

建筑用砂混合轻量土

杜时贵 罗战友 著

地震出版社

建筑用砂混合轻量土

杜时贵 罗战友 著



地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑用砂混合轻量土/杜时贵, 罗战友著. —北京: 地震出版社, 2007. 12

ISBN 978 - 7 - 5028 - 3203 - 2

I. 建… II. ①杜…②罗… III. 混凝土—研究 IV. TU528

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 135655 号

地震版 XT 200700212

内 容 提 要

本书系统介绍了新型建筑用砂混合轻量土。内容包括: 建筑用砂混合轻量土的各组分特点, 物理力学性能, 配合比确定, 龄期及波速特点, 轻量土对沉降、土压力及稳定性等方面影响的模拟, 轻量土的设计与施工。本书以建筑用砂混合轻量土的对比试验为基础, 建立了其配合比快速与科学的确定方法, 分析了其在减少路桥过渡段沉降及桥背土压力等方面的特点, 阐述了设计理论及其施工方法。本书可供从事公路、桥梁及土木工程、施工监理人员参阅, 以及相关专业的本科生、研究生学习参考。

建筑用砂混合轻量土

杜时贵 罗战友 著

责任编辑: 陈晏群

责任校对: 郭京平

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版(印)次: 2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 208 千字

印张: 8.25

印数: 0001 ~ 1200

书号: ISBN 978 - 7 - 5028 - 3203 - 2/TU · 248 (3893)

定价: 30.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

近几年公路建设快速发展,尤其是高速公路的建设发展更快。但是在国内东部地区普遍发育着厚或巨厚层的海相淤泥层,厚度可达20m,有的甚至超过70m。因此在软土地基上进行公路建设,基础处理费用占有相当的比重,甚至会超过上部结构的建设投资。而建在深厚软土层上的路基、桥梁等产生的工程病害也相当突出和普遍。比如桥台倾斜和滑移问题,桥台跳车问题,桥面、路面的工后沉降、开裂问题,高路堤失稳等问题。这些问题不仅影响公路的正常通行,加大了公路的维修费用,同时也大大降低了运营服务质量,甚至造成行车事故。目前全国为数不多的几家科研机构,通过减小填土材料本身自重以减少软基附加应力为目的的混合轻量土的应用研究。

混合轻量土是随着技术的发展及新材料的应用而出现的一种新型岩土工程材料,具有强度及密度可调节的突出优点。在道路加宽、道路填土、桥台背填土、地下工程和管线工程的回填料等方面得到了广泛应用。但是混合轻量土也有其不足的一面,由于轻量土采用不同的原材料进行混合,混合后的结果将会出现较大的差异,而且配合比的确定也有一定的难度。为了更有利于混合轻量土性能的稳定,以便做到产业化及商品化,我们结合国内外的工程实际与理论分析的结果,对混合轻量土进行了分析总结,提出了建筑用砂混合轻量土。

建筑用砂混合轻量土是由建筑用砂、球形聚苯乙烯(EPS)、普通硅酸盐水泥与水混合而形成的轻量土。本书根据试验研究及数值模拟的结果对建筑用砂混合轻量土的物理力学性能及应用效果进行了系统研究。特别是在建筑用砂混合轻量土的配合比的确定及施工现场的工程质量检测等方面提出了新的研究思路和方法。本书介绍的方法简便易行,适用于采用混合轻量土的施工现场的配合比快速

确定及质量检测,本书可供从事公路、桥梁、设计、施工及监理等工程技术人员参阅。

全书共分为九章,包括:建筑用砂混合轻量土概述,建筑用砂混合轻量土物理力学性能,建筑用砂混合轻量土配合比确定,龄期对建筑用砂混合轻量土性能的影响,建筑用砂混合轻量土弹性波速特征,桥台背轻量土对路桥过渡段沉降影响的数值模拟,桥台背轻量土对桥背土压力影响的数值模拟,桥台背轻量土对路基及桥基稳定性的影响及桥台背轻量土的设计与施工。

