

961285

《水利水电施工》
丛书

TV642
1131

甄 永 严

粉煤灰在水工混凝土中的 应用

水利电力出版社



TV642
1131

961285

TV642

《水利水电施工》丛书

1131

粉煤灰在水工混凝土中的 应 用

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书系统介绍了粉煤灰、粉煤灰混凝土特性,以及有效利用粉煤灰的途径、粉煤灰现场掺用工艺和应用粉煤灰的注意事项。全书着重于结合水工建筑对混凝土的要求,阐明粉煤灰影响混凝土性能的机理,注意到结合水利水电工程实际,侧重于实用。

本书可供从事水利水电混凝土工程以及其他混凝土工程设计、施工和试验研究人员参考。

《水利水电施工》丛书 粉煤灰在水工混凝土中的应用

甄 永 严

*

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 5.625印张 122千字

1992年12月第一版 1992年12月北京第一次印刷

印数0001—3580册

ISBN 7-120-01682-2/IV·613

定价4.20元

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

1984年7月

2 A 10 10

前 言

粉煤灰作为混凝土的掺合料较早地应用在水工混凝土中，这是由于大体积水工混凝土具有良好的温、湿度条件，有利于充分发挥粉煤灰的作用，再一方面是由于利用粉煤灰可降低水泥水化热和控制混凝土温升。早期利用粉煤灰主要从火山灰性质和生产火山灰质硅酸盐水泥来考虑的，尔后逐渐了解到粉煤灰能改善混凝土的耐久性，特别是粉煤灰混凝土具有较高的抗硫酸盐侵蚀能力、抗渗能力、抑制碱-活性骨料反应能力，以及提高施工和易性的能力，因此，粉煤灰已成为改善混凝土特性的新成分，使混凝土中掺用粉煤灰的技术水平得到很大发展。

水利水电系统为了推广利用粉煤灰，曾于1979年和1984年在广西大化水电工程指挥部召开过两次经验交流会，全面系统地交流了粉煤灰作为水工混凝土掺合料的研究和工程应用成果，推动了水利水电系统利用粉煤灰的进程。水利水电工程利用粉煤灰最初只是为了节约水泥，降低水泥发热量，减少混凝土温升，并没有把粉煤灰当作混凝土的改性材料。随着粉煤灰研究的深入发展，对粉煤灰混凝土的研究应用由单纯节约水泥发展到提高工程质量，在认识上有了一个飞跃。本书着重介绍粉煤灰对大坝混凝土性能的影响，根据目前粉煤灰的质量情况，提出了改善的方法；针对一些大家所关心的问题，作了深入的分析论述；提出了粉煤灰混凝土配合成分的设计方法；系统地介绍了现场各种掺粉煤灰的工艺；提出了应用粉煤灰的注意事项。限于水平，文中不妥和错误之

处在所难免，敬请读者批评指正。

书中引用了不少单位或个人的科研成果，对此表示衷心感谢。本书初稿经蒋元骧教授级高工和戴镇潮高工审阅，提出了很多宝贵意见，在此一并致谢。

作 者

1992年1月于北京

目 录

序

前 言

第一章	绪言	1
第二章	粉煤灰的成分和性质	12
第一节	粉煤灰的化学成分及矿物组成	12
第二节	粉煤灰的颗粒形态	18
第三节	粉煤灰的物理性质	21
第四节	粉煤灰的活性	23
第五节	国内外粉煤灰质量标准综述	30
第三章	粉煤灰混凝土的特性	37
第一节	粉煤灰对混凝土凝结时间的影响	37
第二节	粉煤灰对混凝土拌和物易性的影响	38
第三节	粉煤灰对混凝土力学性能的影响	41
第四节	粉煤灰对混凝土变形性能的影响	52
第五节	粉煤灰对混凝土抗渗性能的影响	62
第六节	粉煤灰对混凝土耐久性的影响	66
第七节	粉煤灰水泥及混凝土的热学性能	92
第八节	粉煤灰对混凝土内部孔隙结构的影响	95
第四章	粗粉煤灰的两种有效的利用方法	98
第一节	磨细粉煤灰的应用	98
第二节	水工混凝土利用较粗粉煤灰的有效方法 ——超量取代	104
第五章	粉煤灰混凝土抗裂能力分析	116
第一节	概述	116

第二节	粉煤灰混凝土抗裂能力分析	116
第三节	掺粉煤灰对混凝土抗裂性能影响的工程实例	125
第六章	粉煤灰混凝土配合成分设计方法	131
第一节	概述	131
第二节	国外几种粉煤灰混凝土配合成分设计方法简介	132
第三节	粉煤灰混凝土配合成分设计中的几个应注意的关系	136
第四节	常用的粉煤灰混凝土配合成分设计方法	139
第七章	施工现场掺粉煤灰工艺和应用粉煤灰的 注意事项	145
第一节	施工现场掺粉煤灰工艺	145
第二节	应用粉煤灰注意事项	164
附件	池潭水电站工程粉煤灰浆拌制操作规程	167

