

人工补给地下水

[苏]Г.Б.鲍戈莫洛夫 A.X.阿里特舒里等著

河北省科学院地理研究所 赵抱力 穆仲义 吴金祥译



水利出版社

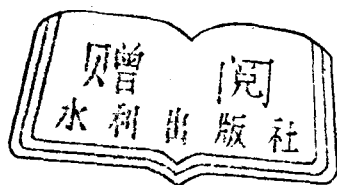
水电部科技情报所	
图书总号	中 08059
分类号	



人工补给地下水

[苏] Г. Б. 鲍戈莫洛夫 A. X. 阿里特舒里等著

河北省科学院地理研究所 赵抱力 穆仲义 吴金祥译



水利出版社

Г.В.Богомолов, А.Х.Альтшуль, В.С.Усенко,
М.О.Чабан, П.И.Яковенко

Искусственное Восполнение Запасов

Подземных Вод

Издательство "Наука" Москва 1978

人工补给地下水

[苏]Г.В.鲍戈莫洛夫 А.Х.阿里特舒里等著
河北省科学院地理研究所 赵抱力 穆仲义 吴金祥译

*

水利出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 8印张 175千字

1980年7月第一版 1980年7月北京第一次印刷

印数 0001—3710册 定价 0.85元

书号 15047·4056

2W39/06

内 容 提 要

本书阐明了人工补给地下水的意义、可能性、应用地区和效率等问题，并说明了用于人工补给的区划方法。根据这一方法，进行了白俄罗斯加盟共和国的区划。

本书对人工补给系统的计算方法进行了深入的研究，把计算公式整理成便于利用的表格，并附有曲线图。

这项研究工作是按照国际水文十年计划进行的。

本书可供水文学家，以及从事供水、土壤改良、水文地质和水工建筑各方面工作的专家阅读，也可供大学和中专有关专业的师生参考。

译 者 的 话

地下水人工补给作为调节与控制地下水储量的一项重要措施，已经日益引起人们的重视。

自本世纪以来，欧洲、美洲和亚洲的一些国家，先后建立了各种人工补给设施，有很多成功的经验。我国人工补给工作开展较晚，自五十年代中期始在石油、纺织等工业部门试行深井人工补给，到七十年代初，才在北方部分省区进行大面积的农田供水人工补给实验，并在此基础上开始了地下水库的试验工作。近年来，在人工补给方法、效益、净化措施和补给量计算等方面取得了不少成果。为了引进国外的先进经验，进一步推动我国人工补给地下水工作的开展，我们翻译了这本书。

本书是对地下水人工补给工作进行全面总结的一部科学专著。书中详细论述了人工补给的目的、意义和任务，影响人工补给的各种自然要素，人工补给的区划方法，以及在不同情况下进行人工补给的计算方法。全书共分六章，并附有计算用的图表。

本书第一章至第三章由赵抱力译，第四、五章及附录由穆仲义译，第六章由吴金祥译，全书由赵抱力统一校订。河北省科学院地理研究所水文、地貌、自然地理等各研究室的同志对本书的翻译给了热情的支持和帮助，胡镜荣、于凤兰同志校阅了部分译稿，华北水利水电学院田园同志最后审阅了全文，在此致以衷心的感谢。

我们对原文中的某些错误或疑点作了必要的校改和注释，但也有些明显的错误只作更正而未再加注。由于译者水平不高，译文中难免有错误或不妥之处。诚恳希望读者给予批评指正。

目 录

译者的话

绪论	1
第一章 人工补给地下水的 特点和方法	4
第一节 人工补给地下水在水利事业中的意义	4
第二节 人工补给的方法	8
第二章 决定人工补给地下水可能性的自然因素	18
第一节 工程地质因素	18
第二节 自然-技术因素	28
第三章 人工补给地下水区划	42
第一节 专业区划的方法	42
第二节 白俄罗斯境内人工补给地下水的水源	43
第三节 按照建立地下水人工储量条件进行的白俄罗斯区划	62
第四章 人工补给计算图式概论	102
第一节 计算图式的系统化和计算方法介绍	102
第二节 各种自然条件下的地下水储量补给	137
第五章 利用注水井和取水井进行地下水储量调节的计 算	142
第一节 问题的提出	143
第二节 在具有任意层数的水平层理岩层中工作的井孔 稳定渗透的研究	146
第三节 在稳定的情况下一层和二层岩层中井孔的工作	154
第四节 在一层和二层岩层中井孔的非稳定渗透	157
第六章 利用水池和渠道进行地下水储量调节的计算	163

