

映秀湾水电站防沙防木运行的体会

映秀湾发电厂 王西宏

提 要

本文介绍了映秀湾水电站采用高水位运行，定期冲淤的方法，顺利地解决了泥砂、漂木过闸问题的经验。文中还作了技术比较。

一、基本情况

映秀湾水电站座落在四川西部汶川县境内，是岷江上游第一座中型引水式径流水力发电枢纽。

电站的单一效益是发电，全站装机 3×4.5 万千瓦，设计水头54米，引用流量240秒立方米。设计最大出力11.0万千瓦，设计多年平均发电量7.6亿度。

电站的建筑物分为首部枢纽、输水系统和地下厂房三大部分。首部枢纽由拦河闸和取水口组成（见图1）

拦河闸建在岷江干流上，是Ⅱ级水工建筑物。主闸长104米，高14.5米，有五孔泄洪闸一孔漂木道闸，配置有弧形工作门和平板检修门。闸前最高运行水位945.00米，库水深10米，形成相应库容58万立方米的小水库，各闸门全开，过流断面近似建闸前天然河床的过流断面。拦河闸控制流域面积20046平方公里，设计洪峰流量（1%）3790秒立方米，校核洪峰流量（1%）5600秒立方米，多年平均流量381秒立方米，实测最大流量2700秒立方米，最小流量82.4秒立方米，常年洪水流量1000秒立方米左右。

闸址在河道弯曲段，利用弯道环流排砂。闸左是河流凹岸。设置了发电取水口。取水口前设有高2.5~4.0米的导砂坎，坎后是5米宽的排砂槽。为了防止漂木进入，影响发电，取水口采用胸墙底孔式结构，并在孔口上缘设置了漂檐板（见图2）。

二、泥沙和漂木

岷江源于岷山南麓，到映秀湾流长300多公里。其间穿过岩性松散、节理发育、风化严重的变质岩地区，第四纪冰川沉积与现代冲积多分布于河谷和沿河冲沟地带，加之那里森林

图 1. 映秀湾水电站首部枢纽布置图 (1/2000)

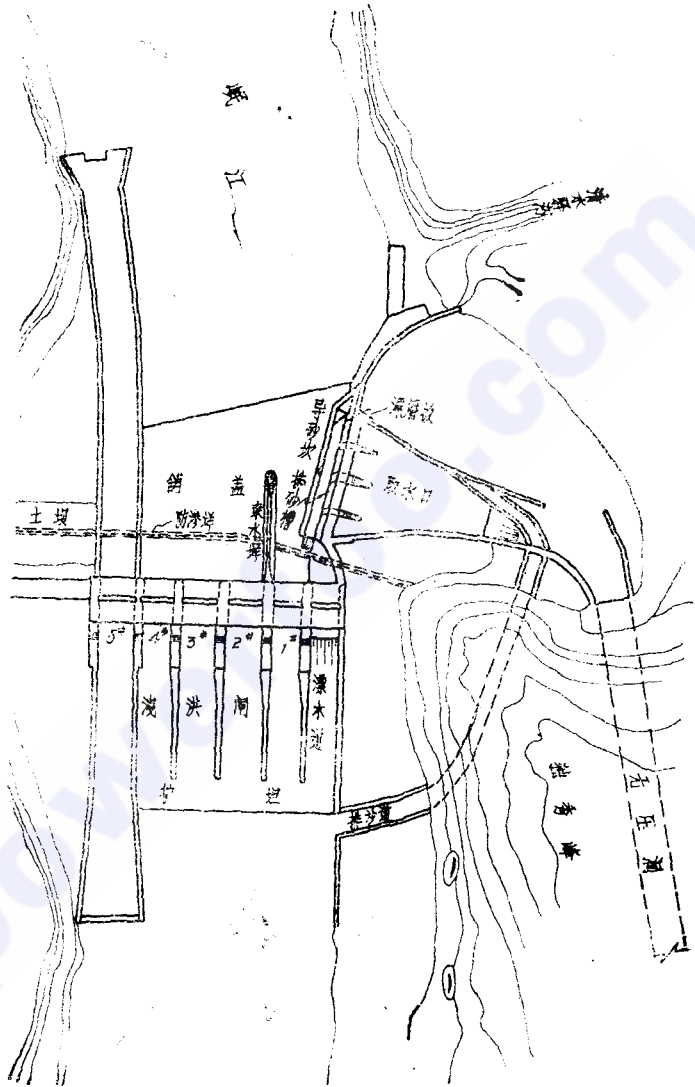


图 2、取水口中心线剖面图 (1/500)

