

水体下采煤

康永华 申宝宏等 著

SHUITIXIA CAIMEI
HONGGUAN FENLEI YU
FAZHANZHANLUE

宏观分类与发展战略

国家科技支撑计划项目 2007BAK24B01 资助

中国煤炭科工集团有限公司科技项目 2014MS004 资助

国家科技支撑计划项目 2007BAK24B01 资助
中国煤炭科工集团有限公司科技项目 2014MS004 资助

水体下采煤宏观分类与发展战略

康永华 申宝宏 等 著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水体下采煤宏观分类与发展战略/康永华, 申宝宏等著. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2016

ISBN 978 - 7 - 5020 - 5552 - 3

I. ①水… II. ①康… ②申… III. ①水下采煤—发展战略—研
究—中国 IV. ①TD823.83

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 259696 号

水体下采煤宏观分类与发展战略

著 者 康永华 申宝宏 等
责任编辑 尹忠昌 赵 冰
责任校对 高红勤
封面设计 盛世华光

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010 - 84657898 (总编室)
010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京建宏印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 17 字数 406 千字

版 次 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

社内编号 8415 定价 56.00 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,电话:010 - 84657880

内 容 提 要

本书结合我国煤炭资源的分布、成煤环境、区域地质构造特征、水文地质环境及水体下压煤条件等，总结了水体下采煤技术现状及发展趋势，描述了我国煤矿水体下开采的典型水害特征及实例，对我国煤矿水体下压煤问题进行了宏观分类，探讨了我国水体下采煤技术的发展战略。

本书可为煤矿现场正确认识水体下压煤问题提供技术参考，为政府等有关部门管理水体下压煤开采及水害防治等问题提供决策参考。

前 言

我国地大物博，矿产资源十分丰富，煤矿地质采矿条件及水文地质条件千差万别、复杂多变，煤层赋存条件千变万化，水体类型千奇百态，水体压煤现状错综复杂，水体下采煤的风险和难度变幻莫测。据不完全统计，我国受水害威胁的煤炭储量约占探明储量的 27%，重点煤矿受水威胁的煤炭储量约 250×10^8 t，其中，水体下压煤储量约近百亿吨。

我国水体下压煤的现状与我国煤炭资源的分布、成煤环境、区域地质构造特征、水文地质环境、含煤岩系的形成年代及沉积环境、水资源尤其是地下水的分布等都有着密切的关系。我国煤炭资源具有成煤期多、分布面广、类型复杂、含煤性及开发条件差异大、煤质多样、储量分布不平衡等特点，呈现西多东少、北富南贫特征。我国水资源的分布具有地区不均等特点，呈现西少东多、南富北贫特征。我国煤炭资源的富集与水资源的丰度及地区经济的发展程度呈现出明显的逆向分布特征。我国煤矿集中分布于区域缺水的北方和西北地区，许多煤矿区水资源短缺，其中约 70% 缺水，30% 严重缺水。

与煤矿开采相关的水体有江、河、湖、海、水库、坑塘、山沟、稻田、沼泽、地表下沉区积水和松散层中的砂层水以及煤层顶板石灰岩及砂岩含水层水、老采空区积水等许多类型。据统计，我国煤矿区约有 125 条较大的各种类型的河流，200 多个矿井有河下采煤问题。淮河、黄河、太子河、来河、蒲河、资江等大河流都压了大量的煤炭资源。山东微山湖、江苏太湖、湖北大冶湖、山东滨海等地的煤田，在水体下压了大量煤炭。在我国南方几省的矿区，更是江河纵横，湖泊、水库、池塘星罗棋布，灌渠、稻田处处皆是。在华东、华北、东北平原地区，普遍有第四纪、新近纪、古近纪含水松散层覆盖。淮南、淮北、滕南、滕北、沛县、兖州、苏南、焦作、邢台、黄县、开滦、沈北、沈南、梅河、鹤岗、石嘴山等矿区，都有含水松散层下采煤及缩小松散层防水煤柱尺寸问题。湖南、江西等省的矿区存在着顶板石灰岩水问题。总之，我国煤矿区普遍存在着水体下压煤开采问题。

国内外在水体下进行采煤的历史有百余年，各产煤国家在海洋、江河、湖

泊、含水松散层及基岩含水层等水体下进行了大量的开采试验,积累了较丰富的成功经验。我国早在20世纪50年代就开始了水体下采煤的系统研究和实践,已成功地进行了海、河、湖、水库、松散含水层、基岩含水层、岩溶等各种水体下的采煤,积累了丰富的数据和经验,取得了众多的成功实例和研究成果。我国水体下采煤实践的普遍性和经验的丰富性等已得到世界各国的公认。

