




四

地质灾害防治与 地质环境保护支撑

 绕国土资源部履行地质灾害防治和地质环境保护职能的要求，以支撑生态文明建设、服务和改善民生为目标，以建设地质灾害信息系统和地下水信息系统为抓手，统筹部署区域水文地质和地质灾害调查工作，有力支撑我国地质灾害防治和地质环境保护。重点开展重要活动构造带与区域工程地质调查、山地丘陵区地质灾害调查、生态脆弱区和特困区水文地质环境地质调查、岩溶地区水文地质环境地质综合调查、主要含水层水质综合调查等工程。

2014—2015年，完成1：5万水文地质调查12.43万平方千米，1：5万地质灾害调查3.36万平方千米。在三峡库区、乌蒙山区、秦巴山区、南北活动构造带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。研发了崩塌滑坡泥石流调查野外数据采集系

统，试点应用了LiDAR和无人机等新技术方法。进一步完善了全国地质灾害信息系统和服务平台。青藏高原东缘活动断裂与区域地壳稳定性研究取得新进展。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。西南石漠化综合治理效果明显，驱动火龙果生态产业跨越式发展。查明了我国东北、黄淮海平原和长江流域的国家粮食主产区地下水保障能力状况，为国家粮食安全战略决策提供重大科学依据。完成探采结合井300眼，为32万缺水群众解决了饮用水源。首轮全国地下水污染调查评价全面完成，编制完成了《中国地下水质量与污染调查报告（2015年）》，为国家《水污染防治法》执法检查提供了重要依据。全面完成地级以上城市浅层地温能调查评价，为节能减排提供了科学依据。青藏铁路沿线钻获205℃高温地热蒸汽，显示了良好高温地热资源资源前景。研发了勘探孔封隔分层技术，显著提高了野外水文地质参数获取精度。

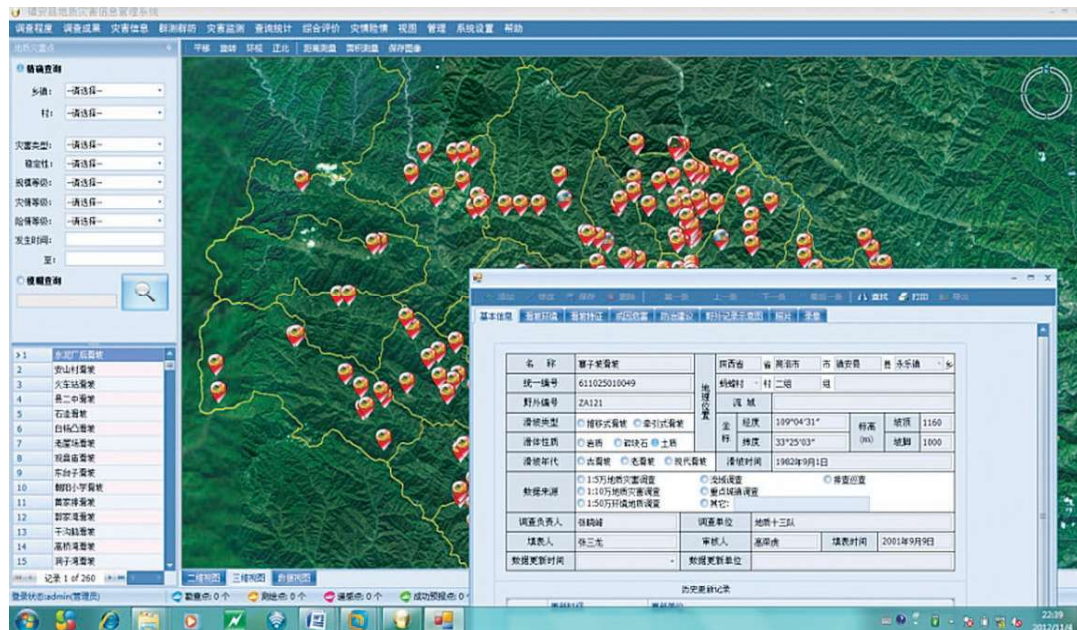


1 地质灾害防治

● 新阶段1：5万地质灾害调查示范明显提升灾害隐患识别率

在2020个山地丘陵区县(市)1:10万地质灾害调查与区划和1256个县(市)1:5万地质灾害调查的基础上,针对孕灾地质背景调查深度不够、潜在隐患早期识别不到位等问题,启动了新阶段1:5万崩塌滑坡泥石流调查示范。调查重点从灾害点转变为对隐患点识别和孕灾地质条件的综合调查,调查布局从县域全覆盖向人口密集区和重大工程区等重点

