

21 世纪岩土工程前沿技术丛书

螺旋锚技术及其在工程中的应用

● 汪滨 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21世纪岩土工程前沿技术丛书

本书获南京水利科学研究院专著出版基金资助

螺旋锚技术及其在 工程中的应用

◎ 主编 汪滨

参编 李军 万希岭 邓昌



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

螺旋锚是一项用于岩土工程的实用技术。本书主要介绍螺旋锚的力学特性和应用方法,共分11章,第一、二章介绍螺旋锚技术的概况及螺旋锚的结构与制作方法;第三章至第七章从试验研究和理论分析两个方面分别介绍螺旋锚的垂直、水平、斜向及群锚的承载特性;第八、九章介绍螺旋锚的安装扭矩和施工设备;第十、十一章介绍螺旋锚在锚固工程和基础工程的应用情况。本书可供从事岩土工程、建筑工程、电力工程、水利工程及防灾减灾工程的相关技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

螺旋锚技术及其在工程中的应用 / 汪滨主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2006

(21世纪岩土工程前沿技术丛书)

ISBN 7-5084-3549-4

I. 螺... II. 汪... III. 岩土工程 IV. TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第008608号

书 名	21世纪岩土工程前沿技术丛书 螺旋锚技术及其在工程中的应用
作 者	汪滨 主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32开本 6.25印张 168千字
版 次	2005年11月第1版 2005年11月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	19.50元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

螺旋锚技术是一项非常实用的技术，在美国、加拿大等国家应用得非常成功，而在我国应用得很少。其中一个重要的原因是许多工程技术人员对它了解很少，因此，我们想通过本书将螺旋锚技术及其应用方法介绍给大家，使大家在了解、熟悉这项技术之后，能尽快地应用起来，使这项技术在我国发挥应有的作用。

本书收集整理了南京水利科学研究院及国内外其他科技工作者的一些研究成果，引用的有关内容均列于参考文献中，在此，谨向这些文章、科研报告的作者表示感谢。

本书由南京水利科学研究院汪滨任主编，中国地质大学万希岭老师与南京水利科学研究院李军、邓昌参加了编写。

南京水利科学研究院丁伟农教授对全书进行了审阅与修改，在此表示感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有缺点和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 11 月

前言

第一章 概论	1
第一节 螺旋锚的发展历史	1
第二节 螺旋锚技术的用途与特点	2
第三节 螺旋锚在我国的应用前景	5
第二章 螺旋锚的结构与制造	10
第一节 螺旋锚的组成与分类	10
第二节 螺旋锚各构件的形式与制造	11
第三节 螺旋锚的设计校核	18
第四节 螺旋锚的防腐	19
第三章 螺旋锚的垂直承载力	22
第一节 螺旋锚的垂直抗拔试验	22
第二节 螺旋锚抗拔力的计算理论	31
第三节 螺旋锚的承压力	46
第四章 复杂因素对螺旋锚承载力的影响	50
第一节 地下水对螺旋锚的影响	50
第二节 上部附加压力对螺旋锚的影响	59
第三节 锚叶间距对抗拔力的影响	62
第四节 交变荷载对抗拔力的影响	65
第五章 螺旋锚的水平承载力	75
第一节 水平承载力的试验研究	75
第二节 水平承载力的计算理论	80

第六章 斜锚抗拔力的研究	85
第一节 斜锚的试验研究	85
第二节 斜锚抗拔力的计算理论	97
第七章 群锚抗拔力的研究	102
第一节 群锚的试验研究	102
第二节 群锚抗拔力的计算理论	111
第八章 螺旋锚的安装扭矩	124
第一节 螺旋锚安装扭矩的试验研究	124
第二节 安装力矩的计算理论	128
第九章 螺旋锚施工设备	140
第一节 简易手扶式施工设备	140
第二节 常规安装施工设备	142
第三节 车载安装施工设备	151
第十章 螺旋锚在锚固支护工程中的应用	155
第一节 锚固工程的前期调查	155
第二节 螺旋锚锚固体系的设计	157
第三节 工程应用	169
第十一章 螺旋锚在基础工程中的应用	174
第一节 基础设计资料的收集与荷载计算	174
第二节 基础的校核与分析	180
第三节 螺旋锚基础的安装	185
第四节 工程应用	189
参考文献及参考资料	192

