

国外矿山防治水技术与实践

MINE WATER CONTROL TECHNICS AND PRACTICE



冶金工业部鞍山黑色冶金矿山设计研究院



国外矿山防治水技术与实践

张键元 李玉山 主编

冶金工业部鞍山黑色冶金矿山设计研究院

前 言

我国地大物博，矿产资源丰富，建国三十多年来，已形成比较完整的采矿工业体系，矿山防治水技术也有较大的发展。但目前还有不少矿山由于水文地质条件比较复杂，受地下水或地表水的危害和威胁较大，给矿山生产和建设工作造成许多困难。

为了借鉴国外的经验，我们整理编写和选译出版这本《国外矿山防治水技术与实践》，系统总结和典型介绍了15个国家和地区的矿山防治水理论与实践，内容包括：国外矿山防治水技术的进展；水文勘探与研究；矿区地面防洪；露天矿疏干排水；坑内矿疏干排水；防渗帷幕堵水；疏干排水的水文地质计算；矿用潜水泵与钻井设备；防排水设施的设计和计算；受淹矿井的恢复；以及矿床疏干技术经济问题等。

本书可供我国煤炭、黑色冶金、有色冶金、化工、建材和其它生产建设矿山以及水电、交通等地下工程治理水害时参考；对水文地质勘探单位、矿山设计科研部门和大中专院校，均有一定参考价值。但由于我们的水平有限，加上国外资料搜集不全，错误与不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

《国外矿山防治水技术与实践》一书，由鞍山黑色冶金矿山设计研究院高级工程师张键元同志、水文地质工程师李玉山同志负责主编。本书在编辑出版过程中，得到许多单位的领导和同志们热情帮助和关怀，特此致谢。

编者 一九八三年八月

目 录

综 述

一、国外矿山防治水技术的发展	(1)
(一) 概述	(1)
(二) 矿区水文地质研究工作	(2)
(三) 复杂水文地质条件下矿山井巷工程的掘进	(5)
(四) 疏干排水技术在矿山防治水中的应用	(13)
(五) 防渗帷幕技术在矿山防治水中的应用	(26)
(六) 水体下采矿	(28)
(七) 国外高温热水矿床的开发	(32)
(八) 电子计算机在矿山疏干排水工程中的应用	(34)
(九) 地表水的防治	(35)
(十) 矿山废水处理	(36)
二、矿床地下水及其防治	(38)
(一) 地下水的流量、用途、影响及防治	(38)
(二) 矿坑水的来源、影响及防治 (纲要)	(41)
(三) 涌水量预测	(44)
(四) 排水与疏干	(53)
(五) 露天开采中的涌水	(69)
(六) 矿山排水的污染防治	(72)
(七) 防治地下水的特殊构筑物	(74)
(八) 地下水防治的某些法律问题	(83)

水 文 勘 探 与 研 究

三、用于矿山防治水系统设计与模拟的勘察程序	(85)
(一) 模型的用途	(85)
(二) 模型输入程序	(86)
(三) 理论模型	(87)
(四) 结论	(88)
四、北美采矿工程的水文调查程序	(88)
(一) 与水文有关的采矿步骤	(88)
(二) 矿山水文模型	(90)

(三) 水文程序的编制.....	(91)
------------------	------

矿 区 地 面 防 洪

五、美国铜山矿防洪设施的水文地质调查、设计和建设.....	(93)
(一) 绪言.....	(93)
(二) 防治洪水.....	(93)
(三) 设计研究.....	(96)
(四) 工程施工.....	(98)
(五) 滞洪设施.....	(100)

露 天 矿 疏 干 排 水

六、露天矿水的防治.....	(102)
(一) 露天矿地表水的防治.....	(102)
(二) 露天矿地下水的防治.....	(103)
(三) 排水与泄水.....	(120)
七、加拿大松树尖露天矿的疏干设计与实践.....	(121)
(一) 矿山概况.....	(121)
(二) 地质与水文地质概况.....	(122)
(三) 露天采场的疏干.....	(124)
(四) 试验钻孔的布置方式.....	(130)
(五) 疏干井的钻凿.....	(130)
(六) 深井泵问题.....	(132)
(七) 其他问题.....	(132)
八、保加利亚克利米科夫露天铁矿的疏干.....	(137)
九、印度奈维里褐煤矿疏干经验.....	(142)
(一) 矿山地质概况.....	(142)
(二) 矿床疏干.....	(145)
(三) 大规模抽水的效果和回水及其他影响问题.....	(149)
十、西德符尔图纳露天矿的疏干排水.....	(152)
(一) 概况.....	(152)
(二) 矿床地质简述.....	(153)
(三) 矿床疏干.....	(153)
(四) 矿山排水.....	(157)
(五) 结束语.....	(163)
十一、用水平钻孔疏干露天矿边坡.....	(164)
(一) 绪言.....	(164)
(二) 地下水与边坡稳定性.....	(164)
(三) 深的水平钻孔排水.....	(165)

(四) 实例沿革·····	(166)
(五) 结论·····	(168)
十二、澳大利亚戈尔兹沃西露天矿深部的排水·····	(168)
(一) 绪言·····	(168)
(二) 开采深度增加时的排水设备·····	(169)
(三) 水位的监控·····	(171)

