

水库排沙期间下泄水流水质与含沙量的相关关系

陈兴茹,白音包力皋

(中国水利水电科学研究院水力学所,北京 100038)

摘要 :针对多泥沙水库实行人工排沙时含沙量的短时急剧变化可能对生态环境带来负面影响这一问题,以日本宇奈月水库和中国小浪底水库为研究对象,通过分析这 2 座水库排沙过程中含沙量与反映营养盐、耗氧污染物的水质指标之间的相关关系,得出了含沙量与各水质指标相关性良好的结论,并揭示了水库排沙期间含沙量对部分水质指标影响的拐点效应,可供我国今后制定兼顾排沙效率和生态环境保护的调水调沙方案提供参考。

关键词 :水库排沙;水质;含沙量;宇奈月水库;小浪底水库

中图分类号 :X824 **文献标志码** :A **文章编号** :1006-7647(2012)06-0018-04

Correlation between water quality and sediment concentration of releasing flows during sediment flushing of reservoirs//
CHEN Xing-ru, Baiyinbaoligao (*Department of Hydraulics, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China*)

Abstract :With regard to the negative impact of rapid change of sediment concentration in reservoirs on the eco-environment induced by artificial sediment flushing, the reservoirs in two famous rivers with much sediment concentration in China and Japan were selected as the case studies. The correlation between the sediment concentration and the water quality indices reflecting nutrition salt and oxygen-consuming pollutant for the two reservoirs during sediment flushing was analyzed. A conclusion is drawn that the relation between the sediment concentration and the water quality indices is satisfactory. The inflexion point effects of the sediment concentration on part of water quality indices during the sediment flushing of the reservoirs are revealed. It can provide references for the preparation of sediment flushing schemes considering the efficiency of sediment flushing and the protection of eco-environment.

Key words :sediment flushing; water quality; sediment concentration; Unazuki Reservoir; Xiaolangdi Reservoir

对多泥沙水库进行人为定期排沙,能够延长水库寿命、平衡河道内的水沙关系。水库排沙大致可分为水力排沙和机械排沙 2 种。其中,水力排沙是经济、高效的排沙方法,又可分为水库排空排沙、异重流排沙和浑水排沙等。但是,水库水力排沙会使下游河道的水流、泥沙、水质等指标发生较大变化,在一定程度上影响原有生态环境,如冲刷河床、破坏原有土著物种及其栖息地、改变生态系统的结构组成等。从国外相关研究看,水库排沙对河流生态的影响主要集中在鱼类生存方面,水体内泥沙含量高且持续时间长,会堵塞鱼鳃,并降低其自我清除腮内泥沙的能力,水环境的变化可能会降低水体内鱼类可摄取的氧气量,重金属含量过高还会使其中毒^[1-9],这些原因都会造成鱼类窒息昏迷或死亡。目前国内在该领域的研究尚处于起步阶段,已有学者

认识到此问题研究的必要性^[10]。

从目前的研究看,评价排沙引起水环境变化的指标主要集中在含沙量、颗粒级配变化以及 DO、COD_{Cr}、TN、TP、NH₄⁺、重金属等指标。水库排沙引起水环境改变的因素较多,且彼此之间相互作用,因此,水库排沙引起水环境变化的机理尚无法确定。鉴于水库排沙引起水环境变化研究的复杂性,本文以中日典型多沙水库(日本宇奈月水库和中国小浪底水库)为研究对象,结合相关资料和原型观测数据,初步分析这 2 座水库排沙期间含沙量与部分水质指标之间的相关性,验证水库高含沙水流下泄是下游河流水环境变化的主导因子,为我国制定兼顾工程经济效益、社会效益和生态效益的水库调水调沙方案提供参考。

1 日本宇奈月水库排沙期下泄水流水质与含沙量的相关关系

1.1 黑部川排沙概况

黑部川位于日本北陆地区,是国家一级河流,如图 1 所示,其最大特点是河流较陡而水沙灾害较多,具有“泛滥河流”之称。目前,在黑部川流域已经修建了黑部水库、出平水库、宇奈月水库等几座水库。其中,黑部水库大坝坝高 186 m,是日本最高的大坝。下游出平水库是日本第一座设置排沙孔的水库,从 1986 年开始实施排空排沙。2001 年,在出平水库下游又修建了宇奈月水库,并于同年开始出平水库和宇奈月水库联合排沙。



图 1 日本黑部川流域

为了评价出平水库和宇奈月水库联合排沙对下游河流及海洋生态环境的不利影响,自 2002 年起,在排沙前、排沙中、排沙后都进行环境调查,调查内容除了含沙量(SS)外,还有水温、pH、水质项目(BOD、COD_{Cr}、DO 等)、水生动植物项目(鱼类、底栖生物、附着藻类等)以及底泥物理化学特性。调查位置不仅包括水库下游河流,也包括河口以及海岸。

