

水文地质学原理

〔苏联〕O·K·郎格 著 张志诚 译

中国工业出版社

水文地质学原理

〔苏联〕O·K·郎格 著 张志诚 译

苏联高等教育部审定作为
综合大学地质专业教科书



中国工业出版社

本书共分两篇。第一篇为水文地质学一般问题，其中叙述了水文学和气象学的基本知识，自然界中地下水存在的形式，岩石的水文地质性质，液态地下水运动，水文化学资料，地下水的起源，地下水按埋藏条件分类，土壤水和永久冻土，潜水，潜水的埋藏条件，层间含水层，脉状水和喀斯特水，泉，水文地质学中的某些理论问题。第二篇为水文地质学实用问题，其中叙述了地下水的普查，水文地质调查任务，地下水流量的某些计算公式，地下水流速的野外测定，用抽水方法测定井的涌水量，为解决土壤改良、灌溉、供水、水工、金属及非金属矿床开采问题等的专门水文地质调查。由张志诚同志译出，任福弘、黄尚瑭同志校对。

本书附图系按原书中附图译印，书中地名按原文翻译。

本书可供水文地质工作者及有关地质院校师生参考。

Проф. О. К. Ланге

ОСНОВЫ

ГИДРОГЕОЛОГИИ

Издание второе

Издательство

Московского университета 1958

* * *

水文地质学原理

张志诚 译

*

地质部地质书刊编辑部编辑（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $11\frac{5}{8}$ ·字数260,000

1966年1月北京第一版·1966年1月北京第一次印刷

印数0001—2,810·定价(科五)1.30元

*

统一书号：15165·4272（地质-369）

原 序

这是《水文地质学原理》的第二版。与前一版一样，适合綜合大学和其他高等院校不以水文地质学为主要課程的专业的学生閱讀。

本书第一版問世之后我收到了很多同志的意見，他們指出了书中的一些缺陷，并希望做些补充。Н. И. 托尔斯齐欣、Д. И. 高尔捷夫、М. С. 楊申娜婭、Б. И. 庫德林、Е. Е. 索契瓦諾夫、М. П. 托尔斯泰等人的意見尤其宝貴，在此謹向他們表示深切的謝意。

这一版《水文地质学原理》保持了前一版的講述程序，即：第一篇(本书的大部分)敘述水文地质学的理論問題。此篇所論述的問題包括：作为溶剂的地下水和溶于水中的气体及矿物的成因，地下水与岩石的相互作用，地下水的地下分布，地下水运动的一般規律以及地下水地质作用的某些結果。尤其对于潜水的帶狀分布規律及自流(承压)水按地壳地质构造的分布，給予了特別的注意。这一篇的最后一章總結了我們关于地下水的知识，并且提出了理論水文地质学的今后任务。

本书第二篇討論了水文地质知识在实际解决一系列国民經济任务(疏干、灌溉、供水、土工建筑等)时的应用問題。在这里簡要地敘述了水文地质調查的方法——水文地质测绘和地下水的普查，含水层水量和水质指标的試驗研究以及它們的动态研究。

根据現行教学計劃，水文地质課是放在学生的生产实习之前，所以本书增添了第二篇，目的是使學生們了解水文地质調查的具体实践。在大多数情况下，生产实习都合併为綜合性的水文地质及地质测绘与勘探。因此让学生們熟悉一些水文地质实际工作中的方法問題是很有裨益的。

对水文地质学的專門問題有愿深求者可參閱：Г. Н. 卡明斯基的《地下水动力学原理》(1947)，Г. Н. 卡明斯基的《地下水的普查与勘探》(1947)，А. М. 奥弗琴尼科夫的《普通水文地质学》(1955)，А. М. 奥弗琴尼科夫的《矿水》(1947)，А. И. 西林-别克丘林的《專門水文地质学》(1951)，А. Н. 謝米哈托夫的《水文地质学》(1954)，Г. В. 博戈莫洛夫的《水文地质学》(1956)，И. В. 加尔莫諾夫和А. В. 列別捷夫的《地下水动力学基本問題》(1952)，И. А. 斯卡巴兰諾維奇的《水文地质計算》(1954)以及书末参考文献表內的其他著作。

作者欢迎各位讀者对这本簡明教材提出自己的意見。

О. К. 耶格 教授

目 录

原 序

第一篇 水文地质学一般問題

緒 論	1
第 一 章 水文学和气象学的基本知识	6
第 二 章 自然界中地下水的存在形式	16
第 三 章 岩石的水文地质性质	19
第 四 章 液态地下水的运动	30
第 五 章 水文化学資料	37
第 六 章 地下水的起源	62
第 七 章 地下水按埋藏条件的分类	69
第 八 章 土壤水和永久冻土	74
第 九 章 潛水	79
第 十 章 潛水的埋藏条件	88
第十一章 层間含水层	96
第十二章 脉状水和喀斯特水	108
第十三章 泉	112
第十四章 水文地质学中的某些理論問題	114

