

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2021.01.007

# 水利水电工程蓄水期生态流量泄放措施研究

王明疆, 张锦堂, 郭浩洋, 周丹顺, 孙斌

(中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 在河流上修建水利水电工程必须保证下泄足够的流量以满足下游河道的生态需求。随着我国对生态环境问题的重视,近年来众多学者和专家对水利水电工程生态流量泄放问题展开了研究,取得了大量成果,但多集中在工程运行期,对蓄水期涉及较少。本文归纳了水利水电工程常用的蓄水期生态流量的泄放方案,比较了各种泄放方案的优缺点,重点讨论了导流洞下闸期间生态流量的泄放措施,并针对水利水电工程蓄水期生态流量泄放存在的问题进行了探讨和展望。

**关键词:** 水利水电工程; 生态流量; 蓄水期; 泄放方式

**中图分类号:** TV65      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1006-4710(2021)01-0053-04

## Research on ecological flow discharge measures during construction period of hydropower projects

WANG Mingjiang, ZHANG Jintang, GUO Haoyang, ZHOU Danshun, SUN Bin  
(Power China Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** To satisfy the ecological needs of the downstream river, it is necessary for sufficient discharge to be ensured when water conservancy and hydropower projects are built on rivers. In recent years, many scholars and experts have made achievements on the ecological discharge of water conservancy and hydropower projects, but most of them focus on the ecological discharge problem during the project operation period, and less in the water storage period. Common ecological discharge schemes for water conservancy and hydropower projects during the storage period are summarized in this paper. The advantages and disadvantages of various discharge schemes are compared, with the ecological discharge measures during the closing of the diversion tunnel emphatically discussed. The problems are also discussed and prospected of ecological flow discharge during the storage period of water conservancy and hydropower projects.

**Key words:** water conservancy and hydropower project; ecological discharge; water storage period; discharge schemes

生态基流是使水域生物及河岸带处于健康状态的最小流量,是维持河流形态和基本生态功能的保障<sup>[1-4]</sup>。在水利水电工程的蓄水过程中,如不采取措施,往往会导致下游河段出现减水脱流现象,继而引发一系列的河流生态系统问题。为保障河流生态系统的健康及可持续发展,水利水电工程在蓄水期要根据工程实际,采取相应措施保证下泄一定的生态流量<sup>[5-6]</sup>。

本文在调研工程实例的基础上,系统归纳了水

利水电工程蓄水期常用的生态流量泄放方案,以及导流洞下闸期间生态流量的泄放措施。研究成果可为后续水利水电工程蓄水期生态流量泄放方案的制定提供决策依据。

### 1 蓄水期常用生态流量泄放方案

对于水利水电工程蓄水期生态流量的泄放,通常结合项目实际,综合考虑施工组织和经济性来确定合适的生态流量泄放设施。

收稿日期: 2019-10-10; 网络出版日期: 2020-12-15

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20201214.1720.016.html>

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0401909)

第一作者: 王明疆,男,博士,教授级高级工程师,研究方向为水工建筑物。E-mail:509341595@qq.com

### 1.1 分期围堰导流的水利水电工程

采用分期围堰导流的水利水电工程,在二期通过束窄的河床过流,在二期导流时一般通过一期工程修建的导流泄水建筑物——底孔、缺口等过流,过流条件好、泄流量较大,在蓄水时段可以利用一期修建的泄水建筑物的控制闸门等控泄生态流量,故分期围堰导流的水利水电工程蓄水期生态流量泄放一般不需考虑专门的泄放设施即可满足要求。

### 1.2 导流洞导流的水利水电工程

采用一次拦断河床、导流洞导流的水利水电工程,根据不同的工程特点,蓄水期常用的生态流量的泄放方案如下。

对于土石坝等不便在坝身开孔的水利水电工

程,在导流洞封堵后可采用单独设置生态供水洞或者通过改建导流洞,在导流洞封堵体上布置放水孔泄放生态流量。

对于混凝土重力坝、拱坝等坝型的水利水电工程,在导流中后期一般会通过坝身开孔来满足过流,故在蓄水期间一般通过导流底孔等导流设施泄放生态流量。根据导流程序、导流底孔等导流设施出口闸门的形式(平板闸门/弧形闸门),此类工程在下闸后,蓄水期生态放水方案大致可分为分层孔洞接力放水和高水头阀门控泄放水两种运行方案。

