

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.05.021

黄河黑山峡不同开发方案对鱼类的影响

韩艳利¹,王新功¹,黄文海¹,黄道明²

(1.黄河水资源保护科学研究所,河南 郑州 450004;2.水利部中国科学院水工程生态研究所,湖北 武汉 430079)

摘要:针对黄河黑山峡不同开发方案,已开展了大量的研究和论证工作,在前人研究基础上,采用类比分析方法,根据黄河上游已建水利工程对鱼类的影响,结合黑山峡河段的鱼类现状,分析不同开发方案对鱼类的影响,并分别提出保护对策措施和建议。

关键词:黑山峡;黄河流域;鱼类;生态影响;过鱼设施

中图分类号:Q143 文献标识码:B 文章编号:1004-6933(2011)05-0092-05

Study on impacts of different development programs on fish in Heishan Gorge of Yellow River

HAN Yan-li¹,WANG Xin-gong¹,HUANG Wen-hai¹,HUANG Dao-ming²

(1. Yellow River Water Resources Protection Institute, Zhengzhou 450004, China; 2. Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China)

Abstract: Developing the Heishan Gorge of the Yellow River is a longstanding problem, and massive research and argumentation have been carried out for different development programs. Based on these previous studies and the effects of existing hydraulic engineering on fish in the upstream portion of the Yellow River, the influences of different development programs on fish were analyzed using the analogy analysis method, and countermeasures and recommendations were put forward.

Key words: Heishan Gorge; Yellow River Basin; fish; ecological impact; fish passage facilities

目前,大规模的水利水电开发已成为导致河流水生生物区系改变、生物多样性资源减少甚至灭绝的最重要因素。水利设施的建设一方面阻断了洄游鱼类的通道,使洄游性鱼类无法进行生殖洄游,另一方面水利设施的建设改变了水域生态环境,破坏了鱼类的产卵场、索饵场、越冬场及洄游通道,从而导致一些鱼类数量不断减少甚至于绝迹。黑山峡河段是黄河上游特有及土著鱼类主要分布区域之一,是黄河土著鱼类——北方铜鱼的重要繁殖地,研究黄河黑山峡水电开发对黄河鱼类的影响,提出生态保护及补偿对策措施,既是保护黄河上游特有土著鱼类种质资源及生物多样性的需求,也是实现可持续发展水利的需要。

1 黑山峡河段及不同开发方案概况

1.1 黑山峡河段概况

黄河龙羊峡至青铜峡河段水力资源丰富,是水

电开发集中的河段。黑山峡位于黄河上游龙青河段的下段,是黄河上游的著名峡谷段之一。从甘肃省靖远县大庙村入峡,宁夏中卫县南小湾村出峡,全长 71 km。该河段属高原干旱大陆性气候,温带半干旱区向干旱区的过渡带,降雨稀少,光照充裕。黑山峡以上河段来水量较丰富,约占黄河总径流量的 55.9%,黑山峡河段多年平均径流量为 332 亿 m³,多年平均输沙量 1.4 亿 t。该河段的土地开发利用程度不高,主要以农业为主。

1.2 不同开发方案情况

黄河黑山峡开发工程是水电开发工程,该工程通过水资源优化配置,协调黄河水沙关系,并为当地提供工农业用水及生活用水,工程建设具有重大的经济效益、社会效益和生态效益。由于工程建设会改变黄河水文情势,造成上游、库区及下游一定河段

