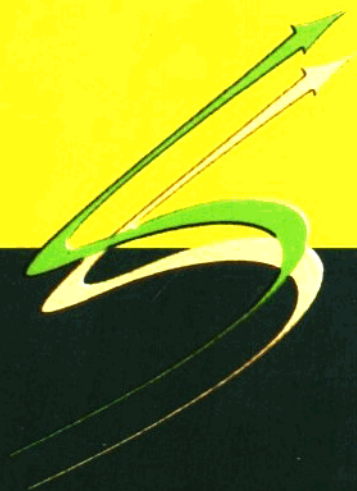


煤炭科学研究总院西安分院资助出版

矿山水害防治 理论与方法

虎维岳 著



煤炭工业出版社

内 容 提 要

分析我国煤矿床、金属与非金属类矿床矿山水害类型及其分布,以及地下工程施工中常见的水害类型;分析矿山水害产生的条件及主要影响因素、影响采矿空间围岩变形破坏的主要因素,以及围岩变形破坏的机理与变形破坏规律;论述矿井涌水量预测理论与方法、矿井疏干水量的解析水动力学计算理论与方法、矿井水文条件的数值模拟方法;介绍疏水降压防治矿井水害技术、截流注浆防治矿井水害技术、矿井水文地质条件勘探与水害预警技术;阐述了我国煤矿目前面临的水害问题及对防治水技术发展的要求。

本书可作为从事矿山开采、地下工程施工、矿山水文地质勘探的工程技术人员、管理人员、科研人员,以及相关专业大学生、研究生、教师的参考书。

前 言

煤矿水害是与瓦斯、火灾、粉尘、动力地质灾害并列的矿山建设与生产过程中的五大安全灾害之一。长期以来,因为煤矿水害而给国家和人民带来的经济损失和人身伤亡极为惨重。特别是近年来,随着煤炭工业的迅速发展,煤炭资源开发生产的深度在不断加大,采煤工作面的空间尺度在不断增加,矿井采掘速度和采掘机械化程度明显提高,这种高产高效的生产管理方式对防治水害安全技术的要求也越来越高。随着煤矿开采方式,开采深度和工作面开采空间尺度的变化,水害产生的条件、威胁程度,以及水害形成的机理都在发生着很大的变化。探索、应用和推广适应新的矿井采掘条件下的水害防治技术与方法,对于体现以人为本理念、实现安全高效生产具有重要意义。

本书是作者多年来从事国内外矿井水害防治工作经验的总结,以期与同行交流与共勉,也希望在我国矿山水害防治技术的进步与推广方面起到积极的推动作用。全书共分十章,其中第一章论述和分析了我国矿山水害的基本类型与分布;第二章主要从矿井充水水源、矿井充水途径及矿井充水水量等方面论述和分析了矿山水害产生的条件及主要影响因素;第三章从矿山采掘对围岩的破坏与扰动作用出发,分析了矿井生产与矿井水害之间的相互关系;第四章从矿井涌水量的基本概念出发,论述了矿井涌水量预测的基本理论与方法;第五章以地下水动力学理论为基础,论述了矿井疏降水量预测的水动力学解析计算理论与方法;第六章从数值模拟方法的基本概念、应用条件、常用的数值模拟方法及其应用出发,论述了矿井水文地质条件的数值模拟方法;第七章从疏水降压防治矿井水害的基本概念、适用条件、矿井疏水工程的优化设计等方面论述了疏水降压防治矿井水害的基本技术和方法;第八章从截流注浆防治矿井水害的基本概念、应用条件、常用的注浆方法与工艺等方面,论述了截流注浆防治矿井水害的基本技术与方法;第九章从矿井水文地质条件勘探的基本类型、不同阶段勘探的主要内容与要求、勘探工作的基本原则及常用的勘探技术方法等方面,论述了矿井水文地质条件勘探及水害

预测预警技术方法；第十章通过对近年来我国煤矿水害事故特点的分析，提出了我国煤矿目前面临的水害问题及对防治水技术发展的要求。

在本书写作过程中得到了多位专家、学者的指教，西安科技大学闫兰英高级工程师参与了本书图件的制作和部分内容的写作，作者在写作过程中参考了大量同行的学术与工作成果，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中若有错误和不当之处，敬请读者批评指正。

