

文章编号: 1000-3037 (2001) 06-0547-05

黄河流域可供水量究竟有多少?

贾绍凤, 张士锋

(中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:黄河是我国水资源最紧张的河流之一, 但关于黄河流域可供水量, 几个很权威的文献却差别很大, 高的达到 $692 \times 10^8 \text{ m}^3$, 低的低到 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。而 20 世纪 90 年代又出现了黄河流域天然径流大为减少的情况, 平水年份下河川天然径流量比多年平均减少 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。所以, 黄河流域的可供水量究竟有多少是急迫需要弄清的问题, 因为它关系到黄河流域的水资源可持续利用战略决策。论文的研究结论是: 在 2010 年水平年, 在平水年条件下, 黄河流域的可供水量只有 $550 \times 10^8 \sim 560 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中地表水 $390 \times 10^8 \sim 400 \times 10^8 \text{ m}^3$, 地下水 $160 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。所以, 黄河流域的可供水量比原来估算的最低数 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$ 还低 $20 \times 10^8 \sim 30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而比原来估计的最高数 $692 \times 10^8 \text{ m}^3$ 要低 20%, 差 $140 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。这就给黄河流域的水资源供需平衡对策提出了更严峻的问题。

关键词: 黄河流域; 可供水量; 水资源

中图分类号: TV211 文献标识码: A

1 问题

黄河是我国的第二大河流, 流域面积 $79.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全国国土面积的 8.3%。沿途流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南和山东 9 个省区。但是黄河流域的水资源十分紧缺, 河川径流量为 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$, 仅占全国河川径流的 2.1%。此外, 由于华北平原水资源紧缺, 黄河还要向河北、天津等省市供水。所以, 黄河流域的水资源供需矛盾更为突出。但是, 关于黄河流域的可供水量, 不同的研究有不同的结论。国家八五攻关结果认为^[1], 根据两种高低不同的社会经济发展水平方案, 2010 年平水年份下黄河流域的可供水量分别为 631×10^8 和 $692 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。黄委会主编的《黄河水资源》一书中^[2], 也提出黄河流域 2010 年可供水量为 $692 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。按照《黄河治理开发规划纲要》的供需平衡分析, 2010 年的可供水量为 $676 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^①。而全国水中长期计划采用的数据是, 2010 年黄河流域内可供水量为 $487 \times 10^8 \text{ m}^3$, 加上 $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 流域外引水, 黄河可供水量只有 $577 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[3]。水利部“黄河的重大问题及其对策”^②的研究认为, 2010 年黄河流域可供水量为 $580 \times 10^8 \sim 590 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。显然, 可供水量的大小差别很大, 大数比小数要多出 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。那么, 黄河流域可供水量究竟有多少? 鉴于这一问题对黄河流域水资源供需平衡对策和可持续利用战略对策的重要性, 本文对黄河流域可供水量作了进一步的分析。

2 可供水量概念及计算方法

本文的可供水量指可从地表和地下天然水体取走供人类利用的水量。与可供水量紧密相关的概念是可利用量。可利用量是在保护生态环境且经济技术合理的前提下、在总水资源量中可供人类净消耗的那部分水资源量。可供水量与可利用量的关系是: 由于从天然水体引走的水往往没有被全部消耗, 而是有一部分

收稿日期: 2001-04-06; 修订日期: 2001-06-20。

基金项目: 国家重点基础发展规划项目 (G1999043601、G1999043602)、中国科学院重点研究项目 (区域 VI-9903) 资助。

第一作者简介: 贾绍凤 (1964-), 男 (土家族), 湖南龙山人, 副研究员, 从事水文水资源研究, 发表论文 50 多篇。

①水利部黄河水利委员会. 黄河治理开发规划纲要. 1996。

②中华人民共和国水利部. 黄河水资源供需分析及对策. 1999-12。

回到了天然水体 (如灌溉回归水等), 这些回归水还可以重复利用。所以, 可从天然水体引走的水量即可供水量可以大于可净消耗的可利用量, 即可供水量等于可利用量乘以重复利用倍数。

