

岩土加固实用技术

程良奎 张作瑁 杨志银 编著

地震出版社

1994



岩土加固实用技术

程良奎 张作瑁 杨志银 编著

地震出版社

1994

(京)新登字095号

岩土加固实用技术

程良奎 张作珺 杨志银 编著

特约编辑: 李 虹

责任编辑: 蒋乃芳

*

北京出版社 出版

北京民族学院南路9号

北京渤海印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经销

*

787×1092 1/16 17.75 印张 443千字

1994年5月第一版 1994年5月第一次印刷

印数 0001—4000

ISBN 7-5028-1043-9/TU·94

(1436) 定价: 19.50元

序 言

在许多岩工程中，诸如隧洞与地下工程、边坡工程、地基基础工程，如何采用适宜的方法，挖掘岩石潜能，充分利用岩土体的自稳能力，积极调用岩土体的抗剪强度，使一定范围内的岩土体作为工程结构物不可分割的组成部分，以显著减小结构体积，大大减轻结构自重，达到既保证工程稳定，又节约工程造价的目的，一直是国内外广大岩土工程工作者关心的热点，也是土力学和岩土工程领域内重大的理论与实践问题。

30年来，作者不间断地致力于岩土加固的科学研究与工程实践。本书第一、第二篇及第四篇的部分内容集中地反映了作者长期研究工作的理论和实践成果。

本书第一章要论述岩土预应力锚固的作用原理、设计方法、施工工艺、试验监测及其在国内外各类工程中的应用。岩土预应力锚固是作者1985年以来重点研究开发的新技术领域，也是当前土木建筑中迅猛发展的热门技术。近十年来，作者先后完成了对土层锚杆（索）的蠕变特、时空效应、扩体型锚固与二次高压注浆型锚固的施工工艺和工作性态等多项研究工作；主持了上海、北京、厦门、深圳、天津等地的多个大型基坑与边坡锚固工程的设计、施工与监测工作；还主编了中国工程建设标准化协会标准《土层锚杆的设计与施工规范（CECS290）》。本篇内容是作者在整理自己以往的科研成果、工程总结并吸取了国内外岩土锚固技术最新发展的基础上撰写而成的。不容置疑，岩土锚固，作为重力式结构的对立面，无论在学术性或工艺特征方面，都显示其独特的优点。它调用岩土体的抗剪强度，将作用于结构物的拉力传递给地层，从而可极大地缩小结构物的尺寸；它提供的锚固力的作用点及作用方向可根据需要自由选取，从而使工程获得最经济的稳定效果；它向岩土体主动施加预应力，能有效地限制位移。可以肯定，它在基坑支挡、边坡加固、滑坡整治、结构抗浮、结构抗倾、坝稳定和悬索结构的拉力型基础等工程建设领域的应用前景是十分广阔的。

本书第二篇要论述喷射混凝土锚杆支护的工作特点与作用原理；钢纤维喷射混凝土，新奥法与现场监控法设计，挤压膨胀岩体中巷道的稳定性，摩擦型锚杆的力学作用与工程应用。这些内容概括了作者20多年来在研究喷锚支护与隧洞围岩间相互作用方面的主要成果和学术思想。从1983年发表第一篇关于喷射混凝土的论文到1985年完成主编国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范（GBJ86-85）》期间，作者领导的科研组除在试验室系统地研究了喷射混凝土、锚杆支护的作用机理、力学形态、施工工艺和材料特性外，还长期深入辽宁、江苏、湖北、甘肃、湖南、四川等地的各类地下工程现场，进行喷锚支护工程试点、现场测试和推广应用工作，还实地考察了二百余个服务于矿山、铁道、水利、电力的地下喷锚支护工程，取得了大量第一手材料。80年代初，在发表的多篇论文中，已形成了作者自己的充分调用围岩的自支撑能力、保持隧洞稳定的学术思想。在本篇中表述的主要学术见解如下：

（1）喷锚支护加固围岩的作用来源于它独特的工作特性。喷锚支护的及时性、粘结性、柔性、深入性和密封性构成最大限度利用围岩强度和自支撑能力的基本要素。能否根据不同类型围岩，在设计施工中能动地运用这些特性，乃是围岩支撑力的得失、支护力学效果好坏的关键。