地区转变,调查方法上更加注重新技术方法的应用,加强了无人机遥感、LiDAR和InSAR技术的试点应用。通过调查示范,形成了崩塌滑坡泥石流调查评价技术要求(试用版)、信息化成果技术要求与编图指南等技术标准,编制了调查区专门工程地质图、地质灾害与隐患分布图等,划定了易发区,评价了不同条件下的危险性及风险,调查成果初见成效。以三峡库区巫山大昌幅地质灾害调查为例,暴雨引发的地质灾害中,82.5%的地质灾害点属于调查识别的灾害隐患点。



地质灾害信息管理系统

◆ 多灾种、多来源、多尺度全国地质灾害数据库投入应用

截至 2015 年，全国地质灾害数据库拥有 2T 数据量，共记录地质灾害及隐患点约 29 万处，实现了对全国地质灾害点空间分布、灾害信息实时查询统计、专题图件生成、资料检索、成果浏览等功能。数据库内容包括滑坡、崩塌、泥石流及隐患点的地理位置、类型、规模、诱发因素、死亡人数、直接经济损失、威

胁人口、威胁财产和群测群防责任人等详细信息，以及地质灾害调查专题图件和成果报告等。2015 年，编制完成了京津冀、长江经济带、长江中游城市群等重要经济区地质灾害分布与易发程度分区图；编写完成了《全国地质灾害防治“十三五”规划（征求意见稿）》；完成 300 个县（市）地质灾害调查数据入库更新；完成崩塌滑坡泥石流调查野外数据采集系统和数据录入系统开发。

◆ 地质灾害调查监测自动化水平进一步提升

崩塌滑坡泥石流调查野外数据采集系统，以平板电脑（PAD）为移动终端，集成地形图、地质图、高精度遥感影像等矢量图和栅格图为一体，结合 GPS/北斗定位、语音识别技术，设计实现了地质灾害调查野外定点、填表、实体勾绘、拍照、路线采集等工作全流程信息化，为地质灾害野外调查技术人员提供了快速、准确、便捷的数据采集服务。

在陕西镇安，通过发明实用新型专利，总结已有监测手段，形成了 7 种低成本的地质灾害简易监测技术方法；开发了手机端地质灾害群测群防数据采集软件，监测人员能够快速、便捷地第一时间将监测数据和灾情险情等信息发送到当地国土资源局；实现对地质灾害调查、测绘、勘查、群测群防基本信息和防灾责任人等防灾减灾信息系统化、

规范化、一体化管理；示范建立了镇安县新型地质灾害群测群防体系，形成了一套地质灾害群测群防技术要求，为国土资源部推进地质灾害防治高标准“十有县”建设提供了经济、有效的技术支持。



崩塌滑坡泥石流调查野外数据采集系统



◆ 青藏高原东缘活动断裂与区域地壳稳定性完成前期研究工作

青藏高原东部地质条件极其复杂,活动断裂发育,内外动力耦合作用下的地质灾害频发,制约着国家重大工程和重要基础设施规划建设以及活动构造带重要城镇安全。在总结前人研究资料的基础上,对青藏高原东缘71条典型活动断裂的发育特征及其活动性进行了梳理和补充调查,新发现和厘定了多条全新世活动断裂的位置和活动性,初步编制了青藏高原东部活动断裂分布图。结合典型实例,深入剖析了活动构造带内外动力耦合作用成灾机理,揭示了活动断裂地质灾害效应的具体表现,提出活动断裂的地质灾害效应不仅体现在断裂剧烈活动产生的地

震地质灾害,还体现在活动断裂长期演化过程中对地形地貌、岩体结构、斜坡结构以及局部地应力条件的影响等方面。在综合分析活动断裂、地震活动性、构造应力场、地形变场、工程地质岩组及地质灾害等内外动力因素的基础上,采用基于GIS的信息叠加模型开展了青藏高原东缘地壳稳定性评价。在此基础上,选取处于不稳定区的代表性城镇开展了工程地质稳定性研究,对活动构造带城镇规划具有示范作用。在活动断裂和历史地震分析的基础上,初步圈定了青藏高原东缘具有潜在地震滑坡危险的重要城镇。研究提出活动断裂避让、活动断裂带隧道工程稳定性、地震诱发地质灾害机理及防范是今后活动构造带工程地质调查与研究的发展方向。

2 地下水资源与环境

◆ 首轮全国地下水污染调查评价圆满完成

2005—2015年,中国地质调查局组织完成了首轮全国地下水污染调查评价,开创性地建立了我国地下水污染调查评价、测试分析、质量监控全流程现代技术体系,支撑保障了全国地下水质量与污染调查评价工作。确定72项测试指标,建成21个地下水有机污染实验室,研发

