



《“三下”开采规范》中安全煤(岩)柱留设问题探讨

吕玉广 孙国 吴宝峰 李硕

引用本文：

吕玉广, 孙国, 吴宝峰, 等. 《“三下”开采规范》中安全煤(岩)柱留设问题探讨[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(8): 139–145.
LYU Yuguang, SUN Guo, WU Baofeng. Discussion on safety of coal (rock) pillar in “Three Down” Mining Standards[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(8): 139–145.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12438/est.2023-1392>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

煤层顶板水害风险保护系数法评价技术研究

Study on evaluation technology of coal seam roof water hazard risk with protection coefficient
煤炭科学技术. 2024, 52(3): 180–188 <https://doi.org/10.12438/cst.2023-0992>

半煤岩工作面保护层开采的卸压机理及回采设备选型

Study on mechanism of pressure relief and selection of key equipment for protective layer of semi-coal rock working face
煤炭科学技术. 2019(3) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/0e92043f-7de0-4165-8ea1-79fb3a4dc35b>

下保护层开采参数与保护效果定量关系研究

Study on quantitative relationship between mining parameters of lower protective layer and protection effect
煤炭科学技术. 2019(11) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/4ea5d835-c8eb-421f-a869-cbe21c9f7677>

冲击地压矿井采区下山保护煤柱合理宽度研究

Study on rational width of protective coal pillar for district dip in rock burst mine
煤炭科学技术. 2021, 49(2): 52–60 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021.02.007>

强突出煤层“内保护层”构建理论及工程实践

Theory and engineering practice of constructing “inner protection layer” for strongly prominent coal seams
煤炭科学技术. 2023, 51(12): 267–281 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2023-0386>

动压巷道区段煤柱合理留设宽度研究

Study on reasonable width of coal pillar in dynamic pressure roadway
煤炭科学技术. 2019(7) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/59b0b3e2-266e-47b7-992c-f75cf0ad9fc3>



关注微信公众号，获得更多资讯信息



移动扫码阅读

吕玉广,孙国,吴宝峰,等.《“三下”开采规范》中安全煤(岩)柱留设问题探讨[J].煤炭科学技术,2024,52(8):139-145.

LYU Yuguang, SUN Guo, WU Baofeng, et al. Discussion on safety of coal (rock) pillar in “Three Down” Mining Standards[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(8): 139-145.

《“三下”开采规范》中安全煤(岩)柱留设问题探讨

吕玉广^{1,2},孙国^{2,3},吴宝峰^{2,3},李硕³

(1.安徽理工大学,安徽淮南 232000;2.内蒙古上海庙矿业有限责任公司,内蒙古鄂尔多斯 016299;

3.新矿内蒙古能源有限责任公司 内蒙古鄂尔多斯 016299)

摘要:针对《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》中安全煤(岩)柱设计以及水压对顶板突水控制作用等问题进行探讨。首先分析了规范的附表4-3表头文字,指出保护层厚度的有关规定仅适用于松散含水层(含地表水体),至于基岩含水层下采煤应如何确定保护层厚度则未明确;进而以泥岩与黏性土层均具有阻水功能为桥梁,推导出基岩含水层下采煤可参照“松散层下黏性土层累计厚度大于采厚”条件执行,遵照“就高不就低原则”,基岩含水层下保护层厚度统一取采厚的4倍为宜;既然规范适用条件为单层采厚不大于3.0 m,则附表4-3中“松散层厚度小于采厚”的规定难以理解,建议删除。其次,基于“保护”一词的科学内涵对“保护层”重新定义,即导水裂隙带顶界面到含水层底界面之间的隔水岩层均具有“保护”功能,应统称为保护层 H_b ;进而提出了保护系数 B_s 概念,即保护层厚度与单层采厚的比值;松散含水层下保护系数分区阈值 $B_i=2, 3, 4, 5, 6, 7$,基岩含层下保护系数分区阈值 $B_i=4$,据此对顶板水害风险进行等级划分:突水区($B_s \leq 0$)、危险区($0 < B_s < B_i$)、安全区($B_s \geq B_i$)。此外,借鉴底板突水系数概念,将单位厚度保护层承受的水头压力称为保护层承压系数($T=P/H_b$),通过对3种煤水结构条件下承压系数的分析,得出第4系松散含水层、非煤系基岩含水层下采煤可以不考虑水压,煤系基岩含水层下采煤随着开采深度增加、水压随之增大而带来突(涌)水风险。最后,分析了底板含水层顶部存在被泥质物充填隔水带时,《“三下”开采规范》给出的底板防水安全煤(岩)柱表达式($h_a \geq h_1 + h_2 + h_4$)与附图相矛盾,正确的表达式应为 $h_a \geq h_1 + h_2 - h_4$ 。

