

顾北矿浅埋煤层覆岩风化带工程及水文地质特征研究

薛冰*, 鲁海峰

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2024年5月9日; 录用日期: 2024年6月16日; 发布日期: 2024年7月31日

摘要

以顾北煤矿为研究对象, 详细分析了顾北煤矿浅埋煤层覆岩风化带的工程地质特征与含隔水性能。通过对顾北煤矿研究区岩石进行X射线衍射、单轴压缩、巴西劈裂岩石力学实验等测试, 系统研究了浅埋煤层覆岩风化带岩性及矿物成分特征和物理力学性质, 利用surfer软件绘制厚度等值线图并分析其分布规律, 研究风化带的含隔水性能, 为松散含水层下安全开采水文工程地质问题及成灾机理等提供可靠的基础资料。

关键词

覆岩风化带, 工程地质特征, 含隔水性

Research on Engineering and Hydrogeological Characteristics of Weathering Zone of Overburden of Shallow Coal Seam in Gubei Mine

Bing Xue*, Haifeng Lu

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: May 9th, 2024; accepted: Jun. 16th, 2024; published: Jul. 31st, 2024

Abstract

Taking Gubei Coal Mine as the research object, the engineering geological characteristics and wa-
*通讯作者。

ter-retaining properties of weathering zone of overlying rock in shallow coal seam of Gubei Coal Mine are analyzed in detail. Through X-ray diffraction, uniaxial compression and Brazilian split rock mechanics experiments on the rocks in the research area of Gubei Coal Mine, the lithology, mineral composition characteristics and physical and mechanical properties of the weathering zone of overburden rocks in shallow coal seam are systematically studied. Surfer software is used to draw thickness isoline map and analyze its distribution law to study the water-containing properties of the weathering zone. It provides reliable basic data for hydrologic engineering geological problems and disaster mechanism of safe mining under loose aquifers.

Keywords

Overburden Weathering Zone, Engineering Geological Characteristics, Water Permeability

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

顾北煤矿位于安徽省淮南市凤台县境内,其地理位置优越、煤炭储量丰富,品质上乘,是国家能源供应的重要基地[1]。煤炭作为主要的能源来源之一,对于保障国家能源安全、促进经济社会发展具有不可替代的作用[2]。

然而,顾北煤矿浅埋煤层开采面临着诸多挑战。覆岩的稳定性问题尤为突出,覆岩风化带是地表或近地表岩石在多种风化作用影响下形成的特殊地质体,其工程地质特征的复杂多变性直接关系到煤矿的安全生产和开采效率[3]。风化作用使得覆岩的物理力学性质发生显著变化,如强度降低、变形增大等[4],这可能导致岩层失稳、地质灾害频发,给煤矿开采带来极大的挑战。而且作为煤层上覆岩层的关键组成部分,煤层顶板覆岩风化带的隔水能力对煤系上方的松散含水层及地表水体的井下渗透具有直接影响[5]。

为深入评估风化岩层的含水与隔水特性,本文将从风化岩层的矿物成分、厚度及其分布规律以及物理力学性质等多个维度进行剖析和探讨。通过这种方式,深入研究顾北煤矿浅埋煤层覆岩风化带的工程地质特征,揭示其岩性变化、矿物成分、风化带厚度及其分布规律、物理力学性质,能更全面地理解和评价风化岩层在含水与隔水方面的性能表现,为工程实践提供有力支持,对于预防地质灾害、优化开采方案、确保煤矿安全生产具有重要意义[6],为煤矿的安全生产和高效开采提供理论支持和技术依据。

