

## A6 水质基线及水力、泥沙和水质模型

### A6.1 概述

#### A6.1.1 基线监测

通过水质基线调查和研究,掌握深圳河三期工程段的水质基线现状及时空分布特性。

#### A6.1.2 水动力学、泥沙和水质模型

水动力学、泥沙和水质模型分别用来模拟治理深圳河第三期工程实施前后深圳河水动力学特性、泥沙输移和污染物迁移转换规律,为治理深圳河第三期工程环境影响评价提供依据。模型模拟的内容如下:

- 1) 深圳河水动力学特性,包括三期工程实施前后的河流特性和潮流特性。
- 2) 深圳河泥沙输移以及河床冲淤变化情况。
- 3) 深圳河污染物迁移转换特性,工程实施前后以及工程施工期间深圳河水质变化情况。

### A6.2 水质基线

水质基线研究的目的在于确定治理深圳河三期工程段的水质现状,了解深圳河受污染的程度、时空变化规律,并确定深圳河三期工程河段的主要污染物质。

#### A6.2.1 基线监测

根据水质基线评估的需要,本环评进行了水质基线监测。基线监测点位的布设情况、水质项目以及所采用的分析方法在本报告6.3节中已有详细说明,表A6-1~表A6-3分别是此次水质基线监测中,丰水期、平水期和枯水期的监测成果。

#### A6.2.2 浸出实验

为研究疏浚施工对深圳河水质的潜在影响,了解因施工扰动污染物再悬浮析出的情况,采取深圳河三期工程河段的污染土土样进行了浸出试验。根据中华人民共和国《有色金属工业固体废物浸出毒性试验方法标准(GB5086-85)》,实验中选取一定量的污染土,按不同的重量比例加入清水,经搅拌后静置若干时间后分析水中污染物的含量。试验结果列于表A6-4。

表 A6-1 1998 年丰水期基线监测成果

采样位置	平原河口						三叉河口						梧桐河口						
	8月18日		8月19日		8月20日		8月18日		8月19日		8月20日		8月18日		8月19日		8月20日		
	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	
T	(C)	28.9	30.6	30.7	32.7	30.2	32.6	29.7	30.9	29.8	32.5	29.2	33	30.2	30.4	29.6	31.7	30.2	31.4
pH		7.46	7.78	7.68	7.72	7.65	7.7	7.59	7.73	7.53	7.62	7.53	7.79	7.54	7.58	7.59	7.61	7.44	7.49
SS	(mg/l)	1670	957	1220	80	136	98	76	129	71	154	44	200	26	253	34	59	10	9
COND	( $\mu$ s/cm)	562	370	604	630	856	923	609	584	584	651	664	645	549	564	523	602	593	676
DO	(mg/l)	0.64	0.93	2.27	1.79	2.61	0.79	0.65	0.82	0.75	0.95	0.24	2.07	0.44	0.28	0.16	0.5	0.22	0.31
BOD <sub>5</sub>	(mg/l)	51.7	45.1	21	23.4	25.4	10.4	22.4	33.4	25.4	22.8	17.4	21.4	15.2	16.9	31.8	31.6	21.5	23.0
COD <sub>Mn</sub>	(mg/l)	51.9	23.6	21.2	12.0	20.0	12.4	12.4	18.1	12.3	27.3	12.26	14.37	9.89	22.5	14.3	13.1	14.1	10.5
COD <sub>Cr</sub>	(mg/l)	607	127	89.9	41.2	78.7	63.7	41.2	89.9	37.5	112	52.5	86.2	18.7	97.4	48.7	48.7	56.2	45
NH <sub>3</sub> -N	(mg/l)	11.1	5.69	13.2	13.4	15.9	17.5	13.8	11.8	14.0	14.4	15.6	18.0	9.63	11.2	11.9	14.5	15.8	17.6
NO <sub>2</sub> -N	(mg/l)	0.012	0.176	0.081	0.111	0.123	0.052	0.055	0.117	0.083	0.02	0.01	0.112	0.012	0.015	0.025	0.016	0.041	0.033
NO <sub>3</sub> -N	(mg/l)	0.032	0.17	0.017	0.012	0.012	0.023	0.01	0.016	0.004	0.003	0.026	0.082	0.047	0.015	0.005	<0.001	0.016	0.009
TN	(mg/l)	17.9	7.09	15.7	15.6	20.8	18.4	18.5	15.2	16.8	19.1	19.0	19.1	14.5	16.5	16.1	16.5	22.1	18.2
TP	(mg/l)	5.75	1.87	5.69	2.08	2.35	2.60	2.20	1.83	1.980	3.02	2.17	2.10	1.690	2.050	1.79	2.140	1.97	2.18
DP	(mg/l)	0.661	0.385	0.846	1.280	0.922	1.60	1.48	1.120	1.12	1.040	1.320	1.260	0.935	0.939	0.971	1.230	1.40	1.57
LAS	(mg/l)	0.716	0.598	0.211	0.598	0.266	0.675	0.321	0.558	0.231	0.807	0.506	0.497	0.312	0.777	0.98	0.784	1.11	0.659
Cr <sup>6+</sup>	(mg/l)	0.003	0.003	0.002	0.002	0.007	0.005	0.003	0.002	0.002	<0.001	0.003	0.004	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.005
Ar-OH	(mg/l)	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.005	0.01	0.003	0.005	0.004	0.009	0.012	0.006	0.009	0.007
CN <sup>-</sup>	(mg/l)	<0.001	0.003	0.002	0.003	0.003	<0.001	<0.001	0.003	0.003	<0.001	0.002	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001
OIL	(mg/l)	3.58	4.9	0.72	1.3	1.77	1.75	0.91	1.69	0.97	4.74	1.28	1.36	0.99	3.76	2.53	1.77	2.44	1.57
COLI	(万个/l)	57000	4500	4200	6200	5300	8000	9000	21000	7000	18000	8200	9000	8000	19000	15000	16000	21000	7000
Cl <sup>-</sup>	(mg/l)	46.6	28.9	55.1	66.6	126	148	62.7	59.8	60.8	73.5	82.3	69.2	58.8	61.3	56.8	68.1	72.5	81.3
TAs	(mg/l)	0.026	0.029	0.015	0.009	0.006	0.008	0.005	0.009	0.006	0.007	0.005	0.009	0.006	0.01	0.006	0.006	0.005	0.005
THg	(mg/l)	0.00021	0.00026	0.00018	0.00019	0.00025	0.00014	0.00009	0.00016	0.00016	0.00028	0.00011	0.00024	0.00007	0.00033	0.00013	0.00018	0.00012	0.00009
TCu	(mg/l)	0.0263	0.153	0.061	0.045	0.019	0.052	0.014	0.036	0.017	0.026	0.014	0.027	0.01	0.04	0.025	0.017	0.026	0.013
TZn	(mg/l)	0.604	0.658	0.231	0.121	0.172	0.11	0.09	0.152	0.099	0.218	0.042	0.148	0.106	0.24	0.43	0.102	0.379	0.08
TPb	(mg/l)	0.243	0.337	0.18	0.049	0.023	0.039	0.018	0.036	0.017	0.034	0.014	0.032	0.009	0.042	0.019	0.012	0.005	0.01
TCd	(mg/l)	0.002	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
TNi	(mg/l)	0.028	0.003	0.02	0.009	0.007	0.01	0.007	0.011	0.007	0.009	0.004	0.012	0.01	0.012	0.023	0.006	0.016	0.005
TCr	(mg/l)	0.117	0.094	0.03	0.042	0.039	0.044	0.02	0.031	<0.020	0.04	<0.020	0.02	<0.020	0.037	0.032	0.02	<0.02	<0.02

1998年平水期基线监测成果

表 A6-2

采样位置	平原河口						三叉河口						梧桐河口					
	10月19日		10月20日		10月21日		10月19日		10月20日		10月21日		10月19日		10月20日		10月21日	
	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落
T	25.6	28.6	25.7	28.1	26.2	28.9	25.2	28.6	25.4	28.4	25.3	28.4	26.1	27.2	26.2	27	26	26.9
pH	7.21	7.21	7.28	7.28	7.21	7.31	7.25	7.49	7.31	7.49	7.19	7.51	7.22	7.24	7.28	7.3	7.2	7.19
SS	(mg/l)	12	36	5	7	35	14	18	70	22	44	8	7	7	57	6	56	31
COND	( $\mu$ s/cm)	678	738	689	675	715	661	666	636	606	666	630	629	630	614	631	625	650
DO	(mg/l)	2.60	0.24	2.30	3.29	3.60	1.68	1.60	1.85	2.69	2.22	3.07	0.38	0.41	0.38	0.26	0.39	0.48
BOD <sub>5</sub>	(mg/l)	11.3	21.2	14.9	16.3	8.27	18.80	16.3	19.6	15.8	12.7	20.7	26.0	19.80	23.3	21.2	18.1	23.5
COD <sub>Mn</sub>	(mg/l)	8.48	66.3	11.3	12.7	10.9	13.4	15.9	9.87	4.93	16.5	25.5	12.4	12.0	13.40	15.2	10.3	11.1
COD <sub>Cr</sub>	(mg/l)	79.0	502	50.6	60.0	66.4	79.0	79.0	72.7	72.7	142	161	69.5	49.0	66.4	80.6	60.0	60.0
NH <sub>3</sub> -N	(mg/l)	10.7	12.7	11.9	9.24	7.09	8.23	14.3	14.1	12.2	14.1	11.7	14.7	12.5	13.4	13.7	14	12.4
NO <sub>2</sub> -N	(mg/l)	0.314	0.539	0.192	0.404	0.264	0.251	0.652	0.545	0.287	0.009	0.273	0.024	1.099	0.018	0.821	0.007	1.115
NO <sub>3</sub> -N	(mg/l)	2.37	1.55	2.47	2.72	2.98	2.88	1.17	1.33	1.93	<0.001	1.88	0.002	0.723	0.051	0.025	0.051	0.393
TN	(mg/l)	22.9	50.0	21.8	20.5	19.9	21.3	21.6	20.9	19.7	35.0	39.3	18.1	19.2	17.1	18.0	17.5	18.8
TP	(mg/l)	4.58	9.75	2.52	2.01	3.64	3.05	3.31	2.53	2.15	4.04	12.7	2.33	2.748	2.27	2.39	2.37	2.65
DP	(mg/l)	1.98	1.87	1.77	1.42	1.77	1.64	2.07	1.84	1.51	1.60	1.65	1.73	1.60	1.56	1.7	1.60	1.60
LAS	(mg/l)	0.512	0.64	0.499	0.428	0.519	0.53	0.552	0.68	0.62	0.742	0.684	0.965	0.635	1.09	0.783	0.982	0.673
C <sub>6</sub> +	(mg/l)	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
Ar-OH	(mg/l)	0.015	0.025	0.039	0.099	0.029	0.034	0.02	0.024	0.027	0.013	0.025	0.019	0.045	0.056	0.022	0.053	0.027
CN <sup>-</sup>	(mg/l)	<0.001	0.003	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.005	0.004	<0.001	0.002	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.002	0.002
OIL	(mg/l)	0.73	4.21	0.91	0.91	1	0.91	1.52	1.84	0.77	0.87	0.92	2.22	1.29	2.22	1.42	1.85	1.22
COLL	(万个/l)	9300	15000	8600	7500	5000	6400	8700	9300	7500	8000	7500	9100	8400	989	6200	9500	4800
Cl <sup>-</sup>	(mg/l)	82.5	95.2	78.8	85.6	95.2	87.9	72.3	79.1	67.9	80.5	70.8	72.6	73	70.8	68.9	73.7	76.9
TAs	(mg/l)	0.005	0.011	0.004	0.004	0.004	0.003	0.007	0.006	0.003	0.005	0.005	0.003	0.001	0.003	0.001	0.003	0.004
THg	(mg/l)	0.00003	0.00048	0.00006	0.00006	0.00007	0.00008	0.00004	0.00016	0.00004	0.00007	0.00017	0.00013	0.00008	0.00005	0.00006	0.00004	0.00008
TCu	(mg/l)	0.029	0.097	0.014	0.017	0.035	0.015	0.021	0.047	0.016	0.014	0.039	0.015	0.023	0.014	0.018	0.015	0.012
TZn	(mg/l)	0.064	0.613	0.073	0.104	0.066	0.085	0.105	0.244	0.089	0.072	0.113	0.140	0.099	0.118	0.123	0.110	0.064
TPb	(mg/l)	0.006	0.028	0.007	0.010	0.005	0.010	0.014	0.020	0.006	0.011	0.030	0.007	0.015	0.005	0.012	0.008	0.014
TCd	(mg/l)	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
TNi	(mg/l)	0.006	0.036	0.018	0.009	0.009	0.011	0.009	0.012	0.007	0.005	0.013	0.009	0.007	<0.004	0.007	0.009	0.004
TCr	(mg/l)	0.047	0.103	<0.020	<0.020	0.049	<0.02	<0.020	0.027	<0.002	<0.002	<0.02	0.02	0.021	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

