

河北滦县-滦南县段滦河冲积平原水文地质特征分析

杨庆洪¹, 左文喆², 祝 彬³

1. 吉林大学 应用技术学院, 吉林 长春 130022; 2. 华北理工大学, 河北 唐山 063009;
3. 自然资源部东北矿产资源监督检测中心, 辽宁 沈阳 110032

摘 要: 滦县-滦南县段滦河冲积平原铁矿群司家营铁矿区、马城铁矿区、坎上铁矿区、常裕铁矿、高官营铁矿总储量达几十亿吨, 均覆盖有巨厚的第四系含水层, 水文地质条件复杂, 一直未能开采, 成为“大水呆滞金属矿”, 被视为开发过程中可能对区域水文地质环境造成较大影响的大水矿区, 列为限制开采区, 至本世纪初才相继解限投产。通过对司家营铁矿北区、司家营铁矿南区、马城铁矿区、坎上铁矿区、常裕铁矿、高官营铁矿等 6 处矿山的水文地质条件的分析, 论述了滦县-滦南县段滦河冲积平原的水文地质特征。

关键词: 冲积平原; 大水矿床; 水文地质条件; 第四系含水层; 河北省

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyz.2020.04.011

ANALYSIS ON THE HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LUANHE ALLUVIAL PLAIN IN LUANXIAN-LUANNAN SECTION, HEBEI PROVINCE

YANG Qin-hong¹, ZUO Wen-zhe², ZHU Bin³

1. School of Application Technology, Jilin University, Changchun 130022, China;

2. North China University of Science and Technology, Tangshan 063009, Hebei Province, China;

3. Northeast China Mineral Resources Supervision and Testing Center, Ministry of Natural Resources, Shenyang 110032, China

Abstract: The total reserves of the iron deposit group in Luanhe alluvial plain of Luanxian-Luannan section, including Sijiaying iron orefield, Macheng iron orefield, Kanshang iron orefield, Changyu iron mine and Gaoguanying iron mine, amount to billions of tons. All of them are covered with huge thick Quaternary water-bearing bodies. Mining is impossible due to complex hydrogeological conditions. Being watery unminable metal ore fields, they have been regarded as the water-abundant mining areas that the regional hydrogeological environment might be greatly affected in the exploitation, and labeled as restricted mining areas. It is not until the beginning of the 21st Century that these mines are put into production successively. By analyzing the hydrogeological conditions of the iron deposit group, the paper discusses the hydrogeological characteristics of Luanhe alluvial plain in Luanxian-Luannan section.

Key words: alluvial plain; watery deposit; hydrogeological condition; Quaternary aquifer; Hebei Province

0 引言

滦河自河北省丰宁县小梁山发育, 流经迁西县、迁

安市、卢龙县、滦县、昌黎县等多个地区, 在乐亭县注入渤海。其中, 滦县-滦南段为滦河下游河口段, 河谷宽

收稿日期: 2020-02-20; 修回日期: 2020-07-13. 编辑: 张哲.

作者简介: 杨庆洪(1964—), 男, 副教授, 主要从事水文地质与工程地质教学与科研工作, 通信地址 吉林省长春市南湖大路 5372 号, E-mail//ccyangqh@163.com

阔,地形变缓,大量新生界泥沙沉积物在山前堆积,建造了极为广阔的两级阶地和河漫滩,形成大范围的滦河冲积平原(图1)。自20世纪50年代末至2000年前后,滦县-滦南县段滦河冲积平原区已查明鞍山式沉积变质铁矿石赋存量多达几十亿吨,仅司家营铁矿区查明铁矿石总储量就有 23.48×10^8 t,为我国三大铁矿区之一。滦县-滦南县段滦河冲积平原虽富集相当可观的铁矿石储量,具有不可限量的市场前景。然而,这几十亿吨铁矿石却被巨厚的强富水第四系沉积物覆盖,水文地质条件复杂,成为“水下呆滞金属矿床”,在本世纪初一度被视为是“开发过程中可能对区域水文地质环境造成较大影响的大水矿区”,被资源管理部门列为限制开采区。为此,笔者通过对比滦河两侧司家营铁矿区、马城铁矿区、坎上铁矿区等“大水铁矿床”间的区别和联系,来分析滦县-滦南县段滦河冲积平原区的水文地质特征。

