

挑流泄洪雾化影响范围预测方法的研究介绍

马 莹, 许 模, 李 虎
(成都理工大学, 成都 610059)

摘 要: 挑流消能作为高水头、大流量、深峡谷水电站的主要消能方式之一, 效果比较理想, 但同时带来了严重的泄流雾化现象, 对枢纽区建筑物及下游岩质边坡的稳定造成极不利的影响, 日益引起广泛的关注, 迫切需要进行预测研究。主要介绍了挑流消能雾化影响范围的预测方法。

关键词: 挑流消能; 雾化范围; 预测方法
中图分类号: TV653; X503 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007)02-0324-03

The Forecast Methods for the Range of Atomized Flow Caused by the Jet Overflow

MA Ying, XU Mo, LI Hu
(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Trajectory energy dissipation, as one of main dissipation ways of hydropower stations that locate in deep valleys and with high water head and large discharge capacity, is much effective. But discharge atomization causing from trajectory energy dissipation is often serious and has badly impact on the structures of hinge and downstream rock slope stability, which is arousing attention of the community, so there is a need for the research about the atomized flow. The forecast methods to calculate the range of atomized flow caused by the trajectory energy dissipation is presented.

Key words: Trajectory energy dissipation; the range of atomized flow; forecast method

我国是世界上水能资源最丰富的国家, 兴建的大型水利枢纽工程多在狭窄河谷地区, 具有水头高、流量大等特点。如小湾、二滩、溪落渡、糯扎渡等水电站, 坝高超过 200 m, 流速达 40~50 m/s 或者更高。据统计, 我国以及世界上修建的泄洪消能工程中, 约有半数都采用挑流消能。采用挑流消能方案, 挑流水舌互相穿射, 横向扩散, 纵向分层, 空中碰撞, 分散入水的三维综合消能措施, 最大限度的减少下游入水单宽流量, 减轻对下游冲刷破坏, 以利于大坝稳定, 而且节省工程投资, 但是高水头、窄河谷的特点, 挑流消能必将引起较大的泄洪雾化降雨。

1 泄洪雾化的现象及其影响

泄洪建筑物泄洪雾化是伴随泄洪而发生的降雨和弥漫云雾的一种物理现象。采用挑流消能的方式时, 由于水流内部的紊动和周围空气的作用, 水舌在空中扩散、掺气、碎裂, 在消能作用下而散在空中的水滴、水雾以及落入下游河道时溅起大量水滴, 在峡谷风的作用下, 密集水雾的对流扩散运动相当剧烈, 在坝址下游一定范围内形成大风雨以及云雾弥漫, 此现象成为雾化。空中消能越充分, 下游雾化越严重。

梁在潮教授将雾化现象按其形态分为强暴雨区和雾流扩散区^[1]。强暴雨区的范围包括水舌入水点前后的暴雨区和在水舌入水后的溅水区, 雾流扩散区包括雾流降雨区和雾化区(图 1)。

泄洪雾化的影响包括雾化降雨的影响和雾流的影响, 原型观测资料分析表明, 泄洪雾化可能对水电工程枢纽建筑物

的正常运行、枢纽下游两岸边坡稳定、交通安全以及周围环境等产生影响; 与雾流的影响相比较, 雾化降雨的影响对工程的危害性更大些。如威胁电厂、机电设备的正常运行; 被迫使交通中断影响生产; 对两岸岸坡及地面的淘刷; 影响工作人员正常工作和居民生活; 影响两岸边坡的稳定性, 甚至引起滑坡等。

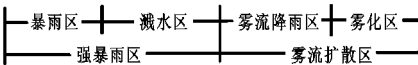
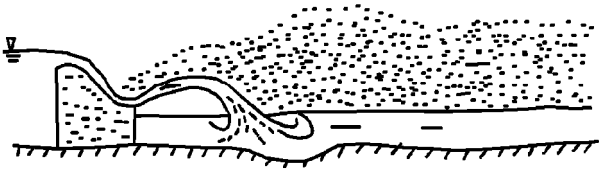


