

YANTU JIAGU JISHU

岩土加固技术

韩立军 张茂林 贺永年 林登阁 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TU472
16

岩土加固技术

韩立军 张茂林 贺永年 林登阁 编著

中国矿业大学出版社

前 言

“岩土加固技术”已作为土木工程专业的一门主要专业课程列入教学计划。该课程的设置意图就是要求学生在熟悉岩土工程稳定理论的基础上掌握各种能够有效保证岩土工程稳定的加固理论和加固技术,并运用相关理论和技术进行岩土工程的支护与加固设计和施工。

目前所出版的各类与岩土工程支护与加固相关的文献中,能够较好地满足教学需要的教材的较少。而目前我国岩土工程方兴未艾,处于大发展时期,已形成和发展了大量适用于岩土支护与加固的理论和技術,如在边坡、基坑、隧道、矿山巷道与硐室、地基等工程中,大量应用锚杆、锚索、土钉、注浆等实用加固技术,均取得了较好的技术与经济效果,并在各类岩土工程中仍将大量应用这些相关技术。一些专家在归纳和总结岩土工程加固方面的理论和技術的基础上,撰写了多部锚固和注浆方面的专著,但这些专著的内容和篇幅偏大,不能适应课程教学的需要。因此,本书归纳和总结了岩土工程加固中的多种实用加固技术的基本理论、设计方法及施工技术,形成一套比较完整的适用于课程教学的内容,可使学生基本掌握岩土工程稳定的基础理论和典型实用的岩土工程加固的设计与施工组织方法,较好地扩大了知识面。

本书编著成员近年来一直从事岩土工程支护与加固理论和技術的研究。如在不稳定回采巷道、软岩动压巷道、高应力破碎围岩巷道等的支护和加固中,逐步形成和完善了锚注支护理论与技術;在矿井水仓防渗加固、硐室与交岔点等加固研究中形成了一系列有效的锚固与注浆加固技术;另在高强度喷射混凝土、注浆材料等研究方面也取得了一些的成果,并在公路边坡维护、滑坡治理、露天金矿边坡加固、矿山井巷支护等实践中积累了丰富的设计及施工组织方面的经验。本书希望能够促进相关支护与加固技术的发展。

本书可作为土木工程专业地下工程方向、交通土建方向及相关专业或相关课程的专业用书,也可供从事岩土工程设计和施工人员参考。

本书难免存在不足甚至错误之处,敬请读者批评指正。

编著者

2005年9月

目 录

1 概 论	1
1.1 岩土锚固技术	1
1.2 岩土注浆技术	8
2 岩土工程稳定的基本理论	14
2.1 边坡工程稳定性分析	14
2.2 挡墙结构稳定性分析	18
2.3 地下工程围岩稳定分析基本理论	24
3 岩石锚杆与喷射混凝土支护技术	28
3.1 概述	28
3.2 岩石锚杆分类	28
3.3 锚杆支护材料	30
3.4 锚杆作用原理和参数设计	37
3.5 锚杆支护施工机具和锚杆施工	49
3.6 喷射混凝土支护	49
4 土层锚杆与土钉墙支护技术	52
4.1 一般概念	52
4.2 土钉的基本构造与分类	54
4.3 土钉加固特点与工作原理	56
4.4 土钉加固设计计算	59
4.5 土钉施工与设备	72
5 预应力锚杆与锚索支护技术	74
5.1 概述	74
5.2 预应力锚杆和锚索结构与材料	76
5.3 预应力锚索支护参数设计	82
5.4 预应力锚杆和锚索施工	88
6 超前锚杆预支护技术	93
6.1 概述	93
6.2 超前锚杆和小导管注浆超前支护技术	94

6.3	管棚式超前支护技术	96
7	软岩巷道锚注支护技术	99
7.1	概述	99
7.2	内注浆锚杆类型与适用条件	99
7.3	锚注支护机理与支护设计	100
7.4	锚注支护在不稳定地层中的应用	103
7.5	锚注支护施工中的几个问题	105
8	预应力锚索抗滑桩技术	107
8.1	引言	107
8.2	抗滑桩技术	107
8.3	预应力锚索抗滑桩作用机理	110
8.4	预应力锚索抗滑桩设计	111
8.5	预应力锚索抗滑桩技术的应用	116
9	岩土锚固施工检测与监测	122
9.1	概述	122
9.2	材料检测和施工质量检测	122
9.3	工程监测	124
10	岩土注浆加固材料	130
10.1	注浆材料概述	130
10.2	注浆浆液的基本性能参数	131
10.3	无机系注浆材料	134
10.4	有机系注浆材料	142
11	岩土注浆加固理论	147
11.1	岩土介质的可注性	147
11.2	岩土渗透注浆理论	148
11.3	岩土压密注浆理论	152
11.4	岩土体劈裂注浆理论	154
11.5	裂隙岩体的注浆理论	158
12	岩土注浆加固设计	163
12.1	注浆工程调查	163
12.2	注浆加固试验	164
12.3	注浆加固参数设计	165

