

宁夏南部严重缺水地区找水经验小结

王新贺

(宁夏地质调查院地调四室)

宁夏回族自治区地处我国西北内陆，位于黄河中上游，国土面积 $6.64 \times 10^4 \text{km}^2$ 。气候干旱，降水稀少且不均匀，蒸发强烈。地形地貌以丘陵、平原（盆地）、山地并存，山前“红岩”丘陵台地、黄土丘陵、山地构成宁夏主体地貌，约占 73.8%，平原（盆地）不足 26.2%，受地质环境的制约，宁夏水资源匮乏，成为全国最缺水的省区之一，严重制约着宁夏的经济发展，使宁夏成为经济落后、人民生活水平低下的地区之一。为此，宁夏地质工作者在各级党组织的领导下，进行了近 30 年的区域水文地质勘查工作。尤其是进入 20 世纪 90 年代，随着改革开放和经济发展，党中央、国土资源部和中国地调局及地方政府重视水资源勘查与开发工作，相继部署了“西北地区地下水资源特别计划”、“新一轮国土资源大调查(专项找水示范工程、鄂尔多斯盆地地下水勘查)”、“部党组联系点(固原县地下水资源勘查)”等一系列区域水文地质勘查工程，并取得了可喜的勘查成果和成功经验。

1. 区域缺水基本状况

宁夏回族自治区地下水分布极不均匀，北部得益于黄河过境和自流灌溉，使得宁夏河套平原地下水获得充足的补给，地下水天然资源量达 $22.09 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，占全区地下水资源总量 ($26.57 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$) 的 83%。平原区以外的广大丘陵、山地（面积达 $4.4 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占全区总面积 84.73%）地下水天然资源 $4.48 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，仅占全区地下水天然资源的 17%。区内咸水资源广泛分布、淡水资源短缺。其中淡水（矿化度小于 1g/L ）资源为 $14.7 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，占全区地下水资源的 55%；矿化度大于 1g/L 的资源量为 $11.87 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，约占天然资源量的 45%，分布面积约 $3.5 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占全区面积的 66%。其中 $1 - 3\text{g/L}$ 的微咸水资源量为 $8.5413 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，占天然资源总量的 32%；矿化度 $3 - 6\text{g/L}$ 的咸水资源量约为 $2.51 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，约占天然资源量的 10%，主要分布在宁夏中南部的石沟驿、惠安堡、予旺同心、兴仁一线；矿化度大于 6g/L 的苦咸水资源量约为 $0.83 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，约占天然资源量的 3%，主要分布在宁南固原北部各地。（《宁夏回族自治区水资源评价》，孙永明著）。

全区氟离子含量大于 1mg/L 的地下水分布面积约 $4.22 \times 10^4 \text{km}^2$ ，占全区面积的 81.5%，其中南部各地（包括盐池、同心）为 $3.5 \times 10^4 \text{km}^2$ ，北部约 $0.7 \times 10^4 \text{km}^2$ ，仅盐池县高氟水分布面积就达 8000km^2 ，且大部分地区氟离子含量 4mg/L 以上，最高达 20mg/L。

宁夏中南部严重缺水地区系指北纬 $37^\circ 25'$ 以南的广大山地丘陵区，平均海拔高度 1700 - 2000m，面积约 $3.23 \times 10^4 \text{km}^2$ （占全区总面积约 70%）。主要行政区划所辖为固原市和吴忠市的 11 县市，毗邻陕北和陇东黄土高原缺水地区。据初步统计，该区地下水天然资源量约 $3.90 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，其中可利用的淡水和微咸水 $3.52 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，目前开采量约 $1.37 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，尚余 $2.15 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ；地表水资源量约 $7.51 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，扣除重复量和蒸发量，可利用资源大约为 $3.66 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。即使目前采取的一系列地表调蓄工程实现预期目标，到 2005 年仍缺水 $2 \times 10^8 \sim 4 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。特别是自 1998 年 10 月以来，连续两年半大旱，近 130 万亩耕地几乎绝产，57 万人、11 万头大牲畜、57 万只羊断绝了饮用水源。

宁夏南部各县，除清水河平原的部分地区受益于“1236”引黄工程、隆德、泾源县地处六盘山阴湿区外，一些县城供水水源（如西吉、同心等）难以解决，其乡镇更不言而喻。各县主要缺水乡镇分布见表 1。

