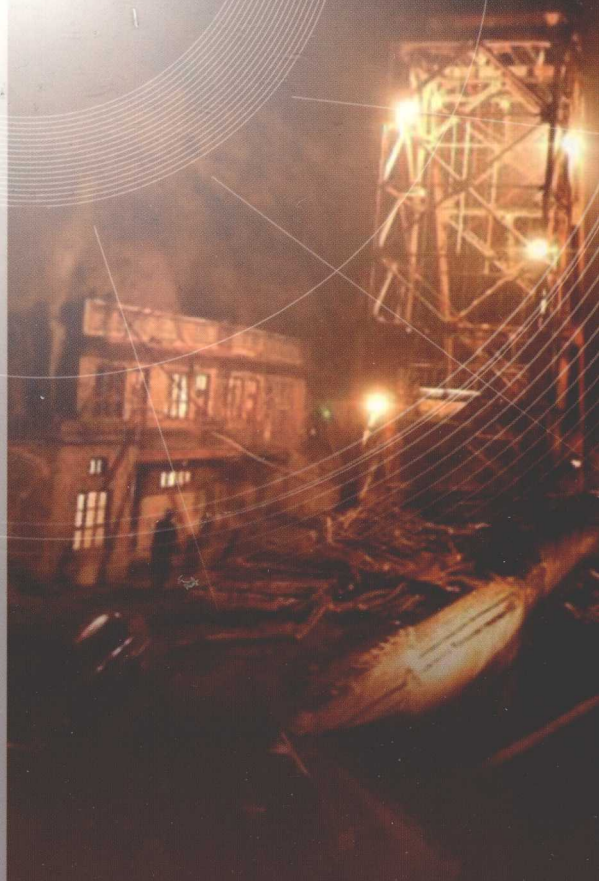


王志荣 蔡迎春 孙文标 著

典型瓦斯地质灾害

DIANXING WASI DIZHI ZAIHAI YU FANGZHI

与防治



黄河水利出版社

典型瓦斯地质灾害与防治

王志荣 蔡迎春 孙文标 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

我国矿山采掘业是地质灾害最频发的行业之一。河南省是我国产煤大省,也是全国著名的瓦斯重灾区,省内 50% 以上的煤矿为高瓦斯或煤与瓦斯突出矿井。为此本书进行了专题研究,精选自新中国成立以来发生在河南省的大量灾难性瓦斯地质灾害的典型实例,通过现场调查和专家访谈,针对每个事故灾害的具体特点,着重从灾害过程实录、灾害基本特征、灾害成因机制、灾害经验教训及瓦斯地质灾害防治措施等方面,进行了深入、系统的分析研究。

本书可供矿山工程勘察、设计、施工、监理、安全、矿井地质工程技术人员参考,也可作为大中专院校有关专业师生的参考材料。

图书在版编目(CIP)数据

典型瓦斯地质灾害与防治/王志荣,蔡迎春,孙文标著. —
郑州:黄河水利出版社,2009. 7

ISBN 978 - 7 - 80734 - 687 - 6

I. 典… II. ①王…②蔡…③孙… III. 瓦斯煤层—地质
灾害—防治 IV. TD823. 82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 128694 号

如书中发现任何内容及印刷质量问题或提出出版建议,请联系:

马广州 0371 - 66023343 magz@yahoo. cn

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126. com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1092 mm 1/16

印张:14. 25

字数:345 千字

印数:1—1200

版次:2009 年 7 月第 1 版

印次:2009 年 7 月第 1 次印刷

定价:29. 00 元

前 言

矿山安全是煤矿生产永恒的话题,而防治瓦斯地质灾害是煤矿安全生产所面临的一个迫切的重大课题。

河南省煤炭工业由于其规模产量和特殊的地域优势,长期以来一直在全国煤炭行业占据着重要的地位,在全省经济社会发展中同样起到了非常重要的作用。进入 21 世纪以后,随着经济社会的持续快速发展,人们对煤炭的需求逐年递增。煤炭工业作为河南省的支柱产业,对经济社会发展的支撑效应也越来越明显。然而,随着矿井开采机械化程度的提高,矿井开采向深部延伸,开采规模逐年增大,以及在许多特殊条件下开采(如在瓦斯突出区采煤)等,所遇到的地质问题越来越复杂,煤矿安全事故时有发生,安全成本逐年上升,怎样从根本上遏制事故的发生是煤炭系统面临的现实问题。

就地质条件而言,河南省煤矿多系“三软”矿区,矿井瓦斯地质灾害频繁,常常诱发群死群伤事故。本书在前人已有工作的基础上,总结了新中国成立以来河南省历次重大瓦斯事故的经验教训,综合应用瓦斯地质学、构造地质学、煤岩学、地球物理学等学科的基础理论,对矿井瓦斯地质灾害形成机理、控制因素及灾难性进行了系统的清晰论述和科学探讨。同时,对各种勘察技术手段、防治方法、预测数理模型、环境地质和计算机应用等也进行了初步探索。

全书共分五个部分:绪论和第一章由郑州大学王志荣撰写,介绍了河南省煤田的地质及瓦斯地质背景、矿区瓦斯地质灾害现状及典型分区特征;第二章由郑州大学王志荣、蔡迎春撰写,全面阐述了矿区瓦斯地质条件的系统性与相互制约性,强调地质构造对大规模瓦斯突出事故所起的主导作用;第三章由郑州大学王志荣、蔡迎春撰写,该章为瓦斯地质灾害案例分析,应用矿井采掘揭露大量原始地质资料和瓦斯参数,对近年来发生在河南省的具有重大或较大影响,业已造成人员伤亡和经济损失的突出事故的过程、原因、治理方法和经验教训,进行了清晰论述和科学探讨;第四章由郑州大学蔡迎春、河南工程学院孙文标撰写,着重介绍了矿井瓦斯预测的基本工作方法及矿井瓦斯防治技术,明确指出矿井瓦斯治理必须结合矿区环境保护和矿区煤层气资源开发,走具有河南省特色的综合治理之路;第五章由河南工程学院孙文标撰写,介绍了充填采煤的防突原理及似膏体充填技术的应用前景。全书由王志荣统稿。

在本书完成过程中,得到了中国矿业大学(北京)曹代勇教授、高文泰教授、胡书荣教授,郑州大学老师和同学们的关心与帮助。郑州大学万长吉教授、吴泽宁教授对本书提出了若干有益的修改意见,在此一并致谢!

