

# 太行山前平原地下调蓄能力研究

张光辉<sup>1)</sup> 费宇红<sup>2)</sup> 刑开<sup>3)</sup> 刘克岩<sup>4)</sup> 王金哲<sup>1)</sup> 申建梅<sup>1)</sup> 聂振龙<sup>1)</sup>

1) 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄, 050061; 2) 河海大学水文水资源与环境学院, 南京, 210098; 3) 黑龙江省水文地质勘察院, 哈尔滨, 150036; 4) 河北省水文水资源勘测局, 石家庄, 050031

**摘要** 本文通过地下调蓄库容、受水能力、给水能力和地表汇水输水条件的指标等级量化, 建立的百分制多元指标评价方法比较客观地量化出太行山山前平原5个洪积扇区、8个靶区的地下调蓄能力及其可利用性。综合评价结果, 石景山—大兴靶区、石家庄—晋县靶区和邢台靶区可作为南水北调地下调蓄首选目标, 房山—容城靶区、望都—定县—新乐靶区和磁县—安阳靶区可作为南水北调地下调蓄的主要备选场所, 邯郸靶区和辉县—新乡靶区适宜作为井灌小型地下调蓄场所。

**关键词** 山前平原 地下调蓄能力 多元指标量化 南水北调

## The Underground Reserve Capacity of the Taihang Piedmont Plain

ZHANG Guanghui<sup>1)</sup> FEI Yuhong<sup>2)</sup> XING Kai<sup>3)</sup> LIU Keyan<sup>4)</sup> WANG Jinzhe<sup>1)</sup>  
SHEN Jianmei<sup>1)</sup> NIE Zhenlong<sup>1)</sup>

1) Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang, Hebei, 050061; 2) College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing, Jiangsu, 210098; 3) Heilongjiang Bureau of Groundwater Resources Survey, Harbin, Heilongjiang, 150036; 4) Hebei Bureau of Water Resources Survey, Shijiazhuang, Hebei, 050031

**Abstract** According to the evaluation of such factors as storage capacity, infiltration and supply condition of the aquifers and surface converge condition on the basis of the hundred-mark system of pluralistic indexes, the authors studied the underground reserve capacity of Taihang piedmont plain. The aquifer reserve functions of five study regions and eight target areas are evaluated. The Shijing-shan-Daxing area, the Shijiazhuang-Jinxian area and the Xingtai area constitute the first underground reserve target for the Water Transfer from South to North, whereas the Fangshan-Rongcheng area, the Wangdu-Dingxian-Xinle area and the Chician-Anyang area possess the second importance in this aspect. The Handan area and the Huixian-Xinxiang area can serve as small-type underground reserve sites for well irrigation.

**Key words** piedmont plain underground reserve capacity pluralistic index evaluation Water Transfer from South to North

中线调水工程地表调蓄能力不足是其面临的重大问题之一<sup>①</sup>。太行山前平原丰富的地下调蓄空间资源, 是解决上述问题有效途径。但是如何量化评价太行山前平原地下调蓄能力, 是急需解决的关键问题之一。本文采用多元指标量化评价方法, 探讨定量评价太行山前平原地下调蓄能力及其可利用性, 因此本研究具有重要意义。

纵观国内外地下调蓄发展过程, 普遍遵循一个共同规律: 初期, 为了解决地下水位大幅度下降所带

来严重后果, 而被动地采取弥补措施(Bouwer, 2002; de Vries, 2002; Sanford, 2002; Sophocleous, 2002; 张光辉等, 2000, 2003)。40%~52%的国外地下调蓄设施是用于地下水调节和储存, 还有一部分是服务于地下水天然净化。地下水调节和储存的调蓄, 多选择在冲洪积扇区, 特别是上游区有水库进行调节供水配合更为理想。

在评价方法上, 尚未见地下调蓄的多元指标量化评价研究成果报道<sup>②</sup>, 多采用传统的储量评价理

本文由国家科技部公益项目“太行山前平原地下调蓄潜力与效益”(编号: 2000-163)资助。

① 朱尔明. 2001. 南水北调工程. 水利信息网.

