

水工建筑物抗冲耐磨材料试验研究

水利电力部成都勘测设计院 杨成球

提 要

本文阐述了国内外有关水工建筑物抗冲耐磨材料的室内和现场试验成果及一些材料的抗冲耐磨特性,并根据以往的工程实践经验,结合国外有关标准及发展趋势,对水工建筑物中的抗冲耐磨混凝土提出了改进建议,并对其它几种抗冲耐磨材料在水工建筑物中应用的可能性提出了看法。

概 述

水利枢纽中混凝土泄水建筑物如溢洪道、泄水孔、输水隧洞、消力池、护坦等,经过一段时间运行(有的运行时间很短),因高速水流和所挟带固体颗粒(砂、砾石)的冲磨,往往使混凝土表面造成不同程度的磨蚀;严重者使整个泄水建筑物破坏,以致不能继续运行,必须进行修复。而修复工作量大、费用高、施工困难,且难于保证在以后运行中不再被破坏。故水工建筑物的抗冲耐磨问题,已愈来愈引起人们的普遍重视,并进行了大量的试验研究工作。

本文根据我们已作的一些试验研究工作,并结合国内外的某些成果,拟对水工建筑物的抗冲耐磨材料予以综合论述。

一、磨蚀的类别

按引起泄水建筑物破坏的类型来分,磨蚀破坏大致可以分为磨损、冲击和气蚀三类。

(一) 磨损

磨损是由于水流所挟带的固体颗粒在混凝土表面滑动、滚动和跳动等直接产生摩擦的结果。磨损的程度与水流速度、固体颗粒的含量、形状、大小、硬度以及作用的时间等因素有关。磨损常见于多泥沙河流,如黄河三门峡水利枢纽,实测日平均最大含沙量约640公斤/米³,其3号泄水底孔经一个汛期运行192天后,600号的水泥砂浆抗磨层,普遍磨损5毫米以上⁽¹⁾。一般说来,混凝土的标号愈高、骨料的粒径愈大、愈坚硬,其抗磨性能就愈好。

(二) 冲击

冲击是由于高速水流所挟带的推移质颗粒,在混凝土表面滚动、跳动,对其所产生的冲击作用。冲击力的大小同水流速度、运动方式及所挟带颗粒粒径等因素有关。这种破坏常见

于坡降大、多推移质河流水利枢纽的冲砂闸中,如南桤河石棉二级水电站,首部枢纽冲砂闸的混凝土护坦,在投入运行的第一个汛期,就遭到严重破坏⁽²⁾。通常认为:材料韧性愈高,其抗冲击性能就愈好。

(三) 气蚀

气蚀也是一种机械冲击力作用。它是由于高速水流内部绝对压力降低到低于水流周围的蒸气压力时所形成的水蒸气泡,进入后面的高压区时,因受周围水流的压缩,使气泡空腔在瞬间溃灭而形成。目前一些理论研究和试验资料均说明气泡溃灭时,将伴生极大的压力,其值大致为7000个气压^(3,4)。如气泡在固体材料表面或其附近溃灭,则对材料表面产生巨大的冲击,以致逐步形成坑洞,从而引起材料表面的气蚀破坏。工程实践表明:材料表面凹凸不平会促使气蚀产生;流速愈高,气蚀愈剧烈。引起气蚀的基本因素,可归结为水流运动的速度和材料表面的不平整度。

据有关文献^(3,5)介绍:在开敞式引水道中,流速大于12米/秒;封闭式引水道中,流速大于8米/秒时,均有产生气蚀的可能性。刘家峡水电站大坝右岸的永久泄洪洞,水头约120米,最大流速40~45米/秒,由于施工时混凝土表面不平整等原因,经过一个汛期运行315小时后,造成了严重的气蚀破坏⁽⁶⁾。

