

华北主要城市地下水应急水源地供水前景分析

杨齐青,马震,孙晓明,方成,施佩歆

(天津地质矿产研究所,天津 300170)

摘要:华北地区是中国地下水资源开发利用程度最高的地区之一。全区地下水开采量占全国地下水开采量的50%以上,地下水开发利用率达54.3%。自20世纪90年代以来,华北地区持续干旱少雨,水资源短缺已成为影响社会发展的重要制约因素,尤其应对各种突发事件、保障城镇供水安全已成当务之急。笔者在本文中阐述华北区域水文地质条件、地下水开发利用现状、地下水采补平衡状况的基础上,分析总结了区内拟选的85处可供建立城市地下水应急(后备)水源地的供水条件与前景,对保障华北地区主要城市供水安全有着重要的战略意义。

关键词:华北地区;城市;应急水源地;前景分析

中图分类号: P641.8

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2009)04-0297-09

1 区域水文地质条件与地下水开发利用现状

1.1 地下水类型及其分布

华北地区(在本文中包括内蒙古中西部、北京市、天津市、河北省、山西省、山东省和河南省)地下水按赋存条件和介质类型,划分为基岩裂隙水、岩溶裂隙水和松散岩类孔隙水三大类型。其中,基岩裂隙水主要分布在内蒙古、山西、北京、天津、河北、河南、山东等山地地区,含水层主要由火成岩、片麻岩、片岩、千枚岩、石英岩、砂岩、页岩等组成,一般富水性较弱,水质较好。岩溶裂隙水主要分布在太行山、燕山、吕梁山等碳酸盐岩分布区,含水层主要为震旦系、中上寒武系、奥陶系的灰岩、白云质灰岩、泥质灰岩,富水性差异较大,水质较好,是区内主要的地下水供水层之一。松散岩类孔隙水主要分布在平原区及山间盆地,含水层岩性主要为第四系、新近系砂、砂砾石、卵砾石孔隙中,含水层厚度大、埋藏浅、分布广、渗透性强、补给快、储存条件好、富水性好且差异性较大,是区内主要的地下水供水层。在平原区,有山前-平原-滨海,第四系成因类型有冲洪积-冲湖积-冲海积,含水砂层颗粒由粗变细,富水性由强到弱。在冲洪积砂、砂砾石含

水层分布区单井涌水量一般250~500 m³/h·m,在冲湖积砂、砂砾石含水层分布区单井涌水量一般100~500 m³/h·m,在冲海积含水层分布区单井涌水量一般小于200 m³/h·m。另外,沙漠孔隙水主要分布在内蒙古科尔沁沙地和浑善达克、毛乌素、库布其、乌兰布和、巴丹吉林等沙漠地区,含水层薄,水位埋藏浅,富水性差。

1.2 地下水资源分布特征

华北地区地下水资源空间分布不均衡,地下水平均开采资源模数 $4.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$ ^①。平原区富水条件较好,尤其是天津西北部、鲁西南、豫北黄河冲积平原地区地下水资源相对丰富,开采潜力最大。另外,在豫北太行山地下水系统区、山西的海河地下水系统区等山地丘陵区,岩溶水富水性较好,具有一定的开采潜力。

据《中国地下水资源》^①,按照行政区划统计,全区以山东省水资源最为丰富,地下水可开采资源量 $158 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;河南省浅层地下水可开采量 $163 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,深层承压地下水可开采量 $10.47 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;山西省地下水可开采资源量 $56.9084 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,其中盆地深层承压水可开采资源量约 $15.305 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;内蒙古自治区水资源比较匮乏,地下水可开采资源少,资源分布不均衡,区内地下水可开采资

收稿日期:2009-09-07

基金项目:中国地质调查局国土资源大调查项目资助(编号:200310400010)

作者简介:杨齐青(1963-),女,高级工程师,长期从事水文地质、工程地质和环境地质调查工作。

①马震,方成,杨齐青,等.华北地区主要城市应急供水地下水水源地论证报告,天津地质矿产研究所,2007.