（2）在隧洞工程，特别是软岩隧洞工程中，采用设计、施工、监测相结合的现场监控法是

目 录

第一篇 岩土锚固

第一章 绪论	(3)
1.1 岩土锚固技术的发展和概况	(3)
1.2 预应力锚杆的应用	(3)
第二章 岩土锚固的力学作用与设计	(7)
2.1 岩土锚固的基本原理与力学作用	(7)
2.2 岩土锚杆的设计	(11)
2.3 岩土锚固的若干力学问题	(18)
第三章 岩土锚杆的施工	(27)
3.1 施工准备	(27)
3.2 锚杆孔的钻凿	(29)
3.3 锚杆杆体的制作	(33)
3.4 注浆材料与工艺	(36)
3.5 锚杆的张拉与锁定	(37)
第四章 锚杆的试验与长期观测	(40)
4.1 锚杆的试验	(40)
4.2 锚杆的长期观测	(43)
第五章 锚固技术在岩土工程中的应用	(46)
5.1 深开挖工程支护结构的锚固	(46)
5.2 边坡与坝体的锚固	(55)
5.3 锚杆在地基基础和地下工程中的应用	(62)
第六章 国内外岩土锚杆规范现状	(70)
6.1 国内外锚杆规范介绍	(71)
6.2 国内外锚杆规范施工部分规定的比较	(79)
6.3 对国内外锚杆规范的分析	(83)

第二篇 喷射混凝土锚杆支护与地下工程的稳定性

第七章 喷锚支护的作用原理与使用效果	(87)
7.1 喷锚支护的工作特点与作用原理	(87)
7.2 不同工作条件下喷锚支护的使用效果及其分析	(94)
7.3 影响喷锚支护可靠性的若干主要因素	(101)
第八章 新奥法与喷锚支护的监控设计	(106)
8.1 新奥法的发展与基本原则	(106)

8.2	喷锚支护的监控量测	(107)
8.3	喷锚支护监控设计方法及其在高挤压地层中的应用	(111)
8.4	对监控设计的几点认识	(118)
第九章	挤压膨胀性岩体中巷道的稳定性问题	(120)
9.1	挤压膨胀围岩的特征	(120)
9.2	关于挤压膨胀岩体中巷道稳定性的若干问题	(121)
第十章	钢纤维喷射混凝土	(128)
10.1	钢纤维的增强机理	(128)
10.2	钢纤维喷射混凝土的原材料及其组成	(130)
10.3	钢纤维喷射混凝土的主要性能	(129)
10.4	钢纤维喷射混凝土施工工艺	(133)
10.5	钢纤维喷射混凝土应用实例	(134)
第十一章	水泥裹砂喷射混凝土	(136)
11.1	水泥裹砂喷射混凝土的造壳作用机理	(136)
11.2	水泥裹砂喷射混凝土工艺	(136)
11.3	水泥裹砂喷射混凝土的性能	(137)
11.4	水泥裹砂喷射混凝土的应用	(139)
第十二章	地下工程中的岩石锚杆	(141)
12.1	锚杆支护的作用	(141)
12.2	摩擦型缝管锚杆	(142)
12.3	不同类型锚杆的力学特性与适用条件	(147)

第三篇 岩层与土体的灌浆加固技术

第十三章	灌浆加固技术概论	(151)
13.1	基本内容	(151)
13.2	灌浆对象	(151)
13.3	灌浆法分类	(151)
13.4	应用范围	(152)
第十四章	灌浆材料的分析与评价	(156)
14.1	水泥浆材	(156)
14.2	粉煤灰水泥浆材	(157)
14.3	硅粉水泥浆材	(157)
14.4	粘土水泥浆	(159)
14.5	超细水泥	(159)
14.6	硅酸盐浆材	(161)
14.7	酸性水玻璃	(162)
14.8	水泥水玻璃浆材	(162)

14.9	丙烯酰胺类及无毒丙凝	(163)
14.10	改性环氧树脂浆材	(164)
14.11	聚氨酯浆材	(165)
第十五章	浆液性质及意义	(166)
15.1	渗入能力	(166)
15.2	稳定性	(167)
15.3	结石率	(168)
15.4	力学强度	(169)
15.5	耐久性	(173)
第十六章	灌浆原理	(175)
16.1	渗入性灌浆理论公式	(175)
16.2	尺寸效应	(177)
16.3	流变效应	(178)
16.4	渗入性灌浆的局限性	(179)
16.5	劈裂灌浆的理论公式	(181)
16.6	主要控制因素	(183)
16.7	劈裂性质的判别	(184)
16.8	短胶凝时间劈裂灌浆原理	(185)
第十七章	灌浆设计	(187)
17.1	工程调查	(187)
17.2	方案选择	(187)
17.3	灌浆标准	(189)
17.4	灌浆体的合理位置	(191)
17.5	浆材及配方设计原则	(192)
17.6	浆液扩散半径的确定	(194)
17.7	单排孔布置	(194)
17.8	多排孔布置	(196)
17.9	容许灌浆压力的确定	(197)
第十八章	若干应用技术	(199)
18.1	砂砾石层灌浆方法	(199)
18.2	裂隙岩石灌浆方法	(201)
18.3	套壳料配方	(201)
18.4	浆液的起始浓度	(202)
18.5	几种重要因素	(203)
18.6	临界流速的应用	(205)
18.7	灌浆效果评价	(205)
第十九章	灌浆工程实例	(208)
19.1	硅粉水泥浆材在基础托换工程中的应用	(208)

