

ZHENGZHOU KUANGQU SHUIHAI ZONGHE ZHILI JISHU YANJIU

郑州矿区水害 综合治理技术研究

赵苏启 主编

郭启文 徐志斌 副主编

 中国科学技术出版社

郑州矿区水害综合治理技术研究

赵苏启 主 编

郭启文 涂志斌 副主编

中国科学技术出版社

• 北 京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

郑州矿区水害综合治理技术研究/赵苏启主编. —北京: 中国科学技术出版社, 2006. 3

ISBN 7-5046-4300-9

I. 郑... II. 赵... III. 煤矿—矿山水灾—综合治理—研究—郑州市 IV. TD745

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 018159 号

责任编辑: 王 蕾 刘社育

责任校对: 林 华 王春风

责任印制: 李春利

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

电话: 010—62103202

<http://www.kjpbooks.com.cn>

北京地质印刷厂印刷

*

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 9.5 字数: 165 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1100 册 定价: 30.00 元

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、
脱页者, 本社发行部负责调换)

内 容 提 要

本书在分析郑州矿区地质和水文地质特征的基础上，针对郑州矿区水害防治的特殊性，总结了矿区历年突水灾害的类型、突水特征、突水机理和水害治理的经验；针对不同水害提出了防治对策，提出了注浆治理水害的一整套理论与技术方法；针对郑州矿区水害的实际，提出了水害抢险救灾技术方案和水害应急救援方案，并且探讨了矿区排水、供水、环境保护有效结合和矿井水资源化等问题，提出了具体的实施方案。

本书可供从事煤矿防治水工作的各级管理人员及各类工程技术人员学习、参考。

郑州矿区水害综合治理技术研究

编著者名单

主 编 赵苏启

副 主 编 郭启文 涂志斌

编写人员 (按姓氏笔画排序)

王芬芝	牛景才	尹尚先	孙长军	任占营
乔留军	陈晓国	李沛涛	张秋成	张 森
张银海	张贵敏	张保国	张志峰	张书杰
赵苏启	赵玉启	郭启文	涂志斌	凌标灿
唐娜新	崔芳鹏			

前 言

郑州煤炭工业（集团）有限责任公司（以下简称郑煤集团公司）坐落在郑州市西南 40 km 的嵩山脚下，矿区地跨新密、登封、新郑、荥阳、汝州、伊川 6 市（县）及郑州市郊区，东近京广、西临焦枝、北靠陇海三大铁路干线，交通条件十分便利。郑州矿区矿产资源丰富，煤质优良，煤种为中灰、低硫、高热量的优质贫煤和无烟煤，是优质工业动力煤和民用煤。

矿区现主采煤层为二₁ 煤，煤层厚度为 0~30 m，厚度一般均在 4~9 m，属厚煤层。煤层倾角在 3°~25°之间，一般为 12°~20°，属缓斜煤层。煤层大多属较稳定煤层，个别煤矿属不稳定和极不稳定煤层，开采难度较大。目前，矿井开采深度为 300~700 m 左右。东部矿区（芦沟、裴沟和超化矿区）水文地质条件复杂，西部矿区（太平、米村和王庄矿区）水文地质条件相对简单。告成煤矿位于芦店滑动构造区，水文地质条件比较复杂，顶板破碎，管理困难。

从 1959~2004 年底的 45 年间，郑煤集团公司所属各煤矿发生淹井、淹采区及水害伤亡事故 21 起，发生突水量大于 60 m³/h 的水害事故达 70 多起。矿井最大一次突水淹井是 1997 年 5 月 3 日芦沟煤矿太原组石灰岩及奥陶系石灰岩突水，突水量最大达 7 680 m³/h，稳定水量 3 440 m³/h。2000 年以来，矿区发生突水事故已达 7 起，平均近每年 2 起，发生频率较以前明显增加。其主要原因是随着开采深度不断加大，水文地质条件越来越复杂，而位于主采煤层底板的太原组灰岩和奥陶系石灰岩含水层水压不断增高，水害隐患越发严重。郑州矿区水文地质条件非常复杂，已发生的水害类型样样俱全，包括顶板裂隙水害、底板薄层石灰岩水害、底板奥陶系—寒武系石灰岩水害、老空水害、封闭不良钻孔水害和地表水害，水害已严重制约着郑煤集团的发展。

