

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 jianchajiao renshi peixunsi zuzhi bianxie

B 类

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

guojia meikuang anquan jianchajiao renshi peixunsi zuzhi bianxie

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

中国矿业大学出版社

全国煤矿安全培训统编教材

# 矿井水灾防治

(B类)

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

编写 张光德 李栋臣

胡斌 李强

审定 武强

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书重点介绍了我国煤矿水灾概况、矿井充水条件、矿井突水及预测、矿井防治水技术等内容。

本书是煤矿采煤、掘进、通风班(组)长、安全检查员、爆破工、瓦斯检查员、采煤机司机、采煤工、掘进工、通防工等安全上岗培训的统编教材,同时也可作为煤炭职业技术学校进行相关人员培训的教材或参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

矿井水灾防治/张光德,李栋臣,胡斌等编. —徐州:中国矿业大学出版社,2002.7

全国煤矿安全培训统编教材

ISBN 7-81070-529-6

I. 矿... II. ①张...②李...③胡... III. ①煤矿—矿山水灾—预防技术培训—教材②煤矿—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040557号

书 名 矿井水灾防治

编 写 张光德 李栋臣 胡斌 李晖

责任编辑 李朝雯 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 3.5 字数 85 千字

版次印次 2002年7月第1版 2002年7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。

本书由张光德、李栋臣、胡斌、李晷编写，由武强审定。

**国家煤矿安全监察局人事培训司**

2002 年 2 月

## 目 录

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| <b>第一章 我国煤矿水灾概况</b> ..... | ( 1 ) |
| 第一节 我国煤矿水灾现状 .....        | ( 1 ) |
| 第二节 矿井水灾分区 .....          | ( 2 ) |
| 第三节 矿井水害类型 .....          | ( 4 ) |
| 复习思考题 .....               | (16)  |
| <b>第二章 矿井充水条件</b> .....   | (17)  |
| 第一节 矿井充水水源 .....          | (17)  |
| 第二节 矿井涌水通道 .....          | (28)  |
| 第三节 矿井充水强度 .....          | (36)  |
| 第四节 矿井水文地质类型的划分 .....     | (40)  |
| 复习思考题 .....               | (42)  |
| <b>第三章 矿井突水及预测</b> .....  | (43)  |
| 第一节 矿井突水 .....            | (43)  |
| 第二节 矿井突水预测 .....          | (50)  |
| 第三节 矿井突水量估算 .....         | (57)  |
| 复习思考题 .....               | (59)  |
| <b>第四章 矿井防治水技术</b> .....  | (60)  |
| 第一节 矿井防水技术 .....          | (60)  |
| 第二节 矿井探放水技术 .....         | (69)  |
| 第三节 疏放降压技术 .....          | (81)  |
| 第四节 矿井注浆堵水技术 .....        | (86)  |
| 第五节 底板含水层注浆改造技术 .....     | (94)  |
| 复习思考题 .....               | (99)  |
| <b>参考文献</b> .....         | (101) |

## 第一章 我国煤矿水灾概况

### 第一节 我国煤矿水灾现状

凡影响生产、威胁采掘工作面或矿井安全的、增加吨煤成本使矿井局部或全部被淹没的矿井水,都称为矿井水害。我国不仅是世界主要产煤国,而且也是受水害危害最严重的国家之一。据解放后的资料统计,1955年~1985年,全国统配煤矿共发生突水769次(其中老窑水198次),淹井事故218起,且有逐年增长的趋势。20世纪80年代与20世纪50年代相比,突水频率增长257%,淹井事故增长96%;突水水量方面,1956年~1960年,突水涌水量 $520\text{ m}^3/\text{min}$ ,个别达到 $50\text{ m}^3/\text{min}$ ;20世纪60年代,突水涌水量上升了 $20\text{ m}^3/\text{min}\sim 40\text{ m}^3/\text{min}$ ,个别达到 $140\text{ m}^3/\text{min}$ ;20世纪70年代后,一般突水涌水量都在 $50\text{ m}^3/\text{min}$ 以上。20世纪80年代,开滦范各庄矿的突水淹井事故中最大涌水量高达 $2\,053\text{ m}^3/\text{min}$ ,为世界采矿史上有记载的突水水量之最。

在突水形式方面,由于断层引起的采掘工作面的突水占突水总数的80%以上。也就是说,煤矿开采的突水事故主要是由构造原因引起的,而且滞后型突水多于突发型突水,工作面回采突水多于巷道掘进突水。