另外,由于作者水平所限,不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正!

作 者

2009 年 2 月

目 录

前 言	
绪 论	(1)
第一章 地质及瓦斯地质特征	(7)
第一节 河南省煤田区域地质背景	(7)
第二节 河南省煤田瓦斯地质背景	(13)
第三节 河南省瓦斯地质分区特征	(23)
第二章 矿区瓦斯地质条件分析	(41)
第一节 研究区概况	(41)
第二节 瓦斯生成条件分析	(42)
第三节 瓦斯运移条件分析	(54)
第四节 瓦斯保存条件分析	(69)
第三章 瓦斯地质灾害案例分析	(98)
第一节 概 述	(98)
第二节 瓦斯窒息事故案例分析	(102)
第三节 瓦斯突出事故案例分析	(107)
第四节 瓦斯次生(煤尘)灾害分析与防治	(135)
第四章 煤与瓦斯突出防治方法	(153)
第一节 概 述	(153)
第二节 基于人工神经网络的瓦斯突出强度预测	(155)
第三节 基于灰色理论的瓦斯突出风险预测	(159)
第四节 基于瓦斯地质参数的瓦斯突出位置预测	(163)
第五节 矿井瓦斯地质灾害防治信息化前景	(167)
第六节 瓦斯抽放与煤层气开发	(169)
第七节 岩石与瓦斯突出防治方法	(182)
第五章 突出煤层的采煤方法	(188)
第一节 概 述	(188)
第二节 充填采煤的发展及似膏体充填技术	(190)
第三节 煤矿似膏体充填料浆的特性	(195)
第四节 煤矿似膏体充填固结体的早期强度	(201)
第五节 煤矿似膏体充填固结体的容许比压和压缩率	(205)
第六节 煤矿似膏体充填实例	(207)
图版及说明	(214)
参考文献	(219)

绪 论

一、瓦斯地质灾害的基本概念及其研究意义

瓦斯又称煤层气,是煤化过程中的烃类产物,以甲烷为主要成分,一般占成烃总量的 80% 左右,其次为乙烷,占成烃总量的 20% 左右。瓦斯地质灾害就是煤体空隙中的有机可燃气体在采矿过程中迅速逸出,引起人员伤亡和巷道破坏。生产实践中,瓦斯地质灾害一般指煤与瓦斯突出(简称瓦斯突出或突出)和煤与瓦斯涌出,也包括瓦斯爆炸、瓦斯窒息事故以及煤尘爆炸等瓦斯次生灾害。

煤层瓦斯具有资源和灾害双重性,一方面煤层气作为非常规天然气,是一种潜力巨大的洁净能源。我国煤层气资源丰富,据新一轮全国煤层气资源预测结果,在我国陆上煤田埋深 2 000 m 以浅范围内拥有的煤层气资源量为 $31 \times 10^{12} \text{ m}^3$,居世界第二位,与我国陆上常规天然气资源量($30 \times 10^{12} \text{ m}^3$)相当。因此,在我国发展煤层气产业既是客观需要,也具有雄厚的物质基础。另一方面,我国煤层瓦斯无论是在突出次数上,还是在突出强度上都是非常严重的。

事实上,瓦斯地质灾害发生在与煤炭开采有关的地下矿井工程中,即井筒、巷道、峒室和采场等封闭环境中,造成的人员伤亡、财产损失十分惨重,其规模之巨大和影响之恶劣也都是罕见的。瓦斯无色、无臭、无味且比空气轻,突出后常漂浮在巷道上半部、独头上山及冒顶绞架处,具有燃烧爆炸、产生冲击地压、使人窒息等多种危害性,而危害最大的则是燃烧爆炸。因而,瓦斯地质灾害被公认为当前我国煤矿五大地质灾害之首,是煤矿安全生产最隐蔽最凶恶的敌人。

我国是世界上少数几个以煤为主要一次能源的国家,长期以来,煤炭消耗占 70% 左右。据中国工程院预测,至少到 2020 年,煤炭消耗仍将占 60% 以上。河南省是我国居山西、陕西和新疆之后的主要产煤大省,2004 年产量已突破 1.54 亿 t。因此,加快河南省煤炭工业的发展,走可持续发展道路,对全省乃至全国的国民经济发展都具有重要的战略意义。

近年来我国煤炭资源开采强度逐渐加大,越来越多的矿井包括相当一部分大型骨干矿井(如平顶山和淮南等)已进入深部和复杂井田开采,矿井地质灾害问题越来越突出显现,尤其是煤矿瓦斯和透水事故,占据了煤矿死亡率的前两位,而瓦斯更是居事故之首。新中国成立以来至 2006 年年底,全国煤矿共发生一次死亡百人以上事故 22 起,死亡 3 564 人。其中,20 起是瓦斯事故,死亡 3 329 人,事故起数和死亡人数分别占 93% 和 91%。2001 ~ 2005 年 2 月底,全国煤矿发生一次死亡 30 人以上事故 38 起,死亡 2 438 人。其中,瓦斯事故 31 起,死亡 2 112 人,事故起数和死亡人数分别占 82% 和 87%。河南省是我国百人以上瓦斯突出死亡事故的重灾省份,迄今已发生死亡百人以上瓦斯事故 4 起,其中 2004 年 10 月 20 日发生的大平煤矿特大瓦斯矿难,瓦斯突出量高达 $47\,621 \text{ m}^3$,煤(岩)突出量高达 $2\,273 \text{ m}^3$,最终造成 148 人死亡,35 人受伤,直接经济损失 3 935.7 万元。

我国当前矿难频发的严峻形势,引发了政府、专家与大众的普遍关心和重视。国务院第

81 次常务会议指出,煤炭是我国一次能源的主体,煤炭行业又是高危行业,高瓦斯和瓦斯突出矿井已占一半左右,煤矿安全是整个工业安全生产工作的重中之重。矿井瓦斯地质灾害的形成原因众多,除违法乱纪、官商勾结、腐败现象、矿工素质、管理水平、安全欠账等人为因素外,还有开采深度增加、地质条件复杂及超临界开采等自然因素。实际上,中国大陆煤矿瓦斯突出的原因极其复杂,涉及煤层赋存状态、厚度变化、变质程度、构造特征、开采方式与深度、构造应力场及其采动应力场等方面,而煤层开采过程中引起的构造动力学环境的改变,应该是煤矿瓦斯突出的最根本原因。

