



四

地质灾害防治与 地质环境保护支撑

2016年，安排1：5万水文地质调查 4.4×10^4 km，1：5万地质灾害调查 2.1×10^4 km。在洮河流域、安宁河断裂带、青藏高原东缘重大工程区等地质灾害高易发区，选择典型地区开展1：5万崩塌滑坡泥石流调查与风险评价示范，显著提高了地质灾害早期识别准确率和评价精度，为地方地质灾害防治管理提供了重要依据。长江经济带活动断裂与

区域地壳稳定性研究取得新进展，厘定和发现对区域地壳稳定性具显著影响的重要活动断裂带32条。积极推进革命老区、贫困地区以及西南岩溶区和西北干旱区等生态脆弱地区1：5万水文地质调查。建立流域尺度岩溶动力系统中碳循环的概念模型，提升我国在岩溶碳汇计量方面权威地位，扩大我国在气候变化会议上的话语权。

(一) 地质灾害防治

区域工程地质调查助力青藏高原东缘重大工程规划建设

初步编制了青藏高原东部主要活动断裂分布图(1:50万),新发现和厘定了多条全新世活动断裂的位置及其活动习性,为内动力地质灾害成灾背景研究和防灾减灾规划提供了重要基础。

查明了成都—兰州交通廊道松潘段黄土分布特征及其工程地质特性。模拟分析了成兰铁路松潘隧道入口红花屯滑坡稳定性,并提出了相应防治措施建议。

成兰铁路沿线的云屯堡隧道、松潘隧道和红桥关隧道等深埋长隧道穿越的三叠系新都桥组、侏倭组炭质板岩和千枚岩为典型的软岩,隧道围岩大变形问题突出,岷江断裂带的地应力异常和碎裂岩体也是引起隧道变形破坏的主要因素,严重影响隧道工程的工期和安全。

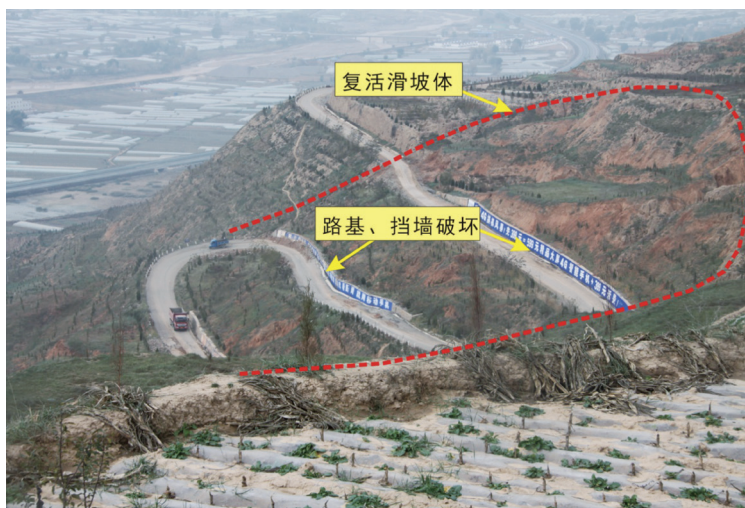
针对在建兰渝高铁穿越甘肃境内临潭—宕昌断裂带的长隧道出现严重变形破坏问题,基于活动断裂调查、水压致裂地应力测

量与实时监测研究,揭示了隧道内现今地应力状态,提出了优化隧道断面形状、避免隧道顶部和底部应力集中的建议,为活动断裂带隧道



兰渝高铁木寨岭隧道大变形特征与关键点水压致裂地应力测量

a- 高地应力引起的隧道大变形特征; b- 测量设备组装;
c- 测量设备调试; d- 地面控制数据采集



甘谷县磐安巨型滑坡局部复活(镜向SW)

优化设计提供了依据。

重点调查了1718年通渭地震触发的磐安巨型地震滑坡特征，查明该老滑坡至今仍为崩塌、滑坡、泥石流地质灾害高易发区，该老滑坡前

缘已发生局部复活，危及公路安全。项目组及时与甘谷县国土资源局、尉家湾乡政府沟通协调，在滑坡危险地段设立了滑坡灾害警示牌，并提出了应急处置与防治措施建议。

◆ 洮河流域下游地质灾害调查 实践新技术新方法

为“地质灾害野外调查数据采集系统”开展全面测试工作。全面采用了手持PAD端的“地质灾害野外调查数据采集系统”进行野外调查数据采集，为该系统完善后在地质灾害调查领域中全面铺开应用打下坚实基础。

开展无人机倾斜摄影在地质灾害调查工作中的试用，探索了地质灾害快速调查评价新技

术、新方法。探索了无人机高精度三维倾斜摄影在地质灾害调查领域应用的可行性，探索不同分辨率影像对地质灾害解译的适用性，最终筛选出适用于新一轮地质灾害调查评价工作的最优化方案。

将中德“兰州市滑坡灾害和风险评价/管理”国际合作研究的阶段性成果应用于洮河流域下游地质灾害调查项目中。引进德国较为成熟和先进的评价和管理方法，构建符合我国地质灾害风险评价和管理需求的中国