作者感谢浙江省科技厅重点项目对建筑用砂混合轻量土研究工作的支持,感谢浙江建设职业技术学院徐公芳书记、丁夏君院长、朱志忠副书记、刘建军副院长、何辉副院长、徐伟民副院长,科研处胡颖副处长对课题组工作的支持,感谢岩土工程研究所同仁特别是许四法博士、林伟军老师、张敏老师、沙玲老师、姜健老师、李强老师、胡轶敏、毛肖、沈毅老师的支持和帮助。岩土工程研究所名誉所长王思敬院士长期关注课题组的研究工作并给予诸多指导。书中参考了许多科研单位、高校及工程单位的研究成果,在成书过程中得到了蒋学老师的帮助。本书的出版得到了浙江建设职业技术学院专著出版基金的资助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

2007年9月

目 录

第一章 建筑用砂混合轻量土概述	(1)
1.1 混合轻量土成分及分类	(1)
1.2 建筑用砂混合轻量土组成成分	(2)
1.3 本章小结	(13)
第二章 建筑用砂混合轻量土物理力学性能	(14)
2.1 试样制备及试验配合比	(14)
2.2 建筑用砂混合轻量土物理性能	(18)
2.3 建筑用砂混合轻量土强度特性	(24)
2.4 建筑用砂混合轻量土应力应变关系特性	(31)
2.5 建筑用砂混合轻量土的变形模量与强度	(33)
2.6 本章小结	(36)
第三章 建筑用砂混合轻量土配合比确定	(38)
3.1 试验配合比的选择	(38)
3.2 轻量土的密度随灰水比的变化规律及拟合曲线	(38)
3.3 轻量土的强度随灰水比的变化规律及拟合曲线	(42)
3.4 建筑用砂混合轻量土配合比的曲线图	(49)
3.5 建筑用砂混合轻量土配合比设计中的基本参数	(50)
3.6 建筑用砂混合轻量土配合比的计算	(51)
3.7 建筑用砂混合轻量土最优配合比的确定方法	(52)
3.8 本章小结	(52)
第四章 龄期对建筑用砂混合轻量土性能的影响	(54)
4.1 建筑用砂混合轻量土试验配合比的选取	(54)
4.2 龄期对建筑用砂混合轻量土密度的影响	(54)
4.3 龄期对建筑用砂混合轻量土强度的影响	(55)
4.4 建筑用砂混合轻量土强度随龄期的变化规律拟合	(56)

4.5 本章小结	(62)
第五章 建筑用砂混合轻量土弹性波速特征	(63)
5.1 引言	(63)
5.2 研究现状	(64)
5.3 试验方法	(64)
5.4 试验结果及分析	(66)
5.5 本章小结	(68)
第六章 建筑用砂混合轻量土对路桥过渡段沉降影响的数值模拟	(69)
6.1 引言	(69)
6.2 有限单元法	(69)
6.3 有限元模型基本假定与计算简图	(71)
6.4 建筑用砂混合轻量土的密度对路桥过渡段沉降的影响	(73)
6.5 建筑用砂混合轻量土的模量对路桥过渡段沉降的影响	(75)
6.6 桥台背轻量土的填土宽度对路桥过渡段沉降的影响	(77)
6.7 桥台背轻量填土与常规填土交界面坡度对路桥过渡段沉降的影响	(78)
6.8 建筑用砂混合轻量填土厚度对路桥过渡段沉降的影响	(80)
6.9 建筑用砂混合轻量土的泊松比对路桥过渡段沉降的影响	(82)
6.10 轻量土与常规填土交界面摩擦特性对路桥过渡段沉降的影响	(82)
6.11 建筑用砂混合轻量土对不同等级公路的路桥过渡段沉降的影响	(85)
6.12 建筑用砂混合轻量土的下卧层土模量对路桥过渡段沉降的影响	(86)
6.13 建筑用砂混合轻量土与常规填土对路桥过渡段沉降的影响	(88)
6.14 建筑用砂混合轻量土填土及下卧层厚度对路堤沉降的影响	(89)
6.15 本章小结	(91)
第七章 建筑用砂混合轻量土对桥台背土压力影响的数值模拟	(93)
7.1 建筑用砂混合轻量土的密度对桥台背土压力的影响	(93)
7.2 建筑用砂混合轻量土的模量对桥台背土压力的影响	(95)
7.3 建筑用砂混合轻量土的泊松比对桥背土压力的影响	(96)
7.4 建筑用砂混合轻量土对不同等级公路的桥台背土压力的影响	(97)
7.5 建筑用砂混合轻量土及常规填土对桥台背土压力的影响	(99)
7.6 本章小结	(100)

