

大陆水循环系统演化及其环境意义

张宗祜 张光辉

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所,石家庄)

摘要 通过大陆水循环构成及其特征分析,阐明了水文循环与地质循环的机制,剖析了大陆水循环与人类活动之间的关系,分析了国内外研究现状和趋势,明确了水文循环和地质循环的主要研究内容。在此基础上,提出了关于中国大陆水循环演化研究的一些认识和值得关注的科学问题。

关键词 大陆水循环 水文循环 地质循环 人类生存 环境意义

大陆水圈是地球重要的组成部分,是组成地球系统4个层圈中的一个重要圈层。大陆水循环系统演化是当代全球变化研究中的重要内容,目前国际地学研究还处于初始阶段、呈局部和分散状态,缺乏对大陆范围内水循环整体和全过程的系统研究。

大陆水圈自地球形成之日起就与地球的演化进行着同步的运动,而且形成了自身的循环运动系统。按其自身演化规律、空间位置和运动特点等,大陆水循环系统可划分为水文循环系统和地质循环系统。通过研究大陆水循环系统演化规律,对于科学认识和合理利用水资源具有重要意义。

1 水文循环系统组成及其特点

水文循环是指发生于大气环流水和降水、地表

水和地壳浅部地下水之间水量转化过程。水圈中水体通过蒸发、水汽输送、降水、地表径流、下渗和地下径流等水文过程,紧密联系,互相转化,处于不断运动状态,形成一个全球性的动态系统,称其为水文循环系统。水文循环系统不仅紧密联系着地球水圈的各个子系统,而且是联系水圈与大气圈、生物圈和岩石圈的纽带,并形成许多彼此耦合的子系统(图1;刘国维,1997)。这些子系统的总和构成全球水循环系统。

水文循环系统概括起来,有如下特点:①赋存于地表层的地表水与地下水(几百米深度以上)形成于第四纪时期;②与大气圈、土壤圈、生物圈关系极为密切;③运动形式以水平方向为主,垂直方向为辅;④是地表生态、环境演化的重要因素;⑤是地

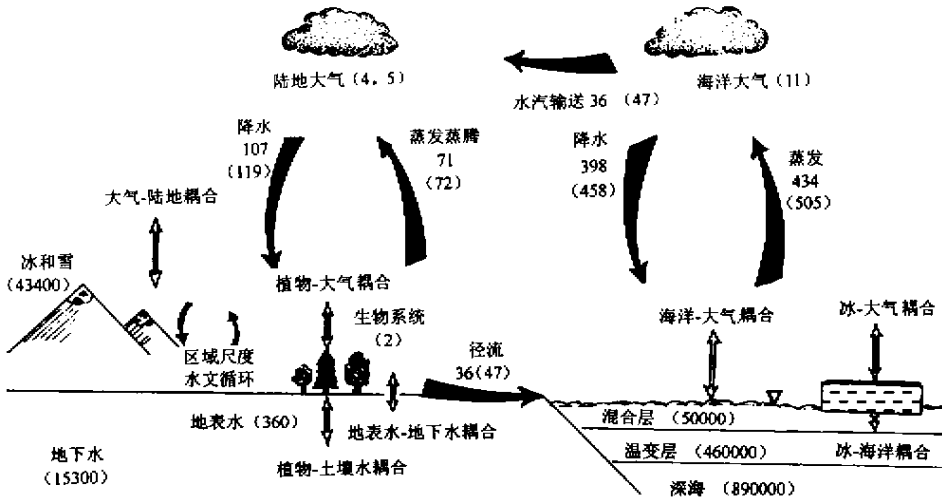


图1 水文循环系统示意图

107-水分通量/ $n \times 10^3 \text{ km}^3/\text{a}$ (119)-水量/ $n \times 10^3 \text{ km}^3$
(据刘国维,1997)

表表生带层圈间物质和能量传输的纽带 ;⑥ 受控于表层地质、地形的结构 ,其动态变化与气候密切相关 ;⑦ 与海洋环境关系密切 ,在海岸带与海水有交替作用。

从全球水循环角度来看 ,每年有 $43.4 \times 10^4 \text{ km}^3$ 海洋水通过蒸发作用进入大气中 ,其中 91.7% 在海洋上空形成降水 ,降回海洋中 ,8.3% 随着气流携带进入各洲大陆上空 ,形成由海洋上空向大陆上空的降水的组成部分。进入陆地的水汽形成降水 ,其中

