

Yantu Maogu Gongcheng Jishu

岩土锚固工程技术

中国岩土锚固工程协会

人民交通出版社

Yantu Maogu Gongcheng Jishu

岩土锚固工程技术

中国岩土锚固工程协会

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为中国岩土锚固工程协会第二、三、四次全国岩土锚固学术会议论文集,共收入论文 87 篇。内容包括:岩土锚固技术的最新进展,理论研究与现场测试,施工工艺与工程设计,隧道与地下工程的锚固、边坡锚固与滑坡治理、深基坑支挡、坝体与闸墩锚固、锚固材料、锚固机具和测试仪表等,并有国内重点工程及各大类典型岩土锚固工程实例。可供水电、建筑、铁道、公路、冶金、煤炭、地矿、军工等部门从事岩土锚固工程设计与施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土锚固工程技术/中国岩土锚固工程协会编. —北京:人民交通出版社,1996. 7

ISBN 7-114-02425-8

I. 岩… II. 中… III. ①岩石-基础(工程)-喷锚-加固②土体-基础(工程)-喷锚-加固 IV. TU753. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 12305 号

责任印制:张 凯

岩土锚固工程技术

中国岩土锚固工程协会

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

三河新世纪印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 24.5 字数: 611 千

1996 年 10 月 第 1 版

1998 年 3 月 第 1 版 第 2 次印刷

印数: 2701—5200 册 定价: 35.00 元

ISBN 7-114-02425-8

U · 01692

前 言

岩土锚固是岩土工程领域中的一个重要分支。岩土锚固能合理利用岩石的自身强度和自稳能力,简化结构体系,减小结构体积,提高结构物的稳定性,并有少占用地,安全施工,缩短工期、降低造价等优点。因而岩土锚固技术在国内外获得迅速发展,应用范围日益拓宽,并解决了许多重大工程中的疑难问题。总之,岩土锚固技术在我国交通、能源、采矿、地下工程及工业与民用建筑工程中正在发挥着愈来愈大的作用。

为了进一步推动我国岩土锚固工程的发展,中国岩土锚固工程协会于1990年在广西柳州召开了第一次全国岩土锚固学术会议后,又于1992年、1994年和1996年分别在江西庐山、天津和北京召开了三次全国性的岩土锚固学术会议,广泛深入地交流了岩土锚固的科学试验、设计施工、工程应用和现场监测等方面的新进展与新成就,并探讨了未来的发展方向,还交流了土钉墙技术的设计与应用。这些论文理论联系实际,具有鲜明的工程背景和较大的实用价值。现将经过整理的87篇论文汇编成文集,以飨广大读者。

我们深信,该论文集的出版,必将进一步促进学术交流,并激励更多的岩土工程工作者致力于岩土锚固技术的开发与应用,极大地促进岩土锚固技术的发展,使岩土锚固潜在的能量更好地迸发出来,在我国现代化建设事业中发挥更大的作用。

中国岩土锚固工程协会理事长

程良奎

1996年4月

目 录

一、专题探讨

土层锚杆的几个力学问题.....	程良奎	胡建林(1)
北京地铁西单车站初期支护系统的综合技术.....	谢量瀛 付 强 范明贵	胡万毅(7)
漫湾水电站边坡预应力锚索加固设计中的几个问题		华代清(14)
土钉墙技术的研究与应用	程良奎 范景伦 胡建林	杨志银(21)
深圳特区锚固技术的应用		范景伦(27)
台湾地区岩土锚固工法概述		卢锡焕(31)

二、理论与研究与测试

锚固岩体的流变模型试验及计算方法	张玉军	孙 钧(38)
地锚抗剪强度之有效应力分析法		李咸亨(43)
控制和适应围岩大变形的巷道锚喷技术研究	朱维申 刘泉声 李 铀	花莉莉(46)
隧道工程中全长粘结型锚杆使用中的两个问题	王建宇	伍晓军(49)
群锚在交变荷载作用下的机理研究		周 群(57)
群锚荷载传递新方法——剪切位移传递函数综合法	肖昭然 李象范	侯学渊(61)
在软岩巷道中确定锚杆长度的有效方法		陈新万(67)
锚喷支护巷道剪切楔体滑移破坏理论分析方法	高 谦 任天贵	王辉光(70)
软地层中斜拉锚杆的分析	戴运祥	李象范(76)
重力坝锚索的锚根合理设计长度分析	周承芳 朴龙泽 李正国	刘迎曦(79)
全长锚杆支护理论分析中岩体剪移刚度系数的计算方法	高 谦 任天贵	(83)
喷锚支护整体加固岩洞的试验研究	阎夺魁	宋立民(87)
土钉墙的稳定性的分析	杨志银	程良奎(90)
土钉墙作用机理及破坏分析		张成斌(97)
地铁车站采用锚杆抗浮的分析.....	崔 岩	吴世红(100)
高层建筑的深基坑护坡监测.....		赵慧文(107)
工程量测在煤矿岩巷施工中的应用.....		段振西(110)
高地下水位软土质基坑护锚体系施工与测试.....	赵慧璋	韩学广(115)
地连墙锚杆龄期对其承载力的影响.....	周彦清 成鼎新	曹 虹(119)
露天煤矿边坡锚索加固效果的现场观测.....		阎莫明(121)
老鼠山岩层水泥砂浆钢筋锚杆抗拔试验.....		詹德平(126)

