

矿山复杂环境下防排水设计与实践

Design and Practice of Water Prevention and Drainage Under Complex Mine Environment

刘国栋(中国恩菲工程技术有限公司,北京 100038)

摘要:某矿露天生产期间发生过两次水害,在做了大量现场调研后,有针对性地进行了防排水设计。方案实施中,贯彻执行了填、堵、疏、防、排等措施,实际矿山防排水运行中印证了可行性。

关键词: 矿山防排水; 最大涌水量; 排水系统

中图分类号: TD743 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)06-0069-08

Abstract: Water prevention and drainage is an important part of mine safety production. There were two times of flood damage during the production of an open-pit mine. After doing a lot of field research, the design for water prevention and drainage was carried out accordingly. In the implementation of the scheme, measures such as filling, blocking, dredging, prevention and drainage are carried out, and the feasibility is confirmed in the actual operation of mine water prevention and drainage.

Key words: mine water prevention and drainage; maximum water inflow; drainage system

1 前言

2011年6月中旬、2015年6月上旬某矿遭遇了两次暴雨洪水威胁,在此时段矿区露天坑与坑内开采已有工程在空间关系上产生了交集,洪水经露天坑与坑内工程的贯通口,通过坑内相互连通的空区、巷道、竖井石门、斜井等倒灌泄入井下下部各生产中段,虽坑内设有多个接力排水泵站,但由于各泵站设置分散,排水系统不畅,且排水路线较远,存在设置上的局限性,致使井下两个中段被淹,所幸没有造成人员伤亡。某矿矿田内既有露天矿又有井下矿,井下开采在先,留有大量空区,露天开采在后,露天形成凹陷坑后,尚未形成完整的封闭圈截水沟,露天境界范围内,露天回采会挖通现已存在的巷道、采空区,针对这种状况,为防范坑内涌水造成的安全危害,本人承担了某矿复杂环境下的防排水设计。

2 矿山基本概况

某矿是1958年建设生产的老矿山,始于坑采,以开采银铅锌矿体为主;20世纪90年代,又针对铜矿体形成了山坡露天矿,故而逐渐发展成为一个露天联合开采的采选综合型企业,至今经历了近60多年的开发与建设。

矿田有六个矿区:北山区、九龙上天区、某区主要为银铅锌矿体;九区、西山区、银山西区主要为铜硫金矿体。铜矿石主要分布在九区,铜金属量占总量的82%,次为西山区,占15%;银铅锌矿石主要分布在北山区,铅锌金属量占总量的75%,次为西山区占7%,其他区仅为少量。六个区段共保有矿体98条,其中北山区10条,九龙上天区15条,银山区7条,九区20条,西山区20条,银山西区26条。某矿田各矿区划分及矿体分布平面如图1所示。

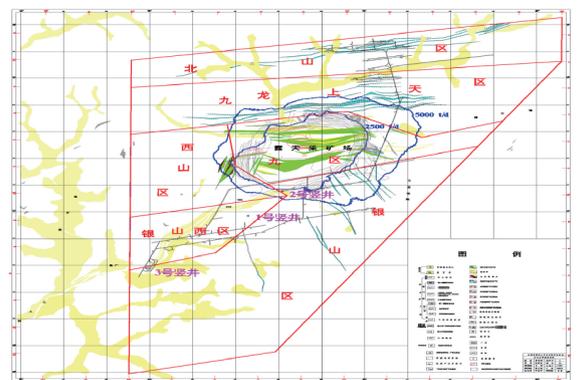


图1 某矿区矿段划分及矿体分布平面图

矿区工程地质条件中等,矿体及其顶板岩体均属半坚硬至坚硬完整稳固型岩层,矿区断层结构面属禁闭型,破碎带经蚀变胶结,对矿床开采无较大影响。坑内有较多采区的巷道及采空区没有任何支护,历经数年采空区、巷道大多数仍保持完好,从而也说明了矿体及其顶板稳固。九区采取露天开采,露采边坡总体属于稳定性边坡。

[作者简介] 刘国栋(1964-),男,河北沧州,高级工程师,从事采矿工程设计咨询。

[引用格式] 刘国栋. 矿山复杂环境下防排水设计与实践[J]. 中国矿山工程,2022,51(6):69-76.

