

5112

1022

高等学校教材

水文地质学

华北水利水电学院 霍王 崇禹 仁良 主编

水利电力出版社

5112

1022

5112
1022

高等学校教材

水文地质学

华北水利水电学院 霍崇仁 王禹良 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本教材共有11章, 内容主要包括: 自然界的水循环和重力水运动, 地下水化学成分及其分类, 地下水的补给、径流和排泄, 地下水动态与均衡, 不同岩石介质中的地下水, 水文地质勘察, 地下水资源的评价、保护与管理, 水利工程和土壤改良的水文地质研究。

本书取材新, 资料丰富, 理论紧密联系实际, 因此除了供高等院校有关专业师生作教材外, 还可供各部门从事水文地质工作的科技人员学习、参考。

高等学校教材

水 文 地 质 学

华北水利水电学院 霍崇仁 主编
王禹良

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

287×1092毫米 16开本 23.75印张 540千字

1988年6月第一版 1988年6月北京第一次印刷

印数0001—2910册 定价3.85元

ISBN 7-120-00307-0/TV·81

前 言

本书是根据高等学校水利水电类专业教材编审委员会1983年9月制定的“工程地质及水文地质专业”教学计划中的“水文地质”课程教学大纲所规定的学时和内容编写的。

本书由华北水利水电学院霍崇仁(结论及第一、二、三、四、五、六章),王禹良(第七、九、十、十一章)负责主编,孙绪金参加编写(第八章)。全书由霍崇仁统稿。

本书由全国高等学校水利电力部教材编审委员会地质类编审组编审委员清华大学戚筱俊副教授主审。此外华北水利水电学院席风云、陈淑敏、陈南祥协助编者作了稿件整理及描图等工作。

本书在编写过程中,从制定编写提纲开始,曾广泛征求有关院校和生产单位的意见,承蒙地质矿产部水文地质工程地质司农开清总工程师,水利电力部规划设计院朱建业总工程师,南京大学朱学愚副教授,长春地质学院谭周地教授、曹剑峰副教授,成都地质学院任天培教授等,以及水利电力部中南勘测设计院等单位提出许多宝贵建议,在此谨向他们表示诚挚的谢意。

本书编写过程中参阅了长春地质学院、武汉地质学院、成都地质学院、西安地质学院、河北地质学院及地质矿产部水文地质工程地质研究所等院校和单位的教材、讲义及有关材料,在此表示深切谢意。

鉴于编者水平有限,时间仓促,教材中不当之处,诚希读者批评指正。

编 者

1986年9月

81538/1.8

目 录

前 言	
绪 论	I
第一章 自然界的地下水	8
第一节 自然界的水循环	8
第二节 影响地下水的水文气象因素	11
第三节 岩石的空隙及其中的水	17
第四节 含水层的划分	28
第五节 地下水分类	32
第二章 地下水运动	44
第一节 重力水运动	44
第二节 结合水运动	51
第三节 毛细水运动	55
第四节 土水势与包气带土层中水分的非饱和运动	57
第三章 地下水化学成分及其分类	60
第一节 地下水的化学特征	60
第二节 地下水主要化学性质	67
第三节 地下水化学成分的形成	70
第四节 地下水化学成分的分析与水分析资料的整理	75
第五节 地下水按化学成分的分类	79
第六节 地下水化学分带	81
第四章 地下水的补给、径流和排泄	83
第一节 地下水补给	83
第二节 地下水排泄	98
第三节 地下水径流	108
第五章 地下水动态与均衡	112
第一节 天然状态下的地下水动态	112
第二节 地下水动态类型	115
第三节 人为影响下的地下水动态	117
第四节 地下水均衡	119
第五节 地下水的盐均衡	121
第六节 地下水均衡的应用	123
第六章 不同岩石介质中的地下水	126
第一节 孔隙水	126
第二节 裂隙水	133

第三节	喀斯特水	143
第四节	各类坚硬岩石分布区地下水特征	152
第五节	基岩裂隙水开采中的有关问题	160
第六节	我国地下水的分布	171
第七章	水文地质勘察	190
第一节	概述	190
第二节	水文地质测绘	192
第三节	水文地质勘探	205
第四节	水文地质试验	217
第五节	地下水长期观测	227
第六节	水文地质勘察成果	237
第八章	地下水资源评价	241
第一节	概述	241
第二节	水量均衡法	246
第三节	数值法	248
第四节	系统分析法	255
第五节	电模拟法	264
第六节	其他方法简介	268
第七节	地下水水质评价	273
第八节	水文地质参数的确定	282
第九章	地下水资源保护与管理	285
第一节	概述	285
第二节	地下水开发利用中的环境问题	285
第三节	地下水资源的保护	300
第四节	地下水管理	309
第十章	水利工程水文地质研究	320
第一节	水库的水文地质研究	320
第二节	坝(闸)及其它建筑物水文地质研究	337
第十一章	土壤改良的水文地质研究	349
第一节	概述	349
第二节	盐渍化与沼泽化的概念	351
第三节	土壤改良的水文地质调查	356
第四节	灌区地下水动态预报	360
附录	汾河三坝灌区浅层水开采量的有限元预测	363

