

河道型水库岸边污染带特性分析

叶 闽

(长江水资源保护科学研究所,湖北 武汉 430051)

摘要: 大型水利枢纽工程的兴建,改变了河流水流条件,也影响了污染物在水体中的稀释、扩散、降解和转化过程,其岸边污染带的影响范围将发生变化。笔者通过对湖南衡阳水源污染事件发生时的水流条件、水质状况的分析,对事件发生的水域进行流场及浓度场模拟计算,研究了河道型水库与天然河流岸边污染带的变化特性,并对已通过环境影响评价,但又易被忽视而引起的环境问题,提出了一些初步看法与认识。

关键词: 河道型水库; 岸边污染带; 水质模型; 环境影响评价

中图分类号: X820.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-6929(2003)04-0008-04

An Analysis of Channel Reservoir Near Bank Pollution Belt

YE Min

(Research Institute for Yangtze River Water Resources Protection, Wuhan 430051, China)

Abstract: Construction of large water project can modify river flow regime, and thus cause an impact on the pollutant processes of dilution, dispersion, degradation and transformation accordingly, the extent of near bank pollution belt will also be modified. The authors analyze a water source pollution event occurred in a reservoir of Hengyang City, Hunan Province. The respective features of near bank pollution belts in both the natural channel before reservoir construction and the channel reservoir are studied through an analysis of the flow conditions and the water quality situation and a simulation of both the flow field and the pollutant concentration field at that time when the pollution event occurred. On the basis of the study, some initial views and knowledge are put forward about the environmental issues that are usually easy to be neglected in environmental impact assessment.

Key words: channel reservoir; near bank pollution belt; water quality model; environmental impact assessment

随着国民经济的飞速发展,以灌溉、发电、防洪、航运等多种功能为主的河道型水库遍布全国大、中、小河流,在社会主义现代化事业中发挥着巨大作用。河道型水库兼有河流与水库的共同特点,当水库蓄水时,其水流流速缓慢,推流作用变小,显水库特性;当水库泄水时,流速加大,紊动扩散增强,水域恢复天然河流的特性。

对于河道型水库水质状况的研究,特别是对城市江段岸边污染带的研究,人们往往非常重视排污口污染物入江后,污染物浓度对下游水质的影响,而对排污口上游是否会受到污水的影响,却研究甚少。现实中,对于河道型水库,由于受水文条件的变化影响,由排污口排出的高浓度污水不仅影响排污口下游水质,实际上还对上游的较大范围产生影响。如1999年3月中旬,湖南省衡阳市发生的两自来水厂水源污染事件,就

是由于这两自来水厂取水口下游200~300m处的污水上溯,从而导致了水源污染事件的发生。

笔者采用二维水动力学模拟和水质模拟的方法,通过对湖南衡阳水源污染事件发生时的水流条件、水质状况的分析,对事件发生的水域进行流场及浓度场模拟,并进行天然情况与兴建水利工程后河流岸边污染带的变化比较,以探讨河道型水库岸边污染的特性。

1 水源污染事件的调查分析

湖南衡阳的水源污染事件发生在湘江衡阳段城北某水厂取水口附近水域,在其取水口的下游200~300m处,有支流蒸水河和耒水河汇入,蒸水河水量较小,据蒸水神山头水文站统计,实测最小流量为0(采样时间为1957-07-21和1959-09-17),年平均流量为46.1 m³/s,年平均降水量1270.76 mm。当时湘江下游距衡阳城区62 km处正在新建航电枢纽。水库正常蓄水位50.0 m,死水位47.8 m,总库容4.57亿 m³,水库回水在衡阳以上,具体位置见图1。

