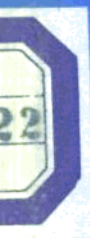


地下水研究

R·H·布朗 等编

赵耿忠 叶寿征 等译

赵珂经 赵耿忠 校



学术书刊出版社

中 文 版 序

中国科学院学部委员、河海大学名誉校长、教授 严 恺
中国 国际水文计划 国家委员会 前主席

水是人类赖以生存的最重要的自然资源之一。随着社会进步、经济发展、人口增加等因素，人类对水的需求与日俱增，以致不少国家和地区，水的供需矛盾越来越大，包括我国在内，水资源已成为人们面临的一个十分严重而又必须加以解决的问题。

地下水与地表水是水文上相互联系着的一个整体的动态系统。联合国教科文组织(UNESCO)聘请国际上一些权威学者撰写的“地下水研究”(Ground-water studies)中文版的问世，无疑将在科学合理地研究、解决我国的水资源问题中发挥重要的作用。对此，我深表庆幸。

这里谨向联合国教科文组织、特别是该组织常驻中国代表H·L泰勒博士对中文版出版方面给予的支持、对水利部外事司给予的支持表示衷心的感谢，对中文版的出版组织单位山西省水文总站、以及对翻译、校译、出版印刷等同志一并表示衷心的感谢。

编译者的话

《地下水研究》(Ground-water studies)是联合国教科文组织(UNESCO)出版的一本关于地下水调查研究的指南性专著,是国际水文10年(IHD, 1965~1975)计划的一部分。它总结了现代各国和有关国际组织在地下水调查研究领域的主要成就和经验,反映了世界水平。

《地下水研究》英文版编著出版始于国际水文10年期间,完成于1983年。1972年出版1~8部分,随后进行了四次增补:1973年出版增补了第10部分;1975年再次增补了第3.1.1.5的修正本,第6.3及第9、14两部分;1977年第三次增补了第7.6、第8.5及第15部分;1983年最后一次出版增补了第13部分。全书按次序排列到15部分,实际只有13部分,取消了原计划的第11部分和第12部分。

本中文译本的翻译、校订及出版工作,由山西省水文总站组织实施。其中1~8部分是根据1975年出版的日文版翻译的,校订时同英文版进行了对照,以英文版为准做了个别的修正。日文版1~8部分中缺7.6和8.5,这两节是根据英文版翻译的。中文本的9、10、13、14、15部分都是根据英文版翻译的。

参加1~8部分翻译工作的有(按姓氏汉语拼音顺序):陈则之、高敦曾、关慧昭、侯佩瑾、胡青勉、孟淑娴、南颀、吴静方、谢伏瞻、张英泉、赵耿忠、周萍、朱宗蓉,由高敦曾、赵耿忠校订;参加9、10、13、14、15部分翻译工作的有:高诞源、黄中本、叶寿征、朱翊,由叶寿征校订。全书译文最后校订者为赵珂经、赵耿忠。技术顾问张履声、刘实。

在翻译出版过程中得到水利部外事司、水文司、山西省水利科学研究所领导和郑汝刚、余慰民、王俊业等同志的支持与帮助,特别得到联合国教科文组织的热情支持与赞助,特此表示衷心的感谢。另外,对原编著者、出版者和日文版的编译者、出版者也一并致以谢意。

由于译者水平所限,不足和错误之处在所难免,恳请读者不吝指正。

英文版序

联合国教科文组织(UNESCO)在第13届大会上发起了国际水文10年(IHD)计划(1965~1975),倡议在科学水文学(Scientific hydrology)的调查研究方面,在专业人员、技术工作者培训方面进行国际之间的协作。这个计划的目的是要求所有国家对其拥有的水资源进行充分的评价,并在面临人口增加、工农业发展、人类需水要求不断增加的现实情况下,更加合理地利用其水资源。1970年,125个联合国教科文组织的成员国中,有105个国家组建起10年计划的国内委员会,按照10年计划纲要开展了它们的国内活动,同时,对地区性和国际性的活动也作出了贡献。10年计划的实施过程中,由联合国教科文组织大会选出的13个国家组成的协理理事会进行监督。这个理事会旨在研究对计划纲要的开展所提出的建议,推荐对所有国家或大部分国家具有价值的工程计划,援助各国和地区性的开发以及协调国际间的合作等。