矿区水文地质条件属简单型。为一个独立的水文地质单元,岩石坚硬,基本不含水,未受断裂影响地段形成相对隔水层,大气降水是矿坑充水的主要来源^[1]。

矿田内露天始于1992年,开采的对象是九区铜金硫矿体。开始生产规模为700 t/d,属于山坡露天矿;2006年扩建到2 500 t/d,2010年10月再

次改扩建,露天生产规模为5 000 t/d,于2012年底建成投产至今。2000年前九区露天生产进入+72 m封闭圈以下,形成凹陷露天开采。+72 m封闭圈以下大气降雨等汇集水,采用分阶段的机械排水方式集中扬至废水处理厂高位水池,进入废水处理系统进行处理。露天开采现状(2016年)如图2所示。

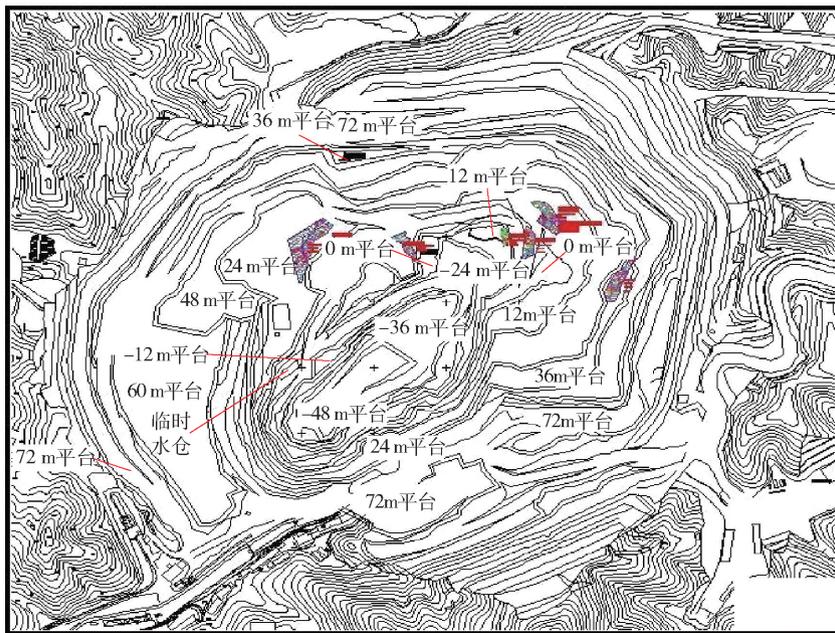


图2 露天开采现状(2016年)示意图

矿田内采用坑内开采的对象,是北山区、九龙上天区、银山区为主的银铅锌矿体。坑下开采始于1958年,生产规模500~700 t/d。矿区侵蚀基准面以上采用平硐开拓,矿区侵蚀基准面以下采用3条罐笼井开拓,分别为1号竖井、2号竖井和3号竖井,开拓中段包括+50 m、-5 m、-60 m、-105 m、-150 m、-195 m、-240 m、-285 m、-330 m 9个中段,采用空场采矿法回采。平硐开采早已结束,现在生产中段为-240 m、-285 m、-330 m三个,坑内生产能力约计500 t/d,坑内矿山独立标高-150 m以下各运输中段巷道,从南到北贯穿整个矿田。由于矿田内银铅锌矿体分布散、生产能力小,随着地下开采向深部延伸,逐渐形成了各中段、分区的排水设施,逐步形成了坑内多级接力排水系统,主要包括+50 m、-5 m、-60 m、-150 m、-240 m、-330 m中段及南山排水泵站。地下开采开拓系统(2016年)如图3所示、坑内开采排水系统(2016年)如图4所示。

某矿矿区位于江南多雨地区,降雨强度大,雨季

时间长。地下开采采用空场法,经过几十年的生产,形成了多中段、多采空区的现状,尤其浅部接近地表的采空区,部分跨塌,形成了塌陷区、松动区,给井下排水造成压力,为矿山安全生产带来隐患。加之露采与地采在空间上又存在交叉,露天开采已揭露出部分原地下开采工程,随着露天采场向外围扩帮及向下延深,揭露了更多的原地下开采巷道或采空区,导致露天采场与地下开采工程贯通。如图5所示,洪水期极易形成地表降雨汇水通过露天采场进入地下采空区,形成洪水倒灌井下带来灾害,给矿山人员设备及安全生产造成威胁^[2]。

3 防排水影响因素与分析

3.1 某矿水文地质工作梳理

某矿露采在未形成凹陷露坑之前,多年的开采证实了矿区水文地质条件简单。2007年10月江西有色地质勘查四队资源储量的核实报告中,主要中段的日涌水量见表1。随着露采扩产加快形成凹陷坑,并揭露到井下已有巷道和塌陷松动区,矿坑涌水