关键词:保护层;保护系数;分区阈值;“三区”划分;承压系数;安全煤(岩)柱

中图分类号:TD713 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2024)08-0139-07

Discussion on safety of coal (rock) pillar in “Three Down” Mining Standards

LYU Yuguang^{1,2}, SUN Guo^{2,3}, WU Baofeng^{2,3}, LI Shuo³

(1. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232000, China; 2. Inner Mongolia Shanghai Temple Mining Co. Ltd., Erdos 016299, China;
3. Xinkuang Inner Mongolia Energy Co., Ltd., Erdos 016299, China)

Abstract: This paper explores the design of safe coal (rock) pillars and the control effect of water pressure on roof water inrush in the “Code for Coal Pillar Retention and Coal Mining in Buildings, Water Bodies, Railways, and Main Tunnels”. Firstly, by analyzing the header text of Appendix 4-3 of the standard, it is pointed out that the relevant regulations on the thickness of the protective layer only apply to loose aquifers (including surface water bodies), and it is not clear how to determine the thickness of the protective layer for coal mining under bedrock aquifers; Furthermore, taking both mudstone and cohesive soil layers as bridges with water blocking function, it is inferred that coal mining under the bedrock aquifer can be carried out according to the condition that the cumulative thickness of cohesive soil layer under the loose layer is greater than the mining thickness. Following the principle of “high not low”, it is advisable to uniformly take four times the mining thickness as the protective layer under the bedrock aquifer; Since the applicable conditions of the specification

收稿日期:2023-11-20 责任编辑:常琛 DOI: 10.12438/cst.2023-1392

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51574250);内蒙古自治区科技计划资助项目(2020GG0291)

作者简介:吕玉广(1969—),男,江苏宿迁人,研究员,硕士生导师。E-mail: lvyg691208@126.com

are that the thickness of a single layer should not exceed 3.0 m, it is difficult to understand the provision in Appendix 4-3 that “the thickness of the loose layer is less than the thickness of the mining”, and it is recommended to delete it. Secondly, based on the scientific connotation of the term “protection”, the “protective layer” is redefined, which means that the waterproof rock layers between the top interface of the water conducting fracture zone and the bottom interface of the aquifer all have a “protection” function and should be collectively referred to as the protective layer (H_b); Furthermore, the concept of protection factor (B_s) was proposed, which refers to the ratio of the thickness of the protective layer to the thickness of a single layer of mining; The threshold for dividing the protection coefficient under the loose aquifer is $B_i=(2, 3, 4, 5, 6, 7)$, and the threshold for dividing the protection coefficient under the bedrock aquifer is $B_i=4$. Based on this, the risk of roof water damage is classified into three levels: water inrush zone ($B_s \leq 0$), hazardous zone ($0 < B_s < B_i$), and safe zone ($B_s \geq B_i$). In addition, drawing on the concept of water inrush coefficient of the bottom plate, the head pressure borne by the unit thickness of the protective layer is called the pressure coefficient of the protective layer ($T=P/H_b$). Through the analysis of the pressure coefficients under three types of coal water structure conditions, it is concluded that coal mining under the loose aquifer of the Quaternary system and the non coal bearing bedrock aquifer can not consider water pressure. The risk of water inrush caused by the increase of mining depth and water pressure under the coal bearing bedrock aquifer increases. Finally, it was analyzed that when there is a mud filled water barrier at the top of the bottom aquifer, the expression for the bottom waterproof safety coal (rock) column ($h_a \geq h_1 + h_2 + h_4$) given in the “Three Down Mining Specification” is contradictory to the attached figure. The correct expression should be $h_a \geq h_1 + h_2 - h_4$.

Key words: protective layer; protection coefficient; partition threshold; division of the “three zones”; pressure bearing coefficient; safe coal(rock) pillar

0 引言

1958年苏联矿山测量研究院出版了《岩层与地表移动》一书,首次提出了采后覆岩移动“三带”模型——垮落带、裂缝带、弯曲下沉带,其工程意义主要在于校核采煤支柱(架)的工作阻力、指导巷道支护设计^[1]。1984年,我国采矿理论及特殊开采技术领域的开拓者刘天泉院士创新了“三下”采煤理论和技术^[2-3],将采后覆岩分为垮落带、导水裂缝带和弯曲下沉带,“三带”的工程意义扩大到煤矿防治水专业。1985年,原国家煤炭工业部颁发了《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》(以下简称《“三下”开采规程》);2000年,原国家煤炭工业局对《“三下”开采规程》部分内容作了修订,以煤行管字[2000]第81号文重新颁发^[4];2017年,国家安全监管总局联合其他部门再次对《“三下”开采规程》再次进行修订,并更名为《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》^[5](以下简称《“三下”开采规范》)。为了配合《“三下”开采规范》的宣贯,煤炭科学研究院和中国煤炭学会煤矿开采损害技术鉴定委员会共同编写了《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南》^[6]。

