

黄河泥沙对水质参数影响的研究

李怡庭¹, 张曙光², 李淑贞²

(1. 水利部水文局, 北京 100053; 2. 黄河流域水环境监测中心, 河南 郑州 450004)

摘要:运用多年资料研究黄河水沙特点:水少沙多、含沙量高,水沙导源,水沙量年际变化大,水沙年内分配不均.泥沙是黄河来源面最广的非点源污染物,对排入黄河的污染物(特别是重金属、有机物)具有显著的吸附效应,成为污染物的载体.文章分析了多沙河流水质监测评价执行国家标准所出现的特殊问题,并对黄河泥沙与若干水质参数的关系进行了研究.

关键词:水沙特性;水环境;多泥沙;黄河

中图分类号:P333.4

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2003)01-0011-03

黄河因其在中华民族发展中的历史意义而闻名,也由于其含沙量之高而著称于世.作为一条特殊的高含沙水体,黄河不仅为水资源的开发利用带来其他河流所不具有的巨大困难,也给水资源保护和管理带来了一系列其他河流所不具有的难题.黄河是世界上含沙量最高、输沙量最大的高含沙河流,从水资源保护的角度看,进入水体的泥沙,首先影响水体视觉感官,降低水体的透明度和复氧条件.同时由于泥沙本身含有相当数量的粘土矿物和有机、无机胶体,可吸附种类繁多的污染物,因而具有在某种程度上净化水体的效应.但泥沙作为污染物和污染物的载体又对水环境造成污染.多年水质监测和研究试验证明,泥沙本底及其所吸附的外来污染物,在黄河自然条件下(pH 在 8.0 左右,呈微碱性)不易被浸提出来.但若改变水环境条件,如加强酸浸提或加酸后高温消解,则可部分或全部解析、释放.因此,一些用黄河原状水样品经酸浸提或消解后的测定结果,其测定值常与含沙量成紧密的正相关关系,相关系数往往高达 0.95 以上.

泥沙在水环境中的两面性,使得水中某些水质参数的监测结果与含沙量呈密切的相关关系,这种所谓的高含沙水体的水污染特征,给水质参数的测定、水环境质量评价与规划管理工作带来许多复杂而又值得研究的问题.

1 黄河水沙特征

黄河泥沙问题的研究是黄河治理开发中的关键问题.新中国成立以后,黄河泥沙问题受到高度重

视,50 多年来进行了大量观测,积累了丰富的资料.

1.1 黄河径流特征及变化趋势

黄河流域多处于干旱或半干旱地区,降水量偏少,从不同时段变化来看,1960 年 7 月~1968 年 6 月降雨偏多,1950 年 7 月~1960 年 6 月和 1968 年 7 月~1986 年 6 月两个时段基本持平,1986 年 7 月~1997 年 6 月时段较常年偏少 6.7%.黄河流域多年平均天然年径流量为 580 亿 m^3 ,径流深为 77.1 mm(不含闭流区).天然径流量年际和年内分配变化幅度比较大.

1.2 泥沙特征及变化趋势

黄河泥沙的年际变化是丰枯交替出现的,沙量的年际变幅很大,泥沙往往集中在几个大沙年份,年内分配极不均匀,主要集中在汛期 7~10 月.汛期沙量占全年的 90%,其中 7 月和 8 月来沙更为集中,占到全年的 71%.

黄河泥沙的来源地区比较集中,并有“水沙导源”的特点.黄河干流多年年平均含沙量高达 37.6 kg/m^3 ,对 1954~1979 年的含沙量进行统计分析表明:黄河上游多年平均含沙量在 4 kg/m^3 以下,头道拐多年平均含沙量 3.89 kg/m^3 ,兰州 1.89 kg/m^3 ;龙门至三门峡的中游河段,多年平均含沙量 $20 \sim 25 \text{ kg/m}^3$;下游花园口至利津河段多年平均含沙量不超过 20 kg/m^3 ,但是最大含沙量,中游均超过 150 kg/m^3 ,下游花园口、高村断面含沙量均有大于 100 kg/m^3 的记录.