源 $154.06 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 河北省地下水可采资源量 $119.86 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 其中平原区潜水 - 微承压水可采资源量为 $86.88 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 深层承压水现状条件下可采资源量 $17.21 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 天津市地下水可开采资源 $8.27 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 其中浅层水 $2.58 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 深层水 $3.56 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 隐伏岩溶水 $1.24 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 北京市地下水可采资源量 $26.33 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 其中平原区地下水可采资源量 $24.55 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

1.3 地下水资源开发利用现状

华北地区是中国地下水资源开发利用程度最高的地区之一。全区地下水开采量达 $550.24 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 占全国地下水开采量的 50% 以上, 地下水开发利用率达 54.3%。其中, 北京市、河北省地下水开发利用程度达到 104.5% 和 116.4%, 天津市达到 98.4%。在地下水供水结构中, 生活用水一般占 20% ~ 35%。华北平原地下水自 20 世纪 70 年代末以来处于超采状态, 农业用水所占比重最大, 一般占总用水量的 65% ~ 82%, 但北京、天津农业用水比例稍低, 占 23% ~ 53%。在地下水开采量中, 浅层地下

水开采量 $215.49 \times 10^8 \text{ m}^3$, 深层地下水开采量 $31.82 \times 10^8 \text{ m}^3$, 开采程度分别为 124% 和 199%^②。

2 主要城市地下水应急供水条件分析

2.1 应急供水地下水水源地选择原则

地下水应急供水水源地是指在连续干旱年份中或发生突发事件, 为解决城镇生产及生活用水的燃眉之急而采取的一种非常规的, 有一定开采周期的临时供水水源地。如可动用地下水的储存量, 在一定约束条件下环境损失的交换量, 需一年或多年补给的疏干量, 以及经政府协调改变原供水方向的水源地的供水量等。因此, 地下水应急供水水源地的选择应在充分评估地下水采补平衡状况的基础上, 根据多年调节能力, 进一步挖掘地下水的开采潜力, 或在地质环境容量允许的情况下, 对地下水储存量丰富而又能在中长期水文周期或能在南水北调后资源得到一定补偿的地区, 短期动用部分储存量, 最大限度地拦蓄降水与地表水资源, 进行人工回



图 1 华北地区主要城市地下水应急(后备)水源地分布示意图
Fig.1 Distribution of the emergency water supply in the major cities of North China

② 孙晓明, 肖国强, 王家兵, 等. 华北地区水工环地质调查战略研究报告, 天津地质矿产研究所, 2004.

灌与补给地下水^[2-4]。

地下水应急供水水源初步选取包括几部分:已开发水源地的扩大开采,已勘探但未开发或未充分利用水源地的开发利用及应急情况下的增采,新选水源地(包括有较大储存资源量的水源地)勘探与开发。

2.2 地下水应急水源地供水前景分析

2.2.1 北京市

北京市2010年需水总量为 $42.62 \times 10^8 \sim 48.56 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,而实际水资源供应能力在平水年(50%保证率)为 $43 \times 10^8 \text{ m}^3$,在极枯水年(95%的保证率)只有 $36.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。经调查评价和勘查,北京市圈定5处地下水应急水源地(图1),提供应急可开采量 $92.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (表1)^③。

2.2.2 天津市

天津市2010年需水总量为 $(48.21 \sim 50.87) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,而实际水资源的供应能力在枯水年(75%的保证率)为 $33.95 \times 10^8 \text{ m}^3$,在极枯水年(95%的保证率)只有 $26.48 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。经调查评价和勘查,天津市

圈定的5处地下水后备水源地,可提供允许开采量 $40.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ($1.49 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)的常规供水水源;圈定的2处地下水应急水源地(图1),可提供应急可开采量 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (表2)^④。

2.2.3 河北省

河北省石家庄、保定等9市2010年总需水量:在平水年(50%)为 $34.63 \times 10^8 \text{ m}^3$,枯水年(75%)为 $35.41 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。通过对水资源的合理配置利用和节水前提下,2010年9个主要城市在平水年(50%)时总体缺水 $16.32 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,枯水年(保证率75%)总体缺水 $17.55 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。经调查评价和勘查,河北省主要城市拟选的地下水应急水源地9处(图1),可提供应急可开采量 $135 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (表3)^④。

2.2.4 山东省

山东省地下淡水天然资源量 $180.25 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,开采资源量 $158 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。其中,岩溶裂隙水开采资源量 $21.97 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,分布于鲁中南地区的灰岩中,富集于单斜构造前缘的中奥陶系厚层灰岩中;松散岩类孔隙水开采资源量 $90.71 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,分布

