

宜昌市黄柏河流域饮用水水源地保护项目 2015 年度工程

# 水质监测结果报告

三峡大学

2017 年 6 月 15 日

# 目录

<b>1 概况</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 监测总任务</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 监测指标测试方法</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 项目工程及监测点布设</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 监测时段及监测频率</b> .....	<b>6</b>
<b>2 监测结果及分析</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 PGPR</b> .....	<b>6</b>
2.1.1 工程建设内容及建设时间 .....	6
2.1.2 水质监测时间及监测频率 .....	6
2.1.3 水质监测结果及分析 .....	7
(1) TP .....	7
(2) TN.....	8
(3) 藻密度 .....	9
2.1.4 施工前后水质综合比较 .....	10
<b>2.2 生态浮岛</b> .....	<b>11</b>
2.2.1 工程建设内容及建设时间 .....	11
2.2.2 水质监测时间及监测频率 .....	11
2.2.3 水质监测结果及分析 .....	11
(1) TP .....	11
(2) TN.....	12
(3) 藻密度 .....	14
2.1.4 施工前后水质综合比较 .....	15
<b>2.3 水魔方(净魔方)</b> .....	<b>15</b>
2.3.1 工程建设内容及建设时间 .....	15
2.3.2 水质监测时间及监测频率 .....	16
2.3.3 水质监测结果及分析 .....	16
(1) 水体 TP .....	16
(2) 水体 TN.....	17
(3) 底泥 TP、TN .....	19
2.3.4 施工前后水质综合比较 .....	19
<b>2.4 清淤工程</b> .....	<b>20</b>
2.4.1 工程建设内容及建设时间 .....	20
2.4.2 水质监测时间及监测频率 .....	20
2.4.3 水质监测结果及分析 .....	20
<b>3 施工后水质总体评价</b> .....	<b>21</b>
<b>4 总结及建议</b> .....	<b>23</b>

# 1 概况

## 1.1 监测总任务

对湖北凯耀宏建设工程有限公司的黄柏河流域饮用水源地保护工程(包括水魔方(净魔方)、ISSA PGPR、生态浮岛和库底清淤等)治理效果进行评价, 对天福庙水库水质进行全面的监测, 主要监测水质及底泥的 TN、TP 及藻类(藻密度)等重要指标, 并依据水质监测结果进行评估报告编写。

## 1.2 监测指标测试方法

监测指标为 TN、TP 及藻类, 各项指标监测分析方法均遵循现行有效的国家或行业标准(规范), 按《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中规定的方法进行监测。监测项目为 TP、TN 及藻类。主要依据为《水质采样技术指导》(HJ 494-2009)、《水质采样方案设计技术规定》(HJ 495-2009)、《水质采样样品的保存和管理技术规定》(HJ 493-2009)、《水和废水监测分析方法(第四版)》。

## 1.3 项目工程及监测点布设

黄柏河流域饮用水源地保护工程包括库底清淤、水魔方(净魔方)、生态浮岛及 ISSA PGPR, 工程位置、范围及其监测断面如图 1.1 所示, 具体监测点详见表 1.1。

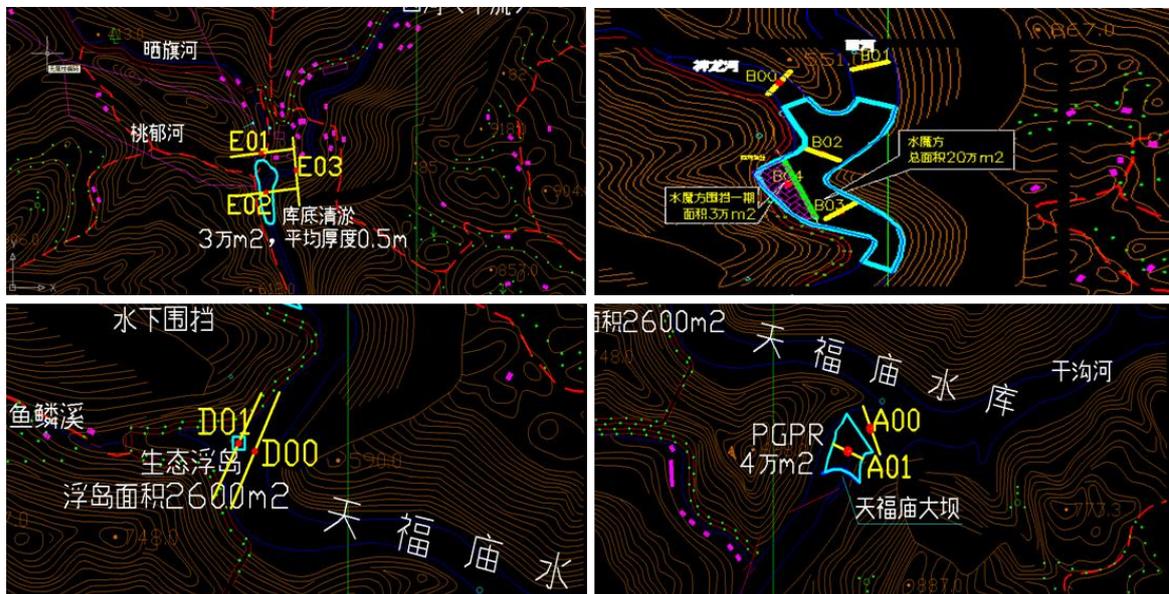


图 1.1 PGPR、水魔方(净魔方)、生态浮岛、清淤工程范围及监测点位置示意图

表 1.1 黄柏河天福庙工程水质监测总表

工程内容	样点编号	取样点坐标(m)		样品	样品编号	垂线采样点	监测时段及监测次数		监测指标
		X	Y				施工前	施工后	
PGPR	A00	3454873.8	534512.09	区域外水样	A00-01	取 0.5m、5m 及 10m 水深水样，不足 10m 水深取底泥以上 0.5m 水样。(以上均为断面各点混合样)。	共测 2 次本底值，分别在施工前 1 天和前 7 天进行。	10 次	TP、TN 及藻类
					A00-02				TP、TN 及藻类
	A01	3454752.6	534377.21	施工区处理水样	A01-01				TP、TN 及藻类
					A02-02				TP、TN 及藻类
生态浮岛	D00	3455567.4	533586.25	区域外水样	D00-01	取 0.5m、5m 及 10m 水深水样，不足 10m 水深取底泥以上 0.5m 水样。(以上均为断面各点混合样)。	共测 2 次本底值，分别在施工前 1 天和前 7 天进行。	10 次	TP、TN 及藻类
					D00-02				TP、TN 及藻类
	D01	3455601.5	533514.87	施工区处理水样	D01-01				TP、TN 及藻类
					D01-02				TP、TN 及藻类
水魔方(净魔方)处理区域 1(开放区)	B00	3456856.31	533597.09	神龙河支流来水	B00-01	取 0.5m、5m 及 10m 水深水样，不足 10m 水深取底泥以上 0.5m 水样。(以上均为断面各点混合样)。	共测 2 次本底值，分别在施工前 1 天和前 7 天进行。	B00~B03 监测点位仅在工程实施后 3 天内监测一次，之后仅需对 B04 监测点进行监测即可，共监测 10 次。	TP、TN
					B00-02				TP、TN
					B00-03				TP、TN
	B01	3456940.55	533932.88	干流来水	B01-01				TP、TN
					B01-02				TP、TN
					B01-03				TP、TN
	B02	3456496.53	533758.20	干流区域处理水样	B02-01				TP、TN
					B02-02				TP、TN
					B02-03				TP、TN
	B03	3456210.52	533825.71	干流区域处理水样	B03-01				TP、TN
					B03-02				TP、TN
					B03-03				TP、TN

续表 1.1 黄柏河天福庙工程水质监测总表

工程内容	样点编号	取样点坐标(m)		样品	样品编号	垂线采样点	监测时段及监测次数		监测指标
		X	Y				施工前	施工后	
水魔方(净魔方)处理区域2(封闭区)	B04	3456346.44	533631.73	封闭区处理水样	B04-01	取 0.5m、5m 及 10m 水深水样, 不足 10m 水深取底泥以上 0.5m 水样。(以上均为断面各点混合样)。	共测 2 次本底值, 分别在施工前 1 天和前 7 天进行。	10 次	TP、TN
					B04-02				TP、TN
					B04-03				TP、TN
				底泥	B04-04				
清淤工程	E01	3460699.6	533042.44	晒旗河进水	E01	水深 1/2 处水	共测 2 次本底值, 分别在施工前 1 天和前 7 天进行。	10 次	TP、TN
	E02	3460474.7	533072.9	施工区域水样	E01-01	取 0.5m、5m 及 10m 水深水样, 不足 10m 水深取底泥以上 0.5m 水样。(以上均为断面各点混合样)。			TP、TN
					E01-02				TP、TN
					E01-03				TP、TN
	E03	3460601.6	533257.23	西河进水	E03		TP、TN		
E02	3460474.7	533072.9	底泥	E02	表层	1 次	6 次, 施工后每个月测一次。	TP、TN	

## 1.4 监测时段及监测频率

监测时段需能体现各单项工程实施前后的水质改善情况，以及运行期间的水质变化情况。依据《宜昌市黄柏河流域饮用水源地保护工程实施方案(报批稿)》，工程监测期共 6 个月，主要监测时段及频次如下：

- (1) 实施前水质本底值监测 2 次；
- (2) 实施运行后第 1 个月，每 10 天监测 1 次，共监测 1 个月；
- (3) 实施运行后第 2~3 月，每 15 天监测 1 次，共监测 2 个月；
- (4) 运行管理期间监测，即实施运行后第 4~6 月，每 30 天监测 1 次，共监测 3 个月；
- (5) 底泥本底值监测 1 次，施工后每月监测 1 次。

样品采集除了第一次和第二次本底值以及工程结束后最后一次采样监测单位参与外，其他时段样品均由施工单位采集并送样至三峡大学实验室，由施工单位保证所采集样品的代表性。

## 2 监测结果及分析

### 2.1 PGPR

#### 2.1.1 工程内容及建设时间

主要施工内容：库首水体治理 4 万 m<sup>2</sup>。开工日期：2016 年 5 月 20 日；完工日期：2016 年 10 月 17 日。2016 年 10 月 18 日在宜昌市黄柏河流域管理局、宜昌市水利水电工程建设监理中心现场检查后，正式通电运行。

