

青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应

编者按:中国科学技术协会第30期新观点新学说学术沙龙“青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应”于2009年6月7-8日在南京举行。本沙龙文集将由中国科学技术出版社出版。本文摘录部分学者的主要观点。

青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应

陈建生(河海大学科学研究院)

传统水文地质理论认为,地下水仅限于上地壳循环。地表水在包气带中的下渗试验发现,鄂尔多斯、内蒙高原及华北平原大部地区的地表水不能补给到地下水中。调查发现,这些地区的河流与湖泊主要来源于泉水补给。氢氧同位素分析表明,研究区的泉水基本上不是由当地降水补给的,深层承压水与基底断裂带、油气田、地震带似乎有共存关系。在西藏内流区发现,河流与湖泊存在严重渗漏,羌塘块体中水平与垂直方向存在连续的高导低速结构,该结构与地表水渗漏间存在因果关系。鄂尔多斯、内蒙高原及华北平原的地下水可能来自外源远程补给,根据氦、氧-18、氡等同位素判断,远程补给源区应是纬度很高或高程很高的寒冷地区,地表渗漏通过深循环补给到了研究区。西藏内流区的渗漏水不少于500亿 m^3 ,循环深度在122~200 km,从羌塘到鄂尔多斯盆地地幔有一个低速带,深循环的地下水可能沿低速带由西向东补给,地下水到鄂尔多斯块体后,通过基底断裂带在地表以泉水溢出,形成了河流与湖泊,另一部分水继续沿着东北方向的断裂带补给到内蒙高原与华北平原中地壳的高导低速层中。

印度板块断裂的原因可能是地下水渗漏冷却造成的。青藏高原及其周边地区产生的隆升与构造变化经历了不同阶段,25 MPa与8.3 MPa是两个重要时段,其伴随的地质事件可能与地下水深循环过程有直接关系。印度板块插到西藏块体之下后,冷板块插入软流圈起到降温作用,插入板块阻隔了软流圈与岩石圈间的对流,岩浆中的热量被脱出的水分子带走,上升的水分子起到对流作用,使夹在插入板块与上覆岩石圈间的岩浆温度下降更快,岩石圈温度梯度下降,逐渐形成中地壳空隙带。中地壳断裂空隙带形成的初期,空隙带中充满从热液中分离出的卤水。随着岩石圈温度降低,岩石出现收缩,裂隙宽度增加,导水性能增加。温度梯度降低使液态水的活动范围从上地壳扩大到中地壳以下,地下水通过导水断裂带进入中地壳空隙带。垂向对流的驱动力是空隙带的高温,水平对流的驱动力是水头差。空隙带中的温度在两种对流方式的作用下不断降低,而且影响到断裂带周围岩石的温度,对下地壳及上地幔岩石圈温度的降低起到了重要作用。

大地电磁测深与地震波反演表明,低角度俯冲的印度板块受阻于羌塘地块,运动到33°N~34°N改变俯冲角度,大角度向深部俯冲。北羌塘的火山活动出现在29 MPa以前,火山活动停止后岩石圈进入快速冷却阶段,断裂后重新向北俯冲的印度板块,因插入到密度大的深部地幔中,在浮力作用下,南羌塘地块发生隆升,而羌塘地块在南羌塘的带动下发生隆升,由于浮力中心偏离在南羌塘,羌塘地块与残留在西藏块体下的印度板块可能被错断,并逐渐发展为深循环的垂向导水通道。17 MPa羌塘岩石圈的厚度已达到约200 km,在地壳中循环的地下水通过错断的断裂带向深部循环,不断将深部岩石圈断裂带的热量带出地表,促

使岩石圈迅速冷却增厚,羌塘块体岩石圈在水循环冷却作用下增厚的速度超过12 mm/a。

羌塘块体地表水入渗的循环在不断冷却下覆岩石圈,造成岩石圈厚度不断增加,使羌塘岩石圈下部形成低温低压区。在深部软流圈中,来自印度板块的脱水不断向羌塘地块下部的低压区聚集,聚集在羌塘地块之下的热液与岩浆不断被冷却,岩浆冷却成岩后,水分被包裹在岩石中呈一层一层的带状分布,最终形成一些层状分布的空洞群,岩浆活动结束后残留在地层中的水所占据的水平带状的空隙就可能演变成导水的通道,脱水物质形成的超临界态流体从高压向低压区流动。印度板块阻挡了地幔软流圈的热对流,羌塘盆地的地下水最先入渗到中地壳的断裂空隙带中循环,水循环加速了岩石圈的冷却速度,使双地壳的西藏地块的岩石圈处在“增厚-冷却-增厚”环境中。

羌塘盆地地表水存在严重渗漏、北羌塘钻孔发现大规模溶洞、地层中高导低速层与地下水深循环通道、羌塘地块温度梯度低且地势平坦、西藏的岩浆活动与天山及祁连山的褶皱隆升、地温梯度降低与地下水深循环的关系、鄂尔多斯和内蒙高原与华北平原地下水同位素相似、羌塘地块与鄂尔多斯地块间存在地温梯度随深度降低并存在面波的低速带值、鄂尔多斯风尘颗粒沉积底界时间分布与地下水间的关系、油气经过深部通道将羌塘油气输送到鄂尔多斯和大庆等盆地、流体汇聚形成的中地壳空洞塌陷产生地震等证据,表明了青藏高原冰川融水深循环及其地质环境效应。