② 徐曙光, 王淑梅. 2003. 太行山前平原南水北调地下调蓄潜力与效益的科技查新报告(编号: 2003-002). 国土资源部信息中心.

改回日期: 2005-11-09, 责任编辑: 郝梓国.

第一作者简介: 张光辉, 男, 1959年生, 研究员, 博士生导师, 主要从事不同尺度水循环演化与地下水可持续利用研究, Email: Huanjing@heinfo.net, 万方数据

念,存在一定的局限性(籍传茂等,1999;张宗祜等,2001;Healy et al.,2002)。

1 调蓄基础条件

研究区位置如图 1 所示。自北至南,太行山前平原较大冲洪积扇群有 北京—永定河扇区(Ⅰ) 保定—石家庄—滹沱河扇区(Ⅱ) 邢台—沙河扇区(Ⅲ) 邯郸—安阳—滏漳河扇区(Ⅳ) 和新乡—大沙河扇区(Ⅴ) 如图 2 所示。

北京—永定河区(Ⅰ):主要是  $Q_3$  和  $Q_4$  砂卵砾石层,厚度 15.5~30.9 m,其中粗中砂夹砾、卵石层分布面积 3102 km<sup>2</sup>,厚度 15.5~30.9 m;中砂、细砂层分布面积 2 503 km<sup>2</sup>,厚度 16.1~26.2 m。砂层出露区为砂砾石,面积 482 km<sup>2</sup>。地下水水位埋深 6~30 m,地下水水位降落漏斗容积 32.3 亿 m<sup>3</sup>。

保定—石家庄—滹沱河区(Ⅱ):主要是  $Q_3$  和  $Q_4$  粗砂、中砂及卵砾石层,砂层厚度 23.1~33.6 m,其中粗中砂层分布面积 4117 km<sup>2</sup>,厚度 23.6~33.6 m;中砂中细砂层分布面积 4979 km<sup>2</sup>,厚度 23.1~30.2 m。砂层出露区为砂砾石及中细砂,面积 455 km<sup>2</sup>。地下水水位埋深 10~45 m,地下水水位降落漏斗容积 72.62 亿 m<sup>3</sup>。

邢台—沙河区(Ⅲ):主要是  $Q_3$  和  $Q_4$  中粗砂和中细砂层,砂层厚度 18.8~23.3 m,其中粗中砂层分布面积 2262 km<sup>2</sup>,厚度 21.9 m;中细砂层分布面积 1292 km<sup>2</sup>,厚度 18.8~23.3 m。无砂层裸露。地下水水位埋深 10~50 m,地下水水位降落漏斗容积 23.03 亿 m<sup>3</sup>。

邯郸—安阳—滏漳河区(Ⅳ):主要是  $Q_3$  和  $Q_4$  砂砾石、粗砂夹粘性土层,砂层厚度 6.9~18.4 m,其中粗中砂层分布面积 1873 km<sup>2</sup>,厚度 6.9~15.8 m;中细砂层分布面积 1771 km<sup>2</sup>,厚度 11.4~18.4 m。无砂层出露。地下水水位埋深 20~40 m,地下水水位降落漏斗容积 6.36 亿 m<sup>3</sup>。

新乡—大沙河调蓄区(Ⅴ):主要是  $Q_3$  和  $Q_4$  粉细砂层,砂层厚度 18.8 m,其中粗中砂含砾石层分布面积 399 km<sup>2</sup>,厚度 18.8 m;中细砂层分布面积 925 km<sup>2</sup>,厚度 12.2~47.7 m。无砂层出露区。地下水水位埋深 5~25 m,地下水水位降落漏斗容积 3.27 亿 m<sup>3</sup>。

