

23

水文地质工程地质
选 辑



水文地质为人类服务

际水文地质学家协会18届大会论文集

地质出版社

水文地质为人类服务

——国际水文地质学家协会18届
大会论文集——

水文地质工程地质选辑第二十三辑

《选辑》选编小组编

地 质 出 版 社

水文地质为人类服务
——国际水文地质学家协会18届大会论文集——
水文地质工程地质选辑第二十三辑
地质矿产部水文地质工程地质司选译

*

责任编辑：卢时望 王维勇

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168¹/₃₂印张：13³/₄插页4页 字数：362,000

1987年12月北京第一版·1987年12月北京第一次印刷

印数：1—2,155册 国内定价：3.95元

ISBN 7-116-00112-3/P·098

统一书号：13038·新505

前 言

国际水文地质学家协会（IAH）第十八届大会暨“水文地质为人类服务”学术讨论会，于1985年9月8日—13日在英国剑桥召开。我国是这个协会的成员国，受协会邀请，陈梦熊、辛奎德、袁道先、林学钰等同志参加了会议。

“水文地质为人类服务”学术讨论会，共分4个专题：经济和社会发展；地下水水质管理；含水层能源开发；地下水控制和水井水力工程。提交会议论文94篇（摘要20篇），汇集成4本论文集。

在这次学术讨论会上，来自世界各国的专家们，有的总结了本国地下水开发利用和保护的经验，有的对发达国家和第三世界有关地下水问题提出自己的见解，有的对放射性废物处理、地热能开发、环境同位素在地下水中的应用、咸水入侵、地下水水质模型及其它等专题作了综述，内容丰富，涉及面广，也提出一些带有全球性的问题。与会专家一致认为，地下水有很多优点，已成为生活和城镇优先供水的水源，但超采问题普遍存在。美国地下水的开采量占全国总水资源的20%，主要用于灌溉，占地下水开采总量的68%，由于地下水的超采，在加利福尼亚州中央谷地，出现了地下水位大幅度下降和地面沉降，在西海岸一些地区，已受到咸水入侵的威胁。在非洲和阿拉伯半岛一些地区，也产生了上述类似问题。苏联的地下水主要由于城镇供水，约占居民供水的60%，根据《苏联水法》的规定，只有地下水超过饮用和经济需要的地区，才允许用于灌溉。

随着人口增长、生活水平提高、工业发展以及核电站建设等，大量废物处理，特别是有毒废物的处理，也是一个极为突出的问

题。农业上施用化肥和农药，使地下水中硝酸盐、硫酸盐及其它有害成分增加，污染严重。因而，许多国家对非饱和带废物填坑处理，进行了地下水水质模型的研究。

地热资源利用的发展非常迅速，已成为一种重要的新能源。1981年世界地热发电装机容量为2800兆瓦，其它方面的利用为8000兆瓦。水岛地热能占总能源消耗的40%左右，萨尔瓦多地热能占发电总量的19%，菲律宾占12%，尼加拉瓜占9.5%。日本在发电和非发电方面的地热利用也比较广泛。有些国家正在进行低温系统和含水层蓄能的研究。

我国已查明地下水天然资源量为8000多亿立方米/年，在开发利用上有着悠久的历史，从总资源量来说不算小，但在时空分布上很不均衡。在我国北方和沿海一些地区，地下水的超采，也引起地下水位下降漏斗逐步扩大、海水入侵和地面沉降等区域性问题。城市垃圾和核废料处理以及其它有关环境问题，也亟需解决。这些问题的解决，要做好地下水系统的研究，加强地下水的监测和保护，保持良好的生态环境，依靠科学技术进步，为制定管理政策和建立法规提供依据。我们从这些论文中，主要选其特邀报告和有关综述性论文，译成中文，供有关部门和人员参阅，有助于了解水文地质学的当前国际水平和发展动向以及存在的问题和所采取的相应对策。我们可借鉴国外经验，吸取教训，少走弯路，结合自己的国情，有效地进行保护、开发和利用地下水资源为“四化”建设服务。

