

文章编号: 1009-6248(2005) 03-0105-06

石家庄市地下水脆弱性评价

严明疆¹, 张光辉¹, 徐卫东²

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061;

2. 东华理工学院土木系, 江西南昌 344000)

摘要: 采用 DRASTIC 评价模型, 不考虑地形与土壤两个因素, 将人类活动(抽取地下水)与其他 5 个因素作为评价指标, 对石家庄地区的地下水进行评价, 由结果可以看出在人类活动频繁地区, 人类活动是地下水脆弱性重要影响因素。

关键词: 地下水脆弱性; 人类活动; 评价指标

中图分类号: P641.132 **文献标识码:** A

地下水脆弱性是指在自然因素或人为影响下, 反映地下水状况某一指标到达地下水某一位置, 而使地下水性质发生变化, 或是地下水赋存环境阻抗指标物质, 维持地下水稳定性的能力^[1]。从其概念的提出至今, 对地下水脆弱性的研究将近 40 年, 由于其在对地下水管理和保护以及土地利用等方面的重要作用, 世界各国都进行了地下水脆弱性评价和编制了不同比例尺脆弱性图。由于地下水在当今社会经济发展中的重要作用以及地下水的污染, 地下水脆弱性评价也是当今水文地质学的热点问题之一^[2~4]。

地下水是石家庄主要的水源, 各种人类活动对地下水性质的变化有很大的影响, 很多学者关注于地下水的各种污染物的分布规律以及演化机制, 梅双斌^[5]研究了石家庄市地下水污染并提出了相应的防治对策; 毕二平^[6,7]研究了人类活动对石家庄市地下水环境质量现状的影响及其趋势研究; 丁开宁^[8]、沈振^[9]等人研究了石家庄市地下水盐污染时空演化规律, 但有关对石家庄地下水脆弱性评价研究尚为鲜见。本文将人类活动作为一个评价指标, 对

石家庄地下水脆弱性进行了评价, 对指导人类活动, 从多方面保护地下水, 实现地下水可持续利用有重要意义。

1 研究区概况

1.1 自然概况

研究区域位于太行山东部平原的滹沱河流域, 西临太行山, 地势由西向东倾斜, 地形坡度为 0.5%~1%, 面积约 4 436 km², 主要涉及石家庄市、正定县、无极县、深泽县、藁城、晋州市、栾城县、赵县和辛集 9 个市县。本区属大陆性季风气候, 四季分明, 冬初夏干旱少雨, 降雨量集中在 7、8 月份, 多年平均降雨量为 541.7 mm。

1.2 水文地质概况

研究区位于太行山东麓冲积扇山前倾斜平原, 含水层厚度由西向东由厚变薄, 粒度由粗变细, 层次由少增多, 分选性由差到好, 突水性由强至弱。在垂直方向上, 含水层的变化是: 上部及下部砂层粒度较细, 厚度小; 中部砂层粒度较粗, 厚度大(图 1)。本次研究的目的是第一、二含水组。其在地

收稿日期: 2005-04-27; 修回日期: 2005-06-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(40472126)

作者简介: 严明疆(1975-), 男, 现为中国地质科学院水文地质环境地质研究所博士研究生, 主要从事地下水资源可持续研究。E-mail: yanmingjiang007@sohu.com

层上相当于全新统和上更新统, 底界深度西部一般在 40~60 m。在山前平原, 由于人为沟通、混合开采, 浅层水延伸到 120~150 m。含水层岩性西部多为厚层砂砾石, 下部为砾卵石, 向东逐渐变细, 以中粗砂为主。