的河流生态系统影响,从而对河流水体中的水生生物尤其是鱼类产生影响。

黄河黑山峡河段开发,早在 20 世纪 50 年代就开始勘查研究工作。长期存在大柳树高坝一级开发方案和小观音高坝、大柳树低坝二级开发方案的不同意见,有关科研院所开展了补充勘测和论证研究工作^[1-5],有关部门对开发方案认识不统一,目前又提出 4 级开发方案^[6]。一级开发方案:坝址位于宁夏回族自治区中卫县境内的大柳树,位于黑山峡出口上游 2 km 处,正常蓄水位 1 380 m。二级开发方案:小观音高坝坝址位于黑山峡峡谷进口下游 21 km 处,位于甘肃省景泰县境内,正常蓄水位 1 380 m;低坝坝址与一级开发方案位置相同,位于宁夏中卫县境内的大柳树,正常蓄水位 1 270 m。四级低坝开发方案:在小观音、大柳树布置低坝,在小观音坝址上游五佛、红山峡增加两座低坝,蓄水位从上往下依次为 1 374 m、1 338 m、1 302 m。红山峡坝址距五佛坝址约 52.7 km,五佛距小观音坝址约 53.2 km,小观音距大柳树坝址约 50 km。笔者将以一级开发和四级开发方案为重点开展不同方案开发对鱼类影响研究。

2 黄河黑山峡河段鱼类现状

2.1 鱼类组成

根据实地捕捞,结合以往的调查结果,黑山峡河段的鱼类中实际分布的鱼类有 26 种,该河段的鱼类可分为第三纪早期复合体,如鲤、鲫、麦穗鱼、兰州鲇等;中国江河平原复合体,如草鱼、鲢鱼、鳙鱼、餐条等;

北方平原复合体,如瓦氏雅罗鱼;南方平原复合体,如黄魮鱼、波氏栉虎鱼。这 26 种鱼类中有 12 种保护鱼类,均属于地方保护鱼类^[7-9]。黄河高原鳅属于四川省和甘肃省重点保护野生动物名录,北方铜鱼、赤眼鲢、大鼻吻鲈、兰州鲇属于甘肃省和宁夏回族自治区重点保护野生动物名录,鲤鱼、铜鱼、草鱼、白鲢、花鲢属于宁夏回族自治区重点保护野生动物名录,瓦氏雅罗鱼、圆筒吻鲈属于甘肃省重点保护野生动物。

该河段历史上曾经分布北方铜鱼^[9-10],属于国家濒危保护野生水生动物,但在实际捕捞和走访调查中都没有发现这种鱼类。

2.2 鱼类保护情况

2.2.1 国家级水产种质资源保护区

为了保护水产种质资源,国家相关部门在土著及经济鱼类的产卵场、栖息地、洄游通道等主要生长繁育区域依法划出一定面积的水域滩涂和必要的土地,予以特殊保护和管理。根据调查,黄河黑山峡河段下游分布有国家鱼类种质资源保护区——黄河卫宁段兰州鲇国家水产种质资源保护区、黄河青石段大鼻吻鲈国家级水产种质资源保护区以及黄河鄂尔多斯段黄河鲇国家级水产种质资源保护区,不同开发方案坝址与上述国家级水产种质资源保护区的位置关系见图 1。

黄河卫宁段兰州鲇国家水产种质资源保护区主要保护对象为兰州鲇,位于中卫黑山峡宁甘两省交界处至宁夏回族自治区青铜峡水库坝下的黄河河段,保护区总面积 15 400 hm²。核心区面积 5 400 hm²,

