

教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材

顶板事故预防与处理

主编 李彦强

Dingban Shigu Yufang Yu Chuli

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TD327.2

L-928

教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材

顶板事故预防与处理

李彦强 主编

中国矿业大学出版社

序

目前,我国各行各业的经济建设正在蓬勃发展,为国家和社会“培养有道德、有技能和有持续发展能力的高素质技能型人才”已经成为我国各高职高专院校培养人才和发展的努力方向。

为更好地适应整个社会对高职高专安全类专业人才的需求,满足高职高专院校“安全技术管理”及其相关安全工程专业的人才培养需要,高职高专安全类专业教学指导委员会于2008年4月在徐州召开了有关高职高专安全类专业教材编写会议,聘请来自全国30多所高职高专院校安全类专业的专家、学者参与教材编写,计划出版一套全国高职高专安全类专业院校较为适用的全国统编教材,以促进全国高职高专安全类专业院校的健康发展和教学水平的全面提高。

安全专业是一门知识面宽、涉及专业广、跨多学科的系统工程,各院校对此专业的基础课、专业基础课和专业课的设置均有自己的特色和办学经验。在尊重各院校办学的基础上,决定对所设的主要课程“安全管理”、“安全系统工程”、“安全人机工程”、“事故管理与应急处置”、“矿井通风与安全”、“安全管理文书写作”和“瓦斯防治与开采技术”等10多门课程的教材进行统一编写,以进一步提高教学水平,增强高职高专安全类专业学生的实际工作(竞争)能力。

在教材编写过程中,以重实践、重能力和重应用作为本套教材编写的宗旨。体现职业教育的理念、特点和要求,突出行业特点,突显理论联系实际和培养实际动手能力为主的职业教育特色;在不同章节体系上考虑不同教学方法的特点和要求,引用最新的典型事例;在知识结构上以传统与现代相结合,保持知识结构的稳定性、代表性、前沿性和前瞻性;将安全生产方针和法规融入到具体知识内容之中。增加具有职业教育特点的实训内容,并增加有关能力与素质培养的训练题。

本套教材有别于理论课程的教学设计和教学组织,强调学习过程和方法,从学生素质、兴趣和发展的角度出发,全面构建课程知识与技能,过程与方法等方面的协调一致。课程的学习应当是学生自主学习为主,教师引导为辅,把“过程和方法”的培养作为课程教学目标之一,将学习重心从知识的传承积累向知识的探究积累过程转化。

本套教材是目前高职高专安全类专业较为系统和实用的专用系列教材,可满足当前安全类高职高专院校的教学需要,可大大提高安全类高职高专院校的教学水平,为规范教学创造了条件。

教育部高等学校高职高专安全专业类教学指导委员会

2008年8月8日

前 言

煤炭工业是国民经济的基础工业,我国能源结构以煤炭为主的格局在今后较长时期内不会改变。在煤矿生产过程中,存在有水、火、瓦斯、煤尘、顶板事故灾害。据统计资料显示,顶板事故在煤矿生产过程中发生的概率最大。虽然顶板事故所造成的影响不是很大,但每年在煤矿事故中,因顶板事故死亡的人数最多。为此我们编写了《顶板事故预防与处理》这本教材。此教材主要讲述矿山压力的基本规律、顶板事故发生的原因、顶板事故的预防与处理等内容。

本书为教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材。本书由新疆工业高等专科学校、云南能源职业技术学院、山西煤炭职业技术学院联合编写,由李彦强担任主编。

本书各章编写人员如下:

第一章:李彦强。

第二章:王神虎。

第三章、第四章、第六章:杜运夯、曾正良。

第五章:李春阁。

由于编者水平及时间的限制,错误和缺点在所难免,还望读者给予批评指正。

编 者

2009年2月

目 录

第一章 岩石的基本性质	1
第一节 概述	1
第二节 岩石的物理性质	2
第三节 岩石的力学性质	4
第四节 岩石的工程分级	5
思考题	6
第二章 矿山压力	7
第一节 采煤工作面上部岩层移动规律	7
第二节 采煤工作面矿山压力显现基本规律	23
第三节 采区巷道矿山压力显现基本规律	34
思考题	38
第三章 采煤工作面顶板事故	40
第一节 顶板事故分类	40
第二节 局部冒顶事故的防治	41
第三节 采煤工作面大面积冒顶防治	45
第四节 采煤工作面顶板事故预报	51
思考题	55
第四章 巷道顶板事故	56
第一节 巷道支护	56
第二节 巷道顶板事故预防与处理	61
思考题	66
第五章 冲击地压	67
第一节 冲击地压	67
第二节 冲击地压预报与防治	76
思考题	83
第六章 顶板事故的抢险救灾	84
第一节 顶板灾害的特点	84
第二节 顶板事故的救灾组织	85