13	岩土注浆加固施工与检测	175
13.1	注浆设备	175
13.2	注浆施工工艺	178
13.3	岩土注浆控制技术	182
13.4	岩土注浆加固效果检验	183
14	高压喷射注浆技术	185
14.1	概述	185
14.2	高压喷射注浆加固原理	187
14.3	高压喷射注浆浆液材料	189
14.4	高压喷射注浆设计	189
14.5	高压喷射注浆施工	191
14.6	高喷固结体的质量检测	191
15	岩土加固技术实践	192
15.1	隧道与地下硐室工程中的锚固技术	192
15.2	边坡工程中的锚固技术	204
15.3	深基坑中的锚固技术	220
15.4	渗透注浆技术实践	223
15.5	压密与劈裂注浆技术实践	229
15.6	裂隙注浆技术实践	235
15.7	高压喷射注浆技术实践	240
	参考文献	249

1 概 论

随着人类生产发展和生活的需要,在兴修房屋、道路、桥梁、水利、矿场等工程实践中,我们的祖先积累了许多岩土工程方面的经验。近代科学技术中的工程地质学、土力学、岩体力学、隧道与地下工程学、基础工程学等,都与岩土工程密切相关,且包含了许多岩土工程方面的经验和技能。

长期以来,人们把岩土工程包括在各种综合工程中,多作为结构工程的一部分,如对隧道与地下工程来说,通常将其视为结构工程。国际上,真正把岩土工程作为一门独立的技术的时间较短。我国第一部《岩土工程勘察规范》(GB 50021—94)是1994年8月9日发布,1995年3月1日开始实施的,它从技术法规上承认岩土工程是土木工程这个大行业中的一个自成系统的新专业。该规范坚持体现岩土工程的整体性、连贯性和综合性,严禁把勘察、设计、施工三者分割开来。

近几年来,随着矿山开采与建设、城市开发与建设和一些大型水利水电工程建设的快速发展,我国岩土工程技术发展迅速,形成了一系列成套的、比较完善的支护与加固技术,如岩土锚固技术(包括锚喷支护、锚网支护、预应力锚索支护、土层锚杆与土钉墙支护、锚注支护等)、岩土注浆加固技术等,不仅从支护材料、支护结构、施工工艺、工程监测与监控技术上进行了大量的研究,而且在支护机理、支护参数设计与优化、结构稳定性与耐久性等方面进行深入研究,大大促进了岩土工程技术的应用与发展,解决了大量工程实际问题。

《岩土加固技术》一书旨在介绍岩土工程中一些常规技术不能解决的工程问题,需要采取一些先进可靠的主动支护与加固方法,可有效改善岩土体的力学性能,一方面满足施工需要,另一方面可实现岩土体结构稳定的一些可靠而有效的支护与加固技术,内容包括加固技术原理、加固参数的设计与优化、施工工艺与方法、监测与监控技术等相关问题。

本书主要介绍已在岩土加固工程中广泛应用的系列岩土锚固技术和岩土注浆技术,以及在不同岩土加固工程中的应用情况。

1.1 岩土锚固技术

1.1.1 岩土锚固的基本概念

岩土工程所面临的对象是复杂的地质体,这些复杂的地质体在很长的地质年代里,由于经历了地质构造运动、自然风化和人类活动的作用,其中包含大量诸如层理、节理、断层、软弱夹层、溶沟、溶槽等各种地质缺陷。它们在一定的时间内和一定的条件下,可能处于相对稳定的平衡状态。但如果条件改变,原来的平衡状态就有可能遭到破坏,如在岩土工程开挖与施工过程中,其原有应力场会重新分布,从而使岩土体发生变形,进而产生坍塌、塌陷、岩崩、滑坡、地面沉降等地质灾害。为预防和治理此类地质灾害,工程上常将一种受拉杆件埋入岩

土体,用以调动和提高岩土自身强度和自稳能力。这种受拉杆件工程上称为锚杆,它所起的作用就是锚固。因此,锚杆是一种深入岩土体内部的杆件,它通过杆头或一定长度范围的杆体与岩土锚固形成整体,可用以加固岩土体或作为岩土工程的一种支护手段。应用数学、力学和工程材料等科学知识来解决岩土工程中的锚固设计、计算、施工和监测等方面问题的技术和工艺就称为锚固工程。

为满足不同地质条件、不同岩土性质和不同工况条件下的工程结构的需要,人们研制了各种各样的锚杆,于是衍生出了各种类型的锚固技术和方法。工程上常按如下方法归类:

- (1) 按应用对象划分,有岩石锚杆、土层锚杆;
- (2) 按是否预先施加应力划分,有预应力锚杆、非预应力锚杆;
- (3) 按锚固机理划分,有粘结式锚杆、摩擦式锚杆、端头锚固式锚杆和混合式锚杆;
- (4) 按锚固体传力方式划分,有压力式锚杆、拉力式锚杆和剪力式锚杆;
- (5) 按锚固体形态划分,有圆柱型锚杆、端部扩大型锚杆和连续球型锚杆。

在岩土锚固结构中,单根锚杆锚固在岩土中的牢固程度,常常用锚固力大小来表示,一般采用锚杆的拉拔试验来确定锚杆的锚固力大小。锚固力是锚杆最重要的技术参数之一,可以说是锚杆对岩土产生锚固作用的基础。锚固力越大,锚杆的作用效果越高,因此,有时也把锚固作用称为锚固力。

锚固技术是采用锚杆或以锚杆为主,结合其他方法,用以岩土加固,或作为岩土工程支护手段的岩土体加固和支护技术的总称。岩体和土层的锚固是一种把受拉杆件埋入地层的技术。岩土锚固技术能充分发挥岩土能量,调动和提高岩土自身强度和自稳能力,大大减轻结构物自重,节约工程材料,并确保施工安全与工程稳定,具有显著的经济效益和社会效益。因而,世界各国都在大力开发应用岩土锚固技术。