第八章 建筑用砂混合轻量土对路基及桥基的稳定性影响..... (101)

8.1 建筑用砂混合轻量土路堤对路基稳定性的影响..... (101)

8.2 桥台背轻量土对桥台基础稳定性的影响..... (103)

8.3 本章小结..... (105)

第九章 桥台背轻量土的设计与施工..... (107)

9.1 桥台背轻量土路堤的设计..... (107)

9.2 桥台背轻量土路堤的施工..... (112)

9.3 本章小结..... (117)

参考文献..... (118)

参考资料..... (122)

第一章 建筑用砂混合轻量土概述

1.1 混合轻量土成分及分类

1.1.1 混合轻量土的主要成分

混合轻量土是一种新型的轻质填土材料，由原料土、轻质材料、固化剂和水混合而成。原料土可采用购买的标准砂，也可利用疏浚淤泥、工程弃土、粘性土等；轻质材料通常采用发泡聚苯乙烯颗粒、发泡剂，也可利用废弃的泡沫塑料，形状为球粒、碎粒、碎片，或废弃的轮胎粒子等，达到环保的目的；固化剂一般为水泥，但也可加入适量的生石灰、粉煤灰、废石膏等，组成固化剂系，既可提高混合土的强度，又可减少工业废料，达到降低水泥使用量的目的；水为清洁的江河水或自来水，起调节混合轻量土流动性和促进固化剂固化的目的。

1.1.2 混合轻量土的分类

混合轻量土按轻质材料可以分为发泡颗粒混合轻量土和气泡混合轻量土。二者的区别是发泡颗粒混合轻量土的轻质材料采用的是发泡颗粒，而气泡混合轻量土的轻质材料先采用起泡剂进行稀释，然后进行发泡，形成混合轻量土的轻质材料。

发泡颗粒混合轻量土根据所采用的原料土、轻质材料的特点不同又可分为建筑用砂混合轻量土及聚苯乙烯混合轻量土等。

1.1.3 发泡颗粒混合轻量土的特点

由于发泡颗粒混合轻量土中特有的组成材料，使得发泡颗粒混合轻量土具有如下特点：

(1) 重度小。由于轻质材料的加入，混合土密度降低，并且可在一定范围内加以调整，具有不同程度的轻量性，可以减轻对地基、构造物的荷载作用及地震时的惯性力，提高地基支持力和滑坡稳定性。

(2) 直立性好。由于固化作用，使得发泡颗粒混合轻量土凝固后可直立，在垂直荷载作用下，几乎不会产生侧向压力，可支撑简易墙体，还可用作模板等。

(3) 发泡颗粒混合轻量土具有速硬性，可以缩短填土施工工期，产生时间效益。对于土质路基，尤其是软土地基柔性路面情况，须待基层压实稳定基本完成后再铺筑路面。对于发泡颗粒混合轻量土而言，路基构筑完成，即可马上铺筑路面，不必担心基层沉降未稳定而造成崩裂和塌陷。如用于工程抢险，还具有快速优势，在修筑山洪冲毁的公路、铁路路基时，利用混合轻量土预制砌块铺筑路床或铁轨，即刻便可恢复交通。

(4) 强度、密度可以调节。根据具体的工程要求，改变水泥、水和轻质材料含量，可调

整发泡颗粒混合轻量土的强度、压缩模量、流动性和密度。

由于发泡颗粒混合轻量土具有上述优点，如今在国外已被广泛用于软弱地基处理、桥头跳车问题、滑坡和边坡填土处理、海港护岸工程等基础设施建设中，应用前景广泛。

1.2 建筑用砂混合轻量土组成成分

发泡颗粒混合轻量土是由原料土、固化剂及轻质材料为主要原料形成的。因此不同的原料土、固化剂及轻质材料的选择是确定发泡颗粒混合轻量土的均匀性、和易性及质量稳定性的重要因素。

