

全国煤矿安全培训统编教材

矿井水灾防治

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

guojia meikuang anquan jianchaju renshi peixunsi zuzhi bianxie

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

guojia meikuang anquan jianchaju renshi peixunsi zuzhi bianxie

A 类

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

中国矿业大学出版社



quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

KUANGJING SHUIZAI FANGZHI

guojia meikuang anquan jianchaju renshi peixunsi zuzhi bianxie

zhongguo kuangye daxue chubanshe

ISBN 7-81070-529-6



9 787810 705295 >

策划编辑 瓮立平 刘社育

责任编辑 陈贵仁

封面设计 肖新生 白海新

ISBN 7-81070-529-6 / TD · 78 两册定价: 20.00 元

全国煤矿安全培训统编教材

矿井水灾防治

(A类)

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

编写 武 强 李周尧

审定 章结来 吴 强

中国矿业大学出版社



内 容 提 要

本书较全面地分析了煤矿充水条件和发生水害的主要类型,重点介绍了各种类型水害的主要防治技术,并提出了煤矿排水、供水、生态环保三位一体优化结合的基本理论和模式。

本教材可作为煤炭企业经营管理者、采掘及通风区队长、煤矿安全管理人员以及安培中心师资培训的教材,也可作为基层管理干部、工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿井水灾防治/武强,李周尧编.—徐州:中国矿业大学出版社,2002.6

全国煤矿安全培训统编教材

ISBN 7-81070-529-6

I.矿… II.①武… ②李… III.①矿山水灾—预防—技术培训—教材②矿山水灾—处理—技术培训—教材 IV.TD745

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第038320号

书 名 矿井水灾防治

编 写 武 强 李周尧

责任编辑 陈贵仁

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

印 刷 北京科技印刷厂

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 5 125 字数 130 千字

版次印次 2002年6月第1版 2002年6月第1次印刷

印 数 5000册

两册定价 20.00元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

全国煤矿安全培训统编教材编审委员会

总顾问	路德信			
主任	黄玉治			
副主任	周心权	闫永顺		
委员	王树鹤	付建华	梁嘉琨	石少华
	李文俊	安里千	段刚	陈国新
	蔡卫	徐景德	王金石	王素锋
	瓮立平			



出版说明

搞好煤矿安全生产是保护国家财产和人民群众生命安全的一件大事，它关系到国民经济的发展和社会的稳定。随着我国社会主义市场经济体制的发展，煤炭工业面临着良好的发展机遇，煤炭企业正在向高产、低耗、安全和集约化生产方向发展。但是，煤炭企业安全生产形势仍较为严峻：一方面，煤矿开采水平正在不断加深，生产条件更加复杂化；另一方面，一些煤炭企业仍然存在着盲目追求最大经济效益、不重视安全生产的行为。因此，依法加强对煤矿企业安全生产的监察，通过培训全面提高煤矿企业从业人员的安全素质，是非常必要的。

为了适应我国煤炭工业管理体制改革的需要，国务院于 1999 年成立了国家煤矿安全监察局，建立了新的煤矿安全监察管理体制。国务院批准的《煤矿安全监察管理体制改革的实施方案》中，赋予国家煤矿安全监察局“组织、指导煤炭企业安全生产技术培训工作，负责煤炭企业主要经营管理者安全资格认证工作”的职能。2000 年经国务院批准，又成立了国家安全生产监督管理局，国家煤矿安全监察局与其合署办公。国务院批准的《国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）职能配置、内设机构和人员编制规定》中，赋予国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）“组织、指导本系统安全生产监察人员、煤矿安全监察人员的培训、考核和全国企业安全生产技术培训工作；依法组织、指导并监督特种作业人员的考核工作和企业经营管理者安全资格考核工作”的职能。

为了履行好国务院赋予我们的有关安全培训方面的职能，规范煤矿安全生产技术培训工作，保证培训质量，在总结安全培训工作

经验，借鉴国外发达国家矿山安全培训课程体系的基础上，国家煤矿安全监察局人事培训司组织有关高校、安全技术培训中心和煤炭企业等单位的教授、专家和安全工程技术人员编写了这套模块式“全国煤矿安全培训统编教材”。这套教材不仅反映了传统的煤矿安全生产技术知识，也引进了成熟的煤矿安全生产新知识、新技术，并且针对培训对象的工作类别、专业和文化程度的不同，就其撰写文体、内容深度和广度的差异分为 A、B 两类。A 类教材内容较深，强调内容的科学性、新颖性和实用性，主要适用于国家煤矿安全监察人员、从事煤矿安全培训的教师、煤炭企业主要经营管理者及安全专职管理人员、区（队）长等；B 类教材内容较浅，强调内容的实用性，主要适用于班（组）长、各种作业人员（含特种作业人员）、企业安全检查员等。模块式教材避免了不同工种系列的同一课程教材内容的重复，便于选择较合适的作者重点撰写，内容覆盖面广，融科学性、实用性、系统性于一体，是对各类煤矿安全人员进行安全资格培训（复训）和考核的统编教材，也是各类煤矿安全人员上岗后不断巩固、提高安全生产知识的工具书，同时，也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校的师生参考。

本套教材在编审过程中，得到了中国矿业大学（北京校区）、华北科技学院、焦作工学院、黑龙江科技学院，有关省级煤矿安全监察局、煤矿安全技术培训中心、煤炭企业等单位的大力支持。在此，谨向上述单位表示谢意。

本书由武强、李周尧编写，由章结来、吴强审定。

国家煤矿安全监察局人事培训司

2002 年 2 月



全国煤矿安全培训统编教材编审委员会

总顾问	路德信				
主任	黄玉治				
副主任	周心权	闫永顺			
委员	王树鹤	付建华	梁嘉琨	石少华	
	李文俊	安里千	段刚	陈国新	
	蔡卫	徐景德	王金石	王素锋	
	瓮立平				

出 版 说 明

搞好煤矿安全生产是保护国家财产和人民群众生命安全的一件大事，它关系到国民经济的发展和社会的稳定。随着我国社会主义市场经济体制的发展，煤炭工业面临着良好的发展机遇，煤炭企业正在向高产、低耗、安全和集约化生产方向发展。但是，煤炭企业安全生产形势仍较为严峻：一方面，煤矿开采水平正在不断加深，生产条件更加复杂化；另一方面，一些煤炭企业仍然存在着盲目追求最大经济效益、不重视安全生产的行为。因此，依法加强对煤矿企业安全生产的监察，通过培训全面提高煤矿企业从业人员的安全素质，是非常必要的。

为了适应我国煤炭工业管理体制改革的需要，国务院于1999年成立了国家煤矿安全监察局，建立了新的煤矿安全监察管理体制。国务院批准的《煤矿安全监察管理体制改革的实施方案》中，赋予国家煤矿安全监察局“组织、指导煤炭企业安全生产技术培训工作，负责煤炭企业主要经营管理者安全资格认证工作”的职能。2000年经国务院批准，又成立了国家安全生产监督管理局，国家煤矿安全监察局与其合署办公。国务院批准的《国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）职能配置、内设机构和人员编制规定》中，赋予国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）“组织、指导本系统安全生产监察人员、煤矿安全监察人员的培训、考核和全国企业安全生产技术培训工作；依法组织、指导并监督特种作业人员的考核工作和企业经营管理者安全资格考核工作”的职能。

为了履行好国务院赋予我们的有关安全培训方面的职能，规范煤矿安全生产技术培训工作，保证培训质量，在总结安全培训工作

经验，借鉴国外发达国家矿山安全培训课程体系的基础上，国家煤矿安全监察局人事培训司组织有关高校、安全技术培训中心和煤炭企业等单位的教授、专家和安全工程技术人员编写了这套模块式“全国煤矿安全培训统编教材”。这套教材不仅反映了传统的煤矿安全生产技术知识，也引进了成熟的煤矿安全生产新知识、新技术，并且针对培训对象的工作类别、专业和文化程度的不同，就其撰写文体、内容深度和广度的差异分为A、B两类。A类教材内容较深，强调内容的科学性、新颖性和实用性，主要适用于国家煤矿安全监察人员、从事煤矿安全培训的教师、煤炭企业主要经营管理者及安全专职管理人员、区（队）长等；B类教材内容较浅，强调内容的实用性，主要适用于班（组）长、各种作业人员（含特种作业人员）、企业安全检查员等。模块式教材避免了不同工种系列的同一课程教材内容的重复，便于选择较合适的作者重点撰写，内容覆盖面广，融科学性、实用性、系统性于一体，是对各类煤矿安全人员进行安全资格培训（复训）和考核的统编教材，也是各类煤矿安全人员上岗后不断巩固、提高安全生产知识的工具书，同时，也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校的师生参考。

本套教材在编审过程中，得到了中国矿业大学（北京校区）、华北科技学院、焦作工学院、黑龙江科技学院，有关省级煤矿安全监察局、煤矿安全技术培训中心、煤炭企业等单位的大力支持。在此，谨向上述单位表示谢意。

本书由武强、李周尧编写，由章结来、吴强审定。

国家煤矿安全监察局人事培训司

2002年2月

目 录

绪论	(1)
第一章 煤矿床充水条件分析	(8)
思考题	(19)
第二章 矿井突水预兆与突水量估算	(20)
思考题	(25)
第三章 煤矿不同类型水害的防治	(26)
第一节 地表水害的防治	(26)
第二节 老窑水害的防治	(35)
第三节 松散孔隙水害的防治	(45)
第四节 煤层顶板水害的防治	(53)
第五节 煤层底板水害的防治	(60)
思考题	(68)
第四章 煤矿主要防治水技术	(69)
第一节 井下防水煤（岩）柱留设	(69)
第二节 井下探放水	(71)
第三节 疏干降压开采	(78)
第四节 带压开采	(83)
第五节 含水层改造与隔水层加固	(87)
第六节 防水闸门和水闸墙	(88)
第七节 注浆堵水技术	(92)
第八节 矿井防排水系统	(110)
第九节 煤矿顶板水害防治评价技术	(116)
思考题	(126)
第五章 煤矿排水、供水、生态环保三位一体优化	

结合..... (127)

第一节 排、供、生态环保三位一体结合的必然性分析与
研究现状..... (127)

第二节 排、供、生态环保三位一体结合的基本理论和模
式..... (149)

思考题..... (152)

主要参考文献..... (153)

绪 论

一、我国煤矿水害划分及分布

（一）水害区的划分

根据我国聚煤区的不同水文地质特征，并考虑到矿井充水对安全生产的危害程度，可将我国煤矿划分为6大矿井水害区（见图0—1）。



图0—1 我国煤矿水害分区示意图

1—华北石炭二叠纪煤田的岩溶—裂隙水水害区；2—华南晚二叠世煤田的岩溶水水害区；3—东北侏罗纪煤田的裂隙水水害区；4—西北侏罗纪煤田的裂隙水水害区；5—西藏—滇西中生代煤田的裂隙水水害区；6—台湾第三纪煤田的裂隙—孔隙水水害区

(二) 各水害区的概况

从表0—1中可看出，我国矿井水害主要分布在华北和华南两大区，其矿井水文地质条件极为复杂，水害十分严重。例如，华北石炭二叠纪煤田煤系基底的中奥陶统岩溶—裂隙水水害；黄淮平原新生界松散层孔隙水的水害；华南晚二叠世煤田的煤系顶、底板灰岩岩溶水水害。而东北侏罗纪煤田虽然也存在着裂隙水及第四系松散层孔隙水的危害，但除局部地区之外，整体矿井水害不很严重；西北侏罗纪煤田地处干旱、半干旱气候区，区内严重缺水，且由于煤层埋藏较浅，采掘活动易于破坏煤层顶板覆岩的含水层组，故该地区主要存在着供水和生态系统与环境保护问题；西藏—滇西及台湾的中、新生代煤田的水文地质条件比较简单，储量有限，水害问题也不严重。

表0—1 我国煤矿水害区的概况

水害区划分		气候区	矿井水对生产危害程度	备 注
编号	名称	年降水量及其覆盖面积的百分数		
1	华北石炭二叠系岩溶—裂隙水害区	亚湿润—亚干旱气候区 600 mm~1 000 mm 约占 70% 200 mm~600 mm 约占 20%	涌水、突水较频繁，涌水量大或特大 (1 000 m ³ /h~123 180 m ³ /h)，常常影响生产或淹井，排水费用负担较大，矿井安全生产受到严重威胁，区内中深部下组煤有几百亿吨因水害威胁不能开采	煤田为分布范围大、可采煤层多、储量大、煤种齐全的焦煤和主焦煤重要产地，对国民经济影响重大
2	华南晚二叠统岩溶水水害区	湿润气候区 1 200 mm~2 000 mm 约占 95%以上	涌水、突水很频繁，经常影响生产或淹井，突水量大 (2 700 m ³ /h~27 000 m ³ /h)，矿井正常涌水量亦大 (3 000 m ³ /h~8 000 m ³ /h)。负担巨额排水电费 (400 万元/a~1 500 万元/a)；地面塌陷严重，井下黄泥突出堵塞井巷。矿井安全受到严重威胁，雨季更危险	由于地面塌陷，每年矿区付出上百万元赔偿费。由于主巷布设在强含水层内，故突水、出水频繁，主要为底板茅口灰岩水，江西是顶板长兴灰岩水

续表 0—1

水害区划分		气候区 年降水量及其覆盖面积的百分数	矿井水对生产危害程度	备 注
编号	名称			
3	东北侏罗系裂隙水水害区	湿润—亚湿润气候区 400 mm~600 mm 约占 60% 600 mm~800 mm 占 25%	一般不影响生产，部分矿区受地表水和第四系松散层水的危害较重，有时造成淹井事故	局部为亚干旱区（15%）
4	西北侏罗系裂隙水水害区	干旱气候区 25 mm~100 mm 占 80% 100~400 mm 占 20%	本区严重缺水，存在供水和生态系统与环境保护问题，仅小部分地区存在地表水和老窑水，造成煤矿水害	局部为亚干旱区
5	西藏—滇西中生界裂隙水水害区	湿润—亚湿润气候区 300 mm~600 mm 约占 55% 800 mm~1 000 mm 约占 35% 1 000 mm~2 000 mm 约占 10%	西藏—滇西和台湾中、新生代煤田煤炭储量仅占全国储量 0.1%，水文地质条件比较简单，水害也不严重	一小部分为亚干旱区
6	台湾第三系裂隙—孔隙水水害区	湿润气候区 1 800 mm~4 000 mm 约占 95%以上		

二、我国煤矿水害的主要类型及特点

对我国煤矿曾发生的所有水害案例的系统分析研究，可以总结出八种主要煤矿水害类型。

（一）老窑积水透水水害

所谓老窑水，是指年代久远且采掘范围不明的老窑积水、矿井周围缺乏准确测绘资料的乱掘小窑积水或矿井本身自掘的废巷老塘水。这种水贮集在采空区或与采空区相联的煤岩或岩石巷道内，水体的几何形状极不规则，不断推进的生产矿井采掘工程与这种水体的空间关系错综复杂，难以分析判断。而这种水体又十

分集中，压力传递迅速，其流动与地表水流相同，不同于含水层中地下水的渗透。采掘工程一旦意外接近便可突然溃出，发生通常所说的“透水”事故。事实表明，即使只有几立方米的这种积水，一旦溃出，也可能造成人员伤亡事故。水量较大的老窑积水则可毁矿伤人。这种水体不但存在于地下水资源丰富的矿区，也可能存在于干旱贫水的煤矿区，是煤矿生产普遍存在的一种水害，曾发生过多次意想不到的水害案例。

（二）地表山洪水害

在有地表水体分布的地区，如长年有水的河流、湖泊、水库、塘坝等，因煤矿井下防水煤（岩）柱留设不当，当井下采掘工程发生冒顶或沿断层带坍塌导水时，地表水将大量迅速灌入井下，类似水害事故曾多次发生。尤其是在一些平时甚至长期无水的干河沟或低洼聚水区，多年来平安无事，未引起人们的注意和重视。当突遇山洪暴发，洪水泛滥，会使某些早已隐没不留痕迹的古井筒、隐蔽的岩溶漏斗、浅部采空塌陷裂缝、甚至某些封孔不良的钻孔，由于洪水的侵蚀渗流而突然陷落，造成地面洪水大量倒灌井下；也可沿某些强充水含水层的露头强烈渗漏，结果造成水害事故。在特定条件下，有时可冲毁工业广场，直接从生产井口灌入井下，迫使井下作业人员无法撤出。这种水害往往来势突然且迅猛，一时无法抗拒，可造成重大损失。因此，煤矿生产有一条重要经验，即防水重于排水，防重于治。只有事先做好调查分析，从最坏处着想，做好预防工作，才能真正保证矿井的安全生产。

（三）第四系松散孔隙含水层和第三系含水砂砾层水害

我国大部分煤矿目前主要开采中生代侏罗纪和古生代石炭二叠纪地层中的煤炭。新生代第四系松散孔隙充水含水层甚至第三系充水含水砂砾层往往呈不整合覆盖在这些煤系地层之上。它直接接受大气降水和展布其上的河流、湖泊、水库等地表水体的渗透补给，形成在剖面和平面上结构极其复杂的松散孔隙充水含水体。这些含水体常年累月地不断地向其下伏的煤层和煤层顶底板

充水含水层以及断层裂隙带渗透补给，其水力联系的程度因彼此间接触关系的不同和隔水层厚度及其分布范围的不同而变化。同时还会因各类钻孔封孔质量的好坏，引起水力联系的变化。这些变化往往导致有关充水含水层的渗透性和采空区冒落裂隙带的导水强度难于真实判断，因而采掘工作面往往会发生涌水量突然增大的异常现象，情况严重时就会造成突水淹井事故。在一些特定条件下，甚至可能造成水与流沙同时溃入矿坑的恶性事故。例如，1963年7月徐州新河煤矿502工作面突然溃入孔隙地下水、流沙和黄泥，淤塞巷道1200m，停产达58d。另外，生产实践还表明，在一些第四系松散孔隙含水层沉积厚度较大的地区，由于长期疏降地下水位，松散含水层多孔介质有效应力增加，含水层被压缩，穿过这一地层的井筒就会产生严重的变形破坏，引发另一类型的矿区地质灾害。

（四）煤层顶板充水含水层水害

煤系地层中一般包括多层可采煤层，其中有的可采煤层厚度又很大，在这些煤层顶板之上往往沉积有多层充水含水层，有的甚至是强岩溶充水含水层，如南方型龙潭组煤系的顶板就是长兴灰岩。由于厚煤层与多煤层的重复采动和断层裂隙塌陷滑移程度不同，采动导水裂隙带发育高度和部位也随之变化，这些常使煤层顶板充水含水层未查明的一些富水带中地下水突然泄入采掘工作面，造成重大水害事故，有时甚至淹没整个采区或工作面或整个生产水平。如果这类充水含水层在隐伏露头部位得到了第四系松散孔隙含水层地下水或在露头部位得到地表水或大气降水的强烈补给，并且它们位于煤层采动导水裂隙带影响范围之内，只要开采煤炭资源就无法躲避时，其水害的预防和治理就更加复杂困难，个别情况下甚至可能造成大量煤炭资源无法开采，或开采后经济效益极不合理。

（五）煤层底板承压充水含水层水害

这是我国煤矿水害频率最高、危害程度最大的一种灾害，曾多次造成突水淹井或淹整个生产水平的恶性事故，淹采区或淹采

煤工作面的次数就更多了。像山东淄博、肥城，河南焦作、鹤壁，河北开滦、峰峰、邯郸，湖南涟邵、煤炭坝和广西的合山等矿山，各种特定条件下的底板突水事故多达几十次甚至数百次。究其原因就是我国主要煤矿床的基底沉积了巨厚层的碳酸盐岩岩溶充水含水层，如华北型煤田的奥陶系（甚至包括寒武系）碳酸盐岩和华南型煤田的茅口灰岩。这些碳酸盐岩分布范围广，露头或隐伏在第四系松散孔隙含水层下的面积大，能接受大气降水和地表水或孔隙地下水的强烈补给，一次大的降雨过程，几乎可以补给回填其长期疏排消耗形成的地下水疏降漏斗。由于煤层的倾伏，随着开采水平的延深，作用于煤层底板的充水含水层水压越来越大，煤层底板相对隔水层的厚度及其岩性组合在剖面上又复杂多变，断裂裂隙的发育程度各不相同，采动矿压作用于煤层底板的强度和对其产生的影响和破坏也因地而异。因此，煤层底板突水条件事前就很难分析查明，即使作了探查分析和判断，也常常发生意料之外的情况，故煤层底板突水的机率较高，稍一疏忽就会出现底板水害事故。这是我国矿床水文地质研究领域目前未能圆满解决的一个难题。

（六）岩溶陷落柱水害

众所周知，1984年6月开滦范各庄矿在回采相距底板奥陶系灰岩还有200余米的七号煤层时，由于煤系地层在地质历史时期中不断向奥灰溶洞跨落，形成了一个短轴46m、长轴67m的椭圆形岩溶陷落柱，柱体冒落高度竟达200m，直到七号煤层顶板。该岩溶陷落柱冒落的岩块冲填疏松，沟通了煤系与奥灰强充水含水层的水力联系，结果发生了突水量高达2053m³/min的恶性突水淹井事故，损失巨大，在世界采矿史上留下了令人难以置信的案例。这种水害，赋存条件孤立而隐蔽，事前难以探查发现，防治难度极大。这类水害事故在我国其他矿区也曾多次发生，只是突水水量较范各庄矿略小而已。

（七）断层破碎带突水水害

这种类型的水害，既可与老窑水发生联系，也可与煤层顶板

含水层或底板承压含水层甚至与地表水体发生水力联系而引起，是煤矿水害类型中最普遍的一类。它可以沿断层走向很长一段范围内普遍含（导）水而引发水害，也可以是很局部的一小段甚至是一个点导水而诱发突水。更有甚者，原始状态是不含（导）水的，但在采动条件下引起顶板导水裂隙意外提高上限或底板岩体裂隙发生活化从而转化为导水断层而突水。例如，开滦赵各庄矿九东工作面迟到滞后12年的突水事故（突水水量达 $50\text{ m}^3/\text{min}$ ），淄博南定矿-300水平南大巷突水 $20.17\text{ m}^3/\text{min}$ ，肥城国家庄矿1993年1月5日22点30分七层煤-210水平北大巷 $549.5\text{ m}^3/\text{min}$ 的大突水，这些突水事故是出人预料的案例。国家庄矿的这次突水，七层煤以下47m的太原统四灰含水层水位已降到-180m以下，在突水迎头以外仅76m处有5个打透四灰的钻孔证实确已疏干，并且在其下伏的五灰和奥水含水层中，没有发现向上导升补给的任何迹象，但当掘进迎头揭露落差仅1.2m、1.5m和2m的三条小断层后，即发生了距离69m以下奥灰水的突水，仅5.5h就淹没了-210水平，8.5h淹没了-70水平的主泵房，全井迅速覆没后，7d又淹没与此相邻的隆庄矿-120水平，15d后又淹没南高余矿的-80水平，使三个被淹矿井的水位迅速上升到+31m标高，与奥灰区域水位相一致。根据堵水钻孔资料初步分析看来，这次事故是由于距巷道迎头以外65m的一条落差20m的断层（倾角变小到20余度）在巷道底板与上述三条小断层相交的结果。此类水害的预防和治理是非常困难和复杂的。

（八）地表滑坡和井上下泥石流灾害

此类灾害发生的前提条件是有层间软滑的粘土层、疏松破碎的断层带、粘土充填的节理裂隙等软弱结构面，但要形成灾害，还是与地表、地下的工程活动密切相关。分布在高、中山区（如四川、贵州、云南等地区）的一些煤矿，此类灾害十分突出，造成的危害也很大。解决这类灾害问题的方法，既要从水文地质角度去研究，也需从工程地质和岩土工程的角度去探讨分析。

第一章 煤矿床充水条件分析

矿床充水条件分析，是矿床水文地质学重要研究内容之一，也是矿井水文地质工作的重要环节之一。该项工作从普查—勘探阶段开始，直至矿床开采，贯穿于整个工作过程。普查—勘探阶段的矿床充水条件分析，主要是依据矿床所处的自然地理、地质构造和矿区水文地质特征，重点分析天然条件下主要充水岩层（组）的地下水类型、赋存条件、循环条件和补给条件等，并初步预测矿床开采后矿床主要的充水水源和通道，为普查—勘探报告提供水文地质资料，为详细水文地质勘探的工程部署提供依据，为矿坑涌水量预测计算提供天然条件下的水文地质物理概念模型。

矿床开采阶段，井巷工程已形成，矿床充水条件分析更为具体，即改变为矿坑涌水或矿井涌水条件分析。该阶段的充水条件分析工作重点是解决在开采条件下矿床充水的水源和通道问题，它们是该阶段矿井水文地质工作的核心。这些工作对预测矿井正常和最大涌水量、对确定科学合理的防治水方案具有极其重要的理论意义和实用价值。

随着我国矿区普查—勘探和矿山开采事业的发展，矿床充水条件分析的理论也日趋完善。我国20世纪50～60年代教课书中该部分内容被称为“矿床充水因素分析”，只讲天然状态下的充水条件；70年代以后的教课书和有关讲义称该部分为“矿坑充水因素分析”、“矿井涌水条件分析”等，不仅名称有所改变，而且讲述内容也有较深入地发展。

矿床充水的基本条件可分为天然充水条件和人为充水条件两大类。



一、矿床充水的天然条件

(一) 天然充水水源

矿床天然充水水源主要可分为大气降水、地表水和地下水三种水源。

1. 大气降水水源

大气降水是地下水的主要补给来源，所有矿床充水都直接或间接地与大气降水有关。这里所讲大气降水水源，是指对矿床直接充水的大气降水水源。

以大气降水补给为主的矿床具有下列特点：

- (1) 矿床矿层（体）埋藏较浅；
- (2) 矿床主要充水岩层（组）是裸露的或者其覆盖层很薄；
- (3) 降水量大且采场面积也大的大型露天矿；
- (4) 矿床处于分水岭或地下水位变幅带内。

2. 地表水水源

在有大型地表水体分布（海、湖、大河流、水库、水池等）的矿床地区，查清天然条件下和矿床开采后的地表水体对矿床开采的影响，是矿区水文地质勘探和矿井水文地质工作的一个重要任务，是评价矿床开采价值的重要内容。地表水体不仅可能造成

矿井突然涌水，严重情况下会导致水沙同时溃入矿井。

3. 地下水水源

矿床围岩地下水充水类型可划分为：

(1) 根据充水岩层性质不同，可分为砂砾石孔隙充水、坚硬岩层裂隙充水和岩溶充水。

(2) 根据矿层与充水岩层接触关系不同，可分为直接充水和间接充水。

(3) 根据矿层与充水岩层相对位置不同，可分为顶板水充水、底板水充水和周边水充水。

(二) 天然充水通道

矿床充水的天然通道主要包括点状岩溶陷落柱、线状断裂（裂隙）带、窄条状隐伏露头、面状裂隙网络（局部面状隔水层变薄或尖灭）和地震裂隙等。

1. 点状岩溶陷落柱通道

岩溶陷落柱在我国北方较为发育。在地下水的长期物理和化学作用下，中奥陶统灰岩形成了大量的古喀斯特空洞。在上覆岩层和矿层的长期重力作用下，空洞溃塌并被上覆岩层下陷填实，下塌的破碎岩块所充填的柱状岩溶陷落柱像一导水管道沟通了煤系充水含水层中地下水与中奥陶统灰岩水的水力联系。特别位于富水带上的岩溶陷落柱，可造成不同充水含水层组中地下水的密切水力联系。

岩溶陷落柱的地表特征比较明显，特别在基岩裸露区更为明显。在一般岩溶陷落柱出露处，岩层产状杂乱，无层次可寻，乱石林立，充填着上覆不同地层的破碎岩块。陷落柱周围岩层因受塌陷影响而略显弯曲，并多向陷落区内倾斜。井下陷落柱形态一般呈下大上小的圆锥体，陷落柱发育高度变化较大，主要取决于陷落的古溶洞规模，溶洞空间愈大则陷落柱发育高度也愈高，甚至可波及地表。堆积在陷落柱内的岩石碎块呈棱角状，形状不规则，排列紊乱，分选性差。

岩溶陷落柱的导水形式多种多样，有的岩溶陷落柱柱体本身

导水；有的柱体则是阻水的，但陷落柱四周或局部由于受塌陷作用影响而形成较为密集的次生裂隙带，从而成为沟通多层含水层组之间地下水的水力联系；还有的岩溶陷落柱柱体内部分导水，部分阻水。

影响岩溶陷落柱发育分布的控制因素较为复杂，其展布规律至今研究不够。但根据目前研究成果，我们认为，地质构造是控制岩溶陷落柱分布的主要控制因素之一。

2. 线状断裂（裂隙）带通道

断裂（裂隙）带是否能够成为充水通道，主要取决于断裂带本身水力性质和矿床开采时人为采矿活动方式与强度。这里重点分析断裂带本身性质。

矿床水文地质勘探中为查明断层水力性质，往往需投入很大工作量，我们应该根据大量勘探及水文地质试验资料进行断层水文地质性质的分析研究。根据以往勘探及矿山开采资料，断层的水文地质性质一般可划分为两种情况：

（1）隔水断层。一般为压性断层或断层带被粘土质充填，两侧含水层组之间不发生水力联系。但在矿床开采时，由于人为工程活动，有些天然状态下呈隔水性质的断层常转变为导水断层。隔水断层处于不同空间位置，其水文地质意义亦不同。当隔水断层切割于主要充水岩层组内时，常阻止充水岩层组之间的水力联系；但当隔水断层分布在充水岩层组边界周围时，将阻止区域地下水对充水岩层组的补给。

（2）导水断层。导水断层所处位置不同，其水文地质意义亦不同。当导水断层位于充水岩层组的区域边界时，常形成对充水岩层组或临近充水岩层组的补给通道；当导水断层与地表水体沟通时，常形成地表水补给矿床的主要导水通道；当在充水岩层组展布区分布有导水断层时，将提高充水岩层组与外界的水力联系程度；当导水断层切割矿层隔水顶、底板时，断层常引起顶板或底板涌（突）水问题

沟通充水岩层组之间密切水力联系的线状断裂（裂隙）带多

分布在断层密集带、断层交叉点、断层收敛处或断层尖灭端等部位。

3. 窄条状隐伏露头通道

在我国大部分煤矿山，煤系薄层灰岩充水含水层、中厚层砂岩裂隙充水含水层以及巨厚层的碳酸盐岩充水含水层，多呈窄条状的隐伏露头与上覆第四系松散沉积物不整合接触。影响隐伏露头部位多层充水含水层组地下水垂向间水力交替的因素主要有两个：

（1）隐伏露头部位基岩风化带的渗透能力大小；

（2）上覆第四系底部卵石孔隙含水层组底部是否存在较厚层的粘性土隔水层。

一般地说，基岩风化带的风化程度太强或太弱，其地下水的渗透性均较弱。基岩风化程度和深度除与外动力地质条件有关外，一般与其基岩的岩性和裂隙发育程度有关。最易风化的岩石有泥岩、沉凝灰岩以及分选性差或胶结性差的中、粗粒砂岩和长石含量高的砂岩。在岩层风化过程中，水流参与是一个甚为重要的影响因素。所以，风化深度较深者多为裂隙较发育的岩层。泥岩虽然极易风化，但由于它的塑性强，一般裂隙发育有限，因此其风化深度往往较浅。探测隐伏露头部位基岩风化带的渗透能力一般可采用压（抽）水试验方法。

在我国第四系松散物沉积较厚的煤矿区，其沉积类型较为复杂，各种陆相沉积，如冲积、洪积、湖积、残积、坡积和冰川堆积等较为广布，海相和海陆交互相仅在海滨和局部内陆地区可见。因此，第四系含水层组的沉积结构千变万化。在某些矿区，第四系含水层组底部沉积了较厚的粘土或亚粘土隔水层，在这些部位，无论煤系和中奥陶统基岩风化带的渗透性能如何强，这些粘性隔水层基本可以完全阻隔多层含水层组地下水在隐伏露头部位的垂向水力联系；但在另一部分矿区，第四系含水层组底部的粘性沉积物由于沉积尖灭或其他原因，沉积厚度极其有限，甚至局部缺失形成“天窗”。这样，如果煤系和巨厚层的碳酸盐岩充

水含水层组在隐伏露头的风化带部位渗透性较好，呈高承压水头的巨厚层碳酸盐岩充水含水层组地下水首先直接通过“越流”或“天窗”部位，上补第四系松散孔隙含水层组，而第四系孔隙水又以同样方式下补被疏降的煤系薄层灰岩含水层组或中厚层砂岩裂隙含水层组。第四系孔隙含水层组像座畅通无阻的桥梁在煤系和巨厚层碳酸盐岩充水含水层组两个窄条状隐伏露头处，接通了它们彼此间的水力联系。

4．面状裂隙网络（局部面状隔水层变薄区）通道

根据含煤岩系和矿床水文地质沉积环境分析，在华北型煤田的北部一带，煤系含水层组主要以厚层状砂岩裂隙充水含水层组为主，薄层灰岩沉积较少。在厚层状砂岩裂隙含水层组之间沉积了以粉细砂岩、细砂岩为主的隔水层组。在地质历史的多期构造应力作用下，脆性的隔水岩层在受力情况下以破裂形式释放应力，致使隔水岩层产生了不同方向的较为密集的裂隙和节理，形成了较为发育的呈整体面状展布的裂隙网络。这种面状展布的裂隙网络，随着上、下充水含水层组地下水水头差增大，以面状越流形式的垂向水交换量也将增加。开平煤田东欢坨矿位于车轴山向斜收敛翘起部位，西北翼陡立，东南翼舒缓，这种构造形态反映了不对称力源的挤压作用。由于力源强度的不对称性，使得受力较小的东南翼层间滑动速率和错动距离增大，即在平行层面的力偶作用下，形成了近于垂直层面的共轭剪切破裂面。这种呈面状展布的高角度裂隙网络系统已被矿山大量地质勘探钻孔和井下采掘工程所证实。

5．地震裂隙通道

根据开滦唐山矿在唐山地震时矿井涌水量和矿区地下水水位的长期观测资料，地震前区域含水层受张力作用时，区域地下水水位下降，矿坑涌水量减少。当地震发生时，区域含水层压缩，区域地下水水位瞬时上升数米，矿坑涌水量瞬时增加数倍。强烈地震过后，区域含水层逐渐恢复正常状态，区域地下水水位逐渐下降，矿井涌水量也逐渐减少。震后区域含水层仍存在残余变

形，所以矿井涌水在很长时间内恢复不到正常涌水量。矿井涌水量变化幅度与地震强度成正比，与震源距离成反比。

二、矿床充水的人为条件

（一）人为充水水源

1．袭夺水源

为了保证矿井安全生产，必须疏降高承压的充水含水层，由于矿床开采范围的不断扩大，地下水位降落漏斗也不断延展。人工疏降强烈改造着矿区的天然地下水流场。人工地下水流场获得新的补给水源称为袭夺水源。袭夺水源主要包括以下三种情况：

- （1）位于矿床所在区的地下水流动系统排泄区的泉水；
- （2）位于矿床开采区的地表水（海、湖、河）体；
- （3）相邻水文地质单元地下水。

2．老窖水

老窖水一般分布在老矿山的浅部，它具有以下充水特点：

- （1）老窖水以静储量为主，其储量与采空区分布范围有关。
- （2）老窖水为多年积水，水循环条件差，水中含有大量 H_2S 气体，并多为酸性水，有较强的腐蚀性。
- （3）老窖突水一般水势迅猛，硫化氢气体对人体危害性较大。

（二）人为充水通道

矿坑充水人为通道主要包括顶板冒落裂隙带、地面岩溶塌陷带和封孔质量不佳钻孔等。

1．顶板冒落裂隙带

采空区冒落后，形成的冒落带和导水裂隙带是矿坑充水的人为通道。其特点如下：

（1）当冒落裂隙带发育高度达到煤层顶板充水含水岩层时，矿坑涌水量将有显著增加；但如未能达到顶板充水含水岩层时，矿坑涌水无明显变化。

（2）当顶板冒落裂隙带发育高度达到地表水体时，矿井涌水量将迅猛增加，同时常伴有井下涌砂现象。

2. 地面岩溶塌陷带

随着我国岩溶充水矿床大规模抽放水试验和疏干开采实践，煤矿区及其周围地区的地表岩溶塌陷随处可见，地表水和大气降水通过塌陷坑直接充入井下。有时随着塌陷面积的增大，大量砂砾石和泥砂与水一起溃入矿坑。

3. 封孔质量不佳的钻孔

由于封孔质量不佳，常常导致某些钻孔转变为人为导水通道。当掘进巷道或采区工作面经过这些没有封好的钻孔时，顶、底板充水含水层地下水将沿着钻孔补给矿层，造成矿坑的涌（突）水事故。

三、矿床充水强度分析

在自然界分布矿床中，单一充水水源或单一充水通道的矿床是少见的。从矿床水文地质剖面可以看出，矿层（体）上部和下部往往分布着多个含水层组。究竟哪个是充水含水岩层？哪个不是充水含水岩层？哪个是强充水含水层组？哪个是弱充水含水层组？回答这些问题的方法称为矿床充水强度分析。

根据矿山调查资料表明，矿床开采后矿井充水强度除取决于充水含水层组的富水性、导水性、厚度和分布面积外，还取决于三个防线。第一防线是充水含水层组出露和接受补给水源的条件；第二防线是充水含水层组侧向边界的导水与隔水条件；第三防线是矿层顶、底板岩层的隔水条件。

（一）第一防线

关于充水含水层组出露和接受补给水源的条件可划分为以下五种情况。

第一种情况：矿区分布在山前地带，煤层与煤系充水含水层大面积被第四系粘土、亚粘土层覆盖。此类矿床开采时具有以下特点。

（1）矿井疏干时地下水位随掌子面向深部移动；

（2）矿井疏于涌水量较小，开采初期涌水量可能稍微大些，但后期显著减少；

(3) 矿 井 水 量 相 对 稳 定 , 季 节 性 变 化 不 大 。

肥城矿务局各矿多属此类。

第二种情况：矿区分布在平原地区，煤层与煤系充水含水层大面积与第四系砂砾石含水层直接接触，矿床开采时由于第四系砂砾石含水层强烈充水，形成拟定水头强渗透边界，矿井涌水较大。为了防止水、砂共同溃入矿坑，矿床开采时常需留设较厚煤柱。开滦矿区各矿井多属此类。

第三种情况：矿床分布湖底下，煤层与煤系充水含水层延伸湖底。这类矿床开采实际成为了水体下开采。矿床开采时，为了防止湖水溃入井下，湖底需留设防水矿柱。此外，矿床开采过程中需要严格控制煤层顶板冒落带和导水裂隙带的发育高度。

第四种情况：是常见的一般性矿床，矿区分布范围内无第四系松散覆盖层沉积和地表水体，煤系地层直接出露地表。矿床开采时，充水含水层被疏降，地下水水位开始下降，其疏降速度除取决于充水含水层的富水性外，大气降水补给也是重要的决定因素。一般矿井涌水量较小，地下水动态随季节性变化明显。

第五种情况：矿床分布于季节性河流下部，季节性河流成为矿床开采的季节性充水水源。在这类矿床开采时，河底应留设防水煤柱，或者用水砂充填方法严格控制冒落带和导水裂隙带的发育高度。

以上五种自然出露条件，其充水强度具有明显差别。当然，矿床开采方法、开采范围大小和开采深度等人为工程活动，也是决定矿床充水强度的重要控制因素。

(二) 第二防线

为阐述问题方便，有关充水含水层组侧向边界的导水与隔水条件讨论，以直接充水矿床侧向边界导水、隔水条件为例，分析不同性质水力边界对矿床充水强度的影响。

所谓直接充水矿床，就是直接顶、底板均为充水含水岩层的矿床（体）。矿床充水强度的强弱除了与直接充水含水岩层本身的富水性和渗透性等有关外，直接充水含水岩层的侧向边界导隔

水性也是决定其矿床充水强度的一个重要因素，侧向水力边界的封闭程度是评价直接充水矿床充水强度的一个重要指标。矿床开采后，其煤系直接充水含水岩层经长期疏降，其地下水静储量很快被疏干，充水含水岩层能否长期充水，则取决于其边界的水力性质。当周边界为强补给边界时，则充水含水岩层很难被疏干，它将长期充水；但当侧向水力边界为弱透水或完全隔水边界时，矿床开采后充水含水岩层将被疏干，不会威胁矿井安全生产。

（三）第三防线

第一、第二防线是通过讨论矿床开采过程中充水含水层的补给条件来分析矿床充水强度的。下面通过讨论矿床（体）直接顶板覆岩的隔水性能的实例，分析矿床顶、底板的导、隔水条件对矿坑充水的影响。