根据太行山前平原地下水调蓄评价报告, 包气带岩性主要为粘质砂土、粘性土与砂组合、粘性土与粘质砂土组合, 约占研究区的 85% 以上, 亚粘土与粘土组合、中砂与细砂组合、粉砂细砂组合和粘质砂土与砂组合有零星分布 (图 2)。含水层岩性主要为第四系松散沉积物, 西部多为砂砾石层, 向东渐细一中粗砂为主, 含水层导水系数由西部山前向东部逐渐降低, 变化范围在 90~1 000 m/d 之间 (图 6)。根据 2000 年河北环境地质勘察院 1995~2000 年环境监测报告, 潜水位埋深在 9~45 m 之间, 埋深最大位于石家庄市几部分郊区, 逐渐向两边变浅, 大部分地区埋深在 23~31 m 和 31~40 m 之间 (图 5)。地下水开采强度在 10~1 000 mm/a 之间, 最大开采强度依然位于石家庄市及其郊区 (图 4)。降雨入渗补给呈近南北向条带状分布 (图 3)。

2 地下水脆弱性评价

2.1 地下水脆弱性评价方法及模型

国内外现有的评价方法主要有叠置指数法、过程数学模拟法、统计方法和模糊数学方法^[10]。目前世界各国普遍采用的是叠置指数法的 DRASTIC 评价模型, 该方法是 1987 年美国环保署提出。其主要用于中小比例尺的大区域地下水脆弱性评价, 评价结果为定性或半定量的评价。其评价模型名称 DRASTIC 是参与评价的水位埋深 (D)、净补给量 (R)、含水层介质 (A)、土壤成分 (S)、地面坡度 (T)、包气带影响 (I) 和含水层导水系数 (C) 7 个水文地质指标英文首字母的缩写。在评价过程中将不同的评价因子进行等级划分和赋予相应的值以及求取各因子的权重, 一般划分为 10 个等级, 取值范围为 1~10, 权重的求取一般根据专家意见或是采用数学模型计算。评价因子各等级值的加权和就是 DRASTIC, 根究 DRASTIC 划分脆弱区, DRASTIC 值越大, 则脆弱性越高, 地下水也就越容易被污染。

本次评价根据评价目的及研究区实际情况, 对 DRASTIC 评价模型进行了修改, 去除含水层介质、

土壤成分和地面坡度 3 个评价因子, 保留增地下水埋深、包气带岩性、水力传导系数、和净补给量, 增加了可以反映地下水储存状况的含水层砂层厚度和反映人类活动特征的地下水开采强度, 借鉴 DRASTIC 命名方法, 将本次评价模型命名为 DRASEC 评价模型。

其模型为^[10]:

$$DrDw + R \cdot Rw + ArAw + ErEw + IrIw + CrCw = DRAEC \quad (1)$$

式中: 下标 r 为划分等级, 例如, E_r 为 r 等级量化值, w 为权重, E_w 为地下水开采强度的权重, DRASEC 为评价指标。

2.2 评价因子权重

目前, 国内外对评价因子的权重求取一般根据专家意见或是采用数学模型计算, 计算权重的数学模型主要有主成分—因子分析法、相关分析法和证据权法等。主成分—因子分析法是通过确定个因子的贡献大小来确定权重, 贡献越大, 权值也就越大; 证据权法一般用于特殊脆弱性评价权重的计算中, 在确定了特殊评价对象后, 即为响应因子, 通过概率统计的方法确定个因子的权重; 相关分析法是根据各评价因子与响应因子的相关性计算权重。本文采用的是相关分析法计算各因子的权重, 其计算模型为^[11]:

设有 m 个与母因素 (X_0) 有一定关联作用的子因素 ($X_1, X_2, \dots, X_m$), 每个评价因子都有 N 个统计值, 构成母序列和子序列:

母序列 $\{X_0(i)\}$, $i=1, 2, \dots, N$

子序列 $\{X_k(i)\}$, $i=1, 2, \dots, N$; $k=1, 2, \dots, M$, 为了进行比较, 将母序列和子序列进行标准化处理, 使所有的值在 0~1 之间。

$$X_k^1(i) = \frac{X_k(i) - \min(X_k)}{\max(X_k) - \min(X_k)} \quad (2)$$

式中: $X_k^1(i)$ —— 标准化后的值; $\max(X_k)$ —— 子序列中的最大值; $\min(X_k)$ —— 子序列中的最小值。

经过标准化后的数列无量纲, 则第 k 条子线在某一点 t 与母线在该点的距离:

$$\Delta_{0k} = |X_0(t) - X_k(t)| \quad (3)$$

可用该距离衡量它们在 t 处的关联性, $\Delta_{0k}(t)$ 愈小, 子线与母线在 t 处的关联性愈好, 母、子序列在 $t=1$ 到 $t=N$ 的关联性用关联系数表示:

$$\zeta_k(i) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0k}(i) + \xi \Delta_{\max}} \quad (4)$$

式中: $\zeta_k(i)$ ——第 k 条子线与母线 X_0 在 i 点关联系数, 其值满足 $0 \leq \xi_{0k} \leq 1$, ξ_{0k} 愈接近 1, 它们的关联性越好; $\Delta_{\min}$, $\Delta_{\max}$ —— m 条子线在区间 $[1, N]$ 母线的距离 $\Delta_{0k}(i)$ 的最大值与最小值; ζ ——分辨系数, 一般取 0.5。

于是有第 k 条子线与母线在 $[1, N]$ 间的关联度为:

$$r_{0k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \zeta_k(i) \quad (5)$$

与式 (2) 同样的标准化过程对关联度进行标准化, 标准化后的关联度既可做为每个评价因子的权重。

2.3 评价因子评分

参阅国内外评价因子评分原则并与研究区实际相结合, 各评价因子的等级划分和评分标准见表 1。

水位埋深、净补给量和包气带岩性采用 DRASTIC 等级划分与评分标准; 含水层砂层厚度和开采强度采用清华大学硕士学位论文中的等级划分和评分标准; 对于含水层导水系数等级划分和特征值的确定, 首先对研究区含水层岩性分布特征与 DRASTIC 评价模型含水层类型进行对比, 然后对研究区含水层岩性分布特征与含水层导水系数分布特征进行对比, 最后将以上对比结果再进行对比来确定含水层导水系数等级划分和评分标准。

2.4 地下水脆弱性评价

表 1 各评价因子等级划分及评分

Tab. 1 grade and value of assessment factors

潜水位埋深		含水层砂层厚度 ^[12]		净补给量	
范围 (m)	评分	范围 (m)	评分	范围 (mm/a)	评分
0~1.5	10	0~10	10	0~51	1
1.5~4.6	9	10~20	9	51~102	3
4.6~9.1	7	20~50	8	102~178	6
9.1~15.2	5	50~100	6	178~254	8
15.2~22.9	3	100~150	3	> 254	9
22.9~30.5	1	> 150	1		
含水层导水系数		开采强度 ^[12]		包气带岩性	
范围 (m/d)	评分	范围 (mm/a)	评分	范围 (类型)	评分
< 100	1	< 50	1	砂卵砾石	10
100~200	2	50~150	3	粗砂	9
200~400	4	150~250	5	中砂	7
400~600	6	250~350	7	细砂	5
600~800	8	350~450	8	粉细砂	3
> 800	10	450~550	9	粘土	1
		> 550	10		

结合研究区实际背景, 在本次评价过程中选取了潜水位埋深、包气带岩性、含水层导水系数、含水层砂层厚度、净补给量 5 个自然因素, 同时考虑到人类活动 (抽取地下水) 影响地下水环境, 将地下水开采强度作为一个评价因子参与地下水脆弱性评价。各评价指标空间分布如图 1~6 所示。

