

# SICOMINES 铜钴矿开采阶段地下水 变化规律研究

Studying on the Variation Law of Groundwater in Mining Stage of SICOMINES  
Copper-cobalt Mine

宫明山, 谭立维, 杨成志, 李依航(中铁资源集团有限公司, 北京 100039)

**摘要:**以刚果(金)SICOMINES 铜钴矿为背景,通过分析矿区水文地质条件、矿区 1976—2022 年地下水流场演变特征和排水数据,对矿区水位变化规律进行深入研究,结果表明地下水动态变化特征是以侧向补给为主、降水为辅;排水以补给量为主、储存量为辅。地下水流动以管道流为主、渗流为辅,含水层之间联系密切,地下水渗透阻力小,坡度缓,连通性好,下部含水层排水能降低不同含水层水位。地下水系统主要由缝、洞构成,存在以空洞为汇集的地下水主径流带,矿区为构造控水。

**关键词:**露天采矿;地下水;径流;渗流;水流场

**中图分类号:** TD742 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2023)01-0035-06

**Abstract:**The SICOMINES copper cobalt mine in Congo (Kinshasa) was selected as research background. Through analyzing the hydrogeological conditions of the mining area, the evolution characteristics of groundwater flow field and drainage data from 1976 to 2022, the law of water level variety were studied in depth. The results indicate that the dynamic variation characteristics of groundwater were mainly dominated by lateral recharge, followed by precipitation, and Drainage is mainly dominated by supply, followed by storage. The groundwater flow is dominated by pipeline flow and supplemented by seepage, close connection between aquifers, low groundwater seepage resistance, gentle slope, good connectivity, and the drainage of the lower aquifer can reduce the water level of different aquifers. The groundwater system is mainly composed of fractures and caves, and the main groundwater runoff zone is collected by cavities, groundwater is controlled by geological structure.

**Key words:** opencast mining; groundwater; runoff; seepage; water flow field

## 1 前言

露天坑汇集暴雨水量大,短历时洪峰量大<sup>[1]</sup>,若不能持续有效的做好露天矿山疏干、防排水工作,会对露天开采作业构成威胁甚至是危害。露天矿山的防排水工作,是预防和降低水害、保证生产安全和提高生产效率的先决条件<sup>[2]</sup>和有效途径,目前国内常用的排水方式一般有自流排水、采场底部集中排水<sup>[3]</sup>、采场内分段截流固定泵站排水<sup>[4-5]</sup>、井巷排水<sup>[6]</sup>和联合排水等。矿山排水往往导致一定范围内浅层地下水水位下降,地表水下渗补给量增大,土壤含水率降低,打破了水资源在天然条件下的动态平衡<sup>[7-10]</sup>,为深入研究矿山地下水补给机理,矿区水文地质资料的收集整理尤为重要<sup>[11-12]</sup>,本文通过

分析 SICOMINES 铜钴矿区开采以来地下水位监测数据、水文地质条件来探究矿山生产过程中地下水变化特征;考虑 SICOMINES 铜钴矿当前排水模式技术条件可行、经济效益良好,根据矿区地质条件和地下水变化规律,针对矿山采深增加面临排水成本上涨的难题,提出了两坑泵站接力排水的新思路,对当地类似地质条件下露天矿山防排水工作和地下水保护工作有重要的借鉴意义<sup>[13]</sup>。

## 2 工程概况

SICOMINES 铜钴矿是在原迪马矿区停产 18 年后原址上新规划的露天矿。矿区内含水层分布较多,地层岩性结构差异大,导致含水层透水性强弱不均,垂向上含水层强弱交替分布。区内构造发育,岩层破碎,各含水层之间存在一定的水力联系,整体上属于水文地质条件复杂矿山<sup>[14-15]</sup>。

矿区排水经历了三个阶段。迪马矿区排水采用疏干井为主与坑下排水为辅相结合联合疏干方式;

[作者简介] 宫明山(1969—),男,辽宁铁岭人,高级工程师,主要从事矿山采矿选矿地质技术管理工作。

[引用格式] 宫明山,谭立维,杨成志,等. SICOMINES 铜钴矿开采阶段地下水变化规律研究[J]. 中国矿山工程,2023,52(1):35-40+53.