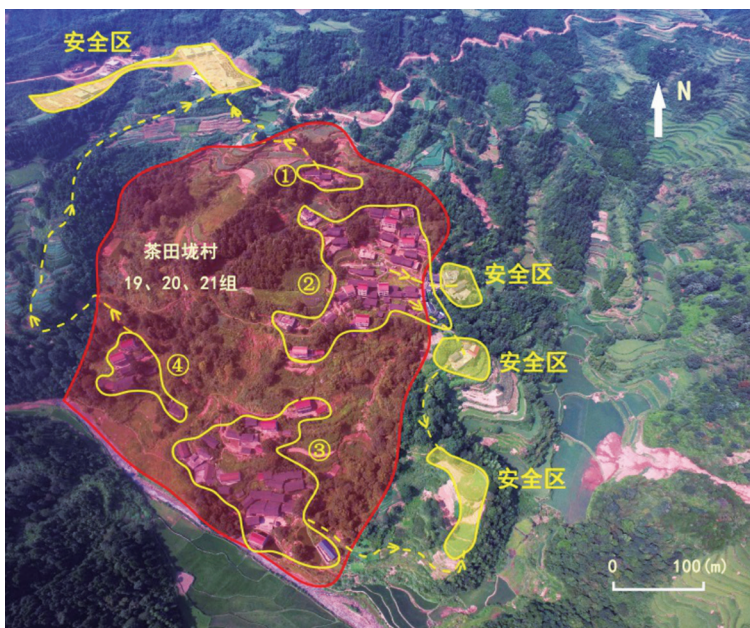
特色地质灾害风险评价和管理体系。同属黄土区的洮河流域下游和兰州市在灾害发育类型、规模、特征、机理方面均有相通之处，因此可将1:5万兰州市幅地质灾害易发性评价指标和评价模型调整后直接应用于洮河流域下游地质灾害调查评价工作。



东乡县那勒寺滑坡无人机三维倾斜摄影影像

新技术拓展地灾调查 与监测成果服务链

将多旋翼无人机航拍技术与传统地面调查手段相结合,建立了基于无人机技术的地质灾害调查新模式,优势主要表现在:一是利用“无人机”遥感影像图作为临灾避险底图,提升了



群测群防临灾避险图

图件的可读性、易懂性,形成了地质灾害群测群防工作的新特色;二是协助当地国土部门,

对多处隐患点及其灾害链进行了排查,精准、直观、快速地划分了危险区,拓展了地质灾害应急调查思路;三是以“无人机”调查为先导,有助于调查人员从直观上掌握灾害体及灾害链发育特征,切实提高野外调查效率,开辟了地质灾害快速调查新方法。这一新技术的应用标志着雪峰山区地质灾害调查项目全面进入“无人机”时代。

开发的地质灾害快速监测系统,可在险情发生后第一时间进入现场进行快速布置,具有便易携带、部署快速、功能完备、性能可靠等特点,监测数据可通过北斗、GPRS 通讯实时传输到后台监控中心,为决策分析提供有效的数据支撑。

厘清了地质灾害技术成果转化服务模式,通过参与应急演练、会议培训与宣传等形式,主动对接地质灾害监测与应急需求,成功将先进的监测技术方法应用到

阜平县开荒造地工程地质环境监测、抚顺西露天煤矿巨型滑坡稳定性监测、乌东德水电站泥石流可视化监测等项目。

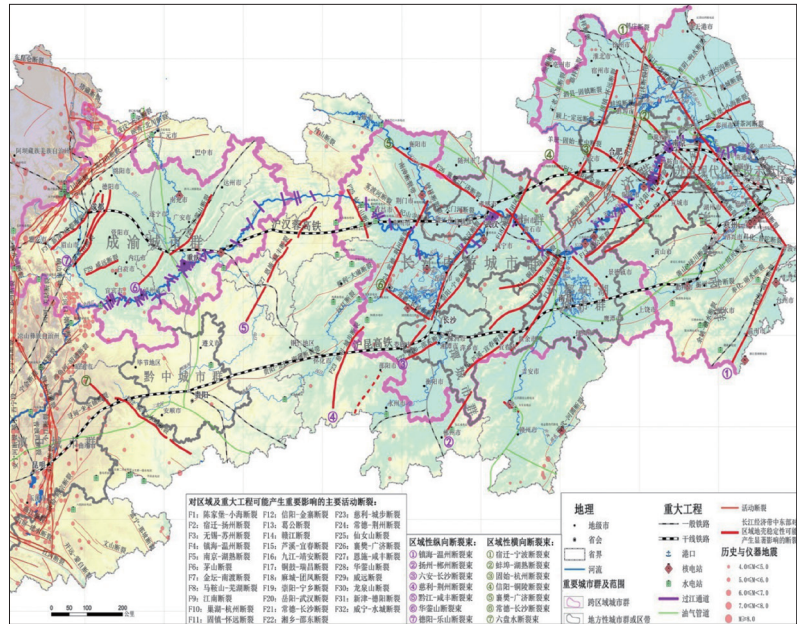
长江经济带厘定和发现 重要活动断裂带 32 条

在长江经济带中东部地区(重庆至上海段)厘定和发现对区域地壳稳定性具有影响的重要活动断裂带 32 条。包括:镇海—温州断裂,宿迁—

扬州断裂,无锡—苏州断裂等。其中包括新厘定和发现的 7 条穿越成渝、长江中游和长三角 3 个重要城市群的第四纪以来的活动断裂,从西向东分别为黔江—建始断裂带、常德—荆州断裂带、岳阳—武汉断裂带、鄱庐断裂带皖江段、安庆断裂带、皖江断裂带和无锡—宿迁断裂带。

