

# 邢台市城区地下水位上升对建筑物影响的分析报告

河北省地质矿产勘查开发局第九地质大队

二零二二年十一月



# 邢台市城区地下水位上升对建筑物影响的分析报告

编制单位：河北省地质矿产勘查开发局第九地质大队

项目负责：薛小历

技术指导：冯更辰 王凤元 王占辉 曹启堂

技术负责：荣慧峰

编写人：宋亚坡 李 宁 李 洵 陈丽萍

审核人：王凤元

总工程师：白 明

队 长：李光宏

提交单位：河北省地质矿产勘查开发局第九地质大队

编写时间：2022年11月



# 邢台市城区地下水位上升对建筑物影响的分析报告

## 专家评审意见

2022年11月17日，邢台市水务局在邢台市组织召开了《邢台市城区地下水位上升对建筑物影响的分析报告》（以下简称“分析报告”）审查会议，参加会议的有邢台市水务局、邢台市住房和城乡建设局、邢台市自然资源和规划局、河北省邢台水文勘测研究中心等单位代表和特邀专家组成了审查小组（名单附后），与会人员听取了《邢台市城区地下水位上升对建筑物影响的分析报告》的编制单位河北省地质矿产勘查开发局第九地质大队的汇报，审阅了有关文件，经答疑讨论，形成主要审查意见如下：

一、邢台市是著名的北方泉城，自古素有“环城皆泉，遍地甘露溢，平地群泉涌”的美誉。二十世纪八十年代以后，达活泉、百泉先后断流。近年来，邢台市开展百泉水生态环境修复工作，加之2021年降雨偏丰，狗头泉、百泉、黑龙潭泉先后复涌。随着地下水位上升，引发了地质环境问题，开展邢台市城区地下水位上升对建筑物影响的分析，为制定防治措施提供依据很有必要。

二、基本同意研究工作区划分。

三、基本同意区域地质条件的分析和水文地质条件的分析结论。完善工程地质条件分区分类，补充相关工程地质分区图。

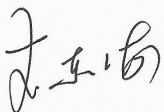




四、基本同意城区地下水位上升分析的依据和方法，进一步补充水量平衡分析。

五、基本同意地下水位上升引发的工程地质问题分析结论。进一步补充水位上升主要因素，补充已发生的环境地质问题汇总表。

六、提出的防治措施基本可行，进一步优化防治措施。  
该报告修改后，可指导邢台市百泉地质灾害防治工作。

专家组组长： 

2022年11月17日

邢台市城区地下水位上升对建筑物影响的分析  
审查专家组名单

审查组职务	姓名	工作单位	职称或职务	签字
组长	李东海	河北省邢台水文勘测研究中心	高工	李东海
	张英林	特邀专家	高工	张英林
成员	张显涛	邢台市住房和城乡建设局	高工	张显涛
	袁舜有	邢台市水务局	高工	袁舜有
	王占辉	特邀专家	正高	王占辉
	康彦付	河北省邢台水文勘测研究中心	正高	康彦付
	胡瑞飞	邢台市自然资源和规划局	科长	胡瑞飞



# 目 录

第一章 前言.....	1
1.1 项目背景.....	1
1.2 目的任务.....	1
第二章 工作区自然地理概况.....	3
2.1 地理位置.....	3
2.2 气象水文.....	3
2.3 地形地貌.....	8
第三章 区域地质概况.....	11
3.1 地层岩性.....	11
3.2 地质构造.....	15
3.3 区域水文地质条件.....	18
3.4 工程地质条件.....	53
第四章 城区地下水位上升成因初步分析及预测.....	58
4.1 地下水水量平衡分析.....	58
4.2 城区地下水位上升原因初步分析.....	72
4.3 城区地下水位预测分析.....	74
第五章 地下水位上升引发的工程地质问题.....	77
5.1 地基承载力降低.....	79
5.2 地下工程受损.....	81
5.3 边坡失稳.....	83
5.4 人工填土沉陷.....	84
5.5 岩溶塌陷.....	85
5.6 初步防治工程措施.....	92
第六章 结论及建议.....	96
6.1 结论.....	96
6.2 建议.....	98

# 第一章 前言

## 1.1 项目背景

邢台市是著名的北方泉城，自古素有“环城皆泉，遍地甘露溢，平地群泉涌”的美誉。较著名的就有百泉、狗头泉、黑龙潭泉、银沙泉、珍珠泉、葫芦套泉、七里河泉等三十六泉。二十世纪八十年代以前，达活泉泉群年平均流量 0.24 亿方，百泉泉群年平均流量 1.89 亿方。之后由于降雨量减少、水库的截流、岩溶水开采量增大影响，岩溶水水位持续下降，达活泉、百泉先后于 1981 年和 1986 年断流。邢台市委、市政府高度重视百泉水生态环境修复工作，先后实施了关闭自备井、引江水替代城区岩溶水、水库补水等水生态修复措施，加之 2021 降水量极大，著名的狗头泉、百泉、黑龙潭泉先后复涌。随着泉水的复涌和城区地下水位上升，引发了地下结构浸水、地面沉降、地下室渗水、机井溢水等现象，引起当地百姓担忧。邢台市委、市政府高度重视地下水位上升引发的地质环境问题。根据邢台市人民政府常务会议纪要第 15 期，邢台市水务局委托我队全面开展地下水监测、水文地质勘察工作，系统分析水位上升对地表结构、地面建筑等带来的影响，初步查明由地下水位上升引发的工程地质问题类型、成因及分布特征，制定相应的防治措施。

## 1.2 目的任务

### 1.2.1 工作目的

在充分收集研究工作区已有地质资料的基础上，全面开展地下水监测、水文地质勘察工作，初步查明工作区地下水位上升引发的工程地质



问题类型、成因及分布特征，预测发展趋势，进行初步评价，制定相应的防治措施。

研究工作区：邢台市中心城区，包含行政区为信都区和襄都区。西至西环路，东至 107 国道，北抵省道 S342，南至祥和大街，总面积 342km<sup>2</sup>。

### 1.2.2 工作任务

1、搜集研究工作区气象、水文、基础地质、水文地质、工程地质、环境地质、工程勘察、地下水位动态监测等相关资料；

2、开展水文地质工程地质环境地质补充调查工作，初步查明工作区地下水位上升引发的工程地质问题类型及分布特征；

3、分析各类工程地质问题的成因，预测发展趋势，进行初步评价分区，初步制定防治措施；

4、工作区地下水位上升成因分析，预测上升趋势；

5、编制邢台市城区地下水位上升对建筑物影响的分析报告，初步制定邢台市城市建设与泉水保护措施和建议。

## 第二章 工作区自然地理概况

### 2.1 地理位置

工作区位于邢台市中心城区，包含行政区为信都区和襄都区。西至西环路，东至 107 国道，北抵省道 S342，南至祥和大街，总面积 342km<sup>2</sup>。地理坐标为北纬 36° 59′ 05″ —37° 09′ 36″ ，东经 114° 23′ 23″ —114° 35′ 52″ 。区内交通发达，京广铁路、107 国道与京珠高速纵贯本区中东部，市区道路更是四通八达，具体见图 2-1。

### 2.2 气象水文

#### 2.2.1 气象

工作区属大陆性半干旱季风气候，四季分明，春季多风干旱，夏季炎热多雨，秋季昼暖夜凉，少雨干旱，秋高气爽，冬季雨雪稀少，干燥寒冷。据邢台市气象站（1954~2020 年）资料分析，多年平均气温 13° C，水面蒸发量 1161.1mm，年平均降雨量 528.3mm，其中最大降水量 1266.2mm（1963 年），最小降水量 228.2mm（1986 年）。（见多年降雨量统计表，表 2-1）。自 1972 年以来年平均温度、蒸发量有逐年增高的趋势，而降水和相对湿度有逐年减少的趋势。

据多年降水量资料分析，本区降水量变化具有以下规律：

- 1、年内降水量分配不均，多集中于 6~9 月份，占全年总降水量的 65~75%。
- 2、年际间降水量变化大，丰、枯水年相差 3.0~5.7 倍，且呈现为 9~

10 年的变化周期。

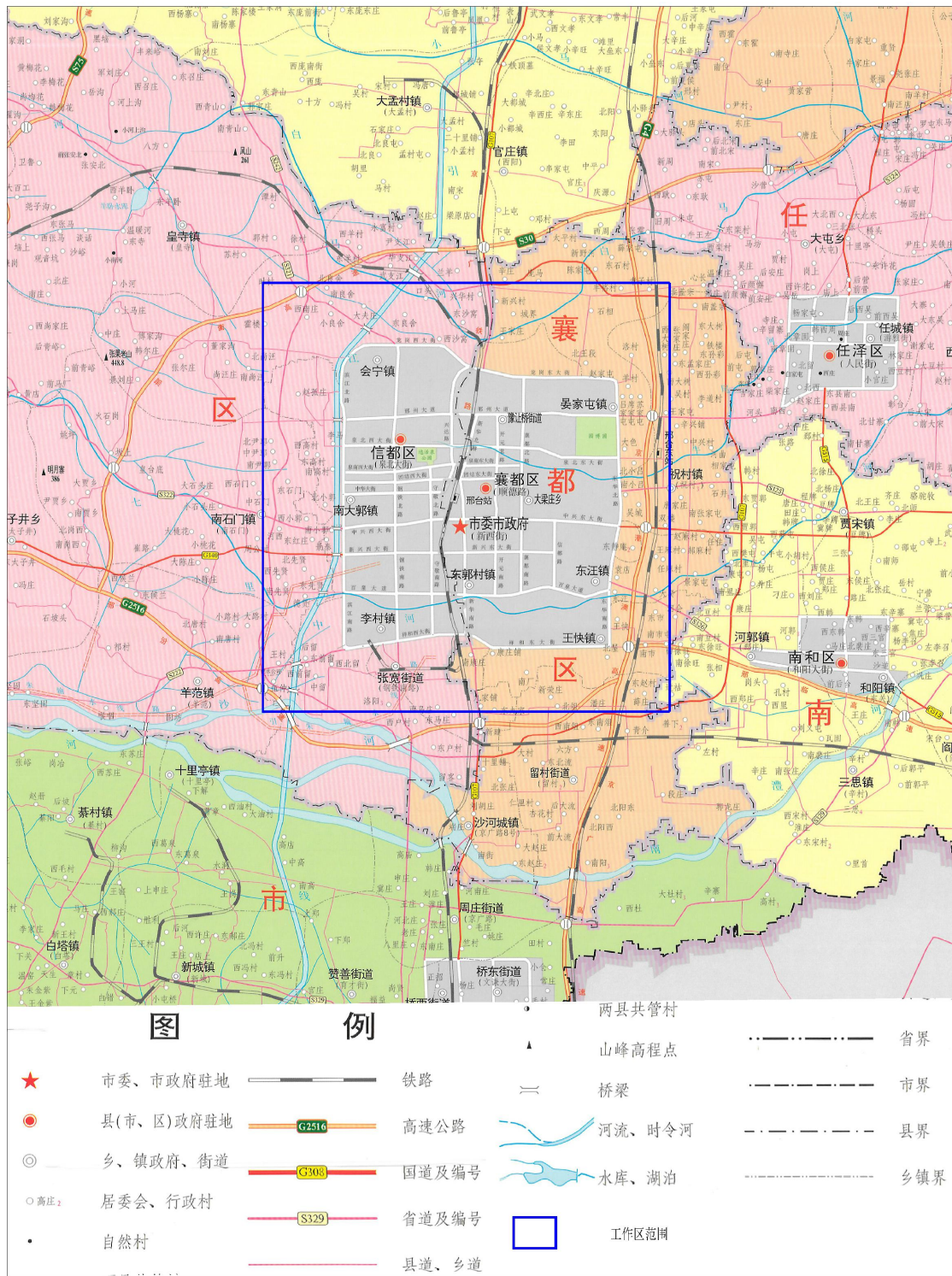


图 2-1 工作区交通位置图

表 2-1 邢台市 1954-2021 年降雨量统计表

年份	降水量 (mm)	年份	降水量 (mm)	年份	降水量 (mm)
1954	643.1	1977	505.3	2000	799.2
1955	568.0	1978	305.2	2001	373.9
1956	848.9	1979	356.3	2002	352.3
1957	434.4	1980	324.8	2003	649.9
1958	634.3	1981	424.8	2004	560.0
1959	474.5	1982	613.6	2005	433.7
1960	495.9	1983	409.4	2006	460.6
1961	552.9	1984	524.9	2007	501.4
1962	411.2	1985	447.2	2008	493.1
1963	1374.1	1986	228.2	2009	625.3
1964	761.0	1987	502.1	2010	625.40
1965	365.4	1988	455.5	2011	563.10
1966	537.9	1989	655.0	2012	565.93
1967	531.8	1990	533.0	2013	590.60
1968	526.9	1991	468.3	2014	365.20
1969	585.9	1992	388.5	2015	479.83
1970	460.9	1993	578.3	2016	709.5

1971	619.9	1994	301.4	2017	461.4
1972	374.8	1995	703.1	2018	530.9
1973	890.1	1996	754.5	2019	361.7
1974	519.9	1997	423.9	2020	597.1
1975	553.6	1998	439.9	2021	984.5
1976	742.8	1999	234.4	-	-
1954-2021 年平均降水量 (mm)					528.3

### 2.2.2 水文

工作区及附近主要河流由北至南为白马河、七里河和沙河，均为季节性河流，汛期泄洪，旱季干枯断流，对本区地形地貌和含水层的形成有重要控制作用；此外市区内由西向东流的牛尾河、小黄河、围寨河，为市区排沥河，三条河流在市区东部小吴庄一带汇合，具体见图 2-2。

白马河：位于工作区北侧，发源于邢台县西部沟底村一带，流经邢台县、邢台市、任县汇入大陆泽，全长为 65km。河床宽为 200-300m，1963 年最大洪峰流量为 2700 m<sup>3</sup>/s（南青山站），1996 年 8 月南青山附近最大洪峰流量达 1950m<sup>3</sup>/s。

七里河：发源于邢台县西部龙尾尖后沟，经黄店、皇台底、邢台市、王快，经南和县，由任县注入大陆泽，全长 59km。流域面积 505km<sup>2</sup>。1963 年 8 月 4 日洪峰流量 12000m<sup>3</sup>/s（坂上村），1996 年 8 月 4 日洪峰流量 1105m<sup>3</sup>/s（坂上村）。上游 1967 年建成东川口水库，流域面积 84km<sup>2</sup>，总库容为 928 万 m<sup>3</sup>，1996 年 8 月 4 日洪峰入库流量 1239m<sup>3</sup>/s。

沙河：发源于邢台县和沙河市西部山区，距邢台市城区南约 5.28km，



经邢台、沙河、南和汇入大陆泽。朱庄水库以上流域面积 1200km<sup>2</sup>。1963 年 8 月 6 日洪峰流量 8360m<sup>3</sup>/s(朱庄站),1996 年 8 月 4 日洪峰流量 6100m<sup>3</sup>/s (端庄站)。

牛尾河：古称鸳水河，源于邢台城西北石井冈瓦瓮泉(营头泉)，下汇达活、紫金、野狐诸泉(又名达活河)，在高庄桥纳入流经邢台市区的小黄河，在大吴庄纳入流经邢台市区南部、东南部的围寨河，下游在任县南留寨与顺水河汇集后入南涅河，流域面积 216km<sup>2</sup>。现市区段均已改造。

小黄河：发源于邢台县南石门镇冯山南麓火石岗和张果老山一带，流经南石门镇、南大郭乡、桥西区、桥东区，在市酱菜厂东纳入源于南高村一带，流经孔村、金华小区、青年小区的茶棚沟的水，至市东北高庄桥处汇入牛尾河，属滏阳河水系支流，全长 21.25km，市区段长约 9km，流域面积 163.54km<sup>2</sup>。是邢台市城区的主要泄洪河道和排放污水渠道。现小黄河市区段沿岸均已绿化，河底及两侧进行了防渗处理。

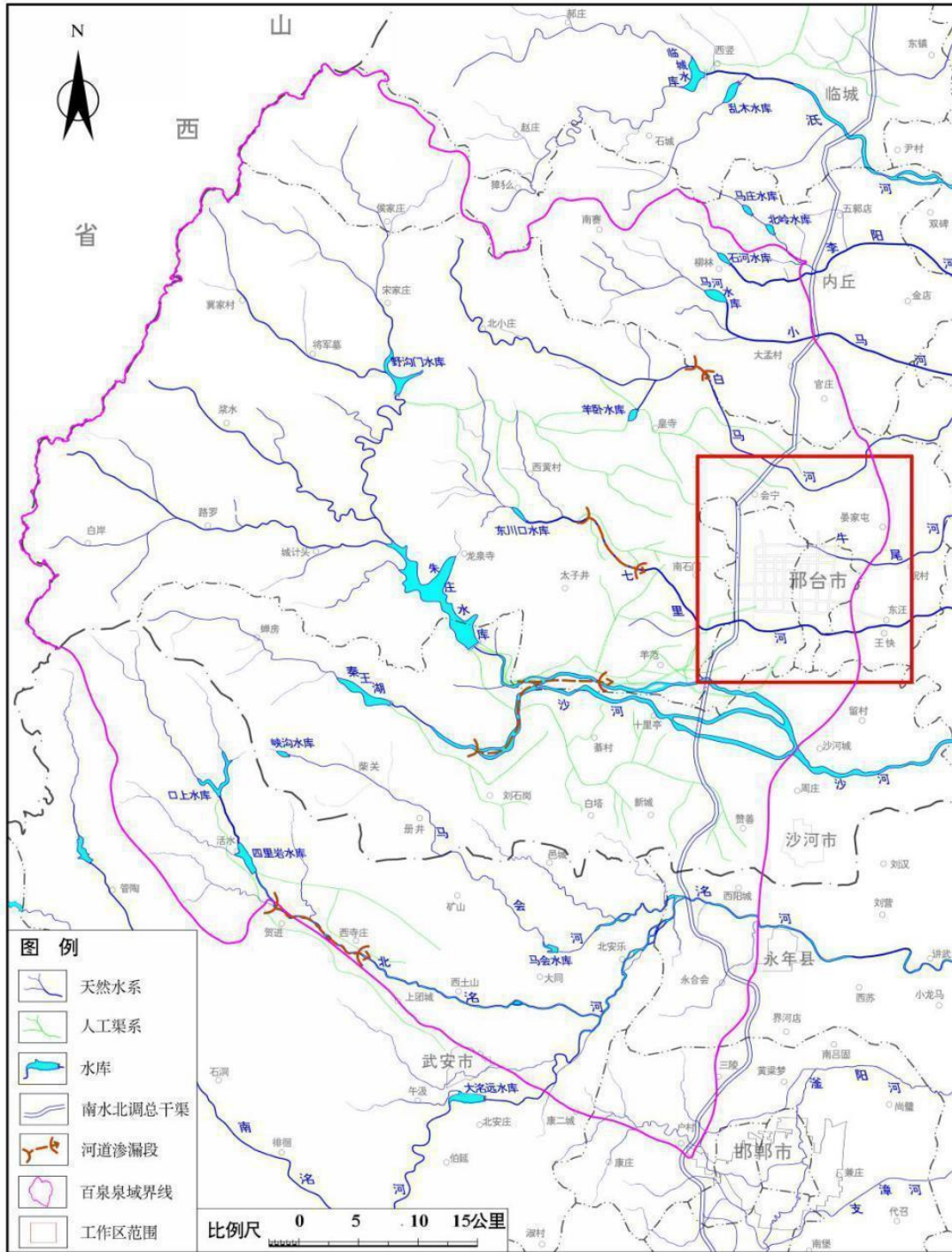


图 2-2 工作区水系分布图

## 2.3 地形地貌

工作区在大的地貌单元上位于山西高原和华北平原的过渡地带，区内地势宏观上西高东低，地形起伏，地貌形态多样。自西向东依次为丘

陵区、低丘垄岗和山前倾斜平原等地貌景观。主要类型有：构造剥蚀丘陵亚区以碳酸盐岩为主的丘陵小区，侵蚀剥蚀台地亚区碳酸盐岩台地小区，侵蚀堆积台地亚区冰碛物基座台地小区、黄土类台地小区，老冲洪积平原亚区倾斜地小区，新冲洪积平原亚区扇上平地或缓斜地小区、扇上平地或扇间洼地小区、河漫滩地小区，冲洪积平原亚区河漫滩地小区，具体见图 2-3。

工作区地形呈西高东低之势，地表高程 152~51m，西北部边缘的南尚汪一带最高海拔 152m。西部为丘陵区 and 垄岗区，地表高程一般为 152~120m，地形坡度一般大于 4%，局部东西向及南北向冲沟发育；中东部山前倾斜平原区由白马河、七里河与沙河冲洪积扇构成，坡度 8.8~3.4%，地表高程一般为 90~55m。主城区地表高程为 93~55m。

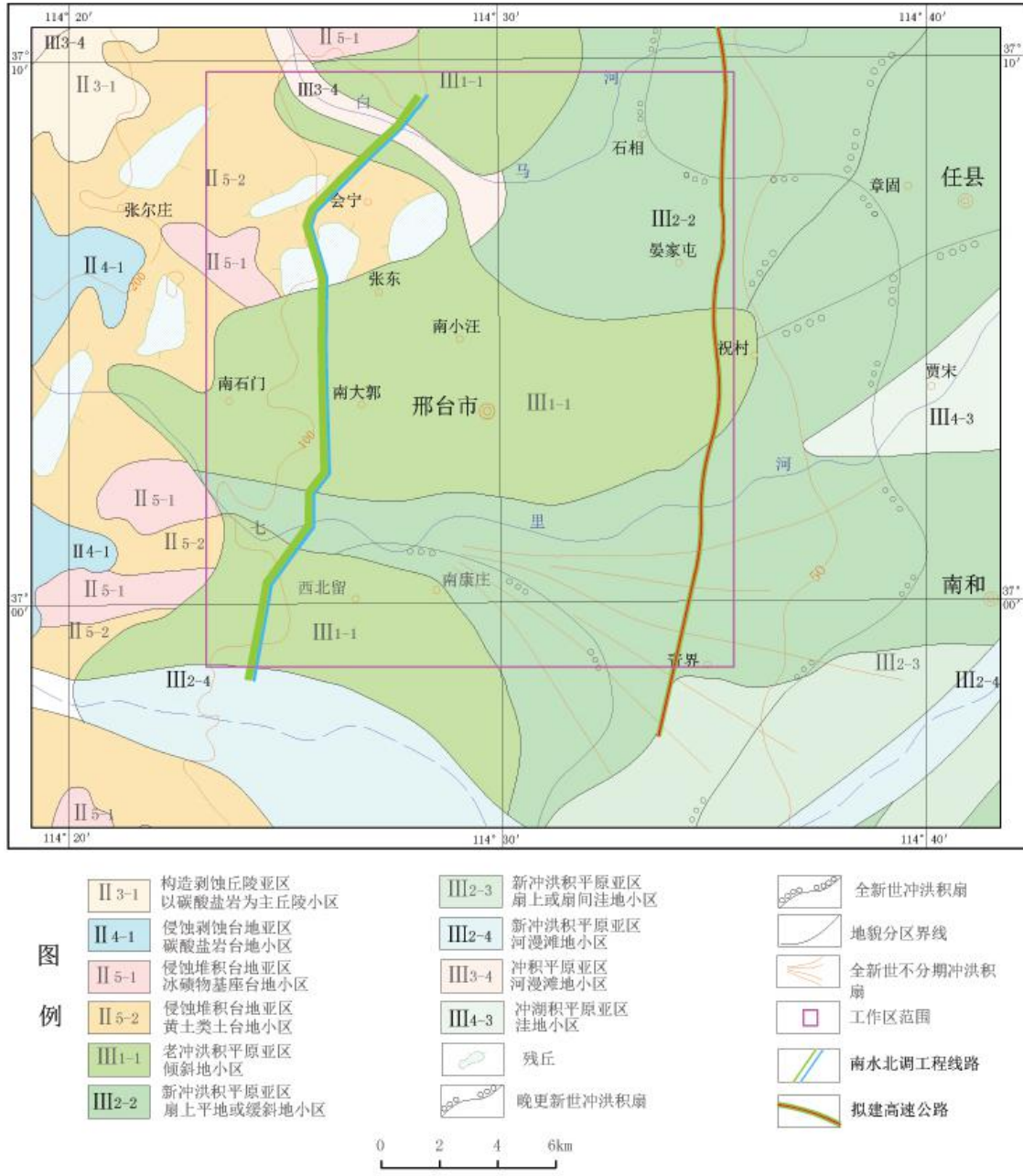


图 2-3 邢台市城区地貌图

## 第三章 区域地质概况

### 3.1 地层岩性

区内揭露地层由老至新主要有：下古生界奥陶系、石炭系、二叠系，中生界三叠系、新生界第三系、第四系。工作区绝大部分地段为第四系覆盖区，第四系厚度西北部较薄一般小于 50m，中南部厚度一般为 50-270m，东部厚度大于 300m，百泉和达活泉原天然排泄区和西北部、西部个别地段奥陶系灰岩裸露。中西部下伏奥陶系中统碳酸盐岩地层，东部和中南部局部地段下伏石炭系、二叠系地层，见表 3-1 和图 3-1。