1995年迪马矿山停产,历时18余年,原迪马矿形成了两个充水矿坑 DIKULUWE 露天矿坑、MASHAMBA OUEST 露天矿坑,分别简称 D 坑和 M 坑,具体如图 1 所示,两坑积水量近 1.2 亿 m<sup>3</sup>,2013 年 6 月—2014 年 6 月 SICOMINES 铜钴矿基建期使用浮船泵站对积水进行高强度排除;强排工程结束后,采用坑下排水为主、疏干井疏干为辅相结合的疏干方案<sup>[16-18]</sup>。

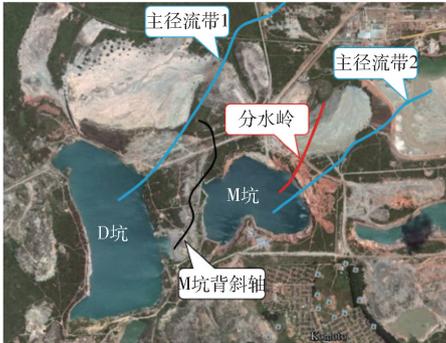


图 1 2009 年 D 坑和 M 坑

### 3 矿区水文地质特征

#### 3.1 矿区地层

矿区出露地层较为简单,主要为新元古界一套浅海相细碎屑岩和化学沉积岩的罗安群地层。第四系、新近系在近地表广泛发育。

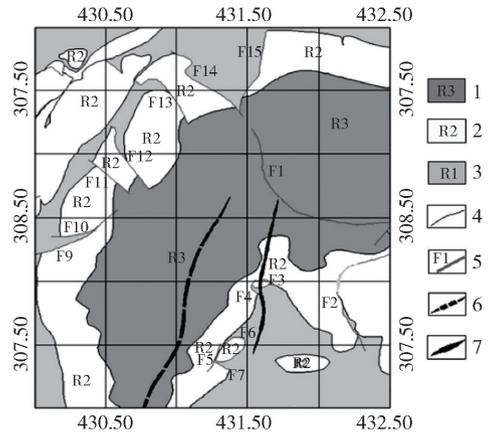
图 2 所示为地质构造图,罗安群为区内主要地层,分为 R1(RAT)组、R2(矿山)组和 R3(RGS)组,本区 R4 组缺失。罗安群层厚度 > 500 m。上部岩层(RGS、CMN、部分 SDS、BOMZ)常受构造作用破碎呈砂状、次棱角状、浑圆状角砾状,中下部岩层(部分 SDS、BOMZ 以及大部分 SDB、RSC、RSF、RAT)较为完整。

#### 3.2 矿区构造

本区受区域构造影响明显,矿区主构造线方向为北北东 10°~30°,在构造、断裂发育部位矿化富集,矿体厚度增大。矿床主要集中在矿区南部,构造相对简单,主要构造为褶皱构造、断裂构造,以及层间断裂、次级节理、裂隙等。

#### 3.3 断裂构造

本区的断裂构造发育,主要分为区域性的逆冲推覆断裂、次级逆断层(F1、F2)、位于次级褶皱之背斜轴部、向斜轴部及其之间的陡倾翼的断裂构造(F3~F8)、边部叠瓦式断裂(F9~F15)、层间断裂。主构造与次级构造之间具有衍生关系。



1—白云质粉砂岩; 2—含黏土滑石白云岩、粉砂岩、白云质页岩、硅化白云岩; 3—粗粒长石砂岩、砾岩; 4—地质界线; 5—断层及编号; 6—向斜构造; 7—背斜构造