表 A6-3 1998 年枯水期基线监测成果

采样位置	平原河口						三叉河口						梧桐河口					
	12月21日		12月22日		12月23日		12月21日		12月22日		12月23日		12月21日		12月22日		12月23日	
	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落	涨	落
T	22.6	20.8	22.8	21.3	22.3	20	23.4	20.9	24.2	21.2	20.4	23.4	20.4	20.5	23.1	20.4	21.7	19.4
pH	7.25	7.28	7.12	7.19	7.29	7.29	7.29	7.29	7.25	7.28	7.25	7.29	7.25	7.32	7.19	7.28	7.22	7.45
SS	(mg/l)	18	17	18	15	22	10	10	14	16	16	18	16	8	12	25	8	32
COND	( $\mu$ s/cm)	743	769	760	787	626	697	758	744	752	714	835	714	628	657	676	663	641
DO	(mg/l)	1.8	1.58	3.2	3.8	0.43	1.24	2.01	0.48	0.48	2.24	1.48	2.24	0.2	0.65	0.58	0.3	0.29
BOD <sub>5</sub>	(mg/l)	13.2	16.0	16.8	21.0	25.8	22.8	21.5	25.5	29.1	33.8	26.4	33.8	26.0	35.3	18.8	28.4	26.2
COD <sub>Mn</sub>	(mg/l)	11.6	12.2	10.0	9.63	21.1	12.3	9.94	13.4	12.5	13.9	22.1	12.0	12.8	21.9	12.0	15.3	12.5
COD <sub>Cr</sub>	(mg/l)	105	38.1	64.8	37.6	104	55.1	55.1	41.3	64.8	98.5	64.8	64.8	33.6	168	42.1	379	243
NH <sub>3</sub> -N	(mg/l)	9.07	12.7	8.16	8.72	17.03	14.9	14.09	16.3	12.8	14.4	20.3	15.4	14.5	13.3	12.6	12.0	13.3
NO <sub>2</sub> -N	(mg/l)	0.207	0.213	0.206	0.211	0.17	0.15	0.45	0.807	0.417	0.654	0.014	0.656	0.017	0.236	0.01	0.326	0.021
NO <sub>3</sub> -N	(mg/l)	5.60	4.55	6.26	6.33	0.759	3.06	4.30	3.35	3.90	3.01	0.049	2.96	0.030	0.683	0.015	0.891	0.009
TN	(mg/l)	20.7	22.6	21.1	19.6	25.3	23.1	21.6	23.2	22.8	20.0	28.8	22.7	17.8	21.1	18.5	19.9	20
TP	(mg/l)	2.60	2.88	3.37	2.96	5.67	4.02	3.31	2.63	2.47	3.26	4.63	3.62	2.73	4.79	2.94	3.62	3.63
DP	(mg/l)	1.86	2.13	2.59	2.24	4.15	3.33	2.45	2.87	2.22	2.68	3.24	3.00	1.86	1.70	2.15	1.94	2.24
LAS	(mg/l)	0.822	1.03	0.753	0.718	0.938	0.993	0.896	1.04	1.21	1.52	1.37	1.59	1.27	1.27	1.52	1.40	1.66
C <sup>6+</sup>	(mg/l)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
Ar <sup>-</sup> OH	(mg/l)	0.007	0.006	0.015	0.009	0.011	0.007	0.009	0.009	0.015	0.007	0.018	0.009	0.013	0.006	0.014	0.009	0.007
CN <sup>-</sup>	(mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
OIL	(mg/l)	0.48	0.53	0.45	0.39	1.09	1.00	0.61	0.71	0.78	0.98	1.22	0.76	0.96	0.81	1.07	1.33	0.81
COLI	(万个/l)	1100	3400	300	2000	2700	3000	2400	3800	2800	3200	5400	3300	3900	2000	3400	2200	5500
Cl <sup>-</sup>	(mg/l)	101	105	103	113	50.5	76.7	95.3	92.1	94.8	92.6	101	79.2	76.0	94.0	81.7	85.1	76.7
TAs	(mg/l)	0.00	0.0025	0.01	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0014	0.00	0.01	0.00	0.01
THg	(mg/l)	0.00007	0.00042	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00017	0.00	0.00004	0.00	0.00	0.00	0.00
TCu	(mg/l)	0.037	0.02	0.06	0.03	0	0.06	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.017	0.04	0.02	0.07	0.05
TZn	(mg/l)	0.163	0.109	0.17	0.13	0	0.16	0.09	0.10	0.13	0.10	0.167	0.13	0.11	0.29	0.13	0.04	0.37
TPb	(mg/l)	0.017	0.011	0.02	0.02	0	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.017	0.01	0.007	0.01	0.05	0.01	0.04
TCd	(mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
TNi	(mg/l)	0.011	0.009	0.012	0.009	0.011	0.01	0.01	0.009	0.01	0.008	0.009	0.007	0.018	0.014	0.017	0.023	0.022
TCr	(mg/l)	<0.02	<0.02	0.051	<0.02	0.016	0.042	<0.02	<0.02	0.025	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.025	<0.02	0.055	0.074

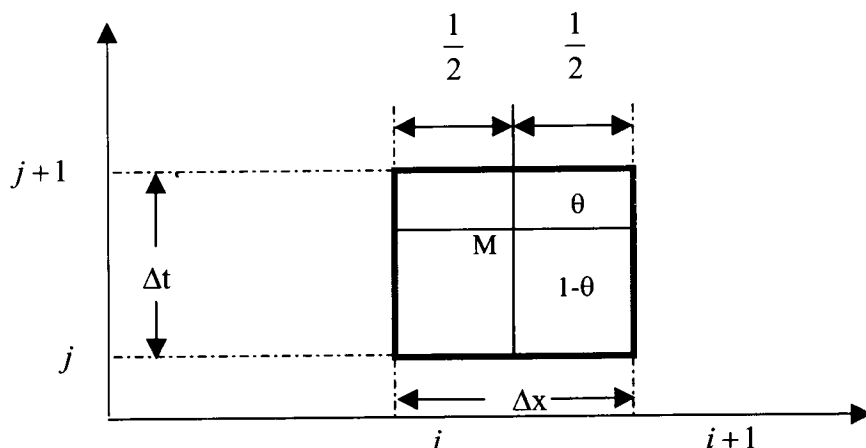


图 A6-1 Preissmann 差分格式

式(A6-3)采用的是泰勒级数一阶近似,上下标  $i, j$  分别代表时间( $t$ )坐标和空间( $x$ )坐标,将其代入式(A6-1)和式(A6-2)并注意到河宽  $B$ 、过水断面面积  $A$  和流量模数  $K$  是水位  $Z$  的单调连续函数,经整理得到如下的线性方程组:

$$A_{1i} \Delta Z_{i+1}^i + B_{1i} \Delta Q_{i+1}^i + C_{1i} \Delta Z_i^i + D_{1i} \Delta Q_i^i = G_{1i} \quad (\text{A6-4})$$

$$A_{2i} \Delta Z_{i+1}^i + B_{2i} \Delta Q_{i+1}^i + C_{2i} \Delta Z_i^i + D_{2i} \Delta Q_i^i = G_{2i} \quad (\text{A6-5})$$

其中:

$$A_{1i} = 1 - \frac{4\theta \Delta t (Q_{i+1}^i - Q_i^i)}{\Delta x (B_{i+1}^i + B_i^i)^2} \frac{dB_{i+1}^i}{dZ_{i+1}^i}$$

$$B_{1i} = \frac{4\theta \Delta t}{\Delta x (B_{i+1}^i + B_i^i)}$$

$$C_{1i} = 1 - \frac{4\theta \Delta t (Q_{i+1}^i - Q_i^i)}{\Delta x (B_{i+1}^i + B_i^i)^2} \frac{dB_i^i}{dZ_i^i}$$

$$D_{1i} = - \frac{4\theta \Delta t}{\Delta x (B_{i+1}^i + B_i^i)}$$

$$G_{1i} = \frac{4\Delta t (Q_{i+1}^i - Q_i^i)}{\Delta x (B_{i+1}^i + B_i^i)}$$

$$A_{2i} = \frac{\theta \Delta t}{\Delta x} \left[ - \frac{2(Q_{i+1}^i)^2 B_{i+1}^i}{(A_{i+1}^i)^2} + g(A_{i+1}^i + A_i^i) + g(Z_{i+1}^i - Z_i^i) B_{i+1}^i \right]$$

$$+ g\theta \Delta t \frac{Q_{i+1}^i |Q_{i+1}^i|}{(K_{i+1}^i)^2} \left[ B_{i+1}^i - \frac{2A_{i+1}^i}{(K_{i+1}^i)^2} \frac{dK_{i+1}^i}{dZ_{i+1}^i} \right]$$

### A6.3.2 模型描述

#### (1) 基本方程

深圳河一维水动力学模型采用渐变不恒定流圣维南方程组,以流量  $Q(x,t)$  和水位  $Z(x,t)$  为未知变量。

水流连续方程:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0; \quad (\text{A6-1})$$

水流运动方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} = 0; \quad (\text{A6-2})$$

式中:

$Z$  — 水位(m);

$Q$  — 流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$K$  — 流量模数;

$A$  — 过水断面面积( $\text{m}^2$ );

$B$  — 水面宽度(m);

$g$  — 重力加速度( $\text{m}/\text{s}^2$ );

$x, t$  — 分别为空间(m)和时间(s)变量。

#### (2) 计算格式

采用如下的 Preissmann 隐格式形式离散水流连续方程和水流运动方程,参见图 A6-1。

$$\begin{cases} f \approx \frac{\theta}{2} (\Delta f_{i+1} + \Delta f_i) + \frac{1}{2} (f_{i+1} + f_i) \\ \frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{1}{2\Delta t} (\Delta f_{i+1} + \Delta f_i) \\ \frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{\theta}{\Delta x_i} (\Delta f_{i+1} + \Delta f_i) + \frac{1}{\Delta x_i} (f_{i+1} + f_i) \end{cases} \quad (\text{A6-3})$$

$$N_i = \frac{G_i - D_{1i}F_i}{\alpha}$$

将式(A6-6)分别代入(A6-4)式和(A6-5)式,并将式(A6-4)乘以 $\beta$ ,式(A6-5)乘以 $\alpha$ 解出 $\Delta B_{i+1}$ ,将其与式(A6-7)相比较得:

$$E_{i+1} = -\frac{\beta A_{1i} - \alpha A_{2i}}{\beta B_{1i} - \alpha B_{2i}}$$

$$F_{i+1} = \frac{\beta(G_{1i} - D_{1i}F_i) - \alpha(G_{2i} - D_{2i}F_i)}{\beta B_{1i} - \alpha B_{2i}}$$

如此,式(A6-6)和式(A6-8)形成一种递推关系,依据具体的初始条件和边界条件使用追赶法即可求解。

### A6.3.3 设计流量和设计潮位

本评估水动力学模型中,深圳河各控制断面 50 年一遇和 10 年一遇设计流量过程和深圳河口潮位过程取自治理深圳河第三期第二阶段工程初步设计报告,如图 A6-2~图 A6-4 所示。

