

引温济潮再生水利用工程

项目位置：北京市顺义区潮白河向阳闸至苏庄闸段

项目规模：16.2km

竣工时间：2012年

7.1 工程基本情况

7.1.1 工程概况

引温济潮再生水利用工程是将温榆河河水经过MBR工艺处理后，沿十三排干、京密路、顺于路、小中河至海洪闸下游，经顺义城北减河至潮白河。2007年至2011年底，引温济潮工程一期实施，受水河道自向阳闸至河南村橡胶坝，河道长7km。2012年，引温济潮二期工程实施，受水河段为向南扩至苏庄橡胶坝，河道长度增加到16.2km（如图1）。受水区项目周边分布有引潮入城水源地、八厂水源地、顺义第二水源地、燕京啤酒厂水源地等重要的水源地，同时自2015年后该区域还成为南水北调水源的主要回灌区，受水区周边水源地的水环境质量直接关系到我市的供水安全。



图1 引温济潮工程引水线路及受水区周边水源地分布示意图

7.1.2 水文地质条件

受水区北段以透水性好的砾石含砂为主，中段以粉细砂为主，南段以透水性较差的粉质粘土为主。百米左右浅层含水层层次变化情况：北部一般为2~3层，南部为多层。含水层厚度北部厚，一般为40~80m；南部薄，一般为20~50m。受水区自北向南水文地质剖面（A-A'）、受水区北部向阳闸区域东西向剖面（B-B'）和受水区中部东西向剖面（C-C'），如图1-2所示。

从向阳闸与潮白河中段两张东西方向的地质剖面图（如图1-3、图1-4）可以看出，自向阳闸至河南村橡胶坝，砂卵砾石层的厚度和数量均不断减少。南北向的水文地质剖面（如图1-5）表明，自北向南80m以浅的地层层数由少变多，含水层岩性由砂卵砾石渐变至细砂。

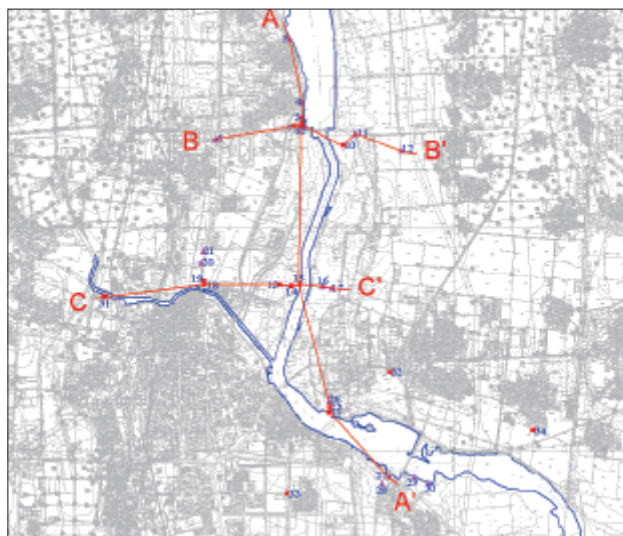


图2 受水区水文地质剖面线

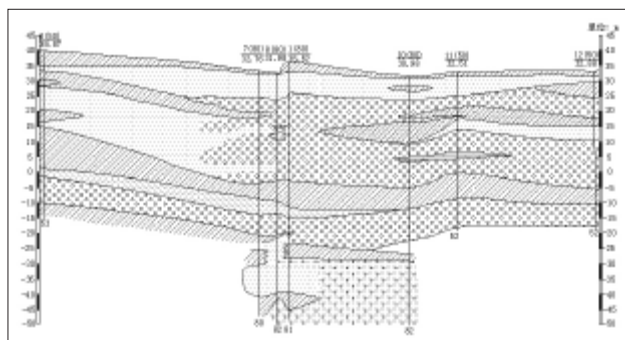


图3 潮白河再生水利用区向阳闸东西向地质剖面图 (B-B')