众所周知,河南省焦作矿区是一个有近百年开采历史的老矿区,盛产高变质无烟煤,煤层瓦斯含量极大,又有瓦斯突出的传统历史,是河南省乃至全国著名的瓦斯地质灾害高发区。而豫西滑动构造区各煤矿最近几年也相继发生了众多不同规模的瓦斯地质灾害,郑州矿区告成煤矿、大平煤矿和超化煤矿皆为豫西罕见的突出矿井或高瓦斯矿井,瓦斯突出、瓦斯爆炸及煤层自燃发火等安全事故频频出现。据最新资料统计,全区矿井瓦斯绝对涌出量一般为 $24.51 \text{ m}^3/\text{min}$,最大达到 $30 \text{ m}^3/\text{min}$;高瓦斯采面瓦斯绝对涌出量为 $25 \text{ m}^3/\text{min}$,相对涌出量为 $10.8 \text{ m}^3/\text{t}$ 。此外,瓦斯动力现象也较频繁,瓦斯一次突出量在 $500 \sim 1\,000 \text{ m}^3$ 共发生 20 次, $1\,000 \sim 5\,000 \text{ m}^3$ 发生 5 次, $5\,000 \sim 10\,000 \text{ m}^3$ 发生 3 次,大于 $10\,000 \text{ m}^3$ 发生 3 次;煤(岩)层一次突出量在 50 m^3 以内共发生 23 次, $50 \sim 500 \text{ m}^3$ 发生 3 次, $500 \sim 1\,000 \text{ m}^3$ 发生 2 次,大于 $1\,000 \text{ m}^3$ 发生 1 次。2004 年 10 月 20 日发生的大平煤矿特大瓦斯矿难,煤(岩)层与瓦斯突出量在河南省乃至全国实属罕见。

面对发生在滑动构造区的瓦斯地质灾害,地质、煤炭、安监等部门和一些高校进行了大量的实际工作,相继发表了一些研究成果。主要结论归纳如下:①提出了原生顶板与构造岩顶板的概念;②构造岩顶板发育区顶板易冒落,瓦斯运移复杂且含量异常;③矿井垂深 450 m 以内一般以低瓦斯为特征,深部地质条件复杂,瓦斯含量达到 $18.9 \text{ m}^3/\text{t}$,瓦斯压力达到 1.15 MPa ,为突出危险区;④煤与瓦斯突出均发生在构造复合部位,大平煤矿“10·20”矿难直接与掘进工作面所揭露的逆断层有关。

然而,由于河南省煤田属于典型的“三软”矿区,地质条件的复杂性和不确定性以及当时技术条件的限制,尽管投入了很大力量和使用各种先进手段,但未能深刻阐明各种地质条件下尤其是开放式构造条件下瓦斯地质灾害的形成机理及发生发展规律,对问题的全面解决仍有很长的路要走。

寻求地质构造与矿井瓦斯突出之间的内在关系一直是学术界和矿业界关注的重要课题之一。由于瓦斯突出成因的复杂性,单从地质构造或瓦斯监测角度去防止瓦斯突出,都有失偏颇。在人们的习惯性思维中,滑动构造区是张性构造发育区,瓦斯自然会得到释放而不会聚集成灾,为何位于芦店滑动构造区的大平煤矿、告成煤矿和超化煤矿还会发生如此之多的瓦斯突出事故?显然,这是一个值得研究的重大问题!瓦斯突出受构造动力学环境及诸多因素的影响,除产生瓦斯的煤层厚度及数量(物质场)、瓦斯的运移(渗流场)、瓦斯的聚集与赋存(环境场)和导致瓦斯突出的动力(应力场)外,尚包括煤岩层组合(固相)、瓦斯的运动特征(气相)及其采煤方式(一式)等方面。可以说,瓦斯突出是“一式”、“二相”、“四场”各因素综合作用的结果。

本书通过大量河南省典型灾难性瓦斯地质灾害案例分析,根据“一式”、“二相”、“四场”的瓦斯研究新思路,运用地质学原理与数值模拟等方法,结合滑动构造特征探讨瓦斯突

出规律、控制模式、预测模型及其防治措施。这一研究无论是对瓦斯地质基础理论研究,还是对滑动构造区的煤矿安全生产,乃至对中国东部伸展构造区煤矿安全开采,皆具有重要的理论意义与实践意义。

二、瓦斯地质灾害的研究现状及其进展

矿井瓦斯地质的发展是与矿业发展密不可分的,并随着岩石(体)力学、工程地质学和采矿工程学的发展而发展。世界上首次典型的瓦斯突出出现于1834年法国的鲁阿雷煤田伊萨克矿井;而国外最大规模的瓦斯突出事故则发生于1969年7月13日苏联顿巴斯加加林矿井-710 m水平的主石门,当时揭穿厚仅1.03 m的煤层,总计突出煤量14 000 t,瓦斯25万 m^3 以上。据不完全统计,全世界瓦斯突出超过千次的国家有中国、法国、俄罗斯、波兰和日本等五国。我国最早的瓦斯突出记录是1939年1月20日发生在辽源矿务局富国二井的一次小型突出,突出煤量仅7 t;最大一次突出发生在1975年8月8日四川天府矿务局三江坝一矿,当时放炮揭穿6号煤层而震动诱发事故,突出煤岩量为12 780 t(煤占60%,矸占40%),瓦斯14万 m^3 ;2005年2月14日,阜新矿业集团孙家湾煤矿发生瓦斯突出,死亡214人,创下了我国大陆1949年以来人员伤亡的最高纪录。

国外学者对瓦斯作了很多研究,如卡尔瓦德(1935)系统地总结了层状体系瓦斯的积聚规律。20世纪40年代,英国学者对沼气在静止大气中的扩散运动给予了理论描述。20世纪60年代,苏联学者运用巷道紊流变形理论和概率统计方法对巷道瓦斯运移规律进行了探讨。随后,一些专家开始运用紊流扩散理论探讨井下污染物迁移,建立了考虑污染物对风流影响条件下的数学模型,并得出了纵向弥散系数和横向扩散系数的理论表达式。