第二篇 水文地质学实用問題

第十五章 地下水的普查	122
第十六章 1:500000—1:200000普通水文地质調查任务概述	128
第十七章 地下水流量的某些計算公式	131
第十八章 地下潛水流速的野外測定	138
第十九章 用抽水方法測定井的涌水量	147
第二十章 为解决土壤改良、灌溉和供水問題的专门水文地质調查	151
第二十一章 为解决水工問題的专门水文地质調查	160
第二十二章 金属及非金属矿床开采中的专门水文地质調查	172
附 录	175
参考文献	181

第一篇 水文地质学一般問題

緒 論

地下水在人类生活中起着重要的作用。在地表水很少或完全沒有的地区，地下水具有特殊的意义。在这种情况下，只有地下水才能使人类、动物和植物得以生存。

开采地下水有时非常困难——因为需要建筑1000米或更深的水井。这样的工程造价非常昂貴，所以只有当用这种井采出来的地下水质量合乎要求，儲量大，利用之后能抵償建筑成本时才是合算的。

很早以前人們便会挖掘深井。据記載，古代的埃及人和中国人就曾挖过很深的井。自然，在兴建这类工程和做出很大耗費之前，必須深信：事情終將順利地結束。由此可見，很早以前就有所謂“寻水人”，他們的任务就是确定能够获得地下水的地方。远在那样古老的年代，人們已經能够区分地下水的性质，并按照这些性质將它們应用于医疗或其他目的。十九世紀后半叶，考古学的調查工作在这方面取得了非常有趣的資料。通过这些調查发现了几个很古老的疗养地。例如，在亚德里亚海沿岸的恩加丁即恢复一鉄质矿泉，此泉原被泥土淤塞，水量很小。但經過清理，在淤泥层下部发现一个很大的用粗圓木棒围成的井壁，其中有一个厚木箱。井壁和木箱之間塞滿淤泥。箱內則是两个大木桶：一个直径为122厘米，长187厘米；另一个直径为87厘米，长235厘米。在这些桶內的淤泥里发现了青銅器时代（紀元前2—3千年）的制品——裝飾物和兵器（图1）。

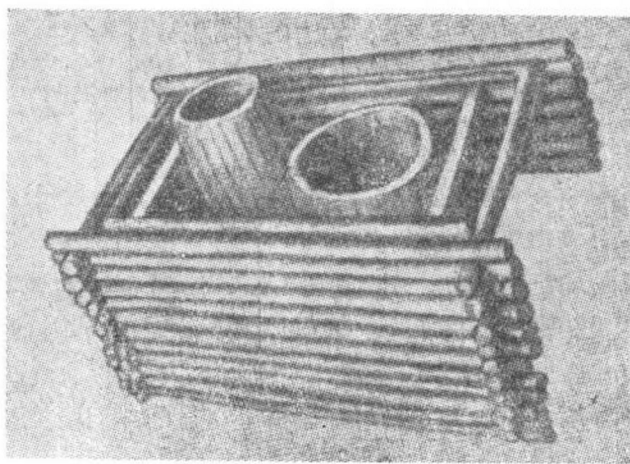


图1 考古学家在恩加丁圣莫利茲附近的水泉內发现的木框和圓筒
(根据奥別尔麦尔区的盖耶尔利)

另一个古代疗养地发现于希腊的埃皮达夫尔山麓区。现在与山麓相毗连的平原是一片无生命的荒漠，很早以前人们就知道这里原是一个古代小城的遗址。后来考古学家们注意到这些遗址，结果发现，它们在当时可能是非常精致的建筑物。在这些建筑物中有奢华的教堂、宏伟的古代剧院和住宅的遗址、精致的雕象的碎块；还有一个很独特的建筑，当时未确定其用途何在（图2）。进一步研究发现，它原来是一个矿水井的遗迹。后来查明，这个城市原是一个疗养地。

在恩加丁井底发现的青铜制品，无疑都是痊愈病人的祭礼。按照当时的风俗，为了感谢上帝治愈自己，痊愈病人应向上帝赠送珍贵的装饰品，军人则赠送兵器。

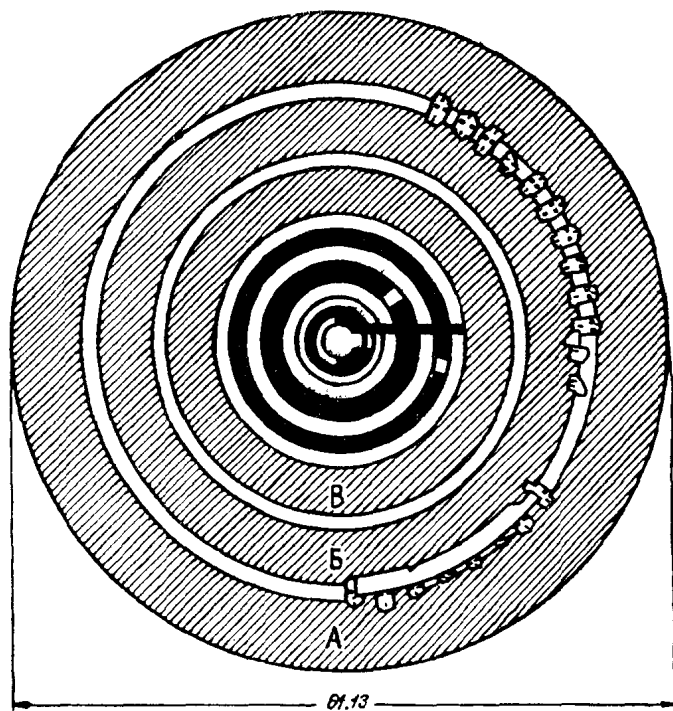


图2 埃皮达夫尔（希腊）区矿泉建筑物的基础遗址

外圈 A—26 个外部圆柱的地基；第二圈 B—建筑物圆墙的基础；第三圈 B—14 个内部圆柱的地基；中央处 a—矿水井，水从这里流到周围的水池—廊道（根据卡瓦加斯）