以上各种蓄水期生态流量泄放方案的对比如表1所示。

表1 蓄水期生态流量泄放方案对比表

Tab.1 Comparison table of ecological flow release plan during construction period

生态流量泄放方案	代表工程	优点	缺点
导流洞封堵体上布置生态放水孔	马来西亚巴贡水电站 <sup>[7]</sup>	利用了原有的导流洞洞身段,在满足生态流量下泄的前提下可以显著节省工程量和投资。	增加导流洞封堵施工的难度,且生态放水孔存在孔口流出速度快、下游消能困难等问题。
设置生态供水洞	大渡河双江口水电站 <sup>[8]</sup>	生态供水洞下泄水量较大,单独布置与其他泄水建筑物干扰较小,启闭机容量小,操作布置较为容易,技术相对可靠,风险相对较小。	相比其他方案工程量较大、投资较高。
分层孔洞接力泄放生态流量	大岗山水电站 <sup>[9]</sup>	底孔工作水头较小,不需要控泄生态流量,一般选用平板闸门,减小了设计及施工难度,施工干扰小。	这种放水模式不能自主控制下泄流量,并且由于平板闸门的限制,工作水头较小,下泄流量较小,且易在导流底孔下闸蓄水到泄水建筑物过水过程中出现断流,需要考虑向下游的补水措施。
高水头阀门控泄生态流量	拉西瓦水电站 <sup>[10]</sup>	可以通过底孔出口弧形闸门控泄生态流量,操作比较灵活,下泄流量可控,在高水头下可下泄较大流量,且可在蓄水至泄水建筑物过流后再下闸,不出现断流。	这种放水模式相对来说放水程序较为复杂,由于导流底孔需要在高水头下控泄下泄流量,导流底孔出口采用弧形工作闸门,且水头较高,增加了设计和施工难度,施工干扰较大。

## 2 导流洞下闸期间生态流量泄放方式研究

采用导流洞导流的水利水电工程,在导流洞下闸时,往往上游水位还未达到衔接泄水建筑物的高程,会造成短暂的断流,引起下游河段的减水脱流。为了避免出现这种情况,在导流洞下闸期间,应采取必要的措施向下游补水。

通过统计已建和在建的水利水电工程实例,导流洞下闸期间的生态流量泄放主要有以下几种类型。

### 2.1 常规生态补水措施

为了避免断流,保证导流洞下闸期间生态流量的泄放,常规的工程措施是增加在下闸期间能向下游供水的(临时或者永久)通道,常见的措施及工程实例有:

1) 在导流洞上布置临时生态放水管

小井沟水利工程<sup>[11]</sup>所需生态流量较小,在导流洞下闸封堵后,水位到达永久生态放水洞(可提供生态流量)之前,通过导流洞底预埋的临时生态放水管向下游提供生态流量,之后,对临时生态放水管进行封堵。

在导流洞上设置生态流量放水管是较为常规的做法,这种方法工程投资相对较省,能够满足下泄生态流量的要求,但这种放水措施一般应用于下泄生态流量较小的工程,且会对导流洞封堵工作产生一定的干扰。

## 2) 设置泵站向下游供水

隔河岩水利枢纽工程<sup>[12]</sup>从导流洞下闸至上游水位上升至底孔过水,需要约7天时间,为了解决此段时间内的断流问题,采用设置泵站向下游供水的方案。利用特殊加工的大浮箱体,安装布置4台水泵,将此浮动泵站布置在大坝上游基坑内,向下游补充水量。

采用泵站抽水跨过大坝泄放生态流量基本上可以适用于任何水利水电工程,技术可行、风险相对较小,但其设备投资和运行费用很高,也易受到扬程过高和流量过大等因素的限制。

## 3) 设置旁通洞向下游供水

大渡河猴子岩水电站<sup>[13]</sup>为了解决导流洞下闸到泄洪放空洞过水期间向下游下泄生态流量的问题,在导流洞进口附近布置了一条旁通洞,旁通洞进口位于2#导流洞进口边墙,出口位于1#导流洞洞身段边墙,在导流洞下闸时打开旁通洞闸门,通过1#导流洞下泄生态流量,如图1所示。在水位上升,泄洪放空洞下泄流量达到生态流量时,旁通洞下闸。

