

地下水遥感监测研究进展

阿布都瓦斯提·吾拉木, 秦其明

(北京大学 地球与空间科学学院 遥感与 GIS 研究所, 北京 100871)

摘 要: 地下水遥感监测是遥感应用研究的前沿课题之一。该文对 30 多年来国内外遥感监测地下水的研究进展作了回顾, 对已有的主要研究进行概括, 归纳为水文地质遥感信息分析法、环境遥感信息分析法、热红外遥感地表热异常监测法和遥感信息定量反演模型等四种方法, 分别对这些方法的地下水监测思路和工作原理作了阐述。最后对地下水遥感监测进行了总结与展望, 认为综合运用多种遥感信息可以提高地下水遥感监测水平。

关键词: 地下水; 遥感监测; 定量遥感反演

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0184-05

0 引 言

地下水是水资源重要的组成部分, 它是干旱、半干旱地区灌溉、工业用水和生活用水的主要来源。传统地下水监测不仅费时费力, 而且由于控制点少, 代表性差, 无法实现大面积动态监测和评价。遥感技术作为宏观、综合、动态、快速监测和评价自然资源的有效手段, 在快速、大面积监测地下水中发挥着重要作用, 它可以利用遥感数据提供的地表冰雪、径流和变化信息、估算地下水补给量和勘探区域地下水资源存储量, 确定其分布, 评价地下水水质, 对地下水动态变化进行监测与预测等。因此, 对 30 多年来国内外遥感监测地下水的研究进展进行综合了解, 对应用和推进这项技术具有重要意义。

1 国外地下水遥感监测发展状况

国外遥感技术应用于地下水资源的勘探评价可追溯到 1961 年^[1], 已经有 40 年的历史。最早科学家们主要用热红外航空相片, 利用从遥感图像提取的地形信息和简单的水循环模型判断地下水的存在, 参照指示植被初步判断流出带和地下水补给来源^[2]。进入 20 世纪 80 年代后, 随着多时相、多波段、多角度、高光谱和微波多极化遥感技术的发展, 多源遥感数据广泛用于与地下水密切相关的地质条件的解译分析和地下水有关的地表植被、温度、土壤水分等环境因素的提取, 取得了有效的成果。有些学者从遥感图像中提取地层岩性、构造、水文等水文地质信息, 确定了有利的蓄水构造, 判断含水层发育规律及各种边界类型, 再结合物探结果, 对地下水资源进行了较准确地评价^[3-5]。J Krishnamurthy 利用 RS 卫星, 对研究区岩石类型、构造特征和地形条件作可视化, 通过线性扩展、波段融合、滤波和边缘提取等图

像处理方法进一步推进了地下水提取方法^[6]。W Finch, T K Ghosh 等主要是结合指示因素、流域特征、水系和植被光谱特征, 以目视判读为主推断出地下水存储带^[7,8]。

20 世纪 90 年代以来, 地下水遥感监测技术研究得到了较全面的发展, 数据源更加丰富, 方法上日趋成熟。其手段有航空遥感和航天遥感; 遥感波段有可见光、近红外、热红外和微波 L、C 波段等; 其方法发展到 RS、GIS、GPS 一体化应用研究方向, 还有一些学者建立数学模型和遥感反演模型直接和间接提取地下水位^[9-14]。通过多源遥感资料与水文、地质和物探资料的拟合, 建立由地质、地貌、水文因素线形特征图、土地利用图、DEM 和实测数据构成的地理信息系统, 推断浅层地下水富水区, 大致评价了地下水位^[9,10,12-14]。Haral 等人利用遥感、地理信息系统和地球定位系统结合精确地绘制了已知泉水的分布, 并预测了未知泉水的分布位置^[14]。S A Komarov 等人结合微波遥感和光学遥感, 在水文因素、土壤介电常数和土壤对雷达波段的反射特性的基础上, 人造水库周边地区作为研究区, 建立土壤水分和地下水之间的实验方程, 提出了在地下水位 3 米以上的高水位区测定地下水位的方法^[11]。不过, S A Komarov 研究思路的基础是土壤水分和地下水的定量关系, 由于雷达监测土壤水分研究还处于试验研究, 土壤水分的监测精度直接影响地下水评价模型, 此外, 其研究对象为特殊的环境如人造水库, 无法推广到一般的自然环境, 不少遥感反演参数和问题需要进一步完善。

