

李希勇 孙庆国 著

# 深部巷道围岩工程 控制理论及支护实践



中国矿业大学出版社

## 前 言

中国是一个煤炭大国，煤炭在我国一次性能源中占 65% 左右。21 世纪对能源的需求将会持续增长，给采矿行业带来了巨大的压力，因为需要开掘数十万千米的地下巷道来服务于煤炭的持续开采。而我国煤炭资源分布地域广大，赋存地质条件复杂，使得巷道支护工程中的问题屡见不鲜。同时，根据统计表明，我国立井的深度在 20 世纪 50 年代平均不到 200 m，而 20 世纪 90 年代平均已达 600 m，相当于平均每年以 10 m 的速度向深部发展，如华丰、孙村等矿已经延深至千米之下，这样，在浅部的巷道稳定性较好，而深部巷道则变得难以支护了，也就是说巷道支护问题更加突出了。与此同时，金属矿山、铁路、水电、人防等工程也需要开挖大量的巷道与硐室。这些工程的建设均需要我们从理论和实践上寻求围岩加固的有效途径。当然，国内外许多学者和工程师，在巷道围岩预测与控制方面作了大量工作，形成了一些规范来指导巷道支护工程设计，如著名的国际地力学分级 (CSIR)、Q 分级新奥法等；我国 1985 年制定了《锚杆喷射混凝土支护技术规范》，1995 年制定了《工程岩体分级标准》；同时，我国各个行业也制定了相应的行业标准，如原煤炭工业部 1988 年颁布《我国缓倾斜、倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类方案》等。这些对指导巷道围岩的控制实践均起到了重要作用，但离针对具体围岩条件和应力环境下的定量控制设计的目标还相差较远。

本书是作者多年来在巷道围岩控制理论与实践的基础上，创造性地提出深部巷道围岩动态工程分类的新理论和方法，即从基于诊断具体巷道围岩的结构组合及应力环境下巷道的破坏形式和

特点出发,对巷道围岩破坏演化规律进行分析,最终实现面向巷道围岩不同部位有针对性的定量控制,形成了一整套创新性的理论体系。

本书分上、下篇,共由十章内容构成:第一章介绍了以华丰煤矿为代表的典型深部巷道特点及国内外研究的现状;第二章介绍了华丰煤矿深部煤岩物理力学性质;第三章介绍了巷道围岩动态工程分类的基本理论,包括技术思想、特点、技术路线和分类的过程描述,是本书的核心之一;第四章介绍了采用 FEM 与 BEM 耦合技术等对不同类型的深部巷道围岩变形与破坏进行仿真的研究成果;第五章介绍了华丰煤矿深部典型巷道围岩动态工程分类的具体做法和结果;第六章介绍了基于动态工程分类的支护设计方法;第七章介绍了基于动态工程分类的支护实践,包括施工和监测分析等;第八章介绍了大变形软岩巷道二次支护技术;第九章介绍了具有冲击地压的煤巷锚杆支护技术;第十章介绍了深部破碎围岩巷道的锚喷修复技术。