从1872年首次应用单一的锚杆加固边坡开始,到20世纪70~80年代锚固关键技术得到极大的提高和配套设备的成熟,使得锚固技术在整个岩土工程加固和岩土工程稳定领域得到了更广泛的应用。

在应用岩土锚固技术的过程中,形成了系列的以锚杆为主的各种维护岩土稳定的锚固技术,包括锚喷支护技术、锚网支护技术、预应力锚索支护技术、土层锚杆与土钉墙技术、超前锚杆支护技术、锚注支护技术等,它们已成为岩土加固技术的重要组成部分。

1.1.2 岩土锚固技术的发展历史

英国于1872年在北威尔士露天页岩矿首次使用锚杆支护。

美国从1910年开始在阿伯施莱辛的弗里登斯煤矿使用,20世纪40~50年代以后,锚杆在美国矿井下的成功应用引起了世界各国的重视和广泛推广,90年代煤矿锚杆支护几乎达到百分之百。

德国在1912年开始在谢列兹矿的井下巷道采用锚杆支护,20世纪80年代以后,逐步改变了崇尚自己发明的U型钢支护,而转向推广应用锚杆支护技术,且锚杆技术在千米深井中得到应用。

苏联在20世纪70年代的锚杆支护仅占巷道长度的10%,目前在主要矿区已达一半以上。

法国在20世纪60年代末锚杆使用量占2/3,80年代后,煤巷锚杆比例大幅提高。

日本于 1950 年引进锚杆支护技术,20 世纪 70 年代煤矿和隧道中使用锚杆的比例已经达到 4.5 : 3。

英国曾因为煤矿效益差关闭了大批煤矿,从 1987 年开始学习澳大利亚锚杆支护技术以后,巷道支护费用减少了一半,事故率降低了 90%,吨煤成本减少 50%,几乎救活了一个行业,到 1995 年锚杆支护在煤巷支护中已经占到 80%。

澳大利亚从英国、法国等引进锚杆技术后,于 20 世纪 80 年代后期对锚杆支护技术的改进使锚杆支护技术提高了一个档次,并引起英国等国家的再学习,重新推动了锚杆支护技术的发展。目前在澳大利亚的煤矿巷道中基本上采用锚杆支护技术。

我国于 20 世纪 50 年代开始试用锚杆支护技术,至 70 年代前期还处于探索阶段,直至 1978 年才开始重点推广,至 80 年代向英国学习锚杆支护技术后推广到煤巷支护,90 年代又向澳大利亚学习和引进成套先进的锚杆支护技术,目前已得到较广泛的推广和应用。在一些矿区的锚杆支护巷道比例达到 90% 以上,有些矿井甚至达到了 100%,取得了较好的技术与经济效益。

由于锚杆支护的显著效果,也使得锚杆在其他领域得到了广泛的应用,技术上也有所发展。如美国在 1915 年后已经开始在金属矿使用锚杆;1918 年西利西安矿山的采矿工程中开始首先使用预应力锚杆,后在水利工程中也获得成功;1957 年前西德保尔公司使用了土钉技术,到 1970 年,美国马森获得了土钉技术的专利。

1.1.3 岩土锚固技术的应用

现在,以锚杆为代表的锚固技术已经成为岩土工程加固和岩土工程支护的重要方面,不仅在各种矿山巷道和硐室支护中得到广泛的应用,还在各类基础及基坑工程中得到较好的应用。国外如:英国海军核潜艇船坞改建、纽约世界贸易中心深基坑加固、捷克和德国水电站大型地下硐室支护等都采用了各种锚杆技术等;国内如:三峡水坝边坡工程、二滩电站重力坝加固工程、北京中国银行深基坑支护、小浪底水利枢纽地下厂房支护、首都机场基础结构稳固等。

随着锚固技术的拓宽和发展,锚固技术几乎遍及土木建筑领域的各个方面,目前国内外广泛采用锚固技术加固临时和永久性建筑物结构,且其应用范围正在日益扩大。概括起来锚固技术主要有以下几个方面的用途:

(1) 深基础和地下结构工程支护。主要用在深基坑支挡(图 1-1(a))、高层建筑地下室抗浮(图 1-1(b))、地下结构工程支护与加固,如地下停车场(图 1-1(c))、地下铁道或地下街(图 1-1(d))、地下商场、地下工业用厂房等。