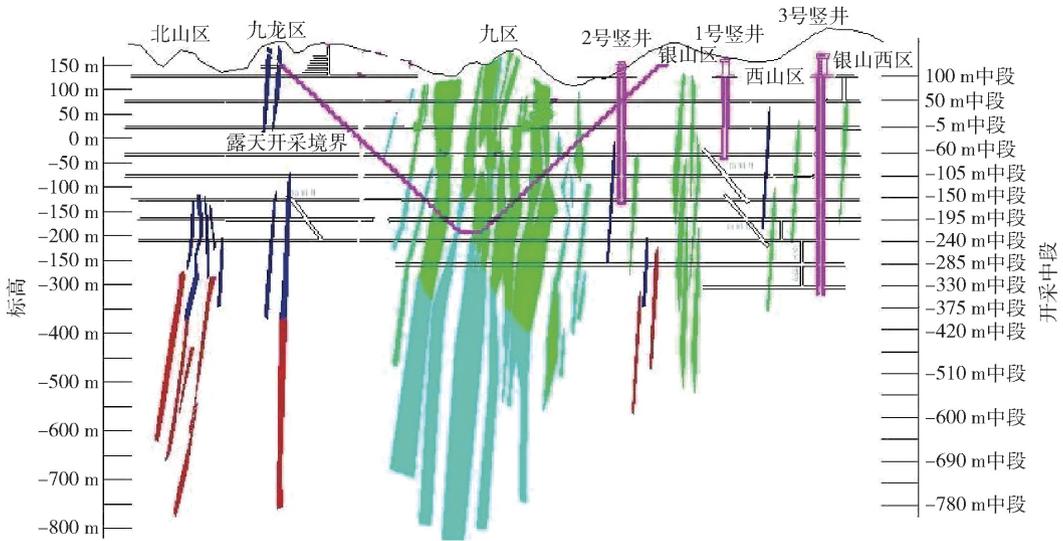


图3 现有地下开采开拓系统(2016年)示意图

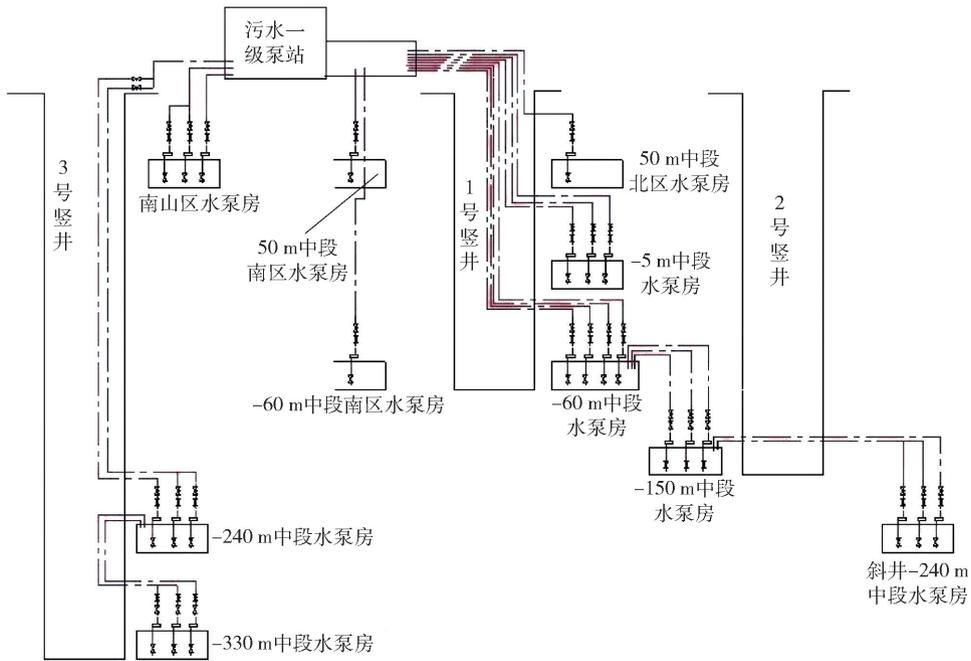


图4 现有坑内开采排水系统(2016年)示意图

量相应增加,在暴雨期间表现更明显。近几年旱季涌水量在 3 000 ~ 5 000 m³/d,最大涌水量可达 40 000 ~ 60 000 m³/d。根据主要泵站开泵小时推算的 2011 年 1 月 ~ 2015 年 6 月的日涌水量曲线如图 6 所示。其排水量曲线对应的露天坑开采深度为 +30 m 至 -48 m,正是井下空区比较集中的地段。露天坑暴雨汇水沿坑采巷道直接下灌。第一次是 2011 年 6 月 15 日,12 h 内降雨 210.3 mm。当时露天坑揭露了 +50 m 中段巷道和采空区,露天坑底无法存水,雨水汇集后直接进入坑采巷道,造成 -330 m 和 -285 m 两中段被淹,估算涌入井下的水

