

· 水文地质工程地质 ·

岩溶陷落柱形成的岩体力学条件

杨为民 周治安 (淮南矿业学院资源与环境工程系 232001)

摘要 在研究刘桥一矿岩溶陷落柱基本特征的基础上,结合华北陷落柱资料,认为岩溶陷落柱多形成在现代伸展构造或自重应力为主的地区,柱体围岩具备易于冒落的岩体结构,陷落过程围岩应力条件与采空区覆岩冒落过程类似,奥灰岩溶的持续作用是陷落柱体不断向上发展的根本原因。

关键词 岩溶陷落柱 形成 应力分析

中国图书资料分类法分类号 P163.1

作者简介 杨为民 男 32 岁 讲师 工程地质

1 引言

岩溶陷落柱在华北许多矿区都有分布,但发生严重突水的较少。自 1996 年 3 月 4 日皖北任楼矿发生岩溶陷落柱突水(突水量为 $11\ 854\ \text{m}^3/\text{h}$)淹井的重大灾害后,引起毗邻刘一、刘二等矿的高度重视。陷落柱是否突水成为煤层底板突水研究中的首要问题之一。本文在研究刘桥一矿岩溶陷落柱基本特征基础上,结合区域陷落柱资料,分析岩溶陷落柱形成发展的岩体力学条件,为进一步探求岩溶陷落柱的突水机理提供依据。

刘桥一矿位于安徽省濉溪县城西,与任楼煤矿同属淮北煤田,相距 60 km,井田面积 $12\ \text{km}^2$ 。构造上位于徐宿弧形构造的外缘,属肖西向斜的东南翼。陈集向斜是井田的主体构造,向斜轴总体延伸为 $\text{NE}20^\circ$;枢纽向 NNE 倾斜。井田主采煤层为二叠系下石盒子组 4 煤和山西组 6 煤,6 煤底板距太灰顶界平均为 $49.39\ \text{m}$ 。自建井至今,井下共揭露岩溶陷落柱 5 个,揭露达 15 次,仅个别陷落柱有淋水现象。

2 岩溶陷落柱的基本特征

刘桥一矿陷落柱发育规律明显,均沿陈集向斜轴部展布,编号为 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 。其基本特征如下:

a. 陷落柱的平面形态为椭圆形或似圆形,椭圆长轴近 SN 向。剖面上表现为上小下大,柱体与水

平面呈大角度相交,均超过 65° ; Z_2 向上分叉,6 煤揭露为一大陷落柱,在上覆 4 煤中成为两个小陷落柱。

b. 柱体规模在 6 煤中为 $70\ \text{m} \times 35\ \text{m}$ 左右,其中 Z_2 陷落柱达 $350\ \text{m} \times 105\ \text{m}$ 。

c. 陷落柱由煤系中各类砂岩、泥岩和煤的碎块混杂堆积而成,岩块大小不一,棱角明显,柱体内滑动面发育。柱体本身较密实,多数干燥无水,仅个别潮湿,有淋水现象,如 Z_2 陷落柱淋水量为 $0.5\ \text{m}^3/\text{h}$ 。

d. 陷落柱围岩小断层发育,断层倾向柱体,断层距小,延伸不远。

3 岩溶发育状况

刘桥一矿太原群灰岩有 13 层薄层灰岩。一灰、二灰分别厚 $2\sim 3\ \text{m}$,质较纯,三、四、五灰分别厚 $8\ \text{m}$ 、 $12\ \text{m}$ 、 $4\ \text{m}$,一至四灰水互补关系十分密切。一至五灰局部岩溶发育,特别是处于断裂构造附近,如边界断层、小断层岩性破碎部位。太灰岩溶发育程度总体上属中等偏弱。一至四灰钻孔单位涌水量 $q < 1\ \text{L}/(\text{s} \cdot \text{m})$,含水量属中等偏小。