黄河泥沙主要来自中游黄土地区,中游各条支流泥沙组成的地理分布具有明显的分带性,从西北到东南中值粒径逐渐减小,从 0.045 mm 以上减小到

0.015 mm 以下。

1.3 黄河泥沙的理化特性

泥沙理化特性的研究,是介于泥沙运动学和水化学边缘的科学研究。由于高含沙河流泥沙对水环境的影响,研究泥沙的理化特性对于研究水环境状况和科学评价水质是十分必要的。

黄河水体的泥沙主要来源于黄土高原的第四纪沉积物,因此其矿物成分类似中游的黄土。粒径不同,矿物成分有较大差异。研究表明:影响水质的主要成分是细颗粒的伊利石和绿泥石。黄河泥沙主要由铝硅酸盐组成,除硅铝外,其它组分含量大致有如下规律(从大到小排列):CaO, Fe₂O₃, MgO, TiO₂, MnO;微量元素的含量规律(从大到小排列):Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Co, Bi, Cd。

泥沙分散在水体中,形成粗细不等的颗粒,在 pH 值大于 7 的黄河水环境条件下,其细颗粒比表面积越大,负电荷量也越大,吸附作用就越大,特别是对正离子的吸附作用就越强。这对水环境的改善也是极有利的,在很大程度上提高了水环境容量。

伴随泥沙颗粒表面的吸附和解吸过程,表现出泥沙的离子交换性能。交换性能的大小由介质中离子的价态和离子的相对浓度差决定,大致有如下顺序(从大到小排列):Fe³⁺, Al³⁺, H⁺, Ca²⁺, Hg²⁺, K⁺, NH₄⁺, Na⁺。

2 多沙河流水环境监测技术中出现的问

2.1 执行国家标准所出现的特殊问题

为了贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国水污染防治法》,控制水污染,保护水资源,国家制定了 GB3838-2002《地面水环境质量标准》。为此,还选配了标准的分析方法,并由各环境保护部门及水资源保护部门负责监督与实施。各有关部门在黄河水环境监测与评价中认真地执行了国家《地面水环境质量标准》及其所匹配的采样、样品保存、处理及分析方法标准。但通过实际工作检验,国家标准应用在黄河上出现了许多问题,问题的关键在于测定总量的参数要求包括溶解态和悬浮态的总量。由于黄河泥沙含量大,而且在空间和时间上随机性大,这就使得测定总量的参数监测结果缺乏可比性,无法控制和精确确定水体中人为污染的含量。这就是多沙水体执行国家标准所出现的特殊问题。

2.2 多沙河流水样的前处理方法问题

黄河的水环境监测成果在很大程度上依赖于样品的前处理方法,水样的前处理系指样品送到实验室后分析试验的制备过程,其中包括过滤(或离心)、稀释或富集、萃取或蒸馏以及干扰的分离手续等。对

于黄河水样来说,因含沙量大,水样的前处理一般指水沙的分离以及样品的消解等程序。大量实验证明,许多污染物一旦进入水体,由于络合、吸附、沉淀及生物作用,大部分转入泥沙颗粒上,只有很小一部分留在水中。为了对水污染做出科学评价,因此如何取得具有代表性的水样是首先要解决的关键问题。如何制备既含有溶解于水中的污染物又包括吸附在泥沙上的人为污染物的可供分析的水样,是多沙水体水质监测的关键技术问题。

3 黄河泥沙与水质监测参数的关系

3.1 泥沙与溶解氧(DO)的关系

DO 反映水体中氧的存在水平,在通常情况下,DO 的含量 D_{DO} 越高则水质越好,反之水质越坏。但在高含沙河流上却并非如此。从 20 世纪 80 年代中期黄河中游的吴堡、龙门、潼关、三门峡 4 个断面汛期水质监测资料看,水质虽未明显受到耗氧有机物的污染,但 DO 含量却很低,有时还不足 3 mg/L,并从中发现 DO 含量与水温 T 、含沙量 ρ 、流量等有一定的相关性。据此,用多元线性回归分析计算方法,对上述 4 个断面的监测数据进行分析,经剔除一些次要影响因素后,给出这 4 个断面 DO 含量与水温 T 和含沙量 ρ 的关系式(见表 1)。

表 1 黄河中游主要断面 D_{DO} 与 ρ 的关系

断面名称	统计相关模式	相关系数 r	样品数
吴 堡	$D_{DO} = 9.61 - 0.11T - 0.012\rho$	0.644	71
龙 门	$D_{DO} = 12.56 - 0.225T - 0.031\rho$	0.848	72
潼 关	$D_{DO} = 10.00 - 0.13T - 0.086\rho$	0.716	71
三门峡	$D_{DO} = 11.47 - 0.147T - 0.0614\rho$	0.858	70