坑 内 矿 疏 干 排 水

十三、赞比亚康柯拉铜矿地下水的防治·····	(173)
(一) 概述·····	(173)
(二) 地质·····	(173)
(三) 采矿方法·····	(178)
(四) 地下疏干措施·····	(180)
(五) 地下疏干工程的布置和控制·····	(187)
(六) 地表排水·····	(189)
十四、水体下安全采矿的条件·····	(193)
十五、匈牙利尼拉德铝土矿的疏干排水·····	(197)
(一) 矿区水文地质概况·····	(197)
(二) 疏干排水简史·····	(198)
(三) 地表深井疏干·····	(200)
(四) 地下放水系统·····	(204)
(五) 疏干排水工作中的一些问题·····	(204)
十六、美国巴特铜锌矿地下排水设施的设计和施工·····	(205)
(一) 建成了1800米 ³ /时的泵站·····	(205)
(二) 设备逐渐集中·····	(205)
(三) 老的排水系统工作了57年·····	(206)
(四) 从№ 1 竖井开始扩建·····	(207)
(五) 巴特矿区历史上最大的地下硐室·····	(207)
(六) 开掘了780 米长的排水巷道·····	(208)
(七) 把硫酸加入矿坑水·····	(208)
(八) 用中央控制站对泵站遥控·····	(208)
(九) 通风用的空调设备·····	(209)
(十) 水泵密封水系统需要繁重的维修工作·····	(210)
(十一) 排水系统有几套独立的装置·····	(210)
(十二) 内径10英寸的排水立管·····	(210)
(十三) 为消除危险采取的措施·····	(211)
十七、秘鲁卡萨帕尔卡多金属矿在高温高压水条件下掘进运输巷的技术实践·····	(211)
(一) 概述·····	(211)

(二) 涌水与塌方·····	(212)
(三) 降温措施·····	(213)
(四) 顶压钻凿放水孔·····	(213)
(五) 结果·····	(214)
十八、日本常磐煤矿高温水的预先疏干·····	(215)
(一) 概况·····	(215)
(二) 地热·····	(217)
(三) 高温水的补给源·····	(217)
(四) 疏干概况·····	(221)
(五) 疏干的现状·····	(223)

防 渗 帷 幕 堵 水

十九、国外帷幕注浆技术的进展·····	(225)
(一) 概述·····	(225)
(二) 注浆材料的研制·····	(226)
(三) 注浆工艺的改进·····	(230)
(四) 注浆设备·····	(233)
(五) 注浆防渗帷幕实例·····	(236)
(六) 松散层注浆新方法——高压旋转喷射法·····	(240)
二十、国外防渗墙技术及其在矿山中的应用·····	(242)
(一) 防渗墙技术发展简况·····	(242)
(二) 防渗墙的结构、材料及施工工艺·····	(243)
(三) 防渗墙的施工机械及其发展·····	(249)
(四) 防渗墙在矿山工程中的应用·····	(254)
二十一、防渗帷幕渗流计算和ЭГДА模拟试验·····	(257)
(一) 被闭合式防渗帷幕围隔起来的坑道地下水渗流计算原理·····	(257)
(二) 有限长度的非闭合完整防渗帷幕对坑道涌水量影响的数学分析研究·····	(260)
(三) 防渗帷幕的参数对露天矿边帮和台阶稳定性的影响·····	(264)
(四) 有限长度非闭合防渗帷幕的ЭГДА模拟试验·····	(266)
二十二、波兰帷幕堵水的成功经验·····	(270)
(一) 露天矿用帷幕·····	(271)
(二) 帷幕在水利工程中的应用·····	(272)
(三) 堵截地下水的帷幕·····	(272)
二十三、帷幕堵水的地下水动力学问题·····	(273)
(一) 前言·····	(273)
(二) 帷幕的渗流·····	(273)
(三) 帷幕的绕流·····	(273)
(四) 帷幕的底流·····	(273)

(五) 滤层的形成及其状况·····	(275)
(六) 结语·····	(277)

疏干排水的水文地质计算

二十四、地下矿和露天矿设计中的水文地质计算 ·····	(278)
(一) 铁矿床天然埋藏条件概述及计算图式·····	(278)
(二) 巷道涌水量的确定·····	(280)
(三) 向层状含水层中排水构筑物涌水的水文地质计算特点·····	(283)
(四) 层状含水层中降水孔的计算·····	(284)
(五) 层状含水层中非完整钻孔的计算·····	(288)
(六) 联合疏干系统的计算方法·····	(291)
(七) 水平疏干孔和放射状孔的计算·····	(293)
(八) 防渗帷幕的计算·····	(295)
二十五、煤矿地下水的预测 ·····	(296)
(一) 前言·····	(296)
(二) 煤层上部地层为含水层时的涌水量计算·····	(297)
(三) 求渗透系数 (K) 和水位传递系数 (a) 的方法 ·····	(300)
(四) 影响半径 (R) 的求法·····	(302)
(五) 结束语·····	(305)

矿用潜水泵与钻井设备

二十六、国外矿用潜水泵的结构和应用 ·····	(306)
(一) 概述·····	(306)
(二) 国外矿用潜水泵的主要制造厂及其技术性能参数·····	(307)
(三) 矿用潜水泵的结构特点和材质·····	(310)
(四) 潜水电机及其电气系统的技术进展·····	(316)
(五) 矿用潜水泵的选择和应用·····	(324)
(六) 潜水泵的安装、维修和使用寿命·····	(330)
二十七、国外疏干井钻凿技术的进展 ·····	(336)
(一) 从钢绳冲击式穿孔机到回转式钻井机·····	(336)
(二) 威尔特公司压气提升钻井机的结构性能及其应用·····	(337)
(三) 国外疏干井的钻凿效率·····	(345)