表1 北京市地下水应急水源地供水条件与前景一览表

Table1 Water supply conditions and prospect of emergency water supply in Beijing

| 水源地名称 | 含水层特征 | 供水条件 | 应急可开采量 ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) | 图中 编号 |
|----------------------|--|---|--|----------|
| 潮白河冲洪积扇怀柔两河地区应急供水水源地 | 位于潮白河冲洪积扇中上部,第四系含水层厚度大,结构单一,渗透性强;怀河地区地下水基本处于自然平衡状态,第四系含水层厚度大、导水性强。 | 潮白河冲洪积扇地下水资源具有良好的多年调节作用,是建设地下水库的理想库址;怀河地区地下水易于回补,是建立应急水源地的良好场所。 | 32.8 | 1 |
| 平谷—顺义应急供水水源地 | 平谷盆地内沟错河冲洪积扇上部至地下水溢出带地区,具有地下水补给充分、含水层富水性好、单井出水能力强等特点。 | 平谷平原区多年地下水水位基本保持自然平衡状态,开采条件良好,属有开采潜力地区,具有进一步开发利用条件,可做为具有较大前景的应急供水水源地重点勘查区。 | 30 | 2 |
| 西郊岩溶地下水应急供水水源地 | 主要为奥陶系含水层,其次是寒武系昌平组和张夏组含水层。 | 地下水具有很强的调蓄能力。经初步计算,区内岩溶地下水稳定供水规模可达 $3\ 600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。 | 10 | 3 |
| 房山张坊—长沟岩溶地下水应急供水水源地 | 主要是奥陶系含水层,其次是寒武系昌平组和张夏组含水层。 | 区内岩溶水资源量有较大盈余,是目前北京岩溶地下水最丰富的地区之一。从本区水文地质条件及补给资源量计算分析来看,该区可建立特大型岩溶地下水水源地。 | 10 | 4 |
| 昌平岩溶地下水应急供水水源地 | 含水岩组主要是蓟县系雾迷山组白云岩、长城系高于庄组佳质白云岩,岩溶裂隙发育、渗透性好、导水性强。 | 经计算,降水对山区碳酸盐岩总补给量为 $5\ 642 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。高于庄组单位出水量达到 $375 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$;雾迷山组单位出水量一般 $500 \sim 3\ 000 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$,局部地区可达 $5\ 000 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$,是良好的开采日的层。 | 10 | 5 |

③中国地质调查局.京津冀主要城市地下水应急供水水源论证报告,2005.

表2 天津市地下水应急(后备)水源地供水条件与前景一览表
Table 2 Water supply conditions and prospect of emergency water supply in Tianjin

| 水源地名称 | 含水层特征 | 供水条件 | 应急可开采量 ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) | 图中 编号 |
|---------------------|--|---|--|----------|
| 蓟县城关地下水后备水源地 | 主要富水地段位于蓟县县城西南部, 含水岩组主要为蓟县系雾迷山组的白云岩。 | 平水年地下水补给量 $151^3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 现状实际开采量 $912 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 具有一定开采潜力。可做为后备水源地进行常规开采。 | 5.0 | 6 |
| 大康庄地下水后备水源地 | 主要富水地段位于上仓? 大保安一带, 含水岩组为雾迷山组的白云岩。 | 平水年地下水补给量 $1\ 241 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 现状实际开采量 $547 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 有一定开采潜力。可做为后备水源地进行常规开采。 | 3.0 | 7 |
| 西龙虎峪地下水后备水源地 | 由高于庄组和雾迷山组构成主要含水岩组, 上覆50~250 m第四系松散沉积层。该水源地贮水构造为一多层结构越流含水系统, 岩溶水与上部孔隙水有密切水力联系, 北部山麓地带带有基岩天窗带, 是越流补给的主要通道。主要富水地段位于于桥背斜与龙门口-燕山口断裂的复合部位。 | 平水年地下水补给量 $3\ 200 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 现状实际开采量 $417 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 具有建立特大型岩溶地下水水源地的条件。可做为后备水源地进行常规开采。 | 13.5 | 8 |
| 宝坻石化地下水后备水源地 | 含水层为奥陶系灰岩, 岩溶裂隙发育, 主要富水地段位于大杨各庄、北小胡、小赵庄一带。 | 平水年地下水补给量 $4\ 384 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 现状实际开采量 $2\ 654 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 具有一定开采潜力, 可做为后备水源地进行常规开采。 | 7.0 | 9 |
| 宝坻县西北一蓟县西南部地下水后备水源地 | 第四系厚200~350 m, 70 m深度内含水层以细砂为主, 厚30~40 m; 250 m深度内含水层以中细砂夹砾石为主, 厚度超过100 m, 部分钻孔内砂砾石厚度达30~50 m, 单井出水量80~200 m^3/h 。下伏雾迷山组, 厚约2 000 m, 为双层结构的含水层, 距州河2~4 km, 储存量大, 水质好, 主要接受洵河流域的补给。 | 目前主要开采150 m深度内地下水, 多年平均开采量约 $4\ 600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 最优水位下浅层地下水可开采量 $8\ 300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 加上应急开采条件下邻区的补给量和储存量, 有望建立口供水能力达到 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的应急供水水源地, 可做为后备水源地进行常规开采。 | 12.4 | 10 |
| 黄庄洋地下水应急水源地 | 第四系孔隙水和新近系孔隙裂隙水, 厚度400~500 m, 可分成4个含水组含水层为中粗砂、中细砂、细砂, 新近系为含砾砂岩、粉砂岩。含水层厚度可达100~150 m。 | 单井出水量2 000~3 500 m^3/d , 富水性较好, 可建立集中供水水源地, 利用已建成供水管道的输水能力, 做为应急水源地进行开采。 | 11.0 | 11 |
| 七里海—黄港洼地下水应急水源地 | 新近系孔隙裂隙水, 400~700 m的第V—第VII含水岩组, 因砂层单层厚度和累积厚度均较大100~150 m, 且多为中细砂、含砾砂岩。 | 单井出水量2 000~3 500 m^3/d , 富水性较好, 可建立集中供水水源地, 并利用已建成供水管道的输水能力, 向滨海新区提供应急供水水源。 | 5.0 | 12 |