由于作者水平所限,难免有错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2001 年 10 月

## 目 录

## 上篇 理论篇

<b>第一章 华丰煤矿巷道支护现状及国内外巷道围岩分类综述</b> .....	(2)
第一节 矿井地质概况 .....	(2)
第二节 矿井开拓开采现状与巷道布置 .....	(6)
第三节 矿井各类巷道的支护现状及围岩变形破坏特征 .....	(10)
第四节 国内外巷道围岩分类与支护现状评价 .....	(17)
<b>第二章 华丰煤矿深部煤岩物理力学性质实验研究</b> .....	(19)
<b>第三章 巷道围岩动态工程分类基本理论</b> .....	(21)
第一节 巷道围岩动态工程分类的特点与技术路线 .....	(21)
第二节 巷道围岩的工程条件与围岩控制要求 .....	(23)
第三节 巷道围岩基本结构的诊断与表达 .....	(24)
第四节 巷道围岩结构的演化 .....	(28)
第五节 巷道围岩演化结构的表达 .....	(44)
第六节 巷道工程动态分类与支护设计的关系 .....	(47)
<b>第四章 华丰煤矿深部典型巷道围岩应力与变形破坏计算</b> .....	(50)
第一节 典型巷道的围岩与采动条件 .....	(50)
第二节 数值仿真方法的选择 .....	(57)
第三节 仿真巷道的力学环境与围岩的物理力学参数 .....	(58)
第四节 巷道围岩变形破坏数值仿真分析 .....	(63)
第五节 基于仿真的巷道围岩稳定性分区 .....	(74)
<b>第五章 华丰煤矿深部典型巷道围岩动态工程分类</b> .....	(78)
第一节 华丰煤矿巷道围岩松动破坏实测统计分析 .....	(78)
第二节 典型巷道的基本结构诊断 .....	(94)
第三节 典型巷道围岩结构的演化 .....	(96)
第四节 典型巷道围岩工程分类的结果 .....	(98)

<b>第六章 华丰煤矿深部典型巷道的支护设计</b> .....	(100)
第一节 基于动态工程分类的支护设计步骤 .....	(100)
第二节 典型巷道的支护设计 .....	(101)

## 下篇 实践篇

<b>第七章 深部巷道支护实践之一</b> .....	(110)
第一节 华丰煤矿-920 m 岩石集中巷支护方案 .....	(110)
第二节 华丰煤矿-920 m 岩石集中巷支护施工与监测分析 ..	(119)
第三节 经济效益分析 .....	(127)
<b>第八章 深部巷道支护实践之二</b> .....	(130)
第一节 动态工程分类与二次支护 .....	(130)
第二节 “喷锚喷、锚网喷”二次支护技术 .....	(133)
第三节 “喷锚喷、锚网喷”二次支护应用实例 .....	(135)
<b>第九章 有冲击危险的煤巷锚杆支护技术</b> .....	(138)
第一节 具有冲击地压危险的煤巷破坏特征及机理 .....	(138)
第二节 具有冲击地压危险煤巷锚杆支护作用机理 .....	(146)
第三节 具有冲击地压危险的煤巷锚杆支护设计 .....	(149)
第四节 华丰煤矿具有冲击地压危险的煤巷锚杆支护实例 .....	(156)
<b>第十章 深部破碎围岩巷道锚喷支护修复技术</b> .....	(168)
第一节 概述 .....	(168)
第二节 深部破碎围岩巷道破坏形态及机理 .....	(168)
第三节 锚喷支护修复破碎围岩巷道理论基础 .....	(170)
第四节 锚喷支护修复技术 .....	(176)
第五节 锚索支护修复技术 .....	(183)
第六节 锚梁支护修复技术 .....	(186)
<b>附录 I 巷道围岩应力与变形数值仿真图集</b> .....	(189)
<b>附录 II 华丰煤矿部分巷道围岩基于数值仿真分区图集</b> ..	(235)
<b>附录 III 实验数据的最佳多项式拟合算法</b> .....	(245)
<b>参考文献</b> .....	(247)

# 上篇 理论篇

# 第一章 华丰煤矿巷道支护现状及国内外 巷道围岩分类综述

## 第一节 矿井地质概况

### 一、含煤地层

新汶华丰井田为新蒙向斜南翼西端的一个含煤区域，东西边界均为第三系砾岩侵蚀面，南至煤层露头，北至-1 000水平，走向长度7.7 km，倾斜宽度2.2 km，井田面积16.9 km<sup>2</sup>。

本区地层属华北型，井田内含煤地层为石炭二叠系，主要为上石炭统太原组及二叠统山西组。总厚300 m以上，含煤24层，可采和局部可采6层。煤系基底为奥陶系，上覆地层为第三系及第四系，自下而上各层大体特征如下：

