



湖北省学术著作出版专项资金资助项目  
土木工程前沿学术研究著作丛书(第1期)

# 城市基坑工程 设计施工实践与应用

Practice and Application of  
Urban Foundation Pit Engineering's Design Construction

李欢秋 刘 飞 郭进军 编著



武汉理工大学出版社  
WUTP Wuhan University of Technology Press



扫码添加我的微信，我拉你进读书交流群



扫码关注公众号：老高书单

QQ:415163919 网址：[www.gaomengze.com](http://www.gaomengze.com)





湖北省学术著作出版专项资金资助项目  
土木工程前沿学术研究著作丛书(第1期)

# 城市基坑工程设计 施工实践与应用

李欢秋 刘 飞 郭进



武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

城市基坑工程设计施工实践与应用/李欢秋,刘飞,郭进军编著. —武汉:武汉理工大学出版社,2019.3

ISBN 978-7-5629-5972-4

I. ①城… II. ①李… ②刘… ③郭… III. ①基坑工程—工程设计 ②基坑工程—工程施工 IV. ①TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 300729 号

项目负责人:杨万庆

责任编辑:彭佳佳

责任校对:李正五

封面设计:博壹臻远

出版发行:武汉理工大学出版社

地址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮编:430070

网址:<http://www.wutp.com.cn>

经销者:各地新华书店

印刷者:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:16.5

字数:330 千字

版次:2019 年 3 月第 1 版

印次:2019 年 3 月第 1 次印刷

定价:98.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87391631 87664138 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

# 前 言

由于地下空间开发利用向大面积、大深度、大型综合体方向发展,地下空间开发带来的深基坑工程问题日益增多,建筑地基处理、深基坑支护、地下水治理、复杂环境地下工程近接施工以及支护与结构主体相结合设计等是保障地下工程建设安全和控制成本、工期必须面对的关键技术问题,因此,城市地下空间开发利用首先遇到的难题是深基坑工程问题。在基坑工程设计与施工、地下水治理设计与施工、地下工程近接施工过程中,不确定因素多,涉及的专业领域广,具有很强的实践性,因此非常需要一本能紧密结合工程实践的深基坑支护设计与施工的书籍,以指导深基坑的概念性设计,合理确定初步设计方案,把握方向。作者通过多年来亲自主持或参与的复杂环境下地下工程基坑支护设计与施工及地下工程近接施工等有代表性的工程实践和工程分析总结,给出了环境条件、施工方法均不同的情况下,特别是淤泥质土中基坑支护及近接施工的设计参数、技术途径、实施效果以及工程经验等。该书不求理论全面,只求真实、简便、实用、可行。

本书可供对岩土工程有一定了解的工程技术人员参考,也可供从事岩土工程勘察、设计、施工、监测、监理等工作的相关技术人员参考。

本书由李欢秋、刘飞、郭进军编著。本书中的工程实例设计和施工的参与人员有:李欢秋、刘飞、张福明、吴祥云、张勇、袁培中、张向阳、庞伟宾、张光明、王励之、明治清、张仕、连洛培、郭进军等。

限于作者水平,不妥之处请予指正。

编 者  
2018.5

# 目 录

绪论 .....	(1)
<b>第 1 章 土钉墙设计与施工 .....</b>	<b>(6)</b>
1.1 设计计算方法简述 .....	(6)
1.2 工程实践 .....	(16)
1.3 论文——信息施工法在深基坑支护设计和施工中的应用 .....	(42)
1.4 论文——中国武汉劳动力市场大楼深基坑边坡支护设计与施工 .....	(50)
1.5 论文——百步亭花园人防地下室深基坑工程综合治理技术 .....	(57)
<b>第 2 章 桩锚(撑)支护设计与施工 .....</b>	<b>(69)</b>
2.1 桩锚(撑)支护结构特点 .....	(69)
2.2 桩锚(撑)支护结构分析计算方法 .....	(71)
2.3 工程实践 .....	(87)
2.4 论文——武汉汉飞青年城双层地下室基坑工程实例 .....	(131)
2.5 论文——提高 PHC 管桩在深基坑支护中应用的技术途径 .....	(137)
2.6 论文——不良地质环境中基坑边坡加固技术分析及其应用 .....	(146)
<b>第 3 章 地下连续墙锚设计与施工 .....</b>	<b>(156)</b>
3.1 概述 .....	(156)
3.2 设计计算方法简述 .....	(158)
3.3 设计及技术要求 .....	(160)
3.4 工程实践 .....	(161)
3.5 论文——预应力钢管锚杆在武汉国际会展中心深基坑围护加 固中的应用 .....	(179)
3.6 论文——地下商业街深基坑工程“三墙合一”技术及应用 .....	(185)
<b>第 4 章 基坑施工近接工程基础托换技术 .....</b>	<b>(194)</b>
4.1 近接工程影响范围分析 .....	(194)

