

岩滩大坝 RCC 性能与试验

The Properties & Experiments on RCC of Dam of Yantan Hydropower Station

蔡继勋 朱敏
Cai Jixun Zhu Min

(广西水电科学研究所 南宁市桃源路82-1号 530021)

(Guangxi Hydroelectric Research Institute, 82-1 Taoyuan Road, Nanning, Guangxi, 530021)

摘要 系统总结了岩滩大坝 RCC 性能、质量检验统计与现场砼层面抗剪断试验结果。岩滩水电站大坝高110 m, 碾压混凝土 (RCC) 37万 m³。砼材料主要为石灰岩人工砂、石料。砼最大骨料粒径80 mm, 水胶比0.54。水泥、粉煤灰、石粉微集料含量分别为55 kg/m³、105 kg/m³、94 kg/m³。坝体取芯砼平均抗压强度25.3 MPa, σ_{\pm} 4.19 MPa, 拉/压比1/9, 压缩弹性模量 27.47×10^3 MPa, 饱和密度2475 kg/m³, 吸水率3.68%。

关键词 碾压混凝土 大坝 性能 试验 岩滩水电站

Abstract The properties of Yantan dam RCC, statistics of quality test and the results of the concrete interlayer shear test of site specimen are summarized. Yantan dam is 110 m high, and with 370 000 m³ roller compacted concrete (RCC) in total. The materials used in the RCC are calcareous rock crushed sand and stones. The maximum grain size of aggregate used is 80 mm. The contents of cement, fly ash and the rock powder as fine aggregate are 55 kg/m³, 105 kg/m³, 94 kg/m³ respectively. The ratio of water to cementitious material is 0.54. The average compression strength of the core samples from RCC dam is 25.3 MPa. σ_{\pm} 4.19 MPa. The strength ratio of tension to compression is 1/9. The modulus of elastic compression is 27.47×10^3 MPa. The average saturated density is 2475 kg/m³. Water absorptivity is 3.68 percent.

Key words roller compacted concrete, dam, property, experiment, Yantan Hydropower Station

1 工程概况

岩滩水电站位于广西境内的红水河中段, 以发电、航运效益为主。一期工程装机容量4×302.5 MW。主要枢纽建筑由重力式拦河大坝、坝后式厂房、通航建筑物与开关站等组成。

1984年施工准备, 1986年主体工程动工, 1992年首台机组发电, 1995年全部竣工。

电站坝长525 m, 最大坝高110 m。其中13个坝段(13"~17"、19"~23"及1"~3")采用RCC法施工。RCC总量37万 m³, 占相应坝段混凝土总量65%, 典型断面见图1。

RCC筑坝, 砼最大骨料粒径80 mm, RCC为90 d 150", S₄, 压实密度大于2.45 t/m³; 层面抗剪断强度 $f' \geq 1.1$ 、抗剪断凝聚力 $C' \geq 0.9$ MPa。外部与基础垫层常态混凝土为90 d 200"; 坝体不设纵缝, 采用通

仓、薄层(层厚30 cm)、连续上升(常态混凝土与RCC上升同步); 相邻两个坝段为一个仓面(面积一般2900 m²), 横缝间距20 m, 缝在迎水面常态混凝土区设置防渗层、止排水等系统; RCC浇筑温度不大于25℃、层间允许间歇时间不大于6 h, 每年1~4月, 10~12月日均气温低于25℃, 属黄金期施工。异种混凝土结合、仓面防护、层面处理等均按SDJS14-86《RCC施工暂行规范》要求。

1989年3月开始RCC施工, 混凝土由产量643 m³/h自动化拌合楼群拌合, 20 t自卸汽车直接进仓及皮带机提升, 仓内自卸车布料、推土机平仓, 布料按坝轴线向宽5 m带条推进, 碾压方向与布料方向一致。碾筑层厚 30 ± 3 cm, VC值按8~12 s控制, BW200双辊碾, 无振+有振+无振为1+6+1遍, YZ-10P单辊碾2+10+2遍, 压实密度、效率、良好。1990年4月进度达到RCC筑坝高程190 m要求, 曾创日筑RCC 1.062万 m³强度。

