

河南省典型污染河流水质模拟与分析

王潇磊 邢梦林 刘奕尧 郑瑶 姜亚敏

(河南省环境监测中心,河南 郑州 450004)

摘要:以河南省内典型污染河流贾鲁河、惠济河、卫河为研究对象,基于 WASP 模型对 COD、氨氮、总磷进行水质模拟。研究发现,模拟值与实际值误差范围基本控制在 $\pm 10\%$ 以内,并且模拟目标污染物的年内时空分布规律与变化趋势同实测值整体上是一致的,表明 WASP 模型对河南省内典型河流进行水质模拟具有较好的有效性和可行性。

关键词:河南省;典型河流;WASP 模型;水质模拟

1 概述

水资源是支撑河南省社会经济可持续发展和美丽河南建设不可替代的基础性的自然资源和战略资源^[1],所以用水安全至关重要。作为水质预报和环境质量管理有效工具,水质模型在近年来取得了较大的进展^[2],在生产、教学、科研领域均起着重要的指导作用,已被应用于水污染治理及水环境保护规划中^[3]。本研究以河南省内典型污染河流贾鲁河、惠济河、卫河为研究对象,基于 WASP 模型对 COD、氨氮、总磷进行水质模拟,通过对比模拟值和实际值的相对误差,探讨模型的适用性和可行性。

2 模型分析

2.1 WASP 模型建立

WASP 水质分析模拟程序 (Water Quality Analysis Simulation Program)是由美国环保局 USEPA 研发的新一代水质模型系统^[4],能够模拟和预测由于自然和人为污染引起的各种复杂水质状况,因其广泛的适用性所以被称作“万能水质模型”。建立 WASP 模型,首先要搜集三条河流相关的水文资料,如流量、流速、污染物排放量等数据,接着完成河网的概化和分段与参数的输入,在此基础上对 COD、氨氮和总磷进行水质模拟,继而建立水质模型。在模型的运行过程中调整相关的水文参数,从而得到符合实际的水质模型。按此设计思路,我们建立 WASP 模型的技术路线(见图 1)。

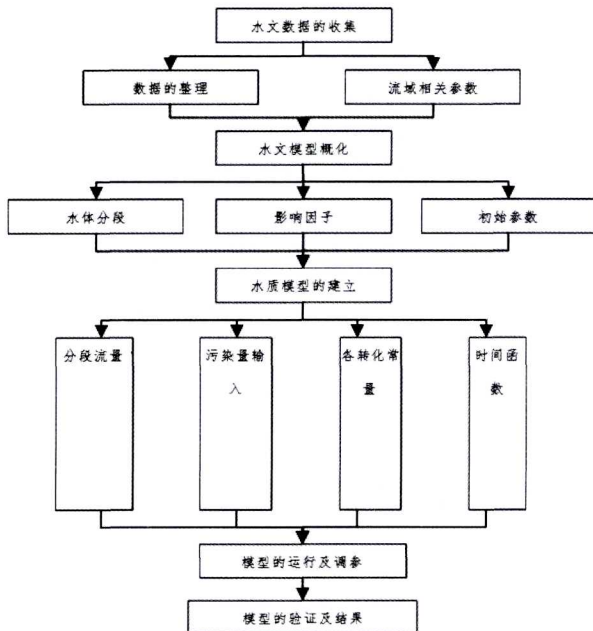


图 1 WASP 模型建立的技术路线

2.1.1 河网的概化和分段

在 WASP 软件中,段是表示针对水体进行物理结构上的划分,即将水体从网格或节段上进行单元划分。段是 WASP 模型正常运行需要输入的第一类也是最重要的参数,段决定了水动力模块构架的河流水动力框架。河网概化和分段的主要原则如下:在河流水文特征剧烈变化处;取水口或饮水口处;支流或排污汇口处;具备实测数据的典型断面处,如水文站点等;能够收集完整和全面的背景资料处。

2.1.2 水动力学参数的确定

水动力学参数主要用来确定河道的水力特性,它的计算在 WASP 模型中占有重要的地位,计算准确与否直接关系到模型的精度。本研究选取流速参数:a.流速指数;b.水深参数;c.水深指数;d.等 4 项指标为主要参数因子。