图 1 雾化水流概化图

2 雾化影响范围的预测方法

从实际工程角度, 可按雾化影响程度将雾化分为浓雾暴雨区、薄雾降雨区和淡雾水汽飘散区。由于影响泄洪雾化的因素十分复杂, 因此对雾化范围的估算只是粗略的, 但在对某一工程的雾化预报作深入研究之前, 有一种简单的预估方法供初步分析参考是完全必要的。目前对雾化水流的研究基本上沿着三个方向进行, 即: 原型观测、模型试验和理论分析计算。

2.1 原型观测

根据雾化范围影响因素的分析以及对原型观察基地雾

* 收稿日期: 2006-04-13
作者简介: 马 莹 (1982-), 硕士研究生, 专业为环境科学, 研究方向为水资源与水环境。

化现象的定性观察结果表明,水位落差、最大坝高、泄量等是挑流水舌雾化流状况的主要因素。因此原型观察资料,特别是雾化同类型工程的原型观察为我们提供了一条很好的途径,即从已建工程原观资料出发,达到预报在建工程雾化强度分布的目的。电力工业部西北勘测设计研究院科研所、长江水利水电科学研究院、北京水利院、东北勘测设计院、国家电力公司成都勘测设计研究院等单位对泄流雾化雨做过原型观测研究,在坝下游的不同断面上布置雨量计和在坝顶摄像,获得了宝贵的资料(见表 1)。

表 1 水电工程泄洪雾化原型观测资料

工程名称	最大坝高/m	纵向范围/m		横向范围/m		高度范围/m		备注
		浓雾区	薄雾及淡雾区	浓雾区	薄雾及淡雾区	浓雾区	薄雾及淡雾区	
乌江渡	165.0	510.0	900.0	300.0	620.0	200.0	300.0	据刘宣烈等
白山	149.5	420.0	900.0	240.0		150.0		据刘进军等
刘家峡	147	500.0		260		> 100.0		据刘宣烈等
凤滩	112.5	360.0	700.0	190.0		131.0		据刘宣烈等
拓溪	104.0	312.0	800.0	200.0		150.0		据刘宣烈等
泉水	80.0	180.0		130.0		65.0		据刘宣烈等
红岩	60.0	130.0				51.0		据刘宣烈等
拉西瓦	250.0	670		390		160.0		据黄容彬
二滩	240.0	745.0	1720	360		210.0		据苏建明等

根据取得的原型观测资料的坝高与雾化范围数据绘于图 2 中,可以看到坝高与浓雾化区范围的相关性还是比较高的,特别是与雾化的纵向和横向的范围相关性均大于 0.9。可见坝高与雾化范围之间存在一定的关系,在现有资料范围内,二者之间呈近似线性关系。因此,根据坝高与雾化范围的线性关系也可以初步得出泄洪雾化范围。

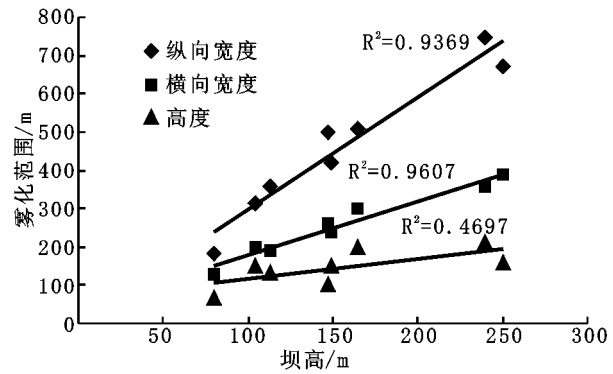


图 2 坝高与雾化范围的关系

2.2 模型试验

雾化现象属于两相流。在部分勘查设计阶段,进行泄洪雾化雨的整体模型试验研究。如南京水科院从相似理论入手,对小湾电站枢纽制作 1: 60 的整体模型,进行泄洪雾化研究,实测和分析了枢纽区下游雨强分布、雨区范围和雾化范围。为小湾的雾化设计提供了重要的科学依据,对小湾电站枢纽区布置和下游两岸防护措施提出了方案^[2]。

白山水电站泄洪雾化降雨范围预报模型试验,分别在比尺为 1: 35 和 1: 100 的整体模型上进行的^[3]。比尺为 1: 100 的模型有明显的缩尺现象,但可以定性的反应出溅水雾化现象。比尺为 1: 35 的模型,扩散性较好,泄洪溅水情况