2. 采区概况

顾北矿北一1煤采区西自1煤层隐伏露头线及井田西边界线,东至1煤层-648 m煤层底板等高线及55800经线,北起1煤层隐伏露头及F86断层北界,南至Fs930、Fs924及Fs910断层组。该采区的垂直范围由上界的-455 m标高延伸至下界的-648 m标高,其平均沿走向方向的长度为3.99 km,而沿倾向方向的平均长度为0.78 km,开采区域面积为3.1 km²。本采区为巨厚冲积层覆盖的隐伏地层,冲积层厚度454~512 m;采区地面地处亚热带与暖温带之间的过度地带,位于淮河以北,属江淮平原地形,总体地势平坦,高程在+17.9~+23.9 m之间。采区位置如图1所示。

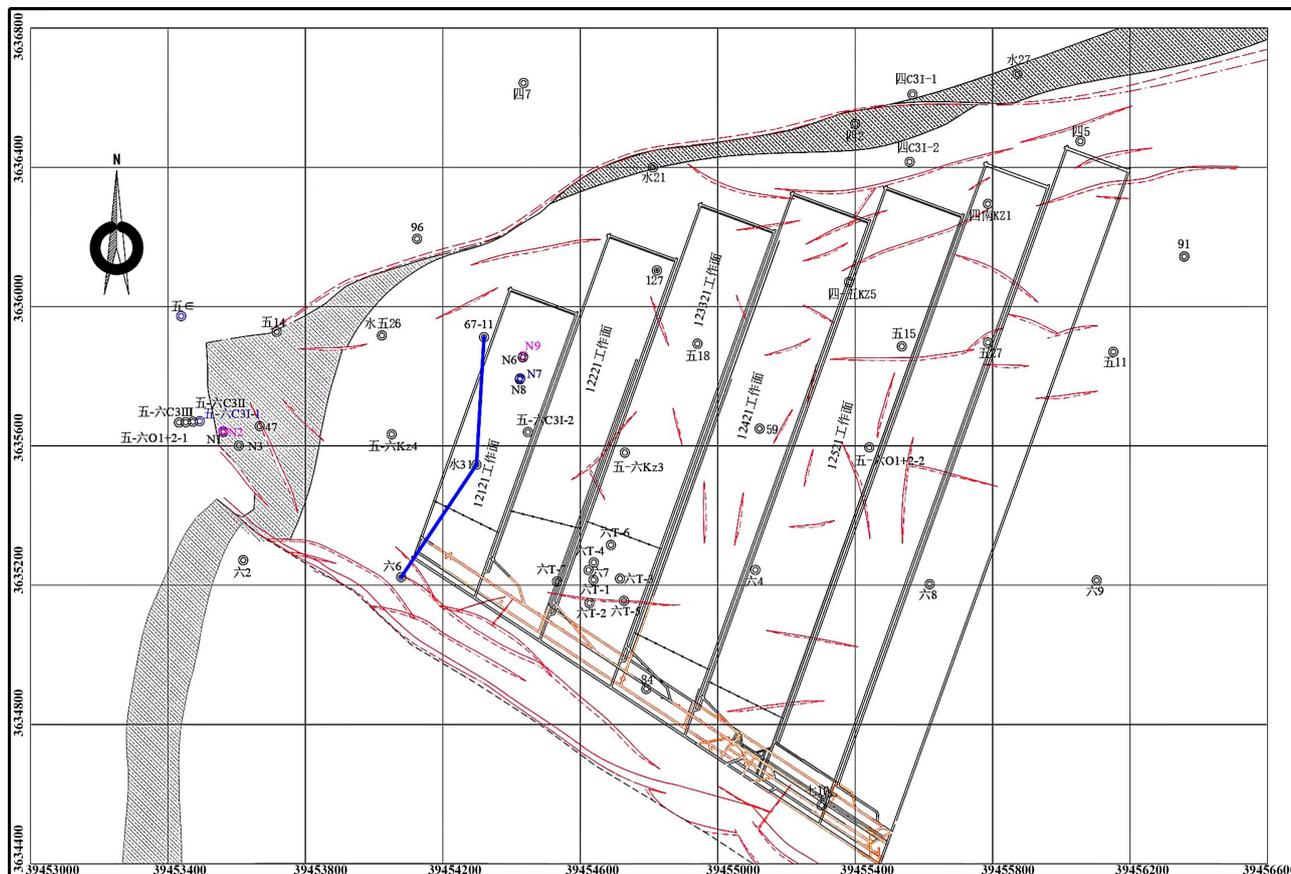


Figure 1. North 1 coal mining area and working face deployment map
图 1. 北一 1 煤采区及工作面部署图

