

井下导高观测时的含水层导高判据

黄万朋, 高延法, 王东旭, 李学彬, 王正泽

中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院, 北京 100083

摘要 为了准确测出工作面开采后覆岩导水裂缝带发育高度,提出了含水层判断导高的新判据。新判据分析认为,利用井下导高观测仪观测导水裂缝带高度时,观测钻孔施工过程中若穿透覆岩上方含水层,使承压水从钻孔内泻出,则说明导水裂缝带未发育至含水层层位高度。因此,实际工程应用中,在对导高进行合理预计的基础上,根据含水层是否被破坏分析含水层与导水裂缝带的层位关系可以作为确定导高的新判据。结合多个矿井工作面导高观测实例,验证了新判据判断覆岩导高值更为准确合理,具有更高的安全性。

关键词 导水裂缝带;导高观测仪;含水层判据;现场实测

中图分类号 TD325

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.03.008

A New Kind of Aquifer Criterion to Determine the Permeable Fractured Zone's Height in Field Measurement

HUANG Wanpeng, GAO Yanfa, WANG Dongxu, LI Xuebin, WANG Zhengze

School of Mechanics & Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

Abstract This paper proposes a new kind of aquifer criterion to determine the permeable fractured zone's height after working face mining. The new criterion can be explained as follows. It is shown that if the permeable fracture zone's height is monitored by the measuring instrument, one may see the designed drill break across the aquifer upon the fractured zone. Then the confined water would flow down through the drill. This phenomenon shows that the permeable fractured zone has not been developed to the height of the aquifer layer. So, whether the aquifer layer is destroyed may be taken as a new kind of criterion to determine the height of the permeable fractured zone. With this new criterion, one must analyze the layer relationship between the permeable fractured zone and the aquifer based on the reasonable prediction of the permeable fractured zone's height. According to the regression analysis of measured results of some coal mine's permeable fractured zone height, the new criterion is shown to be more accurate and safer in determining the permeable fractured zone's height.

Keywords permeable fractured zone; height-measuring instrument; aquifer criterion; field measuring

0 引言

煤层开采后,上覆岩层弯曲沉降发生变形破坏,根据覆岩破坏状况,一般将采场覆岩由下至上划分为垮落带、导水裂缝带和弯曲带^[1]。对导水裂缝带发育高度的研究,不仅对预防矿井水害,确保承压水下工作面的安全开采具有积极的作用,而且对提高煤层开采上限,提高煤炭资源回收率具有重要的实用价值。中国矿井对于导水裂缝带高度的研究始于 20

世纪 60 年代,开始只是利用经验法或类比法对导水裂缝带高度进行初步预测;20 世纪 80 年代至今,中国开展了许多水体下采煤的专题性研究,采用现场实测、相似材料模拟和计算机数值分析等方法能够较准确地确定覆岩导高值^[2-4]。现场实测作为导高确定的主要研究手段,近几十年发展出导高观测仪注水观测法、高密度电阻率法、超声成像法、电视成像技术及微地震(MS)技术监测等多种方法,为水体下采煤提供了

收稿日期:2011-12-07;修回日期:2012-01-10

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB209405);国家自然科学基金项目(51024003);《科技导报》博士生创新研究资助计划项目(kjdb201001-10)

作者简介:黄万朋,博士研究生,研究方向为矿井防治水和深井巷道支护,电子信箱:huangwanpeng2002@126.com;高延法(通信作者),教授,研究方向为矿井防治水和深井软岩巷道支护,电子信箱:gyfkd@263.net

可靠的技术依据和安全保障^[5-8]。然而在井下实际工程应用中,物探方法存在成本较高,受井下恶劣条件影响较大的缺陷;导高观测仪注水法虽然具有工程量小、观测成本低及测量结果准确可靠等优点,但观测过程中仍然受钻孔成孔质量的影响较大。

近年来,通过使用井下导高观测仪进行的大量井下实际观测发现,设计的观测钻孔在施工过程中有时会穿透导水裂缝带上方未被破坏的含水岩层,发生钻孔涌水现象。因此,可以利用此含水层的层位高度作为导水裂缝带发育高度的上限值。通过观测钻孔的涌水量判断含水层层位高度,并与导高观测钻孔的观测结果进行对比分析,可以更加清晰准确地确定导水裂缝带的高度,从而可作为一种新的导高观测判据。此新判据仅在观测钻孔施工过程中就能预判导高发育上限值,无需采用观测设备进入钻孔进行操作。