反映的较好,在水舌附近区域,随着流量的增加,溅水强度、范围也在增加,模型与原型之间有着较好的相似对应关系。说明在选择适当缩尺的模型上,通过测取溅水范围可以预报原体雾化降雨可能造成危害的区域。

2.3 理论分析

(1) 天津大学刘宣烈结合二滩水电站雾化问题的研究^[4],为确保泄洪时枢纽工程各建筑物的运行安全,提出需对拟建工程提前进行雾化预报,认为可以按以下各式估算(H 为最大坝高)。

雾化的估算范围是:

浓雾区: 纵向范围 $L= (2.2 \sim 2.4)H$; 横向范围 $B= (1.5 \sim 2.0)H$; 高度 $T= (0.8 \sim 1.4)H$ 。

薄雾及淡雾区: 纵向范围 $L= (5.0 \sim 7.5)H$; 横向范围 $B= (2.5 \sim 4.0)H$; 高度 $T= (1.5 \sim 2.2)H$ 。 H ——大坝高。

可以根据经验公式结合电站的实际情况,预报工程枢纽区的雾化范围。

(2) 武汉水利电力大学梁在潮认为,水舌的掺气量是雾化的主要源之一,水舌掺气主要是受重力和空气阻力作用^[5]。根据水舌运动方程、水舌掺气浓度的沿程发展等可研究溅水影响区范围。梁教授在雾化水流溅水区的研究中,提出溅水水滴溅抛纵向长度和横向宽度的计算公式:

$$L= \frac{u_0 \cos r}{g} [(u - u_0 \cos r) \operatorname{tgr} + \sqrt{\frac{2gu_0 \sin r}{k}}]$$
$$D= \frac{0.75u_0^2 \sin 2r}{2kg} (\sqrt{\frac{2g}{0.866ku_0 \sin r}} - 1)$$

式中: 反弹抛射角 $r= 136^\circ - 2\beta$, β ——入水角(适用范围为: $\beta < 60^\circ$, $\beta > 30^\circ$ 。如果入水角 $\beta > 60^\circ$, 则 r 采用入水角 β 的反射角。); 水舌风速 $u= u_i/3$; u_i ——水舌入水断面的流速; 溅水水滴溅抛初速度 $u_0= 0.775 \frac{\cos \beta}{\cos r} u_i$; 试验得 $k= 0.26 \sim 0.3 (S^{-1})$

他还结合三峡工程挑流雾化问题进行了专题研究。对雾化区溅水分布情况进行预报,结果表明:

(1) 在各种工况条件下,其溅水区、强暴雨区与雾流降雨区的影响范围,随着洪水位的增加而增加,降雨区纵向可达距坝址约 600~ 1 000 m,影响的最大宽度距泄流前缘约 200 m,整个影响范围内的降雨都将落入下游河床内,故对居民的生活条件影响不大。

(2) 在各种工况条件下,薄雾区的影响纵向范围可达 2 300~ 2 900 m,横向距泄流前缘约 1 000 m。由于地质条件和气象条件的原因,薄雾对河床右岸的居民的生活产生不利的影响,应尽可能避免在雾化区内设居民点。

综上所述理论分析方法,根据预测枢纽区的工程设计参数可以对其雾化范围进行预测,得出初步的结论,可以初步制订枢纽区工程建筑物及其附属建筑物的布置方案,尽量降低泄洪雾化的影响程度。

3 方法应用

云南澜沧江上某大型水电站采用挑流消能的方案,且具有“高水头,大泄量,陡岸坡,窄河谷”的特点,在泄洪消能的过程中必将引起强烈的雾化现象,对工程建筑物以及周围环境有不可忽视的影响,因此为将影响减到最低,则用以上所述的方法对其雾化范围进行预测。

该水电站设计最大坝高 261.5 m,根据坝高与雾化范围

的关系可以得出该工程区的浓雾区的雾化范围为: 纵向 757 m; 横向 390 m; 升腾最大高度 210 m。

根据理论分析, 通过经验公式的计算可得出雾化范围为:

浓雾区: 纵向范围 $L = 601.45 \sim 889.1$; 横向范围 $B = 392.25 \sim 523$; 高度 $H = 209.2 \sim 366.1$

薄雾及淡雾区: 纵向范围 $L = 1\,307.5 \sim 1\,961.25$; 横向范围 $B = 653.75 \sim 1046$; 高度 $H = 392.25 \sim 653.75$