通常认为:混凝土的气蚀破坏,是由于气蚀的作用力将骨料从混凝土中拔出。尤其是大骨料抗拔力更差。因此,混凝土对骨料的粘着力比其硬度显得更为重要。相对来说:混凝土在磨损过程中,当其表层水泥砂浆被磨冲掉后,就主要靠骨料来抗磨损,因此对骨料的硬度要求较高。故凡有可能产生气蚀的部位,应尽量采用抗气蚀性能较好的小骨料高强混凝土。

上述几种磨蚀的类型不能截然分开,实际上是互相联系的。一般来说:当混凝土表层的水泥砂浆磨蚀后,由于增加了表面的糙率而促使产生气蚀;表面发生气蚀破坏后,又会引起水流脉动反过来加速其磨损。通常,当水流挟带泥砂且流速又较大时,则上述磨蚀的几种情况均可能同时产生。但在不含沙的高速清水流中,一般只有产生气蚀的可能性。不过,气蚀产生后,可能随之加剧水流的冲刷作用。

二、室内试验

目前国内外所进行的抗冲耐磨室内试验,大体上有磨损试验、冲击韧性试验和气蚀试验等三种。现根据所搜集到的有关资料分述如下:

(一) 磨损试验

目前室内进行的磨损试验大体上有圆盘磨损、钢球磨损、含砂高速水流磨损、高速含砂水流喷射等数种。以下列出我所^(7,8)(见表1)及水电科研院⁽⁹⁾(见表2、3)部份试验研究成果;摘录苏联“水工建筑物护面的耐磨性”⁽⁴⁾资料(见表4)和印度⁽⁵⁾不同标号混凝土的抗气蚀性和抗磨损性资料(见表5)等。从这些资料中可以看出混凝土的抗磨损性随混凝土标号的提高而提高,大骨料混凝土的抗磨损性较小骨料混凝土好。室内砂浆试验成果与现场应用效果出入较大。一般认为:室内高速含砂水流磨损及高速含砂水流喷射两种方法较好。

(二) 冲击韧性试验

表1 各种材料的抗冲磨特性

编号	材料名称	抗压强度 (kg/cm ²)	抗拉强度 (kg/cm ²)	耐磨度 (g/cm ² /干转)	冲击强度 ($\frac{kg-cm}{cm^2}$)	冲击韧性 (次)	77—79年 石棉电站 现场试验 结果鉴定	备注
A ₁	改性环氧砂浆	1004	135.0	0.87	2.12	23.7	较差	1. 试验龄期均为28天; 2. 砂浆试件尺寸: 耐磨度: $\phi 2.5 \times 5.0cm$ 冲击韧性: $\phi 2.5 \times 2.5cm$ 冲击强度: $1.0 \times 1.5 \times 10.0$; 3. 混凝土试件的冲击韧性和耐磨度尺寸均为 $10 \times 10 \times 10cm$; 4. 砂浆和混凝土的试验机器不同。
A ₀	水泥砂浆	485	40.6	0.89	0.80	5.3		
A ₄	胶乳水泥砂浆	66	16.1	0.21	6.9	32.7	最差	
	水泥砂浆	315	29.2	1.93		6.0		
浸 ₃₃	浸渍水泥砂浆	953	132.3	0.35		11.7		
	水泥混凝土	475	26.5					
浸 ₂₃	浸渍混凝土	1063	86.3			7.3		
F ₁₀	普通高强混凝土	469	29.4		2.67		较好	
F ₂	尼龙纤维混凝土	519	25.4	0.67				
F ₄	聚乙烯纤维混凝土	504	28.9	0.77	1.87			
F ₈	钢纤维混凝土	639	42.6	0.33	6.99		好	
	砂 锰渣 铸石	3000~6000	200~400		60~80		好	

据参考文献(2.8)

表2 水灰比对混凝土抗磨强度的影响

水 灰 比		0.47	0.51	0.53	0.55	0.60	0.70
抗压强度 (kg/cm ²)			330	303	240	206	164
抗磨损强度 (小时/公斤/米 ²)	流速14.3米/秒	0.96	0.86	0.80	0.67	0.70	0.35
	流速19.3米/秒	0.59	0.49	0.54		0.36	

据参考文献(9)