虎雍岳

2005年6月

目 录

1 矿山水害类型及其分布·····	1
1.1 我国煤矿床水害类型及其分布·····	1
1.2 金属、非金属类矿床水害类型及其分布·····	6
1.3 地下工程施工常见的水害类型·····	6
2 矿山水害产生的条件及主要影响因素·····	8
2.1 矿井充水水源·····	8
2.2 矿井充水途径·····	16
3 矿井水害与矿井生产和建设·····	30
3.1 影响采矿空间围岩变形破坏的主要因素·····	30
3.2 围岩变形破坏机理与变形破坏规律·····	32
4 矿井涌水量预测理论与方法·····	40
4.1 矿井涌水量的基本概念·····	40
4.2 矿井涌水量预测的基本理论·····	41
4.3 矿井涌水量预测的基本方法·····	53
5 矿井疏干水量的解析水动力学计算理论与方法·····	79
5.1 用钻孔、巷道疏降水模型预测矿井涌水量·····	79
5.2 线性解析法模拟预测矿井涌水量模型·····	79
5.3 无界含水层中单个井疏水的迭代-水动力学计算方法·····	83
5.4 有界含水层中单个井流的迭代-水动力学计算方法·····	86
5.5 定流量多井干扰条件下疏水降压计算方法·····	90
5.6 非线性地下水井流模拟模型·····	92
5.7 矿井涌水量预测中解析法的局限性·····	97
6 矿井水文地质条件的数值模拟方法·····	98
6.1 数值模拟方法的基本概念·····	98
6.2 数值模拟方法的应用条件·····	102

6.3	常见的数值模拟方法	102
6.4	常见的描述地下水运动规律的微分方程	103
6.5	有限单元法	105
6.6	应用实例	110
7	疏水降压防治矿井水害技术	111
7.1	疏水降压防治矿井水害的基本概念	111
7.2	疏水降压防治矿井水害技术的适用条件	111
7.3	疏水降压工程设计与实施应具备的基础条件	112
7.4	常见的疏干降压方式和工程技术要求	114
7.5	矿井疏水工程的优化设计	121
7.6	含水层边界附近疏水工程的布置技术	125
7.7	疏水降压防治矿井水害技术应用实例	129
8	截流注浆防治矿井水害技术	149
8.1	截流注浆防治矿井水害的基本概念	149
8.2	截流注浆防治矿井水害的应用领域	150
8.3	截流注浆方法应具备的基本条件	156
8.4	截流注浆方法的实施步骤	157
8.5	常用的注浆方法与工艺	160
8.6	常用的注浆材料	163
8.7	典型工程实例	163
9	矿井水文地质条件勘探与水害预警技术	169
9.1	矿井水文地质条件勘探的基本类型	169
9.2	矿井水文地质条件勘探复杂程度类型划分	170
9.3	矿井水文地质勘探的主要内容与要求	170
9.4	矿井水文地质勘探工作的基本原则	173
9.5	矿井水文地质勘探技术与方法	173
10	我国煤矿目前面临的水害问题及对防治水技术发展的要求	191
10.1	新时期我国煤矿水害事故的基本特点	191
10.2	煤矿水害事故频繁发生的根本原因	194
10.3	新形势下矿井生产对水害安全保障技术的基本要求	195
10.4	煤矿水害防治技术发展所面临的基本问题	195

1 矿山水害类型及其分布

由于我国地大物博,不同地域的气候与地质条件千差万别,矿床的赋存特征与埋藏条件亦是千差万别,因而形成了不同地域不同类型的矿床水文地质条件和矿山水害类型。

1.1 我国煤矿床水害类型及其分布

1.1.1 喀斯特充水煤矿床

我国作为世界上第一采煤大国,煤炭资源十分丰富且地域分布辽阔,煤矿床水文地质条件复杂,是世界上矿山水害最严重的国家之一。而我国煤矿水害又以喀斯特型矿山水害为最主要类型,这主要是因为北方广泛分布的石炭二叠纪煤田以太原群和奥陶系石灰岩作为直接或间接底板,南方大部分乐平煤系也以灰岩水为主要充水水源的特点所决定的。但是从矿床水文地质角度来分析,不管是北方煤田还是南方煤田,严重威胁矿井安全的矿井充水水源主要是喀斯特类型的含水层。由于矿床所处地域的差别、气象的差别和地质条件的差别,其矿床水文地质条件和矿山水害类型也具有明显的地域性和典型性特征。

气候条件特别是年大气降水量与降水分布特征对我国喀斯特型充水煤矿床的水文地质条件和矿山水害类型具有重要影响。以年降水量 250 mm,干燥度为 4 作为标准,可把我国喀斯特充水煤矿床分为两大区,即干旱区和非干旱区。在干旱地区,由于气候干燥、降水量小、喀斯特发育程度差,地下水补给和水交替能力差,矿井涌水量小且年季节性变幅值小,这类地区的喀斯特水一般对矿井不构成严重威胁;相反,有限的喀斯特水资源是矿区供水的主要水源,排供结合成为矿区水文地质工作的主导技术思路。这类矿床主要分布于我国的新疆、青海、甘肃西部,以及宁夏和内蒙古的西部地区,如图 1-1 所示的 I 区。

在非干旱地区,大气降水一般为 250~2 500 mm,其中以 400~1 000 mm 降水区分布面积为最大。在非干旱地区除年降水量较大以外,降水分布具有明显的季节性,有些地区常伴随有暴雨出现。非干旱地区依降水量、降水特点、矿床充水条件可进一步细分为北方区,南方区和西南区,如图 1-1 所示的 II 区、III 区和 IV 区。