我国煤矿的水体下安全采煤技术随着煤炭科学技术水平的不断进步、煤矿开采技术水平的不断提高而不断发展。通过将采煤方法的变革、控制技术的发展、现场监测及室内测试分析技术手段的进步、预测分析技术方法及理论水平的提高等与高产高效安全生产、当前水平和现实需要、新技术发展、实际应用等紧密结合,先后成功地在水体下应用了综采、综放等采煤方法,探索并发展了覆岩破坏程度及范围的控制技术,提出并实践了控水采煤技术,实现了可控条件下的安全合理开采,发展了覆岩破坏探测技术手段,探索了水体下采煤的安全监测技术及手段,研究发展了安全煤岩柱性能及质量的评价技术和覆岩破坏规律以及水体下采煤预测分析技术与理论,探索了回采工作面涌水量预计理论及方法和溃砂机理及判据,对我国煤矿特殊地质采矿条件下水体下采煤中水害问题的认知程度及防治水平也在逐步提高。

水体下采煤是一个十分复杂的、专业性很强的技术问题,它不仅关系到矿井本身的安全及人身安全和井下生产环境及经济效益,也关系到水资源的保护与利用等。所以,研究水体下压煤的开采,不但要注意开采安全问题,还应该充分注意水资源的保护与利用问题。

煤层赋存条件、覆岩结构特征、水体类型、开采技术条件及其时空关系等自然因素与水体下采煤的安全有着密不可分的关系,采煤工艺、机械化程度、采动破坏影响的程度与特征、生产矿井的防灾抗灾能力、有关人员的技术水平与管理能力等人为因素与水体下采煤的安全也有着密切的关系。所以,水体下压煤问题的宏观分类主要考虑煤层赋存条件、水体类型、地层结构特征、采动影响程度以及聚煤年代及成煤环境和煤炭资源与水资源分布等,水体下采煤技术发展战略则主要从水体下采煤技术本身的开发与发展战略、不同地域水体下压煤的宏观开发战略以及宏观管理等方面进行探讨。

本书的整体构思、统稿和审定由康永华负责。各章编写分工:第一章,康永华、申宝宏、刘秀娥、宋业杰;第二章,康永华、申宝宏、刘秀娥、刘治国、张玉军、李磊、宋业杰;第三章,康永华、申宝宏、刘秀娥、张玉军;第

四章，康永华、刘秀娥、刘治国、李磊；第五章，康永华、申宝宏、刘秀娥、刘治国、李磊、陈佩佩。此外，煤炭科学研究总院开采研究分院特殊采煤与环境治理所的其他人员也参加了部分章节的编写。

本书的完成，得到了煤科总院特采所同仁的热心支持和无私帮助，在此谨表示衷心的感谢！作者在研究和写作过程中参考和引用了相关学者的文献和资料，在此谨向原作者表示衷心的感谢，如有引述不当或疏忽之处，也请原作者谅解。

本书在编写过程中，得到了长期同我们协作的许多煤矿的大力支持，并提供了有关资料，在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平所限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2016年8月

目 次

1 我国煤矿水体下压煤的现状 & 分类	1
1.1 我国煤炭资源概况 & 分布	1
1.2 我国水资源概况 & 分布	3
1.3 我国的地质构造 & 演化	7
1.4 我国的主要含煤地层 & 煤层发育特征	25
1.5 我国主要含煤岩系的水文地质环境	31
2 国内外水体下采煤技术现状 & 发展	61
2.1 水体下采煤的基本概念 & 国内外水体下采煤情况综述	61
2.2 我国煤矿水体下采煤技术现状	64
2.3 国外水体下采煤技术现状	79
2.4 国内外水体下采煤安全开采深度设计理论与技术的现状 & 发展	100
2.5 我国煤矿水体下安全采煤技术的新进展	104
2.6 我国煤矿特殊地质采矿条件下顶板水害问题认知程度 & 防治水平的提高	119
2.7 我国部分煤矿水体下采煤典型实例	134
2.8 我国煤矿水体下采煤存在的主要问题	135
3 我国煤矿水体下采煤的典型水害特征 & 实例	137
3.1 我国煤矿水害类型 & 特点 & 水害频发的主要原因	137
3.2 我国煤矿水体下采煤的典型水害实例	139
4 我国煤矿水体下压煤问题的宏观分类	161
4.1 矿区水体类型划分	161
4.2 煤层赋存条件分类	169
4.3 煤矿地层结构 & 类型的划分	171
4.4 煤矿水体下压煤覆岩类型的划分	177
4.5 煤矿采动影响的分类	184
4.6 我国煤矿水体下压煤开采技术及措施的分类	193
4.7 我国煤矿水体下压煤资源条件 & 地质、水文地质环境的 宏观分类	204

5 我国煤矿水体下采煤技术的发展战略	236
5.1 我国煤矿水体下压煤资源的宏观开发战略	236
5.2 我国煤矿水体下压煤开采的宏观管理战略	249
5.3 我国煤矿水体下采煤的技术开发与技术发展战路	252
参考文献	259

1 我国煤矿水体下压煤的现状 & 分类

我国煤矿水体下压煤的现状与我国煤炭资源的分布、成煤环境、区域地质构造特征、水文地质环境、含煤岩系的形成年代及沉积环境乃至水资源尤其是地下水资源的分布等都有着密切的关系，而水体的类型及煤层上覆岩层的岩性与结构特征等则更是决定水体下压煤能否开采的重要条件。