19.2	用混合浆液对沉降地基进行快速加固	(212)
19.3	灌浆工艺在桩基工程中的应用	(216)
19.4	袖阀管灌浆法的应用	(220)

第四篇 土钉墙技术

第二十章	土钉墙技术概论	(227)
20.1	土钉墙的概念	(227)
20.2	土钉墙的发展	(227)
20.3	土钉墙与锚杆挡墙、加筋土墙的对比	(228)
20.4	土钉墙的特点与应用领域	(230)
第二十一章	土钉墙的基本原理	(232)
21.1	土钉墙的作用原理	(232)
21.2	土钉的作用机理	(232)
21.3	土钉墙的国外试验情况	(233)
第二十二章	土钉墙的工程设计	(238)
22.1	土钉墙的设计内容	(238)
22.2	土钉墙的设计步骤	(238)
22.3	土钉墙设计的一般原则	(239)
第二十三章	土钉墙的稳定性分析	(240)
23.1	综述	(240)
23.2	国外土钉墙稳定性分析方法简述	(240)
23.3	本文提出的土钉墙稳定性分析方法	(250)
23.4	土钉墙设计参数的分析研究	(260)
第二十四章	土钉墙的构造、施工与应用	(267)
24.1	土钉墙的构造	(267)
24.2	土钉墙的施工	(267)
24.3	国外应用实例	(269)
24.4	国内应用实例	(272)
	参考文献	(274)

第一篇
岩土锚固

第一章 绪论

1.1 岩土锚固技术的发展和概况

岩体和土层的锚固是一种把受拉杆件埋入地层的技术。岩土锚固能充分发挥岩土能量，调用和提高岩土的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这门技术。1911年，美国首先用岩石锚杆支护矿山巷道，1918年西利西安矿山开采使用锚索支护，1934年阿尔及利亚的舍尔法坝加高工程使用预应力锚杆（索），1957年德国Bauer公司在深基坑中使用土层锚杆。目前国外各类岩石锚杆已达600余种，每年使用的锚杆量达2.5亿根。日本的土锚用量已比三年前增加了5倍。德国、奥地利的地下开挖工程，已把锚杆作为控制施工安全的重要手段。我国应用岩石锚杆起始于50年代后期，进入60年代，我国矿山巷道、铁路隧洞和各类地下工程中大量采用普通粘结型锚杆与喷射混凝土支护。1964年，梅山水库的坝基加固采用了预应力锚索。近10年来，北京王府饭店、京城大厦、新侨饭店、亮马河大厦、宝华大厦、上海太平洋饭店等一大批深基坑工程以及云南漫湾电站边坡整治、吉林丰满电站大坝加固和上海龙华污水处理厂沉淀池抗浮工程等相继大规模地采用预应力锚杆。岩土锚固工程，几乎遍及土木建筑领域的各个方面，如边坡、基坑、隧洞、地下工程、坝体、码头、海岸、干船坞、坑洼结构、桥梁、高耸结构及悬索建筑的拉力型基础等。

锚固技术按应用对象分为岩石锚杆、土层锚杆和海洋锚杆；按是否预先施加应力分为预应力锚杆和非预应力锚杆；按锚固机理分为粘结型锚杆、摩擦型锚杆、端头锚固型锚杆和混合型锚杆；按锚固体传力方式分为压力型锚杆、拉力型锚杆和剪力型锚杆；按锚固体形态分为圆柱型锚杆、端部扩大型锚杆和连续球体型锚杆。众多的锚杆品种，可满足在不同的岩土条件、工程对象和工作状态下，得心应手地选择、设计和采用不同承载能力要求的锚杆。