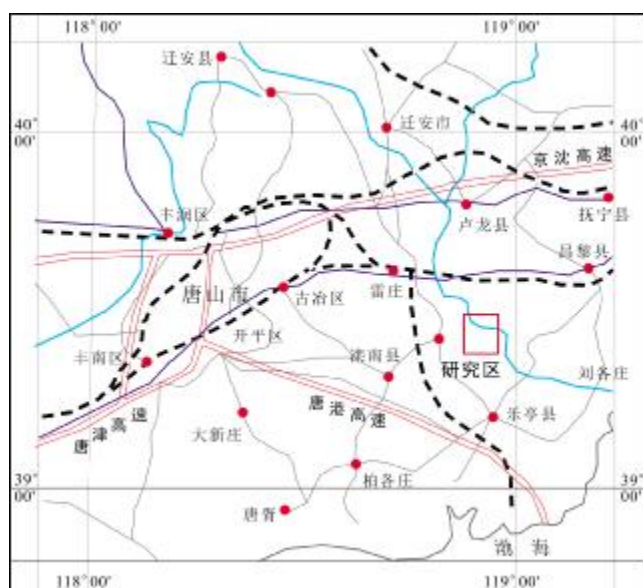


图1 研究区交通位置图

Fig. 1 Traffic location map of the study area

1 研究现状

滦县-滦南县段滦河冲积平原赋存典型的鞍山式沉积变质铁矿,自1950~1970年代发现铁矿以来到本世纪初,完成探矿、水文、工程地质钻孔累计上千孔,累计进尺几十万延米。随着滦县-滦南县段滦河冲积平原研究程度的深入和采选矿技术的提高,以及铁矿石市场需求的增加,“水下金属矿床”得以解封^[1]。投产

矿山有司家营铁矿北区、司家营铁矿南区、马城铁矿、坎上铁矿等6处矿山(以下总称为“滦县-滦南县段滦河冲积平原铁矿群”),矿区面积达上百平方千米。滦县-滦南县段滦河冲积平原“水下金属矿床”的解封得益于各部门、机构的专家与学者的研究成果。其中于孝明等^[2]运用大井法和数值模拟法对司家营铁矿北区Ⅱ采场标高-4.00 m的矿坑涌水量进行了预测,Ⅱ采场开采通过大井法预测涌水量 $1\,179\,159\text{ m}^3$,数值法预测涌水量 $1\,105\,131\text{ m}^3$,预测结果与实际涌水量 $1\,080\,100\text{ m}^3$ 相符。2009年10月至2010年1月,河北省地质矿产局水文工程地质勘察院对昌黎县砍上铁矿南矿段进行了详细水文地质勘查,取得了矿区水文地质的重新认识。冯创业等^[3]详细介绍了砍上铁矿的矿区水文地质结构、矿区水文地质边界、含水层间的水力联系,并针对矿山开采方案预测了南北矿段单独与联合开采时不同开采水平的矿坑涌水量。同时,李亮经等^[4]也运用大井法和数值模拟法预测了坎上铁矿南北矿段单独开采至矿体底板时的矿坑涌水量,预测北矿段正常涌水量 $3\,067\text{ m}^3/\text{d}$,南矿段正常涌水量 $23\,400\text{ m}^3/\text{d}$ 。马城铁矿发现于20世纪70年代,本世纪初共查明铁矿石储量 10.44×10^8 t,胥燕辉^[5]通过原岩恢复研究说明了马城铁矿围岩区变质岩系原岩主要为中基性-酸性火山碎屑岩,并通过铁质来源分析、构造控矿、矿床形成机制探讨了矿床成因特征。刘建峰等^[6]运用 Visual Modflow 软件对马城铁矿水文地质模型、边界条件进行了概化,预测了不同开采方案的矿坑涌水量。刘大金等^[7]通过研究矿区含水层特征、含水系统平面与垂向特征、地下水流动系统特征分析了马城铁矿床充水因素,认为巨厚的第四系含水体是矿床主要的充水水源,断层与构造破碎带是矿床充水的关键因素,并提出了自下而上分层充填、预留矿坑顶板安全厚度的矿床开采方案。左文喆等^[8]通过研究司家营铁矿南区第四系上部含水层13个监测孔及第四系下部12个监测孔和裂隙含水层38个监测孔的地下水动态特征,认为第四系水是矿坑的主要涌水来源,第四系下部的“天窗”区域是司家营铁矿南区的防治重点。宋爱东等^[9]通过分析司家营铁矿南区水文地质条件,提出了预留安全矿柱、顶板注浆、加大探水孔深度、封闭老钻孔、重要井巷工程避开富水地段、设置防水闸门、加强矿坑排水设防能力等防治水措施。总之,滦县-滦南

县段滦河冲积平原铁矿群从矿产资源勘探、水工环方面均有一定的深入研究,尤其是矿区水文地质条件已成为本区域研究重点。巨厚的第四系上部富水含水层作为滦县-滦南县段滦河冲积平原铁矿床的充水水源,是本区域矿床开拓防治水重点。