#### 1. 中石炭统本溪组 (C<sub>2b</sub>)

该组为海陆交互相沉积，厚35.30 m~47.70 m，平均44.14 m。在井田范围内较为稳定，厚度变化不大，以石灰岩和粘土岩为主，与下伏奥陶系呈假整合接触，以徐家庄灰岩以上的一层黑色粘土岩或粉砂岩与上石炭统太原组分界。地层组成由下而上为：

(1) 铁质泥岩（山西式铁矿层位）、铝土质泥岩（G层铝土）及粘土岩，厚15 m左右。

(2) 草埠沟灰岩：厚0~8.91 m，平均3.45 m。厚度变化较大，有时尖灭，局部分叉，为本区重要标志层之一。

(3) 青灰~灰黄色粘土岩：厚2 m~6 m。

(4) 徐家庄灰岩：一般厚6.8 m~19.8 m，平均11.10 m，

厚度变化较大。该层灰岩在浅部溶洞发育，漏水严重，深部岩溶发育较差。

## 2. 上石炭统太原组 ( $C_{3T}$ )

该组为海陆交互相含煤沉积，厚156.34 m~236.04 m，平均197.52 m。岩性主要为灰黑色~灰白色泥岩、粉砂岩、中~细粒砂岩、灰岩及煤层，底部以一层中~细粒砂岩与本溪组分界。根据岩性特征，自下而上可分为四段：

第一段：太原组底界~四灰。该段厚45 m左右，岩性为灰~浅灰色粉砂岩、细砂岩，灰~深灰色泥岩、粘土岩，灰黄色石灰岩及煤层。底部为不稳定的中粒砂岩（本组底界）。本段含煤7层（13、14、15<sub>1</sub>、15<sub>2</sub>、16、17、18），是本区主要含煤层段，其中13、15、16煤为稳定可采煤层，其他煤层均不可采。第四层灰岩作为13层煤顶板为本段重要标志层之一。

第二段：四灰顶面~二灰。该段厚约60 m，岩性主要为灰~灰白色中细砂岩、粉砂岩，灰~灰黑色泥岩、粘土岩、灰色石灰岩、泥灰岩及煤层。含煤6层，其中11层煤为可采煤层，12煤局部可采，其他煤层均不可采；含灰岩二层（二灰和三灰）；含泥灰岩三层，不稳定。第二层灰岩厚0.55 m~2.72 m，平均1.60 m，下距11煤约32 m，为9煤顶板，为本段重要标志层之一。

第三段：二灰顶面~一灰。该段厚约50 m，主要有灰~灰白色粉砂岩、薄层石灰岩及煤层组成。含煤5层，但均不可采。第一层灰岩厚2.42 m~476 m，平均3.21 m，全区稳定发育，上距6层13 m左右，为本段主要标志层之一。

第四段：一灰顶面~太原组顶界。该段厚20 m左右，由灰~灰黑色粉细砂岩互层及煤层组成，间夹薄层泥岩、粘土岩。含煤2层（5、6煤），其中6层为稳定可采煤层，但在露头附近有尖灭现象。

## 3. 下二叠统山西组 ( $P_{1sh}^I$ )

该组为陆相沉积为主的含煤地层，厚112 m~139.95 m，平



均 128.63 m。本组地层严重遭受剥蚀, 仅保存于井田中~深部。下部由灰~灰黑中细砂岩、粉砂岩及煤层组成, 含煤 3 层 (1、2、4), 其中 1、4 层可采, 4 层为厚煤层 (5.29 m 左右), 煤层稳定, 结构简单, 为本区最重要可采煤层。上部由灰绿色中细砂岩、粉砂岩、灰色泥岩及杂色粘土岩组成, 夹薄层粗砂岩、泥岩及粘土岩。底部以一层灰白色中细砂岩与下伏太原组分界。

