

黄河流域地下水资源、主要环境地质问题及对策建议*

石建省 张发旺 秦毅苏 李瑞敏 叶 浩

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北正定)

刘祖植 安立忠 裴捍华 郭振中 赵云章 王彦俊
(陕西地调院, 西安) (山西地调院, 太原) (河南地调院, 郑州) (山东地调院, 青岛)

摘 要 本文在重新汇总黄河流域地下水资源量的基础上, 提供黄河流域天然补给资源总量为 453.54 亿 m^3/a , 其中淡水为 403.51 亿 m^3/a , 微咸水补给约 50.03 亿 m^3/a 。可开采资源总量为 212.24 亿 m^3/a , 其中淡水为 182.42 亿 m^3/a , 微咸水约 29.82 亿 m^3/a 。总结分析了黄河流域主要环境地质问题的发展趋势, 提出了水资源利用方面的一系列宏观对策建议。

关键词 地下水资源 环境地质 对策 黄河流域

1 黄河流域地下水资源及开发利用

黄河是我国的第二大河, 源于青海省巴颜喀拉山北麓, 流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东 9 省(区), 从山东省垦利县注入渤海, 干流全长 5464km, 流域面积 75.2 万 km^2 (含闭流区), 流域人口 9781 万人。黄河多年平均径流量为 580 亿 m^3/a , 相当于长江径流量的 1/20, 在全国 7 大江河中属第四位, 具有水少、沙多、时空分布不均匀和多年连续枯水等特点, 水资源匮乏, 生态环境脆弱。黄河水资源对黄河流域各省的经济发展起着支撑作用。地下水资源由于水量稳定, 水质好, 易于就地开采等特点, 对流域的开发有着重要的作用。有的城市地下水是唯一的可利用水源, 因此查清地下水资源有着十分重要的意义。

1.1 黄河流域地下水资源

黄河流域地下水资源计算主要是参与现代水循环可以再生的, 且与大气降水循环交替密切相关的地下水, 对年龄较老的深层承压水有待以后深入研究。

经计算全流域地下水天然补给资源量, 淡水为 403.51 亿 m^3/a , 微咸水补给约 50.03 亿 m^3/a 。可开采资源量淡水为 182.42 亿 m^3/a , 微咸水约 29.82 亿 m^3/a (见表 1、表 2)。

根据地下水所赋存的含水层性质可分为孔隙水、岩溶水和裂隙水等类型。黄河流域地下水天然补给量中, 孔隙水的数量为 118.67 亿 m^3/a , 岩溶水为 36.52 亿 m^3/a , 裂隙水为 226.32 亿 m^3/a 。可开采资源中, 孔隙水的数量为 87.93 亿 m^3/a , 岩溶水为 33.77 亿 m^3/a , 裂隙水为 60.71 亿 m^3/a 。

* 中国地质调查局国土资源大调查地质调查项目资助

第一作者: 石建省, 男, 1962 年生, 研究员, 博士, 主要从事区域环境地质、黄土基础和应用研究, 邮编 050803

表 1 黄河流域地下水资源统计表(按流域区段)

Table 1 Statistics of groundwater resources in various parts of the Huanghe River valley

流域区段	天然补给资源/亿 m ³ ·a ⁻¹		可开采资源量/亿 m ³ ·a ⁻¹	
	淡水	微咸水	淡水	微咸水
上游(河口镇以上干流区间)	187.81	34.13	40.78	21.38
中游(河口镇—花园口干流区间)	172.33	12.78	102.21	6.99
下游(花园口—黄河口干流区间)	31.52	2.12	31.27	1.18
黄河流域合计	391.66	49.03	174.26	29.55
闭流区	11.85	1.00	8.15	0.27
总计(黄河流域合计+闭流区)	403.51	50.03	182.42	29.82

表 2 沿黄河流域各省区、各平原或盆地地下水资源统计表

Table 2 Statistics of groundwater resources in various provinces and autonomous regions and in various plains or basins along the Huanghe River valley