1 井下导高观测仪观测导水裂缝带高度原理

1.1 导高观测仪结构

井下导高观测仪由观测探头、连接管路与控制台^[3]部分组成,如图1和图2所示。观测探头由两个起胀胶囊和注水探管组成。连接管路有起胀管路和注水管路两条。与连接管路对应的控制台有起胀控制台和注水控制台两个。起胀控制台、起胀管路和探头的两个胶囊相连通,构成控制胶囊膨胀和收缩的起胀控制系统。注水控制台、注水管路和探头的注水探管相连通,构成控制和观测岩层导水性的注水观测系统。

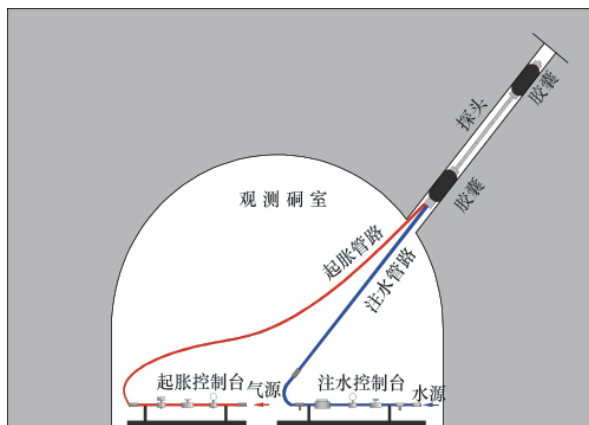


图1 井下导高观测仪整体结构

Fig. 1 Integral structure of observation instrument

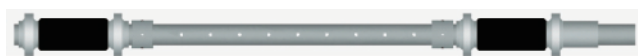


图2 观测探头结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of measuring probe

1.2 导高观测仪观测原理与方法

1.2.1 观测原理

导水裂缝带由于裂隙发育,导水性能好,相对于弯曲带及未受采动影响的岩层,渗透性较大。井下导高观测仪正是利用此原理,对不同高度岩层的渗透性进行测试,从而判断

导水裂缝带高度。

采后覆岩顶板运动稳定后,在采空区周围向顶板施工仰斜钻孔,穿过垮落带及导水裂缝带,进入弯曲带10m左右,使用导高观测仪进行注水观测,测试钻孔内每段岩层的透水性。导水裂缝带内的岩层由于次生裂隙发育,在0.1MPa的注水压力下,岩层注水渗透量一般大于10L/min;而裂缝带外的裂隙不发育岩层,岩层注水渗透量一般小于5L/min。通过观测结果可判断导水裂缝带发育高度。

1.2.2 观测方法及步骤

(1) 钻孔设计。为便于施工,设计钻孔仰角为 40° — 70° ,钻孔长度保证穿过覆岩导水裂缝带,并进入其上方的弯曲带10m左右。导水裂缝带预计高度可以采用经验计算公式的最大值。

(2) 钻孔施工。在回采工作面周边的适当位置,向采空区上方打仰斜钻孔。施工时间应为工作面推过观测位置2—3个月。

(3) 导高观测。使用井下导高观测仪,由孔口起自下而上逐段(每段1m)测试每段岩层的导水性能,一直测试到孔底。实测到的透水岩层的最大高度,就是采场覆岩的导水裂缝带高度。

观测时首先对双端堵水器的两个胶囊充气加压,充气压力为0.3—0.4MPa,使之处于承压膨胀状态,从而封堵分隔一段钻孔。然后操作注水控制台,对分隔出的一段钻孔进行注水观测,封堵段的注水压力为0.1MPa。通过注水控制台上的流量计,观测这段岩层单位时间的注水渗透量,从而测试出这段岩层的透水性能。

2 井下导高观测仪观测导水裂缝带高度新判据研究

2.1 导水裂缝带高度新判据分析

采煤工作面位于顶板富水区域下时,顶板岩层往往包含1层或几层含水层。若导水裂缝带发展到含水层层位,会使含水层内的水泻出,造成工作面涌水量加大,给工作面的安全生产造成危害^[9]。若含水层位于导水裂缝带之上,处于弯曲下沉带,那么由于裂隙不发育,含水层内的水会保持在此层位中不产生下泄。含水层与导水裂缝带层位关系如图3所示。