图 2 SICOMINES 铜钴矿区地质构造简图

#### 3.4 矿区水文地质

矿区处河流汇水盆地内,河流自南向北贯穿全区,区域汇水面积 250 km<sup>2</sup>。区内降水充沛,矿区含水层系统为多层结构,透水性不均一,强弱相间,主要含水层为上部 CMN 弱硅化白云岩岩溶裂隙含水层和下部 RSC 蜂窝状硅化白云岩岩溶裂隙含水层。地下水补给主要为大气降水入渗补给、区域地下水侧向补给和地表水渗漏补给,排泄方式主要为河流基流、人工开采、侧向径流排泄和蒸发,天然状态下,矿区地下水接受区域地下水侧向补给后,自东南向西北径流。矿区内以往开采形成的露天采场切穿主要含水层并大量集水,采场积水增加矿山疏干排水难度。矿区水文地质条件复杂。

### 4 迪马矿联合疏干阶段地下水情况

#### 4.1 工程背景

迪马矿 D 坑露天矿于 1975 年开始露天开采,于 1992 年 12 月停产,露天底部标高为 1 260 m,露天采场上部边缘平均标高为 1 415 m,采矿深度达到 155 m;M 坑露天矿于 1978 年开始露天开采,于 1995 年 9 月停产,露天坑底部标高为 1 281 m,上部边缘平均标高为 1 415 m,采深达 134 m。

迪马矿区自 1977 年开始排水至 1990 年,排水总量逐年增加,1991 年至 1996 年末排水量逐年递减。其中,M 坑于 1985 年开始快速降深,使用浮筏泵排水后,M 坑排水能力明显增加,具体如图 3 所示;两坑在 1981 年和 1987—1989 年两个时间段开采停滞导致排水量减少。迪马矿 D 坑 1975—1988

年采坑降深速度稳定,1988—1990年加速降深后直至1992年停产;M坑1984—1987年降深速度较快,此时排水量也逐年增加,1987年后采坑降深速度逐渐降缓直至停产。迪马矿1990年前以疏干井疏干排水为主浮筏泵排水为辅,1990年后直至停产这段时间以浮筏泵排水为主疏干井疏干为辅助。

## 4.2 数据分析

迪马矿区1977—1996年总排水量4.44亿 $\text{m}^3$ ,其中疏干井排水量占60%,坑下明排量占40%,D坑排水量约占总排水量的83%,M坑约占17%。1992年以后基本以明排为主,具体排水情况如图3、图4所示。