煤矿突水事故所造成的经济损失也是巨大的。如我国焦作矿区,突水量在 $60\text{ m}^3/\text{min}$ 以上的重大事故就有9次之多,全矿区总排水量为 $540\text{ m}^3/\text{min}$ ,含水系数为 $63\text{ m}^3/\text{t}$ ,吨煤排水成本为5元,占原煤成本20%,年排水费高达2 000万元~2 500万元,这是该矿区长期处于亏损的原因之一。开滦范庄矿1984年特大

突水事故造成经济损失近 5 亿元, 损失煤炭产量近 8.5 Mt。据统计, 目前受水害威胁的矿井 222 处, 核定生产能力占统配煤矿矿井总数的 48% 以上。其中受水患威胁比较严重的矿井有 171 处, 煤炭储量有 6 660 Mt, 占统配煤矿总储量的 18%, 有 51 对矿井随时都有突水的可能。这种局面严重阻碍着煤炭生产和发展, 影响矿井的生产接续。华北的一些主要矿区, 如焦作、峰峰、邯郸、邢台、井陘、淄博、肥城、韩城等矿区受水威胁的储量占矿井总储量的 45% 以上。因此, 不迅速解决水害问题, 将会出现煤炭产量下降趋势。此外, 目前不少矿井已进入深部开采, 有些矿井下组煤开采标高已达到  $-600\text{ m}$ , 最深的已超过  $1\,000\text{ m}$ 。煤层底板承受岩溶承压水的水压已达  $2.0\text{ MPa}\sim 6.5\text{ MPa}$ , 而下组煤层与其下伏的灰岩岩溶含水层之间的隔水层厚度一般只有  $10\text{ m}\sim 20\text{ m}$ , 最大可达  $50\text{ m}\sim 60\text{ m}$ , 突水的机率增大, 淹井事故也逐年上升。由此可见, 煤矿水害已成为影响煤炭安全生产的重大问题之一, 对其进行防治具有现实意义和长远意义。

## 第二节 矿井水灾分区

根据我国聚煤区的不同水文地质特征, 并考虑到矿井水对生产的危害程度, 可将我国煤矿划分为 6 个矿井水害区, 如图 1-1 所示。

### 一、华北石炭二叠系岩溶、裂隙水害区

该区位于阴山构造带以南, 昆仑—秦岭构造带东段以北, 贺兰构造带以东地区, 属亚湿润、亚干旱气候区。该区矿井出水、突水较频繁, 涌水量大或特大, 常影响生产或淹井, 排水费用负担巨大, 采煤和矿井安全都受到严重威胁。区内中深部下组煤受底部强含水层威胁, 有几百亿吨煤不能开采。

### 二、华南晚二叠统岩溶水害区

该区位于昆仑—秦岭构造带东段以南, 川滇构造带以东地区,



图 1—1 中国煤矿水害分区示意图

属湿润气候区, 年降水量为 1 200 mm~2 000 mm。该区矿井出水、突水频繁, 经常影响生产或淹井; 突水量大 (2 700 m<sup>3</sup>/h~27 000 m<sup>3</sup>/h), 矿井正常涌水量也大 (3 000 m<sup>3</sup>/h~8 000 m<sup>3</sup>/h), 负担巨额排水电费 (400 万元/年~1 500 万元/年)。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。

### 三、东北侏罗系裂隙水水害区

该区位于阴山构造带以北地区,属湿润—亚湿润气候区,年降水量为400 mm~800 mm。该区矿井水一般不影响生产,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。

#### 四、西北侏罗系裂隙水水害区

该区位于昆仑—秦岭构造带西段以北，贺兰构造带以西地

区,属于旱气候区,局部为亚干旱区,年降水量为 25 mm~100 mm。本区严重缺水,存在供水问题,仅少部分地区有地表水和老窑水构成的煤矿水害。

### 五、西藏—滇西中生代裂隙水水害区和台湾第三系裂隙、孔隙水水害区

该区中新生代煤田储量仅占全国储量 0.1%,水文地质条件比较简单,水害也不严重。

由上可见,我国矿井水害主要分布在华北和华南两个区,矿井水文地质条件极为复杂,水害十分严重。另外,第四系水、地表水所造成的水害,不同程度地存在于各大类型区内。其中黄淮平原煤田(属华北水害类型区)第四系水造成水害较为严重,在煤田开采过程中,流砂溃入并淹没矿井事故很多。例如,1963 年 7 月徐州新河煤矿 502 工作面突然溃入冲积层水、流砂和黄泥,淤塞巷道 1 200 m,停产 58 d。