《“三下”开采规范》将水体下采煤安全煤(岩)柱分为防水、防砂、防塌等3种类型,附表4-2给出了不同覆岩(力学)条件下导水裂缝带高度(经验)计算公式,当导水裂缝带未波及含水层时是否突水取决于保护层厚度;附表4-3给出了松散含水层下保护层厚度确定方法,而顶板含水层并不限于松散含

水层,对于基岩含水层下保护层厚度如何确定却未明确。安全煤岩(柱)的构成包括导水裂缝带和保护层,从导水裂缝带高度(经验)计算公式可以看出,采厚与保护层厚度是控制顶板水害的2个关键因素^[7-8];承压水上带压开采本质上就是底板含水层(水压)与隔水层(厚度)之间矛与盾的关系^[9],从突水系数计算式 $T_s=P/M$ 可以看出,水压与隔水层厚度是控制底板突水的2个主要因素^[10-11],从业人员会由此得出一个结论:评价顶板水害风险时无须考虑水压。通过CNKI数据库和Web of Science数据库关键词查询,仅有少量的文献探讨过水压对离层水害的影响^[12-15],前人对水压与顶板水害的关系并未给出明确的结论,有必要进一步厘清。此外,《“三下”开采规范》中存在一些概念模糊甚至是错误之处^[16],如底板安全安全煤岩柱概念不统一、表达式与附图相矛盾等,亟需修正。基于以上原因,撰写此文。

1 关于保护层的探讨

水体下采煤安全煤(岩)柱分为防水、防砂、防塌等3种类型,除了防塌安全煤岩柱不涉及保护层以外,防水和防砂安全煤(岩)柱均需要留设保护层。

1.1 关于保护层厚度的规定

《“三下”开采规程》(2000版)的附表6-4以及《“三下”开采规范》的附表4-3给出了防水安全煤(岩)柱保护层厚度的确定方法,两者内容一致(表1)。

《“三下”开采规范》是《“三下”开采规程》的修订版,为便于叙述,下文有时以“规范”代之。

表1 防水安全煤(岩)柱保护层厚度

Table 1 Thickness of waterproof and safe coal (rock) pillar protective layer

覆岩岩性	松散层底部 黏性土层厚度 大于累计 采厚/m	松散层底部 黏性土层厚度 小于累计 采厚/m	松散层全 厚小于累 计采厚/m	松散层底 部无黏性 土层/m
坚硬	4A	5A	6A	7A
中硬	3A	4A	5A	6A
软弱	2A	3A	4A	5A
极软弱	2A	2A	3A	4A

注: A为单层采厚, m。下同。

1.2 关于保护层厚度的探讨

1)表1的表头中均有“松散层”“黏性土层”,说明其适用的对象为第4系松散含水层(含地表水体)。富水性中等及以上的基岩含水层以及老空水体疏排不经济或安全无保证时也需要留设防水煤(岩)柱,这2种情况下如何确定保护层厚度没有明确,则实践中安全煤(岩)柱设计与规范(规程)无据。

2)表1列举了“黏性土层厚度大于累计采厚”“粘黏土层厚度小于累计采厚”“无黏性土层”等几种情形,说明含水层下有无黏性土层以及黏性土层厚度与采厚的关系对保护层厚度的选取有决定性作用。基岩含水层不是松散含水层,其下部亦无粘性土层,老空水体更不同于松散含水层,实践中参照现行规范选取保护层厚度的做法未免过于随意。

3)规范明确了导水裂隙带公式适用条件为单层采厚1~3 m,累计采厚不大于15 m。由表1的第1列、第2列、第4列可以看出,“松散层”指代含水层,“黏性土层”指代隔水层。根据表1第3列“松散层全厚小于累计采厚,保护层厚度取3A~6A”,可以合理推定,当松散层厚度小到一定程度时甚至不能称之为含水层,此时保护层厚度却比表2中前2种情形要求更高,其合理性存疑。笔者建议未来修订规范时删除此项规定,如特指适用于地表水体则应进一步明晰。

1.3 关于基岩含水层(体)下保护层厚度探讨

基岩含水层(或上层煤老空水体)下采煤一般不涉及溃砂问题,在疏排水不经济的情况下需要留设防水安全煤(岩)柱(图1)。

基于现行规范中的文字表述进行合理推导:松散层即含水层,黏性土层即隔水层;基岩含水层亦为含水层,泥岩亦为隔水层,通过同意词替换,表1转换为表2。

泥岩与黏土层具有类似的阻水功能^[17-18],煤系

地层通常为砂岩、泥岩互层型沉积建造,其中泥岩层总厚度一般大于累计采厚,则基岩含水层(体)下采煤符合表2中“含水层底部隔水层总厚度大于累计采厚”的适用条件,根据覆岩性质可选保护层厚度为2A, 3A, 4A。实践中,煤层隐伏露头附近煤层顶板残存的煤系地层阻水能力偏弱,依照“就高不就低”的原则统一取4A为宜。通过上述分析,建议对《“三下”开采规范》中附表4-3进行修订,修订结果见表3。