这些断裂构成控制长江经济带中东部现今地壳变形的具“七纵七横”格局的棋盘式构造体系，这是控制长江水系发展的重要构造因素，也是影响长江经济带中东部地区城市规划建设、重要交通线路、重要能源管线、水电站、核电站等大型工程建设的地质因素。

进一步围绕长三角开展活动断裂的地震精定位,跨无锡—宿迁断裂带、九江—靖安断裂和襄樊—广济断裂等重要活动断裂带的1:5万地表调查,相关的微地震台网观测、构造古地磁测试和构造应力场模拟等调查研究,以及地质雷达、地震反射和MT大地电磁测深探测等探测工作,从而进一步详细查明该区的最



长江经济带中东部地区新厘定的 32 条重要活动断裂带

新断裂活动性与现今地壳运动学特征,其结果将为经济带中东部地区的地壳稳定性综合评价奠定重要基础。

◆ 安宁河断裂带调查总结形成 4 种断裂带对滑坡控制模式

基于斜交斜坡的断层控制滑坡模式。滑坡所在斜坡坡向与断裂带走向基本垂直或大角度相交,滑坡一侧或两侧边界受断裂带控制,甚至断裂带直接构成滑坡侧边界,滑坡前缘和后缘受地形地貌控制。典型如秧田沟滑坡。

基于顺倾或反倾斜坡的断层控制滑坡模式。滑坡所在斜坡走向与断裂带走向基本一致,断裂带倾向坡外或坡内。当断裂带倾向坡外时,

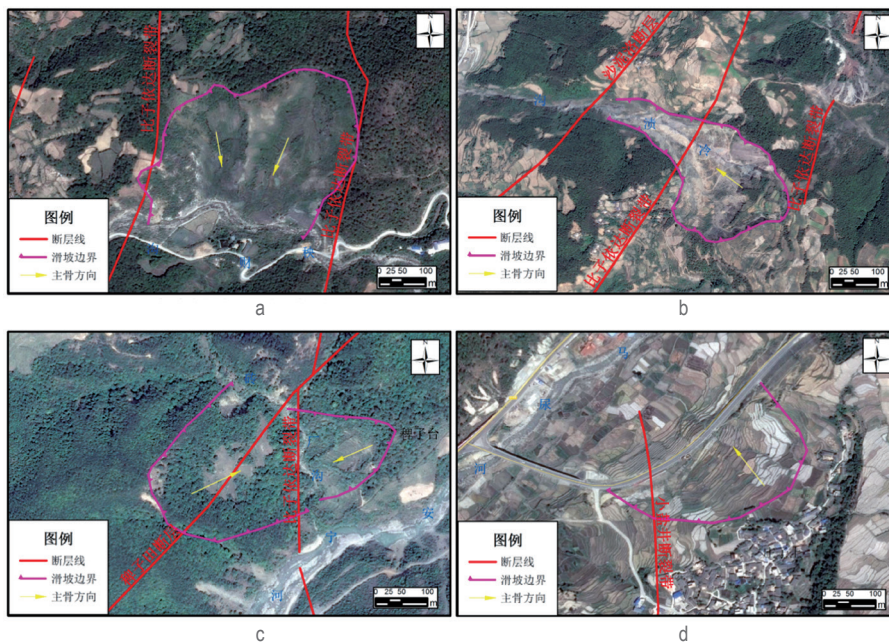
断裂带可直接构成滑坡后缘。当断裂带倾向坡内时,断裂带影响斜坡岩体破碎解体,特别是多条断裂对斜坡岩体的影响更甚,导致斜坡岩体稳定性降低从而形成滑坡。典型如冷渍沟滑坡。

基于多条相交断裂控制滑坡模式。表现为滑坡后缘、侧边界、规模和平面形态均不同程度受多条相交活动断裂影响,滑坡主滑方向与断层走向之间无明显相关性,多与地形地貌、河流、工程切坡有关。典型如稗子台滑坡群。