国际水文10年计划纲要的一个很大特点是,促进在开发水文研究技术方面、交换水文资料方面及水文设施规划方面进行合作。纲要中包括了水文调查研究的所有方面。它鼓励在国家、地区以及国际水平上,从局部性的和全球性的前景出发,加强并改善自然资源的控制与利用。这个纲要为一些水文研究先走一步的国家交流科学观点提供了一种手段;这些观点的交流不仅为发展中国家的研究项目有所裨益,而且为规划她们的水文设施提供了最新的信息。

在实现国际水文10年计划中,联合国教科文组织工作的一部分是大会授权理事长进行有关水文研究资料的收集、交流和散发,促进本学科研究人员之间的接触等工作。为此目的,联合国教科文组织首先刊印了以下两部论文集:《水文学研究与报告》(Studies and Reports in Hydrology)和《水文学技术论文》(Technical Papers in Hydrology)。

“水文学研究与报告”的编写目的在于记述已经收集到的资料及在IHD范围内所进行的、主要的水文学研究成果,同时提供调查研究技术方面的信息。论文集中也有学术讨论会上发表过的文章。这样,这个论文集便包括了资料编纂、水文研究方法和研究结果的讨论以及今后进行科学调查的指导方针等内容。希望这些论文集能供参加IHD的水文学者和政府在理论和实际方面用作参考,同时也能满足所有国家水利技术人员和科学家的需要。

论文内容的选择和记述,论文中所表达的意见和观点都由各论文集前言中提到的组织及著者负责。本书中所使用的名称及记述,一概不代表联合国教科文组织秘书处的意见,不论涉及到任何国家的或领土的法律状态也好,抑涉及到她们的权限也好,还是涉及到任何国家或领土的边界也好,都是如此,特此声明。

英文版绪论

在国际水文10年 (International Hydrological Decade) 计划期间, 研讨了重要的水资源问题, 主要内容包括: 一个国家水资源的评价, 地表水和地下水之间关系的研究, 控制地下水原则的建立以及水均衡的制订等。

国际水文10年 (以下略称IHD) 计划的目标中, 也包括协助建立以一个国家或以整个大陆为单位的区域性的水均衡; 协助进行在自然条件和人类活动影响共同作用下, 地下水资源变化的长期预测, 以及协助制定为合理开发水资源而提出的工程计划与方案等。

这些问题对于那些水资源有限的发展中国家来说, 具有特别重要的意义。为研究并解决这些重要的问题, 必须采用广泛的调查方法来确定地下水资源的特征和地下水均衡。同时, 必须在所有的国家建立永久性的水文观测站网; 必须注意在这些观测站网内进行所需要的最低限度的科学调查; 必须在IHD期间改进地下水调查方法, 并为数据处理和分析引进现代化的仪器设备和最新的方法; 必须对IHD计划期间获得的数据进行系统的分析, 建立预报地下水随时间而变化的技术。

在组织并开展上述各项调查研究时, 应该很好地借鉴那些在水文地质方面已经作过广泛的调查研究的各个国家的经验。出于这种考虑, IHD协调理事会在该会第二次会议上批准编辑一部指导性著作《地下水研究》(Ground-water Studies)。1968年2月, UNESCO专家组研究了苏联为本书提出的初稿, 评审了其题材范围及编排, 指出在技术上完成修订之后出版。专家组为修订工作提出了一个改进并发展了的提纲, 实际上又提出了一个较苏联初稿内容更为充实的改写稿 (第二稿)。1968年5月, IHD协调理事会在其第四次会议上, 对改写稿内容又作了一些修改后获得通过, 也就是本书现在的这个版本。其中包括了苏联、美国、英国、荷兰、法国和联邦德国提供的材料。