表 3-1 工作区出露地层特征描述表

界	系	统	组	代号	地层特征	分布
新生界	第四系	全新统		Q <sub>4</sub>	冲积、洪积等组成，岩性主要为粉质粘土、粉土、卵石、砾石、砂等，上部为耕植土，残坡积物为粘土、粉质粘土夹碎石，厚度 2-38m。	分布在河谷地带、市区及东部平原



		上更新统	Q <sub>3</sub>	由冲积洪积物组成主要岩性为黄色、灰黄色或微带红色的黄土状土、黄土状粉质粘土、细砂及底部砾石层。厚度 14.43-39.0m。	出露于工作区西部、及二级阶地之上。在市区及东部隐伏于 Q <sub>4</sub> 之下
		中更新统	Q <sub>2</sub>	为冰水、河湖相沉积，岩性为浅黄色、棕黄、灰绿色粉质粘土、亚粘土及砂层，含钙质结核，厚度 21.73-大于 229m。	零星出露于山前沟谷两侧河流三级阶地。平原区隐伏于 Q <sub>3</sub> 下部
		下更新统	Q <sub>1</sub>	由冰水、湖积物组成，岩性为灰绿、褐黄及杂色粘土、泥砾夹风化砂，厚度 4.21-210m。	出露于山丘垅岗顶部及河谷沿岸。平原区隐伏于 Q <sub>2</sub> 下部
古生界	二叠系		P	上部为暗紫色、灰紫色、紫色黄绿色细粒砂岩、粉砂岩、板状砂质页岩。下部为灰、灰黄、暗紫色中细粒砂岩、粉砂岩，铝土质页岩、砂质页岩，厚度 910-1715m。	分布于邢台市南部向斜轴部地堑区，埋藏于第四系之下。

	石 炭 系		C	上部为灰色、紫红色、黄绿色砂岩、砂质页岩等组成，夹数层灰岩及煤。 下部主要是灰白色鲕状铝土岩、铝土页岩，黑色黄绿色砂岩、粉砂岩、砂质页岩，夹薄层砂岩，底部为一明显的侵蚀面，以残积山西式褐铁矿层与奥陶系分界。厚度 142-180m。	分布于邢台市南部向斜轴部地堑区，埋藏于第四系之下
		奥 陶 系	中统	峰峰组	O <sub>2</sub> f
磁县组	O <sub>2</sub> c			上部深灰、灰色，中厚层致密灰岩、泥质灰岩、花斑灰岩夹白云质灰岩、角砾状灰岩，中部中厚层灰色、含砾泥质白云岩、深灰色致密灰岩、灰紫色白云质灰岩，下部浅灰、黄绿色膏溶角砾岩及角砾状白云岩。厚度 190.68-316.7m。	低丘垅岗区和东部松散层之下

			马家沟组	O <sub>2</sub> x	上部深灰、灰色，中厚层、厚层白云质灰岩、致密灰岩、角砾状灰岩，中部灰黄、灰绿色角砾状白云质灰岩、花斑灰岩，下部浅灰黄色、灰绿色泥质白云岩、底部灰红色含砾石英砂岩。厚度 26.77-229.34m。平行不整合于亮甲山组之上。	低丘垅岗区和东部松散层之下
		下统	亮甲山组	O <sub>1</sub> l	浅灰、灰白色厚层状白云岩含燧石条带白云岩，厚度 58.63-89.0m。	
			冶里组	O <sub>1</sub> y	上部为灰黄色似竹叶状白云岩，下部为灰白色白云岩，厚度 105.21-142.0m。	

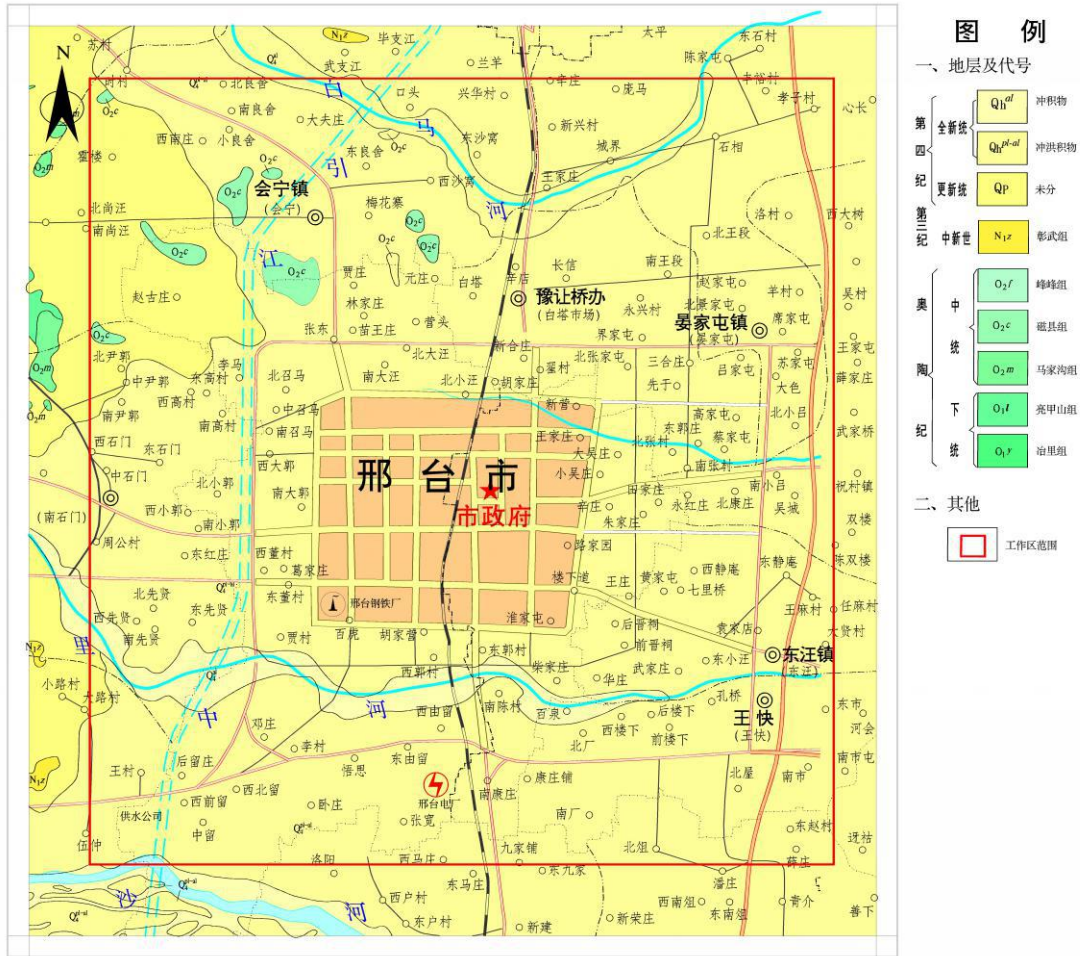


图 3-1 工作区地质图

### 3.2 地质构造

工作区在二级构造单元上位于山西断隆的东部边缘；三级构造单元位于太行拱断束的东部边缘，东临清台陷；四级构造单元属于武安凹断束单元东北部，东临南和断凹单元（见图 3-2）。

工作区依邢台内丘—邢台弧形断裂可以划分为两个区：西侧部分松散层之下主要为灰岩，局部灰岩裸露；东侧部分松散层之下为石炭、二叠系地层。

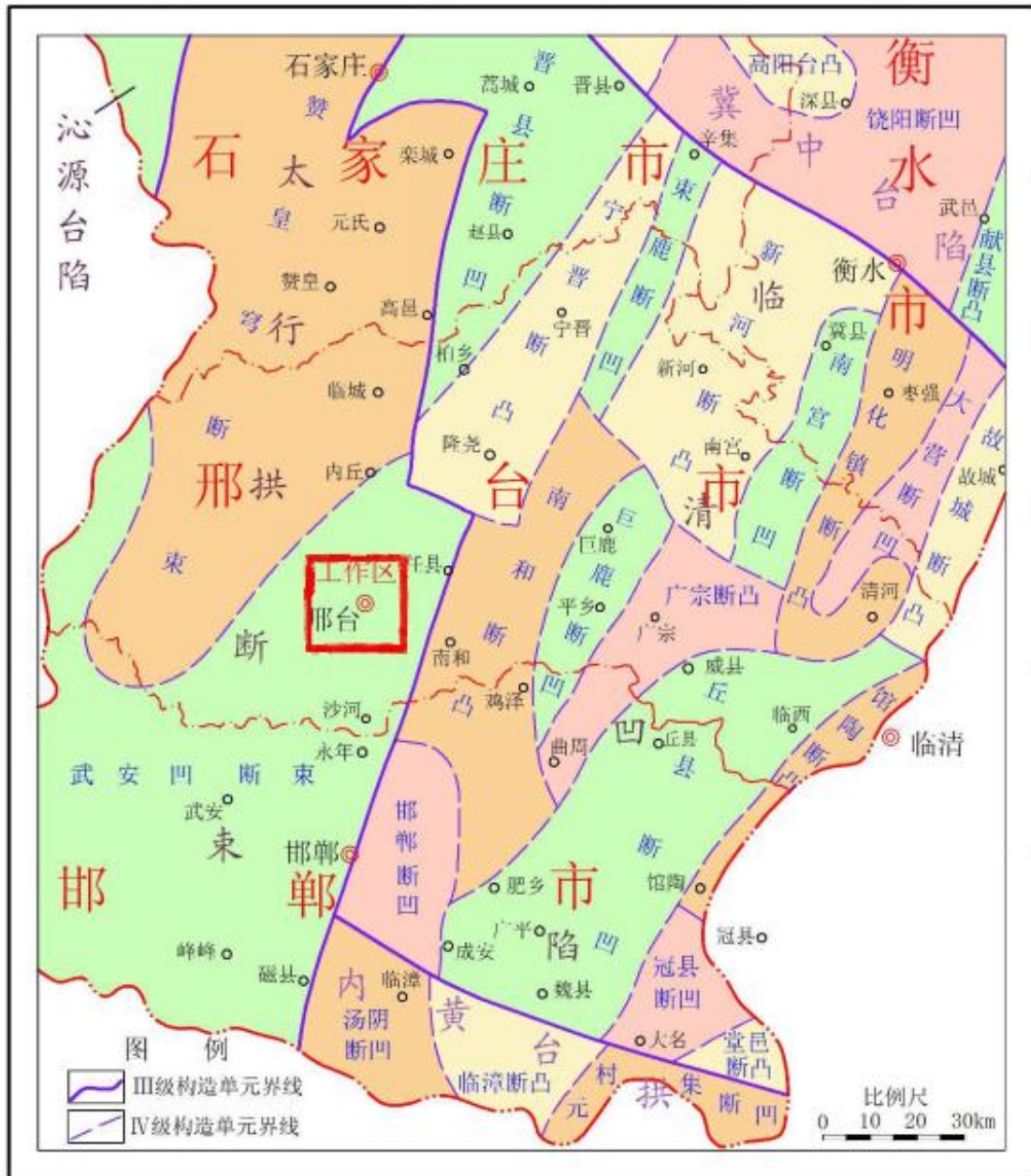


图 3-2 工作区地质构造图

工作区内构造极为发育，褶皱、断裂纵横交错，背、向斜相间排列，但严格受区域构造控制，具体见图 3-3。其主要表现为 NE—NNE 和 NW 向两组。

NE—NNE 向褶皱：区内分布南北两组褶皱构造，北组褶皱规模较小，南组褶皱规模较大。北组褶皱自西向东分别为北良舍向斜、会宁背斜、营头向斜、南大汪背斜、南小汪向斜、李家庄背斜。南组褶皱自西向东分别



为先贤向斜、董村背斜、胡家营—悟思向斜、东由留—张宽背斜、西马庄向斜和百泉背斜。南组褶皱受后期构造的影响，已形成了规模不等、形态各异的地垒和地堑，部分改变了原有形态。由于断裂分割和改造，背斜成为主要的蓄水构造，向斜对岩溶水的运移和富集具有一定的阻隔作用。

NE—NNE 向断裂：主要有邢东断裂，它构成泉域东部南段阻水边界。此外尚有：长信村—西郭庄、南康庄—西户、南康庄—东马庄、西由留—洛阳、韩演庄—前由留、西郭庄—中由留、孔村—北先贤、孔村—东先贤等断裂。上述断裂均属压兼扭性断裂，它们分割着不同程度的富水条带，一般是一侧充水。工作区东部邢北普查区和邢东井田区内部多发育 NE 向断裂，规模较小。

NW 向断裂：本区 NW 向断裂主要为内丘—邢台大断裂，与 NNE 邢台—峰峰大断裂构成泉域的阻水断裂。其次为南小汪—大梁庄、孔村—后晋祠断裂，在邢台电厂、董村、百泉等地还有规模较小的 NW 向断裂，该组断裂成生较晚，通常切割 NE—NNE 向断裂和褶皱，力学性质属张兼扭性。除内丘—邢台大断裂外，这些断裂对岩溶水的运移起着沟通和疏导作用。

SN 向断裂：石家庄—峰峰大断裂在工作区东部南北贯穿，工作区内长 6.7km，呈近 SN 向，为区域性断裂，工作区段称为邢东断裂。在工作区东部南大树～吴村～苏家屯～大色～南小吕～袁家店～东汪镇～七里河桥东通过。

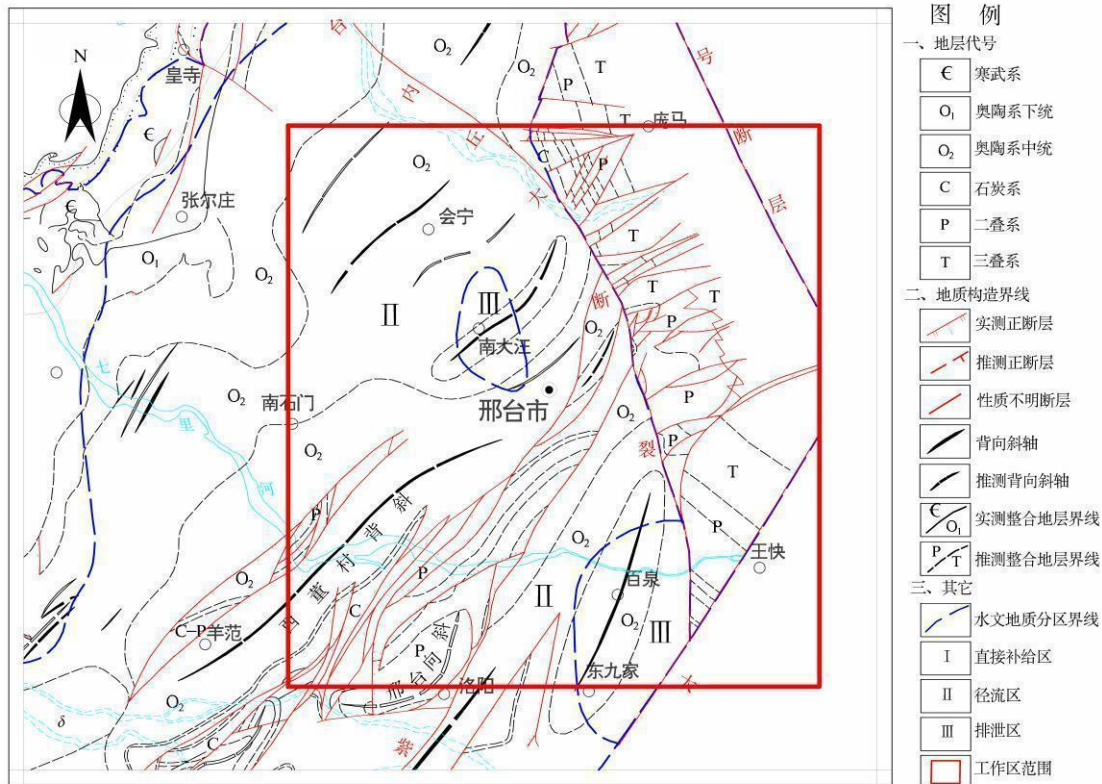


图 3-3 工作区地质构造图

### 3.3 区域水文地质条件

#### 3.3.1 区域水文地质条件

##### 一、岩溶水

工作区内岩溶水属于百泉泉域岩溶水径流排泄区。百泉泉域包括信都区、襄都区、内丘县、沙河市、武安市以及永年区部分地区。泉域的东部由邢台—峰峰断层和邢台—内邱断层所组成，构成东部阻水边界；南部：西段为北洺河地下水分水岭，东段为煤系地层和岩浆岩体构成阻水边界；西部以山西与河北的分水岭为界；北界为内邱—西北岭地下水分水岭。百泉泉域面积 3843km<sup>2</sup>，岩溶水的分布面积 1638.6km<sup>2</sup>，其中裸露区面积 338.6km<sup>2</sup>，浅埋区面积 299.9km<sup>2</sup>，埋藏区面积 1000.1km<sup>2</sup>。

百泉泉域西部为中山，海拔标高 1000m 左右；向东逐渐为低山丘陵，标高 500~100m；东部为平原区，标高 100~60m。区内有发源于西部变质岩区的小马河、白马河、七里河、沙河、马会河和北洛河。各河流在雨季洪峰期流经灰岩裸露区产生严重渗露。

### （一）百泉泉域地下水赋存与分布特征

百泉泉域岩溶水主要赋存于奥陶系及寒武系碳酸盐岩溶隙、溶孔、溶洞中。在灰岩裸露与浅埋的补给区属潜水区，径流区与排泄区灰岩被第四系覆盖或下伏于石炭系二叠系之下，除达活泉、百泉等浅埋区外，大部为承压水。其岩溶水分布、富集与岩溶发育规律是一致的，而岩溶的发育又受到地层岩性、构造与岩浆活动、地形地貌、埋藏条件、水动力条件等的影响，从而既表现出垂向的分带性，又呈现出水平方向上显著的不均一性与各向异性，总体上有如下特点：

1、从补给区到排泄区富水性增强，不均匀性降低。一般在灰岩裸露的补给区，水量贫乏，而且不均匀性强，在构造有利地段井的单位涌水量显著高于远离构造影响的一般地段。而到下游的排泄区，水量丰富，且变得相对较为均匀。

2、第四系之下的覆盖型岩溶水区比石炭二叠系下伏的埋藏型岩溶水区富水性强，并且随着灰岩埋藏深度增大富水性减弱。

3、奥陶系中统磁县组、马家沟组水量丰富，而峰峰组水量中等或贫乏。

4、寒武系与奥陶系下统一一般在补给区水量贫乏且极不均匀，但在排泄区尤其是冶里组粗粒白云岩水量丰富。

5、岩溶发育与富水性受构造控制极为明显：百泉泉域即是太行山复式背斜东翼构成的大型单斜蓄水构造，并由大规模的构造构成了泉域的边界。在局部，背斜轴部、断裂构造迎水一侧、断层交汇部位等水量丰富。构造形成的断块，则控制了富水性的方向性条带状展布。

6、在地貌、补给排泄、地质构造等的综合控制下，形成了从补给区向排泄区集中径流的几个强径流带。

## （二）含水岩系（组）划分及其特征

碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩系主要分布于泉域的中部和东部，由寒武系和奥陶系组成的一套复杂的含水岩系，并含有丰富的岩溶地下水，是本区供水水源地主要的含水层，也是本区矿床充水主要的含水层。依据地下水赋存条件及水动力特征，可划分为四个含水岩组，一个相对的隔水层组。

### 1、寒武系下统和寒武系中统徐庄组泥岩相对隔水层

主要分布于西部山区，沿长城系石英砂岩外侧并呈带状分布。碳酸盐和非碳酸盐呈互层状组合，即以非碳酸盐岩（泥岩）为主夹薄层碳酸盐岩，为本区的相对隔水层。

### 2、寒武系中统鲕状灰岩岩溶含水岩组

主要分布于西部的中低山区，呈带状分布，并向东南倾伏。西部为潜水，向东逐渐变为承压水。岩性以鲕状灰岩、致密灰岩为主，岩溶较发育，一般在构造有利部位富水性较好，其它部位富水性较差。钻孔单位涌水量一般在  $0.437 \sim 14.6 \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ ，最大可达  $60 \text{m}^3/\text{h}$ 。水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{—Ca} \cdot \text{Mg}$  型水，矿化度一般在  $0.4\text{g/l}$  左右。

### 3、寒武系上统竹叶状灰岩、泥质条带灰岩裂隙岩溶弱含水岩组

主要分布于西部的中低山区，沿寒武系中统鲕状灰岩东侧呈条带状出露。岩性以竹叶状灰岩与泥质条带灰岩为主并呈互层状组合，为弱含水岩组。钻孔单位涌水量一般在  $0.052\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$  左右，水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$  型水，矿化度一般在  $0.3\text{g/l}$  左右。

#### 4、奥陶系下统厚层白云岩岩溶含水岩组

主要分布于西部的中低山区，多为潜水，向东随着含水层顶板埋深的增大，逐渐过渡为微承压水、承压水。岩性以白云岩、角砾状白云岩为主，下部的冶里组粗粒白云岩是主要的含水层。岩溶裂隙发育不均匀，富水性相对变化较大。钻孔单位涌水量一般在  $0.71\sim 36.0\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ ，在排泄区构造较发育的情况下，单位涌水量可达  $110.0\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ ，水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{—Ca}\cdot\text{Mg}$  型水，矿化度一般在  $0.4\text{g/l}$  左右。

#### 5、奥陶系中统中厚层灰岩岩溶含水组

广泛分布于工作区，上覆地层为第四系、石炭系、二叠系地层。含水层岩性以马家沟组、磁县组、峰峰组的致密灰岩、花斑灰岩和白云质灰岩为主。

由于奥陶系中统灰岩是一套的多旋迴碳酸盐沉积建造，由三大旋迴组成，每个旋迴构成了一个完整的韵律层系，并且每一个旋迴底部普遍沉积了角砾状灰岩、薄层泥灰岩、钙质页岩，它们具有相对的隔水作用，而上部以纯灰岩为主，岩溶裂隙比较发育，富水性较强，同时岩溶发育程度及富水性受地形地貌、构造的影响差异性很大，一般的在补给区水位埋深较大，含水极不均匀，局部位于当地侵蚀基准面以上，成为透水不含水层；在迳流区，水循环交替强烈，裂隙溶洞成层发育，在有利的构造部位可形

成富水段；排泄区岩溶十分发育，为强富水地段，且岩溶发育相对均匀。总体上从补给区～迳流区～排泄区的钻孔单位涌水量一般在  $0.6 \sim 72.6 \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$  之间，水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{—Ca} \cdot \text{Mg}$  型水，矿化度一般在小于  $0.6\text{g/l}$ 。

碳酸盐岩在沉积环境条件控制下具有一定的韵律性规律，使其成为一个厚度巨大的多层裂隙溶洞含水体，它们既可单独视为一定厚度的含水层组，又在断裂构造的作用下相互连通，形成统一的水动力系统。因此本含水岩组既是一个相对独立的，又构成一个相对统一不可分割的岩溶含水多层体，各含水层段常保持各自的水动力系统，它们之间存在着明显的水头差，并且是铁矿、石膏矿床主要充水含水层。

### （三）岩溶发育规律

泉域内主要岩溶形态有：溶孔、溶隙、溶洞。其发育程度与分布受岩性、构造、地貌及水动力条件控制，并表现如下基本规律；

#### 1、裸露岩溶区

该区为寒武～奥陶系碳酸盐岩组成的低山丘陵区，海拔  $130 \sim 800\text{m}$ 。该区岩溶不发育，为弱岩溶发育区，具有以下特点：

##### （1）岩溶形态受岩性和构造控制

中、粗粒结晶灰岩、白云岩中广泛发育溶孔，角砾状灰岩中多见蜂窝状和网格状溶孔，而溶隙、溶洞主要发育于纯灰岩、白云岩、花斑灰岩中，如：沙河北岸金牛洞发育在奥陶系下统的白云岩中。

##### （2）岩溶在空间分布上具有明显的成层性

据区域资料，本区发育有多期岩溶现象，反映了区域不同时期的四个



岩溶发育期，可划分为四个标高层（见表 3-2）。基本上反映出区内各碳酸盐岩中地下水在古排泄点的作用下，自西向东，从高到低的运动方向，也反映了西部山区多次振荡抬升的构造特征。

表 3-2 寒武、奥陶系灰岩岩溶发育高程统计表（单位 m）

地层 层位	I	II	III	IV
€	280 ~ 400	450 ~ 600	720 ~ 810	
O <sub>1</sub>	180 ~ 220	350 ~ 400	600 ~ 750	
O <sub>2</sub>	130 ~ 165	190 ~ 290	360 ~ 500	600

## 2、山前覆盖岩溶区

该区地貌形态为低丘垅岗，海拔 100~280m。第四系覆盖层西薄东厚，本区为强岩溶发育带，岩溶水强径流带和岩溶大泉是该区的主要特征。区内岩溶发育标高从西部山区到岩溶泉排泄点逐步降低，岩溶强发育程度自西向东由弱到强。

## 3、埋藏型岩溶区

主要分布在煤系地层掩埋区，地貌形态西部为低丘垅岗，东部为断陷盆地，海拔一般在 60~180m，埋藏深度在 500~1000m。覆盖层受单斜构造控制，西薄东厚。其中西部为浅埋藏型岩溶区，东部为深埋藏型岩溶区。

浅埋藏型岩溶区，中奥陶碳酸盐岩埋藏于石炭（C）、二叠系（P）以下，埋深小于 500m，平面分布于向斜断陷盆地的边缘，为强岩溶发育带，属承压水地段。体现了岩溶发育从西部山区到泉排泄点逐渐降低的特点。据统计，浅埋藏型岩溶区碳酸盐岩岩溶发育特征除受地形、地貌、岩性控制外，还存在岩溶发育的多层性、系统性和随深度的增加而减弱的趋势。