区域		天然补给资源量/亿 m ³ a ⁻¹		可开采资源量/亿 m ³ a ⁻¹	
		淡水	微咸水	淡水	微咸水
省 (区)	青海	95.03	— —	5.86	— —
	四川	21.50	— —	— —	— —
	甘肃	40.88	4.16	10.41	— —
	宁夏	14.71	8.54	12.25	7.83
	内蒙	47.11	24.31	31.07	13.74
	陕西	13.34	10.84	36.09	6.96
	山西	57.99	— —	37.96	— —
	河南	35.42	2.18	32.35	1.29
	山东	17.63	— —	16.43	— —
	合计	403.51	>50.03	>182.42	>29.82
平原	银川平原	11.87	7.53	10.03	6.90
	呼包平原	8.81	24.31	4.98	13.52
	下游平原	15.60	2.11	16.49	— —
盆地	关中盆地	31.81	8.11	29.95	— —
	太原盆地	7.93		6.56	
	临汾盆地	6.26		4.59	
	运城盆地	4.10		3.42	

1.2 黄河流域地下水资源和开发利用现状

1.2.1 水资源的利用量 黄河是西北和华北地区的重要水源 ,黄河不仅需要供给流域内经济和社会发展对水资源的需求 ,还需向华北地区供水。同时 ,还必须保留必要的排沙入海的水量。

根据 1997 年“中国水资源公报”黄河流域的总供水量为 404.59 亿 m³/a ,其中地表水为 268.51 亿 m³/a ,地下水为 134.23 亿 m³/a ,地下水供水量占总供水量的 33.7% 。

从 1998 年黄河流域的用水量统计表中可以看出 ,地下水的利用量与 1997 年相比减少了 5.16 亿 m³ ,但占总用量的比例基本是一致的(32.22%)。在各行业的用水量中 ,农业仍然是大用户 ,农业用水量 307.79 亿 m³ ,占总用水量的 77.86% ,与 1997 年的比例也基本上是相

同的。

1.2.2 地下水的开采利用程度 从 1998 年地下水开采利用程度来看,黄河全流域的地下水开采程度(地下水开采量与地下水可开采量的比值)为 73.32%,上游为 69.86%,中游为 72.66%,下游为 73.55%。表明地下水开采程度从上游到下游逐渐提高,剩余量不足 50 亿 m^3 ,但因其分布不均匀,有的地区开发仍有潜力。如银川平原地下水可开采资源量为 11.61 亿 m^3/a ,1997 年开采量仅 3.33 亿 m^3 ,开采潜力很大,额尔多斯伊克昭盟,地下水开采资源量为 14.29 亿 m^3/a ,1997 年开采量只有 6.3 亿 m^3 ,开采利用的程度较低,只有 44%,开采潜力也比较大。

2 黄河流域主要环境地质问题

2.1 区域性地质环境脆弱问题

黄河流域地质环境脆弱,主要环境地质问题表现为土壤侵蚀、土地沙化、湿地退化及草地退化等。

2.1.1 土壤侵蚀 黄河流域土壤侵蚀面积约 48 万 km^2 ,多年平均年输沙量 16 亿 t(三门峡站),是世界第一多泥沙河流。黄河 90% 以上泥沙来自中游黄土高原地区,使其成为我国土壤侵蚀最严重的地区。影响土壤侵蚀的气候、地形地貌、地质构造、地层岩性等地质环境因素随地而异。黄河中游地区属温带干旱、半干旱大陆季风气候。第四纪以来鄂尔多斯断块平均上升速率约 0.2mm/a,其周边的汾渭断陷、河套断陷、银川断陷和洛阳断陷,第四纪平均下降速率一般为 0.10~0.25mm/a,形成地势高亢的侵蚀性环境。第四纪砂黄土、黄土、风沙土广泛分布,是黄河及其支流悬移质的主要来源^[2,3]。第三纪红色粘土主要出露于黄土区深切沟谷中,土质坚实,透水性差,经常成为上覆黄土崩、滑破坏的滑床,是黄土高原地区一种重要的重力侵蚀类型。中生代长石砂岩,结构疏松、胶结差,风化强烈,侵蚀产物为岩屑和砂粒。