1. 隔水顶板

我国南方大部分地区开采龙潭煤系的上部煤组，煤层上部长兴灰岩为间接顶板岩溶充水含水层。该类矿床的充水强度主要取决于煤层与上部长兴灰岩之间岩段的防隔水性能，而顶板岩段的防隔水性能则主要取决于下列因素：

（1）煤层顶板岩段的厚度、岩性、岩性组合、岩性的垂向分布位置和稳定性；

（2）煤层顶板岩段是否存在断裂构造的分布；

（3）煤层顶板岩段的破碎、抗张强度等因素。

一般无断裂构造分布、顶板岩段完整且其沉积厚度大于冒裂带发育高度时，煤层顶板为防隔水性较强的安全顶板。例如，江西宜春一分宜一带开采龙潭煤系G煤组中C1 - 2层时，煤层距离顶板长兴灰岩30m ~ 60m，煤层顶板覆岩为砂页岩和C3煤层。

2. 隔水底板

我国北方开采的华北型石炭二叠系煤田及铝土、粘土矿等，均属奥灰岩溶水底板充水矿床；南方开采的龙潭煤系下组煤，属茅口灰岩岩溶水底板充水矿床。底板充水矿床的开采，在高水头地下水承压压力以及矿压等因素的联合作用下，常常发生大型或

特大型的底板岩溶水突水问题，给矿山安全开采带来极大困难。

底板突水是一个非常复杂的非线性动力学突变问题。它受许多因素控制，其中最重要的是取决于煤层底板隔水岩段的隔水性能。在相同水头压力和矿压的作用下，煤层底板隔水性能主要取决于隔水岩段的岩性、岩性组合、隔水岩段厚度、稳定性以及断裂构造的发育情况等。

（1）底板突水与煤层底板岩段的岩性和岩性组合的关系。华北型石炭二叠系煤田的煤层底板隔水岩段，一般情况下主要由四种岩性组成，即砂页岩、页岩、铝土岩、含铁砂岩及铁矿层。从隔水性而言，页岩>铁质岩>铝土岩>砂岩；但从比重和抗张强度来看，铁质岩>铝土岩>砂岩>页岩。综合各因素，各岩性层的隔水性能等级可划分为：铁质岩>铝土岩>页岩>砂岩。

自然界中组成煤层底板岩段往往不是单一岩层，而是由几种不同岩层相互组合，呈互层状出现。由铁质岩、铝土岩和页岩互层组合的煤层底板岩段，其隔水性能较好，隔水能力较强。由铁质岩、铝土岩和砂岩组合的煤层底板岩段，虽然其抗张强度较高，但隔水性能较差。从上述分析可知，煤层底板岩段的隔水性不仅取决于底板岩段的岩性，而且与煤层底板岩段的岩性组合有很大关系。

（2）底板突水与煤层底板岩段沉积厚度的关系。在华北型煤田各大矿区，上部煤系（山西组和太原组上部煤层）已大部分安全回采，但随着下组煤层回采和上组煤层开采深度的逐渐加大，各大矿区均发生了严重的底板突水淹井事故。峰峰、平顶山、焦作、渭北、霍县等矿区在下三层煤开采过程中，均受到了煤层底板奥灰水的严重威胁，其原因就是下部煤层距离奥灰强岩溶充水含水层太近。这说明随着煤层底板隔水岩段厚度减少，其隔水性能将随着减弱。

（3）底板突水与煤层底板岩段断裂构造发育程度的关系。据调查统计，在淄博矿区各矿井发生的110次底板突水事故中，采煤工作面突水56次，掘进巷道突水55次，发生在断层附近的突

水91次，占总突水次数83%，其中发生在北西向和东西向两组断裂构造附近的突水事故占总突水次数的71%。根据井下断层分析，断层突水多数与张性断裂有关，因为它能使充水含水层与煤层距离缩短。此外，低角度（50°以下）断层与破碎的含水层接触面扩大，张性断裂易导致断层破碎带附近岩层破碎，使煤层底板岩段强度大大降低。根据上述分析可知，煤层底板是否发育断裂构造，特别是张性断裂，直接影响煤层底板岩段的隔水性能。

思 考 题

1. 试述我国煤矿水害分区方案。
2. 试述华北型煤田矿井水害特点。
3. 试述华南晚二叠统煤系开采的矿井水害特点。
4. 试述东北侏罗系煤系开采的矿井水害特点。
5. 试述西北侏罗系煤系开采的矿井水害特点。
6. 试述西藏—滇西中生界煤系开采的矿井水害特点。
7. 矿井充水条件分析的主要内容有哪些？
8. 矿井充水水源主要包括哪几个方面？
9. 矿井充水通道主要包括哪几个方面？
10. 矿井充水强度分析的主要内容是什么？

第二章 矿井突水预兆与突水量估算

煤矿突水过程主要决定于矿井水文地质及采掘现场条件。一般突水事故可归纳为两种情况：一种是突水水量小于矿井最大排水能力：地下水形成稳定的降落漏斗，迫使矿井长期大量排水；另一种是突水水量超过矿井的最大排水能力，造成整个矿井或局部采区淹没。在各类突水事故发生之前，一般均会显示出多种突水预兆，下面分别予以介绍。

一、突水预兆

（一）一般预兆

（1）煤层变潮湿、松软；煤帮出现滴水、淋水现象，且淋水由小变大；有时煤帮出现铁锈色水迹；

（2）工作面气温降低，或出现雾气或硫化氢气味；

（3）有时可闻到水的“嘶嘶”声；

（4）矿压增大，发生片帮、冒顶及底臃。

（二）工作面底板灰岩含水层突水预兆

（1）工作面压力增大，底板臃起，底臃量有时可达500mm以上；

（2）工作面底板产生裂隙，并逐渐增大；

（3）沿裂隙或煤帮向外渗水，随着裂隙的增大，水量增加，当底板渗水量增大到一定程度时，煤帮渗水可能停止，此时水色时清时浊，底板活动时水变浑浊、底板稳定时水色变清；

（4）底板破裂，沿裂缝有高压水喷出，并伴有“嘶嘶”声或刺耳水声；

（5）底板发生“底爆”，伴有巨响，地下水大量涌出，水色呈乳白或黄色。

（三）松散孔隙含水层水突水预兆

（1）突水部位发潮、滴水、且滴水现象逐渐增大，仔细观察可以发现水中含有少量细砂；

（2）发生局部冒顶，水量突增并出现流砂，流砂常呈间歇性，水色时清时混，总的趋势是水量、砂量增加，直至流砂大量涌出；

（3）顶板发生溃水、溃砂，这种现象可能影响到地表，致使地表出现塌陷坑。

以上预兆是典型的情况，在实际具体的突水事故过程中，并不一定全部表现出来，所以应该细心观察，认真分析、判断。

二、突水量估算

突水发生后，水量的估算是一项必不可少的重要工作。根据现场具体条件，迅速而准确地对矿井突水水量做出估算，是矿井防治水工作布置和抢险救灾措施制订的重要科学依据。

（一）现场实测突水量方法

1. 浮标法

矿井发生突水后，初期水量一般较小，可在井下巷道的排水沟内测量其水量。选用几何形状整的排水沟5m长左右，清除沟内的杂物，选择上、中、下三个断面，测量其宽度及3~5个深值，并用木屑或纸屑作浮标，测量排水沟内水的流速，反复测量3~5次，采用下式即可计算突水水量。

$$Q = 60 KL \frac{\frac{1}{3} (W_1 \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} + W_2 \frac{h_4 + h_5 + h_6}{3} + W_3 \frac{h_7 + h_8 + h_9}{3})}{\frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}}$$

式中 Q ——突水水量， m^3 / min ；

L ——水沟测量段长度， m ；

W_i ——水沟断面宽度， m ；

h_i ——水沟内水深， m ；

t_i ——浮标在 L 段内运动的时间， s ；

K——断面系数，按表2—1选择。

当突水量继续增大到不能采用巷道排水沟测量时，可选用巷道中较为平直的一段，测量巷道内的水流量。其具体测量方法与在排水沟内测量方法相同。

表 2 — 1 K 值 选 择 表

水沟特性	水深/m	0.3~0.1		>1.0	
	粗糙度	粗糙	平滑	粗糙	平滑
K 值		0.45~0.65	0.55~0.77	0.75~0.85	0.8~0.9

2．水泵标定法

突水事故发生后，一般应增开水泵或增加水泵运转时间。水仓内增加的水量可用下式计算：

$$Q = KNW + \frac{SH}{t}, m^3/min$$

式中 W——水泵的铭牌排水量，m3 / min；
N——增开的水泵台数；
K——水泵的排水系数，可参照表2—2选取；
H——t时间内位上升高度，m；
S——水仓的水平断面面积，m2；
t——水仓水位上涨H所用的时间，min。

表2—2 水泵的排水系数表

排水条件	新泵排清水	旧泵排清水	新泵排混水	旧泵排混水	双台老泵单管排水
K	1	0.8	0.9	0.7	0.6

3．容积法

矿井突水时，如水是由下向上充满井下巷道及其他空间，可利用下水平巷道硐室的淹没时间来估算其突水量，即

$$Q = \frac{V}{t} \text{ 或 } Q = \frac{SH}{t}, \text{ m}^3/\text{min}$$

式中 V——下水平巷道的淹没体积，m3；
t——淹没时间，min；
S——下水平硐室巷道的水平断面面积，m2；
H——在t时间内水位上升高度，m。

突水后，如将下水平巷道淹没，水位上升至回采过的老窑区，则涌水量可用下式计算：

$$Q = \frac{KSHM}{t \cdot \cos\alpha}, \text{ m}^3/\text{min}$$

式中 K——采空区的淹没系数，可参考表2—3选用；
S——求积仪在平面图上量得的淹没面积；m2；
H——水位上涨的高度，m；
M——采空区煤层的实际采高，m
——岩层的倾角，（°）；
t——水位上升所用的时间，min。

表 2—3 采空区的淹没系数K经验值

淹没时间/a	硬岩层/%	软岩层/%	
	徐州矿区	徐州矿区	峰峰矿区
1	35	19	22
2	25	16	—
5	15	5	—
7	—	—	2
10	10	4	—

选用淹没系数时应注意： 如果采空区回采时间相差较大，则淹没系数应根据采空区充水曲线的数值分别计算； 如果采空区内为多煤层开采，则应将各煤层的采空区淹没水量相加，其和为淹没总水量； 如果采空区内巷道较多，则应将巷道硐室的容积累加计算，然后求出总淹没水量。

（三）突水总水量的估算

在突水抢险过程中，需及时掌握从突水开始到某一时刻的突

水总水量。其具体计算方法如下：

1．算术迭加法

$$V = Q_1 t_1 + Q_2 t_2 + Q_3 t_3 + \dots \dots Q_n t_n$$

式中 V ——从突水开始到某一时刻止突水总体积， m^3 ；

$Q_1 \sim Q_n$ ——从突水开始分段计算突水的水量， m^3 / min ；

$t_1 \sim t_n$ ——从突水开始到某一时刻止，与上述突水量相对应的连续时间段， $t_1 + t_2 + t_3 + \dots \dots t_n = t$ ， min 。

2．曲线求积仪法

在直角坐标纸上，绘出涌水量变化曲线，其横坐标为时间，纵坐标为涌水量，绘出从突水开始到某一时刻涌水量变化曲线，在曲线图上用求积仪量出坐标轴与曲线所包围的整体面积，然后用该面积乘以单位面积所代表的水量，得出水淹没的总体积。

（三）淹没时间的预计

矿井突水后，应定时测量水量及水位水涨速度，并及时预测某一段时间内的水位上涨速度，这对抢险排水具有重要意义。

突水过程中，水量常呈不稳定状态，可用较简单的直线回归统计法进行推算。即

$$Q = a + b t$$

式中 Q ——涌（突）水量， m^3 / min ；

t ——涌（突）水时间， min ；

a 、 b ——待定系数。

在水量变化的情况下，矿井淹没水位上升时间可用下式计算：

$$t = \frac{V_1 + V_2}{Q_{平}}, min$$

式中 V_1 ——采空区的空隙体积， m^3 ；

V_2 ——已疏干的含水层的裂隙体积， m^3 ；

$Q_{平}$ ——预测到某时刻水量与最后一次实测水量的平均值， m^3 / min 。

思考题

1. 矿进突水面一般预兆是什么？
2. 采煤工作面底板突水的预兆是什么？
3. 松散孔隙充水含水层突水的预兆是什么？
4. 突水量实测的浮标法的基本原理是什么？
5. 突水量实测的水泵标定法的基本原理是什么？
6. 突水量实测的容积法的基本原理是什么？
7. 试述突水总水量估算的一般方法。

第三章 煤矿不同类型水害的防治

第一节 地表水害的防治

一、地表水害防治的重要性与实例分析

矿井水的主要来源是地表水和大气降水的渗透补给，即使含水层向矿井充水，其最终补给也是大气降水或地表水，充水含水层只不过是它的直接或间接通道罢了。未能接受大气降水和地表水补给或补给量较少的充水含水层，一般是易于疏干的。因此矿井防治水最重要的一个环节，就是防治地表水或大气降水的渗透补给。对于一些强充水含水层防治的着眼点也应从这方面考虑。

江苏徐州矿务局的贾汪矿区，其韩桥（包括韩桥、夏桥两井）、青山泉（包括青山泉一、二、三号3个井）两矿五井开采太原群（屯头系）煤层时，由于它是海陆交互相沉积，煤系总厚160m左右，夹薄至中厚层灰岩12层至14层，单层厚1m~5m，灰岩累计沉积厚度达45m，占煤系总厚的30%。灰岩充水含水层岩溶裂隙发育，岩溶率一般为1%~2.3%，最高可达5%~11.3%，单位涌水量一般为 $1\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}$ ~ $4\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}$ ，最高可达 $27.2\text{L}/\text{s}\cdot\text{m}$ ，渗透系数一般为 $7.7\text{m}/\text{d}$ ~ $46.9\text{m}/\text{d}$ ，最大可达 $225.4\text{m}/\text{d}$ ，严重威胁和影响17、20、21三个主采煤层和其他局部可采煤层的安全开采。1956年至1961年期间，青山泉二号井开采该煤系时，先后发生5次突水，其中3次局部淹井，2次全井被淹。雨季最大涌水量达 $95.16\text{m}^3/\text{min}$ ，单次最大突水量为 $27\text{m}^3/\text{min}$ ；夏桥井在开拓-45m石门试采这一煤系时，两次石门被淹（关水闸门），雨季最大涌水量 $74\text{m}^3/\text{min}$ ，单次最大涌水

量 $24.1\text{m}^3/\text{min}$ 。这些数据充分显示了矿井水文地质条件的复杂性。徐州矿务局根据大量水文地质资料的系统分析研究，认识到该矿区地下水动态受季节变化影响明显，具有“采得快，去得快”的特点。夏桥 - 45m石门1957年10月28日突水 $24.1\text{m}^3/\text{min}$ ，关门9h后距石门100m的钻孔水位上升20.1m，11月5日开闸放水，20h后距石门100m处的钻孔水位下降8.4m，暴雨4h后井下见黄水，涌水量可猛增4~5倍，而天晴3d~5d日后，井下水量就明显减小。这表明降雨和地表山洪汇聚是地下水的主要补给水源，矿区边界断层基本是隔水的，矿井涌水量大并非边界断层接受奥灰补给和F5断层延伸到徽山湖使太原群灰岩得到湖水补给的结果。最后经过采取了加强地面防治水工作的措施后，矿井水害终于得到治理。其具体治理措施和过程如下：

会同农田水利部门，系统调查山区水库、天然水系和地形，得知贾汪矿区汇水面积达 234.11km^2 ，其中山区 155.6km^2 ，占66.5%，地形标高 $+100\text{m} \sim +260\text{m}$ ；聚水的平原面积 78.51km^2 ，标高 $+28\text{m} \sim +34\text{m}$ ，大雨时泄水不畅，特别是矿山开采沉降区。这就形成了山区地面坡降大，山洪流速快，流量大（汇流时间仅 $30\text{min} \sim 50\text{min}$ ），平原区水系乱，河床比较小，易在开采沉降区积水，并沿太原群灰岩强烈渗漏井下。因此，有效的矿井防治水工作应该采取井下着眼、地面着手的方针，防、排、治相互结合。具体措施如下：

（1）在近山区，以蓄为主，蓄防结合。结合地方水土整治，建水库，挖鱼鳞坑植树，开挖山前顺水沟，进行水土保持，减少水土流失，尽量使山洪少下山或缓慢下山。

（2）在矿区外围，以防为主，排放结合。在太原群灰岩露头以外，挖排洪沟组成防截圈，截山洪内侵，使外围山洪集中汇向主干排洪道（有渗透段则需铺底防渗），排洪道下游设闸并建排洪站，一旦河水倒流可落闸向外排水。

（3）在矿区内部，以导流为主，导排结合，在低平的矿区内部，结合采动的低凹塌陷区分布情况，挖纵横交错的排洪道，使

进入矿区的地表水、平原区降水和矿井排水迅速泄出矿区。如一些低凹塌陷区有渗漏可能者，则设站排出，使其永不存水。

由于采取了上述一系列地面防治水措施，1962年以后，这一矿区的水害得到了根本性治理。在1963年的特大降水年份（降水高达1559.1mm，雨季降水1096.3mm），也保证了矿井的安全生产，平水年份则矿井涌水量明显减少。太原群煤系由-45m延伸开采到-180m、-270m水平，疏干水量仅 $5\text{m}^3/\text{min} \sim 6\text{m}^3/\text{min}$ ，没有发生任何大的涌（突）水事故。这是加强地面防治水工作既解决了矿井水害问题又保护了生态环境的一个成功范例。据统计，矿区对这项工程仅投资费用200万元，土石方约79万 m^3 ，经济效益十分显著。

二、地表水害防治工程应注意的主要问题

（1）充分调查当地的地形、地貌条件，编制地形地质图和基岩地形地质图，掌握基岩充水含水层出露及隐伏露头情况，正确确定地表分水岭、充水含水层的补给区，计算评价每一水系或排（防）洪沟渠的汇水面积，结合实际情况，进行矿坑充水条件分析。

（2）掌握不同降水强度下的地表和地下径流模数，一般要根据一定流域范围的岩层条件，进行连续几个水文年的小流域水均衡观测，以便取得实际资料。通常水利部门拥有比较全面的观测资料。

（3）根据煤层开采的“上三带”理论和导水冒落裂隙带发育高度规律以及开采盆地岩移塌陷规律，确定采动盆地裂缝角影响范围内的含（隔）水层的破坏情况，分析地表水和大气降水的入渗补给条件和范围，结合井上、下实际观测资料，设计地表防治水的具体工程。

（4）要充分利用当地气象资料，根据大气降雨规律及降雨强度，比较准确地预测防（排）洪渠、堤坝、桥涵的瞬时流量，以确定防（排）洪的标准和断面。

（5）掌握和圈定矿区历史最高洪水位的洪水淹及范围，并做

好汛期前的调查和汛期中的巡回观察。根据井下当年开采范围的扩大和以往影响地表的规律，分析可能出现的隐蔽古井筒或岩溶漏斗塌陷坑的范围。发现有陷落迹象的，应立即事前加以围堵或填打，即将可能灌水的井筒或塌陷坑口筑墙围起来，以防止洪水灌入，或将井筒塌陷坑口周围表土清理干净，填实空洞后，在坚实的基岩面修筑混凝土盖封闭严密。为了监测深部是否再次抽冒塌陷，应该设置观测管。

（6）根据水利工程的要求，设计沟渠堤坝的抗洪强度和排泄能力。地表防洪的关键是确定设计采用的洪峰流量和水位，要根据当地的气象资料，选定某一频率作为计算洪峰流量的标准。如设计洪峰流量过大，工程投资大，平时不起作用；但如设计洪峰流量过低，又容易失事，无法抗洪。一般应选用20年或30年、50年一遇的标准，对于百年一遇的洪峰另行考虑专门措施。对煤矿地面防治水工程来说，这一原则也基本适合。该工作与矿井涌水量预测评价一样，是地面防治水工程设计的重要参考依据，一般采用概率原理方法解决。

三、降水量、洪峰流量理论频率与理论量值的预测与预计

任何一个地区，降雨量是一种随机现象，不可能得到完全统一的结果，但根据多年实测值得到“机率论”所需的“随机系列”是可以出现一定规律性的。反映随机事件在客观上出现可能性的大小尺度称“机率”，其基本性质是 $0 \leq P_A \leq 1$ 。 P_A 是在一定条件下随机事件A的出现机率。

$$P_A = M / N$$

式中 M ——有利或不利于事件A的可能总数；

N ——可能的结果总数。

当 N 相当大时，所得的频率（随机事件A的出现次数）就可视为机率的近似估计值。需要指出的是：机率是一个理论值，是常量，是可能出现的程度，但其具体数值还得用频率来表示，即用数理统计方法来计算确定。防洪设计标准所采用的降小频率就是根据有足够 N 的实测结果组成的随机系列，用数理统计方

法计算确定的。频率抽象一般用重现期代替，如设计频率是1%，其重现期为百年一遇。

$$P_A = \frac{1}{100 + 1} \times 100\% = 0.0099 \times 100\% \\ \approx 0.01 \times 100\% = 1\% \\ n = 100 + 1; m = 1$$

用随机系列求频率并据此推求设计所需的特征值，一般应取得以下统计参数：

平均数 (\bar{x})： $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$ ，其中 x_i 为随机系列的各个样本。

中位数 (x')：随机系列按数值大小顺序排列的最中间部位的数值，往往与平均数接近。

众数 (x'')：随机系列按大小顺序排列时，中间部分一般出现较多的值，即一般所说的常年值。

离差系数，也称变差系数 (C_V)：用来比较随机系列反映的频率曲线离散度的，一般用均方差 () 与平均数的比值表示。即

$$C_V = \delta / \bar{x}, \text{ 而 } \delta = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)}$$

所以

$$C_V = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)} / \bar{x} = \sqrt{\sum (x_i / \bar{x} - 1)^2 / (n - 1)} \\ \text{令 } k = x_i / \bar{x} \text{ (模比系数或变化), 则}$$

$$C_V = \sqrt{\sum (k - 1)^2 / (n - 1)}$$

偏差系数 (C_S)：是系列值在平均值左右分布状态是否对称的反映，一般不会绝对对称。分布状态的偏态称偏差系数。

$$C_S = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{n \bar{x}^3 C_V^3} = \frac{\sum (k - 1)^3}{n C_V^3}$$

目前一般Cs按Cv若干倍值确定，不进行统计计算。因为根据100年的观测资料计算，其准确度较差。一般采用如下值：

暴雨： $C_s=3.5C_v$

降雨： $C_s=2C_v$

洪峰流量： $C_s=(3\sim 4)C_v$ （当 $C_v<0.5$ 时）

$C_s=(2\sim 3)C_v$ （当 $C_v>0.5$ 时）

有了随机系列，为了进行系列年限的外延，需要得出频率曲线（也称机率分布曲线），通常采用数学方法求得理论频率曲线。具体计算方法主要有二种：其一是皮尔逊型曲线；另一种是克里茨基—闵凯里曲线。一般采用皮尔逊型曲线计算。其具体计算公式如下：

$$X_p = (C_v + 1) X = K_p X$$
$$K_p = C_v + 1$$

式中 X_p ——频率为P的雨季或洪峰流量；

X ——雨量或洪峰流量随机系列的平均值；

C_v ——离差系数；

K_p ——频率为P的模比系数；

——离均系数。

严格地说，求得 X_p 后，还应计算其误差。一般直接计算 X_p 的平均方误差，其公式为

$$\delta_{X_p} = \frac{C_v}{K_p \sqrt{n}} \beta \times 100\%$$

是根据查图确定。一般计算 X_p 值时，不再计算其误差，但对于极其重要的 X_p 值，应该计算出其误差，在设计书中加以说明和修改。

皮尔逊工型理论频率曲线，大部分不适应经验数据，这主要是偏差系数的计算引起的。消除这一误差常用Cs值试定的办法，试后的曲线为最后结果。这一方法称为“适线法”。适线法主要有两种：一是求矩适线法；二是三点法。

关于沟渠排泄能力的计算、开采沉陷盆地的预计、导水冒裂高度预测评价和地表裂缝角及裂缝与地表水入渗条件等的分析，可参考水力计算公式和“三下开采规程”等有关计算评价方法解决，这里不再详细介绍。

四、危险区的确定和预防

根据以往地面防治水出现的特殊问题看，洪水聚集区内如有隐蔽古井筒突然陷落或隐蔽的岩溶陷落时，是最危险有害的，需要认真探查预测和防治。根据以往经验和现有技术装备，具体探测与预防内容主要包括：

（1）根据当地条件事前认真分析隐蔽古井和岩溶漏斗的分布规律，事前圈定危险区，采取相应的截洪、排洪措施和必要的抗灾抢险准备。

（2）要防止矸石、剥离土石方堆积在这种危险区内，增加治理和抢险的难度。

（3）要防止将涵洞或泄洪沟渠修筑在这种危险区内。

（4）根据真空吸蚀原理，可向这些危险区打一定的钻孔，揭露老窑区或岩溶裂隙，避免造成地下水流动出现真空、产生巨大负压、强化塌陷。

（5）打一定钻孔进行地下水动态监测，根据地下水水位升降和相关的补给条件，分析地下可能存在的充水和充气空间。

（6）进行地表物探，查明老窑区和岩溶裂隙分布状况，有条件时可圈定隐蔽古井筒或岩溶漏斗位置，以便进一步查证治理。

五、滑坡泥石流的研究与防治

煤矿区的地表滑坡、泥石流是煤矿地面水害形式之一，它的形成和发展与水有关，这些灾害一旦发生，即可破坏地表水系和防排洪工程，加剧水害的威胁。因此，需要把它们作为地表水害之一，加以研究和治理。

所谓滑坡、泥石流，是指在山坡地段，在一定自然条件下，如地层结构、岩性、水文地质和构造展布等特定条件下，因地下水活动、河流冲刷、人工切坡、地震、采空岩移和载体加重等，

使大量土体或岩体在重力作用下沿一定的软弱面整体向下滑动的现象。当土体或岩体碎块与山洪一起迅速流动时就成为泥石流。滑坡和泥石流能迅速改变地形地貌，破坏地表建（构）筑物，阻塞水系沟渠。它往往在雨季时活动加剧，引发不可抗拒的突发性地质灾害。因此必须事前研究和防范。

滑坡有堆积层、黄土、粘土类土质滑坡和岩层滑坡之分；岩层滑坡又可划分为顺层滑坡和切层滑坡；按滑移面的深度，有浅、中、深层滑坡之分；按产生的时间，有新滑坡、古滑坡和死滑坡、活滑坡、暂时稳定滑坡之分；按活动方式，有牵引式和推移式之分，牵引式是下部先牵引上部滑动，推移式是上部（高处）先动，然后推动下部滑动。观察研究时必须认真区分这些特点才能加深认识，采取相应的防治措施。

1．观察研究滑坡要注意的要素

- （1）滑体（整个滑坡体）的形状和大小；
- （2）滑坡周边的具体位置；
- （3）滑坡壁（滑坡体与未滑动岩体或土体的破裂壁）；
- （4）滑坡台阶，整个滑坡体因滑动速度差异可形成不同的台阶，反坡台阶往往是积水洼池；
- （5）滑动面调查，它的发育往往与构造、层理、软弱层、粘土层等结构面有关；
- （6）滑动带，它是指滑面以上受滑动揉皱的岩（土）层带；
- （7）滑坡床，是指依附滑坡体的下伏不动体；
- （8）主滑线，是指下滑速度最快的纵向线，它代表滑动方向，它可以是直线，也可以是曲线；
- （9）拉张缝，是指与不动体拉开的缝或滑体内速度不同拉开的缝；
- （10）剪切缝，是指滑体中部和两侧相对于不动体分界处形成的剪切裂缝；
- （11）鼓张缝，是指下部受阻滑体鼓起形成的张裂缝；
- （12）扇形张裂缝，是指滑舌部分到下部开阔扩展地带，向

两侧扩张形成的基本平行滑动方向的放射状裂缝；

(13) 滑坡舌，是指滑坡的前沿部分；

(14) 封闭洼地，是指滑体移动后形成的洼地，易积水，可强化滑坡活动。

观察并描述上述形态和要素是研究滑坡的第一步。

2. 形成滑坡的一般原因和条件

(1) 地貌：斜坡形态，地层结构又属软硬层相间交互，倾角又在 20° 以上；对于风化破碎的堆积物，其坡度在 40° 以上；含块石多的河岸，其坡度在 25° 以上；孤立凸出的山包，基岩面洼槽状并向低处倾斜或微倾；

(2) 岩层：属页岩、泥灰岩、云母片岩、滑石片岩及易风化、遇水膨胀的粘土组成的地层，层理发育，层面光滑易为地表水入渗；

(3) 构造：有断层面、节理面、褶皱两翼倾余或不整合面，且向临空面倾斜，倾角又较陡；

(4) 气候：寒热干湿变化大，易于降低岩石强度和稳定性，风化破碎速度快；

(5) 地表水、地下水作用：使土体岩体容量加大，软化，受到溶蚀、冲淘，润滑层面及其他软弱结构面，水的静压和流动压力、水在裂隙中的冻胀和冲刷等均影响其稳定性；

(6) 人为因素：破坏植被，开挖切坡，引水渗漏，爆破和机械振动，堆积载体增加负荷，采空岩移等；

(7) 地震：引起山体开裂和震动。

对滑坡、泥石流的防治首先要从战略上着眼，做好观察分析，并作出预测报告，认识古滑坡和可能形成新滑坡的条件，圈定应予注意的地点和范围。

3. 防治措施

(1) 不在古滑坡和可能形成新滑坡的地点兴建工程建筑；

(2) 不在易形成滑坡的岩体上堆积矸石、剥离的土方，增加其负荷量；

(3) 兴建工程建筑时做好工程地质和水文地质勘察，设计上要防止开挖可能诱发滑坡的沟渠或阻塞某些沟渠，引起地表水或地下水径流方向的改变；

(4) 采矿时要运用开采沉陷的岩移规律，尽可能避免形成与滑坡方向一致的岩移；根据具体条件在矿井划分、开拓水平和采区划分上有针对性的安排，使沉陷盆地的形成和采动岩移向着不利于滑坡的方向发展。

对于已经出现的滑坡，应采取以下措施：

(1) 在滑坡体外围修筑截水沟、排洪沟，使地表水不流入滑坡体或渗入滑坡体；

(2) 开挖疏水隧道，疏干加剧滑坡体活动的地下水；

(3) 修筑抗滑墙、抗滑桩，取土减重，维持应力平衡；

(4) 注浆固化或爆破扰动，改变滑动方向；

(5) 设置观测点进行长期监测；

(6) 如为深滑坡则需钻探工作，查明深部情况，采取相应防治对策。

第二节 老窑水害的防治

一、防治老窑水的必要性

积存在煤层采空区和废井巷中的水，尤其是年代久远缺乏足够资料的这种老窑积水，是煤矿生产建设中最危险的水患之一。虽然老窑水一般积存量较小，只有几吨或几十吨，但一旦意外接近或溃出，往往造成人身伤亡并摧毁溃水所流经的井巷工程，造成巨大的经济损失。

老窑积水水害，不仅在老窑或地方小井多的矿井存在，在国有大型煤矿自采自掘的废巷老塘，因种种原因在本该无水的地点也意外积存了或多或少的水体，它们意外的溃出也会伤人毁物。因此，对于所有地下开采的矿井，不分东南西北和水文地质条件的异同，均会遇到老窑水害问题。

根据以往防治老窑积水的经验和教训，对这类水害的主要防治对策就是要严格执行探放水制度，以根除水患。在特定条件下可先隔后放，如老窑水与地表水体或强充水含水层存在密切的水力联系，探放后可能给矿区带来长期的排水负担和相应的突水危险时，则可先行隔离，留待矿井后期处理，但隔离煤柱留设必须绝对可靠，并要注意沿煤层顶、底板岩层的裂隙水绕流问题。

二、老窑水防治的技术思路

防治老窑积水要解决好以下七个方面的问题：

（一）克服麻痹侥幸心理，避免疏忽大意

由于老窑积水的分布规律不易掌握，又带有灾害的特点，一旦警惕不高，很简单的问题也会酿成惨痛的水害事故。因此，必须采取严肃慎重和一丝不苟的工作态度，坚持“全面分析，逐头逐面排查，多找疑点，有疑必探”的基本原则。老窑水害严重矿区的防治经验是：

（1）人员再紧，探放水工作必须专人负责；

（2）有疑必探，采掘工程没有把握必须探水，如探水工作影响了采掘工程，可采取其他补救措施，但决不能放松这一工作；

（3）老窑水小也不可大意，应严格按照规章制度施工，把水放出来才可生产。

下面以两个典型事件为例，说明克服侥幸心理、没有把握就坚决执行探水制度的重要性。

××矿×井开采浅部十层煤，煤厚1.5m~1.8m，大片老窑积水已经探放出来。当进入老窑区回收残留煤时，发现一块见方30余米的煤柱，根据对其四周的观察，确无积水，且上距20m的九层煤也已探明并已回收了残煤，证明确无积水。但在该煤柱的一壁，局部地方却有发潮现象。当时普遍认为该地区煤层距地表仅60m，地面又正是排水沟，是水沟积水沿风化和采动裂隙下渗造成煤壁发潮的，周围巷道比较潮湿就是证明。30余米一块见方的小煤柱内决不可能存在老窑积水的威胁，不必大惊小怪。但分工探放水的专职工作人员总是放心不下，多方想疑

点，最后提出一个怀疑，即这块小煤柱里是否有上部九层煤向下做的“窝口”呢？即近距离煤层是否存在向下或向上探明相邻煤层情况的小洞子呢？老窑开采往往存在这种情况。若有这种“窝口”积几十吨水，它的突然溃出也会对矿井造成威胁。当时探与不探争论很大，但由于该矿坚持了上述三条经验和基本原则，矿上主要领导思想坚定，最后打钻探水。结果竟放出200余吨老窑积水。放水后经过观察，发现原来煤柱里有一个60余米深的古井筒，上部已严重坍塌，下部都空着，看来这是古人掏井当时刚采十层煤，井口便发生变故不能维护而报废，因年代久远，地表已无井筒痕迹，但下部存在一个孤零零的隐蔽水柱，水压高度达0.3MPa。如有工作人员在附近作业，积水突然溃出，显然会造成人身伤亡事故。

另有一个矿，需从九层煤打一反上山石门透七层煤。据调查资料显示，石门透煤点以外100余米处存在老窑积水。两煤层间距33m，设计反上山石门倾角23°，斜长85m，为了“以防万一”，规定在上山掘过60m、垂距七煤12m左右的位置，超前打钻探水。但当上山前进到55m处，发现顶板砂岩有淋水。是否立即停止前进打钻探水？争论很大，大家普遍认为，迎头层位正常，正是七煤底板13m~14m的砂岩底面，砂岩裂隙有点淋水是正常现象，应该按原设计前进至60m的位置再打钻，因积水范围在预定透煤点以外还有100m多呢，原位置探水不过是“以防万一”罢了，何必“以防万一”后又来个“以防万一”呢？现在就开始探水，钻孔长，工程量大，边探边掘，重复按钻次数增多，既影响生产开拓，又无实际必要。但分管探放水的工作人员认为，砂岩淋水虽是正常现象，但此处淋水水量较大，是否临近老窑积水的表现呢？另外，迟早也得要探水，提前探一下不是更保险了吗？矿领导也根据“有疑必探”和“没有把握就探”的基本原则，同意了打钻探水的意见，结果第一个探水钻孔仅过10.6m就透老窑，放出积水62000余吨。事后查明，在该迎头前面4m多处，分布一落差9m的正断层，对盘七层煤已下降到

迎头跟，积水垂距迎头仅2m。显然，一次难以估量损失的重大透水事故在“以防万一”之后再来了一个“以防万一”的慎重工作态度下，得以避免。

（二）认真分析老窑积水的调查资料

老窑和地方小煤矿开采的积水范围，由于缺乏准确的测绘资料，是老窑水防治难度大且易于发生水害的主要原因。即使是自采自掘有准确测绘资料的国有矿山的老塘废巷积水，也存在巷道长度记录不准、漏记小盲洞、意外冒顶阻水、下层采动沉陷重新积水等情况。因此，对老窑积水调查资料的系统分析和正确使用，是防治这类水害事故的一个重要关键环节。

当然，今后不论大井、小井，只要地下掘进采煤，就必须要求积累准确系统的测绘资料，并做好校对审核工作，标明填图测绘日期，长期存档保管，这些是今后治理此类水害事故的基础。这一点必须引起各级煤矿生产管理部门的高度重视，把它作为一项安全战略措施来抓，防止继续忽视“准确测绘填图”而遗留后患。

对老窑积水资料的调查，一定要严肃认真，深入细致，确切地加以记录，并且要反复分析核实，判别可靠程度，指出疑点和问题。最后，必须依据资料的可靠程度，本着“留有余地，以防万一”的原则，在有关图纸上圈出积水线，积水线外推50m~150m划定探水线，采掘工程进入探水线必须超前探水，对于大片积水区，必要时还要沿探水线外推50m~100m，作为警戒线。采掘工程进入警戒线，必须向不同方向打警戒性探孔，初步控制层位、构造和积水的可能性。对于有测绘资料作依据的积水区，也要划定积水线，外推30m~60m圈出探水线。上述资料和“三线”，如同水文地质勘探资料，要经过逐级审定，然后作为老窑积水防治的依据。

对老窑水调查资料不慎重确定“三线”，并不明确标定在有关图纸上，往往会造成严重失误。但即使有了资料和“三线”分布图，应用时仍要随时警惕，不能绝对化、盲目自信，而要根据

现场的新情况，及时重新分析判断或补充调查。

在××矿开采四层煤时，根据调查资料和日伪时期留下的采掘工程实测图，分别圈定了老窑积水区和探水线。当时大家一致认为这一资料是比较可靠的，既有当事人的确切回忆和口述记录，又有老图纸。但在实际生产开拓时，距探水线还有200多米，距积水区远达300m，迎头却出现了突水征兆，由于含铁高的老窑积水遇空气氧化后释放出 Fe_2O_3 ，故顶板渗水挂红。面对这一新情况，不少人仍认为调查资料应该相信，它既有人证又有物证，不会出入太大，四层煤顶板是薄层灰岩，老窑积水沿灰岩裂隙渗流二三百米是完全可能的，我们已充分留有余地，继续掘进到探水线再探水也不迟。但另一部分技术人员则认为，人证、物证不如实证，已有出水现象就必须慎重，应当停止掘进，进一步调查核实，采取对应措施。于是扩大范围，作进一步调查分析，对可以提供线索的老工人逐一访问。结果一个老工人一看日伪时期的老图纸便说“这可能是日本鬼子1943年的图纸，在1944年他们又在这一带派人打了半年多洞子，从井口走到迎头至少有二里多路。”核实的结果，积水巷道确实就在迎头不远处，故立即安钻探水，30余米处见老窑，放水十余万吨。当时在这二区域井下有200多人同时作业，如果发生透水，其结果不堪设想。

另有一矿曾发生这样一起水害：一片老窑积水已经探放，经过一个雨季的检验也没有问题，无地表水渗漏现象。于是就布置了巷道进入老窑区开采残留煤炭，但有一日却突然发现井下有害气体迅速超限，同时溃出一股积水，淹没了已恢复的巷道和泵房，有两人被有害气体窒息未能脱险，其他人员迅速撤出，避免了一起重大伤亡事故。事后查明，由于这片老窑区与相邻的另一老窑之间的矿界煤柱太薄，老窑积水放出后，与其相邻的老窑积水对于矿界煤柱的压力相对加大，因强度不够而发生突然溃破。

许多实例说明，老窑积水的调查一定要全面，记录要清楚，有多少线索尽量访问多少，并且要询问清楚被访对象在现场的起

止年月，当时的工种和现场情况，以便仔细分析和相互对证。对于老图纸，一定要注意核定成图或填图的截止时间，要充分估计有关误差。即使资料被认为是相当可靠，使用时也要随时警惕，不能绝对化。一般说，老窑积水调查时，要特别注意以下几点：

（1）井口的确切位置、井深和开采层别。有无“窝口”或“暗井”、“反上（下）山石门或穿层石门”、因断层对接原因而开采相邻的其他煤层等，要防止“张冠李戴”把井位弄错。

（2）煤厚和煤层特征，确切判定实际开采层别，防止把老窑积水圈错层。并要分析了解丢顶煤、撇底台或分层开采情况。

（3）井巷开拓方向，前进距离，确定开采范围，画出示意图，作出详细记录，说明分析审核意见，指出不清楚的疑点，引起利用资料者的注意。

（4）积水量和水位标高，老窑之间或同一老窑各片积水之间隔水煤柱的宽度及上下层的重叠情况。

（5）积水区与上下煤层充水含水层之间的关系，与地表建筑物及河沟洼地之间的关系，断层及岩浆岩分布和积水被切割位移情况。

（6）积水区区域的正常涌水量、最大涌大量、补给水源和水质情况。

（三）制订合理有效的防治对策

老窑和地方矿井多为复杂的矿区，分管安全的领导和技术负责人要用相当的精力来千方百计地了解掌握本矿井周围的老窑积水分布情况、各片积水与本矿井各采区之间的隔离情况。要组织有关人员编制有关图件，全盘安排开拓部署和采掘工程。简单地讲，老窑积水的主要防治方法就是“探放”。但放与不放？何时探放？怎样探放？这些均是很值得探讨研究的课题，需要从安全生产的全局出发，根据矿井和老窑积水的具体条件，权衡利弊，作出战略性决策和安排。具体包括以下几个方面：