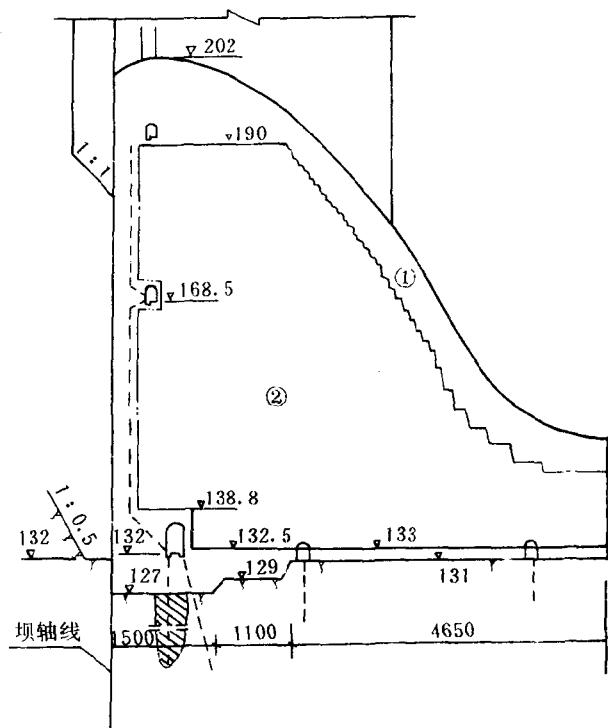


图1 溢流坝断面型式

Fig. 1 Section type of overflow dam

1. 常态混凝土 Conventional concrete; 2. RCC 混凝土 RCC concrete

2 原材料性能

2.1 胶凝材料

2.1.1 水泥

采用广西柳州、黎塘水泥厂产525 "普通硅酸盐水泥, C_3A 6.48%~7.66%, 中热。

2.1.2 粉煤灰

采用广西田东电厂电除尘Ⅱ级灰(细度超标, 其它指标达Ⅱ级灰), 品质见表1。

2.1.3 胶材水化热

用日本产溶解热法测定仪, 测定胶材水化热, 用蓄热法作精度对比, 数据可靠。粉煤灰不同掺量胶材在不同龄期的水化热值见表2。

在大体积混凝土中掺用30%~70%粉煤灰, 胶材低热性、经济性好。不同掺量、不同龄期, 水化热值不同; 粉煤灰与减水剂复合掺用, 有显著削弱、推迟温峰作用。龄期7 d 水化热值降低率, 近似粉煤灰取代水泥掺率, 此时, 粉煤灰火山质活性尚未参与水泥水化反应, 起微集料效用。此后, 粉煤灰活性逐步反应, 龄期28~90 d 时, 胶材水化热值降低率, 近似粉煤灰取代水泥掺率的1/2~3/4, 粉煤灰活性反应, 有一定反应热效应。

表1 电除尘Ⅱ级灰品质表

Table 1 Quality of class 3 ash by electrostatic precipitation

比重 Density (%)	细度(过 80 μm 筛 余) Fineness (Retention on 80 μm sieve (%))	烧失量 Loss on ignition (%)	需水量比 Water requirement ration (%)	含水率 Water content (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	可溶性 Solubility (%)	
													SiO ₂	Al ₂ O ₃
2.08~ 2.22	12.6~15.5	0.70~ 1.97	99.0~ 105.5	<1	50.52 ~ 56.77	22.59 ~ 24.22	6.11 ~ 7.83	6.57 ~ 10.70	1.52 ~ 1.86	0.63 ~ 0.98	1.60	0.86	1.54~ 1.85	7.80~ 10.53

表2 粉煤灰不同掺量胶材在不同龄期的水化热值

Table 2 Hydration heat of cementitious material with different fly ash content at different ages

普通减水剂掺量 Water reducing agent content (%)	粉煤灰掺 量 Fly ash content (%)	胶材水化热(溶解热法) Hydration heat of cementitious material (J/g)									
		1 d	降低率 Reducing rate (%)	3 d	降低率 Reducing rate (%)	7 d	降低率 Reducing rate (%)	28 d	降低率 Reducing rate (%)	90 d	降低率 Reducing rate (%)
0	0	122.7	0	212.4	0	275.7	0	313.8	0	332.0	0
0.2	0	89.9	26.7	204.8	0.36	265.9	0.35	314.0	0	331.6	0
0.2	30	55.8	54.5	140.8	33.7	188.8	31.5	264.4	15.7	285.1	14.1
0.2	40	35.5	71.1	113.6	46.5	158.5	42.5	228.6	27.1	252.0	24.1
0.2	50	23.3	81.0	89.9	57.7	126.4	54.1	193.6	38.3	216.3	34.8
0.2	70	-	-	45.6	78.5	92.5	66.4	148.0	52.8	166.2	50.0

普通减水剂指广西南宁糖厂产糖蜜酒精糟浓缩物减水剂, 代称 "TF", 减水率8%~10%。The water-reducing agent is produced by Guangxi Nanning Sugar Factory, and abbreviated to TF. Water-reducing rate ranges from 8% to 10%.

2.2 粗、细骨料

2.2.1 机制砂的生产与质量调控

岩滩采石场,属二迭系下统茅口灰岩,岩石抗压强度60~100 MPa,软化系数0.70~0.9,比重2.69。砂、石加工流程是:

块石→破碎→半成品仓→破碎→筛洗→各级石成品
 ↓
 棒磨机←园盘给料机←筛分←锤式机破碎
 ↓
 洗砂机→砂成品→皮带机、转料斗混合→砂仓成品

在砂、石加工流程中,将经锤式机破碎,过5 mm筛的砂与棒磨机制的砂混合进入成品仓,另按正交试验优选出的工艺参数生产、调控人工砂的产量,可达最佳效果。

由工业规模正交试验获得 MBZ2100×3600棒磨机的最优制砂工艺参数为:石灰石进料粒径<2.5 cm、进料量45 t/h、装棒量27 t、料浆浓度75%~78%、棒径比 $\phi 100:\phi 75=65:35$,有效产量37.1 t/h,每 m^3 砂耗棒量约0.1 kg。