本书是为在IHD计划范围内组织和实施地下水调查研究的负责人员, 特别是发展中国家的这些人员参考使用而编写的。书中对下列几个问题提出了讨论和建议: (1) 地下水调查研究的组织与方法; (2) 编制地下水均衡的方法; (3) 地下水环境预测; (4) 地下水观测站的选择与定位; (5) 仪表、设备的选择; (6) 地下水资料的收集、处理与分析方法。

由于地下水的研究将在有很大变化的自然条件中进行, 因此, 本书提出的那些只适用于给定条件的建议, 不是在任何情况下都能成立的。另外, 本书虽就资料观测和数据处理列举出一些方法, 但不应拘泥于这些方法而排除采用可以接受的以及公认可行的其他方法。

本书发行的主要目的是: (1) 促进各国开展地下水的调查研究; (2) 扩大关于地下水自然规律的认识; (3) 协助IHD观测站对代表流域以更为合理的组织进行详细的地下水调查研究; (4) 推动与地下水、水均衡和水资源相联系的其他研究项目。

这里, 很难 (如果不是不可能的话) 一一提出为本书提供各种帮助的每位姓名。不过提出几位全面负责的主要作者是适当的。他们是: IHD秘书处负责人博琴(N. A. Bochin)。

专家组成员：布朗 (R.H. Brown) (美国)，卡斯塔尼 (G. Castany, UNESCO 顾问)，已故伊尼森 (J. Ineson) 博士 (英国)，达尼洛维奇 (M.Y. Danilovich) (苏联)，科诺普里亚塞夫 (A.A. Konoplyantsev) 博士 (苏联)，科瓦列夫斯基 (V.S. Kovalevsky) 博士 (苏联)，里克特 (W. Richter) 教授 (西德)，肖勒 (H. Schoeller) 教授 (法国)，蒂森 (L. J. Tison) 教授 (IASH 代表)，沃特 (C. Voute) 教授 (IAH 代表)。

本书各章的主要执笔者为：巴布什金 (W.D. Babuskin) 教授，卡茨 (D. U. Kats) 教授，科诺普里亚塞夫 (A.A. Konoplyantsev) 博士，科瓦列夫斯基 (V.S. Kovalevsky) 博士，列别捷夫 (A.V. Lebedev) 博士，谢斯达可夫 (D.M. Shestakov) 教授，亚特赛娃 (E. N. Yartseva) 博士 (以上为苏联)，科布 (E. Cobb)，金 (N.J. King)，斯托尔曼 (R.W. Stallman)，托马斯 (H.E. Thomas) (以上为美国)，里克特 (W. Richter) 教授 (西德)。

向担任本书特定部分技术校阅的以下各位国际科学家表示谢意：博加第 (J.L. Bogardi) 教授 (匈牙利)，蔡尔兹 (E.C. Childs) 博士 (英国)，克拉金霍夫·范德勒 (D.A. Kraijenhoff van de Leur) (荷兰)。

此外，给本书很多部分提供资料和校阅的有：肖勒 (H. Schoeller) 教授 (法国)，里克特 (W. Richter) 教授，利利奇 (W. Lillich) 博士 (以上西德)；贝尔 (J.P. Bell)，德布尼 (A.G.P. Debney)，唐宁 (R.A. Downing)，格雷 (D.A. Gray)，琼斯 (G.P. Jones)，理查兹 (H.J. Richards) 以上各位为英国；巴克 (W. Back)，库珀 (H.H. Cooper)，德雷希尔 (W.J. Drescher)，哈德利 (R.F. Hadley)，赫姆 (J.D. Hem)，范希尔马 (T. Van Hylckama)，金雷伊 (J. Kimrey)，麦吉尼斯 (C.L. MacGuinness)，罗洛 (J. Rollo)，萨默尔 (E. Sammel)，舒特 (E. Shuter)，斯温森 (F.A. Swenson) 以上各位为美国；彻尔尼科 (G.Y. Chernyak)，弗罗洛夫 (N.M. Frolov) 博士，戈洛瓦诺夫 (A.L. Golovanov)，埃达洛夫 (I.P. Idarov)，库德林 (B.I. Kudelin) 教授，波波夫 (O. V. Popov) 博士，索科洛夫 (Z.Y. Sokolov) 博士，亚斯文 (L.S. Yasvin) 博士，蔡达若 (I.S. Zegtzner) 博士，以上各位为苏联。