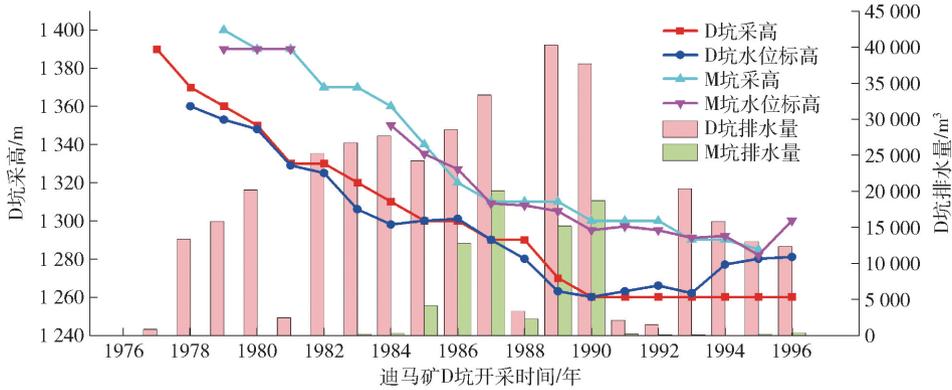


图3 迪马矿区1976—1996年两坑排水量和水位规律

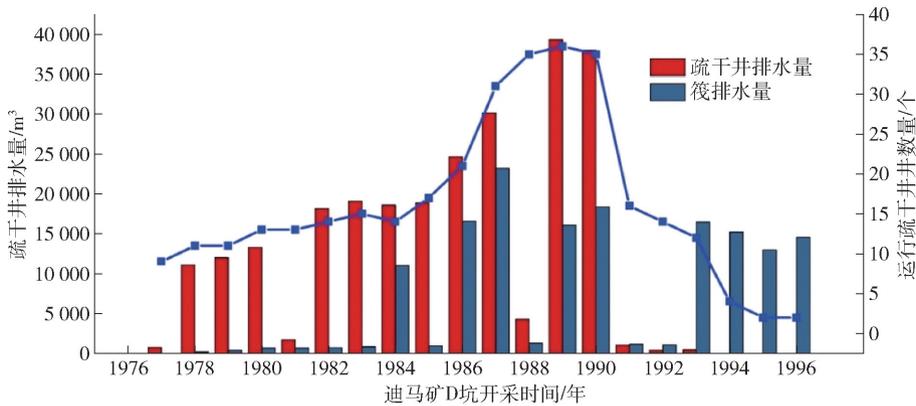


图4 迪马矿区1976—1996年井-筏排水量变化规律

D坑1975年施工5口疏干井并投入使用,后续逐年增加,1989年达到峰值36口,最大排水量年出现在1989年,年排水4246万 $\text{m}^3$ ,日均排水11.68万 $\text{m}^3$ ,1990年后疏干井运行数逐年下降,1993年停运。

M坑1984年开始坑下排水,采用浮筏泵,防洪兼做处理残余水。筏最大排水量发生在1987年,年排水2318万 $\text{m}^3$ ,日均6.35万 $\text{m}^3$ 。

(1)1975—1992年矿山稳定生产期间,两坑采深增加。两坑整体水力坡度增加,排水量随着采深增加呈现逐渐增加的趋势,排水强度提升。

(2)地下水进入主要沿 $\text{N}76^\circ\text{E}$ 和 $\text{N}32^\circ\text{E}$ 两个方向进入采场。 $\text{N}76^\circ\text{E}$ 方向汇入M坑,水力坡度极小,仅为0.58%, $\text{N}32^\circ\text{E}$ 方向汇入D坑,水力坡度在3.20%~7.87%。D坑水力坡度大于M坑,两坑整

体水力坡度均不大,反映出地下水连通条件好,渗透能力强。

## 5 坑下强排水阶段地下水演变规律

### 5.1 工程背景

强排阶段,采用浮船(筏)泵站排水,D坑设置D1、D2两组泵站8台水泵,M坑一组泵站,6台水泵,具体如图5所示。水泵为KWPSA400-710型无堵塞离心泵,功率800kW,流量900~3000 $\text{m}^3/\text{h}$ 。2013年6月5日、6月20日D坑和M坑分别开始排水。2014年1月下旬,D2泵站垂直高程达70余m,开始串联排水。2014年6月,串联泵业已达到扬程极限,陆续更换为6台YOS300-700型扬州泵进行排水,其中M坑安装2台,D坑安装4台。2014年6月末,M坑水位降至1314m水平,坑底出露,累

计降深91.92 m;2014年9月末,D坑水位降至1270 m,D坑出露,累计降深128.4 m,至此,坑下强排水工程结束。累计排水1.56亿 $\text{m}^3$ ,其中M坑排水0.63亿 $\text{m}^3$ ,D坑排水0.93亿 $\text{m}^3$ 。

2014年投入10口疏干井进行疏干排水,至强排结束,累计排水1072万 $\text{m}^3$ 。



图5 强排阶段示意图

## 5.2 地下水流场演变规律

如图6a所示,2013年6月强排开始,2013年5月流场图显示,地下水主要沿 $\text{N}45^\circ\text{E}$ 和 $\text{N}17^\circ\text{W}$ 方向汇入D坑,沿 $\text{N}20^\circ\text{W}$ 方向汇入M坑;2014年9月强排工程完成,2014年12月流场图显示,地下水主要沿 $\text{N}69^\circ\text{E}$ 、 $\text{N}46^\circ\text{E}$ 和 $\text{N}82^\circ\text{W}$ 方向汇入D坑,沿 $\text{N}28^\circ\text{W}$ 方向汇入M坑。

