

对我国小水电自动化水平的探讨

王宜家 钟国中 樊亦圃

(四川省水电厅) (四川省宜宾地区水电局)

党的十二大提出在本世纪末力争我国工农业总产值翻两番,人民生活达到小康水平。据此,今后十六年工农业生产的初步规划和人民生活用电增长情况测算,我国电力工业到2000年的发电量必须翻两番。作为解决农村和部分小城镇用电的小水电,也将迅速发展,预计到2000年,装机将由1980年的700万千瓦增加到1700万千瓦,这是非常光荣而又艰巨的任务。我国小水电装机容量在世界上虽堪居首位,但长期以来由于对小水电自动化水平研究不够,没有明确的技术政策,缺乏完整的设计、施工验收规程规范,设计上套用的多,自动化元件制造质量不够好,致使一些电站投资与效益不相称。然而自动化技术水平是衡量一个国家生产技术、科学水平先进程度的一项重要标志。世界各国对自动化技术都很重视,发展非常迅速。最近中央颁发了新的小水电政策,工程建设应以自筹为主,以电养电。这样,对小水电自动化水平政策的研究就更加迫切了。自动化水平的标准就其本质言,是如何处理好有限的资金、运行人员的技术水平、先进的自动化程度三者之间的矛盾。因不同的历史阶段,小水电自动化有不同的含义,且技术性、政策性都很强。由于它涉及我国小水电的发展方向,但有关资料、刊物对此讨论较少,笔者认为应提到日程上来进行探讨。有了正确的技术政策和技术装备政策,才能使我国小水电自动化水平在2000年以前达到或部分超过国外70年代末或80年代初的水平。

一、我国小水电自动化水平的现状

小水电自动化可概括为水库优化调度,机组自动调速、调压,自动开停机或转换运行方式,自动并车,事故(故障)自动停机(发信号)、制动,自动投入备用设备或电源,以及自动重合闸等。从20多年的情况来看,还存在如下一些问题:一般单机容量大于320千瓦的机组,都配装有自动调速器,而且绝大多数设计都是按一次指令,自动完成开、停机。但据四川宜宾地区调查结果,很大一部份电站由于某些原因拆除了一些自动化环节,只留有少数动作段联动。在水力机组上,虽然调速器都是按自动调节设计的,但能长期按设计正常投入自动运行的比例不高。另外对于开机、技术供水、集水井抽水,投入自动的也很少。电气同期方式多为手动准同期。至于设计的自动或半自动准同期装置和自同期装置,多数没有使用。自动重合闸装置,多数电站虽有配置,但据多年统计,作为检查无压重合闸功能还是成功的。可是对于同期重合闸,根据多年统计,还没有一次重合成功的例子。事故自动停机,一般都能作到,但有些电站只能停主机,辅助设备仍只能手动操作。继电保护方面存在的问题,主要表现在直接影响供电可靠性的输电线路的继电保护。小型水电站多为径流式,电站受河流洪枯季节和电网调度的

表2 小水电自动化水平对照表（以机组自动启动为例）

机组启动自动程序	本文推荐的自动化水平			发达国家的自动化水平					
	第一类型 低电压机组	第二类型 装机4000~6000千瓦 及以下高电压机组	第三类型 装机4000~6000 ~25000千瓦	D 型 装机300~1000千瓦 (发和供)	C 型 装机1000~5000 千瓦(发为主)	B 型 装机5000~10000 千瓦(发为主)	A 型 装机10000~20000 千瓦(发为主)		
	手 动	自 动	自 动	无油压及气 系 统	无油压及气 系 统	无油压及气 系 统	有油压无气 系 统	手 动	手 动
	手 动	手 动	自 动	无励磁装置 (异步发电机)	无励磁装置 (异步发电机)	无励磁装置	无励磁装置	手 动	手 动
	手 动	手 动	自 动	自 动	自 动	自 动	自 动	手 动	手 动
	手 动(个别自动)	自 动	自 动	电 动	电 动	电 动	电 动	手 动(个别自动)	手 动
自动化类型	有人特殊监控	有人特殊监控	特殊监控	特殊监控或 无人监视	遥 控	同 左	同 左	有人特殊监控	有人特殊监控

限制, 开机台数时常改变, 运行方式变化也很大, 加上小水电站短路容量小, 致使按常规设计计算的继电保护不能适应这种条件, 灵敏度往往不能满足要求。其后果不是开关拒动, 就是非选择性跳闸, 而引起大范围停电。再加上并网线路首端同期自动重合闸不能重合, 使地方电网供电可靠性大为降低。表1统计了四川省三个县地方电网运行指标。可看出三个县每年因停电造成的社会经济损失达180~200万元。