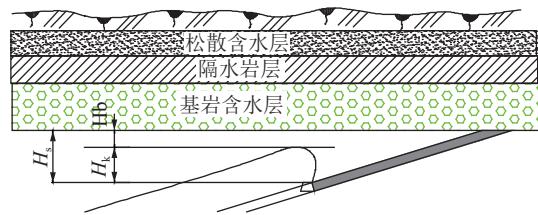


图1 基岩含水层(体)下采煤示意

Fig.1 Schematic diagram of coal mining under bedrock aquifer (body)

表2 防水安全煤(岩)柱保护层厚度

Table 2 Thickness of waterproof and safety coal(rock) pillar protection layer

覆岩岩性	含水层底部隔水 层总厚度大于 累计采厚	含水层底部隔水 层厚度小于累 计采厚	含水层全厚 小于累计采厚	含水层底部 无隔水层
坚硬	4A	5A	6A	7A
中硬	3A	4A	5A	6A
软弱	2A	3A	4A	5A
极软弱	2A	2A	3A	4A

表3 防水安全煤(岩)柱保护层厚度(建议)

Table 3 Thickness of protective layer for waterproof and safe coal (rock) pillars (recommended)

覆岩岩性	松散层底部黏 性土层厚度大 于累计采厚/m	松散层底部黏 性土层厚度小 于累计采厚/m	松散层底部 无黏性土层/m	基岩含 水层/m
坚硬	4A	5A	7A	4A
中硬	3A	4A	6A	4A
软弱	2A	3A	5A	4A
极软弱	2A	2A	4A	4A

2 保护系数及其应用

2.1 保护层再定义

保护层可以阻止上部水源通过导水裂隙涌入党场,保护层的科学内涵即“保护”水体下采煤的安全。煤层上距含水层之间隔水岩层的总厚度以 H_g 表示,其中导水裂隙带 H_{li} 因其内部垂向裂隙发育而失去

阻水功能,剩余部分(即导水裂隙带顶界面到含水层底界面之间的隔水岩层)均具有“保护”功能,应该统称为保护层 H_b ,则 $H_b=H_g-H_{li}$ 。各参数空间关系(图2)。

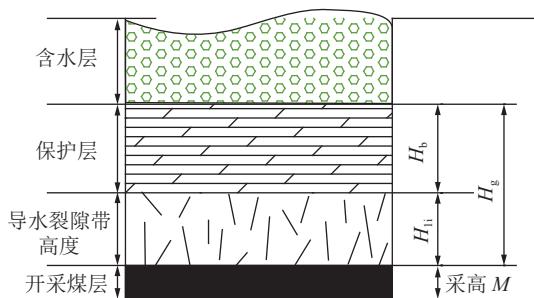


图2 各参数空间关系示意

Fig.2 Schematic diagram of spatial relationships among various parameters

2.2 保护系数概念

顶板水能否进入采场受控因素较多,若全面考虑各种因素,难免会陷入参数多、参数获取难、权重赋值难、构建数学模型难、确定判据难的境地,理论上可行、实操性不强^[19]。保护层厚度 H_b 对顶板水害起着关键性控制作用,在具体的条件下隔水层厚度 H_g 是确定的,保护层厚度与导水裂隙带高度之间呈负相关性。采厚虽然不是影响导水裂隙发育高度的惟一因素,既然《“三下”开采规范》将其作为(经验)公式的惟一变量,至少说明采厚对导水裂隙发育高度起着关键性作用。因此,评价预测顶板水害风险应重点考虑保护层厚度和采厚这2个参数,由此提出保护系数概念 B_s ^[20],即保护层厚度与单层采厚的比值 $B_s=H_b/A$ 。

2.3 保护系数阈值的确定

保护系数本质上是规范中保护层概念的反向运用,当保护层厚度满足《“三下”开采规范》规定采厚倍数时水体下采煤是安全的,否则就有突(涌)水危险,此时的保护系数即为阈值(临界值)。保护系数阈值以 B_i 表示,根据表3得到不同条件下保护系数的阈值:

$$B_i = \begin{cases} 2、3、4、5、6、7 & \text{(松散含水层)} \\ 4 & \text{(基岩含水层(体))} \end{cases}$$

2.4 顶板水害风险“三区”划分

保护系数是衡量覆岩水进入采场风险性大小的指标,根据计算得到的保护系数 B_s 以及确定阈值,可将顶板水害风险划分为3个等级:突水区、危险区、安全区(图3)。

1)突水区: $B_s \leq 0$ 。当 $H_{li}=H_g$ 时,保护层厚度为0,

则 $B_s=0$;当 $H_{li} > H_g$ 时,导水裂隙带部分甚至是全部进入含水层,则 $B_s < 0$ 。这2种情况下覆岩水均可通过导水裂隙进入采场,故划为突水区。