第一章

概 论

第一节 螺旋锚的发展历史

螺旋锚最早使用时间可以追溯到 1833 年亚历山大·米切尔时期，在英格兰潮汐内湾周围，人们采用螺旋锚支撑灯塔作为灯塔的基础。有资料记载，英国人曾在 1863 年设计螺旋锚用于布赖顿西直码头及轻质房屋的基础。

有关螺旋锚的系统研究工作始于 20 世纪 50 年代。1950 年，Wilson 在螺旋桩的承载力和桩的沉降方面进行了很多研究，包括模型试验和荷载试验，提出了扭矩和桩的承载力的关系以及设计公式。后来，一些研究人员对 Wilson 的理论提出了建议并作出一些修正。Meyerhof 在 20 世纪五六十年代对螺旋桩的承载力问题提出了塑性理论，并提出了抗拔力的计算公式；Skempton 也提出了螺旋桩的承载力的公式。20 世纪 80 年代，P. Clemence 等人提出了抗拔力的计算公式，并对交变载荷作用下的承载力进行了研究。20 世纪 90 年代，S. Narasimha Rao 等人对螺旋锚在粘土及淤泥中的力学性能进行了试验研究；Ashraf Ghaly 等人利用计算机分析手段对螺旋锚的抗拔力进行了深入细致的研究，并对斜锚、地下水的影响、安装扭矩、群锚等问题进行了试验研究。至此，有关螺旋锚的试验研究和理论研究成果初步形成了较为完整的体系。

随着研究工作的深入，从 20 世纪 50 年代开始，螺旋锚逐渐在国外发展成为工程中的实用技术。A. B. Chance 公司在输电铁塔的基础工程中采用螺旋锚，1959 年制定了第一个有关螺旋锚的标准——PISA (Power Installed Screw Anchors)，随后根据



不同工程的需要制定了不同系列的螺旋锚标准。早期原始的螺旋锚慢慢地演变成今天的标准化生产的螺旋锚。目前,在美国、加拿大、墨西哥、澳大利亚等国家,螺旋锚广泛应用于工程施工。前苏联在 20 世纪 60 年代也开始将螺旋锚应用于桅杆和塔的基础。

我国螺旋锚的引进与使用始于 20 世纪 90 年代初,在此之前也有少量的螺旋锚用作触探试验加载的反力装置。在水利行业,南京水利科学研究院洪晓林等系统地引进、开发与研究了螺旋锚技术,并将其应用于防灾减灾领域。同一时期,国内武汉水利电力学院王钊教授等开始将螺旋锚技术应用于基坑支护和输电线塔基础,到 21 世纪初,一些小型螺旋锚在煤巷支护领域开始应用。总体来看,在我国,水利、电力、建筑、煤炭行业都开展了螺旋锚技术试验研究工作,但该项技术还处于推广初期,大规模的使用尚未开始。

第二节 螺旋锚技术的用途与特点

一、螺旋锚的用途

螺旋锚主要的用途有两个:其一是作为基础承重,其二是作为锚固手段。螺旋锚技术因其施工方便、成本低,在一些野外作业的工程上应用较多。其涉及的领域包括电力、交通、水利、石油、建筑等,主要应用在以下几个方面:

(1) 电力和通信线塔的基础。见图 1-1 (a),常规的杆塔基础施工劳动强度大,而且需要笨重的设备,野外作业频繁搬运十分不便。螺旋锚基础可采用车载下锚机,施工速度快,工期短,机动性好,能大幅降低造价。