表1 四川省三个地方电网年停电损失统计表

县名	时间	装机(千瓦)	停电次数(次/年)	停电时间(时/年)	损失电能(万度/年)	社会经济损失(万元/年)
叙永	1982	7285	179	1859	67.0	201.0
长宁	1982	2765	114	503	67.0	202.7
珙县	1981	6125	150	1800	60.0	180.0

长期以来, 我国小水电自动化水平大部沿用苏联的标准, 设计上没有注意结合我国国情, 小水电厂从厂房到机电部份设计与大、中型水电站差别不大, 体现不出小水电的特点。一般说来, 设计标准偏高, 投资效益较低。总之, 以往存在的问题大致有:

1. 原有小水电政策, 500千瓦以上的电站列入国家基本建设项目, 由国家投资。设计部门对节省投资注意不够。审查中, 对机电设计, 缺乏技术经济考核指标。
2. 在设计中, 未充分考虑我国丰富的人力资源和技术水平以及工业制造水平。设计虽然是自动的, 实际运行时还是手动操作。
3. 至今还未颁发小水电建设的有关规程、规范。从装机1000瓦到一万千瓦的小水电自动化程度在设计上无明显的阶梯差别。
4. 科研、制造部门对小型机电设备、自动化元件的科研试制工作不够, 小型系列化不全, 使设计部门选型受到限制, 以大代小, 性能不能满足要求, 造成技术和经济上不合理。
5. 管理水平低, 至今没有一套完整的包括小水电折旧、大修费用提取的规章制度, 致使小水电设备陈旧, 有的甚至不能维持简单的扩大再生产。

二、国外小水电自动化情况

表2示出当前国外发达国家的小水电自动化水平。小水电一般划分为四种类型, 其中A、B、C型自动化水准都推荐为遥控方式, 只有D型才是由人断续监控或间接无人监视, 自动化程度比较高, 这也是经济基础、技术水平高度发达国家的共同特点。值得我们借鉴的是: 1. 调速器多采用电动而不是油压。从表3可以看出, 调速器和油压系统占自动化设备投资的50%以上。2. 没有压缩空气系统。3. 装机5000千瓦以下电站的发电机采用异步电机, 无励磁装置。4. 装机5000至20000千瓦电站采用无刷励磁。这种装置结构简单, 工作可靠, 在中小机组上很有前途。

表3 我国小水电自动化设备投资分析表

自动化设备投资	项 目	调速器	油压系统	气系统	技术供水	集水井及顶盖排水	闸门及水位测量
	47.3万元 1.00%		32%	21.3%	17%	19.2%	5.5%

注：1. 某电站装机 3×4000 千瓦，总投资1880万元。土建1504万元，机电376万元。 2. 自动化水平指本文推荐的第二类电站设置。 3. 所需电气设备投资已分配到各项。

三、确定2000年前我国小水电自动化水平的指导思想

讨论本世纪末我国小水电自动化水平，必须立足于今后十六年的国情，我们认为下面一些因素是必须加以考虑的。

由于颁布新的小水电政策，今后贯彻“自建、自管、自发、自用”的方针，建设资金主要靠地方自筹和农民集资，国家以贷款和少量补助扶持。地方电网实际变成一个独立核算的经济实体，这就进一步要求小水电建设，必须最大限度地节约投资。

资金——电能质量——技术水平，三者的矛盾比较尖锐。总的说来，我国小水电运行管理水平较低，尤其供电可靠性差，经济指标及电能质量还低于国家要求。电站运行人员从数量上说是充足的，但素质及技术管理水平较低，如果过分地强调提高自动化水平，搞“无人值班”，效果也不一定会好。从以往搞无人值班试点站的经验来看，往往无人值班水电站机组的停运率比有人值班的高。原因是当机械或电气发生某些故障时，如有人值班，可以及时排除，不必停机；无人值班时，则自动停机。同时，过于提高自动化设计水平，在投资上也是不允许的。所以要充分考虑我国人力资源丰富，区别不同情况，制定不同等级的小水电自动化标准。当然，也不能因为人多而忽视应用先进科技成果，应抓紧培训人才。