棒磨机制砂,砂的细度模数一定,颗粒级配曲线也一定。由正交试验建立多元回归经验式:

$$F \cdot M = 5.123 + 0.02x_1 - 0.056x_2 - 0.022x_3$$

式中: $F \cdot M$ 细度模数、 x_1 进料量、 x_2 装棒量、 x_3 料浆浓度。

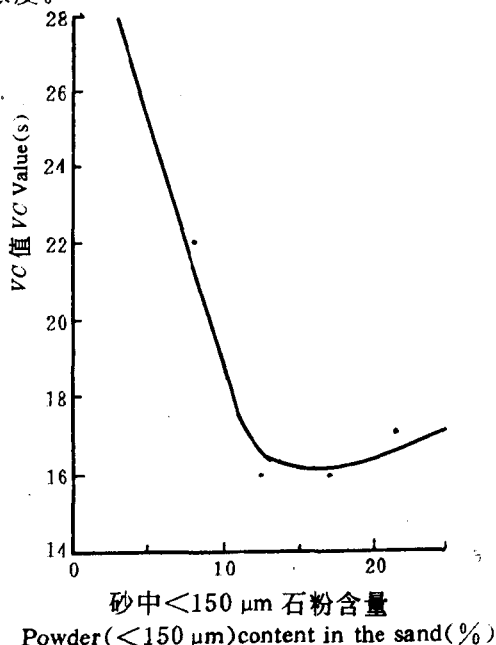


图2 砂中<150 μm 石粉含量与砂 VC 值关系

Fig. 2 Relationship of powder (<150 μm) content in the sand to VC value

2.2.2 石粉微集料效应

取 RCC 水胶比 0.57, 水 85 (kg/m^3)、水泥 45 (kg/m^3)、粉煤灰 105 (kg/m^3)、砂 779 (kg/m^3)、石按粒径 8~4、4~2、2~0.5 cm 分级各为 446、

625、416 (kg/m^3) 拌制混凝土,以固定基准砂(内含石粉 3% 及 12.5%) 配合量 779 kg 不变,外掺 <150 μm 石粉(由岩滩制砂系统沉淀池取,过 150 μm 湿筛、烘干)取代基准砂,令砂中石粉含量为 3.0、8.0、12.5、17.0、21.2、25.0(%),进行 RCC 的 VC 值、强度、抗渗性对比。试验证明砂的石粉含量 12%~18% 最优(黎思幸等,岩滩水电站主体工程砼质量监测检查统计结果,广西水电科学研究所,1993。),见图 2、3、4。

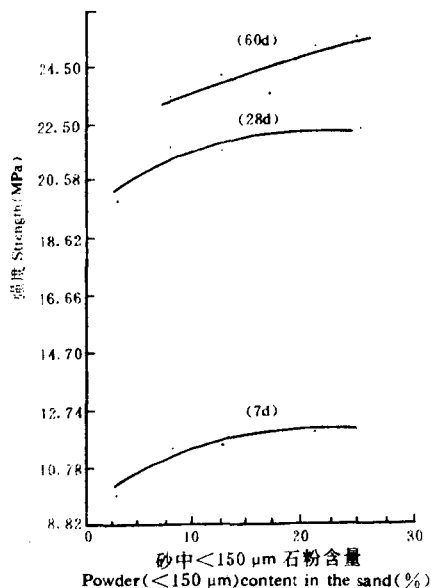


图3 砂中<150 μm 石粉含量与砼强度关系

Fig. 3 Relationship of powder (<150 μm) content in the sand to concrete strength

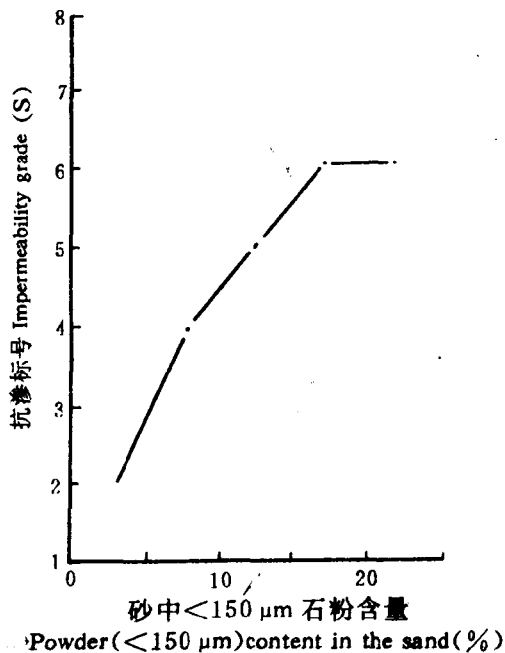


图4 砂中<150 μm 石粉含量与砼抗渗标号关系

Fig. 4 Relationship of powder (<150 μm) content in the sand to concrete impermeability grade

表3 大化水电站二选系下统茅口石灰岩人工砂的石粉颗粒分析

Table 3 Grain size analysis for the powder in calcareous rock crushed sand used in dahua hydropower station

岩石抗压强度 Rock compression strength (MPa)	软化系数 Softening coefficient	人工砂中石粉的颗粒级配 Grain size distribution of the powder in the crushed sand (%)				
		150~ 88 μm	88~ 40 μm	40~ 20 μm	20~ 10 μm	<10 μm
75.4	0.88	26.50	3.51	4.77	9.28	55.93
		22.20	2.09	2.09	11.36	62.26

MBZ2100×3600型棒磨机制砂，长办水科院结材所测定。The sand is manufactured by a MBZ 2100×3600 type rod grinding machine. The results are provided by Changtze Water Conservancy and Hydroelectric Power Research Institute.