从矿区揭露的岩溶陷落柱分布规律来看,它们应为奥灰岩溶陷落柱。奥灰曾经历过强烈岩溶作用,且陈集向斜轴部是岩溶水强循环交替带。

奥陶纪灰岩在井田范围内厚约 $450\ \text{m}$,其上部马家沟组岩性多为灰色中厚层至厚层灰岩、白云质

灰岩,质较纯。奥灰距 6 煤约 180 m,顶面埋深为 120 ~ 620 m,属埋藏型深岩溶。目前矿区奥灰水位标高为 +10 m。井田北东淮北相山一带出露的奥灰直接伏于松散层下。矿区外围供水水源资料显示奥灰钻孔单位涌水量 $q = 3.83 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$, $k = 2.36 \text{ m}/\text{d}$ 。突水 4 天后,距突水点 12.6 km 的童亭矿奥灰观测孔水位下降了 7.04 m,这些都说明本区奥灰水量丰富,连通性强。根据水质化验资料,奥灰水质类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ 型,其中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量较低, Fe^{2+} 、 NO_2^- 含量极低,反映矿区奥灰水径流条件好,岩溶作用较强烈,陈集向斜轴部为集中循环交替带。

在正常情况下,奥灰与太灰水力联系较弱。但如果井田内存在落差较大的断层和岩溶陷落柱,局部地段奥灰水有可能成为太灰及上部含水层的强补给水源。

4 岩溶陷落柱的形成条件

4.1 岩体力学条件

陷落柱是在下伏岩溶洞穴形成和发展过程中,引起上覆岩层冒落、塌陷而形成的。根据对刘桥一矿及华北岩溶陷落柱资料的综合分析,它们大体具备以下条件:

a. 陷落柱在区域上多分布在现代伸展构造或自重应力为主的地区,如山西阳泉、西山、霍县、汾西等矿区。与构造应力为主的地区相比,伸展构造区或自重应力为主的地区,其最大主应力处于铅直方向,水平应力相对较低。这种应力状态利于垂直裂隙张开、剪滑和岩体塌落、陷落的发生^[1]。据刘桥二矿井巷工程稳定性初步分析,矿区地应力为自重应力。

b. 形成陷落柱的围岩具备易于冒落和不断向上发展的岩体结构。陷落柱发育地点岩层产状一般较平缓,倾角小于 20° ;柱体边缘多受区域节理或次级向斜轴控制。这类区域性节理多属褶皱前早期平面 X 剪节理,延伸远,切割深,穿层高度大,不受局部地层岩性、小构造的限制。它们将层板状岩体切割成菱形块体,在张应力作用下,当这类结构岩体底部蚀空后,易于发生坍塌、陷落。在西山、霍县、汾西一带的沟谷剖面上,除了见到大量层间节理外,这类连续贯穿几十米,甚至数百米地层的垂直节理、节理密集带也随处可见,那里的陷落柱总体上也沿两组 X 节理的方向成列成行分布。在向斜轴部,经常发育两

种节理,一种是先存在的区域性节理,另一种是由向斜轴部应力场所派生的节理系统,它们的产状也多为陡倾至近直立。由于向斜轴部各岩层组的上层面受挤压,下层面受拉张,这两种节理都易形成向下张开的张裂隙,有些向向斜核部收敛,形成大头向下的楔形结构或块体(图 1)。一旦下方出现足够大的岩溶空穴,这种楔形体极易首先松动脱出,向下滑落或跌落,继而带动、引发相邻岩块迅速一齐冒落。因此向斜轴部一方面是层状岩溶水的汇集径流带,同时也是岩体冒落结构特别发育的部位,二者结合在一起,使向斜轴部成为陷落柱的多发部位。刘桥一矿、开滦范各庄^[2]、徐州大黄山等矿陷落柱皆与上述情况相符。

c. 陷落柱陷落过程围岩应力条件与采空区覆岩冒落过程相似。在溶洞形成后,覆岩未塌之前,铅直方向上受拉,水平方向上受压(图 2),当拉伸应力超过下部岩体的抗拉强度时,岩层发生冒落^[3]。冒落作用向上发展,进入煤系后,可形成混杂堆积,并易于被击实、压密或胶结。刘桥一矿所见的陷落柱,从奥灰上部溶洞多发层位向上推算,其高度至少在 300 m 之上,这样高的陷落柱决非一次冒落形成,它是由深部溶洞扩展或冒落体底部一再蚀空,柱体多次陷落,不断向上发展生长而成。陷落柱内的岩块经反复冒落破坏,其冒落距(与岩块原层位的垂直距离)不断加大,岩块一再变小,岩屑、岩粉、岩泥成分增多,使再形成的塌落体碎胀系数、孔隙率降低,密度提高。因此,陷落柱在煤系部位自身的渗透性很