(2) 边坡稳固工程。主要有边坡加固(图 1-2(a))、斜坡挡土(图 1-2(b))、锚固挡墙(图 1-2(c))和滑坡防治(图 1-2(d))等。

(3) 结构抗倾覆应用。如防高塔倾倒(图 1-3(a))、防高架桥倾倒(图 1-3(b))、防坝体倾倒(图 1-3(c))和防挡土墙倾覆(图 1-3(d))等。

(4) 在加压装置中的应用。如桩的静荷载试验(图 1-4(a))、沉箱下沉加重(图 1-4(b))等。

(5) 井巷及隧道工程支护。主要是用来防止隧道(井巷)围岩坍塌(图 1-5(a))和控制隧道(井巷)围岩变形(图 1-5(b))等。

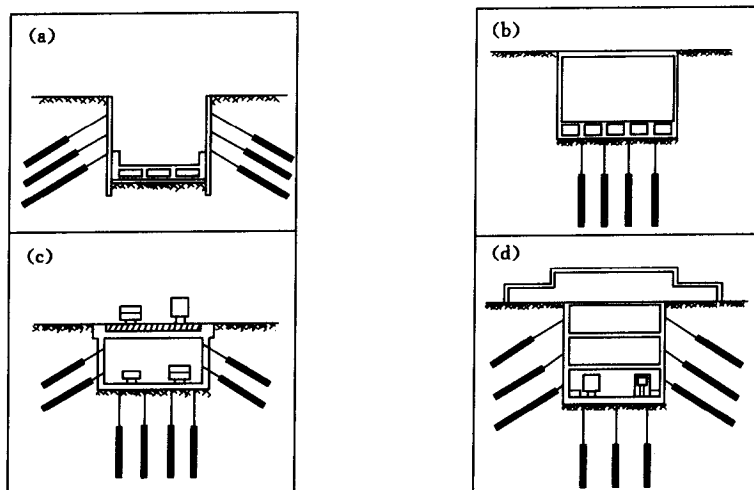


图 1-1 锚固技术在基坑工程中的应用

(a) 深基坑支挡;(b) 地下室抗浮;(c) 地下停车场;(d) 地下铁道或地下街

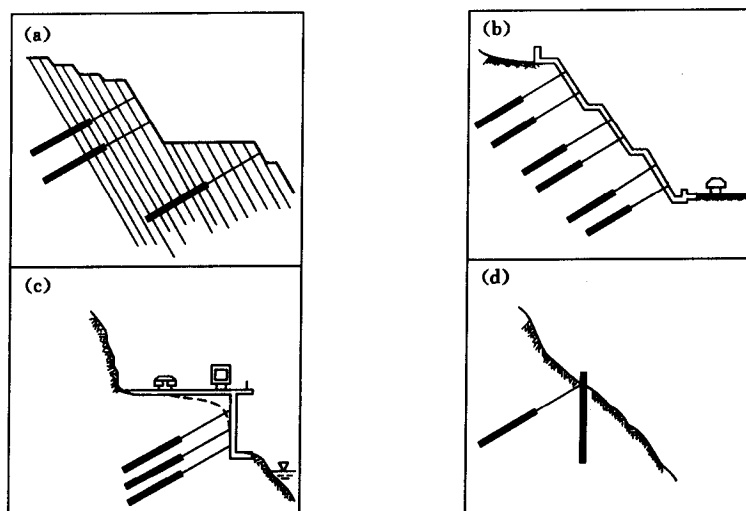


图 1-2 锚固技术在边坡稳定工程中的应用

(a) 边坡加固;(b) 斜坡挡土;(c) 锚固挡墙;(d) 滑坡防治

(6) 道桥基础加固。如防止桥墩基础滑动(图 1-6(a))、悬臂桥锚固(图 1-6(b))、吊桥桥墩锚固(图 1-6(c))和大跨度拱形结构物稳固(图 1-6(d))等。