2)危险区: $0 < B_s < B_i$ 。保护层厚度大于0但小于表3规定的厚度(阈值与采厚的乘积),隔水能力不足,仍有突(涌)水风险,故划为危险区。

3)安全区: $B_s \geq B_i$ 。保护层厚度大于或等于表3规定厚度(阈值与采厚的乘积),隔水层足以阻止覆岩水入渗采场,故划为安全区。

需要说明的是,当煤层上方有多个含水层时,应从下向上分别进行评价。

2.5 对“三区”的处置方式

1)若含水层的富水性为中等及以上,且静储量大或补给源丰富,疏干开采不经济或安全保障性较低,突水区或危险区的煤层应作为水文地质损失,不得开采。

2)若含水层富水性较强,但静水储量小、补给水源匮乏,疏干开采技术可行、经济合理、安全有保障,则突水区或危险区的划分用来确定疏放水范围,指导疏放水工程设计。

3)若为弱胶结低强度强膨胀型软岩,顶板淋水会造成采场泥化、底臌、采煤支架陷底、水砂混合突涌等恶化作业环境的现象,需要采取疏干开采措施,则突水区或危险区的划分用来确定疏放水范围,指导疏放水工程设计。

4)若含水层富水性较强,但工作面、采区、矿井等“3级”排水系统均能满足排水需要,突水区或危险区可以开采。

例如,某矿首采煤层为白垩系11煤层,煤层上方新近系含水层富水性中等~强。采用上述方法得到新近系含水层的“三区”图(图3)。设计的11101,11102等2个工作面均位于新近系含水层的突水区或危险区内,因该含水层疏排不经济、安全无保障,

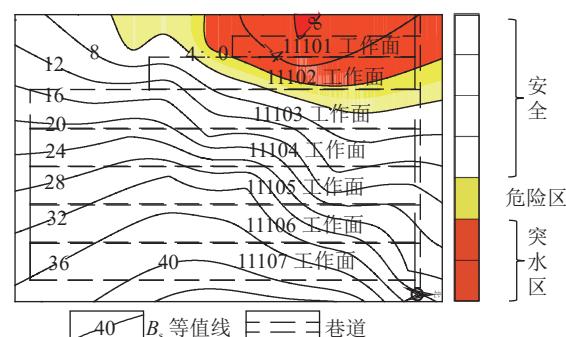


图3 某矿顶板水害“三区”划分

Fig.3 Map of “three zones” of roof water damage in a certain mine

这2个工作面均作为防隔水煤(岩)柱留设,禁止开采。

3 水压对顶板突水控制作用分析

3.1 保护层承压系数

保护层在采动前后其抗压强度、渗透系数、阻水性能、原生裂隙发育程度、水理性质等均未发生根本性变化,顶板水在压力作用下如果采前不能“穿透”保护层、采后亦如此,否则,被水穿透的那部分层岩应归入含水层(含水层底界面下移)。为定性分析顶板水压在突水过程中可能发挥的作用,将保护层概化为两端固支板梁,分析在不同埋深条件下保护层承受的水压情况。

借鉴底板突水系数的概念,将单位厚度保护层承受的水压称为承压系数,承压系数以 T 表示, $T=P/H_b$ 。承压系数越大,保护层被水压突破的风险越大,发生突水概率越高。

3.2 不同煤水结构条件下承压系数分析

1) 松散含水层下承压系数分析

松散含水层以角度不整合形式覆盖在煤系地层之上,含水层底板缓波状起伏可视为近水平,保护层承受的水压基本不变。在地层倾斜方向上作若干条地层走向剖面线,1剖面线上保护层厚度设为 h ,2剖面上保护层厚度为 $2h$,……,第 n 剖面上保护层厚度为 nh (图4),各剖面上承压系数表达式为

$$T_1 = \frac{P_0}{H_b} = \frac{P_0}{h}, \quad T_2 = \frac{P_0}{H_b} = \frac{P_0}{2h}, \quad \dots$$

$$T_n = \frac{P_0}{H_b} = \frac{P_0}{nh}, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} T_n = 0$$

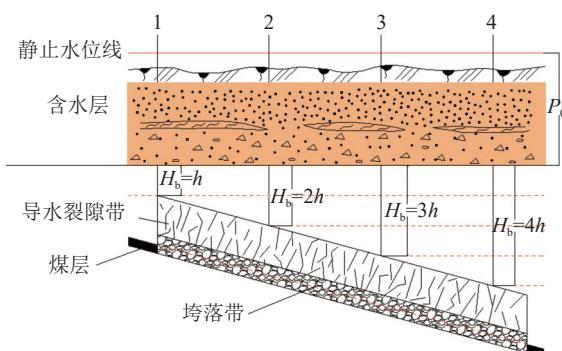


图4 松散含水层煤水结构示意

Fig.4 Schematic diagram of coal-water structure in loose aquifer

推导结果表明,随着煤层埋藏深度增加、保护层厚度相应增加,而保护层承受的水压 P_0 不变,承压系数逐渐减小并于理论上趋于0。意味着只要浅部保护层厚度满足需要,则深部煤层开采时无须考虑水