北方区主要位于辽、冀、鲁、晋、豫、陕六省,甘、宁、吉三省的南部,苏、皖两省北部以及其他一些地区。北方区气候多属中温带或暖温带亚湿润、亚干旱地区,年平均降水量多为 400~800 mm,干燥度多为 1~2。在大地构造上,该区属中朝准地台,地形上为西高东低。西部为黄土高原,东部为太行山、燕山、东北平原、华北平原、辽东丘陵地、山东低山丘陵区及长白山地区。区内主要可采煤层为石炭二叠系煤层,主要充水含水层为煤系下伏的太原群多层状产出的薄层灰岩复合含水层组(多个薄层灰岩之间存在着某

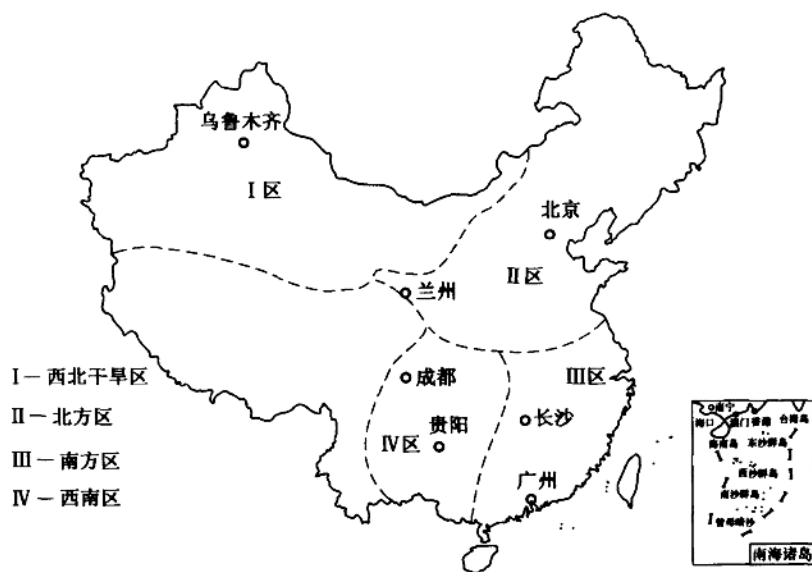


图 1-1 我国喀斯特矿床水害类型分区示意图

种形式的水力联系)和奥陶系巨厚层灰岩含水层;地表多覆盖有厚度不等的第四系松散沉积潜水含水层,大气降水可直接通过灰岩含水层的裸露区或通过第四系含水层覆盖的隐伏露头区补给灰岩含水层。该区煤矿床与含水层之间的空间结构关系如图 1-2 所示。由图可见,中奥陶统石灰岩含水层往往处于高承压状态,并经常通过构造裂隙,断层或陷落柱与上部的太原群薄层灰岩含水层组产生水力联系,并通过煤层底板导水构造(裂隙、断层、陷落柱)导入矿坑,或者高压水直接破坏受采矿扰动的底板隔水岩层形成底板突水,因此,在这一地区奥陶系石灰岩是对矿床开采影响最大的含水层。

中奥陶统石灰岩属多层含水层,在河北邯邢地区灰岩发育最全,可分为三组八段。其中,一、三、六段为砾状灰岩,为弱含水层或相对隔水层;二、四、五、七段为纯灰岩,喀斯特发育,含水丰富,是主要含水层段。太原西山地区的中奥陶统可分为三组九段,山东莱芜地区的中奥陶统可分为三组六段。

在北方区,由于受相对干旱气候的影响,受相对宽缓的地质构造和相对平稳的地台式构造运动影响,其喀斯特发育特征不同于西南区和南方区。在北方区,虽在地表奥陶系灰岩的裸露区可见到不少的古老溶洞,但很少有南方的喀斯特形态(如溶斗、落水洞、峰林等);在地下,则主要以小于 0.5 m 的溶蚀裂隙、小溶洞为主。在太行山西坡(潞安矿区、霍县矿区等)和太行山东麓的煤田中广泛发育有陷落柱,但与南方喀斯特形态相比,小溶洞和洞蚀裂隙仍为该区的主要喀斯特形态。

北方区奥陶系灰岩的喀斯特发育程度随深度具有明显的垂直分带性。从邯邢地区揭露

的地质资料分析中可知,该区喀斯特发育规律大致可分为浅部充填区(厚度一般为20~70 m),中部喀斯特强发育带(厚度一般为120~270 m)和下部喀斯特弱发育带(厚度约80~150 m)。通过对山东肥城煤田奥陶系石灰岩的研究表明,该区奥陶系灰岩的富水性在垂向上也具有明显的分带性,其浅部为充填带(厚度为32 m左右),中部为强富水带(厚度为140~250 m),下部为弱含水带(厚度约为165 m)。