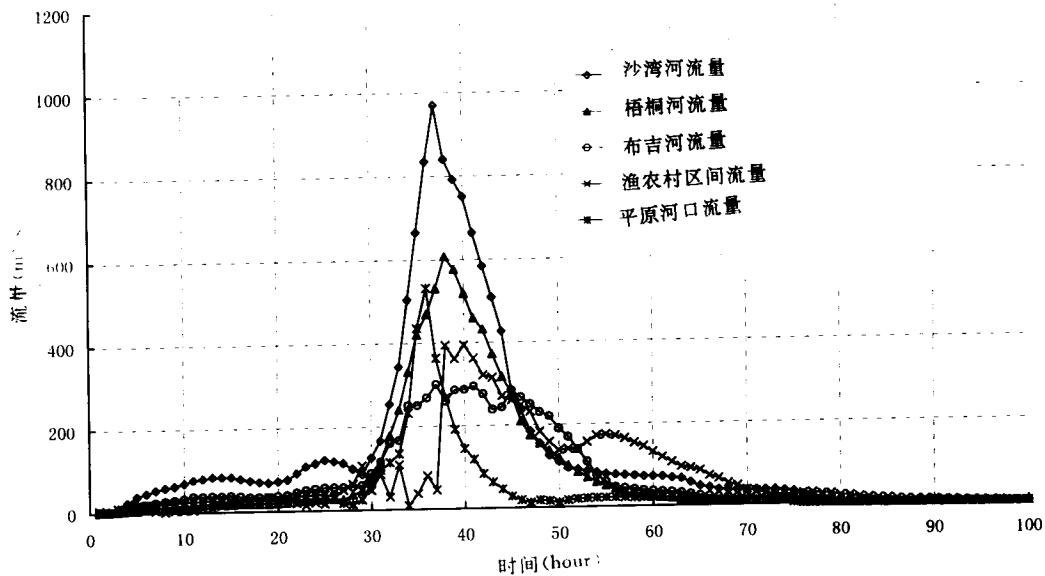


图 A6-2 50 年一遇各控制断面设计洪水过程线

$$B_{2i} = 1 + \frac{4\theta\Delta t}{\Delta x} \frac{Q_{i+1}^j}{A_{i+1}^j} + 2g\theta\Delta t \frac{A_{i+1}^j |Q_{i+1}^j|}{(K_{i+1}^j)^2}$$

$$C_{2i} = \frac{\theta\Delta t}{\Delta x} \left[ \frac{2(Q_i^j)^2 B_i^j}{(A_i^j)^2} - g(A_{i+1}^j + A_i^j) + g(Z_{i+1}^j - Z_i^j) B_i^j \right] \\ + g\theta\Delta t \frac{Q_i^j |Q_i^j|}{(K_i^j)^2} \left[ B_i^j - \frac{2A_i^j}{(K_i^j)} \frac{dK_i^j}{dZ_i^j} \right]$$

$$D_{2i} = 1 - \frac{4\theta\Delta t}{\Delta x} \frac{Q_i^j}{A_i^j} + 2g\theta\Delta t \frac{A_i^j |Q_i^j|}{(K_i^j)^2}$$

$$G_{2i} = \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ -2 \left[ \frac{(Q_{i+1}^j)^2}{A_{i+1}^j} - \frac{(Q_i^j)^2}{A_i^j} \right] + g(A_{i+1}^j + A_i^j) (Z_{i+1}^j - Z_i^j) \right\} \\ - g\theta\Delta t \left[ \frac{A_{i+1}^j Q_{i+1}^j |Q_{i+1}^j|}{(K_{i+1}^j)^2} - \frac{A_i^j Q_i^j |Q_i^j|}{(K_i^j)^2} \right]$$

对方程组(A6-4)和(A6-5)可运用追赶法进行求解。假定 $\Delta Q$ 和 $\Delta Z$ 呈如下的线性关系:

$$\Delta Q_i = E_i \Delta Z_i + F_i \quad (\text{A6-6})$$

鉴于点*i*的任意性,

$$\Delta Q_{i+1} = E_{i+1} \Delta Z_{i+1} + F_{i+1} \quad (\text{A6-7})$$

也应成立。

将式(A6-6)分别代入(A6-4)式和(A6-5)式,并令:

$$\alpha = C_{1i} + D_{1i} E_i$$

$$\beta = C_{2i} + D_{2i} E_i$$

经整理得:

$$\Delta Z_i^{j+1} = L_i \Delta Z_{i+1}^{j+1} + M_i \Delta Q_{i+1}^{j+1} + N_i \quad (\text{A6-8})$$

式中:

$$L_i = \frac{-A_{1i}}{\alpha}$$

$$M_i = \frac{-B_{1i}}{\alpha}$$



## A6.4.2 模型描述

### (1) 基本方程

深圳河一维泥沙模型水流方程采用 A6.3 的渐变不恒定流圣维南方程,泥沙方程采用均匀不平衡输沙方程。深圳河河床属淤泥质河床,目前尚无推移质资料可使用,所以本研究中泥沙模型采用悬移质模型。

水流连续方程:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0; \quad (\text{A6-9})$$

水流运动方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} = 0; \quad (\text{A6-10})$$

泥沙连续方程:

$$\frac{\partial(A_s)}{\partial t} + \frac{\partial(Q_s)}{\partial x} = -\alpha\omega B(s - s_*); \quad (\text{A6-11})$$

水流挟沙能力:

$$s_* = k \left( \frac{u^3}{gh\omega} \right)^m; \quad (\text{A6-12})$$

河床变形方程:

$$\rho_* \frac{\partial Z_0}{\partial t} = \alpha\omega(s - s_*); \quad (\text{A6-13})$$

式中:

$Z_0$ — 河床平均高程(m);

$A_s$ — 河床变形面积( $\text{m}^2$ );

$s$ — 悬沙含沙量( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$s_*$ — 水流挟沙能力( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\omega$ — 泥沙沉降速率( $\text{m}/\text{s}$ );

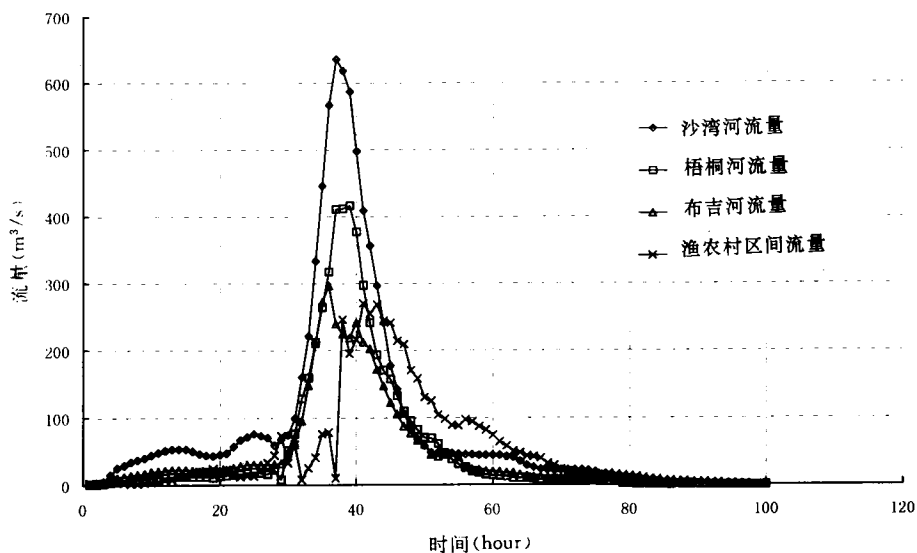


图 A6-3 10 年一遇各控制断面设计洪水过程线

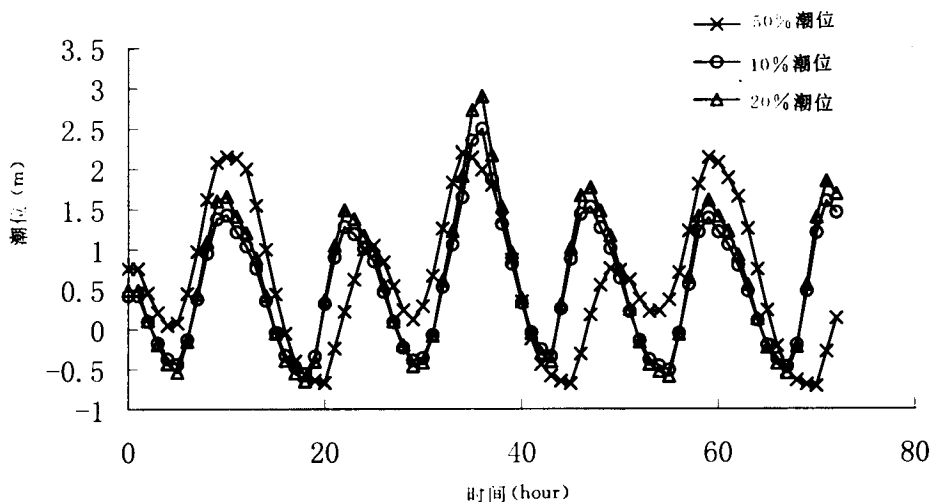


图 A6-4 深圳河口不同频率潮位过程

## A6.4 深圳河一维泥沙模型

### A6.4.1 模型选择

为研究三期工程对深圳河泥沙输移、冲刷和淤积的变化规律,采用将水流方程与泥沙输移和河床变形方程非耦合求解的处理方法。由于深圳河并非高含沙量河流,泥沙对水流的影响很小,因此,如此处理不仅可方便模型计算,对于描述深圳河泥沙输移、冲刷和淤积的特性也是合适的。

## A6.4.3 设计含沙量过程

由经验公式求得的深圳河各控制断面 50 年一遇和 10 年一遇设计含沙量过程如图 A6-6、图 A6-7 所示。

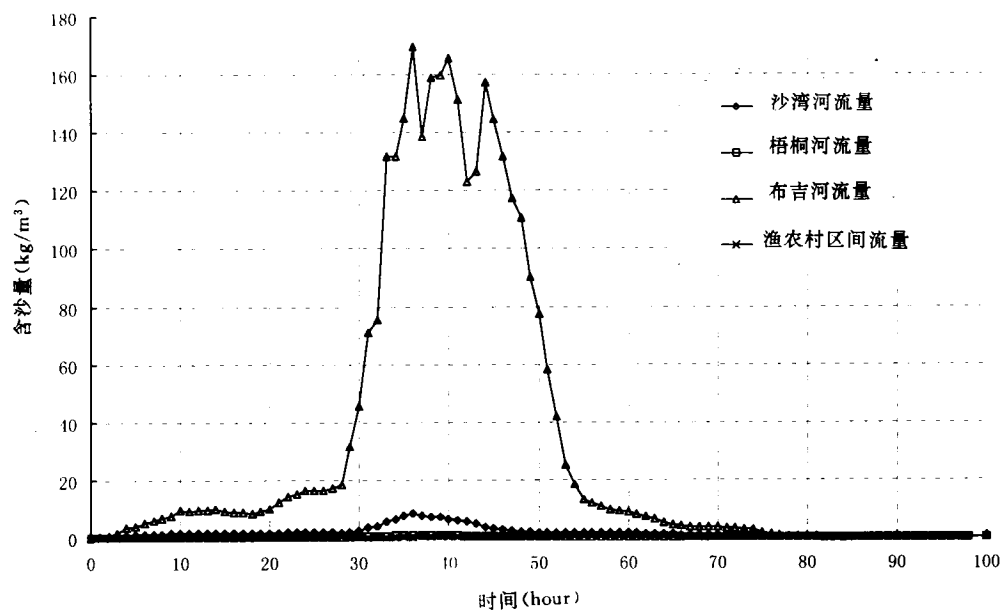


图 A6-6 50 年一遇各控制断面设计含沙量过程线

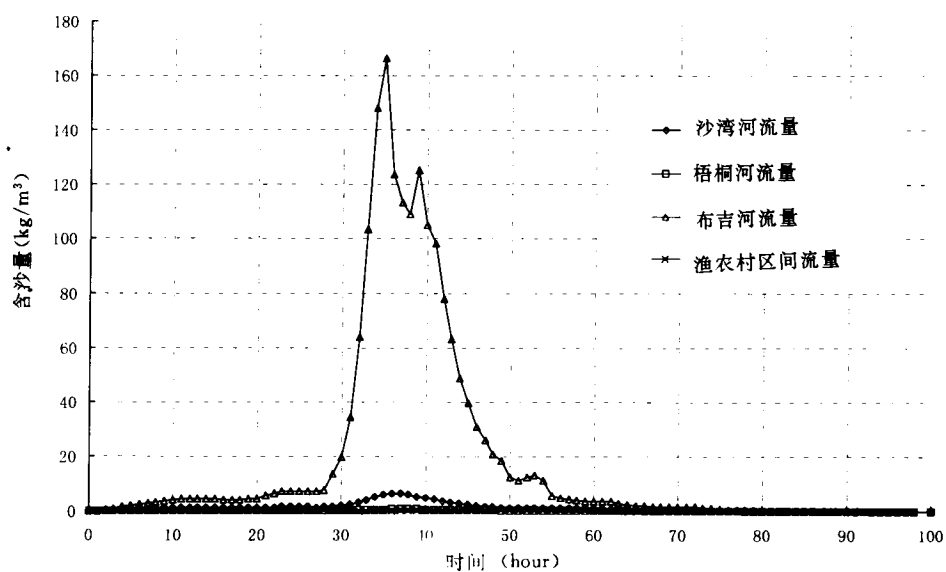


图 A6-7 10 年一遇各控制断面设计含沙量过程线

$\rho^*$  — 泥沙干容重( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\alpha$  — 泥沙恢复饱和系数;