鄂尔多斯盆地地下水源

饶文波(河海大学科学研究院)

鄂尔多斯盆地的水资源很丰富。对于水的来源,目前的主流观点是大气降水,有些深层水可能是古水成因。但鄂尔多斯盆地的地下水有可能来自青藏高原的补给。从盆地水量平衡看,该地区的蒸发量很大而降水量很小。鄂尔多斯沙漠地区的年均蒸发量为1800~2700 mm,而年均降水量为240~440 mm;黄土高原的年降水量为200~700 mm,而蒸发量是降雨量的3~5倍。沙漠和黄土地区研究发现,7万年来年均降雨量是300~400 mm,且大气降水不易入渗补给地下水。因此,鄂尔多斯盆地地下水有可能有外源补给。羌塘高原存在渗漏,至少有500亿 m^3 的水流失。由于青藏高原与鄂尔多斯地区间地壳形变强烈,两者水体的同位素组成相似,因此可能有密切的水力联系。循环机理可能为:
① 地下岩溶通道。青藏高原到鄂尔多斯盆地发育大量的碳酸盐层,有许多的岩溶地下暗河,地下岩溶连通是很好的导水通道。
② 深大断裂带。玛沁到鄂尔多斯地区受到板块挤压及其它构造活动,地壳破碎,变形强烈,有可能成为导水通道。
③ 中、下地壳与上地幔地下水循环。

河西走廊地下水水量平衡及补给

丁宏伟(甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院)

张掖盆地沉积了上千米厚的第四纪物质,是地下水储存较好的地层。水均衡法计算发现,2005年张掖盆地的地下水补给量小于排泄量,但实际观测资料表明,均衡期内地下水增加。盆地的地

下水排泄包括泉水溢出、潜在蒸发、人工开采 3 大因素。均衡计算中,张掖市地下水排泄量与实际相吻合,计算结果与实际差距较大的问题出在地下水补给。2003 年 3 月以来,张掖市大部地区的地下水位停止下降并开始上升,至 2009 年 5 月,该地区地下水位上升 7~8 m。大气降水入渗补给量不是形成地下水位上升的原因。张掖盆地水体环境同位素分析及氟利昂(CFC)测年结果表明,浅层承压水年龄一般大于 30 年,局部小于 30 年,表现出现代新水、深层承压水等多元混合补给的特征,深层承压水存在盆地基底深部地下水的越流补给。地下水位上升区位于张掖盆地地下水的径流排泄区。据张掖市地震局统计资料,2000~2007 年张掖境内发生 3 级以上地震 43 次,造成水压力急剧变化。盆地基底断裂原本是弱透水的,一直存在基底深层承压水对上覆第四系孔隙水的越流补给。张掖盆地存在与祁连山大断裂相连的走线相近的次级断裂,这些断裂是导水的重要通道,地震后压力改变,地下水顺着通道进入盆地,造成地下水位上升。

识别地下水补给来源的地球化学指示剂

卫克勤(中国科学院广州地球化学研究所)

地球化学指示剂主要包括氢氧稳定同位素、氦含量、微量元素。在黄土饱气带土壤水的氦剖面研究中,采样点要求地面相对平坦、黄土包气带较厚、地下水水位较深、洪水季节地面无地表径流,地面无植被、无人工浇灌、临近无深沟切割。在内蒙古赤峰地区、山西平定县,采用手工钻采集土壤样,每隔 20 cm 采一个土样,根据土壤中氦的剖面,测算补给量。结果发现,实测补给量较雨水下渗量大。地下水接受了 12%~13% 的雨水垂直下渗,但因地下水有氦含量,表明华北平原和内蒙高原垂直下渗得到的补给量是次要的。在一定深度以下的黄土饱气带空隙水氦剖面中,氦含量已接近零,而含水层中地下水的氦含量却较高,说明所研究地区的浅层地下水主要不是由雨水下渗补给的,而是存在一种快速补给通道,使浅层地下水有较高的氦含量。

岩石圈中水的相变及临界奇异性的地质意义

胡宝群,孙占学(东华理工大学)

岩石圈中水的相变,将导致物理化学参数发生明显变化甚至突变,影响岩石圈中地震和热液成矿作用。地温梯度变化多在 20~50℃,在该地温梯度下,低温线位于水的液相区及超临界相区,不出现断裂联通大气时,中上地壳中可流动的水是高压液相或超临界流体相而无气相,只有当断裂出现,压力下降时,才有可能出现气相。发生相变时,密度、黏度、导热系数发生变化,二级相变点处临界奇异性具有普适性,岩石圈中二级相变的意义远远超出热液成矿、地震触发等作用。在地温梯度变化正常、相对封闭的岩石圈中,不会出现热容溶解等物理化学参数的奇异性变化,即成矿的可能性不大。达到温度压力接近临界点的情况有局部降压、局部升温或二者同时出现。在岩石圈,水的临界现象只在断裂构造中或是断裂与岩浆活动共存区域才可能出现,即水的相变与断裂或断裂-岩浆活动的耦合,才能形成热液矿床。