第三节 顶板事故的救灾方法	86
第四节 煤矿灾害应急救援预案和灾害预防处理计划	89
第五节 案例分析	92
思考题	94
 参考文献	 95

第一章 岩石的基本性质

第一节 概 述

地壳是由岩石组成的。岩石是由一种或多种矿物组成的,各种造岩矿物或岩屑在地质作用下按一定规律(通过结晶或借助于胶结物黏结)组合成岩石。

组成地壳的岩石种类很多,按其生成方式可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

(1) 岩浆岩

岩浆岩是指地壳内部的岩浆沿地壳薄弱带侵入地壳或喷出地表,冷却后形成的岩石。常见的岩浆岩有玄武岩、安山岩、流纹岩、花岗岩、闪长岩、辉长岩等。

(2) 沉积岩

沉积岩是指岩浆岩、变质岩和已形成的沉积岩被风化的产物,经搬运、沉积和固结成岩作用而形成的新的岩石。

沉积岩由于先后沉积的物质在成分、性质、粒度、颜色、形状等方面的差异而显现出的成层现象称为层理。层与层的接触面称为层面。沉积岩中常有古生物化石。常见的沉积岩有砾岩、砂岩、泥岩、石灰岩和煤层等。

(3) 变质岩

变质岩是指已形成的岩浆岩、沉积岩或变质岩在地壳中受高温、高压及化学影响而形成的新的岩石。常见的变质岩有石英岩、大理岩、板岩和片麻岩等。

一般把覆盖在地壳上部的沉积物如黄土、黏土、流沙、淤泥、砾石等统称为表土;表土以下的固结性岩石统称为基岩。煤系地层主要由沉积岩组成,局部偶有岩浆岩侵入。岩石是岩块和岩体的统称。岩块是指地壳岩层中的小块体,没有明显的软弱面;岩体指较大范围的自然地质体。由于各种地质作用,岩体中往往有明显的地质遗迹,如层理、节理、断层和裂隙面等,岩体被这些弱面切割成既连续又不连续的裂隙体,使得岩体强度一般小于岩块强度。可以把岩块近似视为均质、各向同性的连续介质处理。一般岩体均属于非均质、各向异性的不连续介质。

采掘工作涉及的是岩体,岩石性质的研究一般从岩块入手,岩体的构成通过各种地质勘探手段加以描述。因为各种勘查条件的限制对岩体的认识具有很大的局限性和不确定性,使得通过数学和实验室模拟等手段所得研究结果和现场观测结果难以吻合,需要在实际工作中根据生产技术条件的变化调整有关支护方案,处理支护不当引起的顶板事故。

岩石的性质与其矿物成分、结构和构造有关。一般来说,岩石中含硬度大的矿物如石英、长石等愈多,岩石强度愈高;含硬度小的矿物如云母、滑石等愈多,岩石强度愈低。岩石中的矿物结构如结晶程度、颗粒大小、形状和颗粒间的联结方式不同,其性质各异。沉积岩如砾岩、砂岩的力学性质除了与矿物成分有关外,还与胶结物的性质有很大关系,钙质、泥质

胶结的强度小,硅质胶结的强度大。岩浆岩的流纹构造、沉积岩的层理构造和变质岩的片理构造使得岩石力学性质出现显著的各向异性。

按岩石的力学强度和坚实性,常把矿山岩石分为坚硬岩石和松软岩石两类。一般把饱和状态下单向抗压强度大于 10 MPa 的岩石称为坚硬岩石;低于该值的岩石称为松软岩石。松软岩石一般具有结构疏松、密度小、孔隙率大、强度低、遇水易膨胀等特点,往往给采掘工作带来较大的影响。

第二节 岩石的物理性质

一、岩石的密度和相对密度

(一) 岩石的密度

岩石的密度 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$ 指单位体积(m^3)的岩石(包括空隙体积)的质量(kg)。岩石的密度与组成岩石的矿物成分、孔隙度和含水量有关。岩石的密度可分为干密度和湿密度。干密度是指单位体积岩石绝对干燥时的密度,湿密度分为饱和湿密度和天然湿密度。

(二) 岩石的相对密度

岩石的相对密度是指岩石固体部分实体积(不包括空隙)的质量与同体积水(在温度为 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下)的质量的比值。

