

井田精查阶段煤层顶板稳定性的工程地质研究

中国矿业大学

许惠德 马金荣

煤层顶板的稳定性,是影响矿井建设和生产的最重要问题之一。随着我国煤矿生产技术的发展,回采工作面机械化和综合机械化程度的不断提高,国家对地质勘探部门提出了预测煤层顶底板和主要井巷围岩稳定性的要求。在《煤炭资源地质勘探规范》中,虽作了“在资源勘探工作中,特别是详查和精查阶段,必须做好开采技术条件的勘探工作。”的规定,可是,如何做好勘探工作,如何评价开采技术条件,却在规范中没有提及。开采技术条件评价主要归结为稳定性问题,目前,煤炭设计、研究部门均采用的是煤炭科学研究院北京开采所和中国矿业大学等单位提出的分类法,此法并不适用于地质勘探阶段。预测煤层顶底板和井巷围岩的稳定性,以指导井田的设计和生,是当前急需研讨的问题。

本文通过对山西省潘庄一号井田精查阶段勘探的工程地质研究,初步总结了一种方法,称多因子工程地质分析法,它是在苏联传统的分析方法的基础上,吸取了欧美国家的地质险情分析方法之长,结合我国井田的实际情况归纳提炼而成的。它所考虑的主要工程地质因素是:井田建造、层组岩组特征、岩性变异特征、岩体质量优劣分级、构造变异特征、河谷卸压影响及水文地质条件分析等。以岩组划分为基础,融合其它工程地质因素,然后合成并编制出工程地质稳定性分区图件。

现以潘庄一号井田首采区3号煤层顶板为例,作如下介绍。

一、建造、层组和岩组

建造、层组和岩组特征是岩体的物质组合特征,它是组成井田地质岩体的基本要素,亦是评价煤层顶板的首要因素。所以必须首先对井田进行建造、层组和岩组的划分。

建造为一定的大地构造单元内,成岩作用在时间上的分异特征的术语,它是一个宏观概念,对于具体的工程岩体的稳定性评价未免过于粗略,划分建造有时意义不大。例如潘庄一号井田的可采煤层,其影响范围内