66% 通过水面蒸发、陆地蒸发和植物蒸腾作用返回大气中 ,34% 以地面径流和地下径流形式汇入海洋。

对于大陆区域地下水循环来讲 ,以华北为例 (图 2 张宗祜等 ,2000)。从上游补给区至渤海湾排泄区 ,经历了山前侧向补给和垂直入渗补给的水文过程 ,然后进入向下游和深层地下水系统径流和排泄的水文过程。在海陆交互带 ,一部分地下水通过泉水方式排入海洋 ,还有一部分流入渤海湾海底地下水含水系统中。

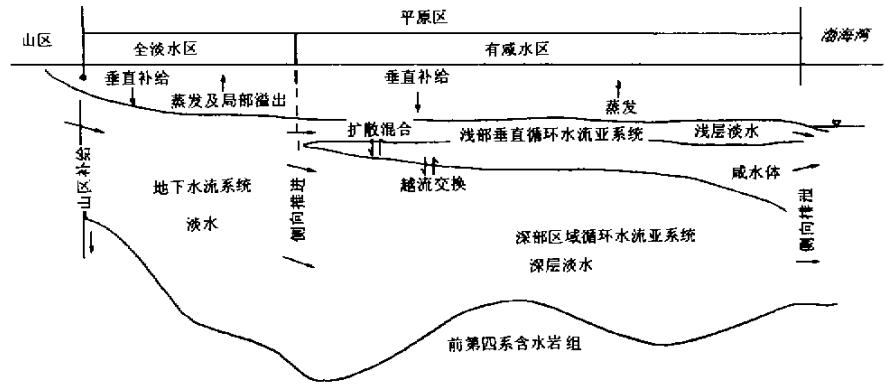


图 2 华北平原地下水循环系统框架图
(据张宗祜等 ,2000)

2 地质循环系统特点

地质循环中 ,水参与与沉积、变质和岩浆的作用过程 ,地壳浅部的水与地壳深部乃至地幔的水发生交换 ,循环路径长 ,循环速度缓慢 (图 3 ;Bai Waming et al. ,1992) ,此类水循环是在地质历史进程中的。其特点 ① 赋存于地下深部 ,与气圈、土壤圈、

生物圈无直接关系 ;② 直接与岩石圈相互作用 ,与大气水无直接补给关系 ;③ 运动方式受控于深部地质构造特征 ,与地表地形、地表地质无直接关系 ;④ 形成于第四纪以前不同地质时期的原生水、古沉积水 ;⑤ 循环运动方式复杂 ,以缓慢的垂直分异、迁移和围岩作用为主。

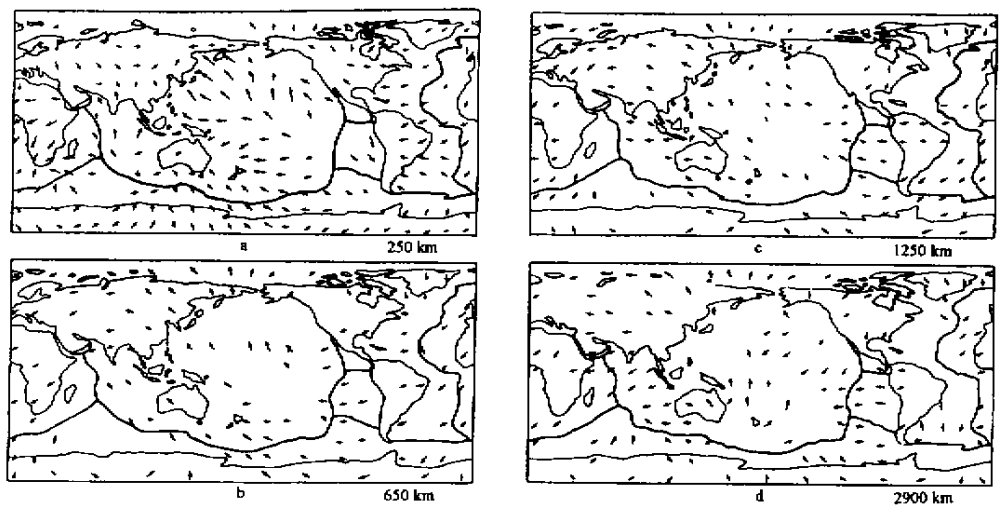


图 3 地幔不同深度绝对水平速度矢量分布图
(据 Bai Wuming et al. ,1992)