$k, m$  — 挟沙能力计算系数;

其他同 A6.3 节。

### (2) 计算格式

在求解上述方程时采用水流和泥沙非耦合方法,先用 A6.3 节介绍的方法求解水流方程,再求解泥沙连续方程和河床变形方程,泥沙连续方程(A6-11)和河床变形方程(A6-13)按隐差分格式离散,参见图 A6-5。

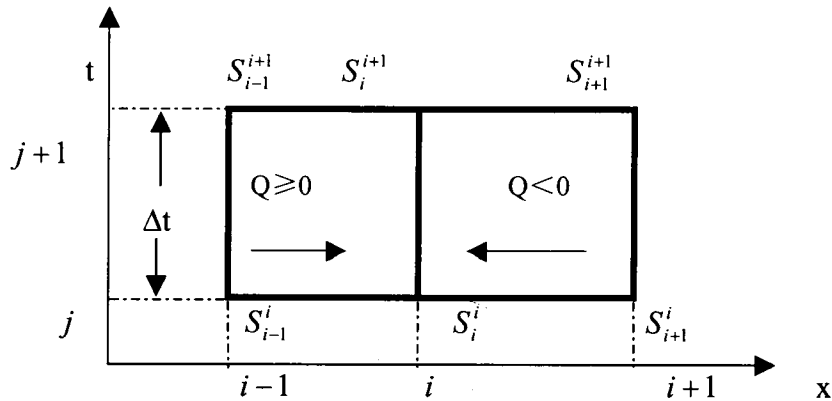


图 A6-5 输沙差分格式

泥沙连续方程离散为:

$$S_i^{j+1} = \frac{\Delta t \alpha_i^{j+1} B_i^{j+1} \omega_i^{j+1} S_{i+1}^{j+1} + A_i^j S_i^j + \frac{\Delta t}{\Delta x_{i-1}} Q_{i-1}^{j+1} S_{i-1}^{j+1}}{(A_s)_i^{j+1} + \Delta t \alpha_i^{j+1} B_i^{j+1} \omega_i^{j+1} + \frac{\Delta t}{\Delta x_{i-1}} Q_i^{j+1}}; (Q \geq 0) \quad (\text{A6-14})$$

$$S_i^{j+1} = \frac{\Delta t \alpha_i^{j+1} B_i^{j+1} \omega_i^{j+1} S_{i+1}^{j+1} + A_i^j S_i^j + \frac{\Delta t}{\Delta x_i} Q_{i+1}^{j+1} S_{i+1}^{j+1}}{(A_s)_i^{j+1} + \Delta t \alpha_i^{j+1} B_i^{j+1} \omega_i^{j+1} + \frac{\Delta t}{\Delta x_i} Q_{i+1}^{j+1}}; (Q < 0) \quad (\text{A6-15})$$

河床变形方程离散为:

$$\Delta Z_{\delta t}^{j+1} = \frac{\Delta t}{\rho^*} [\alpha_i^{j+1} \omega_i^{j+1} (S_i^{j+1} - S_{i+1}^{j+1})]; \quad (\text{A6-16})$$

$$J_2 = \frac{u_x}{2D_x} \left( 1 - \sqrt{1 + 4KD_x/u_x^2} \right)$$

$C_0$  为  $x=0$  处河流中污染物的浓度,用下式计算:

$$C_0 = W / \left[ Q \sqrt{1 + \frac{4KD_x}{u_x^2}} \right]$$

式中:

$W$ —单位时间内污染物的排放量,即污染物源强(g/s);

$Q$ —河流的平均径流量( $m^3/s$ )。

水体中的盐度可认为是无源的非降解物质,此时式(A6-4)中  $r$  和  $s$  均为零,可得到解析解:

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{u_x x}{D_x}\right) \quad (\text{A6-18})$$

式中逆河向上时  $x < 0$ ,用海水中的盐度作示踪剂,可据上式得到  $D_x$  值。

河口的纵向离散系数也可用下述经验公式:

$$D_x = 63nu_m R^{5/6} \quad (\text{A6-19})$$

式中:

$R$ —水力半径(m);

$u_m$ —潮流最大流速(m/s);

$n$ —曼宁糙率;

## (2) BOD<sub>5</sub>-DO 耦合稳态迁移方程

描述溶解氧(DO)的一维稳态迁移方程如下,此方程中溶解氧用氧亏表示。

$$\frac{\partial(uL)}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( AD_L \frac{\partial L}{\partial x} \right) + R_L - K_d L \quad (\text{A6-20})$$

$$\frac{\partial(uD)}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( AD_L \frac{\partial D}{\partial x} \right) + R_D - K_d D + K_d L \quad (\text{A6-21})$$

式中:

## A6.5 水质模型

### A6.5.1 基本方程

(1) 污染物稳态迁移方程

取污染物浓度的潮周平均值,则可写出深圳河一维河口水质模型:

$$\frac{\partial(u_x C)}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( A D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + r + s; \quad (\text{A6-17})$$

式中

A — 过水断面面积(m<sup>2</sup>);

C — 污染物浓度(mg/l);

x — 沿河流流向距起始断面的距离(m);

u<sub>x</sub> — 河流平均流速(m/s);

D<sub>x</sub> — 纵向离散系数(m<sup>2</sup>/s);

r, s — 分别为污染物的源和汇;

描述不同的污染物或水质参数的一维稳态迁移方程的基本形式与方程(A6-17)一样,只是在源和汇的内容及其处理上有所不同。

对于定常断面的一维河口,假设 s=0, r=-KC,可得到一维解析解:

在排放口上游(x<0):

$$\frac{C}{C_0} = \exp(J_1 \cdot x)$$

在排放口下游(x>0):

$$\frac{C}{C_0} = \exp(J_2 \cdot x)$$

其中:

$$J_1 = \frac{u_x}{2D_x} \left( 1 + \sqrt{1 + 4KD_x/u_x^2} \right)$$

其中  $Q$  为一个潮周期的平均净流量,变化的下标“j,k”代表第 j 段与第 k 段之间的数值,两段交界处的 BOD 浓度可按下式确定:

$$L_{i-1,i} = \alpha_{i-1,i} L_{i-1} + (1 - \alpha_{i-1,i}) L_i$$

其中  $\alpha$  为权因子,可取

$$\alpha_{i-1,i} = \frac{\Delta x_{i-1}}{\Delta x_{i-1} + \Delta x_i}$$

式中  $\Delta x_{i-1}$  和  $\Delta x_i$  分别为相邻的第  $i-1$  段和第  $i$  段的长度。

$$\text{由离散作用引起的质量变化} = (L_{i-1} - L_i) \frac{D_{i-1,i} A_{i-1,i}}{\Delta x_{i-1,i}} + (L_i - L_{i+1}) \frac{D_{i,i+1} A_{i,i+1}}{\Delta x_{i,i+1}}$$

式中:

$$\Delta x_{i,j} = \frac{1}{2} (\Delta x_i + \Delta x_j)$$

$D_{i,j}$ — 第  $i$  段和第  $j$  段交界处的离散系数;

$A_{i,j}$ — 第  $i$  段和第  $j$  段交接处的横截面面积;

$\Delta x_{i,j}$ — 第  $i$  段和第  $j$  段的中心距离散系数。

由降解作用引起的质量变化 =  $-V_i K_{di} L_i$

式中:

$K_{di}$ — 第  $i$  段 BOD 的降解系数。

污染物来源 =  $W_{1i}$

式中:  $W_{1i}$  为排入第  $i$  段的单位时间 BOD 的排放量。

这样,按质量守恒关系可写出 BOD 的平衡方程:

$$\begin{aligned} \frac{d(V_i L_i)}{dt} = & Q_{i-1,i} [\alpha_{i-1,i} L_{i-1} - (1 - \alpha_{i-1,i}) L_i] - Q_{i,i+1} [\alpha_{i,i+1} L_i - (1 - \alpha_{i,i+1}) L_{i+1}] \\ & + D_{i-1,i} (L_{i-1} - L_i) + D_{i,i+1} (L_{i+1} - L_i) - V_i K_{1i} L_i + W_{1i} \quad (\text{A6-23}) \end{aligned}$$

式中:

$L$  — BOD<sub>5</sub> 浓度(mg/l);

$D$  — O<sub>s</sub>-O 氧亏(mg/l);

$O_s$  — 饱和溶解氧(mg/l);

$D_x$  — 纵向离散系数(m<sup>2</sup>/s);

$K_d$  — BOD<sub>5</sub> 的降解系数(1/d);

$K_a$  — 复氧系数(1/d);

其它同上。

假定河流为定常断面,并令  $x = \pm\infty$  时,  $D=0$ ,也可求出相应的解析解,在此不再赘述。

## A6.5.2 计算格式

有限段模型将连续的河流水体沿纵向划分为若干个首尾相连的体积单元,并假定每个有限段是一个完全混合的零维模型,而所研究的整个河流段则是用一离散的一维模型来近似模拟。在有限段模型中,河流及水质参数取其潮周平均值,模型中的计算流量则是河流平均净流量。

### (1) BOD 模型

在一个潮汐周期内,任一有限段体积  $i$  的污染物的质量平衡关系为:

水质的变化率 = 径流平移作用 + 离散作用 + 降解作用 + 来源(排放量)

(A6-22)

对于 BOD,以上关系中:

$$\text{水质的变化率} = \frac{d(V_i L_i)}{dt}$$

式中:

$V_i$  — 第  $i$  段的体积(m<sup>3</sup>);

$L_i$  — 第  $i$  段的 BOD 浓度(mg/l)。

由径流平移作用引起的质量变化 =  $Q_{i-1,i} L_{i-1,i} - Q_{i,i+1} L_{i,i+1}$



式中:

$\vec{D}$  — 由各河段氧亏值组成的  $n$  维向量;

$\vec{W}_2$  — 由排入各河段的单位时间氧亏排放量组成的  $n$  维向量。

$H$  和  $F$  均为  $n$  阶矩阵, 矩阵各元素按下列关系得到:

对于  $H$ :

$$h_{i,i-1} = -Q_{i,i-1}\alpha_{i,i-1} - D_{i-1,i}$$

$$h_{i,i} = Q_{i,i+1}\alpha_{i,i+1} - Q_{i-1,i}(1 - \alpha_{i-1,i}) + D_{i-1,i} + D_{i,i+1} + V_i K_{di}$$

$$h_{i,i+1} = Q_{i,i+1}(1 - \alpha_{i,i+1}) - D_{i,i+1}$$

其它元素  $h_{i,j} = 0$ 。

对于  $F$ :

$$f_{i,i} = V_i K_{di}$$

其它元素  $f_{i,j} = 0$ 。

式(A6-24)和式(A6-26)即为河口跨潮周平均一维稳态 BOD-DO 耦合模型, 该模型被广泛应用于河口的水质模拟和规划中, 效果很好。

联立式(A6-24)和式(A6-26)得:

$$\left. \begin{aligned} \vec{L} &= G^{-1}\vec{W}_1 \\ \vec{D} &= H^{-1}FG^{-1}\vec{W}_1 + H^{-1}\vec{W}_2 \end{aligned} \right\} \quad (A6-27)$$

称逆矩阵  $G^{-1}$  为稳态转移矩阵, 它表达出在河口某段输入 BOD 后其他各河口段的 BOD 响应值。类似地,  $H^{-1}FG^{-1}$  可以表述 BOD 输入后各段 DO 的响应值,  $H^{-1}$  则表示河口氧亏对输入氧亏的响应值。

### (3) 边界条件

将污染物浓度的上下边界值(包括  $L_0, L_{n+1}, D_0, D_{n+1}$ )代入式(A6-24)和式(A6-26), 并将其所在项(均为已知)计入输入源中, 向量  $\vec{W}_1, \vec{W}_2$  需作如下修改:

$$W_{1,1} \text{ 为 } W_{1,1} + (Q_{0,1}\alpha_{0,1} + D_{0,1})L_0$$

$$D'_{i,j} = D_{i,j}A_{i,j}/\Delta x_{i,j}$$

令方程(A6-7)中的  $\frac{d(V_i L_i)}{dt} = 0$  就可得到河口的 BOD 稳态模型,该模型的方程可写作如下的矩阵形式:

$$G\vec{L} = \vec{W}_1 \quad (\text{A6-24})$$

式中:

$\vec{L}$  — 由各河段 BOD 值组成的 n 维向量;

$\vec{W}_1$  — 由排入各河段的单位时间 BOD 排放量组成的 n 维向量。

G — n 阶矩阵,矩阵各元素按下列关系得到:

$$g_{i,i-1} = -Q_{i,i-1}\alpha_{i,i-1} - D_{i-1,j}$$

$$g_{i,i} = Q_{i,i+1}\alpha_{i,i+1} - Q_{i-1,i}(1 - \alpha_{i-1,i}) + D_{i,i+1} + D_{i,i+1} + V_i K_{di}$$

$$g_{i,i+1} = Q_{i,i+1}(1 - \alpha_{i,i+1}) - D_{i,i+1}$$

其它元素  $g_{i,j} = 0$ 。

## (2)溶解氧模型

根据式(A6-6)同样可写出以氧亏表示的氧量平衡关系:

$$\begin{aligned} \frac{d(V_i D_i)}{dt} = & Q_{i-1,i}[\alpha_{i-1,i}D_{i-1} - (1 - \alpha_{i-1,i})D_i] - Q_{i,i+1}[\alpha_{i,i+1}D_i - (1 - \alpha_{i,i+1})D_{i+1}] \\ & + D_{i-1,i}(D_{i-1} - D_i) + D_{i-1,i}(D_{i+1} - D_i) - V_i K_{di}L_i + V_i K_{ai}D_i + W_{2i} \end{aligned} \quad (\text{A6-25})$$

式中:

$K_{ai}$  — 第 i 段的复氧系数;

$W_{2i}$  — 排入第 i 段的单位时间氧亏排放量。

令  $\frac{d(V_i D_i)}{dt} = 0$  就可得到河口的溶解氧稳态模型,该模型的方程可也写作如下的矩阵形式:

$$H\vec{D} = F\vec{L} + \vec{W}_2 \quad (\text{A6-26})$$

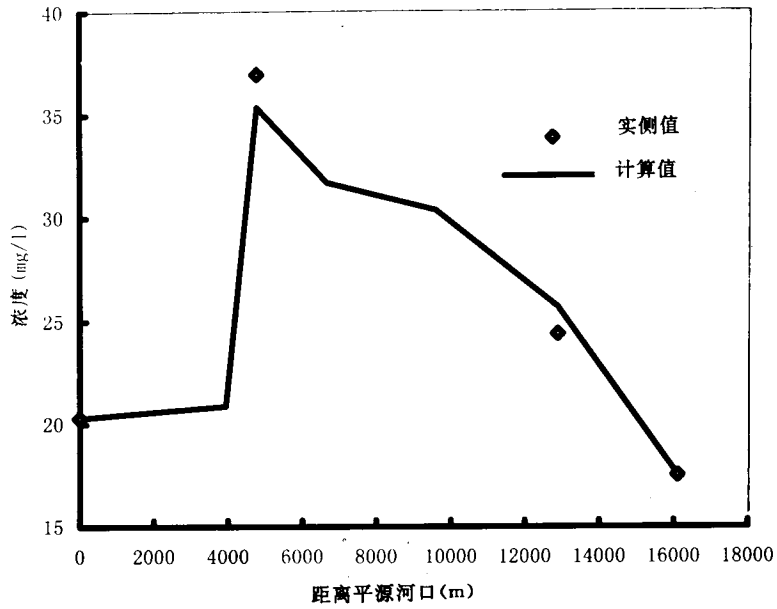


图 A6—8 BOD 模型参数估计

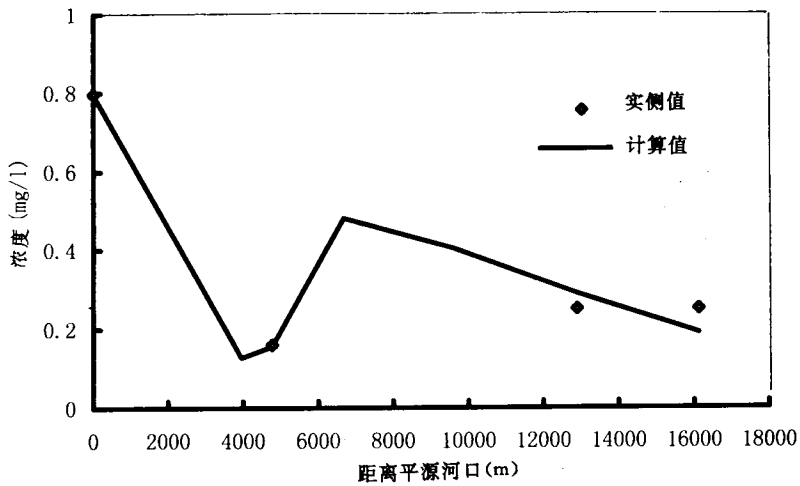


图 A6—9 DO 模型参数估计

#### A6.5.4 附图

图 A6—8~图 A6—38 为水质模型参数率定、模型验证和预测结果示意图。

$$W_{1,n} \text{ 为 } W_{1,n} + [-Q_{n,n+1}(1 - \alpha_{n,n+1}) + D_{n,n+1}]L_{n+1}$$

$$W_{2,1} \text{ 为 } W_{2,1} + (Q_{0,1}\alpha_{0,1} + D_{0,1})D_0$$

$$W_{1,1} \text{ 为 } W_{2,n} + [-Q_{n,n+1}(1 - \alpha_{n,n+1}) + D_{n,n+1}]D_{n+1}$$

其他单因子污染物的离散和求解方法与 BOD 相同,不再赘述。

### A6.5.3 基本资料

表 A6—5 和表 A6—6 分别为工程前后输入模型计算的统计数据。

表 A6—5 治理工程前模型输入计算数据

断面名称	段号	段长 (m)	段宽 (m)	段深 (m)	输入量 (m <sup>3</sup> /s)	COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	大肠菌群 (万个/l)	Tcu (mg/l)	TPb (mg/l)	断面流量 (m <sup>3</sup> /s)	水温 (°C)	DO (mg/l)
平原河口						12.84	14.91	14.25	2.098	65400	0.0303	0.01	2.71	29.4	
三叉河	1#	1100	16.3	0.73	0.64	52.5	33.04	15.44	1.481	6000	0.0042	0.0023	3.35	29.9	0.2
罗湖桥	2#	3945	26.9	0.98	2.12	23	12	3.31	0.61	1000	0.057	0.012		29	0.2
渔民村	3#	828	41.34	1.35	9.87	22.87	47.34	14.87	1.901	190	0.0288	0.0062		28.8	0.2
布吉河口	4#	1883	48.16	1.65	0.69	13.19	12.84	11.79	2.06	3200	0.013	0.004	17.02	29.2	0.2
福田	5#	2953	54.5	1.76	3.68	21.96	33.53	12.19	1.818	7900	0.041	0.018		29.5	0.2
渔农村	6#	3290	66.07	1.89	2.21	23.32	28.24	9.04	2.358	16000	0.024	0.072	24.39	29.7	0.2
深圳河口	7#	3219	79.51	2.02	1.27	47.63	66.8	28.06	4.01	91000	0.044	0.003	31.05	29.5	0.2

表 A6—6 治理工程后模型输入计算数据

断面名称	段号	段长 (m)	河宽 (m)	水深 (m)	输入量 (m <sup>3</sup> /s)	COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	大肠菌群 (万个/l)	Tcu (mg/l)	TPb (mg/l)	断面流量 (m <sup>3</sup> /s)	水温 (°C)	DO (mg/l)
平原河口						12.84	14.91	14.25	2.098	65400	0.0303	0.01	2.71	29.4	
三叉河	1#	994	55.2	3.31	0.64	52.5	33.04	15.44	1.481	6000	0.0042	0.0023	3.35	29.9	0.2
罗湖桥	2#	3945	43.9	4.64	2.12	23	12	3.31	0.61	1000	0.057	0.012		29	0.2
渔民村	3#	200	51.15	4.66	9.87	22.87	47.34	14.87	1.901	190	0.0288	0.0062		28.8	0.2
布吉河口	4#	1030	66.16	4.71	0.69	13.19	12.84	11.79	2.06	3200	0.013	0.004	17.02	29.2	0.2
福田	5#	2958	97.5	4.86	3.68	21.96	33.53	12.19	1.818	7900	0.041	0.018		29.5	0.2
渔农村	6#	1120	102.7	5.02	2.21	23.32	28.24	9.04	2.358	16000	0.024	0.072	24.39	29.7	0.2
深圳河口	7#	3219	120.1	5.16	1.27	47.63	66.8	28.06	4.01	91000	0.044	0.003	31.05	29.5	0.2

