

## 内 容 介 绍

本书简明扼要地介绍了气泡混合轻质土的基本概念、材料组成、制作、设计和施工方法,着重论述了这种新型轻质材料在公路加宽、桥台台背填土、滑坡路段的填筑、陡峭及急转弯地段的填筑、隧道坑口的填筑、溶岩地区路基的填筑、地下空洞填充及作为寒冷地区道路隔热材料等的具体应用,书中列举了诸多有代表性的工程实例。本书可供从事公路及土木工程领域的设计和施工技术人员及管理人员参考。

书 名: 气泡混合轻质填土新技术

著 者: 陈忠平 王树林 邓江

责任编辑: 刘永芬

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (北京市)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 猿号

网 址: <http://www.jt.com.cn>

销售电话: (010) 59410000

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销 处: 各地新华书店

印 刷 厂:

开 本:

印 张:

字 数: 千

版 次: 2009年 1月 第 1版

印 次: 2009年 1月 第 1版 第 1次印刷

书 号: 15110.001

印 数: 1000~1500

定 价: 15.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

顾问：丸山英二 宫崎武知 覃维祖

编著：陈忠平 王树林 邓江

编著单位：广东冠生土木新技术有限公司

日本麻生气泡轻质土株式会社

广东冠粤路桥有限公司

主要作者：(按姓氏笔划为序)

王树林 邓江 邓万福 文跃顺 刘事莲

李连生 陈忠平 肖礼经 汪建斌 罗枫

罗旭东 杨航宇 钟敏 谢学软 魏宏志

---

# 序

---

改革开放以来,我国公路建设蓬勃发展,截止 2014 年年底,高速公路的总里程已近 10 万公里,跃居世界第二。

在公路建设大发展中,也出现一些有待解决的技术难题,比如:软基地段的桥头跳车问题、高填土路堤的边坡稳定问题、寒冷地区的路基冻胀问题等。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,同时大大降低了运营服务质量,甚至造成行车事故,危及人身安全。

提高公路工程质量,攻克技术难关,必须依靠科技进步,采用先进技术,包括新材料的应用。本书介绍的气泡混合轻质填土技术在解决桥头跳车、减轻填土路堤重量方面有明显的效果。

气泡混合轻质土的容重可在  $12 \sim 18 \text{ kN/m}^3$  的范围

此为大改,需要完全免费下载,请访问: [www.cnki.net](http://www.cnki.net)

内自由调整 ;因为其中含有大量气泡 ,隔音、隔热性能好 ,抗冻融性更为突出。可在旧路加宽、软基路段的桥台台背填土、冻土地段防治热融沉陷、软基或溶岩地区作为路堤填料、减轻地基负荷提高稳定性等方面发挥其性能特点。

交通部对气泡混合轻质土技术的开发研究非常重视 ,~~1999~~原年在西部交通建设科技项目中立项进行科技攻关。承担该项目的冠粤路桥有限公司在广东已完成了两个试验段 ,一个是道路加宽 ,另一个是桥台台背填土 ,都取得了较满意的效果。在内蒙古呼伦贝尔盟通过试验段进一步验证气泡混合轻质土用于隔热层、底基层的可行性 ,以及解决桥台背填土冻胀、桥头跳车等问题。

气泡混合轻质土所用的材料便利廉价 ,同时还可利用废弃土减轻环境污染。可以说它集新技术、环境保护、资源合理利用为一身 ,应用前景十分广阔。

中国工程院院士

摇摇摇摇摇

沙庆林

二〇〇四年十月

---

## 前摇言

---

摇摇在公路软基路段 ,常遇到桥头跳车、高路堤失稳 ,新旧路基沉降差 ,严寒地区冻融破坡等问题 ,不仅在我国甚至在世界上都是难题。

为了解决上述问题 ,集广大建设者的智慧 ,已经积累了很多经验 ,从新材料及相关的技术上解决是一条行之有效的途径。

此外 ,随着人类对环境保护问题的重视 ,使用废弃土、废弃材料制作轻质土的技术也备受重视。

为了适应我国大规模公路建设的需要 ,广东冠粤路桥有限公司率先在国内引进开发了气泡混合轻质土技术 ,并将其用于实践 ,在广东已应用于道路加宽和桥台背后填土工程 ,并取得了满意的效果。