本书的主编是布朗 (R.H. Brown) (美国) 和科诺普里亚塞夫 (A.A. Konoplyantsev) 博士 (苏联)。已故伊尼森 (J. Ineson) 博士 (英国) 和科瓦列夫斯基 (V.S. Kovalevsky) 博士 (苏联) 协助编辑。他们都给本书各章提供了资料。

本书现在的形式，是第一次尝试，是按国际上一些科学家们的意见在IHD的共同目标下编写的。参加IHD的所有国家要不断总结经验保持自己在水文、水文地质方面获得的知识、经验和现场技术。如果考虑有适合于补充本书的资料时，希望随时通过本国IHD国内委员会提交IHD秘书处，以便请负责本书补充修正工作的地下水研究工作组加以考虑。

迄今为止，已经建议进行修订的项目有：(1) 地下水调查网的设计与规划，(2) 地下水勘探中地球物理方法的应用，(3) 裂隙破碎基岩区的勘探研究技术，(4) 绘制水文地质图的方法，(5) 地下水的水质，(6) 大面积的地下水资源的预测与估算，(7) 放射性同位素的应用。

目 录

1. 地下水的基本性质.....	1
1.1 基本原理.....	1
1.1.1 地下水的起源.....	1
1.1.2 水循环.....	1
1.1.3 地表水与地下水的比较.....	2
1.2 地下水的概念	3
1.2.1 地下水的机制.....	5
1.2.2 地下水运动的意义.....	6
1.3 进行地下水资源开发调查的方法	6
2. 有关地下水的基础知识	8
2.1 地质学.....	8
2.1.1 岩石及其构造.....	8
2.1.2 裂隙、节理的发育.....	9
2.1.3 边界条件.....	12
2.2 岩石中所含水的分类.....	14
2.3 地下水水力学	16
2.3.1 层流.....	16
2.3.2 紊流.....	17
2.3.3 无压地下水与承压地下水.....	18
3. 关于地下水的解释.....	20
3.1 关于含水层的解释	20
3.1.1 勘探方法.....	20
3.1.1.1 资料收集.....	20
3.1.1.2 野外调查.....	21
3.1.1.3 摄影地质学.....	21
3.1.1.4 地球物理学.....	22
3.1.1.5 钻井与测井.....	23
3.2 影响地下水状况的动力因素	29
3.2.1 一般概念.....	29
3.2.2 气候因素.....	30
3.2.2.1 降水量.....	31
3.2.2.2 蒸发.....	32
3.2.2.3 气温.....	33
3.2.2.4 气压.....	33
3.2.3 水文因素.....	34

3.2.3.1 地表水·····	34
3.2.3.2 盐水入侵·····	36
3.2.4 生物土壤因素·····	37
3.2.5 包气带·····	38
3.2.6 地质因素·····	38
3.2.6.1 地震现象·····	38
3.2.6.2 火山活动·····	39
3.2.6.3 其他地质现象·····	39
3.2.6.4 地形的起伏·····	39
3.2.7 人为因素·····	39
3.2.8 无压地下水的一般性质·····	40
4. 详查地区的选择·····	42
5. 关于水均衡的解释·····	46
5.1 水均衡的一般要素·····	46
5.1.1 选择地区所需要的基础资料·····	47
5.1.2 编制地下水均衡表所需要的基础资料·····	47
5.2 总体水均衡的确定·····	49
5.2.1 水均衡及地下水流动参数的计算·····	49
5.2.2 确定水均衡要素的必要条件·····	54
5.3 无压地下水的水均衡计算·····	55
5.4 河道流量中地下水成分的计算·····	61
5.5 利用地下温度计算地下水流·····	69
5.5.1 倾斜含水层·····	70
5.5.2 隔水层的铅直渗透系数·····	72
5.5.3 接近地表的铅直流动·····	72
5.5.4 地下温度的测定·····	74
5.6 地下水的盐均衡和化学成分·····	76
5.6.1 研究范围·····	76
5.6.2 与无压地下水流有关的盐均衡要素的表达·····	77
5.6.3 均衡区域·····	80
5.7 扰动条件下的地下水·····	84
5.7.1 水资源开发地区的地下水·····	84
5.7.2 灌区和垦区的无压地下水与水均衡·····	86
6. 地下水流体力学参数的确定·····	93
6.1 含水层试验·····	93
6.1.1 含水层对出流或水头变化的反应·····	93
6.1.1.1 承压和无压含水层中水流状况·····	94
6.1.1.2 完整井的恒定流·····	94
6.1.1.3 非完整井的恒定流·····	96
6.1.1.4 水井周围非恒定流的分析·····	97
6.1.1.5 含水层试验的其他解法·····	101
6.1.1.6 含水层试验设计·····	102