经国务院批准，受国际水文地质学家协会的委托，第21届大会将于1988年在我国桂林召开，同时举行“岩溶水文地质和岩溶环境保护”学术讨论会。在中国地质学会领导下，组建了国际水文地质学家协会中国国家委员会，加强对外学术交流，不断地提高我国水文地质科学技术水平，为“四化”建设作出更大贡献。

本论文选集，得到地质矿产部水文地质工程地质司大力支持，由王维勇同志组织有关人员参加译校，全书经辛奎德总工程师审阅。

由于时间仓促和水平所限，可能有些错误，敬请批评指正。

国际水文地质学家协会中国
国家委员会办公室

1987年10月

目 录

前言

当前水文地质学的主要问题与发展动向 (国际水文地质学家协会第18届大会学术讨论会综合述评)	(1)
水文地质学——一些基本的方面	(14)
美国的地下水开发	(32)
澳大利亚的地下水	(43)
第三世界的地下水	(61)
咸水入侵	(75)
生活、工业废物和农业活动对地下水水质的影响	(101)
应用环境同位素测定地下水年龄的一些研究	(128)
放射性废物处理水文地质学	(165)
地热能的开发	(202)
采油工程中的水文地质学	(227)
地下水水质模拟中的污染物运移模型	(259)
在密集裂隙介质中基质扩散对运移影响的模拟	(271)
发达国家的地下水保护和防护	(292)
荷兰地下水开发的经济价值	(321)
地下水在苏联经济和社会发展中的重要性	(334)
苏联地下水开发过程中的监测	(339)
明斯特白垩纪盆地——一个受多重影响(供水、矿泉、深部开采)的总地下水系	(348)
填坑场地对地下水污染的评价: 实例研究结果	(358)
地下水水质评价	(372)
非饱和带——防止地下水有害废物污染的屏障	(379)

扩散型地下水污染：英国的经验教训.....	(394)
水文地质学在采矿作业中的影响.....	(404)
英国二叠—三叠纪砂岩地热含水层评价.....	(409)
关于地下水热量回收的基本原理——瑞士埃夫利根地 区冷水回灌试验.....	(420)

当前水文地质学的主要问题 与发展动向

(国际水文地质学家协会第十八届大会

学术讨论会综合述评)

辛奎德 陈梦熊 袁道先 林学钰

国际水文地质学家协会 (IAH) 于1985年9月, 在英国剑桥召开了名为“水文地质为人类服务”的第18届大会。参加会议的各国科学家约二百多人, 是一次规模较大的全球性国际学术会议。大会收到的论文内容涉及水文地质科学的各个领域, 不少论文带有总结性质, 对当前几个主要水文地质问题, 都进行了比较系统的总结, 具有较高的理论水平, 基本反映了当前水文地质科学的国际水平与最新动向。现对上述论文, 分成以下四个方面进行综合评价。

地下水资源及其开发利用

由于地下水具有季节性的调蓄能力、温度稳定、遭受污染程度低 (或不受污染)、水井工程周期短、投资少、开采方便等众多优点, 已成为世界各国优先考虑的重要水源, 而广泛加以开发利用。会议上美国、苏联、澳大利亚、荷兰以及中国等, 都比较系统地介绍了本国地下水资源及其开发利用情况。

在美国, 河流和地下水可再生的供水量为63.64亿立方米/日, 大大超过目前用水量。1980年地下淡水的抽取量估计为4亿立方米/日, 占总水资源的20%。地下水主要用于灌溉, 灌溉用水2.73亿立方米/日, 占地下水总量的68%。工业、城市和生活用水只

占32%左右。加里福尼亚州中央谷地，在1961~1978年用于灌溉的水量每年约为271.3亿立方米/年，一半取自地下水。在此期间，地下水的补给量每年平均约为137.2亿立方米/年，排泄量为145.6亿立方米/年，每年超采9.9亿立方米/年的抽水量，大约一半靠降低水位，一半靠含水层压实，并付出地面沉降的高昂代价。1978年后，采取了减少灌溉用水，增加地表水的供给，地下水系统平衡状态可能有所好转。在大西洋沿岸平原，1980年抽取地下水接近0.07亿立方米/日，每一个州都存在地下水位下降问题，有些地区已受到咸水入侵的威胁。对水资源的了解和预测，有利于选择有效的管理途径，并与政治、社会和经济决策有着密切的关系。1985年美国地质调查所用于水资源研究的经费约为30亿美元，重点是地下水的研究。由于进行了大量调查研究工作，对地下资源的合理规划与管理保护，起到了重要作用。