2 研究区概述

滦县-滦南县段滦河冲积平原铁矿群,除坎上铁矿隶属昌黎县管辖外,其余5处矿山均位于河北省滦县、滦南县两县交界处(见图1)。地貌分布上,滦河冲积平原铁矿群整体处于京山铁路以南的山前倾斜平原滦河冲洪积平原区,处于滦河水系洪积、坡积、冲积形成的山前洪冲积扇的一、二级阶地。其中司家营铁矿北区、坎上铁矿、常裕铁矿、高官营铁矿处于滦河冲积扇二级阶地;司家营铁矿南区、马城铁矿处于滦河冲积扇一级阶地,区内整体地形开阔平坦,地势北高南低(见图2)。滦河冲积平原铁矿群地处阴山-天山纬向构造带东段燕山南亚带山海关台拱西南边缘,西南为蓟县拗陷,南为黄骅拗陷,发育有太古宇迁西群三屯营组、单塔子群白庙子组,中新元古界、古生界及新生界第四系地层。滦河冲积平原含水层连续分布,平面及垂向富水性分布不均一,其中第四系松散岩孔隙水含水层(组)由多个砂砾卵石层构成,内部有数个黏性土层断续分布,砂砾卵石层与黏性土层在垂向上相互叠

置、犬牙交错,平面断续展布。寒武系、奥陶系风化裂隙水含水层主要分布于京山铁路以北的基岩裸露区,透水性、富水性极不均一。构造裂隙含水层赋存于基岩断层及构造破碎带中,沿断层及其两翼呈带状分布,透水性、富水性极不均一。研究区内主要接受大气降水入渗补给、山前侧向径流补给、地表水体渗漏补给和农田灌溉回渗补给。地下水总体径流方向由北向南,受地形、地貌、河流及地层岩性的影响,不同地段地下水水流场有所不同。地下水的排泄方式主要有开采、侧向流出、滦河流出等,人工开采为目前最主要的地下水排泄方式。研究区内地下水补给来源充沛,第四系浅层水多年动态变化不大,第四系深层水和基岩裂隙水受近年来矿山排水及工农业开采影响水位呈逐年下降的趋势。总的来说,滦县-滦南县段滦河冲积平原铁矿群上覆巨厚的第四系含水层透水性、富水性好,且与滦河水力联系密切。一级阶地砂砾卵石层平均厚度14.30 m,渗透系数550 m/d;二级阶地砂砾卵石层平均厚度13.98 m,渗透系数300 m/d,局部可达1000 m/d。另外,第四系底部隔水层连续性差,局部缺失形成“天窗”,加强了第四系水与基岩裂隙水间的水力联系,同时,受断层控制形成的破碎带、蚀变带、裂隙带透水性、富水性普遍较好。由此,构成了滦县-滦南县段滦河冲积平原矿床充水水源丰富、充水途径通畅复杂的水文地质条件,形成了区内开发过程中对区域水文地质环境造成较大影响的大水矿区——水下金属矿床。

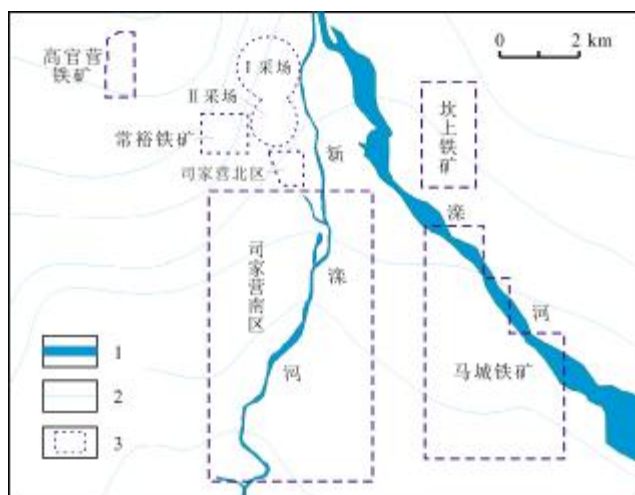


图2 滦县-滦南县段滦河冲积平原铁矿群分布

Fig. 2 Distribution of iron deposit group in Luanhe alluvial plain of Luanxian-Luannan section

1—河流(river); 2—等水位线(water table contour); 3—矿界(boundary of mines)

3 铁矿群水文地质特征

1971~2012年间,由河北省地质局、河北省地质勘查局、中冶地质总局、华北有色地质勘查局等多家单位对滦县-滦南县段滦河冲积平原赋存的铁矿床进行过资源储量、水文与工程地质、环境地质方面的勘探与调查,获得了很多重要的成果资料,为滦县-滦南县段滦河冲积平原赋存的“水下金属矿床”解除开采限制提供了依据。以下重点对滦县-滦南县段滦河冲积平原司家营铁矿北区、司家营铁矿南区、马城铁矿、坎上铁矿等6处矿山的水文地质条件进行论述,以分析滦县-滦南县段滦河冲积平原的水文地质特征。