基于导水性变化断裂控制滑坡模式。此类

滑坡通常位于断层破碎带或附近区域，由于断裂的影响和控制作用导致地下水流向发生改变，局部地下水富水区岩土体力学性能降低从而形成滑坡，典型如庄子上滑坡。

总结的断裂带对滑坡控制的 4 种模式，为进一步认识断裂带对滑坡影响，支撑服务安宁河断裂带沿线重要城镇和重大工程防灾减灾提供地质基础资料。



断裂带对滑坡控制 4 种模式示意图

a- 秧财沟滑坡平面示意图； b- 冷渣沟滑坡平面示意图； c- 稗子台滑坡平面示意图； d- 庄子上滑坡平面示意图

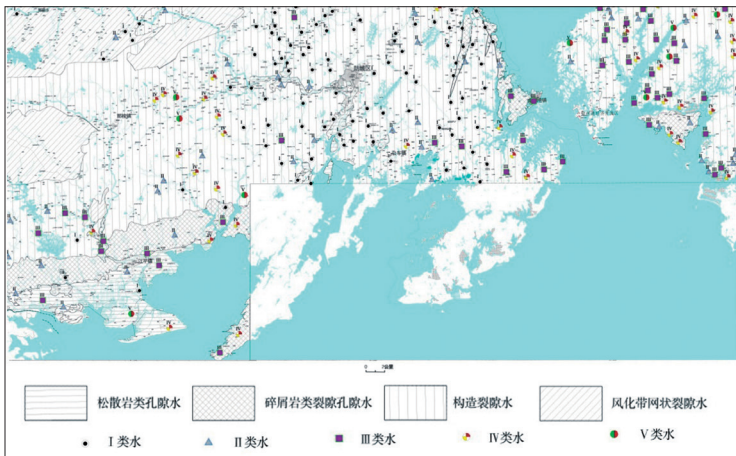
(二) 地下水资源与环境

查明防城港地区水文地质条件 勘探出优质红层地下水水源地

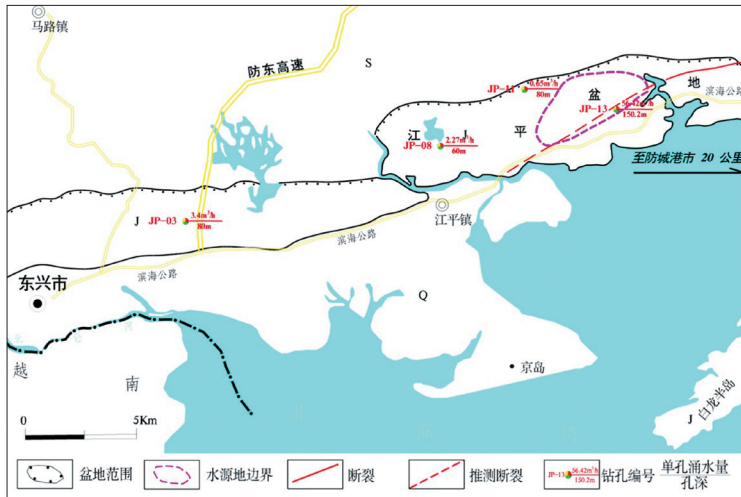
根据含水层的水理性质，地下水的赋存条件和水力特征，工作区的地下水可划分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类裂隙孔隙水和基岩裂隙水三大类型。

防城港地区地下水资源量为 $73431.75 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$ ，地下水可开采资源量为 $43993.25 \times 10^4 \text{m}^3/\text{a}$ 。由于地表水资源丰富及该地区的水文地质条件所决定的较差富水性含水岩组，地下水利用率较低。

防城港地区地下水质量普遍较好，其中 I 至 III 类地下水占 80.8%；IV 类地下水占



防城港地区地下水质量评价图



江平盆地水源地示意图

15.2%；V类地下水占4%。超标水质主要分布在那梭镇以东、华石镇以西，即防城江上游东西流向的支流附近和防城江东岸、钦南南部地区以及江平、龙门部分沿海地区。

在广西壮族自治区东兴市和防城港市港口区之间江平盆地，勘探出优质红层地下水水源地。探明芋蒙坑至江平一带，主要为侏罗系上部碎屑岩裂隙孔隙潜水含水层和侏罗系下部裂隙承压水含水层组成的双层含水层结构。这一红层盆地找水突破可保障当地缺水地区5000人以上的饮水安全。同时，防城港市是“一带一路”国家合作重要边境城市之一，该地区找水的重大突破，将为地方经济建设提供水资源保障。

◆ 乌蒙山水文地质调查 助推“鸡鸣三省”地质公园申报

经过调查，认为这一带具备建立地质公园的良好条件，地科院岩溶所积极响应国家精准扶贫的号召，项目组与贵州省毕节市七星关区政府精准对接，依托《乌蒙山连片贫困缺水地区1:5万水文地质调查》项目，开展毕节七星关沔鱼河至

“鸡鸣三省”地质公园的调查工作，争取建立省级地质公园，带动当地居民脱贫致富。

目前，地质公园野外调查工作已经全部完成，基本查明了区内地质遗迹类型、特征。区内地质遗迹景观类型多样、种类齐全，包括溶洞、天生桥、石林、溶丘、天坑、伏流、岩溶峡谷等地质遗迹景观。其中，沔鱼河天生桥规模宏大，轮廓美轮美奂，令人遐思；月亮山石林怪石嶙峋，

姿态万千，引人入胜；响水天坑斧劈刀削，神秘深邃；老鹰洞规模宏大，大型石钟乳密度国内罕见，精致的“霸王盔”独领风骚；渭河、赤水河峡谷壁立千仞，鬼斧神工、连绵不绝。现已将查明的地质景观资源向当地政府作了汇报，并就地质公园申报相关事宜进行意见交换与沟通，得到了当地政府的赞赏与认同。