6.1.1.7 现场观测	105
6.1.2 补给试验	107
6.1.3 裂隙节理基岩的水文参数	110
6.2 根据水位资料确定含水层参数	111
6.2.1 水压传导系数的确定	112
6.2.2 根据包气带水分测定给水度	114
6.2.3 补给、入渗及蒸散发计算	116
6.2.4 降水和蒸散发的区域性分布评价	118
6.3 电模拟	119
6.4 通过地表水体底部的渗透所受地层阻力的估算	122
7. 观测及其装置	126
7.1 观测井的位置	126
7.1.1 影响观测井网规划的环境	127
7.1.1.1 台地	127
7.1.1.2 山岳地区	135
7.1.1.3 永久冻土地带	136
7.1.1.4 干旱地带的山麓及沟谷	138
7.1.1.5 冲积平原及冰水沉积平原	139
7.1.1.6 岩溶地区	140
7.1.2 观测井设置的一般规定	141
7.2 观测井的设置和试验	144
7.2.1 水井	144
7.2.1.1 水井的最后加工与封口	145
7.2.1.2 过滤器的设计	147
7.2.1.3 过滤器的设置	148
7.2.1.4 观测井的试验	149
7.3 地下水观测仪器和装置的必要条件	150
7.4 观测标准	152
7.4.1 水位观测计划的目标	152
7.4.1.1 概述	152
7.4.1.2 观测频次	153
7.4.2 地下水流速的测定	157
7.4.3 地下水温的观测	159
7.4.4 地下水水质的观测	159
7.4.4.1 分析的类型	160
7.4.4.2 孔隙溶液	161
7.4.4.3 样品的采集法	161
7.4.4.4 化学数据的表示	163
7.4.5 包气带中土壤水分的观测	170
7.4.6 观测井的管理	174
7.5 记录和数据显示	175
7.6 地下水位观测站网的规划设计	177

7.6.1	站网设计的目的	177
7.6.2	术语定义	177
7.6.3	数据收集	178
7.6.4	地下水数据网	178
7.6.5	地下水位站网	180
7.6.5.1	外部作用对地下水补给和排泄的影响	180
7.6.5.2	地下水的贮存状态	181
7.6.5.3	地下水系统的水力特性	181
7.6.5.4	地下水系统中的封闭程度	181
7.6.5.5	地下水系统中含水层的面积范围	182
7.6.5.6	研究	182
7.6.6	地下水位观测井规划	182
7.6.6.1	水文站网	182
7.6.6.2	基线站网	182
7.6.6.3	水管理站网	184
7.6.6.4	特殊用途的站网	185
8.	数据的分析与表示	186
8.1	统计方法	186
8.1.1	相关与回归	186
8.1.2	一元线性回归	189
8.1.3	多元线性回归	191
8.1.4	一元回归的图解法	195
8.2	图上数据的表示	196
8.3	地下水变化的预测	198
8.3.1	统计法	198
8.3.2	流体动力学方法	199
8.3.3	水均衡法	200
8.3.4	类推法	201
8.4	地下水调查成果的汇编	202
8.4.1	地下水与水均衡年报的形式与编排	202
8.4.2	关于地下水状况、地下水均衡及地下水总资源资料的摘要	203
8.5	地下水数据的计算机处理	204
8.5.1	引言	204
8.5.2	技术要求的含义	204
8.5.3	技术要求的范围	205
8.5.4	特定系统的评价	205
8.5.5	基准测试	205
8.5.6	国家地下水现场清单数据库	206
8.5.6.1	关于数据库的说明	206
8.5.6.2	数据库的结构	206
8.5.6.3	数据检索	206
8.5.6.4	数据元素的格式	206