3.1 司家营铁矿北区

司家营铁矿北区矿区开采面积8 120.75 m²,自北

向南分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号采场。Ⅰ、Ⅱ号采场采用露天台阶式由上而下逐层开采,开采台阶高度12~15 m,台阶坡面角设计为75°。Ⅰ号采场现状开采标高-52.00 m,设计开采标高-562 m;Ⅱ号采场现状开采标高-82.00 m,设计为-60 m、-180 m、-270 m、-390 m四个中段开采;Ⅲ号采场露天转地下开采,设计有-60 m、-120 m、-180 m三个中段开采。司家营北区自西向东赋存4个矿体,呈平行带状排列,共探明总储量 9×10^8 t。北区85%以上区域被第四系杂填土、粉土、粉砂、卵砾石、粉质黏土、含泥卵砾石等冲洪积孔隙含水层覆盖,下伏为基岩风化裂隙、裂隙-岩溶、构造裂隙含水层。勘查资料表明,第四系滦河冲洪积砂砾卵石层为富水性、透水性极强的潜水含水层,单宽涌水量132.00 m³/d,渗透系数550 m/d,且采场东侧距滦河支流不足30 m,补给水源丰富,另外,采场底部断裂带发育、水力流通性强,水文地质条件复杂。均衡法^[10-11]计算司家营铁矿北区Ⅰ采场多年平均地下水补给量为 $4\,819.2\times 10^4$ m³/a,地下水排泄量为 $4\,419.4\times 10^4$ m³/a;Ⅱ采场东边帮正常涌水量33 543 m³/a。于孝民等^[1]预测了Ⅰ(-562 m中段)、Ⅱ(-390 m中段)、Ⅲ(-180 m中段)采场最低开采标高正常涌水量分别为8234.25、6547.00、1810.94 m³/d,最大涌水量分别为8 580.45、6 690.69、1 850.91 m³/d。

3.2 司家营铁矿南区

司家营铁矿南区是我国超大规模低品位铁矿床,B+C+D级铁矿石资源储量 14.50×10^8 t。由于其第四系水丰富,工程地质条件复杂,矿床开采一直受到限制,直到2007年10月由限制开采区调整为允许开采区。矿区南北长7 km,东西宽约3 km,由南矿段和大贾庄矿段共8个矿体组成,其中南矿段Ⅰ、Ⅱ矿体和大贾庄矿段Ⅰ、Ⅱ矿体为主矿体。矿床开拓采用主、副竖井辅助斜坡道的开拓运输方案,共8个开采中段,采矿方法采用嗣后充填法。南区矿床地质条件复杂,南矿段和大贾庄矿段上覆巨厚的第四系松散孔隙含水组(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组)。其中第Ⅰ含水组构成了由砂卵砾石为主组成的滦河河漫滩一级阶地;第Ⅱ含水组构成了由粉细砂为主组成的滦河二级阶地,单井涌水量1.99~2.88 m³/d;第Ⅲ含水组岩性由中细砂、砂卵砾石、砾石粗砂组成,渗透系数178~224 m/d。总之,第四系松散岩孔隙含水组,北薄南厚,北浅南深。矿体附近薄,埋深浅;矿体两侧厚,埋深大。含水层透水性强,富水性好,且与滦河

水力联系密切,且第四系下部隔水层局部缺失,存在大面积“天窗”。“天窗”的存在沟通了第四系含水组和基岩裂隙含水层间的联系,加之新构造运动强烈,断层可能沟通或加强了含水层间地下水与地表水的联系。左文喆等^[8]通过研究南区的地下水动态特征,认为第四系浅层地下水与滦河、新滦河地表水联系密切,互为补给,动态特征表现为河流渗漏-开采型;第四系下部受“天窗”影响,在开采条件下,第四系水对基岩水的补给能力加强,表现为径流-开采型。刘大金等人利用加拿大Waterloo水文地质公司的Modflow地下水数值模拟^[7,12-13]软件预测了-250 m、-350 m、-450 m中段的正常涌水量分别为 8.53×10^4 m³/d、 8.76×10^4 m³/d、 6.32×10^4 m³/d。自2012年投产以来,矿井开拓系统累计长度达30 000 m以上,多条竖井和巷道的开拓系统受上部第四系强含水层补给影响,突水事故频发,造成多次淹井事故,致使工程延期,影响开拓进度。