红色革命纪念塔



鸡鸣三省大峡谷

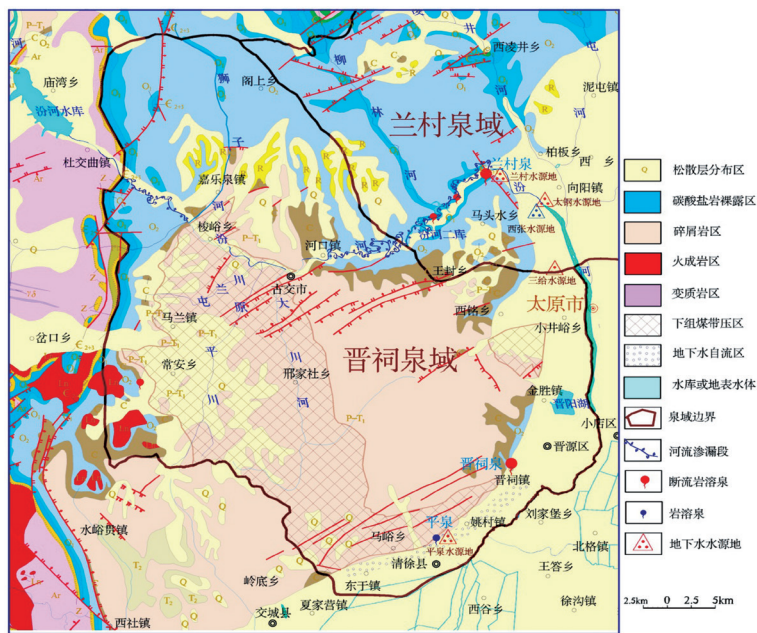
“单斜顺置”型岩溶泉水复流模式初步建立

晋祠泉域岩溶水流向与地层总体倾向一致，属于“单斜顺置型”系统，泉域北部为碳酸盐

岩裸露补给区、下游为煤系地层，西南部分布“下组煤带压区(岩溶水位以下的煤层分布区)”。根据晋祠泉域水文地质结构模式，初步建立了“单斜顺置”型岩溶水系统泉水复流的技术模式，有力地配合山西省委、省政府启动的汾河流域生态修复工程，为晋祠岩溶水复流方案的制定提供依据。

合理调节碳酸盐岩渗漏段水量。利用汾河外源水丰沛的水源(多年平均来水 $9.16\text{m}^3/\text{s}$) 和河流渗漏段上游汾河水库的调蓄能力(库容 $7.21 \times 10^8\text{m}^3$)，人工调度河水流量，增加对岩溶水的补给。

加高汾河二库蓄水至设计高程，增加岩溶地下水的补给量。汾河二库位于汾河下游兰村泉域碳酸盐岩渗漏段，坝顶高程 912.0m ，如实现蓄水高程至设



晋祠泉域水文地质略图

计正常水位 905.7m, 汇水长度深入晋祠泉域达 22km, 该段中奥陶灰岩岩溶发育强烈, 可大规模增加对晋祠泉域岩溶水的补给量。

处置下游的自流井。据调查, 晋祠泉域下游存在近 20 眼自流井, 与晋祠泉水同处于泉域内的岩溶水强径流带内, 对晋祠泉水的影响非

常大, 需采取措施处置, 减轻其对晋祠泉水流量的影响。

利用引黄工程水源作为替代水源, 关闭部分开采井。

以目前煤矿整合的契机, 关闭岩溶水强径流带内降压开采煤矿。

◆ 沂蒙山区水文地质调查 精准找水落实精准扶贫

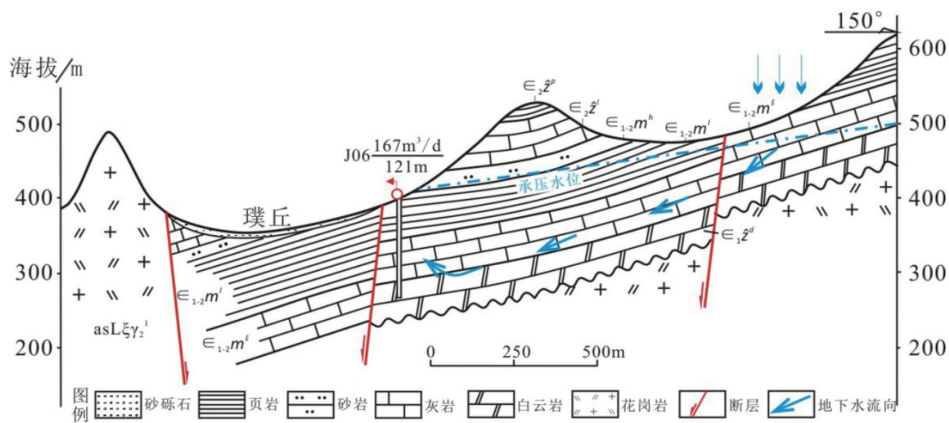
厘定了工作区 5 类含水岩组, 进行了 3 级富水性划分, 对 4 个四级地下水系统进行了 9 个五级地下水系统划分, 并查清了系统边界、补径排规律和动态变化特征; 选取了以上五井断裂为代表的区域大断裂, 进行了断裂构造水文地质性质分析, 发现压扭性断裂以阻水为主, 在两盘岩性差异显著并垂向差异升降强烈情况下, 可形成导汇水通道。