在刻赤半岛，已知有一个建筑在波斯波利国^①的井（公元一世纪）。

人口上百万的城市所需要的水量很大。例如，莫斯科每天耗水数亿升，其中大部分取自地下——一部分取自市区范围内，另一部分是从郊区麦蒂希附近通过管道引来。但人们寻找地下水并非仅仅是为了供水和医疗目的。用于草原区、沙漠区和半沙漠区的灌溉水比这个数量大得多，这些地区主要是应用地下水，因为这里或者没有地表水，或者有地表水但由于矿化度很高而不能利用。在这些地区发展农业首先碰到的问题，就是地下水的寻找和利用。如果能从地下获得地下水，整个沙漠区就将变成肥沃的绿洲。

① 公元前五世纪至公元前四世纪在黑海北岸由希腊殖民地组成的国家。——编者注

然而水文地质人員的作用并不限于解决地下水的获取問題。譬如說，灌溉时水的合理利用也是一个非常复杂而又重要的水文地质問題。

过度浸湿土壤有时会在不太深的地方形成新的含水层或者引起含水层（存在于該区、但埋藏很深，植物根部吸收不到）水位的升高，这是深部盐分迅速移向表层土壤，并造成盐漬化的原因。在天然浸湿过度的地区，地表层过度飽水，以至变成沼泽区。所以通过排除剩余水的方法疏干土壤，也是农业提給水文地质学的一项任务。

随着技术的发展，地下水在人类活动的其他許多方面也获得了很大的意义。例如在活动或不稳定的地基上修筑大型建筑物时，就必须考虑地下水对底土（岩石）的影响，并采取这种或那种加固措施。

有些地区的地下水可能引起沉陷和塌陷，有些地区則有永久冻土层存在，修起建筑物以后它們会融化。在这些地区修筑公路或铁路时，需要了解水文地质情况，以使建筑免受毁坏。

寻找矿石和其他有用矿产时以及在开筑隧道时，都常常要与地下水进行斗争。地下水給工作造成很大困难，为了防止和消除它們的破坏作用，有时需要做很大的努力。

海岸悬崖和大河河谷斜坡的滑动也与地下水的活动有关。在某些情况下，滑动面积达数百公頃，造成建筑物的毁坏和花园的覆灭等等。克里木海滨、黑海沿岸和伏尔加河两岸的一些地段可以作为这方面的实例。滑坡每年造成的损失达数十万卢布。只有考虑水文地质条件，才能制定出同滑坡进行斗争的措施。

世界大战时的經驗表明，地下水在軍事上也起着很大的作用。合理地修筑战壕，选择炮兵陣地，安扎具有良好卫生条件的营地，前沿陣地和后方的供水以及它們的卫生設施等等均与地下水有着密切的关系。

由此可見，水文地质知识的应用范围非常广闊，几乎各个部門都附属有負責研究和利用地下水的专门机构。

地下水在自然界的生活中也起着很重要的作用。任何植物皆需通过根系汲取地下水。含有气体和盐类的地下水象化学試剂一样，不断地对地壳的矿物产生作用，引起风化作用、交代作用和水力变质作用。地下水在地壳的这个地方溶解了矿物，然后在运动中又把它們帶到另一个地方，如果这里的条件适宜，矿物便沉淀下来。于是固体矿物就发生了轉移，甚至富集。最后，含水的岩石常常会使自己的物理性质发生很大的变化（流砂的形成、粘土的膨胀等）。

地下水可以作为任何一种矿产（如矿石、煤）来評价，但是它与其他矿产有很大区别。水具有很高的活动性，它运动于地壳之中。

关于地下水的学說，目前已认为是一門独立的科学，称为水文地质学。就內容來說，這門科学介于地质学（关于地壳的科学）与水文学（关于地球水圈的科学）之間。

水文地质学由于与国民經济有着密切关系已被定为一門独立的学科。苏联的水文地质学同其相邻学科——地质学、水文学、水力学、水文化学、物理学、地球物理学、土壤学等——保持着經常性的接触，它不只是自己发展，而且还会促进上述各学科的丰富和深入。例如在水文地质学理論的影响下，土壤学派生出土质学，地质学派生出工程地质学，从新研

究了油田水在油田形成中的意义，应用着石油場的邊緣充水，从新理解和探討了地表逕流和地下逕流的相互关系等等。

目前水文地质学所研究的有以下基本問題：

1. 地下水的起源。运动于地壳中的地下水皆有补給区。地下水可以打井汲取，亦可以以泉的形式自行溢出地表。关于地下水的补給源地以及地下水补給量（流入量）和流出量之間的平衡（均衡）等問題，具有很大的理論价值和实际意义。总之，如果不考虑自然界中的地下水均衡，就不可能在采取某些实际措施时計算出地下水的流量。