绪 论

一、水文地质学的研究对象和任务

水文地质学是研究地下水的科学。所以也称为“地下水学”。

所谓地下水系指埋藏和运动于地表以下的土层或坚硬岩石空隙中的水。如我们常见的井水或泉水皆为地下水。

水文地质学的主要任务是研究或解决:

- 1) 地下水的形成、埋藏、分布、运动及循环转化的规律。
- 2) 地下水的物理化学性质、成分及其形成变化的原因和规律。
- 3) 解决合理的开发、利用、管理地下水资源, 以及有效地预防或消除地下水的危害等实际问题。

水是人们赖以生活及从事生产不可缺少的宝贵资源, 地下水是自然界水资源的重要组成部分。由于地下水蓄存于地表以下土层或岩石空隙中, 因而与地表水相比较, 用地下水作为供水水源, 具有特殊的优越性。

- 1) 地下水流经含水介质, 形成天然过滤, 一般不需净化处理。
- 2) 地下水特别是深层地下水, 因有上部岩层形成的天然隔障, 一般不易受地表污染物的污染, 卫生条件较好。
- 3) 地下水温度低(热水例外), 常年变化不大, 特别适用于冷却和空调用水。
- 4) 地下水分布广, 供水保证时间长, 既可节约输水线路, 又少受季节变化影响。
- 5) 取水建筑物费用投资低, 占地面积小。

所以, 地下水是可贵的供水水源, 在干旱、半干旱地区, 则更是主要的, 有时甚至是唯一的可靠水源。

二、地下水研究在国民经济建设中的作用

地下水既是人类活动的物质基础, 同时又可能成为某些国民经济部门发展的天然障碍。它具有益与有害的双重性。

有益的方面:

1) 地下水是一种重要的水资源, 据不完全统计, 全国181个大中城市中, 有61个城市主要依靠地下水作为供水水源。另有约40个城市, 地下水地表水兼用。根据城建部门统计, 华北27个城市, 总用水量约为782万 m^3 , 其中地下水约占686万 m^3 , 为总用水量的87%。如北京总供水量的三分之二取自地下水。在农业生产上, 我国仅北方17省、市、自治区每年从地下抽取的水量即达400亿 m^3 以上, 约相当于黄河全年的总水量。灌溉着1.7亿余亩耕地。我国南方也广泛地开采利用地下水。例如四川省仅盆地中部丘陵地区, 已打井5000余眼, 供给旱区300余万农村人口的生活用水和100万亩耕地的灌溉用水。

目前, 我国年总用水量4000亿 m^3 , 其中地下水开采量550亿 m^3 , 约占全国总用水量

的14%，占全国地下水总储量的6.9%。根据我国国民经济发展速度和到2000年实现工农业总产值翻两番的要求，预计本世纪末全国总用水量可能突破7000亿 m^3 。在未来的供水计划中，地下水资源必将起着更大的作用。

2) 地下水是一种有用的矿产资源。埋藏较深的地下水，往往含有较多的盐分和多种稀有元素或具有较高的温度。如我国四川自贡地区，开采利用深部地下水——卤水，已有2000多年历史，过去从中提取食盐，现在还从中提取钾盐及溴、碘、硼、锶、钡等工业原料，对工农业生产的发展起着重要的作用。温度高的地下水可用来发电、取暖及用于发展养殖业等。温度高或含有某些特殊成分的地下水还可以用于医疗事业。

3) 地下水是一种有效的找矿标志。地下水的成分有时可以反映出隐蔽在地下岩石中的矿床，特别是石油、金属硫化物和放射性等矿床。因此，与其他方法相互配合，可以提高找矿工作的成效。

有害的方面：

1) 地下水常常是矿坑充水的重要因素，在矿山采矿过程中有三大灾害：水淹、冒顶、瓦斯爆炸，地质问题就占了两项，可见水文地质、工程地质工作之重要。采矿过程中，由于地下水大量涌入矿山坑道，往往使施工复杂化和提高采矿成本。严重时甚至威胁矿山工程和人身安全。我国的许多煤矿以及南方喀斯特地区的金属矿床，坑道涌水问题均较突出。例如我国湖南某煤矿，平均每采出1t煤需抽出地下水 133m^3 。造成人身伤亡的例子如1935年山东淄博煤田一个矿井，一次坑道涌水淹死矿工580人，井内设备全部毁坏。国外某些矿山涌水问题也很突出。例如匈牙利尼拉德铝土矿，采1t铝土需抽出地下水 210m^3 。

