

王建国 著

中国矿业城市地质灾害防治 理论与技术



煤炭工业出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版
国家自然科学基金重点项目、面上项目资助

中国矿业城市地质灾害防治 理论与技术

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

中国矿业城市地质灾害防治理论与技术/王建国著.
北京: 煤炭工业出版社, 2009
ISBN 978-7-5020-3599-0

I. 中… II. 王… III. 矿业城镇—地质灾害—灾害防治—研究—中国 IV. P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 177811 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 26¹/₄
字数 619 千字 印数 1—1,500
2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷
社内编号 6409 定价 100.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书在介绍矿业城市地质灾害类型、特征的基础上,提出了矿业城市采矿活动诱发灾害的理论与方法,并建立了地采和露采所诱发的地面环境灾害、水环境灾害的数学、力学模型。地采易诱发采煤沉陷、废弃物排放、冲击地压(矿震)、矿区水资源破坏、地下水质污染等;露采易诱发边坡长期稳定性、动力稳定性、突发式滑坡、高速滑坡、降雨诱发滑坡灾害、边帮地基变形、水系调整等。本书结合抚顺、阜新等矿区灾害实例对以上问题进行了理论分析、试验研究、预测预报,并提出了灾害的防治措施、生态修复技术。阐述矿业城市地质灾害与原始地质构造、矿区规划等因素之间的依存关系。在建立矿业城市资源枯竭期地质灾害防治理论的基础上,提出矿业城市资源枯竭期地质灾害的预测、防治技术。

本书可供国土资源、城市规划、矿山生产、岩土工程等专业人员阅读、参考。

序

随着我国经济和社会发展速度加快，对资源的开发利用强度不断加大，由此引发的资源开发与矿业城市可持续发展的矛盾越来越突出，其中资源开发引发城市地质灾害和环境问题是重要的一个方面，因此这方面的研究具有理论和实践意义。

我国是采煤大国，也是采矿大国。我国煤炭资源丰富，现有能源结构中，煤炭占有 69% 左右的比例，并且在几十年内不会有大的改变。我国与采矿相关的矿业城市（镇）有 426 座，其中煤炭城市（镇）150 座。矿业城市区域原始地质构造复杂，常伴有大量的断层、褶皱、弱面层理、节理等一系列地质构造。资源开发与地质环境的相互作用，使矿业城市调整、控制并破坏了由地质年代形成的出于相对稳定平衡状态的地层结构，使应力状态、地层含水、瓦斯状态发生改变，导致大面积地层结构弱化，结构形式复杂化。我国矿业城市地质灾害在 20 世纪 80 年代开始显现，90 年代进入急剧发展期，形成大规模的综合性破坏和经济损失，地质与自然条件损毁十分严重。仅抚顺西露天矿北帮变形引起抚顺石油一厂厂区加固和搬迁就牵涉当时数亿资金投入，并且由国家计委主持协调，朱镕基总理亲自批示“限采保城”。矿业城市地质灾害问题已不容忽视。

随着我国很多矿区进入后期开采，煤炭等资源的开采逐渐由东部向西部进行战略转移，矿业城市安全、环境问题将更加突出，矿业城市衍生灾害基础理论研究已迫在眉睫。西部地区气候干燥寒冷，地貌高低不平，水土流失严重，外界环境作用非常复杂，生态环境脆弱。如果不采取科学、有效的措施，东部地区开采造成的安全与环境灾害等问题将会在西部出现，且比东部地区更加严重。除了煤矿外，还有金属矿山、化工矿山、建材开发、隧道开挖、油气开发等。应在研究废弃矿山安全与环境灾害的基础上，总结经验，吸取教训。在深入探讨矿业城市矿山安全与环境灾害发生机理的基础上，研究矿业城市矿山安全与环境灾害的孕育、潜伏、爆发、持续、衰减、终止等前因后果和演化过程。对正在开采和即将开采的矿山，研究与环境协调的开采方法和手段。它的

研究在保护人类生存环境、恢复生态平衡、促进经济发展、维护社会稳定等方面具有重要的现实意义和重大的社会效益。同时可指导全国各类生产矿井在开采期间和采后衍生灾害及大型地下硐室震灾的预防、预报和控制。