## 第三节 矿井水害类型

造成矿井水害的水源有大气降水、地表水、地下水和老窑水。地下水按储水空隙特征又分为孔隙水、裂隙水和岩溶水等。现按水源特征,可把我国矿井水害分为若干类型。因为,多数矿井水害往往是由 2~3 种水源造成的,单一充水水源的矿井水害很少,故矿井水害类型是按某一种水源或以某一种水源为主命名的,一般分为地表水、老窑水、孔隙水、裂隙水和岩溶水五大类水害。其中岩溶水害又按含水层的厚度细分为薄层灰岩水害和厚层灰岩水害两类。

### 一、地表水水害

水源是大气降水、地表水体(江河、湖泊、水库、坑塘、泥石流)。水源通过井口、采后冒裂带、岩溶塌陷坑、断层带及封闭不良、钻孔充水或导水进入矿井。发生此类水害的实例有:因特大暴雨、山洪、泥石流冲毁工业广场,洪水从井口直接溃入井

下的贵州山脚树矿；因工作面超限回采，破坏冲积层下防隔水煤柱，导致冲积层水和地表水溃入采煤工作面的江苏青山泉矿等。

#### 案例一：

##### （一）水害发生经过

某矿开采缓倾斜的石炭纪下部薄煤层，煤层埋藏较浅，露头区老井密布且有小窑开采浅部煤层。井田内地表水体有东大沟流过，河床及两岸正是采空区及小窑分布地。

某年7月13日至8月13日是矿区降雨高峰期，15 d内降水量为372.6 mm，8月13日的降水量达111.8 mm，造成东大沟洪水位上升，淹没了该沟西岸的南、北炮台两对小煤窑。由于小煤窑与大井相邻、相通，水由七层煤一号上山的二段小上山泄入该矿井，涌水量最大达 $614 \text{ m}^3/\text{h}$ 。涌水首先灌入+18水平北大巷的下山采空区，然后水位逐渐上升到+18水平后，开始沿着七层至十层煤石门流入井底水仓。当时井底仅有 $150 \text{ m}^3/\text{h}$ 的排水能力，来水后，由于及时组织力量抢装排水设备进行排水，控制水势，稳定了水位，虽然避免了全井被淹没的事故，但造成18采区被淹，全井停产100多天（图1—2）。

##### （二）经验教训

（1）对排水能力小的矿井，水害事故发生后，应立即组织力量抢装排水设备，尽量增大矿井排水能力，避免全井被淹。

（2）在矿井开拓生产过程中，须对与矿井相邻的古井及正在生产的小煤窑的位置、开采情况进行详细调查，并标记在矿井采掘工程平面图中；并按《煤矿安全规程》的有关规定，留足防水煤柱和边界隔离煤柱。对已与小窑、老窑相透的地点，及时构筑防水墙进行隔离。

（3）对大矿安全构成威胁，特别是洪水位以下的生产小窑应停采封闭，防止洪水灌入井下。

（4）受水害威胁的矿井，必须按规程有关规定，建立防排水设施。

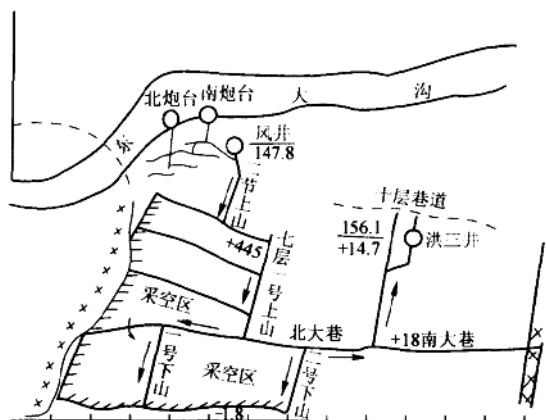


图 1—2 某矿三井淹井事故示意图

## 二、老窑水水害

水源是老窑、小窑、废巷及采空区积水。当巷道接近或遇到老窑积水区时，往往在短时间内涌出大量老窑水，来势凶猛，具有很大的破坏性，常造成恶性事故。如山西陵川县关山岭煤矿、江苏徐州权台矿、山东枣庄矿等，都发生过老窑水水害。

### 案例二：

#### (一) 水害发生经过

某矿二号斜井（采区风井），自浅部沿十四层煤向下由建井工区掘进。在与下部采区上山未透情况下，在西翼开拓 1009 平巷，地质人员已查明该区有老窑，确定东西 1009 掘进工作面必须探水前进，超前距为 15 m。9 月 5 日探水组长到 1009 掘进工作面检查，发现已到探水位置，即向工区技术员提出停掘探水，但未被采纳，继续掘进。事故前 2 d 有见湿征兆，仍未引起工区领导重视。9 日早班，放炮员发现炮眼里有水（当时是干打眼），但是仍装药放炮。第一次放 2 个掏槽眼，8 时 10 分第二次放帮眼炮后发生突水。地点是距上次探水孔终点 18 m，2 h 内涌出老