据钻孔资料统计具有以下特征：标高在-150m以上为岩溶强发育带，-150~-400m为岩溶较发育带，-400~-650m为岩溶弱发育带，-650m以下为岩溶极弱发育带。

深埋型岩溶区分布于泉域东部二叠系(P)和三叠系(T)覆盖区，地貌类型属断陷盆地，地面标高60~100米，该区碳酸盐岩埋藏于上述地层之下，埋深500~1000米，该区岩溶水滞留。为弱岩溶发育区或不发育区。

#### (四) 岩溶水补给、径流、排泄条件

##### 1、补给条件

百泉泉域属泉排型岩溶泉域，无外来侧向补给，降水是泉域内唯一的补给来源，补给时间主要为每年的雨季，其补给方式主要有两种形式：

一是大气降水在灰岩裸露区(338km<sup>2</sup>)沿垂直发育的溶隙、溶孔和小型溶洞面状直接渗入补给，入渗系数0.6~0.7之间，分布于高村、王窑、皇台底、西丘一线以西地区和基岩裸露区，寒武系中-上统及奥陶系中-下统碳酸盐岩裸露区的渗漏条件受区域节理裂隙的控制，面裂隙率一般为7%-20%，以北-北东向裂隙为主，且很少有植被覆盖，形成了良好的入渗条件。根据野外小流域观测，在碳酸盐岩分布区，一般雨后无地表径流，即使在暴雨之后，地表径流亦极短暂；

二是西部变质岩区为间接补给区，该区为非碳酸盐岩分布区，入渗条件差，大气降水形成地表径流，汇入下游水库，通过水库放水在河道渗漏段部分下渗，以线状间接入渗补给岩溶水。

由于本区河流具有两个重要特点：第一是各河流进入碳酸盐岩分布区之后，因大量渗漏而断流；第二是河流的展布与区域横向构造具有一定的

联系。因此，受横向构造控制的渗漏段，常处于纵向构造带相连接的复合部位，出现强烈的渗漏现象。像沙河的南、北两条支流，在八里庙、朱庄一带穿越朱庄断裂带，八里庙附近位于奥陶系中统灰岩上的佐村水库建成蓄水后，两昼夜全部漏光。据朱庄水库弃水回灌试验研究，沙河东坚固以上渗漏量较大，工作区内其它河流也有较大的渗漏量。经多年统计区域内河谷渗漏段的渗入补给量占整个泉域天然补给量的一半左右。

根据观测分析，百泉泉域地下岩溶水补给，主要靠大气降水和河道渗水，大气降水直接渗入补给占总补给量 70%；河道渗漏段补水占 30%，其中大沙河补给占河道补给量的 70%以上。

参考《邢台市西部铁矿开采对百泉泉域水环境的影响研究报告》、《邢台百泉岩溶水系统水资源管理—人工调蓄试验勘察报告》等成果，按多年平均降水量 605.33mm，计算得到泉域岩溶水降水入渗补给量为 11432.98m<sup>3</sup>/a。

## 2、径流条件

岩溶类型主要为溶蚀裂隙型，岩溶水类型主要为裂隙岩溶水，岩溶水流态较单一，整个百泉泉域岩溶水流态以层流为主。

百泉泉域岩溶水径流条件受构造和地层岩性所控制，总特征呈波状起伏的辐射型流面，在径流带则为槽谷状展布。在补给区流线密集，向排泄区逐渐变得稀疏。在天然条件下径流总的趋势是由西北、西、西南三个方向向百泉泉群和达活泉泉群汇集。

现状条件下，受人为开采影响，岩溶水向多个开采漏斗汇集，径流条件发生巨大变化。

### 3、排泄条件

#### (1) 天然条件下

在天然条件下，岩溶水主要通过百泉泉群和达活泉泉群溢出地表排泄，部分顶托与侧向补给第四系孔隙水。

#### (2) 开采条件下

自上世纪七十年代以来，由于大量人工开采岩溶水，导致泉水断流，人工开采逐渐取代了泉群的天然溢出。达活泉、百泉断流以来至今尚未恢复。

2017年南水北调向邢台市城区供水以后，城区地下水水厂的地下水开采量逐渐减少，到2020年，地下水水厂的开采量由原来的6.78-14.31万 $\text{m}^3/\text{d}$ 压减至1.2万 $\text{m}^3/\text{d}$ ，随着水生态修复等一系列工程的开展，百泉泉域岩溶水的排泄方式将变为北部泉群溢出地表排泄及南部大水矿山人工开采排泄。

### (五) 岩溶水动态特征及流场演变

#### 1、泉流量特征

二十世纪八十年代以前，达活泉平均流量达 $0.78\text{m}^3/\text{s}$ ，而百泉平均流量达到 $6.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上，由此形成了泉口及其下游独特的景观和生态环境——百泉喷涌、芦苇荡荡、垂柳依依、鸟语花香，真是名副其实的小江南。1958年“扩泉”工地出土的动植物化石证实，这里曾经植被茂密、动物群集。

由于地下水的超采以及补给区上游水库的截流，岩溶水水位急剧下降，达活泉和百泉在1981年和1986年相继断流。达活泉泉群自1981年

干枯后，至今尚未恢复自流。百泉泉群 1974~1982 年统计的平均流量反映了其衰减和消亡过程。

百泉、狗头泉自 1986 年断流后，在降水偏丰的 1996 年（年降雨 901mm）、2000 年（年降雨 798.4mm）、2016 年 12 月（年降雨 879.1mm）及 2018 年 10 月（年降雨 532mm）分别出水。2021 年降雨量极大，水库放水量大，狗头泉、黑龙潭泉、百泉坑又一次出水，说明泉水复涌与泉域内的降雨量与上游水库的放水量有直接关系。

## 2、岩溶水水位动态特征

### （1）天然状态下

泉域内岩溶水水位具年周期变化规律，多年水位基本保持平衡。邢台市水位标高在 1979 年之前一般为 67~73m，年变幅较小（1.41~3.31m，最大 4.76m）、泉流量也较稳定。1979 年以后，随着岩溶水开采量不断增大，水位也出现较大变化，呈现出多年下降趋势（图 3-4），同时泉流量也逐年减少乃至断流。说明补给量已小于排泄量，反映了开采型动态特征。

泉域内岩溶水动态严格受大气降水和人工开采所制约，并以雨季集中补给，常年消耗为特征，同时呈现出既有丰水年和枯水年（7~10 年）动态变化规律，又有丰水期和枯水期年内季节性和周期性变化规律。年内变化呈不对称波状，多年变化呈阶梯状递减，总的趋势是逐年下降，年内变化大体可分为三个阶段：

第一阶段为回升期：岩溶水水位位于每年 7~11 月份，在补给区为短时、快速、直线回升；在径流区、排泄区逐渐过渡为缓慢曲线式回升。回升速度在补给区为 7~50cm/d，径流区为 2~7.0cm/d，排泄区为 2~2.5cm/d。

第二阶段为相对稳定期：在丰水年，径流区与排泄区于 11 月中旬以

后有1~3个月水位稳定期，补给区一般无稳定期；枯水年份，各区均不具有水位稳定期。

第三阶段为下降期：在补给区一般在每年的10月至下年6月，径流区于11月至下年6月，排泄区于1月至6月，呈直线下降，下降速度补给区为3~5cm/d，径流区为2~3cm/d，排泄区为0.5~2.0cm/d。地下水变幅，补给区一般为20~50cm/d，径流区为10~20cm/d，排泄区0.5~10cm/d。在持续3年以上干旱年份的情况下，岩溶水的水位呈连续下降状态，无明显的升降期之分。

除了上述水文年周期变化规律外，本区岩溶水还存在着7~10年的多年周期变化规律。上世纪60~70年代为10年周期，上世纪80年代以来为7年周期。多年周期的水位变化与大气降水周期相吻合。周期开始时，地下水位上升至最高峰，经过4年左右的相对稳定期，然后逐年下降，到本周期结束时达到最低水位。然后随着丰水年强降雨补给（2000年降雨798.4mm/年、2016年879.1mm/年），使得水位出现猛升的现象。





图 3-4 百泉流量、西由留 G332 孔水位标高及降雨量 (1974-2020 年) 动态关系曲线图

## (2) 开采条件下

①除西石门铁矿处于独立单元外，其它观测孔水位变化趋势基本一致，即水位上升或下降基本同步，例如：2016年7·19强降雨后，各观测孔均在8月份出现明显水位上升，并在次年1-2月达到最高值；2019年枯水年，年降雨量为364.1mm，各观测孔水位自2019年1月至2020年6月均呈下降趋势，且下降幅度由北向南逐渐增大，侧面反映出南部沙河市及武安市的矿山地下水开采量明显大于邢台市区一带。

②1974年至2014年1月，邢台市城区一带（董村、柴家庄等）岩溶水水位标高低于沙河市及武安市矿区（郭二庄、中关等），随着近几十年矿山大量排水，邢台市区岩溶水开采量不断压减，自2014年1月开始，出现邢台市城区一带（董村、柴家庄等）岩溶水水位标高高于沙河市及武安市矿区（郭二庄、中关等）的现象，即排泄区水位标高高于原补给、径流区的反常现象，百泉泉域的流场与原来自然状态流场出现实质性差异。

南部武安北洛河铁矿一带水位自1974年至今已下降200多米，而市区一带自1974年至今水位下降仅35米。百泉泉域以大沙河为划分为南、北两个单元，以信都区及内丘县为北单元，以沙河市、武安市、铁矿及煤矿为南单元，存在南北两单元水位下降值差异明显的现象，即南部武安水位下降远大于北部，说明南部岩溶水补给条件较差，以南部流场及水位变化情况来看，南部在沙河市高店至王岗一带接受北部少量的侧向补给，即在现状开采条件下，大沙河以南的岩溶水不会径流至北部邢台市区一带。

### 3、流场演变

#### (1) 天然状态下

##### ①概况

天然状态下，百泉泉域内岩溶水水位埋深总体变化规律是：从补给区的深埋型（水位埋深大于200m），到排泄区逐渐过渡为浅埋型，直到排泄点以泉群的形式涌出地面。水位标高从补给区大于230m，到排泄点百泉的65m左右。

根据1976年7月的百泉泉域岩溶水天然流场图（见图3-5）分析可知，百泉泉域岩溶水水力坡度自补给区到排泄区逐渐减小，百泉岩溶水水力坡度见表3-3。

表3-3 百泉泉域天然状态下岩溶水水力坡度

补给区 (‰)		径流区 (‰)		排泄区 (‰)	
丰水期	枯水期	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期
3.39~23.8	2.7~16.5	2.16~3.00	0.99~0.46	0.32~0.43	0.06~0.13

##### ②强径流带

在构造和地层岩性控制下，在一些水交替作用明显的构造带、河谷带或沿层面溶隙及溶隙密集带常形成岩溶水强径流带，百泉泉域自北而南形成了白马河、七里河、沙河、北洛河四个强径流带，其分布详见图3-5、表3-4。

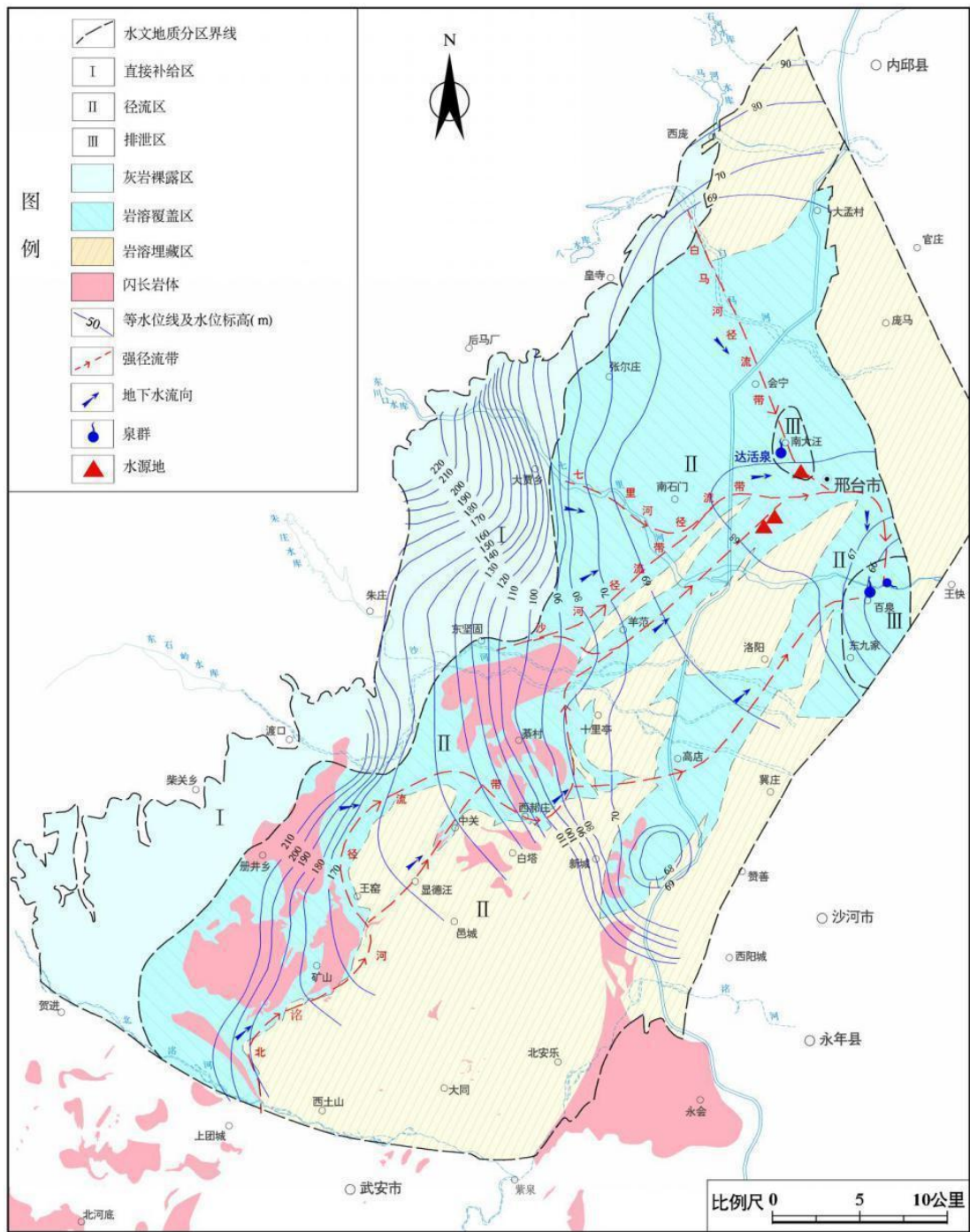


图 3-5 1976 年百泉泉域岩溶水天然流场及水强径流带分布图

表 3-4 邢台百泉泉域岩溶水径流带特征表

名称	径流带位置	地质特征	强径流带规模			纵向水力坡度 (%)	径流带岩性	钻孔裂隙率		钻孔见洞情况		
			长 (km)	宽 (km)	深 (m)			钻孔数 (个)	平均裂隙率 (%)	钻孔数 (个)	溶洞数 (个)	最大溶洞 (m)
白马河~百泉强径流带	西起东青山河谷渗漏段,经会宁于达活泉部分出露,最终到百泉	主要受地层单斜构造的控制,小褶皱发育,覆盖浅,裂隙发育,灰岩零星出露	25	2~4	420	0.45	O <sub>2</sub> 碳酸盐岩	12	2.78~4.89	4	7	4.00
七里河~百泉强径流带	西起姚平河谷渗漏段,经南石门穿邢台向斜背斜倾伏端汇入百泉	主要受地层单斜构造的控制,上游出露面积大,下游受褶皱构造的控制。	20	2~5	400	0.1~0.5	∈-O			9	72(其中6308号孔连续见洞53个)	3.30(6308孔)
沙河~百泉强径流带	西起八里庙河谷渗漏段,一部分汇入中关,一部分绕碁村岩体北缘经羊范汇入七里河径流带注入百泉。	受火成岩的阻隔以及构造复合带的控制。	22	2~4	450	2~4	O <sub>2</sub> 灰岩	6	1.71~3.78	15	39	33.88(南石门J23号孔)
北洛河~百泉强径流带	西起北洛河渗漏段,经云驾岭过矿山村火成岩体和与煤系地层夹持的灰岩过水廊道,一股经王窰到中关,另一股经邑城到新城汇紫泉径流带,最终两股合流汇向百泉。	矿山村过水廊道:受火成岩的控制,地下水于灰岩过水廊道中运移。	8	1~2	500	强2.4~5.43西部山10.65~18.38	O <sub>2</sub> 灰岩	7	1.76~2.89	18	49	48.83(玉石洼CKT-3孔)
		王窰一带:受小向斜的控制,地下水于灰岩和煤系地层接触带部位运移。	6	2~4	600	1.14~5.42	O <sub>2</sub> 灰岩	11		28	35	7.00(ZK10孔)
		中关一带:受火成岩体阻隔和煤系地层夹持,地下水在岩体和构造复合带之间运移。	10	1~3	600	1.25~4.20	O <sub>2</sub> 灰岩		1.82~3.34	33	48	13.16(749孔)

		史石门-邕城-新城一带，受深部灰岩与煤系地层的接触带控制，地下水于深部运移。	14	1~3	600		O <sub>2</sub> 灰岩			7	12	1.7 (史石门)
--	--	--	----	-----	-----	--	-------------------	--	--	---	----	-----------



**白马河径流带：**该带的岩溶水赋存于东青山至谭村间的渗漏段内，分东西两股，西股经西南庄、张东、在达活泉附近局部受阻，水位抬高而溢出，形成著名的达活泉泉群；东股（大部分）经尹支江、兰羊沿邢北、邢东井田边界断层西侧流至百泉泉群狗头泉排泄或顶托补给第四系孔隙水。

**七里河径流带：**源于皇台底以西，姚平至小桃花之间为七里河的渗漏段，其径流经南石门、孔村、至紫金泉部分为人工排泄、部分继续东流至市区印染厂与马河径流带汇合向南至百泉泉群狗头泉。

**沙河径流带：**源于西佐村附近，沿綦村岩体北侧经西坚固、先贤煤田东西两侧与七里河径流带汇集流向百泉。

**北洺河径流带：**主要汇集西南部山区地下水在北洺河形成地下径流向北东方向运移，到郭二庄以北分为两股，一股沿显德汪向斜西翼经王窑抵达中关；另一股自郭二庄、李石门经得义、白涧沿显德汪向斜东翼直达中关，两股在中关汇合后向东至西郝庄一带，因断陷盆地所阻，一部分向北与沙河径流带汇合，另一部分潜过断陷盆地向东进而向北东，经电厂一带抵达百泉。

## 2、开采条件下流场变化特征

### ①1977年-1990年

自上世纪七十年代以来，由于大量开采岩溶水，人工开采逐渐取代了泉群的天然溢出。在开采条件下，岩溶水流场发生较大的改变，根据1990年流场6月流场图（图3-6），在邢台市城区、邢台电厂、沙河新城及武安西石门出现多处地下水降落漏斗。

### ②1990年-2011年

由于邢台城市及厂矿企业供水需要、大沙河西南区域中各矿田由于开采需要，区域岩溶水水位持续大幅度下降，疏干抽水造成更多个地下水降落漏斗，大沙河南部水位下降速度大于北部地下水水位下降速度，并在大沙河一线开始出现分水岭，大沙河分水岭出现在朱庄-东坚固-固坊-葛泉煤矿一线，百泉岩溶水系统不再是一个独立的水文地质单元，而是被分水岭分割成两个相对独立的水文地质亚区，见图 3-7。

由于岩溶水的大量开采，沙河径流带及北洛河径流带的岩溶水径流方向发生改变：沙河径流带沿綦村岩体北侧向东径流后由两股分为三股，除向东北部市区径流外，另一股沿原北洛河径流带的葛泉煤矿西边界向南径流至西郝庄，之后与西侧来水汇合，继续沿原北洛河径流带向南径流至北洛河铁矿一带。

### ③2011-2017 年 11 月

在当前开采条件下，岩溶水流场有较大的改变，大沙河地下水分水岭日益明显，大沙河以北岩溶水向北部邢台市区三个水源地径流排泄，大沙河以南岩溶水向南部几个大水矿山径流排泄，2015 年 6 月百泉泉域岩溶水流场图显示呈现出四周向市区和水源地、大水矿山汇集的径流特征，见图 3-8。

百泉南、北两个水文地质亚区在大沙河分水岭东端高店至王岗一带，存在一定的水力联系，开采条件下，表现为北单元侧向补给南单元，由于径流断面较窄，且处于紫山断裂北端，其相对隔水，因此整体上北单元向南侧向补给量不大。

### ④2017 年 11 月以后

2017 年 11 月以来，南水北调引江水向邢台市城区供水，到 2020 年

6月，南水北调引江水已成为邢台市城区的主要供水水源，最大日供水量达15万 $\text{m}^3/\text{d}$ ，邢台市城区地下水水厂的开采量由原来的6.78–14.31万 $\text{m}^3/\text{d}$ 压减至1.2万 $\text{m}^3/\text{d}$ ，完成压减岩溶水开采量15.0万 $\text{m}^3/\text{d}$ （包括水源地压采和关闭自备井），而百泉泉域南部矿山仍在大量排水（约20–25万 $\text{m}^3/\text{d}$ ）。

百泉泉域岩溶水开采利用方式由原来的以邢台市城区生活供水及南部矿山排水为主，转变为南部矿山排水为主。在此情况下，地下水流场再次发生变化，大沙河分水岭向北偏移并向西缩短，除邢台市城区及其西部外，区域岩溶水整体上向沙河市及武安市一带大水矿山汇集，见图3-9。