1.2 预应力锚杆的应用

在岩土锚固工程中，预应力锚杆占有重要位置。预应力锚杆由锚头、杆体和锚固体三部分组成（图1.1）。锚头位于锚杆的外露端，通过它最终实现对锚杆施加预应力，并将锚固力传给结构物。杆体连接锚头和锚固体，通常利用其弹性变形的特性，在锚固过程中对锚杆施加预应力。锚固体位于锚杆的根部，把拉力从杆体传给地层。

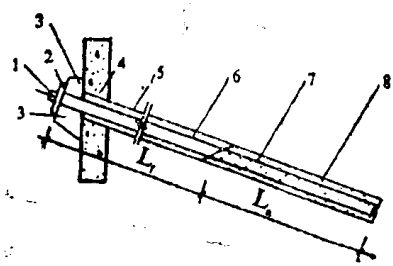


图1.1 预应力锚杆结构示意图

1—锚具；2—承压板；3—台座；4—支挡结构；
5—钻孔；6—自由隔离层；7—预应力筋；8—注
浆体； L_a —自由段长度； L_f —锚固段长度

预应力锚杆可用于以下各类工程：

1. 深基础工程（图1.2）

包括：①深基坑支挡；②地下室抗浮；③
地下停车场；④地下铁道或地下街。

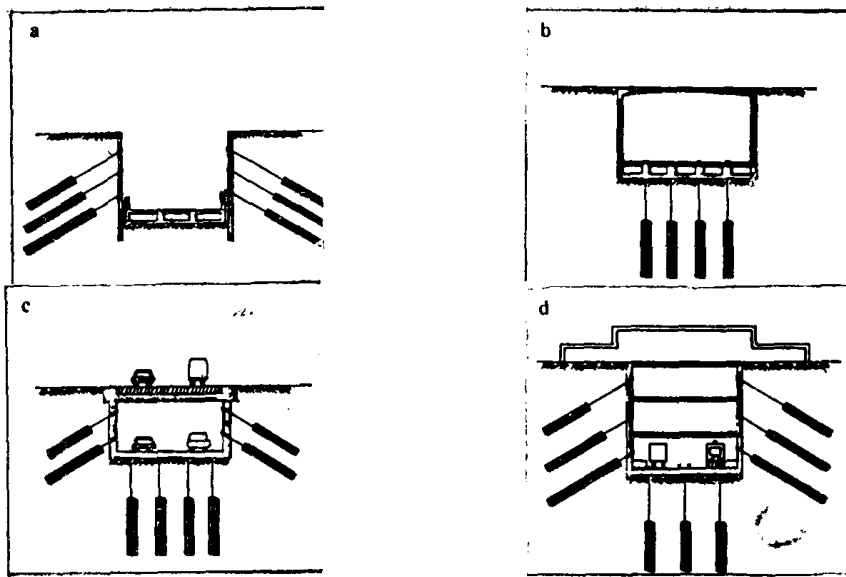


图1.2 预应力锚杆用于深基础工程

(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

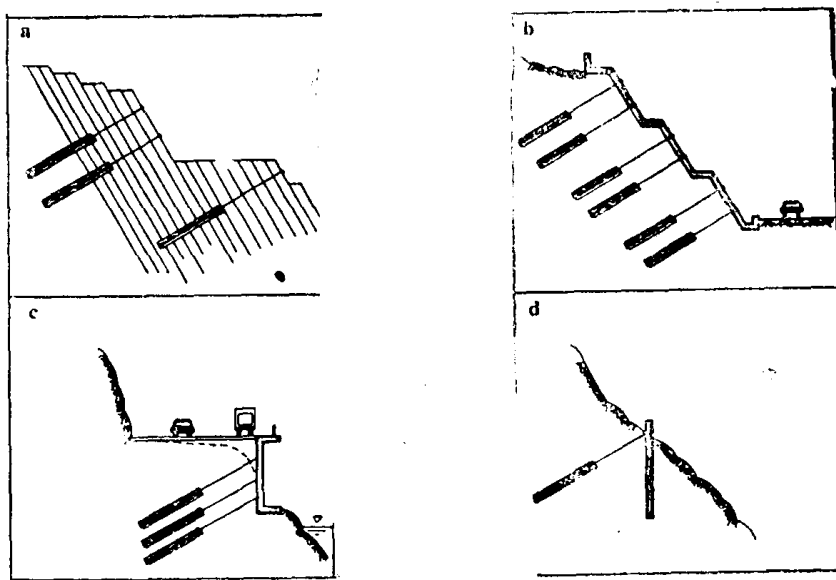


图1.3 预应力锚杆用于边坡稳定工程

(a) 边坡加固; (b) 斜坡挡土; (c) 锚固挡墙; (d) 滑坡防治

2. 边坡稳定工程 (图1.3)