黄河流域可供水量采用以下方法求得:

$$M=r_1Y_1+r_2Y_2+Y_3$$

其中, M 是可供水量, Y_1 是流域内地表水可利用量 (可净消耗量), r_1 是地表水重复利用倍数, Y_2 为流域内地下水可利用量 (可净消耗量), r_2 是地下水重复利用倍数, Y_3 是流域外引水量。

水资源可利用量与水资源总量及其可利用程度有关。在可持续利用原则下, 水资源开发利用应以生态保护为前提。对地表水而言,

$$Y_1=W_s-S-Y_3$$

式中, W_s 是地表水资源量, S 是生态用水量, 包括入海水量和流域非用水消耗量。非用水消耗量又包括中游水土保持用水量、上中游修建水利工程后增加的水面和湿地蒸发量和下游河道的蒸发、侧渗等。

对于地下水,

$$Y_2=W_g-F_g$$

其中, W_g 是地下水水资源量, F_g 是潜水蒸发量。这里对地下水没有考虑流域外引水量。

水资源可利用量 (可消耗量) 指通过水利工程供给工业、农业和生活等用水部门的毛用水量减去回归水后的净消耗量, 包括农田蒸发、产品带走的水资源等。

在黄河流域, 由于流域外引水不会回归到黄河流域, 所以在黄河流域的水资源平衡分析中, 视流域外引水为全部消耗, 亦即黄河流域外可供水量实际就是流域外可引水量。

水资源重复利用倍数 r 与引水的消耗系数 α 、回归系数 β 有下列关系:

$$r = 1/\alpha \quad \alpha = 1-\beta$$

3 2010 年黄河流域可供水量分析

可供水量与水资源量、生态需水量、可利用量及消耗系数等变量有关。

3.1 黄河流域水资源量

流域水资源评价一般采用分区还原累加法和控制断面法两种。分区还原累加法是将河流划分为若干分区, 首先对各分区的实测径流进行影响水量的还原, 再逐区累加, 所求水量为流域的产水量, 也称为产水量法, 其缺点是在断面汇总时没有考虑沿途蒸发、渗漏及槽蓄的影响, 水资源评价的结果偏大。控制断面法以干支流各主要断面实测径流为基础, 将该断面以上的还原水量与实测径流相加, 并折算到各河段, 即为各断面的天然径流量。所求水量是流域产流、汇流后断面实际天然径流量, 这一水量是流域规划和水利水电工程规划设计的基础。

按照不同的方法对黄河流域水资源进行评价得到的结论也有明显的区别。用产水量法使用 1956~1979 年的 24 年系列, 评价的黄河流域多年平均地表水资源量为 $661.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。而用断面控制法使用 1919~1975 年的 56 年系列评价得到的河川径流量为 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于前述原因, 一般用断面法的结果, 即 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

进入 80 年代, 黄河流域降雨径流关系发生了显著变化, 相同降水条件下流域产水明显减少^[6]。据《中国水资源公报》和《黄河流域水资源公报》统计结果, 1996 年和 1998 年是黄河流域的平水年份, 其河川径流量比多年平均径流量要少约 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 1)。究其原因有:

表 1 平水年份下黄河流域地表径流产水量变化

Table 1 Runoff generation change in a mean hydrological year of the Yellow River drainage basin

评价方法		降水量 (mm)	降水量 (10^8m^3)	降水丰枯情况	径量 (10^8m^3)	径流变化 (10^8m^3)	径流变化 (%)
多年平均	断面控制法			56 年平均	559		
1998	(花园口)	462.5	3 679	平水年	447.97	-111	-20
多年平均		464.4	3 691	24 年平均	661.4		
1996	产水量法	446	3 549	平水年	549.2	-112	-17
1998		462.5	3 679	平水年	553.4	-108	-16

注: 资料来源于 1998 年黄河水利委员会《黄河流域水资源公报》和 1996 年、1998 年中华人民共和国水利部《中国水资源公报》。

第一是由于地下水的开采使河川径流产水量下降。经水平衡分析,在渭河、汾河山区每年地下水开采量在 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,这些地区的地下水开采减少了地下水对河川径流量的补给大约为 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。刘昌明等^[4]得出了黄河中下游基流量有下降趋势的结论。初步估计,整个黄河流域由于地下水开采使河川径流量减少 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。