本书在分析郑州矿区地质和水文地质特征的基础上，针对郑州矿区水害防治的特殊性，总结了矿区历年突水灾害的类型、突水特征、突水机理和水害治理的经验。针对不同水害提出了防治对策，提出了注浆治理水害的一整套理论与技术方法；针对郑州矿区水害的实际情况，提出了水害抢险救灾技

术方案和水害应急救援方案；同时对矿区排水、供水与环境保护有效结合和矿井水资源化方面进行了探讨并提出了实施的方案。

在本书编辑出版过程中，得到了郑煤集团公司领导和有关部门的大力支持，在此深表谢意。

限于作者水平，书中不妥之处在所难免，恳请有关专家和读者批评指正。

编 者
2006 年 2 月

目 录

第一章 郑州矿区地质构造特征	1
第一节 地层	1
第二节 矿区构造	5
第二章 郑州矿区水文地质特征	12
第一节 自然条件	12
第二节 含水岩层和隔水岩层	14
第三节 岩溶发育与地下水的富集特征	20
第四节 地下水的运移及动态	23
第五节 地下水的化学特征及水质评价	25
第六节 地下热水	26
第三章 郑州矿区水害特征	28
第一节 矿区水害基本情况和水害类型	28
第二节 水害发生的原因	41
第四章 郑州矿区典型水害的防治技术	44
第一节 顶板疏水巷疏水降压防治顶板水害技术	44
第二节 底板巷道疏放薄层石灰岩水的防治技术	46
第三节 底板奥陶系—寒武系石灰岩水疏、堵、排、供、环 结合防治技术	51
第四节 底板奥陶系—寒武系石灰岩水预注浆防治技术	60
第五节 帷幕注浆堵水防治老空水害技术	64
第六节 封闭不良钻孔水害防治技术	70
第五章 郑州矿区典型水害的注浆堵水技术	73
第一节 注浆堵水工艺	73
第二节 动水注浆堵水技术	81
第三节 引流注浆技术	84
第四节 帷幕注浆技术	86

第五节	导水陷落柱“止水塞”注浆技术	87
第六节	注浆实例分析	89
第六章	矿井突水灾害抢险救灾技术	94
第一节	水源分析技术	94
第二节	突水量测定及变化预测	101
第三节	导水通道与堵水技术	102
第四节	强排水抢险技术	107
第五节	堵、排结合抢险技术	109
第七章	郑州矿区水害应急救援方案	111
第一节	指挥机构设置和职责	111
第二节	应急救援队伍的任务和训练	115
第三节	事故的预防措施	117
第四节	事故的处理与社会支援	121
第八章	郑州矿区水资源化研究	124
第一节	地下水资源评价与开发利用	124
第二节	矿井水与环境	128
第三节	矿井水资源化的途径	131
第四节	矿区水资源化的管理	139
主要参考文献		141

第一章 郑州矿区地质构造特征

第一节 地 层

郑州矿区属于华北型地层，缺失古生界志留系、泥盆系和中生界侏罗系、白垩系，其他各系皆有发育（见图 1-1）。以下依出露顺序由老至新综述。

一、太古界—登封群（ Ar_d ）

本群以黑云母斜长片麻岩为主，上部夹黑云母片岩，下部夹斜长角闪片岩，部分受混合岩化作用，厚度大于 1 145 m。

二、元古界（ Pt ）

1. 下元古界—嵩山群（ Pt_1 ）

该岩层出露于本区西北部五指岭，南部嘯咭山、玉皇庙，风后岭一带山区。其上部为紫红、杂色千枚状绢云母石英片岩和条带状石英岩；下部以灰白色石英岩、绢云母石英片岩为主，夹有白云岩。总厚度大于 2 000 m，不整合于下伏登封群（ Ar_d ）之上。