表3 不同捣实方法对混凝土抗磨强度的影响

水 泥 品 种	水 灰 比	捣 实 方 法	抗压强度 (kg/cm ²)	抗 磨 损 强 度 (小时/公斤/米 ²)		
				流 速 9.5米/秒	流 速 14.3米/秒	流 速 19.3米/秒
400*硅盐酸 水泥	0.47	振动台	338	3.91	1.57	0.82
		人 工	312	2.94	0.95	0.59
400*火山灰 水泥	0.47	振动台	326	2.26	1.50	0.89
		人 工	276	1.93	0.86	0.48

据参考文献(9)

表4 苏联“水工建筑物护面的耐磨性”资料摘录

混凝土标号	200	300	400	500	600	700	800	备 注
单位磨损率	80	54	40	32	27	23	20	D _{max} = 40mm
一 K · 10 ⁻¹⁰	53	36	27	21	18	15	13	D _{max} = 60mm
	40	27	20	16	13	11	10	D _{max} = 80mm
抗冲击能力 (Kg-cm)		7000	9000	12000	15000			
抗冲击强度 (Kg/cm ²)		0.8	1.0	1.4	1.7			

据参考文献(4)

目前室内进行冲击韧性所用试验设备,大致有垂直岩石冲击试验机、摆式冲击试验机,按固定高度冲击一定次数后再测定抗压强度降低值等几种。此外,还有根据梁的挠曲试验时应力~应变曲线下的面积来计算材料的韧性。有关试验资料表明,按固定高度捶击的普通混凝土,在打击26次后破裂;而钢纤维混凝土在捶击530次后仍未发生破裂(7)。变化高度的

冲击试验结果表明, 钢纤维混凝土的冲击强度较普通混凝土大 2 ~ 3 倍⁽⁷⁾。国外有关资料认为, 钢纤维混凝土的冲击韧性较普通混凝土成数量级增强(有人认为成几个数量级增加)⁽¹⁰⁾, 它是一种优良的抗冲击材料。一般情况下, 混凝土的冲击韧性也与强度有关, 其抗压强度愈高, 抗冲击强度愈大。用纤维加筋的混凝土则可大大提高冲击韧性。

表 5 不同抗压强度混凝土的抗气蚀和抗磨损性

抗压强度 (kg/cm ²)	211	281	352	422
抗气蚀性 (小时/时 ³ /时 ²)	8.5	29	49	69
抗磨损性 (小时/时 ³ /时 ²)	0.8	0.9	1.1	1.25

据参考文献⁽⁵⁾

(三) 气蚀试验

目前国内在材料方面抗气蚀试验的研究工作不多, 现扼要介绍美国德殊特 (Detriot) 坝高水头气蚀试验装置的试验结果⁽¹¹⁾。其中试验水头 73.2 米, 喷射流量 1.7 米³/秒, 流速 37 米/秒, 试验板尺寸长 300 厘米, 宽 84 厘米, 厚 20 厘米。用两个高 2.5 厘米、底部直径 5.1 厘米的凸形障碍物, 作气蚀发生器造成气蚀。试验采用普通混凝土、钢纤维混凝土、聚合物浸渍普通混凝土、聚合物浸渍钢纤维混凝土等四种材料, 其试验结果列于表 6。从该表中可以看出, 钢纤维混凝土的抗气蚀性较普通混凝土优越得多, 也较聚合物浸渍的普通混凝土好, 但不如聚合物浸渍的钢纤维混凝土。这一结果与文献⁽¹²⁾中关于以上几种材料抗冲击韧性的结论相当。由于钢纤维混凝土工艺较聚合物浸渍混凝土的工艺简单, 故认为钢纤维混凝土是一种现实、优良的抗气蚀材料。

表 6 特种混凝土的气蚀试验结果

材 料 名 称	每立方米 水泥用量 (kg)	28天龄期 抗压强度 (kg/cm ²)	气 蚀 试 验 结 果
普 通 混 凝 土	356	320	试验 47 小时破坏
钢 纤 维 混 凝 土	409	426	试验 138 小时破坏
聚合物浸渍普通混凝土	356		试验 129 小时破坏
聚合物浸渍钢纤维混凝土	409		试验 196 小时未破坏