压的影响。

2) 非煤系基岩含水层下承压系数分析

非煤系基岩含水层(如我国西北地区白垩系含水层角度不整合于延安组煤系地层之上)下采煤,随着煤层埋藏深度的增大、保护层厚度相应增加,保护层承受的水压不变(图5),承压系数逐渐减小并于理论上趋于0,分析结果同松散含水层下采煤。

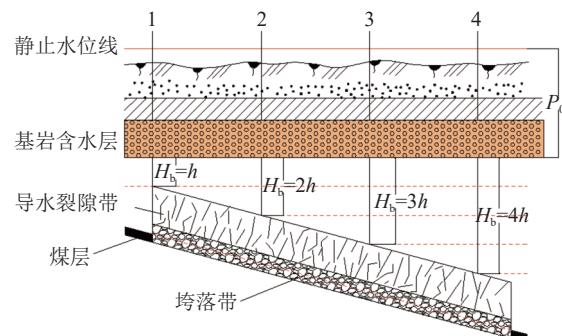


图5 非煤系基岩含水层煤水结构示意

Fig.5 Schematic diagram of coal-water structure in non coal bearing bedrock aquifer

3) 煤系基岩含水层下承压系数分析

煤系基岩含水层产状与煤层产状一致(图6),各剖面上承压系数表达式为

$$T_1 = \frac{P_0}{H_b}, \quad T_2 = \frac{P_0 + h}{H_b}, \quad \dots$$

$$T_n = \frac{P_0 + (n-1)h}{H_b}, \text{ 则, } \lim_{n \rightarrow \infty} T_n = \infty$$

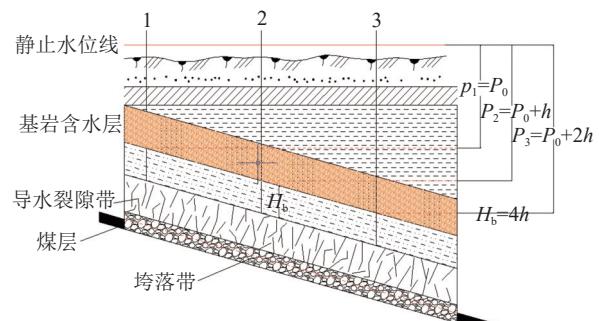


图6 煤系基岩含水层煤水结构示意

Fig.6 Schematic diagram of coal – water structure in coal bearing bedrock aquifer

随着煤层埋藏深度增加,保护层厚度 H_b 不变,保护层承受的水压随之增大,承压系数逐渐大并于理论上趋于无穷大。即使浅部保护层厚度满足防隔水要求,开采深部煤层时保护层仍有被水压突破的风险,这种条件下应该考虑开采深度上水压可能带来的突(涌)水风险。

4 关于底板安全煤(岩)柱的探讨

4.1 《“三下”开采规程》中附图错误

《“三下”开采规程》(2000版)关于水体上采煤

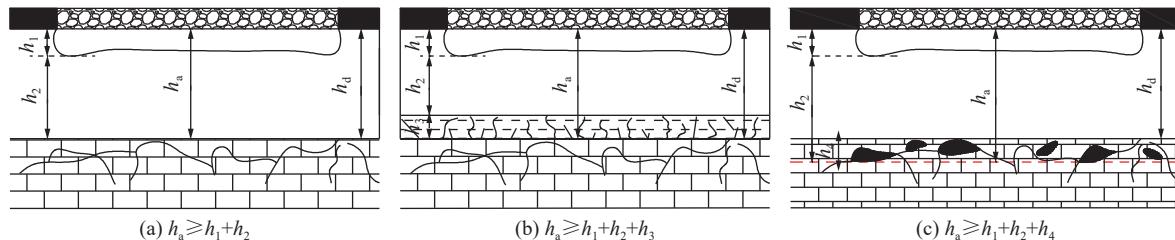


图7 底板防水安全煤岩柱设计示意

Fig.7 Schematic diagram of waterproof and safe coal rock pillar design for the bottom plate

2)当底板隔水层下部存在承压水导升带 h_3 时,则底板安全煤岩柱厚度 h_a 应大于或等于导水破坏带 h_1 、阻水带 h_2 及承压水导升带 h_3 之和(图7b);

3)当底板含水层顶部存在被泥质物充填的厚度稳定的隔水带 h_4 时,则充填隔水带可以作为底板防水安全煤岩柱 h_a 的组成部分,即 $h_a \geq h_1 + h_2 + h_4$ (图7c)。

由图7a、图7b可以看出,底板防水安全煤岩柱 h_a 指的是含水层(图中为灰岩)顶界面至煤层底界面的垂高,而图7c中 h_a 却包含了含水层(灰岩)的一部分,导致“防水安全煤岩柱”概念不统一;此外,由图7c可以看出,阻水带 h_2 已经包含了充填隔水带厚度 h_4 ,但给定的表达式 $h_a \geq h_1 + h_2 + h_4$, h_4 被重复计入。

