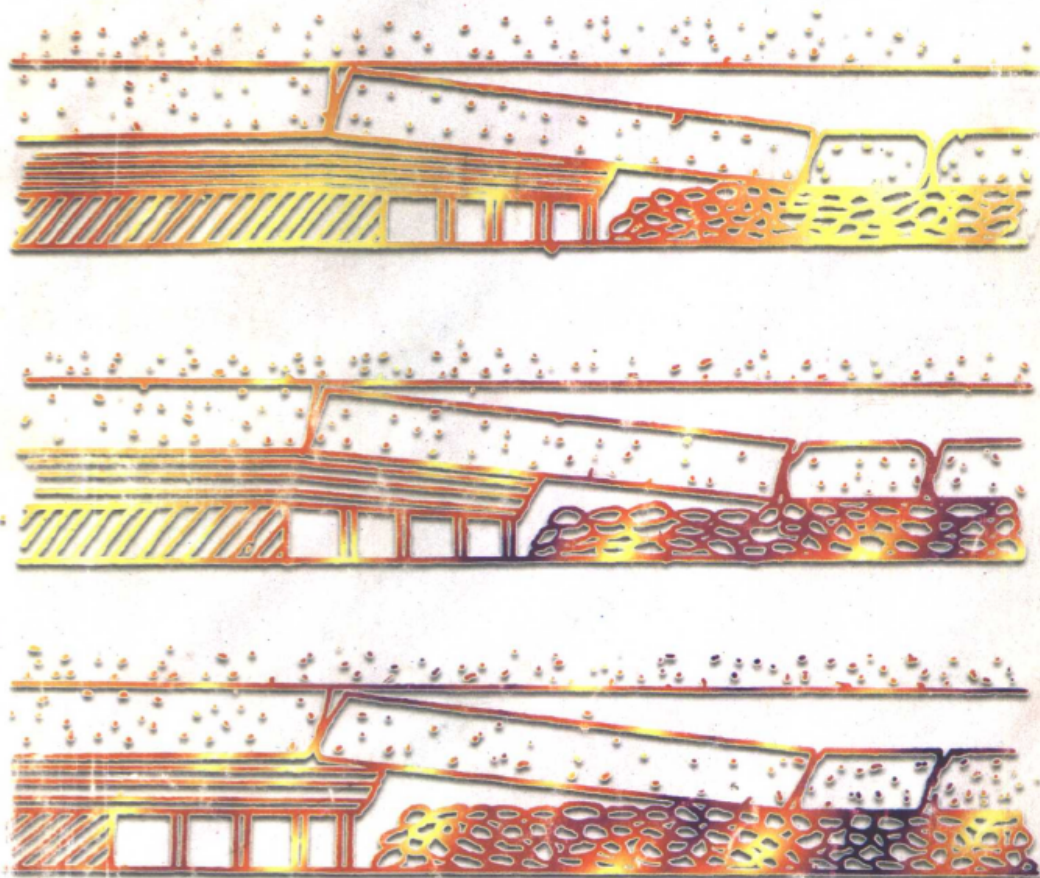


CAICHANG DINGBAN KONGZHI JI JIANCE JISHU

采场顶板控制及监测技术

岑传鸿 著



中国矿业大学出版社

TD323

C-21Y

采场顶板控制及监测技术

岑传鸿 著

中国矿业大学出版社

采场顶板控制及监测技术

出版人 解京选

责任编辑 朱明华

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 6.75 字数 169 千字

1998年8月第1版 1998年8月第1次印刷

印数 1~1050册

ISBN 7 - 81040 - 833 - X

TD·93

定价: 8.50 元

序 言

为保证回采工作面能够安全而正常地进行生产,避免发生各种类型顶板事故,必须对采场顶板进行科学的管理。科学管理采场顶板包括两个方面:一是在回采工作面投入生产以前要进行合理的控顶设计,另一方面是在回采工作面投入生产以后要进行日常的支护质量与顶板动态监测。

本书重点介绍我们 15 年来在科学管理采场顶板方面研究的成果。这些成果在 1985 年至 1996 年的历次全国顶板管理工作会议上、以及在 1989 和 1991 两年为全国统配煤矿举办的九次支护质量与顶板动态监测新技术培训班上,都已经陆续介绍给从事煤矿生产技术管理工作的许多同志。本书是对这些研究成果的又一次归纳与提高,同时在某些方面还提出了新的观点。