4.2	近接工程保护措施 .....	(197)
4.3	工程实践 .....	(200)
4.4	论文——基坑附近楼房基础综合托换及边坡加固技术 .....	(210)
4.5	施工简介及工程效果 .....	(214)
4.6	论文——隧道开挖对高边坡稳定性的影响 .....	(216)
<b>第5章</b>	<b>相关论文 .....</b>	<b>(228)</b>
5.1	淤泥质土中锚杆锚固力现场试验及其应用 .....	(228)
5.2	复杂土层边坡中钢管锚杆加固设计计算方法及试验研究 .....	(235)
5.3	黄土岩石混合地层边坡加固方法及其应用 .....	(240)
5.4	岩体中喷锚支护与被复结构计算研究 .....	(250)

# 绪 论

随着城市建设的发展以及城市地下空间开发利用越来越受到重视,城市深基坑工程数量越来越多,基坑规模和深度越来越大,所处的环境越来越复杂,深基坑事故导致的环境危害也将越来越严重,因此深基坑工程已越来越受到建设管理部门、建设方、社会以及勘察设计施工单位的高度重视。为了确保建筑边坡与深基坑建设工程及其周围建(构)筑物和地下管线、道路的安全,必须深入研究建筑边坡与深基坑工程设计施工技术,加强相关管理和监督力度,努力提高边坡及深基坑工程设计及施工技术水平。

深基坑工程包括工程地质勘察和环境调查、基坑支护设计与施工、地下水控制设计与施工、地表水的疏导与排泄、土方开挖与回填、周边环境保护、基坑支护结构内力监测、边坡变形监测及环境监测等内容。深基坑一般是指开挖深度超过自然地面下 5m(含)或深度虽未超过 5m,但地质条件和周围环境复杂的基坑。所谓地质条件复杂一般是指组成基坑侧壁或基底的土层主要为松散的填土、淤泥质土、地下水位以下的砂性土等;周围环境复杂是指距离基坑边 1~2 倍基坑深度范围内有对变形敏感的建(构)筑物或地下管线、管沟等。

基坑支护设计与施工应综合考虑工程地质与水文地质条件、基础类型、基坑开挖深度、降排水条件、周边环境对基坑侧壁位移的要求、基坑周边荷载、施工季节、支护结构使用期限等因素,做到因地制宜,因时制宜,合理设计,精心施工,严格监控。

根据基坑及边坡支护深度、工程地质情况、周边环境以及工期等,可选择不同的支护结构类型,图 0-1 给出了支护结构的主要类型,在基坑深度不大和地质及环境不复杂的情况下,采用挡土墙结构可以满足安全性要求,但是在采取挡土墙结构不足以保证安全和环境稳定的情况下,则需要增加内支撑或锚杆等加固体系。不同的支护结构型式适应于不同的条件,《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)原则上规定了其适用条件,见表 0-1。