建立实验室网络远程质量监控系统,保证地下水污染指标测试质量。累计完成调查面积440万平方千米,基本覆盖了我国主要人口密集区、经济发达地区和部分生态脆弱区,共采集样品3.6万组,基本掌握了全国地下水质量与污染状况。在此基础上,编制完成了《中国地下水质量与污染调查报告(2015年)》,得到了国务院领导高度肯定,为全国人大开展《地下水污染防治法》执法检查提供了重要依据。

◆ 乌蒙山区水文地质调查总结 形成 4 种岩溶地下水富集模式

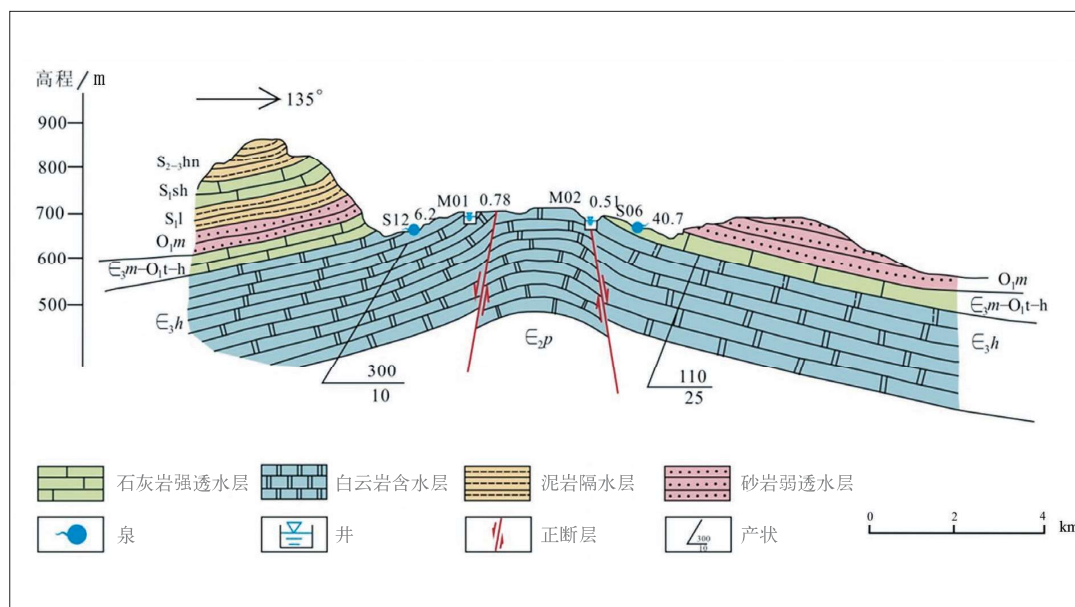
乌蒙山区地处云贵高原，是以岩溶区为主的集中连片贫困区，居民长期缺水，生态环境脆弱。2014—2015 年部署完成 1 : 5 万水文地质调查图幅 23 幅，新调查流量大于 5 升 / 秒泉水 500 余个，总流量超过 40 万吨 / 天。初步查明了区域水文地质条件和岩溶水资源特征，解决 17 万人的饮水困难，总结出 4 种岩溶地下水主要富集模式。

(1) 深切河谷型岩溶水系统，受地形地貌条件控制，导致两侧岩溶地下水逐渐向深切河谷岸边富集排泄的模式。深切河谷附近地下水水力坡度大，排泄集中，水位埋深大，钻井成井率低，一般不足 25%，建议为抽提天窗或地下河出口中的水源，甚至堵洞成库。

(2) 向斜山地型岩溶水系统主要分布于向斜轴部地区，受地层岩性上下展布形态的控制，上伏强岩溶化含水层地下水受下伏弱岩溶化或碎屑岩地层阻隔形成富集，产生高位地下河出口或岩溶泉。此类模式地下水开发利用直接引水即可。

(3) 单斜夹层型岩溶水系统。主要分布于碳酸盐岩与碎屑岩互层地区，岩溶顺层发育，在石灰岩与碎屑岩接触地带分散出露接触泉，成为当地村民主要饮用水点，建议以直接抽提接触性泉水水源为主，碎屑岩作为上伏地层时可钻井取水。