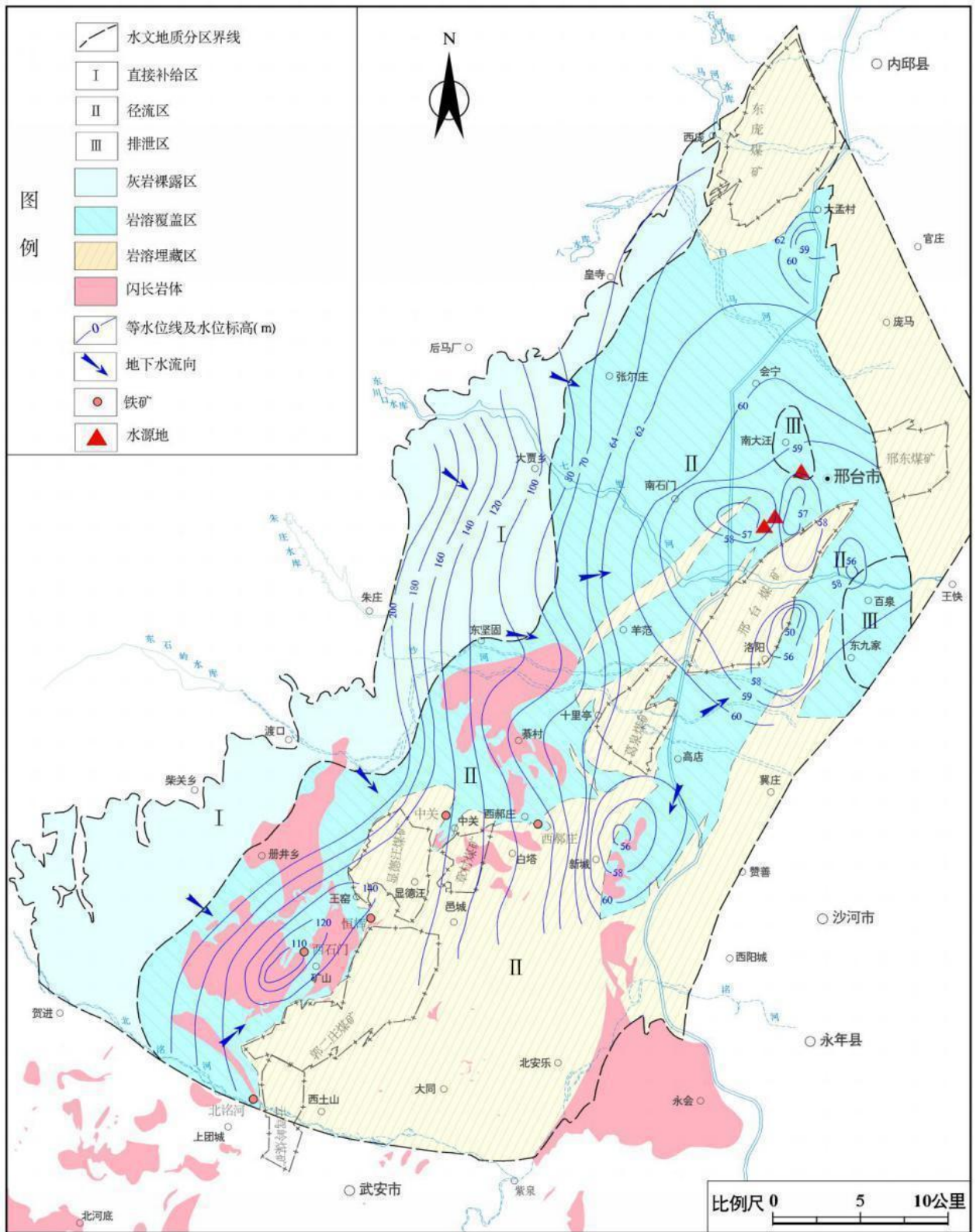


图 3-6 1990 年 6 月百泉泉域岩溶水流场图

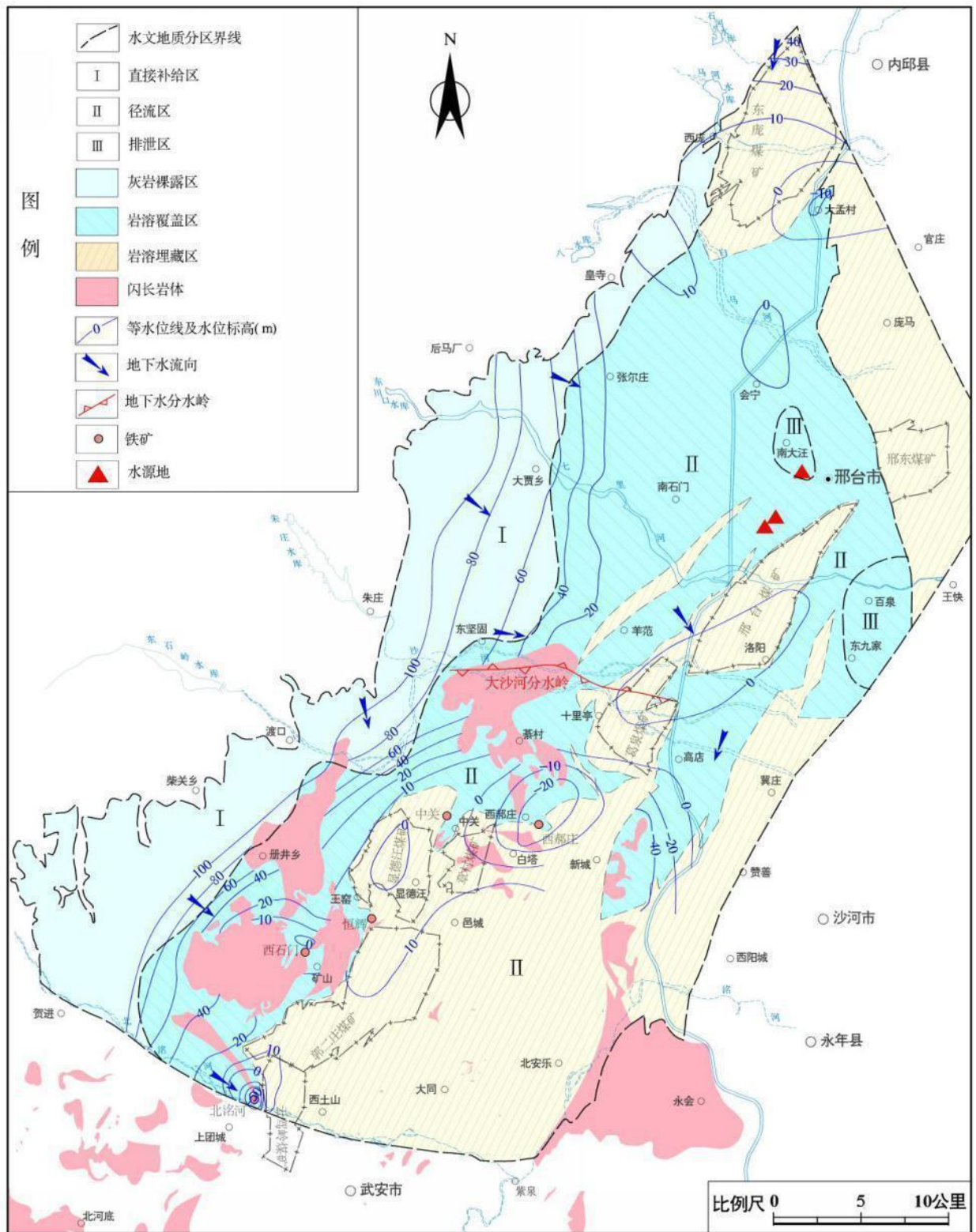


图 3-7 2011 年 11 月百泉泉域岩溶水流场图



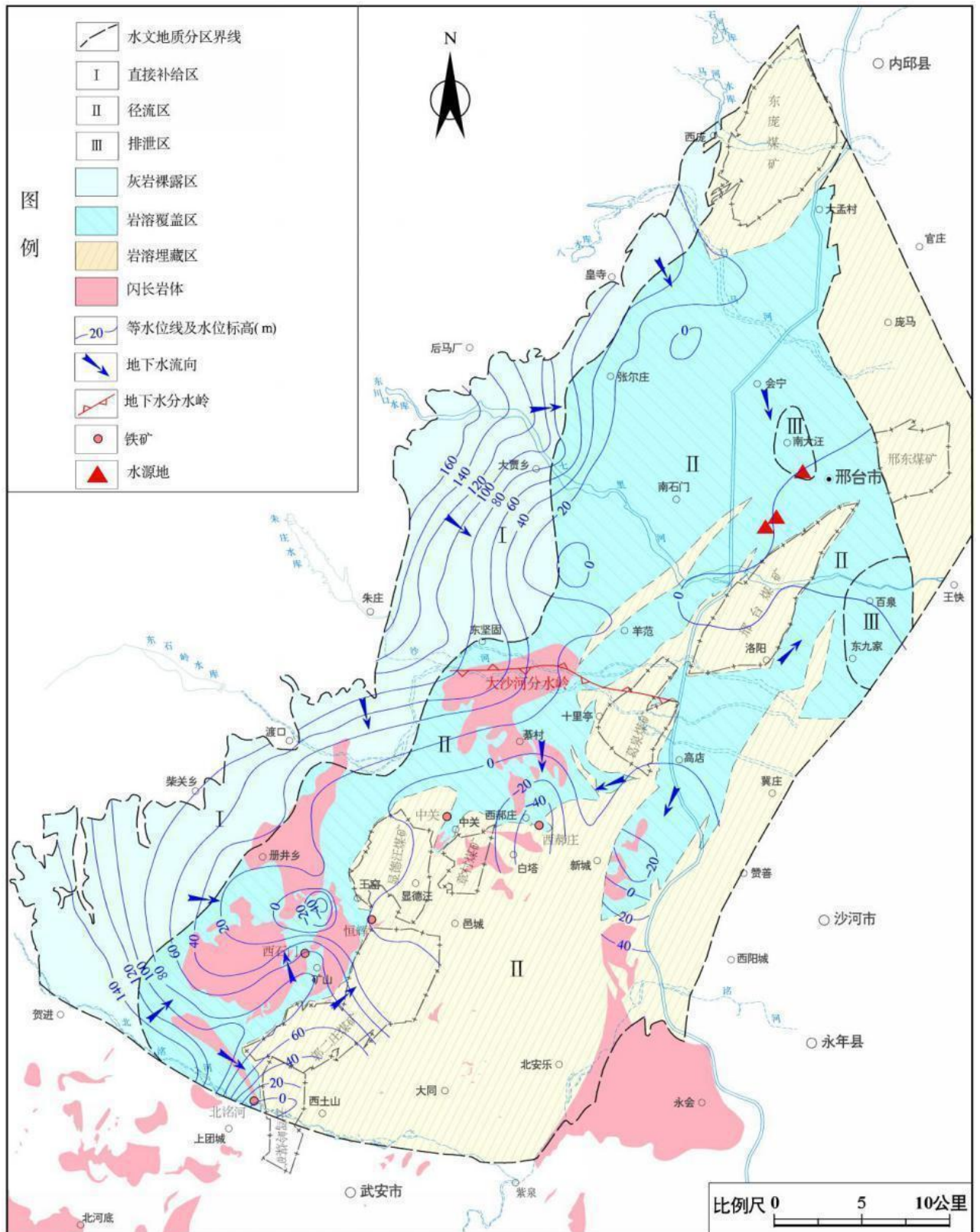


图 3-8 2015 年 6 月百泉泉域岩溶水流场图



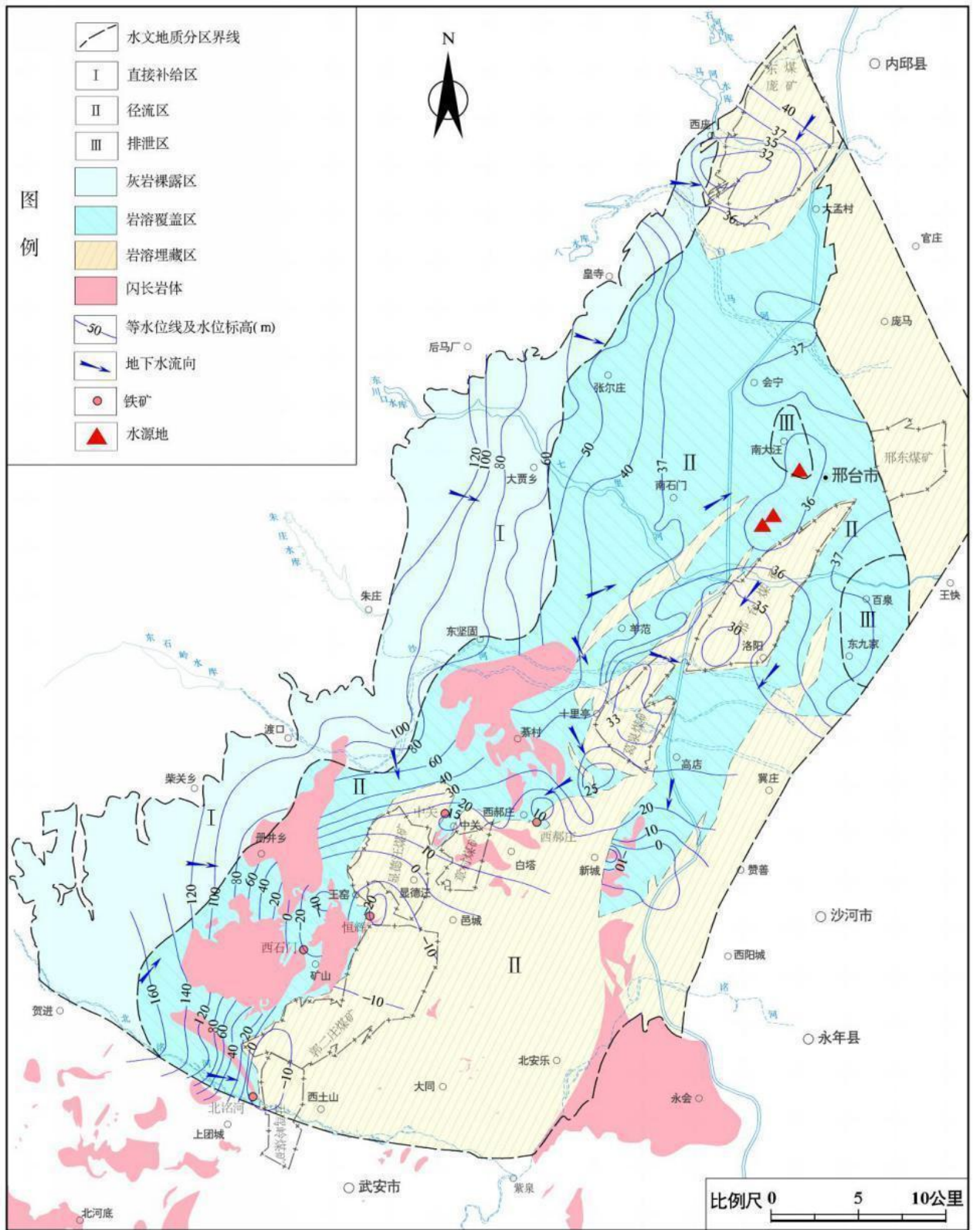


图 3-9 2020 年 6 月百泉泉域岩溶水流场图

## （六）岩溶水化学特征

寒武、奥陶系碳酸盐类岩溶水，自补给区的潜水——径流区承压水至泉群排泄区，大部处于水交替作用强烈带。因而，水化学类型简单，矿化度小于 500mg/L。局部强径流区，水交替作用较缓慢，地下水化学类型有所变化，矿化度增高，一般大于 1000mg/L。按阴阳离子毫克当量百分比数大于 25% 的作为一级分区标准；再根据阳离子结合矿化度划分亚区。区内地下水可分为低矿化度重碳酸盐类、重碳酸硫酸盐类、重碳酸硫酸盐氯化物类、重碳酸氯化物四个水化学类型，见图 3-10。其中重碳酸盐类可分为：重碳酸钙型和重碳酸镁型；重碳酸硫酸盐类型可分为：重碳酸硫酸盐钙型和重碳酸硫酸盐钙镁型。在本区内主要分布有重碳酸盐类和重碳酸硫酸盐类。前一种即：重碳酸钙、重碳酸钙镁型分布面积最大，重碳酸硫酸盐氯化物钙，重碳酸氯化物钙为零星分布，所以地下水的水化学类型在平面图上基本呈现由补给区到排泄区，由简单到复杂的规律。

地下水的水化学成分不仅与含水介质的岩性、水的补给来源有关，而且还受地貌、埋藏条件、径流条件及人为因素的影响。地下水的化学成分应是以上各因素的综合反映。因此，在各泉域补给区潜水型和强径流带浅隐伏区承压型岩溶水，径流条件良好，水交替作用强烈，形成了大面积的重碳酸钙和重碳酸钙镁型水。而在弱和极弱径流带内由于水交替作用缓慢，受其岩体和煤系地层的影响，在武安一带水质类型变化较复杂，由重碳酸钙镁变为重碳酸硫酸盐钙镁型。在邢台潭村，内丘胡里一带，局部为重碳酸硫酸盐钙型水，其原因和此地石膏矿分布有关。

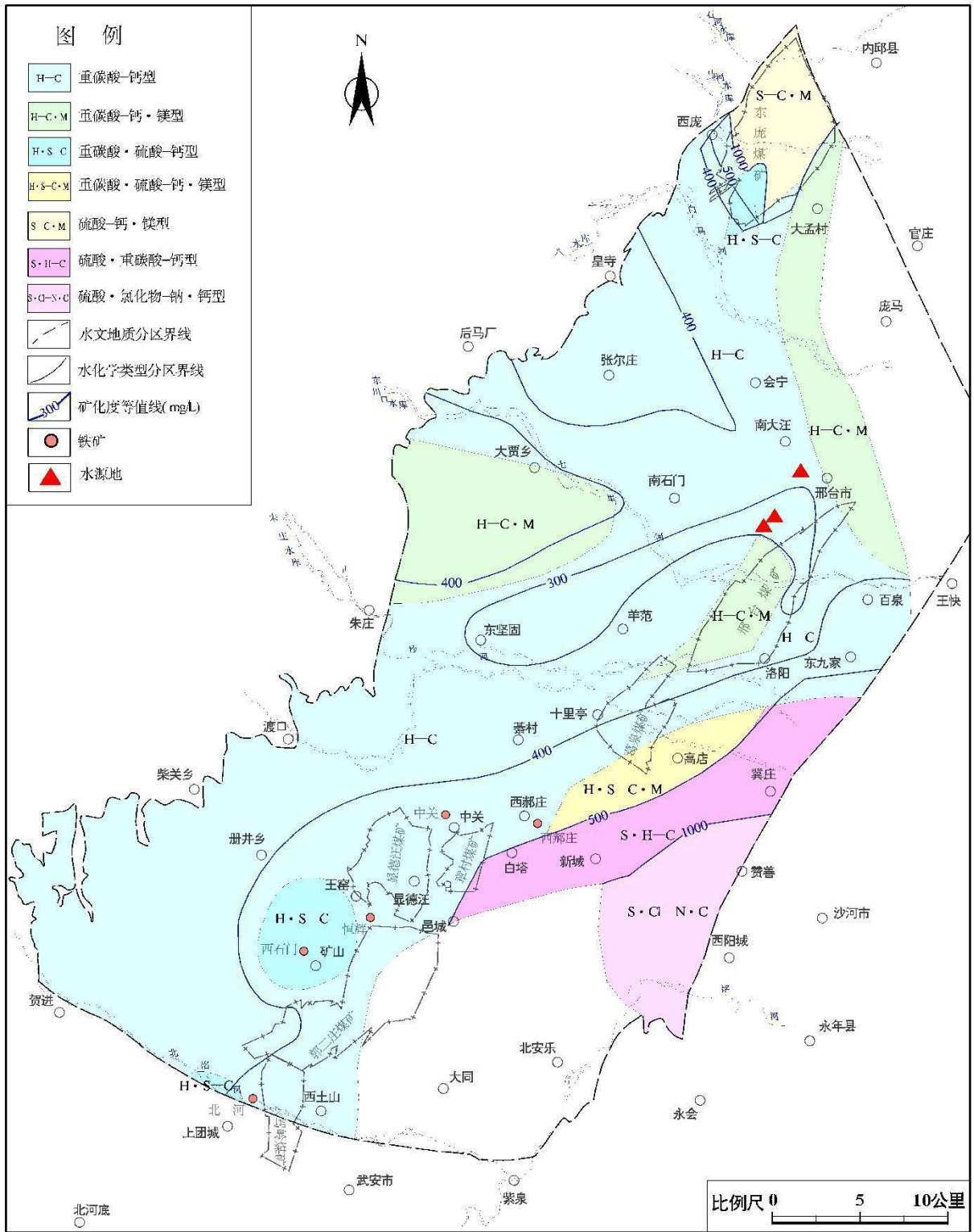


图 3-10 百泉泉域岩溶水化学类型图

## 二、孔隙水

根据百泉泉域孔隙含水层分布情况，对其类型进行划分：孔隙水主要分布在东部山前倾斜平原，其次为山丘区河谷条带状孔隙水和坡积、

坡洪积层孔隙水。孔隙水分布范围的一半以上与岩溶水深埋区重合。

### 1、山间河谷条带状孔隙水

主要分布于各山间河谷之中，含水层厚度一般较小，常有地表水补给地河谷水量丰富，而汇水面积小季节性有水流的河谷水量较小，部分河谷在灰岩河床透水不含水。

本区的白马河、七里河、沙河、北洛河等基底岩性为灰岩的河谷地段，砂砾石直接与灰岩接触，发生渗漏，使砂砾石透水不含水。

山间河谷孔隙水的补、径、排特征如下：没有明显的补给、径流、排泄之分，主要补给来源有大气降雨直接入渗、地表水体的渗漏、裂隙水顶托补给。径流条件：地下水沿河谷向下游运移，水力坡度与河床坡度基本一致，径流通畅。排泄方式有：顺河谷向下游排走，在碳酸盐岩区渗漏补给岩溶水，蒸发排泄（在水位埋藏较浅段蒸发强烈），人工开采消耗。

### 2、坡积、坡洪积层孔隙水

主要分布于山前和山间河谷的二级阶地，含水层主要为砂、砂砾石，分选较好，磨圆度较差，多为棱角状或次棱角状。多被黄土状土、砂质粉土覆盖，含水层厚度一般1~5m，其富水性主要取决于地形条件、基底岩性、含水层厚度等因素，一般为在山前远离河谷或比较狭窄的沟谷地段相对贫水，靠近河谷地段富水，西部相对贫水，东部较富水。

坡积、坡洪积层孔隙水的补、径、排特征如下：没有明显的补给、径流、排泄之分，补给来源以大气降雨直接入渗为主，排泄以侧向径流为主，部分村庄（沙河葛泉-中关-渡口-王窑一带）开采利用该层水作为生活用水。

### 3、山前倾斜平原孔隙水

山前倾斜平原孔隙含水层水平方向岩性由西向东，由卵石、砾石逐渐变为粗砂、中砂，局部还有中细砂、细粉砂。其含水层由厚变薄，层数变多。富水性也由冲洪积扇轴部向其边缘减弱的规律。同时各扇含水层分布范围取决于河流的大小，沙河冲洪积扇形成了良好的含水层，沙河冲洪积扇浅层含水层总厚度一般为 60~90m，单井单位涌水量大于  $50\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ ，是本区最好的含水层，七里河等形成冲洪积扇呈舌形，含水层富水性较差，含水层总厚度一般在 20~30m 之间，单井单位涌水量  $50\sim 70\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ 。白马河冲洪积扇上更新统和全新统地层较薄，含水层富水性极差，含水层总厚度一般在 35~50m 之间，单井单位涌水量小于  $5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ 。铁路以西岩性粒度较粗，结构疏松，没有良好的上覆隔水层有利于降水和地表水的补给。

### 3.3.2 工作区水文地质条件

依不同含水岩系，自西向东又可分为碳酸盐岩岩溶水和孔隙水二个类型。在工作区中部南北条带状的岩溶水隐伏区为深部岩溶水含水层和浅部孔隙水含水层双层含水结构区。

#### 一、岩溶水

工作区内岩溶水分布有灰岩裸露区潜水、覆盖区和埋藏区承压水，含水系统东边界为内丘、邢台弧形断裂，具体范围是工作区中、西部。

本区岩溶水属百泉泉域的强迳流区-排泄区，白马河、七里河、沙河径流带及北洛河径流带的末端，达活泉群和百泉泉群排泄区。白马河径流带自白马河碳酸盐岩强入渗段开始，分为东西两股，西股经西南庄、张东在达活泉附近局部受阻，水位抬高而溢出，形成著名的达活泉群；七里河径流带经南石门、邢台市西部绕过先贤断层北端，于孔村南、西南方向流入董村水厂，部分继续东流与白马河径流带汇合汇入百泉。沙河径流带自西佐村附近沿綦村岩体北侧经西坚固、东坚固、分为二股，汇于百泉。北洛河径流带南起北洛河，到郭二庄分为东西两股，在中关

汇合后，向东至西郝庄、新城转向北东，经北冯村、上郑、高店进入百里工业带，穿过沙河达电厂水源地。

岩溶水赋存于奥陶系碳酸盐岩岩溶裂隙和溶洞之中。下部的奥陶系下统 ( $O_1$ ) 主要为结晶白云岩、白云质灰岩，富水性中等。中上部的奥陶系中统主要岩性为灰岩、白云质灰岩，岩溶裂隙发育，含水层厚度大于 400m，涌水量一般  $10 \sim 50 \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ 。工作区西部和北部富水性中等，NW 向断裂发育地带、向斜轴部及原达活泉、百泉排泄区富水性强，董村背斜区富水性最强 (涌水量  $> 50 \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ )。邢台煤田区灰岩埋深最大，岩溶不甚发育，富水性差。岩溶水水化学类型以  $\text{HCO}_3\text{—CaMg}$  水为主，矿化度小于  $0.5\text{g/L}$ 。

工作区岩溶地下水位标高为  $+60 \sim +67\text{m}$ ，我单位开展了 2011 年 11 月底和 2022 年 4 月底两期水位统测工作，经对比，两期岩溶水平均水位下降约 1m，地下水整体流向为西南、西向东南方向径流，在百泉泉群顶托补给第四系孔隙水和自然排泄，泉水经疏导工程排入七里河，具体情况见图 3-11、3-12。



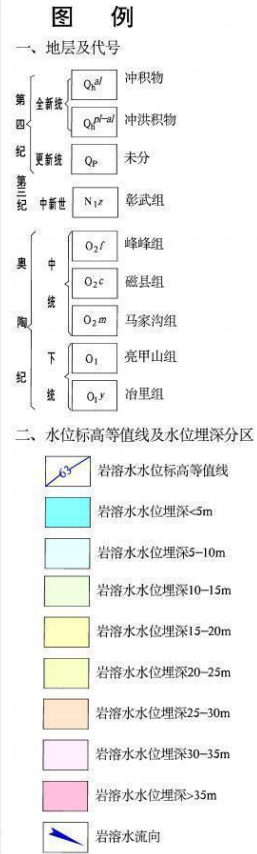
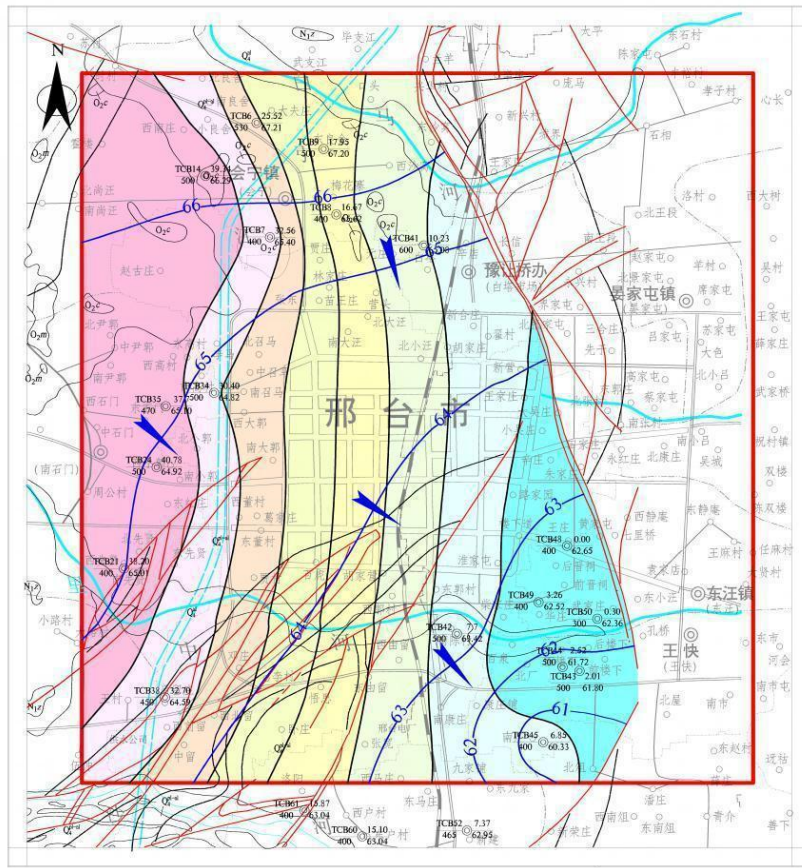


