

大型水库的地震监测工作

汪雍熙 潘益新

(水利水电科学研究院)

地震监测是大型水利水电工程常见的前期勘察和安全监测手段之一,据不完全统计,直接为大型水库服务的地震台站,目前已经超过40座,各种长期和临时的地震台网十多处,比较先进的地震遥测台网3个;工作时间最长的三峡台网已正常运行近30年。及时总结积累的经验,对于进一步开展和改善水电系统的地震监测工作,是很有意义的。

一、大型水库地震监测工作的历史和现状

(一) 地震监测工作的目的

地震是一种自然现象,强烈的地震会造成巨大破坏,因此,大型水库必须进行抗震设计和相应的研究,采取适当的工程措施,以确保其安全。在特定的地质条件下,蓄水后有可能产生水库诱发地震,对于大型水库,这也是在抗震设计中需要研究和予以考虑的因素之一。应用精密的测震仪器,观测和记录库坝区的天然地震和水库诱发地震活动,所取得的地震图和地震目录,是进行上述研究的重要基础资料。

自70年代初起,我国各省陆续建立了国家地震台网,定期出版地震目录,3级以上的地震一般不会遗漏。然而,很多大型水库地处僻壤,山高谷深,交通不便,人烟稀少,往往是国家台网的空白区,有时甚至在半径一二百公里范围内没有一个地震台。库坝区的微震活动得不到有效的监测,不利于区域地壳稳定性和水库诱发地震的研究评价工作。在震情发生变化时也不能及时获得信息,不利于采取适当的防范措施。因此,在很多情况下,大型水库设立自己的地震台站或地方台网,是十分必要的。

水电系统自设地震台(网)的主要目的是:

- 1.在勘测和施工阶段用于收集库坝区几十公里范围内天然地震活动的背景值。
- 2.通过监测微震活动研究库坝区主要断裂带的现今活动性。
- 3.蓄水初期,根据地震活动的变化,判断是否发生水库诱发地震,确定其时间、空间和强度的变化规律,为预测其发展趋势提供依据。
- 4.在运行阶段监测震情的变化,确保水库的安全万无一失。

(二) 历史的回顾

早在1959年,中国科学院地球物理研究所就在长江三峡地区设立了地震台网,开始对三峡坝区和鄂西地区的地震活动进行监测。1961年,地震台网交长江流域规划办

公室勘测总队管理,至今已积累了近30年的连续观测资料,在当前的三峡可行性论证工作中起了很大的作用,这是我国水电系统乃至全国范围内最早设立的地方地震台网之一。1963年,梅世蓉等在甘肃祁连山昌马水库周围设立临时台网,历时一年,是通过地震监测研究水库附近断层活动性最早的工作之一。新丰江水库蓄水诱发地震后,1960年开始设台,1961年建成台网,1979年又开始设置无线遥测台网,是我国专为研究水库诱发地震而设立的第一个地震台网,又是我国最早的遥测台网之一。1965年,李自强等在广东东江枫树坝水电站库区设立临时台网,观测了两个月,是首次专门为水库诱发地震前期研究而开展的测震工作。

1972年丹江口水库蓄水后诱发了地震,1975和1976年相继发生海城和唐山地震,水库诱发地震研究和大型水库的抗震工作受到很大的重视,1978年颁发试行的《水工建筑物抗震设计规范》中对地震监测工作做出了相应的规定,许多已建在建的水库都设立了自己的地震台。时至今日,水电系统已成为各工业部门中地震监测工作开展最广泛的部门。

(三) 地震台站(网)的设置形式

从目前情况看,水电系统地震台站(网)的设置大体有四种形式:

1.由地震专业部门建设和管理,成为国家地震台网的一部分,如浙江新安江台,广东枫树坝水库下游的梨嘴台等。这是早期的做法,现在已很少见。此外,新丰江台网一直是地震系统的水库诱发地震科研项目,也属于这一类。

2.地震系统负责建设,水电系统管理,原始资料交给地震部门,每月寄回该省地震目录一份,如辽宁碧流河台网和很多工程的单个地震台。其中有的台站也成为国家台网的组成部分,如吉林丰满台,广西澄碧河台等。