该书首先在介绍我国矿业城市的基本情况、资源开发与地质环境的相互作用、矿业城市资源枯竭期地质灾害特征、地质灾害防治理论与技术研究现状的基础上，重点介绍了矿业城市资源开发与城市规划的依存关系，包括城下采矿型矿业城市、城边采矿型矿业城市、远离采矿影响型矿业城市资源开发与城市规划建设的依存关系、矿业城市资源开发与城市规划的原则。阐述了矿业城市的地质结构特征，包括区域地质构造特征、岩石建造类型及其特征、矿业城市工程地质环境分区和矿业城市地质灾害类型。分析了采矿沉陷与塌陷、露天矿边坡滑坡与地表变形，排土场、尾矿坝占用破坏土地与污染环境、水资源环境改变与破坏，冲击地压与矿震，地裂缝等地质灾害的特点与研究方法。

其次从岩体力学参数测试、岩体强度评价理论与方法、物理模拟实验等岩体力学性质测试及评价理论与方法开始，对采矿诱发地层沉陷机理，使用地表采煤沉陷预测的概率积分法、地表沉陷分析的有限元法、采动地层动力稳定性分析等方法进行了系统研究。对采动岩体的稳定性，以传统的分析方法为基础，探讨了弹塑性破坏的分析方法、边坡结构的离散元分析、边坡长期稳定性分析（流变）、突发式滑坡的分析方法、高速滑坡的分析方法、动力诱发滑坡、水对边坡稳定性的影响、矿震对边坡稳定性影响分析、露井联采条件下边坡稳定性等分析理论与方法。对城区水文地质与水资源环境研究，从矿区地下水渗流模型出发，对地下采矿导致地下水资源流失、地下采矿引起的地表积水机理、露天开采导致的水系调整、采矿导致矿区地下水水质污染等进行了综合分析。对于城区采矿动力灾害，以冲击地压（矿震）灾害的特征、冲击地压（矿震）的分类、冲击地压（矿震）发生的机理研究入手，探讨了冲击地压（矿震）理论及防治措施。进行了矿业城市地质灾害监测与预测研究，包括地表变形监测、岩体地下位移监测、地下水监测、环境监测、地质灾害预测方法、矿业城市地质灾害监测实例与分析。

最后结合工程实例建立了矿业城市地质灾害防治技术。包括矿业城市地质灾害防治原则与技术路线、矿业城市地质灾害勘查与分析评价、矿业城市地质环境分区与地质灾害危险性评估、矿业城市地质灾害的防治工程。

该书在总结我国资源开采过程中矿业城市环境灾害类型、发生原理的基础

上，进一步研究了资源开发与地质环境相互作用的原理；分析了矿业城市资源开发与城市规划的依存关系和相互作用；探讨了矿业城市地质灾害研究的理论与方法；并对矿业城市资源枯竭期地质灾害防治与生态重建工程进行总结；提出了与环境协调的开采方法和手段，可为更加科学、高效、协调地开采资源和防止灾害、保持水土、修复环境提供参考借鉴。

解决我国矿业城市可持续发展问题，必须重视矿业城市地质灾害的防治。这不仅是一个技术问题，也是一个社会问题。需要从法制、体制、机制、技术、投入等方面入手，采取综合措施加以解决。希望广大科研工作者和社会各界进一步研究探索和实践，为矿业城市可持续发展做出积极贡献。

中国煤炭工业协会会长

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '王显政' (Wang Yizheng) in a stylized, cursive script.

前 言

矿业城市是因矿产资源开发而兴起或发展起来的，主要功能是向社会提供矿产品及其初加工产品。有的因矿业开发而兴起，如抚顺、七台河、大庆、东营、攀枝花、金昌、白银等；有的因附近矿业开发而使其具有矿业城市功能，如徐州、邯郸、淄博、库尔勒等。

矿业城市以矿业为主导产业或支柱产业。矿业职工在整个城市人口中占有比例最高，高者达40%~50%，低者不低于15%。我国矿业城市约占全国城市总数的1/9。

矿山在其发展的过程中，主要经历了成长期、鼎盛期和资源枯竭期三个阶段。

鉴于矿产资源赋存地质条件具有复杂性，加之开发初期不合理的规划、设计或设计时没有考虑环境治理，致使几十年上百年掠夺式开采导致地面环境、水资源环境及大气环境严重恶化，生产矿井从鼎盛时期就已经开始孕育、潜伏和出现衍生灾害，资源枯竭后的闭矿阶段继续孕育、形成、发生各类环境灾害。同时矿山废弃时间长，废弃区域时空位置不清，矿区与城区相互交错，地震、附加应力长期叠加，地表水、地下水、动力耦合作用等影响因素，相互作用，导致安全事故渐发与突发并存。许多矿区环境满目疮痍、触目惊心，已经严重影响到矿区人民的生活水平和质量。在未来的20年内，我国又将有近1/3的矿业城市资源枯竭。