为预防采场冒顶事故,以及把采场顶板管理纳入科学管理的轨道,中国矿业大学出版社于 1989 年出版了本人编著的《顶板灾害防治》一书,1994 年又出版了该书的第二版。本书也可以说是《顶板灾害防治》的第三版,但是从大的方面看与该书有两点不同:第一,删除了巷道顶板事故部分,即本书只针对回采工作面;第二,增加了综采工作面的控顶设计及支护质量与顶板动态监测。由于采场顶板事故主要是发生在使用单体支柱的工作面中,因此《顶板灾害防治》所阐述的内容主要是与单体支柱工作面有关的问题;而本书是以科学管理顶板为主线,所以不论是单体支柱工作面还是综采工作面其有关的问题都有所论述,因此本书的内容既适合中小型矿井,也适合大型现代化矿井。如果说我们研究的成果在过去

十多年时间里,曾在煤矿安全生产方面起过一定的作用,那么这本书的内容必将在今后的岁月中,在煤矿安全生产方面继续发挥它应有的作用。

科学管理采场顶板是生产与科研相结合的产物,因此本书的对象首先是从事煤矿生产技术管理工作的人员。为了使教学内容与生产实际相结合,中国矿业大学从80年代中期开始就为采煤与通风安全专业开设了与科学管理顶板有关的课程,因此本书又可作为煤矿大专院校的教材或参考书。

作 者

1998年4月

目 录

第一章 与采场顶板控制有关的一些基本知识	(1)
第一节 顶板与底板.....	(1)
第二节 垮落带与裂隙带.....	(3)
第三节 岩石的物理性质.....	(8)
第四节 岩石的力学性质.....	(9)
第五节 顶板事故基本类型及其对支架性能的要求 ...	(11)
第六节 液压支架的性能	(12)
第七节 单体支架的性能	(16)
第八节 回采工作面顶板的科学管理	(25)
第二章 采场顶板事故及预防	(26)
第一节 顶板事故分类	(26)
第二节 局部冒顶的原因及预防措施	(27)
第三节 压垮型冒顶的机理及预防措施	(36)
第四节 漏垮型冒顶的机理及预防措施	(53)
第五节 推垮型冒顶的机理及预防措施	(54)
第六节 对采场支架的基本要求	(75)
第三章 预防冒顶事故的采场控顶设计	(82)
第一节 概述	(82)
第二节 综采工作面控顶设计	(84)
第三节 单体支柱工作面控顶距的确定	(94)

第四节	单体支柱工作面控顶设计	(97)
第五节	初放阶段的顶板控制	(106)
第四章	有关采场顶板控制的几个问题	(109)
第一节	顶板状态参数与采场支护参数	(109)
第二节	采场顶板分类	(117)
第三节	老顶来压的预测预报	(120)
第四节	工作面推进速度与顶板压力	(121)
第五节	关于“增压系数”	(123)
第五章	支护质量与顶板动态监测	(125)
第一节	概述	(125)
第二节	摩擦支柱工作面支护质量与 顶板动态监测	(126)
第三节	单体液压支柱工作面支护质量与 顶板动态监测	(154)
第四节	Ⅱ型长钢梁工作面支护质量与 顶板动态监测	(170)
第五节	综采工作面支护质量与顶板动态监测	(181)
附录	液压支架工作阻力及初撑力的计算	(193)
第一节	支架运行参数	(193)
第二节	支架阻力与立柱阻力的关系	(200)
参考文献		(208)

第一章 与采场顶板控制有关的一些 基本知识

第一节 顶板与底板

在地下煤层中采煤时,称煤层上面的岩层为顶板。顶板又可分为直接顶与老顶。

现场最流行的对直接顶与老顶的认识如下:直接在煤层上面、有一定强度、并会随回柱放顶而冒落的岩层叫直接顶;常见的直接顶岩层有页岩、砂页岩等。直接在直接顶上面、强度比较大、厚度在1.5 m 以上,大面积暴露后才冒落的岩层叫老顶;常见的老顶岩层有砂岩、砂砾岩、石灰岩等。通常煤层之上既有直接顶又有老顶,见图 1-1。直接顶厚度有时比较大,有时比较小。有时,煤层上面没有