(7) 现有结构物补强与加固。主要是利用锚固技术对已产生裂缝、变形和滑移等破坏的现有结构物进行加固治理。

(8) 其他工程方面的应用。如对水坝下游冲击区(图 1-7(a))和排洪隧洞冲击区(图 1-7(b))实施锚固保护等。

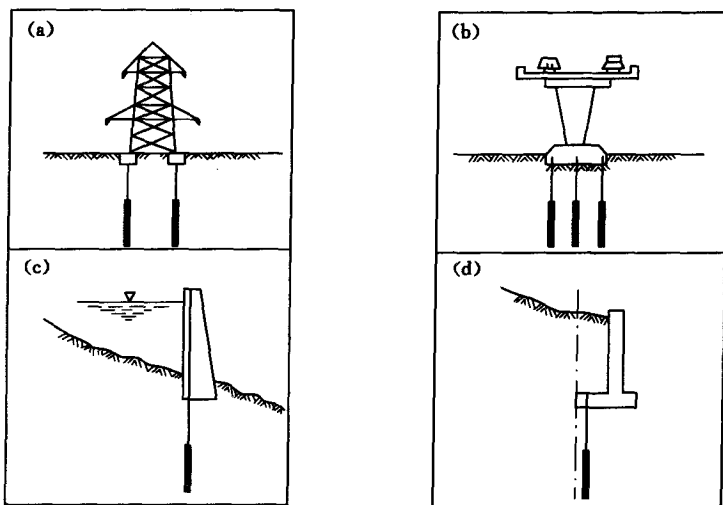


图 1-3 锚固技术在结构抗倾覆工程中的应用

(a) 防高塔倾倒；(b) 防高架桥倾倒；(c) 防坝体倾倒；(d) 防挡土墙倾覆

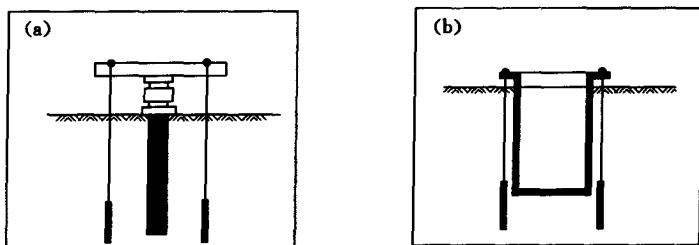


图 1-4 锚固技术在加压装置中的应用

(a) 桩的静荷载试验；(b) 沉箱下沉加重

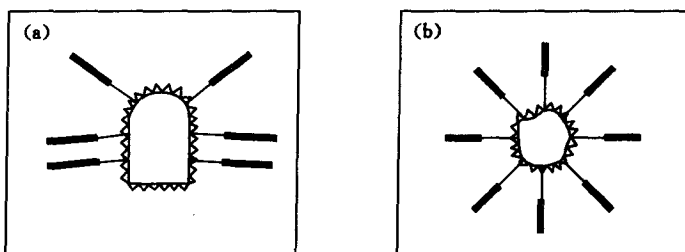


图 1-5 锚固技术在地下工程围岩支护中的应用

(a) 防止隧道(井巷)围岩坍塌；(b) 控制隧道(井巷)围岩变形

1.1.4 锚固技术的发展趋势

1.1.4.1 锚固技术的发展概况

一个多世纪以来,锚杆和锚固技术主要在锚固能力和可靠性、施工机具、检测手段等方面得到了长足的发展。

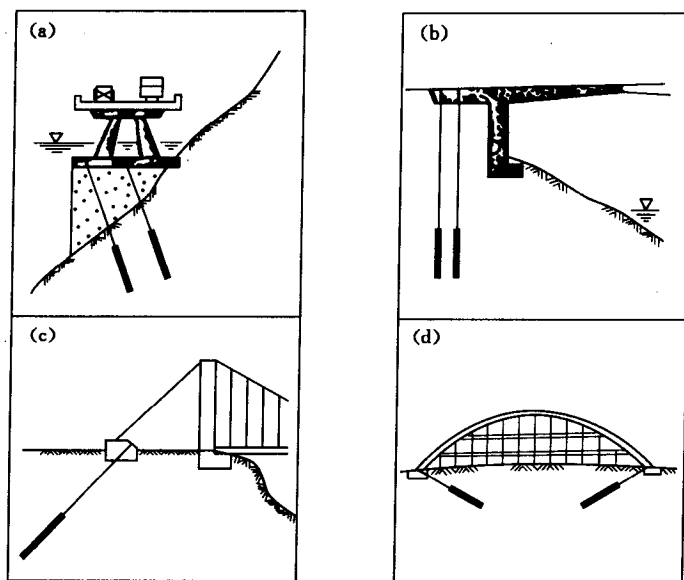


图 1-6 锚固技术在道路基础加固工程中的应用

(a) 防止桥墩基础滑动；(b) 悬臂桥锚固；(c) 吊桥桥墩锚固；(d) 大跨度拱形结构物稳固

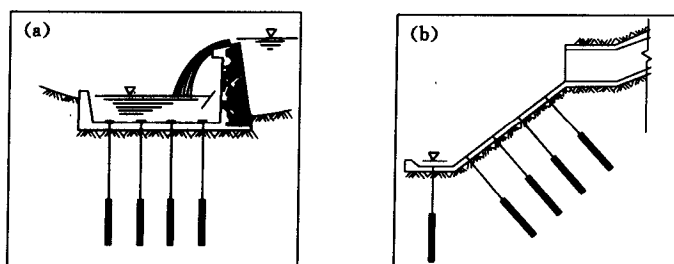


图 1-7 锚固技术在冲击区抗浮与防护工程中的应用

(a) 水坝下游冲击区保护；(b) 排洪隧洞冲击区保护

(1) 对锚固机理的认识。锚杆支护技术能够得到发展,首先是在对锚杆和锚固机理认识提高的基础上的。现在的理论研究和工程实践普遍认识到,围岩在地下工程稳定中具有重要的作用,而锚杆支护是一种内部加固围岩的支护结构。因此,锚杆不仅经济简便,而且支护效果更好,可以起到传统支撑式结构所无法替代的作用,这是推动锚杆支护技术发展的主要动力。

(2) 规范化工作。近几年来各国、各个行业总结了对锚固机理的认识和施工经验,分别制定了各种锚杆施工和设计规范,这也促进了锚杆支护技术推广应用。我国编制的一些锚固技术规范见表 1-1。

(3) 锚杆锚固力显著提高。早期对 2.0 m 长的锚杆而言,锚固力可以达到 30~60 kN。而高强度速凝粘结技术(快硬水泥、树脂)出现后,锚固力分别可以达到 70~100 kN,甚至达到 200 kN 以上,对锚杆支护技术推广应用到软弱土层或煤层中,起到了重要的作用。

表 1-1

我国锚固技术相关技术规范

编制时间	标准性质(编号)	规范名称	编制单位
1984	部级(CJB317—87)	国防工程锚喷支护技术暂行规定	解放军总参谋部
1990	协会标准(CECS22:90)	土层锚杆设计与施工规范	中国工程建设标准化协会
1994	部级(SL46—94)	水工预应力锚固施工规范	水利部
1997	协会标准(CECS96:97)	基坑土钉支护技术规程	中国工程建设标准化协会
1998	部级(SL212—98)	水工预应力锚固设计规范	水利部
2001	国家(GB5086—2001)	锚杆喷射混凝土支护技术规范	国家计划委员会

(4) 高强锚杆杆体材料的应用。锚杆的杆体主要是钢杆(索)。过去杆体材料从节省材料费用的角度考虑,除通常采用钢筋外,也应用木(压缩木)锚杆、竹锚杆等低强度材料。随着对锚杆的功能要求越来越高,现在采用了高强钢筋、钢丝等高性能以及其他具有特殊性能的材料,促成了锚固技术的进步。

