

喷射混凝土与土钉墙

程良奎 杨志银 编著

中国建筑工业出版社

喷射混凝土与土钉墙

程良奎 杨志银 编著

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

喷射混凝土与土钉墙/程良奎, 杨志银编著. -北京: 中国
建筑工业出版社, 1998

ISBN 7-112-03598-8

I. 喷… II. ①程… ②杨… III. ①喷射混凝土②挡土
墙 IV. TU476

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 15485 号

喷射混凝土与土钉墙

程良奎 杨志银 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 15 插页: 1 字数: 405 千字

1998 年 10 月第一版 1998 年 10 月第一次印刷

印数: 1—1500 册 (精装) 定价: 30.00 元

ISBN 7-112-03598-8

TU · 2783 (8849)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书分为两篇。第一篇主要介绍喷射混凝土原材料及配合料设计、喷射混凝土性能、质量控制、设计计算、施工方法、施工机具，还介绍了喷射混凝土在国内外的最新发展和大量的工程实例。第二篇介绍了土钉墙的作用机理、设计计算、稳定性分析、施工工艺和质量检验等，还介绍了在各种不同土体开挖工程中的应用实例。书后的附录中，介绍了喷射混凝土回弹试验和测定隧洞喷射混凝土粉尘的技术要点等。

前 言

近十几年来,在土木建筑工程领域内喷射混凝土与土钉墙技术发展十分迅速。国内外的大量实践表明,喷射混凝土用于矿山井巷与地下工程的支护衬砌,建筑结构的补强加固,岩土边坡的稳定,造型复杂的薄壁结构和输水充水结构的建造以及土钉墙技术用于土质边坡加固,深基坑支护,均显示出其独特的功能和显著的效益。极大地促进了岩土加固技术的进步和岩土工程的发展。可以预料,随着交通、能源及材料工业的不断发展,城市地下工程和高层建筑的大量兴建,建筑结构加固工程的日益增多,喷射混凝土与土钉墙的应用领域必将日趋广阔,喷射混凝土与土钉墙技术的作用必将进一步得到发挥。

喷射混凝土和土钉墙技术是涉及建筑材料、工程结构、工程地质、岩土力学等多门学科的综合性强、适用面广的建筑新技术。从事建筑、采矿、水利、电力、铁路、交通和人防等工程设计施工的专业人员,了解和掌握这些技术是十分必要和大有裨益的。

本书第一篇系统地论述了喷射混凝土的材料性能、工艺设计、质量控制及用于各类土木建筑工程的结构型式、设计计算与施工方法,并介绍了喷射混凝土在国内外的最新发展和大量的工程实例。第二篇则着重论述了土钉墙的工作机理、设计计算与稳定性分析、施工工艺、质量控制,还介绍了在各种不同土体开挖工程中的应用实例。本书的撰写旨在为广大读者奉献一本体系完整、内容充实、有理论深度和实用性强的喷射混凝土与土钉墙专著,帮助读者系统了解和掌握喷射混凝土与土钉墙的基本原理、工作性能、结构设计、施工方法及其工程应用,以推动这些新技术向广

度和深度发展。限于作者水平，书中不足或错误之处，一定在所难免，敬请广大读者批评指正。

冶金部建筑研究总院

程良奎

1998年2月

作者简介



程良奎 江苏溧阳人,1935年11月生,1957年毕业于西安建筑工程学院,现任冶金工业部建筑研究总局副总工程师,教授级高级工程师,中国岩土锚固工程协会理事长,中国岩石力学与工程学会常务理事。

30多年来,一直从事岩土加固与隧洞、边坡及深基坑稳定性的研究开发工作。主持完成的《喷射混凝土》、《喷射混凝土锚杆支护》、《开缝式摩擦锚杆》、《金川不良岩层巷道变形控制》、《岩土预应力锚杆新技术》、《土钉墙支护》等13项富有创造性的科研成果,分别获国家级及省部级科技进步奖。主持起草了《锚杆喷射混凝土支护技术规范》、《土层锚杆设计施工规范》两本国家标准。主持负责完成了百余项大中型岩土工程(矿井、隧洞、地下工程、岩土边坡、深基坑、地基基础等)的设计,并解决了工程中大量复杂疑难的技术问题。独立撰写或与他人合作的《井巷喷射混凝土支护》、《岩土加固实用技术》、《岩土工程中的锚固技术》等六本专著已公开出版,并在国内外发表论文一百多篇。为开拓、发展我国地下工程喷射混凝土锚杆支护体系及岩土锚固技术作出了突出贡献。

