

# 矿井支护设计

[土] C·庇隆 E·阿里欧格卢 著  
谈鸣时 译 乔福祥 史国华 校

## DESIGN OF SUPPORTS IN MINES

中国矿业大学出版社

# 矿井支护设计

(土)C.庇隆 E. 阿里欧格卢 著

谈鸣时 译

乔福祥 史国华 审校

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

《矿井支护设计》一书共分六章：木支架、平巷钢支架、顶板锚杆和桁架、长壁工作面钢支架、混凝土支护、充填法。内容涉及各种支护手段。书中列举了各种范例，给出了有关木支架、拱形钢支架、顶板锚杆、液压支架、喷射混凝土、井筒砌碇、水沙充填等设计计算所需的大量公式、图表和技术数据，提供了数字实例和实际尺寸，可作为实考、际工作的参

本书内容简洁，阐述深入浅出，可读性强，它既是一本理论性著作，又是一本简明的实用设计手册。对采矿界的工程技术人员和大中专院校的师生都有参考价值。

责任编辑 谢桂林

## DESIGN OF SUPPORTS IN MINES

Cemal Birön & Ergin Arioglu

John Wiley & Sons, Inc. 1983

矿井支护设计

〔土〕C·庇隆 E·阿里欧格 著

谈鸣时 译

乔福祥 史国华 校



中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本850×1168毫米1/32 印张 6.75字数 168千字

1991年5月第一版 1991年5月第一次印刷

ISBN 7-81021-496-9

T D·99 定价 3.20元

## 引 言

对采矿工程师来说，首先面临的是如何管理好顶板，因此，了解矿井支护设计是一项基本要求。设计过程各细节涉及的面很广，本书只讨论其中最主要的内容。

尽管木支架在一些国家中已不怎么使用了，但对很多无法使用金属支柱的地方，它仍是主要的支护材料。本书讨论了坑木在拉伸、劈裂、挠曲和剪应力等条件下的强度，并给出了概略的工程数据。然后，介绍了如何计算作用在平巷木支架和长壁工作面支架上的压力，以及平巷和长壁工作面木支架、如顶梁、立柱、背板和辅助支撑等的设计计算，强调了经济因素，即设计所用的材料量最少。

当前，在很多矿井中钢材已取代了木材。本书讨论了有关钢材的一些工程特性，如应力、硬度、断裂方式、惯性矩、兰金比等，以及刚性拱、铰接（柔性）拱和让压拱的设计方法，着重强调了顶板锚固的作用以及各种顶板锚杆的设计。

详细讨论了长壁工作面的钢支架，如摩擦支柱和单体液压支柱；着重介绍了液压支架及其设计，其中包括若干欧洲国家的经验。

本文深入研究了混凝土支护的工程特征（特别是喷射混凝土）并介绍了井筒和平巷砌碇的设计方法。

充填法是本书最后讨论的支护方法。详细论述了水沙充填法——这种方法正日益得到有效的应用，并扼要地给出了设计所需的数据。

# 目 录

## 引言

<b>第一章 木支护</b> .....	1
第一节 矿井中木支护的状况.....	1
第二节 坑木的工程特征.....	2
一 纤维结构.....	2
二 影响木材的因素.....	2
三 坑木的强度.....	4
第三节 木支架上的压力.....	23
一 压力的估算.....	23
二 巷道上的压力.....	23
三 长壁工作面上的压力.....	28
第四节 木支护的设计.....	34
一 设计原则.....	34
二 平巷木支架.....	35
三 平巷的辅助支撑.....	43
四 优化设计.....	47
五 长壁工作面的支架设计.....	49
<b>第二章 平巷钢支架</b> .....	53
第一节 钢材的重要性.....	53
第二节 钢材的工程特性.....	53
一 化学结构.....	53
二 机械性能.....	54

三	支护件的特征	56
第三节	刚性拱设计	61
一	刚性拱支架	61
二	应力计算	61
三	拱断面设计	63
四	计算实例	64
第四节	铰接(柔性)拱设计	66
一	铰接拱支架	66
二	两节式柔性拱的设计	67
三	三节柔性铰接拱的设计	70
第五节	让压拱构件的设计	71
一	让压拱构件	71
二	让压拱构件的估算	72