1.2 数据来源

数据来源于日本官方网站公布的黑部川流域宇奈月水库排沙期间监测的各项指标调查数据,详见文献[11]。

1.3 水质指标的选取

根据国外已有研究成果,初步认为对以鱼类为

指示生物的水生态系统影响的主要因子为 DO、SS、COD_{Cr} 以及各类营养盐、重金属等。限于目前的研究水平及数据的可获取性,仅关注宇奈月水库排沙期间下泄水流 COD_{Cr}、BOD、TN、TP 等水质指标,分析它们与含沙量变化之间的相关关系。

1.4 排沙期间水库下泄水流水质与含沙量的相关关系

当含沙量较低时水质指标变幅较小,只有当含沙量较高时水质指标的变动才会剧烈。对 2002—2009 年宇奈月水库排沙过程中实时监测的水质数据与含沙量的相关关系进行分析,如图 2 所示,结果表明各年排沙前后宇奈月水库下泄水流主要水质指标与含沙量有明显的相关性,各拟合曲线的相关系数分别为 0.929、0.623、0.833、0.726。随着含沙量的

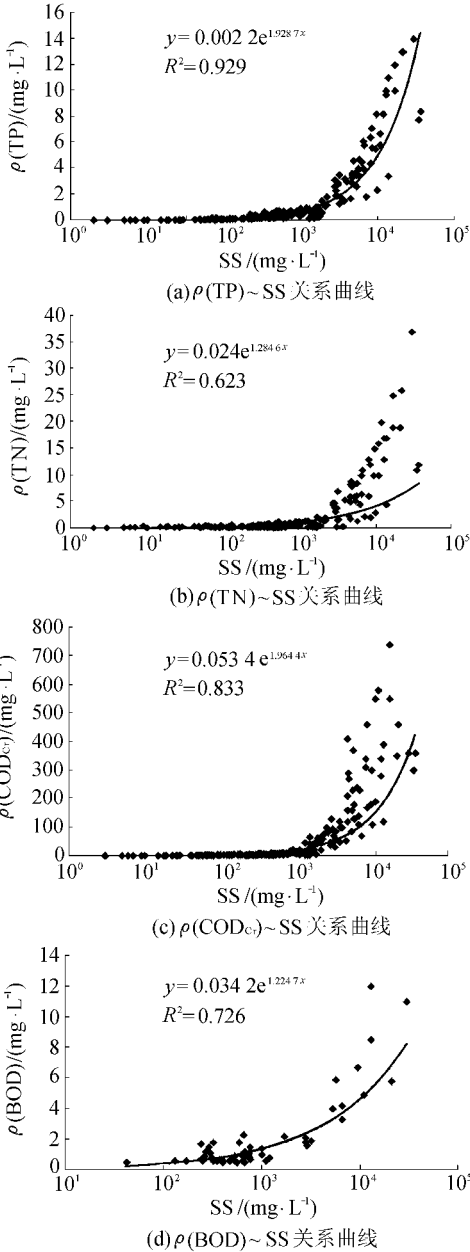


图 2 2002—2009 年宇奈月水库排沙期间水质与含沙量的相关关系

增加,水质指标的变化曲线都呈现了拐点,即当含沙量小于 2000 mg/L 时,随着含沙量的增加,水质指标增加不明显;但当含沙量大于 2000 mg/L 时,水质指标增加较明显,且监测值分布散乱,这表明含沙量达到一定浓度时会急剧加重水质的恶化。

当含沙量达到 2 000 mg/L 时,水质指标监测值急剧增大且分布散乱,其原因是:日本水库排沙多在行洪期进行,大量面源污染物入库;多库联合调度的水库排沙方式使宇奈月水库下泄水流所含污染物成分来源较复杂,既有面源污染携带也有上游水库淤积污染物受扰动释放进入水体,多库联合排沙时污染物在复杂的水沙条件作用下发生了复杂的生化反应。

2 中国小浪底水库调水调沙期间下泄水流水质与含沙量的相关关系

2.1 黄河调水调沙概况

小浪底水库位于黄河中游最后一段峡谷出口,坝高 154 m,坝址控制面积为 69.42 万 km²,占黄河流域面积的 92.3%,水库总库容为 126.5 亿 m³,长期有效库容为 51 亿 m³,是一座具有防洪、防凌、减淤、供水和发电等综合效益的特大型控制性工程。小浪底水库建成后,为了抑制下游河道淤积升高和扩大下游河道的行洪能力,自 2002 年黄河每年都利用汛期弃水或者汛期洪水进行至少 1 次调水调沙,对重塑河床形态、减轻水库淤积、补充下游湿地及河口生态需水等起到了积极作用。下游河道主槽最小过流能力由 2002 年汛前的 1 800 m³/s 提高到 2010 年的 4 000 m³/s,有效地改善了下游河道的泥沙淤积状况,提高了河道行洪能力。此外,2010 年实施调水调沙后,刁口河流路断流 34 年后全线过流,湿地生态系统淡水资源得到有效补给。因此,小浪底水库建设运行以来,在保障黄河中下游人民生命财产安全、促进经济社会发展和防止黄河下游断流方面起到了重要作用。