1.2.1 建筑用砂混合轻量土的原料土

1. 建筑用砂作为发泡颗粒混合轻量土原料土的特点

混合轻量土的原料土可以采用砂、淤泥、工程弃土、粘性土等。从目前现有的文献上看，以上各种土类都有成功的经验，但是以砂土作为原料土的占大部分，原因如下：

(1) 砂土的物理力学特性稳定，组成的混合轻量土性质均一，变异性小。

淤泥、工程弃土及一些粘性土等土类随工程地质、水文地质条件及周边环境变化而变化，不同地区，不同地层及其埋藏条件都影响其的物理力学性质。因此，如果利用这类土，很难保证混合轻量土的性质均一，可能使混合轻量土强度及密度变异性大，难以保证工程的安全性，也可能会引起混合轻量土自身的不均匀沉降。

(2) 砂土有特定的国家标准（GB/T 14684-2001）。砂土虽然性质也会有差异，但建筑用砂的国家标准可以使砂的物理力学性能近似一致，受地质条件及环境条件的影响较小。

(3) 砂土易于获取。现有的土木工程，砂是最为普通的一种建筑材料，随处可得，各个地区均能方便得到。

(4) 价格低廉。由于淤泥、工程弃土及一些粘性土的性质不稳定，当作为混合轻量土的原料土时要事先进行必要的处理，才能加以利用，有时其二次处理的费用极高，很难用于大规模的桥台背填土工程。而建筑用砂因其性能稳定，因此绝大部分工程均不需要二次处理，如需要处理也是较简单的分选及除泥。其使用成本相对其他原料土的混合轻量土而言性价比高。

(5) 建筑用砂作为混合轻量土的原料土可以商业化及产业化。随着经济的高速发展，行业间及行业内分工越来越细，正如商品混凝土出现一样，使混凝土的质量大幅度的提高，使价格大幅度的降低。因此，采用有国家统一标准的建筑用砂作为混合轻量土的原料土其性能稳定，易实现商业化，带动建筑用砂混合轻量土的产业化。

(6) 施工质量易于控制。建筑用砂作为原料土其性能稳定，且含水量易于调节和控制，因此施工质量就能得到保证。而采用淤泥、工程弃土等作为原料土，其含水量通常较大，很难做到有序现场施工，因此质量也就不能保证。

(7) 强度及变形易于调节。采用建筑用砂作为混合轻量土的原料土，砂的骨架作用明显，受力机理明确，强度及变形可根据需要进行调整，而采用淤泥、工程弃土作为原料土，强度和变形更多的是由土的特性决定，因此强度及变形调节程度有限，应用范围较小。

由于建筑用砂的以上特性，采用建筑用砂作为混合轻量土的原料土，形成建筑用砂混合轻量土。

2. 建筑用砂的技术要求

建筑用砂作为原料土需要满足建筑用砂国家标准 GB/T 14684—2001。特别是技术要求方面。

(1) 颗粒级配。

砂的颗粒级配应符合表 1.1 的规定。

表 1.1 颗粒级配

级配区 累计筛余% 方筛孔径	1	2	3
9.50mm	0	0	0
4.75mm	10~0	10~1	10~0
2.36mm	35~5	25~0	15~0
1.18mm	65~35	50~10	25~0
600μm	85~71	70~41	40~16
300μm	95~80	92~70	85~55
150μm	100~90	100~90	100~90

- ① 砂的实际颗粒级配与表中所列数字相比，除 4.75mm 和 600μm 筛档外，可以略有超出，但超出总量应<5%；
- ② 1 区人工砂中 150μm 筛孔的累计筛余可以放宽到 100%~85%；2 区人工砂中 150μm 筛孔的累计筛余可以放宽到 100%~85%；3 区人工砂中 150μm 筛孔的累计筛余可以放宽到 100%~75%。

(2) 含泥量、石粉含量和泥块含量。

① 天然砂的含泥量和泥块含量应符合表 1.2 的规定。

表 1.2 含泥量及泥块含量

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
含泥量 (按质量计) %	<0.1	<3.0	<5.0
泥块含量 (按质量计) %	0	<1.0	<2.0

② 人工砂的石粉含量和泥块含量应符合表 1.3 的规定。

表 1.3 含泥量及泥块含量

项 目				指 标		
				I 类	II 类	III 类
1	亚 甲 蓝 试 验	MB 值<1.40 或合格	石粉含量 (按质量计) /%	<3.0	<5.0	<7.0*
2			泥块含量 (按质量计) /%	0	<1.0	<2.0
3		MB 值≥1.40 或不合格	石粉含量 (按质量计) /%	<1.0	<3.0	<5.0
4			泥块含量 (按质量计) /%	0	<1.0	<2.0