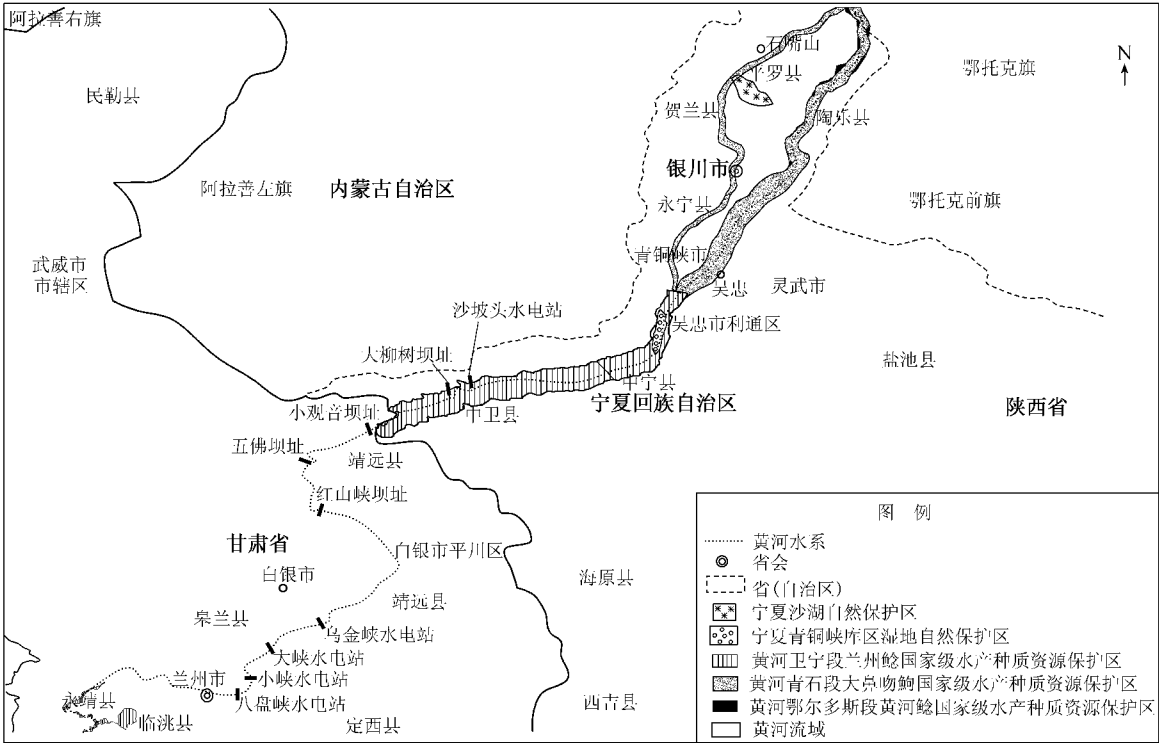


图 1 不同开发方案与国家级水产种质资源保护区位置关系

位于青铜峡坝以上库区 ,水流平缓 ,河汊较多 ,河汊内水质清新 ,水草茂盛 ,是兰州鲶的理想产卵场、索饵育肥和越冬场所 ,也是其他鱼类及水生动物植物密集区 ,同时又是宁夏回族自治区重点保护的湿地。实验区面积 1 万 hm² ,位于青铜峡库区以西至黑山峡宁甘两省交界处的黄河河段 ,河段水面开阔 ,水生生物饵料丰富 ,是兰州鲶摄食、生长及栖息的理想场所。该保护区黄河河道长度约 175 km ,大柳树坝址位于卫宁段兰州鲶国家级水产种质保护区实验区部分 ,距离该保护区上游边界大约 30 km。

黄河青石段大鼻吻蟾国家级水产种质资源保护区主要保护鱼类为大鼻吻蟾。位于青铜峡水库坝下至石嘴山黄河大桥的黄河河段。规划面积 23 100hm² ,核心区位于青铜峡坝下至永宁县杨和镇以南的河段 ,是大鼻吻蟾理想的产卵场所。实验区分两部分 ,一部分位于永宁县杨和镇石嘴山黄河大桥处的黄河河段 ,一部分位于爱伊河河段 ,实验区是大鼻吻蟾索饵、生长及栖息的场所。该保护区黄河河道长度约 180 km ,大柳树坝址距离该保护区上游边界约 150 km。

黄河鄂尔多斯段黄河鲶国家级水产种质资源保护区主要保护鱼类为黄河鲤和兰州鲶。总面积为 31 466 hm² ,其中核心区面积 6 070 hm² ,实验区面积 25 396hm²。该保护区黄河河段长约 946 km ,核心区包括 4 个河段 :碱柜乡境内的黄河河段、杭锦旗吉日嘎朗图镇境内的黄河河段、达拉特旗中和西镇境内的黄河河段、准格旗旗的黄河河段 ,实验区是核心区以外的区域。大柳树坝址距离该保护区上游边界约 200 km。

2.2.2 保护鱼类的生态习性

该河段的保护鱼类比较多 ,需要确定其中重点的保护对象进行研究。综合考虑研究河段鱼类的濒危程度、特有性、种质资源和经济价值以及产卵、繁殖及索饵觅食对环境的需求情况 ,筛选兰州鲶、北方铜鱼、大鼻吻蟾及黄河鲤鱼作为该河段重点保护鱼类 ,并对