1.1 我国煤炭资源概况 & 分布

在地球发展历史中，煤在地壳中的聚积是波浪式发展的。在各个聚煤期内，煤的聚积在时间和空间分布上是不均匀的，是受植物演化、古气候、古地理环境和地壳运动等的发展变化控制的。阐明聚煤作用在时间和空间上的分布规律，探索造成这种分布规律的各种地质因素，揭示不同地质时期煤层赋存的特征和水资源尤其是地下水分布资源的特点等^[1-3]，是分析研究我国煤矿水体下压煤现状及其分类等的基础。

1.1.1 我国的聚煤期 & 分布

我国具有聚煤期多、聚煤环境复杂、分布面积广、煤田类型多样等特点，自震旦纪至现代都有聚煤作用的发生，但我国各地质时代的聚煤作用却是不均衡的。几个较强的聚煤作用时期是：早古生代的早寒武世，晚古生代的早石炭世、晚石炭世—早二叠世、晚二叠世，中生代的晚三叠世、早中侏罗世、早白垩世，新生代的古近纪、新近纪。

上述 8 个聚煤期中，除早寒武世属于菌藻植物时代且形成腐泥无烟煤外，其他 7 个聚煤期均为腐植煤的聚煤期，而且以晚石炭世—早二叠世、晚二叠世、早中侏罗世、早白垩世聚煤期的聚煤作用最强。其中，晚石炭世—早二叠世含煤建造广泛分布于华北、辽宁、吉林和陕西、宁夏，晚二叠世含煤建造广泛分布在南方各省、自治区，早中侏罗世含煤建造主要分布在西北、华北北部和东北南部，早白垩世含煤建造主要分布在东北和蒙东。这 4 个聚煤期含煤建造赋存的煤炭资源量分别占全国煤炭资源总量的 26%、5%、60%、7%，合计占全国煤炭资源总量的 98%。

1.1.2 我国主要聚煤区的划分

我国的大地构造存在着南北不同和东西差异。近东西分布的秦岭、昆仑构造带横亘于我国中部，把我国分成地史发展和矿产形成等方面迥然不同的南北两大部分。东西两部分的分界大致为南北向的贺兰山、六盘山、龙门山、横断山一线。此线以西地区，构造线主要为北西至北西西方向；此线以东地区，构造线主要为北东至北东东方向，东西两地区构造活动也不相同。结合我国各地区的地质情况、含煤岩系和聚煤作用的共同特点以及分布的地理位置等，将我国划分为 6 个聚煤区，并大体上以东西或南北方向的构造带等为界。

秦岭东西构造带以北为华北聚煤区,以南为华南聚煤区、台湾聚煤区;阴山构造带以北为东北聚煤区;贺兰山、六盘山一线以西为西北聚煤区;龙门山、横断山一线以西为西藏滇西聚煤区。每个聚煤区以最主要聚煤期命名,则我国6个聚煤区又可分别称为华北石炭二叠纪聚煤区,华南二叠纪聚煤区,东北白垩纪聚煤区,西北侏罗纪聚煤区,西藏滇西二叠纪、新近纪聚煤区,台湾新近纪聚煤区。

华北石炭二叠纪聚煤区是我国最重要的聚煤区,储量排序居首位。其范围包括山西、山东、河南全部,甘肃、宁夏东部,内蒙古、辽宁、吉林南部,陕西、河北大部,以及苏北、皖北。该区内石炭二叠纪煤田分布最广,有山西的沁水、大同、宁武、西山、平朔、阳泉、黄河东、运城、潞安、晋城,山东的济宁、兖州、淄博、新汶、莱芜、肥城、枣庄,河南的平顶山、焦作、鹤壁、安阳、永城、禹县、密县,河北的开滦、兴隆、峰峰、邢台、井陘,安徽的淮南、淮北,江苏的徐州、丰沛,辽宁的本溪、沈南、南票,吉林的浑江、长白,陕西的府谷、吴堡、渭北,宁夏的贺兰山及内蒙古桌子山、准格尔等。其次为早中侏罗世煤田,主要分布在鄂尔多斯盆地、燕山南麓、内蒙古大青山、豫西、山东、辽宁等地,其中,以内蒙古东胜,陕西神木、榆林、黄陵、彬县最为著称。古近纪煤田有山东黄县、山西繁峙、河北灵山等。

西北侏罗纪聚煤区的储量排序居其次。其范围包括新疆全部,甘肃大部,青海北部,宁夏和内蒙古西部。聚煤期为石炭纪和早中侏罗世,以早中侏罗世聚煤作用最强。

东北白垩纪聚煤区的储量排序居第三。其范围包括内蒙古东部,黑龙江全部,吉林大部和辽宁北部的广大地区。主要聚煤期为早白垩世,其次为古近纪。早白垩世煤田分布广,主要分布在大兴安岭西侧、松辽盆地及阴山构造带北缘。早中侏罗世煤田主要分布于该区的南部。古近纪煤田主要沿华夏式断裂及阴山构造带分布。该区目前探明和开采的煤田(或煤产地)主要有鸡西、双鸭山、鹤岗、和龙、延吉、蛟河、扎赉诺尔、牙克石、白音华、元宝山、北票、阜新、铁法、抚顺、沈北、舒兰、依兰、珲春等。