#### 4. 下二叠统下石盒子组 ( $P_{1sh}^2$ )

该组为陆相沉积。钻孔揭露最大残厚 40 m, 为本组下部层位。岩性主要为灰绿~黄褐色含砾粗砂岩、中粗砂岩及薄层粘土岩。本组地层不含煤, 仅保存于井田深部。

综上所述, 该矿井可采煤层共分六层 (四、六、十一、十三、十五、十六层), 可采煤层总厚度为 12.6 m。

## 二、井田构造

华丰井田为一面积不大的孤立的构造盆地, 位于华丰断块凹陷的中南部。由于断块边界断裂的多期活动, 井田构造较为复杂。井田总体为一簸箕状倾伏向斜, 地层走向变化大, 可由东翼的 NE 向渐变为西翼的近 SN 向, 地层倾角一般为  $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ , 最大可达  $45^{\circ}$ , 次级褶皱及中小型断裂均较发育。

### 1. 褶皱

华丰井田总体为一向 NE 倾伏的簸箕状向斜构造。中部地层走向  $290^{\circ}\sim 310^{\circ}$ , 至东翼渐变为  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ , 西翼则变为  $340^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 。中部地层走向较为稳定, 两翼地层急剧转弯, 显示出一簸箕状向斜。在该向斜中, 发育了多个次级褶曲, 较为明显的有两个, 即  $S_1$ 、 $S_2$ , 出现在两翼地层急剧转弯处。 $S_1$  向斜位于总体向斜的东翼, 轴部近 SN 向, 浅部略向东弯曲。该次级向斜在浅部表现明显, 至深部变得较为宽缓。 $S_2$  向斜位于西翼, 轴部近 WE 向, 较为宽缓。此外, 在井田中部还发育规模较小的一向一背, 浅部在近露头处表现为断层 ( $F_{12}$ ), 中深部褶皱明显, 往深部逐渐消失。次级褶皱的发育对生产造成较大影响。在次级褶皱

发育处, 不仅地层走向变化大, 而且与褶皱相伴生的小断层极为发育, 这给巷道掘进和工作面回采造成不良影响, 致使部分煤层由于构造复杂而无法开采, 造成部分资源损失。

## 2. 断层

勘探和矿井生产揭露资料表明, 在华丰井田, 不存在落差在 30 m 以上的大型断裂, 而落差在 5 m~30 m 之间的中小型断层较为发育。在早期的勘探阶段, 煤系露头附近利用探槽和浅孔揭露了 25 条断层, 编号为  $F_1 \sim F_{25}$ , 这些断层除少部分向深部延伸较长 (如  $F_8$ 、 $F_{15}$ ) 外, 多数向深部尖灭, 对现阶段及今后煤矿生产影响不大。在煤矿生产过程中, 揭露出一系列规模大小不同的断层, 其中规模较大、对煤矿生产影响严重的有 12 条: 1 号井有 3 条, 编为  $F_{1-3}$ ,  $F_{1-6}$  及  $F_{1-7}$ ; 二号井有 9 条, 编为  $F_{2-0} \sim F_{2-8}$ 。

## 3. 井田构造的基本特点

井田总体为一簸箕状倾伏向斜, 构造发育特点在平面上存在明显的块段性。根据井田内次级褶曲发育特点及中小型断层的性质、展布方向、数量、复杂程度及对开采的影响程度等, 可将井田划分为东、中、西三个构造块段。位于东部块段的次级向斜  $S_1$  轴部附近, 由于地层走向的急剧变化, 工作面布置困难, 造成大量无效进尺及大量煤炭损失。西部块段因多为规模较大的正断层, 具有较宽的破碎带, 致使该区水文地质条件复杂。另外, 华丰井田的构造有分级控制性及断裂成带性, 褶皱与断裂具有生成联系。

## 4. 构造对煤层、煤质及采掘生产的影响

(1) 构造对煤层、煤质的影响。华丰井田褶皱、断裂虽然较为发育, 但对煤层的影响表现甚弱。井田中向斜较为宽缓, 整体对煤层厚度影响不大, 除 15 煤外, 其他煤层均在向斜核部略有增厚的趋势, 但这也可能是原始沉积环境影响所致。断层对煤层厚度的影响主要表现在断层两侧煤层因牵引而变薄, 但影响范围不大。