地下水按起源通常分为渗流水和岩浆水（或初生水）两种：

（1）所謂渗流水系指参加自然界中水的总循环的地下水而言。水从地表以及海洋和其他水池的表面蒸发后凝集成云并以降水方式又降到地面上，一部分降水顺着不平坦的地面流入水池，另有一部分經過蒸发又从地面直接回到大气圈，最后还有一部分渗入地下成为地下水。地下水可能經過蒸发进入大气圈，也可能通过地下途径流入水池重又参加循环。

（2）所謂岩浆水系指在地壳深处由水蒸汽或游离的氢氧原子所生成的地下水而言。这种水的来源是岩浆的气态析出物或那些以結晶和化合方式存在于所謂水化（蒸汽）矿物中的水份，石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）可作为这种水化矿物的例子。

2. 地下水的运动规律。地下水的运动途径非常复杂，且是非均质的。所以到目前为止还没有建立起能够把地下水的各种复杂运动情况都考虑进去的完善公式。地下水的运动一般分为两大类：层流运动和涡流（紊流）运动。水作层流运动时，其各个质点在运动途径上平行地移动，涡流运动与一般河流的运动情况相似。层流运动的速度很小，每昼夜只达数米；涡流运动的速度則以每昼夜数十公里計算。所以就得到两个定律，依照建立这些定律的研究者的名字，前者取名达西定律，后者取名舍集定律。

3. 地下水的动态。譬如說我們在某个地方的井上观察井中的水时，則会发现井内水量随時間而变化，即水位时而上升时而下降，水溫和水味亦有改变。换言之，地下水的数量和质量系随時間而变化。确定这类变化并查明引起这类变化的原因就构成了地下水动态理論的内容。如果从实用观点来研究地下水，那末查明地下水的动态則非常重要，否則在計算所能获得的地下水量时就很容易造成严重的錯誤。例如，如果在地下水的高水位季节打井，而且不知道今后水位会下降多少，那末此井在当时可能会滿足需要，但經過一段时间它可能会干涸以至最后废弃。

同样，如果我們在潜水的低水位期为某一大型建筑（例如高炉）勘測地基，那末可能得出对建筑人員有利的結論。但当潜水位升高后情况却会变得对建筑物极为不利。

4. 地下水的均衡。这是水文地质学中的一个基本的而又研究得很差的問題。查明和定量測定地下水的流入量和流出量是有很多困难的。目前水文地质人員往往只能定性地測出这些数值。定量地解决均衡問題是地质-水文地质綜合調查中的一項复杂工作。

5. 查明地下水在地壳中的分布规律。地下水的埋藏条件以及各地区按水文地质条件的分区，乃是水文地质学的一个分支——区域水文地质学的研究内容。

在水文地质学的历史上，理論研究和实际需要間的关系之密切为其他任何科学所不及。近80—90年发展得尤为迅速的整个近代水文地质学，事实上可以作为实际需要与理論綜

合（分析試驗資料時得到）保持經久深遠的關係之典範。

水文地質學的应用範圍極其廣泛。在解決國民經濟問題時考慮水文地質條件是一件非常重要的事情^①。

基於上述，本教程的計劃由下列各部分組成：

1. 關於水在自然界中循環（地下水的重要來源之一）的氣象學和水文學的基本知識。
2. 作為一種運動於地殼之中并可實際利用的礦物，地下水所具有的物理和化學性質。
3. 岩石的水文地質性質。
4. 地下水的起源、運動和分類。
5. 含水層的描述及其在蘇聯領域內的分布實例。
6. 地下水的動態和均衡。
7. 為國民經濟和科學研究目的的水文地質調查的組織。

① 水文地質學各分支與滿足工業、市政、水工、運輸以及其他建築部門的需要有著密切關係。它們在近幾十年的發展過程中又派生出新的目前已完全獨立的學科——工程地質學和土質學。

第一章 水文学和气象学的基本知識

大气水对于地下渗流水的补給起着很大作用。M.B.罗蒙諾索夫說过，地下水可以依靠地球的內热以及气体和水蒸汽的升华来补給（这种見解甚至反映在 19 世紀初的文艺作品中）。但是这种观点被擱置很久。直到 1902 年Э.鳩斯才注意到上述思想，并提出了地下水起源的“初生”論，即岩漿成因論。整个十九世紀爭論得最激烈的是关于地下渗流水依靠大气水而形成的問題。

有些人断言，地下水是由于地表水池中的水流入地下和大气降水（雪、雨、雹、露和霜）渗进土壤而形成的。地下水的这种形成方式称为渗透（由此产生了地下水起源的渗透論）。

另一些人則否认地下水会由于地表水和大气降水的渗透而形成。他們則指出，空气在运动时进到地壳的所有空隙中，空气中的水蒸汽經過凝結成为滴液水；于此又出現了地下水起源的凝結論。

現在认为这两种方式都能形成地下水，但有某些修正。在这两种情况下，补給降水和地表水的大气水的意义是主要的。但是大气水的情况如何呢？

空气中气态水的数量即空气的湿度并非固定不变。空气水份是由于地面和水池（海洋、湖泊、河流）表面的蒸发而形成的。蒸发作用很不固定，有时非常强烈，有时則根本没有。空气所能吸收的气态水的数量与空气的温度有关：随着气温的变化，空气有时吸收气态水，有时放出气态水。单位体积（1 立方米）的空气所能含有的气态水的最大值决定于气温。