2 地下调蓄能力类型与约束条件

2.1 调蓄库容类型

最大调蓄潜在库容指地表至研究底界范围砂层

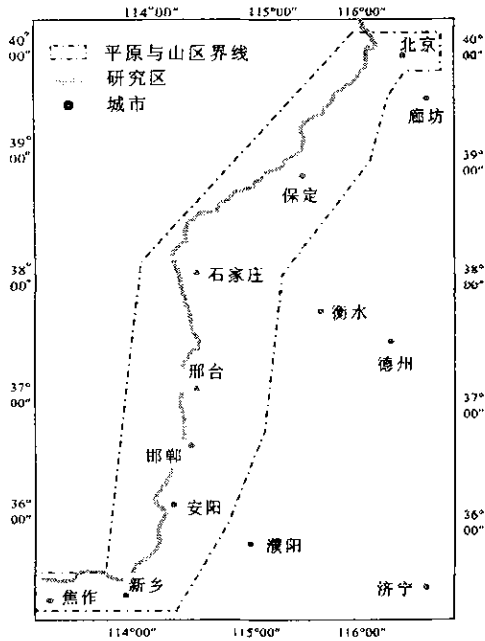


图 1 研究区地理位置图

Fig.1 Location map of study area

1—平原与山区界线;2—研究区

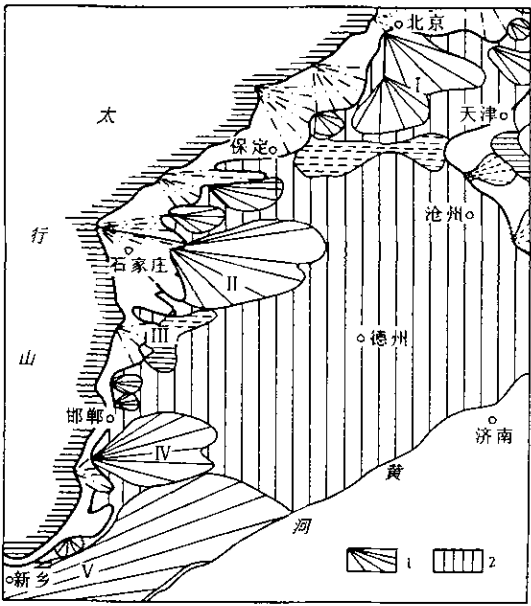


图 2 太行山前洪积扇群分布图

Fig.2 Distribution map of Taihangshan piedmont plain

1—冲洪积扇;2—冲积平原

1—alluvial pluvial fan;2—alluvial plain

疏干后所具有储存外来客水的容积。有效调蓄库容指在最大调蓄潜在库容基础上,消除地下水蒸发影响后的剩余库容。可利用调蓄库容指地下 3 m 处至潜水面范围砂层所具有储存外来客水的容积。

2.2 调蓄靶区约束条件

地下调蓄靶区应具备一定规模的地下储水空间(主要指砂层厚度及其分布范围)和良好的地表汇水与入渗条件,以及水文地质单元的完整性、含水层强储水性和给水性,还有含水层之上包气带强渗透性。

本文还考虑了下列条件:① 含水层埋藏较浅,易于渗水补给和开采,调蓄周期适宜;② 由于开采影响,研究区的第 I、II 含水层组之间形成了密切水力联系,因此最大调蓄库容的底界深度为第 II 含水层组底板埋深;③ 1999 年的浅层地下水位埋深,作为本文研究可利用调蓄库容的底界;④ 地面以下 3 m 处,为消除地下水蒸发影响而确定的有效调蓄库容顶界;⑤ 据前人成果,粉砂含水层厚度不小于 15 m 时,才能满足 3 寸离心水泵的抽水技术要求,由此推算储水系数为 1.2。因此砂层  $\sum \mu_i h_i \geq 1.2$  被作为圈定地下调蓄靶区的主要技术指标。