三、施工工艺与设计

地下锚喷护壁工法.....	张家识	萧 岩(130)
---------------	-----	----------

预应力锚索施工工艺中的几个问题.....	甘文鸿(133)
李家峡水电站预应力锚索锚固技术研究.....	薛 韬 刘志珍(139)
石泉预锚施工几项措施.....	王泰恒(144)
沉积地层中地锚施工.....	廖洪钧(147)
预应力锚索在整治铁路病害高边坡中的应用.....	顾湘生 邹燕妮 黄金武(159)
黄土中构筑大直径深井的设计与施工.....	宫宏达(163)
潜孔锤在土层锚杆成孔中的应用.....	吴用熙 卢文阁(169)
深圳地区土层锚杆的试验研究.....	王长伟 叶增仁 贺长俊(171)
锚杆的真空压力灌浆法.....	孟河清(174)
预应力锚桩控制高层建筑侧移设计.....	郑生庆(177)
预应力锚杆背拉护坡结构应用中的若干问题.....	程良奎(180)
锚杆设计与施工技术几个问题的探讨.....	李凤林(184)
提高缝管锚杆支护功能的探讨.....	易建华(188)
丰满大坝预应力锚索加固设计.....	苏加林(191)

四、隧道与地下工程的锚固

锚喷支护在铁路隧道中的拓宽应用.....	徐祯祥(197)
高雄市多功能停车场地锚施工探讨.....	卢锡焕 李 英(200)
梅山铁矿深部洞室岩石力学问题.....	孙学毅(204)
西昌卫星发射中心二工位导流槽耐火混凝土施工.....	甘衡才(206)
锚喷支护在立井井筒穿过滑动构造带的应用.....	滕年保 夏建中(210)
香港长青公路隧道工程锚杆支护设计特点.....	沈慧敏(213)

五、边坡锚固与滑坡治理

十三陵蓄能电站边坡加固中的预应力锚索施工.....	彭 涛(217)
北京居庸关西山边坡加固工程施工技术.....	杨学钦 田裕甲(221)
岩土锚固技术应用与探讨.....	钟 麟(225)
厂房岩质边坡的防护.....	赵慧文(229)
攀钢热电鼓风机站滑坡治理.....	史永忠(233)
高陡边坡加固的预应力锚索施工.....	王福源(236)
用树根桩及注浆工艺复合处理淤泥质软土滑坡.....	张惠旬(241)
用对穿式预应力锚杆加固竖直路堤.....	何益寿(244)
预应力锚索加固边坡的实践.....	于海营 徐中山(247)

六、深基坑与基础工程的锚固

深基坑桩锚护壁体系.....	韩学广(251)
地连墙锚杆在天津华信商厦基坑支挡工程中的 应用.....	程良奎 周彦清 田志友 曹 虹 成鼎新(257)
天津商厦深基坑连续墙支护设计及施工.....	高钟璞 王泰恒(260)
采用“钻孔压浆桩”解决盐渍土地区基础沉降问题.....	陶 义 王德林(265)

锚—桩—喷深基坑护坡技术.....	冯申铎(269)
广州荔湾商业大厦深基坑边坡锚喷网支护.....	喻良明 毕孝全(272)
武汉市财政局综合楼土层锚杆施工.....	任东志(279)
湖南国际金融大厦土锚施工技术.....	刘仙元(283)
北京金运大厦基坑支护施工技术.....	刘 晖(286)
钻孔压浆桩在基坑工程中的应用.....	李式仁(289)
土层锚杆在吉林省城市建筑基坑支护中的应用.....	沈朝旭 王文举 马也驰(293)
深基坑支护结构的设计与施工.....	任东志(299)
预应力锚索在深基坑护壁工程中的应用.....	蒋楚生 李聚金(303)
锚杆技术在“基坑加固”中的设计与施工.....	沈朝旭 王香臣(305)

七、坝体与闸墩的锚固

预应力锚索在丰满大坝加固工程中的应用.....	朴龙泽 刘志国 李 才 韩荣池(309)
广东青溪电站大坝闸墩裂缝加固.....	田裕甲 吴 雄(314)
安康电站闸墩大吨位弯曲锚索施工技术.....	陈 军(317)

八、锚固材料、机具与测试仪器

OVM 锚固体系	许明生(325)
预应力钢丝和钢绞线生产.....	朱 龙(328)
SF 型锚固材料的应用效果	吴 陶(347)
喷射粉煤灰混凝土支护.....	范广勤 曾康生 于 滨(351)
YTM87 型土锚钻孔机的改进	林世源(354)
QDG—2 型钻机在三峡岩锚工程钻孔中的应用.....	刘学武 范存世 刘世江(357)
YQT 型土锚千斤顶	宋茂信 贺永胜 韩乃仁(360)
ZP—V 型多功能混凝土喷射机	刘清平(362)
潮湿混凝土喷射机组的研究与应用.....	乔国恩 栾德怀(365)
ZP—6 型混凝土喷射机.....	孙达荣(370)
KS—4 型锚索(杆)测力计工作原理及特点	宋维尧 田福成(373)
GMS 型锚索测力计的研制	史宏光(376)
砂浆锚杆中砂浆灌注饱满程度的检测.....	钟世航 高 杰(379)