2. 上元古界—震旦系（ Z ）

本区仅中统马鞍山组（ Z_{2m} ）发育，出露于五指岭、庙坡及荃萃山一带。其厚度为 20~163 m；岩性为浅紫色、灰黄色的中厚层状石英砂岩夹页岩；底部有砾岩及赤铁矿层发育，与下伏嵩山群呈不整合接触。

三、古生界（ Pz ）

1. 寒武系（ ϵ ）

该岩层出露于本区西、北、南三面低山丘陵地带，厚度为 486~1 109 m，与下伏震旦系为假整合接触。

（1）下寒武统（ ϵ_1 ）。下寒武统包括以下几组：① 辛集组（ ϵ_{1x} ）：其下部为灰白、黄褐色石英砂岩、砂砾岩；中部为紫红色、黄绿色泥砂质石灰岩和钙质石英细砂岩；上部为灰色、深灰色厚层状燧石团块白云岩、豹皮状

地层名称 地层符号	地厚 /m	综合柱状	煤层及 标志层名称
第四系 Q	40		
第三系 R	10 ~ 200		
石千峰组 P ₂	40 ~ 100		九 ₁
上石盒子组 P ₁	490		八 ₂
			田家沟砂岩
			六 ₂
			五 ₃
下石盒子组 P ₁	83		四 ₂
			三 ₃
山西组 P ₁	55 ~ 108		米村泥岩 砂锅窑泥岩
太原组 C ₃	56 ~ 93		二 ₃
			大占砂岩
			一 ₂
本溪组 C ₂	1~30		L _{7,8}
奥陶系 O ₂	70		L _{5,6-5}
			L _{4,4-1}
			铝土泥岩

图 1-1 新密煤田综合柱状图

石灰岩、白云质石灰岩。厚度为 51~110 m。② 馒头组 (ϵ_{1m}): 为紫红、青灰色泥质石灰岩与泥质岩互层, 水平层理发育, 厚度为 36~124 m。

(2) 中寒武统 (ϵ_2)。中寒武统包括以下几组: ① 毛庄组 (ϵ_{2m}): 其岩性为紫色粉砂岩, 层面含大量的白云母片, 具水平层理, 夹透镜状石灰岩。厚度为 92~141 m。② 徐庄组 (ϵ_{2x}): 其岩性底部为灰褐色海绿石细砂岩; 下部为灰色、青灰色中厚层状泥质条带状石灰岩或白云质石灰岩夹黄绿色页岩; 中部为灰色、深灰色中厚层状泥质条带白云质石灰岩、鲕状白云质石灰岩与黄绿色砂质页岩互层; 上部为青灰色、深灰色薄至中厚层状泥质条带石灰岩、豹皮状白云质石灰岩。厚度在 50~114 m 之间。③ 张夏组 (ϵ_{2zh}): 其岩性为灰色、深灰色巨厚层鲕状石灰岩、白云质石灰岩、鲕状白云岩。厚度为 58~218 m。

(3) 上寒武统 (ϵ_3)。上寒武统包括以下几组: ① 崮山组 (ϵ_{3g}): 其岩性主要为灰色、深灰色厚、巨厚层状白云岩, 鲕状白云岩; 顶部为灰黄、橘黄色薄层状泥质白云岩或泥质石灰岩。厚度为 36~190 m。② 长山组 (ϵ_{3ch}): 其岩性主要为灰色、灰白色厚层状白云质石灰岩、白云岩; 顶部为淡黄、灰黄色薄层状泥岩、白云质石灰岩。厚度为 52~120 m。③ 凤山组 (ϵ_{3f}): 其岩性为灰色、灰白色厚层状含硅质团块白云岩、白云质石灰岩。

