

# 岩滩水电站厂坝混凝土快速施工技术 Rapid Operation Technique of Concrete of Powerhouse-dam at Yantan Hydropower Station

周福浩      林友昌      杨爱忠  
Zhou Fuhao      Lin Youchang      Yang Aizhong

(广西水电工程局 南宁市明秀东路1÷1号 530001)

(Guangxi Hydroelectric Construction Bureau, 1÷1 East Mingxiu Road, Nanning, Guangxi, 530001)

**摘要** 关键性工艺和措施是: 优化混凝土配合比, 采用机制石灰岩人工砂石料, 碎石按 80 mm~40 mm, 40 mm~20 mm, 20 mm~5 mm 分级, 大石: 中石: 小石组合比例为 30: 40: 30, 人工砂石料含石粉量 12%~15%, 水泥用量 55 kg/m<sup>3</sup>, 高掺粉煤灰 105 kg/m<sup>3</sup>, 占胶凝材料 66.4%, 掺用 TF 减水缓凝剂, 混凝土 V<sub>c</sub> 为 15 s±5 s。投料顺序为碎石→水泥→水、外加剂→砂、粉煤灰, 拌和时间 150 s~180 s。缆车或汽车直接入仓或皮带机运料入仓, 汽车转料。层面结合允许间隔时间为混凝土的初凝时间。碾压根据震动碾各自性能和振激力大小而定。坎身排水孔采用人工拔管造孔。常态混凝土和碾压混凝土 (RCC) 同步上升。常态混凝土浇筑温度控制在 15℃~16℃, RCC 控制在 25℃以内。

**关键词** 常态混凝土 碾压混凝土 高流态混凝土 预应力锚固 滑模 筑坝技术

**Abstract** The main technic and measures included: To optimize the mix proportion of concrete, crushed limestone sand and aggregate was used, in which the aggregate was classified by the size of 80 mm~40 mm, 40 mm~20 mm and 20 mm~5 mm with a combination ratio of 30%, 40% and 30%. The stone dust was controlled between 12% and 15%. The cement usage was 55 kg/m<sup>3</sup>, and as much as 105 kg/m<sup>3</sup> of fly-ash was used as the mixture, which made up 66.4% of the cementing materials. The TF water-reducing retarder was used, and the concrete's V<sub>c</sub> value was controlled within 15±5 s; The raw materials was feeded into the mixer plant in sequence of aggregate→cement→water and agent→sand and fly-ash. The mixing time was 150 s~180 s. The conveyer transfers the mixture with truck. The allowable time interval for the combination between each lift was the concrete's initial setting time, and the compacting time was depended according to the performance and vibrating strength of each vibrating roller. The drain holes inside the dam body was manually made by pulling out the pipes. The normal concrete was rised simultaneously with the RCC. The placing temperature of normal concrete was controlled between 15℃ and 16℃, while the RCC under 25℃.

**Key words** normal concrete, roller compacted concrete (RCC), high-flowability concrete, pre-stressed anchorage, slip form, dam construction techniques

岩滩水电站属红水河 10 个梯级开发的骨干电站之一。近期装机 1 210 MW, 最大坝高 110 m。它由拦河坝、厂房、开关站和升船机组成。工程总投资 356 306.06 万元。

拦河坝为混凝土重力坝, 长 525 m 共 28 坝段。从

右至左, 1#~11# 坝为右岸厂房挡水坝段, 12#~19# 坝为溢流坝, 20#~21# 坝段为升船机拦水坝, 22#~28# 坝为左岸挡水坝段。4# 和 12# 坝内各设排沙孔 1 个, 18# 坝内设排洪洞 1 个。5#、7#、9#、11# 坝分别通过 ∅10.8 m 引水压力钢管。见图 1。

1#~3# 和 13#~17# 及 19#~23# 等 13 个坝段的表层为常态混凝土, 内部为碾压混凝土 (RCC), 俗称

1996-01-24 收稿, 1996-05-28 修回。

“金包银”碾压混凝土。

厂房由主副厂房组成，安装4台单机容量为302.5 MW的HL-A286型混流式机组。开关站置于大坝和主厂房之间，采用SF6全封闭组合电器开关。主厂房长200 m，宽60 m，高73 m。

升船机及引航道总长906 m。近期通航船舶1×250 t级，远期1×500 t级。

电站混凝土总量 $300.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，其中RCC64.46  $\times 10^4 \text{ m}^3$ 。

## 1 原材料与施工设备

### 1.1 原材料

广西普通硅酸盐525#水泥，广西减水缓凝剂、广西田东优质粉煤灰等。

### 1.2 主要施工设备

运输机械：4台20 t缆机；3台 $2 \times 6 \text{ m}^3$ 有轨侧卸车；10 t~20 t自卸汽车10台~25台；B=800 mm，50 t/h~100 t/h的皮带机1台。

