

土钉支护 在基坑工程中的 应用

陈肇元 崔京浩 主编

中国建筑工业出版社

土钉支护在基坑工程中的应用

陈肇元 崔京浩 主编

中国建筑工程出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

土钉支护在基坑工程中的应用/陈肇元, 崔京浩主编.
北京: 中国建筑工业出版社, 1997
ISBN 7-112-03253-9

I. 土… II. ①陈… ②崔… III. 支护, 土钉-应用-基坑
IV. TU753.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 06768 号

土钉支护在基坑工程中的应用

陈肇元 崔京浩 主编

*

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

北京银河商标印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 6½ 字数: 173 千字

1997 年 8 月第一版 1997 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 16.00 元

ISBN 7-112-03253-9

TU·2502 (8396)

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)

土钉支护是一种经济可靠、快捷简便的挡土技术，已在我国高层建筑的深基坑开挖施工中得到愈来愈多的应用。本书共分三篇：第一篇综述——土钉支护技术，第二篇工程应用实践，第三篇土钉支护设计与施工指南。书中主要介绍土钉支护工作性能及其设计施工方法的基础知识以及工程应用实例。

本书可供土建工程设计施工人员、大专院校师生参考。

编写说明

土钉支护作为一种经济可靠、快速简便的挡土技术，已在我国高层建筑的深基坑开挖施工中得到愈来愈多的应用。为了总结交流各地在应用这一技术过程中取得的经验与存在的问题，1996年9月4日至6日由建设部科学技术委员会主办、清华大学土木系和总参工程兵科研三所承办，在清华大学召开了《深基坑开挖的土钉支护技术》研讨会。会议还得到中国四海工程公司和山东建筑工程学院的协助。会上共收到论文报告40余篇，有140余人参加。本书内容主要选自这一会议材料，并请有关作者重新整理，经进一步汇总编辑加工修改而成。

土钉支护具有可靠的技术性能，其造价远远低于其他传统的支护方法。为使这一新技术能在我国健康地发展，迫切需要宣传介绍有关土钉支护工作性能及其设计施工方法的基础知识。土钉支护施工必须有专业技术人员指导，必须与现场量测监控和反馈设计相结合。要克服土钉支护施工中存在的降低安全标准的危险倾向，保证支护结构有足够的安全储备与可靠程度。

我们希望本书的出版能为土钉支护技术在我国推广应用有所帮助。

本书第一篇由清华大学陈肇元编写，第二篇各文作者均署在标题下，第三篇主要由清华大学陈肇元、总参工程兵科研三所周丰峻、曾宪明等编写。

编者

1997.3

目 录

第一篇 综述——土钉支护技术	1
一、序言	1
1. 土钉支护概述	1
2. 土钉技术在国外的的发展概况	5
3. 土钉支护在我国的应用概况	11
4. 土钉支护的应用范围	12
5. 土钉支护的优点与局限性	14
二、土钉支护的构造	16
1. 土钉	17
2. 支护面层	23
3. 排水系统	25
三、土钉支护的工作性能	26
1. 土钉支护工作性能的实测结果	26
2. 土钉支护工作性能的有限元分析	43
3. 土钉与土体之间的界面粘结性能	49
四、设计施工的一般原则和要求	52
1. 土钉支护的适用土体范围	54
2. 结构设计参数	55
3. 结构分析内容	56
4. 开挖过程	57
5. 量测与监控	58
五、结构设计分析	59
1. 外部稳定性分析 (体外破坏)	59
2. 内部稳定性分析 (体内破坏)	60
3. 内部稳定性安全系数	62
4. 土钉内力分析	66