第一章 绪 言

粉煤灰是我国数量大，分布范围广，对环境污染十分严重的工业废渣之一，其排放量目前每年已达4500多万吨，利用率仅为20%左右。随着“四化”建设发展，还要兴建大量火力发电厂，粉煤灰的排放量随着火电厂的兴建还要逐年增加。目前每年约有20%的粉煤灰排入江河湖海，污染水质，影响水生作物生长；淤塞航道，影响航运及排洪能力；60%以上的粉煤灰储放灰场，占用土地达6万余亩，如不加以利用，必然会使污染问题更为严重。粉煤灰属人工火山灰质活性混合材料，综合利用粉煤灰对促进建筑材料的发展和“四化”建设都有重大意义。粉煤灰利用的途径很广，可用作混凝土掺合料、水泥混合材、制砖、砌块、轻骨料、加气混凝土以及铺筑道路等等。因此，综合利用粉煤灰是减轻环境污染、节省能源、变废为宝、造福人民的有效措施，意义重大。

水工混凝土大量的是用于浇筑混凝土大坝，由于体积大的特点，要求：

- (1) 具有较低的水化热温升；
- (2) 强度设计可利用长龄期；
- (3) 具有良好的和易性和抗离析性；
- (4) 具有一定的抗环境水的侵蚀能力；
- (5) 具有能满足大仓面施工要求的缓凝性。

根据上述要求水工混凝土所用的水泥标号不宜过高，水化热要低，并要求具有合适的矿物成分。但是，随着水泥工

业生产工艺的进步，生产水泥的标号逐渐提高，目前水利水电工程供应的水泥多数为不同品种的525号水泥，这就面临着高标号水泥配制低标号混凝土的矛盾，如果不采取适当措施，混凝土就很难满足施工要求和保证浇筑质量。国内外的经验表明，在工程现场掺粉煤灰掺合料，是解决上述矛盾的有效方法，因为，粉煤灰可以提高混凝土拌合物的和易性、延长混凝土的凝结时间、降低混凝土的发热量、减少干缩，提高混凝土的抗裂能力和抗渗能力。因此，掺粉煤灰主要目的是改善水工混凝土质量，同时还能节约部分水泥。由于水利水电工程混凝土方量大，即使每方混凝土节约少量水泥，也能获得较大的经济效益，并缓和了水泥供应紧张局面，所以也不能忽视掺粉煤灰节约水泥的意义。在大体积水工混凝土中掺粉煤灰除能达到上述目的外，还有以下效益：

- (1) 提高混凝土后期强度增长率；
- (2) 提高混凝土抵抗环境水的硫酸盐侵蚀能力和溶出性侵蚀能力；
- (3) 增加混凝土后期极限拉伸变形；
- (4) 能缓和游离石灰 ($f-CaO$) 和氧化镁 (MgO) 的有害影响，提高水泥的安定性；
- (5) 抑制碱-骨料的活性膨胀等效果。

掺粉煤灰对混凝土性能也有不利的影响，主要是降低了混凝土的早期强度、极限拉伸变形、抗碳化和抗冻融能力。但采取一定措施其不利影响是可以克服的。

由于掺粉煤灰有上述种种优越性，国内外在水利水电工程中对粉煤灰利用日趋普遍。

在我国三门峡水利枢纽大坝混凝土于1959年首次掺用粉煤灰，该坝内部混凝土设计标号为90天龄期100号，掺30%~

40%郑州电厂粉煤灰，浇筑了120万 m^3 混凝土，节约2万多吨水泥。实践证明，三门峡水电站在混凝土中掺粉煤灰除了取得经济效果外，技术上也取得较好的效果，例如，在矿渣大坝水泥中掺30%郑州电厂粉煤灰，在水灰比相同条件下，90天龄期的混凝土抗压强度可与不掺粉煤灰的基本相同；当粉煤灰掺量不大于40%时，混凝土28天龄期的抗渗标号可与同水灰比的不掺粉煤灰混凝土基本相同，而90天龄期的抗渗性，则比不掺粉煤灰的有较大提高；28天温升也较不掺粉煤灰的混凝土为低。由于掺粉煤灰取得良好的技术经济效果，在三门峡增建工程中，受高速水流（流速为19.3m/s）冲刷的隧洞部位也适量的掺用了粉煤灰，即在混凝土水泥用量不变的条件下，用8%~10%的粉煤灰代替细砂，其冲刷试验的磨损量由不掺粉煤灰混凝土的 $3.80\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ，降低到掺粉煤灰混凝土的 $2.56\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ，这部分混凝土在工程上应用多年情况良好。