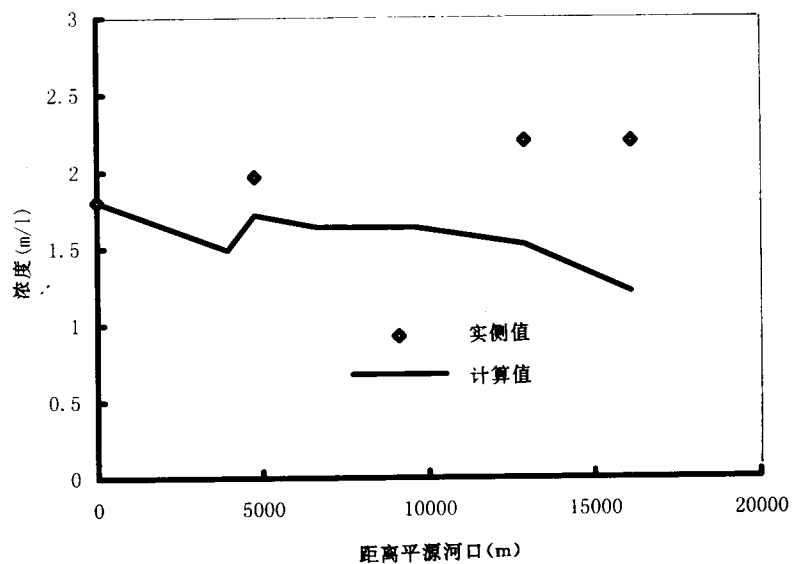


图 A6-12 TP 模型参数估计

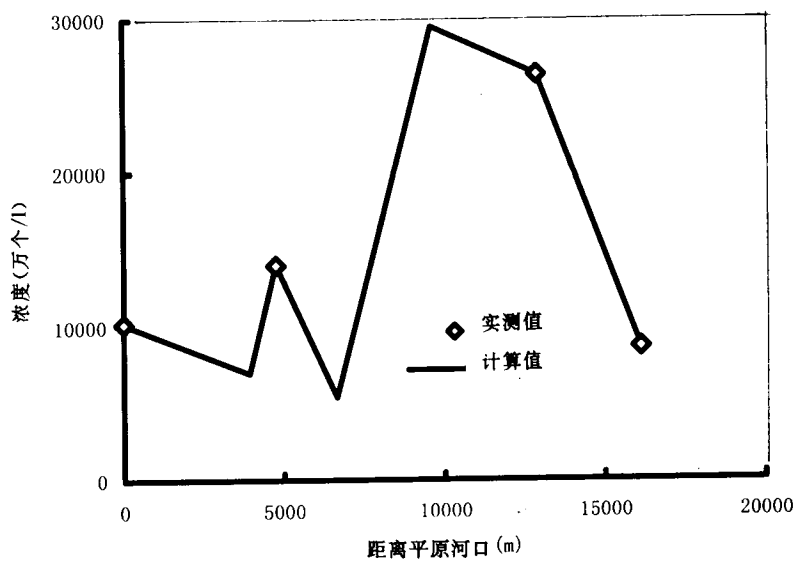


图 A6-13 COL I 模型参数估计

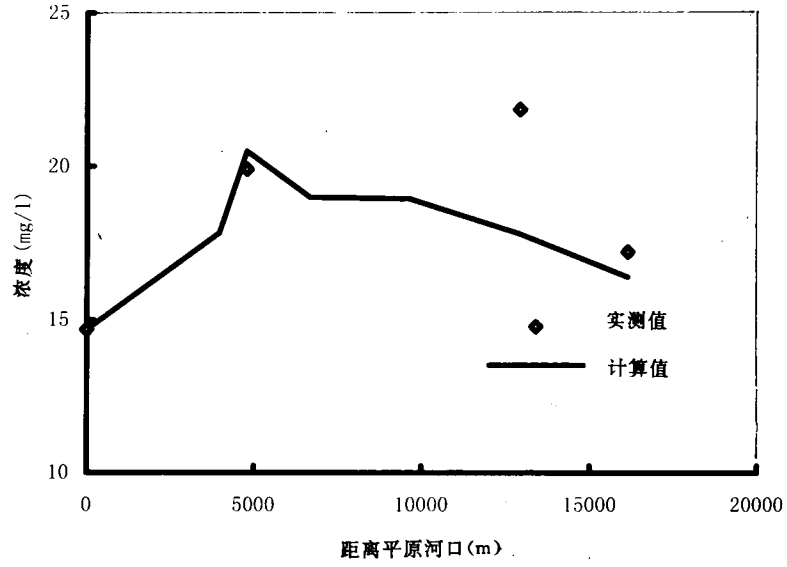


图 A6-10 COD 模型参数估计

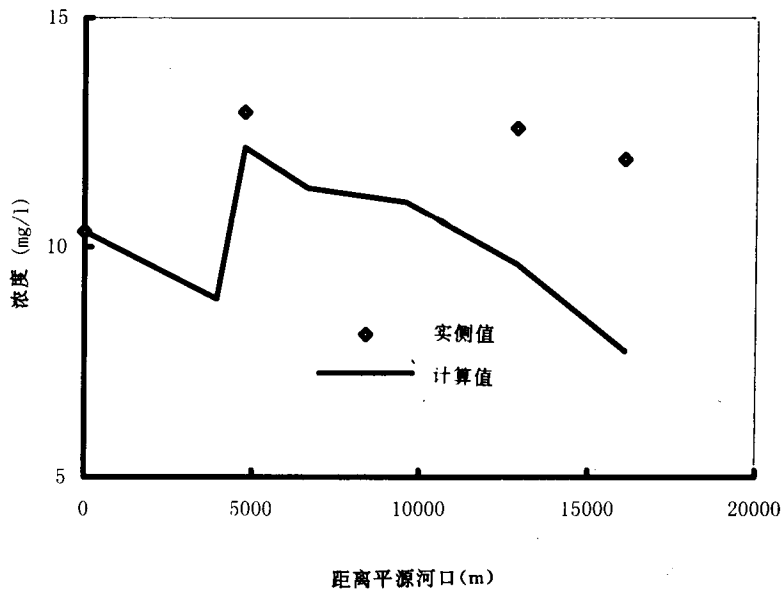


图 A6-11 TN 模型参数估计

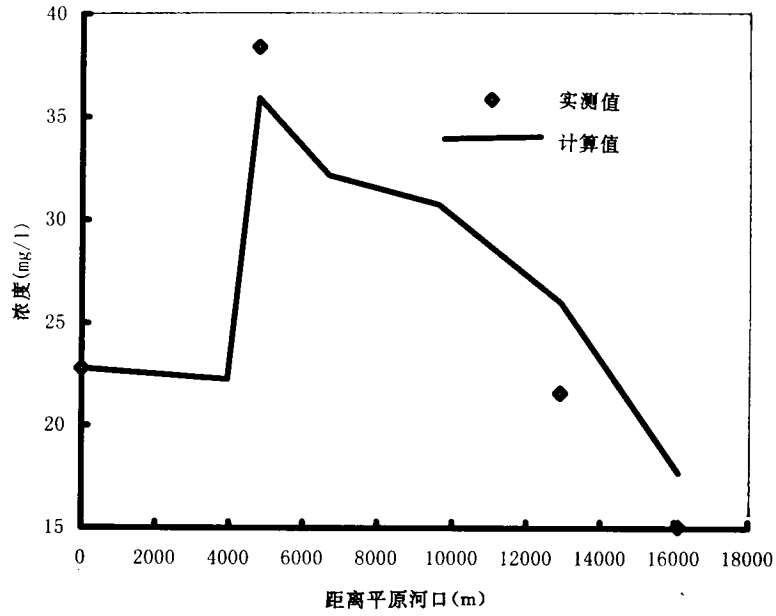


图 A6-16 BOD 模型验证

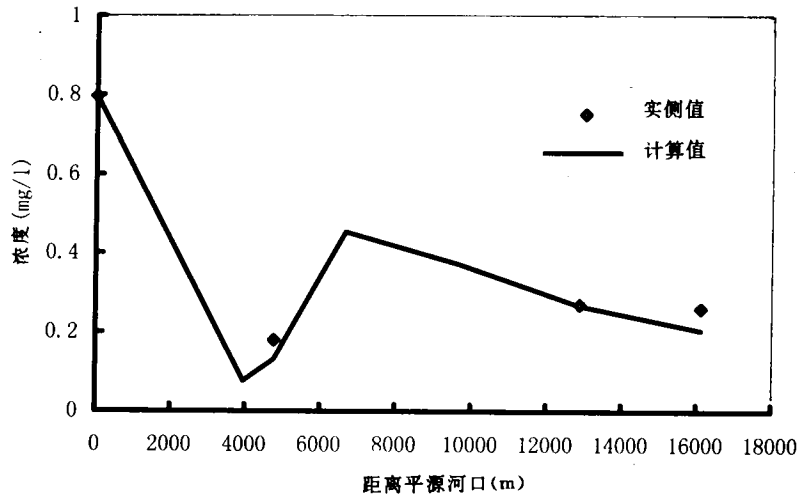


图 A6-17 DO 模型验证

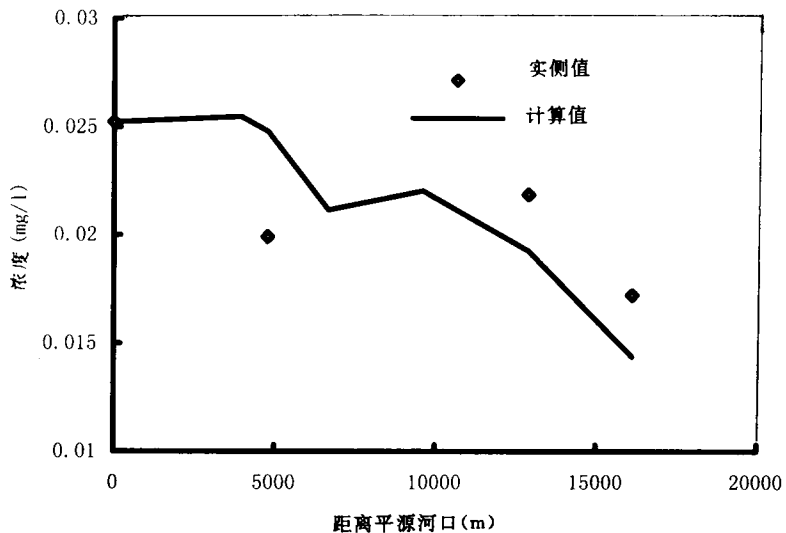


图 A6-14 TCu 模型参数估计

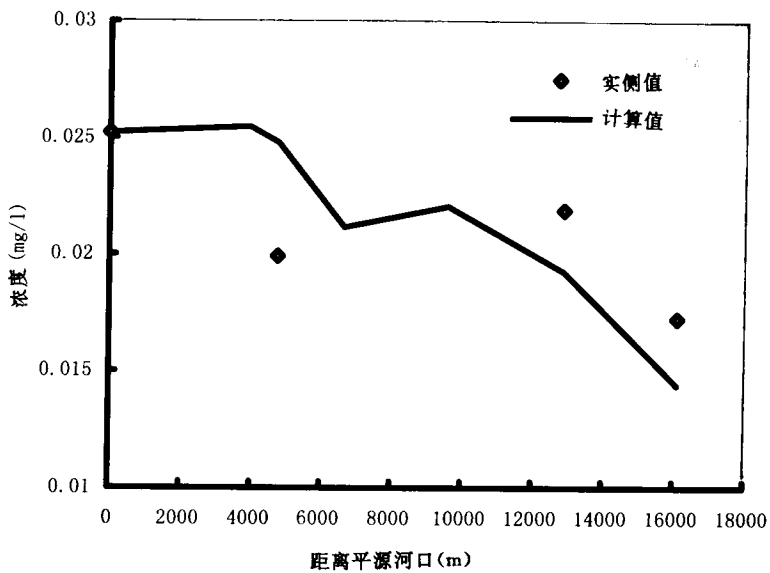


图 A6-15 TPb 模型参数估计



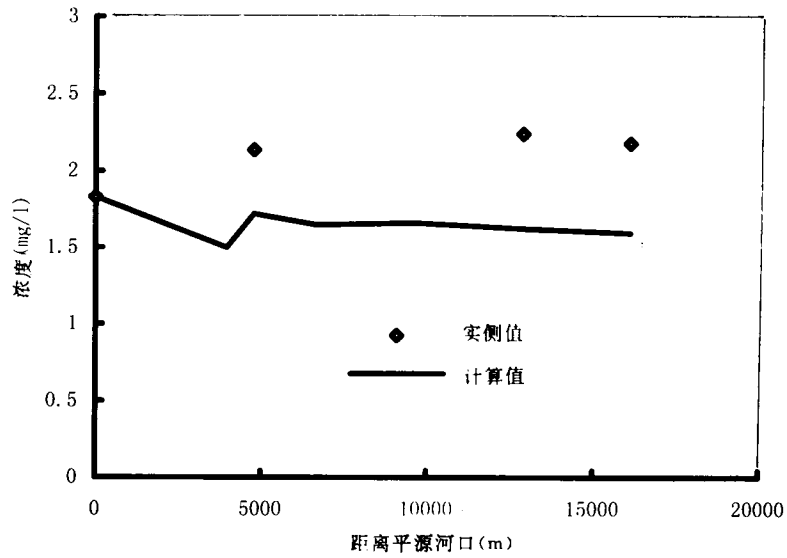


图 A6-20 TP 模型验证

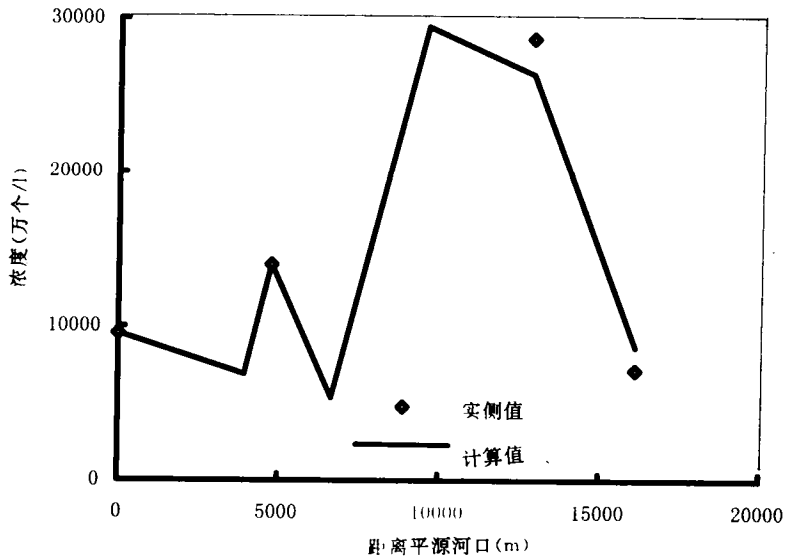


图 A6-21 COL I 模型验证