窑采空区积水约 3 700 t, 1009 平巷以下巷道全部被淹, 同时喷出大量有害气体 ( $H_2S$ ), 致使井下工作人员 45 人遇难 (见图 1—3)。

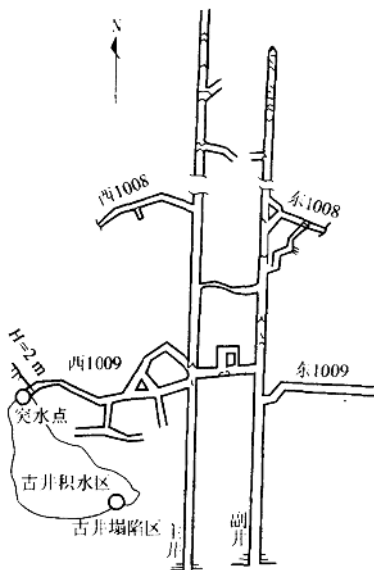


图 1—3 某矿二号斜井透老窑水示意图

## (二) 事故发生原因

该事故是由管理混乱, 没有严格的探放水制度, 违章指挥, 违章作业所造成的责任事故。

此次在回风斜井向下掘进, 尚未与下部采区上山沟通前就施工采区平巷, 使大量人员在水害威胁的区域内作业。

生产管理混乱。明知该区有老窑, 且已到探水位置, 提出停掘探水后, 仍未被采纳, 继续掘进, 造成透水。

工人技术素质差, 缺少安全知识。在接近突水点且有明显突水预兆情况下, 仍未引起注意, 应加强职工安全知识培训。

没有严格执行《煤矿安全规程》“有疑必探，先探后掘”的规定。本次透水点距上次探水钻孔终点为 18 m，有严重超掘现象，探水后允许掘进的方位和距离必须建立严格的检查制度，防止超掘或偏离探水孔控制的范围。

### 三、孔隙水水害

水源是第三系、第四系松散层中的孔隙水。当煤层被第四纪松散含水的流砂层、砂层、砂砾层、卵石层、黏土砂层所覆盖，在开采第一水平时，煤岩柱留得不够，往往是冒落带直接进入松散层，或是松散层底部存在富水含水层，开采前水文地质情况不清，没有按含水层下回采条件留设煤柱，回采后水、砂或泥溃入井下；超限出煤，破坏煤岩柱或在煤岩柱中开拓巷道、硐室，破坏了隔水煤岩柱的完整性，年久渗水，冒顶坍塌，使冲积层水或流砂、流泥溃入井下，淤塞巷道甚至造成淹井。发生此类水害的典型矿井有吉林舒兰煤矿、淮南孔集矿、徐州新河煤矿。

#### 案例三：

##### （一）自然情况

某矿 704 工作面位于东翼急倾斜二采区，用小阶段爆破法回采山西组 7 层煤，煤厚 1.8 m，倾角  $78^{\circ}$ ，是东翼一水平（-160 m）的第一个工作面。地面标高为 +36.2 m，冲积层厚度 57.59 m，其中底部砾石含水层厚 18.59 m，中部黏土层厚 14.06 m，上部为黄泛沉积的亚砂土、亚黏土之类的流砂层。煤层隐伏露头 -21.39 m，实际开采上限 -53 m（设计 -60 m），煤层直接顶板为厚 2.8 m 的黑色页岩，其上为 2.3 m 厚的中粒砂岩，直接底板为 5 m 厚的深灰页岩，采后易于冒落。工作面内地质构造简单，仅有一条宽 19 m~40 m 的倾向变薄带。

##### （二）水害发生经过

704 工作面自某年 8 月 17 日开始开采以来，共透水 4 次。8 月 19 日工作面刚推过 10 m，透水一次，涌水量为  $0.8 \text{ m}^3/\text{min}$ ，系清水，10 d 后水量减小。9 月 10 日当工作面推进到 56 m 处，第二次透水，最大涌水量为  $1.7 \text{ m}^3/\text{min}$ ，系清水，10 d 后涌水