世界上其他几个主要产煤大国,如美国、加拿大和澳大利亚等,在矿井安全工程研究方面也做了大量工作。20世纪70年代,由于美国矿业法的修改,对煤矿的安全指标大大提高。美国联邦矿业局和美国联邦地质调查所组织其所属有关研究中心并资助高等院校开展了长达20余年煤矿开采地质条件的综合研究,查明了影响瓦斯突出的主要地质因素有煤岩特征、煤层厚度、构造形态及顶底板岩性组合等。1982年首次利用微地震法预测煤矿开采过程中的煤岩层与瓦斯突出。相对来讲,上述西方国家的煤田构造相对简单,煤层赋存浅,瓦斯渗透系数大,煤炭开采机械化程度高,近些年来,瓦斯事故几乎为零。2005年10月26~27日,在北京召开了第一届中国国际煤矿瓦斯防治与利用大会。从大会的中国煤层气开发现状及前景展望、英国煤矿瓦斯与环保、德国煤矿瓦斯发电厂的经济效益、美国燃气发动机最新技术及其在煤层气发电中的应用、日本煤矿瓦斯管理与瓦斯有效利用、澳大利亚英美煤炭公司煤层气管理与利用等六大议题可以看出,当今世界瓦斯研究的前沿主要在开发利用及探测技术方面。如美国的Stolar Horizon公司正在联合俄罗斯、加拿大和澳大利亚等国家,积极开发矿井无人值守开采的关键技术,即实时实地预测地质构造、煤质变化及事故先兆。瑞典的Hamburg公司以VSP技术为基础已经成功地开发了TSP技术来进行隧道超前地质预报。实践证明,该技术很好地解决了层状体系水平方向的弹性波偏移问题,非常适用于含煤岩系的超前地质预报。

矿井瓦斯地质灾害防治技术是一个涉及瓦斯地质学、流体力学、岩体力学、支护理论等多学科的综合性工程技术。人们经过长期的工程实践与科学研究,不断地总结出多种基本理论。综观煤与瓦斯突出机理的研究历史,大致经历了单因素假说(于不凡,1958)、综合假

说(斯柯琴斯基,1978)和流变假说(何学秋等,1991)三个阶段。单因素假说认为,触发瓦斯突出的原因是瓦斯压力或地应力;综合假说的共同点在于都承认瓦斯突出是瓦斯压力、地应力、煤的物理力学性质三个因素的综合作用结果,而关于何种因素起主导作用则有不同的看法;流变假说是运用流变学的观点分析瓦斯突出过程,并建立了含瓦斯煤的本构方程。与综合假说相近的还有能量假说(霍多特,1961)、应力分布不均匀假说(巴布洛夫,1964)、动力效应假说(Pooley,1967)、煤壳失稳假说(俞启香、蒋承林,1992)和固流耦合失稳假说(梁冰、张梦涛,1995)。从国内外发表的文献看,目前为大多数学者所接受的是综合假说。

我国大陆广大科技工作者根据现场资料和模拟实验,从20世纪60年代起就开始了突出煤层的应力状态、瓦斯赋存状态、煤的物理力学性能等方面的研究工作。于不凡(1960,1985,2000)指出:瓦斯突出是从离工作面某一距离处的发动中心开始的,而后向四周扩散,即所谓的中心扩张学说;周世宁、何学秋(1965)在研究了瓦斯在煤层中的流动机理后指出,瓦斯突出是含瓦斯煤层受采动影响后,地应力与孔隙中瓦斯气体耦合的一种流变过程,瓦斯在孔隙结构中的流动主要是扩散运动,符合菲克定律;在煤层裂隙中的流动属于渗流运动,符合达西定律;俞启香和蒋承林教授(1991,1992)所提出的煤壳失稳假说,总结了瓦斯突出过程中煤(岩)体的破坏型式,强调煤和瓦斯突出的实质就是地应力破坏煤体、煤体释放瓦斯、瓦斯使煤体裂隙扩张并引起煤壳破坏的一系列链式反应,而煤体的破坏则以球盖状煤壳的形成、扩展及失稳为主要特点;张宏伟等(2000)则对瓦斯动力现象进行了详细的研究,提出了瓦斯突出与地应力耦合研究的新课题。

我国大陆的瓦斯地质研究同样取得了很多进展。早在20世纪60年代,河南焦作矿务局在焦西矿进行了瓦斯涌出量预测研究,发现了断层附近瓦斯涌出呈现驼峰现象的规律;北票矿务局总结了瓦斯突出与地质构造等因素的关系,提出了用地质指标进行瓦斯突出区域性预测的方法。1972年,四川矿业学院、南桐矿务局开始将地质力学的观点应用于瓦斯突出分布研究。1978年11月,煤炭部科技局委托焦作矿业学院和焦作矿务局在河南省焦作市召开了全国首次瓦斯地质学术研讨会,发表了一批煤矿瓦斯地质研究成果,逐步形成了适合我国煤炭工业的矿井瓦斯地质研究理论和方法。1982年,杨力生教授承担了煤炭部重大科技攻关项目“全国煤矿瓦斯地质编图”,1985年年底编制了我国第一部共“25套省(区)瓦斯地质图、125套矿区瓦斯地质图、500余套矿井瓦斯地质图”的瓦斯图集及说明。1990年,张祖银、张子敏共同编制出版了《1:200万中国煤层瓦斯地质图》。

瓦斯突出即在地应力和瓦斯压力的共同作用下,破碎的煤和瓦斯由煤体内突然喷出到采掘空间的动力现象。显然,瓦斯地质灾害产生于特定的构造环境,曹运兴(1990,1993,1996),胡社荣(1992),曹代勇(2002,2004,2005)曾通过煤变质作用的研究,指出构造应力对煤体变形变质及煤化进程有很大影响,强烈变形的构造煤瓦斯含量高,且灾害性大;郭德勇等(1998,2002)系统研究了地质构造对煤与瓦斯突出的控制作用,提出了瓦斯预测的构造物理学新方法;Litwinisz(1985),彭立世(1985),Lama(1998),Dziurzynsk(2001),徐涛等(2005)均就瓦斯突出的地质成因机制提出了各自的见解。

河南省于20世纪60年代以来,尤其是20世纪90年代初期,随着煤炭开采向大规模及深部的发展,出现了大量的矿井瓦斯地质问题后,随即开展了矿井瓦斯突出的防治研究工作,研究方向主要侧重于解决矿井安全生产过程中出现的实际问题。以黄体信为代表的河南省老一辈煤矿安全专家,从20世纪60年代起就开始了煤矿水采的试验研究工作,在鹤壁