3. 研究区覆岩风化带工程地质特征

3.1. 煤层风化带分布特征

风氧化带的厚度是由多种因素共同决定的, 包括岩石的性质、裂隙的发育程度等, 这些因素对其厚度起着重要的控制作用。根据钻探、物探资料对钻孔的揭露, 统计基岩面以下 100 m 左右范围内 1 煤层的覆岩, 收集整理了 31 个采区钻孔数据, 其中风化带厚度包括风化带泥岩、砂岩、粉砂岩, 总的数据统计如表 1。利用 surfer 软件编制了基岩面标高等值线图和风化带厚度等值线图(如图 2、图 3), 能够直观地展示风化带厚度的空间分布和梯度变化, 通过不同等值线的疏密和走向, 可以迅速识别出数据的高值区、低值区以及它们的过渡区域, 从而了解数据在空间上的整体分布模式。

Table 1. Statistics of weathering zone thickness in mining areas
表 1. 采区风化带厚度统计

| 钻孔 | 孔标高 | 基岩面标高 | 风化带厚 | 风化带泥岩 | 风化带砂岩 | 风化带粉砂岩 | 备注 |
|------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|------|
| 六 7 | 22.76 | -439.94 | 19.3 | 0.58 | 18.72 | 0 | 工作面外 |
| 84 | 23.09 | -432.41 | 19 | 4.43 | 10.93 | 3.64 | 工作面外 |
| 五-六 Kz3 | 21.7 | -448.15 | 19.9 | 7.32 | 0 | 12.58 | 工作面外 |
| 五-六 C ₃₁ -2 | 22.6 | -457.5 | 30.55 | 10.85 | 15.6 | 4.1 | 工作面外 |

