

建筑材料水泥土

肖 林 王春义 郭汉生 合编

水利电力出版社

建筑材料水泥土

肖 林 王春义 郭汉生 合编

水利电力出版社

建筑材料混凝土

肖 林 王春义 郭汉生 合编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米·32开本 8.75印张 190千字
1987年5月第一版 1987年5月北京第一次印刷

印数 0001—6890册 定价1.80元

书号 15143·6237

内 容 提 要

本书依据国内外有关文献资料和研究应用的经验，着重介绍了水泥土这种新型地方建筑材料的物理力学性能，在渠道防渗、小型桥涵、地下排灌、土坝护坡和软基处理等工程中的应用实例，以及提高水泥土材料性能的措施等等，并附有必要的室内试验方法。可供从事水利、水运、公路、建筑等土木工程设计、施工和科学研究人员参考，也可作为大专院校有关专业师生的参考读物。

前 言

水泥土是一种性能较好而且比较廉价的新型地方建筑材料，它主要由土料、水泥和水等原料组成。这些原料经过恰当的配合和处理，即成为一种具有一定力学强度和耐久性能的材料，可以广泛地应用于水利、交通和建筑等各类土木工程中。

这种建筑材料在国内应用的时间虽然较晚，但是近十年来在水利和其他建筑工程中广泛试用的结果表明，只要掌握好水泥土的施工质量，一般来说就能获得满意的效果，因而愈来愈引起人们对这种新型建筑材料的兴趣和重视。

在国内推广水泥土材料，特别是在水利建设中大量采用这种廉价实用的当地新材料，将会给社会带来巨大的经济效益。为此，根据国内已有试验研究成果和试用经验，并参考国外有关资料编写了这本以水泥土在水利工程中应用为重点的专著，介绍有关水泥土的性能和应用技术，期望对研究和应用水泥土材料感兴趣的同志们有所帮助。

水泥土材料的研究和应用，在国内尚属新生事物，目前既无统一的试验规范，又缺乏应有的设计施工规程，而且水泥土材料的性能复杂，影响因素很多，涉及的学科较广，编者在编写过程中深感才疏学浅，很难达到预期目的，谬误之处，敬请读者多加批评指正。

书中不少内容取材于国内有关单位，如冶金部建筑研究总院、交通科学研究院公路研究所、长江流域规划办公室、内蒙水利勘测设计院、天津市水利科学研究所等单位的试验

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 水泥土发展简况	1
第二节 水泥土分类	5
第三节 水泥土硬化机理和特征	7
第四节 水泥土优缺点	13
第二章 水泥土原料	15
第一节 土料	15
第二节 水泥	21
第三节 水	26
第四节 外加剂	26
第三章 干硬性水泥土的力学性能	29
第一节 抗压强度	30
第二节 抗拉强度	51
第三节 抗折强度	53
第四节 抗剪强度	56
第四章 细粒干硬性水泥土的耐久性能	61
第一节 抗冻性能	61
第二节 耐干湿循环能力	69
第三节 耐腐蚀能力	71
第四节 抗渗性能	72
第五节 耐冲刷性能	76
第五章 水泥土变形特性	80

第一节	受力变形	80
第二节	体积变形	83
第三节	防裂的措施	91
第六章	水泥土配合比设计	94
第一节	水泥土标号	94
第二节	强度的取值	96
第三节	配合比设计	100
第四节	配合比设计举例	104
第七章	水泥土管道工程	110
第一节	水泥土管设计	111
第二节	水泥土管生产	120
第三节	水泥土管质量检验	131
第四节	水泥土管道工程实例	135
第八章	水泥土桥涵工程	139
第一节	水泥土桥涵设计	140
第二节	水泥土块生产	150
第三节	桥涵工程施工	156
第四节	水泥土桥梁工程实例	157
第九章	水泥土防渗工程	160
第一节	防渗工程设计	161
第二节	防渗工程施工	164
第三节	渠道防渗工程实例	170
第四节	水泥土防渗效果和效益	173
第十章	水泥土护坡工程	181
第一节	护坡工程设计	182
第二节	护坡工程施工要点	187
第三节	护坡工程实例	192

第十一章 水泥土地基处理工程	200
第一节 概述	200
第二节 水泥处理地基设计	206
第三节 施工方法概述	210
第四节 地基处理工程实例	215
第十二章 水泥土增强改性措施	223
第一节 掺合法	223
第二节 浸涂法	235
第三节 复合法	243
附录	245
附录 1 水泥土土料分类	245
附录 2 水泥土含水量与干容重试验	251
附录 3 水泥土强度试验方法	255
附录 4 水泥土抗渗试验	261
附录 5 水泥土冻融试验	263
附录 6 水泥土干湿试验	265
参考文献	267