根据前述的北方区煤田地质与水文地质条件,加之大量的矿井突水资料表明,这一地区煤矿床充水的典型特点是高压水作用下的煤层巷道或工作面底板突发性突水。突水的主要水源为奥陶系灰岩喀斯特水和太原群多个薄层灰岩组成的复合含水层组,产生矿井突水的主要通道为导水断层(巷道或工作面直接揭露或临近扰动断层)、导水陷落柱(巷道或工作面直接揭露或临近扰动陷落柱)、导水断裂发育带及采矿扰动引起的矿山周期性来压与底板高压水作用下的煤层底板隔水层破裂型破坏。矿井突水水量往往较大且比较稳定(因奥陶系灰岩丰富的静储量和补给量)。矿井突水的特点一般是突发性强,破坏性大,造成人员生命和财产损失比较严重。

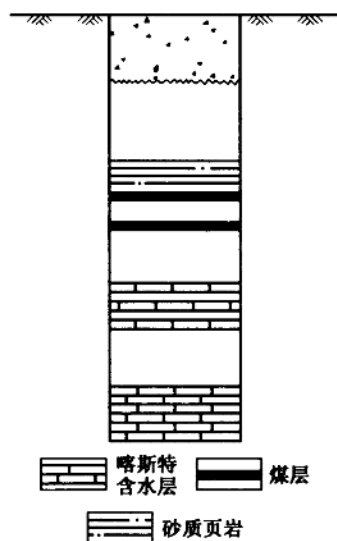


图1-2 华北区煤层与喀斯特含水层空间结构关系示意图

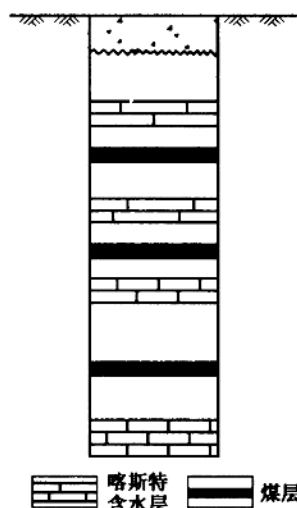


图1-3 南方区煤层与喀斯特含水层结构关系示意图

南方区主要位于粤、闽、赣、浙、台湾及苏、皖南部和鄂、湘、桂三省的东部地区。全区基本上以低山丘陵地形为主,海拔在1 000 m以下,属亚热带湿润气候区,年降水量一般在1 000~2 500 mm左右,在大地构造上属于华南地槽褶皱及扬子准地台的东北区。

南方区的矿床水害主要以灰岩充水为主,其喀斯特水的主要水文地质特征是:①泥盆纪融县灰岩,石炭纪黄龙灰岩、船山灰岩、壶天灰岩,二叠系茅口灰岩、长兴灰岩,三叠纪大冶灰岩为该区煤矿床主要充水水源含水层,而茅口灰岩是厚度最大,富水性最强的含水层;②含水层的喀斯特普遍比较发育,且喀斯特形态以溶洞为主;③第四系覆盖下的喀斯特含水层在矿区抽排水过程中经常引起大面积的地面塌陷,甚至造成地表水溃入矿井。④南方区煤矿床喀斯特水文地质条件不同于北方区的最大特点是,灰岩含水层与可采煤层在地质剖面上交互出现(北方区主要含水层位于主要可采煤层底板之下)。所以,丰富的灰岩水可通过主采煤层的顶板、底板等不同方向涌入矿井,给煤矿安全生产造成威胁。图1-3为南方区主要可采煤层与灰岩含水层结构关系示意图。

南方区由于褶皱、断裂和岩浆活动都很强烈,容易形成一些规模较小的褶皱、断裂盆地,地层中小断裂和裂隙比较发育,加之几个主要时代的可采煤层与几个主要含水层在垂向上交互出现,使得煤矿床水文地质条件十分复杂,矿井突水往往是通过构造断层、裂隙、喀斯特塌陷等导水构造把含水层中的水直接导入矿井并造成突发性突水事故。同时,由于南方区喀斯特现象以溶洞为主、溶隙为辅,溶洞大而发育、分布普遍,溶洞中经常有松散的粘土、砂砾石充填物。据对广东7个矿井统计,溶洞的充填率为48%~84%;对湖北4个矿统计,为44%~74%;对江西2个矿统计,为47%~77%。一般是浅部和大溶洞充填率高,深部和小溶洞充填率低^[1]。正是由于这种特殊的矿床水文地质条件,南方区煤矿床一般都采用疏排地下水。南方区在长期的地下水疏排过程中,很容易形成矿井溃水涌砂,在地面形成喀斯特塌陷。在南方区,几乎所有的第四系覆盖喀斯特充水矿床都发生过地面塌陷,塌陷洞往往使得地表水、大气降水、第四系水通过塌落洞溃入矿井,使矿井涌水量骤增,甚至引起淹没。

