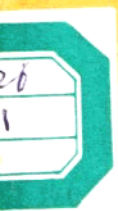


岩层与土体的 锚固技术

YAN CENG YU TU



AN DE MAO GU JI SHU



(捷克) L.HOBST J.ZAJIC 编

岩层和土体的锚固技术

翻译: 陈宗严 王绍基

校对: 程良奎

冶金部建筑研究总院 施工技术
技术情报 研究室

序 言

在建筑工业中有一门正在发展的技术，这就是岩土锚固技术。利用地层承受结构所产生的拉力和施加预应力来加固岩体的破坏部位或为结构建立有效支承。用预应力加筋的方法来加固岩石和土壤是最为有效的。预应力筋设置在地层的钻孔中，把结构或岩土表面部分与较深的块体连接在一起，这一有效的施工方法也称背拉法。

笔者最初在捷克斯洛伐克参加锚固技术的应用工作，十年前就决定要对这一技术进行评价和阐述，在本书捷克文第一版中介绍了一些作者的知识和经验，受到读者们的好评，并在1975~1977年扩充成为本书捷克文第三版，与全面修订的Elsevir英文译本同时出版。

当我们总结国内外锚固技术现代知识的工作得到肯定，从而为这门技术的广泛应用打下基础之际，我们难以抑制愉快的心情。但我们清楚地认识到，本书的成就不在于文字、写作功绩，由于书中包含的信息集中体现了技术学院诸位先生的智力，因此其成就在于总结了锚固技术的原理和在土木工程中应用的优越性及其对各种地层或不同的锚固结构的适应性，从而弥补了该领域出版物的贫乏。

锚固技术在近十年中迅速成为越来越复杂的一门技术，同时也增添了许多新内容。为此，本书的新版进行了根本的修改，有几章完全重新编写，我们尽可能按要求改进了本书。

借此机会，我们愿对以下人士表达衷心的感谢。感谢世界各地对前一版本提供鼓励性评论的校阅者；感谢本书中提到的所有专家和同行，因为书中引用了他们有价值的专业资料。当然还应感谢我们在土木工程研究所和国家企业斯坦文尼地质学院的合作者们；我们特别感谢翻译本书的Ing. Prokop Maxa工程师。最后，但并非最不重要，我们还应当感谢我们的夫人们，因为她们对这一工作始终全力支持。

L. Hobst J. Zajic

1982年6月于布尔诺—布拉格

冶金工业部建筑研究总院施工技术研究室

本室主要从事岩土加固, 地下工程喷锚支护, 混凝土工程施工工艺, 已有建筑物的质量检测、评估和加固等技术的研究与开发, 技术力量雄厚, 有一批高中级科技人员, 并设有喷射混凝土材料、工艺试验室、锚杆试验室、混凝土质量非破损检验试验室、液压滑模试验室、大体积混凝土温控试验室和工程量测试验室。

本室已取得科研成果60余项, 并在工程建设中推广应用, 取得了较为显著的技术经济效益。地下工程锚杆、喷射混凝土支护技术, 滑模施工技术及工程质量检测方法等10多项科研成果, 先后获得全国科学大会和冶金部重大科技成果奖。

为了促进工程建设, 本室承接下列试验研究、工程设计、技术咨询、施工及工程量测业务。

钢筋混凝土工程施工技术方面

液压滑动模造工程: 如筒壁结构(包括烟囱、筒仓、水塔、电视塔、井塔桥墩、竖井井壁), 框架结构(包括高框架、大型柱子、排架等), 墙板结构(包括多层和高层建筑等)。