(4) 背斜槽谷型岩溶水系统。分布于背斜轴部古老地层附近，挤压变形导致岩层滑脱破碎，地下含水介质相对均匀且富水，成为地下打井的有利靶区，可直接钻井取水。



背斜槽谷型岩溶水系统模式剖面图



探采结合井出水

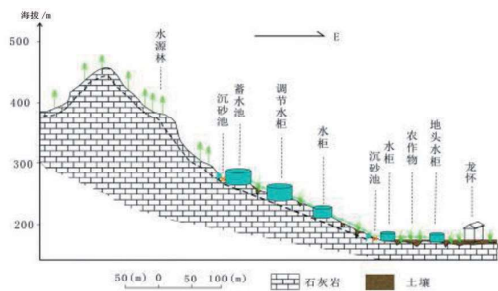
革命老区贫困地区水文地质调查 实施探采结合井 300 眼，解决了 32 万群众饮水困难

水文地质调查积极服务民生和革命老区贫困地区小康社会建设，2015 年在乌蒙山区、太行山区、大别山区、沂蒙山区、陕甘宁等地区，累计施工探采结合井 300 眼，为 32 万缺水群众提供了清洁地下水水源。其中，在乌蒙山区完成探采结合成井 57 眼，为 4 万缺水群众提供了饮用水源。沂蒙山区完成探采结合井 15 眼，直接解决 1 万余人饮水水源；圈定 4 处潜在水源地，可以覆盖解决 5 万余人饮水水源，满足地方经济社会发展需求。燕山—太行山区完成探采结合井 19 眼，直接解决 3.2 万人饮水水源。陕甘宁宁夏生态移民区和甘肃陇东缺水地区完成探采结合井 7 眼，可以满足 6.6 万人的饮水需要。大别山完成探采结合井 29 眼，可以解决 2.3 万人的饮水水源。

西南石漠化综合治理技术创新 驱动火龙果生态产业跨越式发展

创新了石漠化区水土流失理论及水土联合调控模式，研发了石漠化遥感调查与地面监测

评价技术方法，查明了 21 世纪以来国家石漠化综合治理工程取得的进展和问题，提出了国家第二期石漠化治理建议。在广西果化等地开展了石漠化综合治理试验，创建了石漠化区表层岩溶水复合蓄引生态调控技术、不



表层岩溶水复合蓄引生态调控模式图



广西平果果化石漠化治理示范区景观生态型土地整理效果



石山本土植物霸王花-授粉后结出火龙果



2015年广西平果果化石山区火龙果成为主要产业

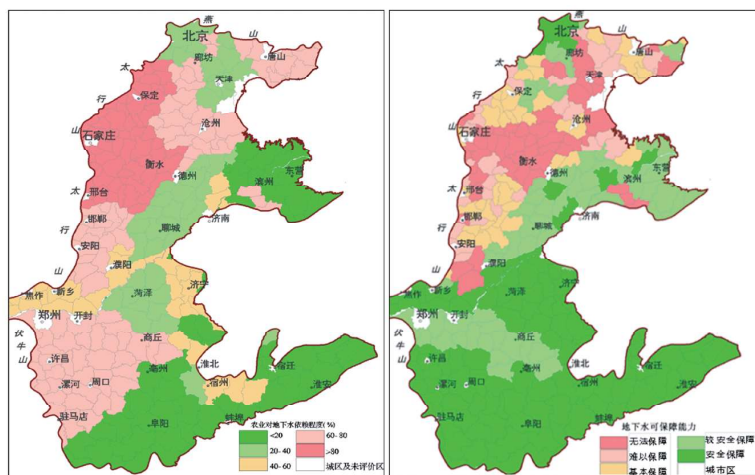
同水土漏失环境下的景观生态型土地整理技术、岩溶土壤火龙果栽培管理系列技术。年开发利用岩溶水资源5万多方，保障了居民饮用水安全；防治水土漏失的土地整理8000亩，

水土漏失得到根治；本土植物霸王花成功授粉长出火龙果，火龙果生态产业实现了由试验到产业化的转变，辐射带动周边20多万农民脱贫致富。

◆ 创新地下水保障能力评价理论 服务国家粮食安全战略

围绕国家粮食安全战略实施的需求，创新关键技术，查明了我国东北、黄淮海平原和长江流域的国家粮食主产区范围、井渠密度分布状况、农作物布局结构与播种强度及其灌溉用水对地下水的依赖程度，揭示了农业超采区地下水位“强降—弱升”规律。在破解黄淮海平原地下水超采与气候、农作物播种强度、陆表水文和地下水资源状况的互动机制基础上，创建了适宜我国粮食主产区的地下水保障能力评价理论与方法，并首次阐明了

我国粮食主产区地下水保障能力状况，指明了黄淮海平原耗水农作物需重点优化调整范围、程度和缓解农业超采地下水对策，为国家粮食安全战略决策和针对性解决华北农业超采地下水问题提供重大科学依据，拓展和丰富了我国区域地下水评价理论。