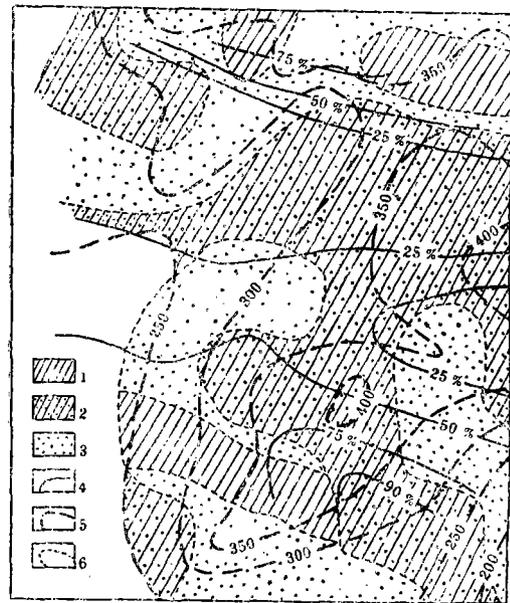


图1 层组岩组(附RQD等值线和上覆岩层等厚线)图

- 1—中细粒砂岩岩组; 2—泥岩、粉砂岩互层岩组;
- 3—泥岩粉砂岩岩组; 4—RQD等值线;
- 5—上覆岩层等厚线; 6—分区界线

潘庄一号井田工程地质岩组划分表

表 1

岩组名称	岩性标志	层组类型	点荷强度 (MPa)	声波速度 (Vp)
泥岩、粉砂岩岩组	泥岩。局部夹砂岩条带,以伊利石、石英为主,石英有的被粘土矿物交代。含粉砂泥质结构,显微定向构造。软质岩为软化性岩石。各向异性	中厚—厚层,部分薄层。水平纹理为主。岩相变化大,为单层结构	15.03~34.86 强度低	4762~5133
	粉砂岩。以伊利石为主,石英有的被粘土矿物、方解石交代。含粉砂泥质结构。显微定向构造。软质—硬质岩。各向异性,弱膨胀	中厚层。水平纹理发育。岩相变化大,为单层结构	11.43~60.93 强度低	4210~4970
中、细粒砂岩岩组	中粒砂岩。以石英为主。极硬岩。各向异性	中厚层。大型交错层理。具垂直裂隙。为单层结构	35.80~163.00 强度中等	4411~4808
	细粒砂岩。以石英为主。硬质—极硬质岩。为软化性岩石。各向异性	中厚—厚层。波状层理和小型交错层理。为单层结构	13.74~78.94 强度中等	2732~5707
泥岩、粉砂岩互层岩组	岩性同泥岩粉砂岩岩组。以软质岩为主,夹炭质泥岩	薄层状。有离层和泥化现象。岩相变化大。为多层结构	炭质泥岩强度甚低	
粉砂岩、细粒砂岩互层岩组	为软质岩与硬质岩互层。上部粉砂岩层厚较薄,下部细粒砂岩层厚也较薄	具韵律性。直线型斜层理。有离层现象。岩相变化大。为多层结构	强度低和强度中等互层	

主要为含煤建造,次为碳酸盐岩建造,类型较简单。首采区3号煤层顶板为一单一的含煤建造,未划分建造类型,作为基础资料仅在层组、岩组的划分中予以体现。如建造类型较多,仍应在划分建造类型的基础上再进行层组、岩组的划分。

层组,指的是不同岩性的岩层作有规律的组合。它的划分是在建造基础上进行的,其组合方式称为层组结构。层组结构是井田地质岩体的基本要素,体现了岩体构造特征,它影响着煤层顶底板和井巷围岩的稳定性。根据井田内地层沉积规律,潘庄一号井田可划分出单层结构和多层结构两大类。

岩组,为岩体与岩石在一般特征上类似

工程地质特征上相近的组合。它的划分是在层组基础上进行的,是进行顶底板稳定性分区和评价的基础。表1所列为3号煤层首采区顶板层组和岩组类型划分情况。据此分类作层组岩组分区图,并附岩石质量指标(RQD)等值线及上覆岩层等厚线(图1)。

按照精查阶段的精度要求,将岩体划分到岩组这一级是合理的。同时,受勘探工程量和经济效益限制,没有按岩体物理力学性质作进一步划分。

二、岩性变异特征

岩组的划分虽是基础,但它只能反映物理力学性质的一定变化范围,不能提供整个

单元的力学性质的可靠平均值,亦不能完全反映同一岩性的岩体变形破坏规律,而这种规律与岩体的物理状态有着密切的关系。同一岩组,在纵向及横向上的物理力学等属性,有质和量方面的差异,且常具有过渡特征,岩体工程地质特性的不均一性和各向异性,使岩体变形破坏也呈现多种形式。岩性的变异是客观存在的,它们会对岩体的变形破坏、煤层顶底板和井巷围岩的稳定性带来巨大的影响,特别是含煤建造反应更为明显。我们对3号煤层顶底板岩体,进行了室内的物理力学性质指标的测定、室内微观分析(包括薄片鉴定、差热分析、X衍射分析和电子显微镜分析),整理分析这些资料后得出了以下结论:

泥岩、粉砂岩不具膨胀性。

粉砂岩中石英有被粘土矿物交代,具泥质结构和显微定向构造,基底式胶结,胶结物为泥质,与泥岩有相似的物理力学性质,强度较低。

在同一岩组中,岩石的强度有由井田北部向中偏南部降低的趋势。

井田中部岩体破碎程度提高。

各类岩石随深度增加其完整程度提高。

这种在井田范围内,到处都有的岩性变异的反映,为井田煤层顶底板工程地质稳定性分区和开采技术条件评价提供了依据。我们体会到岩石的声波测试、点荷载强度试验和多种手段的室内微观分析,是岩组的划分、煤层顶板的稳定性评价的有力手段,值得大力推广应用。

三、岩体质量优劣分级

岩性的变异,造成了但不能完全反映出岩体质量的优劣,岩体质量的优劣能反映岩体性质的好坏,即反映组成岩体的岩块大小、结构面和结构体的抗剪强度与活动应力等。在井田勘探阶段,采用中国科学院地质