第一节	问题的提出	163
第二节	在一层和二层岩层中任意形状的渗水区工作时 地下水位变化的预测	155
第三节	考虑底部形成淤填层时渗水区生产能力的计算	180
第四节	渠系入渗和在入渗变动情况下的地下水丘的漫 流计算	187
结论		201
参考文献		202
附录		206

绪 论

在地球上的许多区域，其中也包括苏联的某些地区，保证既适于生活饮用水、又适于工业供水，现在已成为越来越困难的问题。

只有在综合考虑和分析水利均衡的基础上，才可能实行用水的合理规划与分配。因此，不论在区域规模上，或者在局部范围内，保护水资源的数量和质量问题，都应当不但从技术方面，而且从社会方面给以解决。考虑到各生产部门的区域性分布，确定大型用水工程的效率和施工程序等各方面的经济因素，可促进合理地和有计划地利用水资源。

对地球上水资源的粗略统计可以说明：如果从整体来看，地表水和地下水的储量是相当丰富的话，那么，在某些地区却感到水量短缺或者根本无水。地球表面淡水资源的分布极不平衡。湿润程度较差的地区约占陆地面积的60%。

地球上水的总储量达到1500000000立方公里，平均每人占400000000立方米。分布在水圈、岩石圈、大气圈和生物圈的各个不同处所的水，处于经常性的循环之中。每年有500000立方公里以上的水参与水循环。这就是水与其他矿藏，其中也包括液态矿藏的根本区别。水因其本身的可动性而具有恢复储量的能力。

天然水由于其成因和所处环境的不同，水质的化学组成和含盐量总浓度变化很大。所以，并非所有的天然水对生活饮用水和工业供水都具有同等价值。

对于生活饮用水和工业供水最适宜的是地下水。但是，地下淡水储量是有限的。例如，苏联境内淡水年径流总量约为4350立方公里^①，而地下水所占比例还不到四分之一（约1000立方公里）。地下水的可采储量为220立方公里/年，按我国人口平均约880立方米/年，这一指标接近于地球上每人年平均需水量。

不能认为地下水资源是无限的，何况依靠现代技术手段还不能取出自然界现有的全部地下淡水。考虑到人口的增长和苏联境内地下径流分布的不均衡，不能单单依靠地下水源来满足对水的需求。因此，就有必要通过把部分地表径流引入地下的方法，人工地增加地下水的可采储量。

人工增加地下水储量包括许多综合性的问题：地质与水文地质区划，未来引渗建筑物地段的选择，水处理工艺，地下水人工补给装置的计算，引水工程和水工建筑物的计算，以及供水的组织工作。研究上列问题具有重大的理论与实践意义。

目前，苏联正按照上面指出的各种问题在国内所有地区开展综合性的研究工作，并且正在兴建一批地下水资源人工补给工程。已经进行的研究工作表明，利用人工调节地下水的方法来解决供水、土壤改良及其他问题，与利用地表水比较，具有一系列的优越性，其中之一就是在自然界存在着很多可调蓄的地下水库。在地下水库中蓄存的水，较少受到各种自然和人为因素的影响，通常具有稳定的温度，不含病原

① 原文为地下淡水年径流总量约为4200立方公里。疑有误。据М.И.李沃维奇在《Мировые водные ресурсы и их будущее》一书中所述，全苏河川径流为4350立方公里，其中地下径流为1020立方公里，地表径流为3330立方公里。据此更正。——译者

菌，不易受到各种污染。地下水库的蒸发损失是微不足道的，而且，与地表径流调节相比，所占耕地要少得多。

地下水储量的人工调节，是一种有计划地调整区域水利均衡的方法。借助这种方法，就能够在考虑水要素的条件下，科学地进行全国生产部门的分布。

本书所进行的研究工作，是按照国际水文十年计划进行的。

第一章 人工补给地下水的特性和方法

第一节 人工补给地下水在水利事业中的意义

现阶段国民经济的技术进步，往往不可分割地伴随着下述现象：生活饮用水、工业和农业（包括灌溉）用水急剧增长，取水集中和地表水源严重污染，以及局部地区地下水储量枯竭等。因此，淡水资源的利用问题变得越来越迫切。目前这个问题的解决途径是：地表径流的调节和再分配，海水和高矿化度地下水的淡化，废水的重复利用，以及把部分地表径流引入地下。