图3-11 工作区岩溶地下水流场图(2021年11月底)

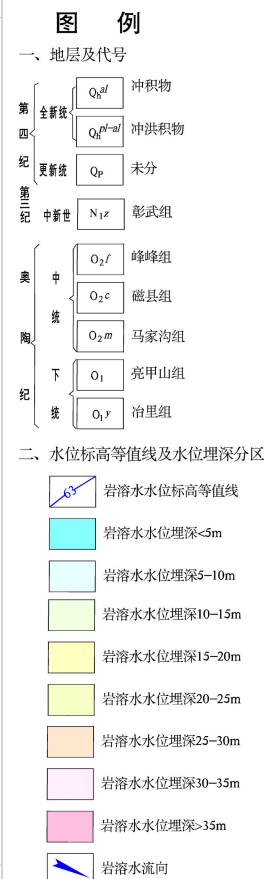
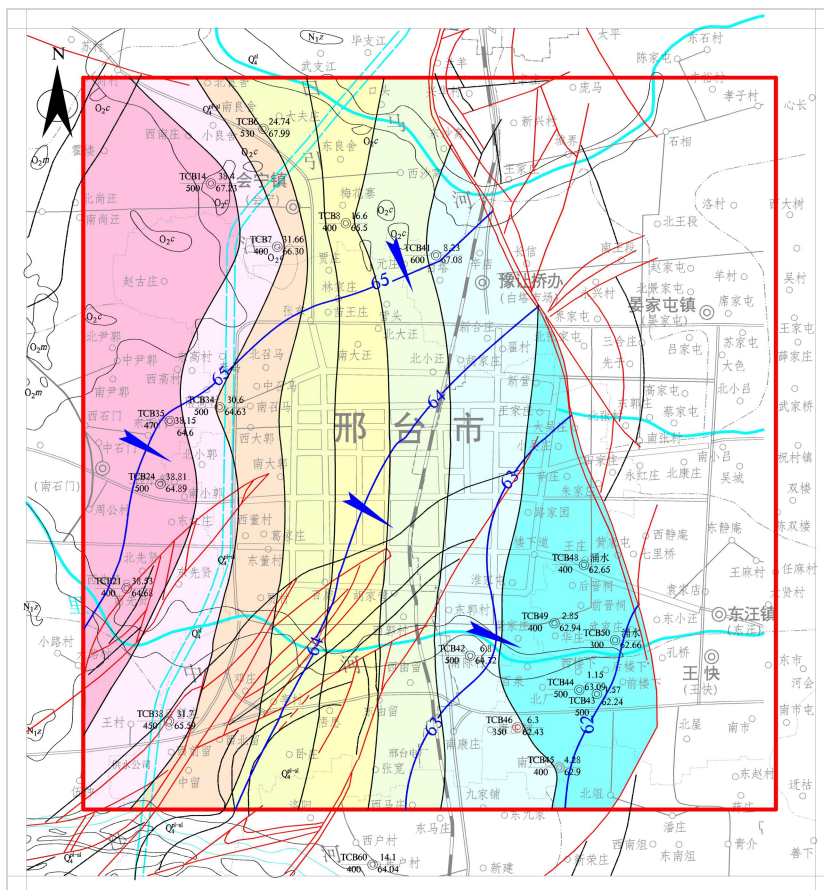




图 3-12 工作区岩溶地下水流场图 (2022 年 4 月底)

## 二、孔隙水

邢台市城区孔隙水含水系统主要由七里河和白马河冲洪积扇构成，含水介质主要由更新统和全新统的冲洪积砂层构成。其中以上更新统的底部砂层为主要含水层，其厚度由西部的 4.5m 渐变为东部的 20.8m。见 3-13 孔隙水水文地质剖面图。

### (一) 含水岩组划分

以第四系地层为基础，水文地质条件为依据，将第四系含水层分为具有供水意义的两个含水组，浅层孔隙水含水组 ( $Q_3$ ) 和深层孔隙水含水组 ( $Q_2$ )，两含水组之间有厚层粘性土相隔。

#### 1、浅层孔隙水含水组 ( $Q_3$ )

邢台市区内浅层孔隙水含水组 ( $Q_3$ ) 孔隙水赋存于七里河、沙河、白马河古冲洪积扇上更新统底部砂层之中，为潜水~微承压水。西部为潜水、东部为承压水。

浅层孔隙水含水组主要分布在市区的中南部和东部，百泉泉域孔隙含水层岩性以砂层为主，含水层底板埋深 25~48m，含水层厚度 4.5~20.8m，单井涌水量在 1000~2000m<sup>3</sup>/d 之间，局部 >2000m<sup>3</sup>/d。水化学类型一般为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg 型，矿化度 <0.8g/L。水位埋深 4.55~19.6m。地下水流向自西向东。

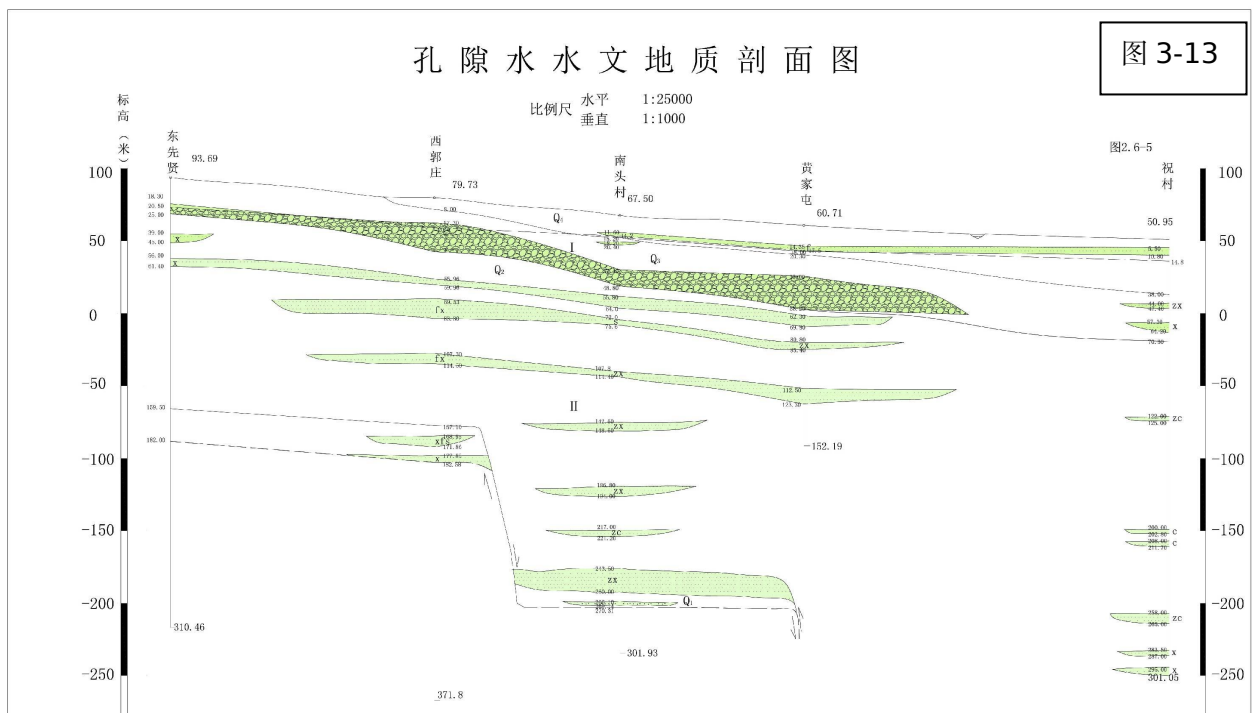
百泉泉域以东孔隙含水层岩性以中砂为主，东北部渐变为中细砂，含水层厚度加大为 17.6~39.1m，底板埋深 70.2~92.3m，富水性 1000~

2000m<sup>3</sup>/d 之间，东南部小于 1000m<sup>3</sup>/d，矿化度小于 0.8g/L。北张村、蔡家屯等污灌区矿化度大于 1.0 g/L。水位埋深 25m 左右。地下水流向自西向东。

## 2、深层孔隙水含水组 (Q<sub>2</sub>)

市区内深层孔隙水含水组以中更新统含水层为主，富水性差，贫水和极贫水，百泉泉域内含水层岩性为风化砂，含水层厚度为 12.3~33.1m，底界埋深 107.0~164.7m，富水性 600~1000m<sup>3</sup>/d，市区西南部和西北部含水层富水性小于 600m<sup>3</sup>/d。水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg 型，矿化度 <0.8g/L。

内丘~邢台~峰峰弧形断裂以东含水层岩性为中砂，厚度为 18.0~43.0m，含水层底板埋深 218~227m，富水性为 600~1000m<sup>3</sup>/d，水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg 水和 HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>-Ca·Mg 水，矿化度 <1.0g/L。



## (二) 孔隙水补给、径流、排泄特征和地下水动态特征

浅层孔隙水主要接受大气降水入渗补给、雨季河水入渗补给、西部侧向径流补给和丰水年岩溶水顶托补给，人工开采和向东径流排泄，百泉泉群出露区西侧第四纪含水层与灰岩直接接触地段，枯水季节孔隙水向下补给岩溶水。深层孔隙水主要接受含水层侧向径流补给、岩溶水顶托补给，人工开采和侧向径流排泄。

孔隙水位受大气降水和人工开采影响，具有明显的季节性变化，即每年均有一个明显的上升过程和下降过程，大致可分为三个时段：水位动态曲线图(图 3-14、图 3-15)

①水位下降期，多自 3 月以后开始下降，5~7 月为低水位区，最低水位出现在 6 月底 7 月初，这期间降水稀少，农田灌溉频繁，开采量远远大于补给量，地下水位元下降速度较快。

②水位回升期，7 月份进入雨季，降雨补给集中，灌溉减少，水位开始回升，上升速度一般也较快，

③相对稳定期，10 月份到翌年 2 月底，年内变幅 3-6m。近十余年来，由于孔隙水开采量减少，水位基本稳定。



图 3-14 邢台市城区浅层孔隙水邢 2-1 观测孔水位标高动态曲线

图 3-14 邢台市城区浅层孔隙水邢 2-1 观测孔水位标高动态曲线

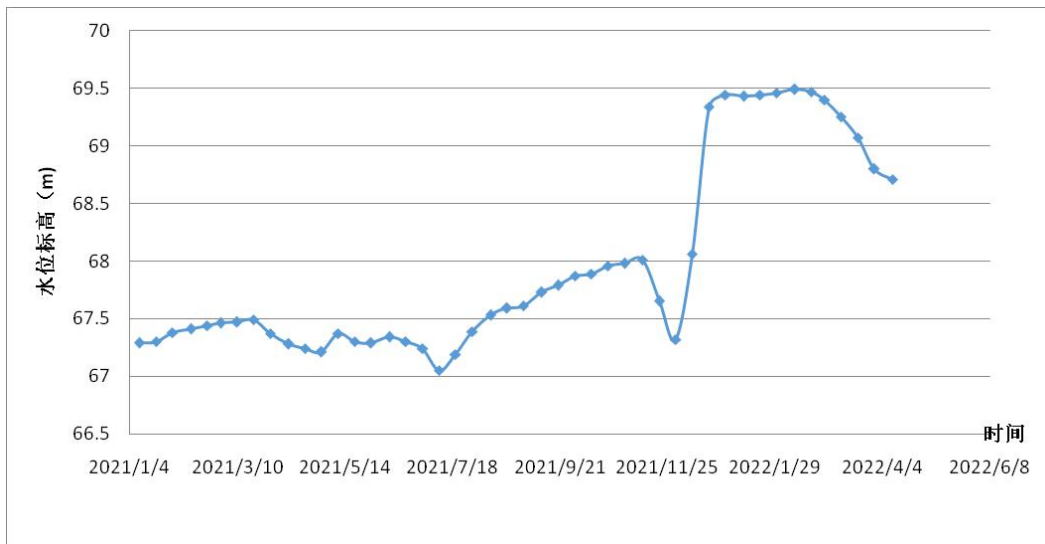


图 3-15 邢台市城区浅层孔隙水邢 33-1 观测孔水位标高动态曲线

### (三) 泉水复流情况下孔隙水流场特征

当前工作区第四系孔隙位标高在+20—+90m，整体流向为西向东南、东及东北方向径流，在狗头泉附近岩溶水顶托补给形成小范围水丘，在园博园附近受地表水补给形成水丘，这两个区域孔隙水地下水位埋深小于5m。我单位开展了2021年11月底和2022年4月底两期水位统测工作，经对比，两期孔隙水平均水位下降约0.5m，但园博园周围水位未降反而上升约0.3m左右，水位埋深5—10m的范围增大，说明园博园附近

多条河流下游河道内并未进行防渗处理，直接补给到周围第四系地下水，使园博园周围水位上升。具体见图 3-16、3-17。

图 3-16 工作区孔隙水流场图 (2021 年 11 月底)

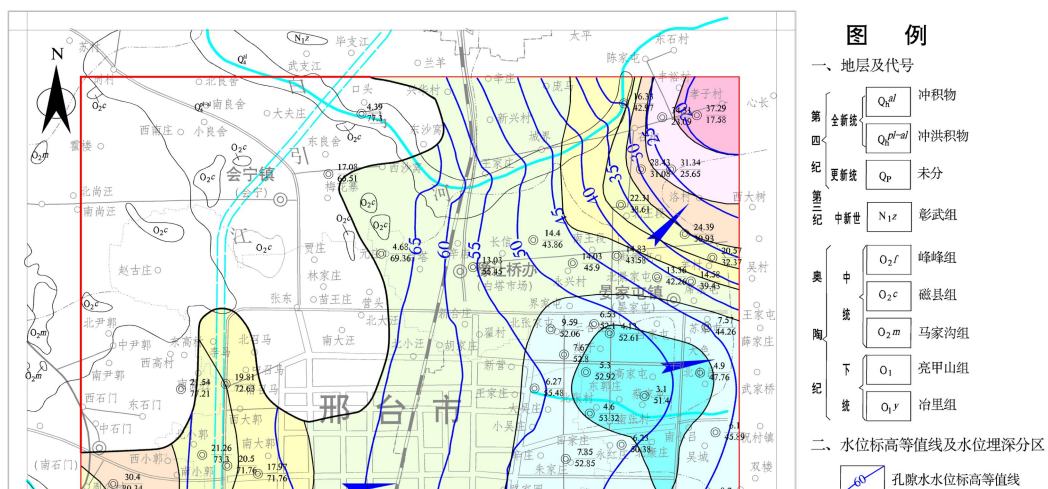
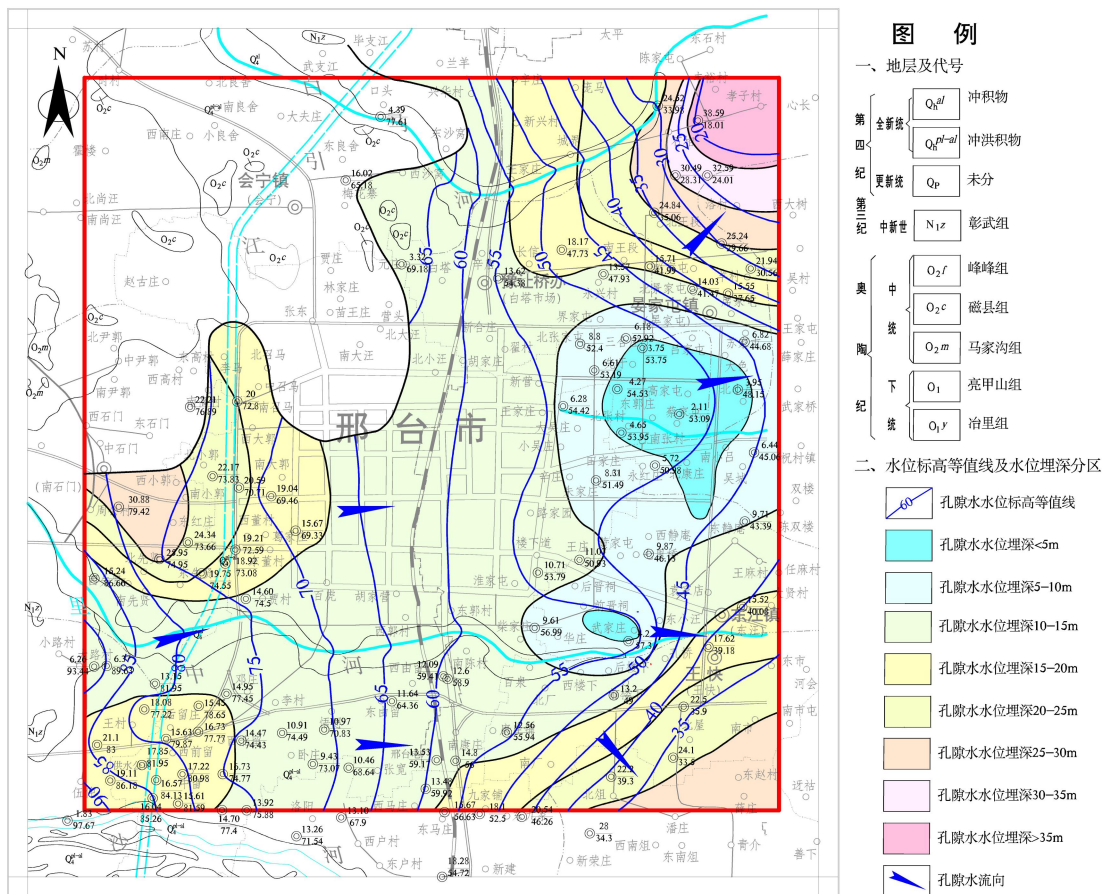


图 3-17 工作区孔隙水流场图 (2022 年 4 月底)

### 3.4 工程地质条件

工程地质条件指工程建筑物所在地区地质环境各项因素的综合。工作区自西向东分别为低丘垄岗工程地质区和山前倾斜平原工程地质区,根据地表岩性的不同成因类型,细分为七个工程地质亚区(见图 3-18)。现分述如下:

#### 一、山前垄岗剥蚀残丘工程地质区

##### 1、剥蚀残丘坚硬碳酸盐岩、松散岩工程地质亚区 (I<sub>1</sub>)

分布于工作区西北部和西南部,面积 17.29km<sup>2</sup>, 占总面积的 13.87%。地貌类型为缓丘,地表岩性为残坡积碎石土,下部为碳酸盐岩,碳酸盐岩岩溶发育,可能存在隐伏溶洞,容许承载力 500~900kPa,易形成岩溶塌陷地质质灾害。

##### 2、冰碛垄岗胀缩性土工程地质亚区 (I<sub>2</sub>)

多分布于 II 级及 II 级以上阶地及山前丘陵区,个别分布在 I 级阶地之上,面积 14.92km<sup>2</sup>, 占总面积的 4.02%。呈垄岗-丘陵和浅而宽的

沟谷，地形平缓，无明显的自然陡坎，多由紫色、灰绿色粘土组成，局部含砾石，多呈坚硬至硬塑、结构致密，常具有膨胀性，随着地下水位季节性变化，常引起地基的不均匀膨胀变形，一般允许承载力为 300~320kPa。

### 3、浅丘台地湿陷性黄土状土工程地质亚区（I<sub>3</sub>）

分布于丘陵区东、宽谷两侧，面积 49.77km<sup>2</sup>，占总面积的 13.41%。呈北东向展布的阜丘状、阶梯状谷地，部分地段东西向冲沟发育，多由黄土状亚砂土、亚粘土夹碎石、砾石构成。上覆粉质粘土，顶板埋深 2.6~3m，厚度 4.9~5.6 m。据已有勘察资料，该层湿陷系数为 0.019~0.026，湿陷起始压力为 150~165kPa，湿陷等级为 I 级。具有轻微湿陷性，本区承载力为 0.12~0.22MPa，下部为砂砾石，地基承载力多为 300~500kPa。

## 二、山前倾斜平原工程地质区

### 1、山前倾斜平原扇形地粘性土、砂砾质土工程地质亚区（II<sub>1</sub>）

在区内各大河流洪水作用下，沿丘陵前缘形成大小不等的多元结构的冲洪积扇形地，由第四系堆积物组成，面积 219.88km<sup>2</sup>，占总面积的 59.27%。上部为黄土状土、砂质土，下部为砾质土，结构较简单，容许承载力多在 120~220kPa 之间。

### 2、山前倾斜平原河谷漫滩阶地砂卵砾质土工程地质亚区（II<sub>2</sub>）

分布于沙河、七里河、白马河河床、河漫滩地势低洼，河谷漫滩及一级阶地，面积 26.22km<sup>2</sup>，占总面积的 7.07%。工程地质勘察深度内上部岩性一般为中粗砂、下部为卵石层，为新近沉积砂层，砂质土容许承载力为 160~220kPa 之间，砾质土承载力为 300~500kPa 之间。



### 3、山前倾斜平原冲洪积扇煤田开采地面不稳定亚区（Ⅱ<sub>3</sub>）

主要分布在工作区东南部和西北的煤矿分布区，面积 23km<sup>2</sup>，占总面积的 6.20%。该区存在采空区地面塌陷地质灾害，目前主要开采上组煤，下组煤还没有开采，随着开采技术的不断提高，下组煤将不断开发，其范围会继续扩大，地面稳定性差，需进行专门的采空区岩土工程勘察后确定是否可以进行工程建设。

### 4、山前倾斜平原冲洪积扇软弱土分布亚区（Ⅱ<sub>4</sub>）

#### （1）软弱土分布区

达活泉公园东侧至原地区鱼种场一带牛尾河故道为古洼地区，面积 6.19km<sup>2</sup>，占总面积的 1.67%。二十世纪六十年代以前生长大片芦苇，形成了软弱土层，岩性为新近沉积淤泥质土、中粗砂和老粘性土，承载力较低，标贯锤击数 1~2 击，比贯入阻力 77~166kPa，承载力经验值为 60~70kPa，不能做为建筑物的天然地基。软弱土层顶面埋深 0.2~2.2m，厚度 3.5~6.0m。

#### （2）膨胀土分布区

本区西北部孔村至达活泉公园之间分布大面积的膨胀土，本区有多个场地的岩土工程勘察资料，膨胀土顶板埋深 1m~3.5m，规划区内分为三层、总厚度为 6.9~16.9m，自由膨胀率为 40%~79%，膨胀潜势为弱~中，膨胀等级为 I~II 级。膨胀土分布区面积 1087.6012ha。该区岩层组合为新近沉积土、Q3 粘性土和老沉积土，主要持力层地基承载力在 140Kpa 以上。

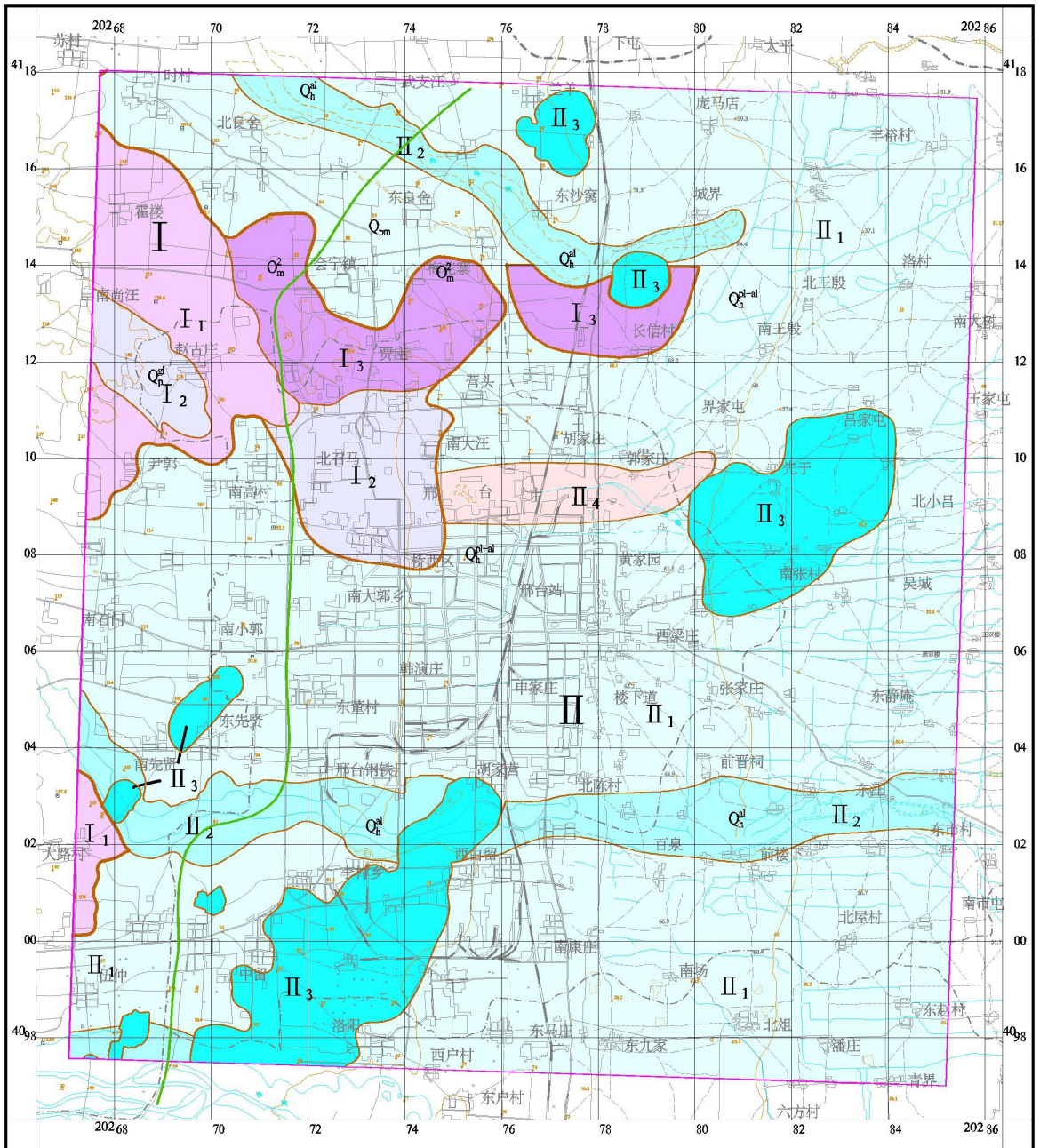
#### （3）杂填土

杂填土大致分布范围：北界北围城路、南至；围寨河、西起车站路、

东至东围城路。老城区一般厚度 3~5m 左右，清风楼一带厚度最大约为 5m，旧南关一带厚度 3m 左右。杂填土在北小郭、冶金厂、后晋祠和郭守敬大街西侧也有零星分布。分布总面积为 1081.3706ha。成分为碎砖石、粘性土，局部地段压实状。未经压实或充分自重固结的杂填土强度低且不均匀，对工程建设存在不利影响。本区岩性组合为杂填土和一般粘性土。一般粘性土承载力经验值在 100Kpa 以上。