研究所提出的岩体质量系数来对岩体质量优劣进行分级是较合适的。在潘庄一号井田的岩体分级中,因受勘探技术条件等的限制,提供岩体质量系数有一定困难,故采用了岩石质量指标RQD,它虽是主要反映岩体完整性及耐磨程度的数量指标,不能作为岩体分级的主要依据,但它与岩体的工程性质有较好的互换性,以其作为岩体质量优劣的半定性评价还是可取的。

从RQD等值线的分布(见图1),可以看出井田首采区的中上部地段岩体质量极坏,从中可以推测出此段岩体质量欠佳的结论。

应该指出的是,利用RQD来评价岩体质量的优劣程度,只能是权宜之计,不值得提倡,评价还应尽量采用岩体质量系数这一指标。

四、构造变异特征

构造变异是岩体稳定与否的内在因素,它指的是构造体系在井田中的反映,特别是中、小型的构造和形迹。构造变异造成了局部构造应力场的产生、应力的集中与释放。它们对煤层的顶底板和井巷围岩的稳定性都带来了巨大的影响,使岩体破碎、离层、泥化、强度降低、涌水量增加、瓦斯等气体富集、岩爆、煤爆发生可能性的增加,也影响了山岩压力的大小,所以,构造变异是重要的工程地质因素之一。

潘庄一号井田受新华夏系构造和晋东南山字型构造的复合影响。井田本身位于山字型构造脊柱南端,地层倾角平缓(约 $5 \sim 15^\circ$);褶皱呈舒缓波状,无较大的断层存在;地震烈度不高(6度);组成3号煤层顶板的岩石大多为松软岩石,有离层和泥化现象。从中可以看出,井田不易积聚大量应变能,井田内的构造应力是较低的。值得注意的是,受新华夏系的影响,褶皱轴向于井田

北部为SN向，延伸到井田中部以后，偏移为SW向，并发育有多起次级褶皱，组成了一个小型帚状构造，其收敛端恰是褶皱轴的转折部位，致使此段工程地质、水文地质条件变得复杂，岩体甚为破碎，强度低，涌水量大，同时也为瓦斯的富集和突出提供了条件（图2）。在此部位所进行的抽水试验和瓦斯试验都显示了构造变异的影响。

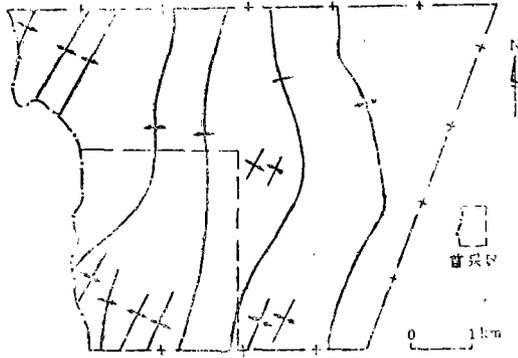


图2 潘庄一号井田构造轮廓图

五、河谷卸压

河谷卸压是岩体稳定与否的主要外在因素，它会影响采场和巷道的顶、帮内的应力分布，而应力的增加、岩体的膨胀、松弛、裂隙的产生均会使顶板和围岩的不稳定性加剧。

3号煤层首采区所在地区，为一构造剥蚀的低山及剥蚀堆积丘陵地形，河谷的两侧为侵蚀堆积地形，河谷切割较深，卸压现象较为严重。据3号煤层上覆岩层的厚度（见图1）和性质、顶板岩层的强度，预计了相对严重卸压区段。这些区段与岩性变异中的强度降低段、纵波波速减慢段、岩体质量极坏段和构造变异中的岩体破碎段相吻合。充分说明了彼此间的相互联系和影响。

由于我国目前还不具备在生产中推广应力测量技术的条件，学术上也还没有一个较为完善的理论计算方法，所以河谷卸压只能

作一般性的评价，人为因素的影响是较大的，且具有程度上的相对性。今后这方面应加深研究，使其逐步达到定量化。

六、水文地质条件

水文地质条件是工程地质的重要因素，对煤矿来说更显得重要。我们认为主要考虑的因素应是含水层与煤层的相对位置、隔水层厚度、含水层的水量和水压大小、煤层厚度和产状、开采方法。评价中要根据地质、水文地质观测和试验资料，来预计煤层开采后冒落带和破裂带的高度、底板突水的可能性；井巷建设过程中地下水的危害；采场、井巷的充水条件、水量大小；岩层软化、泥化、膨胀和崩解的可能性。