由表3人工砂石粉的颗粒级配看，小于10 μm 颗粒占55.93%~62.26%，可填充水泥胶砂硬化结构孔隙（水泥平均粒径约40 μm），增加RCC拌合物的粘聚性。镜下观察，石粉颗粒多呈茧形，可降低RCC拌合物的触变内摩阻力。经委托长办水科院分析：石灰石粉可与水泥水化产物起碳铝酸钙反应。新鲜界面与弱的化学键结合，也是提高强度的原因。

2.2.3 质量检验统计

取广西水电科研所1988年11月至1992年1月，承担岩滩砂、石质量监测数据作统计（陈厚池等。岩滩水电站大坝工程碾压砼层面抗剪(断)试验资料汇编。广西水电科学研究所，1993）；n=63~83次，均为拌合楼进料皮带机上抽样，砂的平均比重2.65、σ±0.006；细度模数2.77、σ±1.04；含粉量8.5%、σ±

2.27；含石量6.38%、σ±1.51。各级石除逊径外（逊径平均14%~25%，σ±6~9），其它指标合格。15~8、8~4、4~2、2~0.5 cm级石的平均石粉含量，各为0.84%、1.16%、1.36%、1.38%。

2.3 外加剂

采用广西产甘蔗糖蜜酒精糟浓缩物减水剂，代称“TF”，属羟基羧酸盐类减水剂。合适掺剂量0.20%~0.25%，减水率8%~10%，减水增强率>115%，在冬季施工条件下，可以满足RCC初凝4~6h要求。不能满足更高要求。

3 RCC性能

3.1 配合比设计

按广西水电科研所研究的“Lfck”法作设计（朱敏，岩滩水电站大坝碾压砼配合比选择试验报告。广西水电科学研究所，1988.），经优选试验，碾压试验调定的砼施工配合比见表4。有低水胶比（0.54）、低水泥用量（55 kg/m³）、高粉煤灰掺量（65%）、高石粉微集料含量（93~95 kg/m³）特征。

3.2 物理力学性能

按表4材料与配合比，委托北京水科院作性能试验。力学性能结果符合设计要求（表5）。RCC的拉/压比约1/10，早期强度增进较慢，后期快。极限拉伸能力不大，28d时0.67，90d时0.84（×10⁻⁴），有干缩、自生体积变形、线膨胀系数小（石灰岩集料），早期徐变度大、弹性模数低、低热（绝热温升7d 8.6℃、28d 16.1℃）等特点。

表4 砼施工配合比

Table 4 Mix proportion of concrete for construction

砼设计 指标 Concrete design grade (90 d)	配合比参数 Parameters of mix proportion										材料用量 Material content (kg/m³)					换算的 砂率 Sand ratio of concrete (%)
	水 Water H (kg/m³)	水胶比 W/C		粉煤灰 Fly ash			砂浆填 充系数 Mortar filling coefficient K	减水剂 掺量 Water reducing agent content (%)	水 Water H	水泥量 Cement C	粉煤灰 Flyash F	总胶凝材料量 Total cementitious		砂 Sand Sa	石 Stone G	
		计算 Basic b	实际 Actual B	取代水泥 Replace cement Kc (%)	超量系数 Exceeding coefficient f	总掺量 Total content F (%)										
												Q				
150# S4	85	0.85	0.54	45	2.3	65.4	1.40	0.20	85	55	104	159	754	1527	33	

采用柳州水泥厂产525#普通水泥，田东电厂Ⅲ级粉煤灰（细度过80 μm筛筛余量15.7%），石灰岩人工砂细度模数2.48，石粉含量12.3%，8~4、4~2、2~0.5 cm级石比例：30%:42%:28%，掺TF减水剂0.2%。The cement is 525# ordinary Portland cement manufactured by Liuzhou Cement Factory. The fly ash is of class III and produced by Tiandong Thermal Power Plant. The retention on 80 μm sieve of the fly ash is 15.7%. The fineness modulus of the calcareous rock crushed sand is 2.48 with the powder content of 12.3%. The proportion of 8~4, 4~2, 2~0.5 cm stones is 30%:42%:28%. TF water reducing agent content is 0.2%.