根据式 2~5 评价因子权重求取过程, 将地下水矿化度作为母序列, 各评价因子作为子序列, 求得各因子与矿化度的关联度即为各因子的权重如表 2。

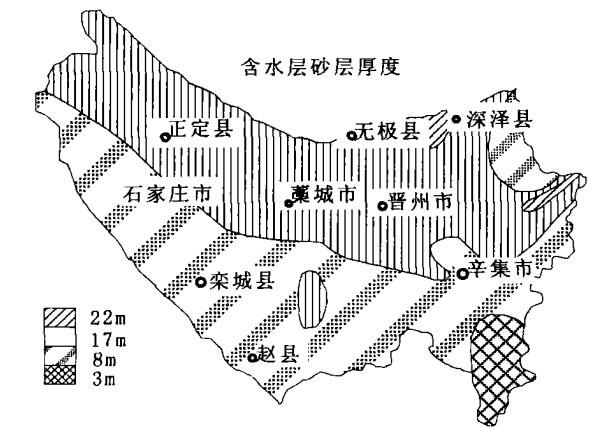


图 1 含水层砂层厚度分布图
Fig. 1 Aquifer sand bed thickness

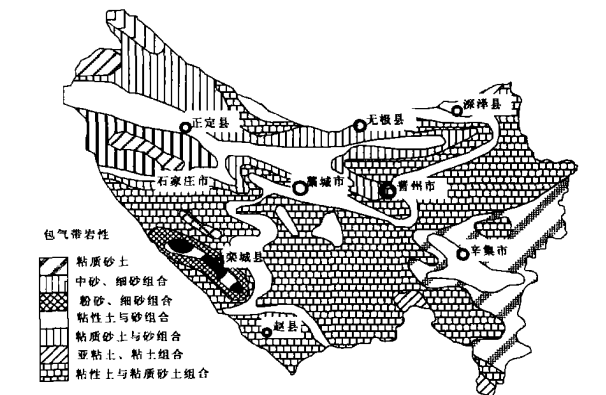


图 2 包气带岩性分布图
Fig. 2 Vadose zone lithology

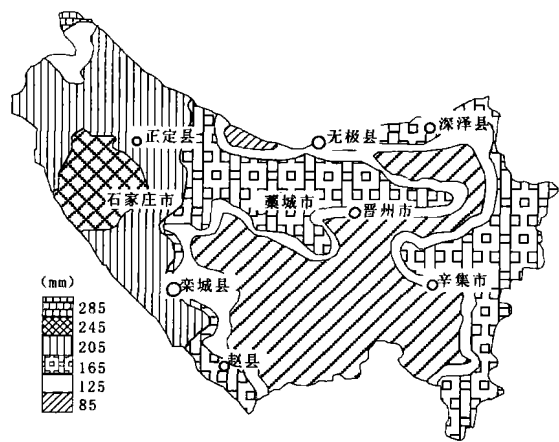


图 3 降水量补给分布图

Fig.3 Precipitation supply spatial picture

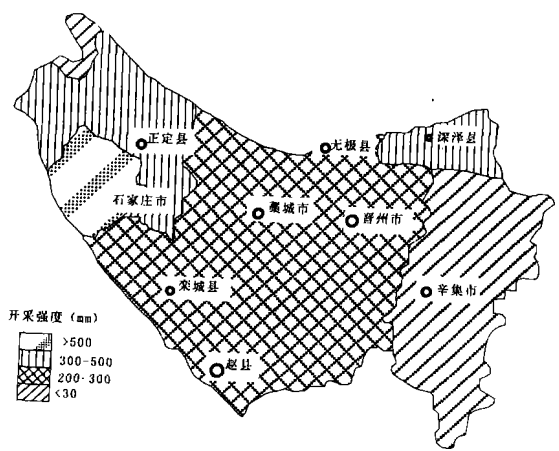


图 4 地下水开采强度分布图

Fig.4 Groundwater exploitation degree

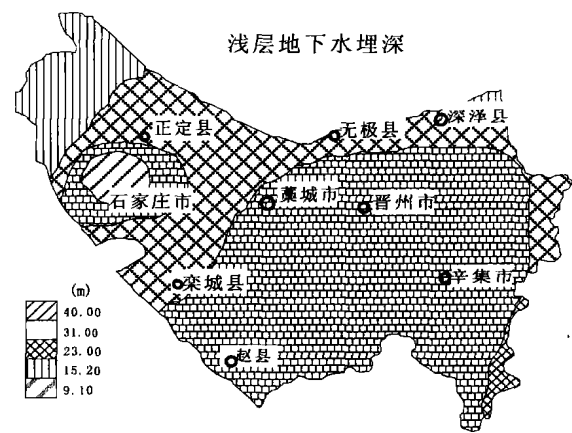


图 5 潜水位埋深分布图

Fig.5 Unconfined water depth

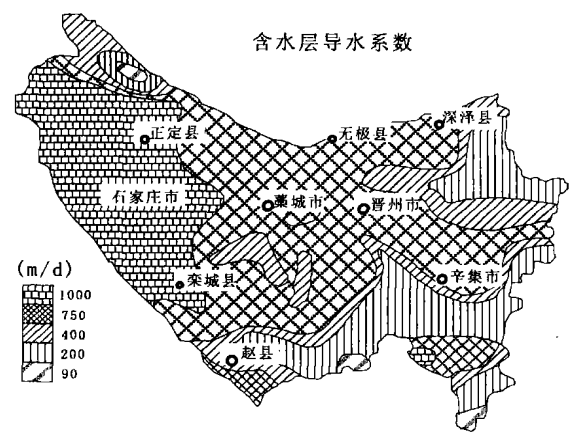


图 6 含水层导水系数分布图

Fig.6 Aquifer coefficient of transmissibility

表 2 各评价因子与矿化度关联度

Tab.2 Correlation of assessment factors and mineralization degree

开采模数	砂层厚度	导水系数	降雨补给量	水位埋深	包气带岩性