应当指出，高层空气（10 公里以上）几乎完全不含有水蒸汽。

空气中的水蒸汽量不一定达到最大值，所以用如下几个不同的概念来表征水蒸汽在空气中的含量。

气温，度 ^①	-10	-5	0	5	10	15	20	25	35
水蒸汽的最大压力，毫米汞柱	2.0	3.1	4.6	6.6	9.1	12.7	17.4	23.0	42.2
空气中水蒸汽的最大重量 (克/米 ³)	2.3	3.4	4.9	6.8	9.3	12.7	17.1	22.8	40.3

①这里以及以后的温度皆为摄氏。

1. 空气的绝对湿度。它表示某一时刻空气中所含有的水量，并以 1 立方米空气所含的气态水的克数或水蒸汽的压力（毫米汞柱或毫巴）来计算；

2. 空气的比湿。它等于水蒸汽在该温度下应有的最大值，以 1 公斤或 1 立方米空气中的水蒸汽重量来计算；

3. 空气的相对湿度。它等于空气中現有的水蒸汽压力与应有的最大压力值之比，或

者等于 1 立方米空气中現有的水蒸汽重量与同体积空气中应有的水蒸汽最大值之比，以現有水份占应有的最大值的百分数来表示。

4. **飽和不足值 (飽和差)**。它等于空气应有的最大湿度与現有的湿度之差，并以 1 立方米空气中的水蒸汽克数或毫米汞柱数来表示。

例 温度 20° 时绝对湿度等于 12.3 克，而最大比湿度为 17.1 克，因此飽和不足值为 $17.1 - 12.3 = 4.8$ 克；相对湿度为 $(12.3:17.1) \times 100 = 71.9\%$ 。

水蒸汽开始凝結成水时的温度叫作露点。空气的湿度可用各种结构的湿度計和干湿球湿度計来測定，它們可以表示出绝对湿度、相对湿度和露点。

蒸发 尽管現在有很多測量自然界中蒸发量的仪器和方法 (維尔德、雷卡切夫、列尔蒙托夫、波良科夫等类型的蒸发皿)，但要准确測定此值仍有很大困难。此外还有能够自动記錄空气含水量的自計仪。湿度分布的研究結果表明，苏联的年平均绝对湿度从北部 (西伯利亚的东北部) 的 2.5 毫米增加到南部 (土庫曼) 的 11 毫米。冬季，北方的年平均绝对湿度降到 0.1 毫米，南方降到 5 毫米；夏季，北方上升到 5 毫米，南方上升到 18 毫米。由此似乎可以断言，北方的空气可能非常干燥。可是根据这些地区所观察到的温度来看，北方的年平均相对湿度达 85%，而南方 (中亚細亚) 只有 50%。

热而干燥的风吹走地面的飽和空气，使土壤和植物变干，从而加速了蒸发作用。北方的相对湿度在冬季和夏季变化不大；在南方 (中亚細亚)，夏季的相对湿度却下降到 25%。绝对湿度的昼夜下降值在这里为 2 毫米，相对湿度的昼夜下降值則达 45%，因为空气的相对湿度的最小值是在每天最热的时刻 (下午 2 点左右)，而绝对湿度的最小值是在早晨 6 点左右。

大气降水 以雨、雪、雹、露和霜的形式降到地面上。它們是空气中的濃縮 (凝結) 的水蒸汽。

同一地区的降水量每年变化很大。如果我們比較一下各个地方的降水量，則会看到最大降水量和最小降水量可能相差甚远。現举出下面的几个数字作为例子。苏联欧洲部分的几个地区的最大降水量是这样：莫斯科——716 毫米，阿斯特拉罕——154 毫米，巴統——2870 毫米。莫斯科在較長時間內的平均降水量为 536 毫米；最低降水量为 325 毫米。其他一些国家的最大降水量的数值更高。例如巴西的年降水量达 7.110 毫米；在喜馬拉雅山南坡年降水量达 14200 毫米 (根据格菲尔)。图 3 是苏联欧洲部分的年平均降水量分布图。表 2

水在自然界中的循环

表 1

	面 积 (百万平方公里)	水量 (毫米)	
		蒸 发	降 水
海 洋	361	1060	980
有逕流的陆地	117	610	870
无逕流的陆地	32	330	330
整个地球表面	510	910	910

和表 3 也是一些有关降水量变化的资料。

一年内的最高温度和最低温度相差很大，若是几年则相差更大。例如 1900 年 7 月莫斯科土壤表面的最高温度为 52.1° ，1902 年 2 月的最低温度则为零下 41.7° 的黎波里(利比亚)的温度最高—— 58.2° ，奥伊米亚康(雅库特)的温度最低—— -68.7° 。