### 小结：

工作区内岩溶水属于百泉泉域岩溶水径流排泄区。依不同含水岩系，自西向东又可分为碳酸盐岩岩溶水和孔隙水两个类型。工作区岩溶地下水位标高为+60~67m，地下水整体流向为西南、西向东南方向径流，在百泉泉群顶托补给第四系孔隙水和自然排泄，泉水经疏导工程排入七里河；第四系孔隙位标高在+20~90m，整体流向为西向东南、东及东北方向径流，在狗头泉附近岩溶水顶托补给形成小范围水丘，在园博园附近收地表水补给形成水丘，这两个区域孔隙水地下水位埋深小于 5m。



- |   |                 |   |   |
|---|-----------------|---|---|
| 图 | 工程地质大区分区界线      | I <sub>1</sub> 剥蚀残丘坚硬碳酸盐岩、松散岩工程地质亚区     | II <sub>2</sub> 山前倾斜平原河谷漫滩阶地砂卵砾质土工程地质亚区 |
|   | 工程地质亚区分界线       | I <sub>2</sub> 冰碛垄岗膨胀性土工程地质亚区           | II <sub>3</sub> 山前倾斜平原冲洪积扇煤田开采地面不稳定亚区   |
| 例 | 南水北调中线          | I <sub>3</sub> 浅丘台地湿陷性黄土状土工程地质亚区        | II <sub>4</sub> 山前倾斜平原冲洪积扇软弱土分布亚区       |
|   | 工作区范围           | II 山前倾斜平原工程地质区                          |   |
|   | I 山前垄岗剥蚀残丘工程地质区 | II <sub>1</sub> 山前倾斜平原扇形地粘性土、砂砾质土工程地质亚区 |   |
|   |                 |   |   |

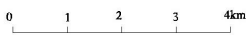


图 3-18

工程地质分区图

## 第四章 城区地下水位上升成因初步分析及预测

### 4.1 地下水水量平衡分析

1978~1982年河北省地质矿产局水文地质工程地质大队完成的《河北省邯邢基地区域水文地质勘察报告》计算泉域多年平均岩溶水资源量为18921.6~22075.2万 $m^3$ 。1990年河北省地矿局第二水文地质工程地质大队完成的《邢台市水文地质工程地质环境地质综合评价报告》，采用回归分析法计算1979年以前泉域岩溶水资源量为19236.9~21444.5万 $m^3/a$ ，1979年以后为16083.4~17344.8万 $m^3/a$ ，朱庄水库对岩溶水的消减量为3658.2万 $m^3/a$ 。本次利用2010~2021年的资料分年度进行了均衡计算。

#### 4.1.1 均衡区及均衡期的确定

均衡区为百泉泉域灰岩区，面积为1638.6 $km^2$ ；均衡期为2010~2021年。

#### 4.1.2 均衡方程的建立

现状条件下，百泉泉域岩溶水的天然水资源主要由两部分组成：(1)西部灰岩裸露区大气降水直接入渗补给量；(2)河流渗漏补给。由于泉域为封闭的独立单元，泉水断流后，排泄方式只有人工开采。百泉泉域岩溶水循环见图4-1。

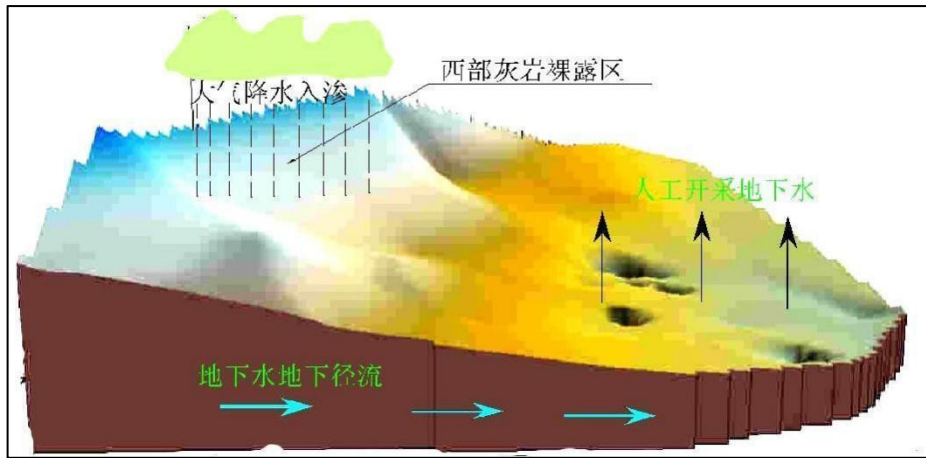


图 4-1 百泉泉域岩溶水循环示意图

根据百泉泉域水文地质条件，建立以下均衡方程：

$$Q_{\text{补}} - Q_{\text{开采}} = \Delta Q_{\text{补排差}}$$

$$Q_{\text{补}} = Q_{\text{降补}} + Q_{\text{水库放水补}} + Q_{\text{河流间接补}} + Q_{\text{水库渗漏补}}$$

$$Q_{\text{开采}} = Q_{\text{城区开采}} + Q_{\text{农村开采}} + Q_{\text{邢台铁矿排水}} + Q_{\text{武安铁矿排水}} + Q_{\text{煤矿排水}}$$

式中： $Q_{\text{补}}$ —计算时段内均衡区岩溶水补给量；

$Q_{\text{开采}}$ —计算时段内均衡区岩溶水开采量；

$\Delta Q_{\text{补排差}}$ —岩溶水计算时段的变化量；

$Q_{\text{降补}}$ —降水入渗补给量；

$Q_{\text{水库放水补}}$ —水库放水河谷渗漏补给量；

$Q_{\text{河流间接补}}$ —南沙河、七里河、白马河间接补给量；

$Q_{\text{水库渗漏补}}$ —水库坝基渗漏补给量；

$Q_{\text{城区开采}}$ —城区岩溶水开采量（水源地和自备井）；

$Q_{\text{农村开采}}$ —农村岩溶水开采量；

$Q_{\text{邢台铁矿排水}}$ —邢台地区铁矿岩溶水排水量；

$Q_{\text{武安铁矿排水}}$ —武安地区铁矿岩溶水排水量；

$Q_{\text{煤矿排水}}$ —煤矿岩溶水排水量。

### 3、补给量计算

(1) 灰岩裸露区降水入渗补给量 ( $Q_{\text{降补}}$ )

$$Q_{\text{降补}} = P \cdot \alpha \cdot F$$

式中:

$Q_{\text{降补}}$ —降水入渗补给量 (万  $\text{m}^3/\text{年}$ );

$P$ —年降水量 (mm);

$\alpha$  = 降水入渗系数;

$F = 338.6\text{km}^2$  (灰岩裸露区面积)。

根据《邯邢南中北单元岩溶发育规律及水动力特征的研究》(1978年,煤炭部地质勘探研究所),邯邢中单元(百泉泉域)内寒武~奥陶系灰岩大气降雨渗入系数为60~90%;《河北省邢台市水文地质、工程地质、环境地质综合评价报告》(1990年,河北省第二水文地质大队)提供的参数进行计算,灰岩裸露区综合降水入渗系数 $\alpha$ 采用0.65;根据《邢台百泉岩溶水系统水资源管理—人工调蓄试验勘查报告》(1993年,河北省第二水文地质大队),大气降水在灰岩裸露区( $338.6\text{km}^2$ )沿垂直发育的溶隙、溶孔和小型溶洞面状直接补给,入渗系数在0.6~0.7之间。综合前人数据,百泉泉域内灰岩裸露区大气降雨渗入系数在0.6~0.7之间。

当降雨量很小时,降雨滞留于表层岩溶带与包气带,不断被蒸散发作用消耗,这时降雨很难对地下水系统进行有效补给;降雨强度大时,地表产流通过落水洞直接补给地下水系统,降雨入渗系数激增。

在岩溶地区,由于溶隙、溶洞、漏斗以及落水洞等的发育,导致在不同的雨量级条件下,降雨对岩溶水的补给作用不同,不同的降雨量有不同的有效入渗补给量。总体而言,有效入渗补给量随着降雨量的增大而增大,根据岩溶地区这一特殊性,在旱季时降雨可以对地下水不产生

任何补给作用，而雨季情况就不同，降雨入渗系数可以很大。

根据1960年~1975年降雨量及百泉、达活泉年均泉流量统计数据(表5-1)，该时段内岩溶水基本没有开采，参考前人经验，粗略按大气降雨入渗补给量占排泄量的50%，经计算得出大气降水入渗系数在0.39~0.78之间。由图4-2可见，年降水量和降水入渗系数呈非线性正相关关系。

表 4-1 降水入渗系数计算成果表

年份	年降雨量 (mm)	年均泉流量 (m <sup>3</sup> /s)	降水入渗系数 $\alpha$
1960	495.9	6.31	0.59
1961	552.9	7.53	0.63
1962	411.2	5.02	0.57
1963	1374.1	22.97	0.78
1964	761.0	11.21	0.69
1965	365.4	3.84	0.49
1966	537.9	7.09	0.61
1967	531.8	7.01	0.61
1968	526.9	7.18	0.63
1969	585.9	8.02	0.64
1970	460.9	5.54	0.56
1971	619.9	8.51	0.64
1972	374.8	3.15	0.39
1973	890.1	13.31	0.70
1974	519.9	6.74	0.60
1975	553.6	7.40	0.62



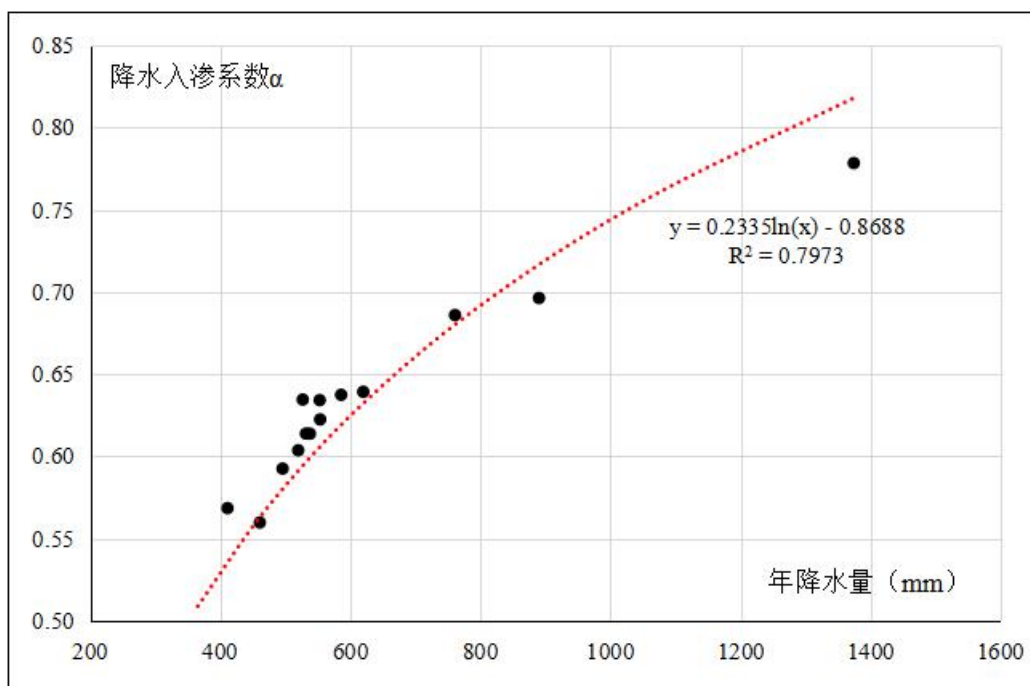


图 4-2 年降水量和降水入渗系数关系拟合曲线

本次均衡计算中，根据年降雨量及次降雨量变化情况，通过模型识别验证过程对降雨量系数不断反演得出最优解，综合确定降雨入渗系数在 0.32~0.77 之间。由此计算得出 2010-2021 年降雨入渗补给量（见表 4-2）。

表 4-2 灰岩裸露区降水入渗补给量计算结果

年度	降雨量 (mm)	降雨入渗系数	灰岩裸露面积 (km <sup>2</sup> )	降雨入渗补给 (万 m <sup>3</sup> /a)
2010	625.40	0.50	338.60	10588.02
2011	563.10	0.50	338.60	9533.28
2012	565.93	0.55	338.60	10539.38
2013	590.60	0.65	338.60	12998.52
2014	365.20	0.35	338.60	4327.99
2015	479.83	0.32	338.60	5199.09
2016	709.5	0.77	338.60	23006.11

年度	降雨量 (mm)	降雨入渗系数	灰岩裸露面积 (km <sup>2</sup> )	降雨入渗补给 (万 m <sup>3</sup> /a)
2017	461.4	0.65	338.60	11733.00
2018	530.9	0.65	338.60	12766.69
2019	361.7	0.35	338.60	4268.73
2020	597.1	0.48	338.60	10679.71
2021	984.5	0.6	338.60	20316.00
年平均	569.59		338.60	11432.98

(2) 水库放水河流渗漏补给量 ( $Q_{\text{水库放水补}}$ )

计算公式：计算公式： $Q_{\text{水库放水补}} = q \cdot \beta$

式中：

$Q_{\text{水库放水补}}$ —水库放水河流渗漏补给量 (万 m<sup>3</sup>/年)；

$\beta$ —河谷渗漏系数；

$q$ —水库放水量 (万 m<sup>3</sup>/年)。

根据《邢台百泉岩溶水系统水资源管理—人工调蓄试验勘查报告》(1993年,河北省第二水文地质大队):1989年弃水渗漏补给系数 0.437, 1990年弃水渗补系数 0.543~0.515, 1991年弃水渗漏补给系数 0.456~0.516, 从而证明岩溶水渗漏补给量及渗补系数 ( $\beta$ ) 与朱庄水库放水量, 放水时间成正比关系, 即放水量越大, 放水时间越长, 对岩溶水的渗补量及渗补系数也越大。本次均衡计算中, 渗漏系数根据放水量及放水时间确定, 通过模型识别验证过程对渗漏系数不断反演得出最优解, 综合确定河谷渗漏系数在 0.25~1.00 之间。计算结果见表 4-3。

表 4-3 朱庄水库放水入渗补给量计算结果

年度	放水月份	放水总量(万 m <sup>3</sup> )	渗漏系数	补给量(万 m <sup>3</sup> )
2010	3	1072.93	0.35	375.53
	5	1188.46	0.35	415.96
	6	2983.94	0.25	745.99

年度	放水月份	放水总量(万m <sup>3</sup> )	渗漏系数	补给量(万m <sup>3</sup> )
	7	937.65	0.39	365.68
2011	3	934.08	0.39	364.29
	5	985.73	0.39	384.43
	6	605.22	0.39	236.04
2012	5	467.00	1.00	467.00
	6	2204.00	1.00	2204.00
	7	2000.00	0.75	1500.00
2013	5	201.00	0.90	201.00
	6	2491.00	0.55	1370.05
	7	310.00	1.00	310.00
2014	5	1115.00	0.55	613.25
	6	2023.00	0.65	1314.95
	7	13.00	0.90	11.70
2015	5	927.00	0.50	463.50
	6	74.00	0.50	37.00
2016	4	1001.00	0.65	650.65
	7	22617.00	0.35	7915.95
	8	1675.00	0.65	1088.75
2017	3	2639.00	0.35	923.65
	4	2773.00	0.42	1164.66
	5	2447.00	0.45	1101.15
	6	1579.00	0.55	868.45
2018	3	110.00	0.90	99.00
	4	913.00	0.55	502.15
	5	2134.00	0.55	1173.70
	6	567.00	0.55	311.85
	7	1350.00	0.55	742.50
	8	3402.00	0.35	1190.70
	9	768.00	0.55	422.40
2019	4	880.00	0.75	660.00
	5	2633.00	0.43	1132.19
	6	120.00	0.90	108.00
2020	3-7	4725	0.4	1889
2021	4-9	20000	0.5	10000

(3) 南沙河、七里河、白马河间接补给量 ( $Q_{\text{河流间接补}}$ )

计算公式:  $Q_{\text{河流间接补}} = P \cdot \beta \cdot F$

式中:  $Q_{\text{河流间接补}}$ —南沙河、七里河、白马河、北洛河间接补给量 (万  $m^3$ /年);

$P$ —年降水量 (mm);

$\beta$ —间接补给系数, 取值 0.02~0.12;

$F_{\text{南沙河}}$ —南沙河上游汇水面积, 取值 158.00 $km^2$ ;

$F_{\text{七里河}}$ —七里河上游汇水面积, 取值 137.00 $km^2$ ;

$F_{\text{白马河}}$ —白马河上游汇水面积, 取值 216.00 $km^2$ ;

$F_{\text{北洛河}}$ —北洛河上游汇水面积, 取值 346.40 $km^2$ 。

考虑到当年降水在间接补给区有所滞后, 对降水量进行折算, 即间接补给形成河流流量三分之二来自当年降水, 三分之一来自上年降水, 计算结果见表 4-4。

表 4-4 间接补给量计算结果统计 万  $m^3/a$

年度	折算降雨量	比例	南沙河		比例	白马河	
			面积 ( $km^2$ )	间接补给量		面积 ( $km^2$ )	间接补给量
2010	710.4	0.03	158.00	336.74	0.05	216.00	767.25
2011	686.3	0.03	158.00	325.30	0.05	216.00	741.18
2012	694.9	0.10	158.00	1097.90	0.06	216.00	900.56
2013	716.8	0.10	158.00	1132.52	0.08	216.00	1238.60
2014	554.1	0.03	158.00	262.63	0.06	216.00	718.08
2015	495.2	0.03	158.00	234.72	0.04	216.00	427.85
2016	991.0	0.07	158.00	1096.07	0.08	216.00	1712.48
2017	587.0	0.04	158.00	370.96	0.05	216.00	633.92
2018	733.4	0.04	158.00	463.48	0.05	216.00	792.02
2019	588.4	0.04	158.00	371.88	0.05	216.00	635.48
2020	657.1	0.04	158.00	415.29	0.05	216.00	709.67

2021	1000	0.06	158.00	948	0.05	216.00	1080
年度	折算降雨量	比例	北洛河		比例	七里河	
			面积 (km <sup>2</sup> )	间接补给量		面积 (km <sup>2</sup> )	间接补给量
2010	710.4	0.02	346.40	492.18	0.08	137.00	778.62
2011	686.3	0.02	346.40	475.45	0.08	137.00	752.16
2012	694.9	0.04	346.40	962.82	0.10	137.00	951.98
2013	716.8	0.05	346.40	1241.47	0.11	137.00	1080.19
2014	554.1	0.03	346.40	575.79	0.09	137.00	683.17
2015	495.2	0.02	346.40	343.07	0.08	137.00	542.74
2016	991.0	0.02	346.40	686.58	0.08	137.00	1086.16
2017	587.0	0.08	346.40	1626.58	0.12	137.00	964.96
2018	733.4	0.02	346.40	508.07	0.08	137.00	803.76
2019	588.4	0.02	346.40	407.65	0.08	137.00	644.90
2020	657.1	0.02	346.40	455.24	0.08	137.00	720.18
2021	1000	0.02	346.40	692.8	0.08	137.00	1096

#### (4) 水库常年坝基渗漏补给量 ( $Q_{\text{水库渗漏补}}$ )

根据水库设计资料，朱庄水库坝基渗漏补给量约为 630.72 万 m<sup>3</sup>/年。

### 4.1.3 开采量计算

百泉开采量  $Q_{\text{开采}}$  主要包括城区岩溶水开采量 ( $Q_{\text{城区开采}}$ )、农村岩溶水开采量 ( $Q_{\text{农村开采}}$ )、邢台地区铁矿岩溶水排水量 ( $Q_{\text{邢台铁矿排水}}$ )、武安地区铁矿岩溶水排水量 ( $Q_{\text{武安铁矿排水}}$ ) 以及煤矿岩溶水排水量 ( $Q_{\text{煤矿排水}}$ )。其中，城区岩溶水开采量 ( $Q_{\text{城区开采}}$ ) 主要依据水务局水资源公报和自来水厂统计资料；农村岩溶水开采量 ( $Q_{\text{农村开采}}$ ) 主要依据水务局水资源公报；邢台地区铁矿岩溶水排水量 ( $Q_{\text{邢台铁矿排水}}$ )、武安地区铁矿岩溶水排水量 ( $Q_{\text{武安铁矿排水}}$ ) 和煤矿岩溶水排水量 ( $Q_{\text{煤矿排水}}$ ) 依据调查资料。2011~2021 年开采量情况见表 4-5。

表 4-5 百泉岩溶水开采量统计表 (2011~2021 年) 万 m<sup>3</sup>/a

年份	城区开采量	农村开采量	铁矿排水量	煤矿排水量	泉流量	合计
2011	3217.41	2141.59	10207.82	2247.72	0	17814.54
2012	3533.7	1852.07	6193.96	2205.72	0	13785.44
2013	3916.05	1879.64	6120.99	2093.65	0	14010.33
2014	4060.88	2929.69	6522.64	2052.85	0	15566.06
2015	4204.67	4308.66	10532.14	2036.94	0	21082.41
2016	4587.92	1964.43	9544.23	1860.75	0	17957.33
2017	4994.14	1521.22	9698.39	1905.99	0	18119.73
2018	3358.74	2239.21	8590.72	3437.92	0	17626.59
2019	3641.19	2916.84	7970.26	1905.99	0	16434.27
2020	1066.23	2716.84	9360.2	2036.94	0	15180.21
2021	547.5	1900	16121	2500	259.2	21068.50
平均	3374.64	2407.18	9272.99	2221.26	21.6	17297.67

#### 4.1.4 储变量计算

计算公式： $Q_{\text{储变}} = \Delta q \cdot \Delta H$

式中： $Q_{\text{储变}}$ —岩溶水的储变量（万  $\text{m}^3/\text{a}$ ）；

$\Delta q$ —岩溶水水位升高或下降 1 米，由于现状水位较高，储变量计算参数取 550 万  $\text{m}^3/\text{a}$ （参照《邢台市水工环综合评价报告》1990 年）；

$\Delta H$ —水位年变幅（m），采用区内 2010~2021 年岩溶水水位观测资料，水位年变幅为区内平均值。

水位升降 1m 储存（释出）量充分考虑到了其与水位关系，即水位标高越低，水位升降 1m 储存（释出）量越小。计算结果见表 4-6。

表 4-6 百泉储变量计算结果统计表（2010~2021 年）

年度	水位变幅 (m)	水位升降1m储存(释出)量 (万m <sup>3</sup> /a)	蓄变量 (万m <sup>3</sup> /a)
2010	-6.01	550.00	-3305.50
2011	-7.62	550.00	-4191.00
2012	9.85	550.00	5417.50
2013	11.65	550.00	6407.50
2014	-11.17	550.00	-6143.50
2015	-23.52	550.00	-12936.00
2016	38.07	550.00	20938.50
2017	2.25	550.00	1237.50
2018	5.13	550.00	2824.01
2019	-13.15	550.00	-7232.50
2020	0.57	550.00	313.5
2021	23.79	550.00	13084.5