大体积混凝土工程: 如大型设备基础、大桥基础等。

现场的工程测试: 如应力、应变、压力、温度、位移等以及构件试验。

承担新工艺新方法的研究和试验。

纤维混凝土工程的设计与施工。

岩土工程与喷射混凝土锚杆〔索〕技术方面

地下工程: 包括矿山竖井平巷、铁路隧道、水工隧洞和大型洞室的支护衬砌。

岩土工程: 包括边坡、堤岸、涵洞、水库、游泳池、深基坑、灌渠、防波堤的衬砌与维护。

耐火内衬工程: 如烟囱及各种热工窑炉内衬的建造与修补。

薄壁结构工程: 如薄壳屋顶、储藏库、预应力油罐等。

建筑物质检验及加固技术方面

各类砖石、混凝土及钢筋混凝土建筑物、构筑物由于设计、施工及使用中发生的各种缺陷和质量问题进行物理的力学的及化学的检测、分析与综合鉴定评价。

各类建筑工程的维修、补强、加固及技术改造设计与施工, 如厂房、住宅、公共建筑、桥梁、隧道、海堤、烟囱、栈桥、码头、冷却塔以及由于火灾地震超载或原始建筑不良而需修复的工程。

地址: 北京市学院路43号

电挂: 9144

电话: 66.4061转380

目 录

第一篇 岩土锚固结构的原理

第一章 前言

1.1 概述	(1)
1.2 锚入地层的原理	(1)
1.3 锚杆简述	(3)
第二章 抵抗竖向位移的锚固结构	(5)
第三章 抵抗倾倒的锚固结构	(8)
第四章 抵抗沿基础线位移的锚固结构	(12)
第五章 抵抗沿地层临界面剪切破坏的锚固结构	(16)
第六章 岩体的稳定和洞室的抗塌锚固	(19)
第七章 用锚杆加固地基	(23)
第八章 锚固对结构抗震稳定的作用	(24)
第九章 锚固对岩层和土体的适用性	(27)
9.1 岩层和土体的类型	(27)
9.2 岩石和土壤的勘测	(30)
9.3 拉力传给地层的方法	(32)
9.3.1 锚杆的拉固	(32)
9.3.2 用凝结材料固定锚杆	(32)
9.3.3 由凸出基底固定的锚杆	(34)
9.4 对岩石和土体进行锚固的评价	(35)
第十章 锚杆埋设深度	(37)
10.1 在坚硬岩层中的锚固深度	(37)
10.2 在破碎和软弱岩石中的锚固深度	(39)
10.3 非粘性土中的锚固深度	(40)
10.3.1 在松散干燥土壤中的锚固深度	(46)
10.3.2 在饱和松散土壤中的锚固深度	(49)
10.4 在粘质土中的锚固深度	(50)

第二篇 锚杆设计与锚固工艺

第十一章 制作锚杆的材料	(55)
11.1 制作钢筋锚杆的材料	(56)
11.2 预应力钢丝的制作	(58)
11.3 多股钢绞线与钢索的制作	(60)

第十二章 锚杆的制作	(64)
12.1 棒条锚杆的制作	(64)
12.2 多根钢丝锚杆的制作	(64)
12.3 多股钢绞线锚杆的制作	(67)
第十三章 锚杆在岩层和土体中的固定方法	(68)
13.1 锚杆的机械固定方法	(68)
13.1.1 用推压法(楔块基底)固定锚杆	(71)
13.1.2 用拉伸法(受拉基底)固定锚杆	(71)
13.1.3 用拧紧法(螺纹基底)固定锚杆	(73)
13.1.4 空心锚杆的扩张固定(摩擦锚杆)	(75)
13.1.5 可控制变形的锚杆	(76)
13.2 用胶结料固定锚杆	(76)
13.2.1 用胶结料固定锚杆的设计	(77)
13.2.1.1 灰浆与岩石间的粘结	(77)
13.2.1.2 灰浆与土体间的粘结	(79)
13.2.1.3 灰浆与锚杆根部钢筋体间的粘结	(81)
13.2.2 固定锚杆的灌浆工艺	(85)
13.2.2.1 短钢筋锚杆	(85)
13.2.2.2 坚硬岩层中的长锚杆	(86)
13.2.2.3 松散土体中的灌浆锚杆	(91)
13.2.2.4 粘性土中的灌浆锚杆	(95)
13.2.3 用合成树脂固定锚杆	(97)
13.2.4 用胶结料和机械底座共同固定锚杆	(101)
13.3 用支撑底座固定锚杆	(102)
13.3.1 有球形锚根的锚杆设计	(104)
13.3.2 锚杆杆体与球形根的固定	(105)
13.3.3 混凝土结构中球根锚杆的固定	(106)
13.3.4 岩层中球根锚杆的固定	(107)
13.3.5 球根锚杆在无粘聚力土体中的固定	(108)
13.3.6 球根锚杆在粘性土中的固定	(109)
第十四章 锚杆孔的钻凿	(111)
14.1 小直径的浅钻孔	(111)
14.2 大直径长锚杆所用的钻机	(112)
14.2.1 合适的钻凿方法	(112)
14.2.2 钻探设备的工作速度和岩层的可钻性	(114)
14.2.3 冲洗	(114)
14.2.4 锚固现场	(115)
14.2.5 锚杆孔的扩孔方法	(115)
14.2.6 锚杆孔的缺陷	(117)