21世纪全球可持续发展所面临的“人口、资源、环境”三大问题和我国现在的和谐社会建设，无一不与矿业城市衍生灾害息息相关。随着社会经济迅猛发展和人口逐步增长，在世界范围内各种因素导致的环境灾害问题日趋严重，已成为危及人类生存、阻碍社会进步和稳定、影响经济可持续协调发展的重要因素。矿业城市衍生灾害是各种灾害类型中重要的一种。近年来，随着人民生活水平日益提高，矿业城市环境问题自然被提上议程。为使我国矿业城市衍生灾害的影响与损失降到最低程度，应研究矿山灾害发生的来龙去脉和前因后果，统筹考虑灾害的孕育、潜伏、爆发、持续、衰减等演化过程和控制因素。这将对国民经济和矿业城市区域经济发展，保障社会稳定，恢复生态环境和促进我国工程科学的发展产生深远的影响。

矿业城市环境的损害已经大大地超过环境的承载力和自然恢复能力，环境损害是不可逆的，难以治愈，并且还在继续发展。环境损害已成为制约矿业城市国民经济和区域经济可持续发展的重要因素，并导致社会的不稳定。而复杂环境作用下矿业城市安全与环境灾害演化过程、发生机理，内容复杂，影响深远，涉及多学科交叉与融合，其演化规律是国内外尚未解决的重大科学技术难题。这些科学难题的解决，属于前瞻性基础理论研究，对相关学科发展具有重要意义。

目前，虽然不同行业从各自领域和角度出发开展了大的研究与工程实践，也积累了丰富的理论与工程经验，但是缺乏系统的研究与总结，尚有重大课题有待进一步的研究与攻关，以服务于重大灾害的预测预报和防治工程。本书的主要目的是在总结我国资源开采过程中矿业城市环境灾害类型、发生原理的基础上，试图进一步研究资源开发与地质环境的相互作用原理；分析矿业城市资源开发与城市规划的依存关系和相互作用；探讨矿业城市地质灾害研究的理论与方法；对矿业城市资源枯竭期地质灾害防治技术进行总结；提出与环境相协调的开采方法和手段，为更加科学、高效、协调地开采和利用资源、保持水土、修复环境提供参考。

著者自1984年开始与项目组的同仁一起从事矿山地质灾害的研究工作，期间主持和参与完成了国家、地方众多科研与工程项目。本书的主要内容来自这些项目成果，因此它属于全体项目组人员。其中纪玉石研究员、王来贵教授、申力研究员、刘晶辉高级工程师为本书的著述做了大量基础工作。同时也由于著者与项目组的主要研究对象为煤炭矿山或煤矿城市，故也形成了本书的局限。书中尚存在众多不足与缺陷，望读者批评指正。

著 者

2009年5月

目 次

1 绪论	1
1.1 我国矿业城市的基本情况	1
1.2 资源开发与地质环境的相互作用	7
1.3 矿业城市地质灾害的概述	10
1.4 我国矿业城市地质灾害防治理论与技术的研究现状	18
2 矿业城市资源开发与城市建设规划的依存关系	24
2.1 概述	24
2.2 城下采矿型矿业城市资源开发与城市建设规划的依存关系	25
2.3 城边采矿型矿业城市资源开发与城市建设规划的依存关系	29
2.4 远离采矿影响型矿业城市资源开发与城市建设规划的依存关系	35
2.5 矿业城市资源开发与城市建设规划的原则	36
3 矿业城市的地质结构特征	38
3.1 区域地质构造特征	38
3.2 岩石建造类型及其特征	39
3.3 矿业城市工程地质环境分区	42
4 矿业城市地质灾害类型	56
4.1 概述	56
4.2 采矿沉陷与塌陷	57
4.3 露天矿边坡滑移与地表变形	66
4.4 排土场、尾矿坝占用破坏土地与污染环境	69
4.5 水资源环境改变与破坏	70
4.6 冲击地压与矿震	71
4.7 地裂缝	72
4.8 资源枯竭期矿业城市地质灾害	75
5 岩石物理力学性质试验与岩体强度评价理论与方法	77
5.1 岩石物理力学性质试验	78
5.2 模拟试验	99
5.3 岩体强度评价理论与方法	101