包括: ①边坡加固; ②斜坡挡土; ③锚固挡墙; ④滑坡防治。

3. 结构抗倾覆应用 (图1.4)

包括: ①防止高塔倾倒; ②防止高架桥倾倒; ③坝体稳定; ④挡土墙稳定。

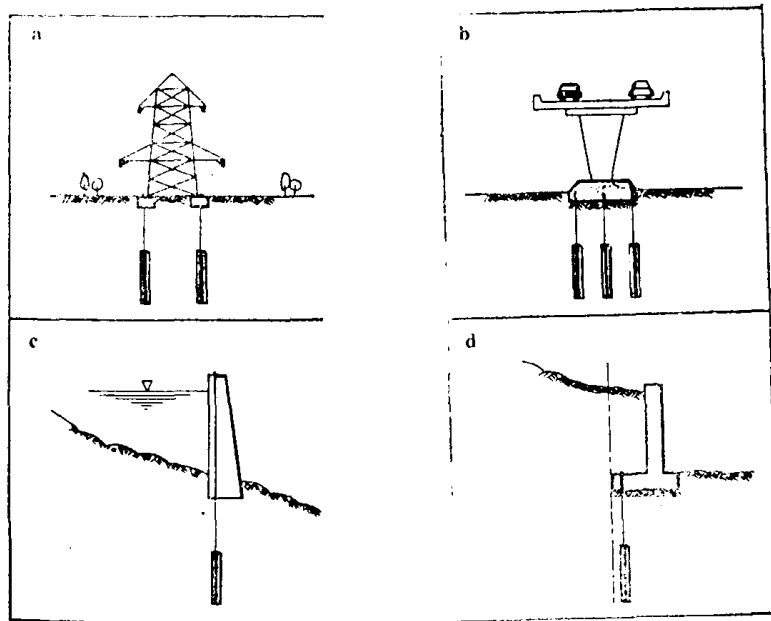


图1.4 预应力锚杆用于结构抗倾覆
 (a) 防止高塔倾覆；(b) 防止高架桥倾覆；(c) 坝体稳定；(d) 挡土墙稳定

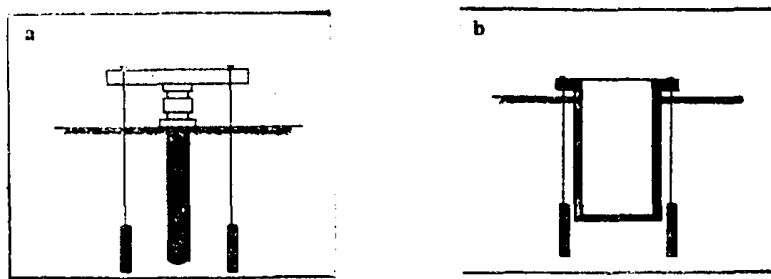


图1.5 预应力锚杆用于加压装置
 (a) 桩的荷载试验；(b) 沉箱下沉加重

4. 加压装置的应用 (图1.5)

包括：①桩的荷载试验；②沉箱下沉加重。

5. 隧洞崩塌及变形的防止 (图1.6)

包括：①防止隧洞塌坍；②控制隧洞 (竖井) 围岩变形。

6. 冲击区的抗浮与防护 (图1.7)

包括：①坝下游冲击区保护；②排洪隧洞冲击区保护。

7. 各种构筑物稳定与锚固 (图1.8)