一、专题探讨

土层锚杆的几个力学问题

程良奎 胡建林

冶金部建筑研究总院

摘要:本文结合工程实践、现场量测和理论分析,讨论了土层锚杆的极限承载力、锚固段粘结应力分布、软粘土中锚杆蠕变特性和锚杆预应力随时间的变化及其控制等力学问题,旨在经济合理,安全可靠地推广应用土层锚杆技术

近年来,随着土木建筑工程的发展,土层锚杆在我国得到了广泛的应用。北京京城大厦、王府饭店、亮马河大厦、新侨饭店、上海太平洋饭店等深基坑工程;上海、天津污水处理厂沉淀池抗浮工程;常州东货港挡墙锚固;深圳金湖山庄边坡加固等工程相继采用了土层锚杆技术,取得了良好的技术经济效益。土层锚杆不仅适用砂性土、粘性土而且在饱和淤泥质土层中也获得了成功应用。笔者根据近年来从事土层锚杆研究、开发和技术推广的实践,讨论了土层锚杆应用中的几个重要的力学问题,旨在引起国内同行们的重视和探讨,以不断提高土层锚杆的设计和应用水平。

一、锚杆的极限承载力

单根土层锚杆的极限承载力是反映锚杆工作特性的重要指标,它在很大程度上决定了锚杆的经济性和适用性。研究表明,对于圆柱型锚固体锚杆,其承载力主要取决于锚固体与土体间的总摩阻力。即锚杆承载力:

$$P = \pi \cdot D \cdot L \cdot q_s$$

由上式可知,锚杆承载力 P 除与锚固体与土体间的摩阻强度 q_s 有关外,还与锚固体直径 D 和锚固体长度 L 有关。固定在抗剪强度低、压缩性高、透水性小的软粘土中的锚杆, q_s 是较低的。此外,受施工机具与经济性的限制,欲突破目前国内外常用的钻孔直径为 10~15cm,以增大 D 也不可能。而锚固长度 L ,实际上也并不与 P 成线性关系,即当 L 超过 10m,对锚杆承载力的提高就相当有限了。鉴于以上情况,我们研究采用端头扩孔和二次高压灌浆工艺,成功地实现了在软粘土中提高锚杆极限承载力的目的。

1. 端头扩孔

厦门仙岳宾馆边坡部分区段为残积亚粘土,含水量较大, $\varphi=23^\circ$, $c=88\text{kPa}$ 。试验锚杆的钻

孔直径为 155mm,锚固段长 6.0m。端头采用 2 号岩石炸药爆破扩孔后,能形成高 45cm,直径 60cm 的扩体。试验表明,在同等锚固长度条件下,端部扩大头型锚杆的承载力比圆柱型锚杆有成倍提高(表 1),这一方面是由于扩孔增大了锚固体与土体的接触面积,更主要的方面是由于锚杆受力时土体对扩大头部分的支承作用。

不同锚固体型式承载力比较

表 1

编 号	钻孔直径 (mm)	锚固段长 (m)	锚固体型式	极 限 承载力 (kN)	编 号	钻孔直径 (mm)	锚固段长 (m)	锚固体型式	极 限 承载力 (kN)
1	155	6.0	端部扩大头型	267	3	155	6.0	圆柱型	112
2	155	6.0	端部扩大头型	287	4	155	6.0	圆柱型	135

对于锚固于软粘土中的端部扩大头型锚杆,其极限承载力可按图 1 的计算简图于下式估算:

$$P = \pi \cdot DL \cdot \tau + \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot \beta_c \cdot \tau + \pi d \cdot l \cdot q_s$$

式中: β_c ——扩大头承载力系数,取 9.0;
 τ ——土体不排水抗剪强度;
 q_s ——非扩孔段锚固体与土体间的粘结强度;
 D 、 d 、 l 及 l 的含义见图 1。

2. 二次高压灌浆

为了适应上海地区饱和淤泥地层采用预应力锚杆的需要,我们采用二次高压灌浆工艺,形成连续球体型锚固体,使锚杆承载力在不增加锚杆长度情况下提高了一倍。这种型式的土层锚杆已成功地用于上海太平洋饭店深基工程。

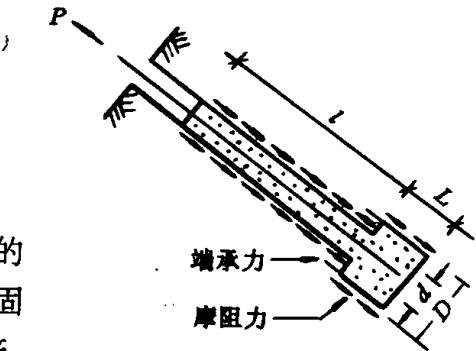


图 1 端部扩大头型锚杆力学计算简图

连续球体型锚杆是借助安放于锚固段上部的止浆密封装置,独特的注浆套管和注浆枪,在一次灌浆形成的锚固浆体强度达 5.0MPa 时,依次由下向上对锚固段施行第二次劈裂灌浆,压力为 2.0~3.0MPa 的浆液冲破低强度锚固体向土体渗透、挤压和扩散,形成一连串直径较大的球体(图 2)。从二次灌浆量推算,球体直径约为原圆柱直径的两倍。这样一方面增大了锚固体与周围土体的摩阻面积,另一方面高压水泥浆的渗透、挤压和镶嵌作用,提高了原状土的力学强度,因而使锚杆承载力得以显著提高(表 2)。