量约计 12 万 m³,本次水害是由于露天封闭圈尚未闭合,边坡截洪沟没有完工,导致周边大面积的汇水进入露天坑,露天坑又与揭露的井下工程贯通,洪水倒灌井下形成。2015 年 6 月 2 日,8 h 降雨量 241.2 mm,其间最大小时降雨量 72.6 mm,2 h 降雨量 117.3 mm,导致 -330 m 中段被淹。但此次暴雨期间,露天坑底已经具备一定的存排水能力,积水量约 5 万 m³,估算涌入井下的水量略小于 8 万 m³。露天边坡完善了截洪沟并发挥了截流作用,但井下各中段密闭墙、挡水墙、防水门设置及扩容后的排水泵站尚在建设中。

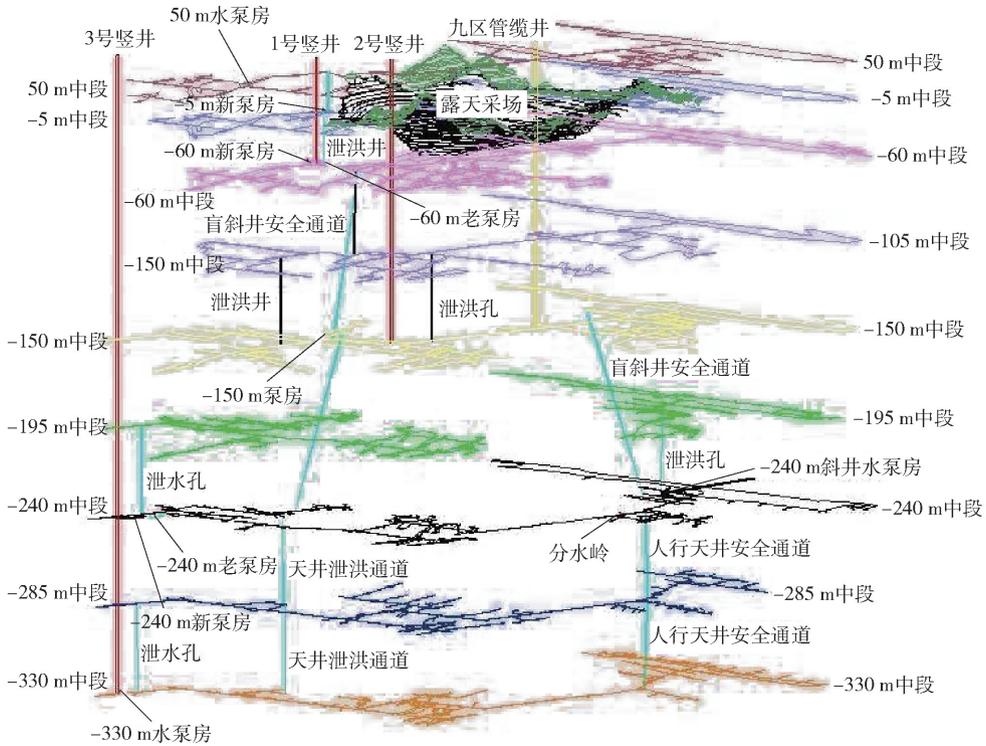


图5 露坑联合开采(2016年)复合示意图

表1 某矿2003—2006年井下排水量统计

单位: m^3/d

中段	2003年		2004年		2005年		2006年	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
-5 m	963.4	261.4	792.7	162.0	732.3	304.6	950.4	211.7
-60 m	1 194.5	257.0	855.4	254.9	1 041.4	308.9	1 062.7	319.7
-240 m	172.5	110.4	169.7	108.1	224.4	105.8	397.6	94.2
合计	2 330.0	629.2	1 817.8	525.9	1 998.1	719.3	2 410.7	625.6