2 国内遥感监测地下水资源的研究进展

国内对地下水资源的遥感研究始于 20 世纪 80 年代初期^[31], 但发展迅速。20 世纪 80 年代后期, 我国科研工作者把热红外遥感技术用于地下水资源的勘探与评价^[15,16], 如使用航空遥感和气象卫星资料进行地下水资源的勘探与评价, 但航空遥感成本高、覆盖面积小, 无法广泛应用; 而气象卫星 NOAA-AVHRR 热红外通道数据分辨率低, 没能得到预期的精度和应用效果。这些早期的研究, 对于我国地下水资源遥感监测作了一些有

收稿日期: 2003-05-06

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(863 计划)课题(No: 2001AA 135110); 国家重点基础研究发展规划项目(No: G2000077900)

作者简介: 阿布都瓦斯提·吾拉木(1975-), 男, 维吾尔族, 博士生, 现从事定量遥感及应用研究。北京 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 1000871。Email: abduwasit@sohu.com

益的探索。

世纪之交,我国遥感找地下水的研究工作以西部干旱、半干旱地区作为研究对象,使用的遥感数据有:地球资源卫星Landsat MSS、TM和ETM+,合成孔径雷达SAR。一些学者报道了应用卫星遥感数据提取与地下水富集相关的地表含水断层、裂隙、线性构造及地面湿度、温度等信息^[17-22]。尽管遥感图像的光谱分辨率、空间分辨率、辐射分辨率和时间分辨率不断提高,而且具有一定穿透能力的雷达遥感技术不断成熟,由于遥感本身的局限性(如卫星遥感只是地表的反映,不能透视地下;微波能渗透到干燥土壤一定的深度,但对湿润地区或土壤湿度较大的地表渗透能力有限),遥感监测地下水的研究工作主要集中在提取含水层性质、区域水文地质特征和地表水系特征等方面,如李廷祺等从MSS图像判别含水层的岩性、区域地形地貌特征和地表水补给源,结合其成因类型对塔里木盆地地下水量、水质和埋藏深度等因素进行分析,按矿化度对地下水进行分类,定性地描绘了地下水量和地下水位的分布^[17]。地表热异常是热红外遥感监测地下水的理论基础。研究表明,Landsat TM 6通道空间分辨率较高,测量地表温度变化比较理想,地表温度的分布异常现象可以反映地下水富集带信息^[20],结合图像可解译的地下水富集带所处的岩石层,可以判断地下水活动特征,防止矿区水害^[21]。王飞跃等人从研究干旱区地下水与植被关系入手,推断出浅层地下水的富水区;根据干旱区地表水主要受地下水补给的规律和耐旱植被和水文地质条件的密切关系,应用多时相遥感资料区域地下水补给源^[19]。

雷达遥感具有全天时、全天候获取数据的能力和对一些地物具有一定穿透能力的特点。国内一些专家在利用雷达遥感寻找地下水方面进行了一些试验,取得了较好的成果^[24,25]。遥感找地下水研究逐步向量化方向发展。塔西甫拉提·特依拜等人^[26,27]以利用卫星遥感数据评价干旱区绿洲-荒漠交错带地下水位的分布作为主要研究目的,使用全波段Landsat-7 ETM+图像,用遥感-数学-模型学融合的研究方法,在实地考察的地下水位、土壤水分和其他辅助资料的基础上,建立土壤水分和地下水位的实验方程,提出了评价地下水位分布的遥感模型——GLDRS模型。利用GLDRS模型对新疆策勒绿洲-荒漠交错带进行了实地验证,结果表明,研究结果符合实际。

3 遥感监测地下水资源的主要方法与模型

地下水遥感监测的依据是地下水与地表水、植被、土壤水分和温度等遥感信息的相关性。通过分析遥感图像上与地下水有关的地表信息,可以了解地下水状况。目前,地下水遥感监测的方法主要有以下几种:

3.1 水文地质遥感信息分析法

水文地质遥感信息分析法先从图像中提取地层岩性、构造、水文等水文地质信息,确定有利的蓄水构造,进而推断地下水富集区。多种影像因子当中地质和地貌信息是反映地下水存在状况和动态变化的重要因素。地