第二个原因是前一年末土壤水分偏少,导致第二年产水率下降。如果前一年降水量偏少,水资源紧缺而导致田间土壤水分亏缺,会使次年的降水产流受到一定的影响,产流系数会有所下降。经对黄河流域降水和径流资料的分析,在 1996 年和 1998 年由于其前一年降水量偏少,使当年流域产水量比其前一年(正常年)少产生径流约 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

第三个原因是近年来气候变化的影响。据李林等^[5]研究,20 世纪 80 年代以来,黄河上游流域蒸散量以 3.25 mm 的速度递增,直接使黄河上游流量减少。王国庆等^[6]、孙国武等^[7]研究了气候变化对黄河中上游水量的影响,认为若温度上升 1°C ,降水量不变,中上游的产水量将减少 $21.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。笔者估计黄河流域由于温度偏高年产水量下降约 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

第四个原因是下垫面的变化。实施水土保持措施,必然要消耗水资源,这包括对部分土壤水、地下水 and 河川径流的利用。水土保持措施的目标是增加土地的植物覆盖比例,把裸土种上林木、农作物和草。这样,原来的裸土植被化以后,可以拦截一部分河川径流,使产流量减少。据潘贤娣^[8]、熊贵枢等^[9]、徐明权等^[10]研究,这个因素的影响大约在 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。

第五,由于水利工程的建设,水库面积和湿地面积增加,蒸发量也会增加。三门峡、刘家峡、龙羊峡等水库增加的水面达 $1\,000 \text{ km}^2$,年均水面蒸发量按 $1\,000 \text{ mm}$ 计算,则水库水面蒸发损失量年均约 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

第六,由于水资源费、水价等因素,各地区有少报用水量的倾向,致使还原的天然径流量偏少。有关方面初步估计偏少的量约为 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

上述各因素的综合作用,使 1996 年和 1998 年平水年的天然径流量比多年平均天然径流量少了 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。如果还原到 1919~1975 年系列的多年平均情况,黄河流域的天然径流量仍会有 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。也就是说,这两个平水年天然径流量的偏少可以得到合理的解释。当然,由于目前的研究精度还不很高,以上对很多影响因素的定量还很概略,有待于进一步深入研究,但其根据是客观的。

有关地下水资源的评价,国家“八五攻关”结果(1995 年)显示,黄河流域地下水资源量为 $403.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中不重复量为 $138.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ (矿化度小于 1g/L),而 1986 年第一次水资源评价的结果为 $405.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中不重复量为 $82.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。这两种方法的地下水资源量是一致的,但是对于地表水与地下水的重复计算量有所不同。前一种方法在计算地表水与地下水的重复量时没有扣除小片平原地区地表水与地下水的重复量,所以数值偏大,而后一种方法又偏小,综合评价采用不重复地下水资源量为 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

综合地表水、地下水资源评价的结果,现状水平下黄河流域水资源总量为 $690 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中地表水 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水不重复资源量为 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于地表水资源与地下水资源互相重复的部分可以地下水形式开发利用(目前约 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$),所以地下水可开发利用量可以大于 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$,相应地河川径流量有所减少,但是水资源总量维持不变,即:地下水资源量增加为 $140 \times 10^8 \text{ m}^3$,地表水减少为 $550 \times 10^8 \text{ m}^3$,水资源总量仍为 $690 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3.2 黄河流域入海量和非用水消耗量的估算

按照黄河流域生态环境需水的要求,黄河需要冲沙入海和各项非用水消耗。黄河的汛期冲沙水量为 $130 \times 10^8 \text{ m}^3$,枯水期入海平均流量为 $250 \text{ m}^3/\text{s}$,枯水期总的入海量为 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$,因此,2010 年要求的入海冲沙水量为 $180 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^③。