3.3 马城铁矿

马城铁矿是20世纪80年代以来中国探明的单矿床规模最大的铁矿床,铁矿石总资源储量 10.44×10^8 t,共发现15个矿体。其中Ⅰ、Ⅱ、Ⅴ号为主矿体,矿体厚度大,连续稳定,品位均匀。马城铁矿矿区范围29.10 km²,共设6个水平中段。矿区内地层为基底与盖层二元结构。含水层分为第四系松散岩孔隙水、基岩风化裂隙水、基岩构造裂隙水3个含水层(组)。第四系松散岩孔隙含水组为矿体上覆主要的含水体。上部含水组共有3层砂卵砾石层,渗透系数分别为550、240、300 m/d;下部含水层层位和厚度变化大,横向相变剧烈,在不少地段尖灭缺失,形成“天窗”,含水层渗透性远小于第四系上部强含水层。基岩风化裂隙为弱透水含水层,渗透系数0.0029~0.5212 m/d,透水性弱,持水性强,一定程度上削弱了第四系与矿体的水力联系^[14-16]。基岩构造裂隙含水层受F1、F2、F3断层控制。3~24线间断层相互作用,透水性、富水性相对较强;3~24线以南、以北渗透系数0.0017~0.0714 m/d,单井涌水量0.0004~0.0089 L/sm,透水性及富水性极弱。刘建锋等运用Visual Modflow软件预测了-240 m与-600 m水平、-300 m与-660 m水平、-420 m与-780 m水平、-540 m与-900 m水平同时开采的矿坑正常涌水量分别为 5.97×10^4 m³/d、 5.52×10^4 m³/d、 4.72×10^4 m³/d、 3.37×10^4 m³/d。

3.4 坎上铁矿、高官营铁矿、常裕铁矿

坎上铁矿由南北两个矿段组成,共 5 个矿体,铁矿石总储量 $4\,311.8 \times 10^4$ t。矿体之上被滦河东岸滦河冲积平原二级阶地的强富水、厚度较大的第四系所覆盖,水文地质条件复杂,属于开发过程中可能对区域水文地质环境造成较大影响的大水矿区,被列为限制开采区。2009 年坎上铁矿产限,由规划限制开采区调整为允许开采区。矿区水文地质结构由 4 个含水层和 2 个弱透含水层构成。其中第四系第一含水层为极强富水含水层,渗透系数 $144.57 \sim 770.26$ m/d,单井涌水量 $10.16 \sim 83.33$ L/sm;第四系第二含水层为弱—中等富水含水层,渗透系数 $0.15 \sim 795.3$ m/d,单井涌水量 $0.011 \sim 1.07$ L/sm;基岩风化裂隙第三含水层为弱—中等富水含水层,渗透系数 $0.015 \sim 15.984$ m/d;基岩构造裂隙第四系含水层为弱—中等富水含水层,渗透系数 $0.038 \sim 3.315$ m/d,单井涌水量 $0.005 \sim 0.344$ L/sm。第四系弱透含水层由第四系黏土和基岩强风化层构成,隔水性较好,透水性差。坎上铁矿采用分期开采,设置有 8 个开采水平。2009 年李亮经等^[4]预测北矿段-150 m、-280 m、-385 m 开采水平正常涌水量分别为 $1\,260$ 、 $2\,120$ 、 $2\,650$ m³/d;南矿段-150 m、-280 m 开采水平分别为 $8\,170$ m³/d、 $14\,750$ m³/d。2010 年冯创业等^[3]预测了第一开采水平(-140 m)北矿段和南矿段联合开采时正常涌水量为 $3\,150$ m³/d 和 $30\,630$ m³/d;一期工程最低开采水平(-300、-340 m)为 $4\,810$ m³/d 和 $50\,130$ m³/d;二期工程最低开采水平(-420 m)为 $6\,550$ m³/d 和 $57\,120$ m³/d。

高官营铁矿和常裕铁矿开采规模较小。其中高官营矿床充水的主要因素是基岩断层及破碎带构造裂隙水,次要因素是第四系孔隙水。预测-230 m 中段正常、最大矿坑涌水量分别为 $13\,128$ m³/d 和 $13\,279$ m³/d。截至 2012 年 8 月,该矿已开采至-180 m 水平,矿坑涌水量约 $2\,400$ m³/d。常裕铁矿运用大井法和廊道法预测了-200 m 和-300 m 中段矿坑涌水量,分别为 $2\,300$ m³/d 和 $5\,100$ m³/d。