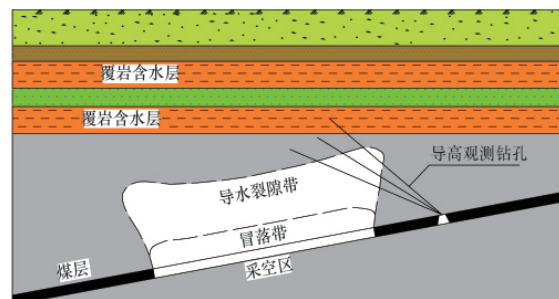


图3 含水层与导水裂缝带层位关系图

Fig. 3 Layer relation between aquifer and permeable fractured zone

基于此种情况,在井下利用导高观测仪观测导水裂缝带高度时,可预先设计施工穿含水层钻孔,根据钻孔涌水量变化判断含水层是否被破坏。以含水层与导水裂缝带的层位关系作为确定导高的新判据,具体观测方法为如下。

(1) 利用经验公式预计导水裂缝带发育的高度值,分析工作面综合柱状图,判断含水层层位。

(2) 预先设计施工穿含水层钻孔,施工过程中进行钻孔涌水量的现场监测。若发现钻孔涌水量有急剧增大,且不见衰减的情况,可判断设计钻孔穿透了覆岩含水岩层,同时说明含水层岩层裂隙不发育,不在导水裂缝带高度范围内。因此,将此含水层层位高度作为导水裂缝带发育高度的上限值,具有足够的安全可靠性。

(3) 设计施工正常导高观测钻孔,采用导高观测仪分段注水观测方法对导水裂缝带高度进行观测。

(4) 导高观测结果与穿含水层的钻孔观测结果进行对比分析,最终确定导水裂缝带发育高度。

2.2 工程实例分析

2.2.1 北皂煤矿海域 2106 面采场覆岩导高观测

(1) 工作面概况。

H2106 工作面位于海域-350m 水平一采区,工作面标高-280—-330m,设计导高观测剖面位置处煤层采厚为 4.2m。

覆岩顶板岩层以含油泥岩和泥岩为主,其强度较低,平均抗压强度为 7MPa。

(2) 导高观测钻孔设计。

根据 H2106 回采工作面的地质条件、巷道条件和时间要求,观测剖面的钻窝选择在 H2106 面下顺槽南侧,走向上距 H2106 面开切眼 180m,倾向上距 H2106 面下顺槽 20m,中间留有 20m 煤柱。共布置 3 个观测钻窝,分别观测 I-I、II-II、III-III 3 个观测剖面,布置观测钻孔 10 个。钻孔布置剖面如图 4 所示,观测钻孔要素见表 1。

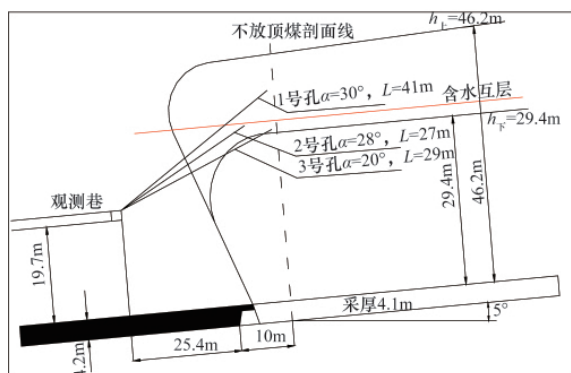


图 4 H2106 面 III-III 观测剖面导高观测钻孔布置图
Fig. 4 Borehole's layout at III-III measuring profile of H2106 working face

由于煤 2 顶板上 38m 左右存在 1 层含水泥砂互层,此次导高观测将观测孔分为两类进行,即不过含水互层只打钻到互层底部观测钻孔和穿过含水互层观测钻孔。根据经验公式计算出导高发育高度的最大、最小值分别为 29.4m 和 46.2m,

表 1 H2106 面导高观测钻孔要素表

Table 1 Measured drill's parameters

剖面	孔号	钻孔仰角/(°)	与互层关系	钻孔长度/m	钻孔方位/(°)	孔径
I-I	A1	32	到互层底	29	20	Φ89
	A2	28	到互层底	33	20	Φ89
	A3	24	到互层底	38	20	Φ89
II-II	B1	32	到互层底	27	0	Φ89
	B2	28	到互层底	26	0	Φ89
	B3	24	到互层底	33	0	Φ89
	B4	32	穿过互层	37	0	Φ89
III-III	C1	28	到互层底	27	294	Φ89
	C2	20	到互层底	29	294	Φ89
	C3	30	穿过互层	41	304	Φ89