#### 2.1.2 水质监测时间及监测频率

本工程在施工前、运行中、运行后进行取水抽检，根据设计技术要求，本工程共设置 2 处监测点，施工区域外(A00 点)及施工区域内(A01 点)各 1 个，分别对水体总磷(TP)、总氮(TN)、藻类(藻密度)进行了监测，本底值共取样检测 2 次，运行期共监测 10 次，详见表 2.1。

表 2.1 PGPR 工程水质监测时间及频次表

第一次 本底值	第二次 本底值	正式 运行 时间	施工后取样时间									
			第 1 月(10 天 1 次)			第 2、3 月(15 天 1 次)				第 4、5、6 月(30 天 1 次)		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2016. 5.17	2016. 10.17	2016. 10.18	2016. 10.31	2016. 11.10	2016. 11.20	2016. 12.5	2016. 12.20	2017. 1.5	2017. 1.20	2017. 2.20	2017. 3.20	2017. 4.20

### 2.1.3 水质监测结果及分析

#### (1) TP

表 2.2 给出了 PGPR 工程施工前后水样 TP 监测结果，图 2.1 给出了施工区域外(A00 点)及区域内(A01 点)水样 TP 随着时间的变化图。

表 2.2 PGPR 工程施工前后水样 TP 监测结果(mg/L)

样点编号	样品	样品编号	垂线采样点	采样时间											
				5.17	10.17	10.31	11.10	11.20	12.05	12.20	1.05	1.20	2.20	3.20	4.20
A00	区域外	A00-01	水深 0.5m	0.021	0.063	0.062	0.055	0.064	0.067	0.014	0.010	0.012	0.011	0.024	0.017
		A00-02	水深 5m	0.012	0.055	0.045	0.040	0.068	0.049	0.020	0.012	0.013	0.015	0.022	0.021
		A00-03	水深 10m/底泥以上 0.5m	0.007	0.051	0.059	0.056	0.080	0.041	0.011	0.014	0.014	0.013	0.026	0.021
A01	施工区	A01-01	水深 0.5m	0.019	0.068	0.038	0.044	0.062	0.039	0.024	0.017	0.015	0.017	0.022	0.017
		A01-02	水深 5m	0.007	0.057	0.034	0.065	0.064	0.015	0.020	0.014	0.014	0.015	0.020	0.019
		A01-03	水深 10m/底泥以上 0.5m	0.004	0.057	0.053	0.060	0.075	0.025	0.026	0.017	0.013	0.011	0.022	0.021

施工前 PGPR 区域外 TP 本底值在 0.007 mg/L~0.063 mg/L 之间，区域内 TP 本底值在 0.004 mg/L~0.068 mg/L 之间，区域内外水体水质差别较小。

PGPR 处理技术于 2016 年 10 月 18 日正式运行，至 2016 年 11 月 20 日为第 1 个月，根据表 2.2 运行第一个月的监测数据可知，处理区域外 TP 值为 0.040 mg/L~0.080 mg/L，处理区域内 TP 值为 0.034 mg/L~0.075 mg/L，与运行区域外相比，区内水体 TP 值无明显变化。

从表层水 TP 值分析，处理区域外表层水 TP 为 0.055 mg/L~0.064 mg/L，区域内表层水 TP 值为 0.038 mg/L~0.062 mg/L，说明运行的一个月，PGPR 处理技术对表层水体的 TP 略有降低，平均降幅约为 20%左右。

从 2016 年 12 月 20 日开始，至 2017 年 4 月 20 日，即 PGPR 运行 45 天开始至监测结束的 4 个半月期间，PGPR 处理区域内 TP 值在 0.010 mg/L~0.026 mg/L 之间，处理区域内的 TP 值在 0.011 mg/L~0.024 mg/L 之间，为 II 类水，区域内外 TP 值差别较小。

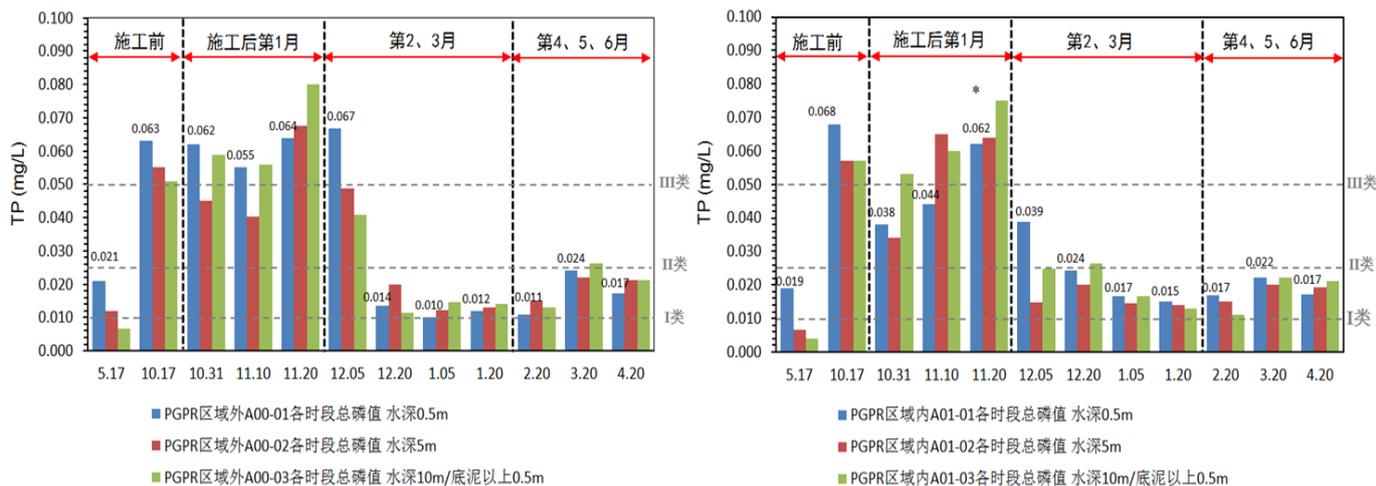


图 2.1 PGPR 区域外(A00)及区域内(A01)水质总磷监测结果

(2) TN

表 2.3 给出了 PGPR 工程施工前后水样 TN 监测结果，图 2.2 给出了施工区域外(A00)及区域内(A01)水样 TN 随着时间的变化图。

表 2.3 PGPR 工程施工前后水样 TN 监测结果(mg/L)

样点编号	样品	样品编号	垂线采样点	采样时间											
				5.17	10.17	10.31	11.10	11.20	12.05	12.20	1.05	1.20	2.20	3.20	4.20
A00	区域外	A00-01	水深 0.5m	1.32	1.61	2.42	2.51	1.62	1.35	1.30	1.16	1.11	1.22	2.44	1.70
		A00-02	水深 5m	1.31	1.57	2.12	2.04	1.39	1.32	1.18	1.19	1.18	1.1	0.80	2.03
		A00-03	水深 10m/底泥以上 0.5m	1.51	1.69	2.67	2.14	1.51	1.38	1.26	1.18	1.08	1.05	2.39	1.90
A01	施工区	A01-01	水深 0.5m	1.29	1.89	1.93	2.50	1.46	1.26	1.27	1.28	1.21	2.1	2.10	2.06
		A01-02	水深 5m	1.21	1.68	1.99	2.06	1.37	1.23	1.45	1.21	1.32	1.81	1.89	2.06
		A01-03	水深 10m/底泥以上 0.5m	1.35	1.33	1.87	2.32	1.28	1.29	1.44	1.33	1.21	1.07	0.96	2.10

施工前 PGPR 区域内 TN 本底值变化在 1.21 mg/L~1.89 mg/L 之间，区域外 TN 本底值在 1.31 mg/L~1.69 mg/L 之间，区域内外水体 TN 均劣于 III 类。

从 2016 年 10 月 18 日 PGPR 处理技术开始至 2016 年 11 月 10 日，运行第 1 个月期间，与施工前相比，PGPR 运行后 TN 值有明显上升趋势，区域内 TN 值在 1.87 mg/L~2.5 mg/L 之间，部分时段水体 TN 劣于 V 类。在此时段内，区域外水体 TN 含量与施工前相比增大更多，在 2.04 mg/L~2.67 mg/L 之间，施工区域内治理后水体 TN 值与施工区域外未治理水体 TN 值对比减低幅度较小。

在 2016 年 11 月 20 日 PGPR 运行后第 2 个月开始至 2017 年 1 月 20 日运行 2 个月内，PGPR 区域内水体 TN 值在 1.21 mg/L~1.45 mg/L 之间，与施工前水体 TN 本底值对比有下降趋势，然而 PGPR 运行至第 5 个月和第 6 个月时，区域外及区域内水体的 TN 均有明显

上升，表层水 TN 含量劣于地表水 V 类标准。

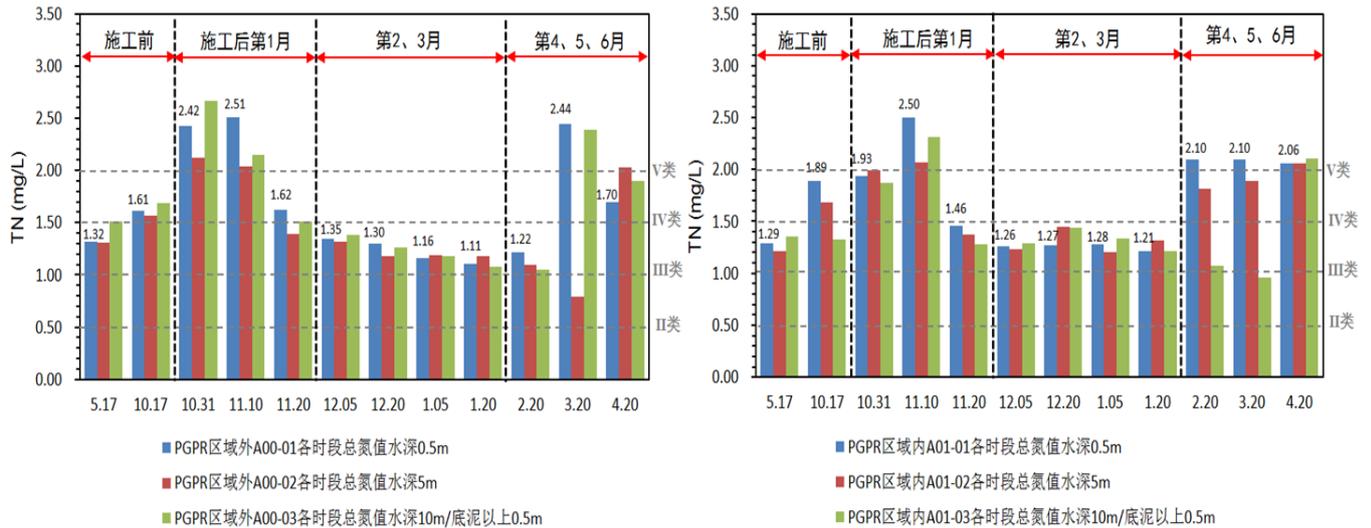


图 2.2 PGPR 区域外(A00)及区域内(A01)水质总氮监测结果

### (3) 藻密度

图 2.3 给出了 PGPR 区域外(A00)及施工区(A01)各时段表层水(0.5m)及中层水(5m)水体藻密度监测结果，从图 2.3 看出，区域外及施工区表层水藻密度均比中层水高。