矿务局有严重突出危险的掘进工作面上,采用高压注水综合措施,以达到压裂煤体、增加煤体透气性,从而提高瓦斯抽放效果的目的。20 世纪 90 年代早期,焦作矿业学院瓦斯地质研究所通过对煤体结构的力学特征及破坏规律的研究,模拟了瓦斯的渗透运移问题。苏现波(1996)根据煤体结构渗透理论和瓦斯在构造裂隙中的运移特征,对河南省主要煤田的煤层气可采性作出了评价。到 21 世纪初,省内一些有远见的瓦斯地质工作者,如张铁岗(2001)、王恩义(2005)、张子敏等(2005)、刘金城等(2006)分别从构造角度探讨了瓦斯突出机理与突出规律。

然而,河南省的瓦斯突出成因机理总体上尚未取得共识,尤其是滑动构造区和瓦斯地质灾害的特殊性及其两者之间的内在关系还鲜有人进行全面研究,仍然是一个亟待研究的课题。本书力图将瓦斯地质学基础理论与构造煤测试分析、计算机数值模拟以及岩石试验等手段有机地结合起来,展开滑动构造特征与瓦斯突出的因果关系、滑动构造区瓦斯突出的成因机理以及防治对策等方面的研究,为芦店滑动构造区,乃至中国东部伸展构造区的瓦斯突出防治提供理论基础与技术支持。

三、瓦斯地质灾害的研究内容及其方法

煤矿瓦斯地质灾害的研究内容及其方法,涉及一个国家或地区的科学技术水平和经济能力,此问题在当今世界地质界中仍是一个难题。长期以来,广大地质科技工作者与瓦斯地质灾害进行了不懈的斗争,在总结新中国成立以来历次突出事故经验教训的基础上,逐渐摸索和形成了一套适合河南实际情况的瓦斯防治新方法,采取了“先抽后采,监测监控,以风定产”的综合治理方针,在瓦斯地质基础理论、矿井瓦斯等级鉴定、瓦斯抽放及矿井监测监控等方面虽已居世界前列,但在瓦斯突出机理、瓦斯突出预测预报手段、计算机应用、环境地质等方面和国际水平仍有较大差距。确切地说,我国的矿井瓦斯防治,还仍然停留在经验治理的水平上。现就研究内容与方法,从地质角度谈一些粗略的看法。

瓦斯地质灾害具体的研究内容有三项,即查明矿井瓦斯地质条件,分析各种瓦斯地质灾害案例的发展过程、基本特征及其成因机制,正确地提出瓦斯地质灾害防治措施。

(1) 矿井瓦斯地质条件是影响煤矿瓦斯防治的各种地质因素的综合,包括瓦斯生成条件、运移条件和保存条件,涉及煤层厚度变化、变质变形、地质构造、地温地压、地下水和顶底板力学性能等地质因素的观察、分析和预测等内容。

(2) 通过现场调查和收集资料,针对每个地质灾害案例的具体特点,着重从地理位置、生产环境、地质条件、事故原因和经验教训等方面进行了深入、系统的分析研究。

(3) 就煤矿安全生产而言,由于地质人员对客观的瓦斯地质条件最为了解,所以应参与矿井的设计、施工与生产等全面工作。因此,在矿井瓦斯地质条件和矿井瓦斯危险性评价的基础上,还应提出合理的设计、施工和生产方案,为矿井瓦斯地质灾害防治提供技术支持。

为了能深入研究上述问题,必须采用相应的研究方法。首先,研究这些瓦斯地质问题,绝对不能离开地质分析这一基本方法。这种分析不仅研究瓦斯突出与周围地质因素的相互关联和相互制约的方式,还要研究其随时间而发生发展的演化规律。虽然得到的是定性结果,显示的是区域性或趋势性的规律,然而对采区划工作面布置和瓦斯防治对策,却有很重要的指导意义,同时它又是做进一步定量研究的基础。

除地质学方法外,矿井瓦斯地质学必然要求对矿井瓦斯地质问题进行定量评价,以便为

工程设计或防治措施设计提供必要的定量数据。为此,就必须应用岩(煤)体力学和瓦斯流体力学的基本原理,通过试验、物理模拟和数值模拟等方法,阐明瓦斯突出的力学机制。在此基础上,就可以建立各种地质条件下瓦斯突出的力学模型进行数值计算。由于矿区地质条件十分复杂,有时还不得不依靠类比法进行定量评价,也就是根据条件类似矿区(或矿井、采区、工作面)的已有瓦斯地质问题的观察资料,对未知地区进行定量预测,如矿井瓦斯涌(突)出量预测等。

科学实践证明,无论是进行地质分析还是力学机制分析或是数值模拟分析,都需要科技人员深入一线观察、观测和分析地质现象。野外和井下地质现象的观察研究所获得的宝贵资料,是瓦斯地质分析的最根本依据,因为有些第一手资料是难以用室内模拟所代替的,如地应力场和流体渗流场异常所造成的一些动力现象等。当然,数值模拟和神经网络分析也有其独特的优势,这主要是它能在室内重现地质作用的全过程及预报类似地质条件下的瓦斯动力性状。因此,它既可以对各种地质现象进行实验验证,又可以对未知区域的瓦斯地质灾害进行逐区逐面的预测预报,两者紧密相联而不可分割。

第一章 地质及瓦斯地质特征

第一节 河南省煤田区域地质背景

地质条件是控制与影响瓦斯突出的主要因素,地质分析法是研究瓦斯地质的主要方法。所以,在讨论河南省煤田瓦斯突出机理,并进行瓦斯突出预测预报前,首先介绍研究区的区域地质概况,即地(煤)层组成、地质构造、构造演化以及豫西滑动构造的发生发展背景。

一、煤系地层

河南省煤田的地层分区属华北地层区,具有变质基底和沉积盖层的二元结构。太行构造区基底为太古界赞皇群,嵩箕构造区基底由太古界登封群和下元古界嵩山群组成。全区除缺失晚奥陶世—早石炭世地层外,出露有前寒武纪—第四纪的所有地层(见表 1-1)。