3 大陆水循环系统与人类生存关系

大陆水循环系统与人类生存环境和社会经济发展紧密相关。人类赖以生存的淡水资源主要来自水文循环系统。水文循环系统无论对地表水资源,还是对地下水资源,均具有补给和更新作用,使得地表水资源和地下水资源既具有流动性,又具有可恢复性和可持续利用性。水文循环的补给、循环进程时间短,水资源的更新程度则高。

人类活动对水文循环系统演化的进程在小时间尺度上具有明显的影响作用,例如山前拦蓄、引用地表水和平原大规模超采地下水,引起了陆地水资源数量、质量和时空分布的急剧变化,甚至在一些平原地区导致人类自身生存环境的劣变,如生态环境退化、常年河流干涸或变成季节性河流、地面沉降、海水入侵和水环境严重污染等。因此,大陆水圈的水文循环系统已成为最重要的环境要素。

4 水循环系统主要研究内容

4.1 水文循环系统

水文循环系统演化研究主要内容应包括:①水文循环过程及其演化对各圈层物质能量传输的影响,以及人类生存环境对其影响的响应;②水文循环的动力学机制,即大陆水文循环对地质环境演化,生态系统演变,自然灾害的形成、发展等;③大陆水文循环信息的提取(重点同位素技术)与全球变化的对比研究;④C、O、S等元素在圈层间循环过程对水文地球化学环境的影响及其与水循环的关系;⑤海岸带陆地水(地表水、地下水)与海洋的相互作用;⑥人类活动(重大工程、水利用、水污染)对水文循环系统的影响及其基本变化趋势;⑦中国大陆水循环时空尺度效应、区域差异与淡水资源开发模式研究等。

4.2 地质循环系统

地质循环系统演化研究的主要内容有:①水-岩作用、水热作用过程及机理,以及在高温、高压下的物理化学特性、运动形式的变化;②古沉积水的深部水文地球化学作用及对油气生成、聚集作用;③深部地下水作为各种元素的迁移、富集的载体的运行机制与其成矿作用过程;④深部地下水的起源、形成、演化与分异作用;⑤深部地下水的动力学特征及与地震活动的关系等。

5 国内外研究现状与发展趋势

5.1 国内研究现状

建国以来,我国在水循环及陆-气间水量、热量

交换的研究方面都具有了一定的基础,先后利用流域水文模型研究了气候变化对地表水、地下水及土壤水变化的敏感性,进行了陆-气间水量、热量交换与年水资源量关系的研究以及流域水文模型参数的地区规律等研究工作,20世纪90年代开展了大气环流的GCM研究,取得了一批研究成果。

“九五”期间,地质矿产部先后开展了“区域地下水演化过程及其与相邻层圈的相互作用”、“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统的研究”等,对区域地下水和青藏高原环境地质做了进一步研究。

5.2 国际研究现状及发展趋势

1965年,联合国教科文组织(UNESCO)成立“国际水文十年”以来,世界各国对全球水循环及大陆尺度水文过程进行了大量的研究,至今仍为一个热点问题。1974年以来,UNESCO已经执行国际水文计划(IHP)项目。1990年始国际地圈生物圈计划(IGBP)、世界气候计划(WCRP)、全球能量和水循环实验(GEWEX)研究陆续开展。这些大型的科学计划,越来越注重人类活动对水循环的影响和水资源系统与生态系统的相互作用,为解决全球水资源的合理利用提供了科学依据,同时,对于客观评价地下水资源形成及利用具有重要的作用。

目前,国际组织(如国际科学联合会理事会,即ICSU等)正在深入地开展“水循环的生物圈方面计划(BAHC)”、“海岸带陆-海相互作用计划(LOICZ)”、“全球变化与陆地生态系统计划(GCTE)”和“过去的全球变化计划(PAGES)”等IGBP(国际地圈生物圈计划)中7个核心计划和2个技术支撑计划。除了IGBP计划外,还有“世界气候研究计划(WCRP)”和“全球环境变化中人类因素计划(HDP或HDGECIP)”,这些计划也由若干个核心计划组成。上述国际研究计划的主要科学目标是:①描述和了解控制整个地球系统关键的、相互作用的物理、化学和生物过程;②描述和了解支持生命的独特环境;③描述和了解发生在地球系统中的变化以及人类活动对它们的影响方式;④增强对未来几十年至百年时间尺度上重大全球变化的预测能力。世界各国科学界都在结合本国实际,积极参与IGBP、WCRP和HDP国际计划研究。加拿大、英国、澳大利亚、日本、德国等科学家正在参加全球能量与水循环实验(GEWEX),即在密西西比河流域的国际大型科学技术项目。中国开展了淮河流域能量与水循环实验研究国际合作项目。