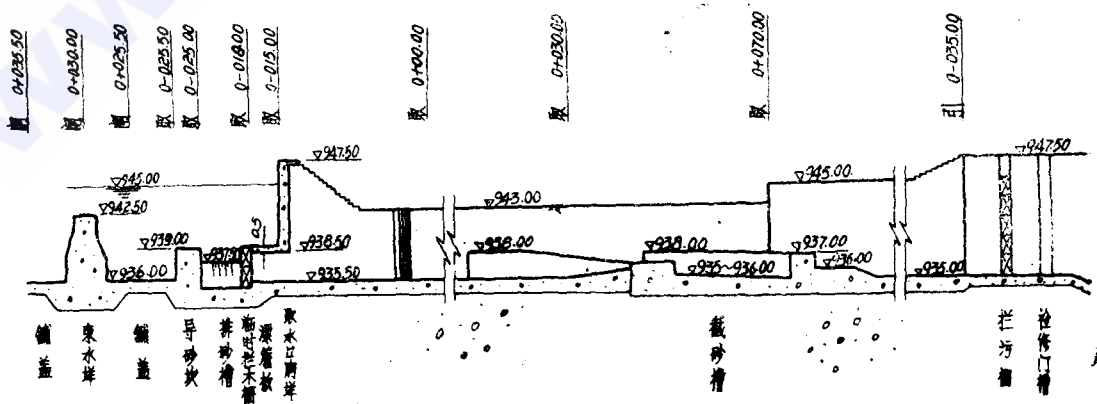


表 1 映秀湾水电站闸址处1955~1966、1970~1978年岷江流量年均值输砂量年总量统计表

项 目	年 份													
	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1970,	1971
流 量	433	352	379	389	284	371	384	373	382	387	355	354	282	334
悬移质输砂量	438	217	322	1810	517	741	848	460	615	848	574	308	185	445
推移质输砂量	87.6	43.4	64.4	362	103	148	170	92.0	123	170	115	61.6	37.0	89.0
项 目	流量单位: 米 ³ /秒													
流 量	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	多年平均值						
悬移质输砂量	300	336	349	403	369	368	323	357	悬移质输砂量单位: 万吨					
推移质输砂量	331	905	454	498	270	893	382	574	推移质输砂量单位: 万吨					
推移质输砂量	66.2	181	90.8	99.6	54.0	179	76.4	115						

表 2 映秀湾水电站闸址处 1955~1966、1970~1978 年岷江流量、输砂月均值统计表

项 目	月 份												备 注
	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	
流 量	117	103	109	194	473	717	700	479	532	453	239	152	
悬移质输砂率	1.99	1.73	3.27	24.1	182	667	623	215	378	72.8	6.83	2.87	
推移质输砂率	0.398	0.346	0.654	4.82	36.4	133	125	43.0	75.6	14.6	1.37	0.574	
总 输 砂 率	2.39	2.08	3.92	28.9	218	800	748	258	454	87.4	8.20	3.44	
悬移质含砂量	0.017	0.0168	0.03	0.124	0.385	0.930	0.890	0.449	0.711	0.161	0.0286	0.0189	
推移质含砂量	0.0034	0.00336	0.006	0.0248	0.077	0.186	0.178	0.0898	0.142	0.0322	0.00572	0.00378	
总 含 砂 量	0.0204	0.0202	0.036	0.149	0.462	1.12	1.07	0.539	0.853	0.193	0.0343	0.0226	

流量单位: 米³/秒

输砂率单位: 公斤/秒

含砂量单位: 公斤/米³

被砍伐、农事活动频繁，构成泥沙产地。岷江两岸，高山耸峙，谷深流急，闸坝以上岷江河床平均比降达7.5%，映秀湾附近河段比降高达10%，形成水力输沙的天然条件。因此，每年汛期暴雨催发山洪，多有泥石流发生，河水挟带大量泥沙，砾（卵）石奔腾而下。据有关部门勘查，1964年7月20日，闸坝附近的太平驿沟，一次山洪带来的卵石即在沟中形成庞大的淤积体，并使下游1公里处的河床平均淤高0.7米。根据1955年以来岷江上游的姜射坝、桑坪等的实测资料和四川省水文总站的经验推算，平均每年有574万吨的悬移质泥沙、115万吨推移泥沙过闸（见表1、2）。推移质的平均粒径为6~8厘米，床沙的平均粒径为27厘米，大的在1米以上。