量下降  $0.33 \text{ m}^3/\text{min}$ ，此时研究将开采上限由  $-60 \text{ m}$  降到  $-70 \text{ m}$ 。9月18日当工作面推到  $220 \text{ m}$  处，第三次透水，最大涌水量为  $0.72 \text{ m}^3/\text{min}$ ，当时认为是  $-60 \text{ m}$  顶板砂岩放水孔堵孔而出水的。9月28日3时，在工作面推进到  $290 \text{ m}$  处发生冲积层大突水，最大涌水量为  $7.56 \text{ m}^3/\text{min}$ ，水夹砂礓、砾石、碎矸、煤块等杂物，迅猛下泻，由于一平巷（ $-80 \text{ m}$ ）通往二平巷（ $-120 \text{ m}$ ）的人行眼、溜煤眼被堵后，水又从  $-60 \text{ m}$  材料道经伪下山直奔  $-160 \text{ m}$  大巷与水仓。9 h 后，地面塌了一个直径  $15 \text{ m}$ ，深  $1 \text{ m}$  的陷坑。经采取紧急抢险措施，在  $-60 \text{ m}$  处打了三道草包墙控制了灾情发展，淤积物共达  $1\,600 \text{ m}^3$ 。随后在10月4日至9日，又分别在  $-60 \text{ m}$  三大墙以内，一平巷、二平巷变薄带内各打水闸墙一座，因水闸墙质量差，又进行加固，从此涌水量稳定在  $2.67 \text{ m}^3/\text{min}$  上下。整个东翼采区被迫封闭停产（见图1—4）。

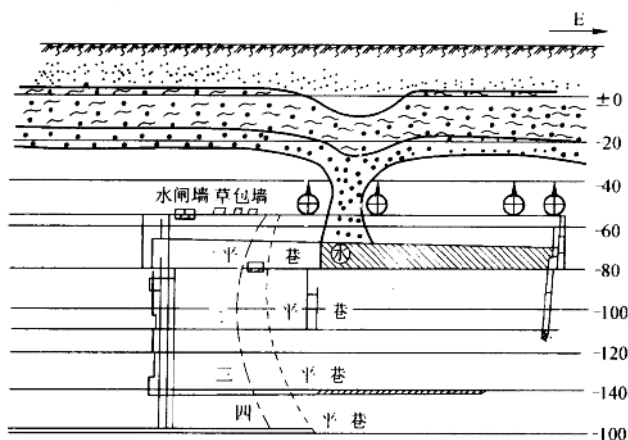


图1—4 某矿704冲积层突水事故示意图

### (三) 事故教训

(1) 事故发生前两天, 在靠近迎头 4 个小眼 20 m 宽范围内, 集中向上方煤柱采煤, 超限出煤 1 017 t, 相当于向上采掉 22 m, 标高已经达到 -31 m, 基本上接近冲积层底部标高, 表明现场管理松弛, 没有制止超限出煤, 以保持冲积层下防水煤柱的完整性。

(2) 对急倾斜煤层隐伏露头上方的冲积层, 事前没有查明其岩性结构、含水层分布及富水程度, 未能根据实际情况留好防水煤柱。

(3) 在厚冲积层覆盖条件下, 开采急倾斜煤层, 没有认真选用有利于开采后缓慢下沉的采煤方法。

#### 四、裂隙水水害

水源为砂岩、砾岩等裂隙含水层的水。这种水害发生在开采北方二叠纪山西组煤层和侏罗纪煤层以及开采南方侏罗纪的煤层中。这些煤层顶部常有厚层砂岩和砾岩, 其中裂隙发育, 如与上覆第四纪冲积层和下伏奥陶系含水层有水力联系时, 可导致大突水事故以及建井时期发生淹井事故。若砂岩层缺乏补给水源时, 则涌水很快变小甚至疏干。发生过此类水害矿井有徐州大黄山煤矿、韩桥煤矿等。

##### 案例四:

##### (一) 自然情况

某矿位于徐 I~徐 II 断层之间, 上有近百米厚的冲积层覆盖。冲积层底部为卵石层, 含水丰富, 是矿井涌水的主要补给源。该区断裂构造异常发育, 岩层的充水性及导水性极好。4129 副巷 (-340 m 水平) 穿进徐 I 断层后, 由 5 煤层上部岩层向煤系顶部 A 层矾土掘进 (见图 1—5)。施工前一直有钻孔超前探水。某年 6 月施工 A 孔, 钻孔方向为  $S42^{\circ}E$ , 倾角  $+5^{\circ}$ , 孔径 89 mm~73 mm, 孔深 94.5 m, 终孔层位岩性为灰色砂岩裂隙发育, 质软破碎, 施工中因水压大曾发生射击钻杆现象, 因钻机能力有限, A 孔未能揭露 A 层矾土底部粗砂岩含水层即终孔 (大约相差 5 m), 测得终孔涌水量为  $96\text{ m}^3/\text{h}$ 。