5.4	重大工程边坡岩土物理力学性质试验实例	116
6	采矿沉陷理论研究方法	122
6.1	概述	122
6.2	采煤沉陷机理	123
6.3	宽条带跳采地表沉陷预测的概率密度函数法	127
6.4	缓倾斜煤层地表沉陷的有限元法分析	132
6.5	急倾斜煤层开采地表沉陷的有限元法分析	152
6.6	采动地层动力稳定性分析	160
6.7	概率积分法预测不同倾角煤层开采时的地表变化规律	172
6.8	有限元法模拟不同倾角煤层开采时的地表变化规律	179
7	滑坡理论分析方法	185
7.1	传统分析方法	185
7.2	边坡的弹塑性有限元分析方法	186
7.3	边坡结构的离散元分析	193
7.4	边坡长期稳定性分析	199
7.5	突发式滑坡的分析方法	210
7.6	高速滑坡的分析方法	219
7.7	动力诱发滑坡	223
7.8	水对边坡稳定性的影响	230
7.9	矿震对边坡稳定性影响分析	236
7.10	露天与井工联采条件下边坡稳定性分析	252
8	采矿导致矿区地下水系调整与污染研究	262
8.1	矿区地下水渗流模型	262
8.2	地下采矿导致地下水资源流失	273
8.3	地下采矿引起的地表积水机理	283
8.4	露天开采导致的水系调整	287
8.5	地下采矿导致矿区水质污染	295
8.6	露天采矿导致矿区水质污染	305
9	采矿诱发冲击地压与矿震	308
9.1	冲击地压与矿震	308
9.2	冲击地压理论	311
9.3	冲击地压发生类型	317
9.4	冲击地压的监测	322
9.5	冲击地压防治	331
9.6	抚顺矿区老虎台矿开采引发矿震	332

10 矿业城市地质灾害监测与预测研究	347
10.1 概述	347
10.2 地表变形监测	347
10.3 岩体地下位移监测	358
10.4 地下水监测	363
10.5 环境监测	368
10.6 地质灾害预测方法	370
10.7 矿业城市地质灾害监测实例与分析	377
11 矿业城市地质灾害防治技术	385
11.1 概述	385
11.2 矿业城市地质灾害防治原则与技术路线	386
11.3 矿业城市地质灾害勘察与分析评价	387
11.4 矿业城市地质环境分区与地质灾害危险性评估	391
11.5 矿业城市地质灾害的防治	392
11.6 实例	401
参考文献	406

1 绪 论

1.1 我国矿业城市的基本情况

1.1.1 我国矿业城市现状

目前我国有矿业城市(镇)426座。矿业城市(镇)人口达31084万人。矿业城市(镇)数量较多的省区依次是河北、河南、贵州、山西、新疆、陕西、四川、江西、广西、福建、湖南、湖北、山东和辽宁。据2004年统计,我国矿业城市(镇)中煤城(镇)最多,共150座,占35.21%;有色金属城(镇)80座,占18.78%;建材与非金属城(镇)54座,占12.68%;黑色金属城(镇)38座,占8.92%;石油燃气城(镇)25座,占5.87%;黄金城(镇)37座,占8.69%;化工城(镇)28座,占6.57%;其他14座,占3.29%。

按矿业与城市形成先后次序划分,矿业城市有两种情况。一是“因矿而生的城市”。新中国成立50多年来,由于一大批大型矿产地的发现与勘查开发的成功,在那些原本是穷乡僻壤和人烟稀少的地区,一大批新兴矿业城市(镇)拔地而起。如克拉玛依、大庆、白银、攀枝花、平顶山等,均属于由于发现了大矿,经过勘查开发建设而逐步发展起来的。二是“依矿而兴的城市”,即城市或城市雏形已经存在,由于矿业开发而获得新生与发展的城市,如山西大同和新疆库尔勒市等城市就是因为矿业开发的成功而获得新的发展,江西德兴、安徽淮南和铜陵等也属于这一种情况。

矿业城市按形成时代划分,可分为古代型、近代型和现代型3种。我国矿业城市历史悠久,一些矿业名城如邯郸、自贡、景德镇等属古代型矿业城市,早已享誉中外。淮南采煤的历史也很悠久,早在17世纪即已开始。近代型矿业城市,如大冶、萍乡、唐山等,这些城市的兴起与19世纪80年代前后的洋务运动有关。但矿业城市大规模蓬勃兴起,则是在新中国成立之后,同社会主义建设高潮的兴起相伴随的,特别是改革开放以来,随着我国矿业获得全面和高速的发展,兴起或发展了像大庆、东营、盘锦、乌海、白云鄂博、金昌等一大批现代型矿业城市。