4 滦县—滦南县段滦河冲积平原水文地质特征

根据前述滦河冲积平原司家营铁矿北区、司家营铁矿南区、马城铁矿、坎上铁矿、常裕铁矿、高官营铁矿各水文地质特征,通过矿区地层特征、断层特征、与滦

河关系、矿坑涌水量等几方面分析滦县—滦南县段滦河冲积平原的水文地质特征。滦县—滦南县段滦河冲积平原铁矿群均上覆巨厚的第四系含水层,为矿体上主要的地下含水层,为各矿区限制开采的主要因素。矿坑涌水量除受断层控制外,滦河与各矿区的位置关系也是其重要影响因素,尤其是司家营铁矿北区、南区和马城铁矿地下水含水层与滦河存在着密切联系。地下水总体径流方向由北向南运动,高官营铁矿水位高,司家营铁矿南区水位低,地下水动态特征受气象、水文及人工开采影响,各含水层组地下水动态^[17-19]变化不尽相同。第四系浅层含水层水位整体变化不大,与滦河水位保持互为补给的关系。第四系下部与基岩动态水位受人工及工业开采影响形成一定的地下水开采漏斗^[20]。随着矿体埋藏深度变化,由北向南矿坑涌水量由小变大。总体上各矿区水文地质特征继承了滦河冲积平原第四系含水层透水性强、富水性好的特征,各区受断层复合影响表现出明显的断层控水的特征。

4.1 滦县—滦南县段滦河冲积平原含水系统

滦县—滦南县段滦河冲积平原区第四系松散岩孔隙水含水层(组)主要由多个砂砾卵石层构成,内部有数个黏性土层断续分布。黏性土层分布不稳定,厚度变化大,天窗较多。该含水层在平面及垂向上透水性、富水性分布不均一。在平面上,滦河河漫滩及一级阶地区,地下水主要赋存于砂砾卵石中,含水层厚度 $50 \sim 70$ m,透水性极强,富水性极好,渗透系数 $240.0 \sim 1\,000.0$ m/d,地下水类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型。在垂向上,上部主要为砂砾卵石含水层,透水性强,渗透系数为 $300 \sim 500$ m/d;最大可达 $1\,000$ m/d;下部为粉质黏土与含角砾砂土互层段,透水性中等,渗透系数为 $30 \sim 50$ m/d;中部为数个黏性土层构成的相对隔水层,但其层位和厚度变化很大,横向相变剧烈,在不少地段尖灭缺失,形成“天窗”。上下两含水层构成一统一地下含水系统(图 3)。基岩风化裂隙水含水层(组)主要由寒武系、奥陶系石灰岩,长城系石英砂岩、白云岩和新太古界滦县群司家营组混合岩、混合花岗岩、黑云变粒岩组成。构造裂隙基岩构造裂隙水含水层(带)赋存于基岩断层及构造破碎带中,沿断层及其两翼呈带状分布,一般隐伏于基岩风化带之下,厚度几米至上百米不等,透水性、富水性极不均一。

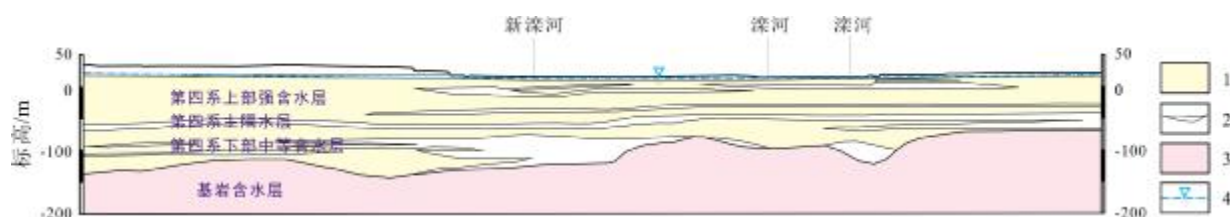


图3 滦县-滦南县段滦河冲积平原水文地质剖面

Fig. 3 Hydrogeological profile of Luanhe alluvial plain in Luanxian-Luannan section

1—第四系(Quaternary); 2—相对隔水层(aquiclude); 3—基岩(bedrock); 4—第四系上部水位(water level of upper Quaternary)

4.2 滦县-滦南县段滦河冲积平原流动系统

地下水总体径流方向由北向南运动,受地形、地貌、河流及地层岩性的影响,不同地段地下水流场有所不同。在滦河一级阶地区,第四系水顺滦河、新滦河走向向南排泄,坡度较为平缓,仅在0.5%左右。滦河二级阶地区,地下水流场形态基本符合二级阶地形态,同样由北向南流,但在一、二级阶地交界地带,流向明显改向一级阶地区汇集,水力坡度由1.2%增加到3.8%。天然状态下,基岩裂隙水主要在京山铁路以北的裸露山区接受降雨入渗补给,自北向南径流。由于基岩风化裂隙含水层渗透性较差,地下水侧向径流受阻,径流缓慢。基岩风化裂隙水托顶越流补给第四系下部中等含水层,基岩水位略高于第四系水位,为承压水。在长期的垂向交替运动后,基岩裂隙水、第四系地下水水头趋于一致。各矿区开采后,基岩地下水流场转变为各矿地下水漏斗汇聚的状态。开采条件下,地下水形成新的地下水疏干流场。巷道排水系统置于基岩深部,巷道排水使深部基岩构造裂隙水压力突然释放,上部风化裂隙水以空间渗流形式向排水点汇聚,形成了一定范围的地下水压力释放空间场,第四系水以越流形式垂向补给基岩风化裂隙水。第四系水为矿床主要充水水源,基岩构造裂隙为矿床充水通道。构造破碎带之上的基岩风化带是联系水源与通道的枢纽,是影响矿床涌水量的主要因素。