（1）当老窑积水与地表水、强充水含水层存在水力联系且有较大的经常性补给水量时，应防止绕流和渗漏，采取“先隔后

放”的策略，避开地表水和强充水含水层的威胁，留待矿区后期处理，以减轻矿井长期的排水负担。留设的防隔水煤柱要适当加大，绝对可靠，并在整体开拓部署上创造今后合理回收的有利条件。

（2）在必须采用探放水方法才能查明老窑积水条件的情况下，应该清楚地意识到，探放水的区域就是危险区域。因此，必须全盘考虑设置水闸门（墙）、安全撤人通道和通向地面的两个以上安全出口，考虑流水和排放瓦斯的具体路线与措施；加强和维护排水系统，以保证足够的排水能力；确定适当的放水量和放水时间，以避开雨季和其他原因形成的矿井涌水高峰期；加强地面防洪，防止隐蔽古井筒或采动裂隙突然塌陷灌水；预计地表可能出现的沉陷裂缝情况，分析对建筑物的影响等。

（3）因地制宜，提出科学合理和确保安全的探放水设计。井巷工程和采区设计要从有利于探放水角度考虑，对水量大、水头高的积水区，一定要设计采用隔离式的探放水措施，在专用的石门峒室、地面或井下打穿层钻孔至积水区，利用专用流水巷放水，等把大部分积水放出、水头降低之后，再沿煤层探放残留的小片积水。隔离式放水必须要有足够的岩柱，有防止冲刷扩大和控制水量的具体措施，安装套管、水门时，要根据水质情况制订防腐措施。远探远放，这是防止此类水害事故的一个战略原则。

（4）在全面了解和掌握老窑积水周围情况的基础上，制订具体措施及时了解周围的采掘工程与积水区关系的变化，抓住重点，既警惕近处又要防止远处水害的出现。例如，××矿井曾于1982年12月15日发生了一次祸从天降的重大水害事故。在该矿井东部有一地方煤矿，这个煤矿向东掘进了一条600余米的巷道，当巷道接近了积水80余万吨的老窑时，突然发生透水，老窑水迅速淹没了2个小井后，以大于 $150\text{m}^3/\text{min}$ 的流量冲向该矿井底大巷，不到3h主泵房被淹，封了井底大门。这时全井有461人被围困在井下，总水量15万t，主要下山全部淹没。老窑水从3km以外突然飞来，“真是祸从天降”。值得庆幸的是，该

矿有可供人员步行撤出的南斜井和西风井梯子间，经奋力抢救，迅速停风启用风井梯子间，才避免了一场重大人身伤亡事故。这一事故教训说明，加强地方小井的管理十分重要，要全面了解情况，有针对性地提高警惕，既要防治自身的水害危险，又要高度注意周围矿山的水害。

（四）严密组织探水掘进

老窑积水有分散、孤立和隐蔽的特点，水体的空间分布几何形态非常复杂，往往很不确切。防治它们的唯一有效手段就是探水掘进。在有足够帮距、超前距和控制密度的钻孔掩护下，掘进巷道逐步接近它，最后达到发现之的目的。然后利用钻孔将老窑积水放出来。但是，如果意外接近它们，老窑水的突然喷出就会酿成水害事故。

根据积水层的赋存条件和采掘巷道的相互关系，探水钻孔必须在巷道的前方、两帮和顶、底都有布置，保证有足够的掩护距离和密度，防止从探水钻孔之间漏过老窑。规程规定：超前距一般是10m~20m，帮距10m~15m，超前掩护的扇面形钻孔，终孔间距在平面上不大于3m，厚煤层在剖面上不大于1.5m。在规程规定的基础上，各矿务局根据具体的探水水量大小和水压高低，均规定了不同的超前距和帮距。钻孔密度在警戒性探水掘进时不受此限制，但主要是针对在怀疑方向钻探搜索性的长孔。在正规探水掘进时，必须严格按照规定办。探水孔之间如用物探手段证实无老窑，资料确信可靠，探水孔密度可适当放宽。

探水掘进应该注意以下几个方面：

（1）探水眼的方位、倾角、深度要验收，保证准确无误，连同钻孔穿过煤层或顶、底板岩层的深度和长度，准确地填绘在大比例尺的探水图上（1：200或1：500），并分析漏失老洞子的可能性。这些可作为批准探水巷道前进的方位和允许前进距离的依据。掘进时，方位和距离要经常检查和丈量，防止偏离和超过。

（2）探水眼要安装套管和水门，钻进前都要进行耐压试验，防止失效，保证一旦探透积水可有效控制。

(3) 探水迎头及顶、帮必须加强支护，钻机必须安装牢固。

(4) 探水地点有安全撤人的避灾路线，有向受其威胁的相邻地点发出警报信号的装置，有定期检查有害气体的制度。

(5) 有安全操作规程，规定所有应注意的事项。

(五) 特别注意近探近放和贯通积水巷道或积水区

当积水位置很明确或通过“探水掘进”确已接近积水并进行近距离探放水时，有些问题需要特别注意。情况复杂的积水就在身边，稍有不慎，水害立即可能发生。

例如，某矿在901正五上山钻进，探放802工作面自采区的老塘积水，13.9m透老窑，出水量很小，认为是自采区，资料可靠，经矿总工程师同意，留6m超前距后再掘进7.9m，进行第二次安钻探水，因钻孔方位改变，9.3m见老窑，水量仍不大，于是由矿副总工程师带队到现场观察并开钻打孔试探，开始打孔时在钻杆搅动下沿钻孔有煤浆涌出，有压力，巷道振动，煤壁层层剥落，只好停钻观察。停了一段时间，巷道压力趋于稳定，又第二次开动钻机，推进8.4m，钻孔涌水量加大为50m³/h，水清无压力，出水正常，到了第二日，水量又减少为20m³/h。分析认为，大水已经放出，残存水量已经不多，矿总工程师第二次带人到现场透孔试探，检查是淤塞还是积水确已放尽，当钻杆推进3.6m后又拔出0.5m时，迎头突然涌水，6250m³积水一涌而出，摧毁-560水平的车场硐室300m，包括总工程师在内的28人当际遇险，2人侥幸当时逃出，18人因巷道垮落被困井下数日后救出，另有8人死亡。这次事故的发生，主要原因是近探近放积水，同时积水区底部由于有淤泥煤粉等杂物沉积，对放水孔形成胶塞作用，钻孔不搅动不出水，造成了积水大部分已经放尽的假象。

许多水害案例表明，近探近放积水和贯通积水巷极不安全，必须确保积水及煤泥浆确已放尽才行。发现近距离探到积水，必须迅速加固钻孔周围及巷道顶帮，另选安全地点，在较远处打孔放水或扫孔冲淤，通捣清淤时要制定防钻孔刷大、突然来压顶出

钻杆等安全措施。

在老窑边缘，积水形状是变化多端、极不规则的，峒子或宽或窄，或高或底，可能留顶撇底，左右拐弯或多条峒子交错，可能局部冒落阻水或积存淤泥，使积水始终放不尽或重新积水。因此，在掘透老窑区时，必须在放水孔周围补打钻孔，保证在平面和剖面上都不漏掉积水峒子，各钻孔都能保证进出风，证明确无积水和有害气体后，方可沿钻孔标高以上掘透。

（六）重视自采自掘采空区废巷积水的探放

这是一个普遍问题，千万不能认为资料相对可靠，就掉以轻心，必须以下几个方面：

（1）对原不积水的区域要分析重新积水的条件和可能，经常圈定积水区。

（2）要分析测绘精度和误差，注意可能少填、漏填的峒子。

（3）不过分自信，盲目进行近探近放。

例如，××矿自掘一煤层下山，因故暂停。下山掘进220m，图上却标200m，有关人员记忆也是200m左右。该下山底板下的煤层已采，采动裂隙发育，不可能积水。另一巷道与之接近时，为了以防万一，在座底部位（200m处）打了一探眼，为干空，认为已经探明证实（设计不合理，无孔检查下部是否是实炭区），故巷道继续向前掘进，结果透水200t，造成了人员伤亡。事后查明，下山实际掘进220m，下部10余米因煤粉淤泥将导水裂隙封堵而积水。

（七）钻、物探结合问题

老窑水的探放，工作量很大，尤其是探水掘进，确实耗工耗时，应该积极采用物探手段，帮助圈定积水区，减少超前探水的工作量，开展探水孔顶端的孔间透视，以减少钻孔密度。但是，钻、物探结合，必须要以钻探为主，物探资料要有钻孔验证。

第三节 松散孔隙水害的防治

一、主要研究内容

查清条件是主要的研究内容之一。除查明一般条件外，具体工程地点（如立井筒、斜井、上回风道位置、采区、采煤工作面等）也必须具体查明，如研究区的松散沉积层的结构和厚度、松散沉积物之下基岩的结构和厚度以及两者之间的接触关系等。由于原始基岩风化面的高低起伏不平，且具有不同的产状，甚至被断层带切割位移，要具体查明其接触关系，难度确实很大。当松散沉积物沉积较厚时，由于地层松软、胶结不良，钻探取芯困难，加之地层相变快，要查明松散层的结构、层厚和平面上的展布规律也不容易。但为了有效地防治矿井松散孔隙地下水，必须千方百计地查明它。下面以各矿区的典型防治水工程实践为例，说明查清基本条件对有效防治松散孔隙地下水的巨大作用和效益。

例 1 在肥城矿区，经过大量细致的勘探和分析工作，查明在厚 10m ~ 120m 松散沉积层底部有一层稳定的结构致密且塑性强的亚粘土层沉积。这个亚粘土层厚 5m ~ 75m，浅部薄，深部厚，具有良好的隔水性能。由于该亚粘土层可有效地隔离上覆松散孔隙地下水、地表水、大气降水和采动下沉盆地积水对煤系基岩充水含水层和矿井的补给，大大简化了矿区上覆松散孔隙地下水和其他有关水体的防治问题。

例 2 焦作矿区经过大量工作，发现了松散沉积层与基岩接触面的几个进水天窗，如九里山矿 L8 灰岩隐伏露头走向长 8km，但与松散孔隙底砾含水层直接接触段只有 1.5km ~ 2km，主要补给天窗位于在 13 ~ 15 勘深线之间的近 800m 范围。这 800m 中又可分为两个主要集中进水段，一段为浅 21 号孔至 1382 孔，另一段为 14 - 6 孔至 1481 孔之间，地下水流速达 300m / h ~ 500 m / h。经过初步采取了注浆堵水措施后，减少了地表和大气降水

对矿井的补给水量 $7\text{m}^3/\text{min} \sim 8\text{m}^3/\text{min}$ 。

例 3 徐州矿务局查明了贾汪矿区松散沉积层覆盖下的太原群灰岩以地表水和大气降水补给为主，经加强地面防治水工作，根治了水患，解放了太原群内的煤炭储量近2亿 t。松散的新生代地层虽然厚度不大，但大气降水的入渗系数很大，它可以首先把大气降水吸收储存起来，而后再源源不断补给与之接触的其他基岩充水含水层。这种补给形式在我国其他矿区具有代表性，应充分注意。

例 4 淮南潘集矿区利用以往勘探资料，初步分析了新生代松散沉积层的结构和隔水层分布情况，认为下部含水层补给有限，以静储量为主，下部隔水层普遍发育，仅在局部地段存在“天窗”。因此，提出了疏干下部含水层、根治水患、提高开采上限的治水方案设计。经生产实际检验，这个方案获得成功，解放出下部充水含水层1亿 t的压煤，增采防隔水煤柱4800万 t。

二、查明条件的主要方法手段

(1) 在煤田地质勘探阶段，按照规范规定，必须要达到一定密度的勘探钻孔。这些地质孔都必须穿过新生代地层，因此，在这个阶段加强新生代松散沉积地层的研究，可取得很好的成果。1986年9月颁布的《煤炭资源地质勘探规范》第5.3.4条明确规定：各类充水矿床被厚层松散沉积物覆盖时，应在松散地层中划分出含水层与隔水层，着重研究其底部含（隔）水层的厚度、富水性（隔水性）及其分布规律等，并研究松散含水层与地表水体、基岩充水含水层之间的水力联系，评价其对矿井开采的影响。第5.4.1条规定：对孔隙充水矿床，应进行地表水体调查及长期观测，了解其与直接充水的新生代松散含水层之间的水力联系；利用钻孔取芯与测井资料，配合地面物探，查明含（隔）水层的岩性、厚度及其变化规律情况；利用水文地质钻孔，结合部分地质勘探钻孔，编制水文地质剖面图；进行抽水试验，采取岩芯土样进行颗料分析和物理力学试验以及水理性质试验等。同时，查明直接充水含水层的富水性及其变化情况，查明与开采有

关岩层的物理力学和水理性质，编制基岩地形、地质图，明确基岩充水含水层隐伏露头与上覆松散孔隙含水层之间的接触关系。

从矿井防治水的查明条件角度来看，在地质勘探阶段必须注意以下几个方面的工作：

要充分利用地质勘探钻孔，切实取好松散沉积层的岩芯。目前绳索取芯技术已发展起来，对松散地层最好利用绳索取芯技术，以提高岩芯采取率，做好岩芯观察描述，岩（土）样颗粒分析和水理性质试验，防止无芯钻进。

切实做好地质勘探孔在松散地层钻进过程中的简易水文观测，特别是漏失量和泥浆消耗量的观测，要利用全孔结束最后提套管的机会，针对含（隔）水层，分层逐段上提套管，进行洗孔和压水试验，准确获取含（隔）水层的水文地质参数。徐州矿务局在新河煤矿二号井进行松散沉积层的生产补勘孔钻进过程中，采用压水试验法较理想地获取了隔水层的隔水性能、含水层的稳定水位、抬高水头后的注水量、单位注水量和渗透系数、影响半径等水文地质数据，有效地指导了河下采煤的生产实践，这是一种可取的简便易行的水文地质试验方法。

在利用地质勘探孔较普遍取得压（抽）水试验资料的基础上，有针对性地布置大口径抽水试验孔，进行单孔和群孔大流量抽水，以解决疏水量和各充水含水层之间水力联系的评价问题。这一工作在勘探阶段进行效果比较好，可以保留这些大口径钻孔作为生产阶段的防治水工程孔，对今后有用的观测孔也可以保留，这可以有效地节约大量的防治水工程费用。

地面物探对控制基岩的断层和界面比较有效，在勘探阶段就应加密测点和测线，解决好基岩面的起伏和断裂切割情况的勘探问题。

勘探阶段不仅要対厚层松散沉积层覆盖的矿床做好上述查条件的勘探工作，对于松散沉积层厚度薄、范围小的这类矿床也应认真做好工作。因为对每一个矿井而言，这一地层是吸收地表和大气降水、储存补给基岩充水含水层和矿井的关键层，也可

能是切断上述补给的关键层，因此，对矿井的充水条件起着重要的控制作用。

（2）针对防治水工程需要，除充分利用上述勘探阶段的资料外，必要时还要补做具有针对性的“查条件”工作。这与每个矿区或矿井的开拓部署和具体的水文地质条件有关，与选择的防治水方案也有关。例如：

以留设防隔水煤岩柱为例，查条件要针对：松散沉积层底部是否沉积有隔水层，所留岩柱的岩性、厚度、力学强度和隔水性能，底部隔水层是否存在“天窗”，天窗的范围和可能的进水量等。焦作九里山矿通过利用井下突水点控制放水，观测动态变化，进行连通试验，采取高分辨率地震和电法勘探，补勘水文地质钻孔进行孔间透视等手段，初步查明了在L8灰岩露头走向长8km的段距内，松散底砾岩直接与其接触的仅有1.5km~2km，并且在这1.5km~2km的段距内，集中进水带只是800m长，800m又可分为两个强迳流段。这些查条件的成功方法是值得总结分析的。

以疏水降压或疏干为手段和目的时，查条件要针对：下部含水层、下部隔水层、中部隔水层和上部含水层相互之间的越流补给条件，重点解决与疏干有关的边界条件、补给量和疏干水量评价问题。淮南矿务局为了解决潘集矿区新生界下部含水层的疏干问题，除系统分析了已有的勘探资料外，还设计了防治水工程的补充勘探。

首先利用勘探阶段的194个钻孔资料，编制了新生界沉积的地层对比图，较确切地掌握了新生界地层的总厚度为149.0m~472.62m，平均厚度307.5m，主要可划分为下列层段：

上部含水层：沉积厚度为69.53m~133.6m，平均厚95.7m（162孔）；上部隔水层：厚度为0.77m~30.25m，平均6.39m（162孔）；中部含水层：沉积厚度为40.84m~227.5m，平均145.16m（160孔）；中部隔水层：厚度为14.81m~78.73m，平均厚43.39m（167孔）；下部含水层上层：厚度为0~43.95

m，平均20.40m（183孔）；下部含水层上隔水层：厚度为0~28.39m，平均10.10m（163孔）；下部含水层中层：厚度为0~45.03m，平均20.73m（122孔）；下部含水层中隔水层：厚度0~14.67m，平均4.39m（57孔）；下部含水层下层：厚度为0~22.10m，平均7.59m（49孔）；下部含水层底隔水层：厚度为0~3.04m，平均厚2.01m（3孔）。基岩标高为-129.35m~450.2m。

通过地层相互对比和多条地质剖面分析，初步掌握了下部含水层的展布规律，即南部、东部和北部明龙山一带为基岩古隆起带，下部含水层变薄乃至消失，只在东北、西北两个基岩凹地发育，有西北、东北两个进水口，其余为尖灭隔水边界，下部含水层的中、下层分布面积为80km²，下部含水层上层为216km²。根据勘探阶段下部含水层唯一的一个大口径孔的抽水试验资料分析，初步估算：下部含水层的中下层弹性储量为1613万m³，静储量2234.43万m³，下部含水层的上层弹性储量为432万m³，静储量2632.23万m³，越流进水量为300m³/h~500m³/h。

据 线古河床区的水文44号孔抽水试验资料，当抽水量为238m³/h时的水位降深达30m，压力传导速度806m/h~3800m/h，沿古河床东西向扩展13km以上，导水性好。下部含水层主要分布在凹槽区，顶底板呈倾斜产状，坡降1%，有利于下游长期疏水、上游加速疏干。中部隔水层沉积厚度稳定，有利于阻止上部含水层与中部含水层之间的越流补给。这些基本条件的确认为疏干防治水工程的设计提供了重要的科学依据。

根据上述勘探资料的条件分析，提出了疏干防治水工程需要补充查条件，具体内容包括：补打地面大口径抽水孔42个，它们既可作为水文地质条件的补充勘探孔，又可用作实际的疏水降压；为进一步明确边界条件和完善水文地质剖面，补充进行了网线总长210km的地震勘探，64km的电磁频率测深，补打地下水位动态观测孔43个，边界控制兼长观孔14个，煤层顶板及露

头控制及兼长观孔12个，大口径检查兼观测孔41个，水文补勘小口径孔60个，井下孔14个，上述钻孔的控制面积达300km²。根据工程进展情况，同时考虑了地面至井下直通式放水孔2个，直径为1.2m的疏水井3个，确保了防治水工程补充勘探的效果。这一查条件的技术思路既考虑了经济节约又保证了防治水工程的效果，是值得学习参考的。

（3）如果条件相对清楚，可以采取“以治带查”、“查治结合”的方针进行，这样可取得经济节约、快速见效的效果。新生界地层都直接展布在地表，其分布范围与周边的接触关系比较清楚直观，其厚度和结构可以通过勘探钻孔确定，其资料相对易于掌握。至于其中各分层的相变和底面的起伏状况等要确切掌握，工作量也是很大的，但有时并非完全必要。乌鲁木齐矿务局就是应用“以治带查”、“查治结合”的方针，解决了第四系松散沉积层的水害防治问题。

乌鲁木齐矿务局所属的6个矿井，均位于乌鲁木齐东北侧，开采中侏罗系八道湾组的煤，地层走向基本呈东西向，倾向北，倾角陡，大者达60°以上，组成天山山脉的山前丘陵地。源自天山的乌鲁木齐河、水磨沟、八道湾、芦草沟和铁厂沟河，由南向北径流，将矿区切割成一个个河间地块。各河沟及河漫滩宽度几十至几百米，冲洪积层厚30余米，天山雪水明流补给，潜流丰富，沿煤层露头及其顶底板砂岩裂隙直灌井下，使矿井排水量高达4600m³/h，吨煤排水10m³~16m³。随着矿井的延深，排水扬程的加大，排水负担越来越重。该局对第四系松散沉积层采取了以治带查的方针，在各河漫滩的上游，在垂直地下水流向的方向上，在采区坍塌影响范围以外，修防洪渠道1268m。向冲积层底面打排水立井6个，用截流平巷连接沟通起来。设计的截流巷位于基岩顶面，在个别基岩面起伏变化区，用钻孔将水引放下来，使第四系孔隙水都汇聚于平巷，然后再由立井排出地面，矿井涌水量减少了50%，截水潜井的扬程只有16m~33m，排水费用大大降低，同时，由于浅截的作用，水质较好的潜水不再流

入矿井受到污染，可以直接进行开发利用。防治水工程的效果和由此产生的经济、社会、生态环境效益十分明显。

三、松散沉积层防水煤岩柱留设与压煤开采的观（监）测

新生界松散沉积层水在查明条件的情况下，采用淮南、乌鲁木齐矿务局的经验和方法防治矿井水害，是可行且有效的。但如果地下水补给极充沛或其他原因，难以经济合理地疏（降）干或封堵截流，就必须像对待巨大的上覆水体一样，按照水体下采煤的要求，采取留设防隔水煤岩柱的防治水方法。根据1985年8月颁布的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》，水体应该划分为三个采动等级和三种允许采动程度，留设三种类型的煤岩柱，具体划分如表3—1所示。

表 3—1

水体采动等级	允许采动程度	安全煤岩柱类型
I	不允许导水裂隙带顶点波及到水位	防水安全煤岩柱
II	允许导水裂隙带顶点波及松散孔隙弱含水层水体，但不允许冒落带波及该水体	防水安全煤岩柱
III	允许导水裂隙带顶点进入松散孔隙弱含水层，同时允许冒落带顶点波及该弱含水层	防塌安全煤岩柱

关于水体下采煤的安全煤岩柱设计方法及冒落带和导水裂隙带高度的预测计算方法，在上述规程的附录六中已有详细说明和资料。关键是如何根据这些历史经验和资料的总结，再进行适当的补充观测研究，解决在具体条件下的水体下安全采煤问题。根据目前的发展，这类研究应该包括以下主要内容和方法：

（1）在规定采动部位打地面钻孔，直接观测导水裂隙带的漏失量变化和冒落带的高度。

（2）在相应的安全部位打钻取芯，对防塌煤岩柱进行物理力学性质测试和应力应变情况的检测。

(3) 在井下向上打钻，用双端堵水器测定采前、采后漏水量，经过对比分析，确定导水裂隙带的发育高度。这项成果是山东科技大学与淄博矿务局双沟矿共同在井下现场实测取得的。其优点是在井下施工，不受地面农田、地形条件的限制，工作量小，适应性强，可在任何角度的仰、俯孔中观测，直接测取分段注水量。它比差值计算法精度高，孔内仅局部孔段充水，注水时间短，效率高，所测深度连续，可比性强，可以同孔位采前采后（重新扫孔）对比观测，资料可靠。该方法存在的主要问题是：如果煤厚大，导水裂隙带发育高，向上的钻孔深度大，施工有一定难度。在这种情况下，应考虑用相邻的标高较高的巷道施工观测孔，或打一段专用观测巷道。

(4) 进行水体下采煤，采区或矿井涌水量的预测和监测研究是一个很重要的问题，它可为评价矿井开采工作的经济合理性和安全程度提供科学依据。规程附录七已提供了典型的计算模式供参考。

对于水体下采煤，要根据煤岩柱留设计算和涌水量预测结果，采用下列原则，统筹考虑，权衡利弊，最后再作出决策和安排：

(1) 根据规程，煤层可以开采或试采，符合第45、46条之规定，但如预测矿井涌水量较大，无疑将加重矿井长期排水负担。这时要权衡利弊，将上回风道按上限开拓后，实际回采水平放到能减少渗漏或无渗漏水的高标（第二或第三阶段），先期开采，其他留待矿井后期处理。

(2) 根据上覆水体类型、地点、水文地质和开采技术条件，可适当改变采煤方法，如采取条采、串采或充填开采。主要可采取的开采技术措施如下：

采用倾斜分层长壁开采法，以减少第一、第二分层采厚，增加分层的间歇时间。

对于急倾斜煤层采用小阶段间歇回采，加大走向回采长度，第一、第二小阶段的垂高应小于其他小阶段。

搞好工作面正规循环作业，保证工作面匀速快速推进，防止顶板隔水层超前断裂，或使工作面伪倾斜或仰斜推进。

先采条件简单区，取得经验后再采复杂区。

根据需要留好断层煤柱，设置防水闸门（墙），扩大排水能力，建立备用水仓或储水区。

在基岩面起伏变化大的地区，要标明其标高，较准确的掌握实际煤（岩）柱厚度。

加强矿井涌水量、地表水位动态观测，安排相应的安全避灾路线和警铃信号。

分析预测可能突水的通道，采取相应的措施。

在新生界松散沉积层覆盖较厚的矿区，由于矿区大量疏排和地下水资源不合理地大规模开发利用，矿区地下水水位普遍大幅度下降，故诱发了地面沉降。地面下沉对井筒周壁产生摩擦，增加了对井筒的压力，造成在松散沉积层与基岩接触部位的（或其他软硬交替部位）应力集中，导致井筒破坏，出现井壁剥落，钢筋露出甚至弯曲，严重时会出现漏水漏砂、筒径缩小、梯子梁间距压缩或拉伸等现象，影响了井筒装备的安全和井筒的正常运行。

这个问题应该引起新生界松散沉积层厚度较大矿区的重视，特别是对其采取疏（降）干措施的矿井。在建井期间就应考虑相应的措施，提高施工质量。在生产阶段，特别在疏（降）干期，要建立健全地下水水位动态变化、井筒附近地表沉陷和井筒特别部位应力状态的监测制度。

对已出现问题的矿井，目前采取的主要措施是全段安装井圈，壁内注浆加固封闭。今后在建井设计上应考虑有关部位，提高井壁强度。

第四节 煤层顶板水害的防治

一、基本经验

煤矿床是层状矿体，在平面上展布面积较大，在剖面上煤层

与多个充水含水层互层沉积，相间赋存。有的煤层直接顶板就是充水含水层，有的顶板以上不远处分布着充水含水层，有的含水层距煤层顶板虽然较远，但采动导水裂隙或井巷掘凿必须穿过它才能到达所要开采的煤层。充水含水层的充水能力大小直接关系到煤层开采的可能性和其经济合理性，如想要减少涌水量达到经济合理开采，则必须采取防治措施。

减少矿井补给量，对某些间接充水含水层则要设法永久封闭。对于这类充水含水层的研究必须具体、详尽、确切，由于它分布在可采煤层的露头范围之内，有利于井上、井下结合防治，较底板充水含水层易于实现上述要求。

我国煤矿水文地质工作者经过近30年的艰苦摸索，虽然付出了一定代价，但对这一类充水含水层的研究防治也积累了丰富的经验和方法，并在全中国各水害严重煤矿区基本得到了统一的认识。

（1）对这类充水含水层，凡煤层采动导水裂隙带范围以外的，必须事前封堵。因此，在这类工作基础上，发展并完善了立井预注浆、工作面预注浆、斜井工作面预注浆和井筒壁后注浆等技术。

（2）对可采煤层直接顶板或导水裂隙带涉及到的充水含水层，必须坚决疏放。在这类工作基础上，建立并完善了以下技术：首先用石门接近充水含水层，水量大者在石门内适当地点修筑安全水闸门，在留有足够岩柱的条件下在石门内用钻孔群引放含水层的水，以孔口水门控制放水量，确切查明含水层的富水性和疏干范围等；情况复杂者，采用放水试验和地下水长期动态观察等方法，查明地下水补给条件和通道，然后在地面或井下实施帷幕注浆截堵补给水源，以减少矿井涌水量。

（3）如发现在煤田范围内存在各类勘探钻孔，用粘土浆或水泥砂浆封孔。但由于地下水的流动可以稀释粘土和水泥，或者由于水泥和砂子的比重不同而导致它们的漂浮性不一，在孔内水泥与砂子分离，封孔后一段砂子一段水泥，失去了封孔的作用，或

者由于套管止水失效或被腐蚀，使钻孔导通上、下充水含水层。这些人为作用使矿井水文地质条件复杂化，使煤层顶板（当然也包括底板）充水含水层涌水量加大，从而使各类钻孔成为沟通多层充水含水层水力联系的人为导水通道，诱发矿井的突水。为了防治这类水害事故，形成了一套完整有效的地面启封或井下封堵钻孔高压水的技术。

（4）由于煤层顶板直接充水含水层本身渗透性较差，富水性极不均匀，往往难以一次性大面积疏干，即使分散放水，其水量也十分有限。但在某些特定条件下，其放水量也可高达 $10\text{m}^3/\text{min}$ 以上，如岩溶裂隙较为发育的灰岩或厚度较大的砂岩充水含水层，易造成垮工作面或淹工作面等事故。根据这类水患特点，摸索出了针对地质构造提前分阶段、多钻孔、长时间疏放水的防治水方法，实现了安全疏干开采。

上述四个方面说明，煤田勘探阶段获取的资料，必须要与矿井建设、生产阶段所得到的信息相结合，实现井上、井下三维立体勘探。

二、勘探阶段的研究内容

在勘探阶段，应尽可能查明煤层顶板直接和间接充水含水层的厚度与相变规律，用一定工程量的水文孔进行抽水试验，了解它们的富水性和渗透性。也可用较抽水试验省工省时的地质孔简易压水试验方法，以漏失量反映它们的透水性和富水性，基本查明其富水性的不均匀程度，特别是在因断层错动而与强含水层对接的部位或在新生界地层覆盖的隐伏露头部位。对与煤矿井充水条件关系较密切的含水层，都应有分层资料，作出充水水文地质条件的分层论述，为矿床开采阶段的生产建设提供初步的科学依据。同时，应当注意勘探阶段的封孔质量。根据几十年来已发现的问题，应当在以下几个方面予以注意：

（1）改变封孔的材料，禁止用粘土浆和水泥砂浆，应该选用优质纯水泥，在强充水含水层部位，选用木塞等。

（2）要全孔封闭，而不能分层段，即使是非煤系地层或新生

界地层也要封，彻底防止人为因素造成的区域水文地质条件复杂化和不同含水层的水质相互干扰和影响。

（3）要分段封孔、分段试孔，提取样品作质量检验，一并记入封孔报告内。

三、生产建设阶段的研究内容

生产建设阶段要针对不同情况、工程性质和治水需要，“查治结合”，一边查条件一边进行治疗。查条件是为了更好治理，查条件的钻孔或工程即可用于治理，治理钻孔或工程也可为进一步查条件而服务。查条件的形式和任务是多种多样的。下面就截堵顶板间接充水含水层的查条件与治理、疏放顶板充水含水层的查条件与治理，介绍一下国内的基本情况。

煤层顶板间接充水含水层主要是指各煤层采动诱发的综合导水裂隙带范围以外、且只有立井或斜井井筒穿过的煤系顶部含水层。就我国煤田来说，这些含水层主要包括新生界松散孔隙含水层、南方型龙潭（宣威）煤系顶部的长兴、大冶、嘉陵江等厚层灰岩含水层、南方型三叠系与北方型二叠系、侏罗系煤层顶部的砂岩、砾岩裂隙含水层。这类含水层阻碍了矿井井筒的正常掘凿，影响了施工进度和质量，甚至造成井筒的被淹。查条件的目的就是要选择在富水性最差甚至不含水的地段布置井筒，确定井筒位置后通过打井筒检验孔，查清每一个含水层的厚度、岩性、岩溶裂隙发育情况，通过抽水试验获得它们的涌水量、单位涌水量和渗透系数等水文地质参数。根据有关充水含水层的综合资料，最后即可在地面预注浆法、工作面预注浆法、冻结法和壁后注浆等方法中，选择针对特定地质条件的较为科学合理的防治水方法。

生产建设阶段的查条件要注意以下几个问题：

（1）要充分利用勘探阶段包括抽水、简易水文观测、简易压水试验资料，逐一分析充水含水层的富水性分布特点，圈出强富水区。

（2）以松散孔隙含水层或岩溶含水层为主，同时适当注意中

等富水程度的含水层情况，圈出有利于井筒布置的不同地段，供设计部门选择。

(3) 井筒位置确定后，如各充水含水层的水文地质条件均较简单，则可只布置一个井筒检验孔；但若主要充水含水层的条件较复杂时，必须要布置三个检验孔；对岩溶充水含水层，还应充分利用三个检验孔，进行孔间透视，查明井筒区各充水含水层的构造裂隙发育程度及其富水性。

(4) 检验孔的偏斜度符合规程要求，最好是垂直的。

(5) 如在井筒区发现大型断裂构造，地层破碎严重或岩溶发育，富水性强，则应另选井筒位置。

(6) 综合分析检验孔的资料，选择确定防治水的具体方法，提出防治水工程的设计。

煤层顶板直接充水含水层包括煤层直接顶板和各煤层采动诱发的综合导水裂隙带范围内所有的含水层。这些含水层中地下水将全部转化为矿井涌水量，只有彻底疏干地下水，才能保证矿井安全生产。几十年来，我国各煤矿由于初期的认识不足，查条件的方法也不够成熟，治理途径也不够有效，缺乏经验，走过了一段曲折的道路。先后遇到的问题有：

徐州矿务局贾汪矿区，韩桥、青山泉矿在20世纪50年代中期就开始开采上覆顶板存在多层灰岩含水层的太原群煤层，韩桥矿的夏桥井在-43水平向太原群打了一条穿层石门，遇灰岩含水层单点最大突水量达 $21.4\text{m}^3/\text{min}$ ，整个石门雨季涌水量可达 $74\text{m}^3/\text{min}$ 。青山泉矿二号井，先后经历了5次突水事故，最大突水量达 $27\text{m}^3/\text{min}$ ，全井总涌水量高达 $95.16\text{m}^3/\text{min}$ 。是什么条件造成如此大的矿井涌水量？采取什么有效手段和方法进行安全开采？一时很难回答。

山东新汶矿务局开采13层煤时，其直接顶板为太原统四灰，平均厚6m， ± 0 以上岩溶裂隙发育，最大溶洞直径2.66m。协庄矿1976年在+19水平，单点突水量 $32.67\text{m}^3/\text{min}$ ，甚至在太原统上部平均3.5m厚的一层灰岩（六层煤间接底板）中，水量

也很大。1954年孙村矿在+66水平，单点突水量达 $31\text{m}^3/\text{min}$ 。怎么办？这样的矿井水文地质条件能否实现安全采煤？

山东肥城矿务局中一井20世纪60年代初建井，第一水平石门揭露的八煤顶板四灰（太原统）厚 $3.6\text{m} \sim 8.64\text{m}$ ，平均 5.31m ，涌水量 $13.2\text{m}^3/\text{min}$ ，极为稳定。如此大的水从哪里来的？四灰下面还有富水性更强的五灰、奥灰，当全煤系各层揭露开采时情况会是什么样子？只好把基建井改为水文地质试验井。

河北峰峰矿务局，太原统上部四、六、七层煤顶板就是野青、山青、小青灰岩，20世纪60年代以来到处突水，一矿的2701小青采煤工作面在+49水平就一次突水 $40\text{m}^3/\text{min}$ ，下部的大青灰岩和奥灰严重威胁着大青（8层）和下架（9层）煤的安全回采。

河南焦作矿务局开采下二叠山西组的大煤，距下部太原统第八层灰岩（L₈）20m，距二层灰岩（L₂）65m~70m，开采过程中发生多次突水事故，最大突水量高达 $320\text{m}^3/\text{min}$ 。

截止1985年，全局总突水105次数，单点突水量大于 $100\text{m}^3/\text{min}$ 的就达5次， $50\text{m}^3/\text{min} \sim 100\text{m}^3/\text{min}$ 的9次。

另外，在一些矿区，煤层顶板砂岩裂隙水也造成许多水害事故。如开滦矿务局荆各庄矿中石门采区1093工作面顶板砂岩突水，其水量高达 $40\text{m}^3/\text{min}$ 。

经过十余年反复摸索和大量实践，煤层顶板直接充水含水层的查条件方法和防治途径已基本明确，即：坚决疏放水，在疏放水的条件下查明补给水源、补给边界和补给通道，积极进行截源堵水，在减少补给的情况下进行疏干，减少矿井涌水量，提高生产效率，实现经济合理的安全开采。

由于利用一般勘探阶段资料预测石门或采区涌水量，其精度往往满足不了安全生产的需要，各矿务局都先后采用钻孔群或石门直接揭露（适当地点修筑水闸门保证安全）含水层的方法，进行大流量深降深的现场相似疏干模拟试验，确定实际水量或进行较高精度的比拟计算，为实际疏水采煤提供科学依据。为了寻找

补给边界和通道，在这种条件下往往可以利用孔口水门或水闸门进行恢复水位试验，结合地表和井下动态观测与连通试验资料，查明补给条件，在此基础上进行截源堵水。截至目前为止，防治煤层顶板直接充水含水层水害已取得成效。实例有：

山东新汶矿务局，通过疏放和截源堵水，基本解决了制约2~13层等7层煤安全开采的太原组一灰和四灰含水层的充水问题。截止1984年，全局各生产矿井总涌水量仅 $60.72\text{m}^3/\text{min}$ ，其中岩溶水 $39.47\text{m}^3/\text{min}$ ，除一、四灰水外，还包括部分徐灰和奥灰水。通过协庄矿帷幕截流工程，帷幕上方小汶河砂砾石层潜水位已基本恢复，下方的四灰充水含水层已无水位，井下的疏放水量已由长期稳定的 $17\text{m}^3/\text{min}$ 减少为 $8\text{m}^3/\text{min}$ （1979年完成工程量70%时的情况）。

峰峰矿务局大青灰岩以上的野青、山青、伏青和小青灰岩水的问题已基本解决，实现了疏干开采，未解决的主要是有底板水补给的大青灰岩和奥灰含水层的直接突水问题了。在疏放的前提下，采用帷幕截流。像二矿的滏岭庄断层的对口补给帷幕，帷幕线长470m，工程完工后，使+3石门水量由 $24.50\text{m}^3/\text{min}$ 减少为 $19.4\text{m}^3/\text{min}$ ；关闭已实现采煤的石门放水孔，使一矿北区减少不必要的排水 $15\text{m}^3/\text{min}$ ；另外，四矿根据10次大青灰岩放水试验资料分析，查明了该矿的垂直补给通道，堵水后 ± 0 水平减少矿井涌水量 $29.68\text{m}^3/\text{min}$ ，预计在-100水平可减少涌水量 $37.4\text{m}^3/\text{min}$ 。显然，堵水截流既解决了疏水安全采煤问题，又减少了矿井涌水量。

徐州矿务局贾汪矿区在防治顶板水害中，采取了强排疏干的方法，并在疏干过程中采取了以下一系列有效措施，基本上解决了水害问题。

（1）部署水文地质勘探石门，筑水闸门以保证安全，控制放水。

（2）沿隔水层掘石门下山，建立好排水阵地后再探放强含水层水，并把放水钻孔孔口三通的出水管与水泵的进水管直接连

接，孔口用闷盘卡头防喷和止水，既便于起下钻，又不淹钻房。

(3) 利用闲置大巷泵房，疏放的岩溶水不直接流入水仓，在大巷中筑水闸墙用水管进水仓，水管有闸阀，水量大时可限制进仓水量，多余水量临时关存在大巷中。

(4) 搞清岩溶裂隙随深度减弱的变化规律，青山泉二、三号井之间沿倾向由露头至岩溶减弱区进行倾向帷幕注浆，减少矿井涌水量。

(5) 在井下用锡铅合金封堵出水 $10\text{m}^3/\text{min}$ 的545号导水钻孔成功。

(6) 加强地面防洪减少灰岩露头补给。

(7) 对不均匀的砂岩、灰岩裂隙含水层，采用分阶段、多钻孔、长时间疏放水措施，解决“猛突一股水”的问题。

这一系列实践和经验对今后矿井防治水工作有重要的借鉴意义。

在新疆维尔沟矿南山矿区，其八道湾煤系579m，含煤12层，可采煤总厚度32.2m，属优质低灰低硫低磷炼焦煤，灰分含量仅5%~8%，含硫0.5%左右。+1500m水平以上的储量5.3亿t，地面标高+1712m~2300m（最高峰4394m），煤层倾角 $15^\circ\sim 45^\circ$ ，单斜构造，可采煤层露头展布在东西向的艾维尔沟谷内，谷宽300m~800m，有19条支谷与之相汇，流量 $0.0553\text{m}^3/\text{s}\sim 9.93\text{m}^3/\text{s}$ ，坡降0.0041，1968年最大流量 $334\text{m}^3/\text{s}$ 。12层煤中有9层煤顶板为中、粗粒砂岩裂隙含水层，100个小窑开采有积水，防治水任务较重，可以借鉴上述经验做好煤层顶板直接充水含水层的研究防治工作。

