

浅析水轮发电机低频振动的环境影响及对策措施

孙显春¹,李婉滢²,王菊¹,刘燕³

(1. 中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州省烟草公司, 贵州 贵阳 550002; 3. 南京鼎辰建筑设计院, 江苏 南京 210008)

摘要:随着我国水电工程的建设,水轮发电机运行产生的低频振动对周围环境的影响程度也逐渐引起环保人士关注。水电工程一般位于偏远地区,对发电厂周围的国家重点保护动物的造成一定不利影响,需要采取相应的保护对策措施。本文根据对水轮发电机运行振动的现场监测,进行了初步的分析、探索。

关键词:水轮发电机;低频振动;环境影响

0 概述

近几年我国水电建设空前高涨,目前建成的水电站 4 万多座,遍及 31 个省的 1600 多个县市区;而水电站大多分布于高山峡谷之中,虽人烟稀少,但经常成为国家重点保护动物的栖息地。水轮发电机运行产生的振动和噪声,特别是低频振动,对周围的敏感性动物影响较大(如贵州省主要河流乌江、北盘江的高山峡谷中,分布着国家重点保护动物黑叶猴、猕猴和藏酋猴等),但目前国内外水轮发电机低频振动资料很少。本文通过水轮发电机振动的现场监测,分析振动对周围环境的影响。

1 水轮机振动监测

1.1 监测电站概况

振动监测选择贵州省乌江干流东风水电站,地下厂房装机容量 510MW(3 × 170MW),即厂房安置三台水轮机组,单台装机容量 170MW,本电站于 2001 年投入运行,现在已经进入稳定运行状态。

1.2 振动标准

现阶段,我国的振动标准执行《城市区域环境振动标准》(GB10070-88),见表 1,所以水轮机振动监测值执行此标准。

表 1 城市区域环境振动标准(GB10070-88)单位:dB

序号	适应地带范围	昼间	夜间
1	特殊住宅区	65	65
2	居民、文教区	70	67
3	混合区、商业中心区	75	72
4	工业集中区	75	72
5	交通干线道路两侧	75	72
6	铁路干线两侧	80	80

1.3 监测条件

(1) 东风水轮发电机组均处于正常工作状态。

(2) 在振动监测过程中,监测点附近无足以影

响环境振动监测值的其它环境因素,如剧烈的温度梯度变化、强电磁场。

1.4 监测布点和时间

(1) 监测布点

为了了解水轮发电机组运行期的振动源强和衰减特征,分别在振源及其周围布置了 8 个监测点,见表 2。考虑到振动传播、衰减特点,各个监测点均布置于基岩上。

表 2 振动监测点与水轮机关系统计表

测点编号	距离振源	跨越断层编号	断层性状描述
1	3m	无	
2	20m	无	
3	50m	无	
4	100m	无	
5	200m	无	
6	500m	F ₆ 、F ₃₃ 、F ₃₅	断层带宽度 0.6 ~ 3m、2 ~ 4.5m、0.1 ~ 0.3m,充填方解石,角砾岩胶结良好
7	1000m	同 6	同 6
8	1500m	同 6	同 6

(2) 监测时间

根据电站运行特点,在水轮机正常运行条件下,选择水电站不同出力时,实施一天三次观测,即早晨 5 ~ 6 点(用电低谷时段)、下午 14 点(正常时段)和晚上 21 点(用电高峰时段)。

1.5 监测方法

采用质点振动监测法,实施三维(包括水平径向、水平切向和垂直等)方位监测。

1.6 监测结果

根据水轮发电机特点和振动监测结果,水轮机振

作者简介:孙显春(1979-),男,山东省青岛市人,环评工程师,主要从事环境影响评价和水土保持工作。李婉滢(1980-),女,贵州省贵定县人,中级经济师,主要从事工程管理工作。王菊(1961-),女,贵州省贵阳市,工程师,主要从事环评和环保监理工作。刘燕(1980-),女,江苏省盱眙市人,工程师,主要从事市政及建筑设计。

动主频率为81Hz,监测结果见表3、表4。

表3 水轮发电机振动监测值分析统计表

序号	观测方向	振动频率(Hz)	振动频率对应加速度 (m/s ²)	振动加速度级 (dB)	振动频率分析	备注
1	垂向	81	0.0581	95.3	水轮机运行振动	距2#水轮机轴心约3m
		414	0.0575	95.2	水轮机共振或机械噪声	
	水平径向	414	0.0601	95.6	水轮机共振或机械噪声	
		81	0.0432	92.7	水轮机运行振动	
		820	0.0585	95.3	水轮机共振或机械噪声	
	水平切向	939	0.0415	92.4	水轮机共振或机械噪声	
		334	0.049	93.8	水轮机共振或机械噪声	
		81	0.0485	93.7	水轮机运行振动	
		939	0.0279	88.9	水轮机共振或机械噪声	
2	垂向	81	0.0018	65.1	水轮机运行振动	距2#水轮机轴心20m
		81	0.0028	68.9	水轮机运行振动	
	水平径向	258	0.0018	65.1	水轮机共振或机械噪声	
		390	0.0016	64.1	水轮机共振或机械噪声	
	水平切向	81	0.0028	68.9	水轮机运行振动	
3	垂向	2.65k	0.0004	52	环境振动	距2#水轮机50m
		81	0.0003	49.5	水轮机运行振动	
		2.04k	0.0003	49.5	环境振动	
	水平径向	81	0.0008	58.1	水轮机运行振动	
		2.65k	0.0003	49.5	环境振动	
		2.04k	0.0003	49.5	环境振动	
	水平切向	81	0.0012	61.6	水轮机运行振动	
		2.65k	0.0003	49.5	环境振动	
		2.04k	0.0003	49.5	环境振动	
		2.62k	0.0003	49.5	环境振动	
4	垂向	2.62k	0.0005	54	环境振动	距2#水轮机100m
		81	0.0003	49.5	水轮机运行振动	
		2.14k	0.0002	46	环境振动	
	水平径向	2.62k	0.0005	54	环境振动	
		81	0.0004	52	水轮机运行振动	
		2.14k	0.0002	46	环境振动	
	水平切向	100	0.0005	54	环境振动	
		81	0.0005	54	水轮机运行振动	
		2.62k	0.0005	54	环境振动	
		2.14k	0.0002	46	环境振动	
5	垂向	2.63k	0.0004	52	环境振动	距2#水轮机200m,振源 与观测点间跨越F ₁₈ 断层
		2.13k	0.0003	49.5	环境振动	
		81	0.0001	40	水轮机运行振动	
	水平径向	50	0.0008	58.1	环境振动	
		2.63k	0.0004	52	环境振动	
	水平切向	2.13k	0.0003	49.5	环境振动	
		2.63k	0.0004	52	环境振动	
6	垂向	2.13k	0.0003	49.5	环境振动	距2#水轮机500m,振源 与观测点间跨越F ₆ 、 F ₁₈ 、F ₃₃ 、F ₃₅ 断层
		2.69k	0.0004	52.0	环境振动	
	水平径向	1.92k	0.0003	49.5	环境振动	
		50	0.001	60.0	环境振动	
	水平切向	2.69k	0.0004	52.0	环境振动	
		1.92k	0.0003	49.5	环境振动	
7	垂向	2.71k	0.0003	49.5	环境振动	距2#水轮机1000m,振 源与观测点间跨越F ₆ 、 F ₁₈ 、F ₃₃ 、F ₃₅ 断层
		1.86k	0.0002	46.0	环境振动	
	水平径向	2.71k	0.0003	49.5	环境振动	
		1.86k	0.0002	46.0	环境振动	
	水平切向	2.71k	0.0003	49.5	环境振动	
		1.86k	0.0002	46.0	环境振动	
		2.71k	0.0003	49.5	环境振动	
		1.86k	0.0002	46.0	环境振动	

表4 水轮发电机低频振动监测值分析统计表

测点编号	观测方向	最大振动加速度(m/s^2)	最大振动加速度级(dB)	振动频率峰值(Hz)
1	垂直	0.001	60	13
	水平径向	0.000219	46.8	10
	水平切向	0.000319	50.1	9
2	垂直	0.000049	33.8	15
	水平径向	0.000034	30.6	14
	水平切向	0.000058	35.3	16
3	垂直	0.000027	28.6	15
	水平径向	0.000092	19.3	12
	水平切向	0.000043	32.7	10
4	垂直	0.000018	25.1	13
	水平径向	0.000025	28	15
	水平切向	0.000029	29.2	15
5	垂直	0.000016	24.1	15
	水平径向	0.00001	20	12
	水平切向	0.00001	20	13
6	垂直	0.000015	23.5	15
	水平径向	0.000085	18.6	13
	水平切向	0.000015	23.5	15
7	垂直	0.00001	20	15
	水平径向	0.000026	28.3	9
	水平切向	0.000082	18.3	13
8	垂直	0.000083	18.4	16
	水平径向	0.000062	15.8	10
	水平切向	0.00001	20	16