2016 年 5 月 17 日 PGPR 施工前区域内及区域外水体藻密度在 792.23 万个/L~5116.14 万个/L 之间，2016 年 10 月 17 日两个区域内水体藻密度在 824.15 万个/L~1334.89 万个/L 之间，PGPR 处理技术于 2016 年 10 月 18 日正式运行至 2017 年 2 月 20 日，PGPR 区域内水体藻密度在 127.69 万个/L~397.57 万个/L 之间，施工前与施工运行后藻密度有明显下降，同时段区域外水体藻密度值在 156.71 万个/L~538.31 万个/L 之间。

从图 2.4 可以清楚地看出，施工区域内治理后水体藻类与施工区域外未治理水体藻类相比有所减少，尽管从 2017 年 3 月开始 PGPR 处理区域内及区域外藻密度有所增大，但与施工前相比，两个区域内水体藻类均有很大幅度下降。

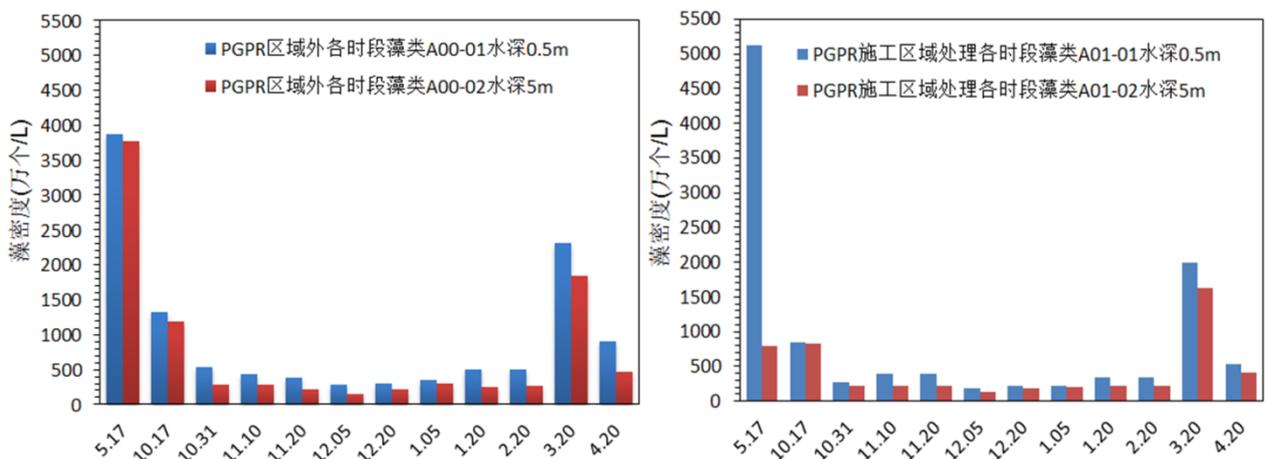


图 2.3 PGPR 区域外(A00)及施工区(A01)各时段水体藻密度监测结果

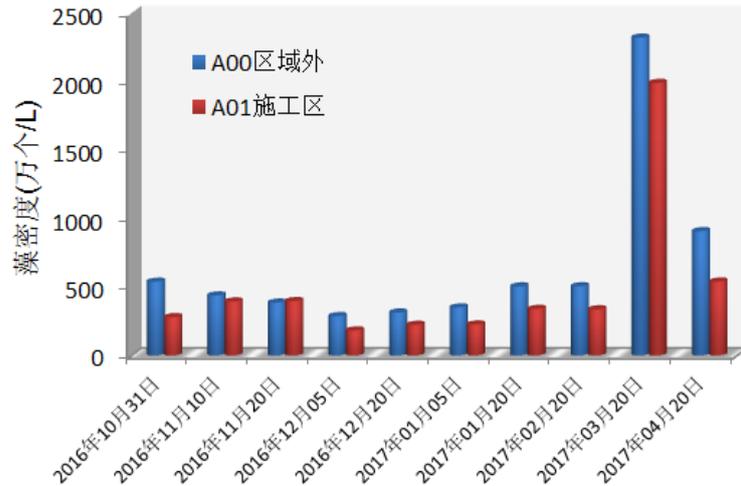


图 2.4 PGPR 运行期区域外(A00)及施工区(A01)各时段表层水藻密度比较

Koerselman等认为，当氮磷浓度比大于14时，叶绿素a浓度变化不再受氮营养盐的限制，此时，磷浓度成为藻类生长的关键因子，本工程所监测水体中TN/TP值均大于14(表2.4)，说明监测水体均为磷素限制水体，TP是浮游植物的生长限制因子。

表 2.4 PGPR 运行期区域外(A00)及施工区(A01)各时段表层水 TN、TP 及 TN/TP 值

采样时间	A00 表层水			A01 表层水		
	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TN/TP	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TN/TP
2016年10月31日	2.42	0.062	39	1.93	0.038	51
2016年11月10日	2.51	0.055	46	2.5	0.044	57
2016年11月20日	1.62	0.064	25	1.46	0.062	24
2016年12月05日	1.35	0.067	20	1.26	0.039	32
2016年12月20日	1.30	0.014	93	1.27	0.024	53
2017年01月05日	1.16	0.010	116	1.28	0.017	75
2017年01月20日	1.11	0.012	93	1.21	0.015	81
2017年02月20日	1.22	0.011	111	2.10	0.017	124
2017年03月20日	2.44	0.024	102	2.1	0.022	95
2017年04月20日	1.70	0.017	100	2.06	0.017	121

### 2.1.4 工程效果评价

为了评价 PGPR 工程对水体氮磷等去除效果，比较了 PGPR 施工后 1 个月区域外(A00)及施工区(A01)表层水(水面下 0.5 m)水质(表 2.5)，在此时段内，水质未受水魔方(净魔方)工程的影响。从表 2.5 可看出，区域外水体 TN、TP 及藻密度均比施工区高，说明 PGPR 对水体氮磷等有去除效果，PGPR 于 2016 年 10 月 18 日正式运行开始至 2016 年 10 月 31 日约 10 天内，对 TN、TP 及藻密度的去除效率分别为 20.25%、38.71%及 47.98%，但随着运行时间的延长，PGPR 对 TN、TP 及藻密度的去除率逐渐降低。

表 2.5 PGPR 工程对水体 TN、TP 及藻密度去除效果

采样位点 采样时间	TN (mg/L)			TP (mg/L)			藻密度(万个/L)		
	A00	A01	去除率	A00	A01	去除率	A00	A01	去除率
2016年10月31日	2.42	1.93	20.25%	0.062	0.038	38.71%	538.31	280.04	47.98%
2016年11月10日	2.51	2.5	0.40%	0.055	0.044	20.00%	438.19	394.67	9.93%
2016年11月20日	1.62	1.46	9.88%	0.064	0.062	3.13%	385.96	397.57	/

## 2.2 生态浮岛

### 2.2.1 工程建设内容及建设时间

主要施工内容：在天福庙水库鱼鳞溪支流入库口交汇处布置生态浮岛实施区域，总面积 2600 m<sup>2</sup>。开工日期：2016 年 7 月 14 日；完工日期：2016 年 7 月 23 日。浮岛载体为聚苯乙烯 EPC(C 型 80cm\*80cm\*12cm)，挺水植物包括黄菖蒲、美人蕉、花菖蒲、千屈菜、鸢尾共 5 种水生植物。

### 2.2.2 水质监测时间及监测频率

本工程在施工前、运行中、运行后进行取水抽检，根据设计技术要求，本工程共设置 2 处监测点，施工区域外 1 个(D00 点)，施工区域内 1 个(D01 点)，分别对水体 TP、TN、藻密度进行了监测，生态浮岛处理技术正式运行时间 2016 年 10 月 18 日，本底值共取样检测 2 次，运行期共监测 10 次，详见表 2.6。

表 2.6 生态浮岛工程水质监测时间及频次表

第一次 本底值	第二次 本底值	正式 运行 时间	施工后取样时间									
			第 1 月(10 天 1 次)			第 2、3 月(15 天 1 次)				第 4、5、6 月(30 天 1 次)		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2016. 5.17	2016. 10.17	2016. 10.18	2016. 10.31	2016. 11.10	2016. 11.20	2016. 12.5	2016. 12.20	2017. 1.5	2017. 1.20	2017. 2.20	2017. 3.20	2017. 4.20

### 2.2.3 水质监测结果及分析

#### (1) TP

表 2.7 生态浮岛工程施工前后水样 TP 监测结果(mg/L)

样点 编号	样品 编号	垂线采样 点	采样时间												
			5.17	10.17	10.31	11.10	11.20	12.05	12.20	1.05	1.20	2.20	3.20	4.20	
D00	区域外	D00-01	水深 0.5m	0.029	0.076	0.069	0.072	0.102	0.019	0.035	0.019	0.018	0.017	0.026	0.021
		D00-02	水深 5m	0.015	0.066	0.060	0.050	0.099	0.019	0.039	0.025	0.021	0.023	0.024	0.017
		D00-03	水深 10m/底泥以上 0.5m	0.015	0.080	0.070	0.055	0.080	0.037	0.035	0.023	0.020	0.015	0.026	0.017
D01	施工区	D01-01	水深 0.5m	0.018	0.071	0.052	0.055	0.072	0.021	0.039	0.029	0.024	0.023	0.020	0.011
		D01-02	水深 5m	0.007	0.068	0.050	0.054	0.062	0.033	0.022	0.027	0.024	0.025	0.022	0.015
		D01-03	水深 10m/底泥以上 0.5m	0.007	0.066	0.048	0.055	0.055	0.029	0.018	0.029	0.023	0.019	0.024	0.013