分析计算3号煤层顶板岩体冒落带和破裂带的最大高度值后，得出了冒落带与上覆含水层相连接，采场充水不可避免（由于各含水层均属弱含水层，涌水量较小易于疏排），但不会造成充水威胁的结论。同时，结合微观分析和室内试验，证明岩层不会因水膨胀和崩解。

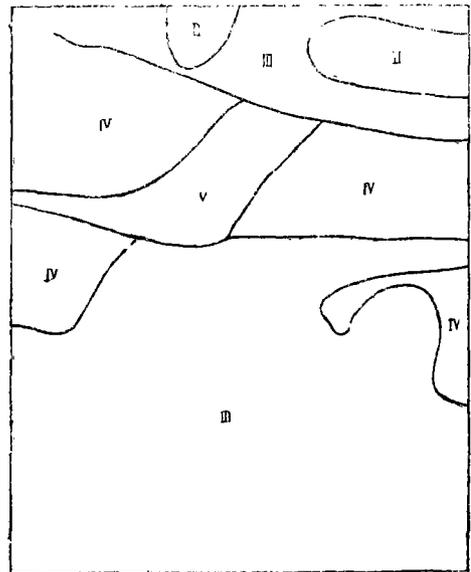


图3 首采区工程地质分区图
II—稳定区；III—中等稳定区；IV—不稳定区；
V—极不稳定区

关于矿井涌水量预测的几个问题

贵州水城汪家寨煤矿 朱启仁

通常在地质勘探阶段用解析法预测矿井涌水量，并以其值作为矿井设计排水能力的依据。但实践表明，此预测值与实际值相差较大，导致有些矿井因排水能力不足而淹没。

一

矿井涌水量预测的方法很多，勘探时选择那种方法最合适，常出现分歧意见。由于方法各异，预测结果各不相同，并且用矿井实测资料也难以证实谁是谁非，所以，在研究对象复杂、又只能通过有限资料进行推测的矿井涌水量的预测上，确属一个比较棘手的问题。

经过反思之后，发现问题比我们承认的要严重的多。关键并不在于怎样选择正确的预测方法，或者是否能找到某种正确的预测方法，而是未来矿井在客观上并没有一个固定的涌水量值等待人们去预测。

一般认为矿井涌水量随井巷工程和采空区的增加而增加，达到与所有含水层（带）

有效接触面积最大时为预测量，亦即矿井的'最大涌水量。显然，这是矿井生产末期的涌水量（按水平预测，则是该水平生产末期的涌水量）。如果照这个成果设计排水能力，只能是矿井投产几十年后才需要的能力，因其未能提供日常生产过程中的涌水量，因而在经济上也是不合理的，况且这样做了之后，仍有淹井事故发生。

随着井巷工程和采空区的增加，加之矿井中出水点数量和各出水点流量的不断变化，矿井涌水量是个变量，其最大、最小值之间通常相去甚远，特殊情况下可达数十倍，或者更多，这就产生了下列问题：

1) 由于矿井涌水量是个变量，其表示方法可以是年、月、日的平均涌水量，以及瞬时涌水量等。时段、数值的不同，最大值也不同，按说应为最大涌水量值，可无时段概念就不知是哪个最大值。如果要求给出时段概念，则现行预测方法不可行，因为在所有最大值中，必然是瞬时最大值最大。

七、工程地质稳定性分区

工程地质稳定性分区是对井田工程地质条件研究成果的最终反映。井田精查阶段的稳定性分区，属于专门性的工程地质分区，应按对工程地质现象的分析和岩土工程地质特性来进行。按具体工程目的进行评价、编制专门性的工程地质分区图。据此原则，考虑了以上分析的诸因素，对3号煤层顶板采用以岩组为基础的多因子工程地质分析法，进行了工程地质稳定性分区（图3）。