2 水轮机振动分析

根据水轮机振动监测结果,结合本水电工程及运行特点,对水轮机振动进行分析,总结振动特点。

2.1 主频振动分析

1#监测点代表水轮机振动源强,水轮机主频81Hz的垂向、水平径向和切向振动加速度分别为 $0.0581 m/s^2$ 、 $0.0432 m/s^2$ 、 $0.0485 m/s^2$,相应振动加速度级分别为95.3dB、92.7dB、93.7dB;由于水电站厂房的三台水轮机均处于正常工作状态,在水轮机的共振和机械噪声作用下,还存在250~900Hz之间的频率。

2#监测点与2#水轮机组距离20m,发电厂房内3台水轮机在监测点产生共振作用较1#监测点弱,所以水轮机运行引起的81Hz振动突出,其它频率信号弱,表示该点的振动主要水轮机运行产生,在垂向、水平径向、水平切向的加速度分量分别为 $0.0018 m/s^2$ 、 $0.0028 m/s^2$ 、 $0.0028 m/s^2$,相应振动加速度级为65.1dB、65.1dB、68.9dB。

3#监测点距离振动源50m,水轮机产生的共振现象在此监测点消失,出现了2.04~2.65kHz的主频干扰振动信号,且该信号能量较强,同时也存在81Hz的振动,反映该点位置的振动为环境振动和水轮机运行共同产生。水轮机运行引起的振动在该点已较弱,其垂向、水平径向、水平切向的加速度分量分别为 $0.0003 m/s^2$ 、 $0.0008 m/s^2$ 、 $0.0012 m/s^2$,相应振动加速度级为49.5dB、58.1dB、61.6dB。

4#监测点距离振动源点100m,水轮机运行引起的振动在该点已很弱,其垂向、水平径向、水平切向的加

速度分量分别为 $0.0003 m/s^2$ 、 $0.0004 m/s^2$ 、 $0.0005 m/s^2$,相应振动加速度级为49.5dB、52.0dB、54.0dB。而主频100Hz、2.14Hz、2.62Hz的环境振动能量很强,甚至占主导地位。

5#监测点距离水轮机200m,跨越 F_{18} 断层,水轮机运行引起的振动在该点已极其微弱,已监测不到其水平径向、水平切向上振动信号,垂向加速度分量也仅为 $0.0001 m/s^2$ 。

6#~8#监测点距离水轮机500m以外,同岸跨越 F_6 、 F_{33} 、 F_{35} 断层,已无法观测到振动信号,接收到的振动频率基本大于1.8kHz,为环境振动。

2.2 低频振动分析

本水电站各测点地面振动测量结果表明:机房振动的主频率为81Hz较高频段,垂直振动加速度随距离衰减较快,从机房所在地 $0.0795 m/s^2$,衰减到200m处的 $0.0001 m/s^2$,衰减约99.87%。在8~16Hz低频段,垂直加速度最大值从 $0.001 m/s^2$ 衰减到距离1000m处的 $0.000011 m/s^2$,衰减速度比81Hz的慢,衰减约99%。

3 振动影响分析实例

3.1 水电站及保护对象

某水电站位于北盘江干流中游河段,地下厂房装机容量180MW($2 \times 90MW$),调节性能为日调节水库。

黑叶猴自然保护区位于该水电站厂房下游,根据2004年的调查资料,生活国家I级保护动物—黑叶猴66只。地下厂房距离自然保护区实验区0.86km。

野生动物对低频振动的敏感性很高。在自然灾

害中,与地震、海啸等自然灾害同时发生的低频振动波,可通过地壳萤光快速传播到很远的距离。野生动物可通过对低频振动波,感受到自然灾害的临近,得以及早逃避。黑叶猴属于灵长类动物,国外大量研究表明,灵长类动物(人类、猩猩、猴等)对低频振动的敏感频率是 5~20Hz,但是,目前尚未有黑叶猴在此低频段内的感受阈值的报导。