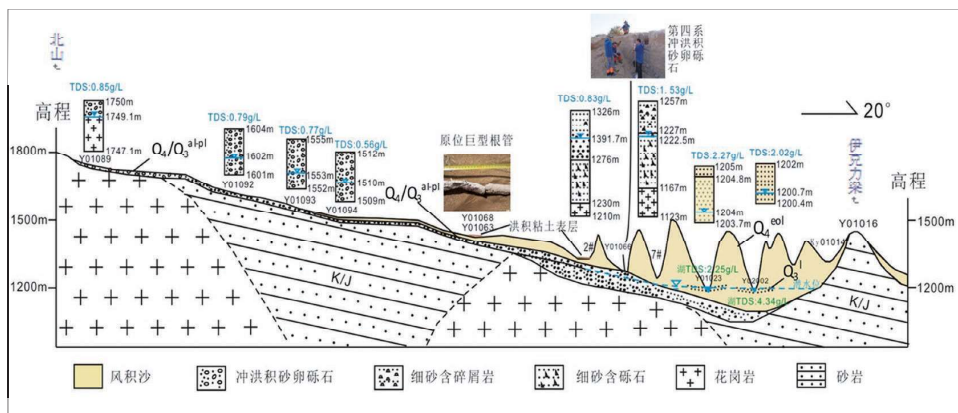
黄淮海粮食主产区灌溉农业对地下水依赖程度和地下水保障能力分布状况 (这是我国粮食安全战略实施与决策的重要科学依据)

巴丹吉林沙漠水文地质调查取得零的突破

巴丹吉林沙漠因其独特的沙山—湖泊—涌泉之景观而成为世界沙漠地质公园，长期以来人们对沙漠地下水的形成存有争议，但因气候干旱环境恶劣难以开展调查研究。2014—2015年中国地质调查局部署实施了1：25万巴丹吉林沙漠水文地质调查，采用物探、钻探等手段，初步查明了伊克力敖包梁以南第四系水文地质结构。在伊克力敖包梁以南形成一小型第四系沉积洼地，基底为侵入岩体和白垩系砂岩、泥岩，在南部山前，基底基岩构成山前斜坡，第四系厚度薄，含少量地下水；在沙漠腹地，第四系底部为冲、洪积砂砾石层，上部为风沙沉积，

在湖泊区形成湖相沉积。

采用RTK技术测量500多个点，首次绘制了巴丹吉林沙漠东南部地下水流场图，确定了沙漠地下水流动状况和资源属性。克力敖包梁以南湖面标高较接近，在1205~1211米之间；伊克力敖包梁以北湖面标高较低，且具有由南东向北西降低的趋势，湖面标高在1148~1196米之间。湖面与近岸地下水水位相近并稍高于湖面，说明湖泊为地下水排泄面。地下水总体由南东向北西径流，在南部山前地下水由南向北径流，反映了地下水补给主要来自南部和东南部山前。沙漠地下水以间歇性洪流入渗补给为主，这种补给仅发生在丰水年。沙漠地下水年龄较老，氡含量多小于1TU，不宜大规模开采利用。



沙漠南部水文地质剖面

黑河流域采用勘探孔封隔分层技术获取高精度水文地质参数

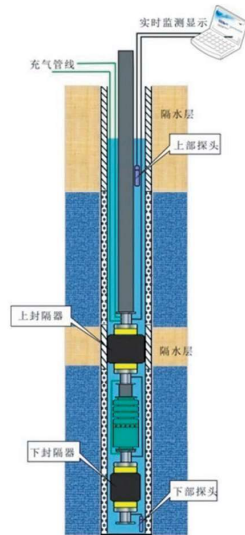
河西走廊黑河流域第四系地下水赋存在大厚度砂卵砾石含水层中，在上游张掖盆地内含水层厚度可达数百米，砾径粗，钻探难度较大。

2014—2015年在张掖盆地开展1：5万水文地质调查过程中，采用了勘探孔封隔分层技术，获取高精度水文地质参数。

(1) 封隔器分层洗井助力获取含水层真实出水能力。考虑到在大厚度富水区常规的洗井方式不能对整个含水层段完全破坏泥浆护壁和



设备安装实景图



设备安装概念图

打通泥浆造成的含水层堵塞，开展了双封隔器分段封隔震荡洗井，对获取大厚度含水层真实出水能力，效果显而易见。如 HQ18 相同流量震荡洗井 3 次，单位涌水量从 3.75 升 / 秒 · 米提升到 7.89 升 / 秒 · 米，增长了 2.1 倍。