第五节 煤层底板水害的防治

煤层顶板直接或间接充水含水层的分布范围比较有限，主要限制在煤层露头范围以内，且防治水的要求和途径比较明确，即直接充水含水层采取疏干措施，间接充水含水层要千方百计隔

离。经过三十多年来的防治水实践，绝大多数矿井的顶板水害问题已基本得以解决。但对于煤层底板水害问题的解决，难度较大。

一、底板充水含水层特点

煤层底板直接和间接充水含水层地下水的补给条件一般较好，其水压也较高，疏干降压较为困难，是一个至今尚未有效解决的难题。其原因是：

（1）对实行带压开采的煤层底板间接充水含水层，由于带压开采的安全水头值受煤层底板岩体的岩性组合、构造条件、围岩条件、原岩应力状态、煤厚、工作面几何尺寸和开采方法等的影响，很难准确确定，稍有疏忽，超安全水头开采，将会酿造底板突水淹井灾害事故。

（2）煤层底板充水含水层赋存在煤层露头范围以外，当它的沉积厚度较大时，如华北型的奥陶系及与之连续沉积的中、上寒武统灰岩，最厚可达1400多米；南方型的下二叠统茅口、栖霞灰岩，最大沉积厚度也可达1000余米，露头分布面积广，接受地表水和大气降水补给条件好，岩溶又较为发育，储存资源大，补给资源充沛。要想对这样的充水含水层疏水降压，确实不易。

（3）由于陷落柱、切割较深的断层或隐伏在煤层底板的断层、导水钻孔等点、线状充水通道的存在，使矿井水文地质条件复杂化，给查条件和堵截治理带来了较大的难度。

由于上述原因，煤层底板突水问题给许多煤矿安全生产造成了巨大的威胁，稍一不慎，底板突水灾害即可发生，其突水水量高达每分钟几十、几百甚至上千立方米。像开滦范各庄矿1984年2171采煤工作面，实际高峰突水水量可达 $2053\text{m}^3/\text{min}$ ，很难抗拒，矿井即可被淹，造成重大经济损失。有些底板突水灾害也可造成重大人员伤亡事故，像1935年山东淄博的北大井突水，一次就遇难536人。

二、底板水防治技术路线

针对这种情况，煤矿水文地质工作者，在这类水害的防治方

面还有大量工作需做。根据以往的探索和实践，主要防治技术路线可概括如下：

1. 查清条件

查清条件是防治水工作的基础和依据。针对这一类水文地质条件的煤田，在勘探阶段就明确规定，在研究地质和区域水文地质条件的基础上，把充水含水层的富水性、导水性、补给排泄条件及向矿井充水途径视为一个整体进行勘探和研究。对于矿井水文地质条件复杂的大水矿区，工作范围应扩大为一个完整的水文地质单元（《煤炭资源地质勘探规范》第5、1、3条）。这一工作方向和任务的明确是完全正确的，对底板充水含水层尤为重要。但要有效完成，需要勘探、生产两个阶段不断深化补充，反复验证。根据有关矿区的实践，深化补充、反复验证的内容应包括：

（1）水文地质单元内分块段的补给迳流条件研究，同时注意采矿排水引起的地下水渗流场和补给条件的变化情况。

（2）在整体了解地下水的主要径流方向和迳流带的基础上，应对地下水迳流带的强弱进行分区，并确定主要集中迳流带位置和范围。

（3）通过深降强排，明确具体的补给边界和充水通道，对地下水实施截堵治理或开发利用。如肥城东四矿的联合放水、焦作九里山矿对L8灰岩出水点的控放和联通试验、峰峰四矿对大青灰岩的多次放水试验等。

（4）分析确定充水含水层富水性的非均质分区，为开采规划提供依据。

查条件的具体工作应注意以下几点：

（1）不仅要了解充水含水层，更要了解隔水层的岩性和厚度，因此勘探阶段要充分利用煤层的地质孔，使其延深至含水层和隔水层，通过观测记录浆液漏失量和压水试验等方法，尽可能多地获取水文地质参数。

（2）井下钻孔要及时分段测压、测水量，了解含水层的原始导升高度问题。

(3) 要注意钻孔的封孔质量，防止串导水。

(4) 由于井巷不能揭露含水层，愈来愈需要用物探手段加大探查的覆盖面，为更有针对性的钻探提供依据。

(5) 由于强充水含水层位于煤系最低部，一般距地表较深，物探和钻探工程尽可能利用井下巷道进行。

(6) 由于补给水量往往较大，深降强排的放水试验要慎重安排，试验强度力争超过补给量才能取得较好的效果，有时需几个地点或几个矿联合放水才行。

(7) 要充分利用矿井外围的专门水文地质勘探、工农业供水及其相应的地下水动态信息资料。

2. 实施排供结合

一些矿区的长期实践表明，排供结合是矿井底板水防治的一条有效途径，再适当补充一些堵水和地面防治水工程，其效果更佳。单纯地采用防堵和地面工程代价太大，周期太长，而且还不能有效地解决问题，同时防堵和地面工程实施后，往往又会带来一个大量留设断层或薄弱带防水煤柱的问题，资源损失大。

山东新汶煤田，走向长25km，倾斜宽8.6km，面积215km²。煤田外围的奥灰露头面积约60km²，整个向斜汇水盆地300km²，计算的奥灰大气降水补给量约为2587万m³/a (50m³/min)，其上的徐灰和草灰降水补给量约为2089万m³/a (39.7m³/min)，徐灰、草灰位于15煤底板15m~60m，是煤层底板直接充水含水层，奥灰在草灰以下10m~15m，是徐灰、草灰的补给源，为煤层底板间接充水含水层。多年的开采实践证实，奥灰的某些断裂构造带是富水的集中径流带。矿区目前已沿孙村F1、F2号断层带布设取水孔25个，日开采量达12500m³；沿张庄F7、F9、F10和汶南P1布设取水孔40个，日开采量20000m³；沿良庄F3号布孔15个，日开采量500m³；几个开采区总开采量1460万m³/a，加其他工农业取水井共180余眼，总开采量达3100万m³/a。由于开采总量超过了地下水总补给量，地下水水位已逐年下降，有明显的疏水降压效果。根据计算，徐灰和草灰的补给

资源量仅2089万 m^3/a （平均39.74 m^3/min ），并已基本查明这两个底板直接充水含水层在埋深150m以上的岩溶率（钻孔统计）约为83%，150m~300m约为14.6%，已开始明显减弱，300m~430m约为2.4%。也就是说，-250水平以下充水含水层的富水和导水性已很低，成为了相对隔水层。因此，通过对奥灰充水含水层的供水开采疏降，其向直接充水含水层越流补给的承压水头已相对降低，越流量变小，补给相对减弱，故出现了徐灰浅部供水井干枯、深部取水井水量明显减小的现象。通过在各矿井下适当水平布孔疏降徐灰（包括草灰），基本使其已变为相对隔水层，同时也降低了奥灰的承压水头，安全采煤问题基本就有保证了。徐灰井下疏降与供水井相结合的防治水技术路线，既解决了矿井突水的安全采煤问题，也补充了矿区地面供水水源的不足。这样，新汶煤田的直接和间接充水含水层的防治问题就从根本上得到了解决。

山东淄博煤田是全国著名的大水煤田之一，属华北型石炭二叠纪煤系，太原统底部的9、10层煤下距本溪统徐家庄灰岩（厚10m~18m）25m~30m，下距奥陶系灰岩48m~70m，一般55m左右，徐灰距奥灰15m~20m。前者是煤层底板开采的直接充水含水层，后者是其间接充水含水层。但是，深部（水压超过3MPa，即30 kg/cm^2 ）许多突水资料证明，奥灰已由浅部的间接充水含水层转化为直接充水含水层。该煤田实测奥灰平均厚821m，与下伏的寒武系凤山组、长山组、张夏组灰岩连续沉积，寒武系灰岩的沉积厚度达350m~400m，故岩溶充水含水层总厚度1200余米。煤田为一倾没向斜构造，向北倾伏，煤系地层面积418 km^2 ，其外围的东、南、西三面为中、低山的岩溶地层所环绕，岩溶含水层露头面积1320 km^2 ，汇水面积达2200 km^2 ，其间还分布着流量为0.115 m^3/s ~3180 m^3/s 的淄河。经详细测算，大气降水的平均入渗补给量为113.174万 m^3/d ，五年一遇的丰水年则为134.79万 m^3/d ，这与大武、源泉、口头、湖田、齐陵、博山、四宝山、台头等8个大型水源地的实际供水

情况相吻合。地下水均向煤盆地汇聚，使淄博成为一个独立的自流水向斜盆地，水压标高+200m，随煤层开采水平的延伸，作用于煤层底板的水压达2MPa~8MPa，因而淄博煤田在实际生产过程中，先后发生了大小底板突水事故达170余次，最大单点突水量443m³/min，淹井7次，淹采区或工作面则频频发生。20世纪80年代以来发生的底板突水事故证明，大部分是在徐灰被疏干无水条件下奥灰直接突水造成的，奥灰已逐渐变成煤层开采的直接充水含水层。突水已不仅在有断层或小断层等薄弱地段发生，在底板极完整的采煤工作面，在底板水压和老顶来压的共同作用下也可能发生。例如1991年11月23日夏庄矿一立井160采区164采煤工作面，这个工作面倾斜长90m~100m，煤厚1.6m，采高1.8m，下出口标高-319m，奥灰水位+161.22m，水压4.8MPa，隔水岩层厚66m，当工作面推进至75m处，在无任何构造的条件下，奥灰发生18.2m³/min的突水事故。因此，不适当的疏水降压采煤是极其困难的。

经过几十年的初步实践表明，像淄博这样的大水矿区应该走外用内防的途径，在一定范围内较理想地解决底板水害问题。所谓外用内防的途径，就是指在外围积极开发取用强含水层—奥灰水，使补给资源量和大部分储存资源量最大限度被开发利用而减少，降低区域奥灰水位标高，减少向承压区补给径流的地下水水量，在煤田的承压区浅部再次开发取水，相当于二次疏水截流，进一步降低承压区水压，使其减少向直接充水含水层徐灰的补给，创造对直接充水含水层疏干的水力环境，使间接充水含水层转化为直接充水含水层的范围大大缩小。在此基础上，如矿井内部再适当采取预防措施，安全采煤就有保证。

淄博是一个发展迅速的工业城市，但水资源紧缺状况受到各级地方政府的高度重视，先后已进行了多次水资源综合调查研究，并积极进行了8个大型水源地的水文地质勘探，初步查明奥灰强岩溶含水层可以划分为9个相对独立的水文地质块段。各块段的大气降水补给资源量为：

石马以南区	11.176万m ³ / d
源泉口头区	25.546万m ³ / d
黑旺南仇区	27.49万m ³ / d
齐陵区	12.97万m ³ / d
八陡博山区	6.628万m ³ / d
禹王山断裂区	0.942万m ³ / d
龙泉泮水区	12.85万m ³ / d
金岭穹窿区	6.858万m ³ / d
磁村岭子区	8.714万m ³ / d

位于煤田外围或浅部边缘的这9个岩溶汇水区现均已开发利用，地下水开采量达80万m³ / d，煤田附近的各水文地质块段均已超过测算的补给资源量，因而煤田承压区的地下水水压标高从南向北已由历史的+200.94m（雨季）~ +190.924m（旱季）降为+118.72m ~ +66.32m（南部），从+178.95m（雨季）~ +142.59m（旱季）降为+83.72m ~ +27.61m（中部），从+86.11m（雨季）~ +51.72m（旱季）降为+38.98m ~ +9.52m（北部）。

1990年是淄博30年一遇的丰水年份，但地下水水位也未恢复到原始水位标高，这表明奥灰的供水开采降压是可能且有效的。奥灰供水开采降压结果，使原来曾发生过443m³ / min特大底板突水的北大井区，仅开采取用奥灰水12m³ / min，地下水水位即由原来的+157.27m（雨季）~ +140.37m（旱季）降低为47.25m（1990年雨季）~ 472m（旱季），开采的结果实际上对奥灰含水层就形成了局部疏降的条件，限制它转化为直接充水含水层，为“内防”提供了条件。

3．充分利用隔水岩段与确定安全临界水头值

大水矿区的强充水含水层虽在大规模开发利用条件下可以造成区域水位的下降，但不可能降到深部煤层也可安全开采的程度，始终存在一个带压开采的问题。因此就需要研究如何充分利

用隔水岩段来确定安全临界水头值。对此，国内已进行了长期的多方面研究，积累了大量的专门资料，最后形成的基本认识是：采动矿压能对底板隔水层产生一定深度的引张破坏，出现张裂隙，如其与承压水原始导升高度相连通，即可诱发突水事故。承压水沿隔水层原生裂隙向上渗透的高度称原始导高，井下钻探、物探均可探测到。煤层采动矿压对底板隔水层的破坏深度随煤层的采厚、工作面几何尺寸、底板隔水层的岩性等变化，一般为4m~12m，断层破碎带区可达10m~20m，应力集中区甚至会更深。与此同时，国内许多大水矿区通过对大量底板突水点实际资料的统计分析，认为华北型煤田每1m厚的隔水层大致可削减水压0.06MPa~0.14MPa。我国特有的确定承压水上采煤的安全临界水头值采用突水系数公式计算，其具体表达式为：

$$T=P / (M - MK - MY)$$

式中 T——突水系数，MPa / m；

P——开采煤层承受的实际水压值，MPa；

M——开采煤层底板实际查明的隔水厚度，m；

MK——采动矿压对隔水层的破坏深度，m；

MY——承压水原始导升高度，m。

4. 隔水层加固与含水层改造

由于各大水矿区隔水层原生沉积厚度是不可改变的，按“突水系数法”分析判断，大量深部煤炭资源仍然由于受承压水威胁而难于安全开采。针对这个问题，山东的肥城、淄博已先后采用隔水层加固与含水层改造等技术，开展了注浆加固煤层隔水底板和改造底板直接充水含水层的工作，在煤层底板水害防治技术方面取得了明显进展。

5. 充水含水层渗流场分析

岩溶陷落柱、强导水钻孔（位置偏斜难定时）是导致煤层底板水害事故发生的重要导水通道。为了查治它们，国内许多矿区（尤其是开滦）探索试验了许多方法，采用了多种地表、井下的物探手段，大部分只能做到定性分析，难于获得确切结果。但总

结这些实践，认为系统分析充水含水层地下水渗流场，采用圈高水位区的方法比较有效。即在煤层底板一个或两个充水含水层中布置一定密度的水位（压）观测点，以井下观测为主，在地表适当布置，系统观测其地下水水位动态变化。由于这些充水含水层在正常情况下存在一个背景水位（压）值，如果发现在一定范围内存在异常的高水位区，往往是陷落柱或强导水钻孔影响控制的结果。因此，对高水位异常区，应该采取留设防隔水煤（岩）柱的方法，划定危险区，暂时隔离，然后根据具体条件，设计提出地面或井下注浆封堵的措施。

6. 断裂带型突水的防治

受底板强充水含水层威胁的大水矿区，防止断裂带型突水是一项普遍性经常性的任务。根据多年水害防治经验的总结，断裂带型突水防治的主要方法是确切查明断裂带的走向、倾向、倾角和断距及其沿走向的变化，正确合理地留设防隔水煤（岩）柱。个别巷道一定要穿越它时，则需超前探查和注浆加固，并注意可能发生的“断裂带延迟滞后型突水”问题。

思 考 题

1. 建立地表水害防治工程应注意的主要问题有哪些？
2. 简述“老窑水”防治的一般工作思路。
3. 简述松散孔隙水害防治的主要方法手段。
4. 简述勘探阶段顶板水害防治的研究内容。
5. 简述生产建设阶段顶板水害防治的研究内容。
6. 试述煤层底板含水层的充水特点。
7. 简述煤层底板水害防治的一般技术路线。

第四章 煤矿主要防治水技术

第一节 井下防水煤（岩）柱留设

一、防水煤（岩）柱类型及留设原则

在水体下、含水层下、承压含水层上或导水断层附近采掘时，为防止地表水或地下水溃入工作地点，需要留出一定宽度或高度的煤（岩）层不采动，这部分煤（岩）层称为防隔水煤（岩）柱或防水煤（岩）柱。根据防水煤（岩）柱所处的位置，可以分成不同的类型。

（一）常用防水煤（岩）柱类型

（1）断层防水煤（岩）柱：在导水或含水断层两侧，为防止断层水溃入井下而必须留设煤（岩）柱。或当断层使煤层与强含水层接触或接近时，为防止含水层水溃入井下，也必须留设防水煤（岩）柱。

（2）井田边界煤柱：相邻两井田以技术边界分隔时，为防止一个矿井淹没（由突水或矿井报废引起）后影响另一个矿井的安全生产，必须留设的防水煤（岩）柱。

（3）上、下水平（或相邻采区）防水煤（岩）柱：在上、下两水平（或相邻两采区）之间留设的防水煤（岩）柱。这种煤（岩）柱为暂时性的煤（岩）柱，在上、下两水平（或相邻两采区）开采末期或透水威胁消除后，这部分煤（岩）柱中的煤，仍然可以回收。

（4）水淹区防水煤（岩）柱：在水淹区（包括老窑积水区）四周和上、下水平留设的防止水淹区水溃入井下采掘工作面的煤

（岩）柱。

（5）地表水体防水煤（岩）柱：为防止采煤后地表水经塌陷裂缝溃入井下而留设的煤（岩）柱。

（6）冲积层防水煤（岩）柱：为防止采煤后上覆冲积层中的强含水层水溃入井下而留设的煤（岩）柱。

（二）防水煤（岩）柱留设原则

（1）在有突水威胁但又不宜疏放（疏放会造成成本大大提高时）的地区采掘时，必须留设防水煤（岩）柱。

（2）防水煤柱一般不能再利用，故要在安全可靠的基础上把煤柱的宽度或高度降低到最低限度，以提高资源利用率。为了多采煤炭，充分利用资源，也可以用采后充填、疏水降压、改造含水层（充填岩溶裂隙）等方法，消除突水威胁，创造少留煤柱的条件。

（3）留设的防水煤（岩）柱必须与当地的地质构造、水文地质条件、煤层赋存条件、围岩的物理力学性质、煤层的组合结构方式等自然因素密切结合，还要与采煤方法、开采强度、支护形式等人为因素互相适应。

（4）一个井田或一个水文地质单元的防水煤（岩）柱应该在它的总体开采设计中确定，即开采方式和井巷布局必须与各种煤柱的留设相适应，否则会以后煤柱的留设造成极大的困难，甚至无法留设。

（5）在多煤层地区，各煤层的防水煤（岩）柱必须统一考虑确定，以免某一煤层的开采破坏另一煤层的煤（岩）柱，致使整个防水煤（岩）柱失效。

（6）在同一地点有两种或两种以上留设煤（岩）柱的要求时，所留设的煤（岩）柱必须满足各个留设煤（岩）柱的要求。

（7）对防水煤（岩）柱的维护要特别严格，因为煤（岩）柱的任何一处被破坏，必将造成整个煤（岩）柱无效。防水煤（岩）柱一经留设即不得破坏，巷道必须穿过煤柱时，必须采取加固巷道、修建防水闸门和其他防水设施，保护煤（岩）柱的完

整性。

(8) 留设防水煤(岩)柱所需要的数据必须在本地区取得。邻区或外地的数据只能作为参考,如果需要采用,应适当加大安全系数。

(9) 防水岩柱中必须有一定厚度的粘土质隔水岩层或裂隙不发育、含水性极弱的岩层,否则防水岩柱将无隔水作用。

第二节 井下探放水

一、概述

(一) 探水的目的

探水系指采矿过程中用超前勘探方法,查明采掘工作面顶底板、侧帮和前方的含水构造(包括陷落柱)、充水含水层、积水老窑等水体的具体空间位置和产状等,其目的是为有效地防治矿井水害做好必要的准备。

(二) 探水的原则

采掘工作必须执行“八字”方针,即“有疑必探,先探后掘”的原则。因而,遇到下列情况之一时,必须进行探水。

(1) 接近水淹的井巷、老窑或小窑时。

(2) 接近含水层、导水断层、含水裂隙密集带、溶洞和陷落柱时,或通过它们之前。

(3) 打开隔离煤柱放水前。

(4) 接近可能与河流、湖泊、水库、蓄水池、水井等相通的断层破碎带或裂隙发育带时。

(5) 接近可能涌(突)水的钻孔时。

(6) 接近有水或稀泥的灌浆区时。

(7) 采动影响范围内有承压含水层或含水构造,或煤层与含水层间的隔水岩柱厚度不清,可能突水时。

(8) 接近矿井水文地质条件复杂的地段,采掘工作有涌(突)水预兆或情况不明时。

(9) 接近其他可能涌(突)水地段时。

(三) 探放水对象的类型

一般探放水的对象包括老窑、断裂构造、陷落柱、导水钻孔和充水含水层等。

二、探放老窑水

小煤窑或矿井采掘的废巷老窑积水，其几何形状极不规则，积水量大者可达数百万立方米，一旦采掘工作面接近或揭露它们时，常常造成突水淹井及人身伤亡事故，故必须预先进行探放。

(一) 探放水工程设计内容

(1) 探放水巷道推进的工作面和周围的水文地质条件。如老窑积水范围、积水量、确切的水头高度(水压)、正常涌水量，老窑与上、下采空区、相邻积水区、地表河流、建筑物及断层构造的关系，以及积水区与其他充水含水层的水力联系程度等。

(2) 探放水巷道的开拓方向、施工次序、规格和支护形式。

(3) 探放水钻孔组数、个数、方向、角度、深度和施工技术要求及采用的超前距与帮距。

(4) 探放水施工与掘进工作的安全规定。

(5) 受水威胁地区信号联系和避灾路线的确定。

(6) 通风措施和瓦斯检查制度。

(7) 防排水设施，如水闸门、水闸墙等的设计以及水仓、水泵、管路和水沟等排水系统及能力的具体安排等。

(8) 水情及避灾联系汇报制度和灾害处理措施。

(9) 附老窑位置及积水区与现采区的关系图、探放水孔布置的平面图和剖面图等。

(二) 探放老窑水的原则

探放老窑水除了要遵循上述的探放水原则外，还应遵循下列探放老窑水的具体原则：

(1) 积极探放。当老窑区不在河沟或重要建筑物下面、排放老窑区内积水不会过分加重矿井排水负担、积水区之下又有大量的煤炭资源急待开采时，这部分积水应千方百计地放出来，以彻

底解除水患。

(2) 先隔离后探放。对于与地表水有密切水力联系且雨季可能接受大量补给的老窑水，以及老窑的积水量较大，水质不好（酸性大）时，为避免负担长期排水费用，应先设法隔断或减少其补给水量，然后再进行探水。若隔断水源有困难、无法进行有效的探放，则应留设煤岩柱与生产区隔开，待到矿井生产后期再进行处理。

(3) 先降压后探放。对水量大、水压高的积水区，应先从顶、底板岩层打穿层放水孔，把水压降下来，然后再沿煤层打探水钻孔。

(4) 先堵后探放。当老窑区为强含水层水或其他水源水所淹没，出水点有很大的补给量时，一般应先封堵出水点，而后再探放水。

(三) 探放老窑水的工作步骤与方法

1. 探水前应注意的事项

(1) 检查排水系统。准备好水沟、水仓及排水管路；检查排水泵及电动机，使之正常运转，达到设计的最大排水能力。

(2) 准备堵水材料。在探水地点应备用一定数量的坑木、麻袋、木塞、木板、黄泥、棉线、锯、斧等，以便出水或来压时及时处理。

(3) 检查瓦斯。瓦斯浓度超过安全规定时应停止工作，及时加强通风。

(4) 检查支架情况。有松动或破损的支架要及时修整或更换，帮顶是否背好，都要仔细检查。

(5) 检查煤壁。煤壁有松软或膨胀等现象时，要及时处理，闭紧填实，必要时可打上木垛，防止水流冲垮煤壁，造成事故。

(6) 检查水沟。对巷道水沟中的浮煤、碎石等杂物，应随时清理干净。若水沟被冒顶或片帮堵塞时，应立即修复。

(7) 检查安全退路。避灾路线内不许有煤炭、木料、煤车等阻塞，要时刻保证畅通无阻。

2. 探放水钻孔布置的基本原则

探放水钻孔的布置应以不漏掉“老窑”、保证安全生产和探水工作量最小为原则。

三、探放断层水

(一) 探放断层水的原则

凡遇下列情况必须探水：

(1) 采掘工作面前方或附近有含(导)水断层存在，但具体位置不清或控制不够严密时。

(2) 采掘工作面前方或附近预测有断层存在，但其位置和含(导)水性不清，可能发生突水事故时。

(3) 采掘工作面底板隔水层厚度与实际承受的水压都处于临界状态(即安全隔水层厚度和安全水压的临界值)，在采煤工作面前方和采面影响范围内，是否有断层情况不清，一旦触及很可能发生突水事故时。

(4) 断层已被巷道揭露或穿过，暂时没有出水迹象，但由于隔水层厚度和实际水压已接近临界状态，在采动影响下，有可能导致断层活化并引起突水，需要探明在深部其是否已与强含水层或底板水导升高度相连通时。

(5) 井巷工程接近或计划穿过的断层浅部不含(导)水，但在深部有可能突水时。

(6) 根据井巷工程 and 自设断层防水煤柱等的特殊要求，必须探明断层时。

(7) 采掘工作面距已知含水断层60m时。

(8) 采掘工作面接近推断含水断层100m时。

(9) 采区内小断层使煤层与强含水层的距离缩短时。

(10) 采区内构造不明，含水层水压又大于2MPa~3MPa时。

(二) 探查的主要内容

探断层水的钻孔应与探断层构造孔结合起来，需查明的具体内容如下：

(1) 断层的位置、产状要素、断层带宽度(包括内、中和外三带)及伴(或派)生构造和其导水、富水性等。

(2) 断层带的充填物、充填程度、胶结物和胶结程度,断层两盘外带裂隙、岩溶发育情况及其富水性。

(3) 断层两盘对接部位岩性及其富水性,煤层与强含水层的实际间距(即隔水层的厚度)。

(4) 断层与其他含(导)水断层、陷落柱或其他水体交切部位及其富水性。

(5) 如为叠瓦式断层,应确定其综合断距。

(6) 查明并记录探断层水钻孔在不同深度的水压、水量或冲洗液漏失量,并确定或判断底板水在隔水层中的导升高度。

为探明以上内容,应首先提供断层面等高线图及两盘主要煤层、含水层对接关系图,探测断层预想剖面图。

四、探放陷落柱水

在煤层底板下伏巨厚层状碳酸盐岩充水含水层组的华北型煤田,由于导水岩溶陷落柱的存在,使某些处于上覆地层本来没有贯穿煤系基底巨厚层状碳酸盐岩强充水含水层的中、小型断层或一些张裂隙,成为了水源补给充沛、强富水的突水薄弱带。井巷工程一旦触及这些薄弱带,将不可避免地引发突水或淹井事故。若导水岩溶陷落柱本身直接突水,其后果就更为严重。例如1984年开滦范各庄矿2171工作面岩溶陷落柱突水的最大涌水量高达 $2053\text{m}^3/\text{min}$,使该大型现代化矿井在不到21h内被全部淹没,成为世界采煤史上最大的一次突水淹井事故。但是,并非所有的岩溶陷落柱均导水。从现有调查资料来看,导水岩溶陷落柱使煤矿井水文地质条件复杂化主要表现在以下几个方面:

(1) 使不同地段井巷涌(突)水水量大小相差悬殊,在导水岩溶陷落柱附近,涌(突)水一般比较集中,且水量长期稳定。

(2) 由于岩溶陷落柱的强烈补给,煤层顶、底板充水含水层往往会出现局部高水位的异常区。

(3) 由于导水岩溶陷落柱的存在,煤层顶、底板充水含水层

地下水的水质差异表现的不明显，基本属于同一类型。

（4）煤矿井涌（突）水水量增长迅速。

在探放岩溶陷落柱导水性钻孔的布置和施工中，应注意下面一些问题：

（1）水压大于2MPa～3MPa的岩溶陷落柱原则上不沿煤层布孔，而应布设在煤层底板岩层中，因为沿煤层埋没的孔口安全止水套管，很可能被高承压水突破。

（2）孔口安全装置和安全注意事项与探高压断层水的钻孔要求相同。

（3）要提高岩心采取率，及时进行岩心鉴定，作好断层破碎带和岩溶陷落柱的分辨工作，编制好水文地质图表。

（4）严格执行钻孔验收和允许掘进距离的审批制度。

（5）监测并记录孔内水压、水量和水质的变化，发现异常应加密或加深钻孔，争取直接探到岩溶陷落柱。

（6）探到岩溶陷落柱无水或水量很小时，要用水泵进行略大于区域静水压力的压水试验，以便进一步检验其导水性。同时要向其深部布孔，了解深部的含（导）水性和煤层底板强岩溶充水含水层的原始导升高度。

（7）钻孔探测后必须注浆封闭，并作好封孔记录，注浆结束压力应大于区域静水压力的1.5倍。

五、导水钻孔的探查与处理

矿区在勘探阶段施工的各类钻孔，往往贯穿若干含水层组，有的还可能穿透多层老窑积水区，甚至含水断层等。若封孔或止水效果不好，人为沟通了本来没有水力联系的含水层组或水体，使煤层开采的充水条件复杂化。山东肥城矿区的原“中一井”，因地质勘探阶段的大量钻孔封孔质量不好，将中奥陶统灰岩水导入煤系薄层灰岩，致使开采上组煤时，矿井涌水量很大，且长期达不到疏水降压的目的，矿井一直无法投产，被迫改为“水文地质试验井”，补做了10余年的水文地质补充勘探工作，将所怀疑的钻孔均作了启封，最终才解决了这一人为造成的矿井水文地质

问题。淄博夏庄煤矿附近的一个矿，穿越煤系地层打奥陶系灰岩供水孔时，因套管止水质量不好，岩溶承压地下水沿钻孔上升后，使该矿七层煤残留煤柱遭到破坏，矿井涌水量突然增加 $12\text{m}^3/\text{min}$ ，使该矿几乎被淹。另外，有些矿的施工地质孔将上层煤的老窑积水大量导入正在生产的下层煤采区，也曾造成严重的水害事故。因此，必须采取有效的措施防止出现导水钻孔，封闭确已存在或有怀疑的所有导水钻孔。

（一）防止出现导水钻孔的基本措施

（1）各类勘探孔达到勘探目的后，应立即全孔封闭，包括第四系潜水含水层以下各含水层组。

（2）为了防止水砂分离或粘土稀释流失，封孔不能用水泥砂浆或粘土，要用高标号纯水泥。

（3）严重漏水段，应先下木塞止水，然后注浆，防止水泥浆在初凝前漏失。

（4）要先提出封孔设计，进行分段封孔并分段提取固结的水泥浆样品，实际检查封孔的深度和质量，由下而上，边检查边封闭，作好记录，最后提出封孔报告书。

（5）需要长期保留的观测孔、供水孔或其他专门工程孔，必须下好止水隔离套管。套管和孔壁之间的环状间隙要用优质水泥注浆固结。

（6）已下套管的各类钻孔，不用之前，也应按1、2、3条的要求加以封孔。

（7）所有钻孔的孔口均应埋设标志，并要准备测斜资料，便于确定不同深度的偏斜位置。一旦需要时，利于采取措施。

（二）导水钻孔的调查与分析步骤

历史上已有的钻孔是否存在导水威胁，需要认真调查分析，其具体步骤如下：

（1）绘制钻孔分布图，将过去有关部门钻进各类钻孔都准确地标定在图上。尽量收集到柱状图、封孔止水资料、孔口标高和坐标、测斜数据以及其他有关资料，以便准确定位。

没有坐标、标高的钻孔，应从旧图纸或对照现场地形地物确定位置，反求出坐标，便于查找。

（2）建立钻孔止水质量调查登记表，分析确定有怀疑的导水钻孔，并将其标到有关的采掘工程平面图和储量图上，圈定警戒线和探水线，以引起高度重视。

六、探放充水含水层水

由于基岩裂隙水的埋藏、分布和水动力条件等都具有明显的非均质和各向异性，煤层顶、底板砂岩裂隙水、岩溶水等在某些（或某一）地段对采掘工作面可能没有任何影响，但在另一些地段却可能不同程度地威胁着煤矿井的安全生产。为了确保矿井安全生产，必须探明各类充水含水层的水量、水压和补给水源等，这样，才能做到有备无患。

防治煤层顶、底板充水含水层的各种水害，既要从整体上查明矿井水文地质条件，采取疏干降压或截源堵水等不同的防治水措施，又要重视井下采区的探查。井下探查往往是疏干降压或截源堵水等防治水措施合理制订的先行步骤和重要依据。如无水或补给量很小，通过探查孔放水即能达到降压或疏干的目的；若补给水源丰富，水量大，需要通过井下“大流量、深降深”的放水试验和物探、化探方法的配合，查清条件后，才能采取相应的防治水方法。因此，井下探放充水含水层水是矿井防治水的基本工作内容之一。

第三节 疏干降压开采

疏干降压是针对煤层顶板充水含水层或煤层本身而言的。疏干（水）降压能调节流入矿坑的水量和充水含水层水压（位）的动态特征，因此，与矿井一般的排水在概念上是有区别的。当然，疏干降压和矿井排水均是矿井防治水的基本手段，而且矿井排水对于每一个矿山都是必不可少的工作。疏干降压与矿井排水的区别主要表现在：前者是借助于专门的工程（如疏水巷道、抽

水钻孔和吸水钻孔等)及相应的排水设备,积极有计划有步骤地疏干或局部疏干影响采掘安全的充水含水层;而后者只是消极被动地通过排水设备,将流入水仓的水直接排至地表。由此可见,疏干降压在调节矿井涌水量、改善井下作业条件,以及保证采掘安全乃至降低排水费用等方面起着矿井排水所不能起的作用。所以,有人将疏干降压看成是一种与矿井水作斗争的积极措施,应当优先考虑。

煤矿井疏干(水)降压的目的是预防地下水突然涌入矿坑,避免突水灾害事故,改善劳动条件,提高劳动生产效率,消除地下水高水压造成的破坏作用等,是煤矿防治水的一项主要措施。对于一些大水煤矿区,为了减少矿井涌水量,降低吨煤开采成本,提高经济效益,应采取注浆截流、浅排和排、供、生态环保三位一体结合等其他措施,与疏干(水)降压方法统筹考虑,进行综合防治。

一、疏干程序

矿井疏干过程可分为疏干勘探、试验疏干和经常疏干三个逐渐过渡程序,应与矿井的开发工作密切配合。

(一)疏干勘探

疏干勘探是以疏干为目的的补充水文地质勘探,其主要目的是:

1. 查明矿区疏干所需要的水文地质资料

(1)地下水的补给条件及运动规律。

(2)水文地质边界条件,包括对补给边界及隔水边界的评价。

(3)地下水的涌水量预测,包括单一充水含水层或充水含水组的天然补给量、存储量及其长年季节性的变化。

(4)疏干含水层与地表水体或其他充水含水层之间的水力联系及可能的变化。

(5)含水层的导水系数(单宽全厚含水层在单位水力梯度下渗透速度的量度)及储水率(随单位水头变化,从岩石单位体积

内释放或增加贮存在充水含水层孔隙或裂隙中水的总量)。

(6) 疏干工程的出水能力、疏干水量、残余水头及疏干时间等。

2. 确定疏干的可能性，提出疏干方案

疏干方案的制订一般应遵循下列原则：

(1) 应与煤矿山建井、开采阶段相适应。

(2) 疏干能力要超过充水含水层的天然补给量。

(3) 疏干工程应靠近防护地段，并尽可能从充水含水层底板地形低洼处开始。

(4) 疏干钻孔数应采用多种方案进行试算，孔间干扰要求达到最大值，水位降低能满足安全采掘要求。

(5) 疏干工作不能停顿，应根据生产需要有步骤地进行。

(6) 水平充水含水层应采用环状疏干系统，倾斜充水含水层采用线状疏干系统。

疏干勘探往往要依靠抽水试验、放水试验、水化学试验、水文物探试验及室内试验来完成，在有条件的矿区，应采用放水试验方法。

(二) 试验性疏干

试验性疏干方案的正确制定表现在矿井开采初期能降低水位，并能经过6~12个月、特别是雨季的考验。要尽可能利用疏干勘探工程，并补充疏干给水装置。通过试验，了解确定干扰效果及残余水头等情况，在此基础上，进行疏干勘探工程的适当调整。

(三) 经常性疏干

经常性疏干是生产矿井日常性的疏干工作，随着开采范围的扩大和水平延伸，疏干工作要不断地进行调整、补充，甚至根据新获取的信息，重新制定疏干方案，以满足矿井生产的要求。经常性疏干需要进行的水文地质工作主要包括：

(1) 定期进行疏干孔的水量观测和观测孔的水位观测。国外和我国部分矿区已采用自动记录和应用计算机技术自动处理长期观测资料，并应用计算机自动控制地下水降落漏斗。在没有这种

技术条件的矿区，在平水期，要求疏干孔每3日观测水量1次，主要观测孔每3日观测水位1次，外围观测孔每月观测2次~3次。在丰水期，要求疏干孔每日观测水量1次，主要观测孔每日观测水位1次，外围观测孔每5日观测1次。

(2) 编制疏干水量、水位动态变化曲线图和疏干降落漏斗平面图。动态曲线应逐日连续绘制，降落漏斗图可每月绘制1幅。

(3) 定期进行水质分析，除常规水质化验外，对地下水中特殊元素如溴Br、碘I、氨An等定期测定，掌握其水质动态，及时分析可能出现的新的补给水源。

(4) 围绕不同的开采阶段，修改、补充疏干方案和施工设计，保证疏干工作的顺利进行。

二、疏干方式

疏干工程应与采掘工程密切结合。疏干工程按其进行阶段（或时间）可分为预先疏干和并行疏干。预先疏干是在井巷开拓之前进行，而并行疏干是在井巷开拓过程中进行，一直到矿井采掘完毕。

疏干方式包括三种：地表式是从地表进行疏干；地下式是在地下进行疏干；联合式是同时采用上述两种方式或多井同时疏干。目前这三种疏干方式在我国煤矿区皆有采用。

（一）地表疏干

地表疏干主要用在预先疏干阶段，是在地表钻孔中用潜水泵预先疏降充水含水层的水位或水压的疏干方式，常用于煤层赋存较浅的露天矿。随着高扬程、大流量潜水电泵的出现，井工矿亦可采用这种方式。地表潜水泵预先疏干与井下并行疏干方式相比较，具有建设速度快、投资和经营费用低、安全可靠等优点，且水质未受煤层污染，对工业及民用供水有利。

地表潜水泵预先疏干效果好坏，主要取决于充水含水层的渗透性、水位高度、干扰系数、钻探设备和排水设备等条件。根据前苏联经验，这种方法要求充水含水层的渗透系数值最好在 $5\text{ m/d} \sim 150\text{ m/d}$ 。如果过滤器安装合适，渗透系数为 3 m/d 的

潜水含水层和渗透系数为 $0.5\text{ m/d} \sim 1\text{ m/d}$ 的承压含水层亦可采用这种疏干方式；而欧美国家的实践经验则是：渗透系数大于 3 m/d 的潜水含水层和大于 $0.3\text{ m/d} \sim 0.5\text{ m/d}$ 的承压含水层，均可取得良好的疏干效果。

（二）地下疏干

地下疏干主要应用在并行疏干阶段，通常采用巷道疏干（疏干水平不同）和井下钻孔（放水孔和吸水孔）疏干的方法。例如，美国双峰铜矿井下疏干排水系统总长度达 1020 m ，巷道内共布置12个放水孔，放水结果使充水含水层水压下降67%。我国湖南斗笠山矿香花台井的运输大巷位于灰岩充水含水层中，掘进时超前探水，并在大巷中控制出（突）水点水量，放水量达 $2160\text{ m}^3/\text{h}$ ，满足了降压要求。

（三）联合疏干

联合疏干常应用于矿井水文地质条件比较复杂的矿井，或矿井水文地质条件趋向恶化的老矿。由于从经济和安全方面的考虑，当单纯疏干或单一矿井的井下疏干不能满足矿井生产要求时，应考虑采用井上、井下配合或多井的联合疏干方式。