其生态习性情况进行研究分析 ,具体情况见表 1。

3 对鱼类影响分析

3.1 已建工程对鱼类影响

黄河流域水利水电开发强度较高 ,龙羊峡至青铜峡河段 ,已建水利水电大坝 13 座 ,拟建、在建的 23 座 ,特别是黑山峡河段上游的控制性工程刘家峡和下游的青铜峡水电站的建设 ,使黑山峡河段的生态环境已经发生了变化。大坝的阻隔影响导致本河段的鱼类组成发生变化 ,减少了土著鱼类种类。龙刘河段基本消失的鱼类有北方铜鱼、黄河鲷、黄河雅罗鱼、大鼻吻蟾等北方平原复合体的鱼类 ,向干流上游退缩的鱼类有高原裂腹鱼类的大部分种类 ,如厚唇裸重唇鱼、极扁扁咽齿鱼、骨唇黄河鱼。由于水库建设 ,增加了养殖水面面积 ,使原来未在龙刘河段分布的鱼类进入该区域并形成优势种群。同时上游水电站建设使鱼类产卵期推迟 ,或者根本失去产卵的温度条件 ,使原来分布于该河段的平原区系的鱼类种群分布范围向下游退缩 ,导致上游河段的鱼类区系及种群发生变化 ,主要表现为移植鱼类形成天然种类 ,土著鱼类资源种类减少 ,种群数量下降。由于水电站建设 ,河段的水文情势改变 ,产卵场大量消失 ,大型土著鱼类失去种群补充来源 ,数量剧减 ,小型鳅科鱼类产卵场增加^[10-12]。

3.2 黑山峡不同开发方案对鱼类的影响

根据前述一级开发方案为典型的高坝大库 ,调节性能好 ,四级开发方案为水头较低的四级径流式电站 ,水库基本没有调节性能 ,由于不同的开发方案 ,工程特性差异较大 ,因此对水生态特别是对鱼类的影响也有较大不同 ,从而对鱼类生境、鱼类“三场”分布、保护鱼类及鱼类资源等产生一定影响。

3.2.1 对鱼类生境的影响

结合不同开发方案水库下泄流量 ,通过计算不同

表 1 黑山峡河段重点保护鱼类生态习性情况

名称	地理分布	生态习性	产卵场分布	繁殖需要的水流条件
兰州鲶	刘家峡以下沿岸及其支流、湖泊和水库	栖息于水草丛生的底层 ,常潜伏于洞穴或隐藏于水草中 ,尤喜生活于河流缓流处或静水中 ,亦能适应于流水中	青铜峡库区以西至宁甘交界处的黄河河段	繁殖季节产卵场的水流速要求 0.1~0.5 m/s、深度 1~3 m 的河流水面
北方铜鱼	多分布在兰州、宁夏的青铜峡一带的中上游河段	北方铜鱼喜栖息于河流水体中下层、河湾、底质多砾石、水流较缓慢的水体中 ,水深约 1.5~4 m ,有生殖溯游的习性	甘肃兰州上游一带的黄河河段	产卵水域要求为较激流型变化水体 ,繁殖季节产卵场的水流速要求 0.7~1.5 m/s、宽 50 m 以上的河流水面
大鼻吻蟾	仅分布在黄河水系 ,常见于青铜峡、银川、贺兰、平罗、陶乐和石嘴山等地	栖息于江河浅水、底质为泥沙或砾石的河床里 ,湖泊中比较少见 ,属于底层生活的洄游性鱼类。有生殖溯游习性 ,每年 4 月上旬至 5 月上旬为繁殖季节	青铜峡水库至永宁县杨和镇以南的黄河河段	产卵场的水流速要求 0.7~1.5 m/s
黄河鲤鱼	主要栖息于宁夏的黄河河段	喜栖息在流速缓慢、水草丰沛的松软河底水域 ,有生殖洄游习性		产卵水域要求为净水或缓流型变化水体 ,繁殖季节产卵场的水流速要求 0.1~0.6 m/s ,河宽 50 m 以上 ,河岸边坡≤10° ,岸边 5 m 水深小于 0.5 m