14.2.7	锚杆孔的渗透性	(117)
第十五章	水泥浆和锚杆孔注浆方法	(118)
15.1	水泥浆的成分	(118)
15.2	水泥浆的配制	(119)
15.3	将水泥浆注入锚杆孔的方法	(120)
15.3.1	钻孔的人工灌浆	(120)
15.3.2	压力灌浆	(122)
第十六章	锚头的固定方法	(125)
16.1	用螺母固定的锚杆	(126)
16.2	联锁锚固头(楔形联锁系统)	(127)
16.3	固定式锚固头	(130)
16.4	鞍座锚固头	(132)
第十七章	锚杆的预加应力与试验	(133)
17.1	施加的各种力	(133)
17.2	对成品锚杆施加应力(验收试验)	(134)
17.3	特殊的锚杆试验	(136)
17.4	对岩石锚杆的试验	(137)
17.4.1	破坏性试验	(137)
17.4.2	非破损检验	(139)
17.5	对锚杆施加预应力和试验的设备要求	(139)
17.6	施加应力的技术	(141)
17.6.1	对螺栓锚杆施加应力	(141)
17.6.2	对承载力大的钢筋锚杆施加预应力	(144)
17.6.3	用锁定锚头的方法对锚索施加应力	(145)
17.6.4	对使用固定锚固头的锚杆施加应力	(149)
第十八章	锚杆的防腐保护	(151)
18.1	腐蚀原理	(151)
18.2	锚杆的直接防腐保护	(153)
18.2.1	粘附在锚杆上的防腐保护	(154)
18.2.1.1	有可靠地层固定的锚杆的双层保护	(155)
18.2.2	锚杆杆体的防腐保护	(156)
18.2.2.1	锚杆杆体的自由隔离层	(157)
18.2.2.2	用管子保护锚杆	(160)
18.2.3	隔离包覆层与锚根的防水接头	(161)
18.2.4	锚固头的防腐保护	(163)
18.2.5	短期锚杆的防腐保护	(165)
18.2.6	锚杆孔中注浆体的防腐	(165)
18.3	电力防腐保护	(166)
18.3.1	阴极防腐系统的电路布置	(167)

18.3.2	阳极和电源	(168)
18.4	临时性防腐保护	(169)
第十九章	锚杆的长期观测	(171)
19.1	锚杆预应力随时间的损失	(171)
19.1.1	钢材的松弛	(171)
19.1.2	地层的徐变	(171)
19.1.2.1	坚硬岩层的性状	(171)
19.1.2.2	土体和软弱岩石的徐变	(173)
19.1.3	由于松弛和徐变引起的工程锚杆预应力损失的观测	(174)
19.2	导致锚杆预应力变化的外部因素	(174)
19.2.1	锚固介质中发生的冲击	(174)
19.2.2	锚杆的荷载变化	(175)
19.2.3	温度变化和锚固介质的应力状态变化	(176)
19.3	测量锚杆预应力的仪器	(176)
19.3.1	机械仪器	(176)
19.3.2	液压仪器	(177)
19.3.3	光弹仪器	(178)
19.3.4	电阻仪器	(178)
19.3.5	弦式仪器	(179)
19.3.6	引伸仪	(179)

