

能源“金三角”煤炭开发 水资源保护与利用

—2亿吨煤炭开发
与利用技术
保护
实践

顾大钊 等◎著



科学出版社

能源“金三角”煤炭开发 水资源保护与利用

——2亿吨级神东矿区水资源保护与利用
技术探索和工程实践

顾大钊 等著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者多年从事煤炭开发水资源保护与利用技术研究成果的总结。本书介绍了能源“金三角”煤炭和水资源赋存条件以及现代煤炭开采技术,采用四维地震、高精度电法、地质雷达等勘探手段、现场观测以及物理模拟试验等综合研究方法,分析了现代开采对煤层上覆岩层和地下水资源运移的影响规律,在此基础上,提出了煤矿分布式地下水库技术体系,包括规划与设计、建设与防渗、运行与调控、安全与监控等关键技术,以神东大柳塔矿为例,具体介绍了煤矿分布式地下水库建设和运营的工程实践,以及神东矿区水处理及水资源优化配置技术,形成了现代煤炭开采对水资源影响规律—水资源保护技术—水资源优化利用的现代煤炭开采条件下的水资源保护和利用技术体系。

本书具有较强的理论性和实用性,可作为矿业学科、水利学科、环境学科的科研人员,高校教师和相关专业的高年级本科生和研究生,以及从事水利工程、环境工程和煤炭开发水资源保护工程技术人员的参考书籍,尤其对西部未来煤炭开发水资源保护具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

能源“金三角”煤炭开发水资源保护与利用:2亿吨级神东矿区水资源保护与利用技术探索和工程实践/顾大钊等著.—北京:科学出版社,2012.12

ISBN 978-7-03-037013-6

I. ①能… II. ①顾… III. ①煤矿—矿区—水资源—资源保护—陕西省
②煤矿—矿区—水资源利用—陕西省 IV. ①F426.21 ②TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第045767号

责任编辑:王 运 韩 鹏/责任校对:刘亚琦

责任印制:钱玉芬/封面设计:东方人华

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天竺彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年12月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年12月第一次印刷 印张:18 1/2

字数:360 000

定价:96.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

目 录

前言

第 1 章 能源“金三角”煤炭开发的重要性和面临的挑战	1
1.1 能源“金三角”概况	1
1.1.1 能源“金三角”概况	1
1.1.2 能源“金三角”的能源资源	2
1.1.3 能源“金三角”煤炭资源的主要特征	2
1.2 能源“金三角”在我国煤炭生产中的地位	4
1.2.1 煤炭产量及其发展趋势	4
1.2.2 煤炭开采现代化程度	5
1.3 能源“金三角”水资源状况及特征	7
1.3.1 能源“金三角”地下水资源分布	7
1.3.2 能源“金三角”几个区域的水资源总量分布及消耗情况	9
1.3.3 能源“金三角”水资源特征分析	10
1.4 水资源短缺是能源“金三角”煤炭开发利用面临的巨大挑战	14
1.4.1 能源“金三角”煤炭开发对水资源的需求分析	14
1.4.2 能源“金三角”煤炭开发利用对水资源的影响	16
1.4.3 应对能源“金三角”水资源短缺的策略与解决途径	17
第 2 章 能源“金三角”煤炭开发水资源保护利用技术路径	21
2.1 能源“金三角”煤炭开发对水资源保护的基本要求	21
2.1.1 煤炭资源的科学开采	21
2.1.2 煤炭资源科学开采评价	23
2.1.3 能源“金三角”煤炭资源开发对水资源保护的基本要求	26
2.2 现行水资源保护性开采主要技术及可行性分析	28
2.2.1 充填开采技术	28
2.2.2 面向保水的开采工艺优化	31
2.2.3 水资源转移存储技术	32