在苏联，已探明的地下水约为1800立方米/秒，其中60%为可利用的资源。目前地下水总利用量约为1100立方米/秒：用于城市和农村供水超过600立方米/秒，用于灌溉约300立方米/秒，用于工业供水超过180立方米/秒。地下水是城市和农村供水的主要水源，居民饮用水约60%用地下水，约20%兼用地下水和地表水，约20%用地表水。所制定的《苏联水法》，已成为水资源管理的依据，只有地下水超过饮用和经济需要的地区，或者地下水是唯一水源的地区，或者地表水不足的地区，才允许用于灌溉。苏联矿水资源丰富，据270处矿水的估算，保证开采量约为30万立方米/日。

在荷兰，全国有1/4地区位于标准平均海平面以下，有1/3地区浅层地下水为半咸或咸的水。1981年总用水量（不包括农业）为469立方米/秒，其中93%取自地表水（436立方米/秒），7%取自地下水（33立方米/秒）。根据政府的地下水政策，氯离子小于300毫克/升为淡水，并把地下水看作优质水，强调饮用和食品工业要用地下水。1972—1981年，地下水抽取量减少5%，地表水用水量增加26%。

澳大利亚于1963年成立了水资源委员会，加速了全国水资源的评价，进行了某些行政监督控制，制定法规，加强管理，并预测人类活动对地下水的影 响。澳大利亚地下淡水的可采资源 720 亿立方米/年，60%的地区主要依靠地下水，年开采量达 27 亿立方米，大部分利用于灌溉，约占总用水量的 74%。“澳大利亚的地下水”论文详细论述了各地区地下水资源情况、开采程度与开发前景，并附有大量插图，是各篇论文中比较最详尽的一篇。

我国代表在大会所作报告，也比较详细的介绍了我国地下水资源评价的最新成果，论述了地下水分布的地区差异，及其开发利用对城市与工农业发展的重要作用。

英国地质调查所 E. P. 赖特在“第三世界的地下水”一文中，对非洲、南美洲及亚洲地下水的分布，进行了全面分析，并指出非洲由于大面积结晶基底的出露，总迳流量对降水的比例远较其它各洲为低，是造成非洲严重干旱的主要原因之一。目前非洲地下水主要用于农村生活用水，开采利用程度和研究程度都比较低。为了解决非洲持续多年的严重干旱，英国 D. J. 布尔东在他的论文中，根据非洲的水文地质条件，提出一个开发地下水的工程方案。按平均深度 150 米，设计打井 1000 眼；单井平均涌水量 10 升/秒，可供 250 户六口之家，5000 头牲口和灌溉土地 225000 平方米之用，约需投资 6000 万美元。他认为这是解决非洲长期干旱的一个经济合理的方案。

在非洲及阿拉伯半岛一些干旱地区的沉积盆地，区域含水层系统的开发策略，可能受政治和社会经济因素强有力的影响，必须研究大规模开发的后果（如巴林岛的海水入侵、埃及新河谷省水位下降）；在撒哈拉以南许多沙漠草原国家中，地下水埋藏较深，主要是解决生活和家蓄用水，而是否利用地下水发展农业，是值得考虑的一个问题。湿润区的沉积盆地，以发展农业为主，广泛开拓了灌溉系统，因而产生土壤盐渍化。对地下水采用大规模集中供水，还是分散供水，需进行经济效益对比。结晶基底含水层，虽水量小，但对农村供水是重要的。虽然对这两类含水层进