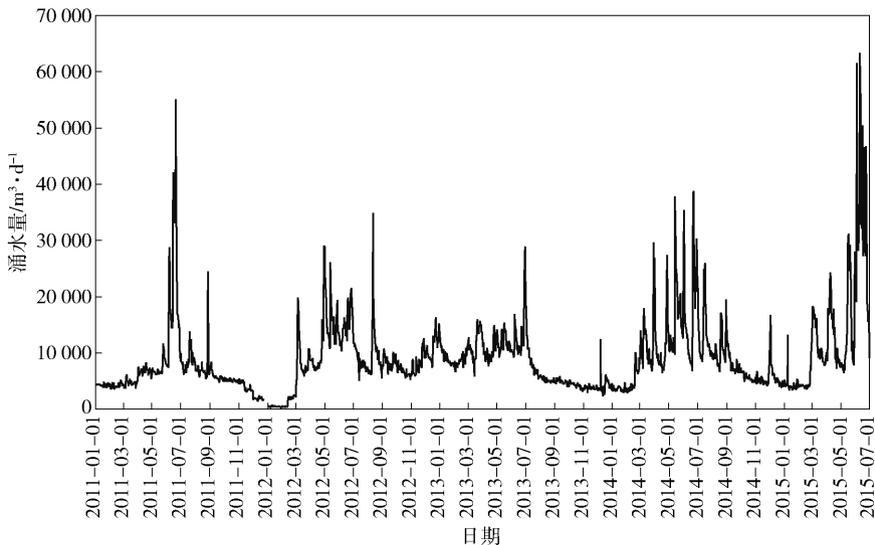


图6 某矿坑内日排水量曲线图

3.2 某矿坑内存留采空区调查分析

矿田内,九区露天开采时,井下早已在开采银山区、九区和北山区。由于坑内采用空场法回采,矿田内存留有大量的采空区,立体空间上有部分巷道和采空区位于露天采坑的下方和旁侧,梳理清楚遗留采空区存量及现状,为防止暴雨季节露天坑积水涌进井下造成淹井,采取合理措施提供依据。

根据1981年空区调查报告和1982年提交的采空区处理资料,截止1981年底,24年(1958年~1981年)来统计了大量采空区,据408个采空区统计,不包括巷道空区和老窿,空区体积达 $149.35 \times 10^4 \text{ m}^3$,具体情况见表2。

根据矿山历年出矿统计资料,自1982年至1993年底,总出矿量 $623 \times 10^4 \text{ t}$,其中与形成采空区有关的出矿量 $380.5 \times 10^4 \text{ t}$,折算成形成采空区体积

$127 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。对78条矿脉,182个采场的资料进行统计,1982年至1993年全矿共增加了 $82.44 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的采空区,由于统计资料有限,统计得到的采空区体积比折算的空区体积稍小。空区分布情况见表3。从表中结果可知,银山区采空区仍占主要部分,尤其是五矿带的采空区仍然比较密集。

表2 1958年至1981年底采空区情况

单位: m^3				
中段	某区(五矿带部分)	九区	北山区	合计
43 m 以上	346 647 (246 881)	150 974	66 217	553 838
-5 m	500 549 (180 459)	11 390	65 457	477 396
-60 m	393 925 (181 398)			
-105 m	58 347 (31 755)			
合计	1 199 463 (640 493)	162 364	131 674	1 493 506

表3 1982年至1993年底老采空区分布情况

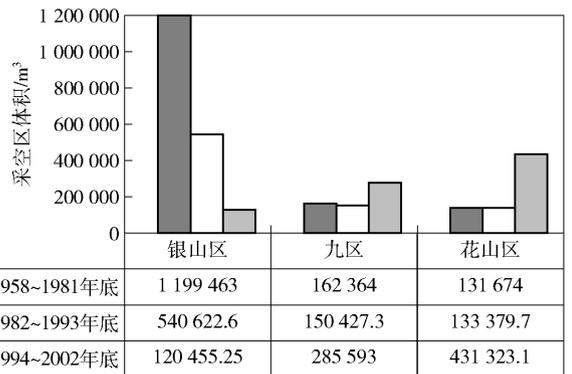
单位: m^3						
中段	银山区			九区	北山区	合计
	五矿带	四矿带	二矿带			
-5 m	70 080.7	9 388.8	24 334.8	130 006.6	121 426.4	355 237.3
-60 m	134 533.3	8 391.8	79 551	20 420.7	11 953.3	254 850.1
-105 m	66 939.2	5 602.9	117 806.6			190 348.7
-150 m	23 993.5					23 993.5
合计	295 546.7	23 383.5	221 692.4	540 622.6	133 379.7	824 429.6

根据矿山每个采场开采记录表,统计了自1994年至2002年底新增采空区的情况。按照1994年至2001年底采矿量 $361.9831 \times 10^4 \text{ t}$ 折算,应存在总体积达到 $120.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的采空区,由于原始资料不全,还有部分开挖空间未统计,如井巷空区等,因此统计结果比折算的结果偏小。但这部分空区已远离露天境界,露天回采与之不发生关系,只用作在井下现有工程中作防排水设施时的依据,不在此陈述。为了直观显现采空区分布规律及与时间的关系,根据统计表的结果绘制了各采区采空区体积与时间的关系图,具体如图7所示。坑内矿山独立高程-5 m中段平面与露天坑开采工程产生交汇的平面投影如图8所示、-60 m中段平面与露天坑交汇平面投影如图9所示、-105 m中段与露天坑交汇平面投影如图10所示、-150 m中段与露天交汇平面投影如图11所示。