3 地下调蓄能力

根据上述原则研究结果,太行山前平原的最大调蓄潜在库容 537.8 亿 m<sup>3</sup>,有效调蓄库容 531.0 亿 m<sup>3</sup>,现状可利用调蓄库容 138.3 亿 m<sup>3</sup>(表 1)。从库容大小来看,保定—石家庄—滹沱河扇区(II)可利用调蓄库容最大,其两个靶区库容分别为 27.69 亿 m<sup>3</sup>和 37.82 亿 m<sup>3</sup>,其次是北京—永定河扇区(I),它的两个靶区库容分别为 25.24 亿 m<sup>3</sup>和 5.90 亿 m<sup>3</sup>,邢台—沙河扇区(III)可利用调蓄库容也较大,为 23.03 亿 m<sup>3</sup>(图 3)。其它扇区的可利用调蓄库容较小,都小于 5.0 亿 m<sup>3</sup>。

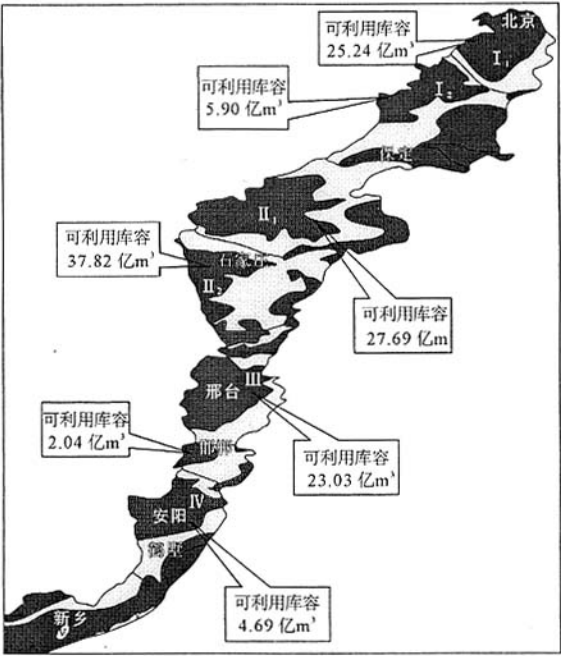


图 3 太行山前平原地下调蓄分布图  
Fig. 3 Distribution map of aquifers reserve capacity in Taihangshan piedmont plain

4 评价指标与方法

下列地下调蓄潜力的评价方法及其指标体系,适用我国北方山前平原地下调蓄潜力评价。主要评价指标有:库容规模( $V_g$ )、受水能力( $\alpha$ 和 $K_r$ )、给水能力( $\mu_z$ )和地表汇水与调蓄条件( $E_s$ ),如表 2 所示。

根据地下调蓄靶区可利用性的大小,划分为充分利用型、可利用型和有利用潜力型 3 个类别。在 3 个类别的基础上,又根据其入渗性和给水性而划分为优级、良级和一般 3 个等级。在每个等级中,由储水、入渗、给水和地表条件指标构成 63 个类型(表 3),没有包括  $A_{12}$ 、 $A_{21}$ 、 $B_{12}$ 和  $B_{21}$  指标的组合,将  $A_{12}$ 、

表 1 太行山前平原地下调蓄靶区条件

Table 1 Condition of the aquifers reserve capacity in the target area of Taihangshan piedmont plain