2010 年非用水消耗包括中游水土保持、水库湿地蒸发、潜水蒸发、下游河道蒸发侧渗等项。

黄河中游水土保持现状耗水约 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$,随着水土保持工作的开展,水保用水量将会进一步增加,预计到 2010 年会达到 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

黄河上中游的各大水库有较大的自由蒸发水面,上游的龙羊峡、刘家峡水库,中游的三门峡水库蒸发每年达数亿 m^3 ,预计到 2010 年万家寨、小浪底等水利枢纽正常运行时,水库蒸发将达到 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。

地下水现状实际每年开采约 $130 \times 10^8 \text{ m}^3$,由于用水的回水,实际地下水耗水量为 $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。另

③水利部黄河水利委员会.黄河治理开发规划纲要.1996.

外大部分地下水开发在中游渭汾涑河盆地和下游汶河盆地, 所以有地下水超采形成的漏斗, 而在上游的宁夏地区, 部分地下水没有充分利用, 形成潜水蒸发, 黄河流域现状潜水蒸发量在 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。到 2010 年这些地下水会进一步开发利用, 预计 2010 年潜水蒸发量为 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。

黄河下游河道宽浅游荡, 水面蒸发较大, 且河道地势高, 侧渗较为严重。根据 1998 年和 1999 年两年的下游河道水资源平衡分析 (表 2), 黄河下游河道地表水的平均非用水消耗量为 $48 \times 10^8 \text{ m}^3$, 包括水面蒸发量和侧渗量。考虑下游用水量的计量精度和统计误差, 实际侧渗和水面蒸发值为 $35 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。预计 2010 年水平年的黄河下游河道非用水消耗为 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。另外据 1996 年国家“八五攻关”结果, 黄河下游的地下水资源量为 $31.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中山区 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$, 平原区 $16.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于山区地下水全部补给河川径流, 而河南、山东两省平原地下水补给河川径流为 12%, 所以, 黄河下游的不重复地下水资源量为 $14.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。但是, 现状下游黄河地下水开采量达 $22 \times 10^8 \sim 24 \times 10^8 \text{ m}^3$, 耗水量也达到 $16 \times 10^8 \sim 18 \times 10^8 \text{ m}^3$, 已经超过这一水资源量, 可以认为下游 (除了干流河道) 没有潜水蒸发。整个下游的非用水消耗总量为 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表 2 下游地表水水量平衡

Table 2 Surface water balance in the lower reaches of the Yellow River

(单位: 10^8 m^3)

年份	花园口径流	下游地表水	下游用水消耗	入海水量	下游水库调蓄	非用水消耗量
1998	218	24.4	97.9	101.52	1.73	41.25
1999	208.5	11.49	106.05	61.69	-2.72	54.97

注: 资料来源于 1998 年、1999 年《黄河流域水资源公报》和《中国水资源公报》。

综合以上各项分析, 2010 年黄河流域的入海水量和非用水消耗量总计为 $260 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3.3 2010 年黄河流域的可供水量

表 3 2010 年黄河流域可供水量

Table 3 Water supply capacity of the Yellow River in 2010

(单位: 10^8 m^3)

项目	总量	地表水	地下水
水资源	690	550	140
入海水量	180	180	0
中游水保用水	20	20	0
上中游水库蒸发	10	10	0
上中游潜水蒸发	10	0	10
下游蒸发侧渗	40	40	0
可供耗水量	430	300	130
其中流域内耗水	340	210	130
流域外引水	90	90	0
流域内供水	460~470	300~310	160
黄河流域可供水量	550~560	390~400	160

根据以上各项分析, 可计算出 2010 年水平年、平水年情况下黄河流域可供水量: 流域内地表水可利用量为 $210 \times 10^8 \text{ m}^3$; 流域内地下水可利用量为 $130 \times 10^8 \text{ m}^3$; 流域外引水量为 $90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

目前, 黄河流域的用水消耗系数为 0.6, 随着水资源用水效率的提高, 回水量会逐渐减少, 用水消耗系数也会进一步提高。预计到 2010 年消耗系数会达到 0.7 左右, 地表水可重复利用倍数为 $r_1=1.43$; 而地下水的消耗系数会提高到 0.8, 地下水可重复利用倍数为 $r_2=1.25$; 总可供水量为 $552.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