西南区主要位于黔、川、滇东、湘西及桂西地区。该区属于亚热带湿润气候,年降水量在1 000~2 000 mm,海拔标高较大,位于平原向高原过渡的斜坡地段。在西南区,对煤矿安全开采造成较大影响的是二叠系煤层顶板的长兴灰岩、阳新灰岩和煤系底板的茅口灰岩。由于该区处于强烈上升的地质构造带,河流沟谷切割较深,使得不少煤矿床位于当地最低侵蚀基准面以上,地形条件有利于矿井排水,使得矿井水文地质条件变得相对简单。但同时,由于该区地形的强烈上升,使得地形起伏较大,地下水水力梯度大,水循环和水交替速度较快,地下水侵蚀能力较强,往往在灰岩的裂隙发育带或断层带形成地下水优先溶蚀和集中径流,大面积形成喀斯特暗河管道。所以喀斯特暗河管道突水成为该区矿井喀斯特水突入的特有特点。由于暗河管道与大气降水及地表水系水力联系密切,暗河水流量受大气降水控制明显,雨季时水势凶猛,水量可比旱季增加几十倍到几百倍,所以暴雨后的暗河突水往往给矿井造成巨大灾难,暴雨期矿井突水有时伴有水、沙溃入。该类型充水矿床突水的最大特点是来水突然,水量大,雨后水量迅速衰减,矿井涌水的时间性和

(1) 岩溶矿区回访报告选编,地质出版社。

季节性极强,地下水流往往呈纹流状,达西渗流定律难以适应。

1.1.2 砂岩裂隙充水煤矿床

砂岩裂隙水在我国煤矿床中分布亦十分普遍,其主要分布于我国北方区、南方区和西南区。其充水含水层主要为煤系的直接或间接顶底板。砂岩裂隙水对矿井的充水性强弱主要取决于含水层的构造开启性程度和含水层的厚度。构造开启性好,纯砂岩厚度大的含水层对矿井的威胁更大一些;反之,对矿井的威胁则较小。由于在我国南方和北方的主要煤矿床沉积序列中,砂岩和泥岩往往交互出现,这大大限制了砂岩含水层中构造裂隙的延展性和不同砂岩含水层段之间的水力联系,使得砂岩裂隙含水层水相对于喀斯特充水矿床,其对矿井安全的威胁程度要弱得多。

砂岩裂隙含水层水害的主要特点是,断层、构造裂隙、采矿扰动裂隙或工作面顶板垮落带直接沟通含水层和矿井,从而导致砂岩水突入矿井。砂岩裂隙型突水不同于喀斯特型突水的突发性和溃入性,而往往呈现出小→大→小的突水过程,也就是说突水前期一般有先兆,突水后期水量会逐渐衰减,如图1-4所示。

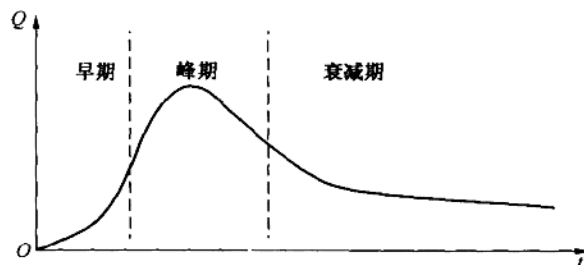


图1-4 砂岩裂隙型突水典型水量过程示意图

对砂岩裂隙水的防治技术主要是在水文地质条件勘探、水量预测的基础上,采用超前疏干排水的措施,其防治水害的重点是采空区首次垮落后的峰值突水。

1.1.3 第四系水及地表水充水煤矿床

第四系水及地表水充水型煤矿床是指煤层埋藏较浅,煤层开采后顶板垮落断裂带可直接引起浅部冲积层水与地表水涌入矿井的水害类型。该类型矿井水害主要分布于我国东北、内蒙古东北部、鄂尔多斯盆地及南方区与西南区的部分矿区。其中东北、内蒙古东北部及鄂尔多斯盆地地区,主要是因煤层埋藏较浅,矿床以露天或平硐开采形式为主,这样必然导致直接揭露或剥离冲积层含水层(如内蒙古平庄煤业集团的元宝山露天矿)或工作面顶板垮落后直接沟通第四系含水层水(如神东公司的几个矿井),从而导致第四纪水或地表水进入矿坑,给矿井带来水害威胁。而南方区和西南区的部分矿井主要是由于广泛发育的溶洞、落水洞、地面塌陷坑等导通第四系水,地表水或大气降水使其迅速进入矿坑的水害类型,该类型充水矿床在四川、广西及湖南最为常见。

1.2 金属、非金属类矿床水害类型及其分布

在西北区,大部分金属、非金属矿床形成和赋存于变质岩系或火成岩地层中。由于西北区气候干旱,年降水量少、蒸发量大、基岩裂隙水的补给量和静储量都十分有限,所以分布于甘肃、新疆、青海及陕西部分地区的金属,非金属类矿床基本不存在水害问题;相反,矿区供水水源短缺成为矿产资源开发的制约因素。