参数因子 a、b、c、d 用于确定水力因子——水深、流速和流量之间的关系,用公式表示为:

$$U=aQ^b$$

$$A=Q/U$$

$$H=cQ^d$$

式中:Q 是河流流量, m^3/s ; U 是河流的平均流速, m/s ; A 河流的过水断面面积, m^2 ; H 河流的平均水深, m 。

对公式的前两个式子两边去对数得:

$$\lg U = b \lg Q + \lg a$$

$$\lg H = d \lg Q + \lg c$$

令 $y = \lg U$, $y' = \lg H$, $x = \lg Q$, 由最小二乘法可得:

$$\lg a = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\lg b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\lg c = \frac{\sum x_i^2 \sum y'_i - \sum x_i \sum x_i y'_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$d = \frac{n \sum x_i \sum y'_i - \sum x_i \sum y'_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

式中: n 为实测数据个数。

2.1.3 参数的设置

目前常用的设置有以下四种方法:

理论法:从机理的角度出发来推算参数值,但在机理不明的情况下大多数参数值的推算困难,且误差较大;

实验法:采取实验手段测算参数,但受到人力、物力、财力等各方面的限制;

经验法:主要是根据前人已有成果和资料,类比推求参数值;

模型校正法:将水文水质监测资料录入模型,通过运用经验公

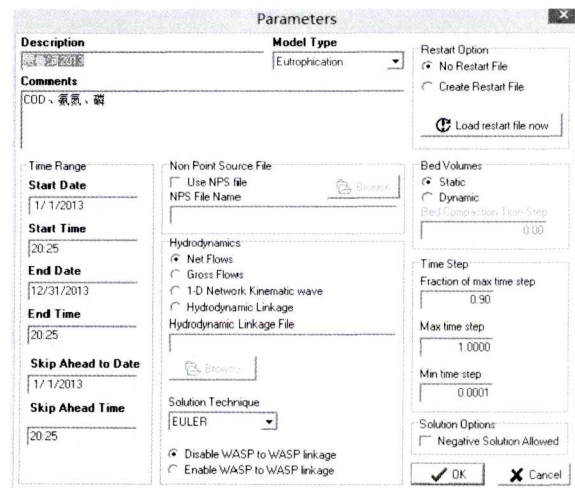


图 2 数据库的属性设置

式、查阅文献资料、类比流域其他河段、参考模型使用手册参数范围等手段确定参数取值范围。

2.2 贾鲁河水质模拟

2.2.1 数据预处理

数据预处理主要是将收集到的水文、水质资料进行整理转化,将其变为可以直接输入 WASP 模型的数据,预处理的主要内容:输入文件的建立、水体分段、参数设置、数据的有效性检查等。

(1)输入文件的建立。模型起始时间为 2013 年 1 月 1 日到 2013 年 12 月 31 日,模拟类型为富营养化 EUTRO,方程求解方法为欧拉方程,数据库属性的具体设置可见图 2。(2)河网的概化与分段。根据现有的水文资料 and 分段原则将贾鲁河共分为 3 段,分别为中牟陈桥、扶沟摆渡口和西华大王庄。计算每段的水体体积、各段的长度、宽度、深度等参数,然后根据软件的要求,逐项输入到 Segment 中。具体分段信息见图 3。

Segment	Description	Volume	Velocity Multiplier	Velocity Exponent	Depth Multiplier	Depth Exponent
1	中牟陈桥	2.2E+6	0.2000	0.3100	0.0600	0.4400
2	扶沟摆渡口	1.5E+6	0.1900	0.2800	0.0500	0.4600
3	西华大王庄	1.4E+6	0.1700	0.3200	0.0700	0.4300