2) 地下水是导致土壤肥力破坏的原因之一。保护土壤肥力是保证农业增产的重要基础。在干旱低洼地区，地下水通过蒸发，造成盐分积聚于土壤表层，形成土壤的盐渍化，或者当地下水接近地面，形成沼泽或湿地。无论是盐碱化或沼泽化，都将给农业生产带来不利的影响。

3) 地下水常常是延误工期或引起工程效益受损的原因。如修建在阿尔卑斯山脉下面的辛普隆隧道，在工程进行中地下水以 $1\text{m}^3/\text{s}$ 的水量涌入，使工程不得不停顿6个星期。又如1959年发生崩溃的法国马尔帕塞特拱坝，就是因为库水从地下的基岩裂隙中渗入到坝基下方的一粘土层内，使粘土软化引起滑动而崩溃。据美国发表的资料，在破坏的土石坝中，有40%是由于坝基土或坝体土渗透变形所造成。由于地下水对可溶性岩石的溶蚀作用，形成洞穴管道系统引起渗漏，是碳酸盐地区修建水工建筑物经常遇到的问题。如西班牙的蒙特-哈克水库，由于通过石灰岩溶洞渗漏，致使水库建成后从未蓄满过水。美国的赫尔斯·巴尔重力坝，高25m，建成后漏水量达 $50\text{m}^3/\text{s}$ ，并威胁到太坝的安全。我国碳酸盐岩分布面积达 130万km^2 ，约占全国总面积的 $1/7$ ，特别是西南地区，如川东、川南、滇东和贵州、广西大部分，地表广泛分布着碳酸盐岩，开发这些地区的水力资源时，渗漏问题必须引起特别注意。喀斯特地区修建其他工程也会遇到地下水问题。如开挖隧洞、地下厂房等也会遇到突然涌水问题，造成施工困难或使建筑物结构复杂化。其他如水库岸边的回水、铁路公路边坡滑动或冻胀，也常是因地下水影响而带来的不良后果。由于地下水

质不良，可对地下建筑物和设备形成侵蚀破坏而使工程受损。

4) 地下水含有某些有害元素或缺乏某些元素时，会危害人体的健康。地下水在运动过程中富集了某些有害元素，或某些元素的含量过高或过低，很多情况下使人害病。如我国吉林、黑龙江、陕西、内蒙、四川等省的克山病、大骨节病等地方病的发生，多同饮用当地的地下水有关。又如水中过多的氟会引起牙齿斑釉病，缺氟则患牙蛀病；水中缺碘可引起甲状腺肿病、克汀病等。

地下水作为开发利用的宝贵资源，必须加强对它的科学管理和保护工作，以防止地下水源被污染、地面沉降以及水质恶化等问题的发生。

综上所述，地下水既是宝贵的自然资源，但又可能对工农业生产产生不利的影响。水文地质工作者就是要充分利用地下水的有利方面，通过对地下水规律的研究，了解并克服其不利的方面。同时通过人的主观能动作用，将其不利的因素转化为有利的因素，使其为人类改造自然服务，为促进国民经济建设和实现“四化”服务。

三、水文地质学的发展概况

我国是世界上开发利用地下水最早的国家之一。远在5000多年前，我们的祖先就已经利用水井汲取地下水。此后，在漫长的历史时期中，我国劳动人民在凿井技术、开采利用地下水方面曾有过较高的水平。但在长期的落后的封建制度桎梏之下，未能进行深入的研究和系统科学的总结。

在国外，水文地质科学首先是在欧洲发展起来的。18世纪60年代工业革命产生，促进了科学、技术和文化的蓬勃发展。人们通过广泛的实验及观测研究，有关地下水形成等理论，与所有自然科学一样逐步建立起来。到20世纪初，由于近代自然科学的发展，使水文地质学发展成为一门多分支的综合性科学。

美国水文地质科学研究工作，是随着地下水资源系统的开发利用工作不断扩大而相应地发展起来的。第二次世界大战以前，主要是以研究地下水的地质条件，地下水运动，以及后来的地下水的水文分析和数学解析为基本课题。第二次世界大战以后，随着全国用水量的剧增，同时，由于工业的发展，提出了许多新的课题。如地下水区域性下降，水质环境污染和水源保护及地下水资源的补充等等。在研究方法上，开始将单纯的地下水的研究同地质、水文、地球化学、地球物理和现代数学等科学的研究方法结合起来。