华南二叠纪聚煤区的储量排序居第四。其范围包括贵州、广西、广东、海南、湖南、江西、浙江、福建全部,云南、四川、湖北大部,以及苏皖两省南部,其范围跨越13个省(区)。该区聚煤期较多,早石炭世、早二叠世、晚二叠世、晚三叠世、早侏罗世及新近纪均有煤系生成。其中,以早二叠世晚期至晚二叠世聚煤作用最强,主要煤田有云南宣威,贵州六盘水、织金、纳雍,四川广旺,重庆南桐、天府、中梁山、松藻,湖南涟邵、郴耒,湖北黄石、松宜,江西丰城、乐平,广东曲仁、梅县,广西合山,福建天湖山、永安,浙江长兴,皖南宣泾等。其次为晚三叠世煤田,主要有四川渡口、威远、乐威,重庆永荣,云南一平浪,广东南岭、马安,湖南资兴;湖北秭归、荆当,江西萍乡、攸洛,贵州思南,福建邵武等。古近纪、新近纪煤田与晚三叠世煤田储量相当,主要煤田有云南小龙潭、昭通、先锋,广西百色、南宁、合浦,广东茂名等。该聚煤区除贵州西部煤田较大外,主要是中小型煤田。

西藏滇西二叠纪、新近纪聚煤区的范围包括西藏全部,青海南部,川西和滇西地区。主要聚煤期为二叠世和新近纪,早石炭世、晚三叠世和晚白垩世含煤岩系虽有分布,但含煤性差。该区仅有一些小煤矿开采,地质研究程度最低,煤炭资源贫乏。

1.1.3 我国煤炭资源和储量的地区分布

我国煤炭储量丰富。据第二次全国煤田预测,我国煤炭资源预测总量约为 $50592 \times 10^8 \text{ t}$,除上海市外,各省市自治区均有煤炭资源赋存。预测结果表明,中国煤炭资源丰富,居世界主要产煤国家的前列。我国煤炭资源分布的特点是,成煤期多,分布面广,类型复杂,含煤性、煤质及开发条件差异很大,储量分布不平衡,其突出特点是西多东少,北富南贫。其中,太行山—雪峰山一线以西的新疆、甘肃、宁夏、青海、山西、内蒙古(西)、云南、贵州、四川、西藏等 11 省(区)共有煤炭资源约 $43778 \times 10^8 \text{ t}$,约占全国煤炭资源总量的 86.5%,并主要集中在新疆(预测煤炭资源量 $16210 \times 10^8 \text{ t}$,约占全国的 32%)和山西、陕西、内蒙古(西)(预测煤炭资源量 $20540 \times 10^8 \text{ t}$,约占全国的 40.6%)。昆仑山—秦岭—大别山一线以北共有煤炭资源约 $47367 \times 10^8 \text{ t}$,约占全国煤炭资源总量的 93.6%;而该线以南的湖南、湖北、广东、广西、云南、贵州、四川、西藏、福建、浙江、江西、海南、台湾等 13 省(区)只有煤炭资源 $3225 \times 10^8 \text{ t}$,仅占全国煤炭资源总量的 6.4%,而且其中的 91% 又集中在云南、贵州、四川三省。

据统计,截至 1990 年底,我国已探明的煤炭储量约 $9724 \times 10^8 \text{ t}$,其中保有储量约 $9544 \times 10^8 \text{ t}$ 。

1.2 我国水资源概况及分布

我国不同地区的水资源分布很不均匀,各地的降水量和径流量差异很大。我国不同地区的地下水资源分布也是不均匀的。有的煤矿区的地下水较为丰富,有的煤矿区的地下水则较为贫乏。随着水体类型及规模或富水程度等不同,水体下压煤的特征也不同,而所应该采取的开采技术和方法及解决问题的难度等也都随之而不同。所需解决的问题则既有水害防治方面的,也有保水采煤方面的,或者二者兼有。所以,我国水资源分布情况也是分析研究我国水体下压煤现状及分类乃至水害防治规划研究等的基础。

1.2.1 地球上的水资源及分布

从太空上看,我们所居住的地球是一个极为秀丽的蔚蓝色大水球。水资源是世界上分布最广,数量最大的资源。水覆盖了地球表面的 70%。地球上水的总储量约 $14 \times 10^{16} \text{ m}^3$,其中 97.5% 是无法饮用的咸水。在淡水资源中,有 87% 是人类难以利用的两极冰盖、高山冰川和永冻地带的冰雪,人类真正能够利用的是江河湖泊以及地下水的一部分,仅占地球总水量的 0.26%。我国幅员辽阔,水资源总量虽然较多,约 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$,居世界第六位,但因人口基数大,人均量并不丰富,人均淡水占有量仅 $2220 \text{ m}^3/\text{a}$,占世界人均占有量的 31%,位居世界第 88 位。如果按耕地平均拥有的水资源量计算,我国更属于水资源贫乏的国家,已被列为世界 12 个贫水国家之一。我国的年平均降水量明显低于世界和亚洲的年平均值。我国大陆年平均降水量 648 mm,而全球陆地平均降水量为 834 mm,亚洲为 740 mm。