图 3 分段信息

(3)参数的设置。由于河流水质模拟涉及的参数较多,无法进行全面深入研究,因此,在本研究中,选用流量、特征污染物浓度作为参数。参数输入后,其率定方法采用试算法,具体操作过程是先将其他参数固定在用户设定的初始值,WASP 模型只对某一个目标参数在其取值范围内反复测算,不断率定使模拟计算值与检测值相差最小时使系统最优。精确调整 20℃ 时 COD 衰减速度系数 K_d 、20 摄氏度时硝化速度系数 K_{12} ,根据 WASP 用户手册中 20℃ 时 COD 衰减速度系数 K_d 的取值范围 0~5.6d⁻¹ 为基础,通过计算可得到的 COD 衰减速度系数平均为 0.216d⁻¹。硝化速度系数 K_{12} 的取值采用公式法和类比法结合的方式确定,具体公式为:

$$K = \frac{u}{x} \ln \frac{L_1}{L_2}$$

式中: L_1 :上游断面的污染物浓度; L_2 :下游断面的污染物浓度; x :两断面间的长度; u :河段流速。

(4)流量的输入。以 2013 年 1 月到 2013 年 12 月为周期,以中牟陈桥、扶沟摆渡口、西华大王庄 3 个水文站的流量监测数据为基础,对模型进行流量的输入。流量的输入界面可见图 6。(5)入河污染物的输入。选取 COD、氨氮和总磷 3 因子为参数指标。贾鲁河干流河道各段汇入的总污染量即为生活污水污染量和工业污水污染量

的总和,在模型中分段将污染物总量输入,各支流污染物汇入同干流河道汇流的河段中。

2.2.2 模拟结果分析。WASP 软件可以生成两种格式的图形,二维空间网格图和 X/Y 坐标折线图,可用折线的方式显示不同污染物在不同监测断面的模拟结果。以中牟陈桥段为例,其 COD、氨氮、总磷模拟值和实测值的变化特征可见图 4。从水质的模拟结果来看,贾鲁河中氨氮、COD 和总磷含量在 1~12 月间无明显变化规律,呈现出波动性的变化特征。

2.2.3 模型的验证

将 WASP 模型模拟出的水质数据与收集到的监测断面 2013 年实测数据进行对比,计算实测值与模拟值的相对误差。

$$\theta = \frac{C_{\text{实测}} - C_{\text{模拟}}}{C_{\text{模拟}}}$$

式中: θ 为相对误差; $C_{\text{实测}}$ 为实测水质数据; $C_{\text{模拟}}$ 为模拟水质数据。

不同污染物在各段监测断面的误差统计见表 1。研究发现,模拟值与实测值之间存在误差,但误差范围基本控制在 11% 以内,并且模拟目标污染物的年内时空分布规律与变化趋势同实测值整体上是-致的,因此表明 WASP 模型对贾鲁河干流进行水质模拟的适用性,并且具有较好的有效性和可行性。

表 1 不同污染物在各段监测断面的误差统计 (单位: %)

段名	氨氮		总磷		COD	
	最小误差	最大误差	最小误差	最大误差	最小误差	最大误差
中牟陈桥	4.20%	10.10%	3.90%	10.70%	4.80%	10.80%
扶沟摆渡口	2.70%	10.40%	5.30%	10.40%	3.90%	9.90%
西华大王庄	3.50%	9.80%	4.80%	10.50%	3.70%	10.10%