于黄河冲积平原, 山前、山间冲洪积平原及山间谷地中, 富集于山前、山间冲洪积扇、山间谷地及黄河冲积平原的古河道带。地下水赋存条件好, 径流通畅, 导水性能强, 地下调蓄空间大; 基岩裂隙水开采资源量 $45.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 分布于鲁中南、鲁东山丘基岩区, 赋存于风化裂隙和构造裂隙中, 水量小, 富水性较差, 但在山麓基岩裂隙发育地带水量较多。鲁西北平原较丰富的浅层地下水, 宜于就地分散开采。鲁中南地区山前平原及山间平原、谷地、地下水

较丰富^[9]。经调查评价和勘查, 山东省拟选地下水应急(后备)水源地 21 处(图 1), 可提供应急可开采量 $126.49 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (表 4), 约占山东省主要城市 2010 年生活用水量的 6.4%。

2.2.5 山西省

山西省盆地平原区孔隙水开采资源量 $24.53 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 现状开采量 $26.42 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 总体上讲已经处于超采状态, 主要超采区是临汾盆地、太原盆地及运城盆地^[10], 其他盆地从区域上看尚具一定开发

表3 河北省主要城市地下水应急水源地供水条件与前景一览表

Table3 Water supply conditions and prospect of emergency water supply in the major cities of Hebei Province