岷江洪水不但带来大量泥沙，而且还漂运大量原木。按照林业部门的规划，平均每年有50万立方米（约合为150万根）原木过闸，从上游的森林采伐区下水，经这里直接流送成都。映秀湾天然流量与漂木强度见表3。由于森林采伐，还造成大量木渣、树枝漂向下游，往往堵塞拦污栅，妨碍发电引水。另外，在每年水量丰枯交替季节，漂木还直接与发电争水。

基于上述自然状况。电站自1971年投产时起，就遇到了发电引水与防淤排砂、流送漂木的矛盾。

表3 映秀湾河段天然流量与漂木强度关系表

天然流量 (秒立方米)	400	600	800~1000	1670以上
漂木强度 (根/分)	10~150	30~300	60~400	100~500

三、运行工作中遇到的一个重要问题

在电站设计、施工过程中，为了保证发电引水，做好漂木过闸，顺畅地排砂，设计科学研究部门曾经做了大量的工作，不仅进行了各种模型试验，而且在工程设计中还采取了一系列措施，比如：将闸址布置在河流弯道处，利用弯道环流排砂；设置漂木道和下沉式弧门；修建了导砂坎排砂槽和漂檐板，采用底孔取水发电的结构布置等等。在电站投产后，为“御‘敌’（指漂木）于国门之外”。又在发电取水口上安设了临时拦木栅。这些工程措施，都有其独特的作用，为彻底解决引水防砂、顺畅通过漂木奠定了基础。与此同时，设计部门还在《映秀湾水电站首部枢纽运行方式的意见》中指出：“当闸前水位为943.0米时，排砂槽淤积，进水口大量进砂，所以从防砂、排砂角度来看，洪水期运行水位不宜高于943.0米，并应开启排砂闸排砂”；“当低水位运行且来材密度很大时，漂木（包括沉木、半沉木）有进入取水口的现象，如此时运行水位过低（942.20米），取水口前产生漂木大量插堵，以致影响过水能力。当运行水位为943.50米时，钻入取水口漂木显著减少。因此为防止漂木钻入取水

表 4

一次洪水过程漂木、泥沙(悬移质)和流量情况

月	日	时	流 量 (立米/秒)	来漂强度 (件/分)	含 沙 量 (克/立米)	负 荷 (万吨)	备 注
6	15	8:00	873	39	525	11.3	
		12:00		57		11.3	
		16:00		125		11.2	
		20:00		120		10.0	
		24:00		84		10.5	
6	16	4:00		112		10.5	
		8:00	1050	101		11.4	
		12:00		76		11.3	
		16:00		104		11.6	
		20:00		113		11.5	
		24:00		52		11.6	
6	17	16:00	1300	210	1130	11.4	
	18	16:00	2100	150	5620	11.5	
	19	8:00		5	3590	11.5	
	20	8:00	2050	9	6870	4.0	
		12:00		58		9.0	
		16:00	2400	113		11.5	
		(17:20	2450)				(洪峰值)
	21	8:00	2200	74	5280	11.2	
	22	8:00	1730	23	4220	4.3	
	23	8:00	1300		3820	11.3	
	24	8:00	1100	5	2110	11.3	
	25	8:00	1030		1470	11.5	

续前表:

月	日	时	流 量 (立米 / 秒)	来漂强度 (件 / 分)	含 沙 量 (克 / 立米)	负 荷 (万 瓦)	备 注
6	26	8:00	1000	1	2650	8.3	
	27	8:00	970	3	1560	4.9	
	28	8:00	982	27	1230	11.3	
	29	8:00	931	4	925	11.1	
	30	8:00	935		911	9.3	

日,此时闸前水位不应低于943.50米,待漂木减少后,再降低水位至942.50米运行”。十年来的运行实践证明,这两种措施针对泥砂和漂木分别到达的两种情况,各个解决是行之有效的。可是一旦泥砂与漂木随着洪水一齐来,又怎么办呢?排砂要求运行水位在943.0米以下,过漂要求运行水位在943.50米以上,这在哪里能找到共同点呢?而问题又恰恰在于:洪水流量愈大、输砂量愈大、漂木强度也愈大(见表3),泥砂、漂木与洪水一齐来却是映秀湾水电站首部枢纽汛期运行的主要情况。表4列出1976年6月一次洪水过程中,漂木、泥沙随时间的变化就是一个典型。这就迫使我们要在运行实践中去探索、去解决。