下水存储量很大程度上被岩石层的有孔性所制约。因此,水文地质单元的描绘和制图是判断地下水的关健。地下水的水质也取决于含水层的性质、含水层的矿物成分、岩石成分影响地下水的盐碱度。遥感图像能够反映这些水文地质地貌特性,为地下水遥感监测提供可供分析的信息。

水文地质遥感信息分析法用于埋层较深的裂隙水和岩溶水,可评价大面积地下水存储量的宏观调查、评价。此方法基于假设的理论和大量的实地考察进行估计,缺点是评价精度不确定。

3.2 环境因素遥感信息分析法

环境遥感信息分析法是指从遥感图像上提取与地下水有关的植被、湖泊、水系等环境因子信息,根据这些环境因子对地下水的依存、制约关系,推断地下水的存在与富集状况^[19]。在干旱地区地下水主要有地表降水量和山带积雪冰川补给,地表径流和冰雪分布及其动态变化特征是判断地下水的重要因素。

各种环境因子与地下水的相关性受气候、人类活动控制。在湿润地带,环境因子受大气降水、人工灌溉等因素影响较大,与地下水相关性较小,因此,在遥感图像上,环境信息在大多数情况下被视为水文地质信息的“噪声”信息;在干旱地带,由于大气降水极少,人工灌溉很少,对环境因子干扰不大,故环境因子与地下水密切相关,可以根据环境遥感信息分析地下水的赋存状况。在干旱区植被是地下水的直接指示因素,它的生长状态受气候、岩性、地貌、水文地质条件等因素控制,尤其是与区域浅层地下水——潜水关系密切。在气候、土壤湿度变化不大的情况下,地下水的埋深、矿化度、水化学类型对植被生长产生较大的影响。通过植被种群、植被覆盖度的差异,可以分析地下水的排泄点及地下水的埋深、矿化度和水化学类型等有关信息。由于干旱区不同植被类型对地下水埋深深度有不同的要求(如芦苇生长在地下水位3~7m的区域,红柳生长条件为地下水位6~11m的区域),通过识别植被类型能够判断地下水埋深的范围。

环境遥感信息分析法用于浅层空隙水的监测和地下水溢出带的判断,直观,较简单,但无法实现地下水及其动态变化的量化。

3.3 热红外遥感地表热异常监测法

热红外遥感监测法是利用热红外波段(10.4~12.5 μm)图像资料,通过测定地面温度来判断地下水的存在。干旱、半干旱地区由于地下水通过毛细管作用和热传导作用,导致地表湿度和温度的变化,从而热红外遥感图像上表现出温度异常^[15,16,20,44]。这使热红外遥感寻找地下水成为可能。

在白天,一方面,地物吸收太阳辐射,温度有增高的趋势,即太阳辐射的增温效应。一般而言,湿度大的地物,因热容量大,增温慢,在图像上显示冷异常,而热容量小的地物增温快,在图像上显示热异常;另一方面,由于地物中所含水分的蒸发,带走热能,温度又呈下降的趋势,即水分的蒸发冷却效应。每一时刻,地物温度是上

述两种效应综合作用的结果。水分蒸发冷却效应的强度主要取决于土壤水分的含量,水分含量偏高,冷却效应强,在白天的热红外图像上呈冷异常,反之,则呈热异常。地下水径流温度的变化是热红外遥感探测地下水的物理基础。

傅碧宏等人^[20]利用Landsat TM 6 热红外遥感数据定量反演了干旱区的地表温度,发现地下水富集带地表温度具有异常现象,其地表温度比地表水体高 5 K 左右,而比其他地表类型低 7 K 以上,并据此提出了热红外遥感技术有效探测地下水富集带信息的可能性。王飞跃等人^[21]从矿坑突水资料分析启发,通过对滇马矿井热红外遥感图像的解译,发现了两个L₈灰岩进水口,即泄入第四系底砾岩层中的奥陶系灰岩岩溶水运移到第四系覆盖的L₈灰岩层露头处时渗入L₈灰岩的部位,这两个进水口已得到证实。