0.61	0.60	0.54	0.63	0.57	0.58

本次评价区面积约 4 436 km², 按 1.25 km² × 1.25 km² 进行单元剖分, 剖分单元为 2 840 个, 根据各评价因子的等级划分及评分标准 (表 1), 给每个单元各因子赋值并乘以权重并加和, 得各评价单元脆弱性指数最小值 11.5, 最大值 28.8, 将 11.5~28.6 均分为 4 个区间, 得到各评价单元脆弱性指数的 4 个等级, 相对高脆弱性区 (脆弱性指数 23.7~28.8), 相对较高脆弱性区 (脆弱性指数 19.6~

23.7), 相对较低脆弱性区 (脆弱性指数 15.5~19.6) 和相对低脆弱性区 (脆弱性指数 11.5~15.5)。按各分区等级对相同分区的评价单元进行合并, 最后得到研究区的地下水本质脆弱性分布图 (图 7)。

3 研究区地下水脆弱性分析

从整个研究区来看, 地下水脆弱性由西向东逐渐变弱, 从行政区划来看, 相对高脆弱性区主要分布在石家庄与正定; 相对较高脆弱性区分布在藁城、无极以及栾城西部; 其余大部分地区为相对较低脆弱性区; 较低脆弱性区主要分布在辛集。

地下水脆弱性评价为较高或高的地区, 其主要

原因可能为: 石家庄与正定地区含水层砂层厚度较薄, 包气带岩性主要为砂与粘质砂土结合, 渗透性较大。同时, 地下水开采量也比较大, 年开采量在 500 mm/a 以上, 石家庄部分市区年开采量在 1 000 mm/a 以上, 大量集中开采形成降落漏斗, 且正定部分出现地下水疏干状态。因此, 尽管这两个地区地下水埋深较深, 但人类活动大量开采地下水依然造成这两地区的地下水脆弱性较高。因此, 应当适当限制人类对地下水的大量开采, 保护地下水环境, 维持地下水资源可持续发展。