包括：①防止桥墩基础滑动；②悬臂桥锚固；③吊桥桥墩锚固；④大跨度拱结构物稳定。

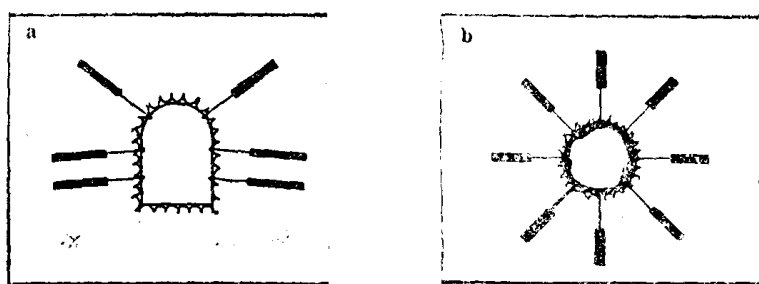


图1.6 预应力锚杆用于防止隧洞塌坍与控制隧洞变形
 (a) 防止隧洞塌坍; (b) 控制隧洞(竖井)围岩变形

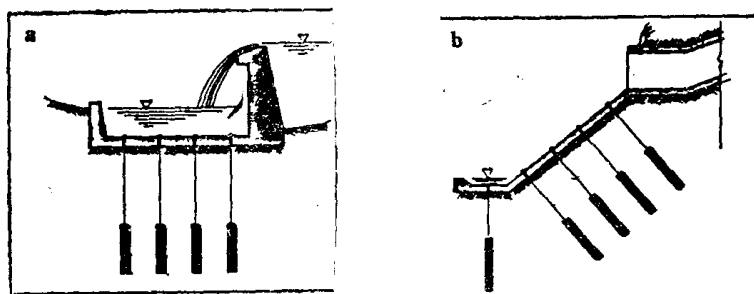


图1.7 预应力锚杆用于冲击区抗浮与防护
 (a) 坝下游冲击区保护; (b) 排洪隧洞冲击区保护

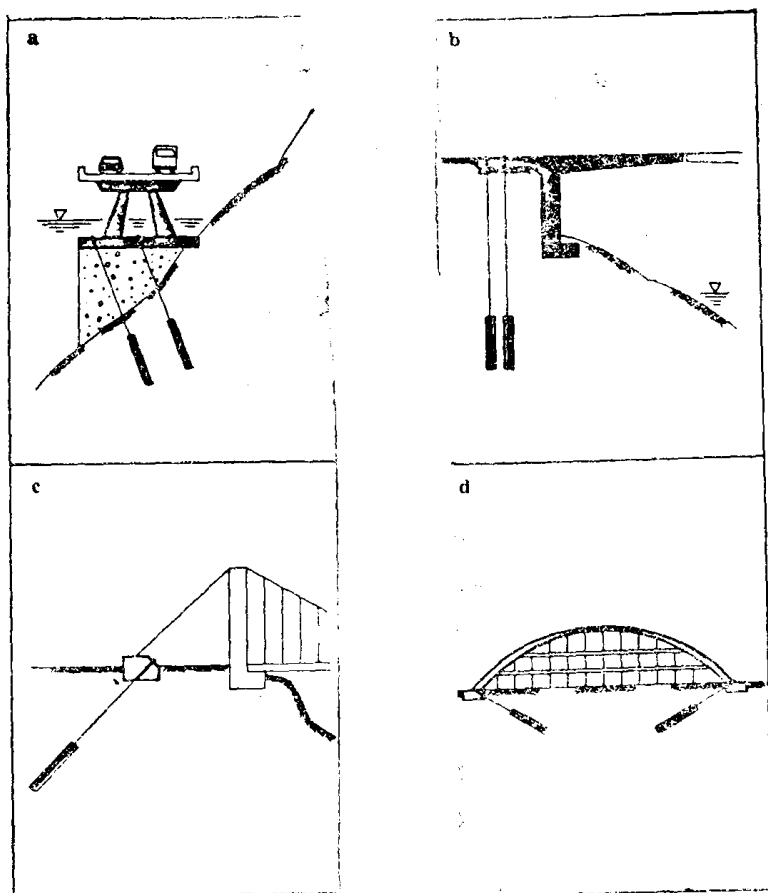


图1.8 预应力锚杆用于各种构筑物稳定与锚固
 (a) 防止桥墩基础滑动; (b) 悬臂桥锚固; (c) 吊桥桥墩锚固; (d) 大跨度拱结构物稳定

第二章 岩土锚固的力学作用与设计

2.1 岩土锚固的基本原理与力学作用

一、岩土锚固的基本原理

岩土锚固的基本原理就是依靠锚杆周围地层的抗剪强度来传递结构物的拉力或保持地层开挖面自身的稳定。岩土锚固的主要功能是：

- (1) 提供作用于结构物上以承受外荷的抗力,其方向朝着与岩土相接触的点(图2.1)。
- (2) 使被锚固地层产生压应力区(图2.2)或对通过的岩石起加筋作用(非预应力锚杆)。
- (3) 加固并增加地层强度,也相应地改善了地层的其它力学性能。
- (4) 当锚杆通过被锚固结构时,能使结构本身产生预应力。
- (5) 通过锚杆,使结构与岩石连锁在一起,形成一种共同工作的复合结构,使岩石能更有效地承受拉力和剪力。