| 水源地名称 | 含水层特征 | 供水条件 | 应急可开采量 ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) | 图中 编号 |
|--------------|---|---|--|----------|
| 秦皇岛市地下水应急水源地 | 地下水类型为潜水—微承压水, 含水层岩性以粗砂、砾石、卵石为主, 含水层厚度30 ~ 100 m, 富水性、透水性好。 | 位于滦河东侧昌黎一带, 面积200 km^2 , 水源地开采层为深层水, 开采量可达 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 | 10 | 13 |
| 唐山市地下水应急水源地 | 地下水类型为潜水—微承压水, 含水层岩性以粗砂、砾石、卵石为主, 含水层厚度30 ~ 100 m, 富水性、透水性好, 单井单位涌水量一般30 ~ 50 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ 。主要补给来源为大气降水入渗补给及山区侧向径流补给。 | 位于滦河西侧滦南县北部一带, 面积400 km^2 , 水位埋深7 ~ 10 m较浅, 易于接受大气降水补给, 山前侧向径流补给及滦河地表水补给。开采目的层为深层水, 开采量可达 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 | 20 | 14 |
| 廊坊市地下水应急水源地 | 含水层岩性以粗砂、砾石、卵石为主, 富水性好、透水性好。开采目的层为深层水。 | 位于永定河冲洪积扇固安县以西北马村一带, 面积300 km^2 , 深层水底界埋深320 m, 水源地成井利用段150 ~ 320 m, 开采量可达 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 | 10 | 15 |
| 保定市地下水应急水源地 | 地下水类型为潜水—微承压水, 含水层岩性以粗砂、砾石、卵石为主, 含水层厚度30 ~ 100 m, 富水性、透水性好, 单井单位涌水量一般30 ~ 50 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ 。地下水主要补给来源为大气降水入渗补给及山区侧向径流补给。 | 位于漕、瀑河冲洪积扇, 面积500 km^2 , 开采目的层浅层水, 含水层底界埋深80 ~ 150 m, 开采量可达 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 | 10 | 16 |
| 石家庄市地下水应急水源地 | 含水层岩性以粗砂、砾石、卵石为主, 含水层厚度30 ~ 100 m, 富水性、透水性好。地下水主要补给来源为大气降水入渗补给及山区侧向径流补给。 | 位于沙磁河冲洪积扇中上部地段, 面积1 100 km^2 , 开采目的层为浅层水, 含水层底界埋深60 ~ 120 m, 开采量可达 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 | 60 | 17 |
| 邢台市地下水应急水源地 | 含水层岩性主要为中细砂、细砂、粉砂。单井单位涌水量5 ~ 20 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ 。 | 位于南和县, 面积250 km^2 。开采目的层为浅层水, 开采深度80 ~ 180 m。开采量可达 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 | 5 | 18 |
| 邯郸市地下水应急水源地 | 含水层岩性主要为中细砂、细砂、粉砂, 单井单位涌水量5 ~ 20 $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ 。 | 水源地位于漳河冲洪积扇中上部, 面积250 km^2 。开采目的层为浅层水, 底界埋深80 ~ 100 m, 水源地开采量 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 | 5 | 19 |
| 沧州市地下水应急水源地 | 含水层主要岩性为中细砂、细砂、粉砂。 | 第一应急水源地: 位于沧州市肃宁县境内, 面积250 km^2 。开采目的层为深层水, 成井利用段150 ~ 450 m, 开采量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 第二应急水源地: 在沧州市开采新近系孔隙水, 面积250 km^2 。开采目的层为新近系孔隙水, 成井利用段第四系底界至750 m, 开采量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 | 10 | 20 |
| 衡水市地下水应急水源地 | 含水层岩性为粗砂、中细砂、细砂、粉砂。 | 位于武强县, 面积250 km^2 。开采目的层为深层水, 成井利用段150 ~ 450 m, 开采量为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 | 5 | 21 |

表 4 山东省主要城市地下水应急水源地一览表^①

Table 4 Emergency groundwater supply in the major cities of Shandong Province

| 城市名称 | 水源地名称 | 地下水类型 | 应急可开采量 ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) | 图中编号 |
|------|----------------|---------|--|------|
| 济南 | 明水地下水应急水源地 | 岩溶水与孔隙水 | 20.4 | 22 |
| | 长孝地下水应急水源地 | 岩溶水 | 8.8 | 23 |
| | 武家地下水应急水源地 | 岩溶水 | 3.2 | 24 |
| 青岛 | 白沙河地下水应急水源地 | 孔隙水 | 3.8 | 25 |
| | 临淄齐陵地下水应急水源地 | 岩溶水 | 2.6 | 26 |
| 淄博 | 张店大张地下水应急水源地 | 岩溶水 | 2.2 | 27 |
| 枣庄 | 鲁南化肥厂应急(后备)水源地 | 岩溶水 | 4.8 | 28 |
| | 滕州荆泉地下水应急水源地 | 岩溶水 | 10.5 | 29 |
| 烟台 | 辛安河地下水应急水源地 | 孔隙水 | 6.1 | 30 |
| | 安丘黄旗堡地下水应急水源地 | 孔隙水 | 3.4 | 31 |
| 潍坊 | 安丘地下水应急水源地 | 孔隙水 | 4.3 | 32 |
| | 昌邑金口地下水应急水源地 | 孔隙水 | 2.9 | 33 |
| | 青州第二水源地 | 孔隙水 | 4.5 | 34 |
| | 高密地下水应急水源地 | 孔隙水 | 4.5 | 35 |
| 济宁 | 兖州曹洼地下水应急水源地 | 岩溶水 | 6.16 | 36 |
| | 曲阜北兴地下水应急水源地 | 岩溶水 | 12.6 | 37 |
| | 泗水鲍东庄地下水应急水源地 | 岩溶水 | 3.83 | 38 |
| 日照 | 绣针河地下水应急水源地 | 孔隙水 | 2.3 | 39 |
| | 五莲坤山地下水应急水源地 | 孔隙水 | 12.2 | 40 |
| 莱芜 | 莱芜枣园地下水应急水源地 | 岩溶水 | 2.6 | 41 |
| | 叶家庄地下水应急水源地 | 岩溶水 | 4.8 | 42 |