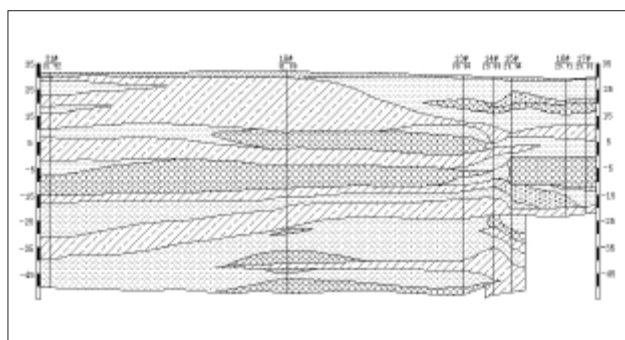


图4 潮白河再生水利用区河道中段地质剖面图 (C-C')

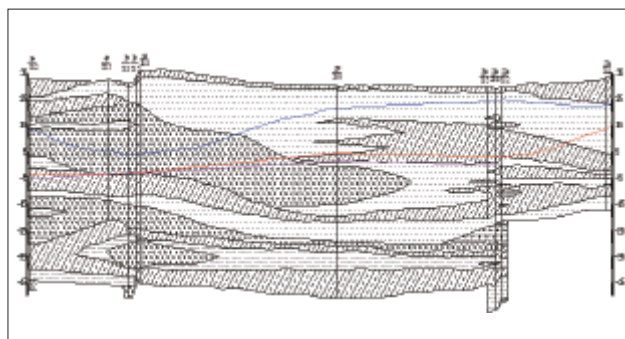


图5 潮白河再生水利用区南北方向水文地质剖面图 (A-A')

7.1.3 气候环境条件

潮白河流域的气候特点属于大陆性季风气候，即春季干旱多风，夏季高温多雨，秋季凉爽湿润，冬季寒冷干燥，四季交替明显。潮白河流域内的平原区年平均气温为 $11\sim 12^{\circ}\text{C}$ ；而缓坡、丘陵、低山区（即海拔高度在 $100\sim 600\text{m}$ 范围内）的年平均气温为 $8\sim 11^{\circ}\text{C}$ ，区域内多年平均降雨量为 656.5mm 。流域内地形呈现三面环山，南部紧邻平原。区内的降水分布随地形的变化而显现出相应的规律，即山区降水量较大，平原区降水量较小，北部的平原区降水量要大于南部的平原区。在气象蒸发方面，根据区

内气象站的多年监测结果表明，研究区各行政区内多年平均水面蒸发量分别为：密云为 1066mm ，怀柔为 1085mm ，顺义为 1247mm 。相应的陆面蒸发量分别为：山前丘陵区为 450mm ，平原区为 500mm 。

7.2 问题与需求分析

随着北京地区天然水资源量的显著衰减，社会经济用水需求的激增，造成了河道干涸等一系列问题。作为城市重要的生境类型，城市河道发挥着不可替代的景观与生态功能。因此，治理萎缩干涸的城市河道势在必行。

（1）在景观功能方面，城市河道不仅可为居民提供较好的公共休闲娱乐场所，还可通过营造宜人的河道景观、提高居民审美价值等方式提升居民生活质量，并促进城市经济发展；

（2）在生态功能方面，城市河道不仅具有良好的环境污染修复能力，还能消除水体中氮、磷、各种有机物质和重金属等，从而减少对地下水水质的影响。

（3）在其他方面，对干涸河道的回补会在一定程度上缓解潮白河地区地下水严重超采的状况，恢复地下水水位，进而防止地面沉降的趋势。

7.3 再生水处理工艺及调水情况

7.3.1 再生水处理工艺

温榆河再生水深度处理项目采用了具有脱氮除磷、高效泥水分离的加药絮凝+MBR工艺，现处理规模 $20\text{万 m}^3/\text{d}$ ，其工艺流程见图1-6。

再生水的设计出水水质指标除总氮外，其它指标要达到地表水Ⅲ类水标准，设计出水水质满足《城市污水再生利用 景观环境用水水质》（GB/T18921-2002）标准、《城市污水再生利用 地下水回灌水质》（GB/T19772-2005）标准（地表回灌方式），以及《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）Ⅲ类水体标准。从MBR出水水质的历时浓度监测情况来看，近年来 BOD_5 出水浓度最不稳定，2018年出水浓度仍有超标现象（见表1）；自2016年后，总氮、总磷、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮实现达标排放；氨氮和高锰酸盐指数从2010年后实现达标排放；pH值基本稳定，仅偶尔有超标现象。