北部边缘受风力侵蚀作用,侵蚀强度大,侵蚀模数一般大于 1 万 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 。白于山河源区,无定河、孤山川、窟野河、秃尾河、佳芦河等河流中游或上、中游地区达 2 万 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 以上,窟野河神木—温家川区间高达 4.02 万 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$,是黄河泥沙主要来源地之一。河流悬移质中“粗泥沙”(粒径 $>0.05\text{mm}$)含量 43.2%~61.7%,窟野河王道恒塔水文站以上高达 75.8%,神木—温家川区间“粗泥沙”侵蚀模数高达 2.92 万 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 。东胜地区碎屑岩风化强烈,水力、重力(泻溜)侵蚀作用强,皇甫川上游侵蚀模数高达 2.79 万 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ 。由于泥沙来自强化碎屑岩,河流悬移质中“粗泥沙”含量占 50% 以上。

2.1.2 土地沙化 土壤侵蚀使表土流失,土壤肥力下降,严重影响农业生产及生态环境,使土地大面积沙化^[4]。陕西定边、靖边、榆林以北,内蒙古南部及宁夏南部沙化分布广泛。盲目开垦、过度放牧和采樵导致沙漠前哨的防沙林带和封沙育草区严重破坏,沙漠大举内侵,沙丘南移平均速度为 3~4m/a,移动沙丘已越过长城,深入黄土高原 5~40km。黄河下游由于河流改道、黄河断流也造成小片土地沙化。黄河源头地区土地荒漠化日益加剧,由 80 年代的 120.73 km^2 发展到 90 年代的 746.79 km^2 。

2.1.3 湿地和草地退化 目前,沼泽湿地零星分布于毛乌素沙地、诺尔盖及黄河源头。据研究,毛乌素沙地曾是一片肥沃的草原,在草原洼地上分布着相当数量的沼泽、丛林,但目前长

城以外 60km 宽的地带已变成了沙漠。

森林植被拦截降雨、涵养水源,减弱地表径流,降低岩土侵蚀强度。但由于气候变化、畜牧超载,致使草地生长环境旱化,黄河流域原始植被受到破坏。目前,梁峁谷坡为次生杂类草草原,沙漠高原和河套地区,植被稀少,只有少数耐寒抗旱、耐盐碱植物,属荒漠草原类植被。草地退化广泛分布于黄河中上游,优良牧草变矮、变稀,以至枯竭,出现秃斑裸地,草场大片严重退化。部分农垦区过量开采地下水,区域地下水位持续下降,地表植物枯死。在黄河源头玛多县,目前已有 70% 的草场退化,严重威胁着牧民的生存。黄河源头的生态环境正在急剧恶化。

2.2 与地下水开发利用有关的环境地质问题

我们长期追求地下水资源的合理开发利用,但至今由于多方面原因形势并不乐观。一方面部分地区对地下水开采过度,导致区域环境变化,产生多种危害,当然部分地区也因为开采地下水产生正面影响;另一方面,一些有潜力地区的地下水开发利用不够,没有充分发挥地下水应有的效益,再加上地下水勘查程度不足,缺乏地下水可持续利用的科学支持,导致有水不敢用,无水又乱用的问题。因此,地下水合理开发利用将是一篇大且长的课题。

2.2.1 区域性地下水位下降 在西部大开发中,水资源的开发力度将会加大。由于开采强度大,造成局部地区诱发一些环境地质问题,如地下水位下降、地裂缝等问题。另一方面由于开发利用方式落后,造成水资源严重浪费,尤以农业用水浪费最为严重。

区域性地下水位下降主要分布于汾渭盆地及黄河下游地区,浅层地下水及承压水位均已大幅度下降。在一些大中城市附近,由于对地下水水源地的集中开采,已造成多个地下水降落漏斗,漏斗中心降深达几十米,甚至上百米,年平均下降幅度一般为 $1 \sim 2\text{m/a}$,有的达到 3m/a 。如德州深层地下水降落漏斗,面积 $3\,200\text{km}^2$,30 多年来水位累计下降了 90 多米;菏泽深层地下水降落漏斗,面积 $1\,300\text{km}^2$,近 20 年水位累计下降了 40 m;滨州深层地下水降落漏斗,面积 $2\,000\text{km}^2$,近 20 年水位累计下降了 70 多米;太原市深层地下水降落漏斗,1993 年已扩展到 415km^2 ,漏斗中心水位降深近百米;运城—永济地下水降落漏斗,1993 年已扩展到 $1\,809\text{km}^2$,漏斗中心水位降深 53.35m;清丰、南乐、滑县地下水位降落漏斗面积达 $7\,000\text{km}^2$,温县、孟县地下水降落漏斗面积已达 900km^2 ,漏斗中心水位埋深已达 20 多米。