在北方区,广泛分布的山西式铁矿类似于该区石炭二叠系煤矿,严重受太原群薄层灰岩和奥陶系灰岩的水害威胁(如河北邯郸、山东莱芜等)。由于山西式铁矿距奥陶系灰岩的距离很近,矿区附近的断裂与岩体构造直接控制着奥陶系、石炭二叠系灰岩喀斯特水的补给、径流和排泄条件,断裂破碎带和发育于岩体周边的张开性裂隙往往将灰岩水直接导入矿坑,给该区砂卡岩型矿床的开发带来严重的水害威胁。

在南方区和西南区,大部分金属矿床属于火成岩体与寒武奥陶系石灰岩接触带的热液变质型矿床。由于矿体与灰岩含水层直接接触,使得该区金属矿床的水文地质条件十分复杂,矿井涌水量很大,喀斯特水一旦被揭露后直接溃入或通过地下暗河溶洞导入,成为矿井突水的一大特点,矿井涌水往往突发性强,水量大。例如,湖南水口山铅锌矿,于1968年,仅7天时间,地表水通过塌落洞涌入矿井 $150 \times 10^4 \text{ m}^3$,矿井涌水量达 $48\,384 \text{ m}^3/\text{d}$;广东凡口铅锌矿,日排水量达 $28\,000 \text{ m}^3$ 。

1.3 地下工程施工常见的水害类型

地下工程水害类型是指为了某种目的而实施地表以下某种建设工程时遇到的地下水害问题。实际上矿山水害应该属于地下工程水害类型的一种特例,但由于矿山建设的规模和其地下开挖的广度和深度都远大于人们习惯概念上的地下工程,所以本书将矿山水害专门另列章节进行重点叙述。本节所指的地下工程系指除矿山以外的其他人类地下活动。

1.3.1 隧道及地下硐室水害类型

隧道及地下储放硐室是最常见的地下工程活动,特别是一些大长隧道,由于其往往穿过不同类型的地层、构造,甚至直接穿过含水层,且这类工程一旦开始施工,其位置和延伸方向都无法改变,所以遇到涌水、溃沙、塌方等灾害事故是不可避免的。隧道及地下硐室施工中常见的水害类型有以下几种。

- (1) 切穿导水断层时,通过断层带直接将其上部或下部含水层水导入隧道造成突水。
- (2) 切穿赋水(含水)断裂破碎带时,破碎带中的地下水直接涌入隧道。
- (3) 切穿或通过不同类型的含水层时,造成含水层中的水直接涌入隧道。

隧道及地下硐室水害防治水技术措施,一般依水文地质条件和水害类型的不同而定。常采用的防治水技术有超前人工受控疏干,隧道自然疏放疏干或注浆封堵等。

1.3.2 深大基坑开挖地下水害类型

随着我国国民经济的迅速发展,大型高层建筑数量越来越多,规模越来越大,随之而

来的就是深大基坑问题。深基坑开挖一般都活动于第四纪松散沉积含水层中，所以该类工程在施工过程中遇到的水害一般都源于浅部第四系潜水含水层。其水害类型以基坑周壁渗水，基坑底部涌水为主，其带来的灾害除基坑积水影响工程施工外，还往往因地下水渗透压力，地下水渗流潜蚀作用等影响基坑边坡的稳定性。常用的防治水技术有超前疏干降水或构筑地下防渗连续墙等。

2 矿山水害产生的条件及主要影响因素

矿山水害是指矿山在建设开发过程中,不同形式、不同水源的水通过某种途径进入矿坑,并给矿山建设和生产带来不利影响和灾害的过程和结果。并不是所有的矿山都存在水害,矿山水害的形成和发生是建立在特定的环境和条件之上的。每当提及矿山水害问题时,必须涉及3方面的问题:

充水水源是否存在,如果存在,有何特征?

充水途径是否存在,如果存在,属何种类型?

充水强度如何,矿井一旦充水会带来怎样的后果?

上述3个方面问题的存在与否,决定了矿山水害产生的条件存在与否;对这3个问题的回答,是矿床水文地质条件勘探的中心任务。矿山水害的产生是上述3个条件有机组合的结果,矿山水害产生的3个条件的不同组合,会产生不同类型的矿山水害。在矿床水文地质工作中,只有将充水水源、充水途径和充水强度这3个因素结合起来进行系统研究和分析才有实际意义,也只有同时搞清楚了这3个矿井充水条件及其各自的性质之后,才能制定出切合实际的、行之有效的防治水技术方案和工程实施方案。

2.1 矿井充水水源

在我国不同地区,不同地质、水文地质、气候和地形条件下会形成不同类型的矿坑充水模式,具有不同类型的矿坑充水水源。但总体来看,矿坑充水水源主要包括大气降水、地表水、地下水和老空积水。地表水又可分为河水、湖水、海水。地下水可分为第四纪松散沉积层潜水、砂岩裂隙水、岩溶裂隙水等。不同的水源具有不同的特点和影响因素,不同的水源会给矿山带来不同的突水模式和灾害强度。

