土,粉煤灰的掺入,不仅可保