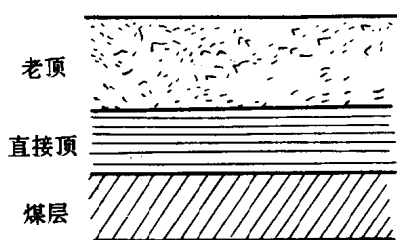


图 1-1 煤层上面有直接顶和老顶

直接顶,直接就是老顶。

实践表明,任何一个岩性的顶板岩层,采煤后往往不是以整个岩层厚度的方式向下运动,而是分为若干分层由下而上依次向下运动。此外,岩层的强弱不仅与岩性的强度有关,而且还与分层厚度的大小有关。例如:岩性强度较大的砂岩,如果分层厚度很小,则这个砂岩分层的强度较弱;反之,岩性强度较小的砂页岩,如果其分层厚度很大,则这个砂页岩分层的强度较大。从实质上看,直接顶与老顶的区别就在于岩层强度是小还是大,也就是说直接顶岩层的强度较小,而老顶岩层的强度较大。因此,我们建议用下述观点来判别老顶与直接顶。

可以把分层厚度大于 $1.5\sim 2.0\text{ m}$ 、在采空区的悬顶长度超过 2.0 m 的较坚硬岩层称为老顶(实质上是牢顶),老顶主要是砂岩、石灰岩与砂砾岩。分层厚度小于 $1.5\sim 2.0\text{ m}$,较软弱,用支架主动切顶时在采空区的悬顶长度不超过 2.0 m ,下面又无老顶的岩层则是直接顶,直接顶主要是页岩与砂页岩。老顶上面的软弱岩层是老顶的附加岩层。多数情况下,煤层上面既有直接顶又有老顶。

在煤层和直接顶(或老顶)之间,有时存在一层厚度小于 0.5 m 、随采随冒的软弱岩层,叫做伪顶,常见的伪顶有炭质页岩、泥质页岩等。伪顶冒落下来后,有时将它抛弃到采空区内,有时则随着采落的煤炭一起运出采场。如果采取抛弃到采空区内的方式,则控顶设计时直接顶厚度应包括伪顶厚度。如果是随煤炭运出采场,则控顶设计时煤层采高应包括伪顶厚度。此外,在考虑采场支架或支柱高度时,煤层采高也应包括伪顶厚度。

与煤层顶板相对应,采煤时称煤层下面的岩层为底板。直接在煤层下面的岩层叫做直接底。

顶板管理主要是管好直接顶和老顶。当直接底过于软弱时,会给顶板管理带来一定的困难。

第二节 垮落带与裂隙带

一个回采工作面,在煤被采出后,通常在靠煤壁处用支架维护出一个不大的采空空间作为工作空间(包括机道、人行道与材料道等,见图 1-2),多余的采空空间就是采空区。

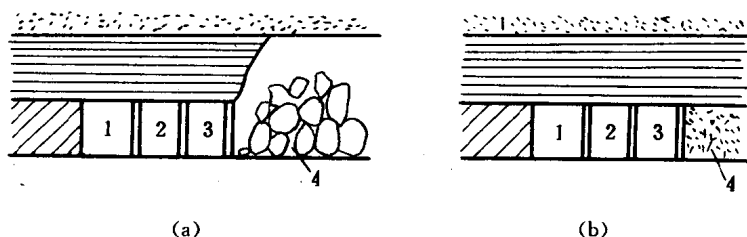


图 1-2 工作空间与采空区处理

(a) 全部垮落法; (b) 充填法

1——机道; 2——人行道; 3——材料道; 4——采空区

我国煤矿采空区的处理基本上是采用全部垮落法,即让采空区上方部分顶板自然垮落下来(有时需人工强制其垮落);个别情况下也有用矸石充填采空区的,这种处理采空区的方法叫做充填法(见图 1-2)。本书基本上是论述用垮落法处理采空区时顶板的活动规律及其控制方法,因此书中只要未说明用充填法处理采空区,那就意味着是用垮落法处理采空区。

在煤层中采煤并用全部垮落法处理采空区后,采空空间上方顶板岩层自下而上形成垮落带、裂隙带与弯曲下沉带,见图 1-3。与采场生产关系密切的是垮落带与裂隙带。垮落带岩层(包括直接顶和老顶)是指不支撑就会垮落的那部分岩层;裂隙带岩层(主要是老顶)在其断裂、旋转、下沉及触矸过程中,岩块间能够互相挤