(5) 施工机具的完善与进步。早先的锚杆施工人工劳动占 50%以上,机具还不配套,施工质量难以保证。目前,已经有较先进的、大功率的、全套性施工设备,可以一次完成钻、装、安等几个工序。这些设备促进了锚杆施工技术可靠性的提高。

(6) 预应力锚杆(索)的应用。预应力锚杆(索)技术的应用是锚固技术的重要进步。预应力锚杆的加固效果要较普通锚杆有质的提高。目前在大型岩土工程中预应力锚固技术成为了常用手段。

(7) 锚杆与其他支护形式的结合。将锚杆和其他支护形式相结合,已经成为岩土工程加固与支护的一种重要形式,包括锚杆和喷混凝土(锚喷支护)、锚杆和钢(棚)架、锚杆和注浆、锚杆和格栅(网)与混凝土(锚—喷—网)或锚杆和梁柱、锚杆和桩或挡墙等相结合。不仅提高了锚杆应用的可靠性,也进一步发挥了锚杆的独特功能,促进了锚杆支护技术的应用。

1.1.4.2 锚固技术存在的问题与发展趋势

(1) 锚固机理的认识亟待提高

锚固技术的关键首先是对锚固机理的认识。它包括两部分,即锚固对岩土体的加固作用和单根锚杆本身的受力问题。

尽管现在有许多对锚固作用的解释,但这些解释多半是表面和牵强的,或者只适用于一些特殊条件。因此,目前的技术标准主要是经验性的,设计和施工中还有许多盲目性;应该说,这是妨碍锚固技术向科学化发展的主要原因,也是锚固技术需要解决的重要问题。

(2) 锚固理论的研究应充分强调与实践相结合

锚固技术和其他岩土工程技术一样,不仅施工设计,而且施工过程对施工效果也有重要影响。因此,这些方面的研究也显得特别重要。但是,有关这一领域的研究几乎是空白。这也是一项要求通过对锚固理论的深入认识去解决的关键问题。

(3) 保证施工质量

锚固工程是一项隐蔽工程。在施工质量上一方面涉及工程事故问题,另一方面当出现问题时甚至还难以分清是质量问题还是设计问题。因此,保证施工质量是发挥锚杆支护功能、提高锚固技术整体水平的重要因素。

除人为因素之外,保证施工质量主要有两条途径,即配套性能良好的机械设施和机械化

施工手段,以及科学的验收规程和相应的试验方法和要求。

目前的主要问题是施工质量的重要意义认识不足。

(4) 监测反馈作用的发挥

岩土工程一方面在施工前有许多未知因素;另一方面,岩土材料破坏过程具有渐进性特点。所谓渐进性是指现有的性态将影响后续的状况。因此,监测一方面可以确定这种“黑箱”或“灰箱”的内在状况;另一方面,即使岩土技术发展较先进的水平,要预测后续情况仍不可缺少必需的监测手段。

目前,尽管监测工作已有所开展,但其所起的反馈和指导作用却难以发挥。这主要是施工和管理人员的理论水平偏低,对监测的认识不足,且缺少正确的指导方法。这是使今后的锚固技术更加科学而需要解决的重要问题。

总之,锚固技术还有许多提高的空间,它在岩土工程中的应用范围和地位也会随着锚固技术水平的提高而不断地扩大和发展。

1.2 岩土注浆技术

1.2.1 注浆技术的概念

注浆技术是岩土工程的一个分支,属于地基处理的范畴。像土力学一样,注浆技术已由经验方法逐步完善成为一门具有理论的技术。

注浆(Injection grout),又称为灌浆(Grouting),它是利用压力将能固化的浆液通过钻孔注入岩土孔隙或构筑物的裂隙中,使岩土体或构筑物的物理力学性能得到改善的一种方法。注浆技术涉及化学、流体力学、工程地质学、水文地质学、土力学、岩石力学、材料力学、工程机械学、勘探地球物理学等学科,而且还和液压技术、泵技术、射流技术、电子技术息息相关。

1.2.2 注浆技术的发展历史

注浆技术的历史大致可分为四个阶段:原始粘土浆液阶段(1802~1857年)、初级水泥注浆阶段(1858~1919年)、中级化学浆液注浆阶段(1920~1969年)和现代注浆阶段(1969年以后)。

1802年,法国的土木工程师查理斯·贝里格尼(Charles Berigny),采用注浆技术修复被水流侵蚀了的挡潮闸的砾土地基。他在修复基础的木板桩后,通过闸板桩间距为1m的孔,采用一种“压浆泵”(blow pump),把塑状粘土通过钻孔注入。压浆泵由一个内径为8cm的木制圆筒组成,筒内装满塑状粘土,在顶部安装一个木制活塞,用此将粘土强制挤入孔内。重复这一步骤,直至粘土完全充填基础底板与地基之间的空隙。第一次注浆的初步应用取得了巨大成功,修复的挡潮闸又投入使用,这是在基础工程的历史上第一次有记载的注浆技术应用。

美国第一次使用“压浆泵”是在1845年,W. E. 沃森(W. E. Worthen)在一个溢洪道陡槽基础下注入水泥砂浆,1854年又进行了闸墩砌体的加固。那时,注浆仅仅作为对有缺陷的基础的补救措施来使用,并不被认为是一种施工方法。

