

锚杆支护

配套技术设计与施工

张向东 张树光 刘松 / 编著

MAOGAN ZHIHU
PEITAO JISHU SHEJI
YU SHIGONG



中国计划出版社

锚杆支护配套技术设计与施工

张向东 张树光 刘松 编著

中国计划出版社

图书在版编目(CIP)数据

锚杆支护配套技术设计与施工 / 张向东, 张树光, 刘松编著. —北京: 中国计划出版社, 2003. 9
ISBN 7-80177-228-8

I. 锚... II. ①张... ②张... ③刘... III. 锚杆-巷道支护 IV. TD353

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 083550 号

锚杆支护配套技术设计与施工

张向东 张树光 刘松 编著

☆

中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码: 100038 电话: 63906413 63906414)

新华书店北京发行所发行

世界知识印刷厂印刷

850 × 1168 毫米 1/32 6.5 印张 166 千字

2003 年 9 月第一版 2003 年 9 月第一次印刷

印数 1—4000 册

☆

ISBN 7-80177-228-8/TU · 132

定价: 12.00 元

内 容 提 要

全书共分五章：第一章总论，主要论述锚杆支护技术现状及发展趋势，锚杆的类型与应用，锚杆支护的配套技术。第二章光面爆破，主要介绍光爆的类型、原理以及实现光面爆破的主要技术措施，光面爆破参数的确定方法，切槽孔光爆新技术以及爆破安全技术。第三章喷射混凝土，主要论述喷射混凝土的发展历史，喷射混凝土的类型、特点与作用原理，喷射混凝土的材料与喷射机，干式喷射混凝土、潮式喷射混凝土、湿式喷射混凝土、纤维喷射混凝土和 SEC 喷射混凝土，以及喷射混凝土支护设计和技术存在的主要问题及处理方法。第四章其他配套技术，主要介绍金属网、塑料网的类型，钢带的类型，金属支架、混凝土及钢筋混凝土支架的类型及工程应用。第五章新奥法施工与监控测量，主要介绍新奥法的特点与基本准则，以及地下工程监控测量方法，包括围岩松动圈量测、锚杆监测、混凝土喷层监测、围岩位移监测等。

全书体系合理，内容充实、新颖，实用性强。可作为施工单位、设计单位、科研单位、大专院校等科技人员的参考用书。

前 言

锚杆支护具有技术先进、经济合理、质量可靠、用途广泛等一系列明显的优点。与传统支护相比，锚杆支护可以减薄支护厚度 $1/3 \sim 1/2$ ，减少岩石开挖量 $10\% \sim 15\%$ ，节省全部模板和 40% 以上的混凝土，加快施工速度 $2 \sim 4$ 倍，节省劳动力 40% 以上，降低支护成本 30% 以上。因此，自20世纪50年代问世以来，在世界各地矿山、建筑、铁道、公路和水利水电等部门广为应用。尤其是近20年来，世界各国均投入大量的人力、物力和财力对锚杆支护技术进行了系统深入的研究，新的科研成果不断涌现，并在生产实践中收到了明显的经济效益。目前，锚杆支护已成为地下工程的主要支护形式，应用范围在不断扩大。从硬岩发展到松软、破碎围岩；从小断面发展到大断面；从一般条件发展到大冒顶、大淋水、底鼓和地质构造带等复杂条件。

锚杆是存在于“锚杆-围岩”相互作用体系中的一种“内支护”，其作用在于改善围岩的力学性质和受力状况，从而使被动的岩体转变为主动的承载结构。但是，单纯锚杆支护不能防止围岩的风化，不能有效控制杆间岩石的剥落，通常在围岩松动或大变形的情况下，导致锚杆支护的失效。因此，锚杆应配合其他配套措施，以扩大其应用范围和改善支护效果。

本书系统论述锚杆支护的配套措施，包括光面爆破、喷射混凝土、网、带、架、锚等，对锚杆支护技术的全面推广应用和锚杆支护技术水平的提高，具有显著的经济效益和社会效益。其具体内容主要为：锚杆支护技术现状及发展趋势，锚杆的类型与应用；光面爆破的类型、原理以及实现光面爆破的主要技术措施与光面爆破参数的确定方法；喷射混凝土技术的发展历史、类型、