苏联系统开始研究水文地质是在十月革命以后，随着工业、农业及城市供水的需要发展起来的。开始是对地下水的形成、分布规律、蓄存条件等进行研究。在20世纪30年代，在区域水文地质条件、地下水动力学、地下水渗透理论及矿水分类方面进行了大量工作，研究范围包括区域水文地质条件，淡水、矿水、热水的形成理论及普查勘探方法，地下水的动态与均衡以及地下水的动力作用等。在40年代初期，在已有的研究基础上建立起来比较完整的地下水科学理论。同时将同地下水科学有关的科学成果，如工程地质学、地理物理学、水文地球化学、水文气象学、农业土壤改良学、自然地理学、数学、海洋学等等有效地应用到地下水研究的各个方面。

国外自70年代以来，随着非稳定流理论的发展以及数字电子计算机的广泛应用，使得各种复杂条件下的地下水运动，都可能用数学模型方法求解。模拟模型的建立，使有可能

将水文系统中模拟的各种作用进行分析,形成最新的计算机实验方法。将模拟法与优选法结合起来,就有可能制定控制系统的最佳组合方式。因而目前国外在水文地质计算方面,主要是发展数学模型计算方法,特别是在各种复杂条件下和人为活动影响下,建立各类数学模型,进行动态预报和资源预测。

目前国外采用的水文地质计算方法,归纳起来,大致可划分为5个方面:1)利用稳定流理论的计算方法;2)利用非稳定流理论的计算方法(数值解与解析解);3)室内模拟方法(物理模拟与电模拟);4)利用比拟方法;5)数学地质方法(运用数理统计建立随机模型)。以上各种方法又可互相结合或互相验证。近几年来关于地下水运动的三维流问题,包气带水的运移机理问题,越流理论问题,也都取得了重要的进展。

环境水文地质问题,是当前各国比较突出的一个研究课题,主要包括地下水过量开采、水质污染、海水入侵、地面沉降、喀斯特塌陷、热污染、废渣处理(特别是放射性物质),以及由水质引起的地方病等。水质污染问题(包括生活、农业及工业污染)的研究,已经逐渐发展成为“污染环境水文地质学”;原生或次生环境对人体健康影响的研究,逐渐发展成为“医学环境水文地质学”;与城市发展有关的环境水文地质问题,已逐渐发展成为“城市环境水文地质学”;特别是地下水与环境生态的关系,已经成为当前各国非常重视的一个新课题。

地下水动态研究对解决水文地质理论问题和实际应用均有重要意义。国外科学技术先进的国家非常重视地下水动态长期观测工作。例如,美国全国拥有观测站(点)4万余个(地下水长期观测点26774个、水质监测点7000多个),通过卫星遥控信息系统,将100多个野外单位的终端站与华盛顿总部的一部大型高速计算机相连接,自动通过计算机录成磁带纳入数据库的控制系统,数小时内即可供全国使用。在此基础上通过动态资料的分析研究,建立电模拟模型,作为研究水资源调节、大面积资源评价与远景预测等问题的重要手段。又如,苏联全国观测网拥有观测点25000个(100个站),通过动态资料的分析整理,确定了潜水动态分带及水位多年变化极限值出现的规律。建立了地下水动态预报制度,定期(1年3次)出版预报成果。

国外对地下水人工补给的研究,是近20年来各国的重要课题之一,并已在实际应用中取得重要作用。

地球化学与同位素地质学方法,在地下水研究中也占有重要地位。如运用地球化学作用过程,分析地下水的循环条件、补给来源与补给量;建立水化学均衡方程计算水资源;研究地下水的垂直分带及含水层之间的水力联系等等。同位素方法的应用,主要作为示踪元素研究地下水动力学问题,确定地下水的成因及其年代。在研究区域水均衡条件方面,可阐明地下径流形成规律,了解降水、地表水及地下水“三水”转化关系,探索含水层之间的水力联系,以及研究古水文地质问题等等,均有较好的效果。关于地下水绝对年龄的测定,已从利用 C^{14} 发展到利用 Sn^{14} 以及利用宇宙射线中的 A^{39} 等各种同位素。法国利用研究地下水中的氡含量确定淡水与咸水的界面,分析灌溉水在包气带中的下渗补给作用。

在探测技术方面,遥感技术在国外得到广泛的运用。通过卫片航片的解译以及红外扫描等方法,明显地提高了野外工作的效率和测绘的精度。一般利用遥感方法可以对难于进

行地面地质工作的地区的地下水资源作出初步评价；运用红外线扫描方法，可以对沿海淡水资源的水质水量作出初步评价。目前正在研究利用遥感资料，通过电算数据处理，实现图象数字化，增加信息量，并计算各种水文地质参数，如地下水位、压力水头、孔隙率、渗透系数、温度、水力坡度、导电性等。由于遥感技术的迅速发展，国际水文地质协会于1983年成立了水文地质遥感专业委员会，以推动遥感技术在水文地质工作中的应用。