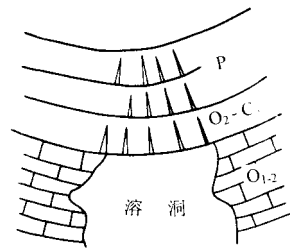


图 1 向斜轴部下张式裂隙形成楔形结构体示意图

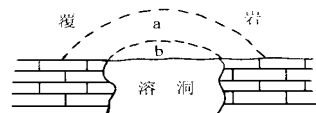


图 2 溶洞顶岩层塌落前围岩应力状态示意图

a—垂直压缩应力区, b—垂直拉伸应力区

低,井下观测陷落柱大多干燥无水或少水。

4.2 岩体的混合溶蚀作用

持续的岩溶水交替产生流速场效应^[4],使碳酸盐岩的岩-水界面处 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 浓度积经常低于饱和溶解度,溶蚀作用不断推进,岩溶洞穴不断扩展。洞穴内存在着较强的管道流,其水动力作用可将冒落物中较小的岩块和岩屑带走。砂、泥岩等软弱岩块,经水理作用后发生崩解、泥化、溶解,泥化物及易溶组分也在水循环中被移出。溶洞处于不断扩大或陷落充填-蚀空-再陷落充填-再蚀空的动态变化之中,持续的水动力条件为多次陷落一再提供自由空间,岩体冒落的应力状态随之一再上移,这是陷落柱生长阶段必须的水动力条件。

陷落柱冒落时,在一定的时段内,可导通奥灰水与上覆各含水层之间的水力联系,使不同水质的水混合,引起混合溶蚀作用^[5],促进岩溶进一步发育。这种混合溶蚀作用主要表现在以下 3 个方面:

a. 两种或两种以上不同浓度的 CO_3^{2-} 、 Ca^{2+} 水混合,混合后的溶液加强了对奥灰的侵蚀作用。刘桥一矿太灰水中的 CO_2 平均含量比奥灰水高,当陷落柱导通太灰水和奥灰水时,奥灰水中的 CO_2 含量增加,将对奥灰产生较强的混合溶蚀作用。

b. 不同温度的水混合,使奥灰发生冷却溶蚀作用。环境温度降低时,水对 CO_2 吸收系数增大,有更多的 CO_2 溶解于水;同时,温度降低,饱和溶液中 CaCO_3 含量所需的平衡 CO_2 减少,多余的 CO_2 转变成游离的 CO_2 ,因而增加了水对碳酸盐岩的溶解能力^[4]。本区深部的奥灰水温可达 $34\sim 35^\circ\text{C}$,比砂岩裂隙水温高出 $8\sim 10^\circ\text{C}$,当砂岩裂隙水(冷水)直接导入奥灰水(温水)时,引起奥灰水温降低,发生冷却溶蚀作用。

c. 含煤地层中常含有黄铁矿,携带 FeS_2 的砂岩裂隙水与奥灰水混合后,发生异离子效应,促进岩溶作用。

5 陷落柱突水机理初探

陷落柱经多次冒落堆积而形成,柱体边缘多受穿层节理控制。冒落过程中,周边围岩又因卸荷、松动、撞击、悬梁弯曲等原因,产生了一些新的裂隙,因此在有的柱体围岩边界处,可存在裂隙带、破碎带、泥化带^[6],它们成为该处岩体的软弱带。

宏观上可将陷落柱视为封堵在贯通组合层板(岩体)孔洞内的“长塞子”,一般情况下,能有效地隔绝各含水层之间的水力联系。但如果巷道内存在着高水头条件,“塞子”又受力松动时,深部奥灰水便可沿着陷落柱周边的软弱带首先楔入上突,使软弱带很快活化,陷落柱的“塞紧作用”随之失效,便会造成矿井突水灾害。据陷落柱突水资料,任楼突水点水压为 3.8 MPa ,范各庄矿突水点为 3.13 MPa ,这两起突水灾害皆在采掘活动逼近陷落柱时发生。具体作用方式有两种:

a. 受采动所产生集中应力影响 因为采动集中应力作用于铅直方向,与柱面剪应力(τ)大体一致,当接近或等于柱面抗剪强度(τ)时,即 $\tau \rightarrow \tau$ 就可产生柱面滑剪,引起水楔入侵。

b. 受采动所产生的卸压带影响 卸压带内垂直和水平应力都降低,尤其水平应力(σ)的降低,会直接造成柱面抗剪强度(τ)降低,此时强度公式应写为:

$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$

式中 σ —水平应力(柱体侧压);

C —软弱带的结合力;

ϕ —软弱带的内摩擦角。

随 τ 的降低,水楔的劈入, C 和 ϕ 都会急骤下降,进而引发突水灾害。

本文收集资料时得到皖北矿务局刘桥一矿地测科同志的帮助,在此致谢。

参考文献

- 1 孙广忠. 工程地质与地质工程. 北京:地震出版社,1993:97~127
- 2 开滦矿务局,煤炭科学研究院地质勘探分院等. 开滦范各庄矿岩溶陷落柱特大突水灾害的治理. 煤田地质与勘探,1986;(2):35~42
- 3 煤炭科学研究总院开采所. 煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用. 北京:煤炭工业出版社,1981:130~168
- 4 邹成杰. 水利水电岩溶工程地质. 北京:水利电力出版社,1994:11~15,329~331
- 5 张俤元等. 工程地质分析原理. 北京:地质出版社,1994:471~481
- 6 项远法. 陷落柱突水的力学模型. 煤田地质与勘探,1993;(5):36~39

收稿日期(1997-02-17)

煤层顶板工程地质分类方案初步研究

彭向峰 于双忠 (中国矿业大学资环学院 徐州 221008)

摘要 通过调查研究,提出了煤层顶板工程地质分类方案,此方案简单易行,验证可靠,适用于煤田勘探阶段。

关键词 煤层 顶板 工程地质 分类 勘探阶段

中国图书资料分类法分类号 TD327.2

作者简介 彭向峰 男 33岁 讲师 煤田地质

1 引言

在煤层回采过程中,煤层顶底板的岩性及其工程地质性质,直接影响着回采方法、回采效率和安全生产条件等。不少煤矿由于对煤层顶底板的工程地质性质研究不够,管理措施和采掘方法选用不当,给煤矿生产和安全带来很大困难,甚至造成人员伤亡或不应有的巨大经济损失。在煤田勘探工程中,如何根据勘探资料,认真研究煤层顶底板的岩性、结构及其工程地质特征,正确进行顶底板类型的划分,就显得特别重要。

2 煤层顶板分类现状

目前我国实际采用的煤层顶板分类方案,主要是由煤炭科学研究总院开采研究所、中国矿业大学等单位根据对350个工作面的矿山压力观测资料提出的《缓倾斜煤层工作面的顶板分类方案》,该方案已被煤炭部批准为“部颁试行方案”,其对直接顶进

行分类的主要指标为强度指标 D ;参考指标为直接顶初次垮落步距,其中:

$$D = R_c C_1 C_2,$$

式中 R_c —— 岩石单轴抗压强度;

C_1 —— 节理裂隙影响系数;

C_2 —— 分层厚度影响系数。

老顶的分级主要采用直接顶厚度和采高的比值 $K_m = m/h$,再参照老顶初次来压步距 L 和老顶来压显现特征,将老顶分成4级。

这一分类方案在煤矿开采顶板管理中,发挥了重要的指导作用。但该方案中的某些主要指标,如直接顶初次垮落步距、老顶初次来压步距及对节理、裂隙观察统计方面的资料,只有在煤层开采之后才能获得,而在煤田勘探阶段,这些资料基本上是无法取得的。因此这一分类方案缺乏必要的预计性。欲在煤层开采之前,预先为矿井设计和以后的生产、管理提供比较可靠的工程地质依据,就必须重新探索研究新的分类方法和分类方案。

THE ROCK MECHANICS CONDITIONS FORMING KARSTIC COLLAPSE COLUMN

Yang Weimin Zhou Zhian (Huainan Mining Institute)

Abstract Based on study of fundamental features karstic collapse column of in Liuqiao NO.1 coal mine, and some of mine in other region, it is concluded that the rock mechanics conditions consist of the following aspects: 1st, the collapse column are almost contributed over an area of extensional tectonics or self-weight street field; 2nd, its rock structure is easy to fall; 3rd, its stress state of cave-in is similar to the roof fall caused by mining; 4th, the essential factor of the column growing up is sustained karstification

Keywords Karst collapse column; formation; stress analysis

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>