潜力,但开发利用条件较差;山丘区孔隙裂隙水开采资源量 $5.78 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,为现状实际开采,在山间河谷富水地段尚有一定开发前景;岩溶水现状条件下 16 个泉域的岩溶水利用总量 $10.95 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,占泉水开采资源总量的 57.3%,尚有开发潜力。在岩溶泉三个主要分布地带中,中部盆地为山西省密集型经济社会发展区,泉水开发利用程度高达 72.14%,其中兰村、晋祠、古堆三个泉域的岩溶水已处于超采状态。东部诸泉出露于省界,高程低,利用难度较大,但近年泉口提引水工程大量兴建后,开发利用程度也达到 69.39%。另外,黄河沿岸天桥泉也具有较大开发潜力。有开发潜力的水源地,已探明或尚未探明的主要分布在忻州市,盆地及山丘区已无开采潜力,但在黄河岸边河漫滩、阶地及洪积扇区可建大型与特大型水源地^②。经调查评价和勘察,山西省可拟选城市地下水应急水源地 11 处(图 1),提供应急可开采量 $82 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (表 5),约占山西省主要城市 2010 年生活用水量的 33.8%。

2.2.6 河南省

全省地下水多年平均天然补给资源量 $164.58 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,约占全省水资源总量的 40%。地下水可开采资源量为 $173.47 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。在全省地下水天然资源量中,松散岩类孔隙水占 77%,岩溶裂隙水占 12%,基岩裂隙水占 11%^③。从地下水资源分布看,平原区水文地质条件较好,水资源相对较丰富,尤其是沿黄河地带。由于受黄河水侧渗补给,其条件最佳,亦是目前最具有开采潜力的地区,可沿黄规划城市地下水应急水源地;豫北安阳河、沁河等河口冲洪积扇区,地下水较丰富,部分地段尚有较大开发潜力;岩溶水主要分布于豫北太行山区、豫中嵩箕山区。平原区孔隙水及山区岩溶水地下水天然资源模数可达 $(15 \sim 20) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$,条件好的地段为 $(20 \sim 30) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$,一般基岩山区地下水天然资源模数 $< 10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a} \cdot \text{km}^2$ ^④。经调查评价和勘察,河南省可拟选主要城市地下水应急水源地 21 处(图 1),提供应急可开采量 $156.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (表 6),

表5 山西省主要城市地下水应急水源地一览表^①

Table 5 Emergency groundwater supply in the major cities of Shanxi Province

| 城市名称 | 水源地名称 | 主要开采层地下水类型 | 应急可开采量 ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) | 图中编号 |
|------|---------------|---------------|--|------|
| 太原 | 兰村、三给地下水应急水源地 | 岩溶水 | 20 | 43 |
| | 小店地下水应急水源地 | 岩溶水、孔隙水 | 2 | 44 |
| 大同 | 西坪地下水应急水源地 | 孔隙水 | 10 | 45 |
| 朔州 | 四圣店地下水应急水源地 | 孔隙水 | 2 | 46 |
| | 东富院地下水应急水源地 | 孔隙水 | 2 | 47 |
| 忻州 | 豆罗地下水应急水源地 | 岩溶水、孔隙水、基岩裂隙水 | 1.5 | 48 |
| 晋中 | 源涡地下水应急水源地 | 基岩裂隙水 | 2.67 | 49 |
| 长治 | 西流地下水应急水源地 | 岩溶水 | 8.51 | 50 |
| 晋城 | 郭壁-怀峪地下水应急水源地 | 岩溶水 | 16 | 51 |
| 临汾 | 龙子祠地下水应急水源地 | 岩溶水 | 8.64 | 52 |
| 运城 | 沿黄地区地下水应急水源地 | 孔隙水 | 8.5 | 53 |