目 录

第一篇 喷射混凝土

第一章 喷射混凝土技术的特点及新发展	1
第一节 喷射混凝土的特点	1
第二节 喷射混凝土技术的最新发展	2
第三节 喷射混凝土的应用领域	10
第二章 喷射混凝土的原材料及其配合比选择	11
第一节 水泥、骨料与水	11
第二节 外加剂	13
第三节 外掺料—硅粉	28
第四节 拌合料的配合比设计	31
第三章 喷射混凝土的性能	35
第一节 喷射混凝土的强度	35
第二节 喷射混凝土的变形性能	45
第三节 喷射混凝土的渗透性与抗冻性	51
第四节 喷射混凝土的动力特性	54
第五节 喷射混凝土的腐蚀及其防止措施	57
第六节 影响喷射混凝土强度和性能的若干因素	60
第四章 喷射混凝土施工机具与生产方法	65
第一节 干拌法喷射混凝土设备	65
第二节 湿拌法喷射混凝土设备	74
第三节 空气压缩机、搅拌机及上料装置	84
第四节 喷射混凝土机械手及喷射混凝土机组	87
第五节 喷射混凝土原材料的供应与储存	91
第六节 喷射混凝土的配料与搅拌	92
第七节 干式喷射与湿式喷射	93
第八节 离心力喷射法	94

第九节	喷射混凝土设备的布置	95
第五章	喷射混凝土施工工艺	98
第一节	喷射混凝土施工的劳动组织	98
第二节	待喷面的准备工作	99
第三节	模板与钢筋的安设	101
第四节	喷射机的操作	103
第五节	喷嘴的操作	104
第六节	水泥预水化	108
第七节	回弹与回弹物的窝积	110
第八节	管路堵塞及其排除	112
第九节	施工粉尘及其抑制方法	115
第十节	施工缝与伸缩缝	121
第十一节	表面整修	123
第十二节	喷射混凝土的养护	124
第六章	钢纤维喷射混凝土	126
第一节	钢纤维与水泥基体的复合作用	126
第二节	钢纤维喷射混凝土的原材料及其组成	131
第三节	钢纤维喷射混凝土的主要性能	133
第四节	钢纤维喷射混凝土施工工艺	137
第五节	钢纤维喷射混凝土应用实例	139
第六节	合成树脂喷射混凝土	141
第七章	水泥裹砂喷射混凝土	145
第一节	水泥裹砂喷射混凝土的造壳作用机理	145
第二节	水泥裹砂喷射混凝土工艺	146
第三节	水泥裹砂喷射混凝土的性能	148
第四节	水泥裹砂喷射混凝土的应用	150
第八章	喷射混凝土的质量控制	153
第一节	原材料及喷射混凝土作业的检查	153
第二节	喷射混凝土的质量控制试验	154
第三节	喷射混凝土强度与厚度的检验	156
第四节	喷射混凝土的强度控制	162
第九章	地下工程喷射混凝土支护的作用原理与设计	169

第一节	喷射混凝土支护的工作特点与作用原理	169
第二节	工程类比法设计	181
第三节	理论分析法设计	189
第四节	监控法设计	205
第十章	新奥法与喷射混凝土支护的监控量测	207
第一节	新奥法的发展与基本原则	207
第二节	喷射混凝土支护的监控量测	209
第三节	对喷射混凝土支护监控量测的几点认识	228
第十一章	喷射混凝土在地下工程中的应用	230
第一节	喷射混凝土在大型洞室工程中的应用	230
第二节	喷射混凝土在软弱岩层隧洞中的应用	236
第三节	喷射混凝土在城市地下工程中的应用	254
第四节	喷射混凝土在水工隧洞中的应用	266
第五节	喷射混凝土在竖井工程中的应用	276
第六节	喷射混凝土在受强爆破震动和地震影 响的地下工程中的应用	280
第七节	喷射混凝土在含水地层中的应用	282
第八节	喷射混凝土用于地下工程增补或修补支护	286
第十二章	建筑结构修复加固工程中的喷射混凝土技术	291
第一节	钢筋混凝土结构的修复与加固	291
第二节	钢筋混凝土结构采用喷射混凝土修补加固的设计要点	295
第三节	砖砌体的加固	297
第四节	钢结构的补强与加固	299
第五节	海洋结构与支挡结构修补与加固	301
第六节	喷射混凝土修复加固的工程概况及效果	304
第七节	喷射混凝土修复加固工程实例	309
第十三章	新建筑结构中的喷射混凝土技术	317
第一节	喷射混凝土在薄壳和折板结构中的应用	318
第二节	在充气模板上建造的喷射混凝土圆顶建筑	326
第三节	喷射混凝土在充水构筑物中的应用	330
第四节	喷射混凝土在地基基础和边坡工程中的应用	338
第五节	喷射混凝土在船舶、堤坝和管道工程中的应用	343