厚度为 57~93 m。

2. 奥陶系 (O_2)

奥陶系平行不整合于寒武系之上, 仅中统马家沟组 (O_{2m}) 发育, 在本区广泛分布, 但出露零星, 主要出露于白寨、南杨岗、新密市城区周围及尖顶山一带。厚度为 0~135 m, 变化较大, 一般在 70 m 左右。其变化趋势为由西南至东北逐渐增厚, 西部告成区、芦店区厚度为 21 m; 向东至芦沟区、裴沟区增至 80 m 左右; 新郑区、三李区一般超过 100 m。其岩性为灰色、蓝灰色厚层石灰岩, 含少量黄铁矿结核。底部为不稳定的灰黄色角砾状石灰岩; 下部为灰黄, 橘黄色薄层状泥石灰岩、泥质白云质石灰岩夹绿色页岩; 中上部为灰色、深灰色厚层状致密石灰岩; 顶部为浅灰色、灰黄色薄层状豹皮石灰岩。

3. 石炭系 (C)

本区仅有中上统发育, 平行不整合于马家沟组之上, 仅在煤系露头边缘有零星出露, 厚度为 63~132 m。

(1) 中石炭统一本溪组 (C_{2b})。厚度为 0~27.7 m, 一般为 6~10 m, 分布不稳定, 受沉积基底控制, 有时呈鸡窝状, 为一₁煤层直接底板。其岩性为浅灰色、深灰色铝土质泥岩及铝土岩, 含黄铁矿结核及晶体, 具有鲕状及豆状结构。

(2) 上石炭统一太原组 (C_{3t})。底界为一₁煤层, 顶界至 L_9 薄层石灰岩水, 厚度为 63~120 m, 一般在 80 m 左右。由浅灰色石灰岩、泥岩、砂岩及煤层组成, 含煤 9 层, 仅一₁煤层大范围可采; 含石灰岩 8~9 层。

4. 二叠系 (P)

二叠系与下伏太原组为连续沉积, 总厚度为 1 575 m。在平陌、周山、香山一带出露较为齐全, 芦沟煤矿有零星出露, 而上统石千峰组出露较广泛。地貌上呈狭长岗丘分布。

(1) 下二叠统 (P_1): ① 山西组 (P_{1sh}): 厚度为 55~108 m, 一般在 75 m 左右, 岩性为深灰色和灰黑色泥岩、砂质泥岩、灰色砂岩及煤层。② 下石盒子组 (P_{1x}): 厚度为 45~103 m, 一般在 85 m 左右, 为灰色、灰绿色、灰黄色砂质泥岩, 夹细砂岩, 含煤 2~3 层, 均不可采。

(2) 上二叠统 (P_2): ① 上石盒子组 (P_{2sh}): 厚度为 620 m, 主要由灰白色、灰绿色细—中粒砂岩、砂质泥岩、泥岩及紫色斑块鲕状泥岩组成, 夹薄煤层或煤线, 含有 27 层煤, 除四₆、五₃、七₂煤局部或偶尔可采外, 其余

均不可采。② 石千峰组 (P_{2sh}): 厚度为 300 m 以上, 其岩性底部为紫色、暗红色砂质泥岩夹细砂岩; 中部为黄褐色、黄绿色细—中粒砂岩与紫红色粉砂岩互层, 上部为青灰色、灰白色细—中粒中厚层状长石石英砂岩, 钙质胶结, 中央同心圆结构的钙质结核。

四、中生界 (M_z)

三叠系 (T): 仅有零星出露, 在芦店区、告成区一带较为发育, 出露面积较大, 与下伏二叠系整合接触, 其岩性以紫红色砂质泥岩、泥岩和紫红色粉、细砂岩为主, 平均厚度约 569 m。