紧,从而形成能够承受载荷的平衡结构,并把自身及附加岩层的重量施加到采空空间周围的煤体及冒矸之上。众所周知,为保证采场安全而正常地进行生产,至少采场支架的支撑力应能支撑住垮落带岩层的重量,支架的可缩量应能适应裂隙带岩层的下沉。因此,实践中确定垮落带岩层及其厚度是个非常关键的问题。

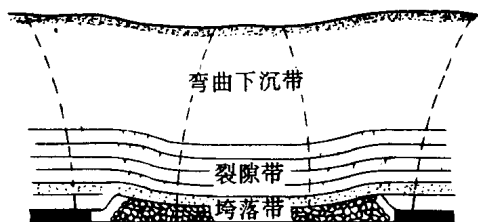


图 1-3 采空区上方岩层划分为三带

直接顶岩层的岩石碎胀系数一般为 $1.33 \sim 1.5$, 因此当直接顶厚度大于或等于 $2 \sim 3$ 倍采高时, 采空区垮下 $2 \sim 3$ 倍采高的直接顶就能填满采空空间, 这时垮落带岩层就是 $2 \sim 3$ 倍采高的直接顶, 其上面的直接顶或老顶岩层已进入裂隙带。

如果直接顶厚度不足 $2 \sim 3$ 倍采高, 垮落后填不满采空空间, 其上面的老顶有以下三种情况:

当老顶分层厚度大于 $5 \sim 6$ m 时为厚层难冒顶板, 需悬露几千平方米、几万平方米、甚至十几万平方米才垮落。对厚层难冒顶板必须应用钻眼爆破或高压注水等方法, 超前工作面或在采空区松动碎裂 $2 \sim 3$ 倍采高顶板(包括直接顶在内)。

当老顶分层厚度小于 $5 \sim 6$ m, 在其断裂、旋转、下沉及触矸过程中, 断块间能够互相挤紧, 从而形成能够承受载荷、并把自身及上位岩层的重量施加到采空空间周围的煤体及垮落矸石之上的平衡结构者为裂隙带老顶。

当老顶分层厚度小于 5~6 m,在其断裂、旋转、下沉及触研过程中,断块间会失去水平力的联系,从而不能形成平衡结构者为垮落带老顶。

因此当直接顶厚度不足 2~3 倍采高、而老顶分层厚度又小于 5~6 m 时,必须判别下位若干个老顶分层是属于裂隙带还是属于垮落带。

有关裂隙带老顶,前苏联学者格·恩·库兹涅佐夫在其铰接岩块假说中早就提出了判别的方法,即当老顶分层厚度大于其下自由空间高度时,该老顶分层已进入裂隙带。我国学者钱鸣高院士在其“砌体梁”理论中提出,老顶分层必须具备以下两个条件才能形成平衡结构(即进入裂隙带):第一,分层厚度要比其下自由空间高度大得多;第二,老顶断块长度与其分层厚度的比值应大于 2。

考虑到老顶岩层的断块形成平衡结构并进入裂隙带时,需要有相当的水平推力,使挤压面产生的摩擦阻力能承受老顶分层本身及上位岩层施加的重量,这就要求在断块间的挤压点上有一定的承压面积;也就是说,裂隙带老顶的分层厚度要明显地大于其下自由空间的高度。可见,钱鸣高院士的理论比库兹涅佐夫的假说更符合实际情况。钱鸣高院士所提的老顶分层进入裂隙带的两个条件中,关于断块长度与分层厚度的比值大于 2 的问题,一般情况下均能自然得到满足;关于分层厚度比其下自由空间高度大得多的问题,目前还不能用计算的方法得出定量的答案,即目前只能靠实践经验来解决。我们认为,当老顶分层厚度大于其下自由空间高度 2 m 时,该老顶分层已进入裂隙带。

这样一来,可以用式(1-1)来判别进入裂隙带的老顶分层。

$$H_i \geq M - \left[\sum_{0}^{i-1} H_i (K_1 - 1) + h (K_2 - 1) \right] + 2 \quad (\text{m}) \quad (1-1)$$

式中 H_i ——由下而上第 i 层老顶分层的厚度, m (左边不包括附加岩层,右边包括附加岩层);

M ——煤层采高, m ;

K_1 ——老顶及其附加岩层的岩石碎胀系数, 取 $1.15 \sim 1.33$;

h ——直接顶厚度, m ;