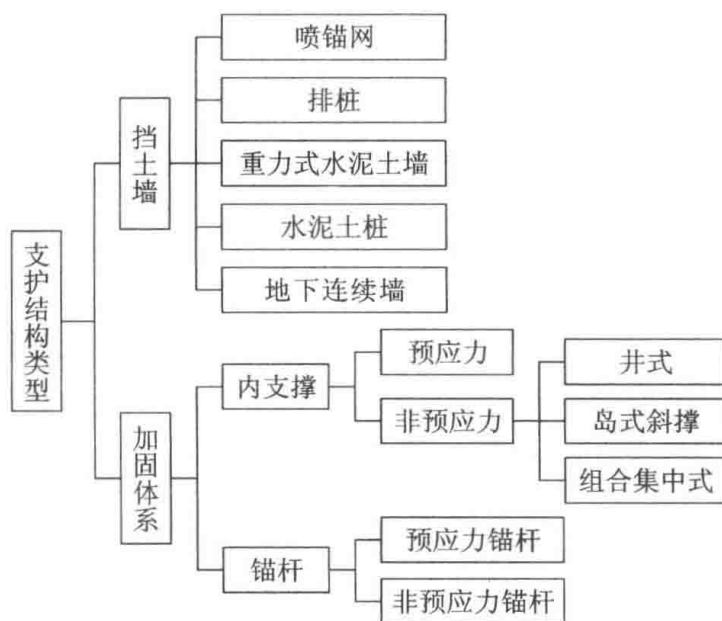


图 0-1 基坑支护结构类型

表 0-1 支护结构型式适用条件

结构型式	适用条件
排桩或地下连续墙	① 适用于基坑侧壁安全等级一级、二级、三级； ② 悬臂式结构在软土地带中不宜长于 5m； ③ 当地下水位高于基坑底面时，宜采用降水、排桩加载水帷幕或地下连续墙
水泥土墙	① 基坑侧壁安全等级宜为二级、三级； ② 水泥土桩施工范围内地基土承载力不宜大于 150kPa； ③ 基坑深度不宜大于 6m
土钉墙	① 基坑侧壁安全等级宜为二级、三级的非软土地带； ② 基坑深度不宜大于 12m； ③ 当地下水位高于基坑底面时，应采取降水或截水措施
逆作拱墙	① 基坑侧壁安全等级宜为二级、三级； ② 淤泥和淤泥质土地带不宜采用； ③ 拱墙轴线的矢跨比不宜小于 1/8； ④ 基坑深度不宜大于 12m； ⑤ 当地下水位高于基坑底面时，应采取降水或截水措施
放坡	① 基坑侧壁安全等级宜为三级； ② 施工现场地应满足放坡条件； ③ 可独立或与上述其他结构型式结合使用； ④ 当地下水位高于坡脚时，应采取降水措施

一级、二级、三级基坑侧壁安全等级是根据基坑出现安全事故后对基坑周边环境或主体结构事故安全的影响程度而定的,它主要与基坑深度、环境条件和工程水文地质条件等因素有关。在上述支护结构形式中,一般常用的深基坑边坡支护结构类型为:悬臂排桩、排桩(地下连续墙)+支撑(预应力锚杆)、土钉墙(喷锚支护)、复合土钉墙及放坡等。对于基坑深度在 15m 以上或地下水位高、深厚淤泥质土中则往往采用排桩+支撑(锚杆)或地下连续墙+支撑(锚杆)等。不论是钢筋混凝土灌注桩还是型钢桩,其承受水平向荷载的能力远远小于承受竖向荷载的能力,利用悬臂桩抵抗岩土边坡的水平推力,不是一种有利的支护结构形式,其受力性能不利,支护桩桩端变形较大,常导致地面开裂,而且悬臂桩的嵌固深度比较大,配筋率高,因此经济上不划算,实际工程中单独采用悬臂支护桩比较少,悬臂支护桩常应用于二级基坑及以下的基坑支护,支护桩悬臂高度尽量不要超过 5m。排桩(地下连续墙)+支撑(预应力锚杆)支护通过对支撑(锚杆)施加预应力可以有效控制桩端变形,是一种支护效果比较好、安全性高、适应范围广的支护结构。该支护结构常用于基坑深度大、地质条件差、基坑周边有特别需要保护的建(构)筑物的基坑支护或边坡加固中。喷锚网(或土钉墙)是一种在土层开挖过程中通过密排锚杆(土钉)将土体支护变被动为主动的支护方法,一方面锚杆抵抗土体主动土压力充分发挥了钢筋受拉的特点,另一方面通过锚杆注浆,浆液使边坡周边土体得到固结从而使土体强度、整体性得到一定提高,使土体变为支护结构的一部分,同时,喷射混凝土除起面板作用外还能封闭边坡土体起止水作用,因此该方法是一种安全、节约的支护方案,但其支护效果与可靠性与施工技术水平、施工过程控制、施工管理及施工经验有密切的关系。从经济方面来看,根据成本核算,喷锚网支护造价比桩或桩锚支护造价节约 20%~40%,比水泥土墙节约 20%。从工期来看,无论是悬臂桩还是排桩+锚杆施工方案,除了需要专门的施工工期外,还需要养护时间。而喷锚网支护施工是紧跟基坑土方开挖进行的,它不单独占用工期,从而大大缩短了基础施工周期,赢得了宝贵的建筑时间。但喷锚网支护不能单独用于土质条件较差(如由软土组成的基坑边壁)或深度较大的基坑支护,在这种情况下常常采用与水泥土搅拌桩、管桩、钢管桩或预应力锚杆等组成复合喷锚支护的方案。