表 1-1 豫西煤田地层划分及岩性特征简表

界	系	统	组	符号、接触关系	厚度(m)	岩性
新生界	第四系			Q	0~1 500	冲积物、粉砂、亚黏土、夹砂、砾层
	新近系			N	0~500	杂色砾岩、砂岩和砂砾岩
	古近系			E	0~2 500	红色砾岩、砂岩和砂砾岩
中生界	白垩系			K	0~330	紫红、灰白凝灰质砂岩,砾岩
	侏罗系	上统		J ₃	0~450	红色砾岩
		中统	马凹组	J ₂	0~200	棕红、灰绿色,含火山碎屑的砾岩、砂岩
		中统	义马组	J ₂	0~127	灰黄色砂岩、泥岩夹煤层,底部为砾岩层
	三叠系	上统	延长群	T ₃	>1 500	中、下部为红色砂岩、泥岩,上部为黄、灰色砂岩、泥岩夹炭质泥岩
		中统	二马营群	T ₂	340	红色砂岩、泥岩层
		下统	圈门群	T ₁ ³	500	下部为红色厚层砂岩(金斗山砂岩,厚 70~110 m,上部为红色砂、泥岩互层)
			土门组	T ₁ ²	300	杂色砂岩、泥岩,又称过渡层
			平顶山组	T ₁ ¹	80	灰白厚层中—粗粒砂岩(平顶山砂岩)

续表 1-1

界	系	统	组	符号、接触关系	厚度(m)	岩性
古生界	二叠系	上统	上石盒子组	P ₂ ¹	310 ~ 580	灰黄色砂、泥岩夹煤层,自下而上分五、六、七、八、九煤组,各煤组底部均有分界砂岩。共含煤几十层,绝大多数不可采,仅平顶山地区四、五煤组中含重要可采煤层
		下统	下石盒子组	P ₂ ²	65	灰黄色砂岩、泥岩夹薄煤,含煤数层,均不可采。本组地层含“三煤组”、“四煤组”
			山西组	P ₁ ¹	37 ~ 38	称“二煤组”,以砂岩、泥岩为主,含煤数层,靠近底部二 ₁ 煤平均厚 5 m,全区发育,为主要可采煤层
	石炭系	上统	太原组	C ₃	25 ~ 115	灰岩与夹薄煤层的砂岩、泥岩互层。下部一 ₁ 煤层局部可采
		中统	本溪组	C ₂	0 ~ 87	褐铁矿(山西式铁矿),铝土岩层
	奥陶系	中统		O ₂	0 ~ 150	底部为页岩,余为灰色岩(马家沟灰岩)
	寒武系	上统		Є ₃	189 ~ 409	白云质灰岩、白云岩、含燧石白云质灰岩,下部为泥岩夹泥质灰岩
		中统		Є ₂	300 ~ 520	上部为含泥质条带鲕状灰岩,白云质灰岩,下部为泥岩夹泥质灰岩
		下统		Є ₁	100 ~ 480	下部为砂岩、砾岩,上部为紫、黄绿色页岩夹薄层灰岩
上中元古界	震旦系		罗圈组	Z ₂	0 ~ 150	冰积泥砾,含冰积砾石泥岩
	青白口系		五佛山群	Z _q	0 ~ 400	砂岩、泥岩、泥灰岩和厚层灰岩
	蓟县系			Z _j	70 ~ 830	下部为砾岩、砂砾岩,上部为砾岩、砂岩(马鞍山砂岩)
下元古界			嵩山群	Pt ₁	2 000	石英岩、片岩
太古界			登封群	Ard	2 500	片麻岩、角闪片麻岩、混合岩和片岩

三门峡—禹州一线以南缺失中石炭统本溪组沉积。晚古生代的沉积建造总体为一套海陆交互相含煤建造,总厚 700 多 m,含煤 50 ~ 80 层,共 9 个煤组。山西二₁煤层全区普遍发育,是主采煤层,其他煤组仅局部可采。

晚二叠世含煤岩系之上为一套滨海相至陆相红色碎屑岩系组成的沉积建造。三叠纪

时,本区最大的沉积中心在嵩山北的济源—开封一带,济源区最大沉积厚度达3 000余m。据位于长垣南侧约8 km处的一深井揭露,在井深5 550~5 551 m处为玄武岩层,K-Ar法同位素年龄值为 (192.477 ± 841.031) 百万年(中国科学院贵阳地球化学所,1984),在井深5 375~5 380 m及5 418 m处的两个样品中发现有丰富的晚三叠世孢粉化石。由此表明,厚度为1 m的玄武岩层应属晚三叠世产物。

侏罗系为一套陆相碎屑岩系,其中仅义马盆地富含煤层,可供大规模开采。

白垩系为一套正常陆源盆地碎屑沉积岩系和火山岩岩系。在济源—开封凹陷5号井见有白垩纪流纹岩、凝灰岩。在河南省的汝南、宝丰县大营和嵩县九店、澠池、义马等地,火山岩厚度可达1 744 m,其中上部592 m为玄武岩,下部1 152 m为安山岩、安山质凝灰岩和角砾岩。其火山岩同位素年龄大约在135百万年(K-Ar法)。

古近—新近系为一套由砾岩、黏土岩和泥灰岩等组成的河湖相沉积岩系。第四系主要为黄土沉积。中生界、新生界的岩性和接触关系见表1-1。

河南省石炭系、二叠系含煤地层总厚500~1 000 m,共划分为9个组段,含煤15~43层。综观河南省煤田的含煤性,各地有一定的差异。总体上有自北西向南东煤层层数增多、聚煤层位升高的变化趋势。早二叠世早期山西组二₁煤为全区发育,是较为稳定的主要可采煤层。但聚煤环境各地也不尽相同,上、下石盒子组含煤段仅发育于黄河以南。全省煤层发育情况如下:太原组一₁煤为大面积可采煤层;山西组二₁煤为普遍可采煤层,是河南省重大瓦斯地质灾害的瓦斯源岩层;石盒子组各煤层中四₂、五₂、六₂、七₂煤为局部可采煤层。八、九煤段不含可采煤层,三煤段仅豫东永城地区发育可采煤层。

二、构造背景

(一) 区域构造

河南省煤田位于华北古板块南缘的秦岭—大别板缘以北,自北而南分为太行构造区、嵩箕构造区和嵕熊构造区(见图1-1)。嵩箕构造区分地区上隆,缺失了上奥陶统、志留系、泥盆系和下石炭统,使上覆石炭—二叠纪含煤岩系与下伏地层呈假整合接触。自晚古生代中石炭世至中生代三叠纪,河南煤田呈现了不同的聚煤特征,嵕熊构造区晚二叠世普遍沉积了可采煤层,太行构造区则无可采煤层沉积,嵩箕构造区则呈过渡状态。