续表

| | | | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|------|
| 127 | 18.08 | -449.32 | 35.5 | 23.09 | 10.96 | 1.05 | 工作面外 |
| 水 21 | 18.19 | -451.91 | 18.98 | 14.8 | 3.52 | 0.66 | 工作面外 |
| 四 7 | 20.28 | | 16 | \ | \ | \ | 工作面外 |
| 六 C ₃ l | 24.29 | -466.06 | 22.2 | 0 | 14.45 | 0 | 工作面外 |
| 五一六 O ₁₊₂ -1 | 22.04 | -459.01 | 22.1 | 8.07 | 0 | 10.53 | 工作面外 |
| 五一六 C3III | 21.84 | -458.76 | 22.1 | 6.2 | 4.7 | 7.75 | 工作面外 |
| 五一六 C3II | 21.89 | -459.76 | 22.2 | 6.5 | 4.25 | 8.65 | 工作面外 |
| 五一六 C3I-1 | 21.57 | -461.78 | 22.2 | 7.25 | 4.85 | 7.3 | 工作面外 |
| 水 17 | 22.8 | -468.15 | 22.1 | 4.17 | 0 | 16.18 | 工作面外 |
| 六 2 | 23.31 | -456.28 | 22.5 | 22.5 | 0 | 0 | 工作面外 |
| 47 | 21.57 | -462.78 | 20 | 0 | 0 | 8.03 | 工作面外 |
| 五 14 | 18.66 | -460.24 | 18 | 6.3 | 0 | 1.15 | 工作面外 |
| 六 4 | 22.37 | -420.33 | 27.6 | 11.05 | 6.08 | 10.17 | 工作面外 |
| 五 18 | 18.9 | -450.1 | 40.8 | 22.66 | 10.96 | 7.18 | 工作面外 |
| 五 Kz2 | 20.52 | -436.58 | 44.5 | 38.5 | 0 | 6 | 工作面外 |
| 59 | 21.32 | -432.98 | 40 | 16.38 | 23.62 | 0 | 工作面外 |
| 五-六 O ₁₊₂ -2 | 21.08 | -431.62 | 37 | 28.09 | 3.95 | 4.51 | 工作面外 |
| 五 Kz3 | 21.3 | -436.15 | 34.19 | 16.49 | 13.15 | 4.55 | 工作面外 |
| 四-五 Kz5 | 19.12 | -444.95 | 34.93 | 23.83 | 7.25 | 3.85 | 工作面外 |
| 四 2 | 18.92 | -451.93 | 24 | 1.29 | 11.56 | 0 | 工作面外 |
| 水 32 | 23.9 | -464.35 | 17.8 | 9.73 | 8.07 | 0 | 工作面外 |
| 六 6 | 22.89 | -460.31 | 23.3 | 13.87 | 8.02 | 0.54 | 工作面外 |
| 五-六 Kz4 | 22.76 | -453.94 | 35 | 29.6 | 0 | 5.4 | 工作面内 |
| 水五 26 | 19.81 | -454.79 | 26.2 | 11.5 | 10.2 | 4.5 | 工作面外 |
| 96 | 18.45 | -448.45 | 19 | 6.2 | 5.4 | 2 | 工作面外 |
| 水 31 | 22.27 | -455.63 | 29.5 | 21.75 | 7.75 | 0 | 工作面内 |
| 67-11 | 20.03 | -451.87 | 26.5 | 7.3 | 11.09 | 8.11 | 工作面内 |

从上图表中可以看出基岩面起伏变化及风化带特征如下:

1) 整个采区基岩面标高较大, 分布较稳定, 东南部偏低。采区基岩面标高约-420.33~-468.15 m, 平均厚度为-451.757 m, 受古地形控制, 总体趋势自西向东逐渐降低。12121 工作面及其周围钻孔 31 个, 从钻孔资料分析, 该地段基岩面整体起伏变化不大。基岩面最高点标高-451.87 m, 最低点标高-457.52 m, 高差 5.65 m, 最低点(即 67-11 孔)位于工作面外。

2) 风化带厚度为 16~44.5 m, 平均厚度 26.22 m, 其中五 Kz2 孔最厚, 为 44.5 m, 四 7 孔最薄, 为 16 m。另外, 采区从西北向东南, 风化带分布厚度逐渐增加。