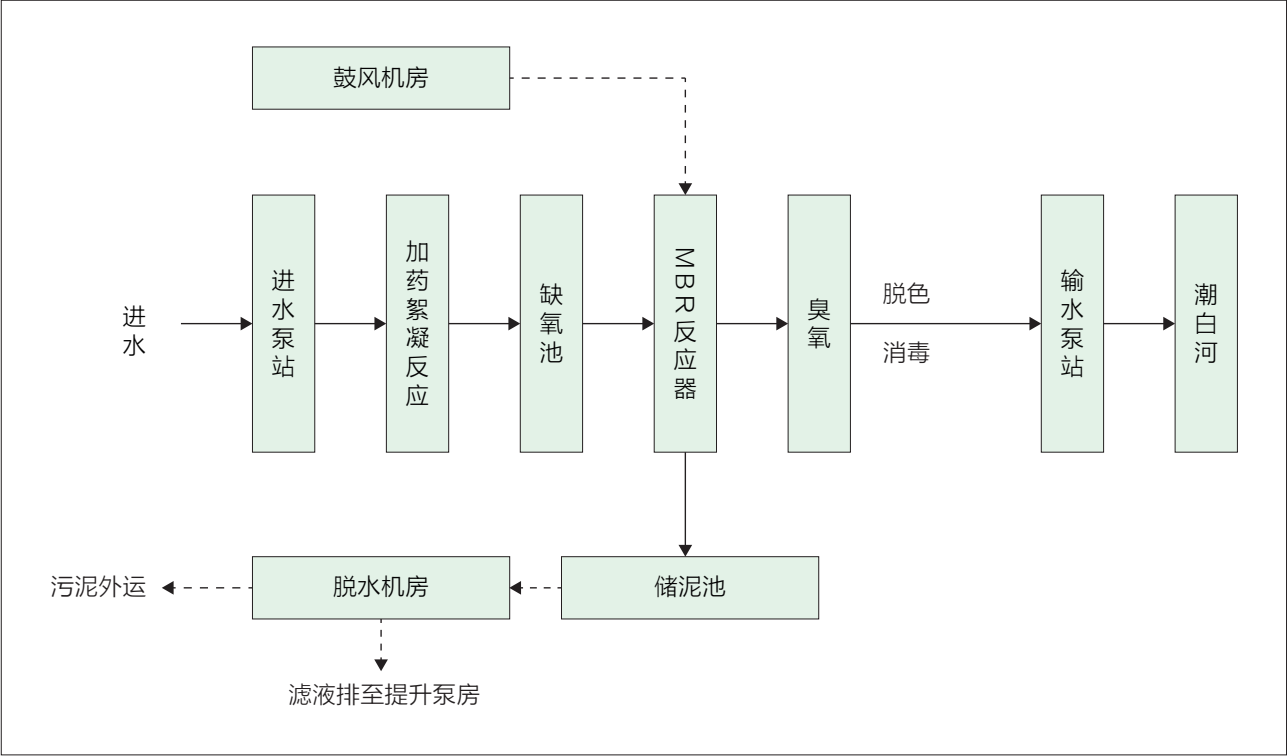


图6 温榆河再生水深度处理工艺流程图

表1 2018年MBR出水现状出水水质数据 单位：mg/L

项目	出水水质			设计出水水质	排放标准
	枯水期	丰水期	年平均		
pH值（无量纲）	7.94	7.93	7.935	6~9	6~9
BOD ₅	5.6	<0.5	3.05	4	4
氨氮	<0.025	<0.025	<0.025	1	1
总氮	9.34	9.78	9.56	15	10
总磷	0.094	0.045	0.0695	0.2	0.2
硝酸盐氮	7.07	9.25	8.16	—	20
亚硝酸盐氮	<0.001	<0.001	<0.001	—	0.02
锰	<0.004	0.006	0.005	—	0.1
氟化物	0.62	0.65	0.635	—	1.5
总有机碳	3.7	3.3	3.5	—	12
苯并(a)芘	未检出	0.000001	0.0000005	—	0.000002
苯系物总量	0.00018	0.00014	0.00016	—	1.2
邻苯二甲酸二丁酯	0.0011	0.0029	0.002	—	0.003
邻苯二甲酸二辛酯	0.000004	未检出	0.000002	—	0.008