序号	调蓄区及代码	调蓄区面积 /km <sup>2</sup>	储水系数	可利用库容 /亿 m <sup>3</sup>	水文地质特征		
					调蓄层岩性	水位埋深/m	平均 $\mu$ 值
1	石景山—大兴靶区( I <sub>1</sub> )	2528	1.94~3.99	25.24	粗砂、砾石、砂及卵石,含粘土	10~30	0.075~0.130
2	房山—容城靶区( I <sub>2</sub> )	3077	1.08~1.63	5.90	上部亚砂,下部砂卵石、以粗砂为主	7~20	0.071~0.113
3	望都—定县—新乐靶区( II <sub>1</sub> )	5258	2.15~2.48	27.69	以砂砾石、粗砂为主	10~25	0.075~0.109
4	石家庄—晋县靶区( II <sub>2</sub> )	3837	2.15~2.48	37.82	以卵砾石、含砾粗砂、中砂为主	20~40	0.074~0.120
5	邢台靶区( III )	3554	1.12~1.60	23.03	以中粗砂、细砂为主	20~45	0.056~0.078
6	邯郸靶区( IV <sub>1</sub> )	998	1.03	2.04	砂砾石、粗砂夹粘性土	20~40	0.058~0.079
7	磁县—安阳县靶区( IV <sub>2</sub> )	1785	1.07~1.15	4.69	卵砾石夹粘性土	15~35	0.053~0.073

表 2 地下调蓄潜力评价指标体系

Table 2 Evaluation indexes of the aquifers reserve capacity

$V_g/亿\ m^3$			$\alpha$ 和 $K_r/m\cdot d^{-1}$			$\mu_Z$			$E_S$		
大型	中型	小型	A 类	B 类	C 类	I 级	II 级	III 级	a 组	b 组	c 组
$\geq 10$	5~10	<5	粗砂级以上 $\alpha\geq 0.5$ $K_r\geq 100$	细砂—粗砂级 $0.5>\alpha\geq 0.3$ $100>K_r\geq 10$	细砂级以下 $\alpha<0.3$ $K_r<10$	粗砂级以上 $\alpha\geq 0.1$	细砂—粗砂级间 $\alpha=0.06\sim 0.1$	细砂级以下 $\alpha<0.06$	上游区有大中型水库或两个以上中型水库,并有较大河流穿越地下调蓄区	上游区有中型水库,并有较大河流穿越地下调蓄区	上游区有中小型水库,并有河流穿越地下调蓄区

注 若  $\alpha\geq 0.50$  而  $K_r<100\ m/d$  时,则记为  $A_{12}$  类;若  $\alpha<0.50$  而  $K_r\geq 100\ m/d$  时,记为  $A_{21}$  类。若  $\alpha>0.30$  而  $K_r\geq 10\ m/d$  时,记为  $B_{12}$  类;若  $\alpha<0.30$  而  $K_r>10\ m/d$  时,记为  $B_{21}$  类。

$A_{21}$  等同 A 指标和  $B_{12}$ 、 $B_{21}$  等同 B 指标处理,减少不必要的复杂性。

为了进一步量化分析,建立 100 分制评分指标,  $V_g$ 、 $\alpha/K_r$ 、 $\mu_Z$  和  $E_S$  权重分别为 0.35、0.30、0.20 和 0.15。其中“充分利用型”为 73.0~100;“可利用型”为 39.7~72.9;“有利用潜力型”为 1.6~39.6,小于 1.6 为“不宜作为调蓄靶区”。

充分利用型调蓄靶区的主要特点是储水空间大于 10 亿  $m^3$ ,并具有良好的入渗性或给水性,具有较强的地下调蓄能力,可作为大型水源地。可利用型的储水空间介于 5~10 亿  $m^3$ ,入渗性或给水性良好,地下调蓄能力适中。有利用潜力型的储水空间小于 5 亿  $m^3$ ,地下调蓄能力有限。

在同类型中;“优级”靶区具有较强的入渗和给水能力;“良级”靶区的调蓄能力比“优级”差,或是入渗能力低,或是给水能力低;“一般级”靶区的入渗和给水能力,均为细砂以下级别。

综合评价方法:首先根据评价指标,评判研究区的库容规模、受水能力和给水能力等级,以及地表汇水输水条件类型;然后,进行评分和对照表 3,标识研究区调蓄类型序号( $N$ )和相关指标。若研究区介于表 3 中两个类型之间,则在两个类型之间插值。由此,可获得研究区调蓄能力的属性,包括所属类别和级别。