(2) 一孔同径分层封隔抽水获取更多水文地质信息。一孔同径封隔分层抽水，可分层刻画各层段水位埋深、涌水量、水质、渗透系数等水文地质参数。

(3) 成功研制了分层抽水试验可视化自动监测设备。对分层抽水监测设备防水结构进行了优化，设计的水下线缆接头防水性能可达到 4 兆帕，即可以在 400 米水下正常工作。抽水可视化监测技术与设备研发，实现了抽水试验地下水位变化监测的自动化与可视化，便于对抽水试验进行实时监测与调控，弥补了以往分层抽水监测设备需要有人值守的局限性。

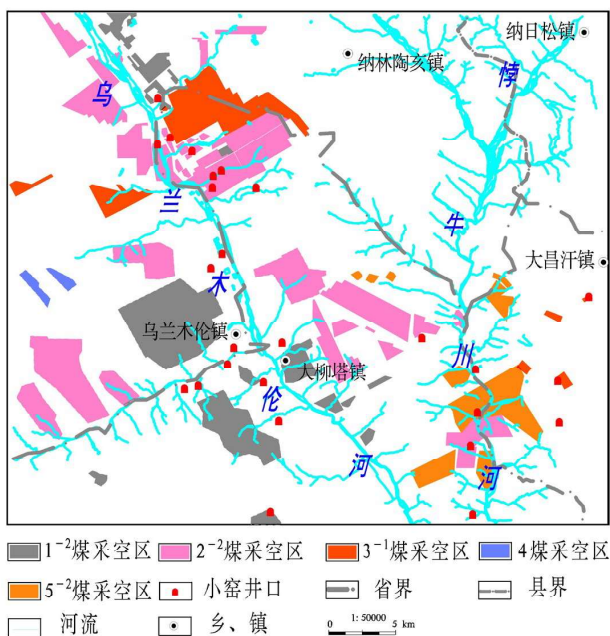
(4) 技术方法创新为水文地质理论创新提供了契机。本项目实现的一孔同径、分层封隔抽水试验与混合层抽水数据分析对比，揭示单位涌水量与滤水管长度成明显的正相关关系，对传统观念认为的大厚度含水层“有效厚度”或“滤水管有效长度”观念提出了质疑。

晋东 - 神东煤炭基地水文地质调查初步查明含水层富水性

在晋东能源基地晋城幅 1 : 5 万水文地质调查中，结合资料综合分析，优化布井，在东谢匠地区奥陶系灰岩中成功打成岩溶含水层水井一眼，最大出水量在 200 立方米 / 小时左右，较好解决了矿区供水问题，在岩溶强径流带分布规律上取得了新认识。在神东煤炭基地新庙乡幅 1 : 5 万水文地质调查中，在三叠系地层中成功打成一眼砂岩裂隙含水层水井，出水量 11 立方米 / 时，呈承压自流状态，较好地解决了缺水地区居民供水问题，也取得了本区砂岩裂隙含水层富水规律新认识。



在神东煤炭基地神东矿区,共查明老空区分布面积948平方千米,占调查面积的26.3%,查明小煤窑数近70个。通过调查发现,工作区老空区主要包括国有大矿采空区和小煤窑两种类型,结构分为单层采空区和多层采空区,埋藏深度分别为60~100米、120~150米、150~200米;通过应用二维地震、瞬变电磁法、视电阻率对称四极剖面法、高密度电阻率法探测方法,提出了不同深度老空区探测技术方案和参数体系。



神东煤炭基地水文地质调查成果图

◆ 云南省南涧地下河主管道位置和地下水系统结构初步查明

南涧地下河流域是我国南方地区流域面积大于1000平方千米和年枯季资源大于1亿立方米的典型超大型地下河流域系统,其地下水资源开发潜力巨大,但开发利用难度大。通过利用音频大地电磁测深法、大功率电法和地震反射法三种先进的地球物理探测方法,于2014年分别在南涧地下河下游段布置了2条物探剖面线,根据地球物理勘探解译所获得的“异常点”,推测地下河主管道或主径流带的位置,并实施了钻探验证工作。其中,在北边清塘子村的SK13号钻孔岩心的165~175米深岩心段中,发现大量的河沙以及磨圆度比较高的上游外源搬运至

此的卵石,最大的直径可高达8厘米,可推断地下暗河管道在该钻孔附近。

结合示踪试验和钻孔情况,认为南涧地下河系统是一个以管道为主,裂隙溶洞为辅比较



SK13号钻孔165~175米深岩心段照片

复杂的地下水含水系统结构。以往的观点认为南洞二号和三号地下河主管道是所示的从南边的红塘子与城红寨之间被碎屑岩所夹持的三叠系个旧组灰岩、白云质灰岩地层中经过，城红寨至驻马哨一带的三叠系法郎组碎屑岩地层为阻隔地下水从东边向西流的隔水层。经过本次