矿业城市按行政建制划分,可分为地、县、镇三级。全国现有426座矿业城市中,地(盟)级矿业城市有86座,占20.2%;县级矿业城市有125座,占29.3%;县城关镇及建制镇级矿业城市有215座,占50.5%。

矿业城市按其矿业开发程度和发展阶段划分,可分为成长期、鼎盛期、衰退期3种类型,也可称青年期、壮年期、暮年期。在全国现有的426座矿业城镇中,成长期有84个,占19.7%;鼎盛期291个,占68.3%;衰退期51个,占12%。

矿业城市按矿业开发的矿产类型划分,可分为以一种矿为主和多种矿并重的城市。我国矿业城市多为单一工业类型的城市,但是也有一部分矿业城市是由多种矿产类型组成的

城市。

据 2001 年 6 月资料, 全国 1173 家国有大中型矿山, 地下开采占 68.8%, 其中煤矿又占到 92.5%, 也就是说, 地下井工开采矿山占绝大多数。除广西壮族自治区外, 中国矿业城市的环境地质灾害大多数是由于井工开采引起的。广西壮族自治区的 4745 个矿山中露天开采占 4278 个, 因此, 广西壮族自治区的矿业城市地质灾害主要是由露天开采引起的。另外, 有的矿业城市, 如抚顺、阜新、朔州等, 既有井工开采, 又有露天开采, 因此这些矿业城市的地质灾害既有井工开采引起的, 也有露天开采引起的, 还有一部分是由露采、井采复合作用引起的。复合作用引起地质灾害防治理论与技术研究一般更为复杂。

开采后会引起严重的地质环境灾害。据 2007 年 5 月资料, 全国调查的 13108 个矿山中, 地质环境影响严重的有 8457 个, 接近 80%, 其中能源矿山 (主要是煤) 4380 个, 占 51.7%; 贵金属 417 个, 占 4.93%; 有色金属 446 个, 占 4.93%; 黑色金属 751 个, 占 8.88%; 建材与非金属 1882 个, 占 22.25%。由此可知, 中国矿业城市 (镇) 地质环境影响与破坏严重的大多数是能源矿山, 主要是煤矿, 其次是建材与非金属矿山。因此煤城是中国矿业城市中地质环境破坏与影响最多和最为严重的。

1.1.2 我国矿产资源的地理分布特点

我国已探明的矿产资源占世界总量的 12%, 居世界第三位, 但人均占有量较少, 仅为世界人均占有量的 58%, 居世界第 58 位。探明有资源总量的矿种 155 种, 其中能源矿产 8 种, 金属矿产 54 种, 非金属矿产 90 种, 油气矿产 3 种。石油、天然气主要分布在东北、华北; 煤主要分布在华北和西北; 铁主要分布在东北、华北和西南; 铜主要分布在西南、西北、华东; 铅锌矿遍布全国; 锡、钨、铋稀土矿主要分布在华南、华北; 金银矿遍布全国; 磷矿以华南为主。

我国具有工业价值的煤炭资源主要赋存在晚古生代的早石炭世到新生代的第三纪。其中最主要的是广泛分布在华北地区、东北南部和西北东部地区的晚石炭世—早二叠世, 广泛分布在长江以南地区的二叠纪, 集中分布在西北地区、华北北部和东北南部的早中侏罗世以及分布在东北地区 and 内蒙古东部的早白垩世。这四个时期所赋存的煤炭资源量约占全国煤炭资源总量的 98%。由于成煤期多, 我国煤炭资源分布比较广泛, 并且还在一些成煤条件有利的地区集中形成了若干个富煤带。因此说, 既广泛又相对集中是我国煤炭资源地理分布的重要特征。

1. 煤炭资源与地区的经济发达程度呈逆向分布

我国煤炭资源在地理分布上的总格局是西多东少、北富南贫, 而且主要集中分布在目前经济欠发达的山西、内蒙古、陕西、新疆、贵州、宁夏等 6 省 (自治区), 它们的煤炭资源总量为 4.19Tt, 占全国煤炭资源总量的 82.8%; 截至 1996 年末, 煤炭保有储量为 0.8229Tt, 占全国煤炭保有储量的 82.1%, 而且煤类齐全, 煤质普遍较好。而我国经济最发达、工业产值最高、对外贸易最活跃、需要能源最多、耗用煤量最大的京、津、冀、辽、鲁、苏、沪、浙、闽、台、粤、琼、港、桂等 14 个东南沿海省 (市、区) 煤炭资源量只有 0.27Tt, 仅占全国煤炭资源总量的 5.3%; 截至 1996 年末, 煤炭保有储量只有 54.8Gt, 仅占全国煤炭保有储量的 5.5%, 资源十分贫乏。其中, 我国最繁华的现代化城市——上海所辖范围内, 至今未发现有煤炭资源赋存; 开放程度较高的广东省, 截至 1996 年末, 只有煤炭保有储量 6×10^8 t, 天津市只有 4×10^8 t, 浙江省只有 1×10^8 t, 海南省还