第三篇 锚固结构的设计与施工

第二十章	地下洞室的锚固	(180)
20.1	作用于岩石洞室的压力和锚固参数的计算	(180)
20.1.1	岩石梁理论	(182)
20.1.2	自然拱理论	(183)
20.1.3	天然的不连续岩面的影响	(186)
20.2	地下洞室的锚固设计	(188)
20.2.1	分析的方法	(188)
20.2.2	经验法	(189)
20.2.3	新奥地利隧道掘进法	(191)
20.3	地下洞室的锚固实例	(194)
20.3.1	洞室顶面的锚固	(194)
20.3.2	交通隧道的锚固	(195)
20.3.3	小型洞室、岩柱、地下通道和竖井的锚固	(199)
20.3.4	地下大洞室的稳定	(200)
第二十一章	锚杆稳定岩土边坡	(206)
21.1	锚固力的计算	(206)

21.1.1	土壤边坡	(206)
21.1.2	岩石边坡	(208)
21.1.3	非预应力锚杆的应用	(214)
21.2	结构的锚固方法	(217)
21.2.1	边坡的稳定	(217)
21.2.2	岩块的锚固	(218)
21.2.3	岩石边坡表面的保护	(219)
21.3	用锚杆稳定边坡的实例	(220)
21.3.1	用预应力锚杆稳定	(220)
21.3.2	用非预应力锚杆稳定	(229)
第二十二章	挖方挡土墙的锚固	(231)
22.1	作用于挡土墙上的岩土压力	(231)
22.1.1	土压力	(231)
22.1.2	挡土墙上坚硬岩石的压力	(235)
22.2	有支承结构的开挖面的锚固设计	(235)
22.2.1	用锚固技术稳定土墙	(235)
22.2.2	锚固力的计算	(237)
22.2.2.1	沿挡土墙某一高度上的锚固力	(238)
22.2.2.2	沿挡土墙几个高度处的锚固力	(238)
22.2.3	锚固挡土墙的稳定评价	(239)
22.2.3.1	内部稳定	(239)
22.2.3.2	在不同锚固条件下内部稳定的确定	(240)
22.2.3.3	外部(总体)稳定	(242)
22.3	锚固墙实例及其作用的检验	(242)
第二十三章	斜坡挡土墙的锚固	(250)
23.1	锚固力的计算和锚固设计	(251)
23.2	锚固斜坡挡土墙的结构布置	(252)
23.2.1	预制斜坡挡土墙	(253)
23.2.2	悬臂式挡土墙	(254)
23.2.3	陡坡挡土墙	(255)
第二十四章	混凝土坝的锚固	(258)
24.1	用非预应力锚杆锚固混凝土坝	(259)
24.2	用预应力锚杆锚固混凝土坝	(259)
24.2.1	重力坝的锚固设计	(259)
24.2.2	连拱坝的锚固设计	(262)
24.3	将混凝土坝锚固于基岩的实例	(263)
24.3.1	用基岩锚固技术改建混凝土坝	(263)
24.3.2	锚固在基岩上的混凝土重力坝	(267)
24.3.3	锚固于基岩上的连拱坝	(272)

24.3.4 溢流堰和土坝功能部分在基岩上的锚固	(273)
24.3.5 基岩上围堰的锚固	(274)
第二十五章 桥梁结构的锚固	(277)
第二十六章 基础的锚固	(280)
26.1 基础下面地层的预先固结	(280)
26.2 承受切向力的基础	(281)
26.3 偏心受荷的基础	(282)
26.4 拉力荷载下的锚固块	(285)
第二十七章 基坑和水库的稳定	(289)
第二十八章 现场试检加荷装置的锚固	(295)
28.1 地基荷载试验	(295)
28.2 桩的荷载试验	(299)
28.3 块体的剪力试验	(302)
28.4 确定岩石剪切强度的扯裂试验	(304)
第二十九章 锚固技术与结构的经济性和安全度	(306)
29.1 地面结构的经济性	(306)
29.2 地下结构的经济性	(309)
29.3 安全度的增加	(311)