防排水设施的设计与计算

二十八、有限元法在地下防水墙设计中的应用 ·····	(347)
(一) 地下防水墙的结构形式·····	(347)
(二) 通往Säckingen水泵仓装配硐室的巷道的封堵 ·····	(348)
(三) 地质状况·····	(348)

(四) 围岩的强度、变形和渗透性·····	(350)
(五) 混凝土和围岩接缝中的抗剪强度·····	(351)
(六) 混凝土的强度和变形性·····	(351)
(七) 稳定性计算·····	(352)
(八) 巷道密封体的稳定性和构造·····	(355)
二十九、南非哈莫尼金矿用柱锥形沉淀池澄清地下水·····	(356)
(一) 引言·····	(356)
(二) 沉淀池的工作·····	(357)
(三) 锥形沉淀池中的水流运动·····	(357)
(四) 沉淀试验·····	(357)
(五) 性能试验·····	(358)
(六) 岩石力学问题·····	(359)
(七) 结束语·····	(360)
三十、潜没式泵房的应用·····	(360)
三十一、应用水力方法清理水仓·····	(362)
(一) 绪言·····	(362)
(二) 矿山排水设施和水仓系统·····	(362)
(三) 用水力方法清理水仓·····	(365)
(四) 将泥浆输送到地表·····	(367)
(五) 结论·····	(368)

矿床疏干技术经济问题

三十二、铁矿床疏干设计的技术经济原理·····	(370)
(一) 疏干设计的组成、设计使用的原始资料、设计标准与设计组织·····	(370)
(二) 降低排水系统费用和改善技术经济指标的措施·····	(372)
(三) 疏干各工序和各单元费用的经济数学模型·····	(374)
(四) 在不定条件下疏干系统设计参数的优化·····	(379)
(五) 降水孔系统同时工作的经济优越性·····	(383)
(六) 降水的最优期限·····	(384)
(七) 疏干系统的可靠性·····	(385)

受淹矿井的恢复

三十三、南非西德律方天金矿矿井淹没的处理·····	(388)
(一) 筑防水墙堵水, 控制水患·····	(388)
(二) 受淹巷道的恢复排水·····	(404)
三十四、土耳其宗古尔达克煤矿岩溶石灰岩区矿井被淹的处理·····	(415)

国外矿山防治水技术的发展

李玉山 张键元

一、概 述

关于地下水和地表水在矿山开发中占有的巨大意义,人们久已有所认识。

在矿山企业中,不仅需要生活用水,而且采矿和选矿各生产环节也要生产用水,水被用来满足各种技术和经济上的需要。

另一方面,对几乎所有的地下矿和露天矿来说,水的出现会给开采作业造成种种麻烦、困难,甚至危害矿山生存。矿山井巷工程的片帮冒顶,露天边坡、废石场和尾矿坝的破坏,水始终是一个潜在的起因。水或流砂可能突然溃入并淹没坑道甚而整个矿井,常常给矿山带来灾难性的后果;地下水沿采掘工作面出露,将给穿爆、采掘、运输工作带来种种困难,降低生产效率,损害设备寿命,提高开采成本;甚而由于水的影响被迫采用产量较小的方法、效率较低的设备以及造价高昂的措施;酸性矿坑水污染环境、危害农田水利,并且腐蚀金属装备和各种设施;矿坑涌水的温度较低,并使矿坑内的空气湿度增加,对工人的健康和劳动生产率都将产生不良影响……。总之,水对矿床开采的影响是多方面的,而且危害是严重的。

众所周知,一个水文地质条件复杂的矿山防治水工程,不论是建设投资还是经营费用,都占有相当大的比重。据统计,苏联水

文地质条件比较复杂的一些矿山的疏干排水工程费用,约占其总投资的15~20%;波兰露天褐煤矿的疏干排水工程费用,则占总投资的10~25%;而匈牙利有的铝土矿疏干排水设施的总投资占整个矿山基建投资的1/3。加拿大松树尖露天铅锌矿每采1吨矿石的疏干费用为0.193美元,1978年疏干费用占生产费用的16%。苏联露天煤矿的统计资料表明:排出1立方米水的生产费用,约为0.2卢布;在开采1吨煤的成本中,排水费用占7~10%;在排水费用中,电能消耗占排水总经营费的80%。

国外有关人士预计,由于矿山开采深度逐渐增加,能源费用不断上涨,矿山疏干排水费用还会随之增长。

不仅大水矿山为了维持正常生产,对水害问题给予很大重视,而且,随着边坡理论的进一步发展,生产矿山和管理部门对水害问题的认识也在不断提高。

研究表明,地下水多方面影响边坡的稳定性,可使边坡岩体的抗剪力降低20~50%。法国地质矿业研究所指出,在裂隙发育的石英岩体中,一个深300米的边坡,在干燥状态下,边坡角可达50度,而在浸水情况下,30度边坡角才是稳定的。