据参考文献⁽¹¹⁾

- 注: 1. 全部试验板的气蚀破坏型式相类似;
2. 按气蚀坑最大深度 7.6 厘米为破坏的临界条件;
3. 聚合物浸渍混凝土的基体与普通混凝土、钢纤维混凝土同样配比一起浇注。

三、现场试验及补强措施

下面列举国内外几个典型水利枢纽的现场应用试验及补强措施。

(一) 三门峡水利枢纽泄水排砂钢管和底孔⁽¹⁾

三门峡大坝泄水排砂钢管和底孔的水头约20~35米,最大流速约17米/秒,年平均含砂量约40公斤/米³,日平均最大含砂量约640公斤/米³。其中底孔的300号抗磨混凝土或水泥砂浆抹平层,经过三个汛期运行后检查,发现底板两侧墙的下部磨蚀严重,气蚀坑直径6~12厘米,深2~6厘米。闸门槽轨道面上的不锈钢也有直径0.5~2.0厘米的鱼鳞坑。从1967年至1973年先后分别铺砌了环氧砂浆、辉绿岩铸石板、水泥石英砂浆及钢板等几种材料,效果均较好。其中3号底孔的比较试验结果如下:

1. 辉绿岩铸石板:经过严细的施工,如能保证完好的粘结,其抗磨性能超过钢材,是最耐磨损的一种材料。由于环氧砂浆的施工质量难以保证,故铸石作为耐磨损材料,其成败的关键是粘结材料;

2. 环氧砂浆:环氧砂浆是以环氧树脂和胺类固化剂等材料与石英砂拌合而成,具有很高的强度。在其面上没有发现剥离裂缝或磨蚀的坑洞,表面磨损约1毫米,抗磨性能较好;

3. 水泥石英砂浆:用500号普通硅酸盐水泥拌制。水灰比为0.35,灰砂比为1:1.37,28天抗压强度约为550~620公斤/厘米²。表面磨损虽较严重,出口段较检修闸门后尤甚,磨损约5毫米,但没有发现剥离和大的坑洞。由于灰砂比大,水泥用量多,又未掺外加剂,多余水分会在砂浆中形成许多孔洞;同时因抗磨性能较差的水泥浆体,约占砂浆总体积的60%,加之其布置在底孔的出口段,水流条件差,从而加速了磨损。如果适当改变上述情况,添加高效能减水剂,用小水灰比,减少用水量,其抗磨性能将会提高。

4. 钢材:三门峡的实践表明,钢材的抗磨性能低于铸石、环氧砂浆和真空作业的混凝土。如5~8号钢管的30号钢板镶护层和水轮机组过水部件表面的铬五铜钢抗磨层,经过一个汛期的洪水,即受到严重的冲蚀破坏。

(二) 刘家峡大坝右岸永久泄洪洞⁽⁶⁾

刘家峡大坝右岸永久泄洪洞,系由原施工导流隧洞改建而成。平面布置为一直线,泄洪水头约120米,最大流速40~45米/秒。该泄洪洞从三年施工导流,到永久泄洪洞斜井段开挖完毕强迫过水、斜井反弧段用30厘米厚的300号混凝土衬砌后正式运行,曾先后发生三次严重破坏。关于第三次正式运行所产生的严重破坏,根据现场会比较一致的意见认为:主要是混凝土表面不平整(底板上有凸体、错台和钢筋头等)引起气蚀破坏的连锁反应,以致造成大面积的气蚀破坏。以后用环氧砂浆及300号混凝土进行了修补,并注重了表面的平整度,但初步看来,效果并不理想。因目前对高速水流的气蚀破坏机理还认识不足,且该泄洪洞出口埋在水下,检修不便,致使不能经常使用。

(三) 南桠河石棉二级水电站^(2.7.8)