在沂沭河源头区分析并圈画了地下水富集带 21 处, 允许开采量达 $80000\text{m}^3/\text{d}$, 水质均达

到Ⅲ类水以上标准, 以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{—Ca} \cdot \text{Mg}$ 和 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{—Ca}$ 为主, 可有效解决 5 万人饮用水问题, 为地下水科学开发规划与产业布局提供了依据。

圈定了富锶矿泉水分布范围。查明工作区内富集的矿泉水以锶型为主、偏硅酸性次之。在车场发现锂含量达到矿泉水标准的地下水, 并圈定了 7 处富锶矿泉水水源地, 初步估算每年可利用资源量 $405 \times 10^4\text{m}^3$, 可带来产值 20 多亿元。

水文地质测绘与地球物理勘查深度融合, 通过精准找水落实精准扶贫, 在娄家铺子、池埠、毫山、北官庄、三宝官庄、石楼、四官旺、侯



沂源县璞丘地下水富集带水文地质剖面

家官庄、计宝峪、荷花池、黄土泉、车场等成功实施探采结合示范井 16 眼，合计进尺 2300 余米，涌水量达约 17800m³/d，为西里镇、鲁村镇集中供水提供了饮用水水源，解决了 4.4 万余人饮用水困难。

对工作区内 3 个层位 6 个典型洞穴进行了探测，长度达约 1470m。绘制的洞穴系列图件以科普的形式反映了洞穴成因、演化。沂源县宏洲旅游开发有限公司利用该系列图件进行了洞穴景观设计，导游图优化和洞穴四维展示。

◆ 新田县扶贫区 发现极具开发价值富锶地下水

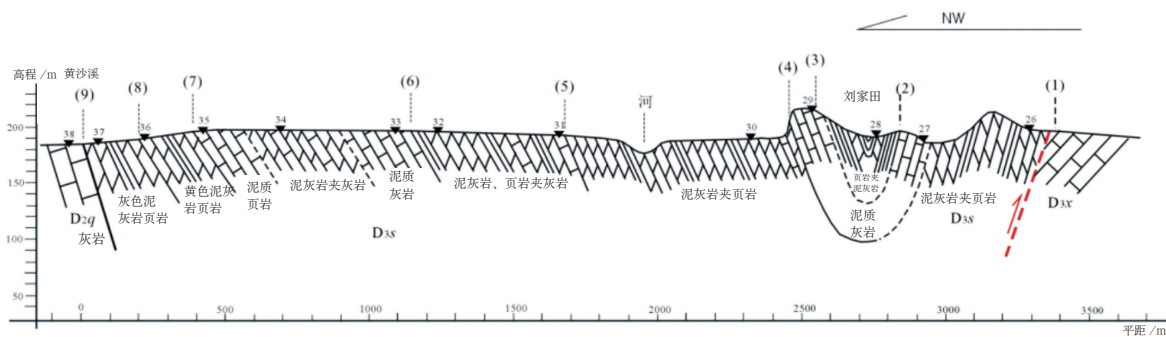
发现新田县富锶地下水异常区多达 58 处，其中，机民井涌水总量为 3860m³/d，泉水流量为 55.2L/s。经初步分析，其资源量可观，极具开发价值，可为当地开发矿泉水产业和特色农业，实现精准扶贫，打下坚实基础。

地下水中锶富集的地质环境：新田县富锶地下水的锶元素含量大于 200ug/L 的地下水主要赋存于泥盆系余天桥组(D_{3s})地层，超过 50 处；个别赋存于泥盆系棋子桥组(D_{3q})地层或地层接触带。富锶地下水中锶含量最低值为 200ug/L，最高值为 7340ug/L，平均值为 1117ug/L。可作为优质矿泉水开发。

新田县富锶地下水的出露类型：根据调查，新田县富锶地下水的揭露方式有人工揭露和天然出露，人工揭露稍多于天然出露。

余天桥(D_{3s})含水岩组富锶特征及其地下水化学特征：余天桥(D_{3s})含水岩组的岩性为中薄层浅灰色泥灰岩、泥质灰岩夹灰岩，灰岩夹层有 3 层，这些灰岩夹层是余天桥(D_{3s})含水岩组的主要富锶岩层。35 号取样点，岩石锶元素含量最高，其值为 838ug/L；次为 33 号取样点，岩石锶元素含量为 740ug/L。初步分析，余天桥(D_{3s})组下段、中段的灰岩夹层为地下水中锶元素的主要来源。

富锶地下水的水文地球化学特征：新田县富锶地下水的 pH 值最小为 7.03，最大为 8.41，平均值为 7.40，属于弱碱性水；溶解性总固



刘家田—黄沙溪 D_{3s} 采样剖面示意图

体最小值为 141.15mg/L，最大值为 975.79 mg/L，平均值为 415.17 mg/L，属于淡水；总硬度最小值为 120.46 mg/L，最大值为

792.31 mg/L，平均值为 321.15 mg/L，多属于弱硬水—硬水，地下水类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型为主。