表 1 各县主要缺水乡镇分布

县名	面积 km^2	人口 万	乡级 单位	缺水 乡镇	缺水现状	严重缺水 乡镇
盐池县	8366	15.2	16	16	水质型缺水严重	6
同心县	8433	34.8	17	15	水质水量均严重	12
固原县	6221	51.2	26	16	水质水量均严重	8
海原县	6899	36.9	24	14	水质水量均严重	10
西吉县	4346	44.7	26	20	水质水量均严重	14
彭阳县	2528.65	24.7	20	8	水量型缺水	6

2. 区域缺水基本原因

宁夏南部缺水，一是资源型缺水，二是水质型缺水，究其原因主要可归纳为：

2.1 自然环境条件恶劣。宁夏具典型的大陆性气候特征，降水稀少，蒸发强烈，冬寒漫长，夏热日短（无霜期不足 150 天），温差较大。年均降水量 300 - 400mm，蒸发量高达 1900 - 2000mm。

2.2 地质灾害危害严重，地表水、地下水涵养能力差。宁夏中南部多为黄土丘陵地区，沟壑纵横、植被稀少，区内降雨集中于七、八、九月，降水多形成洪水，有限的降水无法靠地表水利工程调蓄储存，降水过后迅速流失，加剧水土流失，造成土地贫瘠、水源缺乏。

2.3 地下水赋存条件恶劣。宁南受构造运动的影响，盆山相间，沉积了大厚度的侏罗系、白垩系和新老第三系地层，这些地层富集石膏（ CaSO_4 ）芒硝（ Na_2SO_4 ）等易溶盐矿物及氟离子，造成大部分地区分布苦咸水和高氟水，矿化度局部高达 30~150g/L。

2.4 当地经济落后，生活贫困，仅有的淡水资源得不到科学利用和涵养，淡水资源逐步减少，造成生态环境恶化，形成“恶性循环”。另外，受经济条件的限制，地下水勘查投入的先进技术较少，一部分淡水资源尚待发现和开发。

宁夏中南部水源缺乏，人畜饮用水都很困难，发展工业更无从谈起；缺水造成生态环境脆弱，如果不解决水源问题，“再造山川秀美”、退耕还林还草和进行生态环境建设也是极为困难的。由此可见，缺水严重制约着当地社会经济的发展，水资源勘查开发利用成为当地社会经济发展的急需。

3. 宁南严重缺水水文地质条件概述

宁夏具有我国西北干旱、半干旱山间盆地型水文地质特征。中、新生代断陷盆地地下水主要赋存场所，赋存有松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水。基岩裂隙水（含碎屑岩裂隙水、变质岩裂隙水）、碳酸盐岩裂隙岩溶水赋存在基岩山地储水带中。由于各类地下水各自所处的地理地质背景不同，在富水性与水质方面存在很大差异。

3.1 松散岩类孔隙水

松散岩类孔隙水主要赋存于第四系储水盆地内，其次散布于山地丘陵间的盆、洼、淌地与沟谷川地，具有分布广泛、埋藏浅、开采方便的特点，为区内最有供水意义的地下水。

清水河河谷平原上游地段、葫芦河河谷平原、韦州盆地、兴仁洼地、南华山古洪积扇、白家滩拗谷等地第四系含水层赋存有富水性较强的淡水及微咸水，地下水资源开发前景较好。清水河河谷平原三营以北中下游地带及宁中低山丘陵、台地大部分地带，地下水富水性弱，且水质差，多为苦咸水及微咸水，地下水氟含量偏高，其中陶灵盐台地为高氟地下水分布区，地下水资源开发前景差。

黄土丘陵黄土层并不构成广泛连续的孔隙水，只有补给条件、储水条件较好的微地貌（洼、塘地、掌心地）才可能构成“凸镜状、串珠状、点线状”小型地

下水储水带。在宁南六盘山—南西华山附近，地下水碘含量低，为低碘地下水分布区。

3.2 碎屑岩类孔隙裂隙水

该类地下水主要赋存于第三系储水盆地及储水带、白垩系储水盆地及前白垩系（侏罗系、三叠系及部分石炭、二叠系）储水带内。

第三系储水盆地广布于宁中、宁南山间盆地内。含水岩组主要由泥岩与泥质粉细砂岩组成，且富含石膏，故一般富水性弱、水质差。本区苦咸水的形成与分布多数同第三系含盐地层有关。白垩系储水盆地分布于盐池县和“南北古脊梁”以东地区，含水岩组主要由下白垩系志丹群砂岩、砾岩、砾质砂岩组成，地下水富水性中弱，水质以微咸水为主。