总而言之,滦县-滦南县段滦河冲积平原区各含水层(组)之间均存在一定的水力联系。在北部山区,第四系覆盖物薄,基岩裂隙水接受大气降水补给,由于基岩裂隙含水层透水性、富水性较差,易被疏干。在南部平原,第四系底部存在一层黏性土层,但分布不稳定,厚度变化大,局部缺失,第四系水与基岩裂隙水水

力联系较密切。整个地下含水系统形似“蘑菇状”:第四系含水层和基岩风化裂隙含水层为一统一的“蘑菇头”,基岩构造裂隙含水层为数个带状“蘑菇颈”。“蘑菇头”为滦河冲积平原区主要的富水区,主要受降雨及侧向入渗补给;“蘑菇颈”为矿区主要的导水枢纽,主要受断层构造影响。

5 结论

1) 滦县-滦南县段滦河冲积平原有司家营铁矿北区、司家营铁矿南区、马城铁矿、坎上铁矿区、常裕铁矿、高官营铁矿共6处,总储量达几十亿吨,为国内少见的大规模铁矿床。

2) 滦县-滦南县段滦河冲积平原矿床之上覆盖有巨厚的第四系含水体,富水性强,水文地质条件复杂,属于开发过程中可能对区域水文地质环境造成较大影响的大水矿区。

3) 滦县-滦南县段滦河冲积平原的断层复合作用是各矿区开采过程中防治水的重要影响因素。

4) 司家营铁矿北区、南区和马城铁矿地下水含水层与滦河存在着密切联系。

5) 滦县-滦南县段滦河冲积平原随矿体埋藏深度,由北向南矿坑涌水量由小变大。各矿区水文地质特征继承了滦河冲积平原第四系含水层透水性、富水性好的特征,各区受断层复合作用影响表现出明显的断层控水的特征。

参考文献:

- [1] 李刚,高谦,王君,等. 司家营铁矿南区矿床水文地质条件分析[J]. 现代矿业, 2013, 29(9): 45-47.

(下转第362页 / Continued on Page 362)

随机森林、支持向量机等方法进行试验. 另外要考虑多源数据的融合适用及排除土壤中含水量的影响.

参考文献:

- [1] Marchant B P, Villanneau E J, Arrouays D, et al. Quantifying and mapping topsoil inorganic carbon concentrations and stocks: Approaches tested in France[J]. Soil Use and Management, 2015, 31(1): 29-38.
- [2] Six J, Paustian K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 68: A4-A9.
- [3] Webster R, Oliver M A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties [J]. European Journal of Soil Science, 1992, 43(1): 177-192.
- [4] 张新乐, 窦欣, 谢雅慧, 等. 引入时相信息的耕地土壤有机质遥感反演模型[J]. 农业工程学报, 2018, 34(4): 143-150.
- [5] 吴才武, 张月丛, 夏建新. 基于地统计与遥感反演相结合的有机质预测制图研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(6): 1568-1575.
- [6] 陆访仪, 赵永存, 黄标, 等. 海伦市耕层土壤有机质含量空间预测方法研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(3): 662-667.
- [7] 于芳, 李海明. 基于地统计学和 GIS 的湖北省土壤有机质空间变异性研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 282-286.
- [8] 韩丹, 程先富, 谢金红, 等. 大别山区江子河流域土壤有机质的空间变异及其影响因素[J]. 土壤学报, 2012, 49(2): 408-408.
- [9] 赵明松, 张甘霖, 王德彩, 等. 徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析[J]. 土壤学报, 2013, 50(1): 1-11.
- [10] 张哲寰, 赵君, 戴慧敏, 等. 黑龙江省讷河市土壤-作物系统 Se 元素地球化学特征[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 38-43.
- [11] 陶培峰, 王建华, 李志忠, 等. 基于高光谱的土壤养分含量反演模型研究[J]. 地质与资源, 2020, 29(1): 68-75.
- [12] Wu C F, Wu J P, Luo Y M, et al. Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data [J]. Soil Science Society of America Journal, 2009, 73(4): 1202-1208.
- [13] Mirzaee S, Ghorbani-Dashtaki S, Mohammadi J, et al. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data[J]. CATENA, 2016, 145: 118-127.
- [14] 王茵茵, 齐雁冰, 陈洋, 等. 基于多分辨率遥感数据与随机森林算法的土壤有机质预测研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 342-354.
- [15] 杨佳佳, 白磊, 吴嵩. 黑龙江典型黑土区土壤侵蚀遥感监测技术研究[J]. 2019, 28(2): 193-199, 183.
- [16] 丁美青, 肖红光, 陈松岭, 等. 基于 BP 神经网络的土地开发整理区土壤有机质含量遥感定量反演[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2012, 34(2): 103-106.
- [17] 程朋根, 吴剑, 李大军, 等. 土壤有机质高光谱遥感和地统计定量预测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 142-147.
- [18] 刘焕军, 赵春江, 王纪华, 等. 黑土典型区土壤有机质遥感反演[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 211-215.
- [19] 刘焕军, 吴炳方, 赵春江, 等. 光谱分辨率对黑土有机质预测模型的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(3): 739-742.
- [20] Hill J, Schütt B. Mapping complex patterns of erosion and stability in dry mediterranean ecosystems [J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 74(3): 557-569.
- [21] 周萍, 王润生, 阎柏琨, 等. 高光谱遥感土壤有机质信息提取研究[J]. 地理科学进展, 2008, 27(5): 27-34.
- [22] 李媛媛, 李薇, 刘远, 等. 基于高光谱遥感土壤有机质含量预测研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(6): 1313-1318.