四、有关技术政策的几点意见

如何划分2000年前的我国小水电自动化水平？结合我国小水电站发展的历史情况，建议划分为三种类型，考虑到发电机电压对电站主结线繁简影响很大，一般情况下单机小于400千瓦的发电机多为低电压机组，故列为“第一类型”；装机容量4000~6000千瓦以下高电压机组的电站数量较多，代表了小水电的主流，列为“第二类型”；装机容量4000~6000千瓦至25000千瓦的电站，一般为地方电力网的主力电站，列为“第三类型”。鉴于其它一些复杂因素，界限划分也只能是模糊的。表2同时示出以我国现行小水电机组起动的自动起动的程序，对应阐述本文推荐的三类小水电的自动化水平，自动停机及其它自动化过程可参考下述原则。

1. 第一类型的电站发电机主开关均用低压自动空气开关，保护简单，无须单独操作电源，故开关操作、调速均为手动，属于有人持续监控。技术供水、闸门操作等辅助设备都用手动。另外，可设置手动或电动投入水电阻器，以防开关误动作使机组甩负荷飞

车。机组用灯光旋转法并车。

2. 第二类型的电站比例大(在四川省占高电压机组电站的67%),在地方电网中所起的作用也最大。自动化程度应根据今后十六年我国小水电的方针政策,经济能力,工业化技术水平等来考虑。对于直接关系到电能质量、设备安全、供电可靠性的操作,原则上尽量采取自动控制,其它一般性操作采用手动。为了防止误操作,建议设置开机条件闭锁,并以灯光信号显示。同时,对事故工况,进行自动停机和发信号,但不联动辅助设备。对频繁启动的油泵、水泵操作,尽可能采用自动控制。同期系统采用半自动准同期或自同期。

3. 第三类型的电站,容量较大,数量少,在四川省仅占小水电(高电压机组)33%左右,但在地方电力系统中占重要地位,自动化水平要体现我国先进水平。应设置返回屏,集中监控。原则上实现一次手动指令即能自动将机组启动并入电网带上负荷。其余,除具备第二类型的自动化水平外,应联动有关辅助设备,同期系统应采用自动准同期装置。

对于梯级电站,经技术经济论证,有显著经济效益的,应考虑微机控制,实现梯级远动控制和联合调度。

对已建小水电自动系统的技术改造问题,首先要分清哪些环节是设计水准偏高引起的,那些环节是电站实际运行所需的,以确定改造方案。在改造中,原则上应尽量采用先进技术,设备更新换代,并注意与电力系统的发展和系统自动化的要求相协调。至于上述地方电力网继电保护和并网线路的同期自动重合闸以及一些小水电专用设备,希有关科研、制造部门研制解决。

五、关于调速器

众所周知,水电站自动化,调速器是核心,也是最昂贵的自动化设备。合理选用调速器,是关系到工程是否经济、自动化水平是否合理的问题。对于第一类型电站应坚持特选用手动,只个别重要的电站可采用手动、电动两用调速器。第三类型电站则应区分并网或是孤立运行电站。我国农村供电是大电网供电和农村电网(站)供电并存的状况,除少数是孤立小水电站供电外,其余92%均与大电网相连。小水电一般在电力统中担任基荷。并网后,往往将调速器的开度限死,自动调节系统实际上是置而不用。另外,对第二类型电站,调速器不必搞远方操作。因此,应研制生产没有自动调节系统的调速

表4 小水电调速器性能选择表

		第一类型	第二类型	第三类型
调速器型式		手动或手动电动两用	通流式	压油箱式
自动调节系统	并网的	不要	不要	不要或要(如担任调频)
	孤立运行	不要	要	要
压油装置		不要	不要	要
停机电磁阀		不要	要	要
伺服机构		不要	不要	要

器，供此类电站使用。这样，调速器造价估计可降低 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。当前，为简化此类电站设备，应尽量选用通流式调速器。如将现有的TT型调速器适当简化并增大调速功即可应用。国外装机5000千瓦以下电站推荐使用通流式。各型电站调速器建议按表4予以选择。

六、关于励磁系统

励磁系统方式也是小水电自动化的一个重要环节。自从五十年代大功率半导体问世以来，国外励磁系统采用半导体技术的发展非常快，目前已发展到大中型机组上采用旋转二极管和可控硅。国际市场上无刷励磁发电机十分畅销。国内在静止半导体励磁研究的基础上，不少省市已在生产无刷励磁机组。半导体励磁，尤其是结构简单、工作可靠的无刷励磁，是今后小水电励磁方式发展的必然趋势。