不足 $1 \times 10^8 \text{t}$ 。不仅资源很少，而且大多数还是开采条件复杂、质量较次的无烟煤或褐煤；不但开发成本大，而且煤炭的综合利用价值也不高。

我国煤炭资源赋存丰度与地区经济发达程度呈逆向分布的特点，使煤炭基地远离了煤炭消费市场，煤炭资源中心远离了煤炭消费中心，从而加剧了远距离输送煤炭的压力，带来了一系列问题和困难。从目前我国的主要煤炭生产基地——山西省大同，到东部和南部的用煤中心沈阳、上海、广州、京津等地，分别为 1270km、1890km、2740km 和 430km。随着今后经济高速发展，用煤量日益增大，加之煤炭生产重心西移，运距还要加长，压力还会增大。

2. 煤炭资源与水资源呈逆向分布

我国水资源仅相当于世界人均占有量的 $1/4$ ，并且地域分布不均衡，南北差异很大。以昆仑山—秦岭—大别山—一线为界，以南水资源较丰富，以北水资源短缺。据初步统计，我国北方 17 个省（市、自治区）的水资源量总量每年为 $6008 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占全国水资源总量的 21.4%；地下水天然资源量每年为 $2865 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占全国地下水天然资源量的 32% 左右。北方以太行山为界，东部水资源多于西部地区。例如，山西省、甘肃省、宁夏回族自治区的水资源量仅占北方水资源量的 7.5%，地下水天然资源量仅占北方地下水天然资源量的 8.9%，这三个省（自治区）及其周围的陕西省、内蒙古自治区和新疆维吾尔自治区年降雨量多在 500mm 以下，还有一些地区不足 250mm，加之日照时间长，蒸发量大，水资源十分贫乏。据山西井坪气象站资料，晋北平朔矿区一带，1957—1992 年平均降雨量为 426.2mm，年平均蒸发量为 2239.0mm；据陕西神木气象站资料，陕北神府矿区一带，枯水年降雨量仅有 108.6mm（1965 年），丰水年降雨量为 819.1mm（1967 年），多年平均降雨量为 435.7mm（1957—1991 年），多年平均蒸发量为 1774.1mm（1978—1990 年）；据内蒙古气象台 1951—1980 年资料和内蒙古东胜气象站 1981—1993 年资料，东胜矿区一带，年平均日照时间为 3044~3186h，历年平均降雨量为 281.2~401.6mm，历年平均蒸发量为 2082.2~2535.0mm。年蒸发量均大于年降雨量的 4~5 倍以上，而且地处我国西部大沙漠，属于典型的干旱或半干旱严重缺水地区。与此相反，这些地区却蕴藏着丰富的煤炭资源，不仅数量多，而且埋藏相对较浅，煤质好，品种齐全，是我国现今和今后煤炭生产建设的重点地区，也是我国现今与未来煤炭供应的主要基地。据统计，位于这一地区的晋、陕、蒙、宁、甘、新 6 省（自治区）共有煤炭资源量 4.19Tt，占全国煤炭资源总量的 82.8%；埋藏深度浅于 1000m 的资源量为 2.24Tt，占全国同样深度煤炭资源总量的 83.8%；截至 1996 年末，共有煤炭保有储量 0.7807Tt，占全国煤炭保有储量的 77.9%。但这一地区煤炭资源过度集中，并与水资源呈逆向分布，不仅给当地的煤炭生产发展带来了重要影响，而且如果解决不好，还将制约整个煤炭工业的长远发展，影响煤炭的长期供应问题。因此，开发这一地区的煤炭资源，除了运输困难以外，还突出地存在煤炭生产和煤炭洗选过程中的工业用水和民用水源问题。同时，由于大规模的采矿活动和加大用水，必然要使本来就很脆弱的生态环境进一步恶化，使本来已经得到控制的沙漠继续向外蔓延。

3. 煤层埋藏深，适于露天开采的储量少

据第二次全国煤田预测结果，埋深在 600m 以浅的预测煤炭资源量，占全国煤炭预测资源总量的 26.8%，埋深在 600~1000m 的占 20%，埋深在 1000~1500m 的占 25.1%，