但地表温度作为大气-地表能量循环和地表物理过程中的关键因素受到风速,当地气候条件等多种因素的影响,其反演工作是目前遥感领域中难题。随着海面温度遥感反演技术的成功,陆面温度的反演变的越来越有“诱惑力”^[35],国内外学者运用分裂窗口技术高精度地反演了陆面组分温度^[36-39],为热红外遥感监测地下水提供了更有活力的技术手段。

3.4 遥感信息定量反演模型

遥感信息定量反演模型是指通过实验的、数学的或物理的模型将遥感信息与观测地表目标参量联系起来,将遥感信息定量地反演或推算为某些地学、生物学及大气等观测目标参量。通过建立从遥感图像能测定的地下水有密切关系的水文因素和地下水位的定量评价模型,对地下水资源进行估测。

干旱区降水量极少,蒸发量大,土壤含水量受地下水埋深影响极大。当潜水位高时,表层土壤可得到毛细管水的补给,使其保持较高的土壤含水量,随着潜水位的下降,土壤含水量随毛细管水的补给减少而下降,以至土壤的有效含水量不能满足植物的需要而形成土壤干旱。地下水通过毛细管作用和热传导作用,导致地表湿度的变化,一定深度的土壤水分是地下水位高低的直接反映。这样可以土壤含水量和地下水位的定量反演模型评价地下水。然而,目前土壤水分遥感监测的方法、理论非常成熟,有了卓越成效的成果^[28]。

但由于种种原因,这些土壤水分遥感监测模型国内外成功应用找水领域的很少,只有以S.A. Komarov为代表的微波遥感监测模型^[11]和以塔西甫拉提·特依拜为代表的GLRDS模型^[26,27]。前者以地下水位3 m 以上的水库高水位区作为研究区,利用2.25 cm 和27 cm 波段建立了地下水位定量监测的微波遥感模型,但由于微波对湿润土壤的透射能力的局限性该模型无法得到广泛的应用和推广。后者研究区为地下水位2~7 m 的绿洲-荒漠交错带,所使用数据为ETM+ 2、3、4 波段,引入光学植被盖度的概念,消除植被对反映地下水信息的土壤反射辐射的干扰,基于地表10 cm 土壤水分和地下水位之间建立的模型较成功地计算和评价地下

水位。然而,可见光和热红外遥感只能反应地表的特征,对GLRDS模型所采用的ETM+ 图像监测土壤水分的有效深度为10 cm 的观点还存在较大的争议。

4 结论与展望

从国内外研究情况看,目前,地下水资源的监测主要是靠水文地质特征、地下水所处的环境因素和岩层构造条件的目视解译和常规的计算机数据统计方法来分析遥感数据。遥感最终目标是解决实际问题,但是仅靠目视解译和常规的数据统计方法来分析遥感数据,精度提不高,应用效率相对低。本文介绍的方法和模型,反映了定量遥感正成为地下水遥感监测发展的前沿,通过对遥感数据进行定量处理与分析,建立遥感信息模型,才能可靠和高效地解决地下水遥感监测信息快速处理、分析与提取问题。因此,遥感信息定量反演模型地下水反演工作中将会得到进一步的发展和应用。

随着遥感技术向着多平台、多传感器、多时相、多光谱、多角度和多种空间分辨率方向发展,Landsat MSS/TM/ETM+, SPOT, InSAR, ERS-SAR, SIR-A/C, Ground Penetrating Radar (GPR) 数据应用于地下水资源调查与评价,显然,综合运用多种遥感信息可以提高地下水遥感监测水平。近年来,地下水遥感监测方法、模型的研究仍在深入,特别是与GIS结合日益紧密,定量遥感的发展,雷达技术的日益兴起必将提高提取精度和时效。地下水遥感监测在农业和实际生产应用已越来越受到人们的重视,由试验研究向使用化、产业化迈进。

一些专家认为:微波遥感具有全天候、高精度和能穿透等特点,利用微波遥感来定量评价地下水存储量、埋深的分布、水质以及预测地下水动态变化是未来地下水资源遥感监测研究的发展方向之一。

[参 考 文 献]