特点与作用原理，喷射混凝土的材料与喷射机；网、钢带、支架等的类型与工程应用；新奥法施工及地下工程围岩松动圈、锚杆与喷层、围岩位移等的监测。全书力求反映目前锚杆支护配套技术的最新研究成果，以广大科技工作者为主要服务对象，可作为勘察设计单位、科研单位、施工单位和大专院校等科技人员的重要参考资料。

本书由辽宁工程技术大学张向东教授（博士生导师）、张树光副教授，阜新市质监站刘松高级工程师编著。在编著过程中，东北大学、北方交通大学、中国矿业大学、冶金建材总院、煤炭科学研究总院的许多专家提出了宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，本书的错误和不当之处在所难免。衷心希望读者批评指正，并提出宝贵的意见和建议。

著 者

2003年1月

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 锚杆加固技术的发展	(1)
第二节 锚杆的类型	(5)
第三节 锚杆支护配套技术	(19)
第二章 光面爆破	(22)
第一节 概述	(22)
第二节 光面爆破的原理与措施	(24)
第三节 光面爆破参数及工艺	(28)
第四节 切槽孔爆破新技术	(44)
第五节 爆破安全技术	(51)
第六节 光面爆破实例与分析	(53)
第三章 喷射混凝土	(58)
第一节 概述	(58)
第二节 喷射混凝土的支护特点与作用原理	(61)
第三节 喷射混凝土的材料与配合比	(63)
第四节 混凝土喷射机	(74)
第五节 干式喷射混凝土	(82)
第六节 潮式喷射混凝土	(87)
第七节 湿式喷射混凝土	(90)
第八节 纤维喷射混凝土	(95)
第九节 SEC 喷射混凝土	(110)
第十节 喷射混凝土支护设计	(115)

第十一节	喷射混凝土技术存在的主要问题 与处理	(118)
第四章	其他配套技术	(127)
第一节	网	(127)
第二节	钢带	(134)
第三节	金属支架	(136)
第四节	其他二次支护形式	(149)
第五章	新奥法施工与监控测量	(152)
第一节	新奥法	(152)
第二节	监控测量	(161)
参考文献	(190)

第一章 总 论

第一节 锚杆加固技术的发展

锚杆加固技术具有安全、快速、低成本特点，一开始就得到人们的广泛关注和高度重视。国外自 20 世纪 40 年代在地下工程中使用锚杆支护以来，发展非常迅速，现已成为地下工程的一种主要支护形式。例如，美国、澳大利亚的地下工程支护中，锚杆支护占 90% 以上。西欧、中欧等国家以及日本等国，传统的支护方式是金属支架，近 20 多年来，这些国家锚杆支护也有很大的发展，并成为地下工程的主要支护形式。锚杆加固技术不仅用于地下工程的支护，而且在深基坑维护、边坡治理与加固、危险建筑物与结构物加固等方面，得到了越来越广泛的应用。

我国锚杆加固技术早在 20 世纪 50 年代中期就已起步，当时主要采用机械式金属锚杆，发展速度缓慢。20 世纪 60 年代初研制了压缩木锚杆，在一定程度上促进了锚杆支护技术的发展，最高年使用量曾达 100 余万套。后由于种种原因，锚杆使用量逐年下降。到 20 世纪 70 年代初，压缩木锚杆被大量积压，锚杆支护技术处于低谷。恰在此时，我国原煤炭部在科研部门的配合下，在湖南试验成功了“锚杆-喷射混凝土支护”，以代替传统的砌碛，优越性十分明显。1975 年在鹤壁召开了全国第一次锚喷会议，决定将锚喷支护作为地下工程支护改革的发展方向在全国推广应用。相应地成立了各级锚喷支护领导小组，进行全国规划。一方面组织科研力量对锚喷材料、施工机具、施工工艺、锚喷支护理论及设计方法进行不断的研究；一方面加强领导与管理，组

织各种培训班、经验交流会、学术研讨会等，进行大力的宣传，锚喷支护在我国得到了迅猛的发展，支护量成倍增加，新的科研成果不断涌现，并在生产实践中收到了明显的经济效益和社会效益。目前，锚喷支护已成为巷道的主要支护形式，应用范围在不断扩大。从硬岩发展到松软、破碎围岩；从小断面发展到大断面硐室、交叉点、马头门等；从一般条件发展到大冒顶、大淋水、底鼓和地质构造带等复杂条件；从地下工程支护发展到地下工程维修；从仅受静压作用的地下工程发展到受动压影响的地下工程。在矿山、交通、建筑、水利水电、军事人防等工程中得到越来越广泛的应用。