### 第三章 顶板锚杆和桁架 75

第一节	顶板锚杆原理	75
第二节	顶板锚杆种类	76
一	楔缝式锚杆	76
二	涨壳式顶板锚杆	77
三	水泥砂浆锚杆	79
四	树脂锚杆	81
五	顶板木锚杆	84
六	顶板锚杆的测试	85
第三节	顶板锚杆设计	87
一	锚固岩块的稳定性	87
二	锚杆长度	89
三	锚杆间距	89
四	锚杆直径	90

五	锚杆密度·····	91
六	算例·····	91
第四节	顶板锚杆的应用·····	93
一	房柱式采区平巷·····	94
二	长壁工作面顺槽·····	94
三	长壁工作面·····	99
四	金属矿·····	96
第五节	顶板锚固法的优点·····	99
第六节	顶板桁架·····	99
一	顶板桁架原理及历史·····	99
二	顶板桁架设计·····	100
<b>第四章</b>	<b>长壁工作面钢支架·····</b>	<b>103</b>
第一节	长壁面钢支架的演变·····	103
第二节	钢支柱和顶梁·····	106
一	摩擦支柱·····	106
二	液压支柱·····	107
三	铰接顶梁·····	110
第三节	支柱和顶梁的设计·····	111
一	支柱密度计算·····	111
二	支柱钻底·····	112
三	顶梁尺寸·····	113
第四节	液压支架·····	114
一	液压支架的出现·····	114
二	液压支架的类型·····	115
三	液压支架的简介·····	117
第五节	液压支架设计·····	120
一	支架有关参数·····	120

二	西德的方法	124
三	英国的方法	124
四	奥地利的方法	126
五	法国的方法	128
六	波兰的方法	129
七	美国的方法	134
<b>第六节</b>	<b>液压支架的优缺点</b>	<b>137</b>
一	液压支架的优点	137
二	液压支架的缺点	139
<b>第七节</b>	<b>液压支架的适用性</b>	<b>139</b>
一	顶板条件	139
二	底板条件	139
三	煤层厚度	139
四	煤层倾角	140
五	小断层	140
六	工作面上的水	140
七	采区服务年限	140
八	工作面长度和推进速度	140
九	班数	140
十	设备安装须知	141
<b>第五章</b>	<b>混凝土支护</b>	<b>142</b>
<b>第一节</b>	<b>混凝土的重要意义</b>	<b>142</b>
一	混凝土的优点	142
二	混凝土的缺点	143
<b>第二节</b>	<b>混凝土的组分</b>	<b>143</b>
一	水泥	143
二	骨料	144



三	其它组分	145
四	水	145
第三节	混凝土的工程特性	146
一	水与水泥量之比	146
二	致密度	147
三	骨料粒度	147
四	凝固条件	148
五	操作条件	148
六	混凝土配制	149
七	混凝土运输	150
八	混凝土浇注和养护	151
九	混凝土的强度	151
第四节	井下混凝土的应用	152
一	喷射混凝土	152
二	整体混凝土浇注	156
三	平巷混凝土块砌碇	157
四	井筒混凝土砌碇	158
五	人造顶板	159
第五节	混凝土设计	162
一	混凝土制备设计	162
二	喷浆设计	164
三	井筒砌碇设计	166
四	井筒壁座设计	167
五	人造顶板设计	169
附录5.1	有关英国的标准	169
附录5.2	有关美国ASTM(材料试验学会)	
	标准的选录	171

<b>第六章 充填法</b> .....	174
<b>第一节 充填法的重要意义</b> .....	174
一 充填料的数量.....	174
二 充填料的来源.....	715
三 充填法的优点.....	176
四 充填法的缺点.....	176
<b>第二节 充填法的应用</b> .....	177
一 手工充填.....	177
二 自重充填.....	180
三 机械充填.....	180
四 风力充填.....	181
五 水沙充填.....	183
六 固结法充填.....	186
<b>第三节 水沙充填设计</b> .....	188
<b>第四节 充填法的经济分析</b> .....	193
<b>参考文献</b> .....	195

# 第一章 木 支 护

## 第一节 矿井中木支护的状况

二次世界大战结束前，木材（原木）曾是采矿作业中用于支护的最重要的材料。之后，钢材成为用于矿井支护的主要材料。考虑木材作为支护材料的理由，在于其仍然用于一些小型煤矿和金属矿。

坑木是一种轻质材料，在支护系统中最便于运输和使用。栎木具有 $0.73\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度和 $1200\text{kg}/\text{cm}^3$ 的抗挠强度。它比钢材轻10倍但强度低1倍。用于“短期”支护时，坑木是一种经济的材料。