- [1] Whiting J.M. Airborne thermal infra-red sensing of soil moisture and groundwater[A]. Remote Sensing of Soil Moisture and Groundwater[C]. CANADA, 1976
- [2] Mollard J.D. Integration of remote sensing techniques applied to groundwater investigation[A]. Remote Sensing of Soil Moisture and Groundwater [C]. CANADA, 1976
- [3] Omar A.A. Use of SIR-A interpretation for underground water prospecting in southern Iraq[A]. Remote Sensing: an Operational Technology for the Mining and Petroleum Industries[C]. 1990, 165- 172
- [4] Debasish Das. Extraction of geomorphic and geologic information for groundwater exploration through satellite remote sensing in and around the Wichita mountains, OKLAHOMA [A]. Eighth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing[C]. 1991, 1: 171- 180
- [5] Knapp K.R., Morgan K.M. Using SPOT and TM to map fractures related to groundwater resources in the slick hills of Oklahoma[A]. Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing[C]. 1994, 1: 155- 167
- [6] Krishnamurthy J., Srinivas G. Role of geological and geomorphological factors in ground water exploration: a

- study using IRS LISS data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(14): 2595- 2618
- [7] Finch J W. Location of high yielding groundwater sites in zimbabwe use of remote sensed data [A]. Remote Sensing: an Operational Technology for the Mining and Petroleum Industries [C]. 1990, 147~ 152
- [8] Ghosh T K. Investigation of groundwater resources in mendha river basin, rajasthan, india [J]. Asian-Pacific Remote Sensing and GIS journal 9 (1), 1996
- [9] Krishnamurthy J, Wenkatesa Kumar N, Jayaraman V, et al. An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and geographical information system [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(10): 1867- 1884
- [10] Saraf A K, Choudhury P R. Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(10): 1825- 1841
- [11] Komarov S A, Mironov V L, Romanov A N, et al. Remote sensing of water table: measurement and data processing algorithm [J]. Mapping Science and Remote Sensing, 1999, 36(1): 1- 10
- [12] Murthy K S R. Groundwater potential in a semi-arid region of andhra pradesh—a geographical information system approach [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(9): 1867- 1884
- [13] Shahid S, Nnith S K, Roy J. Groundwater potential modeling in a soft rock area using GIS [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(9): 1919- 1924
- [14] J Harral F S, Morgan K M, Bushey A B, et al. Using remote sensing and GIS for mapping springs in the chisos mountains, big bend national park, texas [A]. Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing [C]. 1994, 1: 170- 193
- [15] 王茂新, 张秀琴. 用热红外通道资料调查热量资源的方法探讨 [J]. 国土资源遥感, 1991, (2): 38- 46
- [16] 霍明远. 地下水资源系统勘探技术与综合评价方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1992
- [17] 李延祺, 张义彬. 塔里木盆地水资源的遥感地质研究 [J]. 国土资源遥感, 1998, (4): 11- 19
- [18] 郭华东. 中国雷达遥感图像分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [19] 王飞跃, 孙顺新. 环境遥感信息分析法在干旱区找水中的应用——以内蒙古锡林浩特地区为例 [J]. 国土资源遥感, 1999, (1).
- [20] 傅碧宏, 史基安, 张中宁, 等. Landsat TM 热红外遥感数据定量反演地下水富集带的温度信息 [J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(2): 34- 38
- [21] 王飞跃, 吴军虎, 王俊峰, 等. 热红外遥感技术在演马矿水害防治决策中的初步应用 [J]. 国土资源遥感, 1999, 2(2).
- [22] 王召海. 遥感技术在鲁南地区会资源综合开发利用中的应用 [J]. 国土资源遥感, 2000, (1): 19- 23
- [23] 牛宝茹, 伍跃中, 林峰, 等. 新生代玄武岩地区找水中遥感技术应用研究 [J]. 国土资源遥感, 2000, (2): 5- 8
- [24] 万余庆, 王飞跃, 吴军虎. SAR 图像处理方法及在干旱地区找水工作中的应用 [J]. 国土资源遥感, 2000, (4): 50- 54
- [25] 王飞跃, 王俊峰, 万余庆. 西部干旱区卫星雷达遥感找水试验研究 [J]. 国土资源遥感, 2000, (4): 14- 18
- [26] 塔西南拉提·特依拜, 阿布都瓦斯提·吾拉木. 绿洲-荒漠交错带地下水位分布的遥感模型研究 [J]. 遥感学报, 2002, 6(4): 299- 306
- [27] 阿布都瓦斯提·吾拉木. 绿洲-荒漠交错带地下水位分布的遥感模型研究 [D]. 新疆大学硕士学位论文, 2001
- [28] 陈怀亮, 毛留喜, 冯定原. 遥感监测土壤水分的理论、方法及研究进展 [J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(2): 55- 65
- [29] 刘培君, 张琳, 艾里西尔库尔班. 卫星遥感估测土壤水分的一种方法 [J]. 遥感学报, 1997, 1(2): 135- 138
- [30] 周日平. 遥感技术在西部生态环境建设和找水中的应用 [J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(1).
- [31] “北方地区遥感水文地质应用文集”编委会. 北方地区遥感水文地质应用文集 [M]. 北京: 地质出版社, 1985
- [32] 籍传茂, 王兆馨. 地下水资源的可持续发展 [M]. 北京: 地质出版社, 1999
- [33] 夏训诚, 等. 塔克拉玛干沙漠地区水资源评价与利用 [M]. 北京: 科学出版社, 1993
- [34] 潘乃礼, 等. 地下水水质现状和预测评价的理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1995
- [35] 李小红, 汪骏发, 王锦地, 等. 多角度与热红外对地遥感 [M]. 北京: 科学出版社, 2001
- [36] Wan Zhengming, Zhang Yulin, Zhang Qincheng, et al. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83: 163- 180
- [37] Francois Petitcolin, Eric Vermote. Land Surface Reflectance, Emissivity and Temperature from MODIS Middle and Thermal Infrared Data [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83: 112- 134
- [38] 徐希孺, 庄家礼, 陈良富. 热红外多角度遥感和反演混合像元组分温度 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(4).
- [39] 庄家礼, 陈良富, 徐希孺. 地表组分温度反演 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(6).
- [40] <http://water.usgs.gov/watuse>, 2003
- [41] USDA Website <http://www.nps.ars.usda.gov>, 2003
- [42] University of South Carolina website. Remote sensing and groundwater exploration and contamination. www.cla.sc.edu/geog/rslab/551/Projects/Green, 2003
- [43] Eckhardt D W, Litke D W. Estimation of reservoir surface areas using satellite imagery, upper gunnison river basin, colorado [A]. Symposium on Water-use Data for Water Resources Management [C]. Proceedings: Tucson, Arizona, American Water Resources Association, Bethesda, Maryland, 1988, 691- 702
- [44] Constanze E. Weyhenmeyer, Stephen J. Burns, H. Niklaus Waber, et al. Cool glacial temperatures and changes in moisture source recorded in oman groundwaters [J]. Science, 2000, 287(5454): 842- 845