*根据使用地区和用途，在试验验证的基础上，可由供需双方协商确定。

(3) 有害物质。

砂不应混有草根、树叶、树枝、塑料、煤块、炉渣等杂物。砂中如含有云母、轻物质、有机物、硫化物及硫酸盐、氯盐等其含量应符合表 1.4 的规定。

表 1.4 有害物质的含量

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
云母（按质量计） /%	<1.0	<2.0	<2.0
轻物质（按质量计） /%	<1.0	<1.0	<1.0
有机物（比色法）	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐（按 SO ₃ 质量计） /%	<0.5	<0.5	<0.5
氯化物（以氯离子质量计） /%	<0.01	<0.02	<0.06

(4) 坚固性。

① 天然砂采用硫酸钠溶液法进行试验砂样经 5 次循环后其质量损失应符合表 1.5 的规定。

1.5 坚固性指标

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
质量损失/%	<8	<8	<10

② 人工砂采用压碎指标法进行试验压碎指标值应小于表 1.6 的规定。

表 1.6 压碎指标

项 目	指 标		
	I 类	II 类	III 类
单级最大压碎指标/%	<20	<25	<30

(5) 表观密度堆积密度空隙率。

砂表观密度堆积密度空隙率应符合如下规定：表观密度 $>2500\text{kg/m}^3$ ，松散堆积密度 $>1350\text{kg/m}^3$ ，空隙率 $<47\%$ 。

(6) 碱集料反应。

经碱集料反应试验后由砂制备的试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象。在规定的试验龄期膨胀率应 $<0.1\%$ 。

1.2.2 建筑用砂混合轻量土的固化剂

1. 固化剂加固机理分析

普通硅酸盐水泥主要成分为氧化钙、二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁及三氧化硫等。由这些不同配氧化物分别组成了不同的水泥矿物，硅酸三钙（ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ）、硅酸二钙（ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ）、铝酸三钙（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ）、铁铝酸四钙（ $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ）、硫酸钙（ CaSO_4 ）等。水泥中的这些矿物熟料遇水后发生化学反应（即水化反应），生成的主要水化产物为水化硅酸钙（CSH）、氢氧化钙（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）、水化铝酸钙（CAH）、水化铁酸钙（CFH）、水化硫铝酸钙等。这些水化产物具有胶结作用，将混合土中的其他成分胶结在一起，随着时间的推移，发生了凝结、硬化作用，使拌合物的强度得到较大幅度的提高。

在水泥基本分类的基础上，需要对水泥的固化机理有所了解。水泥是复杂的非均质多相体，遇水后能很快生成塑性的、具有粘结性能的胶状物质，这种胶状物质逐渐失去塑性，硬化成具有相当强度的石状体，而将其所胶结的材料一起变成坚硬的整体，从产生水化反应直到硬化的过程是一系列复杂的物理、化学反应过程的总和。研究这个过程，可以更好地控制和利用水泥的性质。

水泥在聚苯乙烯轻质混合土中的凝结与硬化机理与水泥相似。主要有3种成因：即水泥的水解和水化反应；离子交换和团粒化作用；硬凝反应。在土中掺入聚苯乙烯颗粒和少量硅酸盐水泥，因水泥的掺量较少，其水解和水化反应围绕土体进行，搅拌均匀后，经过适当养护，水泥颗粒与土颗粒间产生理化反应，逐渐硬化后形成建筑用砂混合轻量土。聚苯乙烯颗粒和土在轻质混合土中起骨架作用，水泥起胶凝作用，随着水泥各矿物成分水化作用的不断进行，水化物增多，游离水减少，物料逐渐失去塑性并产生强度，结构不断紧密，形成凝聚结构。由于其凝结和硬化反应，使得在颗粒周围形成各种水化物的凝胶和结晶，它们不断生长延伸，将土颗粒和EPS颗粒胶结起来，并逐渐填充EPS颗粒间的大孔隙，使孔隙减少。由于聚苯乙烯轻质混合土的上述作用机理，改善了土的物理力学性质，使混合土具有较高的强度和较好的抗渗性能。