第三系及白垩系储水盆地，在局部地段赋存有水量较大、水质较好的碎屑岩类孔隙裂隙水，因而成为缺水地区重要的地下水勘探对象。

前白垩系含水岩组主要分布于宁东磁窑堡—石沟驿一带，多为复向斜储水带，含水岩组主要为砂岩、含砾砂岩及砂页岩，地下水富水性不均，局部地段水量较大且自流，水质较好。

3.3 碳酸盐岩类裂隙岩溶水

分布于宁南黄土丘陵东“南北古脊梁”及牛首山一带，含水岩组主要由下古生界、震旦界灰岩组成，受岩性与构造控制，含水层分布极不均匀，具有水量大、水质好、埋藏深、露头少的特点。

3.4 基岩（碎屑岩、变质岩）裂隙水

分布于各基岩山区，含水岩组主要由中、古生界碎屑岩与浅变质岩组成。地下水直接接受大气降水入渗补给，迳流途径短，常于沟谷排泄转化成为第四系孔隙水。富水性极不均匀，主要受裂隙的力学性质、发育程度与规模、分布规律的控制。除含煤地层水质较差外，一般为淡水。在宁南六盘山，南、西华山地下水碘含量低，为低碘地下水分布区。

尽管宁夏南部地区地质及水文地质条件极其复杂，但经广大地质及水文地质工作者不断探索和工作，总结出宁夏弧形构造带、盆山构造体系地下水的赋存特征、空间展布规律和地下水补迳排条件特征。发现了如“沉积厚度较大的第四系松散岩类含水岩组的淡水夹层（上下层均为咸水）”、“基岩山前与第三系接触带带状分布的地堑式第四系封闭式淡水含水岩组”、“被传统认为无水或无好水的第三系自流斜地承压自流含水岩组”、“山前洪积扇洼地”、“被传统认为无水的脊梁复背斜式深层岩溶或基岩裂隙含水岩组”，“断裂脉状水含水岩组”等一系列具有

找水方向和富水意义的储水构造体系。不断探索和总结这些含水岩组的形成和发展，为地下水资源合理开发利用提供了极其重要的依据。

4. 不同水文地质条件下的勘查技术的应用

传统的水文地质勘查方法与新技术、新方法的综合应用是宁南黄土丘陵区地下水勘查与开发的总的工作原则。

4.1 第四系松散岩类孔隙裂隙水区勘查技术的应用

宁夏南部特有的弧形盆山相间的构造地貌单元，于山地之间的盆、洼地及山麓地带堆积了厚度不一的第四系沉积物，赋存了水质及水量变化较大的第四系松散岩类孔隙水。如何在水质较差、水量分布不均的宁南山间盆、洼地寻找有一定储量并具有可持续开发价值的地下水资源成为在宁南干旱地带进行地下水勘查的主要目标。

4.1.1 苦咸水地区淡水夹层地下水勘查

通过对前人资料的综合分析，相继推断在清水河上游固原县黑城镇地区、香山南麓兴仁洼地等第四系堆积较厚的地段，在多元结构地层的控制下可能存在淡水夹层，利用常规电测深物探方法，结合激电测深法定性分析地层岩性是否含水，在利用激电测深曲线判定地层可能含水的情况下，依据已布置的电测深勘测剖面的等视电阻率断面表现的相对高阻，界定第四系厚度，初步圈定可饮用水体分布面积，然后进行曲线对比，从最理想的地段进行钻探，由点到线，由线到面逐步外扩布置水文地质钻探钻孔，为验证岩芯采取的正确性，配合电测井以进一步确定含水层厚度，从而在“固原县黑城镇”苦咸水地区找到了淡水夹层，“兴仁洼地”找到了“香山南麓古洪积扇”等储水构造，解决了当地居民的生活饮用水及部分农田灌溉，结束了当地居民世代代饮窖水、苦咸水的历史。