断层对煤质影响较大, 但影响范围也只局限于断层两侧一定

范围内。从宏观上看,由于构造作用断层两侧煤层破碎,光泽变暗,结构疏松,煤质变差,但影响宽度一般不超过 5 m。由于该矿煤质分析资料较少,很难评价构造对煤质的影响程度。

### (2) 构造对生产的影响:

①井田内大中型断层对部分采区划分有影响,一般以其作为采区边界。井田内小构造特别发育,是影响采掘生产的主要因素。由于小断层的影响,常常使工作面重开切眼,掘进率增高,并加大了支护强度。

②在构造复杂地段,煤、岩层倾角变化大,煤层顶、底板裂隙发育,稳定性降低,造成开采技术条件复杂化。

③在井田西部,断裂极为发育,造成水文地质条件复杂化。由于煤层底板隔水层遭受严重破坏,抗张抗拉强度降低,同时断层也缩短了煤层与含水层之间的距离,再加上部分断层具有导水性(如  $F_{32}$ ),因此在井田西部开拓及掘进中多次出现突水事故,致使西区因水文地质条件复杂而无法正常掘进、回采。

### 三、岩浆活动与岩溶陷落柱

区内岩浆岩不甚发育,仅见于井田东部。目前在矿区内各煤层中共发现 21 个岩溶陷落柱,根据岩溶陷落柱的几何特征、发育的规律,确认矿区内仅有 14 个岩溶陷落柱,东部较多,中部较少,且随深度增加而减少,上部煤层中少,下部煤层中多,对矿井安全生产有很大影响。它破坏可采煤层,造成无煤区,在其周边形成破碎带,破坏含水层和隔水层,使区内各含水层间发生水力联系。陷落柱的存在,往往导致顶板大面积冒落,并巷维护困难,并造成突水事故。

## 第二节 矿井开拓开采现状与巷道布置

### 一、各煤层开拓延深状况

矿井为斜井多水平开拓,分段暗斜井延深,水平岩石集中大

巷、分组联合采区。前组 4、6 层岩石集中巷布置在一灰以下，利用石门联络两层煤。华丰煤矿可采煤为上组的 1、4、6 层煤和下组的 11、13、15、16 层煤。共有 1 号井和 2 号井两对斜井开拓（-450 m 以上为 1 号井、2 号井，-450 m 水平以下仅为 1 号井）。目前已采完两个水平（即 -90 m 水平、-210 m ~ -270 m 水平），延深了两个水平（-450 m 水平和 -750 m 水平），开采深度由原来的大于 300 m 延深至大于 800 m。各煤层的开拓延深状况如下：

1 层煤：厚度 0.83 m ~ 1.10 m，较稳定，目前尚未开采。

4 层煤：为本矿主采煤层。东部有 1407、1408 工作面，埋深 -608 m ~ -750 m；中部有 2407 工作面，埋深 -608 m ~ -679 m，目前正准备 -750 m 以下的延深工作，-750 m 以上计划 2001 年结束；西部 -750 m 水平三采区运输系统、三条上山已开出，西部的地质条件较复杂，有顶坠和锅底石等出现，发现两条河流冲刷带。从煤层露头开始有夹矸，厚度变化大，7 号勘探线以西夹矸上部煤层尖灭。

6 层煤：只有 1 号井开拓。煤层 1.1 m，2606、2607 工作面埋深 -558.7 m ~ -750 m，小断层发育且不规律，顶板破碎难管理。东部有 2607、2608 卸压面，埋深 -608 m ~ -750 m（-450 m ~ -750 m 为暗斜井延深），深部向斜不明显。