3) 古地形的起伏对风化带厚度的变化影响较大, 古地形隆起处风化带较厚。总体上来看, 风化带厚度由西北向东南逐渐增加, 东南部风化带厚度最厚。

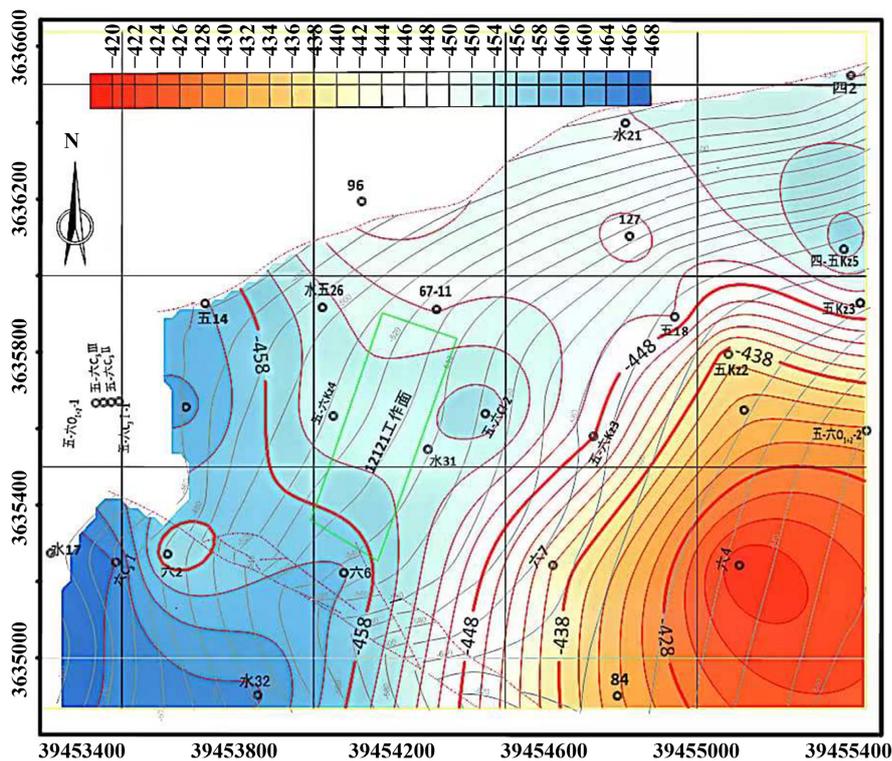


Figure 2. Bedrock surface elevation contour map

图 2. 基岩面标高等值线图

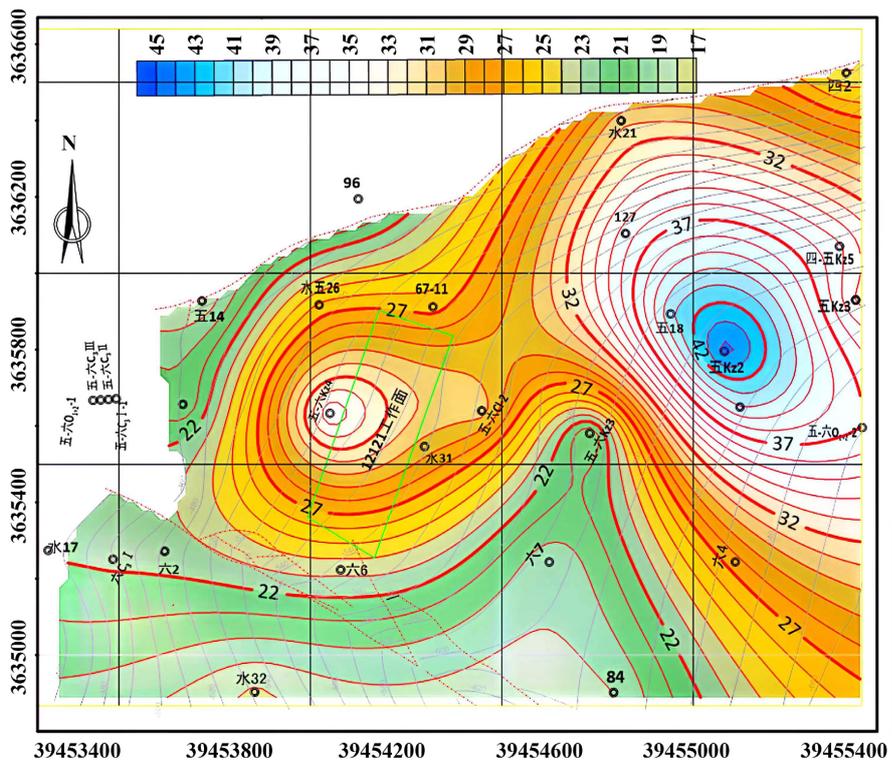


Figure 3. 1 Coal seam weathering thickness contour map

图 3. 1 煤层风化厚等值线图

3.2. 风化带岩性及矿物成分特征

1) 岩性特征

区内风化带岩石颜色以灰黄色、灰白色、褐黄色、棕黄色及棕红色为主, 局部间夹紫斑等, 见水(锈)蚀痕迹, 为铁锰质浸染, 局部见菱铁质结核。风化带岩性有泥岩类(含泥岩、砂质泥岩、含铝泥岩、炭质泥岩、花斑泥岩等), 粉细砂岩类(含粉砂岩、互层、细砂岩等)和中粗砂岩类(含中、粗砂岩等)三类组成。根据施工钻孔揭露情况, 采区内主要以泥岩类、粉砂岩类为主, 基本贯穿整个采区, 砂岩类主要分布在六7孔、84孔、五-六 C31-2、127、六 C31 等孔处。

2) 风化带岩性矿物成分

风化泥岩中粘土矿物含量较高, 粘土矿物主要由三种类型构成: 高岭石、伊利石和蒙脱石, 这些矿物通常展现出薄片状或鳞片状的独特构造, 同时它们的硬度相对较低。粘土矿物的存在很大程度上决定了泥岩的性质。因此, 富含高岭石、伊利石和蒙脱石等粘土矿物的岩石, 如粘土岩和粘土质岩, 往往表现出较差的物理力学性质, 且具有不同程度的胀缩性, 特别是当蒙脱石含量较高时, 这类膨胀岩的物理力学性质更差。因此查明泥岩中的粘土矿物成分, 对于评价该泥岩的工程地质性质和力学性质有很重要的意义。

采用 D/Max-3B 型 X 射线衍射仪对位于矿井南部的十一南 kz1 孔风化泥岩矿物成分测试[7], 如表 2, 可得风化泥岩粘土矿物是高岭石和蒙脱石, 伊利石/蒙皂石混层。

Table 2. relative quantitative analysis results of clay minerals in clay layer