2.3	煤炭开发的水资源保护技术路径及关键技术	34
2.3.1	现行煤炭开采技术对水资源保护的影响分析	35
2.3.2	基于现代煤炭开采技术的水资源保护技术路径	36
2.3.3	水资源保护利用关键技术	38
第3章	能源“金三角”煤炭资源赋存与现代开采技术	42
3.1	能源“金三角”和神东矿区煤炭资源赋存及开采条件	42
3.1.1	能源“金三角”煤炭资源赋存概况	42
3.1.2	神东矿区煤炭资源赋存概况	44
3.1.3	能源“金三角”及神东矿区煤炭开采条件	46
3.2	能源“金三角”煤炭资源现代开采技术	50
3.2.1	大采高综采技术	50
3.2.2	大采高放顶煤开采技术	55
3.2.3	短壁机械化开采技术	64
3.3	千万吨矿井群资源与环境协调开发技术	72
3.3.1	基于煤炭资源赋存条件的协调开采技术	73
3.3.2	生态脆弱区生态环境协调控制与修复技术	74
3.3.3	千万吨矿井群资源开发配置技术	77
第4章	神东矿区水资源及水文地质特征	78
4.1	自然概况	78
4.1.1	自然地理	78
4.1.2	气候	79
4.1.3	水文	80
4.2	地表水资源	81
4.2.1	主要水系	82
4.2.2	流域主要水源地	83
4.2.3	地表水资源量	87
4.3	水文地质特征分析	90
4.3.1	神东矿区主要含水层及特征	90
4.3.2	萨拉乌苏组水文地质特征	94
4.3.3	烧变岩	94
4.3.4	乌兰木伦河水文地质	95
4.4	神东矿区主要矿井水文地质特征	96
4.4.1	布尔台矿	96

4.4.2	万利一矿	98
4.4.3	乌兰木伦矿	101
4.4.4	补连塔矿	102
4.4.5	石圪台矿	104
4.4.6	大柳塔矿	105
4.4.7	保德矿	108
第 5 章	神东矿区现代开采对水资源系统的影响研究	112
5.1	神东矿区水资源系统	112
5.1.1	地下水系统	112
5.1.2	地下含水层系统	114
5.1.3	地下水流系统	114
5.1.4	地下水系统边界及神东矿区地下水系统划分	114
5.2	神东矿区现代开采对水资源环境的影响	118
5.2.1	采煤对地表水系的影响	118
5.2.2	采煤对地表水源地的影响	119
5.2.3	采煤对煤层顶板含水层结构的影响	121
5.2.4	采煤对煤层底板保水结构层的影响	123
5.3	神东矿区现代开采对矿区水资源系统变化的影响	125
5.3.1	采煤对水资源循环系统的影响	125
5.3.2	采煤对地下水流场的影响	127
5.3.3	采煤对水资源总量的影响	131
5.3.4	采煤对水质的影响	132
第 6 章	神东矿区现代开采煤层覆岩结构变化研究	134
6.1	神东矿区煤层覆岩结构及岩石力学特征	134
6.1.1	神东矿区煤层覆岩结构及岩石力学特征	135
6.1.2	补连塔井田煤层覆岩结构概况	136
6.1.3	补连塔井田 12406 工作面概况	139
6.2	采动煤层覆岩结构变化数值模拟分析	140
6.2.1	采动煤层覆岩模型及主要参数	140
6.2.2	采动煤层覆岩结构破坏规律分析	143
6.2.3	采动煤层覆岩变形破坏的控制因素模拟分析	148

6.3	采动煤层覆岩结构变化物理模拟分析	157
6.3.1	采动煤层覆岩模型及主要参数	158
6.3.2	采动煤层覆岩结构移动破坏规律分析	158
6.4	采动煤层覆岩结构变化的物理场动态响应特征	163
6.4.1	基于四维地震方法的采动煤层覆岩结构动态特征	163
6.4.2	基于高精度电法的采动煤层覆岩含水性动态特征	166
6.5	采动煤层覆岩导水裂隙带发育高度研究	170
6.5.1	基于经验的导水裂隙带预测	170
6.5.2	基于现场试验的导水裂隙带高度研究	172
第7章	煤矿分布式地下水库保水技术	175
7.1	煤矿地下水资源保护理念	175
7.1.1	煤矿地下水资源保护的必要性	175
7.1.2	煤矿地下水资源保护性开采探索与实践	179
7.2	煤矿分布式地下水库的概念、特征与技术体系	182
7.2.1	地下水库的概念、发展与特征	182
7.2.2	煤矿分布式地下水库的概念	185
7.2.3	煤矿分布式地下水库技术体系	186
7.3	煤矿分布式地下水库的规划与设计技术	187
7.3.1	煤矿分布式地下水库规划	187
7.3.2	煤矿分布式地下水库储水空间分析及水体渗流规律	191
7.3.3	煤矿分布式地下水库选址技术	195
7.3.4	煤矿分布式地下水库库容确定	197
7.4	煤矿分布式地下水库建设技术	200
7.4.1	煤矿分布式地下水库筑坝技术	200
7.4.2	煤矿分布式地下水库防渗技术	207
7.5	煤矿分布式地下水库运行技术	210
7.5.1	煤矿分布式地下水库水资源量的调控计算	211
7.5.2	煤矿分布式地下水库水资源的调入和补给	212
7.5.3	煤矿分布式地下水库水质保障技术	215
7.6	煤矿分布式地下水库的安全保障技术	217
7.6.1	煤矿分布式地下水库安全监测技术	217