地下水就其自然特性来说，是最可靠的水源，它首先用在生活饮用水方面。还有相当大一部分地下水用于灌溉和工业的需要。

在苏联总的用水量平衡中，地下水占15%以上。用水量的其余部分，依靠地表水来满足。而在人口上百万的城市供水中，地下水的比重增加到50~80%，在小的居民点，则可达100%。

研究苏联境内地下水资源预报估算和国外利用地下水的经验，可以认为：苏联具备很有利的条件，可以更多地地下水用于生活饮用水和部分用于灌溉。比较一下供水和灌溉对地下水的远景需求和地下水可采储量的预报，就能看出，未来对于地下水的总需要量，不会超过苏联境内地下水资源预报储量的50%。但是，地下径流分布的不平衡和需水量的集中，可能引起苏联境内某些地区和某些省份地下水的短

缺。

在苏联和国外，一系列取水建筑物长期强烈开采的经验证明：在开采量超过自然补给量的地方，动水位大幅度下降，地下水储量渐趋枯竭。承压水位显著下降的地区有：库尔斯克、莫斯科、哈尔科夫、基什尼奥夫、斯塔夫罗波尔、梁赞、基辅、图拉、明斯克等城市[17, 74]。在克里木和波罗的海沿岸地下淡水区已经肯定存在海洋咸水入侵的威胁。顿巴斯、乌拉尔、哈萨克斯坦中部、克里木半岛、中央黑土地区、土库曼西部的水利均衡中，已经出现差额。

因此，如果期望依靠地下水来最大限度地满足对于水的需求，那就必须采取措施以增加地下水的恢复储量。这种恢复储量的增加可以用人工方法来实现，这就是通过把部分地表径流引入地下的方法，使地下水储量得到补给、积蓄和富集。

在利用地下水时必须从这一点出发：地下水资源是能够恢复的，并且可以通过人工补给的方法使之变得更丰富。进行这方面的工作，不但可以收到增加地下水储量的直接效益，而且几乎总是附带产生间接的良好影响。

目前在苏联正在有计划地进行地下水人工补给工作的基础上，采取一些措施，以防止强烈开采地下水所产生的不利影响。苏联进行地下水人工补给工作是为了达到不同的目的，其中最主要的是：

增加地下水可采储量以满足某种需要（生活饮用水、冷却、灌溉等）；

在某些时期、季节和年度内，使抽取地下水过多的某些地区得到补偿（为了保护环境）；

利用地下含水层作为调节水库，就象用地面水库调节径

流一样，用以补偿需水的不均衡（为了不同的目的，其中也包括灌溉）；

在缺乏别的调节径流手段的情况下，利用地下库容拦蓄洪水和其他剩余径流；

建造集中获取地下水的取水建筑物，以减少土地占用面积和节约管道消耗；

建立地下水隔栅，以阻挡高矿化度水和污水的入侵；

作为天然水或污水的附加净化措施，也就是利用地下岩层作为天然的水处理设施；

为了不同的经济目的进行地下径流与地表径流的相互调节（包括在水道中维持最大的允许流量）；

减少集水区水蚀作用的后果。

苏联国土的辽阔和环境条件的多样性，决定了依靠把地表径流引入地下来解决的实际任务的广阔范围，这也正是人工补给地下水的主要意义。上面所列举的各种目的，都要依靠人工补给地下水或者地表与地下径流的相互调节来达到，它们有的已经在某种程度上实现，有的则已列入实际方案，这些方案将在本世纪内，在苏联境内的不同地点和不同自然条件下变成现实。

在比较强烈地利用地下水储量的情况下，对于人工补给地下水的工作至今有过两种倾向[18, 43, 44, 74]：一是通过坚决干预自然界已形成的水量平衡方法，在局部地段兴建工程（如建设集中取水的地下水取水建筑物）；一是在涉及许多地区的大面积上，以比较粗放的方式干预水量平衡的变化，例如在集水区采取最简单的防止水蚀作用的措施——这些集水区占有广大地域，并有助于把地表径流引入地下（如横坡耕作和保持积雪等）。

众所周知，目前在自然界几乎已经不存在未曾受过人类活动影响的集水区。随着时间的推移，人类对周围环境的影响不可避免地要进一步增强。因此，就必须在建立统一的水利系统的基础上，使水利事业的经营更具有计划性。所谓统一的水利系统，首先应理解为这样一种系统，在这个系统内，要考虑国家的水资源和目前已经形成的用水状况，以及需水量的发展远景，并且在这个基础上，建立水利事业的管理机构，这个机构应能考虑和实现地理上的和部门之间的联系，以便按照最佳方式满足国民经济对水资源的需要（仿效统一动力系统的范例）。