5. 土钉支护的工程简化分析方法	70
6. 土钉抗力及其设计	73
7. 面层设计	75
8. 支护的变形分析	76
六、小结	78
第二篇 工程应用实践	79
一、北京庄胜广场深基坑土钉支护技术	79
二、土钉技术在广州华晖广场深基坑支护中的应用	90
三、复合土钉墙在广州安信大厦工程深基坑支护中的 应用	103
四、土钉支护技术在汉口地区基坑工程中的应用	118
五、土钉支护技术在四川地区基坑工程中的应用	125
六、土钉支护在粉细砂地层逆作法施工中的应用	130
七、承压含水层地区深基坑土钉技术的应用	136
八、深圳银都大厦基坑土钉支护实例	143
九、广州祥港花园祥康阁综合楼基坑土钉支护简介	149
十、土钉支护处理深圳新世界大厦基坑边壁坍方	153
十一、山东邮电通讯物资大厦基坑土钉支护滑坡 事故分析	159
十二、土钉支护稳定分析——条分法结合复形调优法	166
第三篇 土钉支护设计与施工指南	173
一、总则	174
二、设计施工资格与工程承包合同	175
三、土钉支护的结构设计	177
四、土钉支护施工	187
五、土钉现场测试	192
六、土钉支护的施工监测	193
七、施工监理与工程验收	194
主要参考文献	196

第一篇 综述——土钉支护技术

一、序 言

1. 土钉支护概述

土钉支护是用于土体开挖和边坡稳定的一种新的挡土技术，由于经济、可靠且施工快速简便，已在我国得到迅速推广和应用。在基坑开挖中，土钉支护现已成为桩、墙、撑、锚支护之后又一项较为成熟的支护技术。国外近期出版的基础工程手册中，有的已将土钉支护列为独立的章节与传统的支护技术并列加以介绍。

所谓“土钉”(Soil Nails, 源自法文 Clouage de Sol), 就是置入于现场原位土体中以较密间距排列的细长杆件, 如钢筋或钢管等, 通常还外裹水泥砂浆或水泥净浆浆体(注浆钉), 土钉的特点是沿通长与周围土体接触, 以群体起作用, 与周围土体形成一个组合体, 在土体发生变形的条件下, 通过与土体接触界面上的粘结力或摩擦力, 使土钉被动受拉, 并主要通过受拉工作给土体以约束加固或使其稳定。土钉的设置方向与土体可能发生的主拉应变方向大体一致, 通常接近水平并向下呈不大的倾角(图 1-1)。土钉支护用于基坑或边坡土体开挖时的典型做法如图 1-2 所示, 其施工步骤必须遵循从上到下、分步修建, 即边开挖、边支护的原则, 具体为: 1) 开挖有限的深度, 2) 在这一深度的作业面上设置一排土钉并构筑喷混凝土面层, 3) 继续向下开挖有限的深度, 并重复上述步骤, 直至所需的深度。对于注浆钉, 一般是先钻孔, 然后置入金属钉体并注浆。



图 1-1 土钉支护

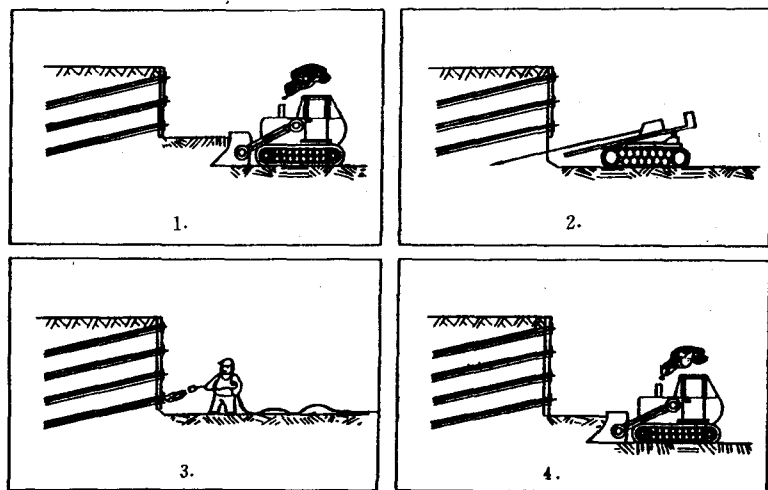


图 1-2 土钉支护施工顺序^[29]