当用于矿井中时，木材既有优点也有缺点。尽管其重要作用有所下降，但在许多采矿作业的支护系统中发现仍用坑木。一些优点如下：

1. 木材重量轻，便于运输、锯砍、处理和架成井下的棚子。

2. 木材沿一定的纤维结构断裂，在其遭到彻底破坏之前，发出可见和可闻的信号，这就使木材给予矿工心理上的安全感胜于钢材。

3. 折断了的材料可再用作木楔、垫块等等。

一些缺点如下：

1. 机械强度（抗挠、抗拉、抗弯、抗剪、抗压）都取决于木材内部存在的纤维结构和自然缺陷。

2. 湿度对强度有十分明显的影响。

3. 生活于潮湿条件下的大量菌类对坑木有影响，明显地降低其强度。

4. 坑木是一种易燃材料，在支护系统中能使火情迅速蔓延并产生有毒气体。

## 第二节 坑木的工程特性

### 一 纤维结构

木材含有45—50%左右的纤维素，20—25%的木质素，5%的果胶和20%的其它物质(1, p.56)。纤维素是形成木组织外壁的一种多糖物质，这些组织叫做纤维，木质素是木材中的一种胶结态的物质。它是一种三维的苯基丙烷单元的聚合物。果胶是包在组织外壁的浆状胶质物，由于暴露在水中，故对膨胀和收缩是十分敏感的(2, p.315)。

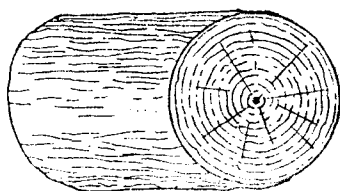


图1.1 木材的宏观结构

木材的结构示于图1.1。“有活性”的组织就是在紧靠树皮下面形成的一圈薄层。年复一年这一薄层陆续死掉并形成“年轮”——木材的最坚硬部分，这就是坑木的主要部分。

### 二 影响木材的因素

(一) 水 在坑木中水是最主要的成分。水份的25%左右是存在于活性组织中，余下的75%左右存在于纤维间的空隙中。新砍倒的树木含水30—35%。空隙中水份的损失是由环境温度和相对湿度造成的。在正常的条件下(20°C和相对湿度为80%时)，水的含量约为20%。任何木材的含水量小于此值时被认为是干燥的，相反，超过30%的木材被认为是潮湿的。从图1.2可看到环境的影响(2, P3.17)。

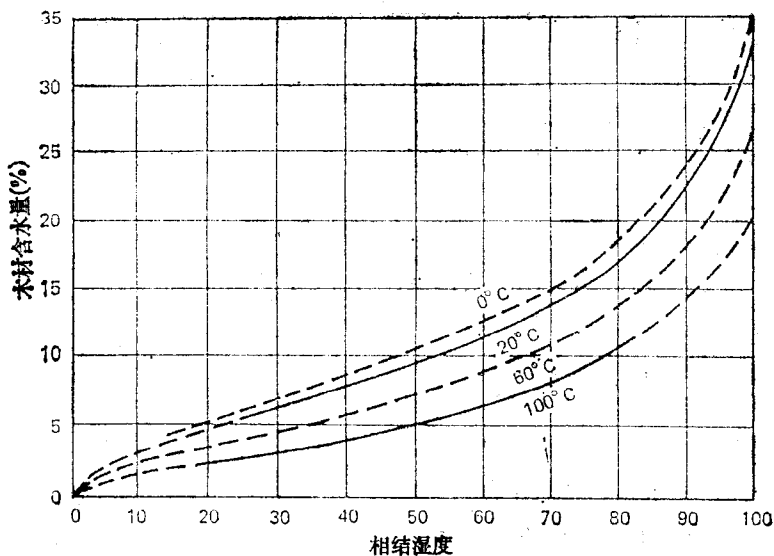


图1.2 环境对木材含水量的影响

(二) 原木的缺陷 作为一种天然材料，木材有许多由于其生长条件造成的缺陷。节疤，树杈的根部都影响到抗挠强度。此外，由于风吹和日照条件，年轮或许并不同心；由于干燥条件，可能形成龟裂。