三、疏干工程

疏干工程的布置、规模、种类、质量、施工设备、施工工艺及完工时间，应按照疏干方案进行，疏干方案的编制是在矿井水文地质勘探的基础上进行的。在试验性疏干结束后，应根据实际情况对疏干方案作进一步修订。

（一）地面疏干井

疏干井施工前必须掌握下列资料：

（1）施工地段的地质、水文地质条件和其他勘探资料（包括附近已有的钻孔资料）。

（2）有关设计图件和说明以及疏干井的规格、水量要求等。

（3）施工现场的运输、安装、动力及材料供应情况等。

井的结构应根据地层情况，采用多径阶梯式结构。井径应根据井的出水能力及泵体直径决定，一般要求在表土层、含水层、

沉砂段要变径。沉砂段的长度应根据井的深度和含水层出砂的可能性来确定。

（二）疏干巷道

疏干冲积层水的巷道，其底板应建筑在基岩或不透水层中，嵌入深度一般不小于0.5 m~1.0 m。疏干巷道中，放水钻孔的数量、布置方式、钻孔结构、疏干水量、安全措施等，可参照井下探放水。

井下疏干时，应有工作、备用、检修三套水泵。工作泵的能力应能在20 h内排出24 h的正常涌水量，备用泵的能力应不小于工作泵能力的70%，工作泵和备用泵的总能力，应能在20 h内排出矿井24 h的最大涌水量。

对于正常涌水量大于1000 m³/h的矿井，主要水仓的有效容量可按下式计算：

$$v = 2 (Q + 3000) , \text{ m}^3$$

式中Q——矿井每小时正常涌水量，m³。

第四节 带压开采

带压开采主要是针对底板存在较强承压充水含水层的煤层。由于煤层与底板强岩溶承压充水含水层之间往往沉积一定厚度的隔水岩体，故对于底板存在充水含水层的煤层，无需进行疏干开采，只要使煤层底板承压充水含水层的水头压力疏降至安全开采高度，即可进行安全带压回采。为在复杂矿井水文地质条件下进行带（水）压开采，并获得经济效益，以下技术问题应予以重视并付诸实施。

一、查清带压开采的矿井或采区地质、水文地质条件

除应对区域水文地质条件有所认识外，对井田或采区的水文地质条件也应了解清楚，对充水含水层组的补、径、排条件和不同充水含水层组间的水力联系程度以及保护层的防隔水性能等均应予以研究，以便更好地选择合理的防治水方法和制定出具体的

带（水）压开采的措施。

二、编制突水系数图

所谓突水系数就是指煤层底板每米厚度隔水层可以承受的临界地下水水压值（MPa/m），它可以作为确定带压开采的临界安全水头的依据之一。突水系数的应用是通过突水系数图来体现的。一般包括两种突水系数图，一种是矿区或井田的突水系数图，比例尺常为1:5000~1:10000；另一种是大比例尺的采区突水系数图，比例尺一般为1:1000~1:2000，甚至更大些。采区突水系数图的编制方法如下：

（1）以采煤底板等高线图为基础，将已知断层和开采上部煤层新发现的断层以及有用的矿井水文地质资料（如口突水点）标于图上。

（2）根据水位资料编制等水位线图。

（3）根据以上两种资料绘制底板等水压线图，等水压线是编制突水系数图的基础资料。

（4）编制有效隔水层厚度等值线图。根据勘探、生产和补充勘探等资料，确定一些点从煤层底板至底板充水含水层之间的总隔水层厚度，并从中减去煤层开采过程诱发的矿压破坏带和底板充水含水层的原始导升厚度，即得到这些点的有效隔水层厚度；然后把各点数据相应地标在相应比例尺的井田平面图上，用内插法绘制成图。这张图同样是绘制突水系数图的基础图件。

（5）根据煤层底板充水含水层等水压线图和有效隔水层厚度等值线图，即可绘制出突水系数等值线图。

三、编制带压开采地质、水文地质条件说明书

开采受水害威胁地区的煤层，在编制开拓、掘进与回采设计之前，必须编制该地区的地质、水文地质条件说明书，作为上述设计的依据。说明书的编制，除按一般规程要求的内容外，还应注意以下几个问题：

（1）说明书的研究范围应按开采范围所在的水文地质单元或以构造为边界的地质块段来圈定，这有利于分析充水含水层的补

给、径流和排泄条件以及充水含水层之间的水力联系，更便于水文地质勘探和疏水降压钻孔的设计。

(2) 说明书除应具备底板等高线图、剖面图等图件外，还应编制1:1000、1:2000或更大比例尺的有关带压开采的专门水文地质图，如等水压线图、煤层底板隔水层等厚线图以及突水系数等值线图。根据等值线图，按突水临界值划分采区内具体的带压开采范围和降压开采范围及降压值，并根据降压范围结合巷道布置排水系统，设计放水降压钻孔和观测孔。在设计放水钻孔时，要根据降压漏斗的延展规律，布置在可获得最大效益的位置，以求以最少的钻孔数、最小的排水量来获得最大的经济效益。

(3) 对开采区内的所有断层进行分析。根据断层造成局部隔水层厚度变薄的情况，核实突水系数，对造成局部不符合安全开采条件的断层，要提出具体处理意见和措施，如留设防水煤柱、断层两盘预注浆、加强断层带支护或局部疏水降压等。根据沿断层方向的充水含水层层位错动及接触关系，分析回采时断层的受力情况，尽可能杜绝沿断层走向掘进运料和回风道。如必须沿断层送巷时，要采取相应措施减少矿山压力，以预防由于剪切力高度集中而引起断层面重新滑动，避免造成突水或淹井事故。

(4) 要对开采区所在地质块段或水文地质单元的主要充水含水层进行水文地质条件分析。在断层多且错动复杂的地段，要编制以充水含水层为主体的断层接触关系图，通过此图分析充水含水层的补给、排泄、水力联系等情况，确定水文地质边界和充水通道。必要时对重要充水含水层还要进行水文地质勘探和试验，以查明充水含水层的厚度、岩溶发育情况、含水层间在断层接触段的联通情况，还要组织放水试验，确定充水含水层的动储量、影响半径及地下水的传导和渗透性能等，预测降压放水的涌水量、发生意外突水时的最大涌水量和稳定涌水量等。

四、建立强有力的排水设施

排水设施主要包括水泵、排水管路、适当容量的水仓和保险电源。位于奥陶系灰岩充水含水层富水带且又临近排泄带的矿

井，其排水基地的建立更为重要。如我国的大水矿井——焦作演马庄矿1977年南区-50 m水平发生突水，突水量达100 m³/min以上，矿井累计涌水量高达220 m³/min。幸运的是由于该矿的排水能力较大，才幸免发生淹井事故。又如四川红岩矿，1974年曾发生突水，突水量达152 m³/min，由于排水设施得力，大大减轻了突水损失。

各大水矿井排水设施的增量可以当地或条件相似矿井的突水量作为依据，并结合其他措施，如水闸门、各矿间排水基地的相互串通等，合理确定增量，采用直通式排水设施效果最佳。为了实现带压开采综合治水，峰峰二矿、四矿和邯郸王凤矿已建立起排水能力为120 m³/min的排水基地，大大增强了矿井御水防患的能力。

五、险区备灾问题

（一）建立防水线保护排水基地

大水矿井强有力的排水基地建成后，要有良好的维护制度以保持其额定的排水能力。排水基地与其他防水设施（如水闸门）结合使用更为有力。大水矿井在掘进通往水患煤层的巷道时，均应建立防水闸门，在发生超过排水基地排水能力的突水时，可关闭水闸门，保住基地，防止发生恶性水患事故。

（二）建立警报系统

开采受水患威胁煤层的矿井，特别是在大于突水临界值的采区作业时，采掘工作面要设专职水情监视员。水情监视员应具有很强的责任心和一定的防水经验。采掘面还应建立水情记录，设置专用的电话和警报器。一旦发现恶性突水征兆，能及时发出信号，组织撤离。报警制度和细则应使全体人员熟知。

（三）标明应急撤退路线

在大水矿井开采水患煤层，特别是在险区作业，应确定并及时修订井下人员遭遇水险的撤退路线。路线应标在采矿防险撤退路线图上，沿线特别是分岔点应设有明显标记，使井下作业人员对此熟知。

六、留设断层防水煤柱

实际资料表明，大水矿井大多数突水通道均系断层，因此在导水或易于突水的断层带留设防水煤柱是常用的防水方法，也是带压开采综合防治水方法中重要的防水措施之一。匈牙利利用隔水系数经验公式，计算留设煤柱，收到了较好的效果，我们用自己的突水系数经验公式在突水系数临界值之内留设煤柱，通过实际验证也是可行的。

七、隔水层薄弱带的加固

由于沉积变薄或构造破坏都会降低隔水层的防隔水作用，以致成为发生突水的条件，因此隔水层的薄弱带需要加固。峰峰、焦作、龙山等矿进行的巷道穿过隔水层薄弱带的加固实践，收到了良好的效果。

第五节 含水层改造与隔水层加固

这项技术是20世纪80年代中后期发展起来的一项注浆治水方法。当煤层底板充水含水层富水性强且水头压力高，或煤层隔水底板存在变薄带、构造破碎带、导水裂隙带，需采用疏水降压方法实现安全开采，但疏排水费用太高、浪费地下水资源且经济上不合理时，采用含水层改造与隔水层加固的注浆治水方法实属上策。

该技术主要针对煤层底板水害的防治，它利用采煤工作面已掘出的上通风巷道和下运输巷道，应用地球物理勘探或钻探等手段，探查工作面范围煤层底板岩层的富水性及其裂隙发育状况，确定裂隙发育的富水段，采用注浆措施改造含水层或加固隔水层，使它们变为相对隔水层或进一步提高其隔水强度。根据多年现场实践，这项防治水技术具有十分广阔的推广应用前景，是防治底板水害较为有效的实质性措施之一。山东肥城矿区是应用这项技术较为成功的一个地区，该矿区从1986年到现在，已经局部注浆或整体注浆改造九层煤、十层煤采煤工作面23个，安全采出原煤152.032万t，取得了十分可观的经济和社会效益。如

杨庄矿9507采煤工作面当回采到 - 33 m水平时，底板出水，相距230 m的9505采空区出水约10 m³/h，经过在五灰充水含水层打孔注浆后，工作面上水量消失，采空区水量仅剩2 m³/h。

该技术主要包括以下内容：

（1）地面建造注浆站，集中向井下远距离输浆和注浆，简化注浆系统，提高自动化程度，为大规模改造自然地质条件提供手段，注浆管不超过50 mm，在低凹位置可设置放水放浆闸阀。

（2）开发应用粘土水泥浆，在裂隙地层中灌注有其优点，在岩溶地层中应用需进一步实践分析。

（3）积极应用井下物探的方法探查煤层底板一定深度的岩溶裂隙发育情况、承压水原始导升高度和富水状况，为钻探注浆提供目标，也为注浆加固后的质量检验提供借鉴。

（4）在承压水头压力高、采动矿压对底板破坏影响较深的地区，加固改造的目标层深度也应加大。

（5）多年现场实践显示，改造加固目标虽然是大面积的，但实际能进浆的范围却是局部的，主要在一些断层破碎带附近。如果能强化注浆，有可能解决一些垂直导水通道问题，扩大防治的效果。

（6）在注浆改造范围不大、注浆材料使用量小的情况下，也可以建井下造浆、注浆站。

（7）在水头压力高的地区井下打钻时，孔口安全装置要慎重设置。

（8）要提高各注浆孔的最后封口质量。

（9）可利用注浆孔（有少量涌水又在采动影响范围以外者）进行采动条件下的涌水量、水压动态变化观测，开展突水监测工作，加深煤层底板突水机理的认识研究。

第六节 防水闸门与水闸墙

防水闸门硐室和水闸墙是井下防水的主要安全设施，凡水患

威胁严重的矿井，在井下巷道设计布置中，就应在适当地点预留防水闸门硐室和水闸墙的位置，使矿井形成分翼、分水平或分采区隔离开采。在水患发生时，能够使矿井分区隔离，缩小灾情影响范围，控制水势危害，确保矿井安全。

井下防水闸门和水闸墙的设计、施工、试验、日常维护以及技术管理等方面的工作，必须严格执行《煤矿安全规程》的有关规定。现将国内部分煤矿在这方面的经验分类汇集如下，可作为矿井水文地质条件比较复杂的矿井在制定作业规程、安全措施和技术管理工作制度时参考。

一、防水闸门和水闸墙设计原则

(1) 在矿井水文地质条件复杂地区，进行新矿井巷道布置和生产矿井开拓延伸或采区设计时，必须根据水患威胁情况，考虑设置防水闸门或水闸墙的位置，并须在其附近保留足够的防水煤（岩）柱。

(2) 在向设计单位提供防水闸门硐室或水闸墙设计资料时，应提供以下内容：

最高静止水位；

涌水量；

围岩性质；

所在巷道断面和支护形式。

向设计单位提供防水闸门硐室专用资料时，除上述各项内容外，还必须提供：

巷道内运输方式；

要求巷道通过的正常风量；

巷道管线电缆布置；

采用水闸门和水沟闸门的规格等。

(3) 防水闸门硐室或水闸墙设计，应包括以下内容：

设计说明书和计算书；

工程位置和施工图；

主要附属设施；

施工与质量要求；
注浆防漏要求；
耐压试验要求；
主要材料及工程量表。

(4) 凡属采用的设计，须根据规定设计内容和必要的计算基础进行重点检查验算。设计缺项必须在采用前补齐，补充的设计图必须按规定报批。

(5) 水闸门门扇与门框设计，应包含以下内容：
设计说明书及计算书（包括技术要求、技术指标、质量检查方法，制造和安装公差、防腐蚀要求等）；
全套制造图（包括装配、拉紧装置、门口密封的全部零件制造图和材料表）。

(6) 硐室中布置有水沟闸门时，水沟闸门与行车门硐须在平面上错开布置，大门与小门不得上下重叠。

(7) 硐室迎水端向里25 m处，须安设向里开的巷道铁栅栏门和水沟篦子。硐室两端护铤范围内的混凝土底拱应与护铤基础整体连接或与预留斜口接茬连接。在门框后部及门硐周围混凝土应力集中部位，必须采取加固措施，增强其抗剪抗压和防渗能力，以防混凝土被局部集中应力突破。

(8) 防水闸门硐室或水闸墙位置的选择，须考虑如下因素：
所选位置应不受井下采动的影响；
应尽可能先在较致密岩（煤）层内；
应远壁断层和岩石破碎带；
从通风、运输、行人、放水安全等方面考虑，要便于施工和灾后恢复生产；
应尽可能设在单轨运输的小端面巷道内；
不受多煤层开采因素影响。

二、防水闸门和水闸墙的日常维护与管理

(1) 井下所有防水闸门和水闸都必须制定专用技术管理制度，指定专责单位，明确专人管理，定期进行检查、维护。

(2) 每季度要对每个防水闸门进行一次不承压关门试验，检查门的密合程度、硐室围岩有无变化、附件是否齐全、设施有无损坏及制度执行情况，发现问题及时解决。

(3) 防水闸门及其硐室的报废，必须报请集团公司总工程师批准。

三、井下防水闸门的监察

(1) 煤矿是否在矿井或新水平设计中考虑设计建筑防水闸门，选择的位置是否恰当，其设计是否报省（区）煤炭局或集团公司总工程师批准。

(2) 防水闸门的施工质量是否符合设计要求，闸门和闸门硐室是否有漏水的地方。

(3) 防水闸门硐室前后、两侧是否分别砌筑5 m混凝土护碛，碛后是否用混凝土填实，有无空帮、空顶，是否用高标号水泥进行注浆加固，注浆压力是否与防水闸门设计压力相等。

(4) 防水闸门来水一侧15 m~25 m处是否加设一道物篦子门，防水闸门与篦子门之间有无停放车辆或堆放杂物。

(5) 通过防水闸门的铁道、电机车架空线是否灵活易拆，在关闭时能否迅速拆除。

(6) 水闸门是否安设有观测水压的装置，有无放水管和放水闸阀。

(7) 防水闸门竣工后是否有矿总工程师组织验收，有无验收报告和记录。

(8) 防水闸门是否进行耐压实验，是否符合标准，有无试验记录。

(9) 关闭防水闸门的工具和零件是否存放在指定的专门地点，有无专人负责保管，有无丢失和挪作它用的现象。

(10) 防水闸门是否每年由矿长负责进行2次关闭试验，有无试验报告和记录。

(11) 是否建立有防水闸门的检查维修制度，有无专职责任制。

(12) 防水闸门的设备，附件和工具是否完好无损，门扇关闭是否灵活、密封，接触是否良好，门框与混凝土的接触有无新的裂缝损伤，闸门是否质量完好；门扇在日常开启状态下，其下是否加支撑，每年是否对门扇门框进行一次刷油。

第七节 注浆堵水技术

一、煤矿注浆堵水必要性分析

新中国建立40多年的实践表明，注浆堵水技术是煤矿防治水最重要的手段之一。疏、堵结合已成为煤矿防治水的一个重要原则。许多条件下，疏是煤矿治水的根本，不疏就无法采煤或不能安全采煤，随时隐伏着水害威胁。但通过疏，一定要千方百计查明动水补给量及其进水边界或通道，创造条件进行截源堵水，这样既可大大节约排水费用，又可最大限度地减小对自然水环境的破坏程度。对那些间接充水含水层，通过堵就能防止或减轻水害者，必须坚决地堵，尽可能不疏排这些水；对已造成突水事故的直接或间接充水含水层，用强排方法恢复被淹矿井、水平或采区，往往既不经济也不安全。理想的防治水方案应该采取“先堵后排”，待恢复矿井生产后再设法加以治理。通过堵首先可以降低矿井涌水量，同时也能查明具体的突水原因和条件，为以后的防治水工作积累资料，这种堵就成为“查治结合，治中有查，查中有治”的治理煤矿水害的一种手段。

堵水，对煤矿来说具有重要的经济效益。现有统计资料表明，扬程100 m，每排1 m³的水需消耗电能0.6 kW，矿井开采得愈深，扬程就愈高，每立方米的排水耗电也就愈大。一个采深500 m的矿井，如有1 m³/min的经常涌水量，一年就要耗电157.68万kW·h，每1 kW·h的电费按0.15元计算（目前电价就更高了），仅电费一项就得花去23.65万元。设备消耗折旧和人工管理费用还未计算在内。加上这些费用，每1 m³/min的涌水，年排水费将高达30万元。

因此，尽可能减小矿井排水量，是矿井水文地质工作者的一项根本任务。此外，减小矿井涌水量，对保护日益紧缺的水资源、维护自然生态环境的平衡，具有极其重要的意义。一般地说，减小矿井涌水，除了留设必要的防水煤岩柱外，就是采取注浆堵水措施，截断补给水源或重要的充水通道。不断充实完善这一治水手段，是矿井水文地质工作者的一项重要任务。

二、我国煤矿注浆堵水技术的发展历程

注浆堵水作为一项治水手段应用于煤矿安全生产，在20世纪50年代中期首先应用于山东淄博和河北的开滦。山东淄博矿务局的新博矿区有一个1934年底板岩溶水突出而全井被淹的夏家林古井，积水5万余立方米，水位标高与区域奥灰水位一致，一直在 $+210\text{ m} \sim +198\text{ m}$ 范围内波动。为了防止这个与强岩溶含水层存在水力联系的古井积水的突水，该矿沿其周围留设了200余万吨的隔水煤柱。这个措施虽避免了突水事故的发生，但由于各层煤开采的标高都在 ± 0 水平，故在200余米水压差作用下，这个具有强大补给水源的古井积水仍源源不断地沿各可采煤层顶底板充水含水层的裂隙网络向矿井充水。在接近这一古井的采掘区，淋、滴、涌水现象仍十分严重，造成劳动条件的恶化。为了回收这200万吨煤柱并彻底解除水患，从1955年起就着手研究治理措施。开始曾设想用强排方法恢复这一古井作为回风井，试排水结果显示，降深不大于 10 m ，排水量却大于 $23\text{ m}^3/\text{min}$ 。按这个信息推算，若地下水水位降深到井底，其排水量将达 $80\text{ m}^3/\text{min}$ 。由于井筒断面有限，根本无法安装强排所必需的水泵等设施。根据计算强排所需的时间和总排水量，强排所需的投资将大于500万元。如井下堵水不能奏效，还可能长期背上沉重的排水包袱，若遇供电或设备故障，可能全井重新被淹。显然，先排后堵的治水方案根本行不通。因此，最后确定选用地面注浆封堵出水点，首先截断补给水源再恢复矿井的“先堵后排”的治水方案。经当时的华东煤管局和淄博矿务局组织有关技术人员反复讨论和试验研究，最后取得了地面注浆堵水的成

功。不到9个月的时间，注水泥460余吨，在1956年的10月即出现夏家林立井井筒水位每日下降10余米的明显效果。这个结果主要是因注浆截断补给水源后，无源的古井积水自动向新博矿周围的采空区泄漏而造成的。通过简单的追排水，在1957年元月，地下水水位就降到了古井井底，实测涌水量不到 $0.3\text{ m}^3/\text{min}$ 。这个堵排水工程总花费仅70万元，就将一个重大水患彻底解除，并同时增加煤炭产量200余万吨。夏家林井堵水的成功及其产生的明显经济效益，给山东省有关局、矿的防治水工作带来了巨大的鼓舞，也给全国煤矿的防治水带来了有益的启示。但应该承认，当时的堵水方法和工艺还是较为原始的，止浆塞用的是牛皮、黄豆和干海带，只用单液水泥浆。为了怕堵孔，浆液水灰重量比浓度大部分采用2:1和1.5:1。钻孔偏斜也无法控制，更无孔间透视技术，为了确定出水点，先后打了19个钻孔。

1959年开滦矿务局的荆各庄矿主井基建掘进，井深449 m，需穿过第四系松散孔隙含水层155 m、5煤顶板砂岩、12煤底板砂岩和15煤顶板砂岩等多个充水含水层。用冻结法穿过松散孔隙层后，只掘到井深188.5 m处，发生突水，水量 $258\text{ m}^3/\text{h}$ ，井筒被淹。由于当时缺乏经验，立即向井筒内出水点打钻注浆，用水泥1018 t、石膏11.6 t和氯化钙10 t，希望在出水点上方的井筒内固结，把水堵住。可结果未能奏效，只好改变原堵水方案，围绕井筒布设了8个注浆钻孔并加2个检查孔，对井筒形成直径为17 m的圆形注浆帷幕，针对有关含水层进行注浆。10个钻孔总进尺4560.7 m，累计有效注浆段总长2597.97 m，注入水泥1621.85 t、水玻璃899.77 t。根据现场实际情况，通过试验研究，确定了具体的注浆工艺流程和方法。最后终于取得了明显的堵水效果，井筒顺利得以恢复排水，继续掘进到300 m深，涌水量仅 $2.3\text{ m}^3/\text{h}$ ，到419.85 m，仅 $15.7\text{ m}^3/\text{h}$ 。按抽水试验资料预测，该井筒189 m~215 m段涌水量 $393\text{ m}^3/\text{h}$ ，225 m~265 m段涌水量为 $418\text{ m}^3/\text{h}$ ，267 m~417 m段涌水量为 $234\text{ m}^3/\text{h}$ 。

由于地面预注浆效果明显，大大改变了井筒施工条件，保证了质量，加快了进度，缩短了建井工期，取得了很好的社会和经济效益。显然，地面预注浆是基建矿井防治水的一个重要手段，具有普遍推广应用的前景。

20世纪60年代以来，煤矿的注浆堵水技术在多次生产实践应用中得到了普及和提高，先后共完成20余次强充水含水层突水点的堵水治理工程，许多井筒的预注浆和成井后的壁后注浆效果明显，解决了因井筒淋水大而影响生产安全和损坏井筒内装备等难题，并开始进行帷幕截流堵水的实践。

到了20世纪70年代，注浆材料更加丰富，注浆工艺和设备得到了改进和完善。为了系统总结经验，煤炭科学研究院北京建井所注浆室编著了《煤矿注浆技术》一书，于1978年12月由煤炭工业出版社出版发行。

20世纪80年代至今，注浆堵水技术已成为煤矿井防治水的一种重要有效的手段，其应用范围进一步扩大，主要应用于以下几个方面：

（1）立井筒施工前的地面预注浆，创造有利于井筒开挖的施工条件。

（2）立井施工中预留岩柱对充水含水层进行工作面预注浆，既预防突水又可减少涌水量，针对性强。

（3）井筒掘砌后的壁后注浆和修补注浆，既可在地面进行，也可在井筒内进行。

（4）斜井和穿层石门等井巷，预留岩柱或砌筑专门水闸墙或止水垫，对充水含水层或断层破碎带进行预注浆或出水后注浆，预防或治理突水，减少涌水量，并为井巷穿越充水含水层或断层带创造安全条件。

（5）对有强补给水源的突水点注浆堵水，治水复矿，并相应查明突水原因和条件。

（6）与疏放水结合，对查明的进水边界或通道，进行帷幕截源注浆，改造自然条件，减少矿井涌水量。

(7) 有煤层底板突水危险的矿井，对强含水层顶面或夹存于其顶板隔水层内的弱含水层进行改造加固注浆，使其变为相对隔水层，以减小突水机率和突水量。

(8) 对导水钻孔进行地面启封注浆或井下注浆。

(9) 对导水陷落柱或其他垂直导水通道，进行针对性注浆。

上述各类注浆堵水，既有在静水条件下进行的，也有在流速达2 m/s以上的动水条件下进行的，注浆材料既有砂、石子、砖块、压缩木串等骨料，也有单液水泥浆、双液浆、化学浆。各局、矿的每一次注浆堵水工程，都有单项经验总结。为了综合反映我国煤矿的注浆堵水技术，在1984年10月煤炭工业出版社出版的《矿井地质工作手册》第十五章和1992年8月煤炭工业出版社出版的《煤矿安全手册》第五篇第七章均作了系统地概括分析和总结。

三、气注浆堵水治理水害的主要技术问题

由于地质条件、水文地质条件、注浆材料、注浆设备和工作人员素质等的不同，每一个注浆堵水工程的效果和社会经济效益往往存在很大的差别。技术分析不当、指挥失误，常常会走弯路甚至带来整个工程的失败。

矿井突水点往往位于矿井水文地质条件较为复杂、薄弱结构面较多的地点。因此，注浆堵水工程的加固就等于消除了矿井的一个隐患，同时也就查清了一种隐患条件或类型，也为矿井大范围的安全开采创造了条件，为预测预防类似隐患的发生提供了可借鉴的经验。但有些突水点，是由于区域围岩防隔水性能处于临界状态，确实存在着此堵彼突的危险，此时封堵突水点的目的，是首先减少矿井涌水量，恢复被淹矿井，建立防排水阵地后，为进一步查清条件、制定矿井防治水总体规划而服务。这种条件下的堵水，注浆段要尽量往深处延，争取在一定范围内通过堵水能加大阻隔水层的厚度。当然，如果这种突水点水量不是太大，根据当地的具体水文地质条件和井巷条件，也可以不堵，而直接利用作为疏水降压点，强排到底，砌筑水闸门，实行有效控放。

这种类型的注浆堵水，在我国煤矿实际应用已有上百次，经过反复实践，在条件探查、钻探工艺及布孔原则、注浆工艺、注浆材料、效果观测判断、质量评价等方面已积累了许多经验。每个工程均有其各自特点，但概括地讲，应注意以下四个方面：

（1）如出水点位置缺乏资料或有部分资料可供参考但不准确，需要在分析判断的基础上布孔加以勘探，证实其确切位置和主要补给水源通道。

（2）出水点位置或来水的条件及通道资料明确，需要布孔准确确定。

（3）动水注浆时，往往会出现浆液迅速流失的现象。若过水通道断面较大，即使双液浆有时也难于在其中停留固结。

（4）注浆完成后需保证有足够的注浆范围和强度，要防止复矿排水时二次重新突水。

1. 圈定出水点，找到补给水源通道

针对第一方面，圈定出水点，找到补给水源通道，是这类堵水获得成功的首要一环。因此，需要从以下几个方面开展工作：

（1）首先需要核实资料，确定突水点的大致范围和条件，再布置勘探工程查明证实这一突水条件。以一个失败工程为例，说明慎重分析原始资料的必要性。X矿发生一次突水，具体位置不清，只知道巷道遇见一条落差10余米断层导致的突水，断层走向、倾向、倾角也不清楚，但图上有位置。由于堵水时没有慎重分析所提供的资料，没有进行认真的勘探和出水点的查找，更没有注意核实这条巷道的方位和遇断层地点的坐标及标高，没有在井上、井下进行认真对照分析，仅仅根据图上标定的断层位置在地面定孔进行注浆堵水。堵水过程中确实在该位置见到了一条落差10余米的断层，离巷道也不远，注浆时能沿巷道流出浆液。经过在这一位置大量的打孔注浆，设计的注浆钻孔全部注浆，各孔每个注浆段也都达到了终压、终量标准，承包的工程费用也全部用上了，但井下涌水量一点也没有减少，时间已用去一年多。于是合同双方发生了争执。最后经技术分析鉴定，真正出水点离

注浆地点还有20余米，注浆地点虽也见到这条断层，但是由于断层倾角变小为 40° 左右所致。

(2) 要慎重细致观察、分析浆液去向，判断突水通道，及时调整堵水点的位置。Y矿-290水平一个采煤工作面突水，分析判断是由于一断层破碎带所致，故对断层破碎带进行注浆封堵。

1、2、3、4号钻孔全部遇见断层带，1号孔在煤层底板2 m左右的断层带出水口处，注砂几十立方米均被水流带走。当时分析推断，如再使用水泥甚至是双液浆也肯定无济于事。于是，利用在煤层底板以下15 m~30 m深度上见断层带的2、3、4孔进行注浆堵水。这些孔在注水注浆过程中均显示压力，但可不断进水进浆，只是在浆量大时需要的泵压高，浆量调小时所需压力降低。针对这一情况，当时有两种分析意见：一是认为，这不是主要突水通道，它之所以能源源不断进浆是由于断层破碎带与煤层采空区有联系，浆液都流到采空区去了。它之所以表现出浆量大泵压高、浆量小压力低的特征，是由于与采空区存在联系的断层伴生裂隙带的横截面积有限所致，故不能再对这些细小裂隙形成的非主要导水通道注浆了；二是认为突水是因断层带引起的，现在能针对煤层底板以下15 m~30 m的断层带注浆，正是掐住了脖子，正是堵到了导水通道的位置，尽管注浆过程中可能向采空区跑一点浆，但也必须连续不断地注浆，直到断层带不进浆为止，何况它不一定向老窑区跑浆呢。结果利用2、3、4号孔反复注浆，用去水泥3000余吨，出水点水量也没有减少，而注浆钻孔仍在不断注。如考虑使用双液浆或加大单液水泥浆的水灰重量比浓度到 $0.6:1 \sim 0.5:1$ ，根据泵压与进量的关系，显然会发生堵孔事故，丧失注浆条件。因此，只好继续进行中等浓度的单液水泥浆注浆，又用去水泥1000余吨，但仍然不能解决问题。最后，改用命中出水点并与巷道相通的1号孔充填砂子，另重新补打至煤层底板以下50 m的5、6号两钻孔，在断层与奥灰顶面交线位置的主导水通道位置进行注浆。结果只用砂子300 m³充填巷道、压住出水口，再用水泥800余吨进行奥灰过水通道注浆堵

水，很快解决了问题。

(3) 在出水点位置、通道、水文工程地质条件不清的情况下，要查治结合，首先进行注浆堵水勘探。要针对分析的具体目标布置勘探钻孔，尽量争取用少量钻探工程查明注浆堵水的条件。Z矿发生了一次 $17000\text{ m}^3/\text{h}$ 的突水事故，事后立即进行抢险堵水，布半圆形帷幕对出水点注浆，先后打11个钻孔，中途报废6个，最终成并能注浆者5个孔。但大部分注浆孔都不进浆，仅5孔注水泥 869 t ，其他4个孔合计注浆仅 55 t ，只能起到封孔作用，最后注浆堵水失败。事后分析原因认为：地层倾角变化达 $20^\circ \sim 45^\circ$ ；岩层沉积序列软硬变化大，泥岩与石英砂岩交替沉积；工程地质条件复杂，注浆钻孔孔深较大，达360余米，钻孔偏斜不好掌握，难于命中出水点；同时，充水岩溶含水层的裂隙、溶隙发育极不均匀，只有钻到溶洞、溶隙或断层破碎带，才能真正注入浆液达到堵水的目的。因此，上述原因造成了11个注浆钻孔中只有一个孔能真正注浆的结果。从这一实例可以看出：事前进行必要的堵水勘探，进行孔间透视、抽（放）水试验、连通试验、流速流向测定、水质水温分析、水文地质工程地质条件分析、地层层位和断层裂隙展布规律等系统分析，确定理想注浆堵水孔位和层段是十分必要的，切不可“大撒网、多打孔、盲目注浆”。

2. 准确命中出水点

针对第二方面，准确命中出水点，是注浆堵水技术能否发挥快速、经济、有效作用的根本环节。许多出水点治理结果表明：虽然打了许多钻孔，并都进行了注浆，且每个注浆孔都能进浆，但最后证明，解决实质性问题的往往只是一、两个关键注浆孔，它们或者是命中巷道的堵截孔，或者是命中出水主通道的孔。下面举三个工程实例加以说明。

例1 1969年6月29日，山东肥城矿务局大封矿9204采煤工作面发生了 $1628\text{ m}^3/\text{h}$ ($27.13\text{ m}^3/\text{min}$) 的大型底板突水事故，突水点距落差 $2\text{ m} \sim 3\text{ m}$ 的断层 6 m ，该断层倾角 62° ，走向

46°，倾向SE。突水后13 d，距突水点1380 m的奥陶系灰岩孔水位由+56.07 m下降为+52.21 m，突水点中心的本溪统五灰灰岩的地下水水位由+56 m下降为-23 m，距出水点20 m的2号奥陶系灰岩孔水位由+56 m下降为+40 m。渗流场的动态变化证明水由五灰突出，奥灰补给，突水点周围五灰的水力坡度为0.37~0.860，实测突水点流速3 168 m/d。堵水过程中共打9个注浆钻孔，离突水点远的孔，注浆量很少即报废，3、4号孔离突水点较近，注了大量水泥，初步起作用，减少水量428 m³/h，但不能有效解决问题。分析其原因，注浆位置可能是非主要导水通道，裂隙断面有限，注浓浆或双液浆易于起压，注中等浓度的单浆液进量也只能是200 t/min~300 t/min，而出水点主通道的水量是27.13 m³/min，浆液进入其中很快稀释，不可能堵住主通道，只能堵局部的小裂隙通道，因而用料不少，作用有限；6、7号孔打在五号断层交面部位的破碎带上，正是出水点的主通道，这时注入多少水泥浆跑出多少水泥浆，注双液浆也同样，只好改注砂子。经过对7号孔注砂（粒径5 mm~25 mm，由细粒试探着逐渐加用粗砂），结果只注砂96.46 m³，水量即由每小时1170 m³减为692 m³，紧接着注凝胶时间为5'30"的双液浆84.38 m³，水量减为5.6 m³/h，一个7号孔决定了胜负。

例2 1989年2月3日山东淄博矿务局寨里煤矿的北大井，在9100辅助下山10102采煤工作面发生了突水量达422.5 m³/h的煤层底板突水事故，距突水点100 m的奥灰4号观测孔水位立即由+14.77 m下降为-90.53 m，证明是奥灰直接突水。为防止水量继续增大，决定立即从地面抢险注浆堵水，首先针对出水点布了一个钻孔，孔深435 m，在十层煤底板以下16.5 m，即见奥灰断层破碎带，进浆很容易，但不跑浆，经过适当间歇，快速集中注单液浓浆436.2 t水泥，井下出水点水量全部消失，堵水效果100%，一个注浆钻孔就解决了问题。分析此次注浆堵水之所以能只用一个钻孔，在动水条件下没跑浆且仅用436 t水泥就堵住一个奥灰突水点，其原因主要是：

(1) 针对突水点，注浆孔直接命中了导水的主要通道。

(2) 主导水通道就是奥灰断层破碎带，空洞大，水泥浆运移阻力较小，向出水点跑浆说明裂隙有阻力，适当间歇注浆后，裂隙就堵住了，因而不向采空区跑浆。

(3) 针对十层煤底板出水的破碎裂隙，注浆孔已在底板以下6.22 m下108套管加以隔离，并已注双液浆固结，创造了密封注浆的良好条件。

例3山东济南章丘文祖煤矿三号井于1990年8月8日在-15水平的南大巷掘进时遇断层，奥灰突水1082 m³/h。根据突水情况综合分析，该次突水具有针对出水点进行封堵巷道的条件。设计针对出水点首先打一个命中巷道的堵水孔，对巷道充填砂和石子，形成阻水段，降低水的流速且减少跑浆；再打第二个孔，对断层带加固注浆，封堵突水主通道。由于测绘资料准确，防偏措施得力，第一孔迅速命中了巷道，这一命中巷道的孔正位于巷道冒顶0.59 m高的一个段位上，故能有效保证砂、石骨料充填足顶足帮，解决了封顶时断面小流速大、保留死角无法充实的问题。在充填骨料305.9 m³后，突水量立即明显减少。然后，用插入旋喷法对砂石骨料进行固结注浆，发现浆液主要不是向外流失，而是向出水点断层带方向充填，这个现象的原因是：动水条件下充填的骨料，主要是向流水方向展布，分析计算得砂石阻水段在钻孔外侧的巷道内已达32 m，在钻孔内侧不足2 m，且是上窄下宽的锥形体，钻孔注入的浆液，向外是沿骨料的孔隙渗流，向内（即出水点方向）是无法阻碍的直接充填。因此，强行大量快速注单液浆，仅用水泥188 t就将巷道迎头出水点封堵固结，附近一些断层裂隙渗水点也随之消失，说明不仅固结了巷道，突水通道（断层破碎带）也已进浆充填固结了。这也是仅用一个钻孔就完成了注浆堵水任务的又一个成功范例。

要准确命中突水点，需要注意以下问题：

(1) 严格核实井上、井下测绘资料，必要时要补充测绘，作出准确评价。

(2) 详细记录井下命中点的坐标和标高，并精确标定在地面上。钻机安装后要进行校核测量，确保无误。

(3) 钻孔钻进过程中要积极采取防偏、纠偏措施，如钻塔安装绝对平稳牢固、孔口管绝对垂直并固定良好、采用加重钻具匀速钻进、定期进行陀螺测斜、及时制定纠偏设计、准确下放纠偏导斜装置等。

3. 动水注浆防止浆液液失

动水注浆防止浆液流失，是注浆堵水工作中的一个难题。以下面一个实际工程为例加以说明。

山东新汶矿务局协庄矿在1971年11月29日开采十一层煤31104工作面时，发生了突水量达3267 m³/min的煤层底板突水事故，在强排条件下实施了动水注浆，共钻探了16个注浆孔。但由于大部分注浆孔打在了非主要导水通道部位，故只能起局部封堵作用。但其中9号孔命中了出水点的主要导水通道，即工作面底板太原统二灰的断层破碎带，注沙子、石子等骨料188.5 m³，水量立即明显减少。但遗憾的是，2 h后就被高压水冲溃，突水量又恢复原样。在这种情况下，改投砖头、石块，但也被冲走。经过反复分析研究后，将40 mm × 50 mm见方的压缩土块，用铁丝连接成串，每串长5 m，用重物坠入孔底，抖动脱钩，使之投入导水通道中，共投入38串，未见冲出，这时突水量有所减少，因此立即连续投放直径50 mm的石子13 m³，并注双液浆95 m³，这时突水量锐减，注浆堵水获得成功，堵水效果达100%。

动水注浆的许多成功实例表明，获得成功的关键是：

(1) 根据导水通道大小和流速情况，必须先下骨料，尔后再注浆封堵。

(2) 要创造使骨料充填足顶足帮、在通道内阻塞滞留的条件，形成一定阻水段（层）后立即注单液浆或双液浆固结。

(3) 骨料以量取胜，以充填足够长度或厚度确实已使突水量明显减少为标准。骨料一般具有价格较低、取运比较方便的特

点。

(4) 如发生关键孔中途堵塞问题，必须扫孔，创造重复充填和注浆的条件，直到堵住涌（突）水。

4. 保证堵水有足够的范围和强度

保证堵水有足够的范围和强度，要防止复矿排水时二次重新突水。下面以一个实例加以说明。

河南焦作矿务局演马庄矿因堵水终压标准低，沿破碎带加固范围小，在1985年5月18日复矿排水到水位高差达270 m时，发生了二次突水淹井事故。这个事故表明，突水点的治理封堵必须保证质量，要做到：