开发方案坝下断面的流速和水位变化情况,发现在鱼类集中产卵的5—7月,一级开发方案的流速在5月份较开发前有所减少,在6—7月较开发前增加了1.0 m/s左右,四级开发方案情况下,下游段面的水位、流速都较开发前有所增加,相对来说四级开发方案对下游河道流速、水位造成的变化较小,结合对鱼类生态习性分析,两种开发方案对坝下河段鱼类产卵均产生了一定的影响。

一级开发方案实施后,鱼类产卵的5—7月下泄水温约在4~10℃,四级开发方案实施后,鱼类产卵的5~7月下泄水温约在6~15℃之间。除大银鱼和池沼公鱼外,研究河段大多数鱼类产卵都在18℃以上,两种开发方案下,坝址下游的水温均低于该河段大多数保护鱼类适宜的产卵温度18℃,因此两种开发方案虽然对水温的影响程度不同,但对该河段的鱼类产卵均产生了影响。

3.2.2 对鱼类“三场”的影响

根据该河段水生生物的分布及渔获物组成情况分析,该河段的三滩和五佛河段,河面宽阔,水流较缓,饵料生物较为丰富,是该河段鱼类的主要索饵场和越冬场,黑山峡到石嘴山河段的砂质河床是黄河鲈和大鼻吻鲈的产卵场,靖远到大庙一带是北方铜鱼、大鼻吻鲈主要的越冬场。此外根据国家相关部分划分的水产种质资源保护区的资料,中宁石空至中卫黑山峡宁甘两省区交界处的黄河河段是兰州鲈的索饵场,也是黄河鲤、雅罗鱼、黄河鲈、赤眼鲈、似鲶条鳅的栖息场所。一级开发方案的水库建成后,一方面会淹没三滩、靖远大庙一带的河段,会对该河段的索饵和越冬场所造成影响,同时水库清水下泄也可能会对下游中宁石空至中卫黑山峡宁甘交界处的兰州鲈的索饵场产生一定影响。但一级开发方案水库库容117.8亿m³,为多年调节水库,水库调节性能强,不仅改变年内水量的季节分配,增加5—6月灌溉期的下泄流量,在7月调水调沙期间,可增大下游河道的流量,有利于保障鱼类繁殖期的流量。四级开发方案,受发电调度的影响,流量和水位涨落过程变化频繁,不具备对水资源的调配能力,下游河道的水位流量日际波动较大,将使下游国家级水产种质资源保护区主要保护鱼类的产卵场、索饵场及越冬场水位处于变化状态,对鱼类产卵、繁殖及栖息造成不利用影响。总的来说,两种开发方案都会对该河段的保护鱼类的产卵、越冬及索饵场产生一定的影响。

3.2.3 对保护鱼类的影响

该河段下游有3个国家级水产种质资源保护区,其保护对象分别为大鼻吻鲈、北方铜鱼和兰州鲈。根据中国濒危动物红皮书,北方铜鱼属濒危鱼类。

这3种保护鱼类的产卵期大都集中在5—7月,在生殖期都有溯游习性,大鼻吻鲈和北方铜鱼在产卵期需要流水的刺激或流量的增加,兰州鲈产卵期的流速0.1~0.5 m/s。根据对不同开发方案分析,在鱼类产卵期,一级开发方案实施后可通过水库调度方式,增加鱼类繁殖期的下泄水量,可以满足大鼻吻鲈和北方铜鱼产卵对流速和流量增加的需求。四级开发方案基本无调节能力,受发电调度影响,可能无法满足鱼类产卵期湍急流速及水位暴涨的要求,对鱼类的产卵繁殖造成影响,从而对这两种鱼类资源产生影响。由于北方铜鱼、大鼻吻鲈和兰州鲈在产卵繁殖期需要溯河洄游,因此大坝建设,不论一级和四级方案都将会阻断洄游通道,对其产卵繁殖和资源量产生一定不利影响。