4.2 《“三下”开采规范》中表达式错误

2017年颁发的《“三下”开采规范》对上述问题进行了修正:安全煤岩柱 h_a 的高度指向含水层顶界面至煤层底界面,阻水带 h_2 不再包含充填隔水带厚度 h_4 ,但安全煤岩柱的表达式仍不正确(图8)。

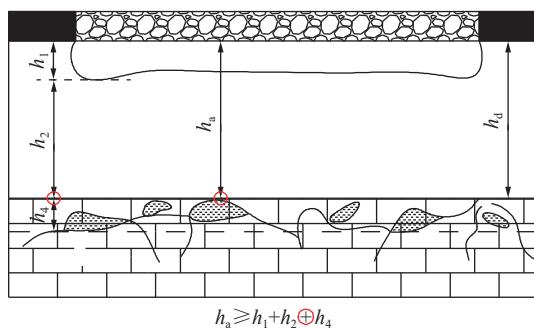


图8 含水层顶部存在隔水层时安全煤岩柱示意

Fig.8 Schematic diagram of a safe coal rock column with an impermeable layer at the top of the aquifer

安全煤岩柱 h_a 设计的原则是,不允许底板采动导水破坏带 h_1 波及水体,或与承压水导升带 h_3 沟通,分为以下3种情况:

1)防水安全煤岩柱厚度 h_a 应大于或等于导水破坏带 h_1 和阻水带 h_2 之和(图7a)。

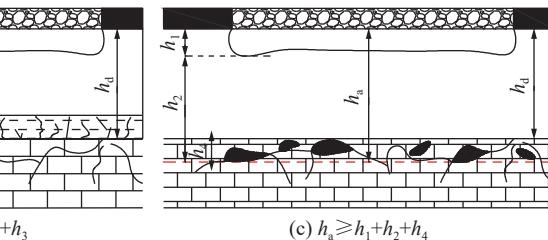


图7 底板防水安全煤岩柱设计示意

Fig.7 Schematic diagram of waterproof and safe coal rock pillar design for the bottom plate

底板安全煤(岩)柱确定过程一般为:实测或计算得到 h_1 ,根据水压、阻水系数等参数计算得到 h_2 ,则安全煤岩(柱) $h_a \geq h_1 + h_2$ 。由于含水层顶部被泥质物充填而成为隔水层,使得计算得到的安全煤(岩)柱偏大,应该从计算结果中减去隔水层厚度(h_4),正确的表达式应为 $h_a \geq h_1 + h_2 - h_4$ 。建议未来修订规范时予以更正。

5 结 论

1)《“三下”开采规范》(包括前版的规程)附表4-3关于保护层厚度的规定仅适用于松散含水层(体),未涉及基岩含水层,使得基岩含水层(体)下安全煤(岩)柱设计无据可循;经过讨论确定基岩含水层或老空水体下保护层厚度统一取采厚的4倍是合理的。

2)重新定义保护层符合“保护”一词的科学内涵,保护系数是对原保护层概念的反向运用;保护系数是衡量保护层“保护效果”的量化指标,从规范出发确定了各种条件下保护系数的分区阈值,以保护系数和阈值划分的“三区”图直观,可操作性强。

3)一般情况下评价顶板水害风险时无须考虑顶板水压的作用,但对于煤系地层基岩含水层下采煤仅仅考虑浅部保护层厚度是不够的,还应充分考虑由于开采深度的增加、高承压水对保护层的破坏作用。

参考文献(References):

- [1] 吕玉广,乔伟,程建远,等.采后覆岩分带模型及工程意义探讨[J].煤田地质与勘探,2021,49(5):147-155.
LYU Yuguang, QIAO Wei, CHENG Jianyuan, et al. Discussion on overburden zoning model after mining and its engineering significance