表 1 中各关系式虽经显著性检验,在给定的置信度下呈高度显著,但毕竟类似关系式目前在国内外有关文献中尚未见到,因此有必要进行分析检验。从表 1 中关系式本身表明,在高含沙河流中,水体中的 DO 随水温、含沙量的增高而降低,呈负相关关系。DO 与水温的关系早已被人们所理解;至于 DO 随含沙量增加而降低的原因,一是泥沙占有一定的水体空间,二是泥沙影响水体的复氧条件。

除此之外,笔者还用建模以外的潼关、三门峡以及其它河段的实测资料,对表 1 中关系式进行检验,其偏差在 $\pm 20\%$ 之内的测点基本可达 80% 左右,说明表 1 中关系式可信程度是较高的。

3.2 泥沙与高锰酸盐指数(COD_{Mn})的关系

在黄河水质监测初期,对 COD_{Mn} 的监测曾用未加酸保存的原状水样,经离心、沉淀或过滤等去除泥沙后的清水测定 COD_{Mn}。从多年测定结果看:20 世纪 70 年代后期至 80 年代末黄河干流各水质断面的

COD_{Mn}年均值基本都在 2.0 mg/L,且波动不大.所以出现上述情况,研究认为:主要是泥沙本身所含有机质、还原物质,以及泥沙所吸附的有机污染物,在通常的黄河水环境条件下难以浸溶出来.也就是说,在天然河水中,泥沙可起到降低有机污染、净化水体的作用.

那么泥沙所挟带的上述物质,究竟在什么条件下才能浸溶出来呢? 20 世纪 80 年代初,吴堡水质监测站的车忠华等人,对 COD_{Mn}值与含沙量 ρ 的关系进行了探讨.他们采集吴堡断面的原状水样,用高锰酸钾电位滴定法,分别测定清、浑水中的 COD_{Mn}值,并同步测定含沙量 ρ .根据实测 $C_{\text{COD}_{\text{Mn}}}$ 、 ρ 进行相关分析,求得相关系数 $r = 0.992$,其关系式为

$$C_{\text{COD}_{\text{Mn}}} = 1.83\rho + 2.38 \quad (1)$$

式(1)中的截距值与吴堡断面多年来测定的 COD_清 平均值基本相近.同时,实验证明,不管 $C_{\text{COD}_{\text{Mn}}}$ 如何随 ρ 增大而增加, $C_{\text{COD}_{\text{Mn}}}$ 变化却很小,这和前述黄河各水质断面多年来测定结果是相符的.

用上述实验方法所测得的 $C_{\text{COD}_{\text{Mn}}}$,实质上就是高含沙河流浑水样品中的 COD_{Mn}总量,即泥沙本身所含有机物质、还原物质及其所吸附的外来耗氧有机物全部被氧化的结果.这种极限情况在天然水环境条件下是不可能出现的.

为了避免水样采集、运输和保存过程中,待测组分 COD_{Mn}被容器器壁吸附,降低 COD_{Mn}测定值,20 世纪 80 年代末以来,按照国家标准的要求,黄河系统各水质监测站,对所采水样进行加酸保存,即样品采取后加硫酸至 pH 值小于 2.这样一来,近几年各水质监测断面的 COD_{Mn}测定值明显增大,一般要高出不加酸保存样品测定值的 2 倍左右.特别是在含沙量较高的汛期,影响则更大.

之所以出现上述情况,主要是泥沙所挟带的耗氧有机物,在酸性水环境条件下,部分被浸提出来.含沙量越大,加酸量越多,被浸提出来的耗氧有机物相对也多,则 COD_{Mn}测定值亦相对较高.不过在黄河天然水环境条件下,这种情况是很难出现的.