根据与该水电站规模相近的且通过原形观测已经确定模型试验结果的可信度的几个水电站的模型试验的结果比较分析, 再结合以上两种方法综合考虑后, 该水电站的雾化范围见表 2~ 表 4。

表 2 坝址区雾化范围

	纵向范围/m	横向范围/m	雾化最大高度/m	备注
浓雾区	777.55	390	210	最大坝高为
薄雾及淡雾区	1850	1014.5	646.12	261.5 m

表 3 射流与强暴雨区预测范围

射流区		强暴雨区			
长度/m	宽度/m	暴雨区		溅水区	
		长度/m	宽度/m	长度/m	宽度/m
50	68.75	50.48	75.66	86.45	146.31

表 4 雾流降雨区预测范围

纵向距离/m	暴雨~ 大雨	201.97
	大雨~ 中雨	42.92
	中雨~ 小雨	79.32
	小雨~ 毛毛雨	266.89
	总长	590.6
最大横向宽度/m	暴雨~ 大雨	207.88
	大雨~ 中雨	228.72
	中雨~ 小雨	254.2
	小雨~ 毛毛雨	324.68
雾流降雨区顶高程		816.35
薄雾区	纵向距离	1850
	横向距离	1014.5
	顶部高程	1251.47

4 结 论

由于雾化现象比较复杂, 影响因素较多, 因此各种方法都有一定的局限性。如模型试验可模拟挑流水舌空中运动和落水激溅, 但却难以模拟雾流; 理论分析则因影响因素众多而具有很大的困难; 相比之下, 原型观测资料显得尤为宝贵, 但这种资料又因观测重点的不同而难以被用来研究雾化范围和强度, 加之许多原型观测采集的时各个点上的数据, 而就一个而言, 其数据(特别是降雨量)受当时各种因素的影响, 难免含有随即成分。所以, 对雾化问题的研究, 还应多种方法并举, 仅采用哪一种方法, 收效都是有限的。因此要结合以上三种预报方法对工程枢纽区的雾化范围进行初步预测。

(下转第 329 页)

(上接第 323 页)

施方案, 退耕还林的适宜林种类型、适宜规模与合理结构与布局, 大规模退耕还林的水资源承载力问题, 优良树种的繁育和栽培技术等等, 使得工程建设有可能埋下生态隐患。

2.1.2 盲目实施、急功近利

工程启动初期, 没有按国家年度计划实施, 存在超前实施现象, 给群众造成不必要损失。同时工程中存在着一些“面子工程”, 将本不该列入工程范围的公路两旁的所有坡耕地统统纳入工程区; 硬性规定一次全部退耕还林; 有些地方用行政命令, 要求一律种植某一树种, 脱离实际, 甚至把价格昂贵的观赏树木也搬上了山。

2.1.3 现行政策不配套

目前退耕还林的基本措施是“退耕还林、封山绿化、以粮代赈、个体承包”, 但存在一些政策不配套问题, 国家需要及时做出调整, 以调动和保护广大农民退耕还林的积极性。第一, 对农民的补偿不足。现行政策规定, 农民退耕 1 hm² 坡耕地营造生态林, 国家每年补助 1 500 kg 原粮(折 2 100 元钱), 补助期为 8 年, 农民普遍感到由于退耕还林而造成的利益损失在两个方面不能得到充分的补偿。一是相对目前的土地收益而言 1 500 kg 的粮食补助偏少。二是对 8 年之后的生活保障普遍感到担忧。三是剩余劳动力转移问题。退耕还林后, 大部分农民将从世代耕耘的土地中解放出来, 剩余劳动力如果得不到合理的分流, 不但会造成劳动力资源的严重浪费, 也会对社会秩序构成严重威胁。各级政府应该未雨绸缪, 在退耕还林的同时进行劳动力分流。第四是退耕之后的返贫问题。退耕还林后, 主要以生态林为主, 如果 8 年参考文献:

过后见不到经济效益, 在没有额外收入的情况下, 部分农民可能会重新返贫。

2.2 对策及建议

2.2.1 科学规划、综合协调、积极稳妥地进行退耕还林

首先必须明确退耕还林范围, 凡是水土流失严重和粮食产量低而不稳的坡耕地和沙化耕地, 应该按国家要求因地制宜实施退耕还林。其次要科学编制市级退耕还林工程规划, 并得到上级的认可, 明确工程建设的目标任务、建设重点和政策措施。根据不同气候水文条件和土地类型进行科学规划, 做到因地制宜, 乔灌草合理配置, 农林牧相互结合。