与迪马矿山时期采场地下水流场图相比,两坑水力梯度随着排水深度增加逐渐加大,同时汇水路径增多。2013年5月地下水从三个方向汇入采场内,水力坡度在1.09%~3.81%,水力坡度较小;2014年强排完毕之后,地下水从三个方向汇入D坑,主要从一个方向汇入M坑,除 $\text{N}82^\circ\text{W}$ 方向汇入D坑的水力坡度为7.29%外,其余三个方向水力坡度均在13.25%~17.80%。

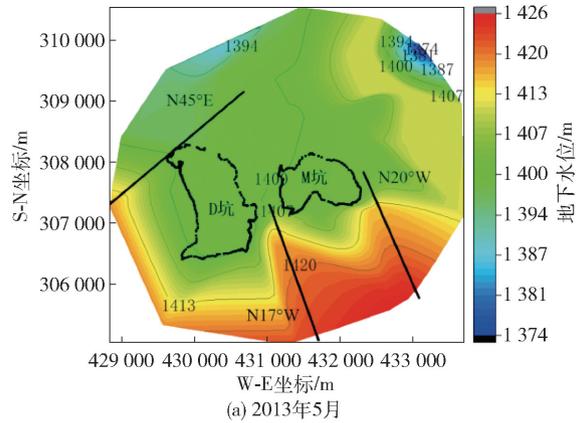
M坑中,存在SDS岩组白云质页岩,平均涌水量200~400 $\text{m}^3/\text{h}$ ;SDS—RAT地层破碎,受岩溶和潜蚀影响,地下水形成地下河通道涌入,具承压水性质,涌水量1000~1300 $\text{m}^3/\text{h}$ ,上述两种岩层为M坑地下水主要来源;D坑主要涌水为岩溶裂隙水,除北帮外,其他边帮岩性均为RAT地层,地下水疏干后对边坡影响不大,采剥临近终了时,北帮岩层逆倾,主要含水层为RSC岩组硅化白云岩,非软弱岩层,对边坡影响不大。

综上,强排工程结束后,矿区的稳定流场形态及矿坑涌水量与迪马时期水文地质特征高度契合。

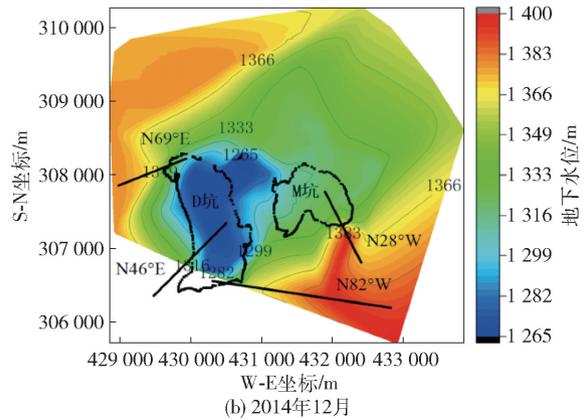
## 6 现行排水模式下地下水位演变规律

### 6.1 工程背景

强排工程结束后,D坑和M坑延续以浮筏泵坑



(a) 2013年5月



(b) 2014年12月

图6 地下水流场图

下排水为主,疏干井疏干为辅的联合疏干模式疏干。

图7所示为2013年5月—2022年8月月度排水量总览图。2013年和2014年年排水量较大,分别为7001万 $\text{m}^3$ 和9655万 $\text{m}^3$ ;2015年起至2020年年底,两坑排水量差距不大,2020年底M坑一期生产结束后形成两坑接力式坑下排水为主疏干井疏干为辅的联合疏干模式,为进一步探究最佳接力水头差,M坑水位维持在1260 m水平,因此2021—2022年D坑排水量略高于M坑。