调水调沙采取多库联合调度的运行方式,主要涉及水库包括位于黄河中游的万家寨水库、三门峡水库和位于下游的小浪底水库和西霞院水库。小浪底水库基本采取了异重流排沙方式,位于其上游的万家寨水库和三门峡水库为小浪底水库异重流排沙提供了水源和泥沙条件。2004—2010 年黄河调水调沙调度运行方式如下:2004 年三门峡、万家寨水库联合调度;2006 年三门峡、小浪底水库联合调度;2009 年万家寨、三门峡、小浪底、西霞院水库联合调度;2005 年、2007 年、2008 年、2010 年万家寨、三门峡、小浪底水库联合调度。

2.2 数据获取

a. 水样采集。水样采集时间为 2009 年 6 月 18 日至 7 月 5 日和 2010 年 6 月 28 日至 7 月 5 日。采集地点为黄河小浪底水库坝下约 3 km 处。采集频率:放清水期间 1 次/d,排沙期间每 2 h 采样 1 次。

b. 监测分析方法。水质指标采用美国 HACH 公司的水质测定仪测得。根据小浪底水库水质特征和黄河流域污染特征,选择 COD_{Cr}、pH、DO、TN、TP、水温、Cu、Pb、Zn、Cd、Cr 等指标作为监测因子。样品的采集、分析方法均满足国家相关标准。

2.3 排沙期间水库下泄水流水质与含沙量的相关关系

2009—2010 年小浪底水库调水调沙期间含沙量及部分水质指标的监测结果如图 3 所示。由图 3 可

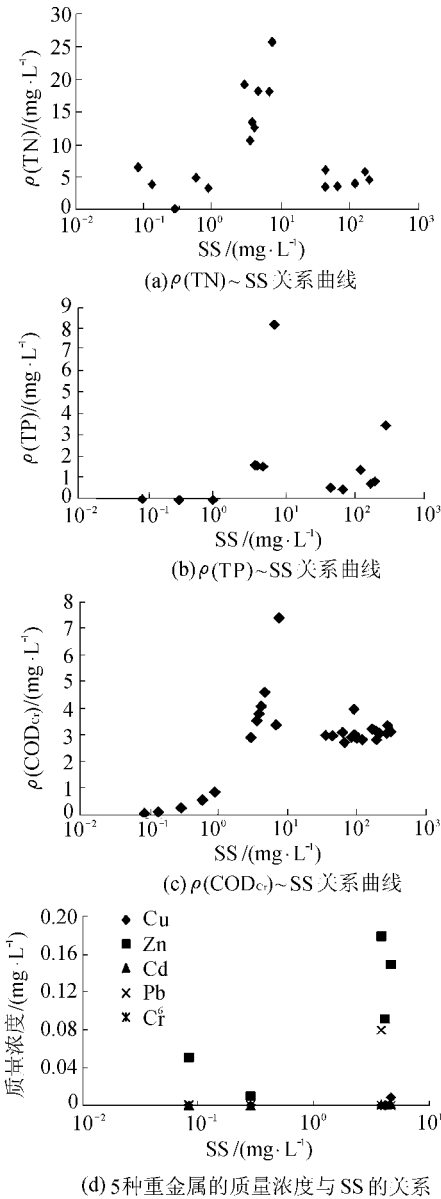


图 3 2009—2010 年小浪底水库下泄水流水质与含沙量的关系

以看出 ,TN ,TP ,COD_{Cr} 的质量浓度在排沙期间增加幅度较大 ,重金属在排沙前几乎检测不出 ,虽在排沙期间有所突增 ,但量值很小 ,不是水质恶化的主导因子。

随着含沙量的增加 ,水质指标的变化过程都呈现了拐点 ,即当含沙量约小于 10 mg/L 时 ,水质指标随含沙量的增加而增加 ;当含沙量大于 10 mg/L 时 ,水质指标随含沙量的增加而降低。

以 2009 年为例计算小浪底水库排沙期间含沙量与 $\rho(TN)$, $\rho(TP)$, $\rho(COD_{Cr})$ 的相关系数 ,结果分别为 0.908 ,0.965 和 0.820。由此可见 ,含沙量与 TN ,TP ,COD_{Cr} 这 3 项指标之间相关性良好 ,水库排沙过程中含沙量的变化会引起水质指标的变化。