5 结果与结论

利用上述方法对太行山前平原地下调蓄潜力进行了综合评价,结果如表 4 所示。

根据表 4 的评价结果,石景山—大兴靶区、石家庄—晋县靶区和邢台靶区可作为南水北调地下调蓄首选目标;房山—容城靶区、望都—定县—新乐靶区和磁县—安阳靶区,可作为南水北调地下调蓄的主要备选场所;邯郸靶区和辉县—新乡靶区适宜作为

表 3 地下调蓄靶区评价类型与指标

Table 3 Evaluation types and index of the aquifers reserve capacity

类别	级别	评分指标	类型		指标				必要条件
			序号	编码	$V_g$	$\alpha/K_r$	$\mu_Z$	$E_S$	
充分利用型	优级	100	1	$A_a^I$ 大型	大	A	I	a	储水、入渗和给水指标为大型、A 和 I 级
		98.4	2	$A_b^I$ 大型	大	A	I	b	
		96.8	3	$A_c^I$ 大型	大	A	I	c	
	良级	95.3	4	$A_{II} a$ 大型	大	A	II	a	储水指标为大型,入渗和给水指标为 B 和 II 级及其以上指标,但是,A 和 I 级指标只能具备其一
		93.7	5	$A_b^{II}$ 大型	大	A	II	b	
		92.1	6	$A_c^{II}$ 大型	大	A	II	c	
		90.5	7	$B_a^I$ 大型	大	B	I	a	
		88.9	8	$B_b^I$ 大型	大	B	I	b	
		87.3	9	$B_c^I$ 大型	大	B	I	c	
		85.7	10	$B_a^{II}$ 大型	大	B	II	a	
		84.1	11	$B_b^{II}$ 大型	大	B	II	b	
		82.5	12	$B_c^{II}$ 大型	大	B	II	c	
	一般	81.0	13	$B_a^{III}$ 大型	大	B	III	a	储水指标为大型,入渗和给水指标为 C 和 III 级及其以上指标,但 B 和 II 级指标只能具备其一
		79.4	14	$B_b^{III}$ 大型	大	B	III	b	
		77.8	15	$B_c^{III}$ 大型	大	B	III	c	
		76.2	16	$C_a^{II}$ 大型	大	C	II	a	
		74.6	17	$C_b^{II}$ 大型	大	C	II	b	
		73.0	18	$C_c^{II}$ 大型	大	C	II	c	
可利用型	优级	71.4	19	$C_a^{III}$ 大型	大	C	III	a	储水指标为中型,入渗和给水指标为 A、I 级;储水指标为大型,入渗与给水指标为 C、III 级
		69.8	20	$C_b^{III}$ 大型	大	C	III	b	
		68.3	21	$C_c^{III}$ 大型	大	C	III	c	
		66.7	22	$A_a^I$ 中型	中	A	I	a	
		65.1	23	$A_b^I$ 中型	中	A	I	b	
		63.5	24	$A_c^I$ 中型	中	A	I	c	
	良级	61.9	25	$A_a^{II}$ 中型	中	A	II	a	储水指标为中型,入渗和给水指标为 B 和 II 级及其以上指标,但是,A 和 I 级指标只能具备其一
		60.3	26	$A_b^{II}$ 中型	中	A	II	b	
		58.7	27	$A_c^{II}$ 中型	中	A	II	c	
		57.1	28	$B_a^I$ 中型	中	B	I	a	
		55.6	29	$B_b^I$ 中型	中	B	I	b	
		54.0	30	$B_c^I$ 中型	中	B	I	c	
		52.4	31	$B_a^{II}$ 中型	中	B	II	a	
		50.8	32	$B_b^{II}$ 中型	中	B	II	b	
	一般	49.2	33	$B_c^{II}$ 中型	中	B	II	c	储水指标为中型,入渗和给水指标为 C 和 III 级及其以上指标,但 B 和 II 级指标只能具备其一
		47.6	34	$B_a^{III}$ 中型	中	B	III	a	
		46.0	35	$B_b^{III}$ 中型	中	B	III	b	
		44.4	36	$B_c^{III}$ 中型	中	B	III	c	
		42.9	37	$C_a^{II}$ 中型	中	C	II	a	
		41.3	38	$C_b^{II}$ 中型	中	C	II	b	
		39.7	39	$C_c^{II}$ 中型	中	C	II	c	