强排工程结束后,随着采深增加,排水量并非一直增加,年排水总量趋于稳定。年度排水量最小值为2969万 $\text{m}^3$ ,最大值为3562万 $\text{m}^3$ ,出现排水总量以3200万 $\text{m}^3$ /年为中轴线来回波动的情况。各年月度排水量未出现旱季雨季分明的情况,年度排水量整体变化不大。

(1)强排结束后,采坑范围内,揭露多层级地下水,开采过程中对采坑水量形成递进式补给,下一含水层揭露之前,已出露含水层水量补给渐趋平衡,年排水量趋于稳定。

(2)地下水补给量和年排水量稳定,坑下排水以相对较小的排水量即可达到疏干效果。

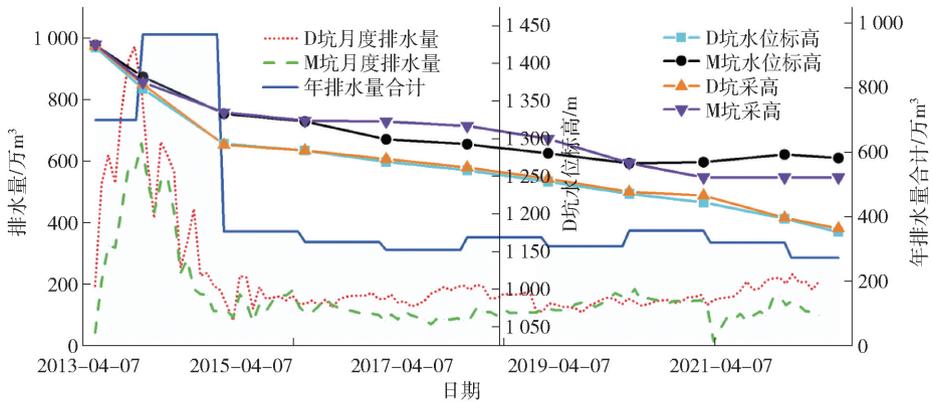


图 7 2013—2022 年排水量总览

### 6.2 地下水位变化规律分析

为进一步探究采场范围内地下水流场的变化情况,对采场新勘探线 X600S 剖面(图 8 所示)2013—2018 年水位变化情况进行了观察。

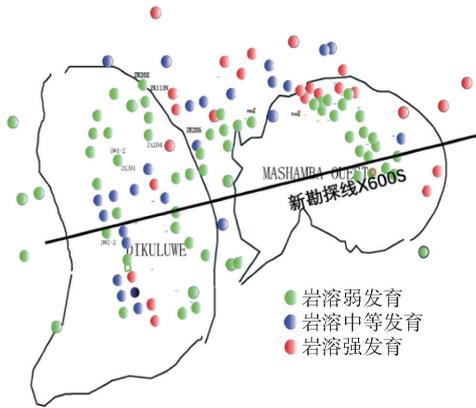


图 8 新勘探线 X600S

观察图 9 中 X600S 勘探线剖面地下水位 2013—2018 年的变化情况发现:

(1)2013—2014 年 12 月水位发生巨大变化,主要受到强排工程影响地下水位迅速降深,2014 年后,采坑地下水位随采坑降深而匀速降深,地下水位线变化趋势稳定,表明下部含水层与上部含水层联系紧密,下部水位降深可以疏干上部含水层,印证了下部含水层透水性更强。

(2)D 坑和 M 坑之间水力梯度不连续,其主要受到两坑间 M 坑背斜轴和 F<sub>2</sub> 断层影响,造成地层重复出现。在断层影响带内,岩溶和潜蚀共同作用下,形成进入 M 坑涌水通道,构成东部、东北部强径流带,具体如图 9 所示;D 坑层间断裂带发育,造成岩溶发育,构成 D 坑北部强径流带,为进入 D 坑主要通道。