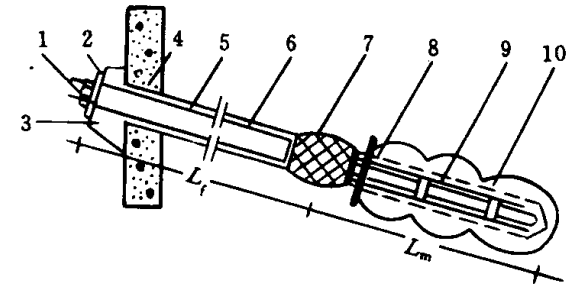


图 2 连续球体型锚杆

1-锚具;2-减压板;3-台座;4-支档结构;5-钻孔;6-塑料套管;7-止浆密封装置;8-预应力筋;9-注浆套管;10-连续球体型锚固体; L_f -自由段长度; L_m -锚固段长度

对位于粘性土中的连续球体锚杆,建议于下

式估算锚杆极限承载力。即:

$$P = K \cdot L_m \cdot \pi \cdot D \cdot q_s$$

式中: L_m ——有效锚固长度;

D ——扩大后的直径；
 q_s ——土体与锚固体间的粘结强度；
 K ——采用二次高压灌浆后粘结强度增高系数，取 1.2~1.4。

不同注浆方式的锚杆承载力 表 2

编号	钻孔直径 (mm)	锚固直径 (m)	注 浆 方 式		锚杆 极限 承载力 (kN)	编号	钻孔直径 (mm)	锚固直径 (m)	注 浆 方 式		锚杆 极限 承载力 (kN)
			一次灌浆压力	二次灌浆压力					一次灌浆压力	二次灌浆压力	
			(MPa)	(MPa)					(MPa)	(MPa)	
1	168	24	0.6~0.8	/	420	3	168	24	0.6~0.8	2.2~2.5	1000
2	168	24	0.6~0.8	2.0~3.0	800	4	168	24	0.6~0.8	1.4~2.6	800

采用二次高压灌浆工艺,不仅能极大地提高锚杆极限承载力,还具有抑制塑性变形的能力。

二、锚杆锚固段结合应力分布规律

掌握在外力作用下土层锚杆锚固段应力分布特征及其传递规律,对于正确设计锚固段长度,合理确定锚固段形态及应力传递方式,以经济有效地提高锚杆承载力是十分重要的。

曾对上海太平洋饭店和北京京城大厦两个深基坑工程的拉力型锚杆锚固段的粘结应变的分布形态进行了测定。实测结果见图 3 和图 4。

从以上两个工程的锚杆锚固体应变测量结果中可以得到以上规律性的认识：

1. 沿锚杆锚固段的粘结应力分布是很不均匀的。观测到的粘结应力从锚固段的近端(即邻近自由段的一端)逐渐向远端减少。随着张拉力的增加,粘结应力峰值逐渐向远端转移。由此可知,设计中所采用的摩阻强度均指平均值而言。

2. 测得粘结应力主要分布在锚固段前端的 8~10m 范围内,即使在最大张拉荷载作用下,锚固段远端的相当一段长度内,几乎测不到粘结应力值,它鲜明地反映出,在外力作用下,并不是与锚固段全长接触的土层的强度都得以调用,对于外力的抵抗区段,主要发生在锚固段前段,也就是说,当锚固体长超过某值(该值与土体种类有关)后,则长度的增加对锚杆承载力的提高就极有限了。一般推荐土层锚