(续表 3)

类别	级别	评分指标	类型		指标				必要条件
			序号	编码	$V_g$	$\alpha/K_r$	$\mu_z$	$E_s$	
有利用潜力型	优级	38.1	40	$C_a^{III}$ 中型	中	C	III	a	储水指标小型,入渗和给水指标为 A、I 级;储水指标为中型,入参与给水指标为 C、Ⅲ级
		36.5	41	$C_b^{III}$ 中型	中	C	III	b	
		34.9	42	$C_c^{III}$ 中型	中	C	III	c	
		33.3	43	$A_a^I$ 小型	小	A	I	a	
		31.7	44	$A_b^I$ 小型	小	A	I	b	
		30.2	45	$A_c^I$ 小型	小	A	I	c	
	良级	28.6	46	$A_a^{II}$ 小型	小	A	II	a	储水指标为小型,入渗和给水指标为 B 和 II 级及其以上指标,但是 A 和 I 级指标只能具备其一
		27.0	47	$A_b^{II}$ 小型	小	A	II	b	
		25.4	48	$A_c^{II}$ 小型	小	A	II	c	
		23.8	49	$B_a^I$ 小型	小	A	I	a	
		22.2	50	$B_b^I$ 小型	小	B	I	b	
		20.6	51	$B_c^I$ 小型	小	B	I	c	
		19.0	52	$B_a^{II}$ 小型	小	B	II	a	
		17.5	53	$B_b^{II}$ 小型	小	B	II	b	
		15.9	54	$B_c^{II}$ 小型	小	B	II	c	
	一般	14.3	55	$B_a^{III}$ 小型	小	B	III	a	储水指标为小型,入渗和给水指标为 C 和 III 级及其以上指标,但是 B 和 II 级指标只能具备其一
		12.7	56	$B_b^{III}$ 小型	小	B	III	b	
		11.1	57	$B_c^{III}$ 小型	小	B	III	c	
		9.5	58	$C_a^{II}$ 小型	小	C	II	a	
		7.9	59	$C_b^{II}$ 小型	小	C	II	b	
		6.3	60	$C_c^{II}$ 小型	小	C	II	c	
		4.8	61	$C_a^{III}$ 小型	小	C	III	a	
		3.2	62	$C_b^{III}$ 小型	小	C	III	b	
		1.6	63	$C_c^{III}$ 小型	小	C	III	c	

注 : $A_{12}$ 、 $A_{21}$  与 A 具有等效作用 , $B_{12}$ 、 $B_{21}$  与 B 具有等效作用 ;评分 =  $1.5873(63 - N + 1)$  ; $N$ —类别序号。

表 4 太行山前平原地下调蓄靶区综合评价结果  
与相关指标

Table 4 Evaluation result and index of the aquifers  
reserve capacity in the target area of  
Taihangshan piedmont plain