11 层煤：只有 2 号井开采。

13 层煤：-450 m 水平以上已采完，1 号井已结束对其开采。2 号井目前因水量较大暂停开采。水量大的原因是底板与徐灰和奥灰有导水通道导通。

15 层煤：由 -450 m 水平后组煤二采区第一亚阶段开采，工作面有 21501 面，2 号井已结束，1 号井内埋深为 -210 m ~ -270 m。

16 层煤：1 号井内埋深 -210 m ~ -270 m，顶板为破碎粉砂岩，难维护，向斜轴部有陷落柱。-210 m ~ -450 m 为暗斜

井延深。2号井的三水平埋深 $-320\text{ m} \sim -450\text{ m}$ ，下部尚未延深。工作面有31602东和31603东。

## 二、开采方法

矿井开拓方式为斜井—基本运输大巷—石门，上、下组煤单独开拓。除1层煤尚未开采外，其他煤层正在开采。开采顺序由浅到深、由上到下。开采方法采用采区前进、工作面后退的走向长壁采煤法。因各煤层地质条件不同，其开采方法也有所不同。

1层煤：厚度较稳定，结构简单，厚度 $0.83\text{ m} \sim 1.10\text{ m}$ ，目前尚未开采。

4层煤：厚度较稳定，结构简单。但从68-3号钻孔见含有夹矸，67-3号孔有分层。生产中揭露，三水平四采区上山以西该煤层分两个自然分层，夹矸厚度由 $0 \sim 6.0\text{ m}$ 。上分层煤厚 $4.3\text{ m}$ ，下分层煤厚 $2.15\text{ m}$ ，四采上山以东，一直到东边界，为结构单一的厚煤层，厚度 $5.43\text{ m} \sim 7.30\text{ m}$ ，平均厚度 $5.2\text{ m}$ 。上部有原生尖灭现象，且有局部变薄和无煤带存在，正常情况，分三个分层开采，倾斜内错，金属网铺底做下一分层的假顶。采用国产150机组落煤，冒落法管理顶板。

6层煤：该煤层为结构简单的稳定煤层，厚度 $0.81\text{ m} \sim 1.25\text{ m}$ ，平均 $1.09\text{ m}$ 。采用走向长壁采煤法开采，放炮落煤，冒落法管理顶板。

11层煤：为较稳定的薄煤层，局部分叉为上下两个分层，即11(1)和11(2)。上分层厚 $0 \sim 1.3\text{ m}$ ，平均 $0.67\text{ m}$ ；下分层厚 $0.04\text{ m} \sim 2.20\text{ m}$ ，平均 $0.69\text{ m}$ 。在原1号井范围内， $-450\text{ m}$ 水平以上，11层煤因厚度较薄，转为平衡表外。在三水平三采区与四采区上山之间，夹矸厚度 $0.3\text{ m} \sim 0.6\text{ m}$ 。四采区上山往西夹矸变薄，两层合为一层。11层煤也采用走向长壁采煤法，放炮落煤，冒落法管理顶板。

13层煤：为结构简单的较稳定薄煤层，厚度 $0 \sim 1.19\text{ m}$ ，平均 $1.04\text{ m}$ 。煤层中含不连续的透镜状炭质砂岩包裹体。其硬度

较大,影响钻眼爆破和采煤机割煤。该煤层采用走向长壁采煤法,放炮落煤,用带状充填缓慢下沉法管理顶板。

15层煤:为结构简单的较稳定薄煤层,煤层厚度 $0.04\text{ m}\sim 2.80\text{ m}$ ,平均 $0.89\text{ m}$ 。煤层中含不连续的透镜状炭质砂岩包裹体,其硬度较大,影响钻眼爆破和采煤机割煤。该煤层采用走向长壁采煤法,放炮落煤,用带状充填缓慢下沉法管理顶板。

16层煤:为厚度稳定的中厚煤层,厚度 $0.68\text{ m}\sim 2.98\text{ m}$ ,平均 $1.54\text{ m}$ 。该煤层采用走向长壁采煤法,放炮落煤,冒落法管理顶板。

### 三、各可采煤层顶底板条件

1层煤:顶板为厚 $5.0\text{ m}$ 的粉砂岩,个别钻孔见为细砂岩及薄层粘土。底板为 $5.0\text{ m}\sim 6.0\text{ m}$ 厚的灰白色中粒砂岩,伪底为 $1.0\text{ m}$ 左右的粉砂岩,有的钻孔见有粘土。