苏联设计部门试算,由于工程地质与水文地质条件的影响,边坡角如能由46度提高到55度,在开采深度为400米的情况下,则

在每千米长的边坡上,可减少剥离量4000万立方米。加拿大杰韦森矿,由于成功地进行了疏干工作,露天边坡角提高了3~5度。

矿坑大量涌水也严重阻碍采矿能力的提高。匈牙利尼拉德铝土矿,在疏干前,矿石年产量仅为15万吨;疏干以后,改善了作业条件,矿石年产量超过40万吨;1974年达到90万吨,1976年增长到110万吨。

美国斯威夫特农业化学公司在其所属沃顿磷矿采取了预先疏干措施,矿石采出率由41~60%提高到70~80%,矿石产量也相应增加20%。

实践证明,矿山防治水技术不仅是保证矿山正常生产的必要措施,而且日益成为提高矿山经济效益的有力手段。

矿山涌水问题及其防治水技术同采矿历史一样悠久。防治水技术的发展史,就是矿床开发中同水害进行斗争的历史。过去,不少矿山由于水文地质条件复杂,矿床充水强烈而不能开采,亦有不少矿山在建设和生产过程中因水害严重经常受淹,长期不能正常生产。

随着科学技术的发展,人类在战胜自然的生产斗争中,不断总结经验,制服水患,从简单的单纯排水,发展到复杂的预先人工降低地下水位的疏干;从简单的堵漏,发展到现代的灌浆和构筑防渗墙的技术,已使许多过去不能开发的矿床得以安全开采;水害严重的矿山可以得到根治。

国外有些矿山,昼夜涌水量平均达30~40万米³、静水压力高达40~50大气压,并不被人们所抛弃;国外有些矿床赋存于湖泊、河流甚至海底之下,也不断被人们所开采。从国外对矿床水文地质条件复杂的矿床开采的历史经验来看,涌水量大、地下水压力高、存在大型地表水体的淹井威胁的矿山,只要能够搞清矿区水文地质条件,采取有效的综合性的技术措施,防止或消除地下水和

地表水对采掘工作的危害是完全可能做到的。

矿床疏干排水技术,是世界各国应用最为广泛的同矿床地下水害作斗争的一种有效手段。疏干排水就是把可能流入矿坑的地下水排走,或是预先降低地下水位,使之低于采掘工程标高或降低到安全开采的允许值,以保护矿山工程正常进行。各种排水设施和疏干地下水的坑道、降水孔及其它疏、放水孔等均属此类。

近些年来,国外在开发水文地质条件复杂的矿山的具体实践中,又开辟了使用钻孔注浆建造防渗帷幕和用特殊机具开挖深槽浇筑防渗墙等防治地下水害的新途径。这种防渗堵水方法,目前世界各国应用的虽然不够普遍,但由于它在矿山防治水工程中的独特优越性,随着防渗堵水技术不断发展,许多国家认为这是一种具有广阔发展前途的防治水方法。

为了顺利地开采大水矿床,防止或排除可能涌入矿坑的地下水和地表水,必须深入地掌握矿区水文地质条件,采取技术上正确可靠、经济上节约合理的与矿坑水作斗争的综合技术措施。它不仅可为矿山生产建设扫除障碍,而且可化不利为有利、化有害为有用,在保护环境、综合利用矿坑水方面,亦具有很大的经济意义。

兹将国外大水矿床采取的防治水技术及其发展情况,综述如下。

二、矿区水文地质研究工作

随着复杂水文地质条件矿山的不断开发,以及地下水给矿床开采造成严重危害的经验教训,使世界各国对矿区水文地质研究和矿山防治水工作的重要性的认识不断加深。

英国的P.福斯特和M.普赖斯两位专家

谈到,若对强含水层中存在地下水而引起的潜在困难问题缺乏认识,往往会导致代价高昂的损失,拖延建设工期,甚至需要重新设计。

第一届国际矿山排水会议十九个国家的与会代表一致认为,在矿山工作开始之前,必须收集足够精确的有关地下水的性质和赋存条件的资料。美国的罗尔斯顿指出,为了预测地下水对矿山的影响,为了设计必要的疏干排水系统,必须研究区域地下水的流动状态,掌握地下水流的来龙去脉。

加拿大的佩托建议利用钻孔对地下水进行勘探,一旦矿床将被开发,水文地质专家就应与地质勘探专家密切合作,充分利用所有的钻孔,以减少获得水文地质基本数据的费用。

美国新泽西锌业公司指出,在矿床开采前通过钻探研究地下水的情况,可以从中发现许多问题并取得必要的水文地质数据,而且可以防止出现灾难性的突水,从而避免造成重大损失。为此,在钻探上花费些投资也是合理的。

当收集了基本数据之后,国外许多专家都强调建立适当的监测系统的必要性。由于采掘作业,尤其是露天矿山,它们与影响边坡稳定性的地下水压力的关系,要比实际排水量的关系大得多,所以,他们强调把压力计作为主要监测手段的重要意义。

水文地质研究程度以及在矿床调查过程中作出的水文地质判断和解释,对于正确的选择防治水方案关系重大,很多矿山实践经验证明了这个问题的。

苏联北乌拉尔的保科洛夫铁矿床由于对水文地质条件研究得不充分,在矿床开采之前,不得不重新补充大量的矿区水文地质工作,拖延了矿山建设速度。南别洛捷尔矿床实际的涌水量高于原来预测的三倍,导致疏干工程投资和经营费用大幅度的增加。在库