区名与代码	调蓄条件评价指标				评价类型	评分	评价结果	
	库容规模	受水能力	给水能力	汇水条件			类别	级别
石景山—大兴靶区( I <sub>1</sub> )	大	A	I → II	a	$A^{I \rightarrow II}$ , a 大型	97.7	充分利用	优
房山—容城靶区( I <sub>2</sub> )	中 → 小	$A_{21}$	I → II	b	$A^{I \rightarrow II}$ , b 中 → 小型	46.0	可利用	一般
望都—新乐靶区( II <sub>1</sub> )	大	A	II	a	$A^{II}$ , a 大型	95.3	充分利用	良
石家庄—晋县靶区( II <sub>2</sub> )	特大	A	I → II	a	$A^{I \rightarrow II}$ , a 大型	98.6	充分利用	优
邢台靶区( III )	大	$B_{21}$	II → III	b	$B^{II \rightarrow III}$ , b 小型	81.8	充分利用	良
邯郸靶区( IV <sub>1</sub> )	特小	C	III	b → c	$Cb \rightarrow c$ , 小型	2.4	有潜力	一般
磁县—安阳靶区( IV <sub>2</sub> )	小	$B_{21}$	II → III	a	$B^{II \rightarrow III}$ , a 小型	16.7	有潜力	良
辉县—新乡靶区( V )	特小	$B_{12}$	III	c	$B^{III}$ , c 小型	11.1	有潜力	一般

注 : → 表示过渡型。

井灌小型地下调蓄场所。上述地下调蓄区 ,每月可接受入渗水量 22.9~28.8 亿 m<sup>3</sup> ,利用静态库容调蓄能力的 18.1%~22.8%。

本文针对山前平原地下调蓄力量量化评价问题 ,提出了一种百分制、多元指标量化评价方法 ,并在太行山前平原应用。研究结果表明 ,太行山前平原冲洪积扇区具有较丰富、可利用的地下调蓄空间资源 ,可弥补南水北调中线地表调蓄能力不足的局限 ,将为提高南水北调中客水利用效益发挥重大作用。

致谢 文中图件与数据资料均引自国家科技部项目“太行山前平原南水北调地下调蓄潜力研究”成果报告 ,并征得项目组同意 ,对合作单位的大力支持表示谢意。

参考文献

籍传茂 ,王兆兴 . 1999. 地下水资源的可持续利用 .北京 :地质出版社 ,117~119.  
张光辉 ,费宇红 ,聂振龙 ,等 . 2000. 全新世来太行山前平原地下水演化规律 .地球学报 ,21( 2 ) :121~127.  
张光辉 ,费宇红 ,王金哲 ,等 . 2003. 300 年以来太行山前平原地下水补给演化特征与趋势 .地球学报 ,24( 3 ) :261~266.  
张宗祜 ,张光辉 . 2001. 大陆水循环系统演化及其环境意义 .地球学报 ,22( 4 ) :289~292.

References

Bouwer H. 2002. Artificial recharge of groundwater : hydrogeology and engineering. Hydrogeology , 10( 1 ) :121~142.  
de Vries J , Simmers I. 2002. Groundwater recharge : an overview of processes and challenges. Hydrogeology J , 10( 1 ) :5~17.  
Healy R W , Cook P G. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology J , 10( 1 ) :91~109.  
Sophocleous M. 2002. Interactions between groundwater and surface water : the state of science. Hydrogeology J , 10( 1 ) :52~67.  
Sanford W. 2002. Recharge and groundwater models : an overview. Hydrogeology J , 10( 1 ) :110~120.  
Zhang Guanghui , Fei Yuhong , Nie Zhenlong , et al. 2000. The evolution regularity of groundwater in piedmont clinoplain of Taihang Mountains since Holocene. Acta Geoscientica Sinica , 21( 2 ) :121~127 ( in Chinese with English abstract ).  
Zhang Guanghui , Fei Yuhong , Wang Jinzhe , et al. 2003. Evolution characteristics and trend of shallow groundwater recharge in Taihangshan piedmont plain over the last 300 years. Acta Geoscientica Sinica , 24( 3 ) :261~266 ( in Chinese with English abstract ).  
Zhang Zonghu , Zhang Guanghui. 2001. The evolution of continental water cyclic system and its environmental significance. Acta Geoscientica Sinica , 22( 4 ) :289~292 ( in Chinese with English abstract ).