第二篇 土 钉 墙 技 术

第一章 概述	346
第一节 土钉墙的概念与土钉墙的发展	346
第二节 土钉分类及土钉墙的特点与适用范围	351
第三节 土钉墙与加筋土墙、锚杆的比较	353
第二章 土钉墙的作用机理与工作性能	355
第一节 土钉墙的作用机理	355
第二节 土钉墙工作性能的试验研究	357
第三章 土钉墙的工程设计	365
第一节 土钉墙的勘察要求与结构尺寸的确定	365
第二节 土钉墙整体稳定性分析与变形分析	367
第四章 土钉墙内部稳定性分析	371
第一节 国外分析方法	372
第二节 国内分析方法	393
第五章 土钉墙设计辅助计算	399
第一节 土钉墙外部稳定性分析	399
第二节 土钉抗拔力验算与面层设计	401
第六章 土钉墙计算程序及参数研究	404
第一节 土钉墙计算分析程序的编制	404
第二节 土钉墙设计参数的分析研究	409
第七章 土钉墙的构造、施工方法与质量检验	418
第一节 土钉墙的构造	418
第二节 施工方法	419
第三节 土钉墙工程质量检验与监测	423
第八章 工程实例	425
第一节 东莞时代广场基坑土钉墙支护	425
第二节 北京芳城园1号住宅楼基坑土钉墙支护	431
第三节 深圳民航大厦基坑部分土钉墙支护	436
第四节 深圳福田商城深基坑土钉墙支护	440
第五节 广州荔湾商业大厦深基坑土钉墙支护	445
第六节 北京航天计算机技术开发培训中心基坑土钉墙支护	452

附录	456
附录一 水泥和速凝剂凝结时间试验	456
附录二 喷射混凝土水灰比、配合比的测定方法	457
附录三 喷射混凝土回弹试验	463
附录四 测定隧洞喷射混凝土粉尘的技术要点	465
附录五 喷射混凝土施工记录	466
参考文献	467

第一篇 喷射混凝土

第一章 喷射混凝土技术的特点及新发展

近年来，喷射混凝土技术以它简便的工艺，独特的效应，经济的造价，广阔的用途，在土木建筑工程领域内展示出旺盛的生命力。

第一节 喷射混凝土的特点

喷射混凝土是借助喷射机械，利用压缩空气或其他动力，将按一定比例配合的拌合料，通过管道输送并以高速喷射到受喷面（岩面、模板、旧建筑物）上凝结硬化而成的一种混凝土。

喷射混凝土不是依赖振动来捣实混凝土，而是在高速喷射时，由水泥与骨料的反复连续撞击而使混凝土压密，同时又可采用较小的水灰比（常为 0.4~0.45），因而它具有较高的力学强度和良好的耐久性。特别是与混凝土、砖石、钢材有很高的粘结强度，可以在结合面上传递拉应力和剪应力。喷射法施工还可在拌合料中加入各种外加剂和外掺料，大大改善喷射混凝土的性能。喷射法施工可将混凝土的运输、浇注和捣固结合为一道工序，不要或只要单面模板；可通过输料软管在高空、深坑或狭小的工作区间向任意方位施作薄壁的或复杂造型的结构，工序简单，机动灵活，具有广泛的适应性。