表 2. 粘土层粘土矿物相对定量分析结果

| 取样钻孔 | 原采编号 | 蒙脱石 | 伊利石/蒙脱石混层 | 伊利石 | 高岭石 | 其它粘土 |
|---------|-------------|-----|-----------|-----|-----|------|
| 十一南 kz1 | 十一南 kz1-7-1 | 33 | 40 | 10 | 11 | 2 |

从以上分析可以看出, 风化泥岩中的蒙脱石含量为中多, 说明矿井风氧化带泥岩类具有良好的隔水性能。砂岩类厚度相对较小, 分布区域约 22.21%, 虽为透(含)水层, 但因裂隙多被泥质充填, 透(含)水性较弱。

另据邻近矿区化验结果如表 3, 风化泥岩中粘土矿物含量较高, 粘土矿物主要有高岭石、伊利石和蒙脱石三类。

Table 3. Relative quantitative analysis results of weathered mudstone clay minerals in adjacent mining areas

表 3. 邻近矿区风化泥岩粘土矿物相对定量分析结果

| 样品序号 | 原采编号 | 蒙脱石 | 伊利石/蒙脱石 | 伊利石 | 高岭石 | 其它粘土 |
|------|-------------|-----|---------|-----|-----|------|
| 1 | 补IVkz1-1-3 | 4 | 21 | 18 | 55 | 2 |
| 2 | 补IIIkz1-B-1 | 3 | 21 | 22 | 53 | 1 |
| 3 | 补IIIkz2-4-3 | 4 | 31 | 9 | 54 | 2 |
| 4 | 补IIIkz2-2-2 | 3 | 18 | 16 | 61 | 2 |
| 5 | 补IIIkz2-2-1 | 5 | 18 | 11 | 63 | 3 |
| 6 | 补Vkz1-15-2 | 2 | 36 | 33 | 27 | 2 |
| 7 | 补IIIkz2-1-3 | 4 | 25 | 18 | 51 | 2 |
| 8 | 补Vkz1-14-1 | 2 | 5 | 2 | 90 | 1 |
| 9 | 补Ikz2-15-1 | 2 | 28 | 27 | 40 | 3 |