7.3.2 调水情况

2007年10月底，引温济潮工程一期正式运行，再生水开始调入潮白河。受MBR膜通量和冬季低温影响，再生水深度处理规模远没有达到设计规模，实际运行中每年10月至次年3月再生水实际处理量仅为2.5~4万m³/d，每年的4月至10月再生水处理量为5~8万m³/d。2012年2月，引温济潮工程二期开始调试运行，受水区自河南村橡胶坝至苏庄橡胶坝，调水量增加了1000万m³/a。自2007年引温济潮一期工程实施，至2018年年底，引温济潮工程实际调水量累计为2.78亿m³，相应调水量列表见表2，调水量历时分布图见图1-7。

表2 潮白河再生水调水量列表

年度	2007	2008	2009	2010	2011	2012
调水量（万m³）	200	1807	1812	1422	1686	2941
年度	2013	2014	2015	2016	2017	2018
调水量（万m³）	2614	2517	2725	2787	2894	3909

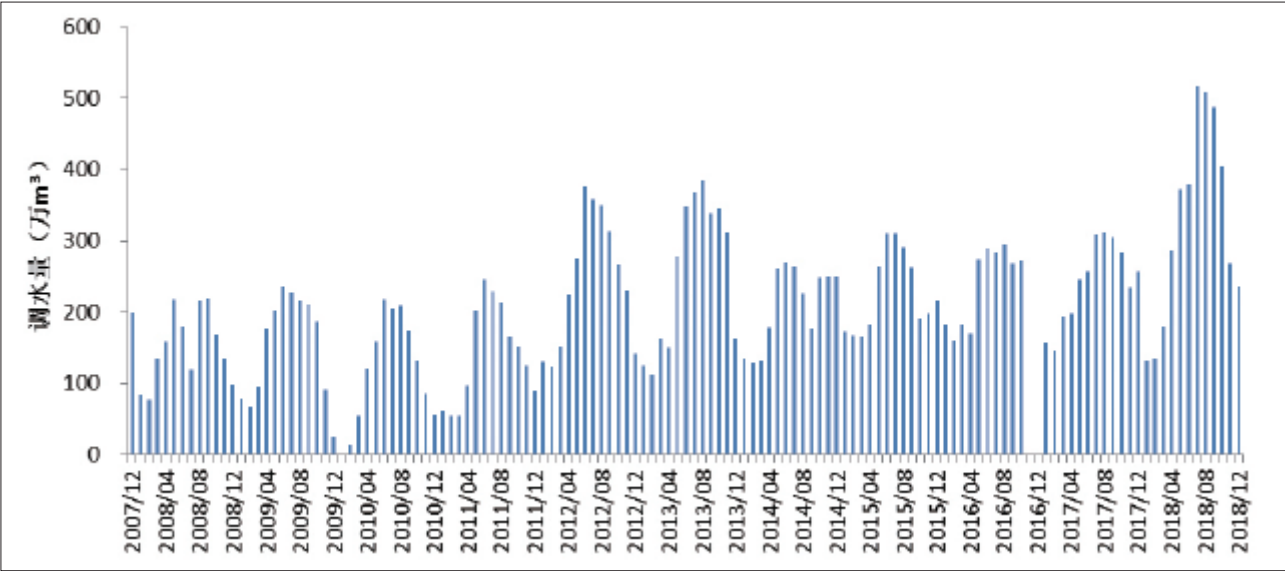


图7 潮白河再生水调水量历时分布图

7.4 监测方案

7.4.1 受水区地表水环境监测方案

（1）水质监测断面。结合引温济潮二期工程，河水水质监测断面向河南村橡胶坝下游延伸，共设置监测断面11处（图11-8），依次为：（1）MBR出水（受水区进水口）；（2）京承铁路桥；（3）双兴桥；（4）潮减交汇处；（5）俸伯桥；（6）彩虹桥；（7）河南村橡胶坝；（8）柳各庄橡胶坝；（9）苏庄橡胶坝；（10）向阳闸上；（11）向阳闸下（向阳闸-土坝之间，地下水监测点15#处）。其中柳各庄橡胶坝和苏庄橡胶坝为二期受水区监测断面。