我国水文地质工作，是在50年代新中国成立后随着国民经济的发展逐步成长和壮大起来的。建国后，国民经济恢复工作的进行及第一个五年计划的实施，对水文地质工作提出了迫切的要求。如新建和扩建城市的供水和矿山排水以及水利工程中的许多水文地质问题等。为此，在建国后的五六年内，迅速的建立了水文地质科学，成立了地质院校，培养出了新中国第一代的水文地质专业工作者。随着经济建设事业的发展，这支队伍不断发展壮大。广大水文地质工作者结合我国各项建设事业开展了地下水的研究工作。如地下水形成条件，水量评价与水质的研究，地下水动态长期观测工作等。到60年代，我国水文地质科学工作者，在地下水形成，地下水运动，地下水化学以及地下热水等方面皆有许多创建，为城市、工矿企业、农业、铁路等的供水，矿山及工程建筑地区的排水，水利电力建设，灌区地下水的开发利用，水化学找矿等工农业建设，提供了水文地质依据，保证了国民经济各部门对水文地质资料的需求。

自70年代以来，由于应用数学和地下水动力学两门学科的相互渗透，以及电子计算技术在地下水资源计算中的推广和应用，丰富和突破了原有水文地质学的内容，使地下水资源计算从稳定流发展到非稳定流，从二维流发展到三维流，从一般均衡方法、比拟法进入到解析法、数值法和电模拟法。因而不论在理论上和具体计算技术上，都较以前有明显的提高和发展。例如在一些边界条件比较清楚，观测工作开展比较好的地区，数值法（有限元、有限差及最近兴起的边界元方法）和电模拟已经在资源评价中得到比较普遍的应用（边界元法尚处于开始阶段）。此外如非稳定流开采强度法、趋势分析法、多元回归分析法等，都在实际应用中取得较好的效果。

根据我国基岩山区广泛分布的特点，基岩裂隙水、喀斯特水占有重要地位。近年来对裂隙水、喀斯特水的形成条件、水动力特征、动态规律进行了大量研究，取得不少新进展。地质力学与数理统计等方法，在裂隙水、喀斯特水的研究中得到广泛应用，并提出了“网络学说”和各种“蓄水构造”等新概念。通过室内模拟试验，提出了裂隙水的“渗流理论”。我国南方广泛分布的中、新生界红色盆地，经过近年来的大量调查研究，对红层地下水的赋存条件和富集规律，获得许多新认识。在喀斯特地区，重点对地下暗河与喀斯特大泉进行了专门研究，如广西都安的地下河系、湖南洛塔大泉、山西娘子关泉、济南趵突泉等，都进行了大量调查研究工作。在西北干旱地区，也发现具有开采价值的喀斯特水。

对于裂隙水、喀斯特水的资源评价，除分析研究了山区基流的各种分割方法外，云南省水文地质队运用概率论随机过程有关原理，建立径流模态类型，通过对水文资料的相关分析统计，计算地下径流量。为了将偶测流量，换算为枯季或年平均流量，西南各省根据不同动态类型，分析暗河流量与降水或河流流量的相关关系，运用相关分析计算不同时期

的暗河流量。河北、山西等省还采用了多元线性回归模型、系统理论模型,深入研究降水对喀斯特大泉的多年调节作用。有些水源地采用电网络模拟与有限元法,计算最佳方案下的开采资源。有的用衰减分析法预测旱季流量。由此可见,对于裂隙水、喀斯特水的研究,从赋存规律、渗流理论到资源评价,皆有显著的进展。

当前与地下水资源密切相关的一个比较突出的问题,是水质污染问题。根据40多个大中城市的调查,其中绝大多数地下水都已不同程度受到污染,而且有的污染程度已甚严重。近几年来加强了对各主要城市污染现状的调查研究,包括污染源、污染途径、污染成分、污染程度、污染范围、发展趋势等方面。并且还开展了污染机理的研究,包括污染物质的运移、累积、转化与自净过程,特别是污染物质的机械渗滤作用,物理化学吸附作用,离子交替置换作用,浓缩或稀释净化作用,以及放射性元素的衰变作用等。因此,进行了许多室内或现场的试验研究,如北京关于研究水的硬度上升所进行的室内模拟试验,西安进行的现场灌入渗试验,常州、济宁等地进行的弥散试验等。济宁通过水质模拟试验,研究建立数学模型,进行水质预测。松花江流域正在开展地下水环境背景值的研究。

许多城市开展了地下水环境质量评价,并已逐渐由定性评价进入定量评价,由单项有害离子评价,进入综合评价,由单项环境因素评价进入综合因素评价,从现状评价发展到趋势预测评价,由数理统计分析,发展到污染预测和建立数学模型。北京、长春、邯郸等城市,通过多年监测与实际调查,编制了环境水文地质图集或图系。