煤矿常见岩石的密度、相对密度如表 1-1 所列。

表 1-1 煤矿常见岩石的密度、相对密度

岩石种类	砂 岩	页 岩	石灰岩	煤
相对密度 Δ	2.60~2.75	2.57~2.77	2.48~2.85	
密度 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	2.00~2.60	2.00~2.64	2.20~2.60	1.02~1.40

(三) 重度

单位体积岩石所受的重力称为重度,也称为重力密度,用 γ 表示。

二、岩石的孔隙性

岩石的孔隙性是指岩石的裂隙和孔隙发育的程度,通常用孔隙度 n 和孔隙比 e 来表示。孔隙度是指岩石试件内各种裂隙、孔隙的体积总和与试件总体积 V 之比;孔隙比是指岩石试件内各种裂隙、孔隙的体积总和与试件内固体矿物颗粒体积 V_s 之比。

三、岩石的水理性质

(一) 岩石的吸水率

岩石的吸水率 w 是指岩石试件在大气压下吸入水的质量 m 与试件烘干质量 M 的比值。

$$w = \frac{m}{M} \quad (1-1)$$

岩石吸水率的大小,取决于岩石所含孔隙、裂隙的数量和大小,开闭程度及其分布情况,且与试验条件有关。

(二) 岩石的透水性

地下水存在于岩石的孔隙和裂隙中,且大多数岩石的孔隙和裂隙是相互贯通的,因此在一定

水的压力下,地下水可以在岩石中渗透。这种岩石能被水透过的性能叫做岩石的透水性。

(三) 岩石的溶蚀性

由于水的化学作用而把岩石中某些组成物质带走的现象叫做岩石的溶蚀。溶蚀作用可以使岩石的致密程度降低、孔隙度增大,因而导致岩石的强度降低。

(四) 岩石的软化性

岩石浸水后强度降低的性质称为岩石的软化性。用软化系数 η_c 表示水分对岩石强度的影响程度。软化系数 η_c 是饱和吸水岩石的单向抗压强度 R_{cw} 与干燥岩石试件单向抗压强度 R_c 的比值。

岩石浸水后的软化程度与岩石中亲水性矿物和易溶性矿物的含量、孔隙发育的情况、水的化学成分以及岩石浸水时间的长短等因素有关。亲水矿物和易溶矿物含量愈多,张性空隙愈发育,则岩石浸水后强度降低程度越大。此外岩石浸水时间愈长,其强度降低程度也愈大,如某些砂岩浸水 3 d 后单向抗压强度降低 32%~35%,而浸水 9 d 后降低 51%~59%。

研究岩石的软化性对用高压注水软化方法控制坚硬难冒落顶板有重要意义。软化系数值愈接近 1,表明岩石的软化性愈小。表 1-2 为煤矿中几种常见岩石的软化系数。从表中可看出,各种岩石的软化系数都小于 1,说明岩石普遍具有软化性。

表 1-2 煤矿常见岩石的软化系数

岩石种类	干试件抗压强度/MPa	水饱和试件抗压强度/MPa	软化系数 η_c
黏土岩	20.3~57.8	2.35~31.2	0.08~0.87
页 岩	55.8~133.3	13.4~73.6	0.24~0.55
砂 岩	17.1~245.8	5.6~240.6	0.44~0.97
石灰岩	13.1~202.6	7.6~185.4	0.58~0.94

(五) 岩石的膨胀性和崩解性

岩石的膨胀性是指岩石吸水后体积扩大的性质。岩石的崩解性是指岩石浸水后发生崩解的现象。含有大量黏土矿物的岩石遇水后容易产生膨胀和崩解。

具有膨胀性的岩石,吸水后很快膨胀至解体,不仅强度迅速降低,而且要产生很大的膨胀应力,破坏巷道工程或使采煤工作面的维护困难。

四、岩石的碎胀性和压实性

岩石破碎后体积增大的性质称为碎胀性。碎胀性可用碎胀系数 K 来表示。碎胀系数 K 是指岩石破碎后的总体积 V_1 与岩石破碎前体积 V 之比,即:

$$K = \frac{V_1}{V} \quad (1-2)$$

碎胀系数与岩石的性质、破碎后块度的大小及其排列状态等因素有关。岩石的碎胀系数对岩石的装运,尤其是对采煤工作面的顶板管理有重要意义。

岩石破碎后,在其自重和外加载荷的作用下逐渐被压实,体积随之减少,碎胀系数比初始破碎时相应的变小。这种压实后的体积与破碎前原始体积之比,称为残余碎胀系数,常以 K' 表示。破碎岩石被压实的程度与岩石本身的物理力学性质、外加载荷大小及破碎后经历