表 2.7 给出了生态浮岛工程施工前后水样 TP 监测结果,图 2.5 给出了施工区域外(D00 点)及区域内(D01 点)水样 TP 随时间的变化图。根据表 2.7 及图 2.5 数据分析可看出,施工前生态浮岛区域外 TP 本底值在 0.015 mg/L~0.080 mg/L 之间,区域内 TP 本底值在 0.007 mg/L~0.071 mg/L 之间。

生态浮岛处理技术于 2016 年 10 月 18 日正式运行,至 2016 年 11 月 20 日为第 1 个月,生态浮岛区域外 TP 值在 0.050 mg/L~0.102 mg/L 之间,区域内 TP 值在 0.048 mg/L~0.072 mg/L 之间,区域外及区域内 TP 最高值均出现在 11 月 20 日水样,而且两个区域水体 TP 含量均劣于 III 类标准,但与施工前相比,施工区域内水体的 TP 有明显下降趋势,而区域外水体 TP 值增高。

在 2016 年 12 月 5 日生态浮岛运行后第 2 个月开始至 2017 年 4 月 20 日运行 5 个月期间,生态浮岛区域内 TP 值变化在 0.011 mg/L~0.039mg/L 范围,与施工前水体 TP 本底值对比有明显下降趋势,且趋于稳定,生态浮岛区域外 TP 值变化在 0.015 mg/L~0.039mg/L 之间,施工运行后同时段区域治理水体 TP 值与区域外未治理水体 TP 值相差不大,但大部分时段表层水体 TP 含量在地表水 I 类与 II 类标准之间,个别时段 TP 在 II 类~III 类之间,与施工前水体 TP 值相比明显下降,水质趋于稳定。

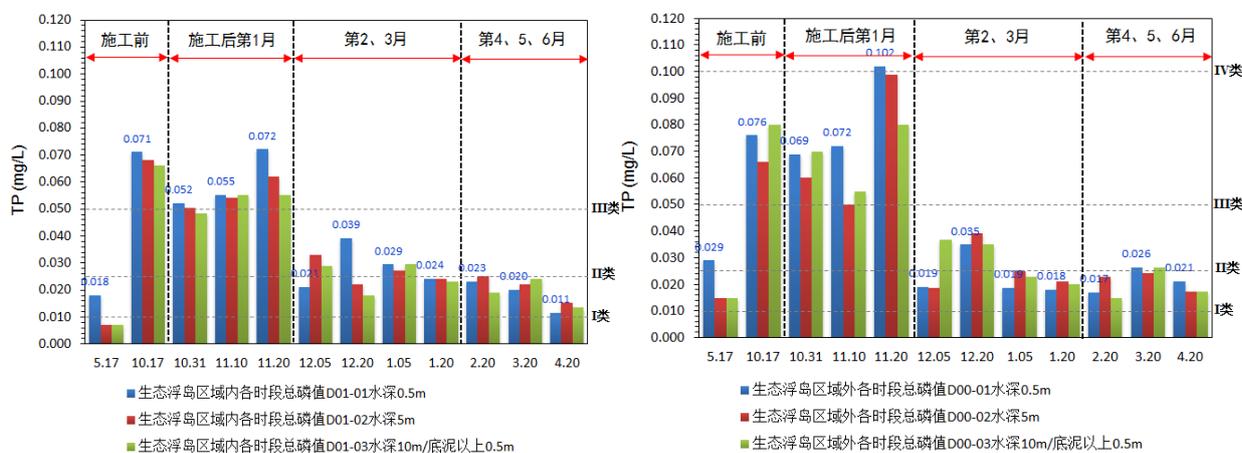


图 2.5 生态浮岛区域外(D00)及区域内(D01)水质总磷监测结果

## (2) TN

表 2.8 给出了生态浮岛工程施工前后水样 TN 监测结果,图 2.6 给出了施工区域外(D00 点)及区域内(D01 点)水样 TN 随着时间的变化图。根据表 2.8 及图 2.6 数据可看出,施工前生态浮岛区域内水体 TN 本底值变化在 1.30 mg/L~1.75 mg/L 之间,区域外水体 TN 本底值在 1.22 mg/L~1.45 mg/L 之间,劣于地表水 III 类标准。

表 2.8 生态浮岛工程施工前后水样 TN 监测结果(mg/L)

样点编号	样品	样品编号	垂线采样点	采样时间											
				5.17	10.17	10.31	11.10	11.20	12.05	12.20	1.05	1.20	2.20	3.20	4.20
D00	区域外	D00-01	水深 0.5m	1.43	1.27	2.23	1.93	2.18	1.17	1.63	1.13	1.04	1.08	1.41	1.94
		D00-02	水深 5m	1.26	1.22	2.02	1.79	2.04	1.19	1.66	1.10	1.05	1	0.65	2.08
		D00-03	水深 10m/底泥以上 0.5m	1.45	1.44	1.99	2.29	1.41	1.27	1.32	1.10	0.99	0.92	1.29	1.90
D01	施工区	D01-01	水深 0.5m	1.42	1.75	1.89	2.03	1.85	1.44	1.54	1.29	1.42	1.43	1.87	1.85
		D01-02	水深 5m	1.30	1.50	1.93	2.03	1.40	1.21	1.38	1.13	1.08	1.21	0.97	1.75
		D01-03	水深 10m/底泥以上 0.5m	1.65	1.53	2.23	1.73	1.25	1.26	1.38	1.02	0.98	0.94	1.14	1.70

2016 年 10 月 18 日生态浮岛正式运行至 2016 年 11 月 20 日为第 1 个月，生态浮岛区域内水体 TN 值变化在 1.25 mg/L~2.23 mg/L 之间，施工前与施工运行后 TN 值对比有明显上升趋势，区域外 TN 值在 1.41 mg/L~2.29 mg/L 之间，部分时段区域内及区域外水体 TN 含量劣于地表水 V 类标准，施工区域内治理后水体 TN 值与施工区域外未治理水体 TN 值对比下降幅度较小。

在 2016 年 12 月 5 日生态浮岛运行后第 2 个月开始至 2017 年 4 月 20 日运行 6 个月期间，区域内水体 TN 值变化在 0.94 mg/L~1.87 mg/L 之间，与施工前水体 TN 本底值对比有下降趋势，但不明显，且随时间变化而不稳定，生态浮岛区域外 TN 值变化在 0.92 mg/L~2.08 mg/L 之间，施工运行后区域内治理水体 TN 值对比区域外未治理水体 TN 值未有明显变化。

比较同时段施工区域内及区域外表层水 TN 值可以看出，在生态浮岛运行 1 个月后，即从 2016 年 12 月 5 日开始至 2017 年 3 月 20 日运行的 4 个月期间，生态浮岛区域内及区域外大部分时段水体 TN 劣于地表水 III 类标准，在 2017 年 4 月 20 日两个区域内表层水体 TN 值均劣于 IV 类。

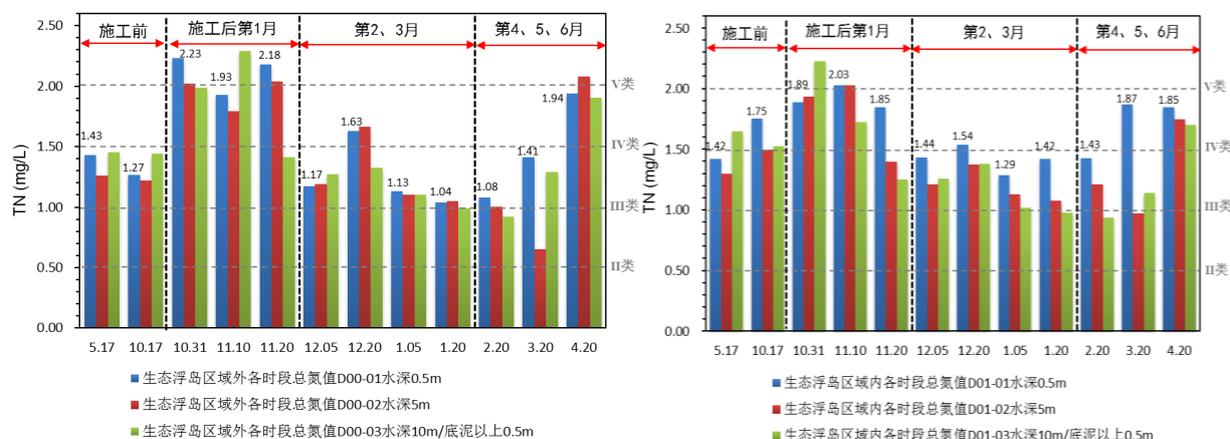


图 2.6 生态浮岛区域外(D00)及区域内(D01)水质总氮监测结果

### (3) 藻密度

图 2.7 给出了生态浮岛区域外(D00)及施工区(D01)各时段表层水(0.5 m)及中层水(5 m)水体藻密度监测结果, 从图 2.7 看出, 区域外及施工区大部分时段表层水藻密度均比中层水高。

2016 年 5 月施工前区域内及区域外水体藻密度在 2321.56 万个/L~4579.28 万个/L 之间, 2016 年 10 月两个区域内水体藻密度在 1958.82 万个/L~2000.9 万个/L 之间, 在 2016 年 10 月 18 日生态浮岛正式运行, 至 2017 年 2 月 20 日, 生态浮岛施工区内水体藻密度在 142.2 万个/L~1784.7 万个/L 之间, 施工前与施工运行后藻密度有明显下降, 同时段区域外水体藻密度值在 177.02 万个/L~1851.4 万个/L 之间。

从图 2.8 可以清楚地看出, 施工区域内治理后水体藻类与施工区域外未治理水体藻类相比有所减少, 2017 年 3 月生态浮岛施工区及区域外藻类有所上涨, 但 4 月两个区域内水体藻类均有很大幅度下降。