在衡阳水源污染事件发生后,国家环保总局非常

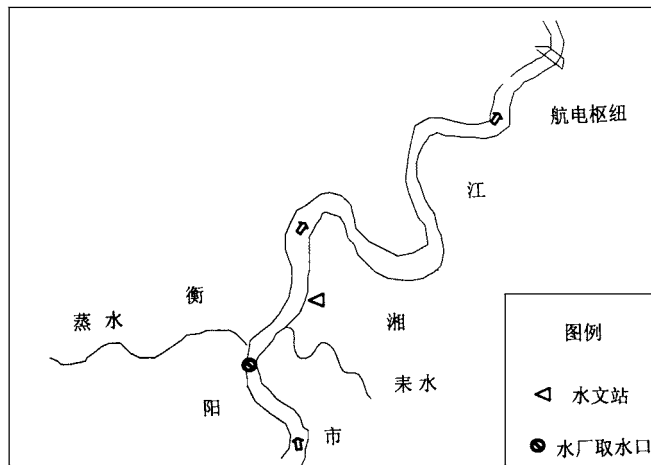


图 1 衡阳市水源污染事件发生敏感点位置示意图

Fig.1 Illustration of site sensitive to the water source pollution event

重视,委托长江流域水资源保护局对此次事件进行调查分析,找出造成事故的原因,提出建议,以便采取措施,避免再次发生此类污染事件。根据调查发现,支流蒸水河长期受上游一造纸厂排污及沿岸生活污水的污染影响,水质较差,基本为 III、IV 类水质;在长达 8 个月的干旱和蒸水河局部区域突降暴雨的情况下,沿河污染物被冲入江中,加大了蒸水河污染程度,相当于一大批排污口在排放污水;而此时湘江下游距衡阳城区 62 km 处的某航电枢纽一期工程刚建成,正在蓄水发电。湘江衡阳段正处于水库的回水区内。当污染严重的蒸水河水在暴雨作用下冲入江中时,由于回水的顶托,水体向下游的推流作用减小,物质的扩散能力增强,并在一定的入水冲量的影响下,污染物沿湘江向上扩散到自来水厂取水口水域,导致了水源污染事件的发生^[1]。从此次水污染事件的现象来看,造成自来水厂取水口水质污染的原因是由于蒸水出口的污水扩散到取水口水域而致。这一现象的发生不仅与蒸水下泄的污染负荷量有关,而且与河道水流条件的变化有很大的关系。

2 水源污染事件的数学模拟

当水源污染事故发生时,湘江干流的平均流速仅为 0.045 m/s,比天然情况的枯水期流速减小近 10 倍,湘江断面流量也仅为 140 m³/s;对此类型的受污染段水域水质模拟,必须结合流场模型来模拟该水域流速、流态的变化,然后再用传输扩散方程描述浓度场的变化特征,这样才能较真实地反映客观事实。笔者正是通过采用流场模型和水质模型的组合,对此次水源污染事故的现象进行定量描述的。

研究流场浓度场模型采用深度平均的 $K-\varepsilon$ 二方程。 $K-\varepsilon$ 二方程湍流模型是近几十年来被广泛应用

的一种湍流模型,通过实验和实际工作的经验,人们对深度平均的 $K-\varepsilon$ 方程作了许多修正和改进,目前有许多种不同形式的方程。笔者选用了一种形式较为简单的模型,它具有形式简单、编程方便、计算收敛速度快等优点,并能基本满足工程要求,是一种较好的工程模型^[2]。其基本方程形式为:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\rho u - \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho v - \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right] = S \quad (1)$$

式中, Γ 为扩散系数; u 为 x 方向的流速分量; v 为 y 方向的流速分量; ρ 为密度; S 为源项; ϕ 为相关变量。不同的 ϕ 对应不同的方程,如连续方程,水动力学 u, v 方程,能量 k 方程,耗散率 ε 方程及浓度 c 方程组成的方程组。

在数值计算中,采用 Poisson 方程进行网格划分,运用 SIMPLEC 方法解离散方程,进行速度场计算^[3]。具体表达式及求解过程略。

3 结果与讨论

3.1 流场模拟结果分析

流场模型的模拟计算分为大源渡工程蓄水和天然河流情况 2 种,计算域范围:上边界为自来水厂上游 200 m,下边界为蒸水入江口下游 2 000 m。计算空间步长 $\Delta x = 60$ m, $\Delta y = 30$ m。计算时段选定 1999 - 03 - 10,衡阳水文站实测流量 140 m³/s,水位 47.12 m;天然情况同流量时水位取 43.17 m。

流场计算结果见图 2,3。从流线图(图 2,3)可见,受蒸水出流的影响,在蒸水出口处,干流的流速方向发生了变化,横向流速分量增大,纵向流速分量减小。通过将两流线图进行比较发现,在蒸水口附近,水源污染事件发生的水流方向较天然情况流速方向偏转较明

显,说明在纵向流速十分小的情况下,横向流速分量的作用明显体现出来。因此也说明大源渡工程蓄水改变了湘江衡阳段的水流条件。

衡阳水文站的实测资料也可反映这一点,如衡阳站1999年3月的平均流速为0.045 m/s,而在工程修建以前,天然情况同流量时平均流速为0.34 m/s,两者相比相差近10倍。因此,水利工程的兴建,改变了河流的水流条件,河流流速减小,水深加大,使得推流与紊动扩散的对比关系发生显著变化,造成推流效应减少、物质扩散作用增强。