4.1.2 第四系断陷带地下水勘查

分析宁南山地的构造运动形迹与地层结构的关系、古地理形态，推断大罗山西麓山前地带，可能存在有比较大的储水断陷带；南华山山前地带发育着一个第四纪断陷带，赋存有水质、水量较好的地下水。在第四系之下，还隐伏着一个第三系大向斜，有含水条件较好的中新统干河沟组。因而地下水具有良好的勘查开发前景。因此横切可能存在的第四系断陷带，布置控制性电测深剖面数条，电法勘探结果发现在大罗山西麓、南华山山前地带存在电阻率异常带，经激电测深法及等视电阻率解释分析推断为断陷带，证实了综合研究的推断。

在电法勘探的基础上,相继在勘探区投入了环境及水文地质测绘、水文地质钻探、电法测井、稳定流抽水试验及水质分析工作。在上述工作的基础上探明大罗山第四系断陷带内,含水层岩性主要为砂砾石层,厚度 18 - 121m,地下水水位埋深 10 - 50m,单井涌水量大于 2000 m³/d,矿化度小于 1g/L,各种离子都符合生活饮用水卫生标准,是较好的生活饮用水水源。经过勘查评价,并经资源委批准柳泉水源地地下水 B 级可开采量 3×10⁴m³/d。该勘查成果及时解决了移民 40 万人开发红寺堡地区的人畜饮水问题,并论述了该地区存在诸如土地沙漠化、水土流失及土壤盐渍沼泽化、泥石流等地质灾害的规模、发育程度,进行了环境地质分区,提出了防治对策及开发建议,为土地资源开发提供了基础依据。

在南华山东麓地区找到了较为富水的第四系松散岩类孔隙水,地下水水位埋深 47.50 - 114.29m,第三系碎屑岩类含水层顶板埋深 51.58 - 97.00m,单井涌水量 300 - 1500 m³/d,一般地区地下水矿化度在 1g/L 左右(局部地区为 2.6g/L)的大面积分布的淡水含水层。在淡水体分布范围内,经计算评价地下水天然资源大于 3×10⁴m³/d。在地下水资源合理开发利用及规划条件下,基本可以长期稳定地解决这一地区群众的人畜饮水困难和大旱之年的部分耕地补水问题。

4.2 第三系、白垩系碎屑岩类孔隙裂隙水地下水勘查技术的应用

4.2.1 第三系碎屑岩自流盆地地下水勘查

宁南山地月亮山形成于燕山期,为一单斜构造,分析认为月亮山西麓山前地带,下白垩系三桥组与第三系清水营组呈断层接触,构成一个独立的自流水斜坡。第三系单斜构造层内干河沟组可能存在水质、水量较好的碎屑岩类孔隙裂隙水,据此在月亮山西麓第三系单斜构造层内布置电测深剖面数条,根据等视电阻率解译判定,在月亮山西麓第三系单斜构造层内赋存有较富水地段,证实了前期论证的推测。在此基础上辅以极电测深法拟定探采结合孔位,依据高激化率及半衰时高峰值确定第三系干河沟组砂砾石层的富水部位,结合电测深法,布置探采结合孔,在月亮山西麓查明由新第三系干河沟组砂砾岩、细砂岩构成的较为富水的含水地带,在 200m 深度以内,含水层厚 47.5 - 77.5m,为承压水。承压水头从埋深 38.14m 到高出地面 25m,单井涌水量 407.74 - 1164.66m³/d(按降深 50m 统一换算),为 HCO₃SO₄ - Ca?Na、HCO₃SO₄ - Ca?Mg 型水,矿化度 0.58g/L,含氟量 0.25 - 0.4mg/L。后经过进一步城市供水勘察评价,并经资源委批准,为西吉县提交 B+C 级储量 10000m³/d 的小型集中供水水源地一处,从而结束了西吉

县城居民长期饮用高矿化水的历史。

4.2.2 白垩系碎屑岩地下水勘查

盐池县北部苏步井，地处鄂尔多斯盆地西缘，北接毛乌素沙漠，距盐池县城 15km。分析该地区的地形、地貌及水文地质条件，认为下伏白垩系地层可能赋存有淡水体，在推测的淡水体范围内，布设电测深剖面数十条，分析反演后的电测深勘测等视电阻率剖面，证实前期推测结果。后经水文地质调查、水文地质钻探、电测井、抽水试验、采样分析等一系列传统的水文地质方法，确定第四系松散岩类孔隙水、白垩系碎屑岩类含水岩组在 1.4 - 110m 深度范围内，地下水位埋深 2.2m(潜水、承压水混合)，单井涌水量 800 - 1104.36m³/d。经城市供水勘查，为盐池县提交 B 级储量 10000m³/d 的小型集中供水水源地一处，解决了盐池县城市供水不足的问题。