### 6.3 地下水流场演化规律

强排工程开始前地下水主要从三个方向汇入采

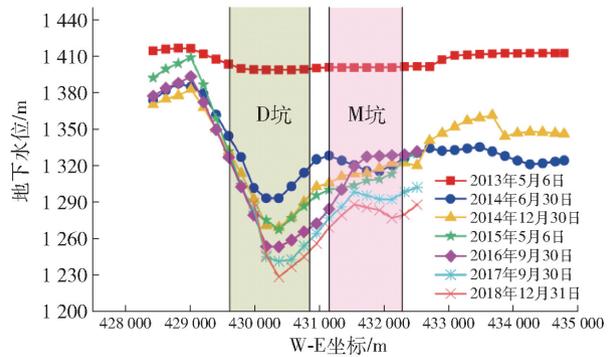


图 9 新勘探线 X600S 地下水位剖面

场,强排工程结束后采场正常生产历时 5 年,矿区地下水形成了较为稳定的流场。如图 10 显示,采坑周围降水范围内,地下水主要在强径流带运移,地下水以侧向补给为主,地表降雨入渗为辅,排水以补给量为主,储存量为辅,侧向补给推断为通道性质为主,而非从各个方向汇入 M 坑及 D 坑。采场周围存在由地质构造控制的主要进水方向。