4层煤:一般有 $0.2\text{ m}\sim 1.0\text{ m}$ 的粉砂岩伪顶,极易冒落,直接顶为 $5.0\text{ m}\sim 8.0\text{ m}$ 的粉砂岩或粉细砂岩互层,较好管理。底板为灰黑色粘土质粉砂岩,厚 $2.0\text{ m}\sim 3.0\text{ m}$ ,层理不清,遇水易膨胀,易发生底鼓。

6层煤:局部有 $0.2\text{ m}\sim 0.4\text{ m}$ 的粉砂岩伪顶,极易冒落,直接顶为 $2.0\text{ m}\sim 3.0\text{ m}$ 厚的粉砂岩及粉细砂岩互层,具有层理,硬度中等,性脆,顶板较好管理。底板为灰黑色粉细砂岩互层,厚 $11.0\text{ m}$ 。

11层煤:顶板为炭质粉砂岩,性脆,硬度中等,厚 $11.0\text{ m}$ ,较好管理。煤下有 $0.2\text{ m}\sim 0.3\text{ m}$ 的粘土岩伪底,遇水易膨胀,再下为 $0.5\text{ m}\sim 2.0\text{ m}$ 的泥灰岩(第三层石灰岩),较坚硬。

13层煤:顶板为第四层石灰岩,厚 $5.1\text{ m}\sim 8.0\text{ m}$ ,平均 $6.0\text{ m}$ ,为厚层状,坚硬,不易冒落,一般无伪顶,当有伪顶时(二合顶)较难管理。底板为灰色粘土岩,厚 $0.3\text{ m}\sim 2.5\text{ m}$ ,平均 $1.0\text{ m}$ ,层理不清,性软易碎,遇水易膨胀,有底鼓。

15层煤:顶板为泥灰岩或粉砂岩,厚 $1.0\text{ m}\sim 3.0\text{ m}$ 。层理

不清，硬度中等，性脆，易冒落，较好管理。底板为浅灰色粘土岩，厚度 3.0 m~5.0 m，层理不清，风化后变软，易碎，遇水膨胀，易发生底鼓。

16层煤：顶板为灰黑色粉砂岩，厚 2.5 m~4.0 m，平均 3.0 m，层理不清，硬度中等，性脆，易冒落，较好管理。底板为浅灰色粘土岩，厚 3.0 m~5.0 m，层理不清，初见较硬，风化后变软，易碎，遇水膨胀，易发生底鼓。

### 第三节 矿井各类巷道的支护现状及围岩变形破坏特征

#### 一、矿井各类巷道的支护现状

##### 1. 回采巷道

华丰煤矿回采巷道支护根据不同的采深、不同煤层条件，其支护方式有所不同，经历了由木棚支护、金属梯形棚支护到锚网支护和锚网棚联合支护的阶段。如华丰煤矿目前四层煤在上分层工作面平巷中一般选用  $\phi 16 \times 1800$  快凝水泥膨胀药卷锚杆加金属网进行支护，中分层、下分层采区工作面平巷采用锚背网加“U25”钢两节腿金属支架联合支护。在 4 层煤锚网支护成功的基础上，先后又在 6 层、10 层、13 层、15 层煤工作面平巷推广了锚网支护。目前在 6 层、10 层、13 层、15 层煤工作面平巷中存在梯形棚架和锚网支护两种形式。在巷道服务期较长、地压较大且有自然发火危险的条件下，采用锚背网加喷射混凝土的支护方式，可以封闭围岩，增加巷道支护强度，保持围岩的长期稳定。当采用沿空留巷时，在锚背网和金属棚架联合支护的基础上，沿采空区一侧再打一排密集混凝土木垛进行支护。总之，根据回采巷道围岩的特点，在支护上分为以下几类：