表5 RCC 力学热学性能试验结果

Table 5 Properties of mechanical deformation and thermal of RCC

力学变形性能 Properties of mechanical deformation									
龄期 Age of concrete	抗压强度 Compression strength	轴拉强度 Axial tension strength	极限拉伸变形 Limit tension deformation	压缩弹性模量 Modulus of elastic compression	泊桑比 Poisson' ratio	干缩 Dry shrinkage	自身体积变形 Self volume deformation	徐变性能 (持荷180 d) Creep properties (holding load for 180 days)	
(d)	(MPa)	(MPa)	$\times 10^{-4}$	$\times 10^3$ (MPa)		$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	徐变度 Degree of Creep $\times 10^{-6}$ (MPa)	松弛系数 Coefficient of Loose
7	6.9	0.56	0.45	17.6	0.20	37.8	7.6	55.3	0.31
28	15.9	1.32	0.67	25.5	0.20	84.0	15.0	17.3	0.62
90	22.0	2.37	0.84	30.9	0.20	87.5	1.0	10.7	0.74
180	25.0	-	-	31.3	0.20	91.8	-5.9	8.3	0.77

热学性能 Thermal properties

龄期 Age of concrete	绝热温升 Adiabatic temperature rise	线膨胀系数 Coefficient of linear thermal expansion	比热 Specific heat	导温系数 Coefficient of temperature conductivity	导热系数 Coefficient of thermal conductivity
(d)	($^{\circ}\text{C}$)	$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	($\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	(m^2/d)	($\text{J}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$)
7	8.6	6.2	992.3	0.0035	8331.7
28	16.1	6.2	992.3	0.0035	8331.7
90	-	6.2	992.3	0.0035	8331.7
180	-	6.2	992.3	0.0035	8331.7

配合比参数 Parameters of the concrete mix proportion: $W = 85, C = 55, M = 104, S_1 = 754, G = 1527$ (kg/m^3), $TF = 0.2\%$. 自生体积变形为收缩 Self volume deformation is shrinkage.

4 RCC 质量检验统计

4.1 抽样试件的检验统计

岩滩大坝 RCC 施工, 由广西水电科研所承担质量监测, 统计抽样试件检验结果良好 (表6)。13#~17#、19#~23# 各坝段砼的平均抗压强度 28 d 为 19.0~20.9 MPa, $\sigma \pm 4.08 \sim 4.87$ MPa, $C_v = 0.12 \sim 0.25$; 90 d 为 25.8~26.8 MPa, $\sigma \pm 3.55 \sim 3.95$ MPa, C_v 值 0.13~0.15, 合格率 100%, 保证率 >99%, 拉/压比 (28 d) 约 1/10, 抗渗标号均大于 S_4 。

表6 13#~17#、19#~23# 坝段 RCC 拌合物抽样试件的检验统计

Table 6 Statistics of Test for RCC mix specimens in 13#~17# and 19#~23# sections of the dam

坝段 Section of dam	浇筑高程 Placing level (m)	龄期 Age of concrete (d)	混凝土抗压强度 Concrete compression strength						混凝土抗拉强度 Concrete tensile strength			混凝土抗渗标号 Concrete impermeability grade		
			组数 No. specimen sets	平均值 Mean value (MPa)	均方差 Mean square deviation (MPa)	离差系数 Deviation coefficient	保证率 Quarantee rate (%)	合格率 Qualified rate (%)	组数 No. specimen sets	平均值 Mean value (MPa)	均方差 Mean square deviation (MPa)	组数 No. specimen sets	抗渗标号 Impermeability grade S	合格率 Qualified rate (%)
13#	130.9~190.0	28	42	19.0	4.72	0.248			7	1.86	0.368			
		90	41	25.8	3.60	0.140	99.90	100				10	>4	100
14#	129.0~190.0	28	36	19.4	4.13	0.213			11	2.08	0.636			
		90	36	26.1	3.55	0.136	99.93	100				12	>4	100
15#	129.0~190.0	28	38	19.9	4.08	0.205			7	2.15	0.206			
		90	38	26.9	3.56	0.133	99.97	100				4	>4	100
16#	129.0~188.0	28	48	19.2	4.77	0.249			9	1.88	0.363			
		90	47	26.8	3.78	0.141	99.93	100				6	>4	100
17#	129.0~186.9	28	35	19.8	4.87	0.246			8	1.80	0.362			
		90	35	26.6	3.95	0.149	99.6	100				3	>6	100
19# ~23#	164.0~195.2	28	30	20.9	2.56	0.122			3		0.375			
		90												

表7 RCC 拌合物的 VC 值与温度统计

Table 7 Statistics of VC value & temperature of RCC mixes

检测日期 Testing date	砼拌合物温度 Temperature of mix (℃)	气温 Atmospheric temperature (℃)	VC 值统计分析 Statistics of VC value			
			次数 Times n	平均 Average s	均方差 Mean square deviation s	离差系数 Deviation coefficient Cv
1989年3~12月 May~Dec. 1989	13.0~27.0	10.0~30.0	129	9.4	±3.3	0.351
1990年1月~1992年1月 Jan. 1990~Jan. 1992	8.0~25.5	6.8~27.5	40	7.5	±1.74	0.232

于砼拌合厂测定 The experiment was conducted in the mixing plant.