因气泡混合轻质填土技术是首次在国内开发和应用 ,为了让更多的工程技术人员了解它 ,使它尽快在公

路建设中发挥作用,我们根据试验研究和工程实践,编写了此书,较全面地介绍了气泡混合轻质填土技术的概念、特性、应用领域、设计施工方法和质量管理等。

本书在编写过程中得到了中国公路学会道路工程分会理事长陈国靖先生的指导和大力支持,参考了大量的国内外文献及试验资料。此外,许多工作人员在图象处理、资料录入及校对等付出了辛勤劳动,在此一并感谢。

由于编者水平有限,书中有不妥或错误之处,敬请批评指正。

编著者

圆园园年 圆月

# 目 录

第 1 章 气泡混合轻质土基本概念.....	1
1.1 气泡混合轻质土主要成分及制作 .....	1
1.2 气泡混合轻质土优点 .....	2
1.3 与其他轻质土工材料比较 .....	3
第 2 章 气泡混合轻质土性能.....	4
2.1 基本性能 .....	4
2.2 容重 .....	4
2.3 透水性 .....	5
2.4 隔热性能.....	5
2.5 力学特性.....	5
2.6 无侧限抗压强度.....	5
2.7 抗拉强度.....	5
2.8 抗弯强度.....	5

摇摇圆圆摇摇附着强度.....	怨
摇摇圆圆摇摇摩擦抵抗特性.....	圆
摇摇圆圆摇摇三轴压缩力学性能.....	圆
摇摇圆圆摇摇耐久性.....	圆
摇摇圆圆摇摇反复加载后的强度变化.....	圆
摇摇圆圆摇摇干湿循环对性能的影响.....	圆
摇摇圆圆摇摇冻融循环对性能的影响.....	圆
摇摇圆圆摇摇徐变特性.....	猿
摇摇圆圆摇摇暴露试验.....	猿
第 猿章摇摇气泡混合轻质填土技术应用及综合经济评价.....	猿
摇摇猿猿摇摇气泡混合轻质填土技术在公路建设中的应用.....	猿
摇摇猿猿摇摇用于道路加宽.....	猿
摇摇猿猿摇摇用于桥台背填土.....	猿
摇摇猿猿摇摇用于软基路堤的填筑.....	源
摇摇猿猿摇摇滑坡路段路堤的填筑.....	源
摇摇猿猿摇摇陡峭及急转弯地段的填筑.....	源
摇摇猿猿摇摇隧道坑口的填筑.....	源
摇摇猿猿摇摇作为溶岩覆盖层表面路堤的填料.....	源
摇摇猿猿摇摇作为寒冷地区道路的隔热层.....	源
摇摇猿猿摇摇作为路面基层的填充料.....	源
摇摇猿猿摇摇地下空洞的填充.....	源
摇摇猿猿摇摇综合技术经济评价.....	源
摇摇猿猿摇摇公路工程项目成本的影响因素.....	源
摇摇猿猿摇摇不同工法的综合技术经济比较.....	源
摇摇猿猿摇摇结论.....	远
第 源章摇摇气泡混合轻质填土设计.....	远
摇摇源源摇摇填土设计.....	远
摇摇源源摇摇填筑断面设计原则.....	远
摇摇源源摇摇设计荷载.....	远

摇摇源缘缘	气泡混合轻质土容重及强度的设定 .....	远
摇摇源缘源	配合比选择 .....	远
摇摇源缘缘	检算内容和方法 .....	苑
摇摇源缘	以减轻土压为目的设计 .....	愿
摇摇源缘	作为人造山的使用方法 .....	愿
摇摇源缘	填充材料、回填土的使用 .....	愿
摇摇源缘	设计细节 .....	怨
第 缘章	施工方法及质量控制 .....	员园
摇摇缘缘	施工方法 .....	员园
摇摇缘缘	施工质量管理的 .....	员源
第 远章	工程实践 .....	员怨
摇摇远缘	广东中江高速公路港口立交桥台背气泡混合 轻质填土工程 .....	员怨
摇摇远缘缘	工程概况 .....	员怨
摇摇远缘缘	气泡混合轻质土填筑设计 .....	员愿
摇摇远缘缘	气泡混合轻质土填筑施工 .....	员员
摇摇远缘缘	效果分析 .....	员缘
摇摇远缘	广东京珠高速公路粤境南段太和互通北二环 道路加宽工程 .....	员苑
摇摇远缘缘	工程概况 .....	员苑
摇摇远缘缘	效果分析 .....	员怨
摇摇远缘	西部交通科技项目——气泡混合轻质土的应用 技术研究简介 .....	员员
摇摇远缘缘	项目研究的目的 .....	员员
摇摇远缘缘	项目研究内容 .....	员圆
摇摇远缘缘	实施方案 .....	员圆
摇摇远缘	武汉长江大桥附属设施大整修中的应用 .....	员缘
摇摇远缘	日本的典型工程举例 .....	员远
摇摇远缘缘	日本北海道高速公路枢纽工程 .....	员远