为了进一步揭示高含沙水流与 COD_{Mn}的关系,黄河流域水资源保护局“八五”国家重点科技攻关项目“泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制的研究”专题组成员,根据水质模型建模的需要,采用黄河花园口河段的原水原沙水样,进行了实验室模拟实验,得出泥沙对 COD_{Mn}影响的如下结论:

a. 黄河泥沙中存在大量耗氧物质,黄河原状水 COD_{Mn}值随着含沙量的增大呈显著上升趋势(这一结论与前述车忠华等人的实验结果是完全一致的).

b. 对相同的水样和沙样配制的不同含沙量级样品,其去除泥沙后所剩清水的 COD_{Mn}测定值,随其原含沙量的增大呈上升趋势. $C_{\text{COD}_{\text{Mn}}}$ 与含沙量的相关系数为 0.822,关系式为

$$C_{\text{COD}_{\text{Mn}}} = 3.889 + 0.0474\rho \quad (2)$$

由式(2)可以看出,其截距值为 3.889(即含沙量为 0 时的清水测定值),与 20 世纪 80 年代中期同等条件下测值相比,最少增加 1 mg/L 以上,说明随着社会经济的发展,黄河花园口段水体有机污染呈加重趋势.再者,对高含沙河流来说,即使样品不加酸保存,泥沙对 COD_{Mn}测值也有一定影响,但其影响程度要比加酸样品显得微弱,就式(2)估算,只有当含沙量在 50 kg/m³ 左右时, COD_{Mn}测值才有可能超过 III 类水质标准.同时也说明,在高含沙水流中,泥沙除占有水体空间、影响水体复氧条件外,其本身也有一定的耗氧性,其原因是泥沙带有一定的负电荷,部分可溶态有机物在天然水环境条件下溶入水体.这无疑也是高含沙水流中 DO 含量降低的一个原因.

综上所述,在高含沙河流中,泥沙与 COD_{Mn}测定值之间的关系是十分复杂的.尽管我们对浑水样品加酸与不加酸保存,用去除泥沙后的清水测定 COD_{Mn}值,以及用高锰酸钾溶液直接滴定浑水样品测定值等情况进行了分析,并指出其在天然水环境条件下出现的机遇,但对泥沙吸附外来耗氧有机物的状况和机理,以及这些被泥沙所吸附的外来有机物,泥沙本底所含有机物,在何种水环境条件下,才能部分或全部被解吸出来,由固相进入液相,还有待进一步的实验研究.不然,就难以区分是人为污染还是泥沙本底所致,给水环境监测和管理造成困难.

3.3 泥沙与生化需氧量(BOD₅)的关系

对于高含沙量的黄河水来说,泥沙对 BOD₅ 是否带来影响,我们曾就离心水和含沙水样作了 BOD₅ 值对照实验研究.

从实验数据看出,无论是 4℃ 时还是在室温情况下,含沙水样一般均低于离心水样的 BOD₅ 值.其原因是:黄河泥沙虽大部分为无机质,但仍含有 0.6% ~ 1.2% 的有机质,而且在 pH 值大约为 8 的水环境条件下,泥沙表面又带有大量的负电荷,这些有机质及负电荷都会的分析过程中消耗去相当一部分 DO.该试验是在水体含沙量只有 3.08 kg/m³ 情况下完成的,如果含沙量更大,其影响必然更显著.需要指出的是,为了说明问题,在分析 DO 之差时是混匀水样测定,如果采用“静态”培养的澄清水分析,其结果就不会有大的差异.

3.4 泥沙对化学需氧量(COD_{cr})测定的影响

COD_{cr}是反映水体有机污染程度(下转第 34 页)

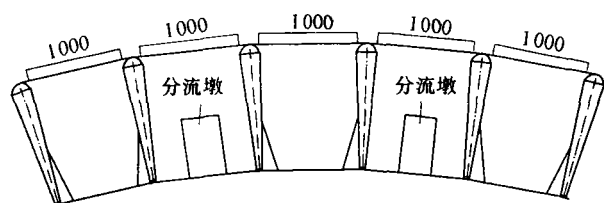


图4 综合式消能方案布设

表2 综合式消能方案模型试验观测数据

流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	库水位 /m	冲坑 深/m	挑距 /m	水舌 宽/m	水舌 厚/m	冲坑 范围 /m	最大 压强 /kPa	冲坑上 游坡	流量 系数
1664.2	516.34	14.12	47	38.4	10.8	15~75	82.32	1:3.33	0.477
1458.7	515.87	11.93	42	37.8	10.8	15~65	76.44	1:3.52	0.488
1085.0	514.85	10.61	37	34.8	8.4	20~60	76.44	1:3.49	0.483
500.1	512.98	2.85	35	30.6	7.2	25~45	32.34	1:12.30	0.472
99.9	511.06	*	*	33.0	8.4	*	15.68	*	0.434