尔斯克磁力异常区的露天矿和其它许多矿床,按矿区水文地质资料预测涌水量有特殊重要意义。过大的涌水量,在颇大程度上延迟了矿区开始建设时间,甚而否定了开采价值。

苏联地质勘探规范规定,矿区水文地质工作是矿区地质勘探的重要组成部分。各勘探阶段都必须进行与地质勘探阶段相适应的水文地质工作,否则报告不予批准。

矿区水文地质工作,一般均在地质勘探工作的基础上进行。其勘探程度,根据矿床水文地质类型,规范明确规定相应的水文地质工作量来保证。苏联遵循的这一原则,在罗马尼亚、匈牙利和保加利亚等东欧一些国家也有相似的规定。

罗马尼亚的罗维纳里褐煤矿的水文地质工作,是在地质勘探网(200米×200米)的基础上进行的。专门水文地质孔采用大孔径($\varnothing 293$ 毫米)和压风机进行抽水试验。

法国地质矿业研究所主张,在生产前和生产期间,依据有关含水层的空间分布状态和边界条件以及岩层渗透性,疏干系统和涌水量、水压、地层水力传导系数等数据绘图。根据此图,通过分析的方法或水流模拟数字模型,模拟类比模型,确定疏干排水方案及其实施效果。

希腊的米加罗波里斯褐煤矿的水文地质条件复杂,勘探区除进行了地质填图和电法物探工作外,还进行了钻探,布孔密度为100孔/公里²。专门水文地质研究进行了 $\varnothing 250$ 毫米6孔的大口径井孔抽水, $\varnothing 50\sim 75$ 毫米孔径的观测孔40个。为确定岩溶含水层的特征及其水力参数,进行有针对性的多次抽水试验,并对煤田地区沿裂隙流出的卡斯特泉和钻孔水位进行了长期观测。在开采前二年,又多次进行了潜水泵抽水试验。生产期间,该矿坚持每周监测水压面的波动,并绘制水文曲线图表,为矿山疏干排水工作

创造了条件。

印度奈维里褐煤露天矿,为疏干工程提供可靠基础资料,由印度地质测量局进行了抽水试验。在一个半径为30.48米的环形圈上,布置了11个抽水孔,测得一些地下水要素。这些要素在采场施工期间,对矿山建设控制地下水有指导作用。朗格拉哈露天采矿工程准备阶段,在一个边长40米正方形的四个角以及每个边的中点位置上,布置了8个 $\varnothing 108$ 毫米、孔深约45米的钻孔,用空压机进行抽水试验。瓦尔德哈煤田地下水的试验,是在一个半径为15米的圆形面积上布置一个中心抽水孔及4个观测孔进行的。另一组是在一个30米 $\times$ 300米矩形的三个角上布置三个观测孔,抽水孔在第四个角上,孔径 $\varnothing 200$ 毫米。各水文地质钻孔,一般均进行电测。

苏联莫斯科近郊煤田,多年来一贯采用预先疏干矿床地下水,但突水事故仍然经常发生。这是由于水文地质条件不清、疏干工程布置不当所造成。因此,该煤田强调地面及井下调查,水文地质钻探、抽水试验,并广泛采用物探方法配合,取得较好效果。

国外对于在勘探阶段难于确切查清其复杂水文地质条件的矿山,为给矿山防治水设计提供可靠的基础资料,一般都专门进行规模巨大的矿床疏干试验。

苏联雅可夫列夫铁矿的矿体埋藏在厚层沉积岩层之下。已查明该矿床有静水压力高达50大气压的八个含水层。矿山基建与开采期间,矿坑涌水量为5000米³/时,其中石灰岩层涌水量占50%。试验的主要任务是查明利用降水孔在石灰岩含水层中形成大水位降低(450~500米)的可能性,并确定矿体上部地段、上盘与下盘降水孔的疏干效果;在矿床疏干地段取得大水位降低时的水文地质计算参数;查明各含水层之间的水力联系程度;确定各含水层中降落漏斗形成时间及其特征;确定凯洛含水层中降水孔与吸水孔工

作的效果;在该矿条件下,取得施工大孔径降水孔与其它疏干孔的经验;确定这些钻孔的合理结构与过滤器的类型;试验钻凿深降水孔及抽水的新技术。

疏干试验采用环形系统布置降水孔。在试验地段共打了12个大孔径降水孔。建立了大规模的水文地质观测网,平行矿体与垂直矿体走向的二条相互垂直的水文地质观测线,以观测离试验段中心15公里以内的降落漏斗的情况。

在历时两年试验期间内,共进行了三次水位降深。每个试验梯段都要求达到涌水量稳定。其中第一阶段总涌水量为290~320米³/时,第二阶段为950米³/时,第三阶段为1280米³/时。试验期间,从灰岩中共抽出1500万米³水,抽水结束时试验段中心水头降低了210米。

生产矿山的水文地质研究工作,由于各矿山存在的问题不尽相同,各国对水文地质研究和侧重点也不相同。匈牙利注重研究隔水层、隔水性能及可能突水量等。据报道,匈牙利的一些煤矿,利用电子计算机处理了八万多个岩溶水文地质及开采资料,对影响突水因素作统计分析,得出了一些评价保护层与突水量的关系式。