浅层地下水位下降产生的环境效应主要有:①使背河洼地一带的土壤盐渍化向良性化发展;②导致土体固结压密,产生地面沉降,可能对大堤稳定性产生一定影响;③黄河大堤附近地下水位降低,可消除或减轻地震液化灾害,对大堤稳定有利;④傍河水源地开发能否加剧河床淤积、断流、含水层淤塞、水质污染等需进一步研究。

区域性地下水位下降在部分地区可能产生良性环境效应。如河南省土地盐渍化面积 30 年来大幅度减少。

2.2.2 土地盐渍化 随着地下水开发利用程度的提高,往往导致土地盐渍化的良化和改善。相反,地表水的引水灌溉往往引发次生盐渍化。盐碱地是黄河下游主要低产田之一,目前仍有 226万 km^2 ,主要分布在黄河冲积平原洼地、黄河三角洲及滨海平原。前者呈零星片状分布,后者呈大面积的片状、带状分布。区域性地下水位下降、耕作方式改善、人工治理(如沿黄河流域一带稻改)等原因,已使黄河下游地区土地盐渍化范围大大缩小,农业生态环境向良性方向发展。河南省盐碱地与 60 年代相比,随着区域性地下水位下降有大幅度好转,但

目前仍有 80 万 km^2 ,主要分布在豫东、豫北平原区。

2.2.3 地面沉降 开采利用地下水导致地面沉降是一种自然规律,应与地下水的合理开发利用结合起来认识。区域性地面沉降是否构成危害要视其在水循环系统和水的可持续利用影响程度,确定区域的允许沉降量,依次确定地下水允许开采水平,进行适度控制。相对而言,城市地区由于地下水集中大量开采,造成快速和不均匀的地面沉降,对地表造成危害,应作为地面沉降控制的重点。西安市是我国西北地区最早发现有地面沉降现象的城市。自 1959~1995 年,西安市已有 145.5 km^2 范围累计沉降量超过 2 000 mm。城郊大部分地区(除城区西北角外)累计沉降量超过了 600 mm,有 41 km^2 的地区超过了 1 000 mm,东八里村、大雁塔什字、沙坡村、胡家庙沉降中心超过了 2 000 mm,东八里村地段达到了 2 322 mm。目前,太原、郑州、开封、德州等城市地面沉降问题已比较严重。如太原市吴家堡一带地面累积沉降量达 1 300 mm,德州地面沉降,到 1994 年累积沉降量已达 300 mm。地面沉降主要是由于地下水严重超采引发的,西安市 1990 年起引进黑河水后,地面沉降局部已有趋缓迹象。

2.2.4 地裂缝 地裂缝的成因比较复杂,既有地质构造因素,也有地下水过度开采的影响,要针对不同特点进行研究。在汾渭盆地的西安市、渭南、运城及黄河下游等地,相继发现地裂缝现象。其中以西安市地裂缝问题最严重,共有地裂缝 11 条,面积约 155 km^2 ,呈带状发育,具准平行等间距沿 NEE 向展布,已造成南二环立交桥破坏、楼房严重断裂等问题。西安市地裂缝活动量的 70%~90%,是由过量抽取承压水引起的。