3.2 影响分析

(1) 类比分析可行性

根据文内两座水电站水轮机特性参数、厂房周围的环境特点、以及水轮机运行稳定性等方面,分析类比的可行性和合理性。

(2) 水轮机振动源强分析

根据水电站水轮机特性参数、容量、出力状况,结合东风水电站水轮机振动源强,分析该水电站水轮机的振动源强。

(3) 振动衰减分析

目前国内通行的振动的衰减模式为:

$\Delta L = 20 \lg R - C$ (ΔL —振动加速度衰减量, R —距离振源的距离, C —受地质、土壤等条件变化的常数。)

根据水轮机振动源强,考虑振动随距离衰减量、以及包括环境地质、土壤等因素的衰减量,计算振动源对某一点的贡献值。

通过对振动预测点(或敏感点)的现场监测,获取环境振动背景资料,同时叠加水轮机振动源的贡献量,即得该水电站运行期、预测点的振动强度。

(4) 影响分析结论

根据该水电站水轮机振动源强,距离和其它环境因素衰减作用,在考虑背景振动强度 56.0dB 条件下,野叶猴自然保护区实验区、缓冲区和核心区的振动强度分别为 56.7dB、56.2dB、56.1dB,与背景值相比分别增加了 0.7dB、0.2dB、0.1dB,该水电站水轮机对自然保护区振动影响统计表,见表 5。

表 5 某水电站水轮机对自然保护区振动影响统计表 单位:dB

项目	实验区	缓冲区	核心区
振动强度	56.7	56.2	56.1
比背景增加值	0.7	0.2	0.1

在黑叶猴敏感频段 8~16Hz 上,根据东风水电站

的实测结果表明,经 1000m 的距离衰减已降至厂房附近强度的 1%。这一迭加值已在测量到的范围误差之内;同时,考虑厂房至黑叶猴自然保护区之间有 F_1 、 F_2 断层阻隔后,水轮机运转产生的低频振动对黑叶猴的影响是不明显的。

4 振动对策措施及建议

4.1 振动对策措施

根据水轮发电机振动监测及分析,水轮发电机运行产生的振动将对周围环境造成一定影响,应该紧密结合周围环境特点(特点是环境敏感目标和环境地质条件),提出切实可行的振动控制措施。

(1) 合理规划发电厂房地理位置,远离环境振动敏感目标。

(2) 控制振动源,优先选用低振动的水轮发电机及配件。

(3) 合理布置水轮发电机,地基优先采用整体性好、振动小的结构型式;设计跨度和自振特性等应避免水轮发电机之间、水轮发电机与结构之间的共振作用。

(4) 振动传播过程阻隔,根据环境地质条件,充分利用天然的地质断层,或采取挖沟、筑墙等措施,阻隔振动的传播途径。

(5) 振动能量吸收,在振动源周围设置由具有一定质量的隔振材料形成的阻波区,隔绝振动波的扩散。

鉴于水电站建设工程特点,大多数位于地处偏僻、人烟稀少之处,环境振动敏感目标相对较少,但是,一旦涉及振动敏感目标,必须根据水轮机组振动频率和强度,结合周围环境和敏感目标特点,采取以上一种或几种措施,避免、削减振动造成的不利影响。

4.2 建议

(1) 开展水轮机组振动的理论研究。根据国外经济及研究状况,结合我国实际情况,探讨振动评价的内涵和评价方法。

(2) 选择不同类型、容量的水轮机组进行监测,探索水轮机振动规律和特点。

(3) 开展各种国家重点保护动物对振动的敏感性研究,确定相应的振动标准。

Discussion on the environmental impact and the countermeasures of low-frequency vibration of turbine generator

Sun Xianchun Li Wanying Wang Ju Liu Yan

(1. Guiyang hydropower investigation design & research institute, CHECC. Guiyang, 550002, China. 2. Guizhou tobacco company)

Abstract: With development of hydropower projects, environmental protectors have gradually paid more attention to the environmental impact of low-frequency vibration produced by turbine generator operation. Hydropower project is generally located in remote area and will bring certain unfavorable influences on the wildlife under special state protection around the powerhouse, so corresponding protective countermeasure should be taken. According to the on-site monitoring of operation vibration of turbine generator, the paper makes preliminary analysis and exploring.

Key words: Hydropower; turbine; low-frequency vibration; environmental impact