3.地震系统帮助建设,水电系统管理,掌握原始资料,自行分析,自行提出地震月报和目录,较早的如三峡台网,丹江口台网,近期如龙羊峡台网,乌溪江小台网等。

4.全部由水电系统自行建设、管理和分析资料,如河北潘家口地震台、四川二滩地震台、浙江紧水滩地震台等。正在建设的贵州东风地震小台网和丹江口改建遥测台网等也采用这一形式。

(四) 运行管理方式

水电系统地震台站(网)的运行管理方式,除长办专门成立地震队负责三峡台网的监测分析工作外,一般比较简单。早期的地震台多半单独成立一个小单位,由4至10名正式职工组成,隶属于水库管理单位或水电厂的长期观测部门。

70年代末以来,有些勘测单位也开始设置临时地震台,除远离工地者有时还采用上述方式外,许多情况下由一二位搞内业的技术人员兼管,或者由经短期培训的高中毕业生负责,都能取得满意的效果。例如,二滩地震台由工程兵部队三名志愿兵管理,在专业人员的指导下,从台站选址、试测、架设仪器,到日常管理维护、资料分析、编制地震目录,在一年多的时间里,已基本掌握,取得的资料质量良好,在二滩水库诱发地震研究和地震基本烈度复核工作中,都发挥了应有的作用。

在浙江乌溪江水库的诱发地震研究中,浙江省地震局在库坝区及外围设置了临时地

震台网,为了解决库区交通闭塞,生活条件差及观测人员不足等困难,部分台站委托当地居民代管,仅有少数专业人员巡回检查指导。这一经验很快在水电系统得到了应用。该水库湖南镇水电站的观测部门在坝区附近设立的地震监测小台网,就采取这种形式。中心台设在电厂生活区附近,由一名老工人和二三名观测工负责,库区的三个子台都安放在村子里,由当地居民负责日常运行操作,并定期将观测资料送到电厂中心台集中分析处理。华东院在乌溪江水库震中区和紧水滩水库设立的地震台,辽宁省水电设计院的观音阁水库临时台和贵阳院的东风水库小台网也都是这样做的。

80年代中期以来,部分设计院和水库、电厂的管理单位配备了地震地质或地震专业的大学生、硕士生,专管或兼管此项工作,水电系统的地震监测和台网管理工作可望得到进一步的加强和改进。

(五) 仪器装备

关于测震仪器,水电系统各台站大多数使用 DD—1 型和 DSL 型的短周期地震仪,也有一部分比较老式的如 65 型等。这些仪器也是地震系统一般台站的主力仪器。地震台和仪器室的设置标准在不同情况下差别较大,水库运行单位的正式地震台很多都能达到一般国家台的标准,勘测单位设的临时台则相当于地震系统的临时台或流动台的水平。总的看来,我们的装备水平并不落后,是能满足库坝区地震监测要求的。仪器的维修则是比较薄弱的环节,多半情况下仍需远道求助于专业部门(省地震局或附近的地震中心台等),往往迁延时日,甚至不能保证台站连续正常运行。近年来,有的单位适当增加了仪器易损部件和主要插板的备份数量,小毛病请本系统熟悉电子技术的人员帮助解决,大故障则将损坏部件和插板换下,直接送生产厂家修理,既缩短了中断观测时间,又提高了修理质量,使仪器状况有了明显改善。

(六) 资料的综合分析和应用

总起来看,资料的综合分析也是薄弱环节之一。但是,不同单位的情况差别很大。对于只设一个地震台的工程来说,由于只有单台的地震记录图,无法自行确定震中的空间位置。其中多数台站把所记录的地震图全部交给地震部门,很难按水库地震监测的特殊要求进行分析研究;有的台自己保留记录图,但一般只对图面进行必要的处理后就存放起来,仍然很少进行实时的综合分析。也有少数台站做得比较成功,如上述的二滩地震台,主动收集了周围 4~5 个国家台的单台地震报告,以本台和这些报告中的资料为依据,对记录到的距坝址 30~40 km 范围内的所有微小信号一一进行核实对比,排除矿山和地表爆破以及其他干扰信号,交汇出了研究区内二十余次国家地震月报中未包括的微震位置,证明他们都发生在共和断块四周的几条断层上,断块内部没有微震活动。

台网包括三个以上地震台,可以独立控制台网范围内的微小地震,资料的综合分析基本能做到实时,也比较深入。如三峡和丹江口台网,不仅多年来坚持每月编写地震月报,而且对鄂西和该两水库区天然和诱发地震活动的时、空、强规律进行了深入的研究,提出多项科研报告和论文。前几年,丹江口台网已初步实现了地震分析的计算机化,为水库工程的地震监测与大坝其他内外观测项目的资料分析自动化和由计算中心统一处理迈出了可喜的一步。