8.5.6.5 数据输入	207
8.5.6.6 数据输出	207
9. 地球物理学方法在地下水查勘中的应用	213
9.1 地球物理勘探	213
9.1.1 绪言	213
9.1.2 地面地球物理勘探	213
9.1.2.1 电测法	214
9.1.2.2 地震勘探	220
9.1.2.3 重力勘探	225
9.1.2.4 测温法	228
9.1.3 航空地球物理勘探	228
9.1.3.1 红外测温法	228
9.1.3.2 无线电波法	229
9.2 钻孔的地球物理测井	230
9.2.1 绪言	230
9.2.2 电测井	231
9.2.2.1 自然电位测井	231
9.2.2.2 电阻率测井	231
9.2.2.3 泥浆电阻率的测定	233
9.2.2.4 导电流体测井	233
9.2.3 井径测井	233
9.2.4 声波测井(速度测井)	233
9.2.5 温度测井	234
9.2.6 水流测井或流量计(F)	234
9.2.7 地层倾角测井	235
9.2.8 放射性测井	235
9.2.8.1 天然 γ 射线测井	237
9.2.8.2 γ - γ 测井	237
9.2.8.3 中子测井	238
9.2.9 直接观测法测井	238
9.2.10 水文地质中多种测井方法的结合、以及解译实例	239
9.2.11 钻孔间的地层对比	240
10. 地下水水文学中的核技术	243
10.1 绪言	243
10.2 环境同位素水文学	244
10.2.1 水文循环中的稳定同位素氢和氧	244
10.2.1.1 降水中同位素的变化	245
10.2.1.2 地下水的同位素成分	246
10.2.2 水文循环中的氦	247
10.2.2.1 大气中氦的历史	248
10.2.2.2 地下水中的氦	251
10.2.2.3 入渗研究	251
10.2.3 水文循环中的碳同位素	251

10.2.3.1	碳-14确定地下水年代的基础	252
10.2.3.2	对矿物碳酸盐的修正	253
10.2.3.3	适用性	254
10.2.4	规划方案	254
10.2.4.1	同位素水文研究工作的开展	254
10.2.4.2	取样	255
10.2.4.3	分析费用	255
10.2.5	应用实例	256
10.2.5.1	地下水与湖泊间的相互联系	256
10.2.5.2	地下水与河道的相互联系	257
10.2.5.3	含水层之间的相互联系	257
10.2.5.4	含水层中水的传输时间及来源	257
10.2.5.5	由碳-14资料求水流速度	258
10.3	人工同位素水文学	258
10.3.1	放射性示踪剂	259
10.3.2	方法	260
10.3.3	应用项目	260
10.3.3.1	含水层的有效孔隙率	260
10.3.3.2	导水率	261
10.3.3.3	扩散率	261
10.3.3.4	地下水流速	261
10.3.3.5	地下水的流向	263
10.3.4	在实用时需考虑的因素	263
10.4	术语汇编	264
13.	松散沉积地层的调查与分析技术	269
13.1	引言	269
13.2	物理性质	269
13.3	河谷	270
13.3.1	沉积形态	270
13.3.2	河道含水层和诱发渗透	271
13.3.3	地下水勘探	273
13.3.4	水质	274
13.4	构造河谷	275
13.4.1	河谷沉积物与地下水储量	275
13.4.1.1	格兰德河地堑	276
13.4.1.2	印度河平原	277
13.4.2	贮水特性	280
13.4.3	地下水勘探	280
13.4.4	含水层的压头与地面沉陷	282
13.4.5	水质	284
13.5	海岸和三角洲平原	288
13.5.1	海岸平原沉积物	288