与水质有关的另一个问题,是原生条件下所形成的与人体健康有关的若干水文地球化学问题,这些问题往往与若干地方病联系在一起。例如东北地区分布比较广的克山病与大骨节病,经多年研究认为皆与当地饮用水的水质,主要是离子比值关系、腐植酸含量、钼、硒等微量元素含量,有直接或间接关系。虽然病因还不十分清楚,但通过改水换水等措施,对防治地方病都已取得较好效果。再如高氟水、低碘水是导致氟中毒与甲肿病的主要原因,近年对高氟水的分布规律与形成机理进行了大量研究,发现高氟水在我国北方分布极为广泛,形成条件也较复杂,有待深入研究。最近有关各省根据调查成果,正在组织编制与地方病有关的环境水文地质图集。

我国北方浅层咸水分布很广,例如华北平原就约占总面积的17%。因此咸水的改造利用,对增加地下水可利用量和防治土壤盐碱化,具有十分重要的意义。根据大量的现场试验研究认为,利用微咸水灌溉对作物并无不利影响。河南省虞城县利用矿化度3~5g/L的咸水进行灌溉试验,也取得了成功。许多发展井灌的地区,也出现了咸水大面积自然淡化现象。

其他诸如人工补给地下水,地下热水资源的勘察、开发利用,以及包气带水运移的试验研究工作,亦皆取得相应的成果和明显的进展。

综上所述,国际上当前研究的主要课题和存在的问题,也正是国内正在研究的课题和开展的工作。这主要包括: 1) 人类活动对地下水数量和质量的影响; 2) 地下水污染的研究; 3) 地下水动态与监测技术的研究; 4) 计算机、遥感技术与核技术在地下水研究中的应用; 5) 大区域地下水资源的估算; 6) 包气带中土壤水运动的研究。

此外,随着葛洲坝水利枢纽工程的胜利建成,将继续兴建长江三峡巨型水利工程; 并

将逐步实施“南水北调”等改造自然的宏伟规划，这必将影响和改变包括水文地质等的自然环境，从而为我国水文地质工作提出许多新的课题，促进水文地质工作的进一步发展。

四、本课程的教学要求

本课程是水文地质及工程地质专业的一门专业课。根据水利电力部1982年修订的教学计划和教学大纲，本课程主要由水文地质基础、水文地质勘察及地下水资源评价与管理3部分组成，共11章。教学过程中可根据当前教学改革的精神，依据教学改革后安排的学时数进行课堂讲授及相应的实验、实习等。有关地下水计算的内容，将在“地下水动力学”课程中安排，本课程未作过多的涉及。

第一章 自然界的地下水

第一节 自然界的水循环

自然界的水分布于大气圈、水圈和岩石圈之中，分别称为大气水、地表水和地下水。水文地质学中所研究的地下水，是自然界中水的一部分，它与大气水、地表水是相互联系的统一体。地下水的形成与自然界水的运移变化密切相关。当我们研究地下水时，必须同时研究大气水与地表水，以及其他相关因素，否则就不能解决地下水的有关问题。

一、自然界中水的分布

自然界的水，在不同的物理环境中，以气态、液态和固态形式分别存在于大气圈、地壳表面和地壳之中，其分布情况如表1-1所示。

表 1-1 地 球 上 水 的 分 布

水的分布		水量 (km ³)	占总水量的百分率
大气水		1.29×10^4	0.001
地表水	海洋水	132292.97×10^4	97.20
	冰	2917.49×10^4	2.15
	淡水湖	12.50×10^4	0.009
	咸湖及内陆海	10.42×10^4	0.008
	河流	0.13×10^4	0.0001
地下水	土壤水分与包气带水	6.67×10^4	0.005
	地下水(800m深度内)	833.56×10^4	0.620
总 计		136072.37×10^4	100.00

从表1-1中可以看出，对人类最为有用的淡水，仅占全球水量的 2.97%，且其中的 77% 分布于难于获取的高山冰川之上。而较易开发利用的江河湖水仅占全球淡水量的 0.33%，且分布不均。埋藏在地表以下 800m 以内的地下淡水却占全球淡水的 22%，为地表淡水的 66 倍。地下水不仅量多，且分布较普遍，因此，当有限的地表水源已不能满足人类迅速增长的需要时，地下水很自然的成为理想的水源。这里需要说明，由于自然界水的不断循环，降落到地表的降水，远远超过保持于大气圈中的水量。

二、自然界的水循环

如图1-1所示，水在太阳辐射热的作用下，从海、河、湖及岩土表面和植物叶面不断蒸发和蒸腾，以蒸气形式进入大气中，并随之移动。在适宜的条件下，凝结成液态或固态的水，以各种不同的形式：雨、露、霜、雪、雹降落到海面或陆面。降至陆面的水，一部分就地蒸发；一部分转为地面径流，汇入河、湖、海；另一部分渗入地下形成地下水。地下水在径流过程中，一部分再度蒸发以蒸汽的形式重新进入大气，一部分再度排入河、