2.1.1 大气降水

从严格意义上讲,大气降水是一切矿坑充水的最终水源,因为无论是地表水或地下水都直接或间接地来自于大气降水的补给。但这里所指的,是大气降水本身成为矿坑充水的直接或惟一的充水水源。

2.1.1.1 充水水源条件

典型的以大气降水作为充水水源的条件如下。

(1) 地表存在相对低洼的汇水区域,矿床位于低洼地表之下且埋藏较浅,在地表和矿床体之间存在有断层、裂隙等导水介质。图2-1所示为该类型充水矿床典型示意图。

(2) 处于分水岭地区或地下水季节变动带,矿床埋藏深度较浅,矿床上覆岩层裂隙较

发育且有利于大气降水入渗。图 2-2 所示为该类充水矿床典型示意图。

(3) 地表具有相对低洼的汇水条件, 矿床位于洼地之下且埋藏较浅, 在矿体与地表之间存在有喀斯特塌陷洞或落水洞式导水通道, 大气降水可直接通过喀斯特塌陷洞导入矿坑。图 2-3 所示为喀斯特塌陷洞型大气降水充水矿床示意图。

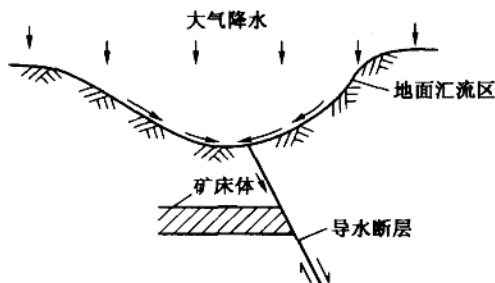


图 2-1 洼地汇水型大气降水
充水矿床示意图

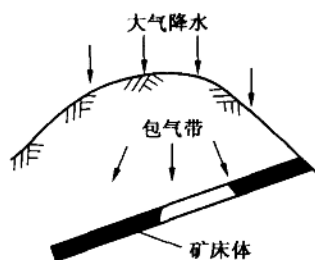


图 2-2 分水岭型大气降水
充水矿床示意图

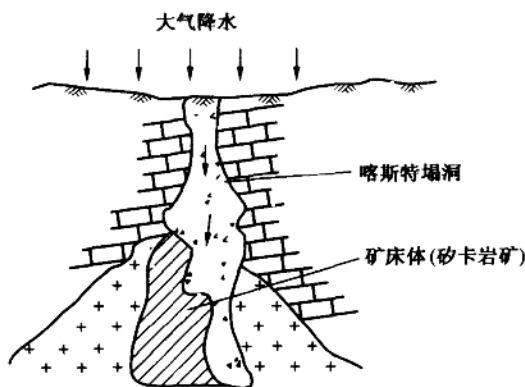


图 2-3 喀斯特塌陷洞型大气降水充水矿床示意图

2.1.1.2 涌水量及涌水特点

以大气降水作为主要充水水源的矿坑涌水量及其涌水特点与当地的年降水变化过程和降水强度具有明显的相关关系, 其主要涌水特点如下。

(1) 矿坑涌水的动态与当地降水动态相一致, 呈现出明显的季节性变化和多年周期性变化。这主要是因为我国大部分地区受季风气候的影响, 大气降水的年分布具有季节性, 多年变化具有周期性 (图 2-4)。