(2) 输送管道基础。采用螺旋锚作为基础,可保证管道不因土层产生不均沉降,见图 1-1 (b)。

(3) 建筑物基础。活动房、风力发电塔、卫星信息接收装置等建筑物需要固定,见图 1-1 (c) ~ 图 1-1 (e),螺旋锚

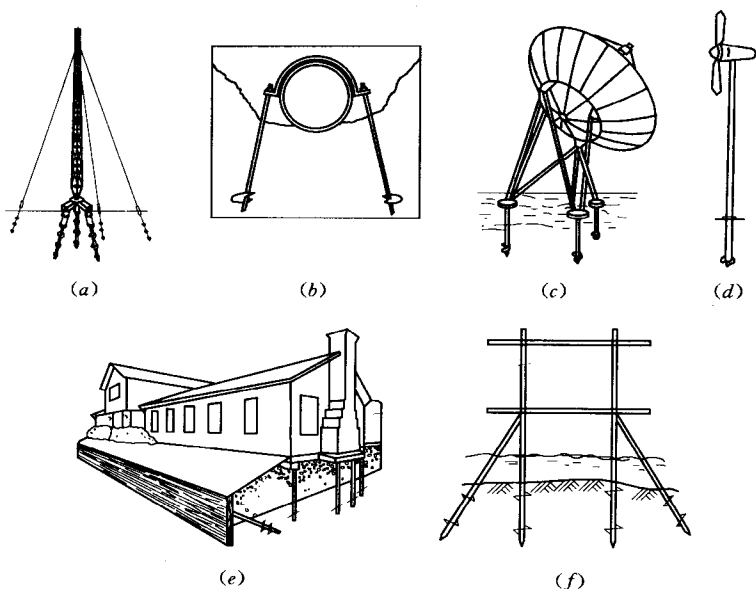


图 1-1 螺旋锚在基础工程中的应用

(a) 输电线塔基础；(b) 管道基础；(c) 卫星接收装置基础；
(d) 风力发电塔基础；(e) 房屋基础加固；(f) 水上临时基础

可作为永久性基础。在工民建或军事工程中也常用它作为临时性基础，在海洋工程、码头、船坞等工程中可作为承受波浪荷载所产生的上拔力的基础，或作为承受地下水浮托力或渗压作用的腹腔式基础结构。在房屋修复加固工程中可以作为加固与托换基础。

(4) 水上搭建栈桥、临时桥梁和堵口抢险框架。在水上及沼泽地区，采用逐步推进的方法搭建框架，承载力高，施工快捷、方便，工程量小，见图 1-1 (f)。

(5) 基坑和煤巷支护。可用于作为深基坑的侧壁支护和煤巷两帮及顶部的锚固支护，见图 1-2 (a) 和图 1-2 (b)。螺旋锚支护成本低，施工速度快，即时承载。



(6) 边坡与堤防加固。常规的边坡锚固需要完成钻孔、安装锚杆(索)、灌浆等工艺,而螺旋锚锚固将几个工序合成一道工序,见图 1-2 (c)。因此,螺旋锚适合于野外大面积使用,以及快速锚固工程。

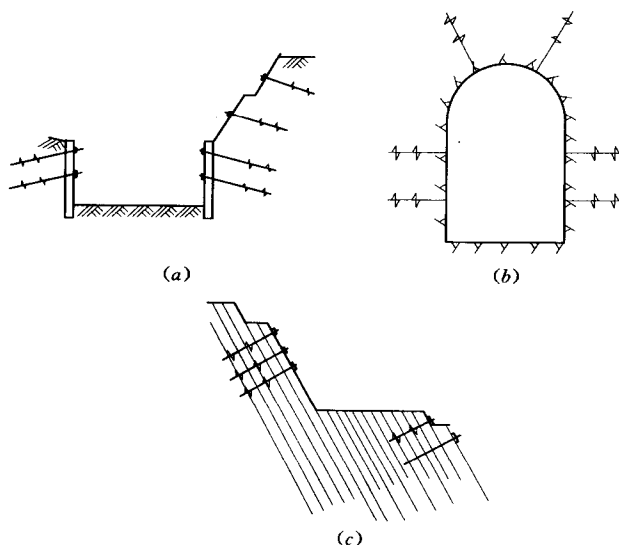


图 1-2 螺旋锚在锚固支护工程的应用
(a) 基坑的支护; (b) 煤巷的支护; (c) 边坡的锚固

二、螺旋锚的特点

螺旋锚同其他的锚固方法和基础形式相比较,具有许多优点:

- (1) 成本低,在经济上有竞争力。
- (2) 承载快,立即发挥作用,不需要水泥浆固结。
- (3) 可全天候安装。
- (4) 施工速度快,螺旋锚能在几分钟内钻入地层。
- (5) 可采用不同的设备安装,需要的设备也较少。
- (6) 可作为暂时性措施,后期可以回收。



- (7) 没有土方工程。
- (8) 需要的施工人员少, 劳动强度低。
- (9) 可以直接根据安装扭矩估算出其承载力, 省去了荷载试验。

但螺旋锚在某些场合不能采用, 如在岩层中和含大量砾卵石的土层中, 另外也不适宜用作大型建筑的基础。对于钢铁类螺旋锚, 由于腐蚀因素的影响, 其应用范围和服务年限也受到一定的限制。

第三节 螺旋锚在我国的应用前景

目前, 我国的经济建设飞速发展, 土木工程的建设规模不断扩大, 鉴于螺旋锚用途广泛、优点突出, 螺旋锚技术在我国有着良好的应用前景。

一、边坡的治理和抢险

我国是个多山的国家, 山地、丘陵和比较崎岖的高原总面积约占国土面积的 $2/3$ 。我国也是地质灾害发生较多的国家, 据不完全统计, 每年发生的滑坡数以万计, 全国有泥石流沟 1 万余条, 威胁和危害着 150 个县、36 条铁路、数十座矿山、近千座水电站及数百座水库。1949~1990 年, 崩塌、滑坡、泥石流至少造成直接经济损失 100 亿元, 年均死亡达数百人。我国铁路沿线分布大中型滑坡约 1000 余处, 平均每年中断交通运输 44 次, 经济损失近亿元。随着我国国民经济的发展, 国家对地质灾害的预防与治理越来越重视, 投入也逐年增多。

滑坡的预防与治理方法有多种, 螺旋锚作为一种简单快捷的方法, 可以在边坡锚固工程中发挥一定的作用。

二、堤防抢险加固

我国建有各类堤防 26 万 km 以上, 其中有不少堤基条件差, 属历年逐渐加高培厚的土堤。汛期, 在洪水浸泡下, 溃堤、崩岸的情况经常发生。每年汛期需要临时紧急加固处理的堤坝有成千



上万公里。以 1998 年特大洪水为例,长江中下游堤防发生 7 万余处险情,其中较大险情 2000 余处,重大险情 50 余处,大多数险情中土体需要加固处理。

在防汛抢险加固工程中,施工用的大大小小木桩很多。与木桩相比,螺旋锚抗拔力高,旋转拧入施工对土体的扰动小,因而可以大大地提高抢险施工速度和堤坝加固后的稳定性,减少灾害带来的损失。

三、煤巷的支护

我国能源资源的特点是煤炭资源丰富,而石油、天然气相对贫乏。煤炭是我国最廉价、最可靠的自然资源,在一次能源生产和消费构成中,长期保持在 67% 以上的比重。在 1 万多亿 t 的查明资源量中,已利用 3500 亿 t,尚未利用 6700 亿 t,可以开采上百年。尚未利用的资源量中,可供新井建设利用的精查资源储量约 300 亿 t 左右。

锚杆支护充分利用岩层自身的承载力,与其他的支护方式相比,锚杆支护成本低,因而应用越来越广泛,在我国,螺旋锚煤巷支护技术属于刚刚起步阶段。由于螺旋锚适合软岩锚固,可回收,施工简单,能进一步降低支护成本,因而显示出良好的应用前景。