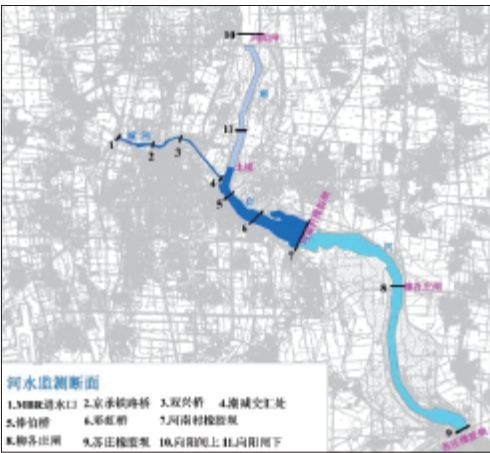


图8 河水监测断面分布图

一期、二期工程常年受水区自上游至下游可形成河水沿程的水质监测网，无机组分监测断面选取上述11处断面，有机组分监测断面选取（1）、（4）、（6）、（9）和（10）。各采样点距进水口的距离见表3。

表3 采样点与进水口的距离 单位: km				
采样点	京承铁路桥	双兴桥	潮减交汇处	俸伯桥
距离	1.1	2.1	3.9	4.4
采样点	彩虹桥	河南村橡胶坝	柳各庄橡胶坝	苏庄橡胶坝
距离	6.3	7	10.8	16.2

（2）地表水水质监测指标。无机组分检测指标26项，包括铝、钡、钙、铁、钾、镁、锰、钠、砷、氟离子、氯离子、硝酸盐氮、硫酸根离子、pH值、氨氮、总硬度、亚硝酸盐氮、碳酸根、碳酸氢根、溶解性总固体、高锰酸盐指数、总磷、总氮、叶绿素a、溶解氧、BOD₅。监测频率为每季度1次。

有机组分检测四类，即：雌激素、酚类、邻苯二甲酸酯（PAEs）、多环芳烃（PAHs）。每种类别的具体检测指标见表4。监测频率为每年两次，即枯水期（5月）和丰水期（9月）。

表4 有机污染组分监测指标一览表				
序号	类别	项数	组分	
1	多环芳烃	16	萘、苊稀、苊、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并（a）蒽、屈、苯并（b）荧蒽、苯并（k）荧蒽、苯并（a）芘、茚并（1,2,3-cd）芘、二苯并（a,h）蒽、苯并（g,h,i）芘	
2	邻苯二甲酸酯	6	邻苯二甲酸二甲酯、邻苯二甲酸二乙酯、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸丁苄酯、邻苯二甲酸二（2-乙基己基）酯、邻苯二甲酸二正辛酯	
3	酚类	14	4-叔辛基苯酚、NP1、NP2、NP3、NP4、NP5、NP6、NP7、NP8、NP9、NP10、NP11、NP12、双酚A	
4	雌激素	4	E1、E2、E3、EE2	

7.4.2 受水区地下水环境监测方案

（1）地下水位监测。目前，2007年构建监测井中可测量水位的监测井73眼；2013年二期受水区河南村橡胶坝下游左堤监测井6眼；2014年向阳闸北部监测井11眼；2015年受水区东部监测井11眼，水位监测井共计101眼。引温济潮受水区地下水环境监测自2007年底开始，至2017年已监测了10年。本年度地下水水位监测频率为每月监测1次。

（2）地下水水质监测。为反映河道受水后不同层位地下水水质变化，进一步查明河道入渗对地下水环境影响，本研究采取全面监测和重点断面监测相结合的方法。全面检测包括：2007年构建监测井中可监测水质的监测井71眼、2013年二期受水区河南村橡胶坝下游左堤监测井6眼、2014年向阳闸北部监测井11眼和2015年受水区东部监测井11眼，水质监测井共计99眼（如图9）。监测频率为每年两次，即枯水期（5月）和丰水期（9月）。