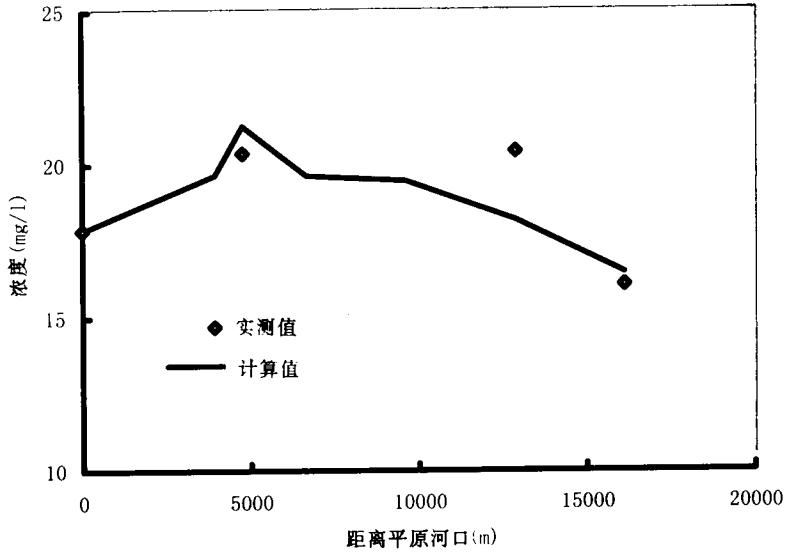


图 A6-18 COD 模型验证

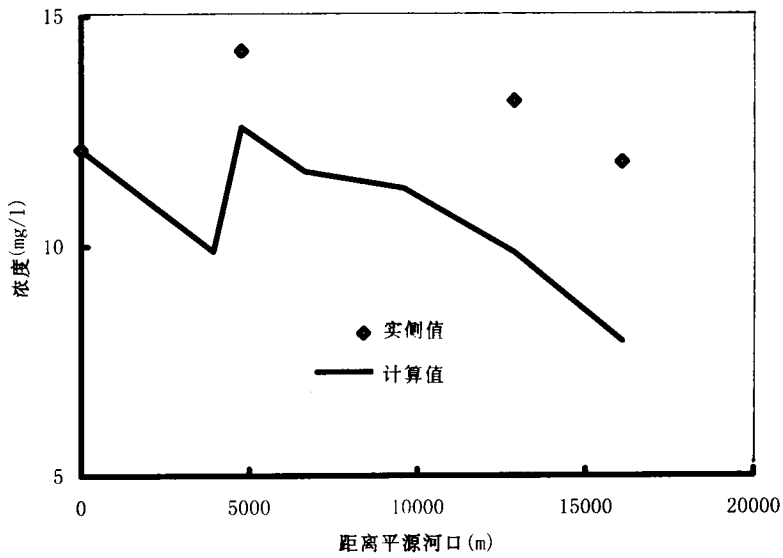


图 A6-19 TN 模型验证

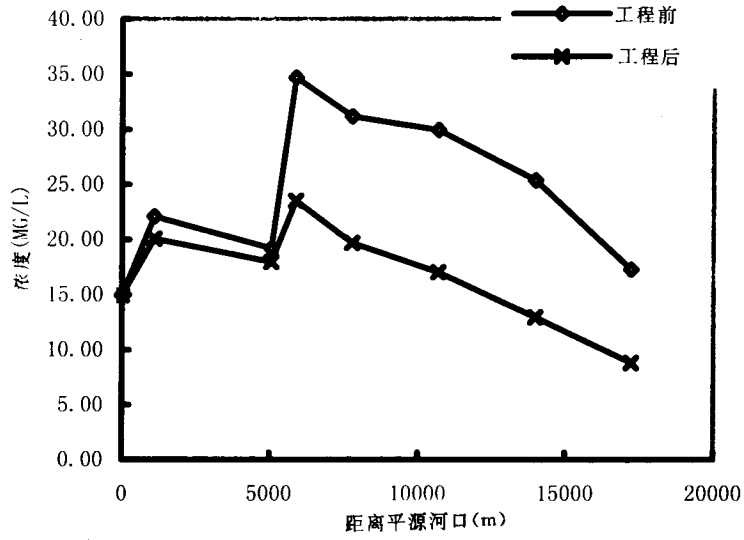


图 A6-24 工程前后 BOD 现状模拟

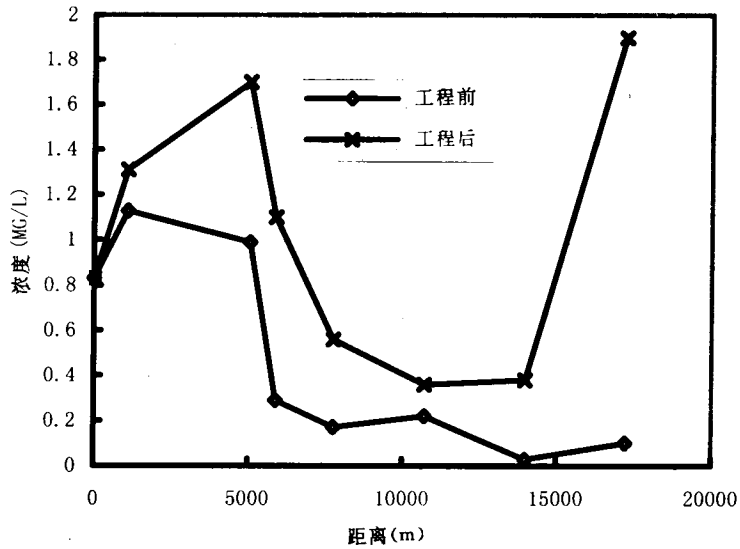


图 A6-25 工程前后 DO 现状模拟

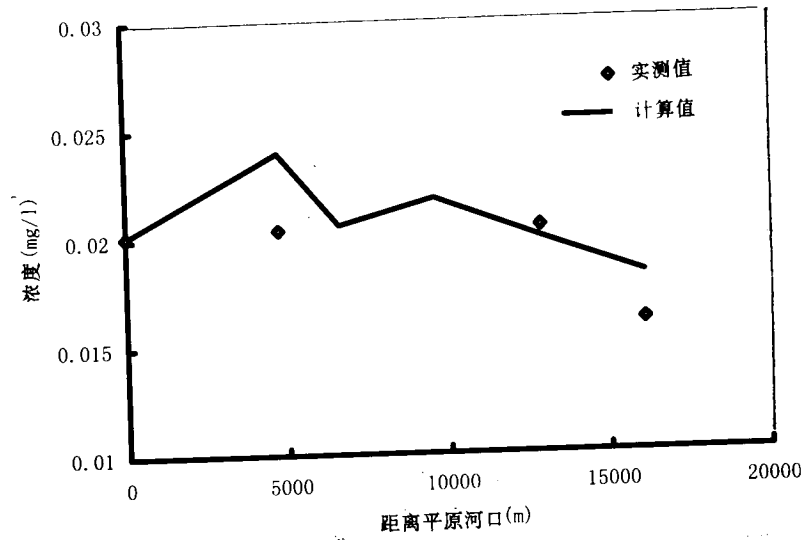


图 A6-22 TCu 模型验证

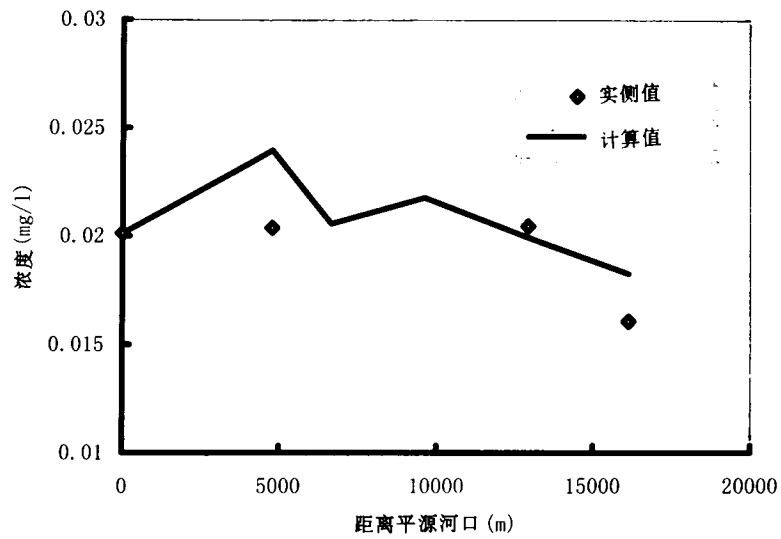


图 A6-23 TPb 模型验证

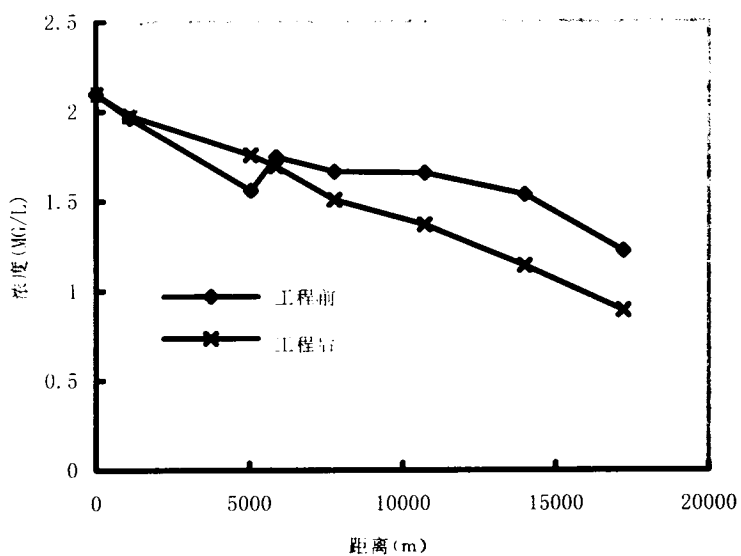


图 A6-28 工程前后 TP 现状模拟

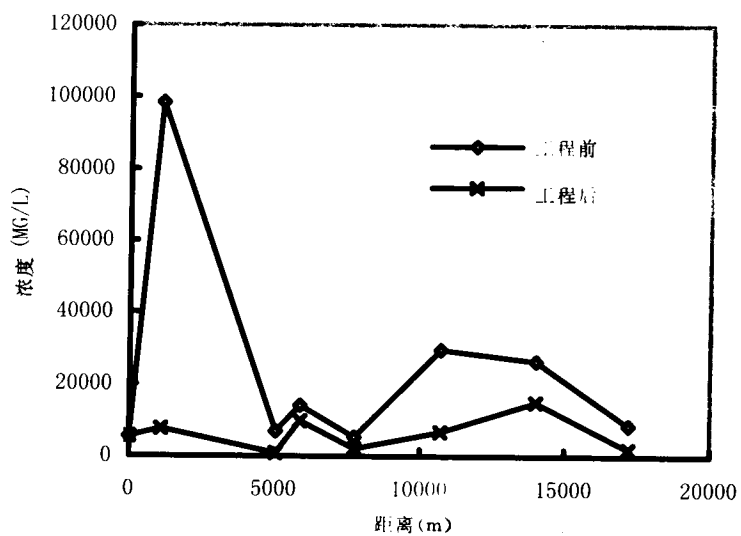


图 A6-29 工程前后 COL I 现状模拟

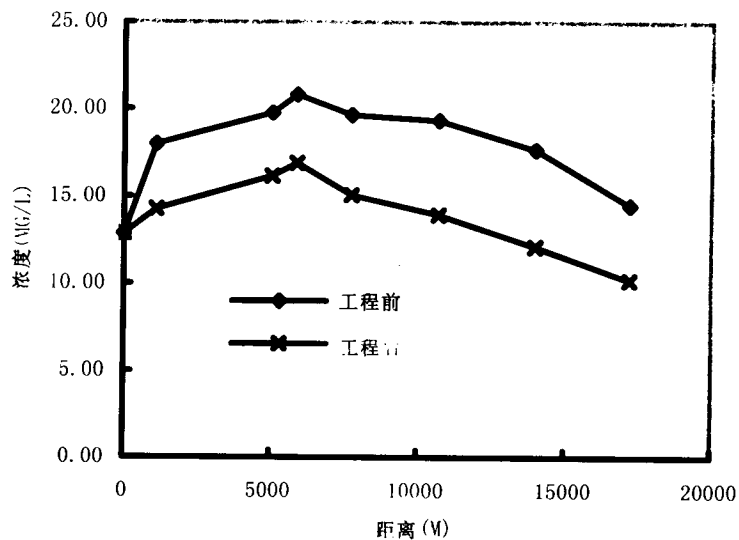


图 A6-26 工程前后 COD 现状模拟

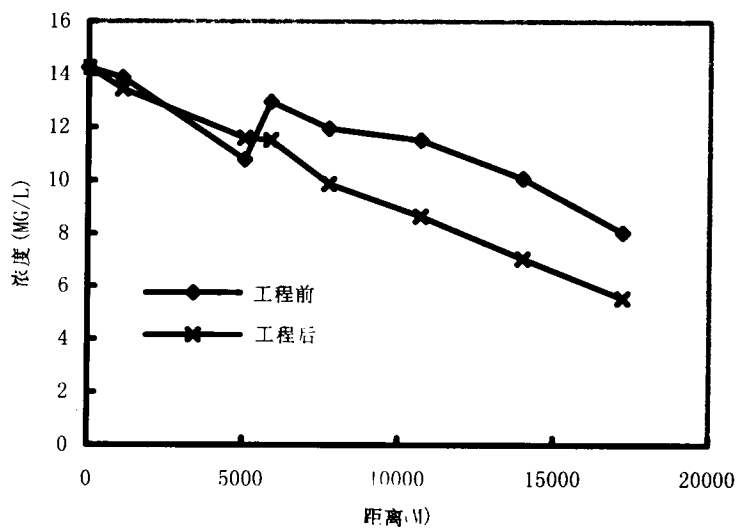