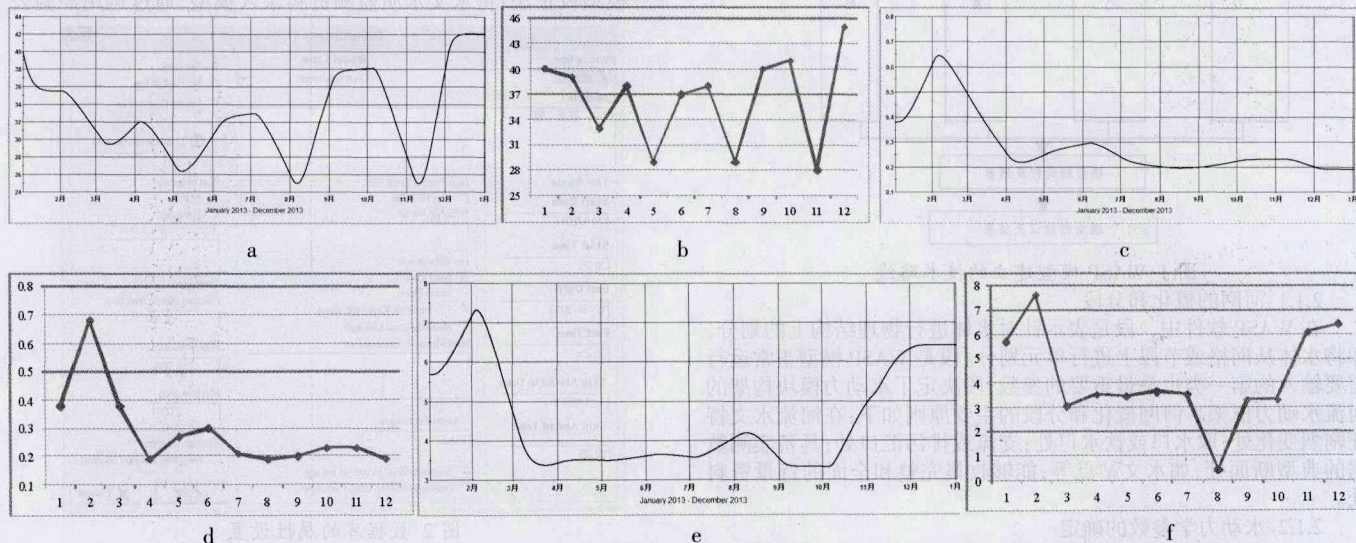
分析误差产生的原因有:(1)常规污染的模拟,尤其是氨氮,不只是单纯的物理性沉淀溶解,还有浮游生物、溶解氧、光照、三氮转化等因素参与到化学平衡中。由于系统较为复杂,实测数据项目的不足,本研究部分化学反应被忽略,因此模拟结果具有一定的误差。(2)本研究流量变化采用月均输入,污染物采用年均量计算获得月均污染量,这与实际污染物汇入有较大差别。(3)部分流量数据有缺失。

2.3 惠济河水质模拟

惠济河是淮河的二级支流,发源于开封市黄河口,属于季节性河流^[9]。采用同样方法对惠济河进行水质模拟,以开封太平岗桥为例,其 COD、氨氮、总磷模拟值和实测值的变化特征可见图 5。

从水质的模拟结果来看,惠济河中氨氮、COD 和总磷含量在 1~12 月间无明显变化规律,呈现出波动性的变化特征。将 WASP 模型模拟出的水质数据与收集到的监测断面 2014 年实测数据进行对比,计算实测值与模拟值的相对误差。

不同污染物在各段监测断面的误差统计见表 2。研究发现,模拟值与实测值之间存在误差,但误差范围基本控制在 30% 以内,并且模拟目标污染物的年内时空分布规律与变化趋势同实测值整体上是-致的,因此表明 WASP 模型对惠济河干流进行水质模拟的适用性,并且具有较好的有效性和可行性。