自三门峡工程掺粉煤灰以来，陈村、西津、青铜峡、欧阳海、大黑汀、潘家口、池潭、大化、湖南镇、亭下、故县、东江、紧水滩、龙羊峡以及安康、万安等等大型水利水电工程相继在现场掺用了粉煤灰。在上述掺粉煤灰的工程中，有重力坝、宽缝重力坝、闸墩坝以及双曲拱坝；从掺用部位看，既有内部混凝土，又有外部混凝土；既有基础混凝土，又有水位变化区混凝土，甚至还有钢筋混凝土，几乎大坝所有部位都掺过粉煤灰。粉煤灰的掺量大多在20%~30%，个别多达57%，还有的工程在掺40%矿渣大坝水泥中又掺40%粉煤灰。除在硅酸盐水泥中掺粉煤灰外，还在普通硅酸盐水泥和矿渣水泥中掺粉煤灰。实践证明：水利水电工程掺用粉煤灰取得了良好的技术经济效果，是成功的经验。表1-1列

表 1-1

国内主要掺粉煤

坝 名	坝 型	坝 高 (m)	体 积 (万m ³)	混 凝 土	
				水 泥	
				标 号	品 种
三 门 峡	重 力 坝	106.0	163.0	*425 *325	纯硅酸盐 大坝矿渣大坝
西 津	宽缝重力坝	40.0	14.8	*325	普通
青 铜 峡	闸 墩 坝	42.7	68.0	*325	矿渣
陈 村	重力拱坝	76	61.3	*425	矿渣
大 黑 汀	重 力 坝	52	135.0	*425	矿渣大坝
潘 家 口	宽缝重力坝	107.5	262.0	*425 *325	矿渣大坝
池 潭	宽缝重力坝	78.5	46.0	*425	普通、矿渣
大 化	重 力 坝	78.5	150	*525 *425	普通、矿渣
欧 阳 海	双曲拱坝	58.5	7.0	*425 *425	普通、矿渣
东 江	双曲拱坝	157	95	*525	普通
故 县	重 力 坝	121	109	*425	矿渣大坝
龙 羊 峡	重力拱坝	175	154	*525	硅酸盐大 坝
安 康	重 力 坝	119	260	*525	硅酸盐大 坝

灰混凝土坝的配合成分

材 料 特 征

工地掺混 合材种类	外 加 剂		骨 料	
	名 称	掺量(%)	种 类	最大粒径 (mm)
粉煤灰	纸浆废液松 脂皂		卵 石	150
粉煤灰	糖 蜜	0.20	碎 石	150
粉煤灰	纸浆废液 引气剂	0.20 0.003	卵 石	80
粉煤灰	木糖浆	0.1~0.2	卵 石	150
粉煤灰	糖 蜜	0.2	卵 石	120
粉煤灰	木 钙	0.25	卵 石	80
粉煤灰	松脂皂	0.006	卵 石	80
粉煤灰	3FG	0.2~0.25	碎 石	120
粉煤灰	塑化剂	0.15		150
粉煤灰	DH-4 801	0.5 0.03	卵 石	150
粉煤灰	松香皂	0.03~0.06	卵 石	150
粉煤灰	DH-3 SP ₁₆₉	0.5	卵 石	150
粉煤灰	木 钙 松脂皂	0.15~0.003	卵 石	150

坝 名	坝 型	外 部 混 凝 土					
		设 计	设计	水泥用量	混合材	用水量	水灰比
		标 号	龄期 (d)	(kg/m ³)	用 量 (kg/m ³)	(kg/m ³)	
三 门 峡	重力坝	*200	28 90	148 102	0~55	94 ~102	0.65 ~0.70
西 津	宽缝重力坝	*150	120 180	136 117	55~42	118 ~108	0.65 ~0.60
青 铜 峡	闸墩坝	*170	90	211		116	0.55
陈 村	重力拱坝	*200	90	187 203		143 ~122	0.55 0.60
大 黑 汀	重力坝	*150	28	175	15	106	0.56
潘 家 口	宽缝重力坝	*150	28	195 180	0~15	107 ~106	0.55 0.50
池 潭	宽缝重力坝	*200	90	180 200		140	0.60
大 化	重力坝	*200	60 120	250	20~70	120 ~100	0.70
欧 阳 海	双曲拱坝	*200	90	157.5	52.5	122	0.58
东 江	双曲拱坝	*300~ 350	90	173	31	92	0.450
故 县	重力坝	*200	90	176	44	98	0.445
龙 羊 峡	重力拱坝	*250	90	160 132	0 57	80 85	0.50 0.45
安 康	重力坝	*200	90	105 164	0 64	90	0.55 0.65

续表

内 部 混 凝 土						塌落度	埋石率	总平均
设计 标号	设计 龄期 (d)	水泥用量 (kg/m ³)	混 合 材 用 量 (kg/m ³)	用水量 (kg/m ³)	水灰比	(cm)	(%)	水 泥 用 量 (kg/m ³)
100	28 90	137~86	0~57	110 ~114	0.80	3~7	3.6	
100	120 180	92~86	47~50	113	0.85 ~0.8	2~6		
90	90	162	25	113	0.70	6~8		187
100	90	144~177		187 ~112	0.75	3~7		168.5
100	28	140	40	108	0.60	3~6		194
100	28	157 135	0~34	110	0.702 0.65	4~6		250
100	90	123	31	100	0.65	4~8		
150	120	78 203	37~104	108 ~160	0.75	6~8		200以下
						5~7		
						5~6		
150	90	110	47	98	0.624			
200	90	133 108	0 30	80 85	0.6 0.55			
150	90	69 138	90	90	0.65			

出国内主要掺粉煤灰混凝土坝的混凝土配合成份及有关资料。

国外对粉煤灰的研究应用较早, 50年代逐步推广, 70年代有较大的发展。美国自1948年修建饿马重力拱坝掺粉煤灰以来, 先后在飞利峡、黄尾、利贝和德沃歇克等大坝中掺粉煤灰, 到1977年已有50余座闸和坝在混凝土中掺粉煤灰。1972年建成的德沃歇克坝在510万 m^3 混凝土中, 掺用了约22.5万吨粉煤灰。修建饿马坝时掺用粉煤灰大大降低了胶凝材料用量, 降低了工程造价, 同时还改善了混凝土抗渗性, 减少了需水量和干缩, 增加了混凝土的长期强度。饿马坝由于掺用了粉煤灰及引气剂, 改善了混凝土的和易性和可浇筑性, 加快了工程进度, 比原计划提前完工。日本在1955年建成的须田贝坝工程, 第一次在大坝混凝土中掺粉煤灰, 以后又在烟薙第一、坂本以及岛地川等双支墩大头坝、薄拱坝以及碾压混凝土筑坝等30~40座不同类型大坝工程的内、外部混凝土中掺用粉煤灰。日本的使用经验认为: 掺粉煤灰的混凝土有各种优点, 在技术上有助于改善混凝土和易性; 有利于增进后期强度和不透水性; 减轻水化热引起的有害影响。在经济上可以降低工程造价。因此认为, 掺粉煤灰是一项既能减少由于温度应力而使大坝混凝土开裂的危险, 又能提高混凝土某些性能的经济有效的措施。除美国、日本以外, 苏联在修建布拉茨克水电站工程时, 在矿渣水泥中掺15%粉煤灰, 减少了矿渣水泥的泌水性, 取得了良好的效果。巴西的依泰普、土耳其的哥斯塔亚和奥地利的科尔布顿恩等著名的混凝土大坝工程也全掺了粉煤灰。

国外在大坝混凝土中粉煤灰掺量一般在20%~35%。美国陆军工程师兵团认为, 大坝内部混凝土强度要求不高时,

国外若干混凝土坝掺用粉煤灰情况

表 1-2

坝名	国家	坝型	建成年月	坝高(m)	体积(万m ³)	水 泥 种类	粉煤灰用量(kg/m ³)	胶凝材料用量(kg/m ³)	用水量(kg/m ³)	水灰比 $\frac{W}{C+F}$	含气量(%)	外加剂	砂率(%)	灰砂比	骨料最大粒径(mm)	注 备
俄马	美国	重力拱坝	1953	170	229	中热	116 170	169 223	95 102	0.56 0.46	3.0	3.0	23.0	12.2	152	
黄尾	美国	重力拱坝	1965	160	118	中热	117	167	82	0.49	3.0	引气剂	24.0	13.1	152	
利贝	美国	重力坝	1972	136	323	中热	88	118	80	0.68	5.8	引气剂	22.0		132	
德沃歇克	美国	重力坝	1972	219	525	中热	127	170	96	0.55	6.2	引气剂	1.5		152	
奥只坝	日本	重力坝	1962	157	163	中热	98 161	140 220	99	0.70 0.43	4.0	松香皂	24.0		150	有煤灰用 灰浆掺入 混凝土
田子仓	日本	重力坝	1959	145	196	中热	123 220	165 289	100 114	0.61 0.43	4.0	松香皂	22.0		150	
坂本	日本	拱坝	1962	103	18.2	中热	161 175	230 250	83 89	0.36	0.4	减水剂	18.0		180	
烟建第一	日本	空心重力坝	1962	125	59.75	中热	127 172	33 58	80 92	0.44 0.40	2.4	松香皂	23.5		150	粉煤灰制 成灰浆
秦川源	日本	拱坝	1968	155	67.2	中热	135 157	15 50	98 100	0.55 0.48	3.6		21.0			