地球上水资源的分布很不均匀,各地的降水量和径流量差异很大。全球约有 1/3 的陆地少雨干旱,而另一些地区在多雨季节易发生洪涝灾害。我国水资源分布的特点是地区不

均, 水土资源组合不平衡。我国长江流域及其以南地区, 水资源占全国的 82% 以上, 耕地占 36%, 水多地少; 长江以北地区, 耕地占 64%, 水资源不足 18%, 地多水少, 其中黄淮海流域的耕地占全国的 41.8%, 而水资源不到 5.7%。我国 660 多个建制市中有 400 多个城市缺水, 其中严重缺水城市有 108 个。尤其是我国北方地区, 缺水问题一直制约着地区经济的快速发展。

1.2.2 我国的地下水资源及分布

调查显示, 我国水资源总量中约 $1/3$ 是地下水。我国地下淡水资源天然补给量每年为 $8840 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占我国水资源总量的 $1/3$, 其中山区 $6560 \times 10^8 \text{ m}^3$, 平原区 $2280 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。全国地下淡水资源分布面积约 $810 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。我国平原区 (含盆地) 地下水储存量约 $23 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 10 m 含水层中的地下水储存量相当于 840 mm, 略大于全国平均降水量 648 mm, 这个比例与世界地下水储存量的平均值相近似。我国地下水资源分布呈现南多北少的基本特征, 有明显的地区性差异。分布在长江以北的北方地区地下水资源量占全国的 32.2%, 而在长江以南的南方地区地下水资源量占全国的 67.7%。因此, 按人口平均分配的地下水资源量, 最少的在北方。我国的水资源问题主要在北方, 特别是西北。这主要是由自然区域条件所形成的, 此外, 人为因素也加剧了北方缺水状况。由于地形、地貌、地质构造、大气降水等自然条件的影响, 我国地下水资源自然分配极不平衡, 最多的地方每年可达 10000 m^3 , 最少的地方每年不足 200 m^3 , 资源量最少和最多的地区分布量相差 50 倍, 特别是在西北地区形成了一系列极度缺水的贫困区。

我国地下水的赋存形式也存在着地区差异, 北方地下水主要以孔隙水储存于中新生代以来形成的构造盆地中; 西南多以岩溶地下水为主, 地下水储存条件较差, 易于排泄; 东南沿海地区多以基岩裂隙水为主。

1.2.3 我国地下水资源的开发

现在人类每年消耗的水资源数量远远超过其他任何资源, 全世界总用水量约达 $3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。据联合国调查, 全球约有 4.6 亿人生活在用水高度紧张的国家或地区内, 还有 $1/4$ 人口即将面临严重用水紧张的局面。20 世纪以来, 随着人口膨胀与工农业生产规模的迅速扩大, 全球淡水用量飞快增长, 近几十年来, 用水量正以每年 4% ~ 8% 的速度持续增加, 淡水供需矛盾日益突出, 在水资源短缺越发突出的同时, 人们又在大规模污染水源, 导致水质恶化。除水资源本身量少、分布不均以外, 由于工业发展所带来的环境污染并由此而引发的水污染现象, 也使我国的水资源短缺问题雪上加霜。

地下水资源在我国水资源中占有举足轻重的地位, 由于其分布广、水质好、不易被污染、调蓄能力强、供水保证程度高, 正被越来越广泛地开发利用。尤其在我国北方、干旱半干旱地区的许多地区和城市, 地下水成为重要的甚至唯一的水源。目前, 我国地下水开发利用主要是以孔隙水、岩溶水、裂隙水 3 类为主, 其中以孔隙水的分布最广, 资源量最大, 开发利用得最多; 岩溶水的分布、数量开发均居其次; 而裂隙水则最小。在以往调查的 1243 个水源地中, 孔隙水类型的有 846 个, 占 68%; 岩溶水类型的有 315 处, 占 25%; 而裂隙水类型的只有 82 处, 仅占 7%。

我国北方地区的城市地下水开采强度普遍处在一个较高的水平, 华北地区地下水开采

程度最高。我国南方地区雨量充沛,地表水资源比较丰富,区内的大中城市多以地表水为主要供水水源或以地表水与地下水联合供水,除个别城市外,地下水资源的开发利用程度一般较低。

目前全国有近 400 个城市开采地下水作为城市供水水源,300 多个城市存在不同程度缺水,每年水资源缺口大约为 $1000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。据不完全统计,其中以地下水作为主要供水水源的城市超过 60 个,如石家庄、太原、呼和浩特、沈阳、济南、海口、西安、西宁、银川、乌鲁木齐、拉萨等;以地下水与地表水联合供水的城市有北京、天津、大连、哈尔滨、南京、杭州、南昌、青岛、郑州、武汉、广州、成都、贵阳、昆明、兰州、长春、上海等。预计在 21 世纪,我国淡水资源供需矛盾突出的地区仍是华北、西北、辽中南地区及部分沿海城市。