调查认为，由于该区法郎组产状比较平缓，法郎组厚度仅几十米，下面是岩溶发育强烈的个旧组，加上该区域新构造运动比较剧烈，从而导致地下水从法郎组下面的个旧组中经过，沿构造带从东向西，穿过法郎组，形成地下河主管道或强径流带。

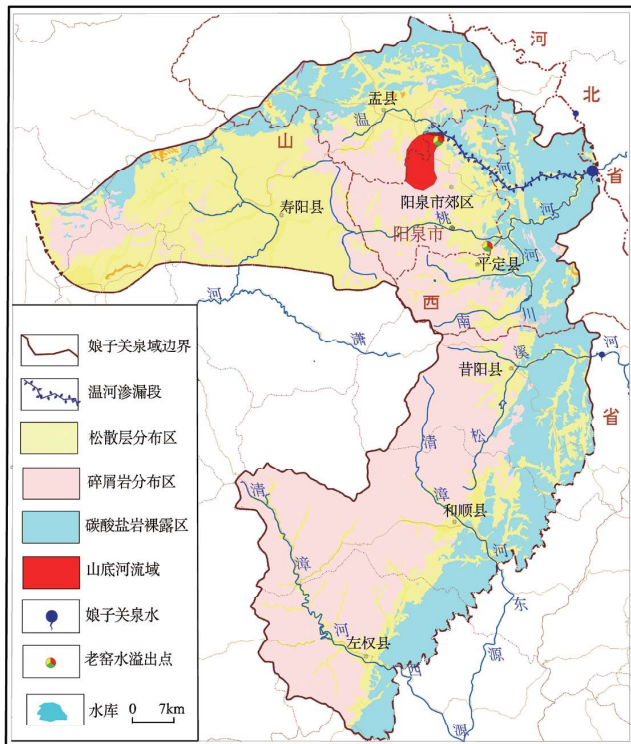
山西娘子关泉水水质恶化趋势及原因已经探明

娘子关泉域岩溶地下水是阳泉市最主要的供水水源，担负着全市约 80 万人口的供水

任务。但是，娘子关泉水水质呈持续恶化现象，危机供水安全。中国地质调查局于 2015 年启动了娘子关泉域 1 : 5 万水文地质环境调查工作。调查发现，采煤活动是造成目前娘子关泉岩溶

地下水中化学组分趋势性增加以及娘子关泉水中硫酸根、总硬度含量超标的主要原因，特别是近年来部分煤矿关闭后山底河流域煤矿和白羊墅煤矿的劣质“老窑水”出流渗漏，是造成近年岩溶水中超标组分快速增长的直接原因。

山底河煤矿“老窑水”水质、水量监测结果表明，截至 2015 年 4 月，山底河煤矿“老窑水”总出口的矿化度均值 5.4 克 / 升以上，最大值 8.9 克 / 升，硫酸根平均含量 3.8 克 / 升，最大值 6.2 克 / 升。主要超标指标为 pH、HB、TDS、 SO_4^{2-} 、TFe、Mn、Zn、Co、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 Cr^{6+} 、Ni 等 11 项。截至 5 月 13 日，逐日实测平均流量达到 5076 立方米 / 天。根据实测漏失率 61.4% 推算，观测期内山底河煤矿“老窑水”对娘子关泉域岩溶水的补给量为 3116 立方米 / 天。



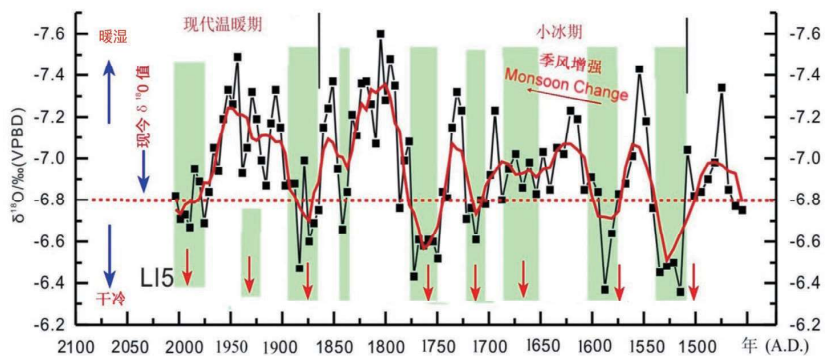
娘子关泉域岩溶水文地质图—娘子关与山底河流域位置关系

3 应对全球气候变化

湖南龙山洞穴石笋获得 500 年以来年际尺度气候变化过程

湖南龙山莲花洞穴石笋记录了近 500 年以来 1 ~ 5 年的高分辨率气候变化：距今 500 ~ 150 年间存在 5 个冷期，每个冷事件持续时间约为 20 ~ 30 年；冷期间对应 5 个温暖期，暖期持续时间 30 ~ 110 年；1500 年、1575 年、1770 年、1875 年为极端干旱