(1) 每孔的每一注浆段均应达到终压终量标准，且要反复扫孔复注。其终压应达到出水点静水压力的2倍以上。

(2) 注浆浓度不可过稀，每次注浆都应保留浆液试块，进行物理力学测试，供质量分析时参考。

(3) 要利用相邻注浆孔或观测孔（点），观察分析每次注浆的可能扩散半径和浆液去向，保证对突水通道及其周围有一定的注浆加固范围和深度，当静水压力高时，注浆加固深度要大，确保有足够的隔（阻）水层厚度。

(4) 要钻进必要的检查孔，进行压水试验质量检验。

四、帷幕截流堵水注浆

帷幕注浆堵水是煤矿实现疏堵结合、防治水害的重要手段之一。帷幕工程的目的是使外来补给水源中的大部分被截堵在煤层开采范围以外，开采区内部可以通过疏水降压等方法实现安全回采之目的。这样不仅可以大大减少煤矿井总涌水量，使矿井安全生产得以保证，而且保护了矿区外围十分珍贵的水资源，使其发挥了应有的作用。

例1在山东枣庄矿务局黄贝井，厚为4.21 m ~ 5.38 m的太原统第10层灰岩，因F4断层的错动位移，使其与奥灰直接对接，外围的奥灰水通过第10层薄层灰岩含水层进入矿井，加大了采区的涌水总量。但与此同时，接受奥灰水补给的陈郝泉泉流

量也随之减少，影响了24000余人的供水。1973年3月14日至8月30日，对第10层薄层灰岩含水层进行了帷幕注浆，帷幕线总长460 m，共打孔46个，孔深21.81 m~30.48 m。帷幕截流后，矿井涌水量减少了3 m³/min，奥灰泉流量得以恢复，起到了治理水害、保护当地水资源和生态环境之目的。

例2在山东新汶矿务局协庄煤矿，厚5 m~10 m的太原统第4层灰岩是13号煤的直接顶板，也是15号煤的老顶（间距13 m~15 m）、11号煤的老底（间距30 m）。该薄层灰岩含水层岩溶发育，富水性好，并且接受小汶河和流砂层孔隙水的充沛补给，直接影响到11、13、15三层煤的安全开采。对此，为了彻底解除水患，该矿利用F6和F18两条隔水边界，沿4灰+125 m的等高线进行了走向帷幕截流堵水实践，帷幕线总长3200 m，孔深30 m~40 m，孔间距15 m，加密处为7.5 m。沿帷幕线地面铺轨，沿轨道安装可移动的300 m钻机施工，并且建造了集中造浆注浆站，以便可快速钻进和注浆，这个工程取得了良好效果。不仅再没有发生突水灾害，矿井涌水量也由17 m³/min降为8 m³/min，帷幕内4灰含水层地下水已被疏干，帷幕外小汶河和流砂层水位明显上升恢复。

类似工程已在全国进行了十余处，总结其经验与教训，这类堵水工程应注意以下几方面问题：

（1）进水和隔水边界要勘探分析清楚，有条件时应建立井下可控放的流场动态试验站，掌握水量、水位变化，随时分析截流效果。

（2）要充分利用地球物理勘探技术，查清帷幕线上的强径流带位置，对此进行重点注浆，注浆钻孔不要等间距均匀布置。

（3）注浆孔深度大，要采取防偏措施和孔内定向打斜孔措施。在岩溶含水层裂隙不发育区或意外堵孔不能注浆时，可注盐酸处理，以提高钻孔利用率。

（4）要采用代用材料，对严重跑浆孔段要注砂、石子、石粉等骨料。在结束注浆或检查孔注浆时，应用纯水泥浆高压加固，

提高帷幕强度。

(5) 有条件时，要井上、井下结合。地面建造注浆站，井下打注浆孔，这样可以减少钻探工程量，针对性更强，并少占地表农田。

(6) 一般来说，帷幕截流工程量较大，工期较长，必须加强组织领导，精心设计，精心施工，坚定信心，一丝不苟地按标准进行，防止拖延和间断。

五、预注浆和加固注浆

此类治水注浆包括井筒掘凿前的地面预注浆、掘凿中的工作面预注浆、壁后注浆和成井后的修补加固注浆。这类注浆已普遍应用于我国各煤矿井，只要精心组织施工，效果都很好，现以一个成井后修补加固注浆为例说明。

山东淄博矿务局宝山立井，深225 m，净直径5 m，混凝土井壁厚0.35 m。施工过程中带水作业成井，经常涌水量为2.43 m³/min，瓢泼的淋水，使井筒装备受到很大的破坏和影响。故决定采取壁后注浆技术以减少淋水。开始施工时发现：混凝土井壁40%以上因水流冲刷，只剩下沙子，强度很低，类似“豆腐渣”，需要修补加固。根据现场条件，结合壁后注浆堵水对其进行了修补，效果较好。工程完工后，井筒涌水量由2.43 m³/min减少到0.2 m³/min，质量低劣的井壁也得到了较好的加固。具体做法是：

(1) 对井筒碇体存在质量优、劣相间的区段，清理质量差的段的残渣后，人工直接贴补耐火砖，用塑胶泥快速加固，塑胶泥为50 Be⁺ 以上的水玻璃直接掺入水泥中搅拌成粘性水泥浆，它具有凝固快、强度高、粘附力大的特点，30 min即可抗压6 MPa。

(2) 人工贴补时，对井壁的涌水点和裂缝，预埋导水管，管径30 mm~100 mm不等，视裂缝和水量大小而定，长0.3 m~0.5 m，一端车丝扣，便于连接阀门，另一端马砸扣，可缠黄麻涂油，用锤砸另一端的打管器楔入涌水钻孔内，然后用塑胶泥堵塞周围的漏水点，使水集中在导水管中流出。

(3) 用双液浆对预埋的导水管进行壁后注浆，灰浆浓度为水灰重量比为0.7:1~0.8:1，灰浆与水玻璃体积比为1:0.8，水玻璃为50Be¹，不再稀释，虽初凝慢，但强度高，并按水玻璃:重铬酸钾:硫酸铜=400:1:1的比例掺加防腐剂。

(4) 壁后注浆时，先采用低压而后视情况逐步提高泵压，定量间歇用风钻透孔反复注，达到一定的强度后（甚至钻进含水层）再适当加压注。发现跑浆用木楔棉纱堵缝；如长期不起压，提高浓度，适当加锯末；如壁后长距离串浆，一定位置先周围注浆，造成人工隔水圈。

(5) 注浆时必须耐心细致，注意观察，防止压力过大，鼓破井壁。

山东新汶矿务局曾用一年的时间，组织专门施工队伍对协庄主皮带斜井、副斜井、六采区充填井、八采区充填斜井等8个井巷进行了壁后注浆，其堵水效果达99.6%。同时，注浆工程也使壁后空洞、硐体断裂下沉等破损隐患得到了修补加固，提高了井筒服务年限和安全程度。

这类治水注浆工程应注意以下问题：

(1) 井筒检验孔一定要严格取芯，分层抽水试验要确切了解含水层埋藏深度和厚度、岩性、水量、水质、岩溶裂隙发育情况等，为确定地面预注浆、工作面注浆、壁后注浆等提供地质依据。

(2) 对于裂隙含水层，如果裂隙倾角较陡且单向排列，很少相互切割，这样会限制预注浆的效果，故以工作面预注浆为好，可在工作面打定向斜孔，穿过裂隙的机率较高。地面预注浆打垂直孔时要增加孔数，适当扩大注浆半径，对注浆段进行必要的酸处理。

(3) 地面预注浆要有防偏、纠偏、导偏措施，防止钻孔偏离井筒的中心线。

(4) 对于立井筒，含水层位置明确且层数少。而斜井筒的含水层斜距长，一般要采用工作面预注浆，但必须预留好止水岩

柱，避免出水后再打止水垫。必要时要进行超前探水。

六、注浆材料及典型配比浆液的性质

(1) 水泥：相对密度一般为3，密度为1 t/m³~1.6 t/m³，一般取1.30，存放3个月，强度一般会降低10%~20%，6个月降低15%~30%。水泥中铝酸三钙和硅酸三钙含量多，颗粒细，表面积大，凝结硬化快，堵水效果好。但当水流速度大于800 m/d时，结晶体与胶凝体不断被水带走，水泥浆就不能结石。500号硅酸盐水泥单液浆，其典型配比的浆液性能见表4—1。但这是一般的情况，在实际注浆工程中应具体测定。

表4—1 典型配比浆液基本性能指标

水:灰 (重量比)	浆液 相对密度	初凝时间	终凝时间	结石率	结石体强度 /MPa
2:1	1.3	17.00	48.00	0.42	2.8
1:1	1.49	15.00	25.00	0.56	4.0
0.75:1	1.62	11.00	21.00	0.75	11.3
0.6:1	1.70	9.00	15.00	0.80	16.9
0.5:1	1.86	8.00	13.00	0.90	22.0

根据需要也可在水泥单液浆内添加促凝或缓凝剂，如氯化钙、水玻璃、三乙醇胺和食盐等。其中如按水泥重量比添加万分之五的三乙醇胺和千分之五的食盐，浆液初凝和终凝时间一般将提前1倍，结石体抗压强度也可提高，值得重视。使用时一般先将其加入水中搅拌扩散后加再加水泥。

(2) 水玻璃：它由石英砂和碳酸钠在高温反应下制得，化学分子式为NaO·nSiO₂，其中SiO₂与Na₂O克分子数之比称为模数，模数小，SiO₂的含量低，含量过大对注浆也不利，一般注浆使用的模数为2.4~3.40。水玻璃的浓度以波美度表示(Be°)，通常为50 Be°~60 Be°，水玻璃浓度小，胶凝快，水玻璃浓度大则胶凝慢，用50 Be°的水玻璃与水泥直接拌合可制成数分钟即可凝胶的塑凝胶，粘结能力强，30 min即可固化。固化后

抗压强度可达6 MPa。由水玻璃的浓度可计算其相对密度。它们之间的关系为：相对密度（d）= 145/（145－水玻璃浓度）。双液注浆一般采用30 Be ' ~ 40 Be ' 的水玻璃为好，因此高浓度的水玻璃使用时应加水稀释。

水泥、水玻璃双液浆的典型配比浆液的主要性能指标见表4—2。

表4—2 不同水泥、水玻璃配比双液浆主要性能指标表

水泥： 水玻璃	水：灰=0.175:1			水：布料=1:1			水：灰=1.5:1		
	胶凝 /m	初凝 /m	终凝 /m	胶凝 /m	初凝 /m	终凝 /m	胶凝 /m	初凝 /m	终凝 /m
1:1	1.05	2.40	17.00	1.38	4.37	35.00	2.32	9.00	22.500
0.8:1	0.50	2.30	16.00	1.12	3.37	36.00	2.00	12.00	305.00
0.6:1	0.34	2.05	18.00	0.50	3.15	118.00	1.34	12.00	540.00
0.4:1	0.23	3.3.1	54.00	0.30	5.45	107.00	0.49	72.00	290.00

（3）粘土水泥浆：煤矿注浆堵水技术目前已发展成为大范围对含水层、强径流带、进水边界和构造破碎带的加固改造，故所需注浆材料的数量已愈来愈大，材料的可注性要求也愈来愈高，目的是简化注浆工艺，提高自动化程度。大量的工程实践证明，粘土水泥浆已成为不可忽视的有着广泛应用前景的注浆堵水材料。

粘土水泥浆的主要成分是粘土，应尽量就地取材，减少采、运环节，但应用前必须进行物理化学性质测定。其测定内容主要包括：ph值、密度、塑性指数、粒度、比表面积、盐基总量、蒙矾石含量、矿物化学成分及其含量等。按一定比例制成粘土水泥浆后，应测定其相对密度、粘度、塑性强度、析水率和耐久性，进行必要的可注性和反压试验。其具体方法按下式计算确定：

$$Pm = KaG/h^2$$

式中 P_m ——塑性强度， g/cm^2 ；

G ——圆锥体装载系统的重量， g ；

h ——圆锥体沉入试块的深度， cm ；

K_a ——与圆锥体顶角有关的系数，仪器本身标定。

析水率：浆液沉缩后析出水分的体积与总体积之比。

耐久性：试块在水浸泡后观察测定表面有无软化现象和软化厚度。

可注性：由设定受注体在试注管内直接中压测定。

当粘土浆密度为 $1.15\ t/m^3$ ，每立方米加添加剂251（一般为水玻璃）。添加剂的水泥量为 $100\ kg$ 、 $125\ kg$ 、 $150\ kg$ 时，粘土水泥浆的塑性强度如表4—3。

表4—3 不同粘土水泥浆在不同时刻的塑性强度表

水泥量 /kg	不同时刻的塑性强度 / 10^2Pa						
	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	24 h
100	14.20	63.67	152.02	336.05	511.16	869.65	1419.00
125	15.92	81.79	287.57	449.26	776.06	1 150.12	2 722.17
150	12.10	93.80	248.81	511.16	869.65	1 150.12	4 600.46

粘土浆的比重不同，添加剂和水泥加入量水同，其可注性、塑性强度、耐久性、析水率也是不同的，需要针对具体水文、工程地质条件选择合理的浆液配比。

（4）骨料：注浆堵水时，对大的过水通道，如溶洞、巷道、大的断层裂隙带，尤其在动水注浆条件下，往往需要先注骨料形成阻隔水段或阻隔水层，然后再注水泥单浆液、水泥水玻璃单浆液或粘土水泥浆。骨料主要是指沙子、石粉、石子、锯末等。石粉、锯末悬浮性好，充填时要采取有针对性措施，往往需要注浆泵将粘土浆混合搅拌后注入。

其他化学注浆材料，应用范围不广，有关出版物已有介绍，本书略。

第八节 矿井防排水系统

一、矿井排水系统与防水系统

矿井排水系统与相应防水系统的建立，是煤矿安全生产必备的五大环节之一，必须符合《煤矿安全规程》规定之要求。多事故大水矿井在加强防治水工作的同时，必须保证《煤矿防治水工作条例》规定的抗灾抢险的排水能力和相应的防水系统建立，只有这样，煤矿的安全正常生产才能得以保证，在水量一旦意外有所增大的情况下，才能避免淹井事故的发生，至少能争取时间撤出危险区的工作人员。因此，作为矿井水文地质工作者，在做好水文地质工作、千方百计减少矿井排水负担的同时，必须关心和重视矿井排水系统和相应防水系统的建立与健全。

根据有关《规程》和《条例》的规定以及国内几十年来安全生产的实践经验，建立矿井排水和防水系统应该包括以下主要内容：

（一）水仓

水仓容量要符合《煤矿安全规程》和《煤矿防水工作条例》的规定，保证能在一定的时间内存储一定的涌水量，以便能有缓冲时间来排除排水系统的一些偶然停运故障。它应具备下列功能：

（1）有相应连接又可控制隔离的主、副仓，便于轮流清理淤泥杂物，保证水仓容量的有效性。主、副仓的控制隔离设施要有防御失效的措施。

（2）有足够的供水泵吸水管（阀）安放且与水仓连接的吸水小井。该小井便于司泵人员经常观察清理其淤泥杂物，它与水仓连接段必须有灵活控制水量的阀门，一旦关闭泵房密闭门，能控制水仓配给小井的供水量，保证水泵满负荷运转，又不超过其能力，具备一定时段内的抗灾排水能力，不淹泵房。这是一个很重要的防水装置。

(3) 水仓进水口沉淀池和流量堰口要根据水量大小，有足够的稳流沉淀容积、稳定隔板和标准的不漏水堰口，便于及时准确测定流量。

(4) 应急储水区。矿井有时可能出现短时大流量涌水，远远超过泵房排水能力，但无长期补给的水源，只要避过高峰期，完全可以保障矿井的安全生产。因此，有条件时，应在主泵房附近利用一部分废弃不用的具备隔离条件的井巷或采空区，将凶猛的来水引入其中临时储存，在险情过后逐步排除恢复，这是排水系统的防水措施之一。

(5) 与泵房相连的水平大巷临时抢险隔离闸板门。一些矿井为预防突然来水、水仓容量不足或排水能力难于应付，在通向泵房的水平大巷里，间隔一定长度设置闸板门。其功能是利用预先砌筑的井巷规整断面，留出放闸板的槽，旁边放储与槽口相匹配的闸板若干块。一旦意外来水或泥石流，立即放置闸板，节节隔截泥石流或水流，使大巷成为临时水仓和沉淀池，以便保证泵房和井底大门的安全。闸板门一般需易拆易安装。

(二) 泵房

按设计要求安装足够台数的水泵及相应的配电盘和开关。所建泵房要满足以下要求：

(1) 有便于水泵及电动机进出的通道。通道内设置合格封闭门，有高于泵房底面7 m的进回风安全出口，通向立井筒或斜巷相应的标高点。通过密封门的电缆孔要严格密封，一旦意外来大水，可控制吸水小井的放水闸阀，关紧密封门，实施抗灾排水，确保井底大巷被淹时泵房仍不进水。万一需要撤离抢险人员时，可从安全出口离开泵房。

(2) 必要时要预留安泵位置和接电开关，一旦需要可突击增加水泵。

(3) 泵房内的环形管路及相应的闸阀能有利于充分发挥排水管路和每台水泵的能力，启动和调配水量方便合理。

(4) 当同一矿井、同一水平有数个泵房时，其底面标高应尽

可能一致，这样便于协同排除该水平的来水，形成统一的排水能力，防止低位泵房被淹，高位泵房还发挥不了排水功能。如这种情况存在，建议安装SH型或S型单极、双极低扬程大流量的接力泵与高位泵房配套，充分发挥高位泵房的排水作用。

（三）排水管道

其管径要与水泵能力相匹配，其趟数要与总设计排水能力相匹配，其壁厚要与相应的扬程相适应，这些应由设计部门选型。作为矿井水文地质工作者，需要掌握不同直径管路的通水能力。

（四）水泵

水泵的选型要依据扬程、排量和匹配的管径以及电动机类型、电压等综合分析确定。其台数与排水能力必须符合《煤矿安全生产规程》的有关规定，满足同时有运转、备用和检修水泵的条件。根据生产实践和防治水的需要，一个泵房最合理的水泵选型应该是：潜水泵和卧泵配套使用，经常涌水量部分一般由卧泵排除，潜水泵主要用于排大水或抢险抗灾使用。这种配套使用的优点是：

（1）大流量的潜水泵平时封存保护不用，水大时才排水抢险，操作人员安全，也不怕淹泵，追排水时也不存在移泵问题。

（2）正常涌水量用卧泵排除，维修管理方便，如管路长度与潜水泵的一致时，吨水电耗低。

（3）水仓与配水小井要专门设计，泵房封闭门和配水小井控水闸阀均可简化。

（4）水仓容量、泵房及配电室规格尺寸均可科学调整，以节约井巷工程量为目的。

（五）供电系统

供电系统要与水泵供电负荷相匹配，并保证双电源双回路供电，以便一路电源发生故障时，另一路电源能立即供电，保障排水系统的不间断正常工作。

（六）闸门系统

对大水矿井来说，根据具体的水文地质和工程地质条件，要

整体考虑矿井采区开拓部署，实行分水平、分煤层、分区域甚至分采区的隔离措施，修建水闸门系统，以便于某一地点发生意外突水时，可立即关闭闸门，使灾情迅速得到控制，保障其他地点的正常安全生产。这是矿井的重要防水系统。有水害威胁的矿井，它与排水系统同等重要。

二、大流量、高扬程潜水泵的开发与应用

通过引进吸收和消化，我国石家庄水泵厂和合肥电机厂已能生产大流量、高扬程的潜水泵。合肥电机厂大型立式潜水泵QKSG系列包括扬程量为1450 m³/h、725 m³/h、550 m³/h、275m³/h四种型号，1450 m³/h的扬程是318 m，电机功率为1800 kW，加级后扬程为344 m，电机功率为1900 kW，底部并可带接力泵，有利于无水仓的抢险排水。石家庄水泵厂生产的6726、6730、6736、6825、6835五种型号，其扬程量分别为570 m³/h、800 m³/h、1370 m³/h、550 m³/h、1100 m³/h，但这套系列不带接力泵。

潜水泵开发设计主要应该考虑的方面包括：

(1) 流量、扬程相匹配的管径和壁厚设计，确定管路选型。

(2) 泵的选型除扬程、流量外，还有水的ph值、水温、水的含泥砂量（浑浊程度）以及是否需要带接力泵。

(3) 分析计算受力情况，包括水柱重、水锤力、泵重、管重和总负荷及管端应力等。

(4) 根据正常重量、最大起重量、泵及管的最高高度，设计选用起吊系统。

(5) 根据总负荷，设计井口安装架。

(6) 潜水泵的配电与控制设计，主要包括水位电缆、测温电缆、高压电缆和低压电缆以及低水位报警和最低水位自动跳闸系统。电机内有测温元件，当温度超过允许值，通过测温电缆自动报警并自动跳闸。同时，设计还应包括动力变压器馈出线、水泵馈出线、电容器等的保护装置。

(7) 通讯及相应的工具设备。

(8) 设计应包括与排水仓或大沉淀池相联络的潜水泵，其深度要高出跳闸水位1.5 m左右，带接力泵的要高出接力泵允许启动水位1 m左右，并设计有清理斜巷，并能定期清理这一泵窝。

(9) 设计有可供随时起吊和下放的专用排水立井或大口径排水孔。

三、矿井防、排水系统的基本数据

为了统筹考虑防治水工作，矿井水文地质工作者要全面了解矿井的防排水系统，并能准确掌握下列基本数据和情况：

(1) 泵房标高和水泵出水标高，排水管井巷的垂直深度或斜长以及断面、坡度。

(2) 水仓的经常性有效容量。

(3) 进入该水仓的经常性水量和最大水量，水流路线及其来水区域及充水原因。

(4) 水泵规格型号及台数，每台水泵的额定和实测扬程量及电机功率和供电电压。

(5) 水管规格及排数，每排的过水能力，结合水泵能力确定泵房的最大综合排水能力（包括供电线路规格、长度及其能力）。

(6) 供电线路规格、长度及其能力。

(7) 泵房密封门、配水小井控水闸阀的完好程度。

(8) 水闸门所在位置的标高，控制范围，周围隔水煤（岩）柱宽度，上、下层采掘区重叠情况，层间距及岩性组合情况。

(9) 水闸门设计抗压能力、耐压试验情况、水沟断面及其过水闸阀规格型号。

(10) 水闸门启闭及维修管理工具、器材数量及其存放地点，专职或兼职管理维修人员名单。

(11) 水闸门维修管理制度。

(12) 与水闸门配套的水闸墙所在位置标高、控制范围、周围隔水煤（岩）柱宽度，水闸墙内的积水量和水位标高。

(13) 水闸墙设计的抗水压能力，耐压试验情况或注浆升压情况，墙上留设的水管及闸阀的材质及规格型号。

(14) 矿井边界煤(岩)柱及其他类型煤(岩)柱的情况,设计尺寸,实有尺寸,不足原因和所在地段等。

四、水闸门、水闸墙设计、施工与管理

有关水闸、水闸墙的设计计算、构件结构部分已由别的专门书刊介绍,本书从略。本书主要从矿井水文地质和防治水工作需要着眼,提出以下补充意见,以引起现场矿井水文地质工作者的注意。

(一) 设计

(1) 经过矿井充水条件的系统分析,必须说明修建水闸、水闸墙的必要性和可能性。

对于可设可不设的或需要设而无条件设的情况,要采取其他防范措施,不可一味强调修建水阀门(墙)。

(2) 提出与水阀门(墙)相关的煤(岩)柱留设的分析和计算意见,防止水阀门(墙)一旦关闭,从薄弱地点以外突水带来的灾害。

(3) 选择工程地质条件最好的地点修建防水水闸、水闸墙,明确需承受的最高水压,关闭后水质发生的变化,周围的断层构造情况,岩石和岩体的一般力学强度,上下煤层采动影响的程度等。

(4) 测预报水闸、水闸墙一旦关闭积水后的绕流可能性和最大流量,明确通过水阀门(墙)的最大正常水量,这样便于考虑水沟断面和水沟闸门的规格。

(二) 施工

(1) 硐室掘凿施工时要及时观察围岩变化情况,详细描述岩性结构及裂隙节理组的密度、走向、倾角,并作出素描展开图。

(2) 注浆管要合理调整其数量、俯角和仰角,使其针对混凝土砌体与围岩节理裂隙接触部位,其俯角、仰角要便于用直径42 mm钻杆安装钻机透孔复注或用风钻透孔复注。

(3) 水闸门或水闸墙要作耐压试验,既可用高压泵打压试验,也可利用条件引高压钻孔水或排水管路内的水进行设计规定

的静水柱压水，后者更方便更安全，并可确保稳压24 h以上。

(4) 发现漏水，要分析条件，进行补充加固注浆。

(5) 对于水闸墙，一般应按两段设计，两段之间留0.1 m的间隙，用钢筋或工字钢均布连接，钢筋或工字钢间的空隙充填石子或石块，预埋若干条注浆耐压试验管，通过注浆进行两段砌体间耐压检查。

(三) 管理

(1) 熟悉统一制定的管理制度和所需工具设备存放的地点及规格与数量。

(2) 编录定期检查维修的详细记录。

(3) 定期分析周围的采掘情况、水闸门(墙)附近围岩的变化和隔水煤(岩)柱的变化。

(4) 定期分析水闸门(墙)控制区的充水条件变化。

第九节 煤矿顶板水害防治评价技术

煤层顶板涌(突)水问题一直是困扰华北型煤田部分矿区煤炭工业可持续性发展的一个水患。煤层回采后顶板冒落沟通上覆含水层而导致顶板涌(突)水灾害发生或恶化工作面生产环境的实例日益增多。例如，开滦矿务局目前近一半的生产矿井遭受顶板水害的严重威胁。以荆各庄矿为例，该矿自1979年正式投产以来，共发生了3次大的突水事故，它们均为煤9顶板突水，突水水源是煤9上覆的煤5顶板砂岩裂隙含水层，其最大突水量高达44 m³/min，造成工作面整体被淹，生产被迫终止。另外，根据目前矿井涌水量实测资料，荆各庄矿煤5顶板砂岩裂隙水占矿井总涌水量的50%左右，即将开采的2099和2393工作面正位于断层带附近，故上覆充水含水层对矿井安全生产威胁很大。

因此，如何解决煤层顶板涌(突)水灾害定量评价问题也是矿井水文地质学的一个难题。煤9回采的顶板涌(突)水条件定量评价对扭转开滦荆各庄矿目前煤炭生产被动局面具有极其重要

的理论指导意义和实用价值。

根据多年工作实践，著者提出了解决煤层顶板涌（突）水灾害定量评价的“三图一双预测法”，即顶板直接充水含水层的富水性分区图、顶板冒落安全性分区图、顶板涌（突）水条件综合分区图、采煤工作面整体和分段工程涌水量预测、顶板直接充水含水层采前预疏放方案预测。其中，涌（突）水条件综合分区图是由富水性和冒落安全性分区图复合叠加而成。下面以开滦荆各庄矿为例，简介对煤层顶板涌（突）水灾害定量评价的“三图一双预测法”。

一、矿井水文地质背景

根据对荆各庄矿井水文地质条件的综合分析认为，与煤9顶板突水关系密切的主要充水含水层为煤5顶板砂岩裂隙含水层和第四系底部卵砾石孔隙含水层，它们分别是煤9顶板突水的直接和间接充水含水层，在两含水层之间存在一粘土弱透水层。荆各庄井田东部和东南部以F1～F3断层组为界，其余部分以隐伏露头为界。由于第四系底部卵砾石含水层覆盖于整个井田之上，因此该含水层的边界条件属于二类流量边界；煤5顶板砂岩裂隙含水层四周均为隔水边界。在垂向上通过窄条状隐伏露头内边界接受上部含水层补给；底卵底部粘土层为一弱透水层，它的外边界均作为隔水边界。该层在矿区东南部不发育，致使底卵含水层几乎与基岩含水层直接接触，而在西北部发育较厚，底卵含水层与砂岩裂隙含水层的水力联系较弱。

二、煤9顶板充水含水层富水性分区研究

由于矿井水文地质条件的复杂多变性以及各种勘探资料在地域上的局限性和在观测精度上的不真实性，本书运用了多源地学信息复合叠加原理，尽可能多地挖掘了荆各庄矿自建矿以来的所有勘探资料，对各种水文地质物理场的地学信息进行了系统综合叠加处理，信息源之间相互对比印证，取得了很好的效果。

（一）第四系底部卵砾石孔隙含水层

本含水层为煤9顶板突水的间接充水水源，根据现有资料，

从含水层厚度和渗流场特征方面进行了分析。

1. 含水层厚度

本充水含水层位于冲积层下部，厚度随整个冲积层的沉积厚度变化而变化，具有北薄南厚的特点，大、小极值分别为1.12 m和53.10 m，茅草营以北不足10 m，向南最厚达53.10 m。

2. 渗流场特征

根据底卵含水层抽水试验结果可知，其渗透系数由南向北逐渐增大，在井田南部大约为4 m/d，而在井田北部可达32 m/d，说明该含水层北部渗透性大于南部；含水层单位涌水量为0.93 L/s·m~2.25 L/s·m，由西向东逐渐增大。

综上所述，底卵含水层北部渗透性较好，南部却较差，而富水性从西向东逐渐增强，在东南部达到最佳。

（二）煤5顶板砂岩裂隙充水含水层

通过对该充水含水层的岩性岩相变化、构造场、水化学场、抽水试验场、突水事件渗流场和钻孔冲洗液消耗量变化等六个方面的地学信息的系统综合分析，提出了煤5顶板砂岩含水层富水性分区的划分方案。

1. 岩性岩相变化特征

在岩性岩相变化分析时，主要考虑了充水含水层厚度和脆性岩（以砂岩、粉砂岩为主）、塑性岩（以泥、页岩为主）所占的比例。该含水层厚度呈中间厚、两边薄，在向斜轴附近较厚，约为170 m。从轴线向东西两侧逐渐变薄，西部坡度较大，厚度变化明显，在边缘地带为30 m左右，东部坡度较小，厚度变化缓慢，在荆1和湾水3钻孔附近略有波状起伏，在东部边缘大约也为30 m。煤5顶板砂岩裂隙含水层的厚度变化趋势与整个盆状向斜相符。

煤5顶板砂岩裂隙含水层主要由砂岩、粉砂岩和页岩组成，脆性岩厚度远大于塑性岩，其厚度为2.65 m~185.1 m，平均为80.81 m；而塑性岩厚度为0.025 m~66.07 m，平均为12.73 m。脆性岩与塑性岩比值变化较大，最小为荆26孔的0.42，最

大为荆27孔的152.03，在轴线以东，比值相对较小，一般为0.42 ~ 30，而在轴线西部，比值较大，多为30 ~ 150。

2. 构造场特征

荆各庄矿地质构造以断裂为主，褶皱不发育。落差大于3 m ~ 5 m的断层共有50多条，断层走向主要为NEE向，其次为NW向，近似呈直角。因受来自南西和北西两个方向的挤压力作用影响，井田内节理裂隙较为发育，以NEE向最为发育，其次为NNW（NNE）和NW向。在井田中部，地层产状平缓，节理面较陡，大部分在70°以上，有的甚至直立，而在边部，节理产状较缓。

3. 水化学场特征

根据钻孔水样六大常规离子的水质分析结果，井田东部水化学特征具有明显的一致性，故可划分为一个独立的水流系统。井田西部各钻孔的阴阳离子含量有所不同，这需要结合其他物理场信息进一步细化。

4. 抽水试验场特征

根据荆各庄矿煤5顶板砂岩含水层的单孔抽水试验资料，含水层的单位涌水量为0.206 L/s · m ~ 1.942 L/s · m，平均为0.974 L/s · m，渗透系数为1.586 m/d ~ 8.945 m/d，平均为4.617 m/d。两者的变化趋势为：单位涌水量由西向东逐渐变大，在湾水1号孔处达到最大，为1.942 L/s · m，表明含水层西部富水性差，东部富水性强，且由西向东均匀增大。含水层的渗透系数在湾37孔最大，为8.945 m/d，其变化趋势与单位涌水量相同，由西向东逐渐增大，说明东部渗透性强于西部。但单位涌水量的最大点与渗透系数最大点却不重合，说明富水性最强的地段，其渗透性不一定最好。因此，渗透系数不能单独说明含水层的出水能力。一个渗透系数较大的含水层，如果其厚度非常小，它的出水能力也是有限的。虽然湾37孔处渗透系数很大，但含水层的厚度较小，约为30 m，因而它的富水性不是最强。

5. 突水事件渗流场特征

根据1096和1093两次突水全过程资料系统分析认为，荆各庄井田东部富水性明显强于西部，并且在整个突水过程中，沿主渗透方向的观测孔水位变化幅度最大。这与前面各物理场分析结论相符。

6. 冲洗液消耗量变化特征

根据对所有勘探钻孔柱状图分析，几乎所有钻孔通过本层时均有冲洗液消耗，消耗量大于5 m³/h的钻孔占总数的58%，而且漏水严重钻孔均分布在井田东部。这说明井田东部裂隙较为发育，其富水性较好。另外，在井田西南的向斜轴附近，冲洗液消耗量也相当大，呈纺锤型，冲洗液消耗量大于15 m³/h，说明此区富水性也较好。

综合上述各物理场的水文地质特征，经过多源地学信息相互验证，复合叠加，确定了该充水含水层富水性分区的划分方案（见图4—3）。整个井田共分为五个区，富水性由强到弱依次为：A、B、C、D、E。其中，A区（井田南部向斜轴附近）富水性最好，A区内又以FE9断层为界分为两个区，A1区的富水性强于A2区。B区位于井田东部。C区位于井田北部，它以F16、1号剖面线、F5断层分别与A、B、D区分开。D、E区位于向斜轴西部，富水性最差。

三、煤9开采顶板冒落安全性分区研究

按照“上三带”理论，导水冒落裂隙带发育高度是煤层开采顶板涌（突）水灾害发生的基础。目前我国大多数煤矿区均采用《矿井水文地质规程》的经验公式计算导水裂隙带发育高度。但由于这些经验公式在考虑覆岩段的地层岩性组合和空间分布位置等多方面较粗糙，实际应用误差较大。为此，著者从覆岩段岩性岩相变化入手，在系统查阅整理了144个勘探钻孔柱状图基础上，对采用经验公式计算的冒落导水裂隙带发育高度进行了合理的岩性岩相变化校正，效果较好。由于影响控制导水冒落裂隙带发育高度的因素很多，如煤层采厚、回采面积、覆岩段厚度和岩

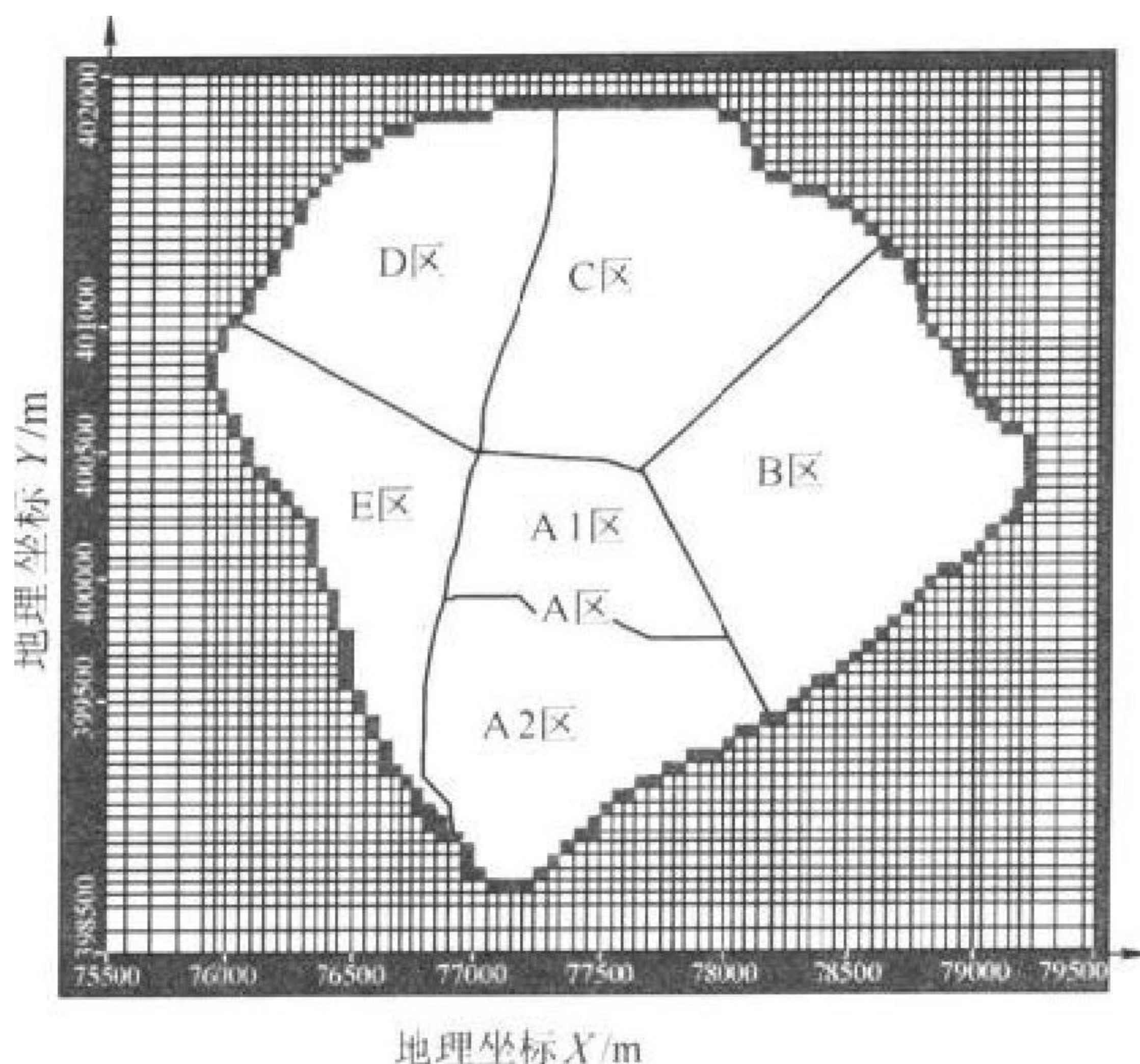


图4—3 煤5顶板砂岩裂隙充水含水层富水性分区图

性岩相在垂向和平面上的变化、地层倾角、构造影响、采煤方法和顶板管理方式等，因此，较为符合实际情况的评价方法应该采用弹塑性岩土力学的数值仿真模拟手段，在此数值评价的基础上，应用各种勘探方法，对冒落裂隙带发育高度进行野外现场实测。之后通过与数值模拟结果进行比较，确定出该地区冒落裂隙带发育高度数值计算结果的校正系数，从而确保评价精度。

1. 煤9至煤5之间的覆岩段岩性岩相变化分析

煤9与上覆煤5顶板砂岩裂隙含水层之间仅存在7.52 m ~ 76.44 m的覆岩段，主要以粉砂岩、砂岩和粘土岩为主，其厚度变化呈中间厚、两边薄的趋势，最厚处分布在荆21、荆19和湾39钻孔附近，厚度大于70 m，向两侧逐渐变薄，东部变化较缓，西部变化较快，到达边缘处为20 m左右。覆岩段中塑性岩大部分位于煤9顶板或与砂岩互层。由于塑性岩厚度较小，在煤9顶板发生冒落时，位于煤9顶的塑性岩基本处于冒落带，起不到隔水作用。与砂岩互层的塑性岩石虽然有一定的隔水作用，但因厚

度有限，其隔水作用不会太大。

2．导水裂隙带发育高度的计算

在开滦矿区，所采煤层均为缓倾斜煤层（0°～35°），上覆岩石为砂岩、粉砂岩和泥岩等中硬型岩石，因而根据《矿井水文地质规程》采用如下计算公式：

$$H_{裂} = \frac{100 M_i}{3.3 n + 3.8} \pm 5.1$$

式中 H裂——导水裂隙带高度；

Mi——煤层累计厚度；

n——开采分层数。

3．煤9顶板开采冒落安全性分区

若导水裂隙带发育高度小于煤9～煤5之间的覆岩段厚度，则顶板冒落时，煤5顶板裂隙水一般不会泄入巷道；反之，则会发生涌（突）水灾害。因此，将覆岩段厚度减去导水裂隙带发育高度，即可确定冒落安全区与非安全区的界限。但由于影响导水裂隙带发育高度因素很多，除采厚外，开采方法和覆岩段岩性岩