注: * 号表示流量小时,模型无明显冲坑,致使相关量无法测定;最大压强出现在9号测孔。

表3 校核流量下四种消能方案效果比较

方案	流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	冲坑深 /m	挑距 /m	冲坑 上游坡	最大压强 /m	负压 /kPa	水舌入水 厚度/m
原方案	1665.9	24.70	50	1:2.00	7.74	4.12	
宽尾墩	1679.0	18.80	50	1:2.66	8.10	无	4.8
分流墩	1680.0	17.12	46	1:2.69	2.80	无	10.8
综合式	1664.2	14.12	47	1:3.33	8.40	无	10.8

注:表中水舌入水厚度指水舌落入下游水面时,水舌前缘到后缘的距离,在原方案下挑射水流呈透明层状流出,无明显纵向扩散,故在模型试验时并未测量其水舌入水厚度。

由表3可见,综合式消能方案的冲坑、挑距、冲

坑上游坡等指标与其它消能方案比较更为合理,在校核流量下使冲坑上游坡达到1:3.33,符合工程安全要求。

6 结 论

a. 原方案的消能效果达不到工程安全要求标准,须加以改进。

b. 宽尾墩加分流墩综合消能工具有较强的水流归槽性,能有效地在竖向和顺水流方向使水流充分扩散,显著减轻下游河床冲刷,是古仙洞拱坝理想的推荐消能布置方案。

c. 结合实际灵活地利用消能原理,采取各种综合措施,可以有效地解决薄拱坝泄洪消能问题。

参考文献:

- [1] 陈青生.高拱坝泄洪方式的分类及坝身泄水建筑物的设计[J].水利水电科技进展,2001,21(5):17~19.
- [2] 艾克明.拱坝泄洪与消能的水力设计和计算[M].北京:水利电力出版社,1987.
- [3] 郭子中.消能防冲原理与水力设计[M].北京:科学出版社,1982.
- [4] 黄启明.利用宽尾墩提高溢流坝消能效果试验研究[A].泄水建筑物消能防冲论文集[C].北京:水利出版社,1980.501~512.

(收稿日期:2002-01-30 编辑:熊水斌)

(上接第13页)

的一个重要环境参数.对于一般水样,其氧化率可达90%左右,对于大多数类型的工业废水,其测定很有效.在1998年以前,黄河仅在污染严重的支流实施 COD_{Cr} 监测,而干流普遍应用 COD_{Mn} 和 BOD_5 等反应水体有机污染. COD_{Mn} 对一般水样的氧化率为40%左右.随着黄河水质的污染逐年加重,有些污染参数(如 COD_{Mn}),由于方法所限,对污染的反应并不是十分敏感,同时因为国家逐步实施主要污染物排放浓度控制和总量控制的两轨制制度,以及水资源保护管理规划的需要, COD_{Cr} 作为最主要的控制参数,于1998年在黄河干流省界水体断面实施监测.因 COD_{Cr} 是一个涉及水中和悬浮物有机污染总量的监测参数,因此同样遇到黄河泥沙的影响问题.鉴于 COD_{Cr} 监测在黄河水质评价与管理中的重要性,针对黄河 COD_{Cr} 监测所遇到的问题,设置专题研究项目,就黄河 COD_{Cr} 监测的样品采集、保存、前处理和分析进行了深入细致的研究,并就泥沙对 COD_{Cr} 测定影响机理进行了探讨.研究内容包括:①不同保存条件(不同加酸量)不同含沙量对 COD_{Cr} 测定的影响;②不同水样(原状河水水样,澄清去除泥沙水样,离

心去除泥沙水样,加保存剂后的澄清水样) COD_{Cr} 测定结果分析;③不同样品 COD_{Cr} 测定对其污染代表性分析;④泥沙有机质对 COD_{Cr} 测定的影响及相关关系;⑤泥沙对不同外来有机污染物的吸附实验;⑥黄河非汛期不同水样 COD_{Cr} 监测结果对比分析;⑦黄河 COD_{Cr} 监测及评价的代表性水样建议;⑧黄河水环境监测亟待解决问题及建议。

4 结 语

黄河泥沙对水环境监测与评价管理带来了一般河流所不具有的特殊问题.对于这样一条河流,研究水沙与水环境的关系,黄河水沙运动特点以及泥沙对污染物的污染化学行为、迁移转化规律的影响,是黄河水资源保护研究的重要工作。

(收稿日期:2002-06-13 编辑:傅伟群)