埋深在 1500~2000m 的占 28.1%。据对全国煤炭保有储量的粗略统计,煤层埋深小于 300m 的约占 30%,埋深在 300~600m 的约占 40%,埋深在 600~1000m 的约占 30%。一般来说,京广铁路以西的煤田,煤层埋藏较浅,不少地方可以采用平硐或斜井开采,其中晋北、陕北、内蒙古、新疆和云南的少数煤田的部分地段还可露天开采;京广铁路以东的煤田,煤层埋藏较深,特别是鲁西、苏北、皖北、豫东、冀南等地区,煤层多赋存在大平原之上,上覆新生界松散层多在 200~400m,有的已达 600m 以上,建井困难,而且多需特殊凿井。与世界主要产煤国家比较而言,我国煤层埋藏较深。同时,由于沉积环境和成煤条件等多种地质因素的影响,我国多以薄—中厚煤层为主,巨厚煤层很少,因此可以作为露天开采的储量甚微。

据“中国煤炭开发战略研究”课题组统计结果,我国适宜露天开采的矿区(或煤田)主要有 13 个,已划归露天开采和可以划归露天开采储量共计为 $412.43 \times 10^8 \text{ t}$,仅占全国煤炭保有储量的 4.1%。而且北方晚石炭世—早二叠世的煤层,煤类多为中等变质程度的炼焦用煤,但因煤层厚度小,基本上只适宜井工开采,仅个别煤田有少量储量可以划归露天开采。例如,山西平朔矿区、河保偏煤田和内蒙古准格尔矿区。早、中侏罗世、早白垩世和第三纪的煤层,煤类多为低变质烟煤和褐煤,厚度较大,在成煤条件适宜的地带,常形成厚—巨厚煤层,可以划归露天开采。例如,陕北神府、内蒙古西部东胜、内蒙古中部胜利、内蒙古东部伊敏、霍林河、宝日希勒、元宝山和新疆、云南小龙潭、昭通等矿区(或煤田)。因此,在我国可以划归露天开采储量中,煤化程度普遍较低,最高为气煤,最多是褐煤。在已划归露天开采保有储量 $342.52 \times 10^8 \text{ t}$ 中,气煤为 $44.32 \times 10^8 \text{ t}$,占 12.9%;长焰煤为 $39.99 \times 10^8 \text{ t}$,占 11.7%;不黏煤为 $1.65 \times 10^8 \text{ t}$,占 0.5%;褐煤为 $256.56 \times 10^8 \text{ t}$,占 74.9%。

我国露天采煤发展缓慢,新中国成立以来,产量比重一直在 10% 以下,多数年份在 5% 以下,近年来只占 3%~4%。而世界上开采条件好的国家,露天开采比重在 50% 以上,开采条件差的国家也都超过了 10%。以 1994 年为例,加拿大露天采煤量占该国原煤年产量的比重为 88%,德国为 78.3%,印度为 73.8%,澳大利亚为 70%,美国为 61.5%,俄罗斯为 56.1%,波兰为 33.3%,英国为 23.6%,日本为 11.6%。

4. 共伴生矿产种类多,资源丰富

我国含煤地层和煤层中的共生、伴生矿产种类很多。含煤地层中有高岭岩(土)、耐火黏土、铝土矿、膨润土、硅藻土、油页岩、石墨、硫铁矿、石膏、硬石膏、石英砂岩和煤层气等;煤层中除有煤层气(瓦斯)外,还有镓、锗、铀、钍、钒等微量元素和稀土金属元素;含煤地层的基底和盖层中有石灰岩、大理岩、岩盐、矿泉水和泥炭等共 30 多种,分布广泛,储量丰富。有些矿种还是我国的优势资源。

高岭岩(土)在我国各主要聚煤期的含煤地层中几乎都有分布,并且具有一定的工业价值。其中以石炭纪—二叠纪最重要,矿层多,厚度大,品位高,质量好。代表性的有山西大同、介休,山东新汶,河北唐山、易县,陕西蒲白和内蒙古准格尔等地的木节土;山西阳泉、河南焦作等地的软质黏土;安徽淮南和淮北、江西萍乡的焦宝石型高岭岩。此外,在东北、新疆和广东茂名等地的煤矿区也发现有高岭岩矿床赋存。据不完全统计,目前在含煤地层中高岭土已查明的储量为 $16.73 \times 10^8 \text{ t}$,远景储量为 $55.29 \times 10^8 \text{ t}$,预测资源量为 $110.86 \times 10^8 \text{ t}$ 。矿床规模一般在数千万吨以上,有的甚至达几亿至几十亿吨,属中型