a: COD 的模拟值; b: COD 的实测值; c: 总磷的模拟值; d: 总磷的实测值; e: 氨氮的模拟值; f: 氨氮的实测值

图 4 模拟值和实测值的对比

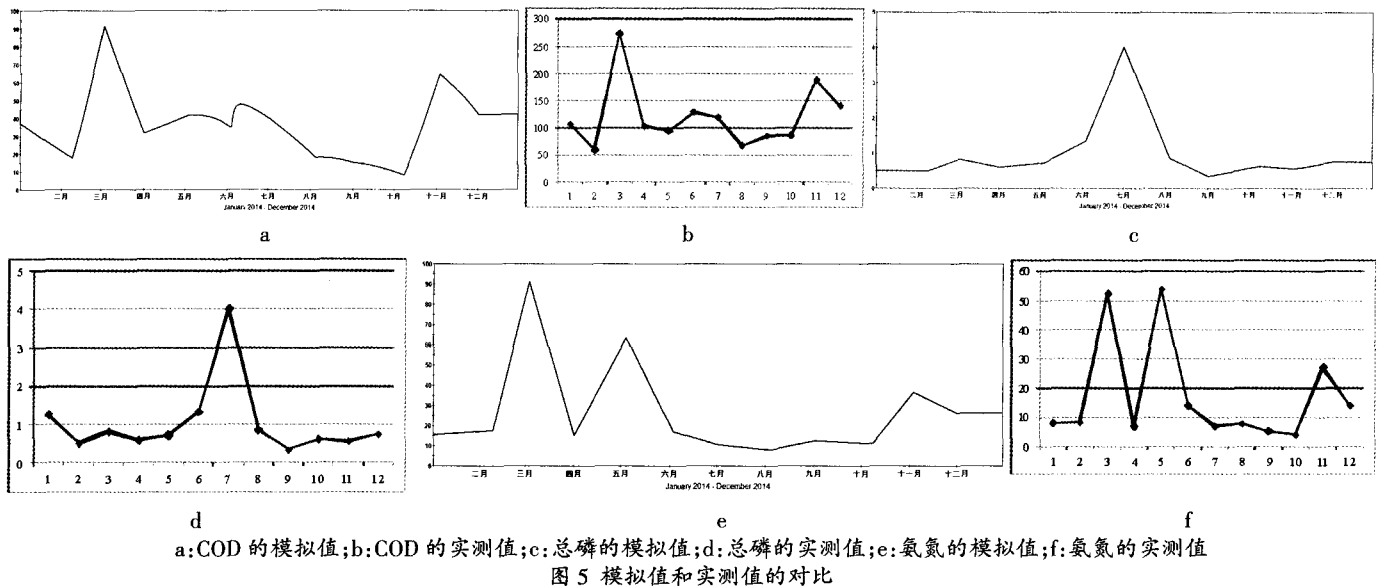


表2 不同污染物在各段监测断面的误差统计 (单位:%)

段名	氨氮		总磷		COD	
	最小误差	最大误差	最小误差	最大误差	最小误差	最大误差
开封岗桥	2.3	6.3	2.1	7.5	3.5	5.6
睢县板桥	3.8	16.2	3.2	25.1	2.8	5.1

分析误差产生的原因有:(1)常规污染的模拟,尤其是氨氮,不只是单纯的物理性沉淀溶解,还有浮游生物、溶解氧、光照、三氮转化等因素参与化学平衡中。由于系统较为复杂,实测数据项目的不足,本研究部分化学反应被忽略,因此模拟结果具有一定的误差。(2)本研究流量变化采用月均输入、污染物采用年均量计算获得月均污染量,这与实际污染物汇入有较大差别。(3)部分流量数据有缺失。

2.4 卫河水质模拟

卫河是河南省海河流域最大的河流,流经焦作、新乡、鹤壁、安阳和濮阳^[9],河南省境以上河长达 286km,对卫河进行水质模拟,以修武段为例,其 COD、氨氮、总磷模拟值的变化特征可见图 6。

从水质的模拟结果来看,卫河中氨氮、COD 和总磷含量在 1-12 月间无明显变化规律,呈现出波动性的变化特征。将 WASP 模型模拟出的水质数据与收集到的监测断面 2013 年实测数据进行对比,计算实测值与模拟值的相对误差。不同污染物在各段监测断面的误差统计见表 3。研究发现,模拟值与实测值之间存在误差,但误差范围基本控制在 10%以内,并且模拟目标污染物的年内时空分布规律与变化趋势同实测值整体上一致的,因此表明 WASP 模型对卫河干流进行水质模拟的适用性,并且具有较好的有效性和可行性。