第一章 绪 论

第一节 水泥土发展简况

六、七十年前,水泥土材料已在国外有所应用。1915年美国佛罗里达(Florida)州一位大胆的铺路承包人,无意识地创造了很可能是世界上首次应用水泥土的实例。按照目睹者估计,奥克(Oak)街的一段,是他用在海湾挖出的贝壳,使犁将它和砂子、水泥混合在一起,经10t蒸汽压路机将表面压实而成。

多年来工程师们在试验土和水泥的混合物,试图找到能够利用当地土料为主要原料的廉价筑路材料,这就是国外最早应用水泥土的目的。三十年代,美国在铺筑道路、公路、机场跑道方面,已使用了水泥土约1.91亿 m^3 。四十年代,水泥土试验标准由美国材料试验协会(ASTM)以D-18^①编订在工程土壤规程中。当时已有水泥土混合物的含水量与密实度关系试验方法、压实水泥土干、湿循环试验方法、压实水泥土冻、融循环试验方法、用水泥土抗折试件断裂段测定抗压强度的试验方法,以及新混合的水泥稳定土中水泥含量试验方法等等。这些均说明了水泥土这种新材料已被该协会认可,并且抓住水泥土材料的主要特性统一了试验方法,为正确的推广应用提供了科学的依据。

① 天津市水利规划设计院等译,水泥土在水工建筑物中的应用(第12届国际大坝会议第44问题第13号报告),1977。

五十年代初，美国曾经在邦奈 (Bonny) 水库土坝上用水泥土做护坡材料试验，十年后取样检验，材料强度较28天龄期的增长了一倍，而且各层水泥土之间结合的较牢固。由于试验结果是肯定的，所以到七十年代中期，美国各地已有55座水库大坝采用了水泥土护坡，其中加州卡斯介克坝坝高102m。这些大坝的水泥土护坡工程量达160万 m^3 。这一成功经验，在第十届和第十二届国际大坝会议上引起重视。苏联七十年代也在国内介绍了美国大坝水泥土护坡的经验。

象印度这样的发展中国家，水泥土材料的应用亦很广泛，不仅用于筑路、防渗、护坡，还用于修建民房。据报导，印度1948年在旁遮普省建筑了4000幢水泥土民房，水泥掺量为2.5%，1955年报导，建筑物经多年使用后情况良好^①。印度建造的水泥土民屋如图1-1所示，房屋的墙体由厚200mm的水泥土预制块，用1:8的水泥砂浆砌成。这种民房是印度



图 1-1 印度水泥土房

① 长江流域规划办公室水利水电科学研究院，水泥土室内强度试验报告——附（水泥土简介），1973。

建筑工程研究中心设计的23种低造价样板房的一种，它的造价是23种样板房的倒数第三，而且保温和防潮性能较好。印度混凝土刊物还报导过有的国家在水泥土中配上竹筋，制成竹筋水泥土，应用于门楣、窗楣等处。

非洲一些国家，如赞比亚、安哥拉、肯尼亚等国也大量使用水泥稳定土做基层和底基层修筑了上千千米沥青面层的公路。据英国道路研究所调查，水泥掺量为 $3\% \sim 8\%$ ，只有肯尼亚的一些道路上水泥稳定土基层的使用情况较差，破坏比例达 $20\% \sim 40\%$ ，出现了裂缝、剥落和变形，其他国家的道路使用情况均良好。

可见，世界上无论是发达的国家，还是发展中国家，都在广泛地应用这种廉价的地方建筑材料。不过，现有有关水泥土应用的资料表明，国外大多把少量水泥掺入土中看作是一种稳定土的措施。土料经过水泥固结后，具有较好的承载力和抗剪能力，所以主要用于承受抗弯作用的道路和机场跑道的基层和底基层，以及建筑物的地基处理。随着人们对水泥土材料性能的不断深入研究，正逐步将水泥土推广应用到水工建筑物上。

水泥土材料在国内土建工程中应用尚属初期，例如水利工程在七十年代前期才开始研究和试用水泥土。长江流域规划办公室水利水电科学研究所、内蒙古自治区水利勘测设计院以及广东、河北等省水利科学研究所都是开始研究或在水利工程中试用水泥土材料较早的单位。他们在石料奇缺的长江荆江大堤上进行水泥土护坡试验，在塞外严寒地区的红领巾水库灌区用水泥土作渠道防渗试验，也在南方酸性土壤的农田里埋设水泥土管做排灌试验，这些早期的实践是应用水泥土的大胆尝试，甚至还是创举。

七十年代中后期，国内又有山东、天津、北京等七、八个省、市的水利科研、设计单位相继开展了水泥土应用研究工作，大家比较深入地研究了材料的一些基本物理力学性能。在此基础上，比较广泛地试用水泥土预制成管材，做为田间排水或输水暗管，也用于渠道防渗、农用桥涵、土坝护坡、地基处理以及民房建筑等地下、地上建筑物。