第一篇 岩土锚固结构的原理

第一章 前 言

1.1 概 述

在地层中进行锚固,牵涉的问题是很多的,而且随时都可能产生新的问题。我们想在这本书中就锚固技术的发展、基本原理、工艺现状、应用方法等作一个全面的总结。为了便于了解这些问题特别是使对锚固技术熟悉程度有限的施工专家便于掌握,我们将本书分为三篇,共29章。

第一篇介绍了锚固技术的主要原理和静力分析。其中第一章为前言。第二至九章讨论岩石和土壤的地质性能和评价其承受锚杆施加拉力的能力。第十章阐述研究成果,介绍有关不同类型的地层在锚固力作用下的性状,其中包括用来近似确定单根和群体锚杆锚固深度的推导公式、规定的拉力和抵抗破坏所需的安全系数。

本书的第二篇介绍锚固工艺。阐述制作锚杆的材料、各种固定锚杆方法的主要工艺程序和设计锚杆根部的必要资料。同时阐述了在结构表面固定锚杆的方法、锚杆孔钻凿和校正的方法、锚杆预加应力的程序和设备以及对各种条件下锚杆功能进行长期监测的方法。

第三篇用大量篇幅介绍了适用于不同形式结构的锚杆设计的理论资料,同时介绍了几个地面和地下建筑的典型实例。本篇最后一章用几个实例阐述了锚固技术的经济效益。

1.2 锚入地层的原理

岩石和土壤的锚固是一种把锚杆埋入地层进行预加应力的施工技术。锚杆插入预先钻凿的孔眼并固定于其底端。固定后,通常对其施加预应力,锚杆外露于地面的一端用锚头固定。有的结构是依靠锚杆起到稳定作用,有的结构是通过厚板、大梁、框格或其他部件把锚头施加的应力分布给更为宽广的岩土表面(图1-1)。

在地层中的锚固要达到下列三项基本要求:

1. 锚杆产生的作用在结构上的力,其方向应朝着与岩石或土壤相接触的接触点(图1-2)。
2. 锚杆产生作用在地层上的应力或对其通过的岩石起加筋作用(采用非预应力锚杆)(图1-3)。
3. 当锚杆通过被锚固结构时,应使结构本身也产生预应力。