性。

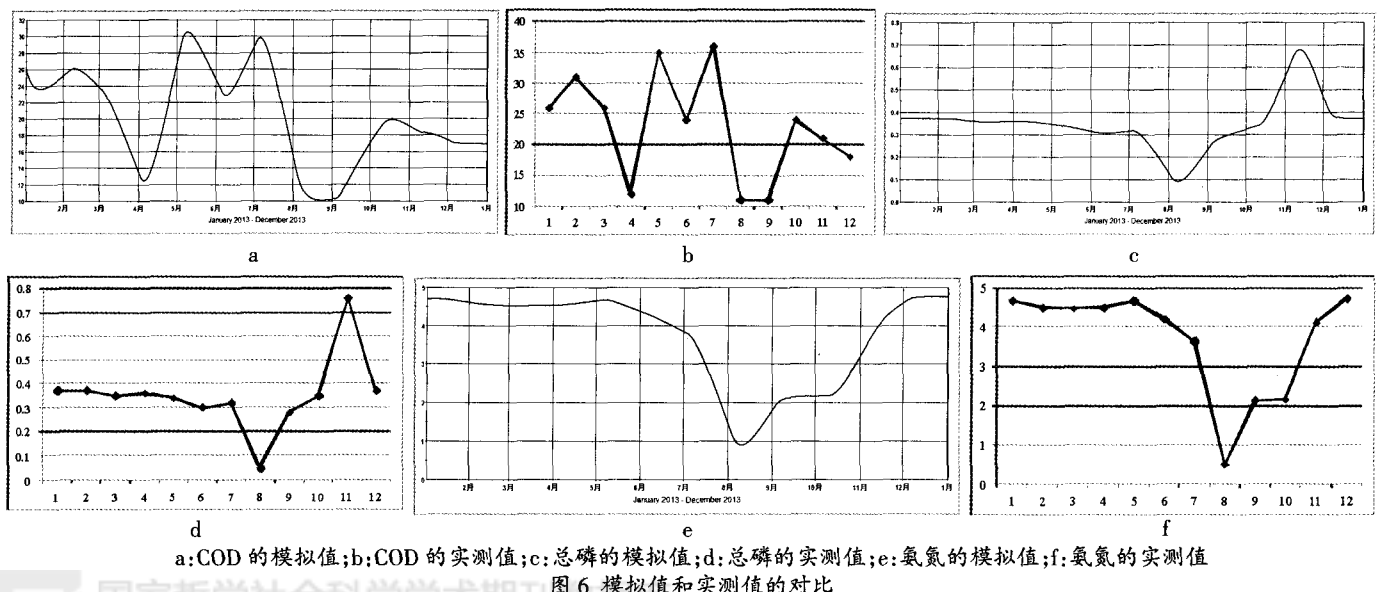
表3 不同污染物在各段监测断面的误差统计 (单位:%)

段名	氨氮		总磷		COD	
	最小误差	最大误差	最小误差	最大误差	最小误差	最大误差
修武	3.20	7.40	2.30	7.20	2.90	8.20
卫辉	2.20	7.82	3.20	8.07	2.60	8.77
小河口	3.40	7.00	2.71	7.37	3.32	7.93
汤阴五陵	2.85	8.03	3.25	8.20	2.75	8.91
南乐元村集	3.07	7.91	3.70	7.13	3.10	7.69

分析误差产生的原因有:(1)常规污染的模拟,尤其是氨氮,不只是单纯的物理性沉淀溶解,还有浮游生物、溶解氧、光照、三氮转化等因素参与化学平衡中。由于系统较为复杂,实测数据项目的不足,本研究部分化学反应被忽略,因此模拟结果具有一定的误差。(2)本研究流量变化采用月均输入、污染物采用年均量计算获得月均污染量,这与实际污染物汇入有较大差别。(3)部分流量数据有缺失。

3 结束语

通过上述研究,得出如下结论性认识:(1)将 WASP 水质模型应用于贾鲁河、惠济河和卫河流域,对三条河流 COD、氨氮和总磷进行水质模拟研究。从水质的模拟结果来看,贾鲁河、惠济河和卫河中氨氮、COD 和总磷含量在 1-12 月间无明显变化规律,呈现出波动性的变化特征。(2)虽然受实测数据局限性的影响,模拟计算值和实测值存在一定的误差,但模拟目标污染物在时空分布规律上与实测值均有较好的一致性。本研究通过对已有数据的模拟分析,得到了相



东昆仑清水河地区多金属矿地质特征及成矿规律

李成福 魏有宁 马正婷 柴云

(青海省地质调查局, 青海 西宁 810000)