五、新生界 (K_z)

1. 第三系 (R)

第三系主要出露于山前丘陵岗地及其河谷地带, 西部芦店区、告成区一带下第三系发育, 分布广、厚度大。在新密城区周围及三李勘探区上第三系零星出露, 与下伏地层不整合接触。

(1) 下第三系 (E)。在芦店、告成地区, 最大厚度达 1 100 m, 常见厚度百余米, 岩性及厚度变化极大, 为一套紫红色、砖红色陆相碎屑岩。

(2) 上第三系 (N)。主要分布于三李勘探区及新密市城区周围, 厚度为 20~264 m, 平均厚度为 140 m, 厚度及岩性变化大、不稳定。其岩性底部为含砾黏土或底砾岩; 下部为杂色黏土, 固结致密; 中部为灰白色泥质石灰岩, 有时相变为钙质砂岩或结核层; 上部为棕色黏土或半胶结状砂岩、透镜状砾岩。

2. 第四系 (Q)

本区缺失下更新统, 以上各统均有发育, 西部及中部厚度小, 且受到强烈侵蚀与剥蚀, 向东逐渐增厚, 至东部平原区第四系厚度达 500 m 以上。

(1) 中更新统 (Q_2)。本区西部呈零星分布, 构成Ⅲ级阶地, 厚度为 30~50 m, 以棕红色、棕黄色之亚黏土、亚砂土为主, 偶夹砂砾石层, 含大量钙质结核, 在沟谷中受风化侵蚀后呈缓坡状, 与上覆地层有明显区别。

(2) 上更新统 (Q_3)。全区发育, 本区中部、西部构成河谷Ⅱ级或Ⅲ级阶地, 厚度在 40 m 左右, 以黄土状亚砂土、亚黏土为主, 夹透镜状砂砾层, 垂直节理发育, 在沟谷边坡呈陡壁。

(3) 全新统 (Q_4)。本区中、西部沿河床和Ⅰ级阶地分布, 厚度为 8~10 m, 为砂砾层、粉砂。具有二元结构, 上为粉、细砂, 下为粗砂砾石层,

在京广线以东,连续分布于地表,为次生黄土状亚砂、亚黏土、粉砂和耕植层,厚度为 20~30 m。

第二节 矿区构造

新密煤田构造基本形态表现为宽缓的、西窄东宽的、较为完整的复式向斜构造,向斜轴近东西,西端抬起,东端倾没。研究区西部为轴向北东的芦牛向斜(颍阳—芦店向斜)的东延部分。本区断裂构造极为发育,且以高角度断层为主,次级褶曲也较为发育,滑动构造的广泛分布是本区构造特征之一,见图 1-2。