2.2.2 集中人力、物力、财力, 加大退耕还林成果巩固工作

政府要协调各部门切实搞好“五结合”, 真正把退耕还林与基本农田建设、农村能源建设、生态移民、后续产业开发、封山禁牧舍饲养畜等配套保障措施结合起来, 实现生态与经济的双赢。

2.2.3 积极扶持农业龙头企业的发展

采用“公司+基地+农户”的运作方式, 做大产业规模, 延长产业链条, 稳定产业效益, 促进农民增收。

2.2.4 适当延长补助期限, 确保成果巩固

延安退耕还林工程实施几年来取得了显著的生态效益, 但从经济效益上讲, 要想让农民 8 年后从退耕地上直接获得能够维持生计的经济效益是不现实的。建议国家能从干旱地区的实际考虑, 将退耕还林的补助期限延长 3 年, 同时在停止补助以后能对退耕地造林成林面积实行生态效益补偿机制, 使退耕农户真正从退耕地里获得效益, 以保障成果巩固。

[1] 陆建德, 陈平. 延安市生态环境建设考察报告[EB/OL]. <http://www.social-policy.info/>

[2] 延安酸枣开发步入产业化轨道[EB/OL]. <http://www.yananchangtai.com/>

[3] 樊义成. 沙棘开发又签了一单[EB/OL]. <http://www.wqx.gov.cn/>

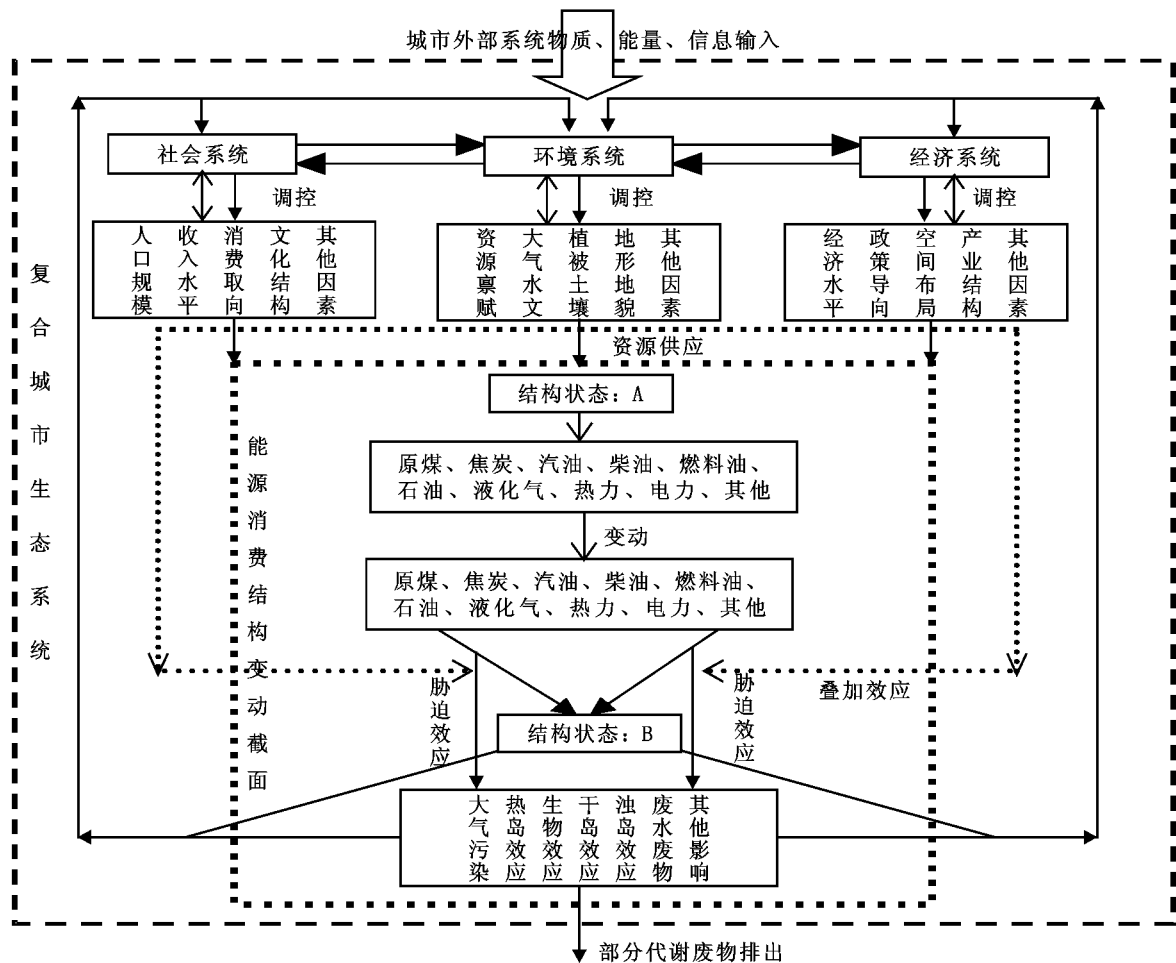


图 2 能源消费结构变动的环境效应作用机理图

在城市“社会-环境-经济”复合生态系统背景支撑下,随着社会的发展,能源消费不断提升消费水平、消费模式和观念,由一种结构状态 A 变化到另一种结构状态 B,使得城市消费的能源资料的比例关系及其构成状态都相继发生了变化,最终通过能源消费结构组成上物化表现出来,使得越来越多的新物质进入消费领域,从而使得物质代谢呈现多样化,排放到环境中的有毒、有害、不易降解、不易净化和处理的物质不断增多,使“三废”污染成分越来越复杂,处理难度和处理成本巨增。而所有这些过程,都在兰州市以封闭式为主要特征的特殊地理环境的背景值下被叠加放大,产生胁迫效应加重对城市生态经济系统的影响。

(下转第 332 页)

(上接第 326 页)

参考文献:

- [1] 梁在潮. 雾化水流理论[J]. 泄洪工程与高速水流, 1996, (2): 43- 46.