这些功能是互相补充的。当锚固对于某一特殊情况的结构形式和锚固方法不适用时,其中一个或几个可能不起作用。

锚固总是使岩体产生预应力。在这一过程中,地层得到加固并增加其强度,其他力学性能也会得到改善。当锚固用于稳定受到塌落威胁的地下挖方的墙面、开凿的岩面和斜坡时,

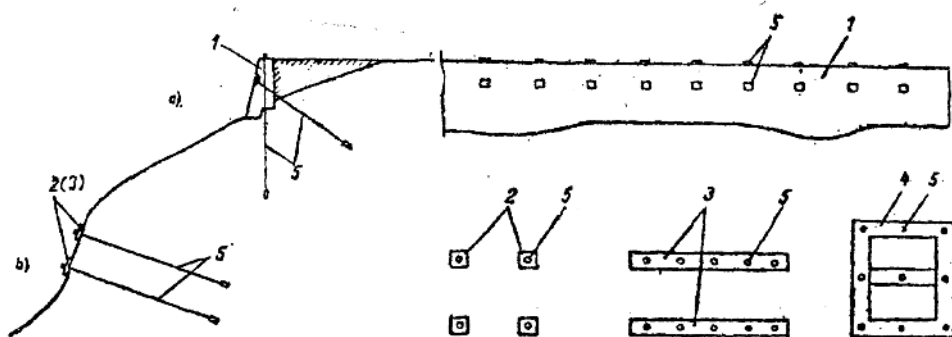


图1—1 锚头的固定

a—固定在被锚固结构的表面，b—固定在分布荷载的结构部件上；
1—锚固结构；2—平板；3—底梁；4—框格；5—锚杆

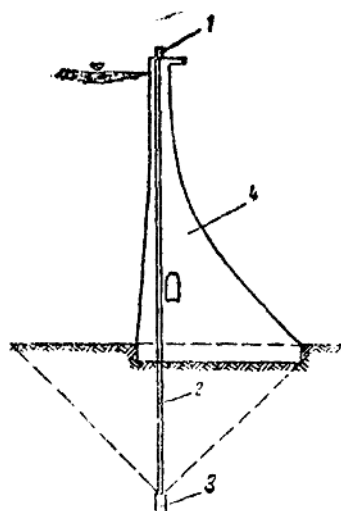


图1—2 坝体与基岩的锚固原理简图

1—锚头；2—锚杆；3—锚根；4—被锚固的结构

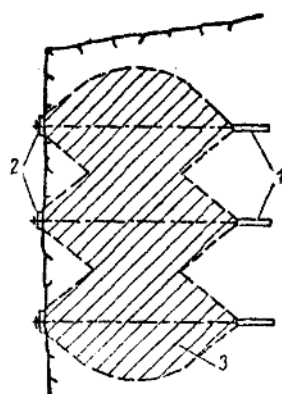


图1—3 预应力杆锚稳定岩体表面的简图

1—锚根；2—锚头；3—施加预应力的岩体

其作用就会得到充分利用。对下卧层的预先固结和控制竣工建筑物的预期变形等也都使用锚固技术。有时，特别是要使地下开挖面保持稳定时，预加应力可由带锚定的简单加筋代替，无需预先施加应力。只有当岩体表层松动的时候才会产生局部应力。但这种方法在技术和经济上都是不可取的。

用锚杆使一个结构产生预应力的同时，可能会使该结构的其他部位产生拉应力。例如圬工重力坝在水的静荷载下，其上游面就会产生这种拉应力。在圬工建筑中采用预应力锚杆方法来产生和利用预应力一般不是应用锚固技术的主要目的。必须对锚固结构的各种情况进行分析研究，如果不能对预应力加以利用，则至少应通过把锚杆设置在结构的合理部位和校正锚固力荷载中心的位置来防止可能的破坏。

效果最好、应用最广的锚固技术是锚固力能使结构与岩层连锁在一起的方法（参见图1—2）。采用这种方法就可使岩层发挥出更大的作用，使其具有建筑材料的功能。增加预应力

的锚杆所产生锚固力的方向、大小是已知的,这就有利于表面结构的稳定,并把结构和共同工作的岩层介质组成复合体,被结构锚定的岩层能更有效的承受结构及其荷载(或由于表面地形的自然变化)产生的拉力和剪力,而且这些力的传递深度也比未经锚固的结构大得多。另一方面,在结构上也产生了向岩体接触面作用的压力,此力取决于结构的重量或支承杆件的压力。用这种方法形成的结构复合体具有质量上的优势,并在较低投资费用的条件下,具有更能达到锚固功能的力学特性。

作为把结构和地层连锁在一起的锚固技术,根据静力分析,可以容易地选择锚固力的大小、方向及其荷载中心。由这些力组成的整个力系作用在结构上,从而能最经济和最有效的保持结构的稳定。锚固的这种应用方法,使结构能抵抗由于上举力所产生的竖向位移、转动倾倒、沿底脚的切线位移、沿下卧层临界面上的剪切破坏以及近期建筑的地震效应等。

1.3 锚杆简述

把结构锚固在岩土中,使其互相连接以传递拉力和剪力。此种连接,完全取决于锚杆的利用。

锚杆是一种带有静力作用的装置,它可按给定方向将力从结构传到岩土介质(地层)。锚杆由三部分组成:锚头*、杆体和锚根*。锚杆的材料可以是钢棒、钢筋和股线。几根钢棒、钢筋或股线组合成钢索。

锚头位于锚杆的外露(自由)端,通过它对锚杆施加预应力。当安上锚头时即可将锚固力传至结构。

杆体连接锚头和锚根,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。

锚根位于锚杆的隐藏(末)端,把拉力从杆体传给地层。为达此目的,锚根必须合理地固定在地层中。锚根的锚固方法如下:首先由一个机械的扩张装置使锚杆孔壁产生很大的侧压力,然后用凝结材料灌注粘结或使膨胀的锚杆端部支撑在地层中。