从目前我国实际发展情况看，锚喷支护技术在某些方面已接近国际先进水平。主要体现在如下几个方面：

(1) I、II、III类围岩锚杆加固技术已经取得成熟经验，可大面积推广应用；IV类围岩锚杆加固技术，在大部分地区也取得了成功，并已研制出各种计算机软件，可在专门设计的情况下推广应用；V类围岩的锚杆支护正处于试验研究阶段，并在部分地区取得成功。目前，全国相关大学或科研单位已形成了具有一定规模的、水平较高的、专门从事锚杆加固技术研究和推广应用的科研力量，对促进锚杆加固技术的发展、提高锚杆加固技术的水平将起到积极的作用；

(2) 锚杆钻机国产化进程加快，已逐渐能满足我国工程建设的需要。在锚杆支护材料方面，与锚杆支护配套的托盘、W型钢带、金属网等产品的生产技术已完善，已有条件大批量生产；

(3) 在推广应用锚杆支护的同时，已研究开发出了多种锚杆支护施工质量检测用仪器、仪表，它们大部分产品质量好、体积小、质量可靠，能满足不同层次锚杆支护施工质量监测的需要。

近些年来，锚杆支护技术处于稳步发展阶段，尤其是松软、

破碎、膨胀岩层锚杆支护技术发展迅速。锚喷支护具有技术先进、经济合理、质量可靠、用途广泛等一系列明显的优点。与传统支护相比，锚喷支护可以减薄支护厚度 $1/3 \sim 1/2$ ，减少岩石开挖量 $10\% \sim 15\%$ ，节省全部模板和 40% 以上的混凝土，加快施工速度 $2 \sim 4$ 倍，节省劳动力 40% 以上，降低支护成本 30% 以上。此外由于锚喷支护不需要模板，无需回填，因而大大改善了劳动条件，减轻了劳动强度，为支护施工机械化创造了有利条件。

锚喷加固技术应用范围十分广泛，它可以在各种不同岩类、不同跨度、不同用途的地下工程中，受静载或动载时作临时支护、永久支护、结构补强以及冒落修复等之用，而且还可用于深基坑维护、边坡治理与加固、危险建筑物与结构物加固等方面。

虽然我国锚杆加固技术近 20 多年来已取得巨大的进步，但今后仍需要巩固与发展现有的锚杆支护成果，不断进行锚杆设计理论、施工机械、施工工艺等方面的研究，其发展的方向与途径为：立足于我国国情及围岩地质和力学条件，确保锚杆支护的安全可靠、经济和快速施工，将我国锚杆支护技术提高到一个新的水平。为此，需要开展以下工作。

(1) 急需建立适合于锚杆加固技术的设计方法。目前，我国中硬以上岩石地下工程锚喷加固技术已经过关。软弱、破碎、流变、膨胀等围岩的锚杆支护还存在大量的问题需要研究解决。其中之一是设计方法还沿用传统的设计方法，如悬吊理论、组合梁理论、组合拱理论等，还没能针对特定的工程地质条件建立符合其特点的支护原理及设计方法。国外使用锚杆的主要国家有各自不同的设计方法，例如，德国采用有限元分析；澳大利亚、英国依靠原始地质数据，采用计算机手段，提出初步设计，确定锚杆支护参数，甚至预计地下工程收敛变形量，然后由实际监测数据反馈修正初步设计，并评价支护的合理性。随着计算机技术、专家系统理论、人工智能技术等的发展，一个以现代技术为手段，以实际工程地质条件为依据，以施工经验为基础的综合性的