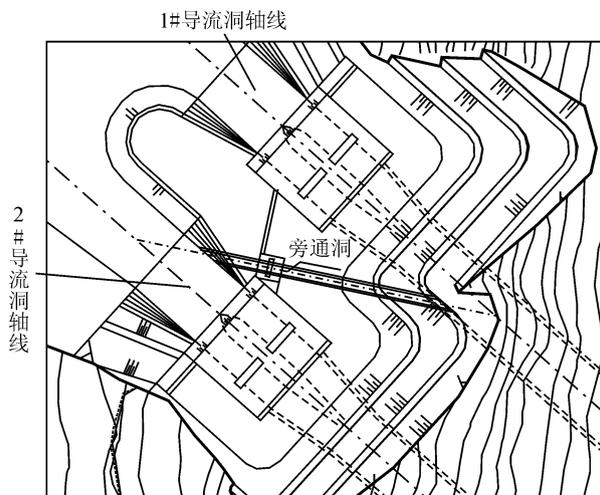


图1 旁通洞平面示意图

Fig. 1 Plane sketch of bypass tunnel

当下闸期间所需生态流量较大时,结合工程实际情况,可采取在导流洞进口处布置旁通洞的措施向下游供水。旁通洞过流流量较大,可满足下泄生态流量要求,同时旁通洞启闭机容量小,操作布置较为容易,技术相对可靠,风险相对较小。但旁通洞及其闸室结构复杂,与导流洞闸室及进口段结构存在施工干扰,且旁通洞过流流速大,出口处水流会对该

段导流洞衬砌结构产生不利影响。

## 2.2 特殊生态补水措施

由于导流洞下闸所引起的下游河道减水或者断流时间一般较短,充分结合工程实际,突破传统思维束缚,利用已有条件来解决下闸期间的生态放水问题,往往能在满足生态放水要求的前提下,简化导流程序,取得显著的经济效益。

### 1) 利用下游围堰形成水池向下游供水

功果桥水电站<sup>[14]</sup>在导流洞下闸期间,结合工程特点,对下游过水围堰进行适当加高,形成坝下、堰前生态蓄水池(可蓄水60万 $m^3$ ),在导流洞下闸至永久底孔泄放生态流量前的约3h蓄水期间,利用下游围堰预留的充水道作为泄水通道,将生态蓄水池存水下泄至河道,保证了下游河道的生态用水需求。

### 2) 汛期下闸,利用下游支流及汇水解决生态流量问题

光照水电站<sup>[15]</sup>所在的北盘江流域降水极不均匀,主汛期之后流域内降雨量会显著减少,如果选择在枯水季节下闸蓄水,需采取专门的工程措施从导流洞下泄生态流量。但是,若选择在汛期下闸,这样蓄水期短、主河道流量大,同时周边冲沟、光照小河以及西泌河等支流汇入主河道的流量也很大,则能满足生态流量需求。

### 3) 导流洞平板闸门局部开启下泄生态流量

金川水电站<sup>[16]</sup>在设计过程中对生态流量下泄方式进行了优化,讨论了采用导流洞闸门局部开启的控泄方式向下游供水的可行性。计划在导流洞闸门下放到距离底板0.8m时,通过孔口控泄生态流量,并保持闸门开度不变,使水库水位不断上升,当导流洞进口水头为24.7m时,泄洪洞过流可满足生态流量需求,此时,闸门下放至底板高程并完全封闭。

## 2.3 通过调度保障下游河段生态需求

一些梯级电站在导流洞下闸期间,可以通过对下游电站水库进行调节,使下游水库回水达到坝址下游,高于天然河道水位,不造成下游河道减水脱流,从而避免增加工程设施,不但节省了相关放水设施的投资,还简化了施工程序、缩短了工期。采用此类方法保障下游河段生态流量需求的工程有溪洛渡水电站<sup>[17]</sup>、白鹤滩水电站<sup>[18]</sup>、拉西瓦水电站等。