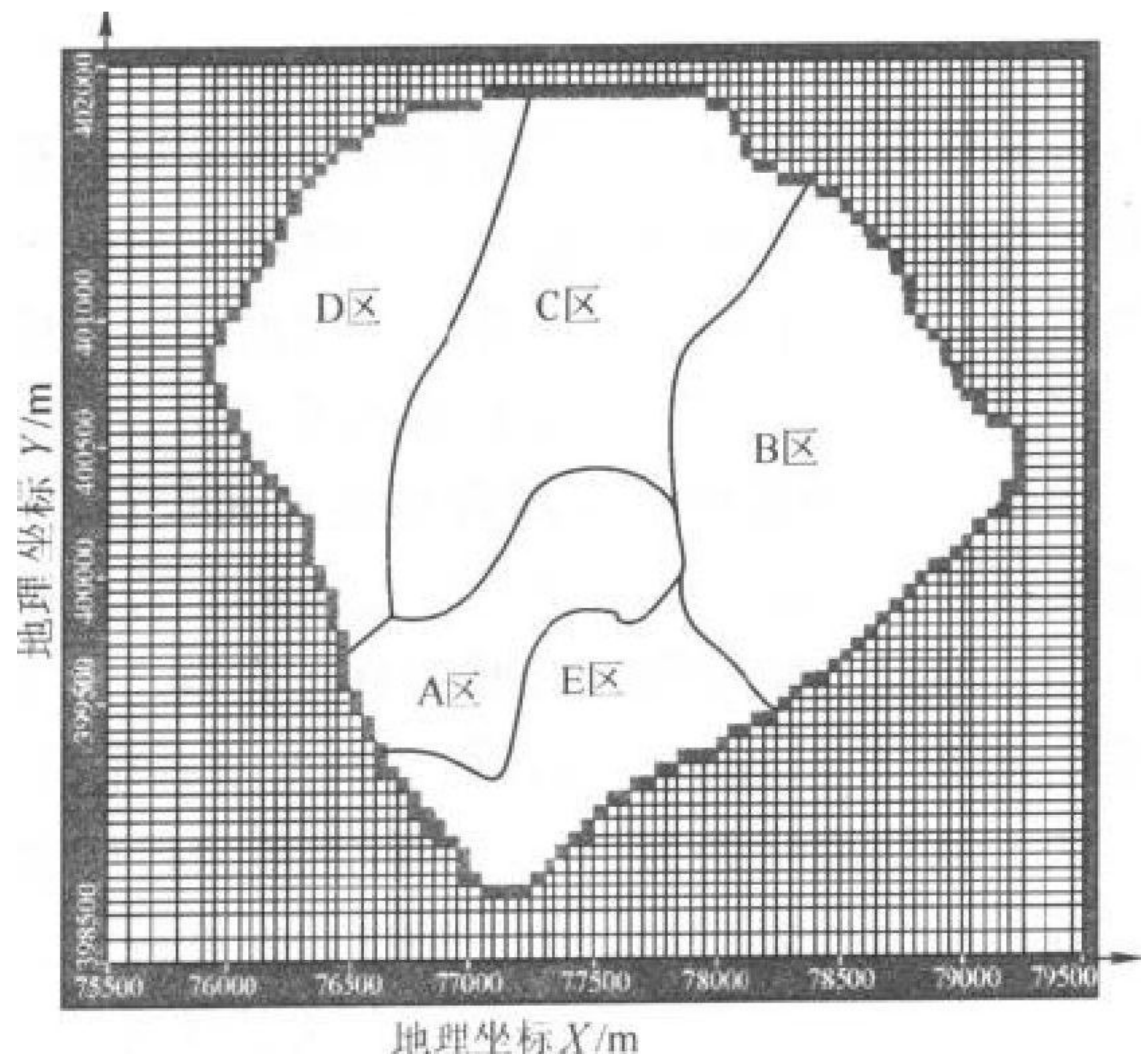


图4—4 煤9开采顶板冒落安全性分区图

相变化及地质构造等均是其控制因素。此综合考虑多方因素，确定了煤9顶板冒因落安全性分区方案（见图4—4）。整个井田分为五个区域：A、B、C、D）、E。最安全的区域是A区，该区范围内，导水裂隙带发育高度小于覆岩段厚度。最危险的区域是E区，该区导入裂隙带高度远大于覆岩厚度。

四、煤9开采顶板涌（突）水条件综合分区研究

开采深部煤层导致顶板涌（突）水灾害发生，其充分必要条件是煤层采煤形成的导水裂隙带沟通了上覆充水含水层且直接充水含水层在采煤工作面对应位置的富水性较强。根据上述煤9开采顶板冒落安全性分区和煤5顶板砂岩裂隙含水层富水性分区的研究成果，本书复合叠加两个分区所有地学信息，提出了煤9开

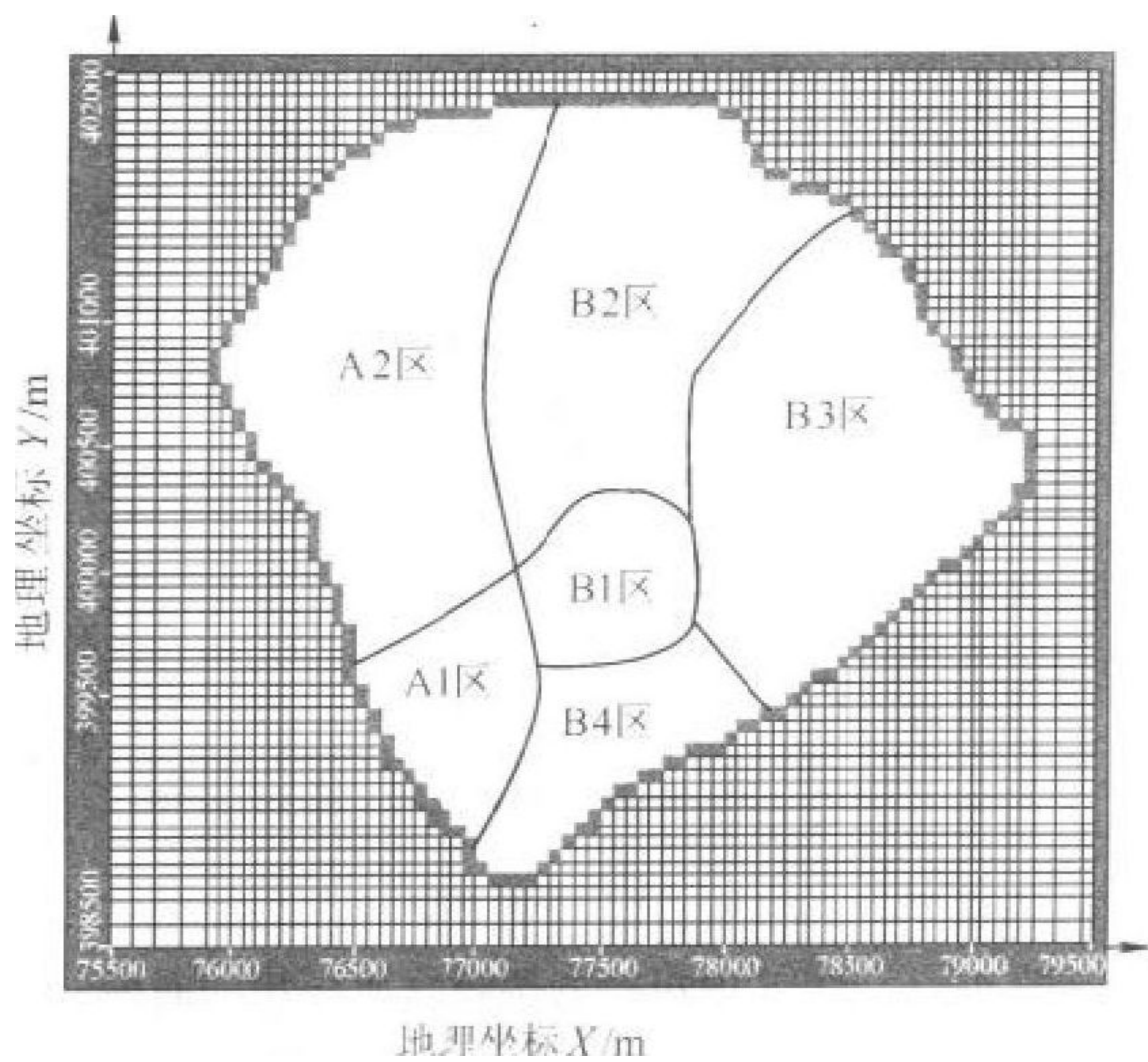


图4—5 煤9开采顶板冒落涌（突）水条件综合分区图

采顶板涌（突）水条件定量评价的综合分区划分方案（见图4—5）。整个井田以向斜轴为界，分为A和B两大区。其中A区突水危险性小，因为该区上覆充水含水层的富水性较差，即使煤层开采顶板冒落至上覆含水层，也不会诱发大的涌（突）水灾害。B

区则突水危险性较大，因为该区上覆充水含水层的富水性较好，而且在该区范围内，大部分区域导水裂隙带发育高度均大于覆岩段厚度。

A区可进一步细分为两个子区，B区可细分为四个子区，其突水危险性由小到大依次为：A1区 A2区 B1区 B2区 B3区 B4区。

五、煤9采煤工作面顶板工程涌（突）水量动态预测

根据煤9顶板涌（突）水量预测的水文地质概念模型，应用国际上最先进的Vistual Modflow专业软件系统建立了三维数值模拟模型，并利用1393突水资料进行了模型识别，其拟合结果见图4—6和图4—7。

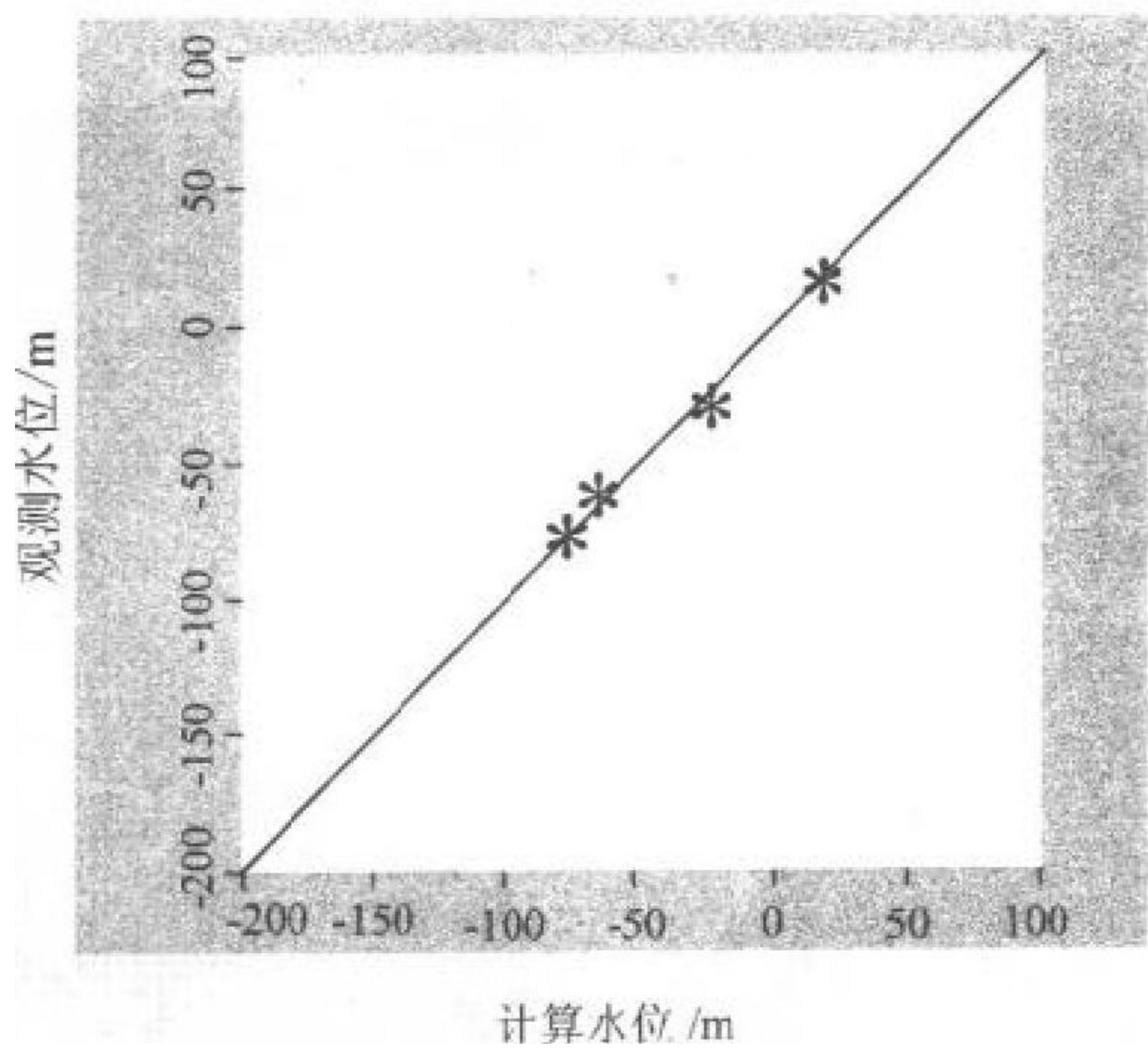


图4—6 煤5顶板砂岩裂隙含水层第四时段
观测孔水位与计算水位对比图

应用Visual Modflow所拥有先进的Zone Budget功能，根据相邻工作面周期来压规律，对即将采煤的2099和2393工作面的工程涌水量进行了随工作面不断向前推进（以周期来压步距为单位）的动态预测。2099随着工作面的推进，其涌水量变化不大，变化范围为1.685 m³/min~1.592 m³/min（见图4—8）。2393工

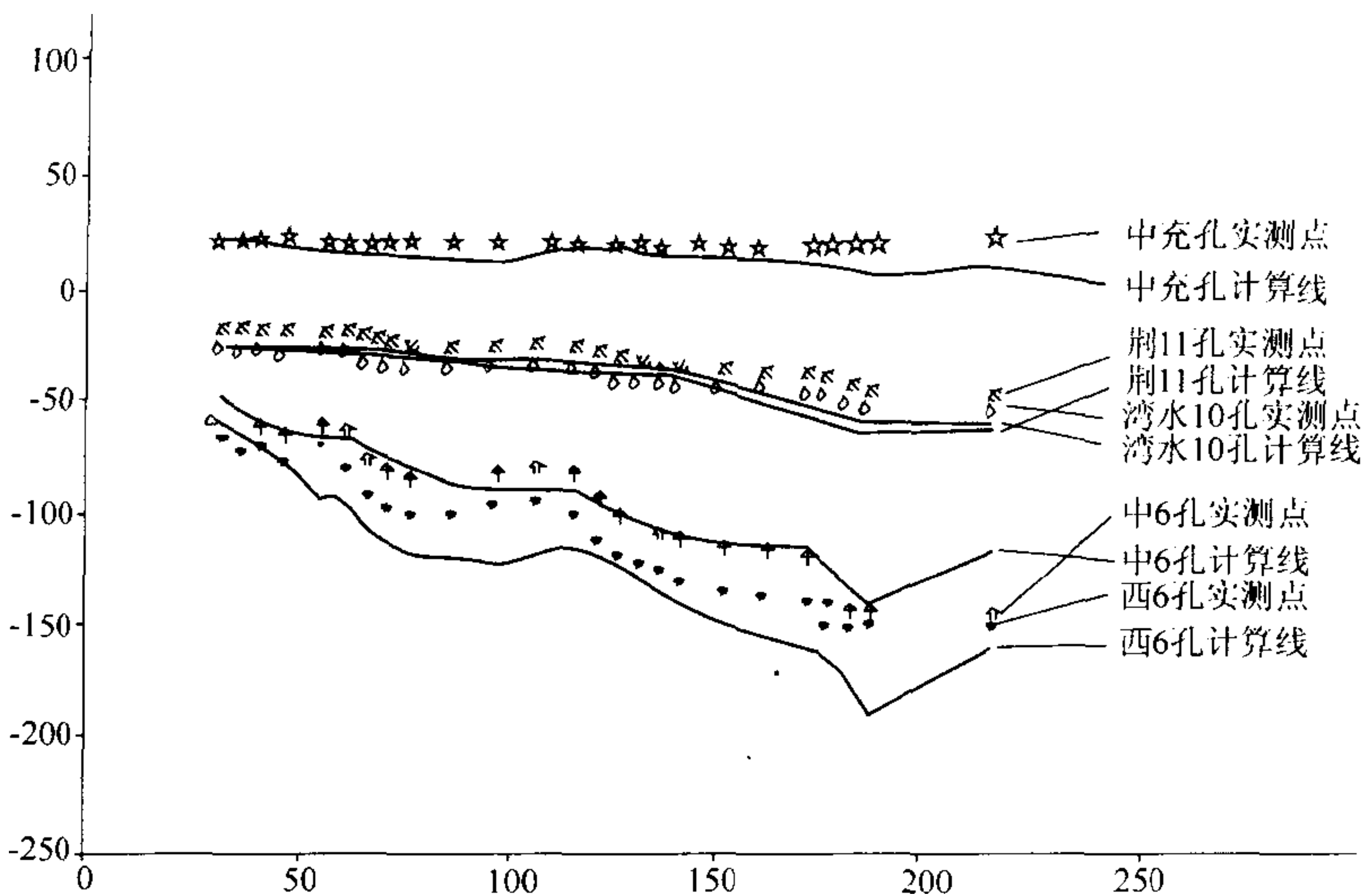


图 4—7 煤5顶板砂岩裂隙含水层观测孔水位拟合图

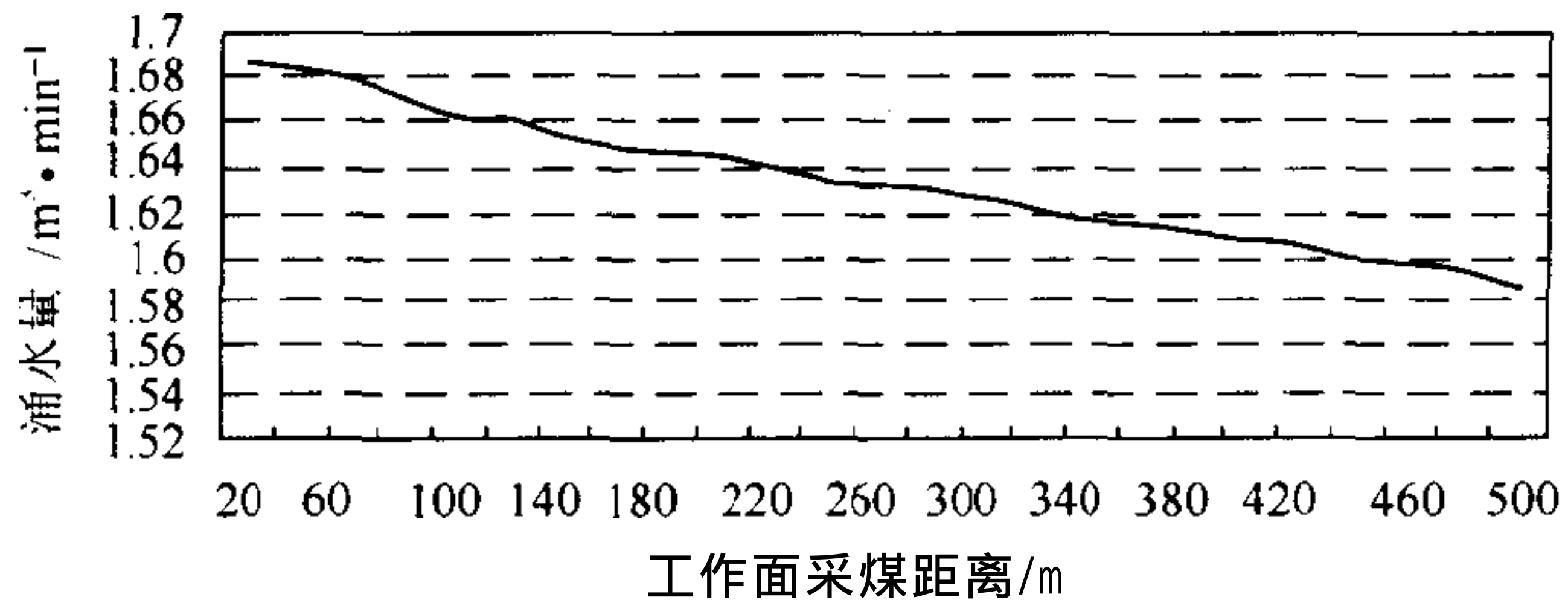


图 4—8 2099采煤工作面工程涌水量动态变化曲线图

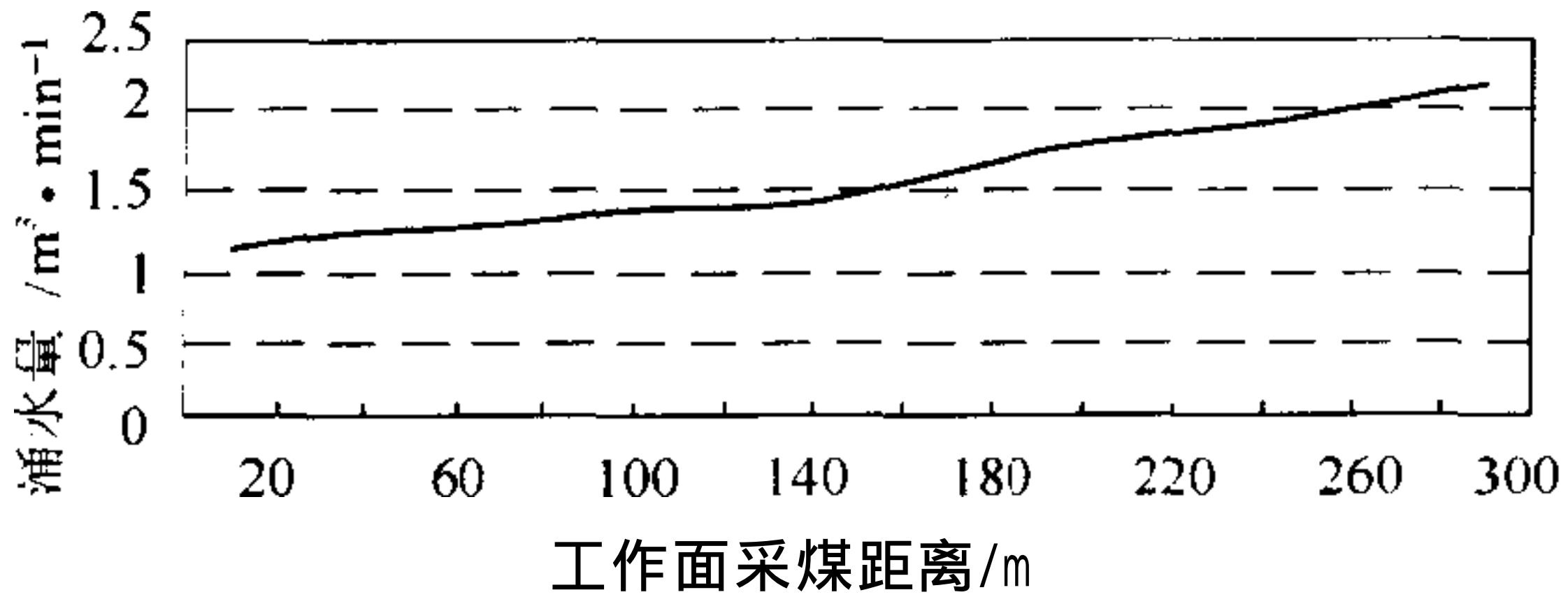


图 4—9 2393采煤工作面工程涌水量动态变化曲线图

作面涌水量则变化较大，其趋势逐渐增大，由 $1.125\text{ m}^3/\text{min}$ 增加到 $2.17\text{ m}^3/\text{min}$ （见图4—9）。

六、煤9顶板砂岩充水含水层采前预疏放渗流场预测

根据上述两个采煤工作面的顶板涌水量预测结果和荆各庄矿目前工作面排水能力以及排水效益计算，其预测涌水量比较大。因此，对煤9顶板砂岩裂隙充水含水层进行了采煤前预先疏放的预测计算。在此基础上，对煤9回采的2099和2393两工作面又进行了涌水量的二次动态预测，其预测涌水量大幅度减少。这些结论为荆各庄矿最终制定合理有效的防治水决策方案提供（了极其重要的科学依据。

思 考 题

1. 简述常用防水煤（岩）柱类型。
2. 简述防水煤（岩）柱留设原则。
3. 简述探放“老窑水”的具体原则。
4. 简述探放“断层水”的具体工作内容。
5. 简述探放岩溶陷落柱应注意的主要问题。
6. 简述防止导水钻孔的基本措施。
7. 简述疏干降压开采的主要类型。
8. 简述突水系数的概念。
9. 简述含水层改造与隔水层加固技术的基本原理。
10. 简述防水闸门与水闸墙设计的基本原则。
11. 简述煤矿注浆堵水技术的必要性。

第五章 煤矿排水、供水、生态环保三位一体优化结合

第一节排、供、生态环保三位一体结合的必然性分析与研究现状

一、矿区排水、供水、生态环保基本情况分析

1. 水患严重威胁矿开安全采煤

华北型煤矿井的主要充水水源为中奥陶统巨厚层碳酸岩灰含水层和石炭二叠系薄层灰岩或中厚层砂岩裂隙含水层组，其次为第四系松散孔隙含水层组。

(1) 受水害威胁的煤炭储量比重较大。据统计，华北型煤田累计探明煤炭储量约为3500亿t，其中生产矿井和在建矿井占用的储量约为三分之一，有49个矿务局300余处矿井目前正在进行开采。受水害威胁的储量比重最大的省份分别为河北、山东、河南、江苏和安徽，它们分别占各省生产和在建矿井占用储量总数的44.2%、40.0%、30%、29.9%和25.2%。在这些省份中，受水害威胁最严重的矿区主要呈两条北北东向的带状分布，一条是位于太行山东、南麓的邢台、峰峰、焦作等矿区，而另一条则位于鲁中至徐淮的淄博、淮南、淮北等矿区。在这些矿区中，峰峰、邢台、焦作、淄博、淮北和淮南各矿区的探明储量分别为44.8亿t、33.44亿t、9.6亿t、0.64亿t、7.89亿t和17.61亿t，而各矿区受水害威胁储量分别为23.25亿t、24.43亿t、3.8亿t、0.38亿t、3.70亿t和15.98亿t，依次占各矿区探明储量的52%、71%、49%、60%、48%和90%。显然，

水害压煤现象甚为严重。

(2) 底板喀斯特水突水严重影响矿井的安全生产。据不完全统计, 华北型煤田从1927年至1985年发生水量大于 $1\text{ m}^3/\text{s}$ 的特大型底板突水共17次, 总突水量为 $73.03\text{ m}^3/\text{s}$; 从1976年至1985年的10年内, 发生特大型底板突水10次, 突水量合计为 $56.87\text{ m}^3/\text{s}$; 更为严重的是, 从1984~1985年不到两年时间内, 发生了4次特大型底板突水, 突水量合计达 $42.80\text{ m}^3/\text{s}$, 其中包括两次世界采煤史上罕见的特大型底板突水, 即发生在1984年6月2日10时20分河北开滦范各庄矿和1985年5月18日河南焦作演马庄矿的突水事故。其中范各庄矿2171工作面发生奥灰喀斯特陷落柱突水后不到22 h, 就将一座年产300万t、开采20余年的大型现代化矿井全部淹没。根据淹没体积和淹没时间测算, 突水高峰期涌水量达到 $2\ 053\text{ m}^3/\text{min}$ 。这个数字是南非金刚萨矿突水量 $340\text{ m}^3/\text{min}$ 的6.4倍, 是我国淄博北大井突水量的4.7倍, 堪称世界之最。范各庄矿6月2日突水淹井后, 由于矿界煤柱存在薄弱段, 当范各庄矿水位大幅度上升时, 作用在矿界煤柱上的水压不断增加, 在6月10日, 范各庄矿的涌水又突破了矿界, 以 $380\text{ m}^3/\text{min}$ 的过水量淹没了与其相邻的吕家坨矿, 6月12日又迫使林西矿停产。这次突水淹井事故给国家造成了惨重的经济损失。

(3) 因各种类型内边界沟通, 多层薄层喀斯特含水层也对矿井的安全生产造成威胁。当华北型煤田煤系中的薄层灰岩含水层与基底巨厚中奥陶统灰岩含水层发生密切水力联系时, 多层薄层喀斯特含水层对矿井安全采煤也形成了较大威胁。例如1965年, 峰峰薛村矿和牛儿庄矿的薄层喀斯特含水层突水, 突水量分别达到 $80\text{ m}^3/\text{min}$ 和 $40\text{ m}^3/\text{min}$, 造成采区淹没, 影响了掘进工程进度和矿井的正常生产。又如1975年11月12日, 淄博埠村矿一井薄层岩溶含水层以 $6.45\text{ m}^3/\text{min}$ 的水量突入1008采区, 致使采区被淹没, 造成直接经济损失达256万元。再如, 焦作矿区是华北型煤田薄层喀斯特充水含水层水患威胁最严重的矿区之一,

20世纪60年代由石炭系第八层薄层喀斯特含水层造成的突水淹井事故共7次，20世纪70年代以后，由石炭系第二层薄层喀斯特含水层造成的突水淹井事故共达6次。在此期间发生的13次采区淹没事故中，第八层喀斯特充水含水层突水9次，第二层喀斯特充水含水层突水4次。

（4）受水害威胁矿井的排水量大，排水费用高昂。由于在华北型煤田的煤系之中和整体煤系之下，广泛分布着多层薄层和巨厚层喀斯特充水含水层组，特别是中奥陶统巨厚层充水含水层，喀斯特发育，补给水源充足，动、静储量大。这些喀斯特含水层组的承压水头一般均较高，严重威胁着上覆煤系中煤层的安全回采。因此，为了安全生产，必须大幅度疏降各充水含水层组的高承压水头，以使其达到安全水头标高。这样，在大多数受水害威胁的矿井中，其矿井涌水量必然增大，一般吨煤排水量均大于4 m³。对于一些开采历史悠久的老矿区，如开滦、峰峰、焦作、淄博等，由于上部煤层大部已经采完，矿井开采水平不断向下延深，中奥陶统高承压喀斯特水对它们的威胁和影响也日益加剧。在这些矿区的矿井中，吨煤排水量更大，一般均超过了10 m³。我国北方著名的喀斯特大水矿区——焦作矿务局，历年平均吨煤排水量达50 m³左右，全局排水量达3万m³/h，在该局王封等矿，吨煤排水量高达80 m³以上，平均每小时需排水5000 m³以上。

由于矿井排水量大，导致吨煤排水费用大幅度提高。如开滦矿务局10个矿在1990年共产原煤1782.06万t，全年排水费用达3 891.1万元，平均吨煤排水费2.18元；焦作矿务局9个矿在1990年共产原煤394.34万t，全年排水费用高达2 500万元，平均吨煤排水费6.33元。据焦作王封矿1989年测算，吨煤排水费用占吨煤生产成本的20%以上。如此高昂的吨煤排水费用使得各煤矿企业负担过重，造成经济效益不断下滑。特别是对于一些矿井水文地质条件极为复杂的煤矿山，由于无法承担过高的排水费用，造成企业连年亏损。

2. 煤矿区及其周围地区供水紧张

据有关资料统计，我国水资源年均总量约2.8万亿 m^3 ，在世界排名第6位。但若按人均计算，每人每年仅为2380 m^3 ，约占世界人均水资源占有量10000 m^3 的四分之一，相当美国人均占有量的五分之一，相当前苏联人均占有量的六分之一，名列世界第84位。水资源的分布情况与降雨量分布基本一致，表现为东南部水资源较为丰富，西北部水资源贫乏。例如华北平原现有人口1.26亿，水资源总量仅为500多亿 m^3 ，人均占有量约为400 m^3 ，只相当于全国人均占有量的六分之一。显然，华北地区的供水资源是十分紧张的。造成水资源这种紧张局面的因素是多方面的，根据对华北地区多年地下水动态和相关条件分析研究，主要影响因素包括以下几个方面：

(1) 气候条件是造成水资源紧张局面的因素之一。我国北方气候干旱，大部分地区多年平均降雨量为500 mm ~ 600 mm ，少数地区小于500 mm 或大于600 mm ，在一些特别干旱的年份，其降雨量在430 mm 以下。近十几年来出现的两次干旱，使得区域性地下水位普遍下降近10 m ，局部地区达20 m 之多，在一些大型喀斯特汇水盆地的排泄区，地下水位也下降了3 m ~ 5 m 。这样，在一些并无强烈开采的地下水盆地，其喀斯特大泉流量亦有显著减少。例如在1981年4月 ~ 5月，正常流量达6 m^3/s ~ 9 m^3/s 的黑龙洞泉群总流量已减少至不到2 m^3/s 。

(2) 工农业和生活用水的盲目不合理开采也是造成水资源紧张的一个因素。华北型煤田的大部分矿区目前均已经发展成为了具有一定规模的煤矿城市。其中城市人口在50万 ~ 100万之间的大城市就有抚顺、唐山、淄博、邯郸、徐州、大同、鸡西、淮南和阜新等，城市人口达20万 ~ 50万的诸如焦作、阳泉和淮北等中等城市，为数就更多了。煤矿城市规模的不断扩大，离不开当地工业、农业的快速发展和城市人口数量的猛增，而这些均需要消耗大量的水资源。由于过去水资源管理的混乱和无政府状态，水资源的盲目不合理开采现象十分严重，不少地区的地下水

开采缺乏统筹安排和统一的科学管理，各用水部门随意打井取用，相互争抢，开采水资源不考虑在时间和空间上的科学调节，相邻问地下水降落漏斗相互干扰影响严重。除此之外，用水无限制、农业灌溉方式落后且无定额、工业耗水量大、水的重复利用率低和水资源浪费现象严重等，均是导致煤矿城市供水资源紧张的因素。

(3) 煤矿井深降深、大流量排水造成矿区和周围地区各类供水普遍紧张。据不完全统计，华北型煤田47个煤矿区的矿井总排水量为2 734.68 m³/min，其中32个喀斯特水充水矿区的矿井排水量为2 531.06 m³/min，占总排水量的93%。在这32个喀斯特水充水矿区的矿井排水量中，喀斯特水为1565.72 m³/min，占矿井总排水量的60.46%。喀斯特水主要来自石炭系多层薄层和中奥陶统巨厚层灰岩充水含水层组。其中，太行山东南麓的邯郸、峰峰、井陉、邢台、安阳、鹤壁和焦作等矿区的排水总量为1034.87 m³/min，喀斯特水量占总排水量的81.9%；燕山南麓的北京、开滦矿区的矿井排水总量为338.59 m³/min，喀斯特水量为5458 m³/min，占矿井总排水量的16.12%，其余水量主要来自第四系松散孔隙含水层和大气降水入渗；山西省的轩岗、西山、阳泉、霍县、潞安、汾西等矿区的排水量为121.02 m³/min，喀斯特水量为38.56 m³/min，占矿井总排水量的31.86%，其余水量主要来自煤系砂岩裂隙含水层；鲁中南的淄博、肥城、新汶、枣庄、兖州、济南和滕县等开采古生代煤的矿区，矿井总排水量为543.15 m³/min，喀斯特水量为130.19 m³/min，占总排水量的23.97%，肥城、枣庄矿区喀斯特水量比重较大，鲁南各矿区孔隙水水量占相当比重；渭北、豫西、两淮地区的10个矿区，矿井总排水量为373.051 m³/min，喀斯特水量为256.70 m³/min，占总排水量的68.81%。上述矿区的大量排水，导致矿区内和周围地区的地下水水位大幅度下降，致使矿区的生产和生活用水出现了紧张局面。例如1979年元月，邯郸矿区王凤矿利用9组大口径群孔在中奥陶统灰岩含水层中进行了大规模的地面抽水试验，总抽

水量为 $1.6\text{ m}^3/\text{s}$ ，试验所形成的地下水位降落漏斗扩展范围达 10 km 之远，漏斗中心水位降深达 2.8 m 。在这次群孔抽水试验过程中，王凤矿奥灰专用供水井地下水水位下降了 1.54 m ，该井的日出水量也大幅度锐减，由原来日出水量 17000 m^3 减至 3000 m^3 ，造成全矿10万职工家属用水困难，矿工医院断水，火药厂停产。同时，抽水试验点附近的24眼农用斜井也全部枯竭。煤矿区的一个抽水试验就造成如此大的供水问题，由此可见，矿区的长期大流量排水必然会导致更为严重的供水紧张局面。根据供水的紧张程度，矿区可划分为严重缺水、供水紧张和基本适应三种类型。严重缺水矿区的标准是：人均生活用水在 $0.06\text{ m}^3/\text{d}$ 以下，且矿区总缺水量在30%以上者，如大同、阳泉、西山、义马和新密等矿区；供水紧张矿区的标准是：人均生活用水在 $0.06\text{ m}^3/\text{d} \sim 0.1\text{ m}^3/\text{d}$ ，矿区总缺水量为10%~30%者，如邯郸、淮南、淮北和平顶山等矿区；供水基本适应矿区的标准是：人均生活用水在 $0.1\text{ m}^3/\text{d}$ 以上，且矿区总缺水量在10%以下者，如开滦、峰峰、邢台和焦作等矿区。在被划分为供水基本适应的矿区中，各矿井的供水紧张情况也不尽相同，有的矿井供水也甚为紧张或者存在缺水情况。同时，随着矿区发展、人口的增长、人民生活水平的不断提高，各种需水量将会不断增加。因此，如果不及时统筹规划，解决好各方面存在的问题，目前供水基本适应的矿区也会在不久的将来转变为供水紧张或严重缺水的矿区。

3. 煤矿区及其周围地区生态环境恶化

由于华北型煤田分布地区多属干旱、半干旱气候类型，大气降雨入渗补给地下水的水量有限。同时，由于煤矿区的工农业和生活用水需求量不断增加，它们的供水开采规模也不断扩大。另外，随着华北型煤田上组煤层的开采水平不断延深和下组煤层逐渐开采，煤矿井的排水量愈来愈大。特别是在一些喀斯特大水矿区，矿井排水量在当地地下水资源开采中，占有相当大的比重。根据上述分析，由于地下水系统的输入量不断减少，而各种输出

量则不断扩大，系统的水资源平衡必然要受到破坏，进而导致地下水系统的水位持续下降，最后诱发出大量的环境地质和地质灾害问题。由于地下水与其赋存的周围介质的物理和化学作用过程十分复杂，且作用进程往往比较隐蔽和缓慢，故诱发的不良环境地质问题，既不易及时发现，又很难在短期内治理奏效。所以，根据具体的气候条件，合理制订排水、供水和生态环境保护三位一体的优化结合方案，不仅理论意义重大，而且对于防止生态环境恶化、避免环境地质问题的出现，均具有十分重要的实用价值。煤矿区的具体环境地质问题主要表现为：

（1）过量开发导致地下水系统水位持续下降，水源枯竭。地下水系统一经开发（排水或抽水），就破坏了它的天然平衡状态，在开发区附近形成了地下水水位降落漏斗。当开发量接近或小于补给量时，水位降落漏斗只随季节性气候变化而周期性变化，漏斗中心水位基本保持不变或有回升；但当系统的开发量超过补给资源量时，地下水水位就开始持续不断下降，有时在丰水年份也回升甚小。例如华北平原，20世纪70年代以前，不少地区的承压地下水自然喷出地表，而70年代以后，由于超量开发，地下水系统的贮存量不断被消耗，形成了许许多多大面积的地下水水位降落漏斗，最大漏斗面积可达数千平方公里，漏斗中心水位下降达几十米，而且这些漏斗的范围和深度还在不断扩展，致使漏斗区大量供水水源地的地下水可采资源明显减少。更有甚者，水源地大批供水井孔的提水设备因水位大幅度下降而无法正常工作，因而水井报废，造成巨大的经济损失。

（2）许多著名的喀斯特大泉失去了昔日的美丽风景景观。地下水系统的超量开发，使得许多名胜古迹遭到了不同程度的影响和破坏，如北京玉泉山“天下第一泉”，号称世界泉城的济南“趵突泉”，山西太原的“晋祠泉”和河北邢台的“百泉”等等。它们均因地下水盲目不合理开采和煤矿山长期大流量排水所造成的地下水水位降落漏斗的相互袭夺、干扰而被破坏，轻则大幅度减小名泉的正常泉水排泄量，重则使它们干枯断流，严重地破坏

了自然景观与生态环境。

(3) 煤矿城市地面喀斯特塌陷现象十分普遍，主要塌陷形式包括松散层下沉、地表开裂和塌陷洞等。在松散沉积物覆盖的喀斯特地区，当矿山大量排水和矿区周围大流量的开采喀斯特地下水资源时，喀斯特地下水水位必然会急剧大幅度下降，随之又诱发了与其保持密切水力联系的上覆松散孔隙含水层的地下水向下渗透补给，降低了孔隙含水层的地下水水位。同时，孔隙含水层中的松散颗粒随着地下水的向下垂直渗透，逐渐产生了离析、迁移、崩落现象，一些固体颗粒随着地下水水流突入井巷，或流入下伏的喀斯特充水含水层中，使得松散孔隙含水层中的空隙逐渐扩大。在上覆地层和地面载荷的作用下，松散孔隙含水层逐渐被压缩，产生了地面松散层的下沉。其下沉形态多呈碟状，面积大小不等，大者可达 $400 \times 100 \text{ m}^2$ ，下沉幅度可达1 m或更多。在碟状的边缘往往产生地表裂缝。如果松散孔隙含水层中有较多的固体颗粒随着地下水水流向下渗透而发生了迁移，那么，孔隙含水层中必然存在较大的空隙空间。当空隙空间扩展到一定程度，即会溃塌，形成地面喀斯特塌陷洞。如果塌陷洞在形成过程中就出现了密闭真空条件，吸蚀力将促成塌陷洞的形成。此外，喀斯特含水层地下水位的周期性回升和下降，形成了连续的地下动力水流，对上覆松散孔隙含水层不断产生冲刷、搬运和机械潜蚀作用，这也将促使喀斯特塌陷洞的进一步发展和扩大。