2.2.5 区域水污染 黄河是河南省三门峡、义马、郑州、新乡、开封、濮阳,山东省济南、青岛、东营等市以及郑州铝厂、中原油田、胜利油田的饮用水源和工业用水水源。近年来,由于黄河水质污染日趋严重,黄河流域城市饮用水源受到污染,已影响到城市供水水质。据有关资料,潼关、三门峡河段水质为 V 类,孟津、花园口河段水质为 IV 类,主要污染因子为非离子铵、高锰酸钾指数、BOD₅ 等,从水量丰、平、枯不同期的不同结果表明,水质相差不大。如花园口段,1997 年 12 个月中,有 10 个月水质为 IV 类,2 个月为 V 类,影响水质类型的因子有高锰酸钾指数、BOD₅、非离子铵、亚硝酸盐、氮、石油类、氟化物等,足见污染之严重。黄河水质污染的原因主要是径流量减少,黄河流域城镇排污量剧增,中上游入境水质较差,水污染治理滞后等。

地下水污染主要分布于黄河中游谷地及黄河下游的大中城市及滨海地带。已检出的污染物有酚、石油类、氰、六价铬、砷等。最严重的主要是西安市和宝鸡市,主要污染物有酚、氟、砷、六价铬。郑州、新乡、开封等市饮用水源受到污染,已影响到城市供水水质。

2.3 其它环境地质问题

2.3.1 下游河道稳定性问题 黄河泥沙的 1/4(约 4 亿 t)在下游河道淤积,造成黄河下游河床及漫滩高于河道两堤外地面,呈地上悬河,漫滩悬差一般为 3~5 m,最大达 10 m 以上。由于河流淤积,使河流地貌加速向不良方向演变。郑州—东坝头河段除漫滩向外倾斜外,两级河漫滩中已出现高滩不高,两级漫滩基本持平,甚至局部已形成高低倒置的防洪形势严峻的局面。东坝头—高村段堤距最宽,由于河水流路较早固定,河床淤积抬高,出现了高危的“床高滩低堤根洼”的二级悬河不良地貌。现行河道的泄洪能力较以前下降了 70%~80%,如“96.8”洪水黄河下游发生险情 5 280 次,比历史记载次数最多的 1964 年(花园口流量 9 430

m^3/s 的 4 300 次还多 980 次。黄河河道淤积及悬河悬差日益增大,严重威胁堤防的安全。尤其是花园口以东堤坝地基存在有软基、砂基、管涌、口门等自身问题,加上较大的悬河悬差,在高水位下,极易引发溃决险情。而横河、斜河的出现,在河流侵蚀作用下,又易引发堤防冲决破坏。

50 年来,黄河下游堤防先后 3 次加高培厚,兰考东坝头以上堤防加高了 2~4m,东坝头以下加高了 4~6m。目前,下游堤防一般高 9~10m,最高达 14m。堤防的标准为防御花园口站 $22\,000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水。

从黄河河道决溢、迁徙演变历史分析,河道迁徙演变除受气象、水文、水动力、地质地貌、构造运动、堤基与堤身性质等因素控制外,人为活动对其作用及影响亦日益重要。新构造运动是河道迁徙的宏观控制因素。最危险的河段有河南兰考—山东东明段及山东利津—河口段。应加强黄河下游河道稳定性问题研究,制定有效防治对策。

2.3.2 能源基地开发中的环境地质问题 能源基地和现代交通干线等各类工程活动对原始地表的改造已经产生负面影响,主要表现在挖方填方过程中的毁林毁草弃土弃石和高边坡失稳等,破坏了水土资源和生态环境。如神府、东胜、准格尔、晋西等煤田,都处在沙漠高原和黄土丘陵沟壑接壤地带,动土面积上千平方公里。这里是生态环境脆弱、水土流失和沙漠化严重地区,基建中毁掉了许多林草地,据估算弃土石方量达到数亿立方米,堆积在川、沟道中。1989 年 7 月 21 日,乌兰木伦河(窟野河支流)上游一场暴雨发生洪水,位于下游的神府、东胜矿区遭遇了一次洪灾,洪峰流量为 $13\,900\text{m}^3/\text{s}$ (当地百年一遇为 $9\,100\text{m}^3/\text{s}$),持续 15 分钟,河水位陡涨 10m 左右,将川、沟道内排弃的土石渣席卷而去,煤炭堆放场被洗劫一空,洪水漫过河堤,一次淤平了堤外深 2m 多的大洼地,沿河正在施工的铁路、公路桥涵、水利设施多处被冲毁,三个施工点、一个临时住地及其施工设备被淹没或冲毁,死亡 10 人,经济损失近 800 万元人民币。能源基地和黄河中游地区其他开发、建设项目中的消极影响,也不断暴露出来^[5],对当地及黄河下游的安危已构成潜在的威胁。