1—开挖；2—钻孔、置钉、注浆；3—喷混凝土；4—下一步开挖

为了进一步说明土钉与土钉支护的特点，我们可以将它与锚杆、加筋土、以及微型桩等作一比较。土钉与锚杆（Ground Anchor）从表面上看有类似之处，但二者有着不同的工作机理（图 1-3）。锚杆沿全长分为自由段和锚固段，在挡土结构中，锚杆作为桩、墙等挡土构件的支点，将作用于桩、墙上的侧向土压力通过自由段、锚固段传递到深部土体上。除锚固段外，锚杆在自由段长度上受到同样大小的拉力；但是土钉所受的拉力沿其整个长度都是变化的，一般是中间大，二头小，土钉支护中的喷混凝土面层不属于主要挡土部件，在土体自重作用下，它的主要作用

只是稳定开挖面上的局部土体，防止其崩落和受到侵蚀。土钉支护是以土钉和它周围加固了的土体一起作为挡土结构，类似重力式挡土墙。另外，锚杆一般都在设置时预加拉应力，给土体以主动约束；而土钉一般是不加预应力的，土钉只有在土体发生变形以后才能使它被动受力，土钉对土体的约束需要以土体的变形作为补偿，所以不能认为土钉那样的筋体具有主动约束机制。还有，锚杆的设置数量通常有限，而土钉则排列较密，在施工精度和质量要求上都没有锚杆那样严格。当然锚杆中也有不加预应力并沿通长注浆与土体粘结的特例，在特定的布置情况下，也就过渡到土钉了。

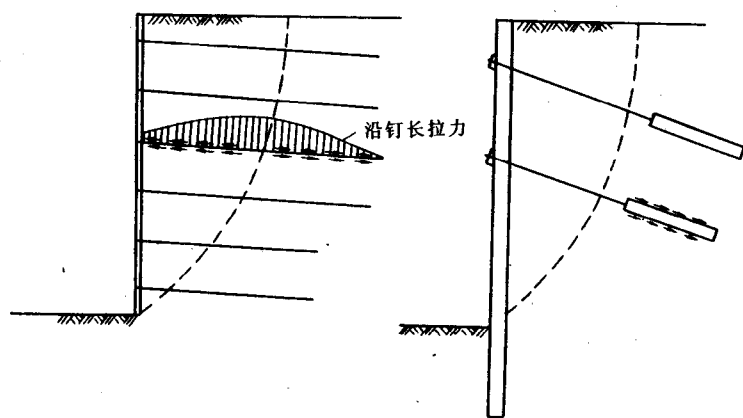


图 1-3 土钉与锚杆对比

土钉支护属于土体加筋技术 (Soil Reinforcement) 中的一种，其形式与通常的加筋土挡墙相似。但土钉是原位土中的加筋技术，是在从上至下的开挖过程中将筋体置入土中；而加筋土 (Reinforced Earth) 一词原为国外的一个专利名称，专指填土过程中的加筋技术，所谓加筋土挡墙是在从下至上分层填土的过程中埋入受拉筋 (通常用扁钢等带状筋体)，并与填土和预制墙面板一起组成挡土结构。虽然使土钉和加筋土中的筋体受拉工作都需要以土体发生变形作为补偿，但二者筋体中的拉力沿高度的变化规律不

同，加筋土中受力最大的筋体位于底部，而土钉支护中受力最大的筋体位于中部，底部的土钉受力最小。此外在土体变形曲线上也存在重大区别（图 1-4），所以加筋土挡墙的设计原则不完全适用于土钉支护。

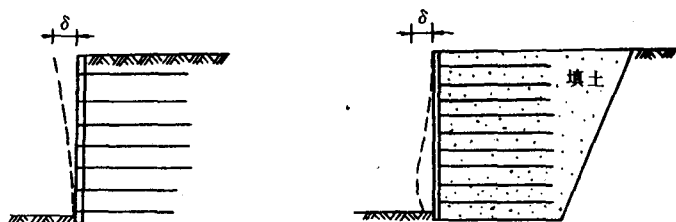


图 1-4 土钉与加筋土对比

注浆钉的构造与就地灌制的小直径桩即微型桩也有类同之处，不过土钉主要通过与周围土体之间的界面粘结力而受拉工作，一般为水平向构件；而微型桩则主要通过顶端直接承受外载，或者承受侧面土压力而压弯工作，一般为竖向构件。微型桩（Micro-piles 或 Mini-piles）有时称树根桩（Root Piles），成排布置的树根桩或呈三维网状体系的网状树根桩（Rectified Piles）能和土钉一样对土体起加筋作用并形成挡土结构，尽管其中的个别桩体有时也会受拉，但在总体受力特征和外形上显然与土钉有很大的差别。