气温变化的意义之所以重要，在于随着它的变化，地壳上层的温度也发生变化。地壳温度的变化分为：(1)昼夜变化，(2)季节变化，(3)年变化，(4)世纪变化。

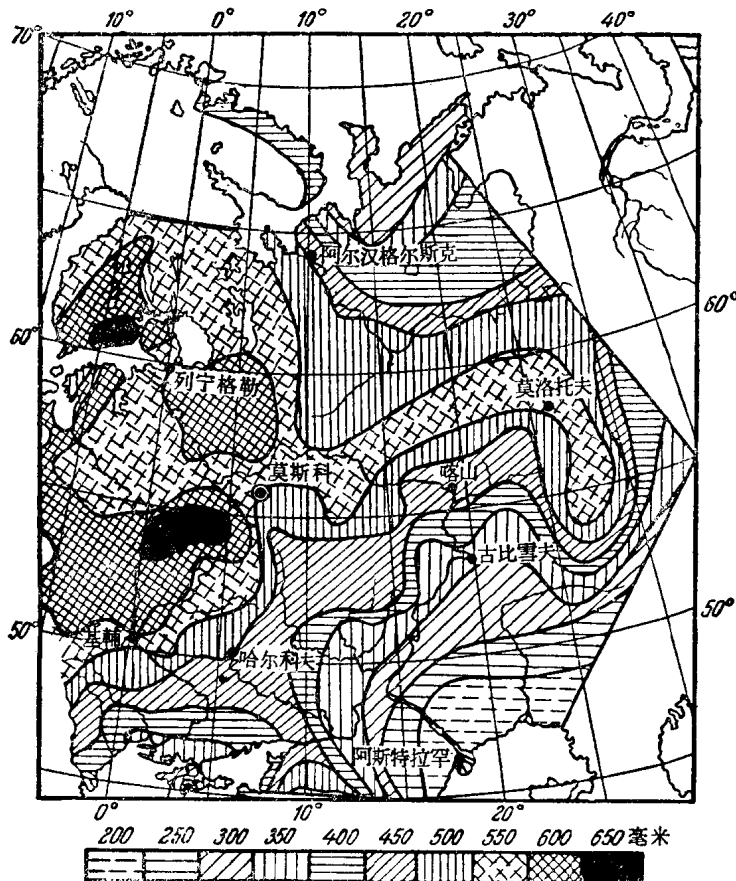


图 3 苏联欧洲部分降水量分布图(毫米/年)(根据С.И.垂包尔辛)

土壤温度的昼夜变化和季节变化的影响深度不大，但距地表愈近，就愈明显。 $\Phi.П.$ 薩瓦连斯基观察到土壤温度的变化情况如下：

	夏季	冬季
土壤表面·····	自 24.4 至 54.5	自 0.4 至 10.8
40 厘米深处·····	自 27.8 至 28.2	自 6.1 至 6.2

冬季由于雪层的覆盖，土壤温度的昼夜变化减弱。地壳上部温度的年变化虽然可以传布到較深的地层，但一般不会超过几十米——即使在大陆性气候的国家也是如此。在地层温度的年变化很显著，甚至可达数米以至数十米的地方，融化和冻结向深处进展得非常迟緩，总是落在地壳表层之后。例如，在第比利斯，冬季最强烈的冻结只是到 8 月底才达到 6.5

米深处，而这时表层的昼夜平均温度已约为 32° 。5 米左右的深度只是在 11 月份才达到最高温度—— 20° ，这时表层约为 12° 。在努庫斯(阿姆河)，地表以下 4 米深处的温度在 11 月份为 15.8° ，5 月份为 11.9° 。距地表愈近，温度的变化幅度愈大。例如在列宁格勒，土壤表层的温度的变化幅度为 28° ，而 3.2 米深处的变化幅度则仅为 5.4° 。

所以对于不同的地理纬度，对于大陆性气候区或者海洋性气候区，土壤的冻结情况是不同的。根据 И.И. 斯米連金的資料，伊爾庫茨克的冻结深度达到 2.74 米，鄂木斯克达到 2.4 米，莫斯科达到 1.80 米，列宁格勒达到 1.77 米，基輔达到 1.07 米，敖德薩达到 0.82 米。冻结土壤是不透水的或者接近于不透水，这一点在水文地质学和水文学上具有很大的意义。不过应当注意，冻结层中的水并非全部冻结，大部分毛细水只在零度以下才可能冻结，它们呈过冷状态保存下来。

如上所述，温度的变化幅度随着深度而减小，到某一深度（各个地区不同）则接近于零。在此年温恒定带以上是所谓“太阳热力作用带”，这一带的温度受太阳辐射状况的控制，此带以下的温度则按当地的地热增温级随深度而升高。

温度的世纪变化，在北极地区确定达到地下 600 余米深处——这里的冻结即达此深度；冬夏季的温度变化只控制很薄一层，在北极沿岸地带，此层厚度不超过 0.5 米。由此向南，夏季融化层的厚度逐渐增加。这就是所谓活动层，茂密的原始森林（泰加森林）生长在活动层上。这里的深部冻结（永久冻土）看来可能为古代冰期的残余，并且是由于在漫长的冬季内气候非常干燥、冰雪覆盖很薄而形成的。