当受场地周边环境限制,基坑周围建筑物比较复杂,使用外部支护结构受

限制时,可考虑选用排桩与内支撑组合方式,基坑面积较小或形状狭长时尤为适用。但该方法对基坑开挖及地下室施工影响大,施工进度慢,且造价高。

近年来,随着地铁及地下商业街开发,常常采用地下连续墙方案,或地下连续墙+锚杆(或内支撑)等方案,但其造价较高,一般多用于软土基坑支护中以及周边环境非常紧张的工程。如果将地下连续墙除了作为基坑开挖支护和防水外,还兼用于全部或部分地下室结构外墙,则可以大大节约成本,使经济效益明显。地下连续墙+支撑(锚)支护或排桩+支撑(锚)支护方法为复合支护方法,其适用范围广,安全可靠,在许多地区已成功地普遍应用于大型深基坑支护工程中。特别是在基坑深度较大、基坑紧临周边楼房、地质条件非常差的情况下,为了减小地面建筑物沉降和变形,虽然工程造价高但也常常采用这种类型的支护方法。

基坑支护设计依据的资料主要包括:

- ① 审查合格后的岩土工程勘察报告;
- ② 边坡与基坑周边环境情况(地面建筑物、地下建筑物、地下管网等);
- ③ 工程主体设计总平面图、基础平面图、基础大样图;
- ④ 住房和城乡建设部及当地的有关规范和规程;
- ⑤ 基坑支护设计合同以及其他需要的资料。

支护结构设计计算首先应根据基坑深度、环境情况、地质条件等确定工程安全等级。其次,根据基坑周边环境、开挖深度、工程地质与水文地质、工程安全等级、施工作业设备和施工季节、施工工期等条件,选定合理的支护结构型式。

支护结构设计计算主要内容有:确定地面附加荷载、支护结构内力计算、边坡整体稳定性分析、结构水平变形、地下水的变化对周边环境的水平与竖向变形的影响。对基坑安全影响较大和对周边环境变形有限定要求的建筑基坑侧壁,应根据周边环境的重要性、对变形的适应能力及土的性质等因素确定支护结构和环境的变形控制值。

当场地内有地下水时,应根据场地及周边区域的工程地质条件、水文地质条件、周边环境情况和支护结构与基础型式等因素,确定地下水控制方法并给出对周边环境的影响分析。当场地周边有地表水汇流、地下水管渗漏等问题时,应提出基坑工程保护措施。

需要说明的是,由于工程设计及施工时间的原因,工程实例和论文中的一些设计参数及施工方法与现行规范要求不一致,因此书中的有关设计参数仅供参考,设计时应按现行规范执行。

# 第 1 章 土钉墙设计与施工

## 1.1 设计计算方法简述

### 1.1.1 基本概念

土钉墙支护,是指由混凝土面板和土钉(土中锚杆)组成的支护结构,在岩体边坡或隧道加固中常称喷锚网支护,在土体边坡加固中则常称土钉支护或土钉墙支护(图 1-1)。它是以一定间距水平或竖向排列的型钢、钢管、钢筋等直接打入边坡土体中,或置入边坡土体中并注浆形成土体加固体,边坡侧向主动土压力通过面板和土钉传递至基坑外围稳定土体中,依靠外围稳定土体保持边坡稳定并限制其变形的支护结构型式。

土钉支护是以利用基坑边壁土体的固有力学性质,变土体荷载为支护结构体系的一部分为基本原理的,一方面土钉抵抗主动土压力充分发挥了钢筋受拉的特点,另一方面土钉注浆使边坡周边土体空隙得到充填和固结,土体强度得到提高,因此被加固后的基坑周边岩土体变为支护结构的一部分。由于土钉支护是随着基坑土方开挖进行的,不需要专门的施工工期,即它不单独占用工期,而且该支护施工不需要专门的场地和专门的养护时间,从而大大缩短了基础施工工期,赢得了宝贵的建筑时间。土钉支护面板厚度只有 100mm 左右,基本上不占场地,在场地环境紧张的条件下更显现出其优越性。土钉支护具有施工简便、快速、机动灵活、适用性强、安全经济等特点。