湖、海中。这种降水、径流、蒸发的过程，在全球范围内时刻都在进行着，形成了自然界中极为复杂的水循环。

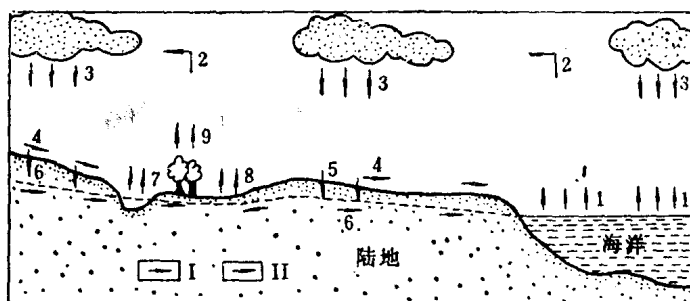


图 1-1 自然界水循环示意图

I—大循环各环节；II—小循环各环节

1—海洋蒸发；2—大气水汽转移；3—降水；4—地表径流；5—入渗；6—地下径流；7—水面蒸发；8—土面蒸发；9—叶面蒸发(蒸腾)

自然界水循环按其范围的不同，分为大循环和小循环。所谓大循环是指在大气圈、水圈和岩石圈之间整个地球范围内的循环，而小循环则是指陆地或海洋本身范围内的循环。

由于水循环，使水圈成为一个动态系统，并使水资源性质与其他资源不同，它除了水体的贮存量之外，还包括参加水循环的水量。据计算，每年大约有 505000km^3 的水从海洋蒸发到空中，有 72000km^3 的水从陆地蒸发到空中，而每年降落到陆地上的水有 119000km^3 ，降落到海洋里的水只有 458000km^3 。这就是说，海洋蒸发了 505000km^3 的水，得到了 458000km^3 的降水，大陆蒸发了 72000km^3 的水，得到了 119000km^3 的降水。亦即通过水循环，每年有 47000km^3 的淡水从海洋转移到了陆地上，成为可供人类利用的淡水资源(图1-2)。

三、水量平衡及平衡方程

循环于自然界的水，遵循一定的数量关系，在一定的时间间隔内处于动态平衡，这种动态平衡可以用平衡方程式来表示。

设： E_o 为海洋表面的年蒸发量；

X_o 为海洋表面的年降水量；

E_c 为大陆表面的年蒸发量；

X_c 为大陆表面的年降水量；

Y 为河流和地下水流入海洋的年径流量。

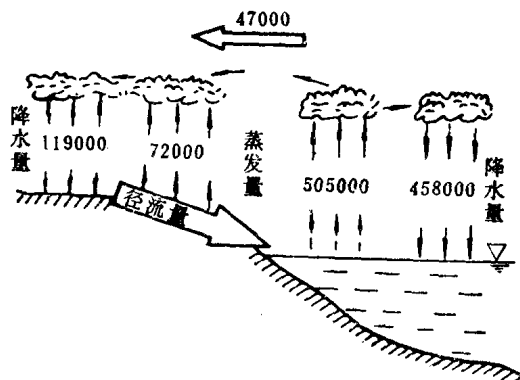


图 1-2 水循环与淡水资源(据表1-2资料)
(单位: km^3)

则地球表面

$$E_o = X_o + Y \quad (1-1)$$

$$E_c = X_c - Y \quad (1-2)$$

故

$$E_o + E_c = X_o + X_c \quad (1-3)$$

上式表明，海洋和陆地上的蒸发量，等于降落到海洋和陆地上的降水量。

大陆内流区的多年平均水平衡方程为：

$$E = X \quad (1-4)$$

式(1-4)表示内流区的多年平均降水量(X)等于多年平均蒸发量(E)。但应指出,内流区并非没有径流,只是内流区的径流最终也消耗于蒸发,而不流入海洋。地球上水量平衡见表1-2。

表 1-2 地 球 上 的 水 平 衡

区 域		水 平 衡 要 素					
		蒸 发		降 水		径 流	
		水 量 (km^3)	水层厚度 (mm)	水 量 (km^3)	水层厚度 (mm)	水 量 (km^3)	水层厚度 (mm)
海 洋		505000	1400	458000	1270	47000	130
陆 地	内 流 区	9000	300	900	300		
	外 流 区	63000	529	110000	924	47000	395
全 球		577000	1130	577000	1130		

四、水循环系统及其中的地下水

自然界的水在循环过程中,从长期平衡来看,可以认为水的总量几乎是不变的。然而当限定某一地区或某一时段时,则水的收支可产生不平衡,水量收支的不平衡,则可导致洪水或干旱,直接威胁着人们的社会生活。