设计方法将很快投入工程实践。

(2) 适当加大锚杆支护参数, 提高锚杆的破断荷载及锚固力, 以提高锚杆支护的安全可靠性。例如, 国外锚杆直径常使用 $\phi 20\text{mm}$ 、 $\phi 22\text{mm}$ 、 $\phi 24\text{mm}$, 且多用 $\phi 22\text{mm}$ 。破断荷载一般均达到 $200 \sim 300\text{kN}$, 甚至更高。一般采用全长树脂药卷锚固, 锚固力一般在 20kN 以上。我国锚杆直径一般采用 $\phi 14\text{mm}$ 、 $\phi 16\text{mm}$ 和 $\phi 18\text{mm}$ 的, 锚杆方式多为端锚, 其破断荷载和锚固力一般为 $50 \sim 90\text{kN}$ 。又如, 锚杆长度国外多用 $2.0 \sim 2.4\text{m}$, 有时兼用 4.0m 以上的长锚杆或锚索。锚杆间排距一般 $0.8 \sim 1.2\text{m}$ 。而国内锚杆长度多用 $1.5 \sim 1.8\text{m}$, 锚杆间排距为 $0.6 \sim 0.8\text{m}$, 个别达 1.0m , 处于密而短的状况。锚固力低, 施工速度慢, 目前我国的一些工程技术人员, 已认识到这个差距, 并在逐步改善。

(3) 在围岩压力、变形较大或围岩破碎的情况下, 国内外均使用锚网带或锚网喷组合支护, 必要时配合二次支护, 结构形式类似, 但国外的组合零件材质较好, 强度较高。

(4) 在煤矿, 应研究和改善煤帮锚杆支护。为了满足采煤机对煤帮的切割, 煤帮锚杆应发展可切割锚杆, 或锚头可切割、杆体可回收的锚杆, 锚杆支护阻力最少应达到 40kN 以上, 以确保安全, 达到最好的控制围岩变形的效果。例如, 国外煤矿在不需切割的煤帮采用金属锚杆, 而在采煤机切割的煤帮采用玻璃钢锚杆。我国煤矿煤帮锚杆多采用木锚杆或竹锚杆, 由于锚固力只有 $10 \sim 20\text{kN}$, 锚固力低, 不但造成两帮变形大, 而且引起顶板的下沉和离层, 难于保持煤巷的稳定, 需要进一步改进和提高。

(5) 在锚杆支护监测方面, 国内外均进行了大量的围岩及锚杆支护监测工作, 主要测定围岩的收敛量、锚杆锚固力、锚杆实际受力状态、围岩松动范围、深部围岩位移等。今后, 应发展顶板离层及冒落的预警预报系统, 以防止顶板事故的发生。另外, 应研究锚杆支护的非破损检测技术, 实现无损检测。

(6) 完善和发展锚杆施工机具。目前, 国外主要使用机载锚

杆钻机及单体锚杆钻机，主要以风动为主。国内主要使用单体锚杆钻机，电动、风动、液压均有，但存在一些问题，主要表现在：

- ① 零部件质量不够高，使用中损坏较大；
- ② 打眼角度不够大，影响工程实际应用；
- ③ 搅拌药卷和拧螺母的工序单独进行，影响掘进速度，需要研究快速安装系统；

④ 钻头、钎杆的质量需进一步提高，延长它们的使用寿命，以提高钻眼速度和降低成本。

由于我国各地区工程地质条件复杂多变，几种钻机难以适应。因此，发展性能优良、经济实用的锚杆钻机势在必行，并应尽快形成系列产品。

第二节 锚杆的类型

理论和实践均证明，在各种形式的锚喷支护体系中，都是以锚杆作为主体的。锚杆在整个支护系统中起到了举足轻重的作用，扮演着重要的角色。而其他支护措施，如喷射混凝土、金属网、钢带、金属支架等都属于配套措施，可视具体情况因地制宜地选用。因此，凡是以锚杆为主体、控制围岩的变形与破坏、维护围岩稳定的，统称为锚杆支护，这就突出了锚杆在锚喷支护中的重要作用。

锚杆支护作为一类支护方式，主要有下述几种具体的形式：

- (1) 单体锚杆支护；
- (2) 锚杆+喷射混凝土（或砂浆）支护，简称锚喷支护；
- (3) 锚杆+网支护，简称锚网支护；
- (4) 锚杆+网+喷射混凝土支护，简称锚网喷支护；
- (5) 锚杆+钢带支护，简称锚带支护；
- (6) 锚杆+网+带支护，简称锚网带支护；
- (7) 锚杆+桁架支护，简称锚桁支护；

(8) 锚杆 + 网 + 桁架支护，简称锚网桁支护；

(9) 锚索支护。

以上属于一次支护形式，对于地压大、变形严重的软岩、破碎、膨胀等地下工程，或永久性重要地下工程可采用二次支护形式，即在一次支护的基础上，再复喷混凝土，或现浇混凝土及钢筋混凝土，或架设金属支架、钢筋混凝土弧板，或砌筑料石碇等。