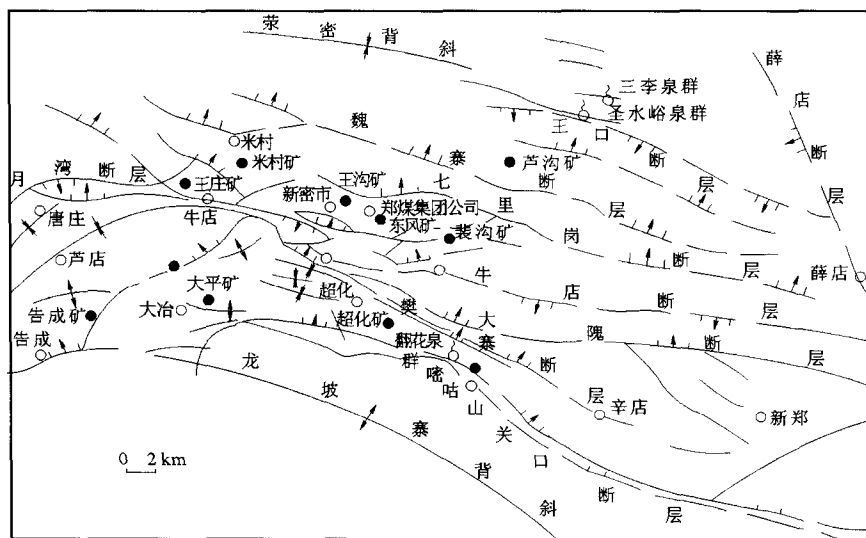


图 1-2 矿区构造纲要图

一、褶曲构造

本区褶曲开阔舒展,背斜与向斜相间出现,翼部多被断裂切割。

1. 荣密背斜

荣密背斜位于荥阳、新密之间,属于嵩山背斜的东段。嵩山背斜自西向东延伸,中部被五指岭断层切割,其东段称荣密背斜。该背斜轴向近东西,区内全长 50 km,西起五指岭经尖山、白寨至太山倾没于第四纪地层之下。背斜核部出露元古界地层,向南北两翼地层由老至新依次出露,地层分别倾

向南北，倾角为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

2. 龙坡寨背斜

龙坡寨背斜又称风后岭背斜。位于新密、新郑与禹州、登封之间，呈东西向展布。轴部沿风后岭、玉皇庙、火煤山、嘯咕山延伸，向西端倾没，全长 35 km，核部由元古界地层组成，向两翼地层由老至新依次出露，两翼地层倾角为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

3. 新密复向斜

新密复向斜位于荥密、龙岗寨两大背斜之间，呈近东西向展布。轴部起于龙岗寨东，经大隗镇北向东南方向倾伏，全长 30 km，核部分布有石千峰组，两翼为煤系地层。

4. 芦牛向斜

该向斜为颍阳—芦店向斜之东段，颍阳—芦店向斜位于嵩山背斜、箕山背斜之间，向斜轴在东金店以西呈近东西向。向斜北翼由于月湾断层的破坏，地层倾角陡且残缺不全；向斜南翼地层完整，倾角较缓并保存了具有工业价值的登封煤田（包括研究区的芦店、告成勘探区）。

5. 溱沔背斜

溱沔背斜位于新郑城西。全部被第三系、第四系地层所掩盖，经钻探知，轴向为北西—南东，向北西方向倾伏。背斜两翼保留完整的煤系地层，倾角平均为 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。

6. 超化背斜

超化背斜位于新密超化镇西，轴向近东西，向东倾伏，为不对称背斜。背斜北翼倾向北东，倾角为 6° ；背斜南翼倾向南，倾角为 15° 。

7. 大冶向斜

大冶向斜位于大冶镇附近，轴向近东西，向东南倾伏，轴部部分被第四系覆盖。向斜北翼较陡；向斜南翼地层波浪起伏，控制着大平井田。

8. 八千背斜

八千背斜位于新郑煤田东侧，为隐伏背斜，轴向北 60° 东，核部为寒武系、奥陶系地层，延展约 10 km。

二、断裂构造

本区断层多为近东西向高角度正断层，延伸长、落差大，除牛店、月湾

断层为北升南降外,其他较大的断层皆为南升北降。此外,本区还发育了北西—南东和北东—南西向两组断裂,呈X形,但走向延伸不长,落差较小。大平矿区发育有逆断层。

1. 月湾断层

月湾断层西起伊川吕店,经月湾东至新密煤井沟,全长60 km,走向近东西,局部偏转为北东向,倾向南,倾角为 70° ,局部近于直立,为高角度正断层。下盘太古代、元古代变质岩及元古代花岗岩与上盘震旦纪至三叠纪地层接触,断距由东向西从1 000~3 000 m,为研究区西部的北界。

2. 魏寨断层

魏寨断层西起新密蔓菁峪,西经姚山、姜沟、乔沟、魏寨,向东被第三系、第四系所覆盖,走向北西 75° ,延展约20 km,为南升北降的正断层,落差最大约600 m。向东、向西落差变小,在芦沟井田只有130 m。