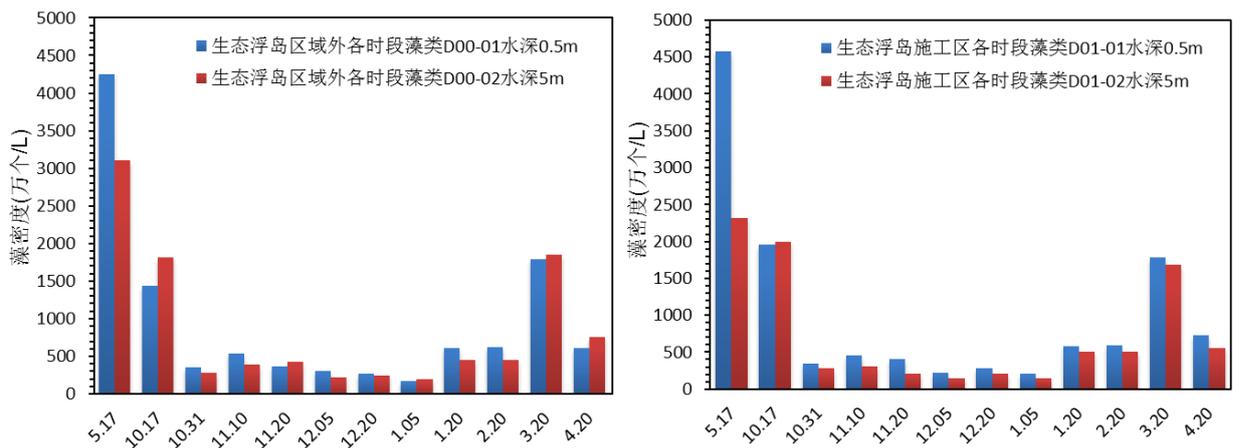


图 2.7 生态浮岛区域外(D00)及施工区(D01)各时段水体藻密度监测结果

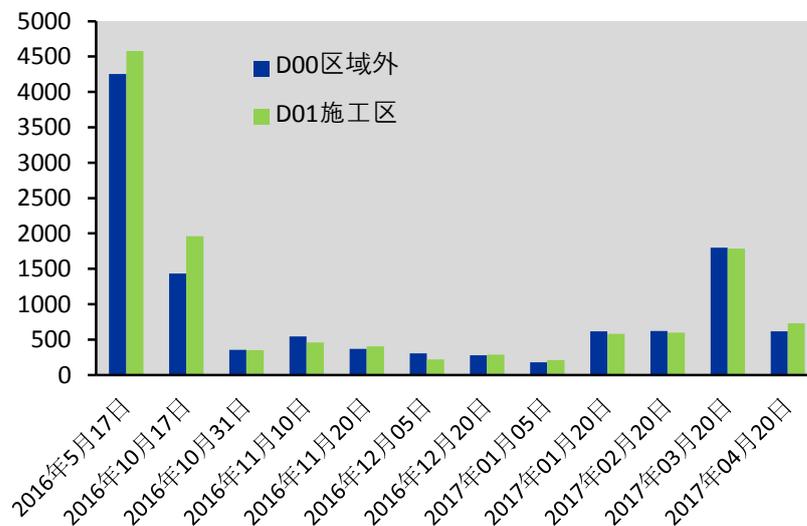


图 2.8 生态浮岛区域外(D00)及施工区(D01)各时段表层水藻密度比较

本工程在施工前及施工后所监测水体中TN/TP值均大于14，在17~155范围内(表2.9)，说明监测水体均为磷素限制水体，TP是浮游植物的生长限制因子。

表 2.9 生态浮岛区域外(D00)及施工区(D01)各时段表层水 TN、TP 及 TN/TP 值

采样位点 采样时间	D00 表层水			D01 表层水		
	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TN/TP	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TN/TP
2016年5月17日	1.43	0.029	49	1.65	0.018	92
2016年10月17日	1.27	0.076	17	1.53	0.071	22
2016年10月31日	2.23	0.069	32	2.23	0.052	43
2016年11月10日	1.93	0.072	27	1.73	0.055	31
2016年11月20日	2.18	0.102	21	1.25	0.072	17
2016年12月05日	1.17	0.019	62	1.26	0.021	60
2016年12月20日	1.63	0.035	47	1.38	0.039	35
2017年01月05日	1.13	0.019	59	1.02	0.029	35
2017年01月20日	1.04	0.018	58	0.98	0.024	41
2017年02月20日	1.08	0.017	64	0.94	0.023	41
2017年03月20日	1.41	0.026	54	1.14	0.02	57
2017年04月20日	1.94	0.021	92	1.70	0.011	155

## 2.2.4 工程效果评价

为了评价生态浮岛工程对水体氮磷等去除效果，比较了生态浮岛施工后1个月区域外(D00)及施工区(D01)表层水(水面下0.5m)水质(表2.10)，在此时段内，水质未受水魔方(净魔方)工程的影响。从表2.10可看出，区域外水体TN、TP及藻密度大都比施工区高，说明生态浮岛对水体氮磷等有去除效果，随着时间的延长，生态浮岛对于氮磷及藻类的去除逐渐增大，对TN、TP及藻类的去除率最高值分别为42.66%、29.41%及15.51%。

表 2.10 生态浮岛工程对水体 TN、TP 及藻密度去除效果

采样位点 采样时间	TN (mg/L)			TP (mg/L)			藻密度(万个/L)		
	D00	D01	去除率	D00	D01	去除率	D00	D01	去除率
2016年10月31日	2.23	2.23	0.00	0.069	0.052	24.64	354.04	351.14	0.82
2016年11月10日	1.93	1.73	10.36	0.072	0.055	23.61	542.67	458.51	15.51
2016年11月20日	2.18	1.25	42.66	0.102	0.072	29.41	368.55	406.27	/

## 2.3 水魔方(净魔方)

### 2.3.1 工程建设内容及建设时间

主要施工内容：水魔方(净魔方)处理技术20万m<sup>2</sup>。开工日期：2016年10月25日；完工日期：2016年11月22日，在水魔方(净魔方)技术持有人及长江勘测规划研究设计有限责任公司负责人等现场指导下完成投料，水魔方(净魔方)正式运行。

### 2.3.2 水质监测时间及监测频率

本工程在施工前、运行中、运行后进行取水抽检，根据设计技术要求，本工程共设置 5 个监测点，分别为神龙河支流来水(B00 点)、干流来水(B01 点)、干流区域处理水样(B02 点及 B03 点)、封闭区水样及底泥(B04 点)，分别对水体及底泥总磷(TP)及总氮(TN)进行了监测。水魔方(净魔方)于 2016 年 11 月 22 日施工完毕，施工前共监测水体本底值 3 次，分别为 2016 年 5 月 17 日、2016 年 10 月 17 日、2017 年 11 月 17 日，正式运行后 B04 点封闭区水体共监测 10 次，其他位点监测 4 次，详见表 2.11。

表 2.11 水魔方(净魔方)工程水质监测时间及频次表

第一次 本底值	第二、三次 本底值	正式 运行 时间	施工后取样时间									
			第 1 月(10 天 1 次)			第 2、3 月(15 天 1 次)				第 4、5、6 月(30 天 1 次)		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2016. 5.17	2016.10.17 2016.11.17	2016. 11.25	2016. 12.05	2016. 12.15	2016. 12.30	2017. 1.15	2017. 1.31	2017. 2.15	2017. 2.28	2017. 3.28	2017. 4.28	2017. 5.28

### 2.3.3 水质监测结果及分析

#### (1) 水体 TP

图 2.9 为水魔方(净魔方)神龙河支流来水(B00)、干流来水(B01)、干流区域内处理水样(B02、B03)水质 TP 监测结果。

根据图表数据分析，2016 年 10 月 17 日至 2016 年 11 月 25 日神龙河支流来水监测 TP 本底值变化在 0.053 mg/L~0.120 mg/L 之间，干流来水监测 TP 本底值变化在 0.078 mg/L~0.099 mg/L 之间，处理前水体 TP 含量 IV 类或劣于 IV 类地表水标准；2016 年 10 月 17 日至 2016 年 11 月 17 日干流区域内处理水样 B02 监测 TP 本底值在 0.072 mg/L~0.093 mg/L 之间，B03 监测 TP 本底值在 0.047 mg/L~0.089 mg/L 之间，处理前水质 TP 含量为 IV 类水，水魔方(净魔方)实施后干流开放区域内 3 天后取样监测 B02 点 TP 值为 0.046 mg/L~0.056 mg/L 之间，B03 监测 TP 值为 0.023 mg/L~0.033 mg/L 之间，水魔方(净魔方)干流开放实施区实施后水体 TP 含量下降明显，下降幅度最高达到 75%，处理后水质 TP 含量达到 III 类地表水标准。

水魔方(净魔方)封闭区 B04 实施前水体 TP 本底值为 0.086 mg/L~0.103 mg/L 之间(图 2.10)，处理前水质 TP 含量为 IV 类水，实施完成后第 1 个月监测水质 TP 值为 0.014 mg/L~0.040 mg/L 之间，处理后水质 TP 含量达到 III 类水，实施完成后第 2、3、4、5、6 个月监测 TP 值为 0.012 mg/L~0.025 mg/L 之间，水体 TP 含量达到 II 类地表水标准，水魔方(净魔方)封闭区实施后 TP 值下降明显，且趋于稳定，效果明显。