调查显示,到 2003 年,我国有 50 多个城市发生了地面沉降和地裂缝灾害,沉降面积扩展到 $9.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,形成长江三角洲、华北平原和汾渭地等地面沉降严重区。长江三角洲地区累积沉降超过 200 mm 的面积近 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$,占区域总面积的 1/3。而位于华北平原的平津塘沽,最大沉降量已经超过 3.1 m,沿海一带出现负标高地区面积达 20 km^2 。在隐伏岩溶区,由于大量或高强度开采地下水引起地面塌陷。据不完全统计,全国 23 个省(自治区、直辖市)发生岩溶塌陷 1400 多例,塌坑总数超过 40000 个。全国有 50% 的省份发生地面塌陷,尤以广西岩溶区地面塌陷最为突出,塌陷范围最大达 7600 m^2 。全国出现地下水降落漏斗 180 多个,发生岩溶塌陷 1400 多例,海水入侵面积 2457 km^2 ,西南岩溶石漠化和北方土地荒漠化面积有所增长。据统计,我国西南岩溶地区石漠化面积年均增长 1650 km^2 ,年增长率为 2%;北方地区沙漠和荒漠化土地面积总和达到 $288.47 \times 10^4 \text{ km}^2$,占国土总面积的 30%。

在全球气候变暖背景下,全球许多地区降雨减少和蒸发损失的增大正在缩减河流、湖泊和地下水的储量。从 16 世纪开始,冰川开始退缩,20 世纪冰川退缩速度明显加快。21 世纪某些极端天气事件将变得更加频繁、普遍与剧烈,造成以融雪为主要水源的地区水资源增多或减少,蒸腾、蒸发速率加快,淡水水质进一步恶化,某些地区水资源短缺加剧或缓解,海平面上升引起的海水倒灌导致沿海地区可用淡水减少。冰川和积雪中储藏水量将下降。随着冰川退缩,江河径流将减少。今后一段时间,气候变化将使全球水紧张程度提高 20%。

1.2.4 我国煤矿区的地下水资源短缺与煤炭开发的矛盾

我国煤矿集中分布于区域缺水的北方和西北地区,许多煤矿区水资源短缺,其中约 70% 缺水,30% 严重缺水。煤矿区水资源短缺既有自然因素,也有煤矿在开采过程中长期大量排水而引发地下水水位下降、储量减少甚至水质变差等人为因素。近年来,煤矿开采量逐年增加,老矿区缺水范围不断扩大,生产生活用水更为紧张,我国煤矿区水资源短缺问题越来越严重,尤其是随着煤炭开发的总体战略逐渐向缺水的西部转移,西部煤矿区水资源短缺问题将更为突出。

伴随着煤矿区水资源短缺的同时,煤炭生产过程中又不断排放大量的矿井水。我国煤矿每年排放矿井水量约为 $45 \times 10^8 \text{ m}^3$,并呈逐年增加趋势。矿井水的水质差异十分明显,个别水质好的可以达到饮用标准,但更多的矿井水则是含有悬浮物、高矿化度、酸性甚至

含重金属和其他毒性物质等,成为污染矿区环境、破坏矿区生态、影响矿区生产和生活的重要源头。

我国矿井水主要来自于奥陶及寒武系灰岩水、煤系灰岩水、煤系砂岩裂隙水、第四纪冲积层水等。矿井涌水量的大小取决于矿区地下水的补给、径流、排泄条件、开采方法、开采深度和开采范围等。而煤系内位于煤层顶板及其上覆的基岩含水层、松散层含水层乃至地表的各类水体等对于矿井充水的数量大小等则往往与水体下采煤的技术方法和工艺措施等有着密切的联系。

我国东北大部分矿井涌水量主要来自于第四纪冲积层水和二叠系砂岩裂隙水,吨煤涌水量一般为 $2 \sim 3 \text{ m}^3$,矿井涌水量由东向西有逐渐减少的趋势,并随着开采深度的增加而呈现减少趋势。华北、华东大部分矿区的矿井涌水量主要来自于奥陶及寒武系灰岩水、石炭系灰岩水和二叠系砂岩裂隙水,涌水量较大,吨煤涌水量一般为 $3 \sim 10 \text{ m}^3$,个别的吨煤涌水量超过 60 m^3 。西北的新疆、甘肃、宁夏、陕西中部、内蒙古西部地区,矿井涌水量普遍较少,吨煤涌水量多在 1.6 m^3 以下,有的矿区吨煤涌水量甚至只有 $0.1 \sim 0.2 \text{ m}^3$ 。西北地区除个别矿井外,大部分矿区缺水或严重缺水。