7.6.2	煤矿分布式地下水库应急保障技术	221
7.6.3	煤矿分布式地下水库安全智能控制系统	221
第 8 章	煤矿分布式地下水库工程示范	224
8.1	大柳塔矿水文地质概况	224
8.1.1	大柳塔矿概况	224
8.1.2	大柳塔矿分布式地下水库建设条件	225
8.2	大柳塔矿分布式地下水库的设计	229
8.2.1	大柳塔矿保水开采实践	229
8.2.2	大柳塔矿分布式地下水库规划与设计	231
8.3	大柳塔矿分布式地下水库工程建设与运行	232
8.3.1	大柳塔矿分布式地下水库建设	232
8.3.2	大柳塔矿分布式地下水库水资源量的调控	233
8.3.3	大柳塔矿分布式地下水库水质保障工程	236
8.3.4	大柳塔矿分布式地下水库的安全监控工程	238
8.4	大柳塔矿分布式地下水库运行效果	240
第 9 章	神东矿区水处理与优化配置技术	242
9.1	神东矿区水处理技术	242
9.1.1	采空区岩石净化处理技术	242
9.1.2	矿井水深度处理技术	247
9.1.3	矿区生活污水深度处理技术	251
9.1.4	矿井中水用于生态保护技术	253
9.2	神东矿区水资源优化配置技术	259
9.2.1	矿区供需水量预测	259
9.2.2	水资源供需平衡分析	263
9.2.3	多水源多目标水资源优化配置技术	267
	主要参考文献	282

第 1 章 能源“金三角”煤炭开发的 重要性和面临的挑战

晋陕蒙宁甘地区被称为广义的能源“金三角”，该地区是我国能源资源富集区，探明煤炭储量 8400 亿 t，占全国的 62.7%。2011 年煤炭产量占全国的 67.7%，在国家能源战略中具有重要的地位。但该地区水资源短缺和生态环境脆弱，水资源总量仅占全国的 3.9%。因此，水资源短缺将是能源“金三角”未来能源可持续发展面临的主要制约因素。如何根据能源“金三角”煤炭、自然和水资源条件，结合我国大型煤炭基地开发和现代开采的特点，研究解决水资源需求不断增长与水资源短缺的矛盾是当务之急。

本章简要介绍了能源“金三角”的能源资源特点、能源发展地位及煤炭开发现状，针对该区煤炭资源丰富、水资源短缺和生态脆弱的特点，提出煤炭资源与水资源“协调发展”理念，实施大型煤炭基地科学规划和有序开发，依靠科技进步，提升水资源保护水平和利用水平。

► 1.1 能源“金三角”概况

20 世纪 70 年代以来，随着地质勘探技术的不断进步，在我国晋陕蒙宁甘地区不断发现丰富的煤炭、石油、天然气资源。目前，该地区集中了我国一半以上的大型煤炭基地，对保障国家能源安全具有战略意义。

1.1.1 能源“金三角”概况

能源“金三角”位于我国内陆腹地，是东部沿海等港口与大西北、中亚之间新亚欧大陆桥的中枢。现已建成包兰线、甘武线、宝中线等重要交通枢纽。同时，银川—西安快速铁路、银川—鄂尔多斯—北京快速通道等已列入国家规划。无论是一次能源直接输出，还是转化为电能、煤制油（气）输出以及作为能源化工资源输出，都是一个理想的能源集散地。该区域包括晋北基地、晋东基地、晋中基地、黄陇基地、陕北基地、神东基地、蒙东（东北）基地的蒙东部分以及宁东基地等 8 个国家大型煤炭基地。

能源“金三角”处于我国煤炭资源“井”字形分布格局的中心区域，是当前我国煤炭资源开发重点区域，包括大同、阳泉、西山、潞安、晋城、神木、铜川、韩城、东胜、准格尔、灵武、石炭井、华亭等主要矿区，也是我国的煤炭资源中心。该区经济发展高度依赖煤炭，重工业化特征突出，全区煤炭消费强度为 1.55tce/万元（tce-ton of standard coal equivalent, 1t 标准煤当量），为全国最高（全国平均煤炭消费强度为 0.72tce/万元）。经过近年来的开发建设，这一区域已经具备了优越的开发条件。高起点、高水平、大规模建设能源“金三角”，将其建成我国能源航母的条件已经成熟。