土钉墙一般适用于地下水位以上或经人工降水后的人工填土、黏性土和弱胶结砂土的基坑边坡支护和加固,要求土体的承载力能满足上部土体的荷载,边坡具有一定的坡度。土钉墙一般不适用于淤泥质土、淤泥及强度过低的软土(如新近填土等)的基坑支护。特别是当基坑深度超过 4.0m 时,由于淤泥质土地基承载力不足,采用土钉墙支护后的边坡往往由于地基承载力不足而导致坑底隆起、边坡整体滑移等失稳现象,因此,软土基坑不应采用单一的土钉墙支

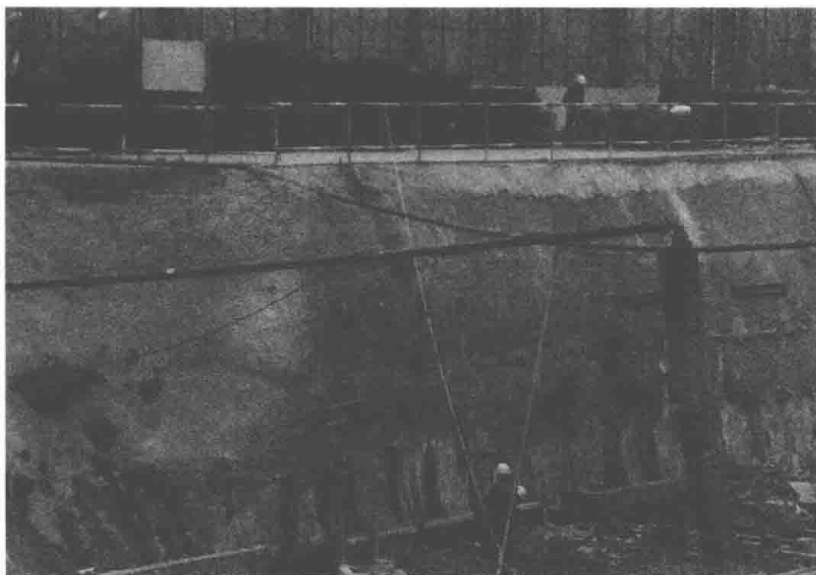


图 1-1 土钉墙支护实景

护,此时可采用与水泥土搅拌桩、管桩和钢管桩等组成复合土钉墙支护结构的方案。对于高度较大的边坡也常采用预应力锚杆(索)与土钉墙组成复合土钉墙支护结构。土钉墙支护如果作为永久性结构,需要专门考虑防锈蚀、耐久性、抗震等问题,而且支护结构安全系数也高于临时支护的安全系数。

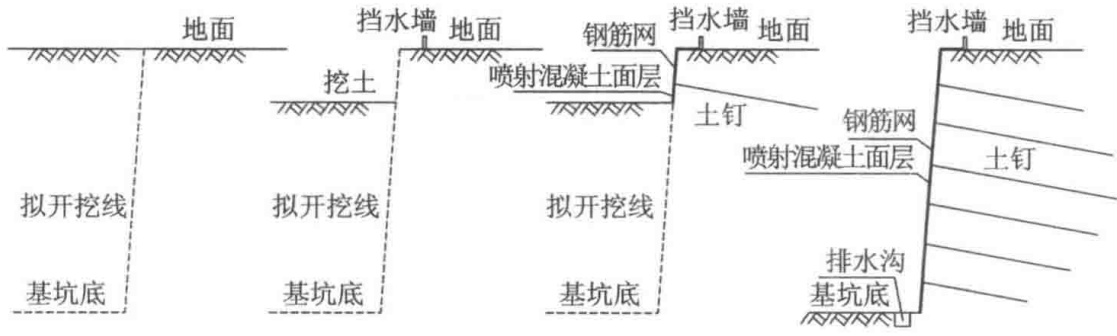
基坑边坡采用土钉墙支护技术,其安全性和可靠性除了与可行的设计方案有关外,施工单位的经验和施工过程控制起着非常重要的作用。土钉墙施工工序见图 1-2。