在苏联疆域内，一年内的降水量也不是均匀的。例如苏联欧洲部分的夏季降水多于冬季。中亚细亚（面积相同）整个夏季的降水量很少，常常为零。

下面的表 2 和表 3 是苏联欧洲部分和中亚细亚各地区的降水情况。从这两个表可以看出，苏联欧洲部分的降水在植物生长时期很丰富，中亚细亚则很少。

对于地下水的补给有意义的不仅是大气降水的数量，而且还有降水的频率和强度以及其他一些气候条件和自然地理条件。夏季的暴雨对于地下水的补给不起很大作用，因为它们迅速地流到冲沟和河流里去，渗进土壤的很少。反之，秋季的霪雨则能深深渗入土壤。降落在湿润冻结土壤上的雪在春天融化时也不能渗入土壤深处，因而对地下水亦无所补益。如果雪降落在融化了的或者是冻结了的干燥土壤上，那末春融期则会有大量的融水渗入土壤。

降水的逕流条件首先受着地区的自然地理条件的影响。如前所述，一部分降水蒸发了，一部分渗入土壤补给地下水，还有一部分顺着不平坦的地表流入低洼处。当地区的地形极不平坦，地表又是不透水的岩层并且没有植物覆盖，对于大气降水形成逕流特别有利。在这种情况下降水（特别是暴雨）既来不及浸湿土壤，也来不及部分地蒸发，几乎全部流走。如果是降雪，逕流就进行得更不均匀。在冬季就已经有一部分雪不经液态而蒸发，到春季雪的融化与温度的变化有关，如果昼暖夜寒，则融水的逕流时间很长，河流的春汛也会延续很久，如果昼夜都很温暖，河流的洪水则很快就会过去。

容易吸水的岩石构成的平原景观，会使逕流受到很大阻碍，促进降水向土壤中渗入和蒸发。

表 2

3—10月降水量的平均值、最大值和最小值 (毫米)
(根据30年的观测资料)

观 测 站	年平均 降水量	三 月		四 月		五 月		六 月		七 月		八 月		九 月		十 月		春季 平均 降水 量	夏季 平均 降水 量								
		平均 值	最小 值	平均 值	最小 值	平均 值	最小 值	平均 值	最小 值	平均 值	最小 值	平均 值	最小 值	平均 值	最小 值	平均 值	最小 值										
基 洛 夫	654	26	84	1	27	70	0	49	157	7	63	153	1	62	149	6	71	145	10	58	128	14	52	119	11	102	196
莫 斯 科	536	27	87	7	35	107	3	52	101	2	62	191	12	78	168	17	71	129	4	55	203	8	54	144	10	114	211
薩 拉 托 夫	353	16	52	2	20	106	1	28	77	1	49	74	2	35	119	3	34	96	2	29	70	0	34	108	0	67	118
契 卡 洛 夫	342	17	122	0	2	85	1	31	05	4	40	165	4	32	112	1	28	110	2	24	118	0	28	9	0	68	102
阿 斯 特 拉 罕	154	9	78	0	16	56	0	15	69	0	19	107	0	12	48	0	10	57	0	16	59	0	10	43	0	40	41
斯 塔 夫 罗 波 尔	621	34	134	0	57	194	6	67	235	16	91	198	16	75	206	12	38	113	2	55	152	0	39	183	0	158	204
哈 尔 科 夫	567	28	85	3	40	84	5	48	118	8	69	148	8	65	167	10	51	152	0	42	83	1	43	159	2	116	185

表 3

中亚细亚温度动态资料

观 测 站	月 平 均 温 度			年 平 均 温 度 的 变化幅度	年降水量总合 (毫米)
	七 月	一 月	月		
阿什哈巴德	30.5	1.4		29.1	230.5
卡腊-博加兹-哥尔	25.4	-2.3		23.1	110.6
烈 彼 帖 克	32.1	-5.3		26.8	102.3
克拉斯诺沃茨克	29.1	-3.0		26.1	113.8
庫 什	28.4	-1.8		26.6	251.4
米尔查尔楚(飢饉草原)	28.0	1.2		29.2	235.4
布 哈 拉	30.2	0.3		30.5	106
撒馬尔汗	24.7	3.0		27.7	332

各种木本植物阻滯的降水量(升)

表 4

树 种	降水量 总 合	蒸发量	应当降 至地面 的水量	被树木 阻滯的 水量	实际落到地面 上的水量(根 据雨量計的平 均数据)	降向地面的水量占树冠以上降水量 总合的百分数(%)	
						不包括树木吸 收的水量	包括树木吸收 的水量
山毛櫸林	3406	1307	2099	260	1839	54.0	61.6
柞 树	3170	987	2183	200	1983	62.5	68.9
槭 树	4819	1477	3342	200	3142	65.2	69.4
松 树	1573	1076	497	16	481	30.6	31.6

系統地測量河流和它的各支流的逕流量，可以計算出整个流域的逕流量。但是不能忘記，除地表逕流外還有地下逕流，河流流域通過地下逕流或者失去水量——它們流進相鄰的流域，或者從相鄰的流域得到補給。在圖 6 中，河流 B 中的水向左右兩岸滲失；河流 A 在左岸得到河流 B 的補給，而其右岸卻失去部分水量。