13.5.2	产水特征	291
13.5.3	地下水勘探	293
13.5.4	水质	293
13.5.5	海水入侵	294
13.6	冰川作用区	298
13.6.1	冰川沉积物	298
13.6.2	贮水特征	299
13.6.3	地下水勘探	301
13.6.4	水质	302
14.	裂隙及破碎岩石的分析及查勘方法	303
14.1	破碎及裂隙岩石的水文地质	303
14.1.1	绪言	303
14.1.2	破碎及裂隙	303
14.1.3	孔隙率	304
14.1.4	裂隙的水动力学	305
14.1.5	渗透率	306
14.1.6	地下水体	306
14.1.7	补给	306
14.2	非碳酸盐硬质岩类水文地质	306
14.2.1	侵入火成岩	306
14.2.1.1	绪言	306
14.2.1.2	含水花岗岩	307
14.2.1.3	花岗岩中的泉、井及钻孔	307
14.2.2	变质岩的水文地质	309
14.2.2.1	裂隙及断裂	310
14.2.2.2	强变质岩	310
14.2.2.3	石英岩、闪岩及结晶灰岩	312
14.2.3	非碳酸盐岩, 硬质岩及沉积岩	312
14.2.3.1	砂岩	312
14.2.3.2	页岩	314
14.2.4	喷出火山岩	314
14.2.4.1	玄武岩	314
14.2.4.2	粗面岩及流纹岩	317
14.2.4.3	喷出地形	317
14.2.4.4	勘探	317
14.2.5	非碳酸盐裂隙岩类中的水质	318
14.2.6	气候、环境及地形的影响	318
14.2.7	确定钻孔位置的地质及水文原则	319
14.3	碳酸盐岩类地带的水文地质	319
14.3.1	绪言	319
14.3.2	碳酸盐岩石中的特征裂缝	319
14.3.2.1	不同的岩石类型	319
14.3.2.2	裂缝的类型	320

14.3.3 循环的天然控制	324
14.3.3.1 径流的不同地带	324
14.3.3.2 碳酸盐岩类中的水力条件	325
14.3.3.3 渗透率及导水率	327
14.3.3.4 地理及地质状况	328
14.3.3.5 泉	330
14.3.4 地下水化学	333
14.3.4.1 石灰岩的溶解	334
14.3.4.2 白云岩的溶解	335
14.3.4.3 水的侵蚀性	336
14.3.4.4 CaCO_3 的沉淀	336
14.3.4.5 造床过程中化学现象的影响	336
14.3.4.6 一般的水质	337
14.3.5 水资源	337
14.3.5.1 补给或补充	337
14.3.5.2 补给率补给指标	338
14.3.5.3 资源	338
14.3.6 野外调查	343
14.3.6.1 地貌调查	343
14.3.6.2 地质调查	343
14.3.6.3 地球物理调查	343
14.3.6.4 示踪剂的应用	343
14.3.6.5 钻孔及井的应用	344
14.3.7 开发	346
14.3.7.1 泉的开发	346
14.3.7.2 地下水蓄存量的开发	346
15. 地下水地球化学	347
15.1 绪言	347
15.2 地下水的一般水化学	347
15.2.1 雨水	348
15.2.2 岩石中矿物质的化学溶解作用	348
15.2.2.1 溶解作用	348
15.2.2.2 化学侵蚀	351
15.2.3 化学成分的变化	353
15.2.3.1 平衡的变化	353
15.2.3.2 还原或氧化	354
15.2.3.3 碱交换	355
15.2.3.4 浓度	355
15.2.3.5 化学过滤	355
15.3 水质及天然条件	356
15.3.1 岩石的影响	356
15.3.1.1 硅质岩类	356
15.3.1.2 碳酸盐岩类, 白云岩及石灰岩	356