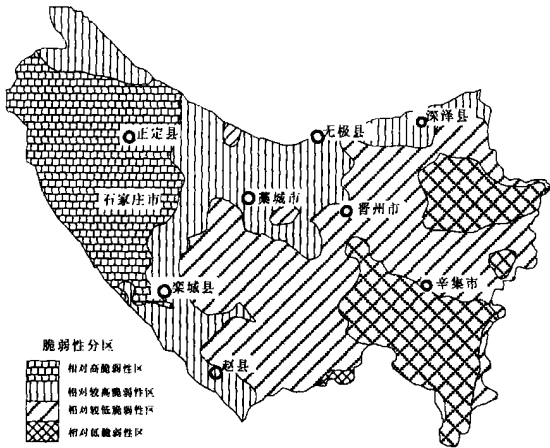


图 7 石家庄地下水脆弱性评价结果图
Fig. 7 Shijiazhuang groundwater vulnerability assessment result

4 结论

根据评价结果, 将研究区划分为相对高脆弱性区、相对较高脆弱性区、相对较低脆弱性区和相对低脆弱性区 4 个等级, 整个研究区的脆弱性呈条带状分布, 且由西向东逐渐降低; 从整体来看, 市区的脆弱性相对高于郊区和农村地区。通过地下水脆弱性图与评价因素空间分布对比分析, 可以看出, 地下水脆弱性与降水补给量、包气带岩性颗粒和人类

对地下水的开采强度在空间具有一致性, 而吻合最好的是地下水开采强度。因此, 在诸因素中, 人类活动的频繁程度是影响地下水脆弱性的最主要因素。

参考文献:

[1] 孙才志, 潘俊. 地下水脆弱性的概念、评价方法与研究前景 [J]. 水科学进展, 1999, 10 (4): 444-448.

[2] 姜桂华. 地下水脆弱性进展 [J]. 世界地质, 2002, (21): 33-38.

[3] Thomas Harter, Leah G. Walker. Assessing Vulnerability of roundwater [M]. 2001, 3.

[4] Jaroslav Vrba and Alexander Zaporozec. Gudiebook on Mapping Groundwater Vulnerability [M]. International Contributions to hydrogeology Founded by G. Ccastany, E. Groba, E. Romijn. volume (16).

[5] 梅双斌. 石家庄市地下水污染及防治 [J]. 地质灾害与环境保护, 1998, (2): 33-36.

[6] 毕二平, 高扬, 刘长礼. 人类活动影响下石家庄市地下水环境质量现状及趋势研究 [J]. 水文地质工程地质 [J]. 2000, (4): 40-43.

[7] 毕二平, 李政红. 石家庄地下水中氮污染分析 [J]. 水文地质工程地质, 2001, (2): 31-34.

[8] 丁开宁, 郝爱兵. 石家庄市地下水盐污染的分布及污染机理 [J]. 地学前缘, 2001, (1) 151-153.

[9] 沈振. 石家庄市地下水盐污染时空演化规律 [J]. 北京地质, 2003, (2): 16-20.

[10] Shamsuddin Shahid . A study of groundwater pollution vulnerability using DRASTIC/ GIS, west Bengal, India [J]. Journal of Environmental Hydrology, 2000, (8): 1-8.

[11] 张宗祜, 沈照理. 华北平原地下水环境演化 [M]. 北京: 地质出版社, 2000.

[12] 雷静. 地下水环境脆弱性研究 [D]. 清华大学硕士学位论文, 2002.

Assessment on groundwater in Shijiazhuang

YAN Ming-jiang¹, ZHANG Guang-hui¹, XU Wei-dong²

(1. *The Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, Hebei, China;* 2. *East China Institute of Technology, Nanchang 344000, Jiangxi, China*)

Abstract: Shijiazhuang lies in east plain of taihang fore-mountain, which is the center of politics, economy and culture in Hebei province. Over-exploitation causes groundwater vulnerability with the rapid development of industry and agriculture. The paper assesses the groundwater vulnerability in shijiazhuang by using DRASTIC method and looking human activity as a index. The result suggests human activity is an important factor to influence groundwater vulnerability.