促進蒸發作用的首先是強烈的日射（被太陽晒熱）。在南部的一些地區，夏季的地面被晒熱到 70° 或者更高，夏天降落的小雨幾乎全蒸發了，既不能形成逕流，也不能滲透。有風時的蒸發作用比無風時強烈。歸根結底只有比較少的一部分降水滲入地下。在蘇聯歐洲部分的南半部，滲透量很少能超過年降水量的 20%。

植物（特別是木本植物）在降水時對保護土壤有很大的意義。某些觀測證明，針葉森林阻滯了降水量的 68%，闊葉森林阻滯 30% 以上。如果雨量不大，則百分之百的降水都阻留在闊葉和針葉的樹叢上。

在三天霖雨期間所進行的觀測得到了表 4 的結果（當時的降水量為 52.6 毫米）。

因此，經過闊葉樹木落到地面的水量比經過針葉的要多一倍。

在很多地方都就樹冠對降水的阻滯作用進行了詳細觀察。例如 H. C. 瓦西利耶夫在國營中央森林禁伐區（維利基盧基州的涅利多沃區）就進行過這種觀察。

觀察工作是在雲杉林與少數白樺林混交的林場內進行的，樹木年齡為 90—100 年，平均直徑 36 厘米。森林的第二層是槭樹、櫟樹、榆樹和椴樹；在林下灌木層中有榛樹、鼠李屬、忍冬屬以及少量的花楸樹；草本覆蓋層有肺草屬、車葉草屬、淺藍色的獐耳細辛、酢漿草屬等，地衣層為綠色的闊葉蘚苔。下面就是在三年時間內（1938, 1939, 1940, 從 5 月到 10 月）取得的關於樹冠阻滯液態降水的一些資料。

從表 5 可以看出，樹冠以上的降水量有 57—76% 落到樹冠以下。同時應當注意，降水量的總合也有很大意義。例如 1940 年 9 月樹冠以上的降水量為 136.2 毫米，落到樹冠以下的水量竟占 83%，而 1938 年^① 9 月的降水量為 34.5 毫米，落到樹冠以下的水量只有 47%。

分析一下晝夜降水量向樹冠下方滲透的測量結果也可以得到同樣情況。

從表 6 可以看出，降水量愈小，滲過樹冠的水量也愈少，少量的降水（1 毫米）全部都

① 原文為 1937 年，可能誤印。——譯者

树冠在三年时间内阻滞降水的情况(毫米)

表 5

月 份	1938		1939		1940		三年的平均值		
	阻滞前	阻滞后	阻滞前	阻滞后	阻滞前	阻滞后	阻滞前	阻滞后(毫米)	阻滞后(%)
5月	52.7	37.9	84.5	56.1	26.3	15.7	54.5	36.6	65
6月	83.5	46.3	26.8	13.0	71.5	50.5	60.6	36.6	57
7月	83.6	67.2	55.2	40.1	133.3	106.5	90.7	71.3	72
8月	16.4	9.4	0.0	0.0	84.2	65.0	33.5	24.8	76
9月	34.5	16.3	21.7	12.9	136.2	113.6	64.1	47.6	75
10月	56.6	36.8	38.3	22.4	46.7	33.5	47.2	30.9	67
5—10月总合	327.3	213.9	226.5	144.5	498.2	384.8	350.6	247.8	69

降水渗入到树冠以下的数量与昼夜降水量的关系

表 6

日 期	昼夜降水量 (毫米)	渗 到 树 冠 以 下 的 降 水							
		白 楊 树 冠		成 熟 的 大 云 杉 树 冠					
		中 部		边 端		中 部		靠 近 树 干	
		毫 米	%	毫 米	%	毫 米	%	毫 米	%
6月5日	1.3	0.5	38	0.5	38	0.0	—	0.0	—
6月16日	2.5	1.0	40	0.5	25	0.2	8	0.0	—
6月17日	5.0	3.3	66	1.6	32	0.5	10	0.2	4
7月12日	7.3	4.3	59	4.7	64	1.5	20	0.3	4
7月24日	11.8	8.2	70	8.7	73	6.2	52	2.0	17
8月1日	13.9	10.2	73	9.3	67	6.2	45	1.3	8
8月17日	18.8	15.4	82	13.6	78	9.5	51	2.0	11
9月23日	19.3	17.4	90	15.2	79	9.5	49	2.0	10

森林对固态降水的阻滞情况(毫米)

表 7

时 間	№ 1 場 地			№ 2 場 地		
	林上的降水量	树冠下的降水量	占林上降水量的%	林 上 的 降水量	树冠下的降水量	占林上降水量的%
1937年11月—1938年4月	242.1	204.5	84	—	—	—
1938年11月—1939年4月	211.7	174.8	82	232.2	155.9	67
1939年11月—1940年4月	231.3	196.4	85	227.2	169.5	74
1940年11月—1941年4月	311.6	261.8	84	309.8	264.6	85
总 合	996.7	837.5	84	769.2	590.0	76

留在云杉林的树冠上。固态降水渗入到树冠的情况如表 7 所示。

然而透过树冠的降水也只是一部分能达到土壤表面,因为有一部分(有时这部分还很大)被林下的灌木层和草本植物所阻滞。根据 B. П. 克洛科夫的资料, 35 厘米高的软藁属阻滞的液态降水量等于白杨树林 14—30 年所阻滞的降水量, 有些禾本科植物阻滞的降水量更大。