根据历史资料记载，地面喀斯特塌陷首先发生在华北型煤田开滦矿区的林西矿。1954年12月5日，第四水平23南石门发生了中奥陶统灰岩突水，突水量达 $100 \text{ m}^3/\text{min}$ ，突水后的第9天，距突水点850 m的地面奥灰隐伏露头带出现了两个塌陷坑，其直径达6 m ~ 9 m，深3.3 m ~ 4.8 m，坑内水深2.27 m ~ 2.6 m。这些塌陷坑不断扩大，最终深达10.59 m。1984年，开滦范各庄矿发生的特大型突水导致了17个地面塌陷洞的形成，其最大直径达10 m，深为3 m ~ 10 m。由于开滦矿区的大量排水，目前唐山市区的地面喀斯特塌陷灾害也比较严重，许多大型

建筑物和一些公共设施遭到破坏，严重影响了市区的整体规划和市政建设。同时，大量的地面塌陷坑和塌陷洞积水后，有部分或全部积水逐渐向下渗透补给了矿井，增加了矿井的无效排水。有时塌陷坑的这种渗漏补给还夹带着泥砂，增加了矿井突水的破坏性，使矿井的排水工作更加困难。另外，淮南、焦作和邢台等煤矿城市，地面喀斯特塌陷也较为严重。

（4）矿井污水的地面排放污染了地质环境。矿井是煤炭开采的场所，涌入矿井的地下水必然会受到与煤炭开采有关的各种因素的污染。这些污染物质主要包括废机油、废酸液、煤尘、煤粉和病原菌等。如果矿井水接受地表水的补给，它还可能被农药液和工业废水所污染，工业废水主要包括有机磷、酚、醛等有毒物质。如果矿井与贮积酸性水的老窑相连通，矿井水还将受到酸化的污染。再者，如果所采煤层含有黄铁矿或为高硫煤时，矿坑水也多变为酸性水。

如果不经任何手段处理，把上述矿井污水直接排放地面，将会严重污染耕作土壤和地表、地下水体等。如某矿区每月排放酸性水达21.6万 m^3 ，排出后污染水塘52个、农田1980亩，每年赔偿农业损失费多达0.34万元~7.78万元。有的酸性水在排出过程中，还损坏水泵，腐蚀机械设备，排出地面后，又污染了河流等地表水体。贾旺矿区是矿井排放污水严重污染地下水的一个典型示例。在20世纪50年代初，该矿区地下水中含有代表污染程度的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 NO_3^- 等离子含量极低，即 SO_4^{2-} 为3.7 mg/l ~28.79 mg/l ， Cl^- 为5.7 mg/l ~13.76 mg/l ， NO_3^- 为零，矿化度为0.31 g/l ~0.41 g/l ，硬度为78.7~12.41德国度；但矿区开采30多年后，地下水中的硬度增加了1.2~3倍， SO_4^{2-} 增加了13.3~36.6倍。显然，该矿地下水水质已被严重污染，水文地质环境已经恶化。

综合上述矿井水患严重情况、矿区供水紧张情况以及矿区环境恶化情况，可以认为，华北型煤田中奥陶统底板喀斯特裂隙含水层突水是我国矿床水文地质最复杂的难题之一。由于煤系底板

存在着一个富水性极强的高承压、巨厚喀斯特裂隙充水层，故煤矿矿井水患十分严重，矿井突水或淹井事故频繁发生，水害造成大量压煤，使许多矿井服务年限受到制约，经济损失重大。

为了实现矿井安全采煤之目的，除了在采煤方法和小构造探测技术以及注浆封堵等方面开展研究之外，充水含水层的疏水降压工作必不可少。随着气候干旱和工农业、生活用水量的剧增，长期深降深、大流量排水往往形成了数十甚至数千平方公里的地下水疏降漏斗。如此大范围的漏斗又必然影响其中和周围地区各类供水设施的供水能力，局部严重地带还可能导致供水设施完全报废或者供水水源枯竭，出现供水紧张局面，从而导致了矿区排水与供水的尖锐矛盾；同时，区域地下水水位的大幅度下降又诱发了一系列严重的生态环境质量问题，使得该地区的综合环境质量不断下降。可以推断，随着矿井开采水平的逐渐延深和开采深度的逐渐加大，这些类似的矛盾和问题将会更加突出。

二、矿区排水、供水、生态环境保护三位一体结合的必然性分析

1. 维持地下水系统收、支动平衡需要

华北型煤田大部分地下水系统的水资源开采目前已基本处于或接近动平衡状态，无太多的剩余资源量可供进一步开发利用。因此，如果试图在这些地下水系统中再充分挖掘地下水资源的开发潜力，科学合理地增加地下水的可开采资源量，以满足国民经济发展对该地区地下水资源的迫切需求，除在一些储水空间较大、调蓄条件较好地区适当进行含水层调蓄功能的开发外，主要途径就是走排水、供水、生态环境保护三位一体优化结合的道路。否则，在一个总补给与总支出已经处于或接近基本动平衡状态的地下水系统内，盲目布置地下水开采井孔，增大地下水系统的开发量，则必然破坏系统原有的动平衡，使其处于一种负平衡的失稳状态，随之还会诱发一系列的生态环境地质问题，并出现供水资源更加紧张的局面。例如焦作矿区，该矿区位于九里山岩溶地下水系统内，该系统总分布面积为3468 km²，中奥陶统石灰

岩裸露面积为1395 km²，主要分布在矿区的北部和东北部。根据计算，九里山喀斯特地下水系统的天然资源量为733.32 m³/min。另据焦作矿区1988年统计资料，矿区内各矿井的排水总量为619.01 m³/min，矿区内各类供水水源地的开采量为93.6 m³/min，合计矿区内总的地下水支出量为712.61 m³/min。显然，这个数字已与九里山喀斯特地下水系统的天然补给资源量相差无几。因此，焦作矿区今后地下水资源的挖掘潜力，不是大规模地增加地下水的开发量，而是应该充分综合利用地下水资源，提高目前大量浪费的矿区排水的利用率，实行排、供、生态环保三位一体的优化结合。

华北型煤田另有部分矿区虽然所处的地下水系统已经接近水量动平衡状态，但由于基岩裂隙地下水在空间分布上的极不均匀性，矿区内仍有相当数量的煤炭储量因受水害威胁而无法正常开采。与此同时，在这些地区的一些国家重点建设项目急需上马，需要一定数量的水资源作为保证。

为了解决水害压煤，延长矿井生产服务年限，除在采矿技术等方面采取一定措施外，疏水降压的治水方法无可替代。但是，如果继续沿用过去大流量强排地面后而不加以任何综合利用，与此同时，为了满足国家重点建设项目对水资源的需求，又盲目增建新水源地，增大地下水资源的开发量，那么矿区所在的地下水系统就必然处于一种负均衡失稳状态，生态环境问题和排供矛盾不可避免。因此，为了安全开采大量的水害压煤和满足国家重点建设项目对水资源的需求，同时又保证已经处于或接近水量动平衡状态的地下水系统继续维持平衡，排水、供水与生态环境保护三位一体的结合是唯一能够同时达到上述目的的一种最优方法（案）。三位一体优化结合，就是要求将排出的矿井水经过一定水质处理后，全部或部分用来代替矿区正在运行中的不同目的的供水水源地。这样，一方面可以大流量地疏降水害压煤地区的充水含水层层组，以达到解放水害威胁的煤炭储量之目的；另一方面可以完全满足国家重点建设项目对水资源的需求，同时又维护了

地下水系统的收、支动平衡状态，使得排、供、生态环保三者之间构成的大系统在宏观上能够处于一种最佳的运行状态。例如，邢台矿区位于百泉喀斯特地下水系统内，系统的天然资源量为 $5.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ，上游因修建水库减少了河流入渗补给量达 $1.17 \text{ m}^3/\text{s}$ ，故实际的地下水天然资源量为 $5.44 - 1.17 = 4.27 \text{ m}^3/\text{s}$ 。根据统计资料，邢台市及周围地区的地下水开采量目前已达 $3.84 \text{ m}^3/\text{s}$ ，显然，地下水系统已基本接近平衡。但是，邢台煤矿下组煤的3.65亿t煤炭储量目前因水害威胁无法开采。同时，矿区内的151电厂尚需水量 $1.69 \text{ m}^3/\text{s}$ 。可以设想，如果在补给与支出基本接近平衡的百泉喀斯特地下水系统内，再增建开采量为 $1.69 \text{ m}^3/\text{s}$ 的新水源地，并同时安全开采3.65亿t的水害压煤，百泉喀斯特地下水系统必然出现负均衡，随之将导致排与供的尖锐矛盾和一系列的生态环境地质问题。因此，要想解放该矿区下组煤的安全开采问题并满足151电厂的需水要求，同时又要保证百泉喀斯特地下水系统处于合理的动平衡状态，只有采用排水、供水、生态环境保护三位一体的结合模式。

2. 提高矿井排水综合利用率需要

华北型煤田大部分矿区的矿井排水利用率较低，如何提高它们的综合利用率对充分挖掘该地区地下水资源的潜力意义重大。根据《中国北方喀斯特地下水资源及大水矿区喀斯特水的预测、利用与管理的研究》报告的统计资料（见表5—1）可以看出，华北型煤田的矿井排水利用率皆不高，包括农业用水在内，其利用率多在20%~75%之间，大部分矿井维持在30%左右。也就是说，各矿井所排出的水中，25%~80%被白白流失。根据国内外一些文献报道，美国在20世纪80年代初，煤矿井排水的综合利用率已达81%，前苏联顿巴斯矿区1985年的矿井水利用率超过90%。

相比之下，我国煤矿井排水的综合利用潜力是很大的。在已被利用的矿井排水中，农业用水占总排水量的10%~70%，但农业用水具有明显的时间性和季节性，一般在农作物生长季节

表5—1 华北型煤田主要矿区的矿井排水利用情况

矿区或矿务局	矿井总排水量 $/\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	排水中喀斯特水量 $/\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	工业和生活用水		井下生产用水		农业用水		总计		备 注
			用水量 $/\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	利用率 /%	用水量 $/\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	利用率 /%	用水量 $/\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	利用率 /%	用水量 $/\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	利用率 /%	
开滦矿区	290.59	36.08	71.42	24.58					71.42	24.58	剩余排掉
轩岗矿区	14.70	9.34	2.82	19.18	部分水				>2.82	>19.18	剩余排掉
西山矿区	29.14	16.34	2.08	7.14	7.02	24.09	1.75	6.01	10.85	37.23	剩余排掉
阳泉矿区	4.66	1.88			3.59	77.04	1.07	22.96	4.66	100	
霍县矿区	40.81	8.01			部分水				部分水		剩余排掉
井陘矿区	30.00	27.17	2.92	9.73			2.70	9.00	5.62	18.73	剩余排掉
邢台矿务局	35.55	10.59	8.72	24.53			7.82	22.00	16.54	46.53	剩余排掉
峰峰矿务局	240.32	153.50	部分水				63.89	26.59	>63.89	>26.59	剩余排掉
邯郸矿务局	56.61	52.799					19.04	33.63	19.04	33.63	剩余排掉
焦作矿务局	619.01	588.05	156.60	25.30			100.8	16.28	257.4	41.58	剩余排掉
淄博矿区	84.83	6.3					大部分水		大部分水		剩余排掉
肥城矿区	177.06	128.18	部分用于选煤厂		部分水		大部分水		大部分水		剩余排掉
新汶矿区	83.36	27.79	少部分用于选煤厂				大部分水		大部分水		剩余排掉
徐州矿务局	124.05	67.78	45.70	36.84	11.0	8.87			56.7	45.71	剩余排掉
蒲白矿区	6.41	4.38	4.38	68.33					4.38	68.33	剩余排掉
澄合矿区	23.94	8.40	8.40	35.09					8.40	35.09	剩余排掉
韩城矿区	18.60	14.10	14.10	75.81					14.10	75.81	剩余排掉
平顶山矿区	118.95	110.62	37.7	31.70			部分农用		>37.71	>31.70	剩余排掉
豫西其他矿区	121.74	67.59					部分农用		部分水		剩余排掉
淮北矿区	45.60	34.99			主要用于防尘				部分水		排入塌陷区
淮南矿区	38.52	47.19	13.89	36.06	部分用于防尘				713.89	>36.06	排入塌陷区

和旱季需水较多，一年中用水期约占4个月，其他季节农用水量极小，大部分的矿井水被白白流失。

被用作工矿企业和生活用水的矿井排水一般占总排水量的10% ~ 50%，这部分用水主要为煤矿区自身利用。

在矿井排水中，有部分被作为生产用水，如山西、两淮和徐州等矿区主要用于井下综合防尘，其他矿区则主要用于洗、选煤厂。

在华北型煤田，矿井排水利用较好的有阳泉、邢台、焦作、涂州、渭北和平顶山矿区，它们的矿井水综合利用率均达到50%以上。矿井排水中喀斯特水利用率较高的矿区有开滦、渭北和邢台等。

把煤矿井排水作为生活饮用水的矿区较少，目前主要在渭北、徐州、太原和轩岗等矿区中的个别矿实施。

3. 生态环境保护需要

不经任何水质处理的大量矿井污水的排放，严重污染了矿区的生活和生产环境，特别是一些酸性水或含有油质、贵金属离子或放射性等物质的矿井水，污染程度更为严重。矿井在开拓掘进和开采过程中，使煤层的顶、底板和围岩产生了大量裂隙和溶隙通道，富含各种成分的地下水在与其渗流途经的煤和岩层广泛接触、溶滤之后，从巷道或井壁以及采空区等处渗入矿坑。具有不同化学组分特征的各种地下水相互混合后，发生了一系列的化学、物理和生物反应作用，致使矿井水中的悬浮物、有机物和菌群等成分含量剧增，最后导致矿井水中所含成分复杂多样化。

矿井水的水质状况一般与矿区所处的地形、地貌、降雨量等自然地理环境以及含煤地层中的矿物成分等有关。地下水的补给、径流条件、地表水的污染情况以及矿井井下的生产活动等也影响控制着矿井水的水质。

为了避免矿井排水对环境的污染和提高矿井排水的综合利用效率，根据目前的水质处理技术和处理成本，大部分矿井污水均可处理为可供不同供水目的需要的供水资源。因此，今后应该将

所排的矿井水视为具有一定开发利用价值的水资源。随着今后世界范围内水资源日趋紧张和生态环境急待保护以及对排、供、生态环境保护三位一体结合的研究，矿井水必将能够发挥出它应有的作用，为所在的煤矿区带来巨大的经济、社会和环境效益，同时矿井排水的再处理利用将大大改善矿区和周围地区的地质环境质量。例如河南平顶山煤矿区，其年矿井排水量达5000万 m^3 ，原来大量的未经任何水质处理的矿井排水严重污染了矿区周围的河流和生态环境。自从建立了6个坑口区水净化厂，在1986年仅用一年时间净化了能够达到生活饮用水标准的水量3100万 m^3 ，这些净化了的矿井排水直接作为矿区饮用水的供水资源。同时，坑口水净化厂的建立减少了矿井污水的排放量，因而大大缓解了矿区周围地质环境的污染程度。

综上所述，华北型煤田大部分地下水系统目前的总补给与总排出量基本接近平衡，没有更多的地下水资源可供进一步开发利用。同时，位于这些地下水系统的部分矿区水害问题又十分严重，有相当数量的优质煤炭储量因受其底板高承压喀斯特裂隙水的威胁而无法安全开采。另外，在这些地下水系统的分布地区，由于其地理位置优越，交通便利，资源丰富，经济发达，拥有大量重要的大型现代化城市和工矿企业，故国家许多重大建设项目均需在这些地区上马，因而需要大量的水资源作为立项的基础。与此同时，华北型煤田目前绝大部分矿区的矿井排水综合利用率较低，大量矿井排水不经任何水质处理被排出地面，因而一些富含有害有毒元素的矿井污水严重污染了矿区的地质环境。

鉴于华北型煤田目前所面临的问题，如果要想在保证安全采煤和满足建设项目水资源需求以及提高矿井排水综合利用率、减缓矿区生态环境污染的前提下，使矿区所在的地下水系统能够处于正常合理的动平衡开采状态，就必须把矿区的排水、供水与生态环境保护三个方面统筹规划、统一管理，把它们视为一个彼此间具有密切联系的完整系统去考虑。这样做不仅可以避免过去不经任何水质处理所排放的矿井污水对矿区环境所形成的污染，

而且由于关闭了一些地下水的开采井孔，减少了地下水系统的排出项目，使得地下水系统的总补给与总支出关系发生了变化，使其处于正常的动平衡运行状态。因此，下一步就可以着手对水压煤的充水含水层组进行大流量的疏降工作。这样，一方面可以解除待开采煤炭储量的水害威胁，另一方面可以使疏降的大量矿井排水经水质处理后，用于满足该地区急需上马的国家重点建设项目的水资源需求。地下水系统在开采量与排放量的整个调整过程中，始终维持了它的动平衡状态，因而不会引起任何地质环境问题的出现。只有对地下水系统进行如此复杂的脉冲调整，把排水、供水与生态环境保护三者统筹考虑，才能在保证满足各种条件的情况下使其处于合理的动平衡状态，这就是三者结合的必然性。

三、矿区排、供、生态环保三位一体结合的研究现状及存在问题

1. 国外研究现状

国外主要产煤国家在这方面的实践与研究起步比较早。由于他们具有先进的工业技术，拥有一流的抽（排）水设备，如各种型号的大流量、高扬程潜水电泵，同时因为大部分煤矿均属私人企业，老板追求煤炭开采的整体经济效益。所以，矿山排水作为煤炭开采的伴生资源，其综合利用率甚高。国外煤矿山的排供结合思路非常简单，但十分有效。他们购置大量的潜水电泵，在矿区地面实行强排，疏干主采煤层的直接充水含水层组，在解除水患威胁后，开始进行大规模机械化作业采煤。由于在矿区地面直接排水，避免了地下水流入矿坑被污染这个环节，故地面排放水的水质绝对优良，无需或稍加处理便可以直接通过各种不同的输水管道卖给不同的需水用户，然后按照不同的供水用户和输送距离的长短等指标收取水费。因此，国外煤矿矿井排水不是一种负担，而是作为获利的一个手段，矿井水越大，盈利越多，整体经济效益越好。例如从20世纪70年代开始，德国的莱茵褐煤矿和希腊南部的米加罗波里褐煤矿，就是利用大量的潜水电泵，在煤

矿井地下水系统补给边界处进行强排，排出的地下水直接通过管道输送至电厂。20世纪80年代匈牙利外多瑙河煤矿和铝土矿把矿井的排水直接卖给城市供水部门，作为当地人们的生活饮用水源。这些煤矿仅依靠经营矿井排水这一项煤炭伴生资源，就获得了十分可观的经济和社会效益。

2. 国内研究现状

根据排、供结合的发展历史，我国煤矿排、供结合的理论与实践研究大致可划分为以下三个阶段。

（1）矿井水利用阶段。在煤矿开采过程中，利用矿井本身排水作为矿山的供水水源，在我国已有近百年的历史。但是，当时的矿井水利用规模和利用率是相当有限的。建国以来，作为我国主要能源的煤炭工业得到了迅速发展，大规模的煤炭开发使得矿井涌水量不断增加，特别在一些喀斯特大水煤矿区，矿井排水量甚为可观。大流量的矿井排水形成了大面积的地下水降落漏斗，使得矿区区域地下水水位大幅度下降，许多矿区自备水源井的供水能力受到了影响，出现了矿区供水紧张的局面。因此，华北型煤田的部分矿区在这种情况下，开始利用部分的矿井排水作为矿区自身的生产和生活用水，即自排自供。同时矿区附近的农民在农灌季节也自觉不自觉地开始利用这些无需花钱便可浇灌自己田地的矿井水，实现了矿井排水与农业灌溉的初步结合。在这一阶段，焦作矿区是华北型煤田矿井水排、供结合较为成功的代表。

总之，第一阶段的排、供结合理论研究主要着重于矿区的矿井水利用，以提高矿井水的使用率为目的。在排、供结合的实践方面，主要以自排自供为特征，矿井既是排水点又是供水水源。当然，在工业、农业和城市人口生活供水等方面也不乏其利用矿井排水的实践。

（2）水害防治和矿井水综合利用阶段。自1977年在广东肇庆由煤炭工业部、冶金工业部、国家环境保护局和国家地质总局共同组织召开的全国首次“综合治理和利用矿床大面积地下水”的经验交流大会以后，无论在排、供结合的理论研究方面，还是

在实践应用方面，均在第一阶段矿井水利用经验的基础上得到了进一步的发展和深化。特别是在理论研究方面，对矿区排、供给合的内涵进行了深入细致的探讨，认为排、供结合不仅仅简单意指矿井水的利用，使矿井的排水为矿区所用，而且包含着更深层次的涵义，即排、供结合本身也是一项防治水害、解除水患危险的技术。所以说，排、供给合实质上是指在解除矿山水患条件下，将矿井排水经过处理用于矿区供水，即将充水含水层组地下水水头疏降至安全开采标高的大量矿井水排放地面，为矿区不同目的的供水服务。排、供给合的首要任务是解除水患、保证煤矿安全开采，其次才考虑矿井水的综合利用。

20世纪70年代末至20世纪80年代初持续几年的干旱气候，使得华北型煤田大部分地区的区域地下水水位大幅度下降，造成许多喀斯特大泉流量骤减，甚至枯竭，工业、农业和人民生活用水十分紧张。在部分煤矿区，矿工及其家属的生活饮用水和洗澡用水也无法保证。这一问题客观上促进了矿区排、供给合实践的更进一步发展，使煤矿和地方的行政领导及工程技术人员深深认识到了排、供结合的深远意义和二者结合的可行性以及巨大的经济和社会效益。因此，在这段时间所提交的大部分的矿区水文地质勘探报告和有关论文中，均指出了排、供结合的必要性及其重大意义以及具体的实施方法和措施，且部分矿区还进行了排、供结合的工程实践。例如，20世纪70年代河北邯郸和邢台煤矿区为了开采下三层煤，在对煤矿山喀斯特地下水的治理与开发工程中，采用了矿区强降强排的方针，即首先通过分析各种地质勘探成果资料和具体的矿井水文地质条件，确定出补给矿区的中奥陶统喀斯特裂隙水的主要径流通道；然后，在这些部位布置多个地面钻孔进行大流量抽水；最后将其排出地面以截取补给矿区的地下径流。与此同时，矿井内实行了强排，将奥灰喀斯特裂隙水的水头压力疏降到矿井安全开采规定的水头标高，矿井排出的水供工农业生产直接使用。此项工程的实施结果，一方面解除了煤矿井安全生产的水患威胁，保证了下三层煤的安全开采，另

一方面也为市区提供了一定数量的供水水资源，实现了排、供给合，使水害变为水利。

(3) 矿山排水、供水、生态环境保护三位一体给合的优化管理阶段。通过前两个阶段的排、供结合研究，广大矿井水文地质工作者取得了一大批重要的学术成果，为我国煤矿井排水资源综合利用课题的进一步深入研究奠定了基础。但是回顾以往的工作，还存在着以下不足之处。

矿区生态环境地质问题缺乏考虑。煤矿的开采常形成数十至数百平方公里的地下水疏降漏斗，如此大范围的漏斗严重影响了矿区和周围地区各类供水设施的供水能力，从而产生了排、供矛盾。同时，矿区深降深、大流量排水又必然诱发一系列严重的生态环境地质问题，特别对于已逐步转入石炭系下组煤开采或上组煤开采水平正在逐渐延深的北方各煤矿山，类似的矛盾和问题将更加突出。最大开采深度已达1200 m的唐山开滦矿区，地面喀斯特塌陷频繁出现，严重影响了唐山市区的整体市政规划和建设；沉积了巨厚新生界地层的两淮等矿区，因煤矿井大量排水造成大批矿山井筒变形、破坏，经济损失惊人；峰峰矿区近年来因矿井大流量疏排，致使区域地下水水位普遍下降50 m~100 m，对邻近市、县石灰岩分布区十余万居民的生活和生产供水造成了严重影响。

长期以来，虽然人们已经注意到这些矛盾和问题，但解决办法只停留在排水与供水二者的结合上，而未能综合考虑因不合理开采地下水所诱发的一系列矿区地质生态环境保护问题。

充水含水层组地质结构认识不清。华北型煤田的充水地质结构是一个因各种类型内边界沟通而形成的相互间存在密切水力联系的多层孔隙、喀斯特—裂隙充水含水层组立体结构。而传统的排、供结合研究往往只注意所开采煤层的直接充水含水层，或者在考虑别的有关充水含水层组时，也只能是间接考虑，未能用一个完整统一的数学模型描述出华北型煤田所具有的这种独特的多层含水层组立体充水地质结构特征。

为此，作者于1989年在全面分析华北型煤田矿井水患和矿区水资源合理开发利用以及矿区生态环境等方面的基础上，首次提出了煤矿井排水、供水、生态环境保护三位一体结合的思想，并根据研究矿井所在区域的水资源开发利用情况和矿井自身的水文地质条件，划分出排、供、生态环保结合的两大基本模式和对应的优化结合管理模型，从而改变了过去只注意排、供矛盾而忽视了由此诱发的生态环境问题的局面，而且排、供结合思想也有所创新。

排、供、生态环保三位一体结合模式是一种理论性较强的新型模式。它从理论上探讨了综合解决我国煤矿区目前和今后愈来愈严重的排、供矛盾和生态环境问题的可能性，使得这些本来彼此间相互联系甚为密切的矛盾和问题能够在一个统一的复杂模型中同时得以解决，从而大大减小了由于分别处理和解决这些矛盾和问题所带来的计算上的误差，提高了评价和管理它们的准确程度。同时，对于不同的排、供、生态环保三位一体的结合模式，作者还从理论上论证了它们的具体适用条件，使它们发展成为能够进行具体实施操作的实用性模式。

煤矿区排、供、生态环保三位一体优化结合的管理模型在实践中不仅涉及到解除水患、使矿井水得以综合利用等水力技术方面的问题，而且也包括经济效益评价和生态环境保护等方面的问题。它在保证地下水水头压力疏降到安全开采标高且满足矿区一定的需水量但不引起其生态环境质量有任何降低的多重约束条件下，以寻求不同供水目的所获得最大经济效益为优化目标。排、供、生态环保三位一体优化结合研究不仅对矿区排水、供水、生态环境保护三者实施综合评价与综合管理，而且从开始研究就实施三者的综合设计与综合勘探，这样可以节约大量的专项勘探和评价费用。

总之，第三阶段的煤矿区排、供、生态环保三位一体优化结合的研究，丰富和创造性地发展了以往有关的研究成果，使得该研究领域逐渐趋于成熟、完善，可望能够解决我国煤矿区目前普

遍存在的日益严重的排、供矛盾与生态环境问题。

3. 存在主要问题

充分利用煤矿井排水资源，使其变害为利，变废为宝，是造福于人类、有益于整个社会发展的伟大事业，尤其在水资源紧缺地区，这一点更为重要。矿井排水无疑是一大财富，充分综合利用矿井水比新建其他的引水水利工程投资少、见效快、效益好，同时，综合利用矿井水可大大消除矿井水患威胁，解放大量的水害压煤，并有利于保护矿区生态环境质量，彻底治理矿井污水对地质生态环境的严重污染。虽然近年来，我国在该领域的研究工作已经积累了较为丰富的经验，走在了世界同行的前列，在理论上已得到大多数发达国家的同行专家和学者的认可，但在实践中还存在着许多诸如管理和技术等方面的难题，有待于进一步研究解决。这些难题主要包括：

（1）供水系统水源稳定问题。大多数煤矿山的矿井涌水量因受季节性气候影响而波动较大，但一般需水用户却对其供水水量要求稳定且连续，所以，供需双方彼此间存在一定的矛盾。如果用煤矿井枯水期的最小涌水量作为供给需水用户的设计水量，虽然供水量稳定问题解决了，但矿井水资源未能得以充分综合利用，大于最小涌水量的丰水期的那部分矿井涌水量就只能白白流失。反之，如果采用煤矿井丰水期的最大涌水量作为设计供水量，那么枯水期供水系统的水源又无法满足。

（2）排水系统安全运营问题。目前大部分煤矿山防排水系统的抗灾能力比较弱，一旦矿井瞬时涌水量超过其排水能力，就会造成淹井或淹水平的恶性水害事故，并致使矿井排水中断，无水可供。所以，煤矿山急需开发一套既准确又适用的预测、预防矿井突水的新技术，例如使井下排水系统潜水泵化等。同时，还应建立一套应急的备用供水系统，以防万一。

（3）排水成本问题。煤矿井排水深度一般较大，故排水成本较高，一般是地面取水费用的2~4倍。故用户不愿意使用矿井排出的高成本水，这是目前矿坑水利用率较低的一个重要原

因。

（4）水源输送问题。如果煤矿井距需水用户较远时，需要长距离输水。如果使用明渠输水，虽然所需工程投资较少，但在输送过程中容易被污染，而且也容易发生渠道渗漏；如果采用管道输送，污染和渗漏问题均可避免，但相应造价提高。输送管道一般分两种，一种为铸铁管，另一种为水泥管。铸铁管具有使用寿命长、耐腐蚀、安装方便等优点，但价格较高。水泥管虽不具备铸铁管的诸多优点，但它的造价低廉，所需投资较少。但作为长期输水管道，以采用铸铁管输水为宜。

（5）水质问题。大部分煤矿井排出的水均不同程度的被污染。根据不同用水单位的水质标准要求，需要对不同类型的矿井污水进行不同的水质预处理，这就必然增加了供水成本。目前对于一些特殊类型的矿井污水处理，仍存在着一些技术或成本方面的问题。

（6）效益问题。开展煤矿区排、供、生态环保三位一体优化结合的管理模型研究，要从定量管理的角度综合研究相互间存在密切联系的排水、供水与生态环境保护三者的关系，以便使三者的总体社会和经济效益最优，避免出现三个部门因只从各自局部的最佳经济效益出发而使得总体社会效益和经济效益降低的现象。

（7）协调问题。排、供、生态环保三位一体的优化结合问题涉及三个不同部门，而目前这三个部门相互独立，彼此分家。因此，要想使三者能够成功结合，就必须由国家主管部门出面，组织建立一个由各有关部门参加的协调中心，通过立法和制订相关政策，采取强制性手段，对煤矿水害防治、矿井水合理疏降、排放、净化、利用和供水资源评价以及矿区生态环境保护等问题与矛盾，进行统一规划，统筹解决。只有这样，才能真正使三位成为一体化。

第二节 排、供、生态环保三位一体结合的基本理论和模式

一、基本理论

从排、供、生态环保三位一体结合的内容来看，应包括三个方面，即排水、供水、矿山与其周围地区的生态环境质量保护；从它们结合的取水建筑物性质来看，应包括三大类型，即井下放（涌）水点、矿坑的地面抽水孔和补给区的地面浅排孔；从它们的结合方式来看，应包括两种形式，即排、供、生态环保结合和排、供、生态环保配合。

所谓排、供、生态环保结合，是指在保证环境质量前提下的井下排水和地面抽水用于各种目的的供水，矿井既是排水点，又是供水水源。矿井地面抽水孔的设置，是为了减除因井下不可预见性事故引起井下排水中断而造成的对要求有较为稳定水源保证的各种供水用户的影响。

所谓排、供、生态环保配合，是指在对矿井水疏降较为有效的地下水系统的某些补给部位，建立能够保证环境质量的各种用途的供水水源地，预先截取补给矿井的地下水水流。这样既可满足矿井周围地区的各类供水需求，又可达到疏降矿井水之目的，并可有效地降低我国煤矿传统的因只采取井下大流量疏放而造成的昂贵的吨煤排水费用和水污染处理费用，变被动的井下防治水工作为积极主动的地面截流工作。强喀斯特径流带和地下水集中补给带是较为理想的地下水系统截流配合部位。

一般排、供、生态环保结合的井下排水点和地面抽水孔主要布置在所采煤层的底板直接充水含水层中，而排、供、生态环保配合的地面浅排孔则主要布置在巨厚层的中陶统灰岩含水层中。也就是说，排、供、生态环保三位一体结合的水文地质概念模型是一个涉及彼此间存在密切水力联系的多层含水层组的立体充水地质结构。因此，如果想从根本上解决排、供、生态环保三位一

体结合的管理问题，立体的水文地质概念模型和数学模型的建立是必要的条件和基础。

该模型不仅考虑了排水系统的疏降效果和安全运营，而且供水系统的供水需求和生态环境系统的质量保护也同样是优化模型设计的重要约束指标。可以说，在模型中排水、供水与生态环境保护三者之间没有主辅之分，它们均以权重系数相同的重要作用在模型中出现。三位一体结合模型控制所研究矿区的各充水含水层的水头压力，使其不仅满足安全带压开采的需要，而且要确保矿井和周围地区一定数量的供水需求，但不允许超过导致生态环境质量降低的最大允许水位降深。

排、供、生态环保三位一体结合的优化管理模型，在保证生态环境质量和矿井安全生产的前提下，提供给矿井和其周围地区一定数量的水资源，可用于生活、工业和农业等方面的供水。根据三种不同供水用户的供水价格、抽（排）水电费、管道输送费（包括管道成本和占地费用等）和水处理费，通过比较目标函数中它们各自所产生的经济效益大小，模型会自动优化分配各自的供水数量和具体的供水方案。所以，这个三位一体的优化模型除涉及地下水水力技术方面的管理之外，同时也牵涉经济评价和生态环境保护以及产业结构调整规划等的管理。它不仅实现了三位一体结合过程的经济运行，同时整个结合系统的安全运营也得到了保障，避免或减少了井下突发性事故的发生和所造成的损失。

排、供、生态环保三位一体结合模型不仅实现了将保证生态环境质量的矿井排水和地面抽水用于供水之目的，而且通过选择多种供水用户所产生的经济效益最大的目标函数和适当的约束条件，完成了利用一个模型同时综合制订排水、供水、生态环保三位一体的具体水资源优化管理方案。这个模型的意义，一方面提高了结合系统整体运行的安全可靠性和稳定性，另一方面，使矿井排水预测和供水资源管理以及生态环境质量评价工作同步进行，结束了长期以来从地质勘探到评价管理各个不同工作阶段，排、供、生态环保三个部门各立门户的封闭局面。这样做不仅在经济上可避

免三个部门大量重复的地质勘探和专门评价管理工作，为国家节约大量的资金，而且在技术上由于利用一个模型同时全面系统地考虑了各工程设施所形成的地下水渗流场之间的相互干扰和影响，从而确保了预测、管理和评价工作的精度。

二、基本模式

任何技术、任何模式均有它们的具体适用范围和条件。因此，按照科学的研究方法，对于任何一项新的技术或模式，首先应当解决它们的分类问题。

排、供、生态环保三位一体结合的研究也不例外，它的结合模式是多种多样的。根据结合矿区的具体区域地下水资源开发情况和矿井本身水文地质条件的复杂程度，著者认为，排、供、生态环保三位一体的结合应该划分为狭义的和广义的两大基本模式。

（一）狭义的排、供、生态环保结合管理模式

狭义的排、供、生态环保结合模式就是只注意排水系统的疏降效果和生态环境系统的质量保护，而不直接考虑供水系统的供水要求，在首先保证矿井安全生产和生态环境质量的前提下，将矿井的排水汇流后，经水质处理用于各种目的的供水。这种结合模式以矿井排水和生态环境保护为主，供水只作为被动辅助的一方加以考虑。

该模式主要适用于区域地下水资源比较紧张且矿井水文地质条件复杂或极其复杂的矿区。对于矿井水文地质条件简单或中等的矿区，没有排、供、生态环保结合研究的必要。如管理期划分为三个管理时段，则具体结合的管理模型如下：

目标函数：矿井总排水量最小。

主要约束条件：

- （1）保证疏降区地下水水头满足安全带压开采的要求；
- （2）确保矿井排水不引起周围地区生态环境质量的降低。

（二）广义的排、供、生态环保结合管理模式

所谓广义的排、供、生态环保结合，实际上包括排、供、生

态环保结合和排、供、生态环保配合两个方面。广义的排、供、生态环保结合不仅注意了排水系统的疏降效果和生态环境系统的质量保护，而且直接考虑了供水系统的供水需求，三者同时作为优化管理设计的重要约束指标，它们之间没有主、辅之分，也无轻、重之别。广义的排、供、生态环保三位一体结合系统控制矿区水头压力不仅满足安全带压开采高度，而且确保矿区及周围地区的一定供水需求，但不允许超过最大允许降深。

该模式主要适用于区域地下水资源比较充沛，且矿井水文地质条件复杂或极复杂的矿区。如管理期划分为三个管理时段，则具体结合的管理模型如下：

目标函数：多种供水目的的经济效益最大。

主要约束条件：

（1）疏降流场满足安全带压开采条件，但不得超过最大允许降深；

（2）排水量加开采量须保证一定供水量，但不得超过地下水系统的剩余资源量；

（3）矿区排水不引起它和周围地区的生态环境质量降低。

思考题

1. 简述矿区水害、供水、生态环保三者的矛盾与问题。
2. 简述煤矿排水、供水、生态环保三位一体结合的必然性和重要性。
3. 简述矿区排水、供水、生态环保三位一体结合的基本模式。

主要参考文献

- 1 国家煤矿安全监察局，煤矿安全监察．北京：中国矿业大学出版社，2001
- 2 赵全福主编．煤矿安全手册．北京：煤炭工业出版社，1992
- 3 武强，金玉洁著．华北型煤田矿井防治水决策系统．北京：煤炭工业出版社，1995
- 4 李金凯著．矿井岩溶水防治．北京：煤炭工业出版社，1990
- 5 杨成由主编．专门水文地质学．北京：地质出版社，1981
- 6 柴登榜主编．矿井地质工作手册．北京：煤炭工业出版社，1984
- 7 薛禹群，谢春江主编．水文地质学的数值法．北京：煤炭工业出版社，1980
- 8 Indrarabna B，Ramanda P，Singh N．Singh Numerical analysis of water inflow into underground excavations—recent developments．In：Proceedings of 5th International Mine Water Congress．The International Mine Water Association，1994
- 9 Coldeway W G，Semrau L．Mine Water in the Ruhr Area (Federal Republic of Germany)．In：Proceedings of 5th International Mine Water Congress．The International Mine Water Association，1994
- 10 沈季良编著．建井工程手册（第四卷）．北京：煤炭工业出版社，1986
- 11 华北水科学院主编．水工设计手册．北京：水力电力出版社，1984
- 12 武强，黄晓玲，董东林等．试论煤层顶板涌（突）水条件定量评价的“三图一双预测法”．煤炭学报，2000（1）
- 13 武强，董东林，石占华等．华北型煤田排—供—生态环保三位一体优化结合研究．中国科学，1999（6）
- 14 武强，黄晓玲，董东林等．GIS技术在预报煤层回采前方小构造中

的应用潜力．煤炭学报，1999（2）

- 15 武强，钱增江，董东林等．基于GIS的矿井水文地质信息系统开发与应用．煤炭科学技术．2001（11）
- 16 武强，钱增江，董东林等．奥灰水下急倾斜工作面水煤体溃泄灾害的形成机理与防治对策——以开滦赵各庄矿0335工作面为例．煤炭学报，2000（4）
- 17 武强，董东林，石占华等．可视化地下水模拟评价新型软件系统与矿井防治水．煤炭科学技术，2000（2）
- 18 武强，江中云，孙东云等．开滦东欢坨矿顶板涌（突）水条件与工作面水量动态预测．煤田地质与勘探，2000（6）
- 19 武强，董东林，钱增江等．华北型煤矿立体充水地质结构理论与防治水对策．水文地质工程地质，2000（2）
- 20 Dong Donglin，Wu Qiang，Sun Guimin et al．Research on a water-filling pattern and countermeasures-A case study of Xiaotun coal mine．中国矿业大学学报（英文版），2000（1）
- 21 Wu Qiang，Dong Donglin，Li Shuwen et al．Decision-making system for mine water inflow control and treatment in the North China coal bearing basin．Proceedings of '99 International Symposium on Mining Science and Technology．A.A.BALKEMA/ROTTERDAM/BROOKFIELD/1999