第二节 喷射混凝土技术的最新发展

喷射混凝土是由喷射水泥砂浆发展起来的。1914年美国在矿山和土木建筑工程中首先使用了喷射水泥砂浆。1942年瑞士阿利瓦(Aliva)公司研制成转子式混凝土喷射机,能喷射含最大粒径为25mm骨料的混凝土;1947年德国BSM公司研制成双罐式混凝土喷射机。1948年至1953年间兴建的奥地利卡普隆水力发电站的米尔隧洞最早使用了喷射混凝土支护。以后,瑞士、德国、法国、瑞典、美国、英国、加拿大、日本等国相继在土木建筑工程中采用了喷射混凝土技术。

我国冶金、水电部门于60年代初期,即着手研究混凝土喷射机械及喷射混凝土技术。1965年11月,冶金部建筑研究院与第三冶金建设公司合作,成功地在鞍钢弓长岭铁矿建成了一条用喷射混凝土支护的矿山运输巷道。1966年初,冶金部建筑研究总院用喷射混凝土修补北京地下铁道古城段因火灾烧伤的钢筋混凝土衬砌,获得了良好效果。同年,我国成昆铁路的部分隧道,攀钢大断面运输隧洞和本钢南芬泄洪洞采用了喷射混凝土支护。1968年,我国回龙山水电站主厂房及梅山铁矿竖井工程采用了喷射混凝土与锚杆相结合的支护。上述这些都为我国早期喷射混凝土技术的开发奠定了基础。

70年代以来,国内外加强了对喷射混凝土技术的研究开发工作,技术上取得了许多突破,使之在地下工程、薄壁结构工程、维修加固工程、岩土工程、耐火工程和防护工程等土木建筑领域获得了广泛的应用。

近十年来,喷射混凝土技术的主要成就和最新发展集中地表现在以下几方面:

一、湿法喷射日趋完善,已成为世界各国喷射技术的发展趋向

与干法喷射相比,湿法喷射的明显优点是生产率高、粉尘含

量小。特别是包括混凝土泵、活塞式速凝剂计量泵和喷射臂在内的稠流湿喷法技术的出现，使湿喷法的应用大大拓宽。

据报道，在意大利湿喷占主导地位，总计每年 160000m^3 的喷射混凝土，湿喷占 90%。挪威以湿喷法为主，年生产湿喷射混凝土 $30000\sim 40000\text{m}^3$ 。瑞典每年大约生产 55000m^3 喷射混凝土，大部分为湿喷，其中大约一半用于矿山工程。日本每年平均生产喷射混凝土约 $1000000\sim 2000000\text{m}^3$ ，其中 65% 为湿喷混凝土。加拿大也已形成湿拌、掺硅粉和加钢纤维的一套湿喷方法，已在多数场合广泛应用。

我国由铁道科学研究院西南分院研制生产的湿喷机已在几座铁路隧道中用于湿喷混凝土施工，但总的来看，我国仍应加大发展湿喷工艺的力度。

二、新型外加剂、外掺料的开发，改善了喷射混凝土的性能

近年来，我国冶金部建筑研究总院研制成的 8604 型速凝剂是一种近于中性 ($\text{pH}=7\sim 8$) 的综合性能良好的速凝剂。这主要表现在掺入后喷射混凝土 28d 龄期抗压强度保存率高、无毒性、粘聚性好，有利于减少回弹和抑制粉尘。

美国也已研制成新型非碱性速凝剂， pH 值为 $7\sim 7.5$ (而普通速凝剂的 pH 值高达 12.7)，当速凝剂掺量为水泥重量的 2% 时，初凝时间仅为 38s，加入这种速凝剂，喷射混凝土后期强度损失也小，同时还可大大减少回弹。瑞士 Aliva 公司生产的非碱性速凝剂，掺入喷射混凝土中后，其 28d 龄期的抗压强度比掺入碱性速凝剂的高 55%，德国近两年研制成功的 Silipon SPR6 型增粘剂，它能显著地减少喷射混凝土施工粉尘，如在喷射混凝土原始混合料中掺入占水泥重量 3% 的增粘剂，则可减少粉尘浓度 80%~95%。