对井田进行工程地质分区，一定会对井

田的设计、施工、生产带来积极的影响。

在井田精查阶段，利用多因子工程地质分析法对井田的开采技术条件进行分区和评价，看来是一个较全面又合理的方法，它不仅能引导和加速井田的开发，还充实了《煤炭资源地质勘探规范》中，有关开采技术条件的内容和精度。利用此法，同样可对煤层底板、井巷进行工程地质分区和评价，然而在分析工程地质因素时，需密切结合底板和井巷的具体工程特性。利用此法，还可在详查等其它勘探阶段，进行工程地质评价，显然，其精度要求有所不同。所以，此法具有

实践证明, 瞬时最大涌水量只会出现在含水层(带)被揭露时, 而不会出现在含水层被揭露之后。可是现行涌水量的预测方法并无一种是用揭露含水层(带)时的涌水量进行预测的。

矿井对最大涌水量要求必须有一个时段概念: ①就矿井安全而言, 即使是总水量仅数个 100m^3 的古窿水, 如果瞬时涌水量很大, 也可能冲毁巷道, 造成人员和财产损失; ②就排水能力而言, 即使年平均涌水量不大, 若某日的平均涌水量超过排水能力, 就可摧毁泵房, 造成淹井事故。

2) 矿井年平均涌水量虽常是逐年增加的, 可大多数淹井事故却不发生在矿井生产即将结束之时, 或者说超过预测值并且导致淹井事故的最大涌水量, 既非年平均最大涌水量, 又不一定出现在年平均涌水量最大的那一年之中, 即不一定出现在矿井与含水层(带)有效接触面积最大的时候。

3) 矿井涌水量变化的重要原因之一, 在于矿井生产改变了矿床自然水文地质条件, 并与气候变化情况发生密切关系。例如, 云贵高原的矿井, 由于地处山区, 雨季涌水量高于旱季数倍至十数倍, 可是一般预测方法却又都不考虑气候条件的影响, 不是用改变了的、矿井生产期面临的水文地质条件及其参数值来预测涌水量, 而是用改变之前、矿床自然水文地质条件及其参数值来预测涌水量。它只考虑地下水 and 地表水, 而不考虑大气降水对矿井各个生产期的不同影响。

现行矿井涌水量预测方法也不考虑矿井广泛的适用性。

鉴于多因子工程地质分析法初步建立, 考虑的因素还不够完善(如煤层赋存条件、煤的工程地质特性、瓦斯压力、开采方法、采动影响后的岩性和构造变异等工程和工程地质因素的影响程度, 尚未形成完整的评价

生产所造成的通道条件变化情况, 不考虑也不可能确切得知矿井开发强度将如何变化; 对井巷系统布置及施工顺序如何? 回采工艺如何? 顶板管理方法如何? 矿井开发对地面的影响如何等? 即不考虑也不确切知道水文地质条件和矿井空间形态如何变化? 也不管下雨与否? 雨量大小与分布怎样? 矿井对含水层(带)的揭露过程和对地下水的疏干过程如何? 涌水量都是那么多。实质上, 这样做是把相对静止的矿床自然水文地质条件与不断发展变化的矿井水文地质条件混为一谈, 把短期钻孔抽(注)水试验与矿井长期的疏干作用混为一谈, 把地下空间形态固定不变的地下水运动状况与揭露含水层(带)过程中的地下水运动状况混为一谈。这是不能真正解决问题的。

二

矿井生产对水文地质条件的改造, 如疏干作用使某些饱水带变成包气带; 岩石渗透系数大幅度提高使隔水层变成透水带; 矿井形态的发展使矿井与水源的距离逐渐缩短; 矿区地面入渗率的变化改变地下径流率等, 不仅使矿床自然水文地质条件与矿井面临的水文地质条件不同, 而且使决定矿床与矿井自然水文地质条件的因素也有所区别。

固体矿产的开发, 可引起地下水和已采矿体及矿井围岩发生变化, 并导致水文地质条件发生变化:

1) 矿床自然水文地质条件虽是矿井水文地质条件的基础, 但前者由于受到矿产开发

方法), 有待今后进一步的总结归纳。对已考虑到的工程地质因素, 也还有去粗取精、去伪存真、由定性到定量的提高过程。但愿本文对广大地质勘探工作者, 在对煤层顶底板和井巷稳定性评价上, 能起到抛砖引玉作用。