的时间长短有关。表 1-3 中列出了几种常见岩石的碎胀系数和残余碎胀系数。

表 1-3 煤矿常见岩石的碎胀系数和残余碎胀系数

岩石名称	碎胀系数 K	残余碎胀系数 K'
砂	1.06~1.15	1.01~1.03
黏土	<1.20	1.03~1.07
碎煤	<1.20	1.05
黏土页岩	1.40	1.10
砂质页岩	1.60~1.80	1.10~1.15
硬砂岩	1.50~1.80	

第三节 岩石的力学性质

一、岩石的变形特征

岩石在外载荷作用下,会因应力增加而发生相应的应变。当载荷增大到破坏值,或载荷达到某一数值并保持下去时,均会导致岩石的破坏。变形和破坏是岩石在载荷作用下的两个发展阶段。变形中包含着破坏的因素,而破坏是由变形的发展所致。

外载荷按其作用性质有静载荷和动载荷之分。

(一) 静载荷下岩石变形特性

岩石在静载荷单向压缩下,应力—应变的关系如图 1-1 所示。

I——OA 段,应力—应变曲线呈上凹型,这是岩石中原有裂隙和孔隙受压后逐渐闭合所导致,这一阶段称为裂隙压密闭合阶段。对于致密岩石这个阶段很小甚至没有。

II——AB 段,应力—应变曲线呈直线型,曲线的斜率近似为常数,这一阶段称为线弹性阶段。在 I、II 段内,如果卸除载荷,变形能完全恢复。B 点对应的应力称为弹性极限或屈服应力,B 点称为屈服点。

III——BC 段,应力—应变曲线呈下凹型,曲线斜率逐渐减小,此阶段内局部破损逐渐增大而导致岩石达到强度极限 C 点,称为破裂发展阶段。如果在 BC 段内任一点 P 卸载,曲线按 PQ 变化;重新加载,曲线按 QR 变化。PQR 称为塑性滞环。QS 为弹性变形,卸载时可以恢复;OQ 为塑性变形,卸载时不能恢复。C 点对应的应力称为极限抗压强度。

IV——CD 段,应力—应变曲线的软化阶段。在这个阶段内,岩石仍保持一整体继续抵抗荷载;当岩石破裂仍继续发展,直到 D 点才最终破裂;从 D 点以后应力基本保持不变而应变无限增长。D 点应力称为残余强度。CD 曲线的存在,说明岩石达到极限强度后,仍然存在承载能力。

岩石受单向压缩时,始终伴随着体积的变化,一般规律是在弹性阶段体积减小,在塑性阶段体积膨胀。

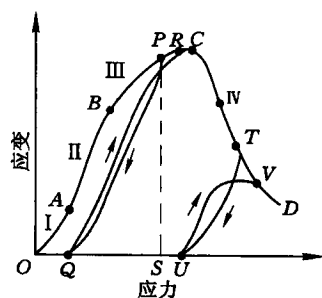


图 1-1 应力—应变曲线

岩石在塑性阶段的体积膨胀称为扩容现象,主要是由于变形引起裂隙发展和张开而造成的。

岩石受载后变形很小即破裂的性质称为脆性。永久变形或全变形小于 3% 为脆性破坏,具有这种特性的岩石称为脆性岩石。永久变形或全变形大于 5% 的为塑性变形,具有此种特性的岩石称为塑性岩石。永久变形或全变形为 3%~5% 为过渡状态。

岩石的弹性、塑性和脆性不是绝对的,而是随受力状态、加载速度、温度等条件的变化而变化。

(二) 岩石在三向静载荷压缩条件下的变形特征

试验证明,有侧向压力作用时的岩块变形特性与单向压缩时的变形特性有着很大的不同,表现出以下特征:

- (1) 弹性阶段与单向压缩时基本相同。
- (2) 岩石表现明显的塑性变形。
- (3) 屈服极限、强度峰值和残余强度都与周围压力大小成正比关系。
- (4) 大部分岩石在一定的临界围压下出现屈服平台,呈塑性流动现象。
- (5) 达到临界围压以后继续提高围压,不再出现峰值,应力—应变关系呈单调增长趋势。

二、岩石的强度特征

在外载荷作用下岩石抵抗破坏的能力称为岩石强度。

(一) 静载荷下岩石的强度性质

试验表明,岩石的静载荷强度有以下性质:

- (1) 大多数情况下,岩石表现为脆性破坏。
- (2) 同一种岩石的强度并非常数,且影响岩石强度的因素有很多。
- (3) 在不同受力状态下,岩石的极限强度有很大差异。试验表明,岩石在不同应力状态下的强度值一般符合以下规律: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 > 单向抗剪强度 > 单向抗弯强度 > 单向抗拉强度。

(二) 动载荷下岩石的强度性质

岩石承受静载荷达到强度极限以前,外载荷卸出后可以立即恢复到原来静止状态。而在动载荷作用下,虽然外载荷已解除,但岩石的质点由运动恢复到静止状态还需要一个持续过程,所以,岩石的动载荷强度不同于静载荷强度。岩石在动载荷作用下,其强度的增加与加载速度有关。岩石在冲击载荷作用下,无论抗压强度还是抗拉强度都比静载荷作用下要大。

第四节 岩石的工程分级

一、普氏岩石分级法

前苏联 M. M. 普罗托季亚科诺夫于 1926 年提出用“坚固性”这一概念作为岩石工程分级的依据。他建议用一个综合性的指标“坚固性系数 f ”来表示岩石破坏的相对难易程度。通常称 f 为普氏坚固性系数。 f 值可用岩石的单向抗压强度 R_c (MPa) 除以 10 (MPa) 求得。

$$f = \frac{R_c}{10} \quad (1-3)$$

根据 f 值的大小,可将岩石分为 10 级 15 种(表 1-4)。

表 1-4 坚固性分级表

级别	坚固性程度	岩 石	坚固性系数 <i>f</i>
I	最坚固的岩石	最坚固、最致密的石英岩和玄武岩,其他最坚固的岩石	20
II	很坚固的岩石	很坚固的花岗岩类;石英斑岩,很坚固的花岗岩,硅质片岩;坚固程度较 I 级岩石稍差的石英岩类	15
III	坚固的岩石	致密的花岗岩和花岗类岩石,很坚固的砂岩和石灰岩,石英质矿脉,坚固的砾岩,很坚固的铁矿石	10
III a	坚固的岩石	坚固的石灰岩,不坚固的花岗岩,坚固的砂岩,坚固的大理岩,白云岩,黄铁矿	8
IV	相当坚固的岩石	一般的砂岩,铁矿石	6
IV a	相当坚固的岩石	砂质页岩,泥质页岩	5
V	坚固性中等的岩石	坚固的页岩,不坚固的砂岩、石灰岩,软的砾岩	4
V a	坚固性中等的岩石	各种不坚固的页岩,致密的泥灰岩	3
VI	相当软的岩石	软的页岩,很软的石灰岩,白垩,岩盐,石膏,冻土,无烟煤,普通泥灰岩,破碎的砂岩。胶结的卵石和粗砾岩,多石块的土	2
VI a	相当软的岩石	碎石土,破碎的页岩,结块的卵石和碎石,坚硬的烟煤,硬化的黏土	1.5
VII	软 岩	致密的黏土,软的烟煤,坚固的表土层	1.0
VII a	软 岩	微砂质黏土,黄土,细砾石	0.8
VIII	土质岩石	腐殖土,泥煤,微砂质黏土,湿沙	0.6
IX	松散岩石	沙,细砾,松土,采下的煤	0.5
X	流沙岩石	流沙,沼泽土壤,富含水的黄土及富含水的土壤	0.3

二、岩芯质量指标

美国用“岩芯质量指标”(RQD)进行分类,即将钻孔中直接获取的岩芯的总长度,扣除破碎岩芯和软弱夹泥的长度,再与钻孔总进尺相比。在具体计算岩芯长度时,只计算大于 10 cm 的坚硬的和完整的岩芯。其分类如表 1-5 所列。

表 1-5 岩芯质量指标

分类	优质的	良好的	好的	差的	很差
RQD/%	90~100	75~90	50~75	25~50	0~25

$$RQD=\frac{10\text{ cm 以上岩芯累计长度}}{\text{钻孔长度}}\times 100\%$$

(1-4)

思 考 题

- 1-1 岩石有哪些主要的物理性质?
- 1-2 普氏分级是按什么分级的?