在图 4 中标出其发育高度形态轨迹线。

(3) 观测结果分析。

在 10 个导高观测钻孔中,8 个得到观测数据,有 7 个观测数据可用,其中有 5 个为施工到含水互层底部观测点,2 个穿过含水互层观测点。5 个互层底导高观测点注水渗流量都较大,分析可以确定观测段都处于导水裂缝带范围内,导水裂缝带高度最大值已发育到含水互层底板。典型观测成果 B3 成果图如图 5 所示。

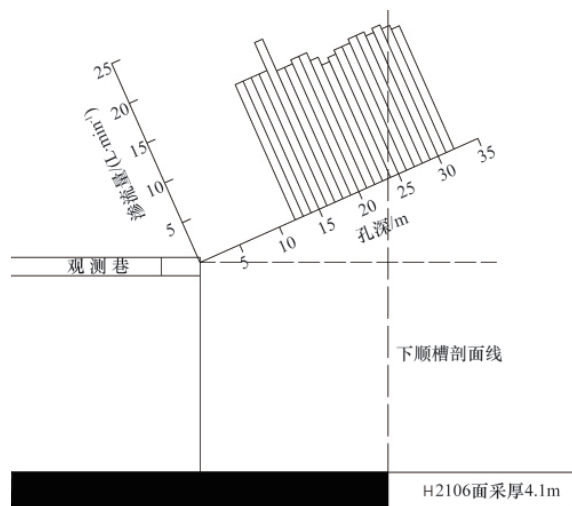


图 5 B3 孔导高观测成果图
Fig. 5 Measured result of B3 drilling

5 个观测钻孔最终测得的导水裂缝带发育高度如下。

$$A1 \text{ 孔}: H(A1) \geq h_1 + h_2 + h_3 = 20\text{m} + 14.8\text{m} + 1.8\text{m} = 36.6\text{m}$$

$$A3 \text{ 孔}: H(A3) \geq h_1 + h_2 + h_3 = 20\text{m} + 14.2\text{m} + 1.5\text{m} = 35.7\text{m}$$

$$B2 \text{ 孔}: H(B2) \geq h_1 + h_2 + h_3 = 20\text{m} + 11.3\text{m} + 1.6\text{m} = 33.9\text{m}$$

$$B3 \text{ 孔}: H(B3) \geq h_1 + h_2 + h_3 = 20\text{m} + 13\text{m} + 1.5\text{m} = 34.5\text{m}$$

$$C1 \text{ 孔}: H(C1) \geq h_1 + h_2 + h_3 = 20\text{m} + 12.7\text{m} + 1.8\text{m} = 34.5\text{m}$$

其中, h_1 为观测巷钻窝底板相对煤层 2 的高度; h_2 为终孔点到孔口的竖直高度; h_3 为孔口到钻窝巷道底板高度。

2 个穿越含水互层观测孔观测结果可见, 含水互层中的

水还保存在互层当中没有流失,根据各个观测数据得出导水裂缝带高度如下。

$$C3 \text{ 孔}: H(C3) < h_1 + h_2 + h_3 = 20\text{m} + 17.5\text{m} + 1.8\text{m} = 39.3\text{m}$$

$$B4 \text{ 孔}: H(B4) < h_1 + h_2 + h_3 = 20\text{m} + 17\text{m} + 1.8\text{m} = 38.8\text{m}$$

B4 孔观测成果如图 6 所示。

综合上述观测成果,并考虑足够的安全系数,可以得出结论:H2106 工作面覆岩导水裂缝带的高度为 $H=38.8\text{m}$ 。导高观测剖面位置处煤层采厚为 4.1m,因此,H2106 工作面的导高与采厚之比为 $H/M=38.8/4.1 \approx 9.5$ 。

2.2.2 类似导高观测案例分析

这种导水裂缝带发育高度现场观测新判据同样在其他矿井得到了应用,统计结果见表 2。根据观测矿井综合柱状图,判断含水岩层层位高度,进行钻孔设计,根据穿含水层钻孔施工过程中是否涌水可判断含水层是否被破坏,从而判断导高发育值与含水岩层层位高度的关系,综合分析确定导水裂缝带的高度。