(上接第 379 页 /Continued from Page 379)

- [2] 于孝民, 王明格, 李占芳. 司家营铁矿区矿坑涌水量预测[J]. 勘察科学技术, 2011(5): 37-40, 61.
- [3] 冯创业, 韩文玲. 基于矿区水文地质模型及试验参数基础上的坎上铁矿矿坑涌水量预测[J]. 工程勘察, 2010(S1): 771-778.
- [4] 李亮经, 马广海, 田佳辉, 等. 坎上铁矿水文地质特征及涌水量预测[J]. 水文地质工程地质, 2009, 36(6): 37-41.
- [5] 胥燕辉. 马城铁矿地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 2010, 29(S1): 115-116.
- [6] 刘建峰, 张妨, 郭立, 等. Visual Modflow 模型在马城铁矿床地下水数值模拟中的应用[J]. 矿业工程, 2016, 14(2): 49-52.
- [7] 刘大金, 靳宝. 河北某铁矿床水文地质条件分析及矿坑涌水量预测[J]. 地下水, 2014, 36(2): 164-166.
- [8] 左文喆, 王斌海, 程紫华, 等. 基于地下水动态监测的司家营铁矿区防治水措施[J]. 中国矿业, 2016, 25(4): 91-97.
- [9] 宋爱东, 郭献章, 刘大金. 司家营铁矿区防治水措施初探[J]. 河北冶金, 2013(1): 1-4, 29.
- [10] 戴岩柯, 崔世新, 张坤. 水均衡法和数值法在矿坑深部涌水量预测中的比较[J]. 地下水, 2010, 32(1): 24-48.
- [11] 刘佩贵, 陶月赞. 均衡法评价地下水可开采量的风险率[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(4): 1125-1129.
- [12] 张二勇, 李长青, 李旭峰. 区域地下水流数值模拟的方法和实践——以华北平原为例[J]. 中国地质, 2009, 36(4): 920-926.
- [13] 马秀媛, 李逸凡, 张立, 等. 数值方法在矿井涌水量预测中的应用[J]. 山东大学学报(工学版), 2011, 41(5): 86-91.
- [14] 周乐, 刘元晴, 李伟, 等. 山东大汶河流域中上游古近系含水岩组水文地质特征[J]. 中国地质, 2019, 46(2): 316-327.
- [15] 何泽, 宁卓, 黄冠星, 等. 太行山前平原浅层地下水污染的分子生物学响应特征——以滹沱河流域为例[J]. 中国地质, 2019, 46(2): 290-301.
- [16] 肖琼, 张志诚, 谢磊, 等. 昌源河国家湿地公园含水层水文地质特征研究[J]. 中国地质, 2017, 44(5): 1006-1016.
- [17] 马耀, 高谦, 李刚, 等. 司家营铁矿区矿床水文地质条件建模探究[J]. 中国矿山工程, 2014, 43(3): 35-37.
- [18] 宋爱东, 郭献章, 刘大金. 司家营铁矿区防治水措施初探[J]. 河北冶金, 2013(1): 1-4, 29.
- [19] 李刚, 杨志强, 高谦, 等. 司家营铁矿区矿床工程地质与采矿技术条件研究[J]. 金属矿山, 2013(8): 11-15.
- [20] 王晓光, 郭常来, 何海洋, 等. 地下水降落漏斗分类研究[J]. 地质与资源, 2019, 28(5): 487-492.