锚杆的这些功能是互相补充的。对某一特定的工程而言,也并非每一个功能都发挥作用。

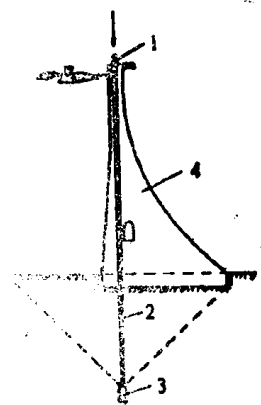


图2.1 坝体与基岩锚固原理示意

1—锚头; 2—锚杆; 3—锚固体; 4—被锚固结构

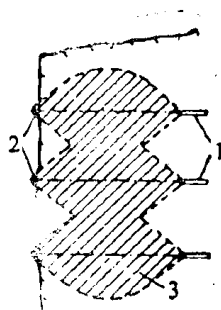


图2.2 预应力锚杆稳定岩石边坡

1—锚固体; 2—锚头; 3—坡面的压缩应力区

二、岩土锚固的力学作用

1. 抵抗竖向位移

对于水池、车库、水库、船坞等坑洼式结构物,当地下水的上浮力大于结构物重量时,将导致结构物上漂、倾斜和破坏。因此在设计上必须采用抵抗竖向位移的方法。传统的办法是用压重法,即加厚结构的尺寸,这会使基底进一步下降,从而又增大了上浮力(图2.3),因而增大结构工程量的作用又会部分地被增大体积所排开的水所抵消。

采用锚固结构抵抗竖向位移,可大大减小坑洼式结构的体积,而且由于对锚固结构施加预应力,当地下水上浮力不大于预应力值时,就不会出现竖向位移。与上浮力相抗衡的锚杆锚固力 P 可由下式求得:

$$P = mU - Q = mhF - V\gamma \quad (2.1)$$

式中 m ——抵抗上浮力的安全系数
 (取1.05—1.2);
 U ——地下水浮力;
 h ——基底以上的地下水位;
 V ——结构体积;
 γ ——结构物材料的重度;
 F ——结构的基底面积。

2. 抵抗倾倒

对于坝工建筑, 坝体的稳定性常取决于作用在结构上的绕转动边的正负弯矩的比值。如图2.4所示, 结构物的重力 G 和该重力中心至基础转动边的距离直接影响着有利于稳定的负弯矩。水压力 V 和上浮力 U 则产生不利于稳定的正弯矩。若完全依赖坝体体积即结构物重力 G 来平衡产生倾覆的正弯矩, 这不仅需要庞大的混凝土体积, 而且产生抗倾覆的力也难以根据混凝土体积来加以调整。

用锚固技术抵抗倾覆, 其锚固力中心可以位于距转动点的最大距离处, 这就能以较小的锚固力, 产生较大的抗倾覆弯矩。坝工结构抵抗倾覆所需的锚杆锚固力, 可由下式确定:

$$P = \frac{mM^{(+)} - M^{(-)}}{t_p} \quad (2.2)$$

式中 P ——抵抗倾覆所需的锚杆锚固力;
 m ——抵抗倾覆的安全系数;
 $M^{(+)}, M^{(-)}$ ——锚固前作用于结构上的正负弯矩;
 t_p ——锚固力与转动边间的垂直距离。

对深基坑工程, 采用护壁桩或连续墙维护基坑稳定, 也常出现倾覆的危险。采用锚杆拉固护壁桩, 既能抵抗倾覆, 也有利于减小护壁桩的弯矩(图2.5)。阻止倾覆所需的锚杆锚固力可由以 C 点为旋转中心的力矩平衡式 $\Sigma M_c = 0$ 求得, 对于埋深较大、土质软弱的基坑可采用挡土桩(墙)与多排锚杆拉固的支挡结构。

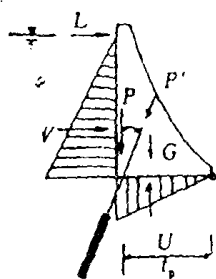
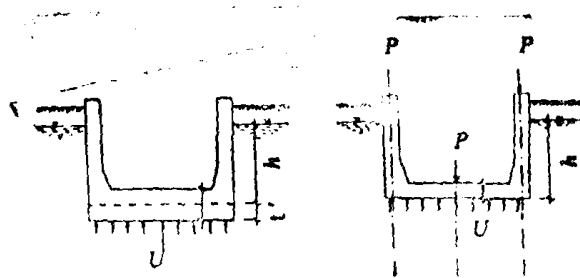