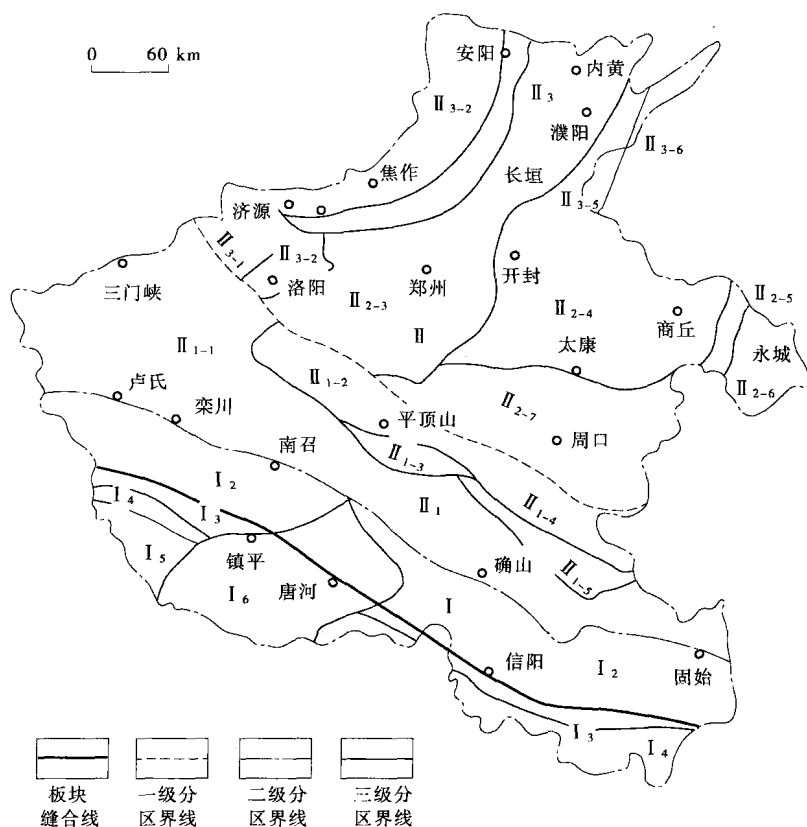
印支运动使华北与扬子板块最后拼贴,开始了板内构造演化阶段。早—中三叠世—中侏罗世,受到由南西向北东方向的强烈挤压作用,形成宽缓的褶皱构造。晚侏罗世—早白垩世、晚白垩世—古近—新近纪,总体为伸展背景下的构造活动,形成主要由一系列正断层所组成的掀斜断块和沿软弱煤(泥岩)层发育的重力滑动构造。燕山晚期的逆冲推覆和燕山晚期至喜山期的北东向断裂及滑动构造奠定了本区现今的构造格局。

(二) 煤田构造

河南省煤田构造研究由来已久,近半个世纪的勘探实践和理论研究表明,以掀斜断块为主要标志的伸展构造和沿盖层中软弱层位发育的重力滑动构造,是河南省煤田尤其是豫西煤田内最富特色的构造现象(马杏垣,1981;李万程,1979;王昌贤,1984;曹代勇,1985),两者与早期形成的宽缓褶皱一起构成矿区盖层的构造骨架。

1. 断块掀斜

断块掀斜是指被断裂围限或切割的断块,在应力场由挤压变为引张的条件下,由于控制



I—秦岭—大别构造带:

华北板缘区: I₁—加里东褶皱带; I₂—信阳断陷;

扬子板缘区: I₃—海西褶皱带; I₄—大别断块; I₅—印支褶皱—逆冲带; I₆—南襄断陷;

II—华北板内:

II₁—崤熊构造区: II₁₋₁—崤熊断陷区; II₁₋₂—陕(县)—平(顶山)断陷区; II₁₋₃—舞阳断陷; II₁₋₄—上(蔡)—平(舆)断陷; II₁₋₅—汝南断陷;

II₂—嵩箕构造区: II₂₋₁—开封凹陷系; II₂₋₂—洛阳断陷区; II₂₋₃—嵩箕断陷; II₂₋₄—太康断陷; II₂₋₅—颜集断陷; II₂₋₆—永城断陷; II₂₋₇—周口凹陷;

II₃—太行构造区: II₃₋₁—狂口断陷; II₃₋₂—太行断陷; II₃₋₃—汤阴断陷; II₃₋₄—内黄断陷; II₃₋₅—东濮断陷; II₃₋₆—菏泽断陷

图 1-1 河南省构造分区图(据河南省煤田地质公司,1992)

断块的主要断裂性质的变化,导致断块一侧掀起,另一侧倾斜的运动(扬振德,1983)。而掀斜断块则是指被断裂切割的地质块体,这些断块体在引张应力的作用下,沿正断层(同生断层)掀起、倾斜,重力滑动而形成的特殊构造(谭志典,1978)。由上述定义可以看出,断块掀斜或掀斜断块与 Wernicke(1982)提出的伸展性正断层分类中的旋转类相似,是一种重要的正断层式的伸展构造类型。

豫西煤田内部的断层构造按其倾角大小可分为两类:一类是缓倾角—顺层滑脱断层;另一类为高角度正断层,此类断层浅部断面倾角达 50°~60°。除五指岭断层和嵩山断层尚保留少量逆冲外,其余的均表现为引张机制下由上而下运动、造成地层缺失的正断层性质。既

不同于河南省南缘存在的属于秦岭 - 大别山造山带的逆冲推覆构造带,也不同于河南省北缘存在的新华夏系太行山挤压隆起带。按其走向又进一步划分为东西向、北西向和北东向三组,其中前两组规模大,是盖层主干构造。

上述断层系统把豫西煤田地区分割为 6 个主要断块和 1 组北东向次级断块(见图 1-2),早期褶皱形态几乎被破坏殆尽,仅局部地区保留了转折端残余。断块平面形态严格受断层控制,北东向断层组起到重要的分划性作用,大体以其为界,西部的东、西嵩山断块,五指岭断块和箕山断块呈东西向展布和北东向展布,边界断层南倾,断块主体北倾。北东向断层组以东的禹州断块和襄城断块呈北西西向展布,边界断层倾向北东,断块倾向南西。