现在,许多国家已经认识到大陆水文循环过程研究是加深认识水资源形成和演化过程的一个重要方面。世界发达国家普遍重视区域水循环规律研究,注重利用自然规律来实现地表水与地下水优化

调控,来提高水资源利用的合理性和可持续性。

近年来国际水科学发展趋势可概括为:①重视区域水资源-生态环境-人类活动之间的可持续协调发展理念下的系统研究,由 60 年代小单元水文动态规律研究,逐渐向区域水循环演化综合研究转移;②重视人类活动对水循环与水资源演化作用的研究,强调重视生态环境与水资源利用之间协调关系的必要性;③重视高新技术应用与数字化、虚拟模拟技术在水问题研究中的广泛应用。

在学术方面,其特点和趋势为:①加强水循环系统整体性、区域特征和规律研究;②注重研究水循环系统中各圈层或各组成部分及其界面间的相互作用;③认识到气候变化或波动有自然原因,也有人类因素,气候变化制约水循环系统的演化,水循环系统演化又影响气候的变化;④认识到地球化学循环和生物地球化学循环,与大陆水循环系统演化密切相关;⑤重视应用现代观测手段和开发数据信息系统,强调理论模式和数值模拟研究;⑥强调应用空间尺度和时间尺度的观点来分析全球、大陆区域和流域区域水循环系统变化,从而客观地分析发生在不同时空尺度上的变化,及其之间的因果联系与制约作用及各自的特点和成因。

6 关于中国大陆水循环演化研究的一点认识

中国水资源不仅严重短缺,而且水环境污染严重,水的使用浪费问题亦突出,旱涝灾害频繁,供需矛盾日益尖锐。造成中国水问题的根源,除了 40 多年来气候趋于干旱、人口剧增、经济和城市规模发展迅速等原因之外,关键是人们对中国大陆水循环系统活动规律及其资源、环境效应认识的不足。

认识人类活动影响下区域性水资源数量、质量和分布变化的特点和机制是解决中国水问题的关

键。这需要了解:中国大陆水循环系统活动规律、环境效应及水资源潜力,以及人类活动对其的影响作用,在人类活动影响下中国大陆水循环系统经历和正在发生着什么样的重大变化。只有对上述问题有了充分的了解,才有可能做到对水资源科学地利用,发挥最大资源效益为我国社会经济发展服务。

中国大陆水循环系统演化是一个复杂的前沿性课题,它与大气圈、岩石圈和生物圈及全球变化关系密切,是一个重大的基础性科学研究问题,包括人类活动对地球表部环境的作用。大陆水循环系统演化对于中国社会经济发展已经产生重要的影响。

对大陆水循环研究,一方面,要科学地认识中国大陆水循环系统演化的过去和现状,预测其发展趋势,因其关系到国家的水资源及其环境的承载能力,是科学评价中国水资源潜力的基础;另一方面,该项研究的实施必将促进基础科学与应用基础科学的相互渗透和联合,推动地球水科学的发展。

在中国大陆水循环演化研究中,值得关注的问题:①不同气候期青藏高原对中国大陆水循环的影响;②西北内陆盆地流域水循环系统活动特征和机制,以及对大陆水循环系统演化、资源和环境变化的作用;③黄河、长江流域中部地区水循环系统演化过程中质变或灾变(旱涝灾害)事件与气候、人类活动相互作用关系和机制;④东部海陆交互带的陆地与海洋之间物质传输、转化规律及其变异的环境效应;⑤中国大陆尺度水循环系统演化动力学研究及趋势预测。

参 考 文 献

- 刘国纬.1973.水文循环的大气过程.北京:科学出版社.
张宗祜等.2000.华北平原地下水环境演化.北京:地质出版社.
Bai Wuming et al..1992.On the origin of deviation stress in the lithosphere. Jour. Geophys. Res. (97):2787~2838.
Thomas C. Winter,et al..1998.Ground Water and Surface Water A Single Resource R. Denver ,Colorado 2~75.

The Evolution of Continental Water Cyclic System and Its Environmental Significance

Zhang Zonghu Zhang Guanghui

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology , CAGS ,Shijiazhuang ,Hebei)

Abstract This paper expounds the mechanism of hydrological cycle and geological cycle on the basis of characteristic analysis and structure of continental water cycle. The relationship between continental water cycle and human activity are analyzed. The main points in the study of hydrological cycle and geological cycle are clarified. On such a basis , some problems on continental water cycle of China are put forward.

Key words continental water cycle hydrological cycle geological cycle human subsistence environmental significance
万方数据