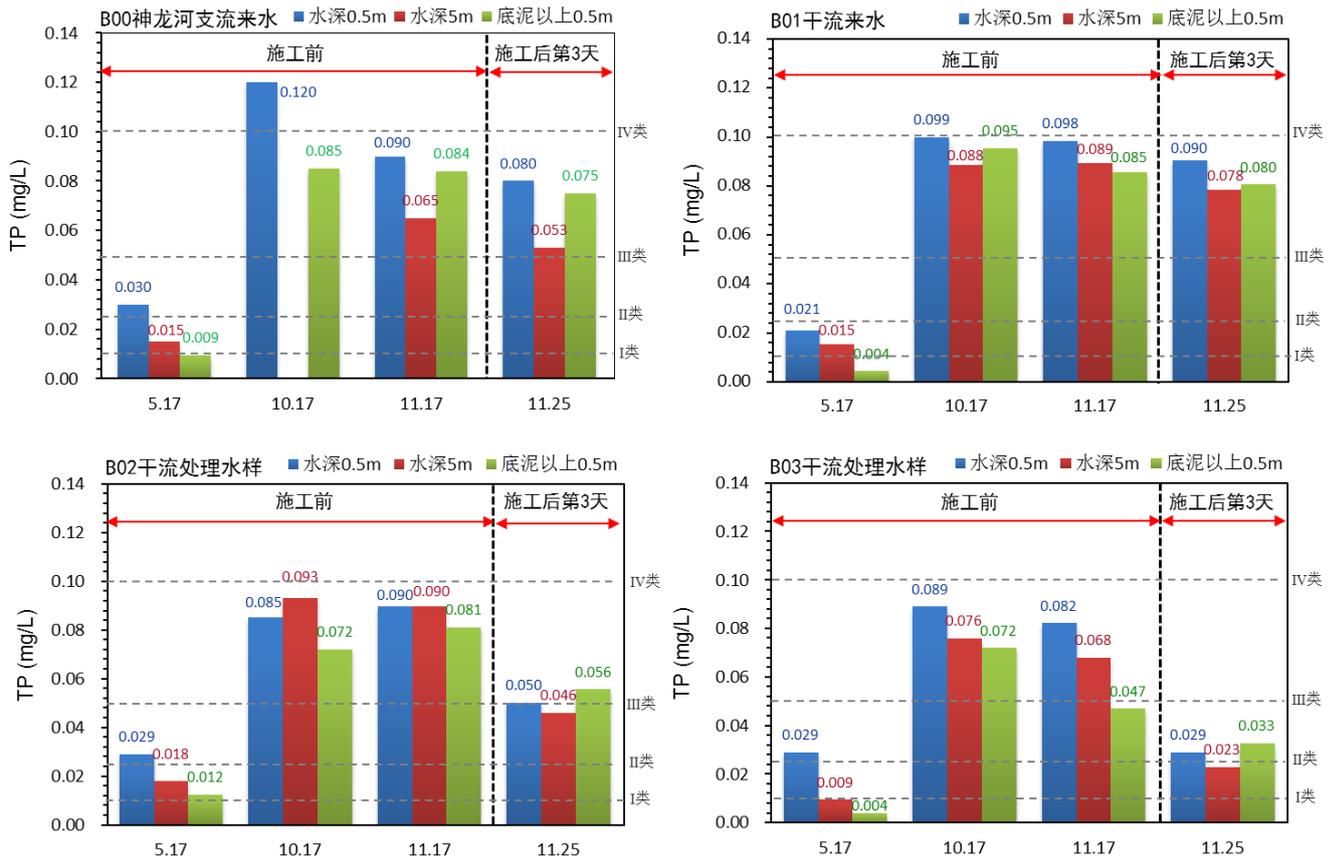


图 2.9 水魔方(净魔方)神龙河支流来水(B00)、干流来水(B01)、干流区域内处理水样(B02、B03)水质总磷监测结果

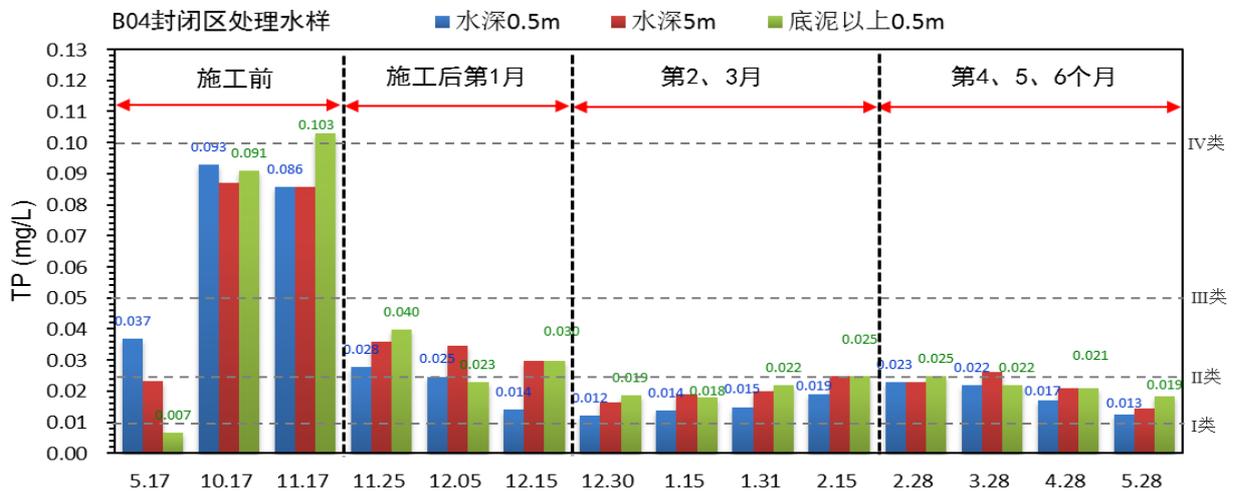


图 2.10 水魔方(净魔方)封闭区处理水样(B04)水质总磷监测结果

## (2) 水体 TN

图 2.11 为水魔方(净魔方)神龙河支流来水(B00)、干流来水(B01)、干流区域内处理水样(B02、B03)水质 TN 监测结果。

2016年10月17日至2016年11月25日神龙河支流进水 B00 监测 TN 本底值变化在 1.17 mg/L~2.25 mg/L 之间，干流进水 B01 监测 TN 本底值在 1.02 mg/L~2.11 mg/L 之间，处理前水质 TN 含量达到 V 类水；2016年10月17日至2016年11月17日干流区域内处理水样 B02 监测 TN 本底值在 1.24 mg/L~2.62 mg/L 之间，B03 点监测的 TN 本底值在 1.22 mg/L~2.12 mg/L 之间，处理前水质 TN 达到 V 类水，水魔方(净魔方)实施后，干流开放区域内 3 天后取样监测，B02 点 TN 值为 1.17 mg/L~1.20 mg/L，B03 点 TN 值为 1.02 mg/L~1.08 mg/L，干流水魔方(净魔方)工程实施后 TN 明显下降，处理后水质 TN 下降到 IV 类水。

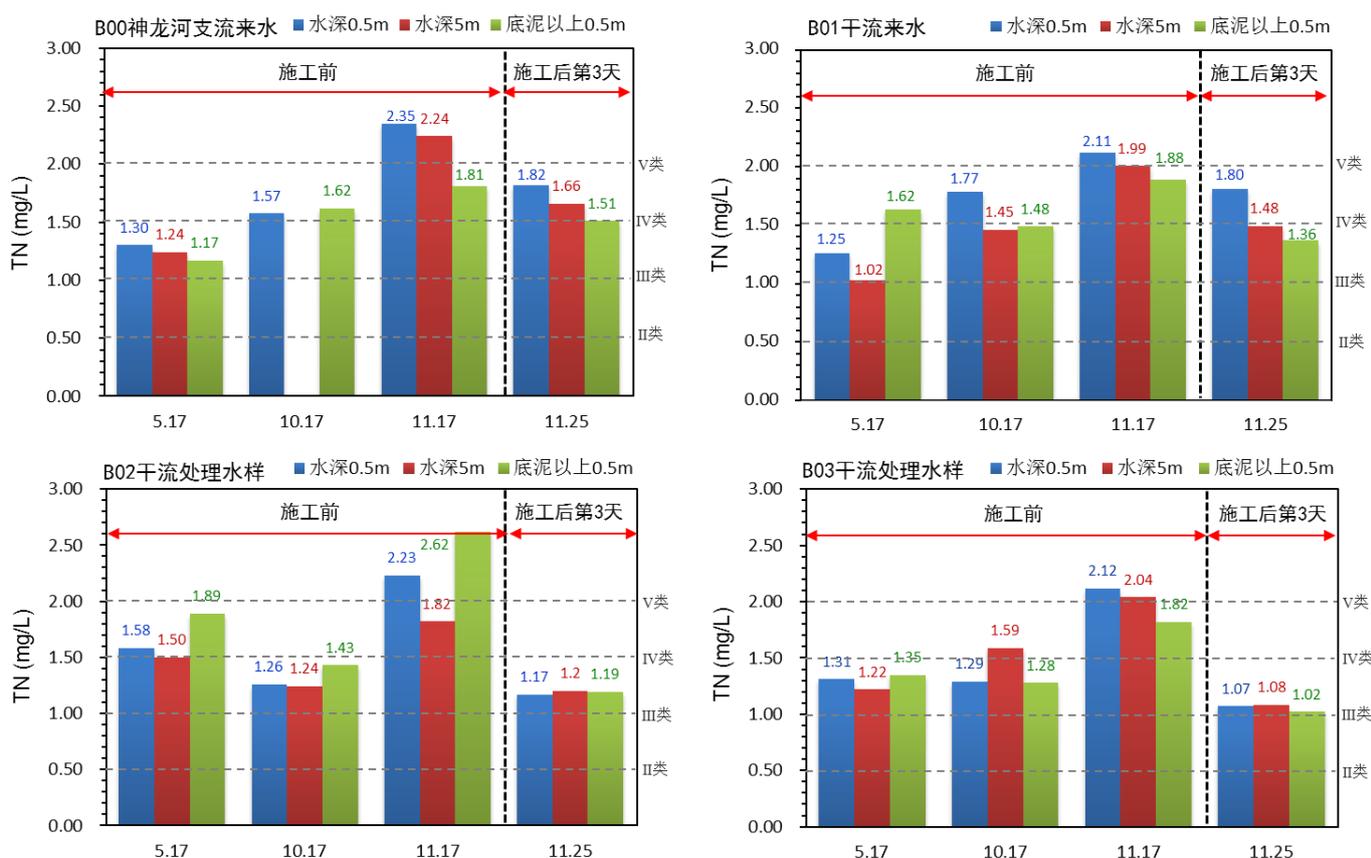


图 2.11 水魔方(净魔方)神龙河支流来水(B00)、干流来水(B01)、干流区域内处理水样(B02、B03)水质总氮监测结果

水魔方(净魔方)封闭区 B04 实施前 TN 本底值在 1.18 mg/L~2.34 mg/L 之间(图 2.12)，处理前水质 TN 含量达到 V 类水，封闭区实施完成后 3 天进行取样监测 TN 值为 0.68 mg/L~0.81 mg/L 之间，水质 TN 含量下降到 III 类水；第 2、3 个月取样监测 TN 值为 1.00 mg/L~1.19 mg/L 之间，水质 TN 含量介于 III 类水和 IV 类水之间，第 4、5、6 个月取样监测 TN 值为 1.01 mg/L~1.75 mg/L，水质 TN 含量有所上升，为 IV 类水；水魔方(净魔方)封闭区实施后 TN 值下降明显，特别是实施后 3 天取样监测，水质 TN 含量由 V 类水下降至 III 类水，效果明显，后期因水质交换作用监测 TN 值呈缓慢上升趋势。