3 结 语

通过分析国内外典型多泥沙水库调水调沙期间含沙量与部分水质指标的相关关系发现 :①调水调沙期间水库下泄水流水质 COD_{Cr} ,BOD ,TN ,TP 质量浓度均增加明显 ;②调水调沙期间水库下泄水流部分水质指标 COD_{Cr} ,TN ,TP 均与下泄水流含沙量相关性良好 ;③国内外水库排沙期间水质指标随含沙量的变化过程不同 ,但都出现了拐点。日本宇奈月水库排沙含沙量大于 2 000 mg/L 时水质恶化明显 ,我国黄河小浪底水库排沙含沙量大于 10 mg/L 时水质恶化明显。

未来仍需要加强由调水调沙引起的水环境变化的长期监测 ,并开展敏感物种、关键物种生活习性和适应生产环境急速改变能力的研究 ,以及多库联合调度引起库底污染物迁移转化、面源污染物随洪水入库等的观测、试验和计算研究 ,掌握调水调沙引起水生态环境变化的机理 ,为减少水库调水调沙对生态环境的负面影响提供技术支持。

参考文献 :

[1] MERLE G. Some environmental aspects of flushing[C]// International Workshop and Symposium on Reservoir Sedimentation Management. Tokyo : Japan Water Resources Environment Technology Center , 2000 :195-202.

[2] STAUB E. Effects of sediment flushing on fish and invertebrates in Swiss Alpine Rivers[C]// International Workshop and Symposium on Reservoir Sedimentation Management. Tokyo : Japan Water Resources Environment Technology Center 2000 :185-194.

[3] NEWCOMBE C P , MACDONALD D D. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems[J]. North American Journal of Fishers Management , 1991 ,11 :72-82.

[4] NEWCOMBE C P , JENSEN J O T. Channel suspended

sediment and fisheries : a synthesis for quantitative assessment of risk and impact[J]. North American Journal of Fisheries Management , 1996 ,16 :693-727.

[5] 木下笃彦 , 水山高久 , 藤田正治 , 等 . ヒル谷における人为的排砂のイワナへのインパクト[C]//河川技术论文集 . 东京 :日本土木学会 , 2001 :363-368.

[6] 木下笃彦 , 藤田正治 , 田川正朋 , 等 . 排砂に伴う浊りが鱼类に与える生理的影响とその评化法[J]. 砂防学会 谄 , 2005 58(3) :34-43.

[7] 村冈敬子 , 角哲也 . 高浓度の浊りがアユに与える影响について[C]//第 25 回土木学会関東支部技术研究报告会论文集 . 东京 :日本土木学会 , 1998 :1048-1049.

[8] 角哲也 , 白音包力皋 . 宇奈月ダムフラッシング排砂時の细粒土砂流下特性[C]//水工学论文集 . 东京 :日本土木学会 , 2006 :913-918.

[9] 角哲也 . ダム貯水池からの排砂と排砂時の放流水质管理[J]. ダム技术 , 2000 ,10(127) :56-60.

[10] 白音包力皋 , 角哲也 . 水库排沙对下游河流鱼类的影响[J]. 天津大学学报 , 2008 41(9) :30-38.

[11] 黑部河川事务所 . 黑部川排沙情况通报[EB/OL]. [2009-07-12]. <http://www.kurobe.go.jp/haisa/haisa.cgi>.

(收稿日期 2011-07-20 编辑 骆超)

· 简讯 ·

首届中国湖泊论坛在南京举办

由中国科学技术协会主办 ,江苏省科学技术协会、江苏省水利厅、淮安市人民政府等单位共同承办的首届中国湖泊论坛于 2011 年 12 月 10—11 日在南京举办。本届论坛的主题是“ 湖泊健康与可持续发展 ” ,来自全国的 800 多名水利湖泊研究的学者和工作人员参加了本届论坛 ,对湖泊资源利用、湖泊生态保护、流域综合治理及水科技创新等开展跨学科、跨行业、综合性的交流和研讨。主论坛上 ,国家自然科学基金委员会主任陈宜瑜围绕“ 强化湖泊分类管理促进湖泊生命健康 ”这个主题 ,从湖泊富营养化、湖泊生态退化、生物多样性减少等角度剖析了中国湖泊面临的问题 ,并提出生态系统重建等解决方案 ;中国环境科学研究院院长孟伟从城市化发展对湖泊的污染和综合治理措施等角度阐述了国内水与污染的问题 ;中国水利水电科学研究院水资源研究所所长王浩作了“ 内陆河流典型湖泊生态水文机理与生态需水 ”的报告。4 个分论坛的主题分别为湖泊保护与资源利用、湖泊流域发展与综合治理、湖泊水环境治理与生态保护、水科技创新与产业转型升级。与会人士对湖泊健康与可持续发展的研究成果进行了交流和探究 ,最终达成共识并发表《南京宣言》。

(本刊编辑部供稿)