第二章 矿山压力

地下岩体在受到开挖以前,原岩应力处于平衡状态。当开掘巷道或进行开采工作时,破坏了原始的应力平衡状态,就会引起岩体内部的应力重新分布,直到煤、岩体内部重新形成一个新的应力平衡状态为止。在此过程中,它表现为巷硐周围煤、岩体产生移动、变形甚至破坏,巷硐本身或安设在其中的支护物会受到各种力的作用。这种由于在地下煤岩中进行采掘活动而在井巷、硐室及采煤工作面周围煤、岩体中和其中的支护物上所引起的力,称之为矿山压力(简称矿压)。在矿山压力作用下,会引起各种力学现象,如顶板下沉、底板鼓起、巷道变形后断面缩小、岩体破坏离散甚至大面积冒落、煤被压松产生片帮或突然抛出、支架严重变形或损坏、充填物受压缩,以及大量岩层移动导致地表发生塌陷等。这些由于矿山压力作用,使围岩、煤体和各种人工支撑物产生的种种力学现象,统称为矿山压力显现(简称矿压显现)。在大多数情况下,矿压显现会给地下开采工作造成不同程度的危害。为使矿压显现不影响正常开采工作和保障生产安全,必须采取各种技术措施加以控制,包括对巷道及采煤工作空间进行支护,对软弱或破碎的煤岩进行加固,用各种方法使巷道或采煤工作空间得到卸压,对采空区进行充填,或用人为的方法使采空区顶板按预定要求冒落等。此外,人们对矿压的控制不仅在于消除和减轻矿压对开采工作造成的危害,还包括有效地利用矿压的自然能量为开采工作服务。所有这些人为地减轻、调节、改变和利用矿山压力作用的各种方法,叫做矿山压力控制(简称矿压控制)。

第一节 采煤工作面上部岩层移动规律

在煤层开采过程中,一般把用来直接大量采取煤炭的场所称为采场,在采场内进行回采的煤壁称为采煤工作面。在实际工作中,采煤工作面就是指采煤作业的场地,与采场同义。

赋存在煤层之上的岩层称为顶板,煤层以下的岩层称为底板。采煤工作面顶板分为伪顶、直接顶和基本顶。

将在煤层与直接顶之间有时存在厚度小于 0.3~0.5 m 的极易垮落的软弱岩层(它随采随冒)称为伪顶。

一般把直接位于煤层上方的一层或几层性质相近的岩层称为直接顶。它通常由具有一定稳定性且易于随工作面回柱放顶而垮落的页岩或砂页岩等岩层组成。通常把位于直接顶上方(有时直接位于煤层之上)的厚而坚硬的岩层叫基本顶。它一般是由砂岩、石灰岩及砂砾岩等岩层组成。

直接位于煤层之下的岩层叫直接底。

一、采煤工作面顶板分类

由于煤层地质条件的多样性,必须将采煤工作面顶板按其组成、强度和有关开采技术条件进行分类。科学的分类可为顶板控制、支架选型、合理确定支护参数以及采空区处理方法

提供依据。目前采用的采煤工作面顶板分类标准,是原煤炭工业部于 1996 年批准的“缓倾斜煤层采煤工作面顶板分类标准”。

(一) 直接顶分类

1. 类别名称

采煤工作面直接顶类别按其在开采过程中表现的稳定程度进行划分。共分为 4 类。其中,1 类又分 2 个亚类。类别代号及名称如表 2-1 所列。

表 2-1 直接顶类别代号及名称

1 类		2 类	3 类	4 类
1a	1b			
不稳定		中等稳定	稳定	非常稳定

2. 分类指标

(1) 基本指标:

直接顶分类的基本指标是平均直接顶初次垮落距(l_r)。

(2) 岩性和结构特征及主要力学参数参考区间:

岩性、节理裂隙、分层厚度、岩石单向抗压强度及其乘积(等效抗弯能力)和综合弱化常量,是划分直接顶类别的重要参考要素。

(3) 分类指标和参考要素:

直接顶分类指标及参考要素如表 2-2 所列。

(4) 2 类直接顶的划分:

表 2-2 直接顶分类指标及参考要素

类别		1 类		2 类	3 类	4 类
		1a	1b			
基本指标		$\tau_r \leq 4$	$4 < \tau_r \leq 8$	$8 < \tau_r \leq 18$	$18 < \tau_r \leq 28$	$28 < \tau_r \leq 50$
岩性和结构特征		泥岩、泥页岩、节理裂隙发育或松软	泥岩、碳质泥岩节理裂隙较发育	致密泥岩、粉砂岩、砂质泥岩节理裂隙不发育	砂岩、石灰岩节理裂隙很少	致密砂岩、石灰岩节理裂隙极少
主要力学参数参考区间	综合弱化常量	$C_{zc} = 0.163 \pm 0.064$	$C_{zc} = 0.273 \pm 0.09$	$C_{zc} = 0.30 \pm 0.12$	$C_{zc} = 0.43 \pm 0.157$	$C_{zc} = 0.48 \pm 0.11$
	单向抗压强度	$R_c = 27.94 \pm 10.75$	$R_c = 36 \pm 25.75$	$R_c = 46.3 \pm 20$	$R_c = 65.3 \pm 33.7$	$R_c = 89.4 \pm 32.6$
	分层厚度	$h_o = 0.26 \pm 0.125$	$h_o = 0.285 \pm 0.13$	$h_o = 0.51 \pm 0.355$	$h_o = 0.675 \pm 0.34$	$h_o = 0.72 \pm 0.34$
	等效抗弯能力	$R_c \cdot h_o < 7.52$	$R_c \cdot h_o = 2.9 \sim 11.4$	$R_c \cdot h_o = 7.8 \sim 29.1$	$R_c \cdot h_o = 33 \sim 104$	$R_c \cdot h_o = 45.5 \sim 139.4$