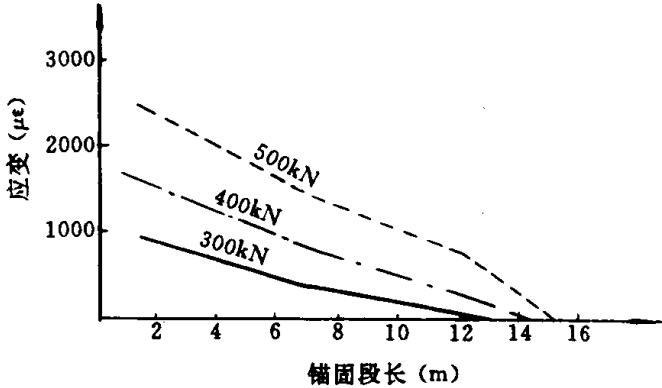


图 3 上海太平洋饭店基坑锚杆锚固体(钢绞线与浆体间)粘结应变分布

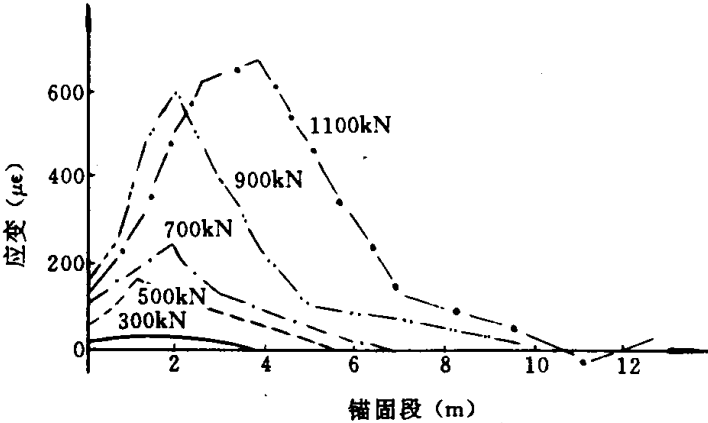


图 4 北京京城大厦基坑锚杆锚固段(浆体与土体间)粘结应变分布

杆锚固段长度不宜超过 10m 是有其力学依据的。

3. 在外力作用下,拉力型锚杆的锚固体有严重的应力集中现象。应力峰值点的转移,也说明锚固段前端可能已出现局部破坏。这固然并不意味着锚杆承载力的消失,但会加速锚杆的腐蚀。为克服这些缺点,国外已开发并应用了压力型锚杆,它是沿拉筋全长涂以油脂,并套上胶管使之与胶结材料分隔,锚杆受力后通过无粘结的拉筋直接传到锚固体根部,将钢筋的拉力转变为对锚固体的压力,再通过锚固段根部与首部的不均匀压缩变形带动与之相结合的土体产生变形。许多实测结果已经证实,在相同荷载作用下,压力型锚杆锚固段的粘结应力峰值远比拉力型锚杆的小。因而在同等锚杆长度情况下压力型锚杆具有较高的承载能力。

三、软粘土中锚杆的蠕变特性

在软粘土中由地层压缩产生的变形相当大,变形的衰减速度也十分缓慢。固定在此类土体中的锚杆在较大荷载作用下产生的蠕变变形不容忽视,它可能导致锚杆预应力值的急剧下降,进而危及工程安全。

为了掌握软粘土中锚杆的蠕变特性,我院与有关单位合作,曾对上海宝钢、太平洋饭店和天津第二医学院等基坑锚杆进行了蠕变试验。图 5

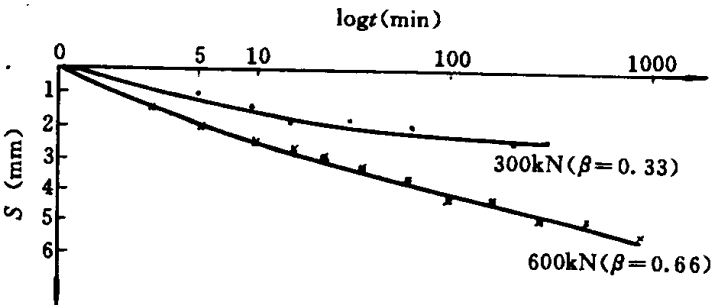


图 5 上海太平洋饭店饱和淤泥地层中锚杆的蠕变曲线

和图 6 分别为上海太平洋饭店淤泥质地层和天津第二医学院软粘土中锚杆的蠕变曲线。

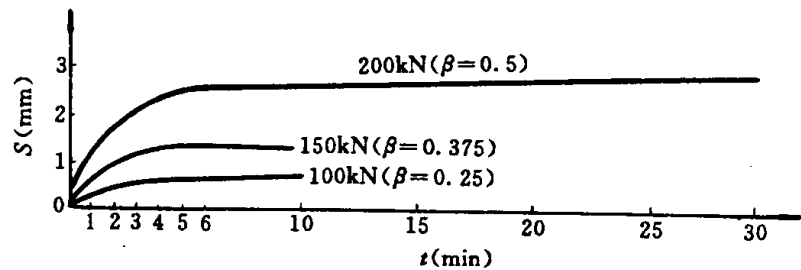


图 6 天津第二医学院软粘土中锚杆的蠕变曲线

从图 5 中可以看出,当锚杆荷载水平为 300kN ($\beta=0.33$),恒载 100min 的蠕变量为 2.1mm。当荷载水平为 600kN, $\beta=0.66$ 时,锚杆恒载 100min 的蠕变量 4.2mm,且变形仍不收敛。图 6 呈现出同样的规律性,即荷载水平和 β 值愈

小,蠕变量愈小,荷载水平和 β 值愈大,则蠕变量也愈大。

在上海太平洋饭店饱和淤泥地层中锚杆的蠕变试验表明,当荷载水平为 300kN 时,最初 1h 的蠕变量为 1.8mm,占 5h 总蠕变量的 85.7%,当荷载水平为 600kN,前 4h 的蠕变量为 4.3mm,占 16h 总蠕变量的 75.7%。在天津二医工程的试验中,三种荷载等级下,都是蠕变量的 95% 发生在加载后的前 6min。

由此可见,软粘土中锚杆的蠕变量和收敛时间主要与荷载比 β (锚杆的缩定荷载与锚杆的极限承载力之比) 有关;土锚的蠕变变形主要发生在加荷初期。

在本文第二节中已经谈到,土锚锚固段的粘结应力分布是很不均匀的。显然,土锚的蠕变变形主要发生在锚固段的应力集中区。要控制土锚的蠕变变形量及蠕变收敛时间,必须从降低锚固段区的应力峰值入手。因此,保持适宜的 β 值,改拉力型锚杆为压力型锚杆等降低锚固区应力峰值的方法,都能使土锚的蠕变变形量减少,以保证锚杆的正常工作。

图 7 为位于上海宝钢饱和淤泥地层中的锚杆分别采用一次灌浆(锚杆极限承载力为 420kN)和二次高压灌浆(锚杆极限承载力为 1000kN)条件下蠕变曲线比较图。图 7 表明,采用