锚杆自由长度是由锚根的固定点与锚头固定点之间的距离来确定的。

锚杆在岩石或土壤中的固定段(锚根)长度是由锚杆传给地层锚固力的大小确定的。锚根长度即为预应力锚杆的有效根长。

临时锚杆的使用年限不超过2年。

永久锚杆的使用年限在2年以上,因此其安全系数应大于临时锚杆。

预应力锚杆是由于自由长度段杆体弹性伸长而被永久张拉的锚杆。

非预应力锚杆就是不施加预应力的锚杆或者是全部杆体都固定在地层中、在任何情况下都不能预加应力的锚杆。

每一种锚杆的自由长度在其工作期限内可以变动,从而能够对其进行监测、校正。

试验锚杆是被选定的一根锚杆,作为一批锚杆代表,用以测定其性能。一般都是对试验锚杆加荷至破坏,以确定其荷载极限。

工作锚杆是在整个结构中能满足静力功能的锚杆。

* 锚头在国内常称为外锚头;锚根在国内常称为内锚头。——审校者

对锚杆预加应力是一种施加拉力的工艺。

锚固力是锚杆传入地层的力。

锚杆的资用荷载是在整个使用期限内锚杆应能继续传递的力。

锚杆的容许荷载由其承载能力的上限决定，从试验中计算得出，留有安全余地。

试验荷载是试验锚杆承受的一种短期荷载，其目的是鉴定锚杆的加工质量并确定其所能承受的最大荷载。

锚杆的（极限）承载能力是锚固系统（地层锚杆、锚固结构）中任一机能的抗力失效，使锚固作用终止时的荷载。

安全系数是锚杆极限荷载或极限变形时的荷载与其容许荷载或资用荷载的比值。

第二章 抵抗竖向位移的锚固结构

竖向变位引起的破坏常发生于采用箱形基础的结构，这是因为在最高地下水位的情况下，结构的重量，包括静荷载 Q ，小于地下水的上浮力。这种情况多出现在河流的泛滥区。当人们忽略对这类槽坑结构稳定性估计时，也会出现类似的破坏。

有波动荷载之处（在仓库、水库等）允许地下水的上浮力占优势，所以较为经常地发生竖向位移所引起的破坏。这种局面是由于设计人员认为按最不利荷载情况设计的结构不经济所造成的。况且设计工程师对于上浮力或其可能的量值往往不能掌握充分。

然而荷载的这种不利组合是很少发生的。而且可以采取特殊方法加以防止，例如当仓库、水库变空时，可以把地下水用泵排除。但这些方法可能因泵送设备的技术故障或由于紧急关头不能及时投入使用而失效。因此，为保证结构的永久稳定，必需增加其重量，或者将其锚固在下卧层中。这种稳定性对结构某一部位的损坏会延伸到其他部位的情况特别重要。使用大体积的圬工结构，即增加结构重量或将其锚固在下卧地层中（图2—1），可以增强结构对竖向位移的抵抗能力。

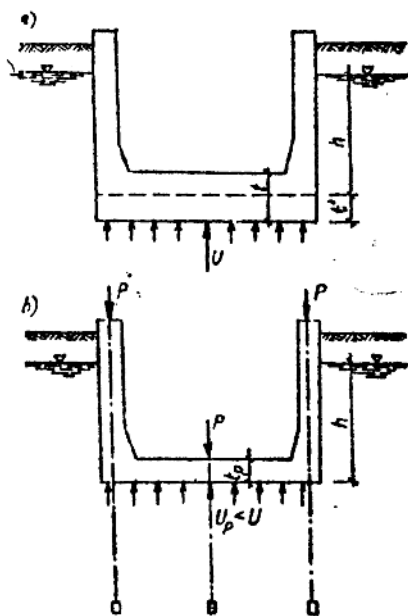


图2—1 对洼坑进行锚固以抵抗
竖向位移(上浮力)