目前，世界各国及各行业采用的不同种类、特性和用途的锚杆已达数百种。按照锚杆与被支护岩体锚固方式可将其划分为机械式、粘结式和摩擦式三类；根据锚固段位置与长度又可分为端头锚固与全长锚固两类；按照锚杆作用特点可将其分为主动式与被动式（主动式锚杆安装后施加预应力，将锚固范围内岩层夹紧，形成组合梁或拱的承载结构，可以提高围岩的稳定性。被动式锚杆不对杆体施加预应力，只有在围岩开始变形后才开始起加固作用）；按照锚杆工作特性可将其划分为刚性及可缩性锚杆，可缩性锚杆又可分为增阻可缩性与恒阻可缩性锚杆（见图 1-1）；按照杆体材料的不同，又可分为木锚杆、竹锚杆、金属锚杆、（钢筋）混凝土锚杆以及聚酯锚杆等。

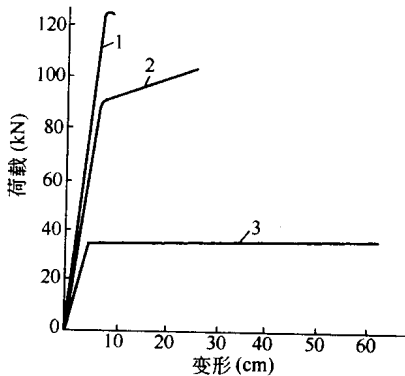


图 1-1 典型锚杆支护特性曲线

1—刚性锚杆；2—增阻式可缩性锚杆；3—恒阻式可缩性锚杆

一、机械式锚杆

机械式锚杆一般属于端头锚固式，并且锚杆的安装需要施加预应力，属于主动式锚杆。常见锚头类型包括涨圈式、倒楔式和楔缝式等，常用金属杆体直径 14~22mm，也有 30~32mm 的，杆体长度 0.65~5.25m。

涨圈式锚杆如图 1-2 所示，由楔子、涨圈、杆体、托板、螺帽等组成。标准的涨圈式锚头为沿纵向分割为两瓣或四瓣的一段短管，另一端为未分割的刚性部分。涨圈外表面加工成锯齿状，以增加锚固力。组装好的锚杆送入孔底后，旋转杆体，使楔子滑动，迫使涨圈张开，嵌入孔壁，实现端锚。涨圈式锚杆的锚固力主要取决于涨圈与孔壁的接触情况、岩石性质及锚固点附近岩石的完整性，一般取其设计锚固力为 50kN，实测锚固力可达 40~130kN。这种锚杆机械加工量大、成本较高，但可回收复用。

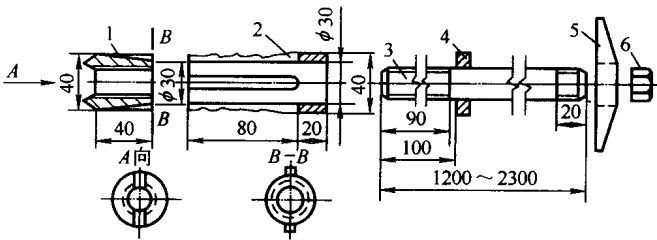


图 1-2 涨圈式金属锚杆

1—楔子；2—涨圈；3—杆体 ($\phi 18 \sim 22\text{mm}$)；4—挡圈；5—托板；6—螺帽

倒楔式金属锚杆如图 1-3 所示，由活动楔、固定楔、杆体、托板和螺帽等组成。如果固定楔为铸铁的，则与杆体浇铸为一体，相应的活动楔也是铸铁的。如果固定楔是钢制的，则与杆体螺纹连接，相应的活动楔也是钢制的。楔子的尺寸和锥度对锚固力的大小影响很大。倒楔式锚杆构造简单，安装方