另外,拦木栅和拦污栅均无清污设施,汛期由于树枝杂草的堵塞,使栅前栅后水位差很大,也影响发电。

四、定期冲淤

映秀湾水电站交付运行已经十年,在此期间拦河闸下泄的历年最大洪水流量见表5,历年过闸的漂木量见表6,历年过闸泥沙情况见表7。

表5 映秀湾水电站拦河闸历年下泄最大洪水流量表

时 间 (年、月、日)	1972、 8、 25、	1973、 6、 23、	1974、 7、 8、	1975、 6、 11、	1976、 5、 31、	1977、 6、 20、	1978、 5、 30、	1979、 6、 5、	1980、 7、 10、	1981、 9、 14、
流量(立米 / 秒)	1220	2440	1430	1210	1150	2460	1550	1320	1440	1850

表6 映秀湾水电站拦河闸历年过闸漂木量表

年 份	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
过漂木量 (万立方米)	37.8	48.5	34.6	43.7	40.7	43.0	44.5	54.1	45.3

表7 映秀湾水电站拦河闸历年过闸输沙量表

年 份	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
悬移质 (万吨)	331	905	454	498	270	893	382
推移质 (万吨)	66.2	181	90.8	99.6	54.0	179	76.4
总 量 (万吨)	397	1086	545	598	324	1072	458

映秀湾水电站从1971年9月30日投产时起,就遇到了漂木影响发电的问题:长4~6米、直径30~40厘米的漂木顺着水流钻进取水孔口,直奔无压洞拦污栅,左冲右撞,上下翻滚,严重威胁设备和建筑物的安全,迫使我们全站停产打捞。到同年十一月十日止,发电站发电仅40天,捞起漂木1200多根。鉴于漂木钻进取水口,严重影响发电的情况,上级有关部门提出“御敌于国门之外”的指导思想,责成设计部门出图。在取水孔口上架设临时拦木栅,拦漂木于取水口外,并于1972年5月装设成功。但运行至1974年8月7日即出现取水口被卵石淤堵,发电出站力从11.2万千瓦降至8万千瓦的情况。经检查测量,取水口淤积河卵石1700米³。临时拦木栅的拦木成功使我们长了见识,解放了思想;取水口淤堵的严重教训使我们深入反省,探索总结。我们从水力学理论、模型试验资料的学习和三年来的运行实践中认识到:河弯道有强烈的“惯性”,即建闸后的河床、由于弯道环流的作用,它沿着主流中心线极力恢复它原来的形状——纵坡和横比降。建闸后这种再造床的作用,是在闸前铺盖上,以淤积泥砂的形式来实行的。当我们放空水库时在铺盖上游、在离坝360米以远,都可以清楚地看到这种淤积现象。汛期我们将闸前运行水位保持在高水位即944.0~945.0米,岷江水流水深向闸前沿程递增,闸前水面线是壅水曲线。与低水位运行相比,取水口前水深由7~8米增加到9~10米,在同样流量的情况下,单宽流速降低25~29%。流速降低的结果,使水流挟砂能力沿程递减,在整个闸前形成壅水淤积。同时进入取水口发电水流所带推移质含砂量全部淤

落闸前。当岷江天然来水在400秒立米以下时,发电流量占分水比比较大,环流作用大大减,弱取水口前淤积更为严重。时间越长,泥砂淤积愈厚。根据我们观察,一般说来,只要经历一次1300秒立米左右的洪水,历时三周,除了1号泄洪闸前的主流区外,其他闸前铺盖上、较远处的河床上、都是回流淤积区。距闸360米、离右岸5米处的河床上淤高0.40~0.60米,4号5号泄洪闸墩前50米铺盖上淤高4~5.0米。倘若在此期间4号泄洪闸一直未开启,该闸弧形工作门前淤积厚度也可达3.5~4.7米。闸前总淤积量在25万吨以上。但是,由于1号泄洪闸常开,主流经此下泄,水力坡度甚大,所以取水口前淤积厚度一般不超过1.5米,推移质越不过导砂坎。也就是说,取水口能正常引水发电。如果常此以往,一次洪水过去不清淤,任其淤积,一旦闸前河床恢复了建闸前的形状,推移质就向主流区约30米宽的河床槽谷滚动汇集,导砂坎前淤积厚度将会超过2.5米,砂卵石就能随着发电水流进入取水口,酿成事故。我们认为1974年8月出现的取水口内淤积砂卵石1700立方米,就是这样造成的。映秀湾闸坝是由五孔泄洪闸门组成的活动坝,可以根据需要开启一孔或一组(几孔)闸门。比如,我们仅仅开启5号泄洪闸、其他各闸全关,这时,河水主流就会偏向右岸,偏移至5号泄洪闸前;同样,如果我们开启其他闸门,也会使主流在闸前作类似移动。在每孔泄洪闸从全关到全开的过程中,可使闸前形成溯源冲刷,冲走闸前的大部分淤积。正因为如此,我们全站停机,让水库蓄水——放空——蓄水,反复轮流开启各闸弧门,不断重复这一过程,对各泄洪闸前进行淤源冲砂。即能彻底清除每次洪水过程带来的泥砂淤积。同时还带走拦污栅上的污物使栅前栅后水位差减少,保证机组组带较高的负荷。