K_2 ——直接顶岩层的岩石碎胀系数, 取 $1.33 \sim 1.5$ 。

当式(1-1)成立时,说明第 i 层老顶分层已进入裂隙带。不言而喻,第 i 层老顶分层以下的老顶岩层及直接顶岩层则为垮落带岩层。

应用式(1-1)时,可从 $i=1$ 开始。由于垮落带岩层总厚度只有3倍采高左右,因而只需经过很少次数的验算,就可以确定出开始进入裂隙带的老顶分层。

上面有关垮落带与裂隙带岩层的阐述,只针对缓斜与中斜煤层。对于急斜煤层,如果采用走向长壁法开采,由于工作面上部采空区垮落的矸石,有一部分会下滑并充填在下部采空区中,从而导致工作面上部垮落带岩层厚度较大,下部垮落带岩层厚度较小,如图1-4所示。

一般说来,一个工作面的支护参数(如密度、初撑力等),不论工作面上部还是下部,全工作面都应该是一致的,因此,急斜煤层的顶板控制设计,应以工作面上部的条件为准。

考虑到工作面上部采空区约有0.5倍采高(设煤层采高为 M ,即有 $0.5M$)岩层垮落的矸石往下滑,因此在估算工作面上部垮落带岩层厚度,以及判别工作面上部裂隙带老顶时,煤层采高应为原采高的1.5倍(即为 $1.5M$),而垮落后能滞留原地的垮落带岩层厚度比实际

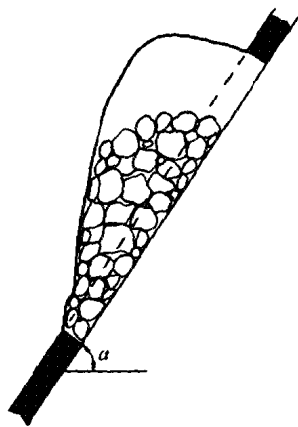


图1-4 急斜煤层
垮落带范围

厚度小 $0.5 M$ m。

但是,进行控顶设计时应考虑的实际的垮落带岩层厚度,还应包括垮落后下滑的这 $0.5 M$ 厚的岩层。

当直接顶很厚时,工作面上部垮落带直接顶厚度 h'_k 按式(1-2)计算:

$$h'_k = \frac{1.5M}{K_1 - 1} + 0.5M \quad (\text{m}) \quad (1-2)$$

可见:

当 $K_1 = 1.5$ 时, $h'_k = 3.5M(\text{m})$;

当 $K_1 = 1.33$ 时, $h'_k = 5M(\text{m})$ 。

也就是说,当直接顶厚度等于 $3.5 \sim 5$ 倍采高时,垮落后能充满采空区。即当 $h \geq (3.5 \sim 5)M$ 时,垮落带中只有直接顶。

当 $h < (3.5 \sim 5)M$ 时,上位老顶是否已进入裂隙带,可按下面公式判别:

当 $h \geq 0.5M$ 时用式(1-3),

$$H_i \geq 1.5M - \left[\sum_0^{i-1} H_i (K_1 - 1) + (h - 0.5M)(K_1 - 1) \right] + 2 \quad (\text{m}) \quad (1-3)$$

当 $h < 0.5M$ 时用式(1-4),

$$H_i \geq 1.5M - \left(\sum_0^{i-1} H_i - 0.5M + h \right) (K_1 - 1) + 2 \quad (\text{m}) \quad (1-4)$$

当式(1-3)或(1-4)成立时,说明第 i 层老顶分层已经进入裂隙带。

缓斜、倾斜煤层综采放顶煤时,判别那一个老顶分层开始进入裂隙带仍可用式(1-1),只是 M 应包括采与放的高度, K_1 应取 $1.33 \sim 1.5$, K_2 应取 $1.5 \sim 1.7$ 。急斜特厚煤层综采放顶煤一般是用水平分层方法,这时垮落带的垂高建议以 2 倍分层高度(包括采与放)考虑。

最后再强调一下,在控顶实践中应特别注意岩层的分层厚度的问题,它是指同一岩性中同时运动的那部分厚度,需通过实践来确定。此外,还应注意直接在煤层之上是否存在“复合顶板”的问题,它是指由下位软岩层与上位硬岩层构成,而且软硬岩层间又易离层的顶板。