行了有效开发，但还没有了解其全部潜力和提出关于资源评价或开发策略令人满意的方案。

其它大部分论文，均属局部地区地下水开发利用情况的介绍，如阿拉伯海湾中央地区、巴西米纳斯地区、苏丹及尼日利亚的部分地区、西德明思特盆地与汉堡地区、意大利杜林省，以及印尼的梭罗河流域等。

综上所述，可以看出发达国家与发展中国家之间，地下水的研究程度与开发程度，都存在巨大差距。我国虽属第三世界，但水文地质研究与地下水的开发程度，与美、苏等国相比，都较为接近。不足之处是对地下水资源及其开发利用程度和增长情况，缺乏系统的统计数据和相应的图件；同时对地下水的保护与管理，也缺乏一套完整的制度与有效措施，这是需要今后加紧赶上的。

地下水水质管理

这一专题的论文数量最多，讨论也比较热烈，是会议的一个重点。在特邀报告中有西班牙 E.卡斯托迪奥的“咸水入侵”，捷克 J.费尔巴的“生活与工业废水及农业活动对地下水水质的影响”，英国 A.巴克“关于裂隙介质中的地下水扩散模型”，与加拿大 R.N.法沃尔登关于“水文地质与放射性废物处理”等论文。以上各篇论文，实际上代表当前水质问题的几个主要方面，每篇论文又基本代表每一个问题比较全面的系统总结。

论文涉及到的内容，大致可概括为以下七方面：

1. 海水入侵及近岸地区含水层的开发利用和管理问题；
2. 关于防止、保护地下水免受污染的法律和技术措施；
3. 工农业及生活用水的排放对地下水质的影响；
4. 在城市垃圾卫生填埋区，地下水污染的迁移变化，监测和评价；
5. 放射性废弃物的处理和地下储存；

6. 非饱水带在防护地下水免受污染中的作用；
7. 同位素在测定地下水年龄和调查地下水起源中的应用，等等。

“海水入侵”一文，是有关这方面文章的代表著作，它对因海水入侵所形成的混合带的迁移机理做了详细的研究；以此为基础，对海水入侵所形成的各种边界条件作了分类，并建立了数学模型以便对海水入侵的发展做出预报，对海水入侵的控制和管理做出决策。

“地下水中污染质迁移模型”一文探讨了地下水质的模拟问题，但只限于对无化学反应物质的简单模拟。

英国地调所关于地下水弥散污染的文章，对弥散污染的监测，污染发展的预报，污染的改良以及污染的控制等做了较全面深入的探讨。

“工农业和生活废水的排放对地下水质的影响”一文是大会特邀文章之一，他对工业有毒废物的不合理排放以及农业氮肥的施用结果所造成的地下水水质污染做了详细的探讨；对地下水中污染质的迁移过程和防护措施作了论述；文章还着重指出地下水水质的防护应该是地下水规划、开发和管理的一个重要组成部分。

其他国家学者的文章也都在不同程度上强调了农业施肥结果所造成的地下水水质污染的问题，他们分别对氮、硝酸铵，有机碳，土壤有机质、矿物组分等在地下水中的迁移规律进行了深入的探讨，并从不同角度提出了防护措施和控制管理的方案。

在城市垃圾卫生填埋方面的文章中，英国地质调查所的“非饱水带是防止地下水受污染的防护带”一文，以 Lower Greenland 地区的六年试验和观察研究的结果，阐述了有机质组分、无机阳离子、阴离子和一些重金属的地球化学及微生物学的过程，并建立了模型以进一步证实上述组分的迁移和发展，从而提出非饱水带对这些污染质迁移所起的缓解作用。

“放射性废弃物排放的水文地质学”一文，综述了在海洋和内陆地区进行放射性废物地下储存时的各种地质和水文地质条件，

对作为放射性废物存放所有的粘土、结晶岩、盐丘、玄武岩、花岗岩等地质体做了详细的对比介绍，文章指出这类岩体能否储存放射性废料主要取决于其中的地下水运动状况。他还提到海底岩石存放放射性废物的研究问题。文章还列举了美国和加拿大的一些地下研究试验点为实例进行说明。这是一篇较全面、有理论、有实践的代表性文章。