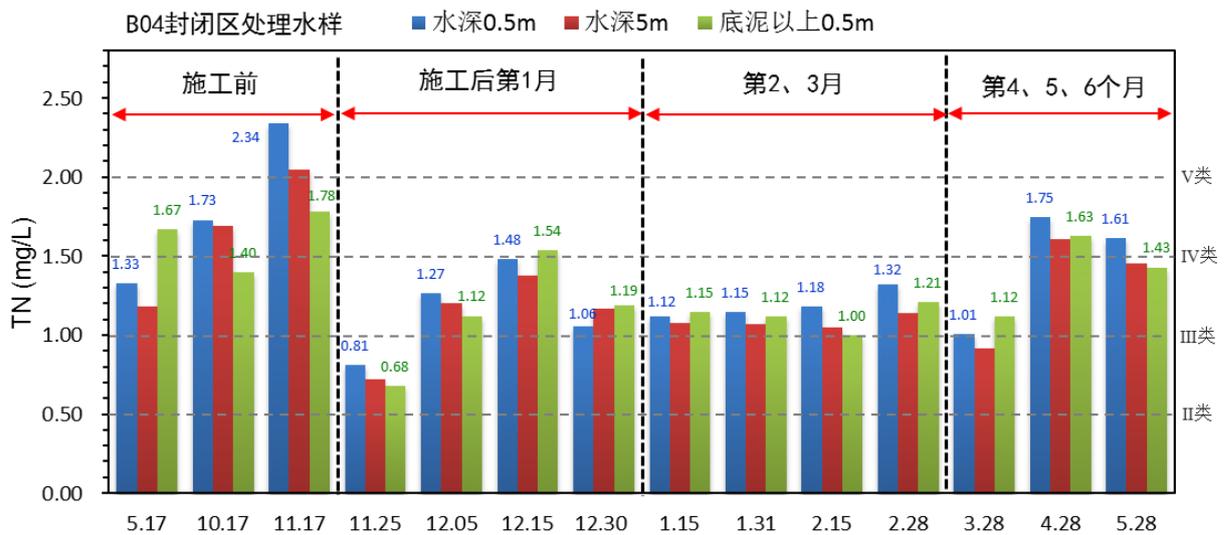


图 2.12 水魔方(净魔方)封闭区处理水样(B04)水质总氮监测结果

### (3) 底泥 TP、TN

根据设计方要求,对水魔方(净魔方)封闭区域内 B04 点底泥的 TP 及 TN 进行了监测,见表 2.12。从表 2.12 数据可以看出,施工区域内底泥 TP 含量由实施前的 3000 mg/kg~3107 mg/kg 降至 1496.5 mg/kg,底泥 TP 含量下降约 52%,对底泥 TP 的处理效果明显;水魔方(净魔方)实施前底泥 TN 含量为 1126 mg/kg~1134 mg/kg,实施后底泥 TN 含量为 794.6 mg/kg,底泥 TN 值下降了 30%,对底泥 TN 的处理效果也较为明显。

表 2.12 水魔方(净魔方)封闭区域内底泥总磷及总氮监测结果

样点编号	样品编号	垂线采样点	总磷(mg/kg)			总氮(mg/kg)		
			5月17日	10月17日	5月28日	5月17日	10月17日	5月28日
B04	B04-04	表层	3000	3107	1496.5	1126	1134	794.6

### 2.3.4 工程效果评价

表 2.13 比较了水魔方(净魔方)工程前后断面表层水(水面下 0.5 m)监测点水质,在处理前施工区域外及区域内水体 TP 浓度均高于 0.05 mg/L,为地表水 IV 类标准。水魔方(净魔方)施工三天后,TP 含量有显著下降,其中 B02、B03 及 B04 点分别下降了 44%、65% 及 67%,封闭区 B04 点在 6 个月后,TP 含量下降至 0.013 mg/L,TP 去除率达 85%,说明水魔方(净魔方)对水体中的 TP 去除效果明显,且作用时间长达 6 个月。

水魔方(净魔方)对于水体 TN 的去除也较明显,在施工三天后,B02、B03 及 B04 点的 TN 分别下降了 48%、50% 及 65%,封闭区 B04 点 TN 的去除远高于干流开放区水体,但在施工后第 6 月期间,由于与外界水体相互交换作用的影响,TN 又升高。

表 2.13 水魔方(净魔方)工程对水体 TN 及 TP 的去除效果

控制指标	采样点位	处理前水质 (2016年11月17日)	处理后3天水质		处理后6个月水质	
			2016年11月25日	去除率	2017年5月28日	去除率
总磷 (TP)	B02	0.090 mg/L, IV类	0.050 mg/L, III类	44%	/	/
	B03	0.082 mg/L, IV类	0.029 mg/L, III类	65%	/	/
	B04	0.086 mg/L, IV类	0.028 mg/L, III类	67%	0.013 mg/L, II类	85%
总氮 (TN)	B02	2.23 mg/L, 劣于V类	1.17 mg/L, IV类	48%	/	/
	B03	2.12 mg/L, 劣于V类	1.07 mg/L, IV类	50%	/	/
	B04	2.34 mg/L, 劣于V类	0.81 mg/L, III类	65%	1.61 mg/L, V类	31%

## 2.4 清淤工程

### 2.4.1 工程建设内容及建设时间

主要施工内容：晒旗河(天福庙库尾)清淤。机械干挖，设计面积 3 万 m<sup>2</sup>，清淤厚度 0.5 m。开工日期：2016 年 12 月 1 日；完工日期：2016 年 12 月 30 日。

### 2.4.2 水质监测时间及监测频率

本工程在施工前、运行中、运行后进行取样测定，根据设计技术要求，本工程共设 3 处监测点，其中晒旗河进水 1 个、西河进水 1 个、施工区域内 1 个，分别对水体及其底泥的 TP、TN 进行了监测，本底值共取样检测 2 次，分别为 2016 年 5 月 17 日及 2016 年 10 月 17 日，清淤工程于 2016 年 12 月 1 日开工至 2016 年 12 月 30 日结束，因天福庙水库调度原因，清淤施工范围水位自 2017 年 5 月前未上涨淹没，导致无法进行清淤施工区域内水质监测，2017 年 5 月底库内水位上涨，清淤施工区域运行后监测 1 次，监测时间及监测点布置见表 2.14。

### 2.4.3 水质监测结果及分析

表 2.14 清淤工程水质监测时间及结果

样点编号	样品	样品编号	垂线采样点	总磷 (mg/L)			总氮 (mg/L)		
				5月17日	10月17日	5月28日	5月17日	10月17日	5月28日
E01	晒旗河进水	E01	水深 1/2 处水	0.036	0.12	\	1.49	2.27	\
E02	施工区域水样	E02-01	0.5m	0.037	0.10	0.015	1.45	1.34	1.49
		E02-02	5m	0.015	\	0.019	1.43	\	1.83
		E02-03	底泥以上 0.5m	\	0.28	0.021	\	1.40	1.37
E03	西河进水	E03	混合水样	0.026	0.12		1.62	1.47	\
E02	底泥	E02	表层	7478 (mg/kg)	3724 (mg/kg)	5754.9 mg/kg	1089 (mg/kg)	864.9 (mg/kg)	861.2 mg/kg

表 2.14 为清淤工程水质及底泥监测结果。通过对库底清淤 50 cm 厚后，清淤施工区域内水质 TP 由实施前的 0.10 mg/L~0.28 mg/L 降至 0.015 mg/L~0.019 mg/L，说明清淤工程对 TP 影响较大；工程实施前的 TN 为 1.34 mg/L~1.45 mg/L，实施后为 1.37 mg/L~1.49 mg/L，

对 TN 影响较小。

清淤工程实施前底泥 TP 含量为 3724 mg/kg~7478 mg/kg, 实施后底泥 TP 为 5754.9 mg/kg, 实施前底泥 TN 含量为 864.9 mg/kg~1089 mg/kg, 实施后底泥 TN 含量为 861.2 mg/kg, 实施后底泥 TP 及 TN 与实施前相比变化较小。

### 3 工程效果整体评价

图 3.1 为宜昌市黄柏河流域饮用水水源地保护项目 2015 年度工程及其监测点示意图。清淤工程于 2016 年 12 月 1 日开工至 2016 年 12 月 30 日结束, 生态浮岛及 PGPR 于 2016 年 10 月 18 日正式开始运行, 水魔方(净魔方)于 2016 年 11 月 22 日完成。