2010~2021年百泉泉域水均衡计算成果见表4-7。



表 4-7 百泉泉域 2010~2021 年均衡计算表

年份	补给量(万m <sup>3</sup> /a)					排泄量(万m <sup>3</sup> /a)						补排差 (万m <sup>3</sup> /a)	蓄变量 (万m <sup>3</sup> /a)	误差
	裸露区 入渗 补给量	间接 入渗 补给量	水库 放水 补给量	水库 渗漏	合计	城区 开采量	农村 开采量	邢台 铁矿 排水量	武安 铁矿 排水量	煤矿 排水量	合计			
2010	10588.0	2374.8	1903.2	630.7	15496.7	3367.2	2516.0	7512.1	2901.4	2370.7	18667.4	-3170.7	-3305.5	-4.08%
2011	9533.3	2294.1	984.8	630.7	13442.9	3217.4	2141.6	7439.2	2768.7	2247.7	17814.5	-4371.7	-4191.0	4.31%
2012	10539.4	3913.3	4171.0	630.7	19254.4	3533.7	1852.1	3849.4	2344.5	2205.7	13785.4	5468.9	5417.5	0.95%
2013	12998.5	4692.8	1881.1	630.7	20203.1	3916.0	1879.6	3849.5	2271.5	2093.7	14010.3	6192.7	6407.5	-3.35%
2014	4328.0	2239.7	1939.9	630.7	9138.3	4060.9	2929.7	4178.0	2344.7	2052.8	15566.1	-6427.8	-6143.5	4.63%
2015	5199.1	1548.4	500.5	630.7	7878.7	4204.7	4308.7	7822.6	2709.5	2036.9	21082.4	-13203.7	-12936.0	2.07%
2016	23006.1	4581.3	9655.4	630.7	37873.5	4587.9	1964.4	7222.5	2321.7	1860.8	17957.3	19916.1	20938.5	-4.88%
2017	11733.0	3596.4	4057.9	630.7	20018.0	4994.1	2221.2	7330.1	2368.3	1906.0	18819.7	1198.3	1237.5	-3.17%
2018	12766.7	2567.3	4442.3	630.7	20407.0	3358.7	2239.2	6222.4	2368.3	3437.9	17626.6	2780.5	2824.0	-1.54%
2019	4268.7	2059.9	1900.2	630.7	8859.5	3641.2	2916.8	5601.9	2368.3	1906.0	16434.3	-7574.7	-7232.5	4.73%
2020	10679.71	2300.38	1889.00	630.72	15499.81	1066.23	2716.84	6932.2	2428	2036.9375	15180.21	319.60	313.5	1.95%
2021	20316.00	3816.80	10000.0	630.72	34763.52	547.50	1900.00	12107	4014	2500	21068.50	13695.02	13084.5	4.67%
平均	11329.71	2998.77	3610.44	630.70	18569.62	3374.63	2465.51	6672.24	2600.74	2221.26	17334.39	1235.21	1367.88	0.52%

#### 4.1.5 均衡分析

##### (1) 2012 年均衡分析

2012 年百泉泉域处于正均衡状态，补给量为 19254.4 万  $m^3$ ，开采量为 13785.4 万  $m^3$ ，补排差为 5468.9 万  $m^3$ ，蓄变量为 5417.5 万  $m^3$ ，均衡误差为 0.95%。该年降雨量接近平均降雨量，邢台市开展了落水洞回灌试验和沙河河道渗漏试验，对岩溶水补给量相对于常年多出 1000 万  $m^3$ ，同时邢台市水生态修复工程的实施开采量得到控制，使得百泉整体处于正均衡状态，水位上升了 9.85m。

##### (2) 2013 年均衡分析

2013 年百泉泉域处于正均衡状态，补给量为 20203.1 万  $m^3$ ，开采量为 14010.3 万  $m^3$ ，补排差为 6192.7 万  $m^3$ ，蓄变量为 6407.5 万  $m^3$ ，均衡误差为 -3.35%。该年降雨量接近丰水年降雨量，降雨入渗补给量大。对岩溶水补给量较大，使得百泉整体处于正均衡状态，水位上升了 11.65m。

##### (3) 2014 年均衡分析

2014 年百泉泉域处于负均衡状态，补给量为 9138.3 万  $m^3$ ，开采量为 15566.1 万  $m^3$ ，补排差为 -6427.8 万  $m^3/a$ ，蓄变量为 -6143.5 万  $m^3$ ，均衡误差为 4.36%。该年降雨量为极枯降雨量，降雨入渗补给量小，使得百泉整体处于负均衡状态，水位下降 11.17m。

##### (4) 2015 年均衡分析

2015 年百泉泉域处于负均衡状态，补给量为 7878.7 万  $m^3$ ，开采量为 21082.4 万  $m^3$ ，补排差为 -13203.7 万  $m^3/a$ ，蓄变量为 -12936.0 万  $m^3$ ，均衡误差为 2.07%。该年降雨量接近枯水年降雨量，降雨入渗补给量较小。

连续两年较小的降雨量，使得本年度朱庄水库放水量明显减低，总排水量仅 1001 万  $\text{m}^3/\text{a}$ ，水库放水入渗量偏低。另外，中关铁矿开始排水，造成开采量显著增大，使得百泉整体处于负均衡状态，水位下降 23.52m。

#### (5) 2016 年均衡分析

2016 年百泉泉域处于正均衡状态，补给量为 37873.5 万  $\text{m}^3$ ，开采量为 17957.3 万  $\text{m}^3$ ，补排差为 19916.1 万  $\text{m}^3/\text{a}$ ，蓄变量为 20938.5 万  $\text{m}^3/\text{a}$ ，均衡误差为 -4.88%。该年降雨量超过丰水年降雨量，降雨入渗补给量大，朱庄水库放水量较大。使得百泉整体处于正均衡状态，水位上升 38.07m。

#### (6) 2017 年均衡分析

2017 年百泉泉域处于正均衡状态，补给量为 20018.0 万  $\text{m}^3$ ，开采量为 18819.7 万  $\text{m}^3$ ，补排差为 1198.3 万  $\text{m}^3$ ，蓄变量为 1237.5 万  $\text{m}^3$ ，均衡误差为 -3.17%。该年降雨量接近丰水年降雨量，降雨入渗补给量较大。本年度朱庄水库放水量较大，水库放水入渗量较大。使得百泉整体处于正均衡状态，水位上升 2.25m。

#### (7) 2018 年均衡分析

2018 年百泉泉域处于正均衡状态，补给量为 20407 万  $\text{m}^3$ ，开采量为 17626.6 万  $\text{m}^3$ ，补排差为 2780.5 万  $\text{m}^3$ ，蓄变量为 2824.0 万  $\text{m}^3/\text{a}$ ，均衡误差为 -1.54%。该年降雨量为偏丰水年降雨量，降雨入渗补给量较大，水库放水量较大。另外，本年度邢台市区引江水代替近一半岩溶地下水，开采量显著减低，使得百泉整体处于正均衡状态，水位上升 5.13m。

#### (8) 2019 年均衡分析

2019 年百泉泉域处于负均衡状态，补给量为 8859.5 万  $\text{m}^3$ ，开采量为

16434.3 万 m<sup>3</sup>，补排差为-7474.7m<sup>3</sup>，蓄变量为-7232.5 万 m<sup>3</sup>，均衡误差为 4.73%。该年降雨量为极枯降雨量，降雨入渗补给量小，造成邢台市区引江水代替一半岩溶地下水和西郝庄铁矿淹井停止矿山排水开采量减少情况下。仍处于负均衡状态，水位下降 13.15m。

#### (9) 2020 年均衡分析

2020 年百泉泉域处于正均衡状态，补给量为 15499.81 万 m<sup>3</sup>，开采量为 15180.21 万 m<sup>3</sup>，补排差为 319.6 万 m<sup>3</sup>，蓄变量为 313.5 万 m<sup>3</sup>，均衡误差为 1.95%。该年降雨量接近平均降雨量，使得百泉整体处于正均衡状态，水位上升 0.57m。

#### (10) 2021 年均衡分析

2021 年百泉泉域处于正均衡状态，补给量为 34763.52 万 m<sup>3</sup>，开采量为 21068.5 万 m<sup>3</sup>，补排差为 13695.02 万 m<sup>3</sup>，蓄变量为 13084.5 万 m<sup>3</sup>，均衡误差为 4.67%。该年降雨量为平均降雨量的 2 倍，对岩溶水补给量相对于常年多出 10000 万多 m<sup>3</sup>，同时邢台市水生态修复工程的实施开采量得到控制，使得百泉整体处于正均衡状态，2021 年岩溶水水位上升了 23.79m。

## 4.2 城区地下水位上升原因初步分析

邢台市委、市政府高度重视百泉水生态环境保护，先后采取了关闭自备井、引江水替代城区岩溶水、水库补水等措施。又加之 2021 年雨季降水量极大，地下水得到了有效的补给，岩深水水位上升了 23.79m，幅度较大。

①降水量充沛。2021 年降水量极大，2021 年邢台市七里河监测站降

雨量 984.5mm，尤其是市区岩溶水系补给流域内降雨入渗补给量 20316 万  $\text{m}^3/\text{a}$ ，接近常年 2 倍，创历史新高，极大的补给了岩溶地下水。

②通过河道补水补充地下水。2021 年市水务局抢抓生态补水政策机遇和有利时机，积极向省厅争取补水指标，其中朱庄水库补水量为 1 亿  $\text{m}^3$ ，七里河白马河等河道补水为 3816.8 万  $\text{m}^3$ 。进入汛期后，科学调度朱庄、野沟门、东石岭水库下泄流量，自 7 月 10 日至 10 月 25 日，大沙河、七里河、白马河相继行洪，汛后继续开展了小流量生态补水，有效的增大了岩溶水补给，很大程度上促进了岩溶地下水位上升。七里河、茶棚沟、白马河等多条河流开展了引江水生态补水工程，多条河流下游河道内并未进行防渗处理，也直接补给到河流周围第四系地下水中，这也是河流两侧第四系地下水位上升的另一原因。

③岩溶水补给浅层水（孔隙水）。著名的狗头泉、百泉、黑龙潭泉等相继复涌，这三个大泉复涌后，直接顶托补给周围第四系孔隙水，从而很大程度上抬升了百泉泉群区域第四系地下水位。邢台市城区存在众多岩溶水井，当前城区岩溶水位较高，通过井孔直接补给水井周围第四系孔隙水，从而造成水井周围第四系孔隙水位上升。

④优化了水资源配置。通过实施江水置换工程，召马水厂每天用引江水替代岩溶水 15 万立方米，相应的减少开采市区地下水 5000 多万  $\text{m}^3$ ；引朱济邢、旭阳地表水工程年替代岩溶水 3000 万  $\text{m}^3$  以上；邢台电厂、旭阳化工园区再生水利用年替代地下水 1000 万  $\text{m}^3$  以上。

⑤推进矿山改造升级，减少矿山疏干排水。近几年通过矿山改造帷幕堵水、企业搬迁、转产等年减排岩溶水 2000 万  $\text{m}^3$  以上，以及 2015 年

以来市区关停各类自备井 802 眼，地下水开采量明显减少。

### 4.3 城区地下水位预测分析

#### 一、预测平水年、枯水年和丰水年岩溶水水量情况

根据上述地下水均衡计算结果预测城区平水年、枯水年和丰水年水量情况。

降水量设置：依据 1980 年—2021 年降雨资料分析可知，邢台市 1980 年—2021 年平水年降雨量为 522.3mm（年平均降雨量），丰水年降雨量为 573.5mm（降雨频率 25%），枯水年降雨量为 421.6mm（降雨频率 75%）。

补给量及参数设置：补给量计算参数参照上述均衡计算参数，丰水年补给量 20407 万  $m^3/a$ ，平水年补给量 15496 万  $m^3/a$ ，枯水年补给量 8859.5 万  $m^3/a$ 。

开采量设置：城区开采量采用 0；丰水年农村开采量为 2239.12 万  $m^3/a$ ；平水年农村开采量为 2516 万  $m^3/a$ ；枯水年农村开采量为 2916.8 万  $m^3/a$ ；邢台铁矿排水量采用正常排水情况下的排水量，即为 7512.1 万  $m^3/a$ ；武安铁矿排水量采用 2368.3 万  $m^3/a$ ；煤矿排水量采用 2036.9 万  $m^3/a$ 。

储变量计算参数设置：储变量计算参数  $\Delta q$  取值 550 万  $m^3/a$ 。

分别进行丰水年、平水年以及枯水年的均衡计算，具体均衡计算结果见表 3-9。

表 3-9 预测均衡计算结果



复涌方案 1		丰水年	平水年	枯水年
补 给 量 (万 m <sup>3</sup> /a)	裸露区入渗补给量	12766.7	10588	4268.7
	间接入渗补给量	2567.3	2374.8	2059.9
	水库放水补给量	4442.3	1903.2	1900.2
	水库渗漏	630.7	630.7	630.7
	合计	20407	15496.7	8859.5
开 采 量 (万 m <sup>3</sup> /a)	城区开采量	0	0	0
	农村开采量	2239.2	2516	2916.8
	邢台铁矿排水量	7512.1	7512.1	7512.1
	武安铁矿排水量	2368.3	2476.3	2368.3
	煤矿排水量	2036.9	2036.9	2036.9
	合计	14156.5	14541.3	14834.1
岩溶水均衡差 (万 m <sup>3</sup> /a)		6250.5	955.4	-5974.6

预测均衡计算结果：在现行的放水方案、邢台市区水源地压采岩溶水的情况下，百泉在丰水年份处于正均衡状态， $\Delta Q_{\text{补排差}}$  为 6250.5 万 m<sup>3</sup>/a，水位上升 11.36m；百泉在平水年份处于正均衡状态， $\Delta Q_{\text{补排差}}$  为 955.4 万 m<sup>3</sup>/a，水位上升 1.73m；百泉在枯水年份处于负均衡状态， $\Delta Q_{\text{补排差}}$  为 -5974.6 万 m<sup>3</sup>/a，水位下降 10.86m。

## 二、城区地下水位预测分析结果

根据上述预测均衡计算，在丰水年岩溶水水位上升 11.36m，岩溶水继续顶托补给第四系水，生态补水措施不变的情况下，第四系孔隙水水

位会持续上升，水位埋深 5-10m 的孔隙水范围增大。在平水年岩溶水水位上升 1.73m，第四系孔隙水不会大幅度上升，会保持相对稳定的状态。枯水年岩溶水水位下降 10.86m，第四系孔隙水反补给岩溶水，水位埋深 5-10m 的孔隙水范围会缩小，但园博园周围水位埋深 5-10m 的范围不会缩小很多，主要原因为园博园内水系河道内并未进行防渗处理直接补给到周围第四系地下水中，如果不能有效的将上升的岩溶水引走，该区域第四系地下水位必将保持较高状态。由于邢台市水源地压采岩溶水，并随着百泉复涌治理的深入，未来岩溶水保持高水位状态是必然的趋势。

**小结：**2021 年雨季降水量极大，地下水得到了有效的补给，水位上升了 23.79m，幅度较大，引发市区地下水位逐步回升。主要原因有五：一是降水补给，二是通过河道补水补充地下水，三是引江水生态补水岩溶水顶托补给孔隙水，四是优化了水资源配置，五是推进矿山改造升级，减少了矿山疏干排水。

经预测，在丰水年岩溶水水位上升 11.36m，岩溶水继续顶托补给第四系水，生态补水措施不变的情况下，第四系孔隙水水位会持续上升。平水年岩溶水水位上升 1.73m，第四系孔隙水不会大幅度上升，会保持相对稳定的状态。枯水年岩溶水水位下降 10.86m，第四系孔隙水反补给岩溶水。

## 第五章 地下水位上升引发的工程地质问题

由于 2021 年雨季降水量明显大于往年，引起市区地下水位（包括第四系潜水及深层灰岩承压水）普遍的明显上升，地下水与岩土体之间相互作用显著增强，一般的岩土体都有遇水软化的特点，在与水作用后，岩土体的抗剪强度指标会有较大幅度的降低。由于未考虑历史上水位较高、在低洼处修建建筑物，水位上升后未及时采取降水措施等多种原因，主要造成了地基承载力降低、边坡失稳、岩溶塌陷等，同时也有基础上浮、地下结构浸水等一系列工程地质问题，直接影响已建建筑物安全或正常使用，对以后建筑工程施工产生不利影响。

根据初步调查统计，因为水位上升而造成建筑物破坏的已涉及多个小区、道路等，见表 5-1、图 5-1。

表 5-1 地下水位上升已引发工程地质问题统计表

序号	位置	表现形式	工程地质问题
1	信都区贞观苑小区	地下室渗水	地基承载力降低、 地下工程受损
2	信都区锦绣观邸小区	地下车库渗水	
3	信都区凰家阳光园小区	地下室渗水	
4	襄都区永康城市花园小区	地下车库渗水	
5	襄都区襄湾壹号小区	地下车库渗水	
6	襄都区恒大城小区	地下车库渗水	

7	襄都区紫金东郡小区	地下车库渗水	
8	襄都区襄政公元小区	地下车库渗水	
9	襄都区青青小镇小区	地下车库渗水	
10	襄都区龙泉大街与智慧路交叉口道路	路面沉陷、形成塌陷坑	地基承载力降低
11	信都区金官花园小区西门外非机动车道	路面沉陷、形成塌陷坑	
12	信都区育英街与守敬路交叉口道路	路面沉陷、形成塌陷坑	
13	襄都区天一园著小区	地面渗水、院内积水	
14	邢台市博物馆	地面渗水	
15	信都区燕云台小区	钻孔灌注桩突然下沉6米	岩溶塌陷
16	襄都区新百泉村	出现3个塌陷坑	
17	泉北大街与钢铁交叉口东南角建筑工地	直径2米，深10米溶洞	
18	贾庄村村东狐岭	发育“牛眼洞”、“狼洞”等多个溶洞露头	
19	襄都区百泉大道（信都路-智慧路段）	路面沉降	地基承载力降低、填土沉陷

20	襄都区百泉	桥台和边坡破坏	边坡失稳
----	-------	---------	------

## 5.1 地基承载力降低

### 5.1.1 对天然地基的影响

当地下水位在基础底面以下主要受力层范围内上升时,地下水浸湿、软化地基土,使其承载力特征值降低、压缩性增大。天然地基一般埋深不大,其建筑物多为独立基础和条形基础,结构整体性相对较差,因此可能产生较大的不均匀沉降变形,进而导致结构开裂等。

根据极限荷载理论,对不同类型的砂性土和粘性土地基,按不同基础形式,分析不同地下水位时其地基承载力,结果表明:无论砂性土地基还是粘性土地基,其承载能力都随地下水位上升而下降。因粘性土存在有粘聚力,故其承载力下降率相对较小,最大下降率约50%左右,而砂性土最大下降率则可达70%。

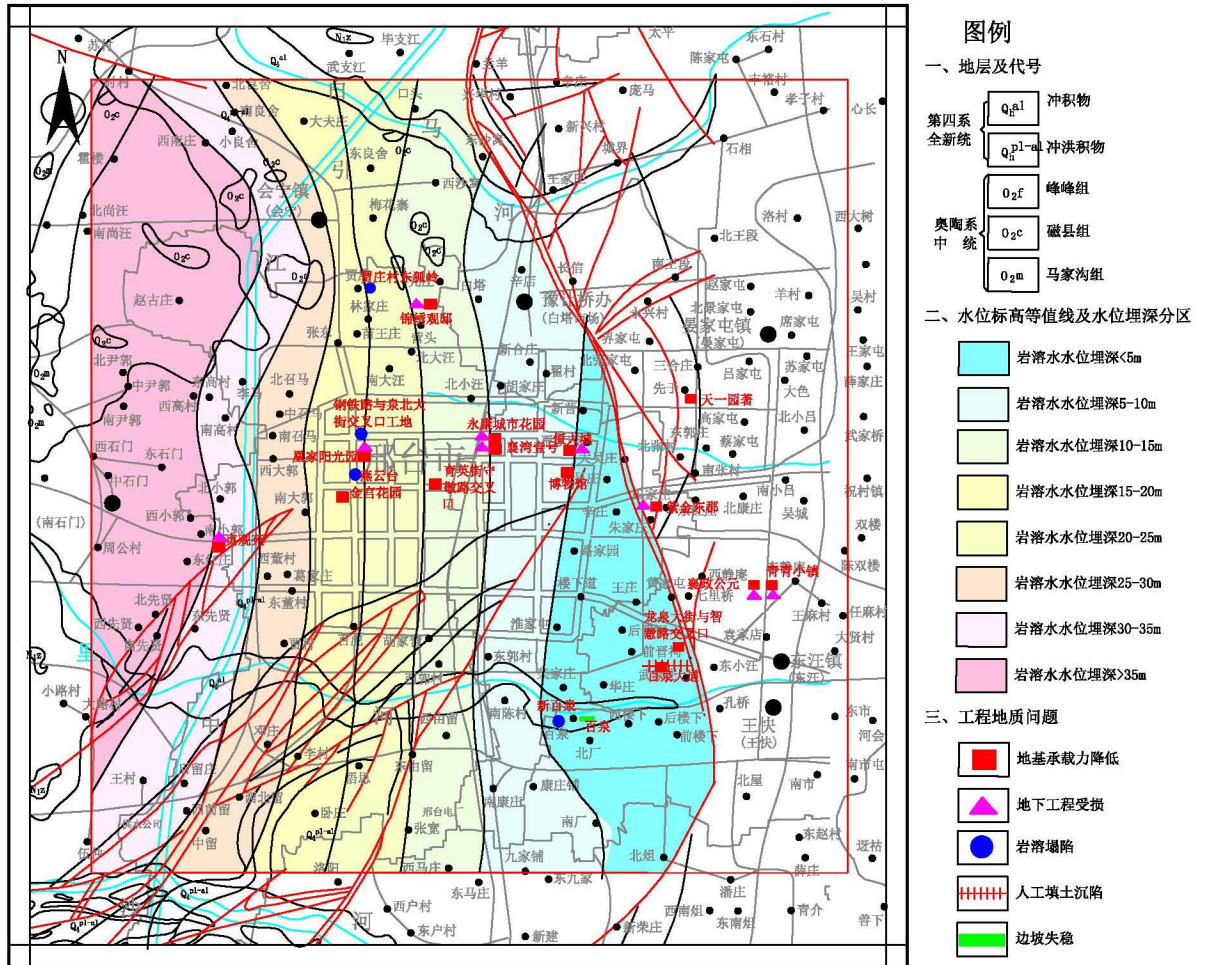


图 5-1 水位上升已引发工程地质问题分布图

### 5.1.2 对复合地基的影响

地下水位的上升降低了桩间土的承载力，同时也降低了地层对桩的极限侧摩阻力标准值和极限端摩阻力标准值，最终结果是既降低了单桩竖向承载力特征值同时也降低了复合地基的承载力。

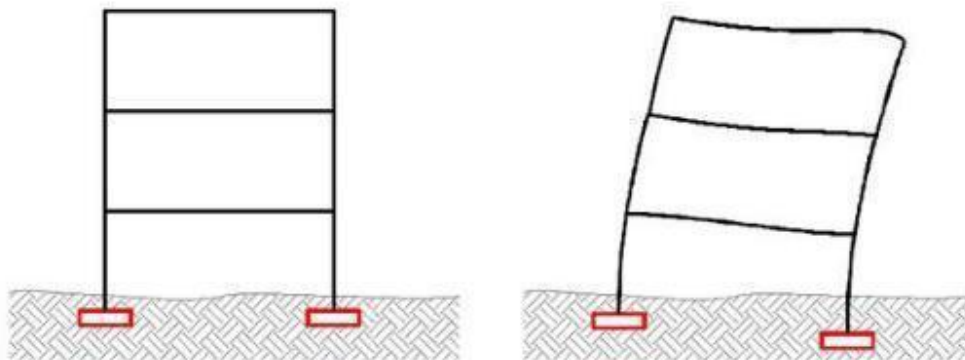


图 5-2 地基不均匀沉降示意图





照片 5-1 狗头泉附近民房上的裂缝

## 5.2 地下工程受损

市区内存在大量地下室、地下车库、地下通道、地下管廊、防控工程等，其基础埋藏一般较深，结构自重相对较小，都将面临如下问题。

### 5.2.1 结构上浮

随着地下水位的上升，地下结构物抗浮问题日益突出。正常情况下，地下结构在结构自重、附加物自重、抗浮结构及浮力作用下保持稳定状态。随着地下水位上升，浮力增大，抗力不足以抵抗地下水的上浮力，抗浮稳定安全系数  $K_w$  下降，当  $K_w < 1.0$  时，结构上浮。

$$\frac{G}{N_{w,k}} \geq K_w$$

式中： $G$ —建筑结构自重、附加物自重、抗浮结构及构件抗力设计值总和

$N_w, k$ —浮力设计值

$K_w$ —抗浮稳定安全系数

由于“脸盆效应”，结构整体受到较大的浮力，当底板受到超过其承

载能力的扬压力时，底板、柱体就会产生开裂，水体就会沿着空隙进入到地下结构中。



图 5-3 脸盆效应示意图

### 5.2.2 结构渗水

因为水位的上升，渗透压力逐级上升，进而引发渗水现象，影响地下工程的正常使用功能；渗水的同时会产生潜蚀作用，即水流在水力坡度下产生较大的动水压力冲刷，带走细小颗粒的土粒，使岩土体的空隙扩大，如任其发展，甚至形成洞穴，导致岩土体结构松动，严重时可能导致产生裂隙，进而引发失稳、坍塌破坏。



照片 5-2 襄湾壹号地下车库渗水



图 5-3 青青小镇西区地下车库渗水

### 5.2.3 已建建筑物抗浮风险增加

由于地下水位升高，建筑物的抗浮设防水位应随之升高，超出原来预期。原设计为构造板的工程无法满足抗浮力强度要求，可能产生地面鼓起，对构造柱形成侧向拉力，使构造柱出现剪切破坏。