2. 混合轻量土固化剂的选择

固化剂分为主剂和辅剂，主剂主要起固结、加强土体骨架的作用，而辅剂是以催化、早凝为目的的固化材料。主剂以水泥类为主，常用的有火山灰水泥、普通硅酸盐水泥、高炉矿渣水泥等。这些材料加入土中后与水发生水化作用产生 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，而 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与原料土颗粒发生离子交换形成固化物，达到加固土体骨架的作用。

由于工程中常采用普通硅酸盐水泥，而且相对其他各种水泥而言，其形成的固化物强度没有明显的差别，且价格相对较低。因此，建筑用砂混合轻量土的固化剂采用普通硅酸盐水泥。

常用普通硅酸盐水泥的强度等级有32.5、42.5、52.5三种，通常水泥强度越高，形成的混合轻量土的强度就越高，由于一般工程中的混合轻量土是作为填土方面的应用，强度要求并不是很高，而且不同水泥强度等级价格相差较大。因此，采用32.5级的普通硅酸盐水泥作

为建筑用砂混合轻量土的固化剂。

3. 普通硅酸盐水泥的技术要求

普通硅酸盐水泥作为固化剂需要满足《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》国家标准 GB 175-1999。技术方面有如下要求：

(1) 不溶物。

I 型硅酸盐水泥中不溶物不得超过 0.75%。

II 型硅酸盐水泥中不溶物不得超过 1.50%。

(2) 氧化镁。

水泥中氧化镁的含量不得超过 5.0%。如果水泥经压蒸安定性试验合格，则水泥中氧化镁含量允许放宽到 6.0%。

(3) 三氧化硫。

水泥中三氧化硫的含量不得超过 3.5%。

(4) 烧失量。

I 型硅酸盐水泥中烧失量不得大于 3.0%，II 型硅酸盐水泥中烧失量不得大于 3.5%。普通水泥中烧失量不得大于 5.0%。

(5) 细度。

硅酸盐水泥比表面积 $>300\text{m}^2/\text{kg}$ ， $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不得超过 10.0%。

(6) 凝结时间。

硅酸盐水泥初凝不得早于 45min，终凝不得迟于 390min。普通水泥初凝不得早于 45min，终凝不得迟于 10h。

(7) 安定性。

用沸煮法检验必须合格。

(8) 强度。

水泥标号按规定龄期的抗压强度和抗折强度来划分，各标号水泥的各龄期强度不得低于表 1.7 数值。

表 1.7 水泥的抗压和抗折强度

品种	标号	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
		3d	28d	3d	28d
硅酸盐水泥	425R*	22.0	42.5	4.0	6.5
	525	23.0	52.5	4.0	7.0
	525R	27.0	52.5	5.0	7.0
	625	28.0	62.5	5.0	8.0
	625R	32.0	62.5	5.5	8.0
	725R	37.0	72.5	6.0	8.5
普通水泥	425	16.0	42.5	3.5	6.5
	425R	21.0	42.5	4.0	6.5
	525	52.5	22.0	52.5	4.0
	525R	26.0	52.5	5.0	7.0
	625	27.0	62.5	5.0	8.0
	625R	31.0	62.5	5.5	8.0

* R 代表早强。

(9) 碱。

水泥中碱含量按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值来表示,若使用活性骨料,用户要求提供低碱水泥时,水泥中碱含量不得大于 0.60%或由供需双方商定。

1.2.3 建筑用砂混合轻量土的轻质材料

1. 混合轻量土常用的发泡颗粒

混合轻量土的重要特点之一在于其的轻质性,常采用 EPS 颗粒、废弃的泡沫塑料、VDCF (Vinylidene chloride foam) 球粒、VDCF 碎片等作为混合的轻质材料。目前工程中常用聚苯乙烯颗粒 (EPS) 有如下原因:

(1) 废弃的泡沫塑料性质不均一,由此形成的混合轻量土性质很难保证。由于大量的废弃泡沫塑料是由各种不同来源形成的,其制造工艺及成分差异较大。

(2) 废弃的泡沫塑料需要二次处理。废弃的泡沫塑料通常是塑料块体,其远远大于混合轻量土所要求的尺寸特征 ($<5\text{mm}$)。故需要二次粉碎,粉碎后的小块体也可能形状且尺寸差异较大,形成的混合轻量土的性质也就有显著差异 (长漱公一, 2000)。