1.1.2 能源“金三角”的能源资源

近年来，随着我国经济快速发展，能源“金三角”的战略地位日益凸显，目前该区域能源调出量占全国能源调出量的一半以上，是我国最重要的能源生产和供应基地。

该地区化石能源非常丰富。以榆林市为例，每平方米地块平均蕴藏 6t 煤， 100m^3 天然气，被美誉为“中国的科威特”。作为我国第二大沉积盆地，鄂尔多斯盆地总面积占国土总面积的 4%，蕴藏的能源资源约占全国的 35% 以上；盆地内的煤炭、天然气、煤层气三种资源探明储量均居全国首位，石油资源居全国第四位，已查明的煤炭资源储量占全国的 39%，煤层气资源量占全国的 16%，天然气可采资源量占全国的 10%。同时，能源“金三角”还拥有丰富的光能、风能资源，各种能源资源的清洁、高效、综合、可持续利用，对保障我国能源安全举足轻重（卢进才等，2006）。

截至 2010 年底，能源“金三角”探明煤炭储量 8400 亿 t，占全国的 62.7%；探明石油地质储量 45 亿 t，占全国的 13.9%；探明天然气地质储量 7000 多亿 m^3 ，占全国的 32.5%；区内油页岩资源量约 10476 亿 t，折算为页岩油资源量为 525 亿 t，区内致密砂岩气分布于下石盒子组和山西组，资源量为 50 万亿 m^3 左右，潜在可探明储量 2 万亿 m^3 。该地区煤炭资源占化石能源总量的 95% 以上，未来煤炭资源开发是该地区能源开发的主体。

1.1.3 能源“金三角”煤炭资源的主要特征

能源“金三角”煤炭资源的主要特征可以概括为：储量丰富、自然赋存条件好、煤种齐全、煤质优良，适合于大规模现代化开采。

1. 煤炭资源丰富

能源“金三角”尚未利用的煤炭资源量中，除宁夏和甘肃地区相对较少外，其他三省区尚未利用的资源量均超过 1000 亿 t，其中，陕西超过 1400 亿 t，山

西超过 1200 亿 t，蒙西地区超过 5400 亿 t，蒙东地区超过 2900 亿 t；而宁夏尚未利用的煤炭资源量也超过 230 亿 t，如图 1.1 所示。蒙西地区煤炭资源集中度高，主要分布于阴山、鄂尔多斯北缘、贺兰桌子山等 3 个赋煤带的 20 多个矿区，开发利用前景广阔。

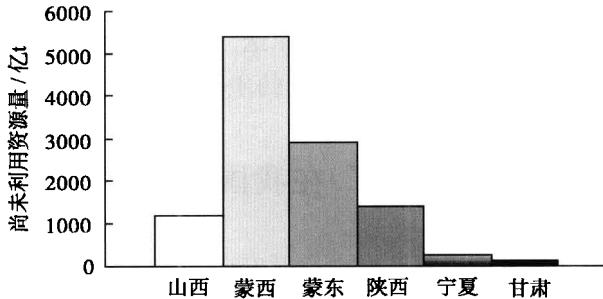


图 1.1 能源“金三角”煤炭资源未利用量比较

2. 煤炭赋存条件较好

能源“金三角”是我国煤炭资源赋存条件好、储量集中的大型整装煤田区。区域内聚集神府东胜煤田、准格尔煤田、桌子山煤田、陕北石炭—二叠纪与三叠纪煤田、宁东煤田等大型整装煤田，主要含煤岩系中煤层累计厚度大，单层以中厚煤层为主，煤层赋存大多稳定，地质结构相对简单。多数矿区的水文地质条件简单，煤层埋深普遍较浅，具备建设大型煤矿的条件。例如，神府煤田有 5~6 个可采煤层，总厚度 14.1~21.5m，倾角 1° ~ 3° ，埋藏浅；东胜煤田有 10 个左右可采煤层，厚度 2~7m，倾角 1° ~ 8° ，非常适合大规模机械化开采。