虽然土钉支护在一些国家已普及，但是对它工作机理的了解以及在设计方法上还不能说已经达到比较完善的地步。目前应用土钉支护主要依靠经验和工程类比并与一定的计算分析和现场监测相结合。当然这种情况即使在桩、墙、撑、锚等传统支护系统中也一样存在。土工的现场特点千变万化，不能因为土钉技术看似简单，就在应用时不作细致的力学分析和忽视施工过程的监控，

这在国内开始推广应用土钉技术的现阶段显得更为重要。

2. 土钉技术在国外的发展概况^{[1]~[29]}

土钉技术的发展始于 70 年代。从历史上看,最早应用这种概念的重大工程实例也许可上溯到一百多年前英国建设世界上第一条水下隧道,即泰晤士河隧道的施工开挖中。这一隧道采用盾构开挖,1825 年开始建造,1835 年在用新的盾构置换旧的盾构时,设计人采用土钉作为盾构工作面挡板的辅助支护,并且在以后的开挖中当遇到较弱地层时就用土钉来减轻挡板上的土压。不过这时所用的土钉是 4 英寸宽、1/2 英寸厚、8 英尺长的扁铁,而作为面层的挡板是 3 英寸厚的木板;土钉从木挡板之间的缝中击入土中,端部用楔块固定,当时还作了抗拔试验,并且比较了用扁铁筋和圆铁筋这二者作为土钉的效果。

现代土钉技术从 70 年代出现,而且许多国家几乎都在同一时期内各自独立提出这种支护方法并加以开发。出现这种情况并非偶然,因为土钉技术在许多方面与隧道修建的新奥法施工类似,可看成是新奥法概念的延伸。60 年代初期出现的新奥法施工,将喷射混凝土技术和全粘结注浆锚杆结合起来并首先用于硬岩中的隧道断面开挖,使得开挖后的洞体变形很快得到稳定。1964 年,新奥法用于软岩开挖,以后就进一步试用于土体,其最早的工程事例是 1970 年德国法兰克福土中地铁的小断面隧道开挖,不久在纽伦堡地铁车站的土体开挖中再次获得成功。另外,土钉支护与加筋土挡墙也十分相似,而加筋土挡墙技术也是从 60 年代初期发展起来的,最早是在法国。

法国在工程中应用土钉支护技术始于 1972 年,法国著名的承包商 Bouygues 当时将新奥法隧道施工的经验推广于边坡开挖以保持边坡稳定,在法国凡尔赛附近为拓宽一处铁路路基的边坡开挖工程中,采用了喷混凝土面层并在土体中置入钢筋作为临时支护(图 1-5),整个开挖和支护工作是分步进行的,开挖的边坡坡度为 70°,长 965m,最大坡高 21.6m。现场土体为粘性砂土,摩

新建工程施工外,也用于原有土工的修理和加固。1984年在法国还发展了一种高压喷射注浆击入钉的新技术。根据1986年发表的一份报告估计,此时法国每年大约有50个工程项目应用土钉技术,其中约10%用作永久支护设施,另外还开展了土钉支护的基础性研究,如法国巴黎路桥学院Schlosser教授指导下进行的模型试验以及有限元分析等。