续表

| | | | | | | |
|----|--------------|---|----|----|----|---|
| 10 | 补Ikz2-17-1 | 3 | 26 | 21 | 48 | 2 |
| 11 | 二XIVkz1-16-3 | 4 | 25 | 23 | 46 | 2 |
| 12 | 补IIIkz1-C-1 | 3 | 11 | 9 | 75 | 2 |
| 13 | 补Ikz2-15-2 | 3 | 27 | 17 | 50 | 3 |
| 14 | XVkz1-15-2 | 2 | 30 | 11 | 55 | 2 |
| 15 | XVkz1-17-2 | 5 | 40 | 16 | 36 | 3 |

备注：摘自《丁集井田新生界水文补充勘探报告》。

3.3. 基岩风化带物理力学性质

根据采区以及采区附近的孔取煤顶板岩石样进行了风化岩石物理力学性质测试，其成果如表4。

从表4以及结合表1可以看出：在煤层露头风化带内，直接顶板主要由泥岩、砂质泥岩以及粉砂岩构成，顶板抗压强度为3.82~21.89 MPa，属于极软岩及软岩。细砂岩、风化中砂岩及风化细砂岩抗压强度较高，细砂岩抗压强度为83.4 MPa，风化中砂岩为35.33 MPa。总之，在基岩风化带岩石的抗压强度显著降低，强度明显减弱，同时其粘结力和内摩擦角也呈现减小的趋势，显示出更强的塑性特征。

Table 4. Test results of physical and mechanical properties of weathered rocks

表4. 风化岩石物理力学性质测试成果表

| 岩性 | 单轴抗拉强度 (MPa) | 单轴抗压强度 (MPa) | 弹性模量 E (10^3 MPa) | 泊松比 | 抗剪强度 | |
|--------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 最小~最大 平均值 | 最小~最大 平均值 | 最小~最大 平均值 | 最小~最大 平均值 | 凝聚力(KPa) 最小~最大 平均值 | 内摩擦角(°) 最小~最大 平均值 |
| 风化泥岩 | <u>0.54~0.8</u> 0.725 | <u>3.82~6.45</u> 5.085 | <u>0.47~0.49</u> 0.483 | <u>0.35~0.38</u> 0.36 | <u>2.82~3.34</u> 2.998 | <u>33.1~33.4</u> 33.26 |
| 风化砂质泥岩 | <u>0.97~1.02</u> 0.995 | <u>4.03~12.99</u> 8.51 | <u>0.47~0.61</u> 0.54 | <u>0.28~0.37</u> 0.325 | <u>2.84~3.59</u> 3.215 | <u>33.2~34</u> 33.6 |
| 风化粉砂岩 | <u>0.75~1.28</u> 1.02 | <u>13.65~21.89</u> 17.27 | <u>0.25~9.29</u> 3.27 | <u>0.18~0.28</u> 0.24 | <u>3.65~9.8</u> 5.93 | <u>0.97~1.02</u> 0.995 |
| 风化细砂岩 | <u>1.03~1.75</u> 1.43 | <u>13.44~41.2</u> 25.87 | <u>0.24~1.04</u> 0.63 | <u>0.23~0.29</u> 0.26 | <u>3.63~5.07</u> 4.39 | <u>31.6~35.8</u> 34.21 |
| 风化中砂岩 | 1.44 | 35.33 | 21.45 | 0.18 | 13.7 | 38.5 |

3.4. 覆岩风化带的含隔水性分析

通过试验分析表明，在风化带内，直接顶板主要由泥岩、砂质泥岩和粉砂岩构成，其抗压强度位于3.82 MPa至21.89 MPa的范围内，属于极软岩及软岩。

当导水裂隙带延伸至风化带时，风化带的地质特性能够限制其高度的发展。深入分析风化带岩石的矿物及微观组分，得出其粘土矿物含量较高，赋予了风化带岩石优良的隔水性能。此外，通过风化岩石的浸水试验，结果显示这些岩石在浸水后具有较高的泥化程度，易于崩解，并表现出一定的流变特性。这些特征进一步证明了风化带岩石不仅具备良好的隔水性，还具备显著的再生隔水能力。