表6 河南省主要城市地下水应急水源地一览表^①

Table 6 Emergency groundwater supply in the major cities of Henan Province

| 城市名称 | 水源地名称 | 主要开采层地下水类型 | 应急可开采量 ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) | 图中编号 |
|------|----------------|------------|--|------|
| 郑州 | 须水地下水应急水源地 | 岩溶水 | 3 | 54 |
| | 三李地下水应急水源地 | 岩溶水 | 3 | 55 |
| 洛阳 | 李村地下水应急水源地 | 孔隙水 | 21 | 56 |
| 开封 | 袁坊-刘店地下水应急水源地 | 孔隙水 | 20 | 57 |
| 平顶山 | 湖泉店地下水应急水源地 | 孔隙水 | 10 | 58 |
| 安阳 | 西曲沟地下水应急水源地 | 孔隙水 | 5.7 | 59 |
| 鹤壁 | 大李庄地下水应急水源地 | 岩溶水 | 5 | 60 |
| 新乡 | 官厂-包厂地下水应急水源地 | 孔隙水 | 20 | 61 |
| 焦作 | 士林地下水应急水源地 | 岩溶水 | 10 | 62 |
| 濮阳 | 李子园地下水应急水源地 | 孔隙水 | 8 | 63 |
| | 大巴河地下水应急水源地 | 孔隙水 | 3 | 64 |
| 许昌 | 尚集-陈化店地下水应急水源地 | 孔隙水 | 3 | 65 |
| 漯河 | 拦河潘地下水应急水源地 | 孔隙水 | 5 | 66 |
| 南阳 | 范营地下水应急水源地 | 孔隙水 | 3 | 67 |
| 三门峡 | 高庙地下水应急水源地 | 岩溶水 | 3 | 68 |
| | 七里河地下水应急水源地 | 孔隙水 | 5 | 69 |
| 商丘 | 北郊地下水应急水源地 | 孔隙水 | 5 | 70 |
| 周口 | 张庄地下水应急水源地 | 孔隙水 | 8 | 71 |
| 驻马店 | 褚堂地下水应急水源地 | 孔隙水 | 5 | 72 |
| 济源 | 曲阳一小韩村地下水应急水源地 | 孔隙水 | 5.5 | 73 |
| | 克井地下水应急水源地 | 岩溶水 | 5 | 74 |

约占河南省主要城市2010年生活用水量的22.8%。

2.2.7 内蒙古自治区

全区地下水资源在地域分布上显示出自东向

西逐渐减少的特点。东部四盟市面积占全区40%，而地下水开采资源量 $93 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，占到全区的60%；而西部八个盟、市正好相反，内蒙古高原与阿

表7 内蒙古自治区主要城市地下水应急(后备)水源地一览表^①
Table 7 Emergency groundwater supply in the major cities of Inner Mongolia

| 城市名称 | 水源地名称 | 开采层地下水类型 | 应急可开采量 ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) | 图中 编号 |
|-------|----------------------|----------|--|----------|
| 呼和浩特市 | 大黑河东南部八拜乡地下水应急水源地 | 孔隙水 | 16.0 | 75 |
| 包头市 | 北部山前冲洪积扇地下水应急水源地 | 孔隙水 | 44.0 | 76 |
| 赤峰市 | 锡泊河下游地下水应急水源地 | 孔隙水 | 8.2 | 77 |
| 通辽市 | 西辽河上游地下水应急水源地 | 孔隙水 | 18.5 | 78 |
| 乌海市 | 岗德格尔山冲洪积扇裙一带地下水应急水源地 | 孔隙水 | 4.6 | 79 |
| 集宁市 | 黄旗海地下水应急水源地 | 孔隙水 | 25.6 | 80 |
| 鄂尔多斯市 | 昆独伦河地下水应急水源地 | 孔隙水 | 4.7 | 81 |
| 临河市 | 后河套平原地下水应急水源地 | 孔隙水 | 6.9 | 82 |
| 锡林浩特市 | 锡林河段地下水应急水源地 | 孔隙水 | 5.0 | 83 |
| 乌兰浩特市 | 洮儿河谷地下水应急水源地 | 孔隙水 | 1.2 | 84 |
| 海拉尔市 | 海拉尔河地下水应急水源地 | 孔隙水 | 1.8 | 85 |

拉善高原面积占全区40%，开采资源量仅占全区20%，人均仅为 $0.02 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。一般断陷盆地中冲洪积相、河湖相含水层颗粒较粗，含水层厚，水量丰富；湖相、湖沼相地层颗粒较细，含水层较厚，地下水量较丰富；第四系河谷潜水含水层东西部相差很大，含水层厚度一般东部50~60m，向西部含水层厚度逐渐减少或消失，其富水性也呈由东部向西部逐渐减少的规律性；全区6大沙漠下伏分布着丰富的淡水资源，含水层厚度一般80~220m，储存量可达 $9\ 197 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，天然补给资源量 $40.66 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，占全区天然补给量的13.9%，单井出水量1000~2000 m^3/d ，矿化度 $< 1.0 \text{ g/L}$ ，为区内主要富水地段，且大部分地区尚未开发；内蒙古鄂尔多斯高原是全国最大的白垩系淡水盆地，分布面积 $5.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，含水层厚一般500~1000m，主要为半胶结的中细砂岩、粉砂岩，单位涌水量可达 $122.78 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$ ，其补给资源为 $5.30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ，储存量达 $5\ 635.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。经调查评价和勘查，内蒙古拟选主要城市地下水应急(后备)水源地11处(图1)，可提供应急(后备)可开采量 $136.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (表7)，约占内蒙古自治区主要城市2010年生活用水量的109%。