3.3 矿田现场踏勘

现场踏勘调查知道,对地表露天开采有影响的

总汇水面积为 3.8 km^2 。露天采场境界以北有一条银山河,也已进行了河流改道,控制汇水面积约 2.4 km^2 ,拦截的降雨汇集后通过导流隧洞导入银山河下游,最终汇入洎水河。露天坑+72 m封闭圈截水沟包括北-西侧截水沟,南-东侧截水沟,东-北侧截水沟三条,北、西侧截水沟已基本形成,但断面和坡度尚不能满足要求,存在反坡沟段,完整封闭圈截水沟尚不完善。



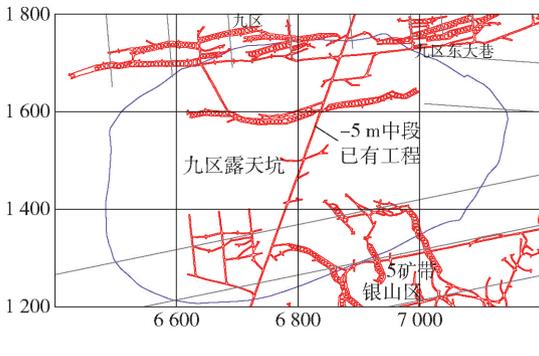


图8 -5 m中段与露天坑交汇平面投影

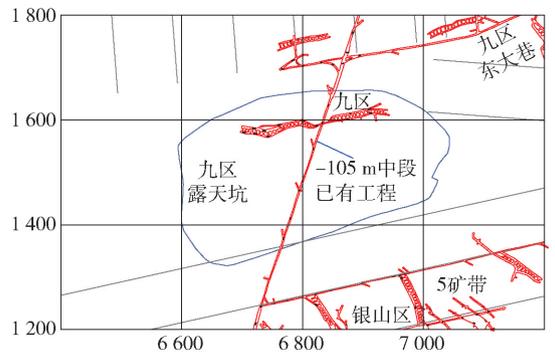


图10 -105 m中段与露天坑交汇平面投影

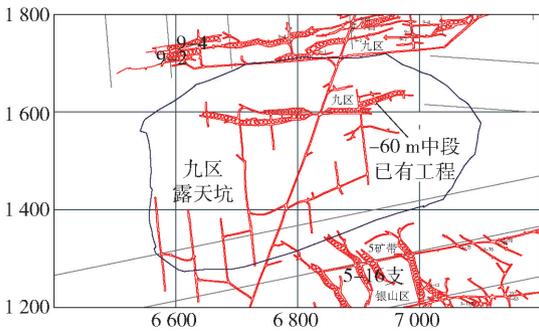


图9 -60 m中段与露天坑交汇平面投影

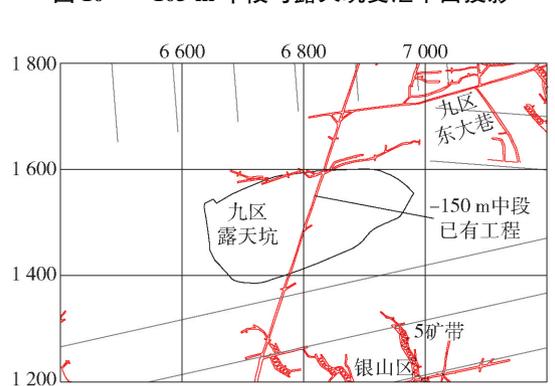


图11 -150 m中段与露天坑交汇平面投影

九区露天采场已进入凹陷露天开采,最低开采标高为-48 m标高平台(黄海高程);露天开采排水采用集中接力排水,目前,在+24 m、坑底-48 m设有排水泵站。-48 m泵站安装3台SDSH150-400

型水泵和1台CHZ150-250水泵,+24 m泵站安装2台300XSF90A型水泵和1台CHZ150-250水泵,水泵主要技术参数见表4。

表4 矿山现有露天临时泵房配置

地点	水泵型号	功率/kW	流量/m ³ ·h ⁻¹	扬程/m	台数/台
+24 m 泵站	300XSF90A	280	800	78	2
+24 m 泵站	CHZ150-250	160	390	74	1
-48 m 泵站	CHZ150-250	160	390	74	1
-48 m 泵站	SDSH150-400	220	390	110	3

井下开采的各矿段,开拓中段有+50 m、-5 m、-60 m、-105 m、-150 m、-195 m、-240 m、-285 m、-330共9个中段。随着地下开采下延伸,逐渐布设了