还应说明一点,采场控顶中垮落带与裂隙带的涵义及其划分,与三下采煤中垮落带、裂隙带与弯曲下沉带的涵义及其划分不尽相同,请勿混淆。

第三节 岩石的物理性质

与顶板控制关系较大的岩石物理性质有岩石的容重、碎胀性及软化性。

岩石的容重是指单位体积(包括空隙体积)岩石的重量,煤矿中常见岩石的容重见表 1-1。

表 1-1 煤矿中常见岩石的容重

岩 石 种 类	容 重/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$
石灰岩	22~26
砂 岩	20~26
页 岩	20~24
煤	12~14

岩石破碎以后的体积将比整体状态下的体积大,这个性质称为岩石的碎胀性;岩石的碎胀性用岩石的碎胀系数 K (岩石破碎膨胀后的体积与岩石处于整体状态下的体积的比值)表示。岩石破碎后,在其自重和外加载荷的作用下会逐渐被压实,体积随之减小,碎胀系数比初始破碎时相应地变小;破碎岩石压实后的体积与破碎前原始体积之比称为岩石的残余碎胀系数,以 K' 表示。煤矿

中常见岩石的碎胀系数见表 1-2。

表 1-2 煤矿中常见岩石的碎胀系数

岩石名称	碎胀系数 K	残余碎胀系数 K'
硬砂岩	1.5~1.8	—
砂质页岩	1.6~1.8	1.1~1.15
粘土页岩	1.4	1.1
碎煤	<1.2	1.05

岩石浸水后,强度明显降低,通常用软化系数 η_c 表示水对岩石强度的影响程度。软化系数 η_c 是水饱和岩石试件的单向抗压强度与干燥岩石试件单向抗压强度的比值。软化系数 η_c 愈接近于 1,表明岩石的软化性愈小。表 1-3 为煤矿中几种常见岩石的软化系数值,由该表可见,各种岩石的软化系数都小于 1,说明岩石都具有软化性。

表 1-3 煤矿常见岩石的软化系数值

岩石名称	干试件抗压强度/MPa	水饱和试件抗压强度/MPa	软化系数 η_c
石灰岩	13.1~202.6	7.6~185.4	0.58~0.94
砂岩	17.1~245.8	5.6~240.6	0.44~0.97
页岩	55.8~133.3	13.4~73.6	0.24~0.55

第四节 岩石的力学性质

岩石是兼有弹性与塑性的材料。岩石受力后既可能出现弹性变形,也可能出现塑性变形,而且弹性变形与塑性变形往往同时出现。与顶板控制关系较大的岩石的力学性质是岩石的强度。

岩石试件在单向压缩时所能承受的最大压应力值叫做岩石的单向抗压强度；岩石试件在单向拉伸时所能承受的最大拉应力值叫做岩石的单向抗拉强度；岩石试件所能承受的最大剪应力值叫做岩石的抗剪强度。我国若干煤田顶底板岩石的单向抗压、单向抗拉和抗剪强度见表 1-4。

表 1-4 我国若干煤田顶底板岩石强度值

岩石种类	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa	抗剪强度/MPa
石灰岩	52.9~157.8	7.7~13.8	9.8~30.4
砾岩	80.4~94.0	4.0~11.76	6.6~26.4
砂砾岩	6.9~121.5	2.8~9.7	7.0~28.8
细砂岩	103.9~143.0	5.5~17.6	17.4~53.4
中砂岩	85.7~133.3	6.0~14.0	13.3~36.5
粗砂岩	56.8~123.5	5.4~11.6	12.4~30.4
粉砂岩	36.3~54.9	1.3~2.4	6.86~11.5
砂质页岩	39.2~90.2	3.9~11.8	20.6~29.9
页岩	18.6~39.2	2.7~5.4	15.6~23.3
煤	4.9~49.0	2.0~4.9	1.08~16.2

应当指出，岩石试件在三向压应力作用下所能承受的最大轴向应力值称为岩石的三向抗压强度；岩石三向抗压强度比单向抗压强度大得多，煤矿中常见煤、岩的三向抗压强度见表 1-5。

根据实验研究，岩石在不同受力状态下的各种强度值，一般符合下列由大到小的顺序：三向等压抗压强度，三向不等压抗压强度，双向抗压强度，单向抗压强度，抗剪强度，单向抗拉强度。

还应当指出，以上所论述的岩石强度都是指岩石试件的强度，而顶板岩层则是一个岩体，由于岩层中存在裂隙、层理和弱面，所以岩体的强度比岩石强度小得多，有人认为只有岩石强度的五分