- (1) 金属梯形棚支护；
- (2) 单体锚杆支护；

- (3) 锚网支护;
- (4) 锚网加金属棚架等联合支护;
- (5) 锚背网加喷射混凝土支护;
- (6) 锚背网、支架和板垛联合支护。

## 2. 采区上、下山

华丰煤矿采区上、下山布置时,考虑到岩石层位以尽可能发挥围岩自承载能力,以及4、6层煤均在一灰之上,一灰平均厚度为3 m,因此采区上(下)山一般布置在一灰之下,即沿一灰掘进或布置在一灰之下较稳定的岩层中。由于选择了较好的层位,采区上(下)山采用喷射混凝土或锚网喷支护,支护效果良好。

## 3. 水平基本大巷

华丰煤矿各水平的的基本大巷支护方式不尽相同,其中-750 m水平基本大巷为锚网喷支护,-750 m水平大巷位于一灰之下,东段位于9层煤底板中,西段位于11层煤顶板中。巷道围岩中等稳定,基本沿走向顺层掘进,采用直墙半圆拱断面,巷道净宽4.1 m,净高3.6 m,荒断面积14.76 m<sup>2</sup>,净断面积13.14 m<sup>2</sup>,采用锚网喷支联合支护。

## 4. 岩石集中巷、联络石门

联络石门以往采用传统的矿用工字钢梯形支架,由于联接4层煤与集中巷的石门过一层2.5 m厚的粘土岩,地压大,变形严重,改为直墙半圆拱锚喷支护。

-750 m岩石集中巷距-750 m水平基本大巷20 m左右,巷道围岩为粉砂岩,基本稳定,采用直墙半圆拱断面,巷道净宽3.8 m,净高3.5 m,荒断面积12.33 m<sup>2</sup>,净断面积11.37 m<sup>2</sup>,采用锚、网、喷支联合支护。

## 5. 断面跨度较大的硐室、交岔点

在华丰煤矿-750 m水平开挖的机电硐室、交岔点,除一采区以外,均采用双层锚网喷支护。



## 二、华丰煤矿各类巷道支护决策的依据

### 1. 回采巷道

华丰煤矿在回采巷道支护决策方面，主要依照原煤炭工业部(88)煤生第163号文“关于试用《我国缓倾斜、倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类方案》的通知”，采用顶板强度( $\sigma_{顶}$ )、煤层强度( $\sigma_{煤}$ )、底板强度( $\sigma_{底}$ )、埋深( $H$ )、直接顶初次垮落步距( $L$ )、直接顶厚度与采高的比值( $N$ )及护巷煤柱宽度( $X$ )七个因素，用模糊数学的方法把回采巷道围岩稳定性分为稳定(I)、较稳定(II)、中等稳定(III)、稳定性较差(IV)及不稳定(V)五类，并依次选用简易支护、锚杆、锚网支护、梯形刚性支架支护、梯形可缩支架及拱形可缩支架支护、锚网棚联合支护等形式。

### 2. 非回采类巷道

华丰煤矿对非回采类巷道进行的支护一般考虑围岩的性质、巷道用途、服务年限、施工工艺、施工设备等因素，全巷掘进巷道大多采用直墙半圆拱断面，锚网喷支护，其支护方式一般参照图表1-1、表1-2、表1-3等来选择。

表 1-1 围岩稳定性与支护方式选择

围岩分类	岩层描述	稳定性	支护方式
I 稳定	1. 完整坚硬，不易风化； 2. 层状岩层，层间粘结较好，无弱层	长期不支护无碎块掉落	喷射混凝土或不支护
II 较稳定	1. 完整、比较坚硬， $R_c = 40 \text{ MPa} \sim 60 \text{ MPa}$ ； 2. 层状岩层，胶结较好； 3. 坚硬块状，裂隙面闭合，无泥质充填物， $R_c > 60 \text{ MPa}$	围岩基本稳定，长期不支护会出现小块冒落	锚杆支护或锚喷支护
III 中等稳定	1. 完整、中硬， $R_c = 20 \text{ MPa}$ ； 2. 中硬，层状岩层； 3. 中硬，块状岩层， $R_c = 20 \text{ MPa} \sim 40 \text{ MPa}$	维护1个月稳定，局部块状掉落	锚、网或锚、喷、网支护