美国重视对含水层进行研究,曾用数字计算机模拟与处理含水层资料,预测科罗拉多地区的矿山涌水量。

研究深部含水层效果较好的还是物探法。近年来,美国研制成一种红外线温度探测仪,用来在井下探测工作面前方的空洞或充水情况,据说能测出0.1℃的温差变化。苏联曾用电测法测出深达90米的岩溶。日本通过测量天然放射性的物探手段,测定岩溶发育带。苏、匈等国利用物探资料指导水文孔或疏干孔的布置。

为了测定矿坑地下水的补给来源,赞比亚班克洛夫特铜矿,根据进入坑道水的氟分

析而进行水的绝对年龄的鉴定。这项研究工作,包括广泛的区域性水均衡研究、河流测量、染料和红外线航空摄影测量、水的化学和中子活化分析,建立监测网点,观测地表水和钻孔中的地下水,以及用自然同位素C和氡进一步研究补给地下水的形成年代。

西德一些煤矿,通过染色试验,用稀释到六百万分之一的浓度但尚可辩认的萤光素钠A.P.颜料或氯化锂,能测出地表河流的水是否渗入坑道。

近几年来,用探测雷达探明岩层地质特征已受到普遍重视。雷达在准确地描绘浅部地质特征方面有其独到的能力。美国的库克早在1975年就已开始进行试验,证明探测雷达可以穿透多种不同的岩层,同时可以探测出断裂带和岩溶空洞。岩层探测雷达的使用日益扩大,工艺上也有改进,目前已有可能在采矿生产的许多方面利用雷达获得有用资料。

遥感技术是本世纪六十年代蓬勃发展起来的一项现代化技术。这项新技术利用传感器,主要指航空摄影、多光谱扫描、红外线扫描和微波遥感等技术,收集地表和近地表的反射和辐射电磁波,经过处理可以得到人们在地面上根本无法获得的极为宏观的图像。遥感技术,自1977年美国发射第一颗地球资源卫星(ERTS-1)以来,对卫星照片的水文地质解释已成为区域水文地质调查中一项必不可少的程序。遥感技术用来探测大型构造充水带,地下水排泄区,地表水与地下水之间的关系等方面,已取得较大进展。

三、复杂水文地质条件下 矿山井巷工程的掘进

开发一个水文地质条件复杂的矿床,井巷工程的施工往往是矿山建设成败的关键。

因此,保证井巷工程安全正常施工,提高井巷掘进速度,对复杂水文地质条件下的矿山开发建设,节省投资,缩短矿山建设周期,都具有重要的技术经济意义。

在水文地质条件复杂的矿区,当布置主要井筒和巷道时,同矿床开采一样,应遵循从条件简单到复杂的原则,一般应尽量布置在比较完整和坚硬的岩层中。尽可能避开充水构造破碎带和岩溶强烈发育地段等水文地质条件复杂地段。

土尔其的宗古尔达克煤矿有一条主提升井由于洗煤厂的位置所限,井筒位置无可选择,只好全部通过白垩纪灰岩(灰岩厚600米,裂隙岩溶发育);井筒用混凝土衬砌,在掘进过程中进行了大量的注浆工程,曾延误掘进18个月。竖井掘完以后,在掘进井底车场时,必须通过岩溶发育的含水灰岩;在工作面掘进以前都打了超前探水钻孔,而且凡是需要的地方都对岩石注浆。但在井底车场掘进300米以后,还是发生了大量涌水(涌水量为 $32.5\text{米}^3/\text{分}$),使巷道掘进工作被迫停止,竖井被淹。

苏联的北乌拉尔铝土矿,在生产建设初期,由于没有很好注意矿区地质和水文地质工作,从1935年开始建设到1959年的25年中,共掘进了1.5万米井筒和70万 米^3 平巷工程,其中有8000米井筒和60万 米^3 的平巷是在岩溶石灰岩含水层中掘进的,25年中总共发生103次突然涌水淹没矿井事故,其中有39次发生在井筒掘进中,64次发生在井底车场掘进中。

为此,北乌拉尔铝土矿总结了一条历史教训,即重视水文地质条件,加强勘探工作,尽量在地下水丰沛的矿区中寻求无水或少水的地段选定井位。据报道,北乌拉尔铝土矿为了确定一个井筒位置,曾经打过9个工程地质钻。该矿认为,即使在水文地质勘探方面多花一些费用和时间,也可以在以

后加快掘进速度和安全生产方面得到补偿。

美国皮肯茨马瑟公司主张,对矿区地质条件复杂的矿区,应通过地质调查选择井筒位置。贝克利煤矿就是通过航测照像、地面与井下地质测绘、岩芯钻探及钻孔测井等方法,探明了拟建风井的地点,选择地层条件较好的井位,并探明了井位处将来可能会发生的问题。贝克利煤矿所用的航测照片解释、地质制图、取芯钻探、岩芯研究等调查方法,是分析井位条件的省钱方法。该公司认为这种方法应该成为矿山设计的一个组成部分。

当井巷工程布置有困难,而必须通过强含水层(带)或松散含水层等条件复杂地段时,则应采取专门的技术措施,即采用特殊法施工井筒。

在特殊凿井法中,目前国外使用最多的是注浆法和冻结法,钻井法也在不断发展,人工降低水位法也还有应用。兹将几种常用的井筒特殊施工法简述如下:

(一) 注浆法凿井

在国外的建井工程中,在裂隙岩溶含水层中已普遍应用注浆法凿井。自化学注浆应用到矿山工程以来,注浆法在建井工程中的应用又有了进一步的发展。采用化学注浆法通过不稳定的流砂层,也已成为经济有效的方法。

苏联为加快在复杂水文地质条件下的建井速度,于1943年成立了特殊施工建井局。在1950年前规定井筒涌水量超过50米³/时时可采用注浆法;在1950~1955年间这个指标定为30米³/时,1955~1960年间定为20米³/时,1962年又规定,当井筒涌水量大于8米³/时时,便可采用注浆法施工。

据认为用注浆法凿井,不仅可以大大改善作业条件,简化施工工序,加快建井速度,而且可以降低建井施工总成本。据报

道,南非在1958~1968年间用预注浆法掘进了35个竖井和3条隧洞,并取得了数次竖井快速掘进世界记录(254.2, 281, 305.3, 377.11, 381.4米/月)。

据统计,国外400个(100个在苏联,300个在其它国家)井筒预注浆后的残余水量数据列于表1。从表中可以看出,在南非、美国、加拿大、法国和英国等国家的300个用注浆法施工的井筒中,约有80%的井筒注浆涌水量不超过5米³/日,其中约有50%的井筒实际已经干涸;注浆后涌水量超过10米³/时的井筒只占8%。在苏联的100个井筒中,注浆后涌水量小于5米³/时的占39%,超过10米³/时的占34%。

井筒预注浆后的残余涌水量 表1

注浆后残余涌水量 (米 ³ /时)	井筒数量(%)	
	苏联	其他国家
0~2.5	20	62.6
2.5~5	19	17.8
5~7.5	16	7
7.5~10	11	4.6
10~12.5	6	2
12.5~15	6	1.8
>15	22	4.2

在井筒掘进之前进行地面预注浆,已成为快速建井的重要经验之一。预注浆工作可以在井筒掘进之前进行,也可以把注浆孔布置在井筒周边数米之外,与井筒掘进平行作业,这样,并不占用建井工期。即使必须占用一部分建井工期,也会由于经过注浆,减少了涌水,加快了掘进进度,夺回所占用的时间。

表2列出了一些国家用注浆法开凿井筒的建井速度。

关于国外注浆材料、注浆工艺以及注浆设备等发展详情,请参见本书《国外帷幕注浆技术的进展》一文,在此不再赘述。

国外用注浆法施工的部分井筒凿井速度 表2

矿 井 名 称	井 筒	井筒直径 (或净断面) (米)	平均凿井 速 度 (米/月)
博 含 聂 达 (加拿大)	马克林	4.27	71
斯 坦 累 特 (加拿大)	No 1	7.9×2.3	79
萨 乌 斯 · 基 尔 克 比 (英国)	No 3	7.3	69.6
博 尔 斯 坦 汤 (英国)	No 3	7.3	85.4
维 尔 吉 尼 亚 (南非)	No 2	7.3	133
符 拉 克 方 吞 (南非)	No 2 风井	7.3	75~107
勃 柳 沃 奥 尔 集 赫 特 (南非)	No 1	12.3×3.05	95
普 列 集 典 特 勃 兰 特 (南非)	No 2	5.4	103.9
普 列 集 典 特 · 斯 吞 (南非)	No 3 主井	7.9	143
西 霍 耳 定 格 斯 (南非)	No 3 风井	5.5	87.2
比 留 林 No 2 矿 (苏联)	箕斗井	6.5	17
	罐笼井	7	25.1

(二) 冻结法凿井

冻结法凿井1883年创始于德国，长期以来已在各种岩层中成功地建造了不同直径不同深度的大量井筒。这种方法，最初主要用于流砂、淤泥等松软含水层中建井，以后逐渐发展到可以冻结坚硬裂隙岩溶含水层。据称，在各种特殊凿井法中，冻结法技术比较成熟，而且应用范围越来越广。

西欧一些国家，由于建井地质条件比较复杂，早在十九世纪初就开始采用冻结法建井。如德国鲁尔煤田上部冲积层深500~800米，其中砂及砾石均为含水层，必须使用冻结法方能凿井。比利时煤田建井条件也是非常复杂的，在煤系地层上部有厚500~600米厚的松软含水层，而且在其下面还经常出现一层厚5~15米、压头高达60个大气压的高压流砂层。荷兰和法国中部、北部的煤田与德国和比利时相连，建井地质条件相似。复杂的建井地质条件，使西欧在十九世纪就先后采用了各种特殊施工法建井。到1974年为止，这一带用冻结法凿井200条以上，通过了各种不同性质的岩层，如流砂及高压裂隙含水层等。

苏联有一些矿区地质条件复杂。莫斯科煤田几乎全部为流砂层所覆盖，有些矿井连井底车场马头门也必须使用冻结法开凿；西顿巴斯和扎波罗什矿区松软含水层厚度及涌水量均较大；库尔斯克磁力异常区松软含水层深达500~600米以上，故苏联大量使用特殊凿井法。扎波罗什钢铁公司别洛捷尔铁矿六个井筒都用冻结法施工，其凿井条件的复杂程度是苏联前所未有的；冻结深度超过400米在苏联也是第一次。苏联使用冻结法40年来，仅特殊建井局即已冻结井筒294个（统计到1968年），总深度28.2公里。到1973年苏联用冻结法建井已占特殊法凿井总进尺的45.3%。