(2) 矿井涌水量一般呈现出骤起骤落的特点。也就是说, 一旦有强的降水过程出现,

矿井涌水量会迅速增加；当降水过程结束后，矿井涌水量会迅速衰减。如图 2-5 所示，大气降水和矿井涌水过程几乎同步发生，时间滞后非常弱。

(3) 矿井涌水的强度完全取决于大气降水的强度。一般情况下，大气降水的强度越大，则矿井涌水量越大；反之，矿井涌水量很小，甚至可以是零。

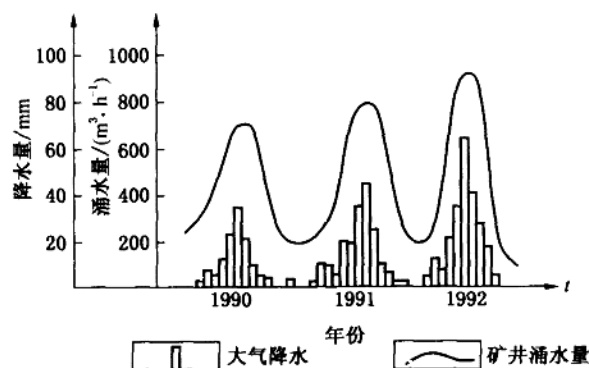


图 2-4 多年矿井涌水量与降水量变化关系示意图

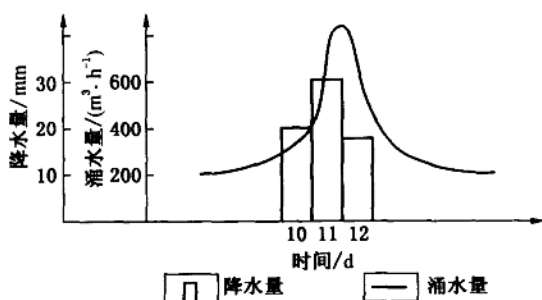


图 2-5 一次连续降水与矿井涌水量变化过程关系示意图

2.1.1.3 影响涌水量的因素

大气降水充水型矿井的涌水量是诸多因素影响的综合反映，根据前述的矿井充水条件可知其主要影响因素如下。

(1) 地表汇水、滞水条件 地表汇水条件主要受地形控制。依地表汇水条件，地表汇水地形可分为汇流地形（低洼谷地）、滞流地形（坡度小，起伏不大的平原和台地）和散流地形（坡度大，切割强烈的山脊和山坡）。不同的人渗条件和地形的结合，会构成不同的降水入渗补给条件，一般汇流地形最有利于大气降水时矿坑水的人渗补给，而散流地形则不利于大气降水对矿坑的充水补给。地表的滞水条件除地形因素外，还经常会受到植被、

耕土层结构等的影响。一般来说,地表植被发育,耕土层厚而疏松的地表条件,会延长大气降水在原地的滞流时间,从而减少了地表径流量而增加对矿坑水的补给。

(2) 导水构造的性质 不同的导水构造会产生截然不同的矿井充水形式。一般来说,位于分水岭附近的裂隙型导水构造,往往会形成矿井的渗水、淋水等充水型式。这种充水一般水量较小,不具备突发性,主要影响矿井的工作环境和生产效率,增加矿井排水量,一般不会造成淹井或人员伤亡事故。断层或喀斯特陷落洞型导水构造,往往在大雨过后,迅速造成矿井的大量溃水溃沙、充水水量大、突发性强、时滞时间短,会造成矿井被淹或人员伤亡事故,特别是该类导水构造与汇流地形结合,对矿井的威胁更大。

(3) 大气降水的分布、强度 矿坑涌水量的大小不仅与降水量的大小有关,而且还与降水强度(指单位时间内的降水量)、降水分布的连续性(指一定强度的一次降水所延续的时间)、降水前包气带的含水量等有密切关系。由于降水强度与分布特征具有极强的随机性,同类型、年份不同的同量降水对地下水的补给量(也反映了对矿井水的补给量)有很大差异。通常,在时间上分散且不连续、强度不大的小雨,其降水的大部分消耗于包气带的湿润和蒸发,对地下水的有效补给和矿井涌水量影响不大;强度过大的暴雨容易超过入渗速率、形成地表片流而迅速流走,使其对矿坑的有效充水量相对减少;只有降水强度与就地入渗速率相适应,延续时间长的降水,最有利于对地下水的补给和矿井充水。

通过对开滦矿区赵各庄矿近 40 年降水与地下水位之间变化规律的研究分析,总结出大气降水的分布、强度与地下水所获补给量之间的内在关系。开滦赵各庄矿区多年平均降水量为 500~600 mm,多年最大降水达 1 000 mm 以上,年降水的 70%~80% 分布在 7, 8, 9 这 3 个月;地表以石灰岩裸露的山区地形为主要特点。由于大气降水的季节性变化导致灰岩地下水位季节性变化明显,一年内含水层最高水位与最低水位之差可达 100 m 之上。图 2-6 所示为年降水量与地下水位上升值之间的相关关系。由图可见,不同的年降水量在含水层系统中引起的水位回升值是明显不同的。当年降水量在 400~800 mm 时,降水量与含水层中的水位上升值相关方程为: $\Delta H = -137 + 0.37P$ ($400 \text{ mm} < P < 800 \text{ mm}$), 即每 100 mm 降水可引起地下水位上升 35 m 左右;当年降水量小于 400 mm 或大于 800 mm 时,地下水位上升值随降水量的增加升幅明显减少,其相关方程分别为

$$\Delta H = -4 + 0.03P \quad (P < 400 \text{ mm})$$

$$\Delta H = +100 + 0.06P \quad (P > 800 \text{ mm})$$

由此可见,在该地区最有利于地下水补给的年降水量区间为 400~800 mm,在该降水量区间内,降水入渗系数达到最大。当降水量小于 400 mm 时,因每次降水的大部分消

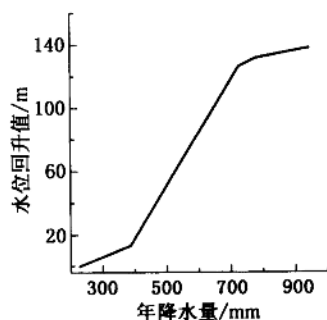


图 2-6 年降水量与水位回升值关系图