煤矿区水资源受煤矿开采的明显影响,主要反映在对水量的排泄和对水质的污染等方面。在富水矿区,地下水对矿井开采的影响关系主要表现为对采掘空间乃至矿井安全的影响或威胁,轻则恶化采煤作业环境、增加排水经济负担,重则导致采场甚至采区乃至全矿井被淹没,需要解决的主要是水害防治和安全开采等问题;在贫水矿区,则要求在矿井开采的同时对地下水作为水资源予以保护,其重点是要在煤层开采的同时严格防止地下水以渗透尤其是以涌水的方式进入井下的采掘空间,以达到对地下水资源乃至区域生态环境等予以保护和实现安全开采的双重目的。

我国是水资源比较贫乏的国家,许多地区尤其是北方干旱地区煤矿开采常常引起水资源破坏,并严重制约着煤矿工业的可持续发展。我国西北五省(区)约占全国面积的 $1/3$,水资源占有量却不足全国的 8% (约 $2254 \times 10^8 \text{ m}^3$)。干旱缺水是西北地区的主要自然灾害,也是西北地区生态环境脆弱的主要原因,典型表现有:沙漠众多且继续扩展;湖泊萎缩,冰川退缩,西北地区是我国水资源破坏的重灾区;水资源的时空分布不平衡,如新疆西北部 50% 面积的水资源量占全疆水资源总量的 93% ,而其东南部分 50% 面积的水资源量仅为 7% ,在时间分布上,需水量大的春季降水只占全年降水的 20% 。

从目前科学技术水平与宏观调控机制来看,煤炭资源开发与矿区生态环境改善是相悖的。首先,煤炭资源开发会对矿区及流域水资源造成严重损耗。矿区的水资源主要以地表水(河流、池塘、水库)和地下水(孔隙水、裂隙水和岩溶水)为主。采矿对水资源的损耗在于两个阶段:一是开采之前,为了保证安全采矿,需要预先进行矿井排水,包括对地表水体和地下含水层(重力作用下地下水可在其中运动的储水岩层)、岩溶水等进行人工疏干;二是开采过程中,采动破坏性影响会对上覆含水层产生自然疏干。因此,煤炭资源开发需要损耗大量的水资源。据统计,全国平均开采每吨煤耗水 10 m^3 。其次,煤炭资源开发会加快土地荒漠化趋势。从理论上讲,水环境是处在不断运动交替过程中,可以从大气降水、地表径流等得到平衡和补给。但违背客观规律的超强度疏降和破坏,尤其是由于矿山露天开挖和井工开采影响,会引起含水层水位下降、地表岩溶塌陷和井泉干涸,进而改变地表土壤的灌溉性、持水性和水土平衡,致使表土疏松、裸岩面积扩大,加剧矿区

水土流失,使土地荒漠化趋势加快。近年的卫星遥感资料查明,受煤炭资源开发影响,地处陕北毛乌素沙漠前缘的榆神府矿区的沙生植物已大面积枯死、植被覆盖率减少、起沙风速显著降低、土地风蚀率增加、土地荒漠化趋势加快。此外,煤炭资源开发还会对矿区及流域水资源造成严重污染。矿区水污染主要来自矿山外排的酸性矿井水、洗(选)矿水、炸药厂废水、焦化厂废水和矿区生活污水。由于矿井污水处理费用很高,所以大部分矿井污水未加处理就直接被就近排掉,进而导致地表水体严重污染,使原本清澈的河水变得污浊并富含有毒有害元素。如陕北榆林地区的11条河流有9条受到不同程度的污染,神木、府谷等6县的饮用水源的水质已严重超标准。以我国西北地区为例,一方面,西北地区严重短缺的水资源本身难以保证矿业大开发的大规模用水需求(如准格尔、神府、东胜及榆林矿区均严重缺水);另一方面,某些地区十分珍贵的含水层(如毛乌素沙漠前沿的陕北榆神府地区煤系地层上覆第四系的萨拉乌苏组含水层)又会因地下开采而遭受严重损耗和污染,二者矛盾十分尖锐。如神府东胜矿区范围内虽有4个长期的水源地,开采量为 $6.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,但实际上该矿区水资源缺口近 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;准格尔矿区已查明的地下水资源量为 $12.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,若按开采每吨煤耗水 10 m^3 计,日产原煤能力为 $1.22 \times 10^4 \text{ t}$,相当于年产原煤 $445 \times 10^4 \text{ t}$,与设计生产能力 2000 t/a 相差甚远。目前,该地区的沙化土地正以每年0.5%的速度递进向东南扩展。尤其令人焦虑的是,该矿区煤系上部分布有第四系上更新统萨拉乌苏组含水层,水量丰富,矿化度小于 0.5 g/L ,是陕北沙漠草滩地前缘地区居民生活和工业优质用水水源,也是矿区唯一的含水层,但由于煤层顶板基岩一般较薄,随着矿区大规模开发,采动破坏性影响将直接波及或进入到该含水层,造成水源地的直接破坏,并导致原来接受该含水层补给的井泉、河流和水库干涸,区域生态环境将面临严重威胁。因此,针对矿产资源开发所带来的生态环境和水资源破坏问题,如何施行宏观调控和严格管制,将是决定我国西北严重缺水矿区的生态环境(主要是土地环境和水环境)能否避免造成无法弥补的破坏和深远影响的现实问题。