另外，用“环境同位素测定地下水年龄”和“在松散沉积物堆积地区地下水系统的水质污染与改良”等文章都反映了当前国际上关于地下水水质研究的动向。

总之，这次大会所提出的文章综合反映了当前国际上关于地下水水质研究的深度和广度。各国学者在文章中都强调指出目前世界上不少国家由于大量开发利用地下水资源，而又缺乏合理的规划和管理，加上大量工农业和生活废弃物不合法的排放，使地下水水质遭到严重的污染，这不仅影响了人民健康，而且使原已不足的水源更趋紧张。因此有必要加强对地下水化学成分在饱水和非饱水带中迁移的机理研究，并从实际上加强对地下水水质的防护和管理。

这次大会在海水入侵、工农业生活废弃物排放对地下水水质的影响以及放射性废物的处理和地下储存等方面的文章都反映了当前世界各国，尤以发达国家所面临和研究的课题。我国在地下水水质管理方面的研究，虽然近几年来进展很快，但对上述问题的研究还缺乏理论上的深入探讨，在实际工作中也缺少有效的解决问题的方案。可以想见，当前世界发达国家所面临的问题，也正是我国目前正面临或即将面临的问题，急待我们从理论和实践两方面去加以研究和发展。

岩溶环境水文地质问题

向大会提交的论文中，有19篇从不同角度讨论了岩溶水文地质问题，其中岩溶环境水文地质是主要议题；从该次会议反映出

国外近年来在岩溶环境水文地质研究方面的一些新内容。简要介绍如下。

1. 岩溶地下水已成为重要的水源之一。如澳大利亚东南部的Murray、Otway盆地及中北部的Daly、Georgina盆地，岩溶含水层占有重要地位。Georgina盆地的中寒武统至下奥陶统白云岩、石灰岩中，地下水资源有30亿立方米/年，(按开采深度100米计算)目前仅开采800万立方米/年。(中国岩溶水资源为2000亿立方米/年，占全国地下水资源的1/4)。会上有多篇论文讨论了不同国家岩溶水的勘探开发问题，如法国南部Nimes北部区、巴西东部Minas Gerais区、波斯湾中部沿岸国家、英国南部海岸、西班牙东南海岸侏罗系灰岩区、西德西部Munster盆地白垩系灰岩区。印尼爪哇岛东北部Solo河下游中、上新统灰岩含水层岩溶水资源为1.5亿立方米/年，已采1000万立方米/年。

2. 关于岩溶含水层水质模型及水化学形成规律的研究。由于岩溶含水层是一种不均匀介质，它的一些基本问题未完全搞清，故其溶质运移模型还难于建立。目前，水质模型只对其中的一种特殊条件有效，即密集裂隙介质；此种条件被给予不同名称，如：双重孔隙介质、具死端孔隙的介质或具有易驱动及不易驱动的双相介质。建立岩溶含水层的水质模型的困难，还在于它不但在溶质之间有化学反应(均匀反应)，而且在溶质和含水层介质之间存在着复杂的化学反应(不均匀反应)，后者包括在含水层中的溶解、沉淀以及介质表面吸附和离子交换等作用。会上还有几篇文章讨论了某些地区岩溶水水质形成的规律，如：波兰东北部更新世冰川对深部岩溶含水层(奥陶系至白垩系)低矿化带厚度的影响；英国牛津附近泰晤士河两侧丘陵岩溶水向谷地补给混合，对谷地地下水质的影响等。

3. 岩溶含水层的污染及其防治问题的研究。有几篇文章讨论了海水入侵对滨海岩溶含水层的影响。在西班牙东北部的巴萨隆那，由于“海磨坊”效应，海水在天然条件下即可沿岩溶管道向陆地入侵150余米，因此认为任何截取滨海岩溶泉的企图都会导致