3. 七里岗断层

七里岗断层西起新密老城南,经七里岗、岳岗到马庄东被第四系覆盖。走向近东西,全长约15 km,为南升北降的正断层,落差由西向东逐渐增大,最大为250 m。

4. 牛店断层

牛店断层西起牛店,经东瓦店、钱家门到马武寨向东为第四系覆盖。走向北西 75° ,东西延展约24 km,为北升南降的正断层,最大落差达600 m。

5. 樊寨断层

樊寨断层位于王村南到小南沟,向东可延至新郑的欧阳寺、小占庄一带(新郑勘探区称欧阳寺断层),走向近东西,全长约30 km,为南升北降的正断层,落差为50~250 m。

6. 大隗断层

大隗断层西起新密李家门北,经大隗镇、周渡口至新郑人和寨一线。走向近东西,全长约30 km,为南升北降的正断层,落差东大西小,约1 000~2 000 m。

7. 嘯咕山—关口断层

嘯咕山—关口断层西起嘯咕沟,经栗子沟、南沟、油房沟再向东经苟堂、关口、太清伏于第四系之下,走向近东西,全长6 km,为南升北降正断层,断距各处不一,约2 000~3 000 m,为煤田南部边界。

8. 二郎店断层

二郎店断层为新密煤田东部边界,走向北北东,根据物探和新郑44钻孔资料推断,东南盘新生界下为前震旦系地层,西北盘为煤系地层,断面倾向北西,为平移断层。规模和延伸情况待查。

9. 五指岭断层

五指岭断层位于五指岭山的西南侧,北起巩义市南山口,经新密三股槐,往南至新郑市区附近,全长约100 km,由数条断层组成,主断层走向北西—南东,其北西段断层面倾向南西、中段近于直立、南东段(新密煤田内)倾向北东,为压扭性平移断层,水平断距为7~8 km。

三、滑动构造

研究区内广泛发育的滑动构造是本区显著的构造特点之一。大量勘探资料表明,处于上古生界,三叠系下部发育有为数众多、规模较大的滑动构造,局部第三系地层也卷入这类构造之中。研究区主要滑动构造有芦店滑动构造、任岗滑动构造、大隗滑动构造、大平滑动构造、七里岗滑动构造等。

1. 芦店滑动构造

芦店滑动构造带位于嵩山—五指岭和箕山—风后岭之间的登封、新密市境内,东起新密市大隗镇、西止登封市南嵩山断层带的玉皇庙断层,西宽东窄、总体呈近东西向展布,滑动系统面积约260 km²。

(1) 滑动系统(上覆系统)。滑动系统主要由山西组底部二₁煤层以上层位的二叠系和三叠系组成。在告成矿区一带,下第三系始新统陈宅沟组亦卷入滑动系统之中。这表明芦店滑动构造最后一次活动在始新世之后。

滑动系统地层走向在安沟以西为北东—南西向,安沟以东逐渐转为北东—南西西向。滑动系统中次级褶皱较为发育,但其总体构造形态呈箱状背斜(朝阳沟背斜),与下伏系统不完整的向斜构造明显不协调。朝阳沟背斜为滑动系统的主体构造,其枢纽总体走向北东,其南东翼地层倾角较陡,一般为30°左右,北西翼地层倾角较缓,一般为10°左右,背斜转折端偏于滑动系统南部。在南翼,滑动系统与下伏原地系统两者地层倾向相反,并且滑动系统地层缺失量随远离南部边界断层而逐渐减小,最大缺失量约3 000 m。

滑动系统北部边界断层为月湾断层带和牛店正断层,断层面总体向南倾斜。在焦家沟—阎沟一带,滑动系统北缘发育一系列向南倾斜的高角度阶梯状正断层,构成宽数十米的拉张变形带。断层带内构造变形以张性为主,并具有先张后压的力学性质。滑动系统南缘挤压构造较发育,主要表现为一些