1.3 我国的地质构造及演化

煤炭资源在地壳中的分布是受地质构造条件控制的^[4-5]。在地质历史时期中,地壳运动引起海陆变迁、气候更替,推动了植物界演化迁移和聚煤作用呈波浪式向前发展。同时,地壳运动引起的地壳形变,使地球表面出现一系列隆起和拗陷,为聚煤作用提供了适宜的天然场所,并在一定程度上决定着聚煤古地理景观。聚煤盆地形成的含煤建造又遭受后期构造变形的切割,保存下来的含煤建造都在一定构造的体系中占有相应的部位,并依着一定的规律展现。如一级构造带常控制广大的成矿区或成矿带,新华夏系的一级隆起带便是多金属矿带,其一级沉降带则是煤炭、石油的成矿带。事实证明,两个构造带的复合部位常形成重要矿床。而各种类型的储水构造或富水带,则常有规律地出现在某些构造体系的特定部位,如张性断裂的破碎带、“山”字形构造的前弧和反射弧部位等。许多温泉的出现也与一定构造有关,如东南沿海的许多温泉、天津地区的地热异常等常与新华夏构造体系有关。所以,我国的地质构造与成煤环境、煤层赋存特征以及地下水的分布情况等有着密切的关系,也是分析研究我国煤矿水体下压煤现状及分类等的基础。

1.3.1 我国地质构造区的划分

我国是世界上地质构造最复杂的大陆之一。根据沉积建造、岩浆活动、变质作用、构造运动等时空发育的总体特征,我国大陆可以划分为3种不同类型的地质构造区,即地台区、陆间增生褶皱区和陆缘增生褶皱区。

1.3.1.1 地台区

我国的地台主要包括前寒武纪形成的华北地台、扬子地台和塔里木地台,它们构成我国大陆的3个核心。其基底多为复杂的变质岩系,盖层主要为稳定类型沉积。

1. 华北地台

华北地台的主体位于我国华北地区,包括整个华北、西北东部、东北南部、渤海及北黄海,向东延伸可至朝鲜北部。总体呈三角形,与周围相邻构造单元以深断裂为界,包括阴山—燕山与秦岭—大别山之间,贺兰山以东以及渤海及黄海北部广大地区,北与乌拉尔—蒙古褶皱带东段接界,南与秦岭褶皱带相邻,东南部与扬子地台相连,向西过贺兰山与阿拉善地块相接。华北地台是我国最古老的一个地台,形成于18亿年前后的吕梁运动,有3套建造系列:太古宇和下元古界构成它的基底,中上元古界和古生界构成它的盖层,中生代盆地沉积叠加在不同时代岩层之上。

基底岩系包括4套变质岩群,代表了地台演化的4个阶段。最老一套变质岩群出露于地台北缘,以冀东迁西群为代表,变质终止年代在36亿年以前,属早中太古代。第二套变质岩群主要见于地台南北边缘和鲁西地区,以太行山北段阜平群和鲁西泰山群为代表,变质终止年代略早于距今25亿年,属晚太古代。第三套变质岩群主要分布于地台中部及东部,以五台、太行山区五台群和辽东宽甸群为代表,变质终止年代为距今23亿年左右,时代为早元古代早期。第四套变质岩群广布于地台中部和周边,以五台山的溥沱群和辽东辽河群为代表,变质终止年代约距今18亿年,属早元古代晚期。

盖层沉积包括两套地层:①中上元古界浅海相碎屑岩、镁质碳酸盐岩,厚数千到万余米;②古生界海相碳酸盐岩、海陆交互相煤系沉积和上二叠统一三叠统陆相红色碎屑岩系。中生界、新生界以陆相盆地型沉积为主。鄂尔多斯盆地广布有三叠系—白垩系沉积;华北及汾渭地堑有巨厚的新生代沉积;东部广泛发育中生代中酸性侵入岩和火山岩,构成环太平洋构造岩浆岩带的一个环节。

华北地台全部结束海侵的时间较早,一般自中奥陶世整体上升以后就没有完全广泛的海侵,二叠纪开始全部成为陆地。中生代以来,华北地台表现出明显的东西分异的特点,产生了一系列内陆盆地。地台盖层遭受了强烈的褶皱和断裂变动,主要是燕山运动造成的。

2. 扬子地台

扬子地台横跨我国中部及西南部,包括从云南东部至江苏整个长江中下游流域和南黄海,总体呈长条形。扬子地台是我国第二个重要的地台,位于秦岭—大别山以南,龙门山—哀牢山以东,雪峰山—怀玉山以北广大地区,向东延展没于黄河南部。

地台形成于元古宙末期晋宁运动,具有3层结构:前震旦纪变质基底,震旦纪、古生代—中三叠世的沉积盖层,中生代上叠盆地沉积。地台边缘出露元古宙、古生代和中生代侵入岩。