地震监测资料的实际应用在水电系统有很多成功的经验。三峡、二滩的例子已如上述；新丰江、丹江口的工作亦无需赘言，下面再举几个比较突出的例子。

1. 潘家口水库位于河北迁西县，1976年施工单位设了一个单台，以后转交给水库管理局，加上周围的赤峰、宽城、遵化、迁西等国家地震台，对库区形成了良好的控制，蓄水前后各有近十年的地震监测资料。蓄水后该地区记录到一些微小地震活动，初步分析，这些微震在空间和强度的分布规律上与蓄水前没有明显差别，时间上与库水的高低亦无明显的相关关系，这样就可以有把握地说，潘家口水库蓄水后没有诱发地震。

2. 浙江乌溪江水库和贵州乌江渡水库蓄水初期都诱发了地震，及时设置的地震台和台网记录到大量微小地震信号，对其时、空、强规律进行分析，并结合较详细的野外地震地质工作，对水库诱发地震的发展趋势作出了预测，认为对大坝的影响不大，无需进行专门的抗震加固工程。这些预测经受了时间的考验，证明是符合实际情况的，从而既保证了大坝的安全，又得以节省大量加固费用。

3. 昌马水库位于甘肃河西走廊中段，昌马河在该处横切祁连山，形成近十公里的峡谷段，峡谷进口、中部和出口各有一条巨大的断层带通过。此外，1932年昌马地震发生在坝址以南20余km处，震中烈度达到X度。经过一年的小台网地震监测，发现微震仍然集中在1932年地震的发震断层上，拟定坝址附近的几条大断层沿线未发现微震活动，为该坝址区域稳定性评价和确定地震基本烈度提供了可靠基础。

4. 龙羊峡水电站坝区的构造条件比较复杂，部分断层有一定的现代活动性，但距离最近的国家地震台亦在200km以外。1982年设了一个单台，当年秋天龙羊峡围堰过水后不久，就记录到几次地震，以后几年亦有所活动，震中区大致在曲沟—沙沟一带。1986年秋、冬，龙羊峡水库蓄水初期，那一带微震活动又有所加强。这些地震观测资料对于该水库的诱发地震趋势和库首段边坡稳定等研究都提供了重要的原始资料。目前，龙羊峡的小台网正严密监视着地震活动的变化。

二、水电系统地震监测工作的经验

水电系统的地震监测工作有其特定的目的和要求，在自身的实践中也积累了一定的经验。据笔者不完全的了解，大致可概括如下。

1. 大型水库工程自设地震台站（网）的必要性和目的已如上述。多年的实践证明，国家台网的主要目的是监测和预报破坏性的大地震，偏远水库区微小地震的震情变化往往得不到应有的注意。只有自设专用台（网）才能既积累库坝区微震活动的基础资料，又能做到实时向水库管理部门反映震情的变化，起到安全监测的作用。

2. 地震监测和水文、气象观测一样，观测时间越长，连续性越好，得到的资料就越有价值。从测震资料的积累和应用的角度来看，比较理想的做法是：勘测队伍进点时就在工地设一个临时台，进行早期监测（勘测队中途撤离时临时台也可以随之撤消，再进点时再设）。施工初期至少在坝区附近设立一个固定台，在地震活动性较强的地区或可能诱发水库地震的工程，这一阶段就应该筹建小型台网。施工后期应按规范规定建立

正式的地震台（或台网），移交给运行单位，作为工程长期观测网的一部分。蓄水初期（库水达到正常高水位2~3次）应加强地震监测的实时分析，如有震情变化，要随时在震中地区增设临时台或台网，以测定震中的确切位置。经一段时间观测后，如发现地震活动性没有显著变化，可以适当缩小台网规模，甚至撤消库区的地震台网，但坝区至少要长期保留一个地震台，以防不测。在河流梯级开发的情况下，各梯级或相邻流域水库工程所设置的地震台应尽可能连成台网，集中处理和综合分析各台的地震记录。

3. 水电系统的地震台站（网）一般只需一种短周期地震仪即可，国家台网配备的中长周期地震仪、强震仪等，对水库区的地震监测没有作用。在地震活动强烈的地区，有条件时可同时配置一台工程强震仪。各种地震前兆监测手段目前尚不够成熟，在水库地震监测中也没有明显的意义，均可不设。