### 1.1.2 土钉分类

所谓土钉,一般是指直接打入边坡土体中的密排型钢、钢管、钢筋等,或将型钢、钢管、钢筋置入边坡土体中并注浆形成承受拉力和剪力的杆体,对于钢筋、钢管等置入边坡土体中并注浆形成承受拉力的杆体,在岩石边坡或隧道工程中一般称为锚杆。根据形成方法,土钉可以分为:打入式土钉、打入注浆式土钉、钻孔注浆式土钉。

#### (1) 打入式土钉

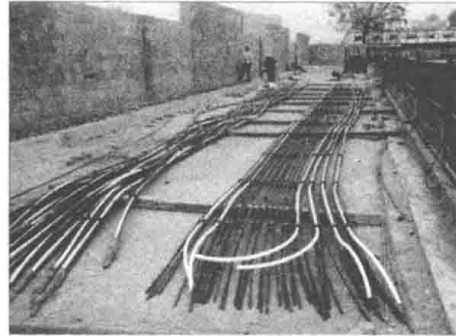
在土体中直接打入角钢、圆钢或钢筋等,不再注浆。由于打入式土钉与土体间的粘结强度低,钉长又受限制,所以布置较密,可用人力或振动冲击钻、液压锤等机具打入。打入式土钉的优点是不需要预先钻孔,施工速度快但不适用于砾石土和密实胶结土,也不适用于服务年限大于 2 年的永久支护工程,而且用钢量大,不经济。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

图 1-2 土钉墙施工工序图

(a) 土钉墙施工过程；(b) 土方开挖；(c) 制作土钉(锚杆)拉筋；  
 (d) 土钉注浆；(e) 喷射混凝土；(f) 土钉墙；(g) 带格构梁的土钉墙

## (2) 打入注浆式土钉

采用冲击钻或人工方式直接将带孔的钢管(锚管)打入土中,然后注浆形成土钉,这种土钉特别适合于成孔困难的卵石层、砂层、杂填土和软弱土层。在距锚管头 3m 往内每隔 500~800mm 设置直径 6~10mm 的出浆小孔,呈 120°梅花形布置,出浆孔应采用小短角钢或胶布覆盖,防止锚管顶进工程中黏土通过出浆孔进入管中,影响注浆。

## (3) 钻孔注浆式土钉

先在土中钻孔,钻孔直径 90~150mm,置入钢筋,为使土钉钢筋处于孔的中心位置,有足够的浆体保护层,须沿钉长每隔 2m 左右设对中支架,然后从孔底开始进行全长注浆,形成土钉。

土钉外露端应与支护面板加强钢筋连接牢固,详见下节。

### 1.1.3 支护面层

#### (1) 临时性土钉支护的面层

土钉墙面板厚度可以按设计计算确定,一般为 50~150mm 喷射混凝土,喷射混凝土强度等级不低于 C20,钢筋网采用 $\phi 6.5@200\times 200$  或 $\phi 6.5@250\times 250$ 。

土钉与面板钢筋网连接部位通过边长 250~350mm “#”形钢筋网片或将土钉头做成螺纹并通过螺母、钢垫板与支护面板中的 $\phi 14\sim\phi 18$  通长钢筋(又称加强钢筋)和钢筋网相连。对于高度较大如大于 6m 的土钉墙支护边坡,应在边坡腰部位置的土钉头部采用通长的水平刚性围圈进行加强,该围圈可以是钢筋混凝土结构或型钢,并在土钉注浆体强度达到 75% 后用加力扳手拧紧螺母使土钉中产生约为设计拉力 30% 左右的预应力,以减小边坡变形。

#### (2) 永久性土钉支护的面层

喷射混凝土的厚度一般取 150~200mm,设两层钢筋网,钢筋保护层厚度应符合防腐要求,分两到三次喷成。为了改善加固后的边坡外观,也可在最后一次喷射混凝土的基础上,现浇一层混凝土面层,或贴上一层预制钢筋混凝土板,或种植植物等。

#### (3) 土工织物作为土钉支护面层

土工织物覆盖在土坡上,用土钉锚在土坡内,拧紧土钉时将织物曳向土体并使面层形成拉膜,同时使受约束的表层土受压。