一次灌浆的低承载力锚杆在锁定荷载为420kN，恒载100min时，蠕变量达6.5mm，且很快趋于稳定。这就清楚地说明，在锁定荷载不变条件下，提高锚杆极限承载力保持较小的 β 值，对控制土锚的蠕变变形是有效的。从目前初步积累的经验来看， $\beta \leq 0.55$ 可作为淤泥质土层锚杆蠕变变形收敛的制约因素。

四、预应力随时间的变化及其控制

随着时间的推移，锚杆的初始预应力总会有所降低。在很大程度上，这是由于锚杆在外力作用下钢材的松弛和土层的蠕变造成的。为了揭示锚杆预应力随时间变化的规律，我们曾在两个分别处于不同地层和采用不同的护壁桩结构型式的深基坑工程施工中，对锚杆预应力值进行了长期观测。

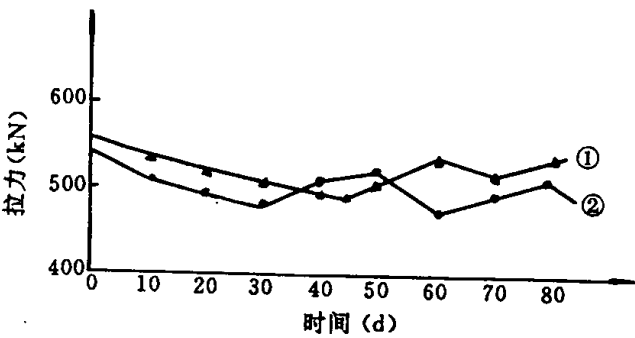


图8 上海太平洋饭店饱和淤泥地层中锚杆的预应力变化

对上述两个基坑工程锚杆预应力值的长期观测可以得到以下认识：

1. 无论是设置在砂质土或粘性土的锚杆，在锚杆固定后5天内，一般都呈现出预应力值的明显降低，约在一个月后趋于恒定。不难看出，在外力作用下锚杆预应力变化趋势同锚固土层蠕变趋势一致，它进一步说明土层蠕变是引起锚杆预应力损失的主要因素。

2. 锚杆锁定后的预应力损失一般在15%以内。预应力损失量大小与锁定荷载高低有密切关系。张拉荷载高，预应力损失量大，反之亦然。如图9所示的73号和38号锚杆，锁定荷载为1000kN和920kN，25天后的预应力损失达14.6%和15%，而48号和49号锚杆的锁定荷载为850kN和800kN，25天后的预应力损失仅为5.22%和7%。显而易见，在较高荷载作用下，锚固地层单位面积上的压缩应力增大，会引起较大的蠕变变形，同时，钢材的松弛也随外荷的增大而加剧，这些都会引起锚杆初始预应力值的

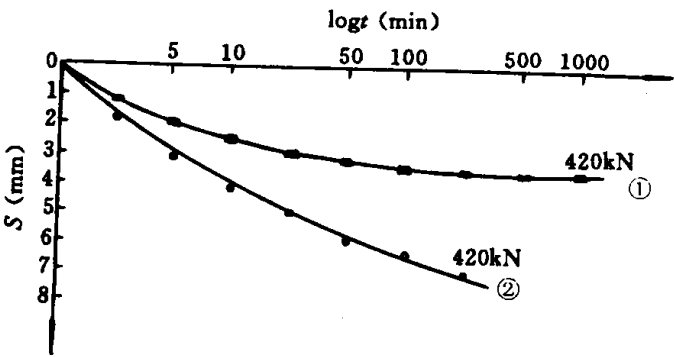


图7 不同注浆工艺对锚杆蠕变变形的影响(上海、宝钢饱和淤泥地层)①-二次高压灌浆;②-一次灌浆

一个是上海太平洋饭店的基坑工程，深11.65m，地层为饱和淤泥，采用20cm厚钢筋混凝土板桩及四排预应力锚杆，测得的锚杆的预应力变化见图8。另一个为北京新侨饭店基坑工程，深12.4m，采用直径1.0m间距2.0m的钢筋混凝土灌注桩与单排预应力锚杆作支挡结构，锚杆固定在重砂粘土和砂层中。测得的锚杆预应力随时间的变化见图9。