3. 煤种齐全煤质优良

能源“金三角”煤种比较齐全，石炭—二叠纪主要为气煤、肥煤、焦煤、瘦煤及部分贫煤和无烟煤，三叠纪为气煤，侏罗纪除宁夏汝箕沟为无烟煤外，其余地区主要为不粘煤和长焰煤。其中，宁东地区煤质优良，主要煤种为不粘煤、炼焦煤和无烟煤，是优质的动力煤和气化用煤。鄂尔多斯地区有褐煤、长焰煤、不粘煤、弱粘煤、气煤、肥煤、焦煤。榆林地区煤炭不仅发热量高，是良好的动力用煤，而且易加工转化，适合于煤炭直接液化，转化率最高可达 92.4%，油收率最高可达 65.8%。同时，区内诸多煤层也是优良的气化用煤。陇东地区位于鄂尔多斯聚煤盆地，资源量集中、构造简单、煤质优良，是良好的动力和煤化工用煤。

能源“金三角”以其优越的煤炭资源赋存条件和地域优势,采用现代化开采技术进行大规模开发,已经建成一批具有国际先进水平的千万吨级大型和特大型现代化煤矿群,聚集了一批以千万吨级大型和特大型现代化煤矿群为主的大型煤炭基地,代表了我国煤炭开发的发展方向。同时,该区以8个大型煤炭基地为核心,形成了我国优质动力煤、炼焦煤和化工用煤主要生产和调出基地、“西煤东运”和“北煤南运”的调出基地和“西电东送”北部通道的煤电基地,是我国华北、华东、中南、东北、西北等地区煤炭的主要供应地。

►1.2 能源“金三角”在我国煤炭生产中的地位

能源“金三角”在煤炭资源开发中遵循安全、高效的原则,大规模应用现代开采技术,近年来煤炭开采水平和产量大幅度提高,在国家能源开发战略中具有重要的战略地位。

1.2.1 煤炭产量及其发展趋势

我国2011年一次能源产量为31.8亿t标煤,其中煤炭产量35.2亿t(25.14亿t标煤),占一次能源生产的79%。图1.2是2011年能源“金三角”不同省区煤炭产量占全国产量的比重。该地区最大的原煤生产区域——晋陕蒙接壤区内,2011年鄂尔多斯煤炭产量近6亿t,占全国的1/6以上;陕西榆林市煤炭产量达2.8亿t,约占全国的近8%。2010年,宁东基地煤炭产量达4627万t,陇东能源化工基地原煤产量为2019万t。

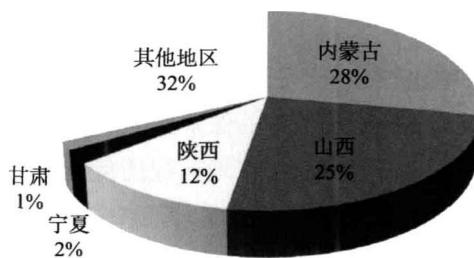


图 1.2 2011 年能源“金三角”各省区煤炭产量占全国比重

煤炭作为我国的基础能源,其需求与经济社会发展尤其是工业的发展密切相关。随着我国经济社会发展对煤炭资源需求持续增大,煤炭资源的开发力度也

在不断加大。近年来,能源“金三角”煤炭产量占全国的比重不断上升(图 1.3),2011 年已经达到了 67.7%,近 5 年增加了 20 多个百分点。

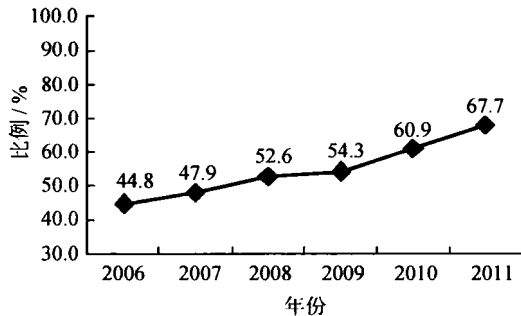


图 1.3 能源“金三角”近年煤炭产量占全国比例

1.2.2 煤炭开采现代化程度

煤矿开采的机械化程度和矿井规模是煤炭开采现代化的两个重要标志。随着我国煤炭开采装备水平的提高,近 10 年煤炭开采现代化程度得到了较大提升,特别是在煤炭资源赋存条件较好的能源“金三角”,矿井生产规模、煤炭开采机械化和自动化水平、安全保障水平和指标持续提升,煤炭开采现代化水平全国领先。