四、电力与通信线塔基础

目前我国已建成并投运的 330kV 输电线路突破 1 万 km, 500kV 线路近 4 万 km, ± 500 kV 直流输电工程总长度将达 4691km, 规模之大,居世界前列。但由于我国电力资源和经济发展的不均衡性,未来一段时期,输电线路的建设将出现一个高潮。预计到 2010 年,我国将建成 330kV 及以上的交流线路 11.3 万 km, 直流线路 8000km。

随着电网建设的发展,输电线塔基础设计需要采用先进的基础形式,尽量做到不开基面或少开基面,减少土石方量和混凝土量,节省投资,保护自然植被,减少水土流失。螺旋锚在这些方面具有得天独厚的优势,在国外,螺旋锚在输电线塔领域应用非



常成功。除此之外，螺旋锚还可用于类似的通信线塔基础。

五、管道基础

管道主要用于输送流体，如输油、输气、输水等，其中输油、输气管道在我国未来经济中将发挥重要作用。在我国经过几十年的建设，有“地下能源大动脉”之称的管道运输已形成覆盖 16 个省（自治区、直辖市）、四通八达、输配有序的石油、天然气管网体系，建设总里程突破 2 万 km，全国 100% 天然气、90% 以上的原油运输通过管道完成，管道运输已居我国运输行业的第四位，“西气东输”工程更是跨世纪的壮举。

我国正在兴建国家石油战略储备库。随着国家石油战略储备库的建设，我国原油管道的规模进一步扩大，布局也会有所调整。油、气绝大部分将采用管道运输，用管道运输比火车运输更安全，费用较低，还减少了对空气的污染。预计未来 10 年，为适应油、气资源的需求，将兴建一批大型跨国、跨地区的输油和输气管道。

随着“南水北调”工程等调水工程的开展，输水管道建设在未来将更为重要。同其他的输水方式相比，管道输水的优势是渗漏少，缺点是投资大、水能量损失大。因而，只有在必要时才选用。

在我国，螺旋锚用于管道建设还未见报道，因而是一个尚待开发的应用领域。

六、风力发电

螺旋锚另一个潜在的应用领域是风力发电。我国风力资源十分丰富，陆地理论储量 32 亿 kW，可开发的装机容量约 2.53 亿 kW，居世界首位，与储量相比，我国风能利用在能源消费中所占比例极小。据统计，截至 2004 年末，我国风力发电总装机容量为 76 万 kW，占全国电力装机总量不足 2%。因此，风力发电商业化、规模化发展潜力巨大。

同国际上风能利用先进的国家相比，我国风能的利用差距很大。到 2004 年，世界风力发电能力达 4700 多万 kW。风力发电



量最多的是德国,达 1660 万 kW;西班牙第二,为 820 万 kW;美国以 674 万 kW 位居第三。在亚洲,印度以 300 万 kW 居首位,我国仅为印度的不到 1/4。

随着我国国民经济的快速发展,电力供应不足的矛盾十分突出。分析表明,到 2020 年,我国要实现国内生产总值比 2000 年翻两番的战略目标,届时,我国能源资源供应将面临很大压力。从环保的要求看,风力发电属于无污染的电力资源。因此,风力发电是蕴含的巨大商机,可以看出,我国风能开发利用在经过长期的沉寂之后,正在迎来高速发展期。

螺旋锚可以作为风力发电机组的安装基础,其作用和施工方法与在输电线塔工程中相似。

七、建筑基坑支护和房屋加固等

近 20 年来,我国各大中城市万幢高楼拔地而起,10 层以上的建筑物已逾 1 亿 m^2 ,其中高度超过 100m 的建筑物已有约 200 座。同时,这些已建和在建的高楼、超高大楼,其基坑深度已逐渐由 6m、8m 发展至 10m、20m 以上。伴随着这些工程的实施,螺旋锚支护可以在其中发挥一定的作用。除此之外,由于螺旋锚的安装方便、可操作性强,可以在房屋基础的加固与托换中得到应用。

综上所述,随着我国经济的高速发展和综合国力的增强,基于能源的开发与输送及防灾减灾工程的需要,螺旋锚技术在我国有着非常广阔的应用前景。

螺旋锚技术在我国推广应用还有许多工作有待进一步加强,主要包括以下几个方面:

(1) 系列化开发螺旋锚产品与配套的零部件,适合各类工程的不同需要。

(2) 制定有关螺旋锚在工程中的应用的相关技术规范,为螺旋锚的选用与工程设计提供依据。

(3) 充分利用、改装现有的钻孔等常用施工设备,研制、开发螺旋锚安装专用施工设备,使螺旋锚安装时设备选择、调用较



为方便。

(4) 开发螺旋锚在工程中应用的设计软件。

(5) 加强螺旋锚技术的进一步发展和创新，及时解决工程实践中的新问题。

(6) 培育螺旋锚的生产、营销和施工队伍，按市场经济的模式发展螺旋锚技术，使之在我国经济建设中发挥更大作用。

第二章

螺旋锚的结构与制造

第一节 螺旋锚的组成与分类

螺旋锚又称螺旋锚板。最简单的螺旋锚如图 2-1 所示，由锚头、锚叶、锚杆和连接件几部分组成。锚杆超过一定长度时，可以分为数段，由首段、延续段、尾段及连接件组成一个完整的锚杆。



图 2-1 螺旋锚结构示意图

锚头有切入土层的作用。锚叶为螺旋状，安装时将旋转力矩转变为向下轴向力，使整个锚向下运动，承载时锚叶依靠土体承担主要载荷。锚杆有连接与传递力、力矩的作用。每段锚杆通过一定的连接方式与延续段、连接配件或载荷对接。

螺旋锚根据锚叶的数目，可分为单叶螺旋锚、双叶螺旋锚和多叶螺旋锚。只有一个锚叶为单叶锚，两个锚叶为双叶锚，两个锚叶以上的螺旋锚可统称为多叶锚。对于双叶螺旋锚和多叶螺旋锚，又有等叶锚和不等叶锚之分。锚叶大小相同的为等叶锚，锚叶大小不同的称为不等叶锚。单叶锚设计制造较简单，承载力不高。多叶锚结构略微复杂些，制造也有一定的精度要求，但承载力高，使用时可根据承载力需要来选择。

螺旋锚按锚叶的旋向又分为左旋螺旋锚和右旋螺旋锚，大多



数场合用的是右旋螺旋锚。

螺旋锚按制造材质分为：钢铁类螺旋锚、树脂螺旋锚、复合材料（如玻璃钢）螺旋锚以及混凝土螺旋锚。其中钢铁类螺旋锚材料强度高，应用最多，但一般要进行防腐处理。

除此之外，还有单节锚和多节锚之分。单节锚是只有一根锚杆的螺旋锚，多节锚是锚杆的全部长度由多节锚杆连接而成的螺旋锚。

第二节 螺旋锚各构件的形式与制造

这里主要介绍钢铁类螺旋锚的制作方法。

一、锚叶

（一）锚叶的制造

从制造方法来分，锚叶主要有焊接锚叶和铸造锚叶。

1. 焊接锚叶

焊接锚叶是指加工成型后用焊接的方法固定在锚杆上的锚叶。焊接锚叶的锚叶成型方法有三种：

（1）手工敲打拉伸成型。将钢板料用手工敲打和拉伸成型，边敲打边拉伸，用量具测量，直到符合要求。为了提高锚叶的质量，在成型前最好做一个锚叶测量用的木靠模，敲打的过程中与木靠模进行比较。这种方法适合于单件和极小批量生产，成本比较高，每片锚叶加工的时间较长，质量决定于加工的技术。

（2）冷压模成型。这种方法需要制造一副钢压模。钢压模安装在油压机上，将钢板料放入压模，用油压机压制成型。这种方法适合于较大批量生产，生产效率高，质量好，而且稳定。但生产前必须先制作钢压模，先期需要一定的投入，并且冷压模成型钢板有一定的厚度限制。

（3）热压模成型。这种方法也需要钢压模，与冷压模不同之处在于压制时先将钢板料烧红，再放入压模内压制。热压模成型的成本一般比冷压模高，质量比冷压模差一些，材料金相