---

摇摇远缘园	摇摇日本海沿岸东北高速公路某工程 .....	员愿
摇摇远缘园	摇摇日本九州高速公路福岡立交改造工程 .....	员园
摇摇远缘园	摇摇日本中央高速公路八王子枢纽工程 .....	员园
摇摇远缘园	摇摇日本山形高速公路仁田山工程 .....	员园
摇摇远缘园	摇摇主线输水管道工程 .....	员园
附表	部分工程实例简介(日本 员怨缘年 ~ 员怨愿年) .....	员缘
参考文献	.....	员

# 第 1 章

## 气泡混合轻质土基本概念

### 1.1 气泡混合轻质土主要成分及制作

按照一定的比例在原料土中 ,添加固化剂、水和气泡 ,经过充分混合、搅拌后所形成的轻型填土材料 ,称为气泡混合轻质土。图 1.1 简要地说明了气泡混合轻质土的制作流程。

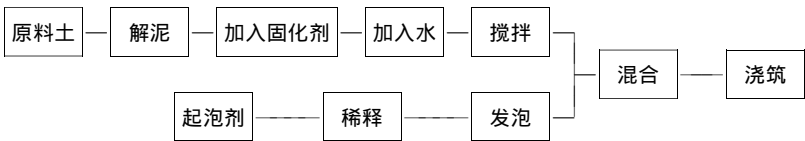


图 1.1 气泡混合轻质土的制作流程

#### (1) 原料土

原料土可以是工程废弃土 ,也可以是砂质土或黏性土 ,但是 ,为了达到与固化剂及气泡的均匀混合 ,并确保气泡混合轻质土的流动性 ,原料土颗粒直径宜小于 2mm ,对于不满足要求的原料土 ,应事先进行解泥及必要的筛分处理。

### (圆) 固化剂

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水化硅酸钙,而水化硅酸钙与黏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。实践证明,使用高炉矿渣水泥的效果更佳。辅剂是指石膏粉、硅粉等辅助材料,加入这些材料的目的在于减少主剂的用量,达到降低造价的目的。

### (猿) 起泡剂

起泡剂主要有界面活性类、蛋白类、树脂类等材料,按适当的倍率稀释后的起泡剂,定量泵送到发泡装置,与压缩空气充分混合而产生大量的微小气泡群。图 员圆 简要地说明了气泡的制作流程。在这里,压缩空气是通过空压机加压,用减压阀控制输气压力,以稳定的压力和气量向发泡装置供气。气泡是由致密、直径约为 猿~ 猿皂(员皂皂)左右的气泡群构成。气泡应具有一定的稳定性,与土混合后可在土中形成大量而微小的不连通孔隙。

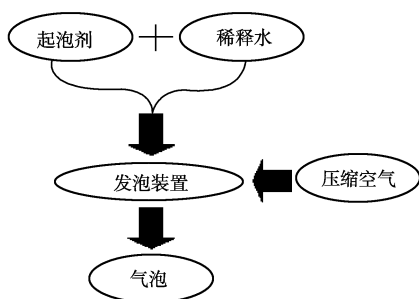


图 员圆 气泡制作流程

## 员圆 气泡混合轻质土优点

气泡混合轻质土的容重比一般土体小得多,而强度可达到甚至超过良好的土体,且强度和容重还可以按需要自由调整。轻质土还具有好的力学特性和隔热、隔音性能,便于施工等特性。气泡混合轻质土用于工程建设上,具有以下优点:

### (员) 轻质性

在气泡混合轻质土内均匀分布着大量的独立闭合胶质气

泡,气泡膜是一种具有较强韧性的物质,气泡之间互不通水,从而使材料的容重比常规土小得多(表 1-1 及图 1-1)。根据工程上不同的需要,通过适当调整产品中的气泡、固化剂及土的含有率,气泡混合轻质土的容重可在 3~18 kN/m<sup>3</sup> 的范围内自由调整。

几种主要土建材料的容重比较(单位: kN/m<sup>3</sup>)

表 1-1

水泥混凝土	路面底基层	填土路基	粉煤灰	气泡混合轻质土
24	18~20	18~20	18~19	3~18

### 强度(无侧限抗压)的可调节性

与容重的可调节性原理一样,通过改变轻质土中各种成分的比例,其强度可在 0.1~10 MPa 的范围内调整。

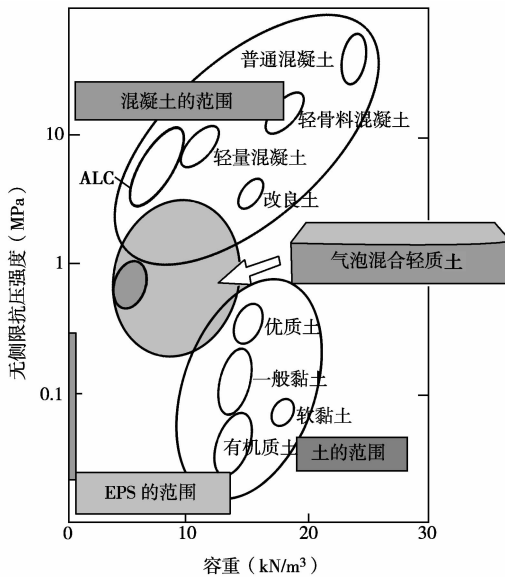


图 1-1 常用几种土工材料的容重与无侧限抗压强度之间的关系

### (高流动性

气泡混合轻质土具有良好的流动性,可通过管道泵送,其最大输送距离可达 1 km,如果通过中继泵,还可输送更远的距离,最大泵送高度可达 100 m。

### (固化后的自立性

气泡混合轻质土由于使用水泥作为固化剂,通常在浇筑源后就会开始固化自立,固化后对挡土结构物几乎没有推挤力,因而可进行垂直填筑。

#### (缘)良好的施工性

气泡混合轻质土由于其具有良好的流动性和固化后的自立性,且浇筑时不需振捣和碾压作业,可进行远距离或在窄小空间内施工。此外,气泡混合轻质土中混有大量的气泡群,成品的体积可达到原材料体积的猿倍以上,提高了施工材料的运送效率。

#### (远)耐久性

气泡混合轻质土属水泥类材料,与高分子材料相比,其耐久性、耐热及抗油污能力强,具有水泥混凝土材料同等的耐久性。

#### (苑)良好的隔热、隔音效果及抗冻融性能

气泡混合轻质土含有大量的气泡,其气泡体积含有率可达源~苑%,导热系数小,具有良好的隔热、隔音效果及抗冻融性能。

## 员. 摇摇与其他轻质土工材料比较

目前,国内外采用的轻质填土种类较多,现将常用的几种类型材料列于表员中,以供同仁们研究、比较。

几种轻质土工材料特性比较表

表员

轻质填土材料	构摇成	容摇重 (噪老)	主要特性
摇粉煤灰等材料构成的轻质土	摇火山灰质 摇矿渣颗粒	圆- 员	摇需进行碾压施工; 摇具有自硬性(火山灰质成分的水化反应); 摇废弃材料的再利用; 摇不能期待太大的减重效果

续上表

轻质填土材料	构摇成	容重 ( $\text{kN/m}^3$ )	主要特性
摇泡沫塑料块 体轻质土(轻砂)	摇泡沫塑料 块	1000~1050	摇超轻量的合成树脂发泡体； 摇价格昂贵； 摇不能利用建筑废弃土； 摇对水的浮力抵抗差
摇泡沫塑料颗 粒混合轻质土	摇土砂、泡沫 塑料颗粒及 稳定材料(水 泥)	苑以上	摇容重可自由调整； 摇与土的变形特性相近； 摇可利用废弃土制作
摇气泡混合轻 质土	摇土砂、水 泥、水及气泡	缘以上	摇容重和强度可自由调整； 摇具有流动性、自硬性； 摇可利用废弃土制作； 摇不需机械压实作业； 摇力学性能好,隔热、隔音等效果 佳