## 5.3 边坡失稳

### 5.3.1 对基坑边坡稳定性的影响

水位上升给基坑施工带来不少困难。据调查，市区多个建筑工地，原来水位埋深较大，现在由于地下水上升，需临时增加降水施工，且集水坑出现流土，使地基土出现掏空，同时由于降水致使周围边坡上部地面裂缝明显加宽，造成支护结构失稳。

水土作用降低了土体的抗剪强度，在外力、主动土压力与渗透力作用下，坡体土体内部首先出现微裂纹，且裂纹有增大贯通趋势，土体随之发生微小位移。这种微位移的发生使主动支护工程得以发挥，但由于基坑的空间效应及相对富水区部位不同影响，不同部位的支护工程受力不均匀，且由于土体抗剪强度降低使得支护工程也将发生微小位移，从而影响支护工程在土体中的骨架与锚固作用。这就使土体中的微裂隙进一步增大并开始贯通，土体的位移也變得越来越大，受其影响，支护工程的位移量不断增大。土体微裂隙的贯通与支护工程锚固作用的降低相互促进，使得支护体的整体形式逐渐恶化，最终导致支护结构失稳。

### 5.3.2 对泉坑边坡稳定性的影响

对于没有采取保护措施的泉坑边坡，地下水位上升时，岩土体浸润

范围增大，由于毛细作用，土体内水位进一步升高，浸润程度加剧，岩土浸水饱和、软化、抗剪强度降低，土体自重增大，加上水的润滑作用，容易引发边坡坍塌。



照片 5-4 百泉桥台破坏



照片 5-5 百泉边坡破坏

#### 5.4 人工填土沉陷

百泉泉群所在区域和七里河两岸存在大面积厚填土分布区，由于水位上升，对地基土产生潜蚀、浸润，在自重及周边荷载的影响下进而引发地面塌陷。百泉大道狗头泉附近路段出现的地面塌陷，最大塌陷深度为 0.3m。据访问，该塌陷路段曾为狗头泉坑一部分，修建百泉大道时被填平，最大填方厚度为 9m。如今该区域地下水位上升，塌陷处地下水埋深不到 4m，在地下水和自重的作用下，产生了这次地面塌陷。



照片 5-6 百泉大道地面塌陷路段

## 5.5 岩溶塌陷

### 5.5.1 岩溶塌陷现状

(1)邢台规划区内在建筑基础施工中发现多地已具备发生岩溶塌陷的地质条件。如：燕云台小区（位于钢铁北路与泉南西大街交叉口的东南角）地层结构表层为第四系松散层，厚度5~30m，岩性为粉质粘土、中砂、粘土，其下伏为奥陶系中统石灰岩。在桩基施工中有一钻孔灌注桩浇注完毕后，突然下沉6m之多，混凝土从相邻钻孔流出；泉北西大街与钢铁北路交叉口的东南角一建筑工地在基坑开挖过程中，发现一直径两米，深10米溶洞（照片5-9）。





照片 5-9 基坑开挖发现的溶洞

(2)新百泉村岩溶地面塌陷位于邢台市高开区王快镇新百泉村西南角，地理坐标为东经  $114^{\circ} 30' 37.67''$  ，北纬  $37^{\circ} 00' 55.81''$  。首次发现时间为 2020 年 5 月 8 日 19 时左右，塌陷坑长约 8m，宽约 3m，深 3-4m，坑底中心位于一处两层砖混结构民房西北角，呈漏斗状（访问户主），见照片 5-10 和照片 5-11。威胁 1 户，6 间房。



照片 5-10 塌陷坑坑口



照片 5-11 塌陷坑分布范围



(3) 新百泉村北岩溶塌陷坑位于新百泉村北 350m 耕地内，地理坐标为东经  $114^{\circ} 30' 46''$ ，北纬  $37^{\circ} 01' 09''$ 。塌陷坑为两个，相距约 5m，均为近圆形，一个南北长 6.5m，东西宽 5.8m，深 1.9m，已完全塌陷（照片 5-12）；另一个南北长 3.0m，东西宽 2.6m，深 0.2m，未完全塌陷（照片 5-13）。



照片 5-12 新百泉村北岩溶塌陷坑（已完全塌陷）



照片 5-13 新百泉村北岩溶塌陷坑（未完全塌陷）

(4) 贾庄村村东狐岭上发育“牛眼洞”、“狼洞”等多个溶洞露头，目前已发现溶洞面积近万平方米，部分已经相互联通，上下分布三层，总高度超过 30m 溶洞。其中大处面积几十平方米，高数米，小处仅容通人，四通八达，分布杂乱，状若迷宫，具体见照片 5-14 照片 5-15。



照片 5-14 溶洞洞口



照片 5-15 牛眼洞洞内

### 5.5.2 岩溶塌陷危险性分区

河北省地表岩溶塌陷大多发生在松散层厚度小于 50m 的区域内。极浅覆盖区、浅覆盖区和深覆盖区奥陶系灰岩地层上覆第四系松散层。埋藏区灰岩埋藏于石炭系、二叠系之下。裸露区不具备双层含水结构，一般情况不会发生岩溶塌陷。深覆盖区松散覆盖层厚度大于 80m，发生岩溶塌陷可能性小，埋藏区孔隙水含水层与岩溶水含水层之间有厚层煤系地层相隔，产生岩溶塌陷可能性很小。极浅覆盖区、浅覆盖区具备双层结构、覆盖层厚度小于 80m，有形成岩溶塌陷的可能性，通过六项预测因子进行评价，预测过程如下，预测因子及经验指标见表 5-2。

危险性指标判别值： $N=K+S+H+G+W+F$

当： $N=18-20$  极易塌陷，可产生大量塌陷；

$N=14-17$  易塌陷，可产生较多塌陷；

$N=11-13$  不易塌陷，可产生少量或零星塌陷；

$N \leq 10$  不塌陷，属稳定区。

表 5-2 岩溶塌陷危险性评价表

因子 \ 分数		4	3	2	1
		K	岩溶发育程度		强烈
S	覆盖层岩性结构		均一砂土；双层或多层，底为砂砾石	双层或多层状粘性土-砂砾石	粘性土上部夹砂层
H	覆盖层厚度 (m)	<5	5-30	30-80	>100
G	孔隙水与岩溶水之间隔水层厚度 (m)	<2	2-8	8-15	>15
W	岩溶地下水位距基岩面距离 (m)	<5 在基岩面附近波动	5-10 在基岩面波动或土层中	>10 在土层中 <10 在基岩中	>10 在基岩中
F	岩溶地下水径流条件		排泄区	强径流带	径流区

根据灰岩埋深情况将工作区划分为五个区，其中埋深小于 30m 两个区，分别为百泉泉群所在区域 (A1) 和达活泉-会宁-南石门一带 (A2)；埋深 30-80m 两个区，分别为百泉泉群外围 (B1) 和达活泉-会宁-南石门外围一带 (B2)；工作区其它区域 (C) 灰岩埋深均大于 80m。

### 5.5.2.1 百泉泉群灰岩埋深小于 30m 区域 (A1)

(1) 本区灰岩岩性较纯，连续厚度较大，埋藏于第四系松散层之下，埋深 230m 以上，溶洞直径一般小于 20cm，钻孔揭露埋深 230m 以下见溶洞，钻孔遇溶洞率 80%。岩溶发育强烈， $N=3$ ；

(2) 覆盖层岩性结构为双层或多层砂土，底部为砂砾石层， $S=3$ ；



- (3) 覆盖层厚度为小于 30m, H=3;
- (4) 孔隙水与岩溶水之间隔水层厚度为 3m, G=3;
- (5) 岩溶地下水位距灰岩顶面 > 10m, 在土层中, W=2;
- (6) 评估区为岩溶水排泄区, F=3。

危险性指标判别值:  $N=3+3+3+3+2+3=17$ , 危险性等级为**易塌陷**。

#### 5.5.2.2 达活泉-会宁-南石门一带灰岩埋深小于 30m 区域 (A2)

(1) 本区灰岩岩性较纯, 连续厚度较大, 埋藏于第四系松散层之下, 钻孔遇溶洞率 80%, 埋深 100m 以下溶洞发育, 岩溶发育强烈, N=3;

(2) 覆盖层岩性结构为多层状粘性土, 上部夹砂砾石, S=1;

(3) 覆盖层厚度为小于 30m, 下部岩性为杂色粘土和泥砾, H=3;

(4) 孔隙水与岩溶水之间以杂色粘土和泥砾为主, 隔水层厚度大于 15m, G=1;

(5) 岩溶地下水位距灰岩顶面 5-10 在基岩面波动或土层中, 在岩层中, W=3;

(6) 评估区为岩溶水强径流区, F=2。

危险性指标判别值:  $N=3+1+3+1+3+2=13$ , 危险性等级为**不易塌陷**。

#### 5.5.2.3 百泉泉群外围灰岩埋深 30-80m 区域 (B1)

(1) 本区灰岩岩性较纯, 连续厚度较大, 埋藏于第四系松散层之下, 埋深 230m 以上, 溶洞直径一般小于 20cm, 钻孔揭露埋深 230m 以下见溶洞, 钻孔遇溶洞率 80%。岩溶发育强烈, N=3;

(2) 覆盖层岩性结构为多层状粘性土, 底部为砂砾石层, S=3;

(3) 覆盖层厚度为 30-80m, H=2;

(4) 孔隙水与岩溶水之间隔水层厚度为 8-15m, G=2;

(5) 岩溶地下水位距灰岩顶面 > 10m, 在土层中, W=2;

(6) 评估区为岩溶水强迳流区, F=2。

危险性指标判别值:  $N=3+2+3+2+2+2=14$ , 危险性等级为**易塌陷**。

#### 5.5.2.4 达活泉-会宁-南石门外围灰岩埋深 30-80m 区域 (B2)

(1) 本区灰岩岩性较纯, 连续厚度较大, 埋藏于第四系松散层之下, 钻孔遇溶洞率 80%, 埋深 100m 以下溶洞发育, 岩溶发育强烈, N=3;

(2) 覆盖层岩性结构为多层状粘性土, 上部夹砂砾石, S=1;

(3) 覆盖层厚度为 30-80m, 下部岩性为杂色粘土和泥砾, H=2;

(4) 孔隙水与岩溶水之间以杂色粘土和泥砾为主, 隔水层厚度大于 15m, G=1;

(5) 岩溶地下水位距灰岩顶面 > 10 在土层中, 在岩层中, W=2;

(6) 评估区为岩溶水强迳流区, F=2。

危险性指标判别值:  $N=3+1+2+1+2+2=11$ , 危险性等级为**不易塌陷**。

#### 5.5.2.5 其他区域 (C)

(1) 本区灰岩岩性较纯, 连续厚度较大, 埋藏于第四系松散层之下, 埋深 100m 以上未见直径大于 20cm 的溶洞, 埋深 100m 以下, 钻孔遇溶洞率 70%, 灰岩覆盖区岩溶发育强烈, N=3; 灰岩埋藏区岩溶发育较弱, N=1;

(2) 覆盖层岩性结构为多层状粘性土, 上部夹砂砾石, S=1;

(3) 覆盖层厚度为 80-200m, 上部为含砂颗粒粉质粘土, 下部岩性为杂色粘土和泥砾。H=1;

(4) 孔隙水与岩溶水之间以杂色粘土和泥砾为主，隔水层厚度为20-400余 m。G=1；

(5) 灰岩覆盖区岩溶地下水位距灰岩顶面 > 10m，在土层中，W=2；灰岩埋藏区，W=1；

(6) 评估区为岩溶水一般迳流区和强迳流区，灰岩埋藏区岩溶水迳流条件一般 F=1；灰岩覆盖区岩溶水迳流强烈 F=2；

预测指标判别值

灰岩覆盖区：N=3+1+1+1+2+2=10

灰岩埋藏区：N=1+1+1+1+1+1=6

判别结果为不塌陷，灰岩埋深大于 80m 的区段属于稳定区。

通过以上分析，判定百泉泉群灰岩埋深小于 80m 所在区域(A1 和 B1) 易产生岩溶塌陷，可产生较多塌陷，岩溶塌陷危险性高，面积 13.0km<sup>2</sup>。达活泉原排泄区周边及灰岩埋深小于 80m 的地段(A1 和 B2) 不易产生岩溶塌陷，可产生少量或零星塌陷，岩溶塌陷危险性中等，面积 89.3km<sup>2</sup>。工作区其它范围岩溶塌陷危险性低，具体见图 5-4。

## 5.6 初步防治工程措施

### 5.6.1 工程抗浮措施

为保持现有建筑工程在浮力作用时处于稳定状态，需针对性的编制抗浮治理方案，采取结构、构造、监测及维护等工程抗浮措施。主要方法有增重法、排水限压法、泄水降压法、锚固法。

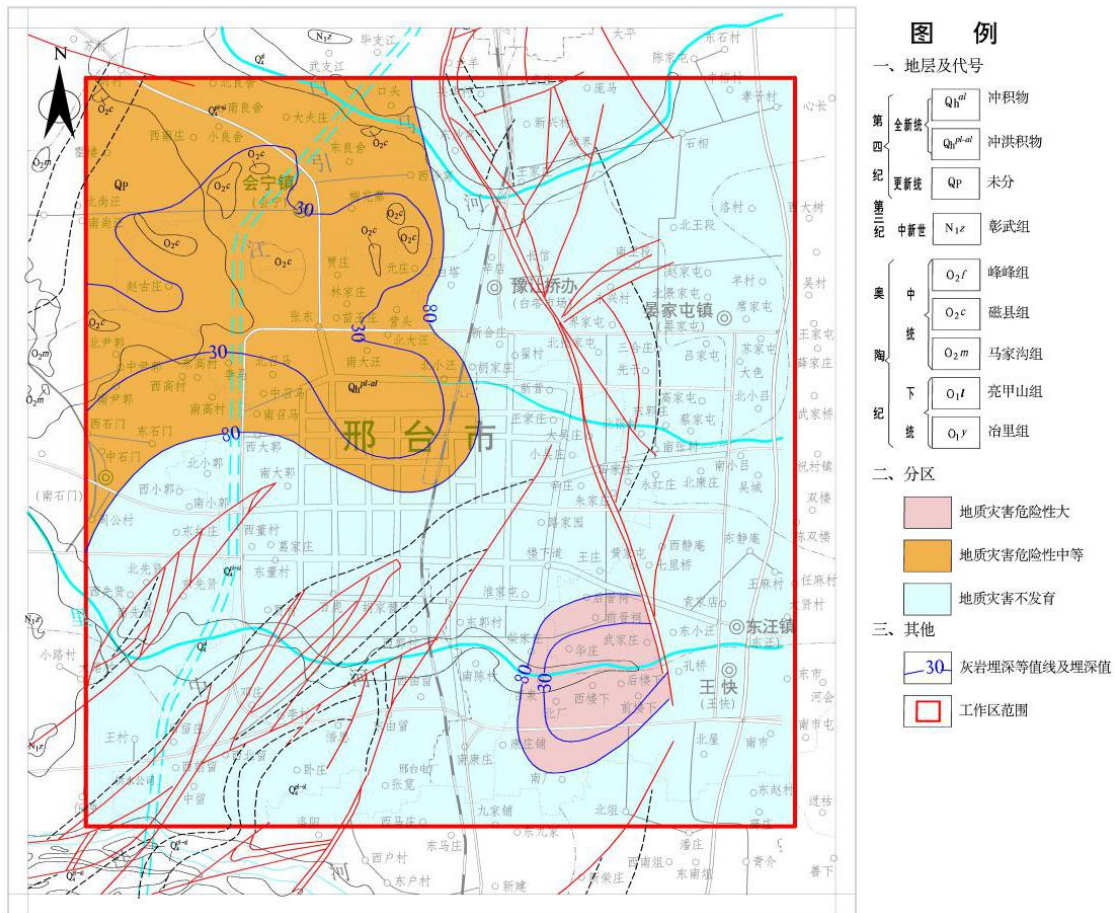


图 5-4 工作区岩溶塌陷危险性分区图

### (1) 压重法

既有抗浮力与浮力相差不大的既有工程抗浮治理宜采用增重法。

抗浮压重荷载包括地下结构底板自重及其上部压重、地下结构底板挑出外侧墙结构板自重及其上部覆土自重、地下结构上部覆土自重或顶部压重结构提供的抗拔承载力等。以抵消浮力对其造成的上浮影响，增加建筑物的抗浮稳定性。

### (2) 排水限压法

既有截排水系统不满足要求、含水层渗透性较差的既有工程宜采用排水限压法治理，应与通过修复的既有截排水系统形成有效结合。



地下水具备自行排泄条件的工程宜采用盲沟、排泄沟等自流排水限压；不具备自行排泄条件时，可采用盲沟、集水井、降水井等抽排水限压。

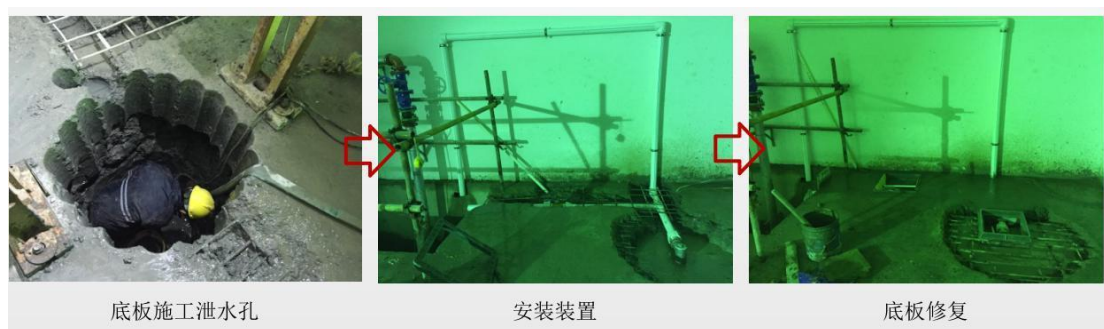


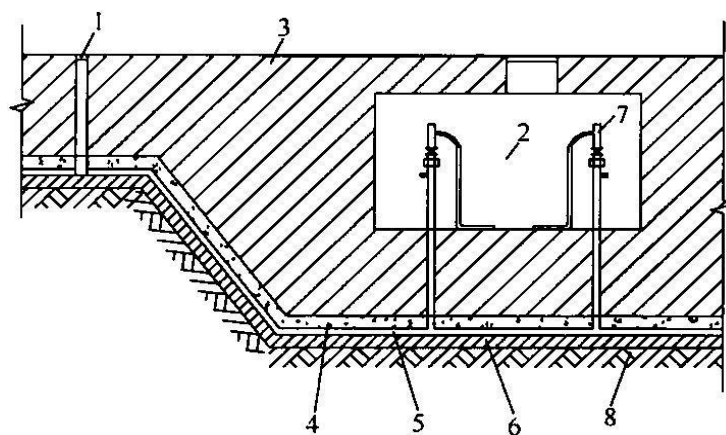
图 5-5 排水限压法

### (3) 泄水降压法

受季节和地表水下渗等影响浮力变化不大和地下结构底板下存在透水层时，既有工程抗浮治理宜采用泄水降压法。

### (4) 锚固法

既有工程具有抗浮锚杆、抗浮桩等锚固构件实施条件时宜采用锚固法治理，并宜与既有结构或抗浮构件联合共同组成抗浮体系。



1-渗流压监测系统；2-集水坑或集水井；  
3-地下结构底板；4-素混凝土垫层；5-透水系统；  
6 集水系统；7-出水系统；8-开挖面

图 5-6 泄水降压法

### 5.6.2 岩溶塌陷防治建议

在岩溶塌陷危险性小区进行建设可不考虑岩溶塌陷对建设项目的影  
响。在危险性大区和岩溶塌陷危险性中等区进行建设，次要建筑物和小  
型建设项目可不考虑岩溶塌陷对建设项目的影。一般和重要建设物、  
中型和大型建筑项目建设，应再次进行岩溶塌陷地质灾害专项评估工作，  
进一步查明灰岩顶面埋深、岩溶发育情况、覆盖层岩性结构、孔隙水含  
水层与岩溶水含水层之间的隔水层厚度、并探明孔隙水的承压性、水位  
埋深和年内水位变幅。采用更适合评估区地质条件的评价方法，进一步  
评价并确定岩溶塌陷的危险性，结合建设项目、建筑物的重要性、建筑  
物类型，依据《岩土工程勘察规范》(GB50021—2001)和《建筑地基基  
础设计规范》(GB50007—2011)等规范分别选取妥善的防治措施。

工作区仅在百泉泉群岩溶塌陷危险性大区出现小规模岩溶塌陷，治  
理办法为灌注法。城市大型建设项目和重要建筑物建设，治理岩溶塌陷  
常选用以下方法：适当提高建筑物基础和上部结构刚度，对建筑物主要  
应力影响深度内的溶洞和土洞选用灌注法、洞底支撑和过梁法等措施处  
理。中型建设项目和一般建筑物可适当提高建筑物基础和上部结构刚度。

**小结：**由于地下水位上升，邢台市内已有多个小区出现地下室或  
地下车库渗水、地面积水、岩溶塌陷，多条道路发生塌陷，引发的主要  
工程地质问题是地基承载力降低、地下工程受损、边坡失稳、人工填土  
沉陷、岩溶塌陷等，初步防治建议为采取压重法、排水限压法、泄水降  
压法、锚固法等工程抗浮措施；岩溶塌陷采取提高建筑物基础和上部结

构刚度，对建筑物主要应力影响深度内的溶洞和土洞选用灌注法、洞底支撑和过梁法等措施处理。

## 第六章 结论及建议

### 6.1 结论

1、2021年雨季降水量极大，地下水得到了有效的补给，水位上升了23.79m，幅度较大，引发市区地下水位逐步回升。主要原因有五：一是降水补给，二是通过河道补水补充地下水，三是引江水生态补水岩溶水顶托补给孔隙水，四是优化了水资源配置，五是推进矿山改造升级，减

少了矿山疏干排水。

2、经预测，在丰水年岩溶水水位上升 11.36m，岩溶水继续顶托补给第四系水，生态补水措施不变的情况下，第四系孔隙水水位会持续上升。平水年岩溶水水位上升 1.73m，第四系孔隙水不会大幅度上升，会保持相对稳定的状态。枯水年岩溶水水位下降 10.86m，第四系孔隙水会反补给岩溶水。

3、由于地下水位上升，邢台市内已有多个小区出现地下室或地下车库渗水、地面积水、岩溶塌陷，多条道路发生塌陷，引发的主要工程地质问题是地基承载力降低、地下工程受损、边坡失稳、人工填土沉陷、岩溶塌陷等。初步防治工程措施为采取压重法、排水限压法、泄水降压法、锚固法等工程抗浮措施；岩溶塌陷采取提高建筑物基础和上部结构刚度，对建筑物主要应力影响深度内的溶洞和土洞选用灌注法、洞底支撑和过梁法等措施处理。工作区东北部抗浮水位应该参照今年和历史最高地下水位设定，以免在极端降水情况下再现今年的次生问题。

4、工作区百泉泉群灰岩埋深小于 80m 所在区域为岩溶塌陷危险性高区，达活泉原排泄区周边及灰岩埋深小于 80m 的地段为岩溶塌陷危险性中区。在岩溶水位持续下降时，工作区岩溶塌陷危险性中、高区发生岩溶塌陷可能性较大，应当注意防范。

5、百泉在枯水年处于负均衡状态，在不引起次生灾害的前提下采取开源、节水及强管措施；在丰水年和平水年处于正均衡状态，需要采取疏导措施，及时排走泉水，减轻地下水位上升引发的次生问题的危害。

## 6.2 建议

### 1、进一步完善泉水疏导工程

历史上百泉、狗头泉、黑龙潭泉均有疏导工程，甚至大量土地利用泉水灌溉。在不引发地质环境问题的前提下，尊重历史上的水利工程布局。进一步完善泉水疏导工程，结合邢台市环城水系建设工作和地表水灌溉工程，及时将泉水排走，不仅可以提升邢台市生态环境水平，又可以优化水资源配置，还可以减轻地下水位上升引发的次生灾害的影响。

### 2、开展邢台市抗浮设防水位区划

多年前邢台地区地下水位呈下降趋势，水位埋深较大，普遍认为水位不会上升，大多数地下工程防渗设防水位过低。在今年的极端降水情况下，邢台地区地下水位上升幅度很大，部分地区出现了地下结构浸水的现象，对工程安全造成一定的影响，给当地居民造成心理恐慌。工程勘察工期较短，仅依据勘测期间的地下水位状况进行推测，勘察单位很难搜集到详实的地下水长期动态观测资料，甚至有些单位在枯水期勘测，观察的地下水位显著偏低，多种原因造成判定的防渗设防水位偏低，对地下工程安全埋下隐患。邢台市地貌类型众多，水文地质条件复杂，建议聘请有相关资质的单位，开展邢台市防渗设防水位区划工作，对邢台地区进行防渗设防水位区划，可以有效的加快工程建设速度和提高完全性。

### 3、开展邢台市岩溶塌陷调查评价

重点查明邢台市城区岩溶塌陷中高风险区分布特征。开展邢台市岩溶塌陷调查评价，查明岩溶塌陷的形成条件和分布规律，可有效避免和

减轻岩溶塌陷地质灾害造成的损失，维护人民生命和财产安全，促进邢台市经济和社会的可持续发展。