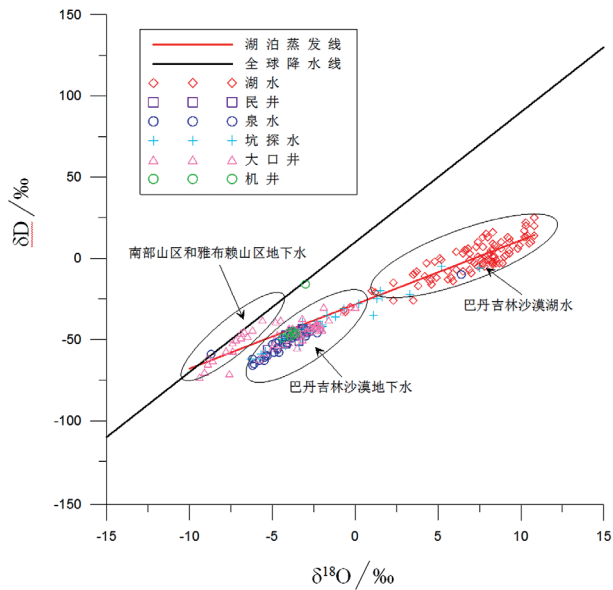
● 巴丹吉林沙漠水文地质调查 建立了沙漠南部地下水循环模式

初步提出了地下水及湖泊水的补给来源，建立了巴丹吉林沙漠南部地下水循环模式。

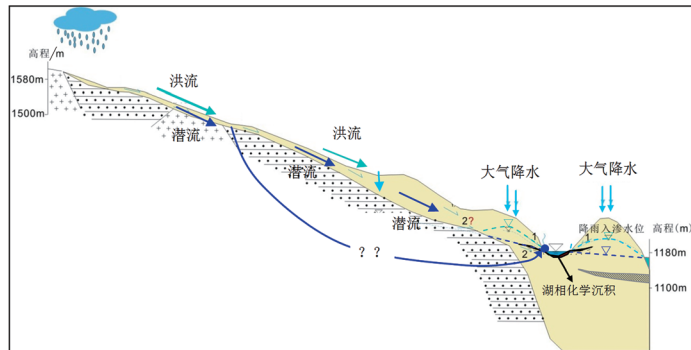
巴丹吉林沙漠地下水补给来源，从巴丹吉林沙漠外围山区地下水、沙漠地下水和沙漠湖泊的 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 关系图可见：①巴丹吉林沙漠外围山区地下水均落到全球降水线附近，来源于山区降水补给。②巴丹吉林沙漠地下水和湖泊水均落到斜率为 3.95 的蒸发线上，蒸发线与全球降水线的交点落到山区地下水所在区域，说明沙漠地下水和湖水的最终补给来源均为周边山区降水；沙漠区地下水在补给过程中经历了蒸发作用。③沙漠湖泊水落在蒸发线的末端，接受沙漠地下水的补给，是在地表进一步蒸发作用的结果。

初步总结提出了沙漠南部地下水循环模式。沙漠区地下水补给以季节性补给为主，补给来源主要有二：一为当地大气降水经沙丘入渗补给；二为洪水期出山洪流补给和山前斜

坡区的潜流补给。区域地下水径流主要由南东向北西径流。地下水排泄主要由三个方式：一是当地降水经沙丘向下入渗在丘间洼地边



巴丹吉林沙漠不同水体氢氧稳定同位素关系



巴丹吉林沙漠南部地下水循环模式示意图

缘以泄流的形式向湖泊排泄；二是来自山前的地下水在丘间洼地边缘以泉的形式（下降泉或上升泉）向湖泊排泄；三是在丘间洼地

中以蒸发形式排泄。根据S02和S03钻孔揭露，第四系下伏基岩的含水性甚差，对沙漠地下水几无补给，尚需进一步论证。

晋东大型煤炭基地 发现多处岩溶水强富水区

发现了多处岩溶水的富水区段和强径流带，重新划分了三姑泉域边界。对区域岩溶水赋存规律有了新的认识，为能源基地的可持续发展提供了新的供水水源保障及水害防治依据。

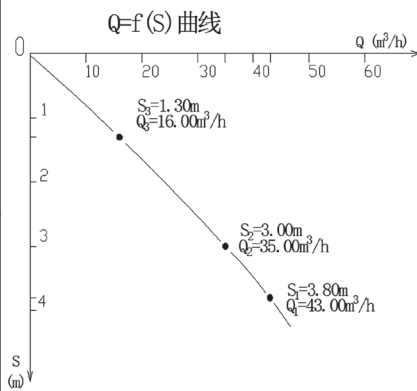
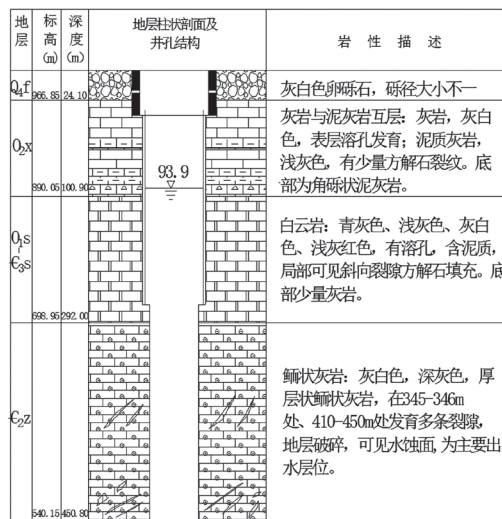
发现泉域北边界奥陶系岩溶水强富水区。在泉域原北边界附近的庄头断裂、永录断裂、高平以北晋获褶断带附近岩溶水富水性很强，具有构造控水的特征。K5和Y1的换算涌水量达到了 $2000\text{m}^3/\text{d}$ 和 $14000\text{m}^3/\text{d}$ （8口径，10m降深）。同时，许家、永录等井孔的抽水