3 解决黄河流域水资源问题的对策建议

(1) 转变对黄河流域水资源认识的观念,突出两个并重“水的资源作用和生态作用并重,当前要尤其突出其生态作用;水资源的数量和质量保护利用并重,当前要尤其重视水质量的保护和利用”。

(2) 建议修改国家黄河流域规划,以确保黄河维持生态流量,不发生断流为规划的第一前提,重新科学核定分水方案;建议国家编制黄河流域国土整治规划,从国土整治规划的高度落实和监督对水资源的利用,对现行水资源管理体制应进行改革,实现水资源管理与水产业分离。

(3) 解决黄河流域日益严重的缺水问题,采取“立足本流域水资源,加强科学管理,在节水中求发展”的方针。节水关键在农业,农业用水在总用水量中所占的比例最大,一般在 80% 左右。由于灌溉方式落后,不少地区仍沿用大水漫灌,灌溉定额过大,浪费严重,因此农业用水中,节水的潜力很大。

(4) 建议国家在西部大开发前期加大黄河中上游地下水资源勘查力度,将其列入基础设施建设计划,大规模运用先进科技手段,迅速提高勘查程度,力争在查明和扩大地下水可采

量方面取得较大突破,为西部大开发的后续建设提供水资源保障。

(5)在黄河中上游已查明地下水相对富集、具有开发利用前景的宁夏平原、呼包平原等地区,在示范研究取得经验的基础上通过加大地下水开发利用,节约地表水引黄灌溉,改良土壤质量,减轻盐渍化危害。

(6)在黄河下游地质条件有利地段,充分利用傍河取水、地下水库调蓄等地表水—地下水联合调蓄、合理利用的措施。地下水具有调蓄功能和水质优良的特点,又有较大的静储量可供调节,而且地下水开采便利,投资少,在水资源开发利用中,地下水的用水量占总用水量的34%左右。因此应重视地下水的战略地位和作用,科学合理实施地表水、地下水联合利用。

(7)要尽快组织多学科专家联合攻关,查清黄河源头地区生态恶化、水源枯竭的地质原因,提出维持地下水位、保护草场资源和湿地资源、恢复良好生态的具体对策。

参 考 文 献

- 1 张宗祜,张之一,施德鸿等.黄土高原区域环境地质问题及治理.北京:科学出版社,1996.
- 2 秦毅苏,李铮华,魏明建等.黄河流域地下水资源合理开发利用.郑州:黄河水利出版社,1998.
- 3 石建省,曹树林,余国光,李俊亭.黄土与古气候演化.北京:地质出版社,1998.
- 4 唐 灿,孟 晖.河西走廊地区土地荒漠化与水资源开发利用问题分析.地球学报,1999,20卷(总57):686~691.
- 5 张发旺,王贵玲,侯新伟.矿业开发对地质生态环境的影响及其调控.地球学报,1999,20卷(总57期):773~777.

Groundwater Resources and Main Environment – Geological Problems in the Huanghe River Valley As Well As Some Countermeasures

Shi Jiangsheng Zhang Fawang Qin Yisu Li Ruimin Ye Hao

(*Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Zhengding, Hebei*)

Liu Zuzhi An Lizhong Pei Hanhua Guo Zhenzhong)

(*Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an*) (*Shanxi Institute of Geological Survey, Taiyuan*)

Zhao Yunzhang

Wang Yanjun

(*Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou*) (*Shandong Institute of Geological Survey, Qingdao*)

Abstract A detailed recalculation presents new data concerning the groundwater resources in Huanghe River valley: the total natural fresh groundwater resources amount to $403.51 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, including $182.42 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ of the total exploitable fresh groundwater resources.

Key word groundwater resource environment geology countermeasure Huanghe River valley