3.2.4 对鱼类资源的影响

一级开发方案:库区由于大坝的阻隔,水库蓄水淹没原有干支流流水河段,水流变化,流水生境萎缩,泥沙沉积,透明度升高,营养物质滞流,原有的河流流水生境向类似于湖泊的水库生境演变,鱼类饵料生物基础由以底栖无脊椎动物、着生藻类为主向以浮游生物为主演变,水库生物生产力提高。相应的,鱼类资源发生演变。对产粘沉性卵鱼类而言,鲮鱼、鲢等需要在流水生境完成生活史的种类,退缩至支流或库尾以上流水河段,种群数量大幅度减少,甚至在库区消失;鲤、鲫、麦穗鱼、黄魮鱼、兰州鲈等适应缓流和静水环境的鱼类,其种群会迅速增加,成为库区优势种类,特别是麦穗鱼、黄魮鱼、刺鲈等小型种类,种群扩大会比较迅速,这也为兰州鲈等食鱼性鱼类的种群增长提供了饵料基础;对于大鼻吻鲈、北方铜鱼产漂流性卵鱼类而言,由于下游有青铜峡、上游有乌金峡、刘家峡的阻隔,71 km的规划河段难以满足期产卵条件,目前鱼类资源已近枯竭,在阻隔影响和流水生境萎缩加剧的情况下,库区已不具备产卵孵化的条件,将逐渐退出在库区的分布。库区生物生产力升高,水面积增大,渔业产量和资源量增加,但种群结构会发生明显变化。

四级开发方案均为径流式电站,水文情势变化不大,对鱼类资源的不利影响主要来自阻隔影响。由于多级阻隔,形成了数个相对独立、规模不大的异质种群,鱼类种质资源可能出现遗传退化,鱼类迁移交流受阻,成熟亲鱼无法上溯至产卵场繁殖,繁殖的受精卵和仔幼鱼下行过坝死亡率升高,导致资源量下降,特别是产漂流性卵的鱼类,由于受精卵和仔鱼需要顺水漂流孵化,漂流距离很长,而亲鱼成熟后无法回到原来的江段繁殖,这类鱼类的种群数量也会迅速下降,逐渐退出在梯级电站间的分布。规划河

段总体渔获量和资源量会相应下降,种群结构也会有所变化,产漂流性卵鱼类资源会逐渐消失。四级开发方案对下游青铜峡库区而言,该河段鱼类资源由于降河阻隔影响相对较小,对青铜峡鱼类资源有一定的补充,但成熟亲鱼无法上溯至该河段繁殖,规划河段鱼类资源会明显下降,随着时间推移,补充作用会迅速减小,青铜峡库区鱼类资源主要只能依靠库尾及支流流水环境繁殖。

4 生物保护措施

由于黄河上游已建和在建了多个梯级水电工程,形成了相对独立的多个水库生态系统,但该河段干支流仍保留了库尾、坝下干流及支流流水生境。因此,该河段鱼类资源的保护可以通过增殖放流,进行补偿性保护;其次,通过建设过鱼设施,减缓对鱼类生殖期的影响,进行水库生态调度^[12-13]等保护措施,使不同开发方案的不利影响得到缓解,可有效保护黑山峡河段的鱼类资源。

a. 增殖放流。鉴于黑山峡河段的保护鱼类中的兰州鲇、赤眼鲮、瓦氏雅罗鱼的驯养繁殖技术较为成熟,而且具有一定的资源量,因此增殖放流对象选择兰州鲇、赤眼鲮、瓦氏雅罗鱼3种,而北方铜鱼、大鼻吻鲈、圆筒吻鲈、铜鱼的资源有限,驯养繁殖的亲本难以捕到,且驯养繁殖技术尚不成熟,建议作为远期放流种类,尽快开展驯养繁殖技术研究。根据该河段的渔业资源状况及水库建成后鱼类栖息面积估算,放流鱼苗为每年200万尾,放流鱼苗的规格兰州鲇为4~8 cm,其余两种为3~7 cm。