(3) VDCF 由于工艺的特殊性,其价格较高,很难在工程中采用。

综上所述,建筑用砂混合轻量土常用的轻质材料是聚苯乙烯,即通常所讲的 EPS (Expanded Poly Styrol, 简称 EPS)。

2. 聚苯乙烯颗粒 (EPS) 的性能

聚苯乙烯是一种轻型高分子聚合物,是土工泡沫材料中用得最为广泛的一种。按照发泡的方式分为模压法发泡和挤出法发泡两类。在成型过程中聚苯乙烯颗粒膨胀形成了许多封闭的空腔,这种结构决定了 EPS 具有轻质、耐久性、易加工和稳定性好等诸多优良工程特性,且有一定的抗压强度和较高的弹性模量。EPS 属超轻质材料,一般容重在 $0.02\sim 0.04\text{g}/\text{cm}^3$ 之间,为普通路堤填土容重的 1%~2%。与其他具有同样工程特性的土工泡沫材料相比, EPS 得到广泛应用有下列几点原因。

(1) EPS 是唯一未使用氟利昂或类似气体作为发泡剂的聚合物泡沫,不消耗地球上空的臭氧层,不含有环境荷尔蒙,对地球环境影响很小。

(2) 不挥发甲醛 (一些聚合物泡沫制成后持续挥发数年),完全燃烧后生成二氧化碳气体,不产生其他有害气体。

(3) 化学性质稳定,具有耐水性、耐腐蚀、耐微生物、耐某些矿物油、有机酸、碱、盐、低级醇及它们的水溶液,但不耐氧化性酸、酮类侵蚀,溶于芳烃如苯、甲苯、乙苯及苯乙烯单体等,使用时对环境无任何污染。

(4) 具有良好的耐久性,不能够进行生物降解,在水及泥土中成化学惰性,不能为微生物的滋生提供养料。

(5) 热稳定性好,热传导性低,导热系数约为 $0.13\text{kJ}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$,不溶于水,但水会以液态形式进入 EPS 块体中,随吸水量增加其导热性能增大。

(6) 与其他土工合成材料相比, EPS 具有良好的耐热性,当温度超过 150°C 时产生熔融,遇火能够产生燃烧。

(7) 受紫外线照射发生材质劣化,使用时表面应该覆盖土或混凝土板等。

EPS 是一种多功能的土工合成材料,在国外应用于土木工程已经有 30 多年的历史了,不

仅能够代替其他土工合成材料，而且还能扮演传统的土工合成材料所不能担当的角色，可以单独使用，也可以与其他土工合成材料复合使用。为解决土工技术问题，提供了更新、更有效、更经济的解决方法，在岩土工程和环境工程中取得了越来越广泛的应用。但由于价格比较昂贵，在工程施工中单独使用，不能够得到推广应用，如果利用它的轻质特性，将 EPS 球粒作为轻质混合土中的一种组成材料，既起到降低混合土密度的目的，又可降低工程造价。同时利用水泥的固化作用，提高混合土的抗压强度，这样研制的混合土不仅有较低的密度、成本，而且有较高强度，是一种理想的填土材料。

3. 聚苯乙烯颗粒（EPS）的形状确定

聚苯乙烯的形状有球形、碎粒及片。根据长湫公一（2000）及马时冬（2001）的研究表明：对应于加球粒、碎粒和片的轻量土，当容积比相同时，加球粒的密度最小，加碎粒的次之，加片的最大，说明加球粒的轻质效果最好，加片的最差；在密度相同或相近的情况下，加球粒的无侧限抗压强度、结构强度、压缩模量最大，加碎粒的次之，但加片的尽管密度大，无侧限抗压强度也大，然而结构强度和压缩模量却最小。图 1.1 说明了聚苯乙烯（EPS）的形状对强度及密度的影响。