根据1955年以来岷江上游水文泥砂实测资料,我们选择了其中流量最大、输砂也是最大的1958、1973、1977年汛期的悬移质输砂率、含砂量的旬均值,并按照四川省水文总站的经验估算出推移质旬均值列成表8。可能影响发电的是推移质,仅是悬质是不能淤堵取水口的。按照汛期旬推移质含砂量最大值2.42公斤/米³(发生在1958年9月上旬)(见表8)考虑,我们发电引用240个流量,仅仅计算这股水流中遗留的推移质,则三个星期时间内,可淤积105万吨推移质,在闸前300米范围内淤积平均厚度刚到2.5米,不会淤堵取水口,影响发电。再考虑闸前壅水影响,回流淤积区内淤积物是砂石间层,不仅有推移质淤积,较大颗粒的悬移质也有淤积。则闸前淤积厚度达到2.5米的时间,可能只需两星期。由此确定了我们的冲淤周期。

有了这个认识就使我们找到了解决闸前淤积问题的钥匙:定期冲淤,从此取得了控制过闸泥砂的主动权。

因此,对于泥砂过闸问题,我们在闸坝运行方式中规定:“为了减少闸坝上下游的淤积增大闸坝泄流能力,保证安全渡汛;为了防止河卵石淤堵取水口,保证安全发供电,拦河闸必须冲淤。①定期冲淤,每2~3周进行一次,每次5~8小时;②不定期冲淤,在每次大汛前后临时申请停机冲淤”。“冲淤时,全站停机。并根据河中天然流量分别开启各闸弧门,进行淤源冲刷和闸下冲刷。重点是1号浅洪闸前。同时,利用水流反冲作用,组织维护人员清除取水口后、无压洞前淤堵物”。

“闸前水位应在944.0~945.0米水位运行”,即所谓“高水位运行”,这时,取水口前漂檐板上水深在5.0米以上,漂木可以顺畅过闸,不易钻进取水口。

实质上,定期冲淤,就是为适时地冲除高水位运行时、泥砂在闸前库区的淤积。而高水

表 3

映秀湾水电站 1956、1973、1977 年汛期平均流量、悬移质输沙率含沙量统计表

年	月	五			六			七			八			九			十		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
1958	流量	418	565	720	602	575	936	1050	514	490	396	599	694	980	554	464	484	557	470
	输沙率	124	169	335	376	228	1150	2151	230	719	214	986	795	11900	519	179	160	300	105
1973	含沙量	0.297	0.299	0.465	0.625	0.397	1.23	2.05	0.448	1.47	0.540	1.65	1.15	12.1	0.937	0.386	0.331	0.539	0.223
	流量	357	580	510	614	807	1385	686	551	423	390	307	305	425	472	504	523	477	351
1977	输沙率	76.2	245	121	206	833	6960	683	331	95.0	93.8	39.7	53.8	167	101	120	146	63.9	19.3
	含沙量	0.214	0.422	0.237	0.336	1.03	5.03	0.996	0.601	0.225	0.241	0.129	0.176	0.393	0.214	0.238	0.279	0.134	0.055
最大	流量	488	734	676	625	1190	1134	970	808	583	454	547	387	284	299	294	329	310	278
	输沙率	98.3	394	156	78.1	3509	2903	1695	629	254	59.7	259	33.7	25.7	24.1	17.4	17.4	12.0	9.92
最大值	含沙量	0.201	0.537	0.231	0.125	2.95	2.56	1.75	0.779	0.436	0.131	0.474	0.0871	0.0905	0.0806	0.0592	0.0529	0.0387	0.0357
	流	1385																	
含沙量	输	11900																	
	率	2380																	
含沙量	输	12.1																	
	率	2.42																	
相应的推移质的最大值																			

单位: 流量——秒立米、输沙率——公斤/秒、含沙量——公斤/米³

位运行又是为了使漂木顺畅地过闸。

一九七五年五月，我们制定了第一份这样的闸坝运行规程，并且在此后数年中我们对他又进行了不断修改完善工作。六年来，过闸漂木量为271.3万立方米（见表6），经历了2460秒立米的洪峰（见表5）；1975~1978年过闸悬移质2043万吨、推移质409万吨，电站最大出力达11.8万千瓦；1974~1980年包电40.02亿度。实践证明，定期冲淤的措施是比较符合岷江泥沙、漂木的运动规律的。

五、定期冲淤的经济性

映秀湾水电站的汛期定期冲淤虽然解决了泥砂、漂木与发电站引水的矛盾，却带来全站停机停电的损失，即按全站平均出力11.0万千瓦计算，每2~3周要停机5~8小时，则需损失55~88万度电能，人们必然会问，它的经济性如何？

有人认为，设计提出的低水位运行连续排砂的方式好。它既没有停电损失，又可免除操作麻烦。这里，我们姑且假定没有漂木问题，仅就发电效益来比较一下这两种运行方式的经济合理性。

按照设计文件，“从防砂、排砂角度来看，洪水期运行水位不宜高于943.0米”。即闸前运行水位应在942~943.0米范围内变动，比现在实行的高水位（944~945.0米）运行平均低2.0米。映秀湾水电站设计水头为54米，这就是说高水位运行时的作用水头比低水位运行增加3.7%。如果我们假定机组效率 η 和引水系统流量系数等参数不变，并以低水位运行时的出力 N_d 为100%，则有：

$$\begin{aligned} N_d &= \eta Q_d H_d & Q_d &= \mu \sqrt{2gH_d} \\ N_h &= \eta Q_h H_h & Q_h &= \mu \sqrt{2gH_h} \\ \frac{N_h}{N_d} &= \sqrt{H_h^3 / H_d^3} & \text{已知 } H_h / H_d &= 1.037 \\ \therefore N_h / N_d &= 1.056 \end{aligned}$$

式中：脚标h表示高水位时的水力参数；

脚标d表示低水位时的水力参数。

这就是说，如果高水位运行，出力要比设计的11.0万千瓦高5.6%。即为11.62万千瓦。这和现在的实际出力相近。如果低水位运行，则2~3个星期，要少发电207~310万度。由此可见，实行高水位运行，定期冲淤，扣除了冲淤停机停电损失，也要比低水位运行多发电152~222万度，其经济性是无可怀疑的，倘若再考虑实际运行中的漂木问题和保证压力引水隧洞进口淹没水深的需要，其合理性也是十分明显的。

六、总束语

为了解决漂木过闸问题和泥砂过闸问题，映秀湾水电站实行定期冲淤这项技术措施，不仅解决了漂木和泥砂过闸的复杂问题，而且增加了工程效益，还在一定程度上减轻了过机泥砂。我们认为，这个事实说明，在多泥砂河上建闸坝，采用科学的结构布置，制定合理的运行调度方式，砂石淤积就不再成为问题。即使是一个30~40米高的坝，有一个日调节或周调节水库，也能够采用定期冲淤的措施，保持住有效库容的；如果再辅以机械措施，甚至可以保持一个月调节或季调节水库的有效库容的。我们相信，映秀湾水电站开发成功，岷江上游其他梯级电站的开发也会成功，这是毋庸置疑的；岷江上能做到的，其他泥沙河流也一定能办得到。而且随着岁月的增加，经验的积累，科学的发展，将会办得更好。

主要参考资料

1. 映秀湾水电站初步设计
水电部成都勘测设计院 1964年
2. 映秀湾水电站首部枢纽运行方式意见
水电部成都勘测设计院 1971年
3. 关于映秀湾水电站首部枢纽运行方式的规定
秀映湾发电厂 1980年
4. 岷江上游规划补充研究报告
水电部第六工程局设计队
5. 水库泥沙
陕西省水科所、清华大学水利系合编
6. 四川省水文手册
四川省水利电力厅水文总站
7. 映秀湾水电站装机容量设计总结
水电部成都勘测设计院 1981年