b. 建设过鱼设施。过鱼设施建设主要针对洄游类鱼类在水库大坝建成后,由于阻隔不能洄游至上游进行繁殖,可以采取建设旁通道、鱼道、升鱼机、鱼闸和集运鱼系统等过鱼设施,保证一些鱼类能洄游通过。建议一级、二级开发方案可采用升鱼机或集运鱼系统减缓对鱼类洄游的影响,而四级开发方案的低坝可以采用旁通道、鱼道等过鱼措施。采用这些过鱼技术,可以缓解不同开发方案建设的大坝阻隔影响。根据调查,黄河上已建水利工程尚未有设置鱼道的先例,不同开发方案建设过鱼设施前,需针对洄游鱼类的克流能力与向流习性,在具体方案设计前,需开展相应的试验研究。

c. 优化水库调度,满足水生生物关键期的生态流量。一级方案具有较大库容,可以通过合理的水库调度方式,在鱼类产卵期,即每年的5—7月份,在综合考虑灌溉用水和鱼类生长繁殖期用水需求情况下,可以保持一定的水库下泄流量,满足下河沿断面的生态需水量要求。对于一级开发方案的水库调度

方式,建议根据鱼类繁殖生物学习性,在每年的4—6月份下泄340 m³/s,7—10月下泄流量为340 m³/s,且有一定量级的漫滩洪水,在11月到次年3月保持340 m³/s的下泄流量。

5 结 语

黑山峡河段开发对开发河段甚至整个黄河流域的生态影响非常复杂,鱼类只是其中影响因素之一。目前仅依据现有资料开展初步分析,今后将根据资料的情况深入开展不同开发方案对鱼类影响的机理分析,确定不同开发方案对鱼类尤其是保护鱼类影响的程度和范围,进一步细化减缓和补偿的措施。黑山峡河段开发方案的最终确定需要统筹考虑维持黄河健康生命和社会经济发展的多种功能需求,同时遵循避免、减缓和补偿的原则,将工程开发对环境的不利影响降到最低,从而优化水利水电开发项目的综合效益。

参考文献:

- [1] 巢江海. 黑山峡水库淹没与移民[J]. 西北水电, 2004(3): 95-96.
- [2] 司志明. 对黄河黑山峡河段开发方案论证有关问题的意见和建议[J]. 水利规划与设计, 2003(3): 10-13.
- [3] 曲耀光, 杨根生. 拟建黑山峡水库不必要性的研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 92-94.
- [4] 郭潇, 冯志军, 张卫东. 大柳树水利枢纽在西北地区发展中战略地位的思考[J]. 中国水利, 2005(19): 59-60.
- [5] 安盛勋, 石瑞芳, 宋臻, 等. 关于黄河黑山峡河段开发方式的争议和意见[J]. 西北水电, 2004(3): 6-9.
- [6] 万景文. 黑山峡河段应选择四级开发方案, 兼对“大柳树是黄河唯一可以实施水沙综合调节水库”的商榷[J]. 西北水电, 2004(3): 34-38.
- [7] 贺汝良. 刘家峡至石嘴山河段黄河天然鱼类及渔业资源研究[J]. 宁夏农林科技, 1982(1): 35-37.
- [8] 沈红保. 黄河鱼类资源保护目标的研究[J]. 河北渔业, 2009(5): 23-26.
- [9] 袁永锋, 李引娣, 张林林, 等. 黄河干流中上游水生生物资源调查研究[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(6): 15-18.
- [10] 张建军, 冯慧, 李科社, 等. 黄河上游龙羊峡至刘家峡河段梯级水电站建设后鱼类资源变化[J]. 淡水渔业, 2009(5): 40-45.
- [11] 郑利民, 王世忠, 黄富贵. 黄河水利枢纽对生态环境影响[J]. 西北水电, 2005(3): 4-5.
- [12] 杨军严. 初探水利水电工程阻隔作用对水生动物资源及水生态环境影响与对策[J]. 西北水力发电, 2006, 22(4): 80-82.
- [13] 周小愿. 水工程对水生生物资源影响综述与对策建议[J]. 西北水电, 2009(4): 3-6.

(收稿日期: 2011-01-30 编辑: 高渭文)