在新建小水电站机组的选型上，应尽量选用无刷励磁机组。对老电站直流机励磁系统也应尽量改造。我国小水电发电机组，大多数仍属直流机励磁方式，设备陈旧，供电可靠性差、维护工作量大，限制了发电机输出功率，与小水电自动化也不相适应。因此应尽量改造原有直流励磁机方式为无刷励磁方式。四川在改造小水电直流机励磁系统为无刷励磁系统方面，有比较成功的经验，较好地解决了无刷励磁系统运行稳定问题，以及旋转二极管整流器励磁电流的测量、转子电流的过电流与电压保护和监测问题。这样就使自动化基础工作前进了一步。需要强调的是，对并网运行的小水电，在带基荷前提下，因发电功率因数是一个固定值，这时励磁装置的自动电压调节系统功能便无法发挥。如果选用没有自动电压调节系统的励磁装置（空载与负荷状态的适应，可手动调节变阻器）可使结构大为简化，节省投资，运行也更加可靠。总的说，当前小水电励磁装置显得过于复杂，有些单元的功能小水电用不上，加上运行人员技术水平有限，装置出问题，很多电站都要请厂家来修复，影响电站发挥经济效益。

七、关于弱电选控、自动巡回检测和微型计算机的应用

无触点弱电选控能实现多机组的启动、停机、改变运行方式以及断路器的分闸、合闸等自动操作。它实际上是由硅逻辑元件组成的逻辑控制系统，主要功能是逻辑控制，一般对机组台数不多于4台的小水电来说，不能充分发挥优点，但可作为积极应用电子技术的一个过渡。

自动巡回检测是一种快速、自动、集中的数字检测手段。它对水电站大量瞬变参数实现集中连续监视、参数越限报警，并可把这些参数的测定时间、地点打印出来。如配有计算机，可通过接口将数据输入主机进行数据处理和控制。因此，巡检是提高电站自动化水平，保证安全运行的有效措施。特别是某些第三类型电站，对一步跨入微机有困难的，作为过渡手段是比较理想的。

近年来，微处理器和微型计算机发展很快，价格大幅度下降。无论从小水电现状的改造及今后小水电的发展来看，都应给予重视，应尽快选择适当地点，成套引进设备技术，以便提高我国小水电的自动化水平。当然，我们考虑在小水电中应用微机不是单纯减

少人员,主要是为了提高劳动生产率和电能质量,以及节能节水,改善劳动条件。小水电多建于中小河流,水头起落较大,应用微机,就可按机组运转特性曲线编制电站机组的各种组合运行特性曲线,以及按机组汽蚀特性曲线编制各种组合等微增特性曲线,经排列编码输入计算机,实现自动控制。这样整个电站生产过程就能按最优工况运行,获得最优的技术经济指标。

从电力系统的集中统一调度来说,作为终端的微机可通过载波或高频无线电通道,接受调度所按电站水库特性和系统电力要求下达的日运行曲线、发电量及主接线的运行方式等命令,来指导电站优化运行。可以说小水电应用微机实现最佳控制,是自动化技术革命的必由之路。

小水电自动化技术应首先选择第三类电站推广应用,一个地区可试点1~2个工程。有条件的,起点可高些,一步跨入微机。条件差一些的电站,建议设置巡检作为过渡,以便为今后应用微机打下基础。在投资上,目前微型机售价达几千元一台,加上外围设备共需几万元,还是比较便宜的。最近国内一些工厂已开始试点应用,取得显著效果。毋庸置疑,我国小水电自动化将由微机的引入而发生飞跃的变革。

参 考 资 料

1. 水电部《水力发电》编辑部:“国外水电建设情况选编”,1983年
2. 武汉水电学院等编:《水力机组辅助设备与自动化》,电力工业出版社
3. 日本《电气计算》,1981年,49,NO 7
4. 《中国水利》,1983年,第2期
5. 《电力技术》,1982年,11期

* * * * *

谨向1984年度为本刊审稿的同志们致谢

孙蔚	倪定远	李国梁	陈其秋	曾兼权	张登仕	王士天	佟文敏	屈智炯
陆文海	张天宝	盛洪文	朱建业	朱藻文	王西宏	翁大馨	胡菊华	李永鑫
颜道丰	孙诗杰	周见名	徐晓渠	杨淑碧	鄢建华	刘满宏	郑本英	杨德彰
范景伟	张自荣	苏其贵	杨子文	韦伯宜	石金良	詹先铭	王麟璠	陶振宇
曹秉铨	杨乾治	杨渭文	李子才	徐世志	傅鸿明	唐少甫		

《四川水力发电》编辑部

1985年6月