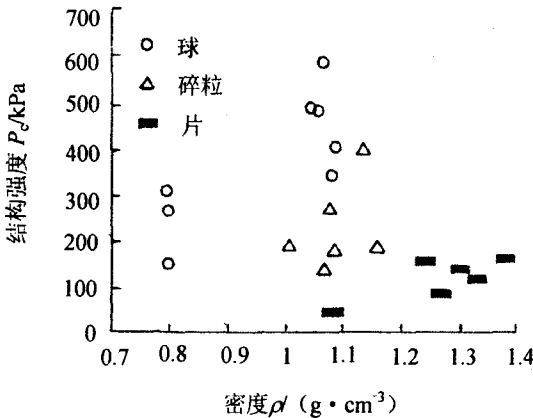


图 1.1 混合轻量土的强度与密度的关系

4. 聚苯乙烯颗粒堆积密度的选择

EPS 为轻量土的主要材料，目前常用的 EPS 容重有 16kg/m^3 、 25kg/m^3 、 30kg/m^3 、 35kg/m^3 、 45kg/m^3 等不同种类，不同容重的 EPS 对轻量土的容重和强度势必产生一定的影响。

为了研究不同容重的聚苯乙烯（EPS）对轻量土的强度和密度的影响，在砂、EPS 和水用量不变的前提下，通过改变水泥的用量，测定出不同容重的 EPS 轻量土的强度和湿密度。

表 1.8 为参考配合比，掺加量以砂的用量为基准（100%），其他掺量比均为其用量和砂的用量之比的百分率，在试验中砂、EPS、水的掺量比均保持不变，变化量是聚苯乙烯的种类及水泥掺量。

表 1.8 建筑用砂混合轻量土的参考配合比

组分	砂		EPS		水泥		水	
掺量	重量/g	掺量比/%	重量/g	掺量比/%	重量/g	掺量比/%	重量/g	掺量比/%
	1500	100	30	2	160	10.67	300	20

图 1.2 至图 1.7 为水泥掺量比分别为 5.3%、8.0%、10.7%、13.3%、16%、18.7%时的强度（标准养护 14d）和湿密度（成型时测定值）试验值。

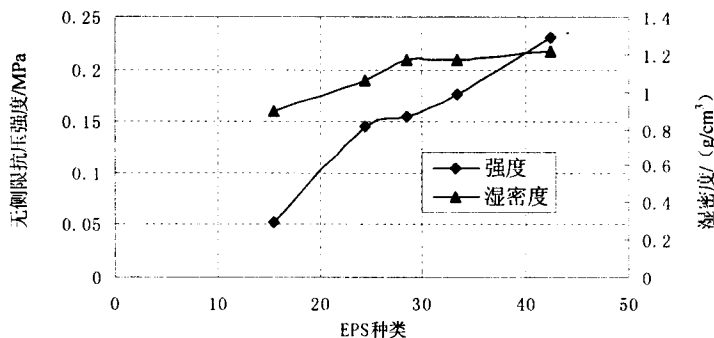


图 1.2 水泥含量为 80g 时（掺量比为 5.3%）的强度及密度

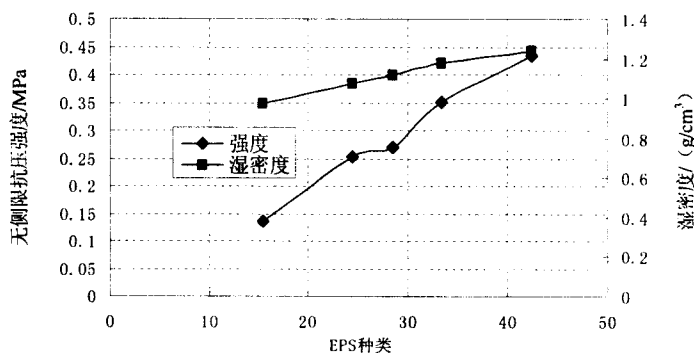


图 1.3 水泥含量为 120g 时（掺量比为 8%）的强度及密度

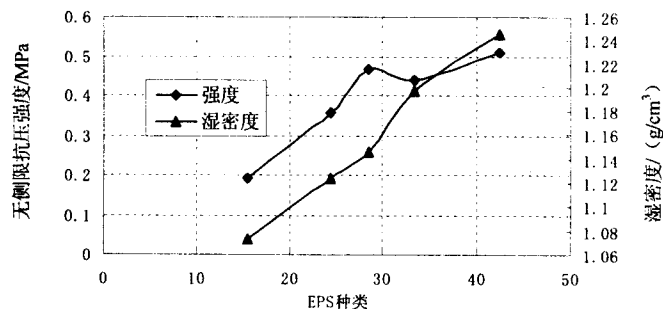


图 1.4 水泥含量为 160g 时（掺量比为 10.7%）的强度及密度