各中段、分区的排水设施,形成了地下多级接力排水系统,主要包括+50 m、-5 m、-60 m、-150 m、-240 m、-330 m中段,坑内各水泵房配置见表5。

表5 矿山现有坑内泵房配置(2015年前)

地点	水泵型号	功率/kW	流量/m ³ ·h ⁻¹	扬程/m	台数/台	排水高度/m	水仓容量/m ³
+50 m 水泵房	IS125-100-250A	55	185	68	2	45	4 500
-5 m 水泵房	200D-43 × 3	155	288	126	3	100	480
-60 m 水泵房	200DII-43 × 5	300	288	190	4	155	600
-60 m 南区水泵房	80DF-30 × 10	55	40	265	1	160	260
-150 m 水泵房	200D-43 × 3	155	288	126	3	90	450
斜井-240 m 水泵房	80DF-30 × 5	30	40	150	3	90	520
-240 m 水泵房	DF155-67 × 6	290	155	402	3	335	600
-330 m 水泵房	80DF-30 × 5	30	40	150	3	90	450

4 防排水设计与设施建设

4.1 防排水设计路线

在大量的调研工作基础上,基本上梳理清楚了,两次雨季洪水倒灌井下造成安全危害的关键因素:①露天封闭圈截水沟不完善,没有形成闭环,致使雨季洪水涌入露天坑内,超出露天坑排水能力;②矿田内存在大量巷道、采空区,露天坑与原有坑内开采工程贯通后,没有有效及时封堵通道口,致使露天坑积水进入井下,经各中段巷道、竖井石门、接力斜井,下泄到深部生产水平;③井下排水系统布局分散、能力偏小,多为接力排水,水仓容积小,洪水倒灌井下时,多处接力泵站,表现为无效循环抽排水。

针对问题,设计的总体原则是:露天坑周边汇水,利用露天边坡截洪沟把水导流到露天坑外排水系统;露天坑内汇水,利用露天坑排水设施排放,并合理安排露天采掘计划,尽量做到在旱季揭露已存在的井下巷道工程,做好封堵工作。对于通过露天坑揭露的巷道泄入井下的涌水,在井下利用挡水墙、密闭墙、防水门及泄水通道,疏通到新建排水泵站,再排出地表,重点是井下的防排水^[3-4]。

鉴于矿山露坑同时开采,井下有9个中段,接力排水系统分散,排水能力有限,还要在不间断矿山生产的状况下,尽早形成抗击最大涌水的露坑防排水能力,因此已有的排水泵站改进期间不能全部废弃,还必须有选择的加以利用,并辅以新建排水系统,共

同承担矿山的排水任务。

经水文地质预测矿山最大涌水量为12万 m^3/d 。其中露天为4万 m^3/d ,坑内为8万 m^3/d 。井下设计新建两级排水泵站,第一级泵站设在-60 m中段,能力4万 m^3/d ,排水管路由1#竖井排出地表,基于该标高以上集中了众多浅部采矿巷道、采空区,故坑内涌水不大于4万 m^3/d 时,应尽量在上部排出地表,一则可节省排水费用,再则涌水大于4万 m^3/d 时,延迟涌水下泄;第二级泵站设在-240 m中段3#竖井附近,能力也是4万 m^3/d ,通过排水钻孔直接排出地表,坑内总排水能力为8万 m^3/d 。新建两级泵站完成后,-60 m以上仅留用-60 m原有泵站,-60 m~-240 m原排水系统不再用,最低-330 m中段排水泵站仍需要保留。

4.2 防排水设施施工建设

在通盘梳理矿山露天及井下已有工程后,用废石和混凝土封堵露天与井下贯通通道(包括已存在的和将来发生的);对井下原有+50 m、-5 m、-60 m、-105 m、-150 m、-195 m、-240 m、-285 m、-330 m九个中段,共设置了13堵挡水墙,19堵密闭墙,7座防水门,并回填了一条地表通达-60 m中段的2#竖井,在-60 m、-240 m中段各新设置了一座4万 m^3/d 排水能力的泵站,排水管道直达地表,形成井下8万 m^3/d 的总排水能力。施工建设于2018年完工,2019年通过验收,至今运行平稳。现行矿田排水系统如图12所示。