更多海水入侵。利用此种水源的唯一办法，是在它们还未进入管道前就截取。在意大利西西里岛西北部滨海的Palermo地区，开采三叠系至老第三系灰岩含水层已有几百年历史，是一个典型的海水入侵区，提出了回灌经净化处理的废水以解决此问题的建议，但还需要对水流特征、隔水层的分布及碳酸盐岩的结构作细致工作。在英国南海岸的布赖顿地区，60万人的生活用水全靠白垩系地下水；虽该含水层有45公里与海水接触，但由于执行了合理的开采方针，未产生严重的海水入侵问题。西班牙东南沿海的Granada地区，在1980—1983年的严重干旱年份，过量抽取三叠系灰岩地下水，不但引起海水入侵，同时由于农田灌溉水回归，而引起土壤盐碱化和地下水水质恶化。在美国，为选择核废料的地下贮放点，研究了各种不同的岩层，其中还包括蒸发岩，其主要问题是附近的塌陷洼地，以及岩盐层被天然水溶蚀或遭核废料的热效应溶蚀破坏。在英国Suffolk的几个地点，研究了废渣堆放对下伏白垩系含水层的细菌污染，发现细菌可生存在35米深处，但分布不均匀。

4. 岩溶地下水的能源开发研究。会上交流的地下水能源开发的文章包括两个方面，一是含水层贮热，二是抽取利用地下水的热能。有人提出可贮热的含水层需备以下条件：为承压砂层含水层；厚度大于15米；上覆隔水层厚5—10米；含水层导水性为中等或偏低；含水层的天然迳流量小；附近无开采井。因此，一般没有考虑岩溶含水层作贮热之用。但在爱尔兰于1981年建成的Tuam游泳池，则成功地提取了石炭系岩溶含水层热能以升高水池温度。该处岩溶地下水水温 10°C ，钻孔深35米，日抽水量324立方米，由它提取的热量使容积为250立方米的游泳池水温升高到 26°C 。

5. 氡技术在岩溶水文地质工作中的应用。有的文章介绍了用全混合模型(Pure Mixing Model)对土耳其南部几个岩溶泉水七十年代初的氡测量资料进行了处理，并估算其年龄(15—25年)。但大气降水中氡的含量在逐步降低，在大气层中核试验开

始前的1951—1952年间，雨水中 ^3H 含量为4到20—25TU，而在1985年已降为0.6至3.7TU。有的文章预计，在中纬度地区氙将失去其作为全球性示踪剂的价值，而在低纬度地区的地下水中，将很难测得其中的氙。

地热能的开发及其它

1. 地热能的开发

1981年，世界地热发电的装机容量为2800兆瓦（电力），其它方面的利用为8000兆瓦（热量）。

地热发电的国家有意大利、新西兰、墨西哥、美国、菲律宾、印尼、土耳其、苏联、萨尔瓦多、肯尼亚、冰岛、日本和中国等。冰岛地热能占总能源消耗量40%左右，萨尔瓦多地热能占发电总量的19%、菲律宾占12%、尼加拉瓜占9.5%。

非发电地热能的利用，1981年日本用于洗浴的能力为4475兆瓦。冰岛有80%以上的居民用于家庭采暖，还广泛用于游泳池和公共建筑物，工业和生产食盐。但过量开采，也会导致水位急剧下降，冰岛雷基尔的热水，自1944年以来，一直是雷克亚未克市供暖的主要热源，1955年的自流量为300升/秒，而1982年最大抽取量为1800升/秒（平均）流量为982升/秒，与1970年的水位相比，下降了70米。

J. 托马森认为，地热异常区大部分分布在热流和渗透率高的板块边界和火山带，也有产生在大陆和大陆架上厚沉积层中。扩张型板块边界见于洋脊或大陆裂谷内，出现在造山带或岛弧内，地壳厚度小（5—20公里），岩浆来自浅部，岩层较新。破坏型板块边界，地壳厚度大（70公里）岩浆通过深部穿过地壳上升。

地热系统分类，最初分为酸性区和碱性区。冰岛分为高温系统（ $>200^{\circ}\text{C}$ ）和低温系统（ $<150^{\circ}\text{C}$ ）。日本分为蒸气区和热水区。新西兰埃利斯和马恩（1977年）提出循环系统和贮存系统的分类，在循环系统中，大气降水经过深部循环加热上升到地表，