15.3.1.3	蒸发岩	356
15.3.1.4	碳质岩类	357
15.3.1.5	泥质岩类	357
15.3.1.6	结晶岩及岩浆岩类	357
15.3.1.7	变质岩类	358
15.3.2	水文地质条件的影响	358
15.3.2.1	影响组分的主要因素——土壤	358
15.3.2.2	水流运动距离的影响	359
15.3.2.3	含水层深度的影响	360
15.3.2.4	古水文地质的重要性	361
15.3.2.5	原生水及化石水	361
15.3.2.6	靠近海洋或咸水湖地带	362
15.3.2.7	靠近河流地带	362
15.3.2.8	地下水位的变化	362
15.3.2.9	矿床周围的化学接触变质带	362
15.3.3	气候的影响	363
15.3.4	水化学区	363
15.4	人为条件造成的水质化学及生物变化	364
15.4.1	污染	364
15.4.1.1	过滤作用	364
15.4.1.2	可溶性物质	364
15.4.1.3	不可溶液体	364
15.4.1.4	固体	364
15.4.1.5	微生物、病毒、病原体	364
15.4.1.6	输送	365
15.4.1.7	污染强度及分布的影响	365
15.4.2	污染源	365
15.4.2.1	废水	365
15.4.2.2	垃圾场	366
15.4.2.3	工矿业	366
15.4.2.4	农业	366
15.4.2.5	地下水的强化开采	367
15.4.2.6	放射性物质造成的污染	367
15.5	水质标准	367
15.5.1	饮用水标准	367
15.5.2	牲畜用水标准	371
15.5.3	灌溉水标准	374
15.5.4	工业用水水质	331

附录A	参考文献	382
附录B	符号表.....	417
附录C	专业术语定义	423
附录D	函数 $f(\beta, Z/L)$ 值	426
附录E	井函数 $W(u)$ 值, u 值在 $10^{-5} \sim 9.5$ 之间	427
附录F	补余误差函数 $i^2 \operatorname{erfc} \lambda$	428
附录G	偏差的标准单位 t , 及 $t/\sqrt{n}$ 的计算值	428

1. 地下水的基本性质

1.1 基本原理

本书中所用地下水一词是指广义的地下水的全部赋存形态,因而不仅包括其赋存的物理结构,而且也包括水文上的平衡。所谓水文平衡是表示地下水系的补给与出流,不仅包括自然作用所引起的补给与出流,而且也包括地下水对人类活动的反应。

从理论上说,地下水的研究应首先阐明其起源,而后再明确其与非地下水之间的关系。

1.1.1 地下水的起源

迈因策尔(Meinzer,1923)将地下水按内部起源或外部起源进行分类。内部起源的水(初生水,juvenile water)是指地球内部的东西变成的地下水,外部起源的水是指来自大气或地表的、与沉积岩沉积同时被夹混的水(同生水,connate water),及沉积后被吸附于裂缝中的水(吸附水,absorbed water)。在实际应用中,初生水与同生水只不过是学术上所感兴趣的问题,这些水对少量矿物产生作用,偶而对地下水资源的局部性质也并非毫无影响,但它们的水量,如果同由地表所吸收的水量相比较,那就少得微不足道了。因此,在这样的假设下来讨论地下水,即假设现存的地下水资源是由大气及地表的供给(降水)而产生,而且迄今为止一直存在着来自这些水源的补给。除此而外,来自地中或地表的任何其他补给尽可忽略不计。

1.1.2 水循环

构成人类环境的一个部分的一切水体,由于太阳光的能量,地球重力等的作用,在不断地进行循环。岩石圈表面或其附近的水,通过蒸发及蒸腾过程返回到大气中去。这些水分凝结,变成降水又落回到地表。这样,水的连续再循环就叫做水循环。图1.1.2为帕克(Parker,1955)所作的水循环模式图。关于这个循环过程的详细叙述已有下述著作发表。

Meinzer 1923,1942;Savarensky 1933;Lange 1950;Wundt 1953;Ovchinnikov 1955;Linsley等1958;Todd 1959;Leopold and Langbein 1960;Keller 1961;Schoeller 1962。

在上述水循环中,大部分的水是海洋供给,大气起搬运作用,大地则获得其主要的效益。降落到大地上的水,其中一部分因蒸发立即回到大气中,一部分留在地表,一部分渗入地下。留在地面的水就加入到该区的地表水中,渗入地下的水,开始使非饱和带的含水能力达到饱和,然后加入到地下水。这样,地壳表面的和内部的两种水,便直接参与了水循环,这些水就是地表水及地下水。后者既包括非饱和带的地下水,也包括饱和带的地下水。