石棉二级水电站系大渡河支流南桠河上的引水式径流发电站。五十年一遇设计洪水为1000米³/秒,目测个别过闸推移质最大颗粒粒径1.0~1.5米,于1965年建成发电。当年汛后(实测洪峰流量分别为280和380米³/秒,最大流速约12米/秒),首部枢纽的冲砂闸底板和护坦

表7 石棉水电站抗冲耐磨材料现场试验结果表

项 目	材料名称	砂 渣	改性环氧 砂 浆	Mc尼龙板	胶乳水泥 砂 浆	高强纤维 混凝土	高 强 混凝土	浸渍石英 砂混凝土 预制块	减 水 剂 混凝土
施 工 日 期	1977年4月	1977年4月	1977年4月	1977年4月	1977年4月	1977年4月	1977年4月	1979年4月	1979年4月
浇注厚度 (cm)	5	5	5	2	10	10~20	10~20	5	10
28天抗压强度 (kg/cm ²)		601	601		89	663	517	1063	405
每米 ³ 材料成本概 估 (元)	4000	6000	6000	昂贵	2000	600	150	2500	150
部 位 及 相 对 水 流 条 件	前部 好	中部 较好	中部 较好	中部 较好	中部 中	尾部 较差	尾部 较差	中部 较好	中部 较好
1978年 汛 后 检 查 结 果	磨蚀轻微，凸出棱角被砸掉，有裂纹。	大部份磨蚀掉，可见高强度混凝土基础。	磨蚀轻且均匀，表面粗糙。	磨蚀严重，可见高强度混凝土基础。	磨蚀均匀，磨蚀深度约2厘米。	磨蚀不及纤维混凝土均匀，磨蚀深度约3厘米。			
1979年 汛 后 检 查 结 果	同上，并可见少量铸造时的气孔。		同上			同上	同上	接缝凸出环氧砂浆被磨平，磨蚀深度约1.5厘米。	磨蚀深度约3~4厘米。

的150号混凝土被冲成深槽,最深处为0.7米,埋设的 $\phi 28$ 毫米钢筋全部磨断,护坦后的钢筋石笼海漫大部冲坏冲走,已危及闸身的安全,曾进行多次修复。1968年和1969年又先后两次用辉绿岩铸石板、环氧混凝土、呋喃混凝土等抗磨损材料进行现场对比性试验。除环氧混凝土在一个汛期内磨损1~5厘米外(后来也冲毁了),其余两种材料在不到一个汛期内即全部被砸碎冲毁。其后又采用在钢轨(原设计中铺设的)缝中嵌铸石砖、其它重要部位敷钢板、铸铁板、花岗岩条石等材料予以修复。根据多年来的运行效果看,以钢板和钢轨缝中嵌铸石砖的抗冲耐磨效果为最好(钢轨的下游端磨蚀成刀刃形);铸铁板、花岗岩条石的效果次之。

1977年初又进行矽锰渣铸石、改性环氧砂浆、胶乳水泥砂浆、Mc尼龙板、高强混凝土、高强纤维混凝土等材料的现场试验。1979年初又在1977年铺筑改性环氧砂浆和胶乳水泥砂浆处重新铺筑了减水剂混凝土(以与1977年浇筑的高强混凝土相区别)和聚合物浸渍石英砂混凝土预制块,其现场取样及汛后检查结果如表7所示。从该表中可以看出:高强混凝土和高强纤维混凝土是一种较好的抗冲耐磨材料。矽锰渣铸石抗冲耐磨效果很好,但由于成本较高,且环氧砂浆粘结施工复杂,故在大面积上应用有一定的困难。其它几种材料无论在技术性能还是经济上,目前要作为抗冲耐磨材料的现场应用,均存在一定的问题。

(四) 国外一些水工建筑物的磨蚀及补强措施(4.11.13.14)

1. 美国大古里坝的溢洪道鼻坎,1943年3月潜水检查,发现一个很大的破坏区,深度0.3到1米多,采用沉箱法经8年时间修复。该坝的中层泄水孔(水头60~75米),由于底板以1:20.8的斜率突然扩散引起气蚀,以致出口侧墙的钢筋露出,经修建127×152毫米的通气槽后,运行了12,000小时未再发生破坏。

2. 美国的万希普、纳瓦约、普林维尔等坝,在泄洪洞出口处平板闸门下游(水头42~96米),气蚀引起闸门下游混凝土不同程度的破坏。曾用环氧材料修补,仍几乎全部被破坏,而且新的破坏范围更大。以后用不锈钢板衬砌15米,效果较好。

3. 美国德沃夏克坝(Dworshak)的溢洪道,曾用钢纤维和聚合物浸渍混凝土修补,初步效果良好。

4. 美国利贝(Libby)坝的泄水底孔及边墙,曾用钢纤维混凝土修补,初步效果良好。

5. 巴基斯坦的塔培拉坝,1976年4月受到第二次破坏的消力池,拟用钢纤维混凝土修复,计划在3米厚6000米²的消力池底板上浇筑50厘米厚的钢纤维混凝土。

6. 印度巴克拉溢流坝,在施工期间过水,混凝土护坦(抗压强度281公斤/厘米²)即损坏较严重,磨损15~23厘米,最大冲坑深度1.06米。后采用水下高强混凝土修补(28天抗压强度506公斤/厘米²,水下浇注混凝土28天抗压强度422公斤/厘米²),经过一年汛期运行后检查表明,修补冲坑的混凝土部份表面稍有磨损,其余大部完好,

四、结 论

水工建筑物的抗冲耐磨问题,除从材料本身进行研究外,还应从水工结构方面(如断面形状、平整度等)进行消能防冲(水流掺气、水流脉动、消能过程中的水流结构、冲蚀破坏机理等)的研究工作。这里仅从材料本身根据已有室内试验和现场应用情况,就几种主要抗

冲耐磨材料提出如下看法:

1. 高强混凝土, 是一种廉价、性能较好的抗冲耐磨材料。随着高效能减水剂的研制成功, 国内可按常规混凝土的拌制方法, 采用低水灰比、拌制成约高于水泥标号 200 号的流态混凝土。在实际工程应用时, 应根据可能出现的磨蚀类型, 采用不同粒径的粗骨料。在气蚀和冲击起主导作用的部位, 宜采用一级配骨料混凝土 (骨料最大粒径 20 毫米); 在磨蚀起主导作用的部位, 宜采用二至三级配骨料的混凝土 (骨料最大粒径 40~80 毫米)。

2. 高强钢纤维混凝土的抗冲耐磨效果, 较高强混凝土优越, 尤其在气蚀和冲击起主导作用的环境中采用效果更佳。但其施工较为复杂, 成本较普通混凝土增加约 4 倍。目前国内大量应用尚有一定的困难, 作为局部的补强措施是切实可行的。

3. 环氧砂浆是一种强度很高的材料, 经过严细的施工 (现场大面积应用, 目前尚难以作到), 能得到良好的质量。但由于环氧树脂类固化剂毒性大、施工困难, 加之基础处于潮湿环境, 因其憎水性难于保证施工质量; 同时其成本昂贵 (比用同样厚度钢板镶面的成本还高), 且性脆, 若作为大面积应用的抗冲耐磨材料, 不仅技术上存在困难, 且经济上也不够合理。

4. 铸石是最耐磨损、抗腐蚀性最好的材料, 已成功地在工业上作各种耐腐蚀抗磨损的衬砌应用; 水电工程中也有成功的应用经验, 是一种较理想的抗磨蚀材料。但其成本较混凝土成数量级增加。普通辉绿岩铸石性脆, 在多推移质的河流上采用、易被砸碎而遭破坏, 应采用微晶铸石。铸石一般采用环氧作粘结材料, 故又存在环氧材料的缺点。同时, 由于铸石是逐块铺砌的, 加之其表面铸造时的不平整, 故作大面积地铺砌后平整度较差, 作为抗气蚀材料, 有其不足之处。