研究区风化带岩石膨胀性能显著，这意味着当基岩风化带面临下方含水层渗透压力时，风化基岩会迅速发生泥化反应。这一泥化过程能有效抑制含水层水的渗流，促进采动过程中围岩破坏所形成的导水

裂隙闭合。因此, 风化基岩的裂隙储水和导水能力将被削弱, 从而在一定程度上构建了一个有效阻止下层含水向下渗透的再生隔水层。

当风化带主要由砂岩构成时, 根据本矿勘探资料, 局部风化砂岩裂隙较为发育, 且部分裂隙被泥质物质所充填, 这种特性使得风化砂岩显示出一定的弱透水性, 从而降低了上覆基岩隔水层(段)的隔水效能。此外, 由于砂岩风化裂隙中含有一定量的地下水, 这在一定程度上增加了覆岩的富水性, 变相增加了下含水层的厚度。

但从表 1 数据可以得出, 研究区风化带的主要岩性组成为风化泥岩, 这一地质特征为在含水层下进行采煤作业提供了极为有利的条件。总体而言, 在正常情况下, 风化带对煤系砂岩水与新生界松散层底部的含水层起到了相对的隔水作用。然而, 当矿井开采活动导致煤系砂岩含水层的水位下降时, 新生界下部含水层的地下水有可能通过风化砂岩的某些局部地段进行渗透补给。

4. 结论

1) 采区风化带厚度平均 26.22 m, 呈西北向东南风化带厚度逐渐增加的规律。

2) 煤层露头风化带岩石顶板抗压强度为 3.82~21.89 MPa, 为极软岩及软岩。抗压强度大幅下降, 同时粘结力和内摩擦角也相应减小, 表现出较为明显的塑性特征。

3) 采区风化带主要岩性组成为风化泥岩。风化泥岩中粘土矿物含量高, 以高岭石、伊利石和蒙脱石为主, 含粘土矿物的岩石物理力学性质差, 且具有不同程度的胀缩性。风化泥岩的蒙脱石含量较多, 遇水膨胀泥化, 填充裂隙, 表明矿井风氧化带泥岩类具有良好的隔水性能。总体来说, 采区风化带良好的隔水性为松散含水层下采煤提供了十分有利的条件。

参考文献

- [1] 王晓明, 周小平, 刘咏, 等. 基于水化学信息的顾北煤矿最佳突涌水水源判别模型[J]. 安全与环境工程, 2013, 20(5): 122-125.
- [2] 张丽, 许昕鹏, 王龙. 薄基岩下开采的水文地质与工程地质特征研究[J]. 工程与建设, 2022, 36(5): 1360-1362.
- [3] 高峰. 基岩风化带顶板综放面切顶压架机理及防治措施[J]. 煤炭技术, 2022, 41(5): 72-76.
<https://doi.org/10.13301/j.cnki.ct.2022.05.019>
- [4] 许延春, 马子民, 李小二, 等. 基岩风化带性质对顶板突水溃砂的影响研究——以赵固一矿为例[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(7): 64-71. <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021-1268>
- [5] 何金华. 五沟煤矿基岩风化带的工程地质特征研究[J]. 矿业工程, 2008(4): 19-21.
- [6] 孙林, 李慧颖. 涡北矿浅埋煤层基岩工程及水文地质特征研究[J]. 河南科技, 2022, 41(21): 55-59.
<https://doi.org/10.19968/j.cnki.hnkj.1003-5168.2022.21.012>
- [7] 吴基文, 吴素玲, 桂和荣, 等. 任楼矿基岩风化带工程地质特征研究[J]. 中国煤田地质, 2000(4): 51-53.