波兰煤田大部分被冲积层覆盖，一般都用冻结法凿井。如列宾铜矿区，冲积层厚400多米，其中还有30~35个大气压的高压含水层，整个矿区的井筒全部用冻结法施工，已开凿十多个冻结深315~470米的井筒。而在鲁布林煤田，冻结深度达725米。据统计，1960年以前，波兰采用冻结法施工的井筒，约占新开井的10%，而到1971~1975年期间已发展到50%。

英国煤矿早在五十年代即约有20%的竖井用冻结法开凿，其特点是，既冻结上部冲积层，也冻结下部坚硬砂岩和石灰岩含水层。

加拿大早在十九世纪就使用过冻结法凿井。五十年代初开发萨斯喀切温钾盐矿区，全部井筒都用冻结法开凿。该区的布雷摩尔岩层为一高压含水层，压头高达56个大气压，在冻结施工中曾引起不少困难。国外冻结深度最大的竖井（915米）就在这个矿区。该矿区六十年代又用冻结法开凿了几个井筒，其中埃斯特海西井的开凿，被认为是西半球最困难的凿井工程。

各国根据各自需要都在冻结施工中采用了新技术新工艺。从几个常用冻结法施工的

国家看来,集中研究的是与深井冻结有关的技术问题。目前,国外在冻结凿井中使用的先进技术大致可归纳如下:

1. 冻结孔施工

钻进冻结孔的老方法是用冲击钻。过去认为只有冲击钻才能保证冻结孔的垂直度。西欧一直到六十年代还有用快速冲击钻的。1952年西德公司试用旋转钻机打冻结孔,也曾试用涡轮钻通过砾石层。近年来,已大量用旋转钻取代冲击钻。

苏联在五十年代后期开始用旋转钻打冻结孔。后来根据不同深度使用不同类型的钻机。过去,在孔深小于100米时用KAM-500和ЗИФ-650型老式钻机,其台月效率仅400米。以后,在孔深250米以内时用УТЗ-1型和2型旋转钻及涡轮钻具,其台月效率达2500~3000米。在扎波罗什矿区,使用新设计的УРБ-4 ПМШ型钻机钻420米深孔,实际平均台月效率2000米,最大偏斜6.55米。

波兰也是从五十年代后期开始用旋转钻打冻结孔的,到1965年已经不再使用冲击钻。经核算认为,采用旋转钻打孔比用冲击钻速度提高50~70%,成本降低30%。

加拿大在开始第一个深冻结井(915米)时,已使用标准石油旋转钻机打冻结孔。以后,在冻结深400~600米井时,就全部使用涡轮钻具纠偏。1963~1967年间,冻结孔总进尺10万米以上,台月效率在95~135米间。据称,使用旋转钻机打冻结孔,并用涡轮钻具纠偏这种钻进方法,已成为冻结孔工程的标准工艺。

二十多年来,冻结孔钻进从使用冲击钻发展到旋转钻,并采用涡轮钻具,目前已普遍认为这样既能高速钻进又能保证要求的垂直度。

2. 冻结技术

目前,国外冻结井筒的冷冻机,仍普遍

使用氨压机制冷,并可根据需要采用双机压缩,也有使用现代化旋转式设备的,并把成套设备组装成移动式。西欧和波兰等国曾用二氧化碳冻结,美国和加拿大使用氟利昂冻结。一般低温达 $-25\sim-40^{\circ}\text{C}$ 之间,处理事故时个别达到 -50°C 。冷媒仍普遍采用氯化钙盐水,处理事故时用过低冰点氯化锂。

在建井过程中,机械化装配冻结设备的工作有了很大的进展。过去,冷冻机是安装在混凝土基础上的,安装冷凝器、中间冷却器和气化器非常费事,而且占据了很大位置。现代化冷冻设备则是将冷冻机和其它设备(包括盐水泵和冷却水泵)统一安装在便于运输的滑板上。所需空间大为减小,不再需要基础,安装时间也较前少得多。冻结设备采取自动控制后,还可大大节省人力。技术上的改进,使成本降低。如今用冻结法掘进深度不大的井筒也并不昂贵。与冻结有关的其它设备也有改进。已采用高效率的回路冷却水处理装置,其体积也大为缩小。

为了把低温冷量及时送到深部岩层,五十年代初期,西欧和北美几国就开始使用塑料管取代金属供液管,效果很好。如法国在一个深550米的冻结井中,使用聚乙烯供液管,不但隔温效果好,而且由于管子是按需成盘出厂,所以运输安装都很方便,从而缩短了安装工期。目前,在施工中采用塑料供液管已比较普遍。

冻结方案,国外根据不同岩层条件,常用分段局部冻结,长短腿差异冻结等,也有少量井使用双排管冻结的。西欧、加拿大和苏联等在一些矿区深井冻结施工中采用分段局部冻结,尽量不冻结厚层页岩、粘土质岩层一类的冻胀变形较大的岩层。

检验冻结壁形成的检测手段,国外最普遍的还是打测温孔测温和水文孔观测水位。1955年,西德取得了冻结壁超声波检测仪的专利,并在工程中的应用。以后苏联也从事这