## 3 结论及展望

### 3.1 结论

水利水电工程蓄水期生态流量的泄放措施应充分考虑工程特点和施工组织,采用最为简便经济的

泄放方式。当采用特殊生态补水措施时,应充分论证泄放方案的安全性和可靠性,并在保证工程质量的前提下实施。

### 3.2 展望

水利水电工程施工期导流洞下闸至下一级衔接泄水建筑物过流虽然时间短暂,但是为了保证下泄生态流量,往往需要专门布置工程措施,耗费巨大。虽然目前河流生态流量的计算方法繁多,但是鲜见关于短暂的减水脱流对河道生态系统影响的敏感性研究,也没有针对短暂时段下最小生态需水量的计算方法。因此,笔者认为,应结合河道水文要素研究短暂时段最小生态需水量与长期生态需水量之间的关系,以及进行短期减水脱流对河道生态系统影响的敏感性分析。以期在保证河道生态健康的情况下优化生态流量的泄放过程。

#### 参考文献:

- [1] CHEN Ang, WU Miao. Managing for sustainability: the development of environmental flows implementation in China[J]. *Water*, 2019, 11(3): 433.
- [2] CHEN Ang, WU Miao, MCCLAIN M E. Classifying dams for environmental flow implementation in China [J]. *Sustainability*, 2020, 12(1): 107.
- [3] CHEN Ang, WU Miao, WU Sainan, et al. Bridging gaps between environmental flows theory and practices in China[J]. *Water Science and Engineering*, 2019, 12(4): 284-292.
- [4] 陈昂,隋欣,廖文根,等. 我国河流生态基流理论研究回顾[J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2016, 14(6): 401-411.  
CHEN Ang, SUI Xin, LIAO Wengen, et al. Review study on instream ecological base flow in China [J]. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 2016, 14(6): 401-411.
- [5] 国家能源局. 水电发展“十三五”规划报告[R]. 北京: 国家能源局, 2016.
- [6] 杨文正,薛联芳. 生态流量泄放设施设计及存在问题探讨[C]//中国水电顾问集团中南勘测设计研究院. 2005水电水力建设项目环境与水生生态保护技术政策研讨会论文集, 2005: 117-122.

- [7] 侯晓瞰,刘先行. 巴贡水电站工程设计综述[J]. *水利水电技术*, 2010, 41(8): 1-3, 18.  
HOU Xiaotun, LIU Xianxing. Summarization on design of Bakun Hydropower Project [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2010, 41(8): 1-3, 18.
- [8] 张超,陈世全,龙军飞,等. 大渡河双江口水电站施工导流规划与设计[J]. *水利规划与设计*, 2017(10): 148-152.
- [9] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司. 大渡河大岗山水电站施工导流专题研究报告[R]. 成都: 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 2009.
- [10] 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司. 黄河拉西瓦水电站施工导流专题研究报告[R]. 西安: 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 2001.
- [11] 高星吉. 小井沟水利工程临时生态放水管设计[J]. *四川水利*, 2017(S1): 95-96, 101.
- [12] 江洪湖,胡晓红. 隔河岩水利枢纽导流洞下闸封堵期间下游供水措施[J]. *湖北水力发电*, 1996(1): 44-48.
- [13] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司. 大渡河猴子岩水电站施工导流专题研究报告[R]. 成都: 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 2010.
- [14] 张锦堂,张亮,黄天润. 功果桥水电站施工导流设计与实践[J]. *西北水电*, 2017(6): 66-70.  
ZHANG Jintang, ZHANG Liang, HUANG Tianrun. Design and practice of construction diversion, Gongguoqiao Hydropower Station [J]. *Northwest Hydropower*, 2017(6): 66-70.
- [15] 范希勇. 浅析光照水电站下闸蓄水对下游生态流量的影响[J]. *贵州水力发电*, 2008, 22(1): 18-20.
- [16] 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司. 大渡河金川水电站导流洞封堵闸门局开泄放施工期临时生态流量专题报告[R]. 西安: 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 2018.
- [17] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司. 大渡河溪洛渡水电站施工导流专题研究报告[R]. 成都: 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 2003.
- [18] 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司. 金沙江白鹤滩水电站施工导流专题研究报告[R]. 杭州: 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 2011.

(责任编辑 周 蓓)