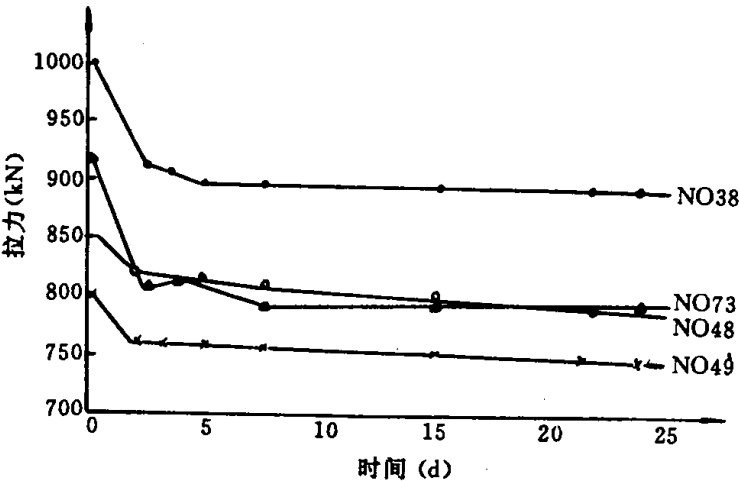


图9 北京新侨饭店砂质地层中锚杆的预应力变化

进一步降低。

3. 锚杆下部土层开挖对锚杆预应力变化的影响，视基坑土质和支挡结构刚度而异。对于土质较好并采用刚度较大的护壁桩的北京新侨饭店基坑，在锚杆锁定后第 9 天开挖下部土方，直至开挖和浇筑基坑底板完成，共实测了 75 天的锚杆应力变化，表明深部土方开挖对锚杆预应力值无明显影响。处于饱和淤泥地层并采用刚度较小的板桩结构的上海太平洋饭店基坑锚杆的情况却截然不同。如图 8 所示，锚杆下部土体开挖会引起板桩位移，相应地也就带动锚杆头部位移，这就相当于进一步张拉锚杆，因而呈现锚杆预应力值上升。而锚杆预应力值增加，会导致锚固地层压缩蠕变变形加大，又会引起锚杆预应力值降低，图 8 呈现出锚杆预应力呈波浪形变化，正是这些因素交替作用的结果。

应当指出，锚杆在使用过程中，应力值的过大波动，必然会影响锚杆的功能，甚至会危及工程的稳定，因此对应力波动范围应进行控制。

对于控制锚杆的预应力损失，除了选择适宜的 β 值（锚杆的锁定荷载与极限承载力之比），以抑制锚杆的蠕变变形外，采用再次补偿张拉，其效果也是十分明显的。我们曾利用安装于锚头处的测力传感器，研究了一次张拉与二次张拉对锚杆预应力变化的影响（见图 10）。当锚杆在荷载值为 526kN 时锁定后 5 天，预应力值下降至 461kN，损失了 12.3%。经二次张拉，锚杆在 545kN 时锁定，7 天后应力值降至 520kN，仅损失了 4.6%，以后预应力值也基本趋于稳定。分析认为，在第一次对锚杆加荷后的一段时间内，受荷土体的塑性压缩变形已经完成，土体的固结度有明显提高，再次加荷，由土体压缩所产生的蠕变就会减少，因而锚杆预应力损失也明显减少。

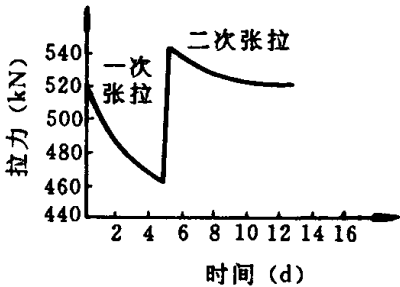


图 10 二次张拉对锚杆预应力损失的补偿作用

在基坑工程中，由于支挡结构的位移引起预应力值上升的情况，也应加以限制。这可以通过合理确定锁定荷载值来解决。锁定荷载一般均应小于预应力设计值，当采用刚度较小的挡土结构时，锚杆的锁定荷载可取 0.7~0.8 的预应力设计值。

五、结 束 语

- 1. 采用端头扩孔和二次高压灌浆工艺能有效地提高粘土中锚杆的承载力。
- 2. 对锚杆锚固段粘结应力的量测和分析表明，在外荷作用下，锚固体粘结应力分布是很不均匀的。随着外荷的增加，锚固体上粘结应力峰值和局部破坏逐渐由近端向远端转移。锚固段长大于 10m 后即会降低锚固体与土体间的平均粘结强度值。变拉力型锚杆为压力型锚杆，能降低锚固段上的粘结应力峰值，并有利于提高锚杆的承载力。
- 3. 在软粘土中，锚杆的蠕变变形主要发生在加荷初期，蠕变量和收敛速度主要与荷载比 β 有关。工程实践表明，保持较小的 β 值 ($\beta \leq 0.55$) 或在锁定荷载不变条件下通过提高锚杆承载力，能有效地减小锚杆的蠕变变形。
- 4. 锚杆的预应力值随时间的变化（一般呈现预应力损失）主要是由地层蠕变、钢材松弛以及基坑开挖引起的。为保证锚杆的正常工作，对部分锚杆的预应力变化进行长期观测十分必要。锚杆的预应力变化不宜大于设计值的 10%。可采用二次张拉补偿锚杆预应力损失。

北京地铁西单车站初期 支护系统的综合技术

谢量瀛 付 强 范明贵 胡万毅

铁道部第十六工程局

摘要:本文介绍了北京西单地铁车站初期支护系统所采用的一些综合技术,如大管棚超前护顶等,西单地铁站初期支护系统综合技术的成功应用,为今后开发城市地下空间,用暗挖法修建大型地下工程,开辟了一条新路

一、工程概况

北京地铁西单车站位于繁华的西单路口以东 193m 处的西长安街下,车站中心线与长安街规划中轴线基本重合。地面车水马龙,地下管网密布(车站通过地段共有各种管网线路 28 条,其中直径最大的 $\phi 1640\text{mm}$ 污雨水管位于车站顶部 40~100cm 处)。车站洞体通过的地层为第四纪冲洪积层,主要为粉、细、砾砂及可塑性粘性土,部分为软塑至流塑状粘性土,潮湿至饱和状的粗、中砂、圆砾砂,自稳能力极差,属铁路 I 类围岩。地下水位分为两层,第一层为上层滞水型,水位不定,受地层结构和大气降水及管网漏水的影响,其水位一般在地面以下 5~15m。第二层为潜水型,位于地面以下 21~23m,年变化幅度为 1.5~3m。地震基本裂度为八度。