注:参考指标中, C_{zc} 、 R_c 、 h_o 均为该类顶板相应参数的平均值加减均方差。

对于 2 类直接顶,可根据需要分为两个亚类,如表 2-3 所列。

表 2-3 2 类直接顶的划分

代号	基本指标区间
2a	$8 < \tau_r \leq 12$
2b	$12 < \tau_r \leq 18$

3. 直接顶类别的确定方法

(1) 已采多个工作面的煤层:

根据本煤层实测的直接顶初次垮落距,按式(2-1)求出其平均值 τ_r ,查表 2-2,确定该煤层所属类别。

$$\tau_r = \sum_{i=1}^n l_{ri} \quad (2-1)$$

式中 l_{ri} ——同一煤层已开采工作面的实测直接顶初次垮落距;

n ——同一煤层已开采工作面数,一般应不少于 3 个。

(2) 同一煤层由已采工作面推算未采工作面:

如已知煤层某工作面直接顶初次垮落距 l_r ,可按式(2-2)计算其综合弱化常量,并进而按式(2-3)推算该煤层其他工作面初次垮落距 l_{rci} ,取不少于 3 个工作面的平均值用 τ_r 代替 l_r ,然后按表 2-2 确定其直接顶类别。

$$C_z = \frac{0.118 \ 6 l_r}{\sqrt{R_{cl} \cdot h_{ol}}} \quad (2-2)$$

$$l_{rci} = 8.94 C_z \sqrt{R_{ci} \cdot h_{oi}} \quad (2-3)$$

式中 R_{cl} ——已采工作面的单向抗压强度;

h_{ol} ——已采工作面的直接顶分层厚度;

R_{ci} ——某未采工作面的单向抗压强度;

h_{oi} ——某未采工作面的直接顶分层厚度。

(3) 当基本指标处在两类界线附近时,可根据岩性,结构特征,其他力学要素所处区间判定所属类别。

(4) 未采煤层:

如果煤层尚未开采,可根据地质条件相近的相邻煤层的综合弱化常量(C_z)及钻孔岩芯的取样试验,确定直接顶下位岩层的单向抗压强度及直接顶平均分层厚度,按式(2-3)计算直接顶初次垮落距,由表 2-2 确定直接顶类别。

(5) 由直接顶强度指数,推算直接顶类别:

如已知直接顶强度指数(D),可按式(2-4),式(2-5)换算出直接顶初次垮落距 l_r 。然后按表 2-2 确定直接顶类别。

$$\text{不稳定顶板} \quad l_r = 2.43 + 6.22\sqrt{D} \quad (2-4)$$

$$\text{中等稳定以上顶板} \quad l_r = 6.44 + 2.2D \quad (2-5)$$

(二) 基本顶分级

1. 级别名称

根据基本顶压力显现强烈程度,将基本顶进行分级,共分为四级。其中,IV级又分为两个亚级。级别名称和代号如表 2-4 所列。

表 2-4 级别名称及代号

代号	I 级	II 级	III 级	IV 级	
				IV a	IV b
名称	不明显	明显	强烈	非常强烈	

2. 分级指标

基本顶的分级指标是基本顶初次来压当量(P_e),其值由基本顶初次来压步距(L_f),直接顶充填系数(N)和煤层采高(h_m)按式(2-6)确定。基本顶的分级指标如表 2-5 所列。各级基本顶相应的典型地质技术条件如表 2-6 所列。

$$P_e = 241.3 \ln(L_f) - 15.5N + 52.6h_m \quad (2-6)$$

式中 P_e ——基本顶初次来压当量, kN/m^2 。

表 2-5 基本顶分级指标

基本顶级别	I 级	II 级	III 级	IV 级	
				IV a	IV b
分类指标	$P_e \leq 895$	$895 < P_e \leq 975$	$975 < P_e \leq 1\ 075$	$1\ 075 < P_e \leq 1\ 145$	$P_e > 1\ 145$