至特大型矿床。

我国所有的耐火黏土几乎全部产于含煤地层之中，已发现的产地多达 254 处。主要分布在山西、河南、河北、山东、贵州等省。截至 1988 年底，保有储量为 $20.13 \times 10^8 \text{t}$ ，其中华北各煤田占 86%。

膨润土矿床主要分布在东北和东南沿海各省（自治区），尤以吉林和广西的储量大、品质优、钠基膨润土所占比例大，是我国最重要的膨润土基地。在全国 31 个大型膨润土矿床中，产于含煤地层中的有 25 个，赋存于含煤地层中的膨润土探明储量为 $8.88 \times 10^8 \text{t}$ ，其中钠基膨润土在 $5 \times 10^8 \text{t}$ 以上。

硅藻土矿床主要分布在吉林、黑龙江、山东、浙江、云南、四川、湖南、海南、广东、西藏、福建、山西等地。产出时代以晚第三纪为主，第四纪次之，多与褐煤共生。我国硅藻土储量超过 $22 \times 10^8 \text{t}$ ，探明储量 $2.7 \times 10^8 \text{t}$ ，其中含煤地层中储量占 70.5%。

我国的油页岩多数与煤层和黏土矿共生，主要成矿期也是历史上的成煤期，在全国主要含煤省（自治区）几乎都有分布。截至 1988 年，共有产地 62 处，探明储量 $320.5 \times 10^8 \text{t}$ ，保有储量 $314.6 \times 10^8 \text{t}$ ，预测资源量 $7277 \times 10^8 \text{t}$ ，资源十分丰富。

我国的工业硫源 67.6% 来自硫铁矿，而含煤地层中的共生硫铁矿占各类硫铁矿保有储量的 33.9%。主要赋存在南方的上二叠统和北方的中石炭统，产地集中在南、北两大片：南方有四川、贵州、云南和湖北；北方有河南、河北、陕西和山西。据不完全统计，全国共有共生硫铁矿产地 240 处，保有储量（矿石量） $34.6 \times 10^8 \text{t}$ ，预测矿石量 $113.7 \times 10^8 \text{t}$ 。另外，高硫煤层中的伴生硫铁矿也很丰富，全国国有重点煤矿已探明的高硫煤储量达 $111.9 \times 10^8 \text{t}$ ，平均含硫量 3.5%，其中，黄铁矿硫按 55% 计算，则共含有有效硫 $2.15 \times 10^8 \text{t}$ ，折合硫标矿 $6 \times 10^8 \text{t}$ 以上。

我国石膏类矿的储量居世界首位，已发现矿产地 500 多处，集中分布在山东、安徽、江苏、内蒙古、湖南、青海、湖北、宁夏、西藏和四川等省（自治区）。到 1991 年末，全国保有储量达 $573.7 \times 10^8 \text{t}$ ，其中，位于含煤地层中或其上覆、下伏地层中储量达 $115.7 \times 10^8 \text{t}$ 。

煤层气是煤层中自生自储的非常规天然气，是热值高、无污染的洁净能源。它可以用来发电，用作工业燃料、化工原料和居民生活燃料。煤层气随着煤炭的开采泄漏到大气中，会加剧全球的温室效应。如果对煤层气进行回收利用，在采煤之前先采出煤层气，煤矿生产中的瓦斯将降低 70%~85%，从而使得煤矿瓦斯安全问题大大降低。全球埋深浅于 2000m 的煤层气资源约为 $240 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，是常规天然气探明储量的两倍多。我国煤层气资源丰富，居世界第三，为 $30 \times 10^{12} \sim 35 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。我国经济发展中能源供应、化工资源都是制约经济发展中的瓶颈问题，因此无论从经济发展、资源配置、煤矿安全、生存环境及社会稳定等方面考虑，开发煤层气对我国来说十分必要。目前煤层气在阜新、平顶山、淮南、抚顺等矿区已经进入商业开发阶段。

辽宁省具有丰富的煤层气资源，抚顺、铁法、阜新、本溪、沈南、沈北、南票、北票等大煤田煤层气资源总量约为 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ ，按照 50% 的可采率估算，可供沈阳及周边城市使用 50 年时间。同时，也将为重化工和精细化工发展提供充足的原材料。煤层气大规模开发利用实现之后，煤层气将成为沈阳等市的主要气源之一，长期以来制约城市发展的“气源瓶颈”将被彻底打破。

我国含煤地层中的共生、伴生矿产资源非常丰富，很有前景。煤矿开发利用共生、伴