

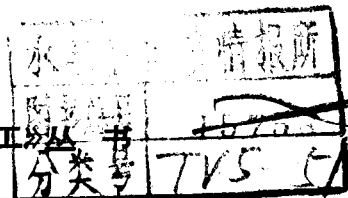
《水利水电施工》
丛书

抗冲耐磨材料的
选择与施工

白福来 廖碧娥

311

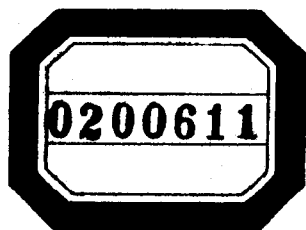
《水利水电施工



006172 水利部信息所

抗冲耐磨材料的 选择与施工

白福来 廖碧娥



水利电力出版社

内 容 提 要

高流速、挟砂石水流对水工建筑物过流部位的冲刷磨损和气蚀破坏所造成的损失及危害，已愈来愈被人们所重视。解决这一问题的途径是多方面的，从设计、施工、运行及检修条件等都需要采取相应措施，以保证水工建筑物的安全和正常运行。

本书着重从抗冲耐磨材料的选择与施工角度分六个方面阐述“抗冲耐磨”问题，即：绪论；冲蚀破坏测试方法；抗冲耐磨混凝土；聚合物混凝土及砂浆；抗冲耐磨镶面材料；抗磨蚀材料选择综述等。

本书可供从事抗冲耐磨材料的研究机构、施工人员和设计人员阅读，也可供有关院校师生学习和参考。

2057/27
21

《水利水电施工》丛书
抗冲耐磨材料的选择与施工

白福来 廖碧娥

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4.625印张 99千字
1988年10月第一版 1988年10月北京第一次印刷

印数0001—2420册 定价1.15元

ISBN 7-120-00397-6/TV·141

序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利、开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书。包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

一九八四年七月

水利科普丛书编审委员会名单

主任委员：史梦熊

副主任委员：董其林

委 员（以姓氏笔划为序）：

丁联臻	王万治	史梦熊	田 国
李文治	郝凤山	杨启声	张宏全
张林祥	沈坤卿	陈祖安	陈春槐
汪景琦	郑连第	郭之章	赵珂经
茹 智	陶芳轩	谈国良	徐曾衍
蒋元驹	曹述互	曹松润	董其林
顾振元			

前 言

随着水利水电资源的开发，高水头、大泄流量的水工建筑物日益增多。高流速、挟砂石水流对水工建筑物过流部位的冲刷磨损和气蚀破坏所造成的损失及危害，已愈来愈被人们所重视。解决这一问题的途径是多方面的。从工程设计（如体形设计、结构设计及材料设计等）到施工技术、运行方式以及检修条件等，都需要采取相应的措施，以保证水工建筑物的安全与正常运行。总结我国已建工程的实例可知，对于泄水建筑物抗冲耐磨问题的处理，既有成功的经验，也有失败的教训。

对于建国以来修建的大量的水利水电枢纽工程泄水建筑物的冲刷磨损及气蚀破坏情况，在原水利部基建总局的主持领导下，曾于1981年4月组成了中南、西南和北方地区3个调查组，对部分典型工程进行了调查。1983年12月中国水利学会施工专业委员会又召开了水工混凝土抗冲耐磨研究及应用效果学术讨论会。1986年3月，湖北省水利学会结合葛洲坝工程二江泄水闸全面大检修之际，针对抗冲耐磨问题进行了学术交流。多年来国内一些水利水电建设工程和科研单位及高等院校，曾相继开展了这方面有关问题的试验研究工作，在测试方法及抗冲耐磨材料的选用方面，都取得了可喜的成果。同时，对冲磨破坏机理的研究，也取得了一些进展，为抗冲耐磨材料性能的定性分析比较进入到定量计算，提供了依据，也为设计与施工提供了有价值的参考。

由于气蚀破坏作用不同于悬移质及推移质的冲磨破坏作

用，加上篇幅的限制，本书仅以“抗冲耐磨”为重点。全书共分六章，第1～2章由白福来同志编写；3～6章由廖碧娥同志编写。其中第4章高分子材料部分，在编写过程中曾得到蒋硕忠、薛希亮同志的热情指导。全书由白福来同志担任主编，由孟健宁同志担任主审。编写时曾广泛参阅了一些工程单位的总结及有关单位的科研成果，并得到有关单位及同志们的大力支持，在此特表示衷心的感谢。

限于作者的水平，对于书中出现的错误，敬希读者批评指正。

作 者

1986年8月

目 录

序

前 言

第一章 绪论	1
第一节 水工建筑物的气蚀破坏	10
第二节 悬移质的冲蚀破坏	14
第三节 推移质的冲蚀破坏	19
第二章 冲蚀破坏测试方法	30
第一节 冲刷试验仪法	30
第二节 气流挟砂喷射法	31
第三节 挟砂高速水流喷射法	32
第四节 丹江口挟砂高速水流试验场	33
第五节 旋桨钢球磨损仪法	34
第六节 气蚀(空蚀)试验	35
第三章 抗冲耐磨混凝土	38
第一节 抗冲耐磨混凝土原材料的选择	40
第二节 抗冲耐磨混凝土配合比设计的原则	50
第三节 抗冲耐磨混凝土的施工技术	56
第四节 钢纤维混凝土	67
第五节 水泥砂浆	72
第四章 聚合物混凝土及砂浆	79
第一节 聚合物胶结混凝土	80
第二节 聚合物浸渍混凝土	105
第三节 有机高分子材料在使用中的安全注意事项	117
第五章 抗冲耐磨镶面材料	120

第一节	抗悬移质为主的镶面材料——铸石镶面材料	120
第二节	抗推移质为主的镶面材料	123
第六章	抗磨蚀材料的选择	130
第一节	以悬移质冲磨破坏为主的抗冲耐磨材料选择	131
第二节	以推移质冲磨破坏为主的抗冲耐磨材料选择	133
第三节	以抗气蚀为主的耐蚀材料选择	135

第一章 绪 论

水工建筑物的冲刷磨损和气蚀破坏，是水利水电建设中有待解决的一个重要课题。溢流坝、溢洪道、泄洪隧洞、泄水闸闸室底板、护坦、消力墩、排水底孔的底板及边墙等，通常都是用混凝土浇筑成的。当高速挟沙水流或挟带推移质水流通过这些部位并经历一定运行时间后，往往会出现不同程度的磨蚀或冲砸破坏及气蚀破坏，为此有一些泄水建筑物几乎年年都要进行维修，不仅工作量较大、投资较多、历时较长，而且有些破坏部位又经常处于水下，这就给补修施工带来一定的困难。

我国黄河流域和华北地区的一些河流，多以含细颗粒的悬移质泥沙为主。黄河是世界上罕有的多泥沙河流，多年平均输沙量达16.4亿吨。据三门峡水利枢纽（以下简称三门峡）的不完全统计，自1962年4月至1980年10月底，通过各泄流排沙建筑物排泄的泥沙总量约达258亿吨。含有大量泥沙的高速水流对三门峡各泄水建筑物过流表面，造成了严重的磨损破坏。刘家峡水利枢纽（以下简称刘家峡）的排沙泄水道，也同样存在着严重的磨蚀问题。

我国西南地区，由于多系山区性河流，河谷狭窄，河床坡降又大，流域内的风化岩石在暴雨作用下，大量进入河道形成推移质。这些推移质的最大粒径一般为20~30cm，但最大粒径也有超过1m者。推移质在水流中以滑动、滚动和跳动的方式运动，对过流面层不仅有磨损作用而且有冲击破坏作用。例如，四川省南桷河上二级水电站（石棉）的冲沙

表 1-1 我国已建部分水工建筑物过流部位冲刷破坏情况

编 号	工程 名称	建 筑 物	尺 寸 (m)	设计 流量 (m ³ /s)	设计 流速 (m/s)	磨损介质 含 量 (kg/m ³)	破 坏 情 况	原 因
1	刘家峡	泄水道	明渠宽 8 平面转弯半径296 全长241	1524	35.0	272	骨料暴露, 局部磨 蚀深 20cm、面积 3 m ² , 门槽空蚀	水流含砂和流速均 高; 闸门不对称开启
		泄洪洞	斜段 8×12.9 平段 13×13.5 全长 535	2205	反弧48.0		1972年过水时底板 冲成 3 个深坑。第 2 坑深 3.5m, 第 3 坑 长达200m, 底板几乎 全部冲毁, 基岩被淘	主要因错台和突体 引起气蚀, 加之工作 缝未设止水, 新老混 凝土接合不良, 动水 压力造成破坏
		溢洪道	10×8.5×875	4190	25.0~ 35.0		1969年过水42天底 板冲毁长达 340m, 冲成 3 个深坑, 最大 坑深13m	未设止水, 排水不 健全, 不平整, 混凝 土质量差, 基础开挖 不符合要求, 动水压 力造成破坏

续表

编号	工程名称	建筑物	尺寸 (m)	设计 流量 (m ³ /s)	设计 流速 (m/s)	磨损介质 含量 (kg/m ³)	破坏情况	原因
2	三门峡	排砂 钢管	压力段 $\phi 7.5$ 出口 2.6×3.4	221	25.9~ 28.0	202	大面积鱼鳞状和蜂窝状磨蚀区, 一般深5~15mm, 局部20mm, 钢板穿孔, 侧壁R200混凝土被磨, 粗骨料裸露	流速和含砂量高, 磨损破坏
		底孔	$3 \times 8 \times 66.5$	503	19.9	911	1970~1980年运行, 2°工作门后有4个冲坑, 局部深达20cm, 平均磨去2~4cm, 侧墙2.5~3.0cm以下, 粗骨料裸露	水流含沙量高, 再加之施工围堰未拆除, 部分石头经孔下泄造成磨损破坏
		隧洞	压力段 $\phi 11$ 明流段 9×12	1550	20.0	汛期平均 68.33	R200混凝土磨损 轻微, 磨去约1~2cm	泥沙磨损

续表

编号	工程名称	建筑物	尺寸 (m)	设计流量 (m ³ /s)	设计流速 (m/s)	磨损介质 含量 (kg/m ³)	破坏情况	原因
3	石泉	8#、9#、10# 中孔消力 孔消力 屏	孔口 11×10.5 挑角 45°			实测 34.4	库内有两个大的深坑, 深 30~40cm, 每个面积约 20m ² , 大导墙骨料露出	据说是下游水流将屏下游石子带到屏内冲刷造成, 石头粒径约为 30cm
4	盐锅峡	消力池	宽 80 长 67.72	3600	25.0	310	趾墩后的护坦冲成八字形深坑, 钢筋露出, 消力墩侧面混凝土破坏	主要是设计不当引起空蚀
		1#机 组吸 水管	65×4	152	18.0	出库泥沙含 量为 84.2	门坎 2m 范围有长 1~2cm、宽 20cm 的坑, 钢筋外露	冲 磨
5	青铜峡	泄洪闸	10×5.5	735	18.0	出库泥沙 含量为 84.2	门槽下游侧墙下部各有面积为 30×40 cm ² 、深 10~20cm 的坑	空 蚀

续表

编 号	工 程 名 称	建 筑 物	尺 寸 (m)	设计 流量 (m ³ /s)	设计 流速 (m/s)	磨损介质 含 量 (kg/m ³)	破 坏 情 况	原 因
6	官厅	泄洪洞	马蹄形内径 8	560	实际12.0	最大实测333	明渠底板和侧墙底部磨去0.5~1.0cm, 并有深达5cm、面积10×15cm ² 的坑	施工导流期间磨损
7	陆水	主溢流坝消力池	宽 60.5 长 88	4950	23.2	多年平均含砂量为0.137	趾墩后0~3m范围内护坦有一对称坑, 最大面积4×7m ² , 深0.32~1.32m, 钢筋折断	趾墩体型不好和闸门不对称开启, 形成水流回流和空穴
8	柘溪	梯形差动坎	高坎宽 4.6 反弧半径 11.0 挑角 40° 低坎宽 3.4 反弧半径 17.28 挑角 13°	14160	28.7		1~6坝段12个高坎中有23个侧面气蚀, 总面积约23.35m ² , 露筋205条, 断筋11条, 其中最大坑深1.1m	水流由高坎向低坎扩散, 产生分离空穴, 造成侧面气蚀破坏

续表

编号	工程名称	建筑物	尺寸 (m)	设计 流量 (m ³ /s)	设计 流速 (m/s)	磨损介质 含量 (kg/m ³)	破坏情况	原因
8	柘溪	门槽	平板门 9×12 槽宽 3.02 深 0.95 呈方角	1573.3			门槽下游边壁及附近坝面气蚀, 其中4°孔气蚀面积6.42m ² , 最大深25cm	下泄水流在门槽内产生立轴旋涡引起气蚀
		升船 滑道	长1093.8m, 坡度1:4, 轨距5m, 混凝土排架支承纵梁				排架基础淘深2m, 纵梁及两条43kg钢轨被切断	左岸岩石风化, 节理发育, 岸坡内移10m, 淘出7×3×12m ³ 的岩洞, 溢流时风浪造成破坏
9	碧口	溢洪道	宽 15 长 393	1330	39.0		坝面伸缩缝中有部分混凝土脱落	气 蚀
		排沙洞	15×4.8×691	296	23.5	394	工作门下游有9个坑, 坑围最大350cm, 最深20cm, 磨损不严重, 局部露出石子	气 蚀
		右岸泄洪洞	13×11.5×603	2120	35.7		每年汛后检查都有小的破坏	将导流洞或成泄洪洞时, 因渗水, 新老混凝土粘接不好

续表

编号	工程名称	建筑物	尺寸 (m)	设计 流量 (m ³ /s)	设计 流速 (m/s)	磨损介质 含量 (kg/m ³)	破坏情况	原因
10	龚嘴	消力池	宽 86 长 119	12000		多年平均 泥沙含量为 0.71	漂木道、冲砂孔边 墩及厂房端墙和分水 墙侧面多处混凝土被 淘，最深达漂木道中 心线，且每年都有发 展，危及建筑物安 全	面流消能不充分和 漂木的冲击，下游河 床岩石磨损，边墙设 计欠妥
11	都江堰	飞砂堰	240×120		实测流速 5.0~6.0	年推移质 输送量30万 t	齿墙每年磨去20~ 30cm，砌卵石 的混 凝土多数被淘	推移质磨损
		外江闸	12×13.1			年推移质 输送量100万 t	闸坎两侧钢板磨损 较轻，闸室下游钢轨 冲弯，护坝浆砌条石 被磨成馒头状	推移质磨损

编 号	工程 名称	建 筑 物	尺 寸 (m)	设计 流量 (m ³ /s)	设计 流速 (m/s)	磨损介质 含 量 (kg/m ³)	破 坏 情 况	原 因
12	映秀峡泄洪闸		14×13 12×11.6	3790	实测流速 8.0~ 10.0	年推移质 输送量116 万 t	1#闸底右侧有两条 长50、宽20~30、深 20~30cm的纵槽, 部分钢板冲走。2#闸 工作门底坎上游护面 钢板冲掉5.5m。 3#闸工作门和检修门 护面钢板大部分冲掉 条石底板表面磨去 5~8cm,工字钢变 形,4#闸工作门前护 面钢板冲走12m	推移质及漂木的撞 击磨损, 闸门不完全 开启, 灌浆不密实, 衬护钢板被冲掉
13	渔子溪拦河闸		8×9×39	1260	11.0	多年平均 含砂量为 0.6, 年推移 质输送量 29万 t	闸室钢板无明显磨 损, R300混凝土护 坦磨去5~6cm, 个别深10cm	推移质磨损