英国的注浆技术起步于1886年,豪斯古德(Hosagood)在印度建桥时采用化学浆液固

砂,自此,化学浆液在印度问世。1886年,金尼普尔(Kinniple)采用粘土水泥砂浆阻止尼罗河的达梅塔(Damietta)和罗萨塔(Rosetta)坝坝基下的地下渗流。正是在这时,英国研制出了“压缩空气注浆泵”,促进了水泥注浆法的发展。1887年德国的杰沙尔斯基(Jeziorsky)利用一个钻孔灌注水玻璃,另一个相邻钻孔灌注氯化钙,创造了原始的硅化法。

注浆技术的进一步发展和广泛应用,是在矿山竖井的建设中用于防止竖井开挖时地下水的渗入。1920年荷兰采矿工程师尤斯登(E. J. Joosten)首次论证了化学注浆的可靠性,采用了水玻璃、氯化钙双液双系统两次压注法,并于1926年取得了专利。

注浆技术有系统的改进始于美国科罗拉多河上的胡佛坝(Hoover)岩石地基的帷幕注浆,而且为补救由于地基开挖引起的裂缝,进行了固结注浆。根据胡佛坝基的注浆工程实践,制定了注浆工程的设计和施工规范。20世纪40年代,日本的丸安隆和博士在注浆时采用了水玻璃、铝酸钠双液单系统的1.5次注浆法,为凝胶时间短的浆液的使用创造了条件。此时也出现了粘土水泥系的注浆材料。20世纪50年代美国研制了黏度接近水、凝胶时间可任意调节的丙烯酰胺类树脂浆液(AM—9)。后来又出现了丙烯酸盐类、脲醛树脂类、木质素类等各种注浆材料。

随着注浆技术的广泛应用,注浆材料及施工技术得到了较大的发展。注浆材料从最早的石灰和粘土、水泥,发展到水泥—水玻璃浆液、各种化学浆液。如:高强度的水玻璃类浆液、中性和酸性水玻璃浆液、非石油来源的多种高分子浆液、丙烯酰胺预聚体浆材。水利水电工程中对水泥浆液、水泥粘土浆液进行了改性,根据不同需要使用了改性水泥浆、浓浆和膏状浆液。特别是细颗粒水泥注浆材料的开发,克服了水泥浆液难于渗透到较细颗粒土层中的缺点。由于化学浆液对周围环境及地下水存在有不同程度的污染,所以许多化学高污染的注浆材料在使用上受到了限制,但在特殊条件下,一些低污染的化学浆材得到了开发、改性和使用。渗透性强、可注性好、无污染、固结体强度较高、凝胶时间易于控制、价格便宜和施工方便的注浆材料一直是注浆工程界期望和研究开发的目标。

为改善注浆工程的注浆效果,除研制、选用合适的注浆材料以外,注浆方法的重要性也逐渐被人们所认识。最初采用比较经济、简便的填压式注浆法,后来又出现了循环式注浆法、双管注浆法、花管套壳料注浆法及电渗注浆法等许多工艺技术,大幅度改善了注浆效果。从脉状注浆、渗透注浆发展到应用多种材料的复合注浆法。从无向压注发展到通电、抽水、压气和喷射等多种诱导注浆法。通过预处理以及孔内爆破等方法,大大提高了浆液的可注性。应用定向钻进、多孔同时注浆以及增大段长等方法,缩短了注浆工期。近年来,在地基处理方面还采用了高压旋喷、定喷和摆喷、深层搅拌等新的注浆法,使浆液与土颗粒强制混合,不仅克服了渗透注浆扩散能力弱的不足,而且可进行一定程度的定向注浆,进一步提高了固结体的强度,降低了土体的透水性,改善了注浆效果。

除注浆材料、注浆方法外,注浆设备的改进、注浆技术的管理以及注浆效果的测定方法也是注浆技术发展中的重要方面。在注浆机具方面:使用了轻型全液压高速钻机;注浆设备出现了专用化、机组化、系列化的趋势;研制了高速搅拌机、集中制浆系统和各种新型止浆塞和混合器。在施工管理方面也取得了长足的进步:对注浆过程的控制,出现了自动记录、集中管理和自动化监控的趋向。在注浆效果的测定方面:应用了压水或注水、抽水试验,电测、弹性波探测、各种物理力学测试、放射能探测、微观测试等多种检测仪器和手段。

我国的注浆技术研究起步较晚,20世纪50年代以前所做工作甚少,50年代开始初步掌

握注浆技术,1953年开始研究应用水玻璃作为注浆材料。随着水利水电工程建设的发展和我国化学工业的形成,除水泥、粘土等材料外,50年代末已形成了环氧树脂、甲基丙烯酸甲酯等注浆材料,60年代形成了丙烯酰胺注浆材料,70年代末形成了聚氨酯注浆材料。尤其是进入80年代后,根据不同的需要,各种材料在种类、性能上得到了进一步的发展。干法、湿法细水泥和超细水泥、稳定浆液、混合浆液、酸性水玻璃、丙强、弹性聚氨酯、水溶性聚氨酯、丙烯酸盐、不饱和聚酯、热沥青、木质素类、脲醛树脂类和多种多样的外加剂等不同程度地在各种工程中得到应用。