4.3 岩溶水地下水勘查技术的应用

南北走向、纵卧宁夏东部的“南北古脊梁”，地处黄土丘陵区，地表沟壑纵横，上覆黄土厚度 100 - 150m 不等，局部达 200m。基底为以碳酸盐岩类地层为主体的古隆起地带，其南北中轴线部位，古侵蚀面较高，南有蓟县系王泉口硅质白云岩裸露地表，北有青龙山寒武系、奥陶系灰岩地层零星出露，老地层之上，大部分地区不同程度的沉积了侏罗系(J)、白垩系(K₁)以及大面积的第三系“红色岩层”，仅在沟谷切穿第四系及第三系地层部位有零星出露，这些岩层泥质含量高，又富含石膏透镜体，影响了这一地区地下水的水质和补给。该地区除南北向构造发育外，北东向、北西向、东西向构造也十分活跃，并不同程度地控制着地下水赋存和分布规律。受构造、岩性、地貌、气象和水文诸因素的制约及影响，南北古脊梁下伏碳酸盐岩地层中的古岩溶及构造裂隙内，赋存有裂隙岩溶水，该含水层中，水位埋藏深，水质水量变化较大。

“南北古脊梁”地区复杂的地质构造及水文地质条件，造成该区地下水勘查困难。通过反复研究前人地质资料，最终确定利用遥感解译与水文地质调查相结合、常规物探与物探新技术新方法、水文钻探与同位素水化学方法相结合的方法进行水文地质勘查。首先经遥感解译及水文地质调查后，在圈定的具有一定前景的水文地质勘探区内，投入大量的常规电法物探及浅震、EH-4、瞬变电磁测深等技术，在常规物探与新方法、新技术相互验证的基础上，确定地层结构及岩层界面、可能含水体(砂岩、砾岩类)的单层厚度及空间展布，是否受断裂构造控制，基岩构造发育规模及部位。圈定和地质推断相吻合的理想地段后，投入点上钻探试验验证，针对灰岩地区进行钻探时孔内出现严重漏浆，采用水泵增压

泡沫钻进的新方法，解决了钻孔严重漏浆问题，大大提高了钻探效益。事实证明这种工作方法和工作量的部署是切实可行、效益明显的。在“南北古脊梁”地区彭阳段打出了水量丰富、水质优良的深部灰岩裂隙溶洞水（单井涌水量达 $10000\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度 $0.92\text{-}0.98\text{g/L}$ ，氟离子 1mg/L ），从而在深部岩溶裂隙溶洞水勘查中实现了找水重大突破。

5. 结论

西部找水，任重道远。上述“扶贫找水”功绩，扩大了社会影响，取得了良好的效果，得到了党和国家领导人的肯定及地方政府的支持，并提供了科学技术的支持，为新一轮地质工作的开展提供了扎实的基础资料，起到了很好的示范作用，建立了良好的技术模式。通过深入扎实的工作，尤其近年来的工作，总结出一套行之有效的勘查方法运用技术模式和管理模式，并通过专家研讨和实践不断得到验证。总体认识是：

5.1 实践证明宁南严重缺水地区地下水勘查所确定的技术路线运用正确、工作部署合理，管理方法科学有效；新技术、新方法与传统方法结合的模式是成功的，弥补了前人工作的不足，取得了一部分科技成果和良好的经济效益与社会效益，充分发挥了水文地质工作者的实际作用。

5.2 通过整体规划、科学管理、分片实施、及时总结、逐步完善，总结出了宁夏缺水地区的工作方向是继续在岩溶分布区、白垩系、第三系孔隙裂隙水区、黄土地区隐伏断裂（陷）带进行勘查找水。

5.3 利用“3S”技术，加强对上述含水岩组，尤其对深层地下水的赋存进行研究随着科技发展，势必使水文地质勘查工作有一个长足的进步。