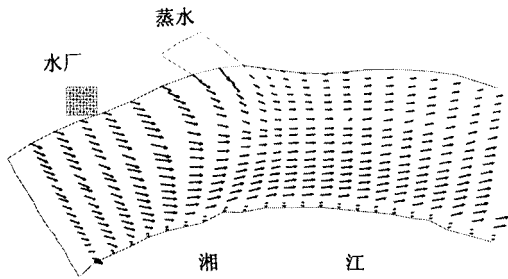


图2 污染事件发生时流场分布模拟计算图

Fig.2 Computed flow field at time of pollution situation

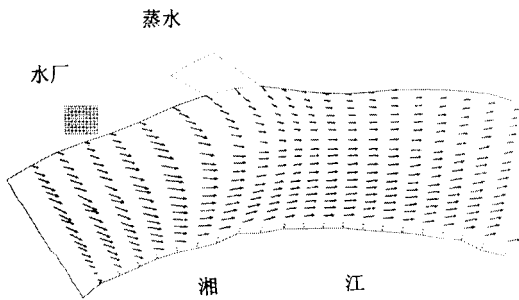


图3 天然情况水流流场分布模拟计算图

Fig.3 Computed flow field at time of normal situation

3.2 水质模型结果分析

根据水流模型计算的流速分布,进入二维浓度场方程进行计算。水质模型的计算域范围和计算条件与流场计算相同,计算的污染指标为高锰酸盐指数。

计算方案为考虑水污染事件发生时与天然情况两种水文条件下,自来水厂与蒸水口附近水域水质变化情况。水质模拟的计算结果显示在图4,5中,图4,5中的影响范围按国家地表水环境质量标准五级水评价标准来确定。

图4,5表明,受水库蓄水的影响,蒸水口出流向湘江上游扩散的范围比天然情况大得多,在同等流量条件下,蒸水口的污染物向湘江上游扩散的范围是天然

情况的2~3倍。按国家地面水环境质量标准,在蒸水出口上游的岸边水域中,超过V类标准的水污染影响的距离为370 m,超过IV类标准的为400 m,超过III类标准的为430 m,这些超标浓度的水体已处在水厂水源取水口的水域范围内。这些与实际情况是相符的。

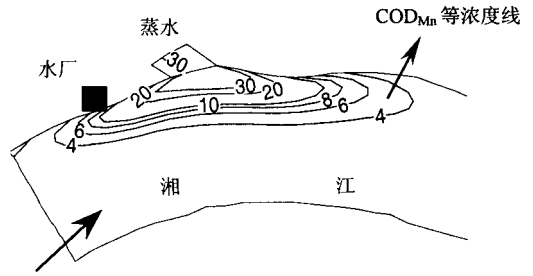


图4 水源污染事件发生时高锰酸盐指数浓度(mg/L)分布计算图

Fig.4 Computed COD_{Mn} isor concentration (mg/L) line at time of pollution situation

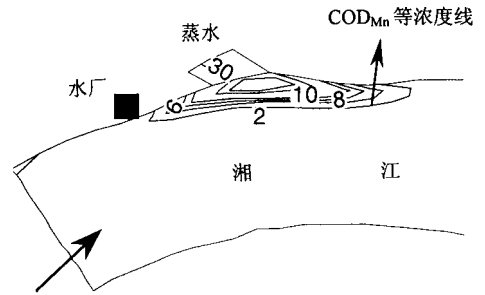


图5 天然情况高锰酸盐指数浓度(mg/L)分布计算图

Fig.5 Computed COD_{Mn} isor concentration (mg/L) line at time of normal situation

由此可见,水利枢纽工程的兴建,改变了河流的水流条件,对于岸边水域,特别是城市江段的岸边水域,其岸边污染带范围有所扩大,而且还可能影响排污口上游一定范围内的水域,造成污染加重。

4 结论

a. 水利枢纽工程的兴建,使河流的水文与水力学条件发生了改变,流速减缓,水深加大,河流的推流与紊动扩散作用对比关系将发生显著变化。对于河道型水库,受工程蓄水及局部回流作用,岸边污染带的影响范围扩大,而且还影响到排污口上游的一定水域范围。

b. 通过对衡阳水源污染事件发生的原因分析表明,对于河道型水库回水区中排污口的污水排放,不仅要考虑污染物浓度对下游水质的影响,而且对其上游的影响也不容忽视。特别是在工程的可行性研究中,

应该对水环境的影响进行充分论证,注意沿河的一些在污水排口上游附近已设置的取水口的水质条件是否能得到保证。

c. 加强对河道型水库饮用水源地保护的研究工作,加强对城市江段中饮用水源取水口和城市废污水排污口上下距离不远的河段的排放口排出的污染物的扩散范围进行研究,切实保护饮用水源不受污染,以避免水源污染事故的再次发生。

参考文献:

- [1] 袁弘任,叶闽,敖良桂,等,湖南衡阳城北自来水厂水源污染事件调查[R].武汉:长江流域水资源保护局,1999.
- [2] Guo Qing-chao, Han Qi-wei. The numerical simulation of two dimensional open channel turbulence[J]. Journal of Hydrodynamics(ser. B), 1993, (2): 89 - 97.
- [3] Li Ke-feng, Luo Lin, Li Jia. Distributions of flow rate and contaminant in river of channel diversion[J]. Journal of Hydrodynamics(ser. B), 1993, (2): 69 - 75.