车站设计为三拱两柱双层结构(上为站厅层,下为站台层),岛式站台。车站长 260m,最大跨度 26.14m,高 13.5m,最大开挖断面为 $340\text{m}^2/\text{m}$;车站覆盖厚度 6m,覆跨比 0.23,属超浅埋大跨度地下结构工程。

由于西单车站位于繁华的迎宾国道下,其位置具有特殊性,建设单位对该工程的设计施工提出如下几个方面的要求:一是采用暗挖法设计和施工;二是地表最大下沉量控制在 30mm 以内;三是各种地下管网线路保证不断、不裂、不渗、不漏,确保正常使用;四是施工过程必须做到“稳妥可靠、万无一失、绝对安全”。故此,我们对西单车站的施工方案进行了多方比选论证,确定了“双眼镜”施工方法和正洞主体洞室开挖程序。

根据车站埋深浅、覆盖薄、跨度大、土质松散、自稳能力差、结构受力复杂等特点,对初期综合支护系统的技术参数确定如下设计原则:(1)初期支护体系承受施工过程中的全部荷载(包括动静荷载);(2)为确保环境稳定,各部位初期支护结构要有足够的强度和刚度,最大相对位移不得超过跨径的 0.1~0.25;(3)坚持快封闭强支护的原则。

鉴于上述要求,我们对车站主体结构初期支护体系的技术和工艺采取综合运用的措施,并通过模拟试验确定了大管棚超前钻设护顶,小导管注浆固结地层,格栅喷锚支护(间距 0.5~

0.75m),挂网喷 C20 混凝土厚 30cm 等项配套作为综合初期支护的控制系统。

二、大管棚超前护顶施工技术和工艺

1. 超前支护辅助工法的比选

西单车站采取的“双眼镜”暗挖法施工,按以大化小,由小到大,上下弧导,双层掘进,先挖两边,后取核心的方案进行。要在覆盖层仅有 6m 浅埋土质松软的地层中,开挖正洞主体两边孔上弧导跨度在 11.0m 以上的洞室,不做好超前支护是极其危险的。

以前常用的超前支护方法,主要有插板法、锚杆法和小导管注浆法等。由于这些方法的超前支护长度有限(一般只能达到 4~6m),因而,普遍存在以下问题:一是插板或锚杆前端伸入滑动线内距离较短,开挖段长度受限制,必须频繁进行超前支护,这样势必影响施工进度;二是在自稳能力极差的软弱围岩中,由于超前支护长度短,插板或锚杆前端仍在掌子面破裂角范围内,起不到支撑保护作用,极易发生沉陷甚至流塌,难以保证地表沉陷量不超过 30mm 和施工中的安全;三是用上述方法施作超前支护,其机械化程度低,施作时间较长。因此,上述方法适应不了本工程的要求。

采用大管棚超前支护具有明显的优势。它一次打入长度达 20m,可超越松弛区,伸入到地层原状土部位,稳妥可靠;开挖段增长,可减少超前支护施作次数,缩短施作时间;可实施机械化作业,管棚质量有保证,施工进度快;大管棚直径大,管壁较厚,刚度较高,受力均匀,支护效果可靠。因此根据该工程的特点和条件,确定采用大管棚超前支护辅助工法。

2. 主要技术参数的确定

①管棚的直径。采用 $\phi 115\text{mm}$ 通用焊缝钢管,每节管长 6m。

②管棚的最佳长度

我们选用的土星系列钻机,一般由钻机能力、地层条件和施工工艺确定。设计钻孔深度 30m,试钻时曾多次钻深达 20~26m,最深达 32.5m。实践中测得的最佳钻孔精度在钻深 20m 以内。由于厂制钢管 6.0m 者居多数,因此确定一次管棚长度为 18m(3 根 6m 长管焊接),开挖 15m,搭接长度 3.0m。管棚沿洞室拱部以每米 3 根间距单层环形设置。

③管棚荷载的分析计算

管棚超前支护,一般都用在松散软弱,断层破碎带、岩堆,土砂崩塌或塌方体等破碎松散地层。在研究确定钢管断面时,要先确定作用在管棚上的土压荷载。根据国外资料介绍,实际作用在管棚上的土压与理论计算值相差较大。日本对管棚土压的实测值只有理论值的 $1/4\sim 1/3$ 。由于管棚上的土压受到埋深、地质、漏水、施工方法、暴露时间等众多因素的影响,其受力大小和分布是比较复杂的。西单车站的管棚现场实测表明,管棚荷载为理论计算值的 40%~50%。

④管径及材质

本着节约投资、节省钢材的原则,在确保质量的前提下,对三种管棚材料进行了多次试验、比选。经力学试验,A3 钢焊接钢管屈服应力为 240MPa,本工程经大管棚现场应力测试结果为 170~190MPa。此外还做了 40 节 1.5 的 $\phi 115\text{mm}\times 4.5\text{mm}$ 焊接钢管的实钻试验,没有发生扭开和断裂及脱扣的现象,完全满足要求。因此,确定采用 $\phi 115\text{mm}$ 焊接钢管壁厚 $>4.5\text{mm}$ 的大管棚钢管。

⑤钢管间距

钢管的最小间距,由管棚承受的荷载条件和施工精度确定。水平钻机的垂直度是随着钻孔