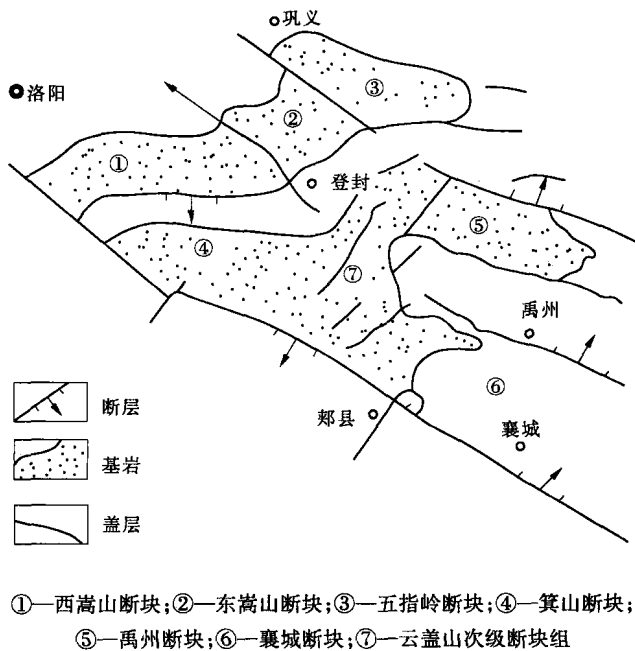


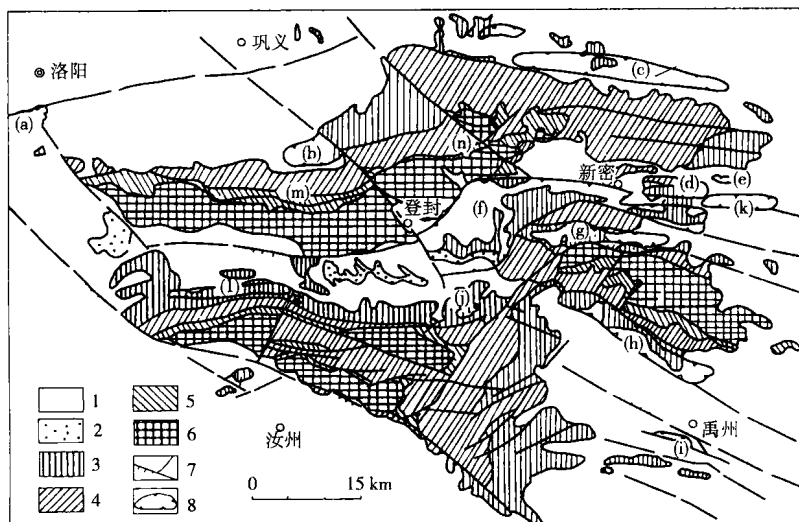
图 1-2 豫西煤田断块局部示意图

2. 重力滑动构造

重力滑动构造术语的提出历史悠久(Lugeon,1900;Ampfer,1906),起源于对欧洲阿尔卑斯山脉和侏罗山的研究(Bertrand,1887;Schardt,1983;Buxtorf,1916)。索书田教授(1987)在论述中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造时曾指出,在挤压环境中由下而上运动造成地层缩短效应的推覆(nappe)和在伸展环境中由上而下运动造成地层伸长效应的滑覆(gliding nappe),均属于滑脱构造(detachment)的范畴。

煤田重力滑动构造的一般成因模式为,界面发育,具有软弱夹层的岩体,在地下水浮力效应的托浮下,在合适的斜坡上,再有其他因素触发诱导,经重力下滑力的长期作用,岩体逐渐滑移、流变,形成各式各样的重力构造(王桂梁,1983)。重力作为一种体力,参与地球的构造运动,在塑造各类构造中起着重要作用(马杏垣,1984)。豫西煤田重力滑动构造具有以下基本特点:

(1)数量多,密集分布,形成一个滑覆构造区,目前已发现 10 余个重力滑动构造,几乎遍及豫西煤田的各个矿区(见图 1-3)。



1—上第三系至第四系;2—下第三系;3—上古生界至三叠系;4—下古生界;
5—上元古界;6—太古界至下元古界;7—逆冲断层;8—重力滑动构造;
(a)—洛阳龙门;(b)—偃龙夹沟;(c)—荥阳崔庙;(d)—新密杨家洼;(e)—新密任岗;
(f)—登封芦店;(g)—登封大冶;(h)—禹州蔡氏;(i)—禹州梁北;
(j)—登封圈门;(k)—新密曲梁;(l)—暴马;(m)—五佛山;(n)—林台山

图 1-3 豫西煤田重力滑动构造分布图

(2)重力滑动与逆冲推覆互为消长关系,逆冲推覆作用向北减弱,而代之以伸展掀倾和重力滑动,后者主要展布于豫西煤田嵩山两侧。

(3)重力滑动构造规模不等,运动方向各异,成因不一,由各自所处构造部位决定。

(4)所有的重力滑动构造的主滑脱面均属缓倾角正断层性质,造成地层缺失效应。

(5)煤田中的滑动构造均见于煤系地层及煤系盖层中,尤其以沿河南地区主采煤层二₁煤及其附近发生者数量最多、规模最大;而林台山—大岭重力滑动构造和五佛山群重力滑动构造则分别发生于下古生界与上元古界之间和盖层与变质基底之间。由此显示了滑脱的多层次性。

三、区域煤变质特征

河南省煤田煤种齐全,是我国重要的煤炭基地。自 1930 年河南地质调查所成立并随后创办煤质化验室,前人对河南省煤田的煤变质作用特征和成因做了大量研究工作(沈和, 1932;韩影山, 1937;冯景兰, 1950;唐亚兰, 1983;钟宁宁, 1985;肖贤明, 1986;胡社荣, 1992)。根据河南省由二₁煤挥发分确定的煤变质特征(见图 1-4),煤的变质显示了以开封凹陷为中心、向两侧逐渐变低的趋势。对这一变质特征的解释有印支期板块碰撞,引起后缘拉张而导致地壳变薄,引起岩浆热液变质和区域变质等。

河南省煤田自晚古生代虽然经历了由滑覆构造、断块活动、构造岩浆活动以及地热活动等复杂因素引起的多期再煤化作用,但从根本上改变不了本区近东西方向展布的煤变质条带和自平顶山至长垣由低到高变质的总趋势。河南省煤田煤变质特征可概述如下: