

枕头坝一级水电站鱼道设计及施工关键技术

侯 璐， 王海胜， 王 棋

(国电大渡河枕头坝水电建设有限公司,四川 乐山 614700)

摘 要:随着水电开发对保护生态的日益重视,参考国外大坝修筑过鱼设施方面的发展进程,在鱼类洄游通道修建过鱼设施或成为未来环评批复的普遍要求。介绍了枕头坝一级水电站鱼道工程的设计及施工关键技术,展望了鱼道诱鱼设施及过鱼监测设施这两个关乎过鱼目的的关键设计元素的发展方向,可为同类工程提供借鉴和参考。

关键词:鱼道;设计;槽身混凝土;枕头坝一级水电站

中图分类号:TV52;TV222;TV7 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2015)06-0107-04

1 工程概述

枕头坝一级水电站为大渡河干流水电开发的第 19 个梯级,位于四川省乐山市。坝址处控制流域面积 73 057 km²,多年平均流量 1 360 m³/s。正常蓄水位高程 624 m,最大坝高 86.5 m,电站厂房为河床式,装机容量 720 MW,多年平均发电量为 32.9 亿 kW·h,正常蓄水位以下库容 0.435 亿 m³,水库总库容 0.469 亿 m³。枢纽布置为“左岸河床式厂房+右岸泄洪闸”方案,两岸为混凝土非溢流坝。电站的开发任务为发电,兼顾下游用水。

根据国家的相关法律法规,在水利工程建设和运行过程中应当实施环境和生态保护措施;在有珍稀、特有和重要经济价值的鱼类洄游通道建闸、筑坝,需修建过鱼措施^[1]。

枕头坝一级水电站鱼道穿越大坝左岸非溢流坝段,鱼道进口布置在厂房尾水渠左侧,主进口布置于坝轴线下游 260 m 处,主出口设置在坝轴线上游约 240 m 处。鱼道建筑物主要由鱼道进口、梯身、鱼道出口等组成。鱼道总长 1 228.25 m,采用竖缝式横隔板鱼道槽身。

鱼道池室坡度 $i=0.033$,鱼道净宽 2 m,池室长度为 2.5 m,每隔 24 个水池设立一个长 5 m 的标准休息池。池室隔板厚度为 0.2 m,高 2.7 m;竖缝宽度为 0.3 m,高 2.7 m。设置了 3 个进口,3 个出口,2 个观察室,13 个标准休息池和 5 个大容量休息池。在各进口处设置有喷水诱鱼系统以及过鱼监测系统。

2 国内外鱼道建设情况

2.1 国外鱼道

鱼道在西欧已有几百年历史。1662 年法国西南部的贝阿尔恩省颁布了规定,要求在堰顶上建造鱼上、下通行的通道。1883 年在苏格尔柏斯谢尔地区泰斯河上的胡里坝建成了世界上第一座鱼道,该鱼道设有 80 余个水池,只能在最高水库水位和低于最高水库水位 1.52 m 的范围内运行。由于鱼不习惯通过该鱼道,因此而成为一次不成功的尝试。

1909 年,比利时工程师丹尼尔创造了在鱼道内部设置减小流速的、独具形式的鱼道,称之为“丹尼尔型鱼道”。在西欧、北美等国都建有不少丹尼尔型鱼道。

据不完全统计,至 20 世纪 60 年代初期为止,美国、加拿大两国建有过鱼建筑物 200 座以上,主要采用鱼道,还有少量的机械提升设备;西欧各国建有各种过鱼建筑物 100 座以上;日本约有 35 座,主要采用鱼道;苏联有 15 座以上。

1990 年 10 月在日本的岐阜市召开了第一届国际鱼道研讨会。

1970 年,在澳大利亚的菲茨罗伊河(Fitzroy River)拦河坝建起了池堰式鱼道,由于其过鱼效果较差,1987 年对其进行了改造,但过鱼效果仍不理想。1994 年,该国将原来的池堰式鱼道改造成垂直竖缝式鱼道,其结果是过鱼量和过鱼种类都比以前有较大程度地提高。因此,澳大利亚有关政府部门决定,逐渐将更多的池堰式鱼道改造成竖缝式鱼道。

1999年,美国在弗吉尼亚州詹姆斯河(James River)Bosher大坝上建造了垂直竖缝式鱼道,该鱼道配置了电视摄像系统供游客参观,并可通过网络现场转播过鱼实况。1999年共过鱼6万余条,近20种鱼类。2000年共过鱼11万余条,近20种鱼类。

2.2 国内鱼道概况

1958年,我国在浙江富春江七里垄电站中首次设计了鱼道,最大水头约18 m。

在20世纪80年代,我国在葛洲坝水利枢纽建设时针对中华鲟的保护方式进行了大量的研究,但最终采取了人工繁殖和放养的方法以解决中华鲟等珍稀鱼类的过坝问题。在此之后,我国在大江大河上修建大坝时几乎都不再考虑修建过鱼设施,从而导致鱼道研究工作在此后的20 a里基本限于停滞状态。有关资料表明:葛洲坝三个船闸的下游是鱼类聚集最多的地方,说明过了这么多年,许多鱼类依然要本能地过坝上溯。

据不完全统计,目前我国在各类水利工程中已建鱼道40座以上。已建的鱼道大多布置在沿海沿江平原地区的低水头闸坝上,故其底坡较缓,提升高度也不大,一般在10 m左右。对已建鱼道资料进行分析得知,国内修建的鱼道大部分运行不理想。

枕头坝一级水电站于2011年取得环评批复。在此后进行环评的电站大多根据需求规划了过鱼设施,过鱼设施建设或将成为今后水电开发的强制性要求。

3 鱼道的设计及施工采取的关键技术

(1)鱼道设计的第一步是根据筑坝河段的水生生态调查明确洄游鱼类的种类、大小,根据其洄游习性确定鱼道或过鱼设施的种类及水流流速。

(2)为了优化设计,鱼道的布置应尽量考虑与电站枢纽建筑物相结合,简化施工,从而有利于节省投资。根据国外鱼道建设历程,采用垂直竖缝式鱼道过鱼效果较好。

(3)当鱼道工程布置与枢纽建筑物相结合,鱼道施工一般不涉及复杂的地质条件,也不存在大体积混凝土,其施工技术的关键是止水、缝间处理及外观体型控制。

(4)建筑鱼道的最终目的是在大坝拦截河段为鱼类提供洄游通道,因此,鱼道设计的关键是诱

鱼和过鱼监测设施设计有效,其中过鱼监测设施将作为鱼道运行效果反馈分析的基础,需在过鱼的大小、数量及成活率等方面有基础数据。

4 鱼道设计的关键技术

4.1 水生生态调查

水生生态调查的目的是明确区间河段环境保护对象,以进一步根据保护对象的生理学、生态学特点进行过鱼设施设计。

该工程通过调查得知,其过鱼对象为裸体鳊鲃、重口裂腹鱼、青石爬鮡、大渡白甲鱼、侧沟爬岩鳅等5种省级保护鱼类,兼顾区域河段分布的其他鱼类。根据过鱼对象特点,最终确定过鱼设施为鱼道。

4.2 鱼类游泳能力测试

鱼类进入鱼道入口、能否顺利通过鱼道,主要与过鱼对象的游泳行为密切相关。其中鱼类的趋流特性主要用于鱼道进口流场设计;鱼类的克流速度和疲劳时间等游泳指标主要用于鱼道流速设计。

为了解区域河段目标鱼类的游泳能力,该工程开展了鱼类游泳能力测试。鱼类游泳能力的主要指标有两类:一是趋流特性,二是克流能力。趋流特性一般以感性流速为指标,它反映鱼道以及鱼类洄游路线中出现的最小流速,在这个流速上,鱼类会较易找到洄游方向;克流能力以速度表示,可以分为持续游泳速度、耐久游泳速度和突进速度。其中持续游泳速度为鱼类在恒定流速下的游泳行为,在过鱼设施内出现的几率较小,故不作为测试指标;耐久游泳速度是鱼道长度以及休息池设计的参考依据;突进游泳速度主要用于鱼道的一些特殊结构及高流速区。

通过鱼类游泳能力试验,获得了该工程鱼道设计的主要参数建议值。其中过鱼孔流速主要参考了鱼类突进速度,建议过鱼孔流速为1.1~1.25 m/s;过鱼孔尺寸主要参考了过鱼对象的规格,根据通过鱼类的最大体长,要求竖缝宽度和高度 ≥ 0.3 m;休息池可为鱼类经过突进游动后提供显著的休息时段,该工程的主要过鱼对象持续游泳能力存在差异,若要保证鱼类顺利通过鱼道且不疲劳须设置休息池,休息处形成类似自然的小型池塘,内部流速为0.2~0.6 m/s;对鱼道底部进行加糙处理,以满足齐口裂腹鱼、白甲鱼等底栖

型鱼类;进口流速范围为 0.7 ~ 1.1 m/s。

4.3 鱼道布置

枕头坝一级水电站坝址两岸山体雄厚,地形陡峭,鱼道不具备岸边布置条件;同时,电站枢纽布置除左右岸布置有非溢流坝段和排污闸坝段外,其余河床坝段均布置有发电厂房和泄水建筑物。结合左右岸非溢流坝段和排污闸坝段均有布置鱼道跨越坝体的条件。该工程拟定左岸、右岸、跨河 3 个方案从过鱼效果、枢纽布置条件、施工条件及投资等方面进行综合比选,最终选定了左岸方案。

左岸鱼道方案尽可能地与电站枢纽工程相结合,与已设计的 1 号堆积体下挡墙、抗滑桩及进厂公路下挡墙等建筑物一起呈“之”字形布置。

4.4 诱鱼和过鱼监测设施

该工程在鱼道进口边墙上埋设了 $\varphi 50$ PVC 诱鱼喷水管,通过喷射水流诱使鱼类进入鱼道。

鱼道监测系统主要是在进出口安装摄像机、在鱼道观察室位置安装水下摄像机及测流速仪器,形成鱼道洄游监控系统,可实现鱼道上下游红外线扫描及计数功能。观测系统结构框图见图 1。

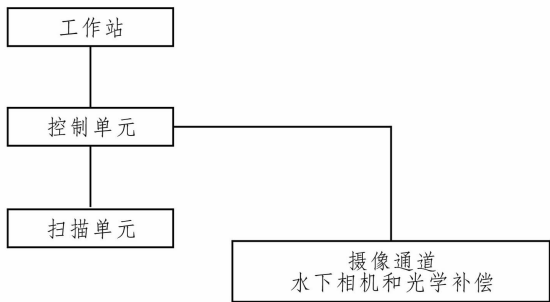


图 1 上游观察室观测系统结构框图

5 鱼道施工采取的关键技术

该工程鱼道施工内容主要包括土石方开挖,混凝土浇筑(灌注桩混凝土、水下混凝土、承台及支撑墩混凝土、槽身混凝土),闸门及启闭机安装,供电供水系统及建筑装饰装修等。为了减少施工干扰、减少合同边界条件,利于施工管理,鱼道工程施工单独成标。

该工程鱼道布置与电站主体工程基础相结合,鱼道施工不涉及复杂的地质条件;其结构尺寸

较小,不涉及大体积混凝土浇筑;其单独成标,除进出口施工与大坝二期围堰在一个作业面外,其他部位基本上在上一个标段交面后才开始施工,干扰较小。因此,鱼道施工的关键是止水、施工缝处理及外观体型控制。

5.1 止水施工

(1) 止水制安。

铜片止水表面平整,其表面的浮皮、锈污、油漆、油渍等均需清除干净。对砂眼、钉孔应予焊补。架立金属止水铜片时,采用焊接铅丝或布置止水夹等措施加以固定;在混凝土浇筑前,将止水片上的尘土及其他杂物清除干净,以保证止水片与混凝土的紧密结合;对止水片周围的混凝土采用软轴振捣器振捣密实,同时,振捣器在振捣过程中不能与止水片接触。

(2) 止水片的连接。

铜止水片采用双面氧气铜焊焊接,搭接长度不得小于 20 mm,双面焊。

5.2 施工缝的处理

为预防施工缝处混凝土骨料集中、混凝土疏松、新旧混凝土接茬明显、沿缝隙处渗漏水等问题,施工缝采用清除浮浆法进行处理,即采用铁抹子将表面的浮浆刮去一层,深度 < 25 mm 并挖压出条纹状,以提高水平施工缝的粘结质量,从而对新老混凝土的结合有利。

在施工缝处继续浇筑混凝土时,应符合下列规定:(1)已浇筑的混凝土其抗压强度不小于 1.2 MPa。(2)在已硬化的混凝土表面上,应清除水泥薄膜和松动石子以及软弱混凝土层,并对其加以充分湿润和冲洗干净、不积水,即做到:去掉乳皮,微露骨料,表面粗糙。(3)浇筑前,水平施工缝先铺上 10 ~ 15 mm 厚的水泥砂浆一层,其配合比与混凝土内的砂浆成分相同。(4)防水混凝土连续浇筑,少留置施工缝。当需留置施工缝时,严格遵守下列规定:第一,底板、顶板不留施工缝,底拱、顶拱不宜留纵向施工缝。第二,墙体不留垂直施工缝。水平施工缝不留在剪力与弯矩最大处或底板与侧墙交接处,而留在高出底板表面不小于 300 mm 的墙体上。当墙体有孔洞时,施工缝距孔洞边缘不小于 300 mm。第三,对于承受动力作用的设备基础不留置施工缝。

5.3 外观体型控制

为保证混凝土外观质量,实现外观均匀、平整,无蜂窝麻面,主要从水泥选择、配合比设计、模板选择及振捣时间几个方面进行控制。在水泥的选择上,因水泥用量不大,应尽量采用同一厂家、同一品种的水泥;在混凝土配合比设计中,需考虑混凝土具有均匀一致的外观质感并具有稳定的工作性能;在模板的选择上,鱼道外侧墙体采用桁架式大面钢模板和定型模板,并在钢模板表面涂刷优质的油性脱模剂;在振捣工艺上,根据混凝土表面大气泡排出与成型振动时间的关系,并考虑混凝土的性能及施工条件,找出最佳成型振动时间、振动点间距的控制,以减少混凝土表面的气泡数量。笔者以鱼道槽身为例,简要介绍了鱼道混凝土的施工。

(1)混凝土分块。鱼道槽身混凝土按照设计结构分缝分块,一般为10 m一段,局部分块长度由于转弯、鱼道休息平台及结构控制物及过坝段长度根据实际情况有所不同,混凝土浇筑采用跳仓法施工。

(2)混凝土分层。鱼道槽身混凝土施工在下部基础施工完成后分层浇筑,先进行底板混凝土和边墙下部50 cm混凝土浇筑;对于边墙高度超过3 m的槽身段,按照每层3 m进行施工,隔板、联系梁及人行道随边墙混凝土同时施工。

(3)模板施工。鱼道槽身内侧及隔板模板采用钢框竹胶板、方木和钢管加固,拐角部位采用定型钢模板;外侧墙体采用桁架式大面钢模板和定型模板,并在钢模板表面涂刷优质的油性脱模剂。部分鱼道槽身为墩柱结构支撑,该部分槽身混凝土采用搭设满堂脚手架支撑进行施工,脚手架下部基础进行加固处理,清除表层的松软及淤泥质,分层换填石灰土或级配碎石,采用重型碾压机碾压实并浇筑混凝土垫层,以确保脚手架基础满足荷载要求。

(4)钢筋制安。鱼道使用的钢筋为业主供材,从而保证了钢筋质量。钢筋在工厂经现场验收合格后采用载重汽车运至现场,现场采用人工绑扎或焊接。

(5)混凝土运输及入仓。混凝土水平运输均采用 6 m^3 混凝土搅拌车由拌和系统运至施工现场。鱼道槽身混凝土以履带吊吊罐入仓为主,局部采用脚手架搭设溜槽直接入仓;对于不具备吊

罐和溜槽的建筑物结构采用泵送混凝土入仓。

(6)混凝土浇筑及振捣。混凝土分层浇筑、分层振捣。插入式振捣棒移动间距不大于振捣棒作用范围的1.5倍。一般每点振捣30~35 s。振捣时需注意对于钢筋密集及不易插入振动棒的部位不得出现漏振、欠振或过振。每一振点的时间以表面出现浮浆和不再有显著沉落,不再有大量气泡上冒为止。为使上下层混凝土结合成整体,上层混凝土振捣要在下层混凝土初凝之前进行,并要求振捣棒插入下层混凝土10 cm。

5.4 混凝土施工质量

鱼道工程混凝土共评定单元工程369个,合格369个,合格率为100%,优良338个,优良率为91.6%。施工单位对混凝土抗压强度检测取样437组,检测结果满足设计要求,强度保证率达到97.7%。对混凝土全面性能检测40组,检测结果均满足设计要求。对混凝土体型检测381个点,371个点合格,合格率为97.4%。对过流面检测284个点,275个点合格,合格率为96.8%。

2015年5月,枕头坝一级水电站下闸蓄水,鱼道进行了过水。鱼道首次过水后现场巡视未发现渗水现象且运行至今未发现渗水现象。

5.5 其他

鱼道标施工内容除土建工程外,还有闸门、启闭机安装,电气一次、二次设备安装,因涉及专业较多,施工单位应该配备相关专业施工管理人员。由于鱼道内有大量的水力机械辅助设备及监测设备的预埋管线,施工前,应针对专业间的交叉做好设计交底工作。

6 结语

(1)枕头坝一级水电站鱼道工程的布置与电站枢纽工程相结合,简化了施工,节省了工程投资,可为其他电站布置鱼道时借鉴。

(2)该工程鱼道长1 228.25 m,水头34 m,是西南地区规模最大的鱼道。目前,鱼道设计还没有成熟的设计规范,国内已建的鱼道规模均较小,多为低水头大坝上建设的鱼道。该工程鱼道的设计代表着国内鱼道设计的先进水平,可供其他鱼道设计时参考。

(3)鱼道施工过程中以止水、施工缝处理、混凝土外观体型控制为重点,鱼道过水后未发现渗

(下转第135页)

成功应用,笔者获得了以下几点体会:

(1)自动盘车装置结构简单、操作规范、方便、测量结果真实可靠,从而提高了盘车的质量、效率和自动化水平,改善了工作人员的劳动环境和劳动强度,适合在水电站中运用和推广。当然,该盘车装置还存在一定的技术改进空间,制造工艺水平和质量有待进一步提高。

(2)机组制造工艺和安装质量是轴线质量的前提。推力轴承作为固定部件和旋转部件的结合点以及机组正常运行的支持点,其高程、水平和同

(上接第 88 页)

(1)该工程在蓄水过程中,根据泄洪闸基础参数建立了水力学公式,并根据库水位平衡在不同水位时对公式进行了校核。采用该方法初拟了闸门开度,在某个坝前水位下,输入闸门开度能够直接得到下泄流量,操作简单,计算结果较准确,可在其它电站蓄水时采用。

(2)该电站的蓄水是在上游非天然来水情况下进行的,入库流量瞬时变化大。蓄水中,通过分析不同时段入库流量变化、蓄水量、入库流量与坝前水位的关系,实现了闸门的科学、合理调度。特

(上接第 100 页)

准执行,主要从以下三个方面控制安装质量。

(1)定子下线前,保持定子及线圈清洁、干燥,严格执行工序间的检查制度,确保槽内及线棒间无灰尘杂物。

(2)确保槽楔和线棒之间填实与铁芯通风槽平整,对绑线必须进行修整,防止其尖端放电。

(3)发电机定子下线结束、喷漆前对定子进行全面清扫,以减小电晕产生的概率。

参考文献:

(上接第 110 页)

水现象,施工质量良好。

(4)诱鱼设施是鱼道设计的关键,该工程仅在鱼道进口设置了喷水诱鱼系统,而该部位的河床宽约 200 m,在如此宽的水域此诱鱼系统具有一定的局限性,诱鱼效果尚待进一步观察。参考国外工程,有覆盖水面的诱鱼系统以及通过灯光、声音等方式诱鱼,其他电站在选择诱鱼设施时可考虑采用。

参考文献:

心度直接影响到机组轴线调整的质量。

参考文献:

[1] GB/T 8564—2003,水轮发电机组安装技术规范[S].

作者简介:

张治忠(1985-),男,河北衡水人,工程师,硕士,从事水电站运行、维护和检修工作;

熊 玺(1971-),男,四川乐山人,副总工程师兼处长,工程师,学士,从事电力生产管理工作;

万 利(1980-),男,四川眉山人,助理工程师,从事水电的运行维护工作。

(责任编辑:李燕辉)

别是蓄水位接近设计正常蓄水位时,在入库流量迅速增加的情况下,准确判断了水位上升趋势,最终水位缓慢达到正常蓄水位,未造成下泄流量大幅波动,实现了安全、精确蓄水。

作者简介:

侯 璐(1987-),女,四川仁寿人,副处长,工程师,学士,从事水电工程建设技术与管理工作;

王海胜(1978-),男,河南新乡人,工程师,硕士,从事水电工程建设技术与管理工作;

樊 宇(1967-),男,陕西西安人,总工程师,高级工程师,从事水电工程技术与建设管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

[1] DL/T 5420—2009,水轮发电机定子现场装配工艺导则[S].

作者简介:

李春平(1990-),男,四川南充人,助理工程师,学士,从事水电站运行、维护和检修工作.;

安义民(1987-),男,陕西渭南人,助理工程师,学士,从事水电站运行维护和检修工作;

张治忠(1985-),男,河北衡水人,工程师,硕士,从事水电站运行、维护和检修工作。

(责任编辑:李燕辉)

[1] 王 珩,杨文俊,陈 辉.生态水工建筑物——鱼道的建设及研究进展[J].人民长江,2013,44(9):88-92.

[2] 宋德敬,姜 辉,等.老龙口水利枢纽工程中鱼道的设计研究[J].海洋水产研究,2008,29(1):92-97.

作者简介:

侯 璐(1987-),女,四川仁寿人,副处长,工程师,学士,从事水电工程建设管理工作;

王海胜(1978-),男,河南新乡人,工程师,硕士,从事水电工程建设技术与管理工作;

王 棋(1990-),男,湖北黄冈人,技术员,从事水电工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)