便，易于回收，安装后可立即发挥支护作用。金属倒楔式锚杆的锚固力一般可达 30 ~ 50kN。在围岩松软、破碎时，锚固效果差，不宜采用。

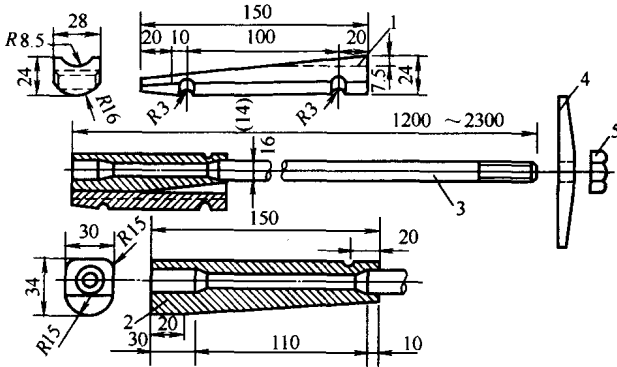


图 1-3 倒楔式金属锚杆

1—活动楔；2—固定楔；3—杆体（ $\phi 14 \sim 18\text{mm}$ ）；4—托板；5—螺帽

楔缝式锚杆按使用材料不同，又分为金属楔缝式锚杆、木楔缝式锚杆和竹楔缝式锚杆。

金属楔缝式锚杆如图 1-4 和图 1-5 所示，由杆体、楔子、托板和螺帽等组成。其杆体用 Q235 或 Q275 钢制成，直径 16 ~ 25mm，长度 1.5 ~ 2.0m，杆体内锚头上有 2 ~ 5mm 宽、150 ~ 200mm 长的纵向楔缝，外锚头带有 100 ~ 150mm 的标准螺纹。楔子一般用铸铁制成，较楔缝短 10 ~ 20mm，楔头厚 1.5 ~ 2.0mm，楔尾厚 20 ~ 25mm，楔宽与杆体直径相同。安装时将楔子装入楔缝并送入孔底，冲击锚杆外锚头使楔子撑开楔缝，造成内锚头紧压孔壁，产生所需锚固力。然后，安装托板使锚杆进入工作状态。该种锚杆的锚固力受许多因素的影响，如杆体直径、楔缝宽度、楔子长度、楔子端头厚度、楔子锥度以及钻孔直径、岩体性质等。其设计锚固力为 40kN，若在中硬以上岩体中使用，并加大锚头，锚固力可达 60kN 以上。楔缝式锚杆具有结构简单、制

造容易、成本低、易于安装等优点。但对眼深及孔径要求严格，对软弱破碎岩体锚固力差，故不宜在软岩中使用。此外，未灌浆时其抗震能力差，且回收复用很困难。

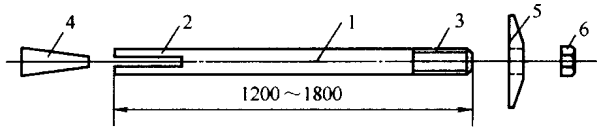


图 1-4 楔缝式锚杆

1—杆体；2—纵缝；3—丝扣；4—楔子；5—托板；6—螺帽

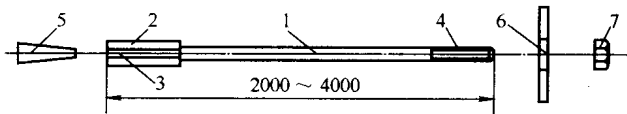


图 1-5 大锚头楔缝式锚杆

1—杆体；2—大锚头（ $\phi 32 \sim 36\text{mm}$ ）；3—纵缝；
4—丝扣；5—楔子；6—托板；7—螺帽

木楔缝式锚杆如图 1-6 所示，其杆体由硬杂木制作，直径一般为 28mm，长度 1.2~1.8mm，杆体上、下端均加工出长度 250mm 左右的纵向缝。楔子长 150~200mm，厚 20~25mm。木锚杆设计锚固力 10~20kN，不防腐可使用 1 年左右。防腐处理后配合喷浆可使用 5~10 年。

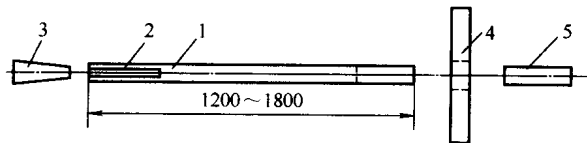


图 1-6 木锚杆

1—杆体；2—纵缝；3—内楔；4—托板；5—外楔（规格同内楔）

竹锚杆是用四根厚 8~10mm、宽 30~38mm 的竹片，22 号铅丝箍成圆形杆体，箍间距 300~400mm（如图 1-7 所示）。楔子和垫板均用木材加工，要求同普通木锚杆。竹锚杆的锚杆力一