## 第 10 章

### 气泡混合轻质土性能

气泡混合轻质土属于水泥制品系列,但因含有大量的气泡,其性能却与普通水泥砂浆、混凝土迥然不同。

#### 10.1 基本性能

##### 10.1.1 容重

按照工程要求,在气泡混合轻质土中添加气泡,以保证其轻质性。但是,气泡混合轻质土中的气泡含量,随着浇筑时的输送距离、厚度等浇筑条件而变化,同时在固化及压缩过程中也会有少量地消泡现象发生,从而导致气泡混合轻质土气泡减少、容重增加。此外,在地下水位以下或浸入水中气泡混合轻质土容重也会增加。下面着重阐述浇筑厚度及吸水对容重的影响问题。

##### ① 浇筑厚度对容重的影响

在直径 100mm 高 1000mm 的管中,分三种情况浇筑气泡混合轻质土:第一种是一次完成 1000mm 厚的浇筑量,第二种是第一次先浇筑 500mm,一天后再浇筑余下的 500mm,第三种是第一次浇筑 500mm,两天后

再浇筑其余 10cm。然后经过试验观察浇筑厚度与容重和强度的关系(图 4-10)。从图 4-10 中不难看出:一次浇筑厚度越大,下部的容重越大,强度也越高。因此,在要求轻质填土的情况下,要特别控制每层的浇筑厚度。

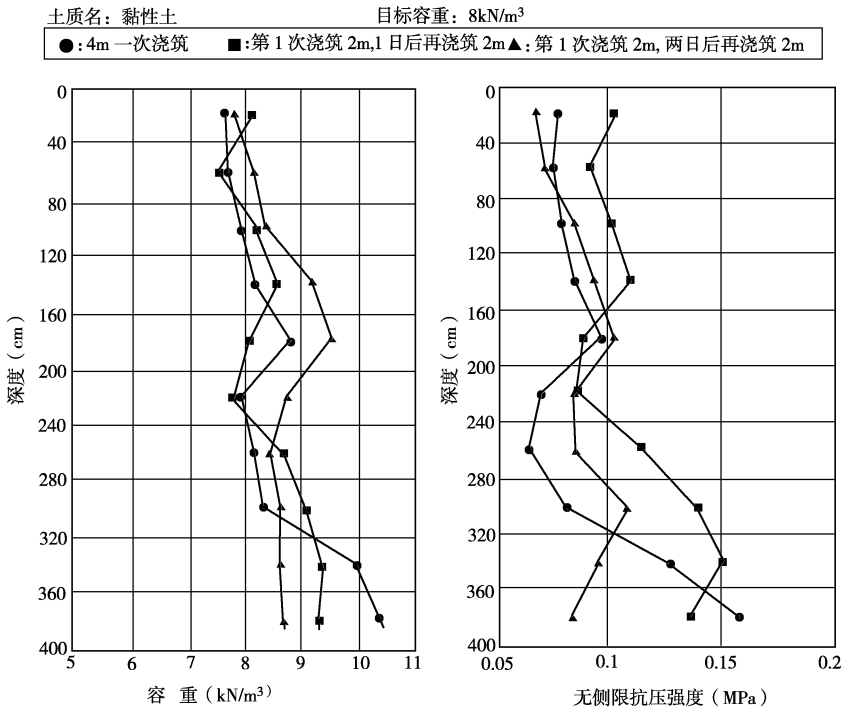


图 4-10 浇筑厚度与容重及无侧限抗压强度的关系

### (四) 吸水对容重的影响

因为气泡混合轻质土中含有空隙,所以应特别关注浸水对容重的影响。通过将直径 100mm、高 100mm 的试件全部浸入水中进行试验,其结果示于图 4-11。从试验可以看出:气泡混合轻质土浸水后,由于吸水而使容重增加,气泡含量越多(即密度小的)的气泡混合轻质土浸水后容重增加的越多。

现将长期浸水试验结果示于图 4-12。浸水深度分为 10cm 和 20cm (从试件顶面算起)两种情况,显然浸水 20cm 试件,其容重增加的比例大于浸水 10cm 的。