由此可知, 2010 年平水年份下黄河流域的供水态势 (表 3) 是, 黄河流域可供水量为 $550 \times 10^8 \sim 560 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中地下水 $160 \times 10^8 \text{ m}^3$, 地表水 $390 \times 10^8 \sim 400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。花园口的河川径流量将在 $310 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右, 其分配方式是: 流域外引水 $90 \times 10^8 \text{ m}^3$; 入海径

流 $180 \times 10^8 \text{ m}^3$; 下游侧渗蒸发等非用水消耗 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。

4 结论

通过以上分析可以得出以下结论: 在 2010 年水平年, 在平水年条件下, 黄河流域的可供水量只有 $550 \times 10^8 \sim 560 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中地表水 $390 \times 10^8 \sim 400 \times 10^8 \text{ m}^3$, 地下水 $160 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。显然, 黄河流域的可供水量比原来估算的最低数 $580 \times 10^8 \text{ m}^3$ 还低 $20 \times 10^8 \sim 30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而比原来估计的最高数 $692 \times 10^8 \text{ m}^3$ 要低 20%, 差 $140 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。这就给黄河流域的水资源供需平衡对策提出了更严峻的问题。以前所做的黄河流域水资源供需规划有必要根据新的可供水量数据进行调整。希望有关部门对黄河流域的可供水量给予关注和重视。

参考文献:

- [1] 常柄炎,等.黄河流域水资源合理分配和优化调度[M].郑州:黄河水利出版社,1998.
- [2] 席家治.黄河水资源[M].郑州:黄河水利出版社,1996.
- [3] 水利部南京水文水资源研究所,中国水利水电科学研究院水资源研究所.21世纪中国水供求[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [4] 刘昌明,成立.黄河干流下游断流的径流系列分析[J].地理学报,2000,55(3):257~265.
- [5] 李林,张国胜,汪青春,等.黄河上游流域蒸散量及其影响因子研究[J].地球科学进展,2000,15(3):256~259.
- [6] 王国庆,王云璋.气候变化对黄河中上游水量的影响[J].人民黄河,1994(12):10~13.
- [7] 孙国武,刘晓东.夏季青藏高原地面热源对黄河上游流量及径流的影响[J].应用气象学报,1993,4(1):22~29.
- [8] 潘贤娣,等.对黄河水沙特性变化的主要认识[J].人民黄河,1999,21(8):1~2.
- [9] 熊贵枢,支俊峰.1911~1989年黄河的水沙变化分析[J].水土保持学报,1992,6(2):1~6.
- [10] 徐明权,杨小庆.浅谈黄河水沙变化研究进展[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(3):19~25.

Analysis on the water supply capacity of the Yellow River Drainage Basin

JIA Shao-feng, ZHANG Shi-feng

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101,China)

Abstract: Yellow River is one of the rivers with scarce water resources. There are a few important research results about the water supply capacity in 2010, but the estimated amount of water supply differs greatly. The highest is 69.2 billion m^3 while the lowest, 58 billion m^3 . Furthermore, the substantial drop of the natural runoff occurred in the 1990s. As a result, the runoff amount in a mean hydrological year is 11 billion m^3 less than that of the historic mean year level. Therefore it is very urgent to make it clear that how much the water supply would be in the 2010 in the Yellow River since it concerns the sustainable utilization strategy of water resource in the Yellow River drainage basin. The research result of this paper shows that the water supply in 2010 is only 55~56 billion m^3 in a mean hydrological year, among which surface runoff accounts for 39~40 billion m^3 and groundwater takes another 16 billion m^3 . This result is 2~3 billion m^3 less than the 58 billion m^3 , which is the least figure of the aforementioned results, and is 20%, or 14 billion m^3 less than the largest 69.2 billion m^3 . This poses an even more serious question to the water demand-supply balance strategy.

Key words: Yellow River drainage basin; water supply; water resources