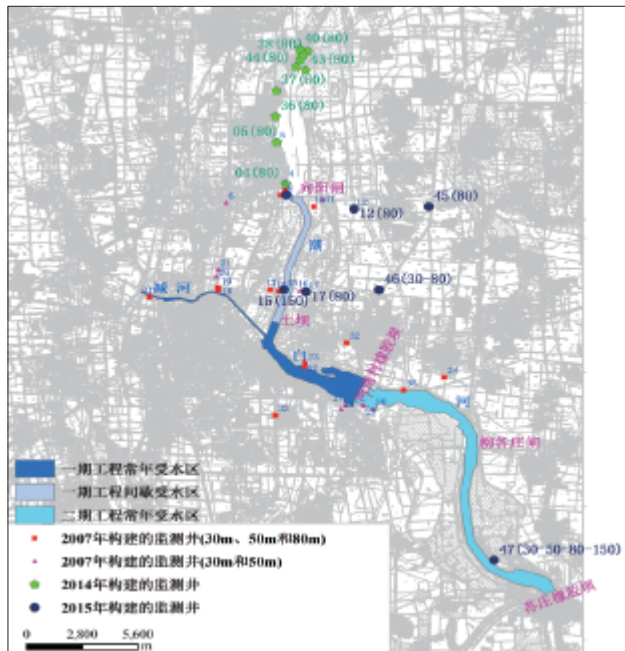


图9 地下水监测井分布图

重点断面监测包括无机组分监测断面和有机组分监测断面。其中无机组分重点监测断面为5条，共计58眼监测井，监测频率为每季度1次。分别为：1) 1#-2#-3#-4#-5#-36#-37#断面，共计18眼井；2) 10#-11#-12#-45#断面，共计8眼井；3) 13#-14#-15#-16#-17#-46#断面，共计17眼井；4) 22#-23#-26#-32#断面，共计11眼井；5) 47#垂向，共计4眼。有机组分重点监测断面为22#-23#-26#断面、1#-2#-3#-5(80)断面、13#-14#-15#-16(50)断面、22#、45#和47#。监测频率为每年两次，分别为枯水期（5月）和丰水期（9月）。

检测指标包括无机组分指标和有机组分指标。无机组分检测指标23项，包括：铝、钡、钙、铁、钾、镁、锰、钠、氟离子、氯离子、硝酸盐氮、硫酸根离子、pH值、氨氮、总硬度、亚硝酸盐氮、碳酸根离子、碳酸氢根离子、溶解性总固体、高锰酸盐指数、总磷、总氮、TOC。有机组分检测指标与地表水相同。

7.5 工程运行效果分析

引温济潮工程将温榆河水经过处理调入潮白河，自2007年工程实施至2018年底，调水量累计2.78亿m³，其中河道入渗量2.09亿m³，平均每天入渗57.2万m³，目前已

形成长度16.2km的水面。受水区南部30m含水层地下水水位升幅2~10m，向阳闸以西地区地下水升幅7~9m，向阳闸东北区域地下水水位升幅1~4m。50m和80m含水层为开采层，在引温济潮工程实施前水位长期快速下降，引温济潮工程实施后，地下水位下降速率得到了缓解。近年来，在地下水压采、南水回补的多重影响下，向阳闸北部区域的地下水位已经开始上升，上升幅度2~12m。河道水质指标除BOD₅外，其他指标基本满足IV类水体，满足景观水体要求。可见，引温济潮工程的运行，应用生态的方法，极大地改善了潮白河周边的生态环境。综上所述，该工程整体运行效果良好。

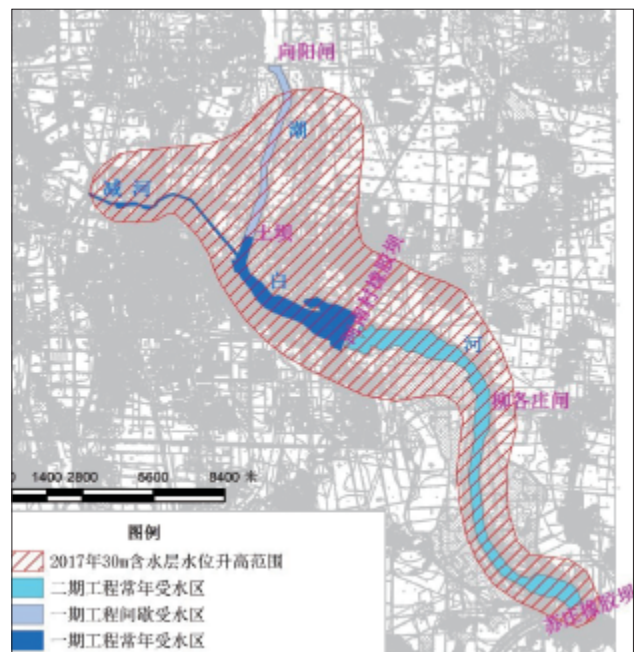


图10 受水区30m含水层地下水水位升高范围