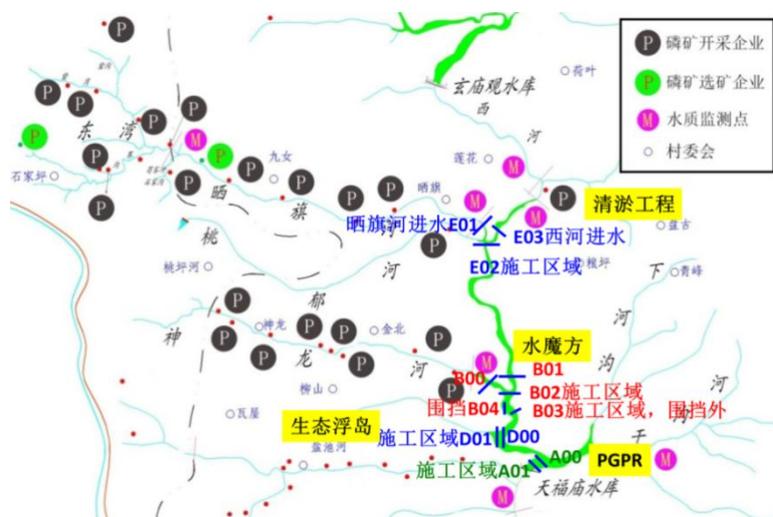


图 3.1 宜昌市黄柏河流域饮用水水源地保护项目 2015 年度工程及其监测点示意图

清淤工程对水体 TP 及 TN 的去除效果由于缺乏施工后晒旗河进水及西河进水监测数据, 所以难以评价。

B02、B03 及 B04 为水魔方(净魔方)施工区, 其中 B02、B03 为干流开放区, B04 为封闭区。当水魔方(净魔方)施工 3 天后, 三个施工区水体 TP 去除率在 44%~67% 范围, TN 去除率为 48%~65%, 水魔方(净魔方)对氮磷均有较好的去除效率, 水质有很大改善, 与 B04 相比, B02 及 B03 点 TP 及 TN 去除率略低, 可能因为水魔方(净魔方)材料投加量不同导致。B04 为封闭区, 区域水体与干流水体只有少部分交换, 短期内受干流来水影响小, 因此, 施工后第 2 个月开始至第 4 个月, 水质较好, TP 含量达地表水 II 类水标准, TN 为劣 III 类; 施工后第 5、6 月, B04 水体 TP 含量较低, 为 II 类水, TN 有明显回升。从 2017 年 5 月 28 日清淤工程水样的监测结果来看, 该时段 B04 上游来水 TP 含量较低, TN 含量较高。由此判断, 水魔方(净魔方)实施后的 4 月之内效果较好。另外, 根据 B04 点底泥中 TP 及 TN 监测结果来看, 水魔方(净魔方)起到一定的生物清淤作用。

水魔方(净魔方)于2016年11月22日施工完成,在此前,生态浮岛及PGPR已运行1个月。从图3.2可看出,生态浮岛实施第1个月内,即2016年10月31日~2016年11月20日之间,生态浮岛区域外D00水体的TP及TN值大都高于施工区D01,说明生态浮岛具有一定的去除氮磷作用,对TP及TN的平均去除率约为26%及10%,但从2016年12月5日开始至2017年2月20日,区域外及施工区的TP及TN均有显著下降,而且区域外的TP及TN均低于施工区,这可能因为上游水魔方(净魔方)水处理技术使水体的TP及TN整体降低,然而由于在施工区内水体交换速度较区域外慢,从而使得施工区的TP及TN比区域外的高。该结果也说明此时段内,水魔方(净魔方)处理技术对氮磷的去除起主要作用。在生态浮岛运行第5、6月,即2017年3月20日至4月20日,区域外及施工区的TP及TN均有所升高,但区域外的TP及TN比施工区的高,说明在此时段内,生态浮岛对氮磷的去除起主要作用,水魔方(净魔方)施工6个月后效果已不明显,晒旗河进水及西河进水的污染源未切断,水质恶化。

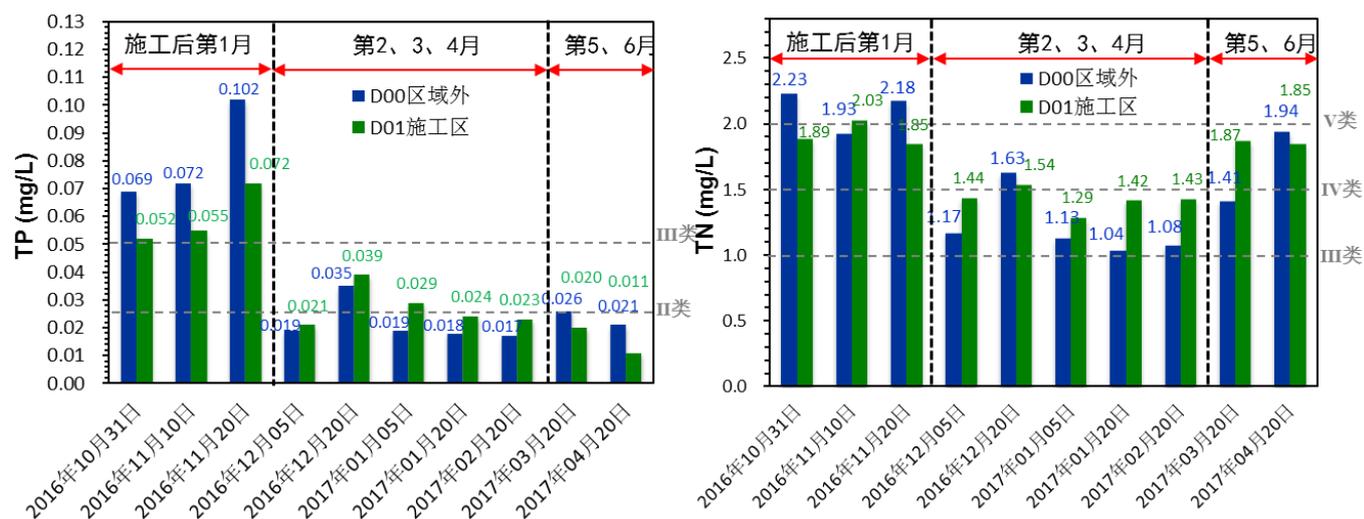


图 3.2 生态浮岛施工后区域外及施工区水体 TN 及 TP 结果比较

PGPR 工程对 TP 及 TN 的去除现象与生态浮岛相似。PGPR 工程在天福庙库首,于2016年10月18日正式运行,至2016年12月5日运行达1个半月,在此时段内,PGPR区域外A00点的TP及TN均高于施工区A01,说明PGPR技术对水体氮磷的去除起作用,而且对磷的去除效率高于氮。在2016年12月20日至2017年2月20日期间,施工区的TP及TN均高于区域外,且施工区及区域外的TP及TN均有明显下降,该现象与生态浮岛相似,说明此时段内水魔方(净魔方)对水体TP及TN的去除高于PGPR;从2017年3月20日开始,区域外的TP及TN比施工区的高,说明该时段PGPR仍具有一定的氮磷去除作用,但从2017年3月20日及2017年4月20日两次监测结果来看,TP及TN的含

量均有一定增高，尤其是 TN 的增高很大，结合水魔方(净魔方)及生态浮岛的监测结果分析，可以得出在水魔方(净魔方)实施 6 个月后，对 TP 及 TN 的去除效果已经减弱，或已无效果。

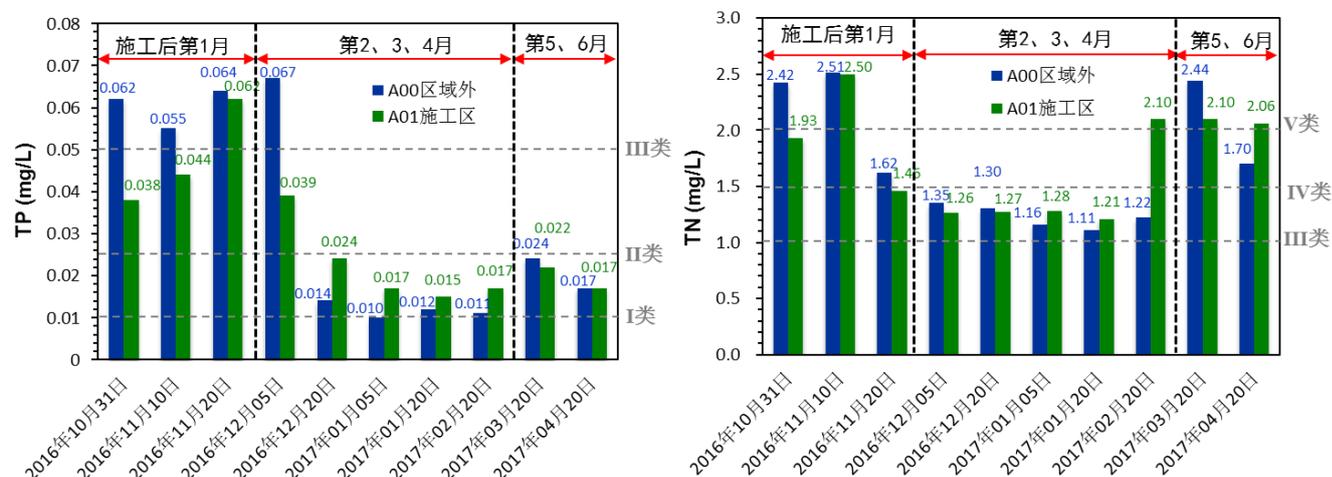


图 3.3 PGPR 施工后区域外及施工区水体 TN 及 TP 结果比较

## 4 结论及建议

### 4.1 结论

(1) 水魔方(净魔方)对水体中的 TP 和 TN 有明显的去除作用，且去除效果持续、显著。根据封闭区 B04 点监测成果，水魔方(净魔方)工程从实施至监测结束 6 个月时内，封闭区内水体 TP 去除率最高达 85%，除磷效果明显，且作用时间较长；水魔方(净魔方)工程实施 3 天后，封闭区内水体 TN 去除率达到了 65%，对 TN 去除效果也较为明显。

(2) PGPR 水处理工程运行一个月内，治理区域内外水体 TP 及 TN 值差别较小，但治理区域内的表层水 TP 值含量略低于区域外，PGPR 运行 45 天开始至监测结束的 4 个半月期间，治理区域内外 TP 值差别较小，治理区域内 TN 值略大于治理区域外。

(3) 生态浮岛施工后 1 个月内，区域外水体 TN、TP 及藻密度大都比施工区高，对 TN、TP 及藻类的去除率最高值分别为 42.66%、29.41% 及 15.51%。生态浮岛运行第 2 个月开始至监测结束的 4 个月期间，治理区域内外 TP 及 TN 值差别不大。

### 4.2 建议

流域各处理工程对 TP 及 TN 均有一定的去除作用，然而处理工程只能短期内对流域水质改善，对黄柏河流域污染的治理，采取“控源为本、强化治理、长效维护”的水源地保护原则，首先需要进行源头治理，污染物达标排放后再进行已污染水体治理。此外，治理区域 TN 污染严重，需进行污染源调查及治理，阻断污染来源；神农溪来水、晒旗河来

水及水魔方干流水体在 2016 年 11 月 25 日后再未进行采样分析，对来水污染情况缺乏相关数据。