3 结语

(1)华北地区分布有可供选择的主要城市地下水应急(后备)水源地85处(图1)，可提供应急(后备)可开采量 $785.89 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其中，孔隙水水源地

53处，岩溶水水源地31处，裂隙水1处。

(2)作为城市应急供水，地下水具有不可替代的重要作用，应积极做好应急(后备)水源地的选址、规划、勘查评价、建设、水源保护、运行管理等工作。因此，在现有工作基础上，针对拟建的地下水应急水源地，开展地下水应急水源地勘查，把勘查建设应急水源地纳入城市基础设施建设和水资源开发规划，为开发建设地下水应急水源地做好前期准备工作。

参考文献:

- [1] 张宗祜,李烈荣. 中国地下水资源[M]. 北京:中国地图出版社, 2005.12
- [2] 段永侯,王家兵,王亚斌,等. 天津市地下水资源与可持续利用[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(3): 29-39.
- [3] 邵新民,王蓓. 建立浙江省地下水应急供水水源地的初步研究[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(5): 54-56.
- [4] 孙晓明,杨齐青,王卫东,等. 环渤海地区主要城市应急供水水源地初步研究[J]. 中国国土资源经济, 2006, 19(8): 4-7.
- [5] 曹永凯,曹世斌,李延辉,等. 山东省地下水资源开发与保护综合研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(4): 39-43.
- [6] 狄丕勋. 山西省地下水资源开发利用的对策[J]. 地下水, 2007, 27(6): 466-469.
- [7] 陈广东,田君慧. 河南省地下水资源状况及可持续利用对策[J]. 河南水利, 2006, 8: 28-29.
- [8] 李艳霞. 内蒙古自治区地下水分布特点及其改善对策[J]. 内蒙科技与经济, 2002, 6: 68-69.

Analysis on the Water Supply Prospect of the Emergency Water Source in the Major Cities of North China

YANG Qi-qing, MA Zhen, SUN Xiao-ming, FANG Cheng, SHI Pei-xin

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China)

Abstract: North China is one of the regions which are highest level of underground water resource development and utilization in China. Groundwater exploitation quantity in this region accounted for more than 50% of the whole country, the development and utilization rate reached 54.3%. Since 1990s, northern areas have continued dry weather, water shortages has become an important constraint of affecting the socio-economic development, especially coping with various of unexpected incidents and ensuring urban water supply security which have become the urgent affairs. Based on the regional hydro-geological conditions in North China, present status of groundwater development and utilization, the balance of groundwater exploitation and recharge, the author analysis and summarize water supply conditions and prospect of 85 emergence urban groundwater source that are elected and planted to build in this area, which has important strategic significance for the protection of the water supply security in major cities of North China.

Key words: North China, city, emergence water source, prospect analysis

学术论文的引言内容要求

引言(又名前言、概述)经常作为论文的起始段落,主要回答“为什么做该项研究”这个问题,可分为两个方面的内容,一是问题从何说起,即问题的出处;二是问题为何提出,即提出的必要性。总的来说,其目的是阐述问题的由来,具体要简明介绍论文的研究背景,通过文献综述所研究领域的研究现状,找到存在问题,给出本次研究的起点,研究方法,追求的目标和取得的主要成果,以此来表明本篇论文的创新性,体现文章的价值,使读者明了文章主题的性质和份量,引起他们的重视和阅读兴趣。一般的摘要应具备5个基本要素:总结和分析相关研究成果,找出该领域中存在的问题,提出本论文要研究的问题,阐明研究思路,简述研究方法。

引言应言简意赅,不要等同于论文的摘要,或成为摘要的注释。引言中不要详述同行熟知的定义,包括教科书上已有陈述的基本理论、实验方法和基本方程的推导等。如果在正文中采用比较专业化的术语、缩写词,或引入新概念,最好先在引言中定义说明或加以解释。一般情况下,文章的这一部分都比较简短。

(刘新秒)