摘要:青海东昆仑清水河地区多金属矿大多存在于厚度比较大的中、新元古代万保沟群中基性火山岩中, 断裂构造带会对矿体产生一定的限制和影响。通过研究矿区多金属矿地质特征及成矿规律, 提出该地区找矿的前景和潜力。

关键词:东昆仑清水河地区; 多金属矿; 地质特征; 成矿规律

青海东昆仑清水河地区处于西域板块的南边, 在东昆中陆块中, 位于东昆仑成矿带上, 区域的局部位置会受到断裂控制, 该范围中主要有清水河、哈图沟、特里喝姿等多金属矿点。但是目前这些多金属矿化点只是对地表进行检查, 地质、找矿工作等没有获得理想的效果。因此需要对清水河地区的多金属矿的特点以及成矿情况进行分析, 为接下来的工作开展提供指导。

1 地质特征

1.1 地层

该区的地层位于东昆仑地层, 地层出露比较齐全, 是混杂岩系。地层单元分为不同组, 不同时代由于成因差异, 沉积地层单元也是不同的。清水河地区金属矿大多存在于厚度比较大的中、新元古代万保沟群中基性火山岩中, 分布呈条状, 出露的宽度能够延长至几十公里。

1.2 结构构造

该区构造位置处于西域板块的南边, 位于东昆中陆块。隶属东昆成矿带, 断裂发育, 矿床受断裂带控制明显。

1.3 岩浆岩

区内岩浆岩有着比较强的活动性, 不仅有基性-中酸性的火山岩, 还有中酸性的侵入岩。华力西期的中酸性侵入岩对区内的成矿会产生作用和影响, 能够将热水溶液提供给矿区的成矿, 也是矿床成矿中重要的元素来源。

1.4 矿产分布

由于受到北西-南东向的清水河-哈图-得福胜断裂控制, 清水河矿区的断裂范围主要涉及清水河、哈图沟、牙马托等一些金属矿点, 断裂带的西北部矿产主要有铜、铁, 东南部位置主要有铜、锌、铅等。清水河的铁矿是中型矿床, 其余的矿化规模比较小, 在华力西期成矿。^[1]

2 矿区地质

矿区出露主要中-新元古代万宝沟群、晚三叠世八宝山组砂岩段、晚三叠世八宝山组砂砾岩段等地层。^[2]晚三叠世八宝山组砂砾岩段存在于西南部, 呈长条状, 岩性主要为板岩、粉砂岩等, 断层接触中-新元古代万宝沟群。

中-新元古代万宝沟群主要在矿点的中东部地区, 是主要的赋矿层位, 也与晚三叠世八宝山组砂砾岩段断层接触, 岩性主要为安山岩、蚀变玄武岩、混合岩化黑云变粒岩等。

矿区的构造主要是北西-南东断裂带, 晚三叠世八宝山组与中-新元古代万宝沟群的分界逆断裂带会对矿床的成矿产生影响。断层的东部有铜矿点, 这与矿化构造有着密切的关系。矿点东部有大面积的花岗岩脉、华力西期花岗闪长岩、等侵入, 沿着万宝沟群的方向分布。

北西-南东向的破碎蚀变带处于矿区中部, 蚀变带呈现北西西向, 东部变为北北西向, 在区域上沿西北-东南形成次一级构造。该蚀变带的北西方向有铜、铅矿体, 西面到北北西向的逆断层为止, 蚀变减弱, 朝南东方向矿化。

清水河矿区中, 不同元素的高异常点主要存在于区内两个断层的周围, 铜、铅、锌等是同消长的, 断层构造与矿区中不同元素的分布之间有着紧密的联系。

3 矿体特点

清水河地区有铜、铅矿体和矿化点, 铜铅矿脉在褐铁矿化蚀变带中, 宽度约 30 米, 长度约为 300 米, 其中很有很多黄铜矿, 并构成矿体。矿脉顺层分布于蚀变带中, 矿体中铜的品位平均为 0.5%, 铅的平均品位是 0.3%。矿体的长度约 200 米, 含矿的岩石主要是玄武岩、石英脉。矿化点处于蚀变带的南边, 含矿岩石是石英脉和闪长岩, 矿体中的主要矿石矿物有黄铜矿、孔雀石、蓝铜矿等。