在苏联境内进行人工调节地下水的一系列措施，是上述统一水利系统的极重要的因素。为了建立人工调节系统，在苏联进行了建立地下水人工储量的水文地质区划，并以现有的取水建筑物为例，研究了水文地质论证的方法。上述工作都是在全苏水文地质和工程地质科学研究所的领导下，按照统一的方法进行的[30, 33, 34, 50]。依据完成的区划，在苏联境内，按照实行人工补给地下水的前景，划分出三类地区[66]。

第一类地区几乎包括国家的整个湿润地带，该地带位于列宁格勒—沃罗格达、基洛夫、彼尔姆—克拉斯诺雅尔斯克一线的北部。这个地区在近期对于实行人工补给地下水的需要并不迫切，因为当地生产力同水资源的对比关系，决定了国民经济的发展不会受到水因素的限制。

第二类地区包括苏联欧洲地区的大部分，只有工业和人口高度集中的地区和最南部地区除外。属于第二类的还有冲积锥发育地区、山间凹地和山地区域的山前冲积扇（外贝加尔，苏联的东北部，雅库特中部，西西伯利亚陆台自流区的

南部，高加索的许多地区，沿喀尔巴阡山地带，库兹涅茨盆地，乌拉尔山附近地带）。这些地方在近期就将广泛应用人工补给地下水。

属于第三类地区的是这样一些地方，那里生产力的发展现在就已经受到水因素的限制。这包括全部旱热地带，苏联欧洲部分的南部，以及工业和人口高度集中的地区，这些地区对地下水的开采已经导致含水层的枯竭。

根据已经进行的研究工作，确定了苏联不同区域 150 个地下水取水建筑物的有利的水文和水文地质条件以及补给的必要性[66]。对已指出的取水建筑物采用补给方法的预期经济效益可达 20000000 卢布。

在对地下水人工补给工程未来施工地段与区域进行预先评价和选择时，区划工作是一个基础。在编制水资源综合利用与保护的预报和图表时，以及在为规划各种水利任务而考虑水因素时，运用区划方法是很适宜的。

第二节 人工补给的方法

人工补给实际上是这样进行的：为地表水（河水、湖水）以及经过预先处理的工业废水入渗（渗透）到地下创造有利的条件，并且要使入渗到岩层中的水能够进入被补给的含水层。

地下水人工补给设施通常包括三种类型的建筑物：引渗建筑物，把用于补给的水转化到地下；引水建筑物（钻孔、集水廊道）；辅助建筑物，包括水的预净建筑物、水泵站、管道、沟渠等。引水建筑物和辅助建筑物的布设与利用，与一般的地下水引水建筑物和抽水站上的同类设施是一样的。

水的预净一般是通过在水库、坑塘或沉淀池中进行沉淀来实现的。在水源被严重污染的情况下，为了进行水的预净，除采用沉淀法以外，还要通过快滤器或慢滤器的过滤，往往还需要使用曝气法。引渗建筑物的特征是必须定期恢复其入渗能力。由于直接位于入渗表面下的岩层的淤塞，入渗表面形成的淤泥层，以及由于过滤器和注水孔过滤带的堵塞，引渗建筑物的入渗能力在工作过程中不断降低。

人工补给地下水的方法，可以按照形成地下水补充储量的方式来分类。这里我们把地下水补给方法分成直接方法和间接方法。

所谓直接方法，就是那些以完成人工补给地下水任务为直接目的的方法。直接方法基本可以分为三种：地面入渗法、地下灌注法和地下径流调节法。地面入渗可以通过淹没河滩和洼地，修建渗水区和沟渠，阻滞融雪水等来实现。当覆盖含水层的岩石厚度不超过2~3米时，一般采用这种方法。如果含水层埋藏较深或上覆隔水层很厚，或者在建立阻挡海水入侵的压力帷幕时，采用地下灌注法。地下径流调节法是在含水层中修筑防护帷幕（埝堤），以抬高开采区的地下水位，保证地下水流的壅水。

属于人工补给地下水间接方法的应是这样一些方法：它们除了达到本身的主要目的以外，还能使地下水储量得到补给或者造成新的储量。其中包括：利用水库调节地表径流，农田灌溉，漫灌，建筑渗透性的和辐射状的取水建筑物，地表径流的再分配，通过引渗方式增大自然压差（自上覆或下伏含水层的越流补给），以及各种防淹、防凌措施同淹没和浸润现象作斗争的排水建筑物。

根据对地下水均衡影响的性质，人工补给方法可以分成