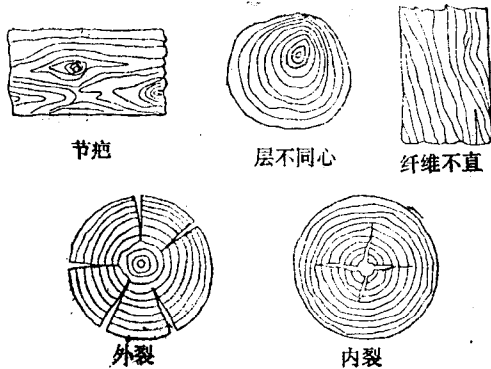


图1.3 木材的自然结构缺陷

这些缺陷已列举于图1.3(2, p. 319)。

### 三 坑木的强度

坑木承受着挠曲、压缩、纵向弯曲和剪切等作用力。下面将说明在这些条件下坑木的强度以及这些强度的因素。

(一) 抗拉强度 特别是平行于纤维结构时,木材的最大强度是抗拉强度。在表1.1(1, p.323)中列举了一些材料的抗拉强度。

平行于木纹(“木纹”和“纤维”在说明木材的纤维结构时是通用的)的木材抗拉强度是十分高的。经风干的情况下( $u=12\%$ ),有些木材可能达到 $3000\text{kg/cm}^2$ 的最大值。许多因素都影响到这些值。对若干种

表1.1 一些材料的  
抗拉强度\*

材 料	抗拉强度 ( $\text{kg/cm}^2$ )
钢丝的最大值	32 000
淬硬的铁丝	5500-8400
建筑用钢材	5200-6200
淬硬的铜丝	4200-4900
醋酸人造纤维	10 000
羊毛	3500
棉花	2800-8000
麻纤维	8800-9000
针叶树木材	500-1500
宽叶树木材	200-2600
竹	1000-2300

\* 参见文献1

表1.2 木纤维的平均  
抗拉强度\*

木材种类	早期木纤维 ( $\text{kg/cm}^2$ )	后期木纤维 ( $\text{kg/cm}^2$ )
红木	4850	9140
西特加云杉	8230	9070
湿地松	3300	6470
花旗松	3590	9980
白杉	5130	7310
红杉	3340	4780
白松	4220	4640

\* 参见文献4和1

木材来说,用于早期和后期的木纤维抗拉强度,表1.2(1, p.322)给出了杰恩(Jayne)提供的值。遗憾的是由于种种原因而在施工中无法利用这一高的抗拉强度。

载荷方向与木纹角的关系对抗拉强度有明显的影响。鲍曼(Baumann)研究了几种木材抗拉、抗挠和抗压强度的变化,并把一些变差列于图1.4(1, p.326)。

从芬兰松来看(图1.5),密度与抗拉强度有一正比关系(1,

p.327)。

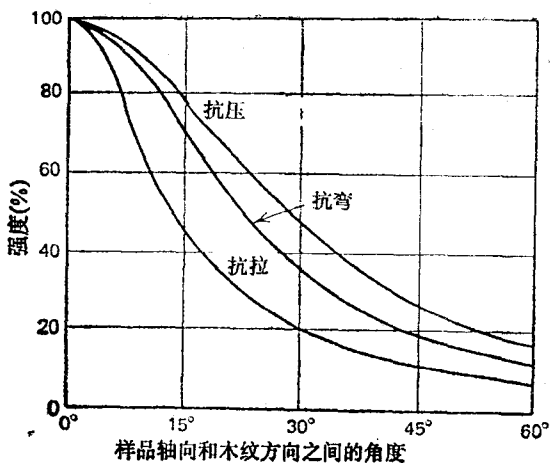


图1.4 抗拉强度与木纹方向之间的关系(1)

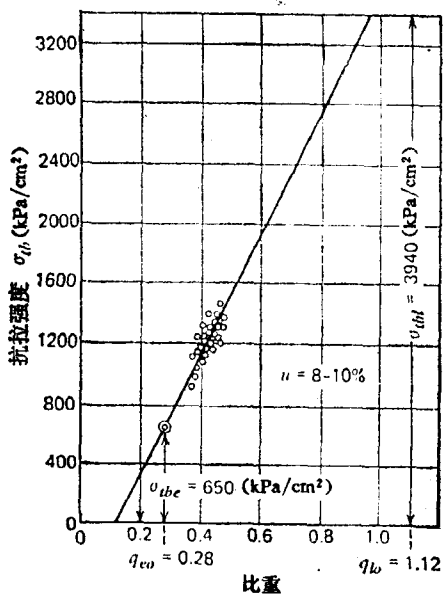


图1.5 抗拉强度与比重之间的关系(1)