RCC 设计龄期为90~180 d, 粉煤灰掺用效应反应充分, 以此龄期评定强度、离差性稳定、合适。如表6按龄期28 d 统计, $\sigma \pm 4 \sim 5$ MPa, 90 d 则为3.6~3.95 MPa, C_v 值情况亦然。从岩滩 RCC 强度匀质性看, RCC 的 $R_{配} = R_{设} + \sigma$, σ 取3.5~4.0 MPa, 并以 $\sigma < 4$ 或4.5 MPa; C_v 值 < 0.15 或0.17为良好, 是合适的。

4.2 VC 值、压实密度检验统计

监测资料统计结果见表7, RCC 机口 VC 值计有92%~98%在5~15 s 范围, 平均7.5~9.4 s。由于运输, VC 损失一般为1~3 s, 故入仓 VC 值平均在9~12 s 范围, 控制是合适的。各坝段的平均压实密度为2476~2481 kg/m³, 合格率为96.9%~98.9%, 保证率88.5%~98.9%, 符合 SDJS 14—86规定要求。

表8 混凝土芯样外观评定

Table 8 Apperance judgement for concrete core samples

坝段 Section of dam	芯样个 数 No. samples	I 级 Class I		II 级 Class II		III 级 Class III	
		n	%	n	%	n	%
		13#	35	17	48.6	13	37.1
14#	35	25	71.4	10	28.6	-	-
15#	37	7	18.9	26	70.3	4	10.8
16#	36	31	86.1	5	13.9	-	-
17#	37	30	81.1	6	16.2	10	2.7

评定标准: SDJS14—86; I 级: 光滑、致密均匀; II 级: 基本光滑、稍有孔, 基本均匀; III 级: 不光滑, 有部分孔洞, 不均匀。Judgment standard: SDJS14: 86; Class I: Smoth, even compaction; Class II: Smoth, A few holes, even; Class III: Not smoth, some holes, uneven.

4.3 钻芯取样检验统计

芯样钻取由广西岩滩工程建设公司委托、广西水电工程局钻芯、描述, 广西水电科学研究所等取样检验。主河床段13#~17# 坝共15孔总芯长349 m, 芯长100 cm 以上占8.6%; 50~100 cm 占

35.1%; 50 cm 以下占56.3%。芯样外观评定见表8, 按 SDJS14—86标准评定: 平均 I 级外观占61.2%、II 级占33.2%、III 级占5.6%。13#~17# 坝芯样(龄期444~836 d), 平均抗压强度25.3 MPa, $\sigma \pm 4.19$ MPa, 合格率100%, 强度保证率99.4%。配合比理论密度2499 kg/m³, 芯样平均饱和密度2475 kg/m³(接近)、干燥密度2387 kg/m³, 吸水率3.68%。因芯样取出露天暴露1年以上, 碳化深度一般达2 cm, 抗渗透水多在碳化处, 故抗渗标号平均为 $S_{4.4-6.1}$ 偏低(吴宝洪, 岩滩水电站大坝碾压砼芯样试验报告, 广西水电科学研究所, 1991.)。

19#~23# 坝芯样质量与13#~17# 坝接近, 测定芯样抗压强度36块, 平均25.0 MPa, $\sigma \pm 5.56$ MPa, 劈裂抗拉强度36块, 平均2.69 MPa, 约为抗压强度的1/9。由于芯样钻取后, 即时取样测定, 故抗渗标号高达 S_{13-16} , 详见表9。

4.4 原位层面抗剪

混凝土均用柳普、黎普525# 水泥, 岩滩石灰岩砂、石料(最大粒径80 mm) 自动化拌合楼拌合, 汽车入仓, 推土机平仓后用 BW200 振动碾碾压筑。抗剪(断) 试验每组5块, 每块剪面积为50 cm × 50 cm, 参照1981年部颁《水利水电工程岩石试验规程》中“混凝土与岩体直剪试验”方法进行。采用拐臂千斤顶, 平推法, 推力方向与碾压机行驶方向成正交。最大垂直荷载按设计要求。岩滩围堰 RCC、大坝 RCC 及红水河上拟建的高坝砼层面抗剪(断) 结果, 总计34组, 汇列表10、11。

表10表明, RCC 冬季碾压施工, 砼入仓温度在14~19℃, 层面间歇时间3.0~5.3 h 时, f' 、 c' 数值高、波动小, 可靠性、规律性好。夏季高温气候下施工, f' 、 c' 数值低、波动大, 可靠性差, 不能满足设计要求。因此, RCC 在冬季施工, 质量稳定、保证, 高温夏季施工需有特殊措施, 尽量避免。

表9 岩滩13#~17#、19#~23#坝段 RCC 芯样检验结果

Table 9 Testing results of RCC core samples from 13#~17# and 19#~23# sections of Yantan dam