1. 矿井规模

能源“金三角”是我国矿井生产规模大、安全高效矿井集中、机械化水平高的煤炭生产区域。据中国煤炭工业协会统计,2009 年该区域拥有安全高效矿井 175 座,产量达到 61611 万 t。其中,特级矿井 70 座,总产量 42281 万 t,平均年产量 604 万 t,平均原煤工效 41.75t/工;一级矿井 72 座,总产量 15016 万 t,平均产量 208 万 t,平均原煤工效 15.22t/工;二级矿井 33 座,总产量 4314 万 t,平均产量 130 万 t,平均原煤工效 6.45t/T。(图 1.4)。

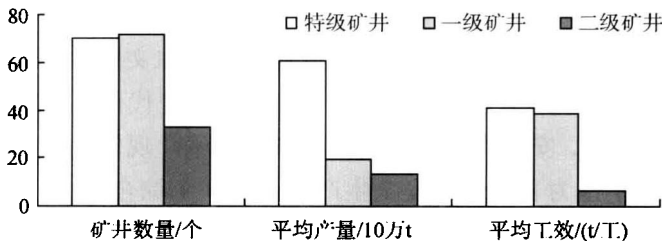


图 1.4 2009 年能源“金三角”安全高效矿井建设示意图
(据中国煤炭工业协会)

为提高煤炭资源开发的集中度，内蒙古自治区于 2005 年下发了《关于促进煤炭工业健康发展的意见》，明确规定“新建井工矿井生产规模不低于年产 120 万 t”。“十一五”期间，世界单井设计生产能力最大的井工煤矿（2000 万 t/a）布尔台煤矿建成投产。上湾煤矿一井一面单产达到 1500 万 t/a，成为世界第一。2010 年内蒙古自治区煤矿平均单井规模提升到 140 万 t/a；山西省经过整合和改造，目前煤矿数已经由 2600 座减少到 1053 座，70%的矿井规模达到 90 万 t/a 以上，30 万 t/a 以下的小煤矿全部淘汰，平均单井规模由 30 万 t/a 提高到 100 万 t/a 以上，保留的矿井全部实现机械化开采；宁夏宁东能源化工基地建成了千万吨级的羊场湾煤矿和清水营、梅花井特大型煤矿，全区煤矿平均单井生产规模超过 100 万 t/a^①。

2. 机械化程度

据中国煤炭工业协会统计，2009 年我国安全高效矿井 359 座，煤炭产量 96030 万 t，平均矿井煤炭产量 252 万 t，生产平均原煤工效 16t/工；能源“金三角”安全高效矿井数占全国的 49%，煤炭产量占 64%。

近年来，内蒙古自治区煤矿技术改造和产业升级加快，煤炭生产机械化程度水平总体达到 90%以上。以鄂尔多斯地区为例，过去近一半的煤矿设计年生产能力小于 10 万 t，90%以上的煤矿未实现机械化开采；经过技术改造和整合，采掘机械化由不足 10%提高到 65%，工效由不足 2.5t/d 提高到 15t/d，平均回采率由 30%提高到 80%。宁夏回族自治区建成了羊场湾、枣泉等一批安全高效矿井、质量标准化矿井和现代化选煤厂，引进一批国内外先进的采煤、掘进、洗选、运输等技术和设备，提高了煤矿机械化水平。2010 年，宁夏回族自治区国有重点煤矿采煤机械化程度达到 92%，比 2005 年提高了 36.24 个百分点。神东矿区不断提高综采智能化水平，在榆家梁矿率先建成了薄煤层自动化综采工作面，初步实现了工作面的无人值守。

3. 安全保障

煤炭安全生产水平受煤层赋存条件、地质条件和水文条件、开采工艺及配套装备、安全生产管理、人员素质等一系列因素影响。现代化程度越高，则安全保障水平也越高。因此，安全生产水平也是衡量煤炭生产现代化的重要标志，通常采用百万吨死亡率作为表示煤矿安全生产水平的一个综合指标。

能源“金三角”是我国煤炭生产规模最大的生产区域，安全生产水平总体上

①宁夏回族自治区人民政府. 2012. 宁夏回族自治区能源发展“十二五”规划

居于国内领先地位。据中国煤炭工业协会统计,2009年该区175座安全高效矿井煤炭生产百万吨死亡率为0.047。其中,特级矿井百万吨死亡率为0,一级矿井百万吨死亡率为0.067,二级矿井百万吨死亡率为0.186。同期,全国安全高效矿井359座,煤炭生产百万吨死亡率为0.043。其中,特级矿井117座的百万吨死亡率为0;一级矿井161座,百万吨死亡率为0.067;二级矿井81座,百万吨死亡率为0.2046。近年来,内蒙古自治区通过技术改造和产业升级,百万吨死亡率由2005年的0.51下降到2010年的0.062,安全生产处于全国领先水平。