- [2] 陈惠玲. 小湾水电站泄洪雾化研究[J]. 云南水力发电, 1998, (4): 51- 55.
- [3] 刘进军, 等. 白山电站泄洪雾化原型观测与模型试验研究[J]. 东北水利水电, 2002, 20(2): 41- 45.
- [4] 刘宣烈. 二滩水电站泄洪水流雾化及其影响的研究[J]. 天津大学学报, 1989, 22(4): 15- 23.
- [5] 梁在潮. 雾化水流溅水区的分析和计算[J]. 长江科学院院报, 1996, 13(3): 9- 13.
- [6] 梁在潮. 三峡水利枢纽挑流雾化流问题的研究[J]. 武汉水利电力大学学报, 1994, 27: 636- 642.
- [7] 苏建明, 等. 二滩水电站泄洪雾化对下游边坡的影响[J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(2): 22- 24.
- [8] 董槐三. 高水头大流量泄洪消能研究[J]. 水力发电, 1998, 24(3): 21- 24.
- [9] 曾祥. 高坝泄洪水流雾化问题研究介绍[J]. 长江科学院院报, 1997, 30(2): 22- 25.
- [10] 向光红, 等. 构皮滩水电站泄洪雾化及防护研究[J]. 贵州水力发电, 2005, (3): 34- 36.
- [11] 孙双科, 刘之平. 泄洪雾化降雨的纵向边界估算[J]. 水利学报, 2003, 34(12): 53- 57.
- [12] 朱济祥, 等. 龙羊峡水电站泄流雾化雨导致岩质边坡的蠕变变形分析[J]. 水力发电学报, 1997, 16(3): 31- 38.
- [13] 梁在潮, 等. 小湾水电站泄流雾化水流深入研究[J]. 云南水力发电, 2000, 16(1): 28- 32.
- [14] 宋恩来. 白山水电站泄流雾化和溅水研究[J]. 东北电力技术, 2002, 16(8): 9- 11.
- [15] 潘瑞文. 高坝挑流消能述评[J]. 云南水力发电, 1998, (3): 18- 19.
- [16] 黄荣彬. 拉西瓦水电站泄洪消能优化设计中的几个水力学问题[J]. 水力发电, 1996, 22(8): 50- 53.