坝段 Section of dam	芯样数 No. samples	龄期 Age (d)	高程 Level of dam (m)	芯样尺寸 Size of samples (mm)		实测强度 Testing strength (MPa)	换算成15 cm 立方 体试件平均强度 Average strength converted to a 15 cm cubic specimen (MPa)	劈裂抗拉 平均强度 Splitting tensile strength (MPa)
				直径 Diameter	长径比 Length /Diameter			
13#	6	460~782	139.4~186.5	196~198	1.52~2.01	16.4~25.3	27.4 (25.8)	-
14#	6	444~467	171.0~187.0	196~198	1.89~2.01	12.0~27.3	25.1 (26.1)	-
15#	7	456~794	139.0~186.0	196~198	1.76~2.08	16.3~24.8	25.8 (26.9)	-
16#	6	518~792	138.4~180.5	196~198	1.98~2.02	17.6~22.8	26.9 (26.8)	-
17#	6	491~836	131.5~184.0	196~198	1.97~2.02	13.4~20.0	21.9 (26.6)	-
19#	6	360~500	164~195	196~198	1.51~1.52	11.5~28.4	23.6	2.51
20#	12	360~500	164~195	196~198	1.51~1.54	14.4~34.3	28.0	2.79
21#	12	360~500	164~195	196~198	1.51~1.55	14.3~25.7	24.0	2.68
22#	3	360~500	164~195	196~198	1.52	16.7~22.3	22.5	2.51
23#	3	360~500	164~195	196~198	1.52~1.55	16.6~21.2	22.7	2.82

坝段 Section of dam	抗渗标号 Impermeability grade			密度、吸水率 (平均) Density, water absorptivity (Mean)			压缩弹性模量 Modulus of elastic compression			
	组数 No. sets	测值 Result	平均 Average	芯样数 No. samples	干 Dry density (kg/m ³)	饱和面干 Density in saturation dry surface (kg/m ³)	吸水率 Water absorptivity (%)	芯样数 No. samples	长径比 Length/ Diameter	E × 10 ³
13#	10	S ₃₋₉	S _{5.1}	6	2398	2478	3.33	7	2	28.0
14#	10	S ₁₋₉	S _{5.7}	6	2366	2457	3.83	7	2	33.8
15#	12	S ₁₋₉	S _{6.0}	6	2419	2501	3.39	6	2	28.0
16#	10	S ₂₋₉	S _{4.4}	6	2386	2481	4.03	8	2	30.1
17#	12	S ₂₋₉	S _{6.1}	6	2367	2458	3.82	7	2	28.0
19#	2	>S ₁₅		6	-	2449		6	2	24.9
20#	2	>S ₁₅		12	-	2471		12	2	27.9
21#	2	>S ₁₅		12	-	2473		12	2	26.5
22#	1	S ₁₅		3	-	2477		3	2	24.2
23#	1	>S ₁₅		3	-	2455		3	2	24.1

括号内数值为拌合物机口抽样试验平均强度 (90d), Values in brackets are average strengths of tested specimen from mixer; 13#~17# 坝共钻15孔, 芯样总长349 m, 取出后于露天存放历时一年以上测定, 表面碳化深度普遍达2 cm。19#~23#坝共钻12孔。The core samples with 349 m total length, which derived from 15 cores at dam sections 13#~17#, last over one year in the open before tested, and their surface carbonation is 2 cm in depth mostly. 12 cores are done at dam sections 19#~23#; 芯样用 φ600mm, 镶金钻石刀片切割, 磨光机磨光端面, 局部崩口用水泥净浆补平, 于水中养护4~7 d 后取出, 按试验规程由广西水电科研所测定。吸水率为烘干法测定。Core sample, cut with φ600 mm blade covered diamond, filled up with cement at notches, polished at cut section with polisher, is immersed in water for four days to seven days before tested. Water absorptivity is tested by drying method.

表10 岩滩围堰 RCC 和岩滩大坝 RCC 砼层面抗剪 (断) 试验结果

Table 10 Shear strength of RCC of dam and cofferdam in Yantan

名称 Name	设计指标 Design grade 90 d	胶材量 Cementitious material content (kg/m ³)		粉煤灰掺量 Flyash content (%)	抗压强度 Compression strength (MPa)	层面结合条件 Layer joining condition	原位抗剪断强度 Shear strength			最大正应力 Maximum normal stress (MPa)
		C	F				组数 No. sets	f'	c'	
岩滩围堰 RCC RCC of Yantan cofferdam	150#, S4	45	105	70	17~21 (28d)	L= 30~40 cm. p= 3~5h. T= 14~18°C. S。	3	1.26	1.23	1.0
						1.26		1.27		
					21.5	L= 30 cm. p= 3~5h. T= 27.4°C. S。	2	1.25	1.25	1.0
						(1.26)		(1.26)		
岩滩大坝 RCC RCC of Yantan dam	150#, S4	55	104	65	27.1	L= 30~40 cm. p= 3~5h. T= 14~19°C. S。	3	1.36	1.43	1.0
						1.05		0.63		
					27.4	L= 30 cm. p= 3~5h. T= 27~29°C. S。	3	1.15	0.98	1.0
						1.20		1.62		
					33.3	L= 30~40 cm. p= 4.5h. T= 5~19°C. S。	4	1.17	1.47	1.0
						(1.17)		(1.36)		
某高坝 RCC 在岩滩工地 碾压试验 Roller com pacted test of RCC of anothe r height dam in Yantan site	250#, S8	75	105	58	36.9	L= 30 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.08	0.72	1.0
						1.16		0.96		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 4.5h. T= 5~19°C. S。	4	1.26	1.35	1.0
						1.06		1.81		
					27.1	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.11	2.41	1.0
						1.24		2.15		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.24	2.15	1.0
						1.25		2.36		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	(1.17)	(2.12)	1.0
						1.25		2.36		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12)		
					36.9	L= 30~40 cm. p= 5.3h. T= 15~19°C. S。	4	1.25	2.36	1.0
						(1.17)		(2.12		