地下水作为水循环的要素之一,其循环速度要比其他水的循环速度小一两个位数。因此,如果过度开采地下水得不到相应的补给,只能使水的亏空越来越多,这种亏空不仅影响地下水,而且还会波及河水和灌溉水或其他用水的平衡。这是因为所有的水都是被水循环这一过程连结起来的。

基于上述,在地下水研究中,将水循环看作是一个系统,将地下水作为水循环要素之一,置于水循环总系统之一,可称为其中的亚系统或子系统。水文地质学的研究内容即以此为基点,并从数量上加以研究和探讨。

如果视水循环为一系统,那么衡量水的利用的合理化程度,可以采用所谓系统工程学的方法。系统工程学的类似法可分为如下两个阶段:①阐明某地区的水量平衡,并根据模型模拟预测水量平衡;②根据预测结果的评价来选用实施计划。

系统工程学的类似法,是将成为对象的系统,按其组成要素分别加以分解。研究水量平衡也是一样,首先应该处理好水循环要素的分解。如就某一灌溉地区而言,以处理灌溉时所发生的水文环境的变化为目的,此时水循环系统的分解模式即如图1-3所示。水循环系统分为大气(亚)系统(*Atmosphere subsystem*)、地表(亚)系统(*Surface subsystem*)、土壤(亚)系统(*Soil subsystem*)、地下水亚系统(*Groundwater subsystem*)、河流(亚)系统(*Channel subsystem*),而且还可以划分出由于人类的生产

活动而造成的如灌溉系统或人类系统的要素。

除了人类系统以外的其他系统，即构成所谓自然环境的各种系统，它们之间是互相密切联系着的。连接这些系统的环节是降水、蒸发、渗透、地表径流、地下径流等水文现象。当人类的生产活动参与这些系统时，必然给这些系统以一定的影响，预测其影响的程度，是水量平衡研究的主要课题。

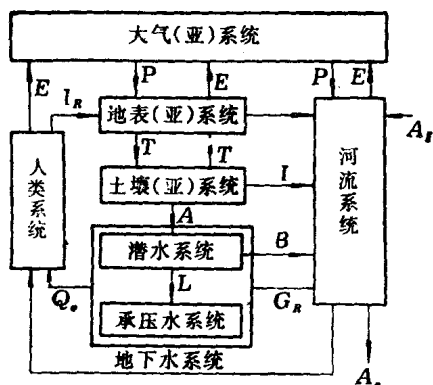


图 1-3 构成水循环系统的各要素

□—亚系统； A_1 、 A_2 —河水流出、流入； A 、 G_R —地下水补给； P —降水； E —蒸发和蒸腾； L —越流；●—地表流出； T —迁移； I —中间流出； Q_P —抽水； B —基底流出； I_R —灌溉

第二节 影响地下水的水文气象因素

某一地区天气的平均状态称为该区的气候。表征天然状况的各种物理因素如气温、气压、风向风力、湿度、蒸发和降水（雨、雪、雹、霰等的总称）等称为气象要素。对地下水来说，不仅变化迅速的各种气象要素如降水起着影响作用，而且变化缓慢的气象要素如蒸发、湿度也起着重要的影响作用。

一、气温与地表温度

太阳辐射通过大气层射到地面，一部分被大气所吸收，一部分被反射（图1-4）。地表受太阳辐射而加热，从而烘烤着大气。所以大气的温度首先取决于地表的热状态，而地表的热状态主要决定于太阳的照射。一天中一般在午后气温最高，翌日黎明前气温最低，但其变化幅度，在陆面和水面上存在着差异。由于水的比热大，它对太阳辐射的吸收率高，使水面上的气温在白天并不很高，晚上也并不很低。所以海洋地区气温的日变化要比大陆上小得多。年变化同样是海洋比大陆上小些。

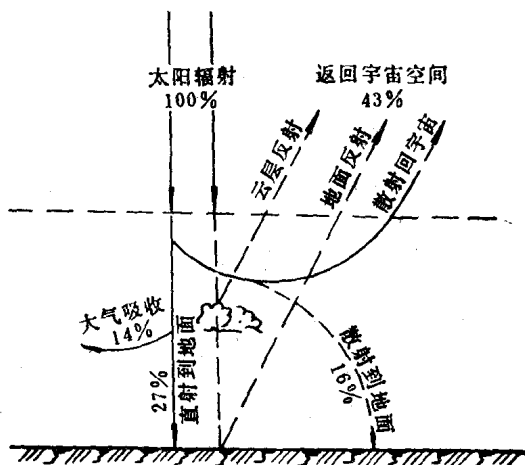


图 1-4 太阳辐射通过大气层的消耗情况

由于地表温度不同，所以表层地下水的温度就明显的受到影响（图1-5）。地表温度与地表岩石和地物吸收太阳辐射能的特性有关，故浅部地下水温的等温面往往不是水平的