Key words: groundwater vulnerability; human activity; assessment index

青藏高原北部空白区基础地质调查综合研究主要新进展

青藏高原北部空白区基础地质调查综合研究项目自 2003 年启动以来, 在综合分析已经完成和正在进行的区调成果基础上, 通过地质编图, 针对研究区存在的重大地质问题开展综合研究, 在高原北部构造- 地层格架、构造岩浆岩带以及高原隆升规律等方面取得了一系列重要成果, 下面简要介绍 2005 年度的部分最新进展。

依据沉积建造、岩浆建造、蛇绿岩的性质及其产出状态结合前寒武纪地层的出露情况和变质热事件, 将昆仑早古生代造山带分为 3 大构造单元。昆中构造带为早古生代的岩浆弧, 北部为由库地- 其曼于特- 祁漫塔格蛇绿构造混杂岩、滩间山群、O-S 未分地层等相关边缘沉积体组成弧后盆地沉积、岩浆建造系统, 南部为由柳什塔格- 向阳泉- 乌妥蛇绿构造混杂岩、纳赤台群、温泉沟群共同组成弧前复理石增生楔杂岩带。主俯冲带位于增生楔南部, 被晚古生代结合带强烈改造, 原始面貌不清。

通过对西昆仑、喀喇昆仑地区晚古生代- 早中生代盆地充填物、充填规律、沉积碎屑岩微量元素、火山岩地球化学特征的综合分析, 认为: 苏巴什- 康西瓦- 麻扎- 瓦卡以北的阿羌- 库尔良为边缘裂谷盆地, 苏巴什- 瓦卡- 奥依塔格为弧后盆地, 卡勒拉塔什- 麻扎为火山弧、弧间及弧前沉积盆地, 其当时的空间配置关系极其类似于东海- 菲律宾海盆现今的构造地理格局; 南部的甜水海、喀喇昆仑地区晚古生代为向南倾的被动陆缘盆地。结合该区地层中古生物研究成果以及地层的不整合关系, 初步得出西昆仑与甜水海- 喀喇昆仑在中二叠世前各自独立发展, 中二叠世末期松散相连; 晚二叠世- 中三叠世间, 巴颜喀拉西延部分是二者之间的残留海盆, 晚三叠世后期残留海盆关闭, 整个研究区联为一体, 进入板内演化阶段。收集、分析了高原北部 612 个金属矿点、矿化点资料, 在此基础上将青藏高原北部划分为两大成矿域, 5 个 II 级成矿区 (带), 9 个 III 级成矿亚带。将全区 16 个矿种划分为 4 大成矿阶段, 3 大矿床组合类型, 7 个成矿系列。2005 年着重开展了阿尔金一带的 11 个铜、镍、铂矿化点围岩的岩石学、岩石地球化学研究, 初步得出其围岩为大型火成层状杂岩体, 而且在岩体、矿化类型和成矿条件上可和国外已知典型层状杂岩体相对比; 进而指出该区是我国特有的一个含 Cu、Ni、Pt 矿的大型层状岩体群或岩带。

通过对高原北部主干河谷地貌的垂直抬升速率实测数据, 阿拉克湖、羊湖、古里雅等地区古孢粉、古植物所反映的古气候对比分析, 得出 0.2 Ma 以来高原北部垂直抬升速率为 0.08~3.24 mm/a, 具有从西向东抬升速率逐渐降低, 同一地区, 从老到新抬升速率逐渐增加的规律; 全新世以来高原北部存在 4 个温暖湿润的草原时期和 3 个干冷的荒漠时期。

(西安地质矿产研究所 青藏高原综合研究项目组)