由于土钉应用的迅速发展,而对土钉工作性能的了解与设计方法却落在后面,于是法国在1986年开始执行了一项名为Clouterre的四年研究计划,由政府及私人企业联合资助,投资约400万美元,有21个单位参与,包括施工承包商、政府研究机构和高等院校。这项研究包括三个大型土钉墙试验,在国家建筑与公共工程试验中心(CEBTP)内进行,并对六个现场工程详细量测,在研究基础上提出了设计施工建议^[29]。这一试验研究的主要结论有:1)土钉中的拉力沿其长度变化,最大拉力位置不在端部面层处,而是离开面层一定距离。土钉靠近面层的端部拉力与钉中最大拉力的比值随着往下开挖而降低。2)土钉在使用阶段主要受拉,土体发生变形后在土钉中首先出现的是拉力,只到临近破坏时,土钉的抗弯刚度才起作用,使土钉同时受到弯剪;土钉破坏时的弯剪作用对于提高支护承载能力的贡献甚少,但对防止快速破坏有好处。3)极限平衡分析方法能够估计土钉支护破坏时的承载能力。4)施工过程中的每步开挖深度对于支护的稳定至为重要。为了进一步扩充这项研究,法国接着又执行了一项名为Clouterre 2的二年计划,投资约250万美元,研究地震、冰冻以及地表斜坡的影响。在设计方法方面法国在80年代发展了一个叫Talren的设计程序,以极限平衡分析方法为基础,并得到广泛应用。以后还发展了一些其他的设计程序以及有限元分析程序。法国近来还与美国联邦公路局合作进行土钉研究。

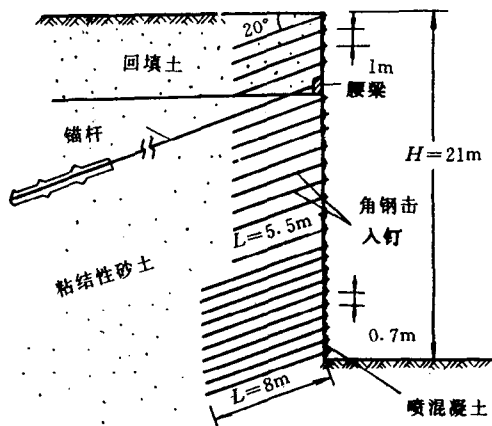
据1992年的调查,法国土钉支护每年仅用在公共工程中就有约10万 m^2 (按支护面层的面积计算),此外尚有数以百计的私人小型建筑等在施工时用了土钉。这些工程中多数是临时性的,采

用击入钉（无注浆）、钻孔注浆钉和高压喷射注浆击入钉的比例大体接近。土钉支护的高度有的超过了 20m，在利昂附近 Dombes 隧道的洞门挡墙（坡度 72°）中，采用永久性土钉支护高度达到 28m。法国的工程界认为土钉支护可用小型机具，最适合城市地区施工，为了减少基坑开挖中的支护变形，避免对邻近的建筑物或设施造成不良影响，强调上排土钉宜加长或改用预应力锚杆，如 1985 年在一处深 21m 的基坑开挖临时支护中，采用角钢击入钉，上部加一排锚杆，1990 年在一个高速铁路隧道入口 28m 高的边坡支护中用 10 排长 15m 的注浆土钉，上部加用二排 30m 长的锚杆（图 1-6），此外还用土钉与桩联合的支护。