- a) —增加底部的体积；
b) —锚固于基岩

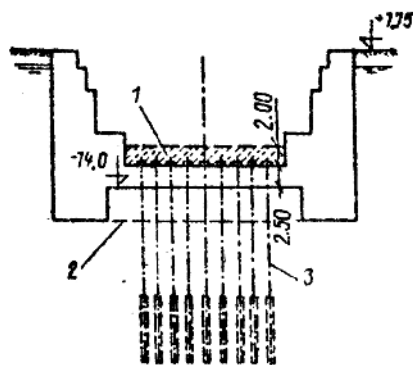


图2—2 将减薄了的底板锚固于基
岩以抵抗上浮力

- 1—从混凝土底板凿除部分；
2—不用锚杆时的基底水平面；
3—预应力锚杆

第一种方法是增加结构的重量，通常是把基础的厚度 t 增加了一个数值 t' ，但这样会使基底进一步下降，从而又增大了上浮力 U 。因此增大了圬工建筑的作用又会部分地被增大体积所排开的水抵消。

为固定结构以抵抗上浮力所需的锚固力量值（假定力为矩形排列）可由下列简单平衡力系来确定：

$$P = m_v U - Q_0 = m_v h F - O \gamma_b$$

式中

P —锚固力的量值(kN)； (2-1)

m_v —竖向位移的安全系数(1.05~1.2)；

U —底脚上浮力(kN)；

$Q_0 = O \cdot \gamma_b$ —固定前的结构重量(kN)；

h —底脚以上的地下水水位(m)；

O —结构的圬工体积(m^3)；

γ_b —圬工的容重(kN/m^3)；

F —结构的基础面积(m^2)。

如果完全依靠基础重量来使结构稳定，以抵抗上浮力的影响（具有大面积基底的所有结构都是这种情况），那么基础的厚度必须增加一个数值 t' （参见图2-1），这一增量可从力的平衡条件求得：

$$m_v \cdot F(h + t') \gamma_v \leq F(t_p + t') \gamma_b$$

$$t' = \frac{\gamma_b \cdot t_p - m_v \cdot h \cdot \gamma_v}{m_v \cdot \gamma_v - \gamma_b} \quad (2-2)$$

为保护结构抵抗位移，整个基底需要增加的重量为：

$$G' = \gamma_b \cdot t' \cdot F = \gamma_b \cdot \frac{\gamma_b \cdot t_p - m_v \cdot h \cdot \gamma_v}{m_v \cdot \gamma_v - \gamma_b} \quad (2-3)$$

式中 γ_b —结构圬工容重(kN/m^3)；

γ_v —水的容重(kN/m^3)；

h —底脚锚固面以上的地下水水位高度(m)；

t_p —底板厚度(m)；

F —基础面积(m^2)

m_v —上浮的安全系数(1.05~1.2)

第二种方法是将结构锚固于下卧地层中，所需的锚固力少于前一种方法中底板增加的重量，可用下面设想的平衡式计算锚固力：

$$m_v \cdot F \cdot h \cdot \gamma_v = F \cdot t_p \cdot \gamma_b + P$$

$$\text{因此} \quad P = F(m_v \cdot h \cdot \gamma_v - t_p \cdot \gamma_b)$$

为稳定结构的基础平面，单位面积所需最小的锚固力由下列关系式确定($\gamma_v = 1$)：

$$Z = G' - P = \gamma_b \cdot \frac{\gamma_b \cdot t_p - m_v \cdot h}{m_v - \gamma_b} - m_v \cdot h + t_p \cdot \gamma_b$$

简化后得:

$$Z = m_v \frac{\gamma_b \cdot t_p - m_v \cdot h}{m_v - \gamma_b} \quad (2-4)$$

很明显,锚固于下卧地层中的方法在改建工程中的应用也是非常广泛的。例如,这种方法在西班牙卡塔其纳一个干船坞的改建中得到了验证(见图2—2)。该船坞为了对船只声纳设施进行大修,需要将船坞底面(面积为250m²)降低2m,采取的解决办法是凿除底板2米厚的混凝土,即把原来4.5米厚的底板改为2.5米。对原来船坞结构起到稳定作用的凿除混凝土重量由预应力锚杆的拉固所代替。这一实例清楚显示了岩层锚固技术的优越性。如果不应用这一技术,就要拆除整个混凝土底板,基坑需要挖深(从公式2—2验算需要加深2米多),而且还要重新浇筑底板(新底板还要比原底板厚)。这样的改建无疑要比使用锚固方法费钱费时。