4. 地震台站（网）的设置，以在地震部门或其他专业人员的技术咨询帮助下自行建设、管理和分析资料的方式为最好，所取得的资料能发挥最大作用，安全监测的效果最好。运行管理中以主管单位配备少量专职（或兼职）技术人员与委托当地居民代管相结合的形式较为理想，代管人员应优先选用当地水文、气象站职工，中、小学老师，文化站工作人员等。

5. 要坚持自行分析资料，定期编制地震月报，震情有特殊变化时及时提出快报。要与周围的国家地震台建立正常的业务联系，互相交流资料和信息，争取专业部门的帮助。

6. 从总体看，在水库区的地震监测方面，水电系统已形成了一套比较完整的经验。从台站选址、仪器选型、人员培训，到地震资料的分析应用，各方面我们都有一些专家和内行。但是，大型水库数量众多，人员分散，具体到每个单位，往往接触面比较窄，经验不能成龙配套，给工作带来不少困难。因此，当前需大力开展横向联系，有组织地交流经验，工作上互相支援，在蓄水后遇到震情有特殊变化时，在自愿互利的基础上，可集中几个单位的力量，组织地震监测工作的小会战，以应工程的急需。

三、关于地震遥测传输技术的应用

在许多水利水电工地，笔者碰到的最大问题，往往不是具体的技术问题，而是地震监测工作的技术要求与工地现实的管理条件之间的矛盾。有一个正在施工的水电站，把地震台的台址选在坝址左岸上游不远的山坡上，坡后就是一、二百米高的垂直岩壁，工地通往生活区的公路也在近旁穿过，施工干扰和地形引起的脉动都会影响仪器的灵敏度，虽然河流右岸谷坡上部的测震条件较好，但是既没有道路，又没有居民点，谁都不愿意到那里去长期看管地震台。还有一个水电站，蓄水不久在库区诱发了微小地震，距震中100 km的国家地震台收到了地震信号，但分析中未予注意；同时坝区设有一个地震台，虽距震中仅20~40 km，由于受施工和导流洞放水的干扰，仪器放大倍率大为降低，竟然没有记录到这些信号。事后用流动地震仪到外围试测，发现距大坝5~10 km之外，放水的干扰影响才消失。有一个水库，蓄水后诱发了较大的水库地震，很快设立

了地震监测台网，大坝以东 10 km 是地震比较密集的地区之一，然而当地几乎没有居民，多年想设台而未设成，以至大大影响了台网对该震中区一带的监控能力。这个台网正常运行十余年，培养了一批技术水平比较高的测震和分析人员，目前该库地震活动仍未平息，而且面临大坝加高的任务，但由于对分散的地震台站的管理问题不易解决，不得不把设在库区的几个台暂时撤消。

今后的大型水库将更加远离大中城市和居民集中地区，水利水电工地已是十分艰苦，库区内的条件就更差，这给设置地震台站和坚持长年观测带来极大的困难。委托当地居民代管的形式虽是可能的解决途径之一，但仍有技术水平低、仪器损坏率高、地震资料汇集和分析不及时等问题。看来，充分利用电子学和自动化技术的成就，大力推广应用地震遥测传输技术，将是大型水库地震监测工作今后发展的必然趋势。

我国地震部门在 80 年代初制成了“电信传输地震台网观测与数据处理系统”（768 系统）用其装备了北京、上海等多处遥测台网。此外，国家地震局地震仪器厂还生产 DTY 和 MYD 等型号的遥测仪。这些仪器都发挥了很大的作用，近年来在水电系统也有所应用，如龙羊峡遥测台网采用 768 系统，碧流河水库台网则采用 DTY 遥测装置等。

但是我国第一代地震遥测装置还是用分立元件制造，各项技术指标较低且不稳定，故障率高，维修复杂，特别是水库地区，不仅地形复杂，通视条件差，而且供电、库区交通等均无保障，因此对仪器提出了更高的要求，现有的遥测装置很难满足，常不能保证长期稳定运行。近几年有关单位正在大力开展新一代遥测仪器的研制工作，基本的技术路线是在电路中大量采用集成元件，进行模块组装，以提高仪器的可靠性和降低功耗，在接收端采用锁相技术以提高其灵敏度和抗干扰能力，有些部件如收发讯机则尽可能选用国内外比较成熟的定型产品。四川省地震局仪器厂研制的 CDM—1 型无线地震遥测设备经过初步试测，已于 1987 年 10 月通过了国家地震局的技术鉴定。国家地震局地震仪器厂和地球物理研究所也在研制这一等级的遥测仪器，取得较大进展。