年。150 年以来，石笋记录了可与仪器记录对应的极端气候事件。在现代升温期间，夹有 1 个短暂的冷事件，持续了 5 年（1925—1930 年），1950—1952 年为极端降水事件，1954—2000 年干旱频率增加期。



湖南龙山莲花洞穴石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录

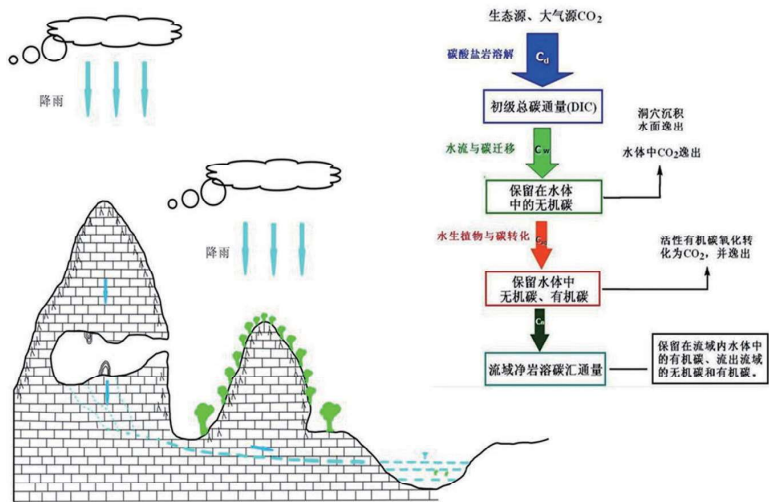
岩溶地质碳循环调查为人为干预固碳增汇开辟新途径

岩溶地质碳循环过程对气候环境变化响应敏感，调查研究揭示岩溶地质碳循环与地表生物碳循环内在关系，为国家努力增加碳汇开辟新途径。项目的实施，有效促进了联合国教科文组织“国际岩溶研究中心”和科技部“岩溶动力系统与全球变化国际联合研究中心”的运行。取得的阶段性成果，引起国内外学术界关

注，部分成果已经产生服务效益。

人为干预下可大幅度增加碳汇潜力，将石漠化地转化为草地和林地，其通量可增加 4 ~ 6 倍，岩溶地质作用吸收消耗大量大气 CO_2 ，以无机碳的形式进入水体，其中 50% 在水生植物光合作用下转化为有机碳，并在水体底部发生沉积而固定。典型试验示范结果显示，石漠化综合治理措施中的人工造林 7 年，增加碳汇 8.77 吨 / 平方千米 · 年，土壤改良 9 年后，碳汇增加 2.86 吨 / 平方千米 · 年。

岩溶地质碳循环过程，短时间尺度可产生可观碳汇通量，估算结果显示中国岩溶碳汇通量分别占森林、灌丛、草地碳汇的 21.3%、66.7% 和 230%，地表植被恢复、生物碳汇增加的同时，地下岩溶地质碳汇也相应增加。



岩溶作用与碳源、碳汇的关系框架图

鄂尔多斯深部咸水层 CO₂ 地质储存示范工程建成

选择碳源集中、碳储需求强烈的四川、鄂尔多斯、松辽、准噶尔盆地和浙江东部沿海盆地重点地区，开展了二氧化碳地质储存适宜性调查、选址示范。与神华集团合作，在鄂尔多斯市伊金霍洛旗成功实施了我国首个深部咸水层二氧化碳地质储存示范工程。截至 2015 年 4 月中旬，注入二氧化碳 30 万吨，工程运行良好。二氧化碳

地质储存在鄂尔多斯深部咸水层成功实施，不仅起到了区域二氧化碳减排的效果，而且形成了我国二氧化碳地质储存的技术方法体系，为充分利用我国二氧化碳地质储存潜力巨大的沉积盆地，推进二氧化碳地质储存工程，提供了技术支撑和广阔的前景。同时，开展了二氧化碳地质储存与资源化利用技术研究，与中石化石油工程设计有限公司合作，在山东高青实施了二氧化碳提高石油采收率示范工程选址调查，积极推动二氧化碳地质储存技术产业化进程。



鄂尔多斯深部咸水层CO₂地质储存示范工程