5. 根据国内外的工程实践, 用 300 号混凝土作为抗冲耐磨材料是欠妥的。目前全苏水利科学研究所推荐的抗冲气蚀混凝土的抗压强度应不低于 400 公斤/厘米², 抗拉强度不低于 30 公斤/厘米²(15); 美国混凝土协会 210 委员会则规定抗压强度为 540 公斤/厘米²。目前国内 600 号以上高强混凝土较 200 号左右的普通混凝土成本约增加 20%。因此, 建议水工建筑物中的抗冲耐磨混凝土的标号应提高至 600 号以上, 这在技术上是完全可行的, 经济上也是合理的。

其它材料如浸渍混凝土、浸渍钢纤维混凝土、超高强混凝土等, 目前在技术上和经济上尚存在一定的问题。但随着科学技术的不断发展, 这些新型材料、特别是超高强混凝土, 在水工建筑物中应用的可能性, 将会日益增加。

参 考 文 献

- (1) 三门峡水利枢纽铸石抗磨层的试验与施工。
水利电力部第十一工程局 1976年5月
- (2) 关于处理南桠河石棉水电站首部枢纽冲砂耐磨损等问题的报告 水利电力部成都勘测设计院石棉工作组 1966年2月
- (3) A·M·Neville. Resistance to Abrasion and Cavitation. Properties of Concrete P443~447. 1973.

- (4) 水工建筑物混凝土的磨蚀及抗冲耐磨材料 水利水电技术情报 长江流域规划办公室技术情报科 1976年4月
- (5) 混凝土译丛(2) “纤维配筋混凝土”、“混凝土抗冲刷试验” 长江流域规划办公室长江水利水电科学研究院 1974年12月
- (6) 刘家峡水电站永久泄洪隧洞竣工报告 水利电力部第四工程局 1976年6月
- (7) 高强纤维混凝土试验报告 水利电力部成都勘测设计院科学试验所 1977年12月
- (8) 水工建筑物抗冲耐磨材料试验研究报告 水利电力部成都勘测设计院科学研究所 1978年1月
- (9) 水工混凝土高速含沙水流磨损的探讨 姜福田 水利水电科学研究院 科学研究报告论文集第五集(结构、材料) 1965年
- (10) 纤维混凝土(译文) 水利电力部成都勘测设计院科学试验所 1977年3月
- (11) Cavitation Resistance of Special Concrete. Journal of the American Concrete Institute 1978. No12
- (12) New Materials in Concrete Construction 1970
- (13) 国外水利水电消息(水利) 1977年3月8日 水利电力部技术情报所编
- (14) 水电技术情报 1977年12月 水利电力部成都勘测设计院情报组
- (15) О Навитационной Эрозии Бетона. Тидротехническое Строительство «Энергия» 1978. No12.

大渡河规划专题学术讨论会报导

11月27日~29日,本学会水能规划及动能经济专业委员会召开了专委扩大会议。除专委会全体委员外,还邀请了省电力局、水电七局、雅安地区水电局和有关兄弟专委会等,到会代表共30余人。学会亦派代表参加了会议。

会议对大渡河的梯级开发方案、重点开发河段和近期开发工程等进行了热烈的讨论。

经过充分讨论后,会议赞同大渡河干流以独松、瀑布沟两大水库为代表的16级开发方案;近期重点开发泸定以下河段,并以大岗山、龙头石、瀑布沟、龚咀加高、铜街子等五个梯级为近二十年左右的主要开发研究对象。五级共装机750万千瓦,保证出力235万千瓦,年发电量392亿度。

到会同志建议:继现在正建的铜街子水电站之后,尽快续建龚咀水电站大坝加高。与此同时,鉴于瀑布沟高坝方案水库容积52.5亿立方米,装机280万千瓦,作用大,效益显著,因此一致希望能将该电站也列入国家重点前期工作项目,加快勘测设计工作。

会议还总结了专委会今年的工作,讨论了83年的活动计划。

规划专委会供稿

1982.11.30