对于新一代遥测仪器，水电系统已开始在水库的现场条件下进行开发试验，如丹江口水库正在试用 CDM—1 型仪器建设 1~2 个遥测地震台，以替代前此暂停运转的有人值守地震台；水科院抗震所也正与有关技术人员合作，积极筹备应用新一代遥测装置开展水库现场试测。我们相信，在不远的将来，大型水库将普遍采用以先进的遥测传输技术为基础的新型测震设备，使地震监测工作能更好地为水利水电工程的建设和服务。

四、几个大型水库今后地震监测工作的设想

第七至第八个五年计划期间，我国将有一批巨型水利水电工程陆续开始建设，其中的三峡、二滩、小浪底等的坝址或在长江黄河干流上，或在地震活动比较强烈的地区，安全要求很高，为此改建或新建一定规模的地震遥测台网，是十分必要而又急迫的任务。在具体实施的步骤上，根据我国地震监测工作和测震仪器生产的现状，以及水电系

统在这方面的经验,我们认为,采取全盘外包,一次性建成的方式弊多利少,不如从实际出发,采取以我为主,互相支援;从小到大,分期推进;先简后精,逐步完善的方针为好。

1. 台网的建设 and 初期管理由勘测设计单位承担,施工和今后的运行单位参加,这样最有利于紧密结合库坝区的区域地震地质条件和工程安全监测的实际需要,做到投资省,效益高,原始资料齐全,实时掌握震情变化,并便于在施工后期有条不紊地移交给运行单位的长期观测部门。

2. 水电系统目前不仅有建设单个地震台和小型台网的经验,也有长期管理和改造大、中型地方台网的丰富实践。在上述大型遥测台网的设计和兴建过程中,可以通过技术讨论会、咨询、顾问等形式,邀请各方面有真才实学的专家内行,广泛交流意见,取长补短,互通有无。

3. 巨型水库工程施工期一般都比较长,有条件在开始阶段先围绕坝区或地震上最危险的地段建设由3—5个台站组成的小台网,以后分期逐步扩大,直至达到对库坝区全面监测的目的,其好处是显而易见的。一是便于积累建设和管理台网的经验,保证后期扩建的水平不断提高。再则,台站位置的选择是否合理,往往要经过一段时间的试测才能确定,调整是常有的事,分期推进,保留的余地较大,便于达到台网的最佳布局。

4. 国内地震仪器面临换代,至今下一代主力仪器的选型尚无定论。如果短期内一次性装备十多个台,用老型号的仪器技术上早已落后,全用新的试制品则把握性太小,因此,第一期的小台网还只能以老仪器为主,以简易为宜,同时配置少量新型仪器进行试测,为今后设备选型积累必要的资料。

5. 这些巨型水库的地震监测台网,只有逐步纳入常规的大坝内外观测系统之中,大量信息统一由工程的计算中心分析处理,才能最好地满足监测震情、确保安全、方便管理的目的。为此,从台网建设的早期,就要探索测震资料的自动记录、保存和分析的途径,并考虑预留与工程的计算中心联网的可能性。

笔者的经验不多,接触面有限,所述看法难免疏漏谬误之处,敬请水电工程地质界的同行多加批评指教。

宣汉人民踊跃集资建设江口水电站

地处大巴山区的宣汉县,幅员 4200 km²,人口过 100 万,而以往电力装机仅 4000kW 年发电量 1000 万度,人平 10 度。由于电力奇缺,严重阻碍了工农业生产的发展。当装机 5.1 万 kW 的四川省江口水电站经国家计委批准在该县境内动工修建的消息传来,全县人民群情激奋,踊跃集资,争先出力作贡献。去年全县为江口水电站集资 907 万元,较好地解决了工程建设资金不足困难。

这真是“众人拾柴火焰高,涓涓细流可以汇成洪波巨澜”。只要全县人民同心同德,奋力苦战,加上中央和省、地各方的支持,江口水电站一定能如期建成!

宣汉县江口水电站工程指挥部 苏学