八十年代以来，水利部门对水泥土材料的研究试用更为普遍和重视。象云南、新疆这些边远省、区的水利科研单位都在积极开展研究和试用。据不完全统计，目前约有二十个省、市、自治区的水利部门，程度不同地研究和试用了这种新型建筑材料，其中试用比较广泛的是江苏省。这个地处江、淮下游，黄海之滨的省，短短几年时间，从江南到徐淮，在河道护岸、海堤护坡、渠道防渗、农田暗管排灌、农用桥涵以及其它小型建筑物等大小水利工程上都有试用水泥土材料的实例，全省出现了在水利工程中推广水泥土材料的好势头。

在地基深部就地将软粘土和水泥浆强制拌和，使软粘土硬结成具有整体性、水稳性和足够强度的地基土是国内建筑部门应用水泥土的一项重要内容，也是建筑部门七十年代后期用来加固地基的新技术。所以，在建筑工程中推广应用水泥土还是一个有待开发的新领域。

1974年辽宁省在沈抚南线公路上铺筑了十余千米水泥稳定土作为高级沥青面层的基层，这是我国公路上第一次正式大规模应用水泥稳定土的工程实例。

最近几年，在一、二级干线公路上用水泥稳定土类做基层和底基层，有了较快的发展，例如广东、黑龙江和北京等省、市都有所试用，其中广东省在公路上已试用了上百千米。

广东省某线路上试用水泥稳定土类基层和底基层修筑沥青混凝土干线公路，取得了良好的效果。试验报告的结论是：“在有条件的地方，应优先采用水泥稳定土类基层和底基层”^①。随着我国社会主义经济建设的繁荣和发展，水泥土材料在公路建设上具有广阔的应用前景。

国内根据生产建设的需要和自己的国情，不仅将水泥掺入土中视为稳定土、加固土或改善土的措施，用于强度要求不高、建筑物体积较大的土建工程中，而且还将这种比强度较低的水泥土（水泥土的比强度值约为0.038，混凝土的比强度约为0.12），用于承受水压、承受活载、承受冲刷等强度要求较高、尺寸较薄的水工建筑物上。所以国内对水泥土材料的研究，既着眼于水泥稳定土的特性，又特别关注水泥土水工建筑材料性能，如抗渗、抗冻、抗冲、抗腐蚀等耐久性能。在研究力学强度和多种耐久性能的同时，国内还致力于探求提高强度和改善性能的有效措施。虽然水泥土材料的应用较国外晚了许多，但对材料全面性能的研究并不太迟，而且在研究内容和方向上还有所发展。例如，采用浸渍技术对预制水泥土管进行处置，不仅显著提高了管材强度，有效地改善了管材耐久性能，而且工艺简单，成本低廉，为成功地运用水泥土材料提供了可靠的技术保证；在掺用外加剂和养护技术方面也有所发展。

第二节 水泥土分类

如果水泥土混合物中土料、水泥和水等主要原料的比例、

① 交通部公路研究所等，某线试验路研究报告（交公研道字83-2号），1982。

成份以及水泥土施工工艺有所不同，则将构成不同形状的水泥土，因而其用途和用场各不相同。按水泥掺量，美国米契尔 (J·K·Mitchell) 教授将水泥土分为：

水泥土——水泥掺量应满足美国材料试验协会规定的干湿试验和冻融试验要求。

水泥处理土——指水泥掺量少于“水泥土”的那种水泥土混合物。

按坚硬程度，美国公路部门将水泥土分为：

水泥处理土——一种粉碎了的土和水泥、水的拌和混合物，没有质量要求，仅表明水泥和水掺入土中。

水泥土——一种粉碎了的土和水泥、水的混合物，经机械压实和养护后形成的坚硬材料，它具有需要的强度和耐久性。

水泥改良土——一种粉碎了的土和水泥、水的不坚硬或半坚硬混合物。水泥改良土通常只是改善土的物理性质，如降低土的塑性指数，减少体积变形等，因此水泥掺量少于水泥土。

按混合物中含水量，水泥土可分为：

干硬性水泥土——这是在某一压实功能下，按适宜含水量与最大干容重确定的掺水量和水泥及粉碎土的掺量，经均匀拌和、压实和养护后，具有一定强度和耐久性的水泥土。

湿塑性水泥土——这是一种掺水量远较干硬性水泥土的适宜含水量大的水泥土，具有类似灰浆或砂浆的稠度，但经过养护，也是硬化的水泥土，有一定强度和耐久性。湿塑性水泥土的合理水泥掺量，通常比在适宜含水量条件下压实至最大干容重的合理水泥掺量高 4 % 左右，这为的是在干容重较低的情况下，仍能获得较好的强度。