与此相反，湿度却降低抗拉强度。许多研究工作者都指出：如图1.6所示，当纤维的含水量从10%到饱和点，抗拉强度呈线性地下降，根据林业产品实验室报导，含水量增加1%，沿木纹的抗拉强度降低3%左右。许多研究工作者的意见是含水量介于8—10%时，抗拉强度达到最高值。

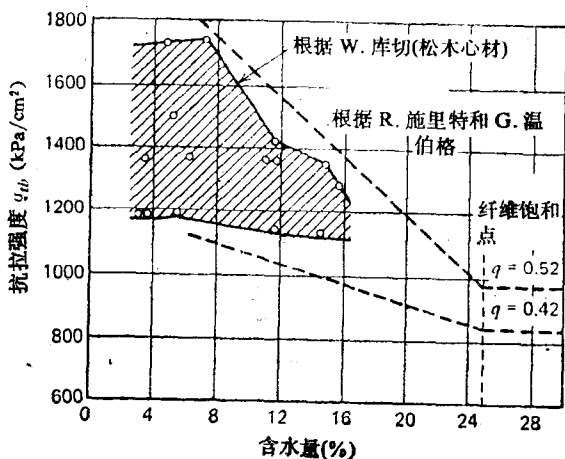


图1.6 抗拉强度与含水量之间的关系〔1〕

因为围绕节疤和树杈的木纹遭到破坏，节疤的纤维结构几乎垂直于木材的纤维，所以节疤和树杈也降低木材的强度。

(二) 抗裂强度 在木材的使用中，最大抗裂强度起到重要的作用。就风干的木材而言，按平均值计算，平行于木纹的最大抗裂强度仅达到沿木纹的抗拉强度的50%左右。木材在受压和受拉时表现出来的不同特性可由其纤维结构来解释。致密且胶结的纤维具有极高的抗张应力，在压力下，个别纤维有可能出现过早地弯曲，开始断裂〔1, p. 355〕。

抗裂强度与抗拉强度相比，加载角度和木纹方向的影响更加



明显。考尔曼 (Kollmann) (5)对松木和山毛榉的研究结果见图1.7和1.8(1, p.341—342)。

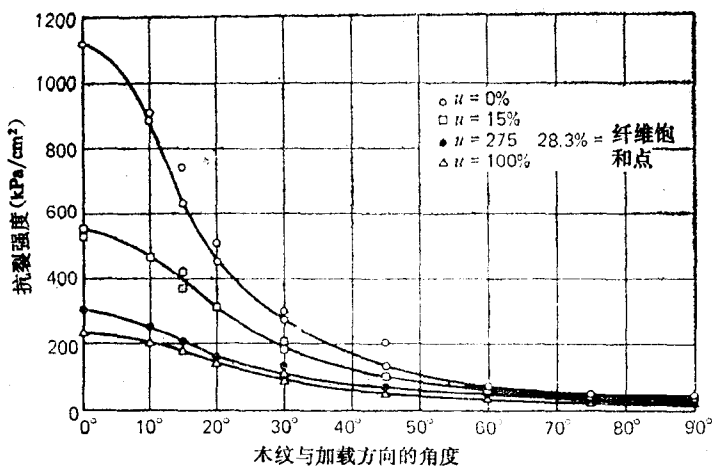


图1.7 松木的抗裂强度与木纹角度间的关系(1, 5)

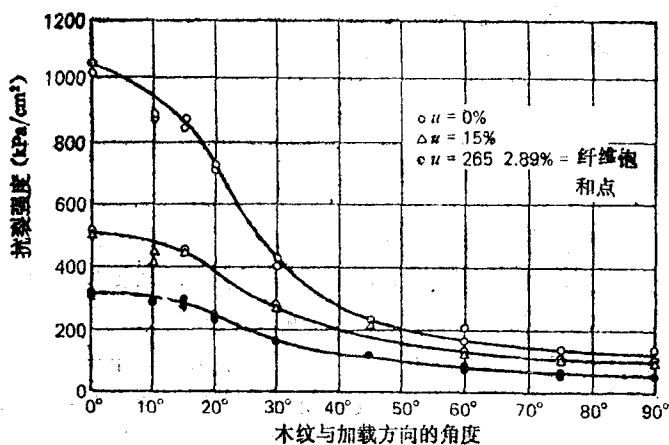


图1.8 山毛榉的抗裂强度与木纹角度之间的关系(1, 5)