- ance[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2021, 49(5): 147–155.
- [2] 王双美. 导水裂隙带研究方法概述[J]. *水文地质工程地质*, 2006(5): 126–128.
- [3] 赵卫强, 孟晴. 国内外矿山开采深陷研究的历史及发展趋势[J]. *矿山测量*, 2010, 9(1): 12–15.
- ZHAO Weiqiang, MENG Qing. Research on history and development trend of domestic and foreign mining subsidence[J]. *Journal of Beijing Polytechnic college*, 2010, 9(1): 12–15.
- [4] 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[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [5] 国家安全监管总局, 国家煤矿安监局, 国家能源局, 国家铁路局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.
- [6] 煤炭科学研究院, 中国煤炭学会煤矿开采损害技术鉴定委员会. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.
- [7] 柴华彬, 张俊鹏, 严超. 基于 GA-SVR 的采动覆岩导水裂隙带高度预测[J]. *采矿与安全工程学报*, 2018, 35(2): 359–365.
- CHAI Huabin, ZHANG Junpeng, YAN Chao. Prediction of water-flowing height in fractured zone of overburden strata based on GA-SVR[J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2018, 35(2): 359–365.
- [8] 许延春. 综放开采防水煤岩柱保护层的“有效隔水厚度”留设方法[J]. *煤炭学报*, 2005, 30(3): 305–308.
- XU Yanchun. Design methods of the effective water-resisting thickness for the protective seam of the water barrier in fully-caving mechanized coal mining[J]. *Journal of China Coal Society*, 2005, 30(3): 305–308.
- [9] 尹尚先, 连会青, 徐斌, 等. 深部带压开采: 传承与创新[J]. *煤田地质与勘探*, 2021, 49(1): 170–181.
- YIN Shangxian, LIAN Huiqing, XU Bin, et al. Deep mining under safe water pressure of aquifer: Inheritance and innovation[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2021, 49(1): 170–181.
- [10] 王计堂, 王秀兰. 突水系数法分析预测煤层底板突水危险性的探讨[J]. *煤炭科学技术*, 2011, 39(7): 106–111.
- WANG Jitang, WANG Xiulan. Discussion on Water Inrush Coefficient Method Applied to Predict Water Inrush Danger of Seam Floor [J]. *Coal Science and Technology*, 2011, 39(7): 106–111.
- [11] 任君豪, 王心义, 王麒, 等. 基于多方法的煤层底板突水危险性评价[J]. *煤田地质与勘探*, 2022, 50(2): 89–97.
- REN Junhao, WANG Xinyi, WANG Qi, et al. Risk assessment of water inrush from coal seam floors based on multiple methods[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2022, 50(2): 89–97.
- [12] 曹丁涛. 离层静水压突水及其防治[J]. *水文地质工程地质*, 2013, 40(2): 9–12, 41.
- CAO Dingtao. Hydrostatic water-inrush in bed separation and its prevention and control[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2013, 40(2): 9–12, 41.
- [13] 李文平, 李小琴, 孙如华. 巨厚坚硬岩层下煤层开采“动力突水”初步研究[J]. *工程地质学报*, 2008(S1): 446–450.
- LI Wenping, LI Xiaoqin, SUN Ruhua. Preliminary study on "dynamic water inrush" in coal mining under extremely thick and hardstrata[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2008(S1): 446–450.
- [14] 乔伟, 李文平, 李小琴. 采场顶板离层水静水压涌突水"机理及防治[J]. *采矿与安全工程学报*, 2011, 28(1): 96–104.
- QIAO Wei, LI Wenping, LI Xiaoqin. Mechanism of "hydrostatic water-Inrush" and counter measures for water inrush in roof bed separation of a mining face[J]. *Journal of Mining and Safety Engineering*, 2011, 28(1): 96–104.
- [15] 乔伟, 黄阳, 袁中帮, 等. 巨厚煤层综放开采顶板离层水形成机制及防治方法研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2014, 33(10): 2077–2084.
- QIAO Wei, HUANG Yang, YUAN Zhongbang, et al. Formation and prevention of water inrush from roof bed separation with full-mechanized caving mining of ultra thick coal seam [J] *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2014, 33(10): 2077–2084
- [16] 吕玉广, 乔伟, 靳德武, 等. 煤矿防治水工作实践中几点思考与建议[J]. *煤炭科学技术*, 2023, 51(4): 133–139.
- LYU Yuguang, QIAO Wei, JIN Dewu, et al. Some thoughts and suggestions on the practice of water prevention and control in coal mines[J]. *Coal Science and Technology*, 2023, 51(4): 133–139.
- [17] 国家煤矿安全监察局人事培训司. 矿井水灾防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [18] 吕玉广, 齐东合. 顶板突(涌)水危险性“双图”评价技术与应用: 以鄂尔多斯盆地西缘新上海一号煤矿为例[J]. *煤田地质与勘探*, 2016, 44(5): 108–112.
- LU Yuguang, QI Donghe. Technique based on double maps for assessment of water inrush from roof aquifer and its application: with New Shanghai No. 1 coal mine at western edge of Ordos basin as example[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2016, 44(5): 108–112.
- [19] 吕玉广, 李春平, 韩港, 等. 多因素评价地层富水性技术的分析与应用[J]. *能源与环保*, 2021, 43(3): 44–51, 58.
- LYU Yuguang, LI Chunping, HAN Gang, et al. Analysis and application of formation water-rich evaluation technology by using multiple factors. [J]. *China Energy and Environmental Protection*, 2021, 43(3): 44–51, 58.
- [20] 吕玉广, 乔伟, 胡发仑, 等. 煤层顶板水害风险保护系数法评价技术研究[J]. *煤炭科学技术*, 2023, 52(3): 180–188.
- LV Yuguang, QIAO Wei, HU Falun, et al. Study on evaluation technology of coal seam roof water hazard risk with protection coefficient[J]. *Coal Science and Technology*, 2023, 52(3): 180–188.