4 矿床成因

青海东昆仑清水河地区处于东昆南断裂的北部, 以带状的形式延东西向展布。岩浆活动比较频繁, 构造作用相对复杂, 是金、铜等矿种的有利成矿地带, 区域上有多处以铜异常和矿(化)点。铜矿化和化探异常空间分布与火山岩之间有着密切的联系。矿床成因类型大部分是构造蚀变岩型、石英脉型, 还有一些是火山岩型。清水河地区矿体会受到断裂控制, 在华力西期岩浆活动过程中, 由于断裂构造运动, 花岗闪长岩侵入, 气水溶液从岩浆中分离出来, 沿着万保沟基性火山岩的构造破碎裂隙进行活动。在沉淀填充等作用下成矿, 最终形成铜、铅矿床。

5 找矿前景

青海东昆仑清水河地区处于铜、钴、金、锌、铅等成矿带, 东昆南次级成矿带中, 岩浆活动比较频繁, 构造作用相对复杂, 是金、铜等矿种的有利成矿地带, 区域上有多处以铜异常和矿(化)点。铜矿化和化探异常空间分布与火山岩之间有着密切的联系, 是重要的含铜岩系。

矿区中北西方向次级断裂构造发育较好, 断裂构造能够为矿液的运移和储存提供空间, 对矿产空间分布进行控制。

目前该矿区范围内已经发现了多金属矿点, 成矿特点比较相似, 并且与中-新元古代的中基性火山岩密切相关。

对清水河矿区开展地表检查工作发现有铜铅矿体、铜矿化点等, 找矿的效果比较好, 但是矿区的工作只是针对地表进行的, 深部的工程检查不足, 综合分析认为该地区有很好的矿床前景。

6 结束语

总而言之, 东昆仑清水河地区的成矿受断裂的影响显著, 并且在该地区发现了很多金属矿。在岩浆活动中, 由于受到断裂构造以及花岗闪长岩的侵入, 会有气水溶液从岩浆中分离出来, 沿着万保沟中基性火山岩的构造进行活动, 通过沉淀等成矿作用, 在清水河地区形成了多金属矿点。通过对清水河矿区地质特征及成矿条件进行分析, 认为该地区可作为典型矿床, 为区域内寻找多金属矿提供依据和参考。

参考文献

- [1] 张占玉, 张永胜, 李华, 等. 青海省都兰地区砂卡岩型铁多金属矿地质特征及成矿规律[J]. 地质与勘探, 2011, 6: 994-1001.
- [2] 许长坤, 刘世宝, 赵子基, 等. 青海省东昆仑成矿带铁成矿规律与找矿方向研究[J]. 地质学报, 2012, 10: 1621-1678.
- [3] 张普斌, 张宇, 杨自安, 等. 青海省东昆仑地区铜矿成矿地质特征及靶区优选[J]. 中国有色金属学报, 2013, 5: 1405-1416.
- [4] 唐大元. WASP 水质模型国内外应用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(34): 21265-21267.
- [5] 田景环, 邱林, 柴福鑫. 惠济河水质管理信息系统的研制[J]. 中国环境监测, 2005, 21(3): 6-9.
- [6] 郑保华, 曹宏斌. 河南省卫河流域引黄退水退沙成因分析及建议[J]. 河南水利与南水北调, 2010(7): 51-52.
- 作者简介: 王潇磊(1980-), 男, 工程师, 主要从事环境监测工作。

对合理的计算结果, 因此, 确定 WASP 模型适用于贾鲁河、惠济河和卫河的水质模拟。

参考文献

- [1] 周凯, 张毅川, 王智芳, 等. 河南省水环境质量评价[J]. 生态环境学报, 2015, 24(10): 1676-1681.
- [2] 基于水质模型的污染监控预警和应急管理研究[J]. 北方环境, 2013, 29(5): 53-58.
- [3] 阮丽丽. 水环境预测模型的开发及应用研究[J]. 2012.