国内在喷射混凝土工程中，采用适量的明矾石膨胀剂、三乙醇胺和减水剂复合的防水剂，可使其抗渗强度达 3MPa 以上。

进入 80 年代，喷射混凝土中掺入硅粉是其最新成就之一。在喷射混凝土中掺加硅粉 (浆体或干粉)，不仅可以替代部分水泥，

提高喷射混凝土的强度和粘着能力,改进喷射混凝土的密实度,而且可大大降低粉尘,将干喷法的回弹减小到湿喷法的水平,具有重要的实用价值。

至今,挪威、意大利、德国、加拿大等国已在喷射混凝土中较广泛地掺入硅粉。

三、钢纤维喷射混凝土的研究和应用有了明显的成效

国内外的资料表明,在喷射混凝土中掺入直径为 0.25~0.4mm、长度为 20~30mm 的钢纤维(掺量为每立方米混凝土 80~100kg),可以明显地改善喷射混凝土的性能,即抗压强度提高 50%,抗拉强度提高 50%~80%,抗弯强度提高 60%~100%,韧性提高 20~50 倍,抗冲击性提高 8~30 倍。此外,它的抗冻融能力、疲劳强度、耐磨和耐热性能都有明显的改善。

用喷射法生产钢纤维混凝土,由于纤维一般呈二维分布,因而其力学效果比采用普通振捣法为好。目前钢纤维喷射混凝土在国内外的矿山井巷、交通隧道、边坡维护、建筑结构补强、桥梁(包括桥墩和桥面)返修、堤坝建筑、薄壳圆顶结构等工程中得到日益广泛的应用。意大利每年约使用钢纤维喷射混凝土 25000m³。法国从 1985 年开始使用钢纤维喷射混凝土,1990 年钢纤维喷射混凝土已用作公路隧道永久衬砌。美国的某些工程也成功地采用了钢纤维喷射混凝土,肯德基州的哈伦有一座宽 10.4m 的泄洪隧洞就使用了钢纤维喷射混凝土做永久衬砌。我国梅山铁矿用钢纤维喷射混凝土加固贮矿仓,其费用仅为传统加固费用的 52%,且不会堵塞下部放矿口,加固施工需停产的时间也短。英国某公路桥的砖砌拱加固,我国沈大线某铁路桥梁桥墩的加固,也采用了钢纤维喷射混凝土取代钢筋网喷射混凝土或钢筋混凝土,其突出的优点是不需要脚手架,交通运输不受影响。日本东名高速公路日本坂隧道内衬因火灾损坏,受损的隧道总长度为 1122m,使用了 2700m³ 钢纤维喷射混凝土修复,仅用 30d 就施工完毕,且混凝土早期强度增长快,因而隧道提前交付使用。

四、地下工程喷射混凝土支护的设计日趋成熟,为经济可靠

地建造地下工程提供了重要保证

国内外喷射混凝土支护工程实践的发展及喷射混凝土支护作用原理研究工作的深入,推动了喷射混凝土支护的设计工作。

当今地下工程喷射混凝土支护的设计已发展为以工程类比法为主,与监控量测和理论计算法相结合的综合设计法,能保证地下工程建设的可靠性与合理性。

作为工程类比法设计基础的围岩分类,正在向科学化、定量化的方向发展。我国《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GBJ86—85)中的围岩分类,采用多因素定性与定量指标相结合的分类方法。即在分类中,突出了岩体结构(包括地质构造影响程度、结构面发育情况和组合状态)的影响,给出了岩石单轴抗压强度、岩体纵波速度、岩体完整性指标和岩体强度应力比等定量指标,可以克服在判断围岩类比时的主观随意性。

由于喷射混凝土支护力学形态的量测元件(如收敛计、压力盒、应变计、多点位移计)的发展,使得喷射混凝土支护的监控量测法设计得到较广泛的应用。这种方法可以通过量测,较准确了解围岩变形特性,掌握围岩-支护间相互作用的规律,通过对量测数据的处理和反馈,适时地调整支护抗力,使之与围岩变形控制相协调。因而能将支护的经济性和工程的稳定性统一起来。

地下工程喷射混凝土支护的理论计算法也有新的进展。以块体平衡理论为基础的局部稳定性计算已用于工程设计。采用以弹塑性理论为基础的数值解和近似解析解计算方法也有新的进展。位移反分析的力学计算工作也获得了可喜的成绩。

五、“新奥法”不断完善,革新了困难地层条件下的隧洞建造技术

以最大限度地发挥岩石的自支承作用为理论基础和以喷射混凝土、锚杆和量测技术为三大支柱的新奥地利隧道设计施工法(简称新奥法),有一整套保护岩体原有强度、容许围岩变形但又不致出现有害松散的基本原则,又能及时地掌握围岩和支护的变形动态,以此作为指导设计和施工的信息,使围岩变形与限制变