表11列出相同条件下层面铺1:2.5常态混凝土砂浆的层面抗剪(断)强度比不铺砂浆的好。因此,在混凝土初凝或作冷缝处理时采用,此措施有利于RCC层面结合。

5 结论

岩滩大坝RCC材料组成,有低水胶比(0.54)、低水泥用量(55 kg/m³)、高粉煤灰掺量(65%)、高石粉微集料含量(94 kg/m³)特征。其碾压工作性、技术性、经济性与质量优良。

粉煤灰、石粉微集料,应被视为RCC的重要组成部分。有条件时,应首选优质粉煤灰与具亲水性岩性的石灰岩人工砂、石料,砂的石粉含量最优为15%,在12%~18%范围为好。

RCC设计龄期应不低于90 d,以90 d或180 d龄期评价掺粉煤灰RCC的技术、经济性,稳定、合理。

根据岩滩大坝RCC质量检验统计结果,砼配合比强度的 $R_{\text{配}} = R_{\text{设}} + \sigma$, σ 取3.5~4.0 MPa;以90 d或180 d龄期评价强度匀质性,以 $\sigma < 4$ 或4.5 MPa,离差系数 $C_v < 0.15$ 或0.17为优良,是合适的。

碾压砼层面抗剪(断)试验的 f'_l 、 c' 数据表明:作好RCC配合比试验设计与施工质量的严格控制,是可满足RCC高坝设计要求的。

参考文献

- 1 黄云生,张治文.岩滩水电站碾压混凝土大坝的设计与施工.红水河,1990(3):9.
- 2 惠荣炎等.岩滩水电站大坝工程碾压混凝土变荷性能试验报告.北京:水利水电科学研究院,1990.
- 3 蔡继勋.岩滩围堰RCC特性与配合比设计.北京:RCC专委会94研讨会议资料,1994.

(责任编辑:梁积全)

(上接第42页 Continue from page 42)

3 讨论

本试验,ip Mt能明显增加Con A诱导正常小鼠脾淋巴细胞增殖反应,提高可的松抑制的小鼠脾淋巴细胞增殖及环磷酰胺抑制的半数溶血值 HC_{50} ,与文献[8]报道Mt能对抗药理剂量的皮质酮或环磷酰胺引起的免疫抑制作用相一致,提示ip Mt具有免疫增强和对抗应激引起的免疫抑制作用。Mt可能是体内重要的神经免疫调节激素^[9]。

处于免疫低下的肿瘤患者,临床上以Mt和白细胞介素-2(IL-2)联合用药治疗,可降低IL-2的毒性,提高治疗作用,这可能与Mt的免疫调节作用有关^[10,11],可见Mt在临床医学上具有广阔的应用前景。

参考文献

- 1 徐叔云,许杜娟,魏委等.松果体研究的某些进展.中国临床药理学杂志,1991,7(1):13~19.
- 2 应水旺,张家驹.褪黑激素对脑机能的影响.生理科学进展,1987,18(3):251.
- 3 Masetroni GJM, Conti A, Pierpaoli W. The pineal gland and the circadian, opiate immunoregulatory role of melatonin. Ann n y Acad Sci, 1987, 496: 67~77.

- 4 Fraschini F, Scaglione F et al. Melatonin and immunity. Acta Oncol, 1990, 29(6):775~776.
- 5 Pawlikowski M, Lyson K et al. Effect of benzodiazepines on the proliferation of mice spleen lymphocytes in vitro. J Neural Transm, 1988, 73(2):161~166.
- 6 张罗修,贾永锋,干翠宝等. K-硒华卡拉胶对免疫抑制小鼠淋巴细胞增殖及抗体形成细胞的影响(英文).药理学报,1993,28(8):561~566.
- 7 徐学瑛,李元,许津.一个改进的体液免疫测定方法——溶血素测定法.药理学报,1979,14(7):443~445.
- 8 Masestroni GJW, Conti A, Pierpaoli W. Role of the pineal gland immunity, circadian synthesis and release of melatonin modulates the antibody response and antagonizes the immunosuppressive effect of corticosterone. J Neuroimmunol, 1986, 13(1):19~30.
- 9 Pierpaoli W, Maestroni GJW. Melatonin: A principal neuroimmunoregulatory and antistress hormone; its anti-aging effects. Immunol Lett, 1987, 16(3,4):355~361.
- 10 Lissoni P, Brivio F, Barni S et al. Neuroimmunotherapy of human cancer with interleukin-2 and the neurohormone melatonin; its efficiency in preventing hypotension. Anticancer Res, 1990, 10(6):1759~1761.
- 11 Lissoni P, Barni S, Crispino S et al. Endocrine and immune effects of melatonin therapy in metastatic cancer patients. Eur J Cancer Clin Oncol, 1989, 25(5):789~795.

(责任编辑:蒋汉明)