按土料粒径，水泥土可分为：

细粒状水泥土——这种水泥土混合物的土料中，50%以上的粒径小于0.1mm，它是平原地区常见的土料，含砂粒不多，主要由粉粒和粘粒组成。一般说，粉粒和粘粒为主的土料配置成的水泥土，所需的水泥掺量较多。

粗粒状水泥土——这种水泥土混合物的土料中以砂砾石为主，夹有微塑性粉粒，粘粒含量很少。粗粒状水泥土的水泥掺量较细粒状水泥土少，但是由均匀砂配制的水泥土则例外。

在缺石少砂的平原地区，由于细粒土储量丰富，所以细粒状水泥土广为应用。粗粒状水泥土中微塑性或塑性颗粒含量较少，骨料本身的理化性质比较稳定，所以经过压实和养护后，它的物理力学及耐久性能均较细粒状水泥土好。水泥土性能的优劣基于对混合物夯压的密实程度，因此在水泥掺量相同的条件下，干硬性水泥土由于能够获得最大干容重，所以比湿塑性水泥土的性能好。但是湿塑性水泥土可方便的在坡度陡于4:1及位于狭窄地区的防冲部位上铺筑。水泥处理土、水泥改良土广泛用于软弱地基处理和公路工程的基层或底基层。

第三节 水泥土硬化机理和特征

无机素土中掺入少量硅酸盐水泥，掺水拌匀后，使其密实，并经过适当养护，水泥颗粒与土粒间产生理化反应，逐渐硬化后成为一种新的物质——水泥土。冶金工业部建筑研究总院的研究报告指出：用TURM—62型X衍射仪对天然土和水泥土进行分析，比较5个月龄期水泥土和天然土的

X——衍射图谱时发现，在 θ 角为 6.75° 处出现一个新峰，见图1-2。

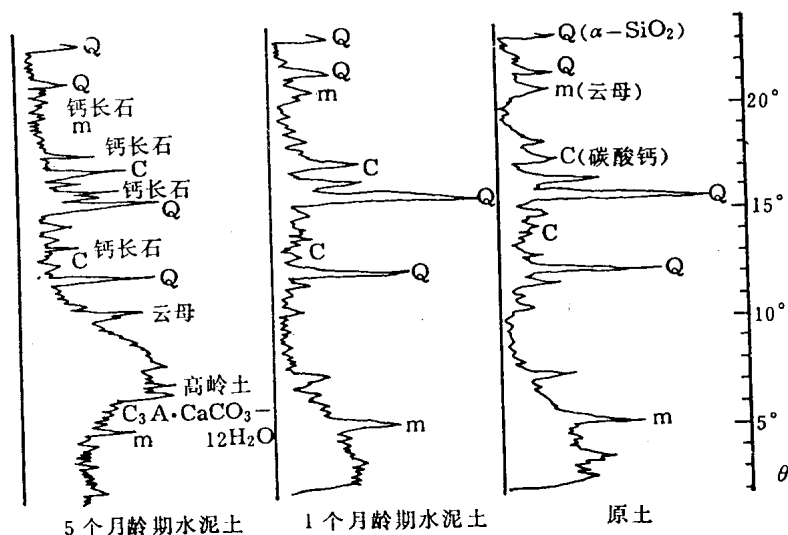


图 1-2 X 衍射试验结果分析

由 d 值查出，它是 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 的特征峰。这一试验结果定性的说明，水泥和土发生反应后生成了新的化合物。

这种新物质改变了原土料的特性，成为一种具有自身特征的新型建筑材料，这就是水泥土。

一般说，土在水泥土中起骨架作用，水泥起胶凝作用，似乎水泥土的硬化机理与通常的人造石——混凝土一样。其实不然，因为水泥土中土料是一种复杂的多相分散体系，它既包含惰性原生矿物，如石英 (SiO_2)，正长石 (KAlSi_3O_8)，白云母 ($\text{KHA}l_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$) 等等；也包含活性次生粘土矿物，主要有硅酸盐次生矿物。三氧化物 (Al_2O_3 和 Fe_2O_3) 以及

非晶质矿物，如硅酸水凝胶和水化氢氧化铁^①等等。这些次生粘土矿物的粒径很小，在土壤溶液中呈现胶体质，理化性质活跃，所以土料在水泥土构成中也有胶结成份，因而使得硬化机理远较混凝土复杂。

以粘土及粉土等细颗粒土、易产生液化的砂质土为主的所谓软粘土水泥土，据冶金部建筑研究总院初步分析，认为凝结与硬化机理有三种成因：

- 1) 水泥的水解和水化反应；
- 2) 离子交换和团粒化作用；
- 3) 硬凝反应。

他们从JSM-U 3 型扫描电子显微镜中观察到，天然土样只是各种原生矿物的自然堆积，孔隙很多，见图 1-3。但



图 1-3 天然土料

① 清华大学水利系农田水利工程教研组，土壤物理学，1981。