►1.3 能源“金三角”水资源状况及特征

能源“金三角”横跨我国北方中西部五省区,地域广阔,煤炭资源开发对地下水资源影响较大。由于煤矿床所处的含煤岩系层位、地质构造单元、地域和气象条件等的差异,其水文地质条件也具有明显的地域性特征,具有水资源总量短缺、地下水资源分布不均、水资源需求量不断增加、供给量缺口较大的特点。

1.3.1 能源“金三角”地下水资源分布

能源“金三角”地下水赋存状态与分布规律,受地貌、构造、地层岩性、水文气象等多种因素的综合影响。按含水介质类型及地下水在介质中的赋存状态,能源“金三角”煤矿区主要发育三大含水层,即松散岩类孔隙含水层,碎屑岩夹碳酸岩类裂隙-岩溶含水层,碳酸盐岩裂隙岩溶含水层。

1. 松散岩类孔隙含水层

该类含水层主要由第四系松散堆积层及局部地区成岩作用差的松散新近系地层所组成,岩性以中细砂、砂砾石、卵砾为主,粒度、厚度变化较大,富水性不均一。地下水在其中主要沿砂、砂砾石层孔隙及黄土的裂隙,孔隙及孔洞间运动。在全区均有分布,主要包括:河套平原、银川平原、鄂尔多斯高原、陇东-陕北黄土高原、渭北低山丘陵区、关中盆地等区域。其中位于鄂尔多斯高原的榆神矿区和神东矿区西南部松散孔隙含水层富水性较好,含水层段为萨拉乌苏组冲湖积砂岩。榆神矿区与松散含水层地下水供水目标区重叠,其他规划矿区松散孔隙含水层富水性弱。如榆神矿区的松散层孔隙含水岩组厚度一般在60m以上,陕蒙交界处最厚达144.75m。由于受地形地貌及岩性、厚度及补给范围制约,其渗透性与富水性各地差异很大。含水层渗透系数多为1~6m/d,平均4.53m/d。富水性在相同条件下,含水层厚度大的地方富水性较好,单井涌水量多在1000m³/d以上,最大可达3000m³/d,含水层薄的地方仅200~300m³/d。地下水矿化度在

0.2~1.0g/L, 多为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 或 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水。含水层地下水主要接受大气降水入渗补给, 大气降水入渗补给占总补给量的 95%。地下水流动方向受地形控制, 从西北向东南流动, 以泉和渗流的方式排泄。

2. 碎屑岩夹碳酸岩类裂隙-岩溶含水层

该类含水层主要包括白垩系、侏罗系、二叠系、石炭系含水层, 岩性主要为上述各时代地层中的砂岩、砾岩、砂砾岩及其间的灰岩夹层。由侏罗系、二叠系、石炭系组成前白垩系孔隙裂隙水含水层, 在区域上该含水层主要分布在鄂尔多斯盆地东部以及耀县—韩城、桌子山一带, 其中鄂尔多斯高原白垩系裂隙含水岩以富水和中等富水为主; 陇东、陕北黄土高原白垩系裂隙含水层的岩性是多层结构、以泥岩为主的湖泊相及沙漠相沉积, 沙漠相砂岩是地下水的主要富水层位, 陇东、陕北黄土高原以中等富水为主, 神东矿区北部、榆神矿区大部分地段富水性中等且局部地段富水, 黄陵矿区、彬长矿区、华亭矿区含水层富水性中等, 灵武矿区、马家滩矿区、积家井矿区、鸳鸯湖矿区、萌城矿区、石沟驿矿区含水层富水性弱。