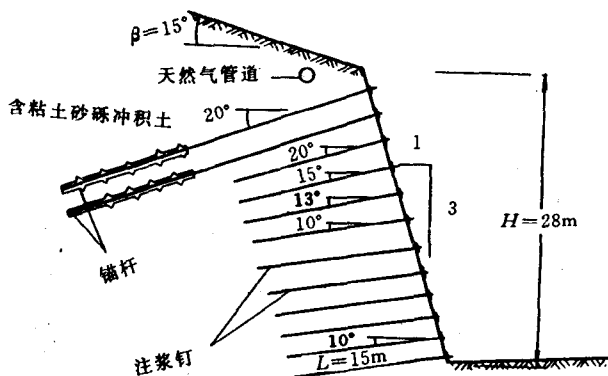
开发应用土钉支护仅次于法国的是德国，最早对土钉进行系统研究的是在德国，这一发展研究工作由西德承包商 Karl Bauer 作为先导，并与 Karlsruhe 大学的岩土力学研究所联合，从 1975 年起开始一项为期四年的研究，耗资 230 万美元，共进行了七个大中型足尺土钉墙试验与许多模型试验，另外在不同埋设条件下进行了上百个抗拔试验。试验主要在砂土中进行，这一研究的主要结论有：1) 土钉支护工作性能与重力式挡土墙类似；2) 在一般砂、粘土中，土钉长度可为墙高的 0.5~0.8 倍；3) 钉距应小于 1.5m；4) 面层压力可假定均布，大小约为库仑主动土压力的 0.4~0.7 倍。Karlsruhe 大学的 Stocker 教授与 Gassler 等人还作了许多理论研究工作。德国于 1979 年首先在 Stuttgart 建造了第一个永久性土钉工程，高 14m，并进行了长达 10 年的连续测量，获得了宝贵的数据。1983 年建造慕尼黑地铁时，在一处 18m 深的临时性土钉支护中，采用注浆帷幕对付地下水，并首次在土钉支护中使用钢纤维混凝土作为面层。

据 1992 年调查，德国当时至少已建成 500 个土钉墙，所用土钉几乎全为注浆钉，采用二次挤裂注浆的也有不少，其中也有采用先击入而后注浆的方法，这种不需钻孔的特殊土钉带有扩大的端部。

现在土钉技术在法、德二国的应用已非常广泛而成为一种常



(a)



(b)

图 1-6 土钉与锚杆的联合应用^[29]

(a) Montpellier Opera 施工开挖的临时性土钉支护；

(b) 高速铁路 Cotiere 隧道北口的土钉墙

规技术，不仅用于基坑开挖，而且用于铁路和公路边坡的永久性挡墙。

美国最早应用土钉支护在 1974 年，早期称为原位土加筋的侧向支护体系，并称土钉为锚杆，只是在国际上开展土钉技术的交

流以后才改称为土钉。详细记载美国早期应用的一个工程实例是1976年在Oregon州波特兰市一所医院(Good Samaritan Hospital)扩建工程中的基础开挖。在北美,加拿大的温哥华地区早在60年代末期已经用过土钉作为房屋基础开挖的临时支护,其深度有达18m的。美国另一项有名的土钉工程是匹茨堡PPG工业总部的深基开挖,与其紧挨的有已建建筑物,所以开挖时对土层作了注浆处理,并且对土钉区内的已有房屋基础用微型桩(Micro-piles)作了托换。美国早期进行土钉基础性研究工作主要在加州大学Davis分校(沈智刚, C. K. Shen教授等),在美国国家基金委的资助下,进行了包括现场工程实测,土钉支护模型的室内离心机试验,有限元分析等研究。近年来,美国联邦公路管理局积极推广土钉技术用于公路路基边坡稳定和公路桥台挡土结构,并编制了许多技术文件,包括设计和施工监理手册等。在一些州的高速公路建设中,许多地方用了土钉墙。美国近期从事土钉研究的单位还有路易西安那大学(Juran教授)、伊利诺大学(有限元分析和极限平衡分析方法)、加州大学洛杉矶分校(动力离心机试验等抗震性能研究)、波特兰理工学院等一些高校以及施工承包商。

除上面提及的法、德及美国外,英国从80年代起也对土钉有过较多的研究,包括分析方法及程序开发(牛津大学、英国运输部等),离心机试验,实际土钉工程的内力与变形实测,钉、土相互作用的大型抗剪试验(Cardiff学院)等。英国还发展了一种气动射击钉技术,初速可达90m/sec,将钉射入土中。但是实际的土钉工程在英国国内用的并不多,而且主要是用于加固现有土坡和旧的挡土墙。

在70年代应用土钉的国家还有西班牙(1972年)、巴西、匈牙利、日本等,以后在印度、新加坡、南非、澳大利亚、新西兰等均有应用和研究土钉支护的报道。日本的支钉支护用量较大,1989年的用量按土钉长度估计约为10万m。国外有的著名跨国承包商还拥有土钉技术方面的一些专利。