试验也印证了泉域原北边界附近断裂影响带岩溶水富水性极强，颠覆了以往认为泉域边界附近富水性较弱，地下水径流滞缓的认知。

发现泉域东部边界寒武系岩溶水强富水区。丰富了对寒武系张夏组富水性的认

识。在泉域东部灰岩裸露区（补给区）打出富水性强（换算涌水量达到了 $2500\text{m}^3/\text{d}$ ）的水井，有效地解决了当地缺水问题。发现寒武系张夏组岩溶水呈构造脉状分布，在有效的构造部位会形成强富水区。改变了原来认为本区寒武系岩溶含水层富水较弱的观点。

发现了泉域北部边界向北移动。对北部边界进行了重新界定，由于受到区内岩溶水开采的袭夺，地下水流场已经发生了改变，泉域边界已由前人认定的地表分水岭向北移动，现在的北边界在晋获断裂带和庄头断层的交汇处北侧。



K6 钻孔简易柱状图及抽水试验 Q-S 曲线

◆ 鄂尔多斯盆地地下水调查 服务西北生态文明建设

生态水文地质试点调查与评价工作，确定了不同植被群落及对地下水的依赖程度，为地下水合理开发利用和植被生态环境保护提供了基础依据。探索编制了一系列1:5万标准图幅生态水文地质图，评价了不同区域植被对地下水的依赖程度，为植被生态保护和地下水合理开发利用提供了直观实用的生态水文地质调查成果表达产品，为类似地区开展生态水文地质编图研究提供了技术参考。初步形成了一套西北干旱半干旱地区急需的生态水文地质调查研究技术方法体系，促进了生态水文地质调查和研究工作的规范化，为干旱半干旱区，特别是鄂尔多斯盆地

能源基地开发、地下水合理开发利用和生态文明建设提供了科学依据。

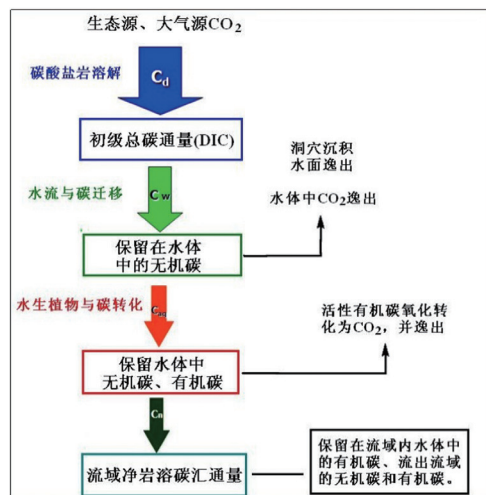
采用RTK测量技术，精细刻画水动力场，满足项目精细划分地下水系统、准确查明三维流场结构的研究需要；采用Packers分层抽水取样试验及同位素技术等方法，获取准确的含水层非均质结构、水位、年龄、水质等分层数据，提高区域水流系统模拟的仿真度，更深刻认识区域地下水流系统形成演化机制。引进荷兰EK手工钻、澳大利亚科力手持震动式土壤钻及美国绍尔单人背包钻用于土壤、包气带结构的调查研究，摸索建立了一套联合使用多种钻具开展不同包气带结构调查的技术方法体系。积极引进使用无人机低空探测，通过多源、多尺度遥感解译，开展湖泊、地表生态植被调查监测工作。

（三）应对全球气候变化

◆ 岩溶流域碳循环概念模型建立

通过实施2016年“长江、珠江、黄河岩溶流域碳循环综合环境地质调查”项目，结合历史资料的综合研究，建立了流域尺度岩溶动力系统中碳循环的概念模型。

模型阐明了大型流域中碳元素由“无机碳→有机碳→内源有机碳”的迁移过程，有力地回答了针对“地质碳汇中碳酸盐岩化学风化碳汇稳定性”的质疑，为碳汇通量计算、模型研究等提供依据，有助于提升我国在岩溶碳汇计



岩溶流域碳循环概念模型



量方面权威地位，扩大我国在气候变化会议上的话语权。

地质历史时期，碳酸盐岩的形成过程对大气 CO_2 浓度的降低产生重要的作用，使地球古大气 CO_2 浓度从超过 25% 降低至现在的 0.03% ~ 0.04%。存储在碳酸盐岩中的碳高达 $61 \times 10^{15}\text{t}$ ，占全球碳储库的 99.5%。岩溶动力

系统中碳酸盐岩的溶解和风化过程积极参与到全球碳循环，且对环境气候变化敏感，碳酸盐岩溶解形成的碳汇通量高达 $0.36 \sim 0.44\text{PgC/a}$ ，是 1990 ~ 2007 年全球森林碳汇年均总量 1.1PgC/a 的 32.73% ~ 40%，是土壤有机碳库净通量的 45% ~ 55%。