3. 碳酸盐岩裂隙岩溶含水层

该类含水层因寒武、奥陶系各时代岩溶裂隙发育程度差异较大, 岩性以灰岩、白云质灰岩、白云岩为主。碳酸盐岩厚度大质纯的中奥陶统, 岩溶化作用最强, 富水性强; 下奥陶统、中寒武统以灰岩、白云质灰岩、白云岩为主, 岩溶化作用次之, 富水性中等; 下寒武统、上寒武统及奥陶系各组底部灰岩杂质高, 单层厚度小, 夹层多, 除个别构造裂隙发育段外, 一般岩溶化作用微弱, 富水性弱或极弱(相对隔水层), 但各层间由于断裂构造的沟通, 水力联系密切, 组成统一的含水岩体。该类含水层主要分布于鄂尔多斯盆地周缘贺兰山—桌子山山地, 渭北低山丘陵区, 准格尔以东黄河谷地, 青龙山—云雾山—平凉一带。其中, 准格尔矿区、府谷矿区、韩城矿区、澄合矿区、蒲白矿区、铜川矿区寒武、奥陶系裂隙岩溶含水岩以富水为主, 局部地段富水性中等, 乌海矿区含水层富水性中等。如在桌子山一带的桌子山背斜两翼有灰岩出露, 受南北向和东西向两组构造线切割, 构造及构造裂隙比较发育, 为大气降水渗入补给而形成裂隙水创造了极为有利的条件, 加之奥陶系灰岩岩溶较发育, 为裂隙岩溶水分布富集奠定了基础。地下水水位埋深小于 70m, 泉流量小于 45.40L/s, 据卡布其一带的钻孔资料, 潜水水位埋深 11~12m, 含水层厚约 60m, 单井最大出水量 1000~2500m³/d, 矿化度小于 1g/L, 为 $\text{HCO}_3\text{-Mg} \cdot \text{Ca}$ 型水。

1.3.2 能源“金三角”几个区域的水资源总量分布及消耗情况

1. 陕北榆林地区

榆林地区多年平均水资源总量为 32.01 亿 m^3 ，其中地表水资源 22.90 亿 m^3 ，地下水资源 24.78 亿 m^3 ，地下水与地表水重复量为 15.67 亿 m^3 ，地下水可开采量为 8.58 亿 m^3 。全市多年平均地下水资源量占水资源总量比例为 77.4%。在各流域分区中，比例最大的是无定河流域靖边区，为 92.7%；最小的是北洛河区，为 26.4%。榆林市人均拥有水量 979 m^3 ，仅占全国人均占有水量 43%。

2005 年榆林地区用水总量 6.3317 亿 m^3 。其中农业用水量 4.9779 亿 m^3 ，工业用水量 0.6393 亿 m^3 ，生活用水量 0.7145 亿 m^3 ，所占比例为 79:10:11。

2. 内蒙古鄂尔多斯地区

鄂尔多斯地区水资源主要由地表水资源、地下水资源和过境水资源 3 部分组成。地表、地下水资源总量为 29.6 亿 m^3 ，过境水指标为 7 亿 m^3 。地表多年平均径流量为 13.1 亿 m^3 ，地下水资源总储量为 16.5 亿 m^3 ，可开采量为 14.8 亿 m^3 。水资源人均占有量 1922 m^3 ，低于全国、全区平均水平^①。

2005 年，鄂尔多斯地区用水总量约为 17.21 亿 m^3 ，其中农业用水占 82.8%，工业用水占 10.7%，城乡生活用水占 3.7%，生态环境用水占 2.8%。虽然农业用水比例在逐渐减少，但绝对比例仍然较高，农业创造的 GDP 仅为 10% 左右，而创造大量社会财富的工业用水仅为 10% 左右。而在农牧业用水中，水资源利用率不到 40%（侯光才等，2007）。

3. 宁夏宁东地区

宁夏银川东部区域是我国著名的宁东能源化工基地，属于荒漠化地区，常年干旱少雨，平均水资源总量 3.2 亿 m^3 ，占全国 0.01%。核心区内水域主要有鸭子荡水库、西天河。西天河系宁东地区泄洪沟，自东向西汇入灵武东沟。上游主要汇集宁东地区自然降水及部分矿井水、高盐水等，由企业筑坝拦截形成企业内部的景观湖泊。鸭子荡水库位于灵武市东部，宁东镇西部，是宁东供水工程的核心，是宁东基地生产和生活用水的重要水源。

宁东地区水资源利用存在着结构性矛盾，农业耗水量过大，生态用水量不足。据预测，未来黄河的来水量将进一步减少，宁夏年度分配水量还将继续减少。同时，宁夏地区的用水量却呈现增加趋势。

2008 年宁夏全区总耗水量 39.89 亿 m^3 ，其中耗地下水 2.44 亿 m^3 ，耗地表水

^① 鄂尔多斯水利信息网—鄂尔多斯市水利局，<http://www.ordossl.gov.cn/sljk/>