除材料品种外,我国配套的施工技术、工艺、注浆机具和检测手段相应地获得了重大的发展。配套注浆的钻孔机具、高压注浆泵、高压耐磨阀门、高速搅拌机、止浆装置、自动记录仪、集中制浆系统等机具设备的出现,也为注浆技术的稳步发展创造了条件。在监测方面,从目测样品、压水试验等常规方法,发展到声波、变形、电子显微镜等多种宏观和微观的检测手段。注浆工艺技术上,以高压注浆为代表的整套注浆技术、水泥浓浆注浆技术、水泥浆液和化学浆液联合注浆技术等,为工程中复杂地基的防渗加固处理提供了条件。

在水利水电工程建设中,我国已建造30 m以上的水坝近3 000座,其中高于100 m的高坝有20余座。水工建筑物采用注浆技术改善复杂地基性能,解决了许多建筑物防渗和加固难题。可以说,经注浆工作者几十年的努力,在注浆工程领域已具备了众多的材料种类和工艺技术,积累了丰富的经验,其中某些方面已达到了相当高的水平,与国际逐步接轨,并在某些方面有独到之处。但相对而言,与国际领先水平的国家相比,某些方面尚有差距。

结合目前工程需要,在注浆工程中有下述几个方面需要进一步作出努力,以求注浆技术的进一步发展。

(1) 继续研究开发注浆设备,特别对高效钻孔机具、自动监测记录、浆液的集中制备与输送、专用注浆泵和有关的止浆、制浆、输浆等设备及其自动化进行研究开发,以期达到国际先进水平。

(2) 研制开发能客观评价注浆效果的检测仪器和方法,并且使其标准化,以利于在工程中应用,促进注浆质量的提高。

(3) 发挥注浆技术的特点和优势,开拓其应用范围和领域。

注浆技术是一门古老而又新型的技术,随着化学、材料、机械、电子、计算机等工业和工程技术的发展及建设工程的大量需求,注浆技术也必将以更高的速度向前发展。

1.2.3 注浆技术研究内容与方法

1.2.3.1 注浆目的

(1) 防渗。降低岩石的渗透性,消除或减少地下水的渗流量,提高岩石的抵抗渗透变形能力。如水电工程坝基、坝肩和坝体的注浆防渗处理。

(2) 堵水。截断水流,改善工程施工、运行条件。如井壁等地下工程漏水的封堵。

(3) 固结。改善岩石或结构的力学性能,恢复其整体性。

(4) 防止滑坡。提高边坡岩石体的抗滑能力。

(5) 降低地表下沉。降低或匀化岩石的压缩性,提高其变形模量。

(6) 提高地基承载力。提高岩石的力学强度。

(7) 回填。充填岩石体或结构的孔洞、缝隙,防止塌陷,改善结构的力学条件。

(8) 加固。恢复结构的整体性和力学性能。

此外,减小挡土墙上土压力,防止岩土의冲刷,消除砂土液化,纠正建筑物偏斜等都可采用注浆法。工程实践中,注浆的目的并不是单一的,在达到某种目的的同时,往往收到其他几个方面的效果。

1.2.3.2 注浆技术研究内容

注浆技术要研究注浆对象能不能注浆,注什么材料的浆液合适,采用何种方法注浆,注浆后会达到怎样的效果,即其内容包括:

- (1) 注浆对象的可注性;
- (2) 注浆浆液及其特性;
- (3) 浆液在岩土层内流变特性及流动规律;
- (4) 注浆设备及工艺;
- (5) 注浆效果的检测方法。

1.2.3.3 注浆技术研究方法

(1) 工程地质和水文地质方法

常用工程地质和水文地质方法调查需要注浆范围的地层及岩性特征和地下水性质(水源、水位、流向、流速、水质等),从而确定注浆的层位和选择浆液的胶凝时间。

(2) 土工试验和压水试验

对需要注浆范围内的土质进行室内土工试验,了解土的物理力学性质。尤其是颗粒分布、孔隙度、渗透系数,它们是判断可注性和计算注浆量的重要依据。裂隙岩体内压水试验,可以得到注入率,既可确定浆液类型、浆液浓度以及注浆率,还可检查注浆效果。

(3) 室内模拟试验和现场试验

室内模拟试验可以观察到注浆的全过程,同时可直观地看到浆体的分布,还可以模拟复杂条件下的注浆参数和其他地质、水流因素。现场试验可提供可注性和注浆参数,为注浆设计和施工提供可靠依据和准确参数。

(4) 化学试验方法

浆液的配比及性质主要通过化学分析和化学试验来获得。根据注浆的要求,常常需要研制新的注浆材料,或对已有的注浆材料进行改性,这些都需用化学方法来解决。

(5) 理论计算和工程类比

注浆范围主要应用土力学和岩石力学理论来确定。注浆的工艺参数可按照注浆理论公式来计算。但由于理论公式较为简化,实际地下情况相当复杂,理论计算值与实际值相差甚远。此外,压密注浆和劈裂注浆理论还不够完善,因而工程设计大都采用经验法和工程类比法。

(6) 钻孔检查法和物探方法

防渗帷幕注浆效果常采用压水或抽水试验方法来评价。而加固注浆的效果检测方法常用的是钻孔检查法和物探方法。钻孔检查法包括钻孔取样和钻孔内动力触探;物探方法主要是电法、弹性液法及放射性法。

1.2.4 注浆技术分类

注浆法按浆材品种可分为水泥注浆、化学注浆和混合注浆等;按工程属性可分为坝基注