Overview on methods and theories of remote sensing monitoring and exploration of groundwater

Abdwasit Ghulam, Qin Qiming

(Institute of Remote Sensing and GIS, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Remote sensing of groundwater is one of the challenging tasks in the remote sensing application research. This paper describes the development and progress of remote sensing application research on the groundwater exploration, as well as summarizes the domestic and international remote sensing theories and methods of groundwater monitoring and puts forward relevant definition. These ways and means include geological and hydro-geomorphological remote sensing analysis, environmental remote sensing information analysis, thermal infrared remote sensing method and quantitative exploration modeling. At last, the future prospects of groundwater remote sensing are put forward. The quantitative exploration modeling based on the establishment of experimental model by combination of mathematical, physical reflective factors of groundwater has been found to be most effective in monitoring, delineation and detection of regional groundwater. Overseas, air-borne remote sensing data have been used to investigate groundwater resources since the latest 1960's; Thermal infrared data and multi-spectral, multi-temporal images generally used in 1980's while satellite remote sensing of groundwater was initially started in China. During this time, visual interpretation of hydromorphic features, water-bearing structures and environmental factors had been the mainly approach of detection work; The combination of RS, GIS and GPS technology became the useful method in the end of 1990's in both overseas and China. Bands ranged from visible, thermal infrared and microwave have been coming into widespread use since the latest 1990's. Due to its ability to penetrate to a certain depth into soil and sensitivity to water content, microwave remote sensing is becoming the most promising tool to demarcate and map out groundwater resources with the development of handling and imaging techniques.

Key words: groundwater; groundwater exploration by remote sensing; quantitative remote sensing