幔源油气与碱性地层水

崔永强(大庆油田研究院天然气研究室)

天然气的判别指标主要包括甲烷及其同系物。松辽盆地主要的高产井都是甲烷探明的。松辽盆地还有一氧化碳气层、氢气层、氦气层、氦气层,这些都是幔源的。松辽盆地储层的碱交代现象中钠长石化普遍发育。伴随着碱交代作用,会产生石英岩石。地层水主要有原始沉积空隙水和地表渗入水、沉积有机质物腐蚀后形成的酸性水、盆地深部上涌水 3 个来源。松辽盆地的地层水呈碱性,

最高 pH 值达 10,碱来自地幔。上地幔岩石中发现大量油气,同时发现大量钠。地球排气规律表明,有气必有碱,有碱必有气。深源碱性水是地幔流体,是油气上升的载体,在中地壳条件下发生费托反应,形成石油和天然气。通过碱和气体的关系可推算油气的总量,通过碱交代研究可确定储层次生空隙发育状况,进而预测新的储集层位。

深源流体控制盐卤资源超常富集成矿

谭红兵(河海大学科学研究院)

盐卤体系是自然界中一个比较复杂、易变的物理化学体系,物质的带出和带入及来源很难用一些明确指标去量化,要找到盐卤成因的直接证据比较困难。① 盐卤资源超常富集成矿。柴达木盆地的盐卤资源非常丰富,聚集有第三纪古代岩盐沉积、第四纪盐湖、油田卤水,高度富集了 K、B、Li、Sr、Br、I 等元素。柴达木盆地有几个非常有特色的矿,其中大风山锑矿储量世界第二,是世界上 youngest 的第四纪热水成因锑矿,聚集了 0.176 亿吨锑。柴达木盆地 20 km 左右中地壳普遍存在非常明显的高导低速带,这可能与特种盐卤资源超常富集成矿有联系。② 关于卤水的成因目前有渗入溶滤、沉积成因、重力分异、地下水蒸发、物理化学作用、岩石渗透薄膜效应和岩浆来源 7 个主流观点。盐卤资源元素富集的主控因素是地表岩石风化、干旱气候条件下封闭湖泊的持续蒸发浓缩、海水。柴达木盆地许多盐卤资源形成于第四纪以来,侏罗纪之前已脱离海水,在很短的地质时段、风化作用比较弱的条件下通过地表风化、水-岩作用富集如此大规模的特种资源是不可能的,且地表并没有该类岩石显著富集 K、B、Li、Br、I、Sr 等特种资源元素,更不会在岩石里相容富集,表生作用聚集很难形成巨量资源。③ 深源流体控制特种盐卤资源超常富集成矿,高导低速带可能是卤水溶液及深循环的地下水。深源流体沿深大断裂带上升过程中逐步演化分异,流体中的挥发性、独立分散性以及岩浆中表现为典型不相容性的元素逐渐富集,在残余溶液中得到超常富集。大风山锑矿床可能是深源流体随热液迁移演化,在近地表低温氧化环境中快速沉淀形成超常富集的天青石矿。大规模卤水资源或盐类矿床的形成内控于大区域内深源流体最初携带的巨量盐类物质,外控于构造、地形地貌及气候环境等。

从理论依据看,卤水中富集的元素是深源流体演化过程中能在液相中稳定存在的元素;地面风化、水-岩作用在相对很短的地质时段不可能富集大规模的特种资源,仅靠盐分储库海水蒸干不可能形成大型盐盆的岩盐沉积;幔源或壳幔高盐度流体远大于表生环境,有足够的流体提供物源基础。从柴达木盆地宏观地质特征分析,青藏高原的成盐背景基本集中在板块碰撞的后期。柴达木盆地自中生代以来,频繁、剧烈的地壳运动,为成盐、成卤特别是特种资源元素超常富集提供了充足物源。油田卤水分布区中地壳出现典型的高导低速带,可能是超临界态流体与卤水相变的区域,上地壳有深大断裂发育,为深循环地下水携带盐分提供了导水通道。从水文地质特征看,钻孔卤水长时间保持高温、高压是典型的深源水特征。从地球化学特征看,1 500 m 以下的水都显示深循环水化学特征,具有典型的超常富集 K、B、Li、Br、I、Sr 等特殊成分的作用。地壳及地球表层储库 Cl、Br 等量远大于风化可以积累的量,地球内部提供了地球外层特别是海洋相当比例的 Cl、Br 等成分。总之,深源流体作为物源基础,控制着自然界盐-卤资源富集成矿;柴达木盆地中地壳可能是超临界流体与常态水的分界面,也是表生环境特种卤水资源元素超常富集成矿的中转站;在没有表生作用破坏的前提下,深达地幔的深大断裂、板块边界附近是 K、Mg、B、Li、Sr、Br、I、Rb、Cs、U 等盐卤资源富集成矿的最有利区域。

(责任编辑 陈广仁)