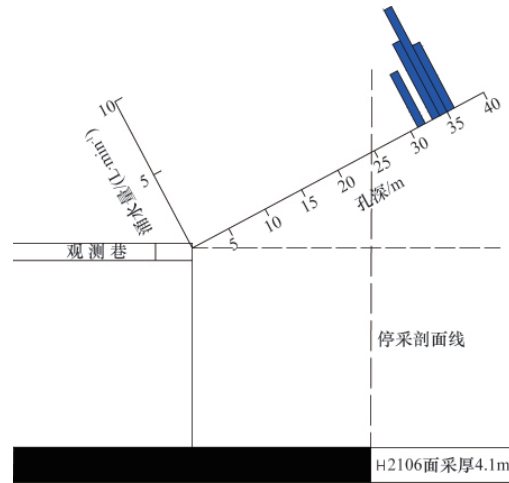


图 6 B4 孔导高观测成果图
Fig. 6 Measured result of B4 drilling

表 2 导水裂缝带高度观测新判据案例统计

Table 2 Measured cases by using the new criterion

观测矿井	导高观测钻孔		穿含水层钻孔		H_1 与 H_2 裂缝带层位关系	最终确定 H_1 值/m
	个数	H_1 平均值/m	个数	是否涌水		
开滦钱家营矿	2	37.0	1	是	$H_1 < H_2$	39.0
河北申家庄矿	2	56.6	2	是	$H_1 < H_2$	63.6
开滦林南仓矿	3	33.0	1	是	$H_1 > H_2$	35.0
汾西河东矿	2	36.8	1	是	$H_1 > H_2$	36.8

注: H_1 为导水裂缝带高度; H_2 为含水岩层层位高度。

Notes: H_1 is the height of permeable fractured zone; H_2 is the height of aquifer layer.

3 结论

(1) 井下导高观测仪观测导水裂缝带,在观测钻孔施工过程中有时会穿透上方含水层,以此含水岩层层位高度可作为导高发育上限的新判据。

(2) 通过覆岩仰斜钻孔施工过程中钻孔涌水量的观测,与导高观测钻孔观测结果进行对比分析,可以更合理地判断顶板含水层与导水裂缝带的层位高度关系,从而准确确定导水裂缝带高度。

(3) 通过现场观测结果统计,导高观测新判据判断导高值精确可靠,且具有更高的安全性。

参考文献 (References)

[1] 宋振骥. 实用矿山压力控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1988: 64-65.
Song Zhenqi. Applied controlling of mine pressure [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1988: 64-65.

[2] 王双美. 导水裂缝带高度研究方法概述 [J]. 水文地质工程地质, 2006(5): 126-128.
Wang Shuangmei. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006(5): 126-128.

[3] 靳俊恒, 孟祥瑞, 高召宁, 等. 1262(1)工作面导水裂隙带发育高度的数值模拟研究[J]. 煤炭工程, 2010(11): 68-70.
Jin Junheng, Meng Xiangrui, Gao Zhaoning, et al. Coal Engineering, 2010(11): 68-70.

2010(11): 68-70.

[4] 贺桂成, 肖富国, 张志军, 等. 康家湾矿含水层下采场导水裂隙带发育高度预测[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(1): 122-126.
He Guicheng, Xiao Fuguo, Zhang Zhijun, et al. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(1): 122-126.

[5] 王桦, 程桦, 刘盛东. 基于并行电阻率法的导水裂隙带适时探测技术研究[J]. 煤矿安全, 2007(7): 1-9.
Wang Hua, Cheng Hua, Liu Shengdong. Safety in Coal Mines, 2007(7): 1-9.

[6] 王家臣, 许延春, 徐高明, 等. 矿井电剖面法探测工作面底板破坏深度的应用[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 97-100.
Wang Jiachen, Xu Yanchun, Xu Gaoming, et al. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 97-100.

[7] 汪华君, 姜福兴, 成云海, 等. 覆岩导水裂隙带高度的微地震(MS)监测研究[J]. 煤炭工程, 2006(3): 74-76.
Wang Huajun, Jiang Fuxing, Cheng Yunhai, et al. Coal Engineering, 2006(3): 74-76.

[8] 高廷法, 曲祖俊, 邢飞, 等. 龙口北皂矿海域下 H2106 综放面井下导高观测[J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(6): 35-38.
Gao Yanfa, Qu Zujun, Xing Fei, et al. Coal Geology & Exploration, 2009, 37(6): 35-38.

[9] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000: 98-108.
State Bureau of Coal Industry. Regulations of buildings, water, railway and main well laneaving coal pillar and press coal mining [S]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2000: 98-108.

(责任编辑 安莹, 刘志远)