图2.4 锚固体对结构的抗倾稳定作用

L —冰的压力; V —水的压力; U —上浮力; G —结构物自重; P —锚固力



(a) 增加底部体积 (b) 锚固于基石

图2.3 对抗洼结构进行锚固以抵抗竖向位移(上浮力)

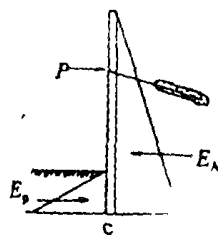


图2.5 用锚杆拉固护壁桩维护基坑稳定

E_A —主动土压力的合力; E_P —被动土压力的合力;
 P —锚杆锚固力在垂直挡土桩方向上的分力

3. 控制地下洞室围岩变形和防止塌落

地下开挖会扰动岩体原始的平衡状态，导致岩石的变形、松散、破坏甚至塌落。长期以来沿袭采用的木钢支架和混凝土衬砌，完全依赖自身的强度被动地承受围岩的松散压力来维护洞室的稳定。采用这些传统支护尽管花费大量的工程费用，但由于其施作迟缓、结构与围岩相分离等固有弱点，支护结构的破坏和围岩的塌冒常常是难免的。

岩石锚杆或它与喷射混凝土相结合的支持，则能主动加固围岩，提高围岩结构面的抗剪强度，保持岩块间的咬合镶嵌效应，锚杆与围岩紧锁在一起，共同工作，形成加筋的岩石自承环。特别是采用预应力锚杆，既能提供径向抗力，使开挖后的岩石尽快避免处于单轴或两轴应力状态，进入三轴应力状态，以保持围岩的固有强度（图2.6），又可改善围岩应力状态，在锚固范围内，形成压应力环（图2.7），进一步提高洞室的稳定性。

锚杆作为新奥地隧洞设计施工法的三大支柱之一，其功能是促使围岩由荷载物变为支护结构的重要组成部分，充分发挥围岩自支承作用，能以较小的支护抗力经济有效地保护洞室的稳定。

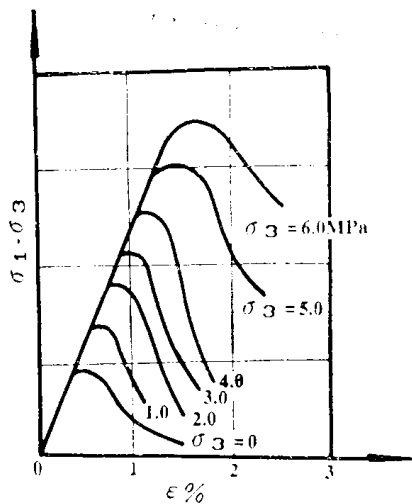


图2.6 不同侧限条件下岩石的应力—应变曲线

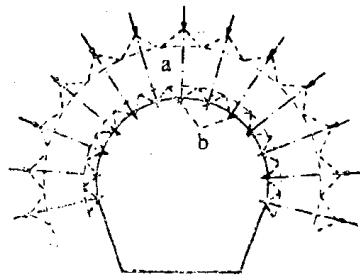


图2.7 用均匀预应力锚杆加固松散岩石

(a) 压应力环；(b) 预应力锚杆

4. 阻止地层的剪切破坏

在边坡工程中，当潜在滑体沿剪切面的下滑力超过抗滑力时，即会出现沿剪切面的滑移和破坏。在坚硬岩体中，剪切面多发生在断层、节理、裂隙等软弱结构面上。在土层中，砂质土的滑移面多为平面状，粘性土的滑移面则呈现圆弧状。有时也会出现沿上覆土层和下卧岩层的临界面滑动的情况。

为了保持边坡稳定，一种办法是大量削坡，直至到达稳定的边坡角；另一种办法是设置挡墙结构。在许多情况下，这些办法往往是不经济的，或不可能实现的。

采用预应力锚杆加固边坡，能提供足够的抗滑力（图2.8），并能提高潜在滑移面上的抗剪强度，有效地阻止坡体的位移，这是被动支挡结构所不具备的力学作用。在土层中，边坡稳定问题常用条分法求解，边坡安设预应力锚杆后所提高的安全系数可用下式表示：

$$m = \frac{f(\sum \Delta N + P_a) + \sum c \cdot \Delta L}{\sum \Delta T \pm P_t} \quad (2.3)$$

式中 ΔN ——作用在一条剪切面上的重量 G 的垂直分力；