表 2-6 各级基本顶相应的典型地质技术条件

基本顶级别			I 级		II 级		III 级		IV 级		
									IV a		IV b
分级界限/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$)			$P_e \leq 895$		$895 < P_e \leq 975$		$975 < P_e \leq 1\ 075$		$1\ 075 < P_e \leq 1\ 145$		$P_e > 1\ 145$
典型 条件	L_f, m	N 区间	1~2	3~4	1~2	3~4	1~2	3~4	1~2	3~4	1~2
		$h_m=1$	<37	37~41	41~47	47~54	54~72	72~82	82~105	105~120	>120
		$h_m=2$	<30	30~34	34~38	38~43	43~58	58~66	66~85	85~86	>96
		$h_m=3$	<24	24~27	27~31	31~35	35~46	46~53	53~68	67~78	>78
		$h_m=4$	<19	19~22	22~27	27~31	31~41	41~47	47~55	55~62	>62

3. 基本顶级别确定方法

(1) 计算初次来压步距:

当初次来压步距不超过工作面长度的 1/2 时,取其实测值作为式(2-6)中的 L_f 。如果初次来压步距超过工作面长度 1/2 时,实测的初次来压步距需按照式(2-7),式(2-8),式(2-9)进行修正。将修正后的基本顶初次来压步距 L_{fc} 取代式(2-6)中的 L_f 。

① 四周未采的工作面:

$$L_{fc} = \frac{L_f}{\sqrt{(1+k)/(1+\mu k)}} \quad (2-7)$$

② 一边采空或有走向断层的工作面：

$$L_{tc} = \frac{L_i}{\sqrt{2(2+k)/(4+3\mu k)}} \quad (2-8)$$

③ 两侧已采的工作面：

$$L_{tc} = \frac{L_i}{\sqrt{2(1+k)/[3(1+\mu k)]}} \quad (2-9)$$

式中 $k=L_i/L_w$ (L_w 为工作面长度)；

μ ——基本顶岩石的波桑系数(一般可取：砂质页岩， $\mu=0.35$ ；砂岩， $\mu=0.2\sim0.3$ ；砾岩， $\mu=0.2$)。

(2) 用周期来压步距推算初次来压步距：

如已知基本顶周期来压步距(L_p)，可用式(2-10)推算初次来压步距(L_i)。

$$L_i = 2.45L_p \quad (2-10)$$

(3) 直接顶充填系数计算：

直接顶充填系数 N 按式(2-11)计算：

$$N = h_i/h_m \quad (2-11)$$

① 直接顶厚度确定原则：

(a) 当直接顶厚度小于 6 倍采高时， h_i 取实测直接顶厚度。

(b) 当直接顶厚度大于 6 倍采高时，取 $h_i=6h_m$ 。

② 煤层采高(h_m)确定原则：

(a) 一次采全高的工作面，以煤层厚度作为煤层采高。

(b) 分层开采的工作面，以分层采高作为煤层采高。

(4) 计算初次来压当量平均值 P_e 及级别划分：

由已采工作面的 L_i ， N ， h_m ，按式(2-6)计算初次来压当量平均值 P_e ，然后对照表 2-5，对该煤层基本顶级别进行判定。

二、基本顶岩层的梁式破断

(一) 直接顶的初次垮落

当工作面自开切眼推进一段距离后，直接顶暴露达到一定跨度，采空区进行初次放顶，直接顶开始垮落，这一过程称作直接顶的初次垮落，此时直接顶的跨距称为初次垮落距。初次垮落距的大小由直接顶岩层的强度、分层厚度、直接顶内节理裂隙的发育程度所决定，它是直接顶稳定性的一个综合指标。

根据第一章内容可知，岩石具有碎胀性，因此直接顶岩石破碎后的体积将比整体状态下增大，其碎胀系数为 K 。岩石受压后，碎胀系数变小，岩石压实后的残余碎胀系数为 K' 。

若直接顶岩层的垮落厚度为 $\sum h$ ，则它冒落后堆积的高度为 $K \cdot \sum h$ 。它与基本顶之间所可能留下的空隙 Δ 为：

$$\Delta = \sum h + M - K \cdot \sum h = M - \sum h(K-1) \quad (2-12)$$

此时，沿走向方向采煤工作面前后的岩层情况如图 2-1 所示。

当 $M = \sum h(K-1)$ 时，则 $\Delta = 0$ ，即冒落的直接顶将充满采空区。此时，基本顶的弯曲下沉量一般较小，常可忽略不计。