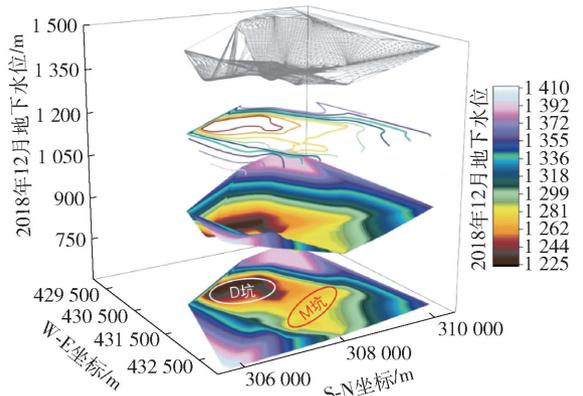


图 10 2018 年 12 月地下水三维流场

2015—2018 年,采场进入持续匀速降深阶段,期间地下水流场随采场降深并无太大变化。值得注意的是,图 11a 至图 11d 所示流场图演化情况再次

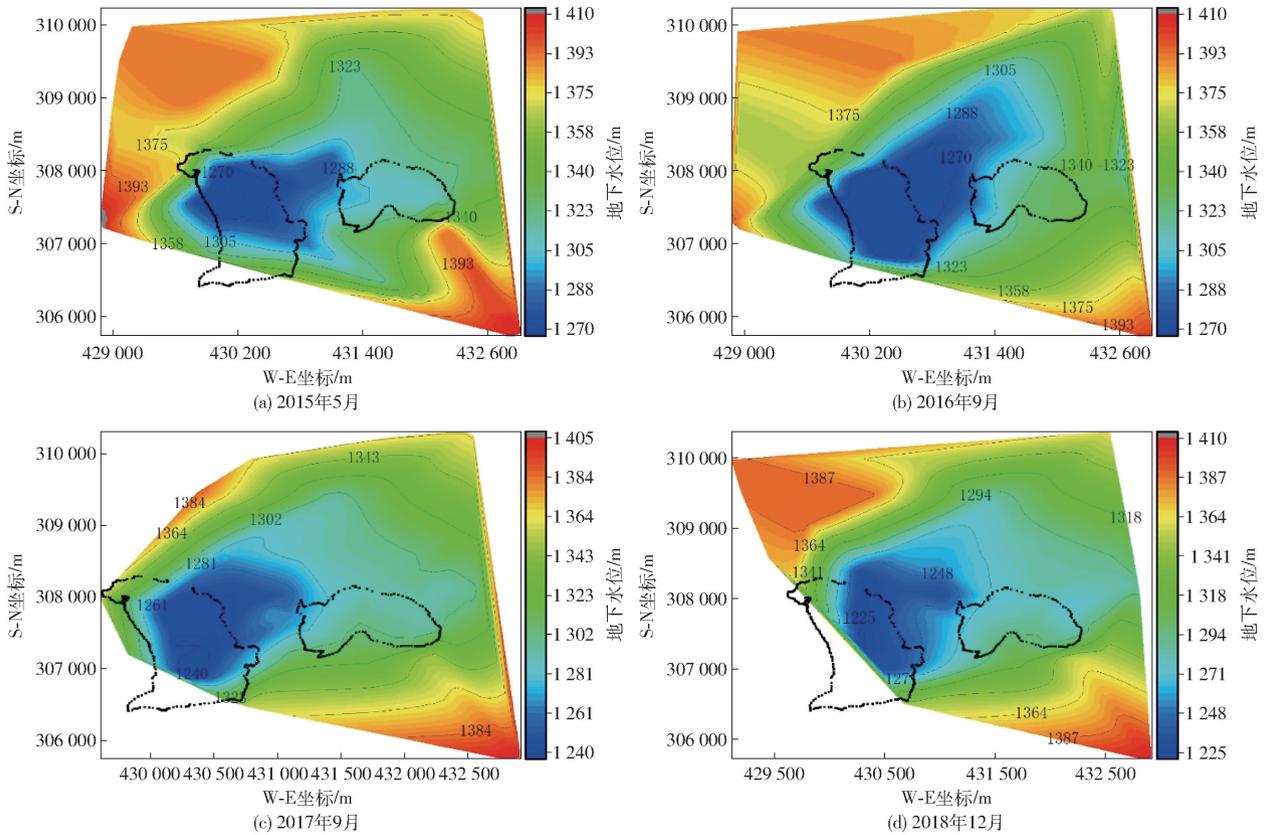


图 11 采场地下水流场演化

印证了  $F_2$  断层控制形成东部及东北部强径流带; M 坑背斜轴具有一定的隔水作用,使得 D 坑和 M 坑中部之间水力梯度变化不大,除涌水通道外,其他地层完整坚硬,为隔水层。

### 6.4 矿区水治理

现阶段采用以浮筏泵坑下排水为主,疏干井疏干为辅的联合疏干模式疏干。与疏干井排水为主比较,现有排水模式资金投入少、施工难度低、运行维护难度和成本低。矿区地下水涌水量稳定在 11 万 ~ 15 万  $m^3/d$ , 现行排水模式能够满足矿山排水需求。区内水力坡度小,散水头少,现有疏干井能够收集残余水头。设计施工 44 口疏干井,钻探工程量 14 557 m,实际施工 14 口,钻探工程量 5 322 m,结余 2 383.4 万美元。

D 坑持续降深,扬程增加,需要增设三级接力泵站,排水成本增加。结合 M 坑停产后形成的 1 260 m 水平集水坑及 M 坑现有排水设备来探究 M 坑背斜对两坑间水力坡度的影响范围。通过合理控制 M 坑水位的方法,减少 D 坑涌水量,最终形成以浮筏泵坑下排水为主两坑接力式排水的疏干模式,达到降低矿山排水成本的目的。

## 7 结论

深入分析矿区地质条件及矿山排水模式,得出以下结论:

- (1) 矿区整体水力坡度小,渗透能力强,地下水连通条件良好。地下水流动以管道流为主、渗流为辅。
- (2) 采坑周围降水范围内,地下水主要在强径流带运移,地下水以侧向补给为主,地表降雨入渗为辅,排水以补给量为主,储存量为辅。
- (3) 矿区由构造控水,地下水系统主要由缝、洞构成,存在以空洞为汇集地下水的主径流带。
- (4) M 坑背斜轴具有一定的隔水作用。
- (5) SICOMINES 铜钴矿区形成以浮筏泵坑下排水为主两坑接力式排水的疏干模式,能达到降低矿山排水成本的目的。

### [参考文献]

[1] 刘景秀. 深凹露天转地下开采矿山防排水措施的探讨[J]. 非金属矿, 2001(4): 40-41.

[2] 董菊美, 字成周. 凹陷露天矿山排水方案优化研究[J]. 中国矿业, 2019, 28(S1): 340-342.