图 A6-27 工程前后 TN 现状模拟

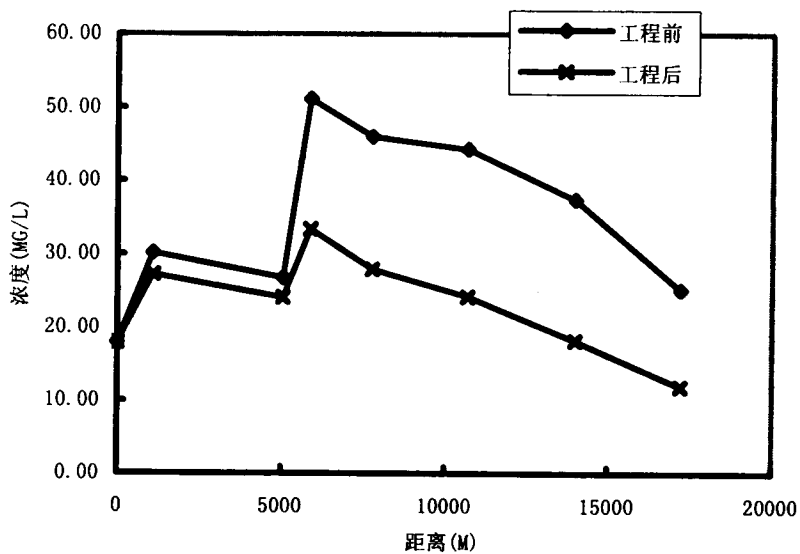


图 A6-32 工程前后 BOD 规划年模拟

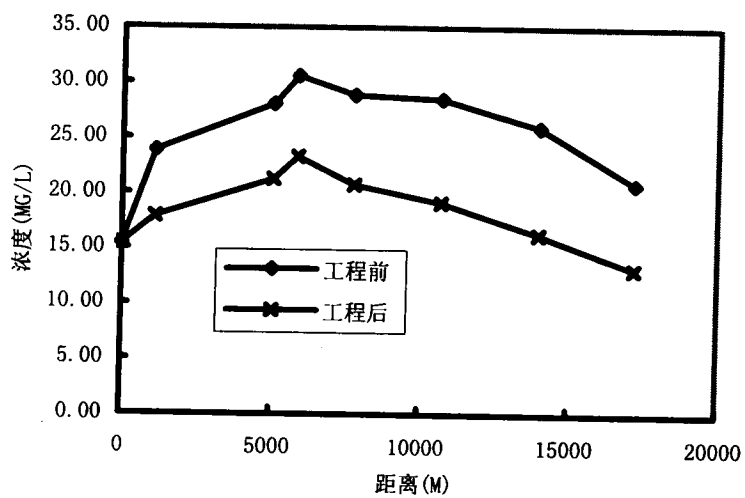


图 A6-33 工程前后 COD 规划年模拟

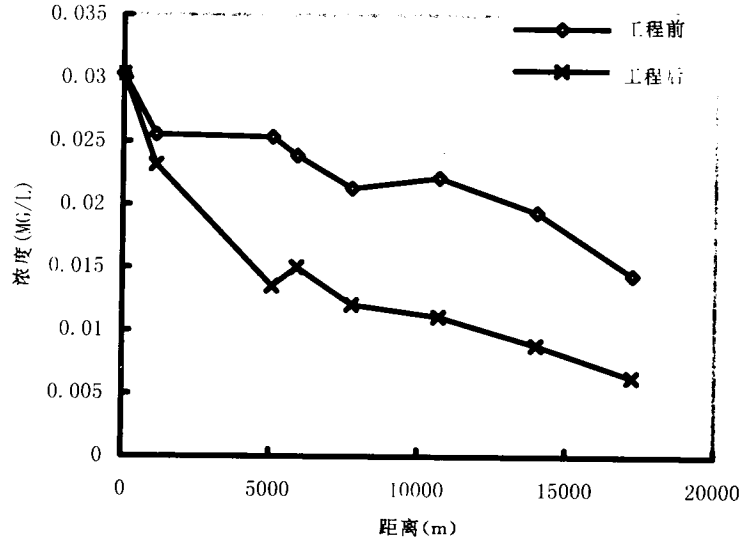


图 A6-30 工程前后 TCu 现状模拟

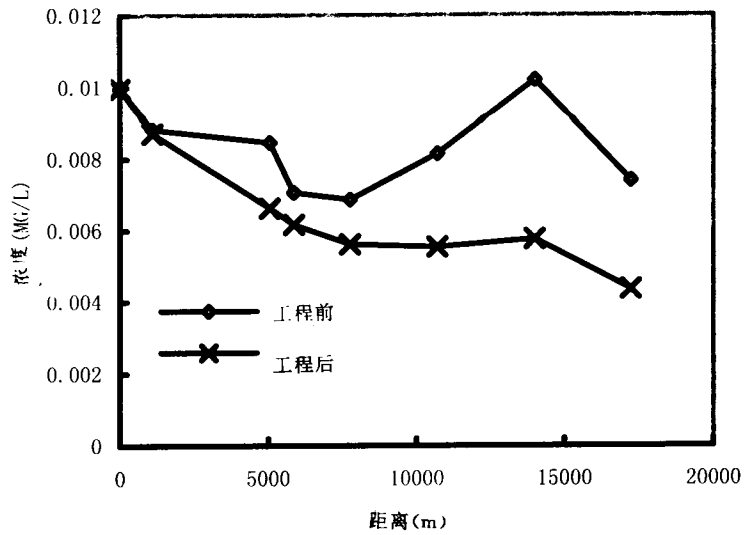


图 A6-31 工程前后 TPb 现状模拟



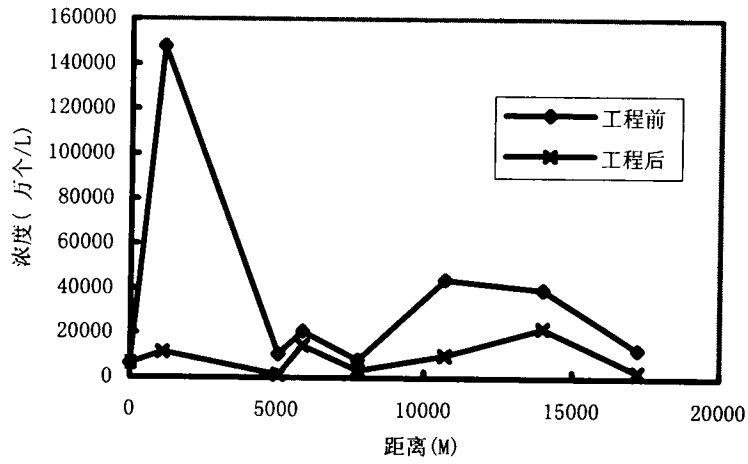


图 A6-36 工程前后 COLI 规划年模拟

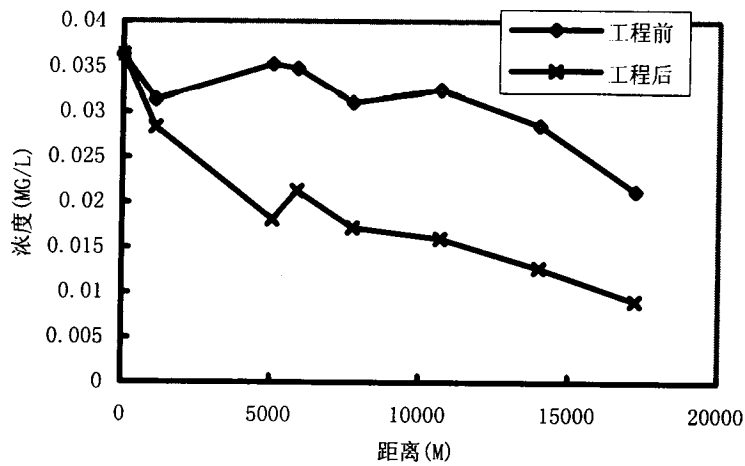


图 A6-37 工程前后 TCu 规划年模拟

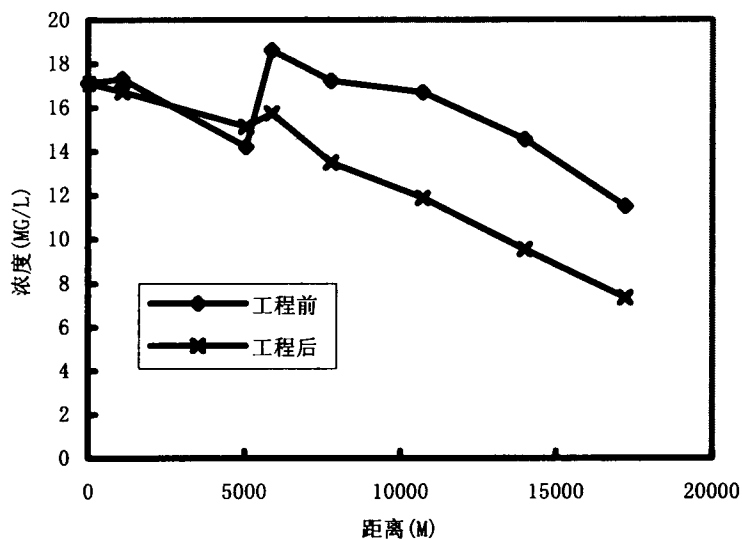


图 A6-34 工程前后 TN 规划年模拟

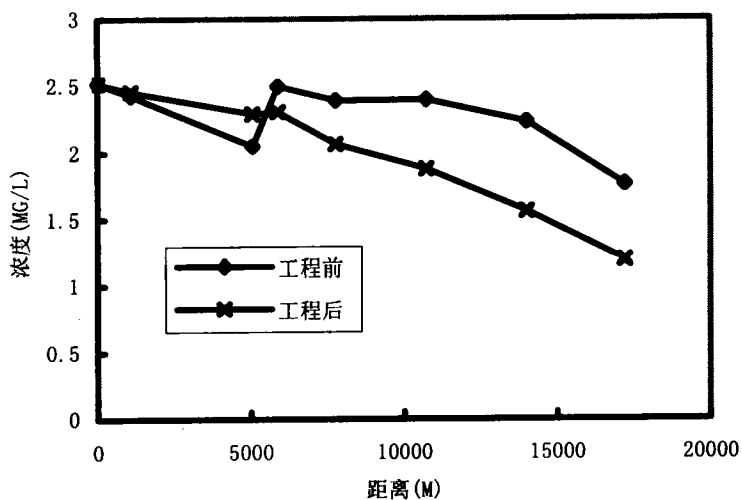


图 A6-35 工程前后 TP 规划年模拟

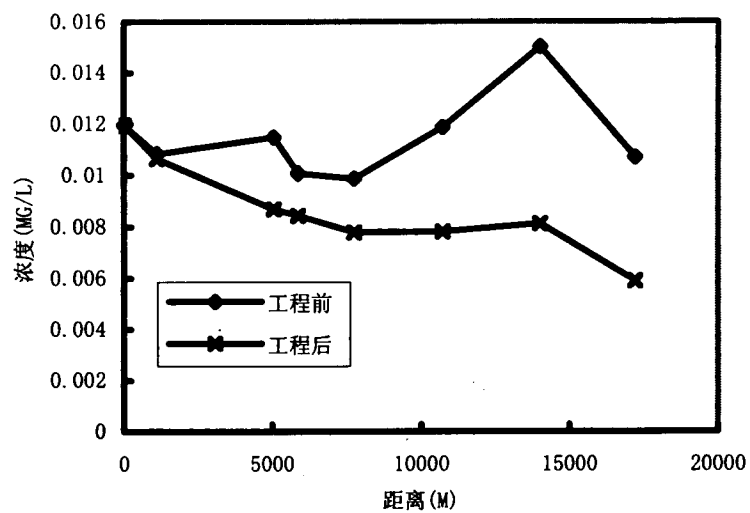


图 A6-38 工程前后 TPb 规划年模拟