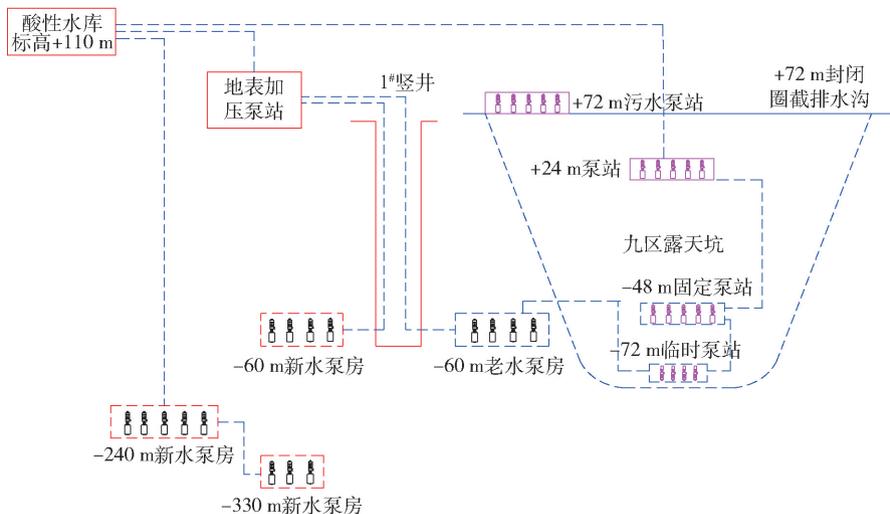


图12 矿田排水系统

4.3 预防水害辅助措施

(1)雨季前应对陷落区及其附近沟段进行检查,发现破坏的要及时修复。适当调整道路的路面

标高与截水沟坡度一致,进一步减少截水沟渗水对边坡的影响。定期检查境界内截水沟、银山河改道隧洞(尤其是上游进口)、塌陷区治理截水沟等地表

截水工程的有效性,暴雨季节必须有专人巡防,及时清淤和修复,排除积水和堵塞隐患。

(2)雨季时,早期勘探未封密实的钻孔对矿山坑内涌水将产生一定影响。应在开采揭露后进行判断并即时封堵,提高矿山汛期整体防水安全。

(3)暴雨是对矿山排水安全的最大威胁。应在露天采场附近设立雨量站。根据雨量大小采取相应的应对措施。当日暴雨雨量达50 mm以上时,地表截洪沟,井下防水门责任人到位。协调调度露天和井下排水能力,加快排除水仓积水。日暴雨量超过100 mm时,最低中段人员应撤离。日暴雨量超过200 mm时,停止全部采矿生产,全力应对洪水。

(4)为了预防水害事故发生,最大程度的减少伤害、降低水灾危害程度,矿山开拓过程中设立应急指挥部,一旦发生灾情,迅速启动统一协同调度。遇紧急情况时,可及时启动应急防洪预案,关闭防水闸门,及时撤离人员,保证人员安全。日常应注意定期对防水门的检修和组织人员进行防洪演习排练。

(5)出现异常涌水,应立即安排专业人员实时监测,调查水的来源、水量,查明后立即向指挥部汇报。指挥部根据情况采取相应措施组织救灾工作。在抢险救灾期间,指挥部所属各部门,按各自职责,做好抢险救灾工作。根据水量的大小和矿井排水能力,积极采取堵、疏、截、排等治水技术措施。

5 结论

本文中矿山属于矿种相对较多,多条矿脉相对

集中的矿田,其开采时间跨度长(>60年),各矿种开采在时间安排上存在先后顺序,其中铅、锌、银矿床采用地下开采在先,并积累了大量的地下巷道及空区;铜金硫矿床后期采用露天开采,形成了露天与地下多中段联合开采模式。露天生产揭露了已有的井下工程,造成了露天坑、地下矿之间存在贯穿通道的状况,面对矿山出现水患隐情和复杂的排水环境,探索出了有效的应对措施:首先是掌握区域和矿区水文地质情况及规律,排查井下已有工程分布状况,预判露天、井下贯通位置,提前对巷道及空区进行封堵,隔离露天与井下水力联系,并加大井下泵站排水能力建设;露天坑强化了露天边坡截洪沟汇水导流到露天坑外排水系统,安排在非暴雨季节揭露地下工程,优化了露天坑排水系统,矿山采用堵、疏、截、排等治水路线效果是明显的。

[参考文献]

- [1] 《采矿设计手册》编委会. 采矿设计手册·矿床开采卷(下) [M]. 北京:中国建筑工业出版社,1989.
- [2] 于润沧. 采矿工程师手册[M]. 北京:冶金出版社,2009.
- [3] 李鑫金,闫广林,王仰俊. 山西铝厂供排水现状及对策[J]. 有色冶金节能,2001(1):27-29,26.
- [4] 陈小兵. 马坑铁矿控制疏干法治理水窄窖实践[J]. 采矿技术,2022,22(2):80-84+109.