平仓机械：168 KW、92 KW、58 KW推土机各1台。

碾压机械：各种振动碾10台，其中西德产BW75S型2台，BW200E型2台，美国产DA-50型2台，国产YZ10P型和YZ10B型各1台。

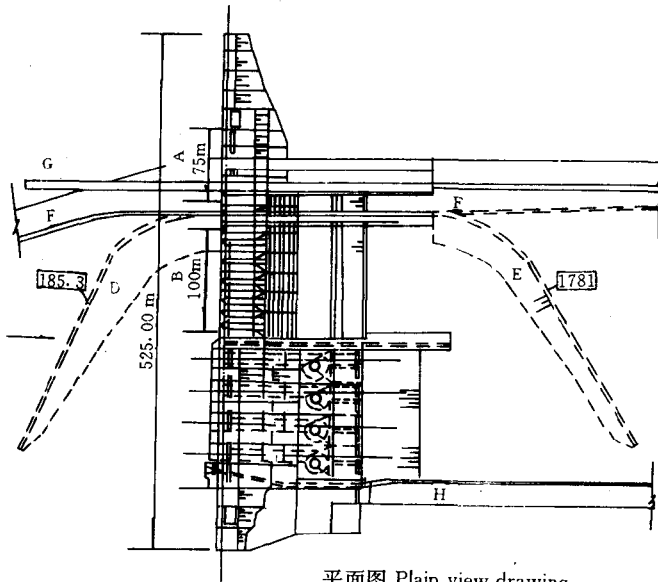
核子密度仪2台。

## 2 准备工程

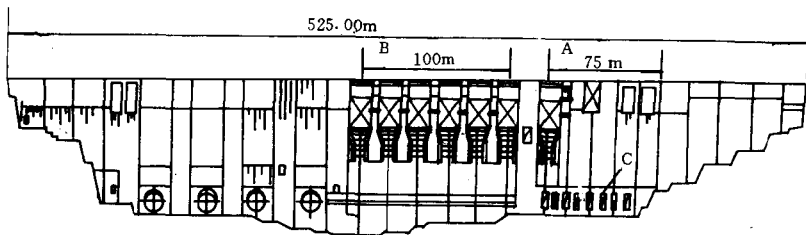
岩滩电站采用左岸明渠导流、右岸基坑全年施工的导流方案。岩滩已提前一年截流成功，RCC经受了超标准洪水 $19\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 漫顶考验，创造了右岸基坑厂坝全面开挖环境。厂坝辉绿岩基础已大面积验收，提供了浇筑混凝土大仓面。

### 2.1 混凝土拌和系统

拌和楼3座，设备能力 $375 \text{ m}^3/\text{h} \sim 645 \text{ m}^3/\text{h}$ ，满足月最



平面图 Plain view drawing  
平面图 Plain view drawing



下游立视图 Vertical view from downstream

图1 拦河坝图 Fig.1 Barrage chart

A、B 碾压砼坝段 RCC dam block；C 导流底孔 Bottom diversion outlet；D 上游碾压砼围堰 Upstream RCC cofferdam；E 下游碾压砼围堰 Downstream RCC cofferdam；F 导流明渠 Diversion channel；G 升船机导航浮排 Navigation buoy for ship-lift；H 进厂公路 Entrance roadway。

表1 岩滩水电站厂坝几种典型配合比

Table 1 Typical example of the concrete's mix proportion in the YANTAN project's powerhouse and dam

混凝土设计标号 Design grade of concrete	每 $\text{m}^3$ 混凝土材料用量 Raw material usage per cubic meter of concrete (kg)								稠度或塌落度 Consistency or slump
	水 Water	水泥 Cement	粉煤灰 Flyash	大石 Coarse agg.	中石 Medium agg.	小石 Fine agg.	人工砂 Crushed sand	TF剂 TF agent	
(RCC) R90=150#	90	55	105	447	596	447	759	0.4%	$V_c = 15 \pm 5 \text{ s}$
常态 R90=200# Normal concrete R90=200#	120	129	71	651	533	296	669	0.46%	塌落度 4 cm~6 cm Slump 4 cm~6 cm
常态 R180=200# Normal concrete R180=200#	121	121	81	649	531	295	666	0.47%	塌落度 4 cm~6 cm Slump 4 cm~6 cm



流态混凝土冲压法施工，并与常态混凝土同步上升。

3.3.4 尾水管肘管混凝土浇筑。全部使用钢模，以一台 20 t 缆机和一台门机直接入仓浇筑。

3.3.5 蜗壳底部混凝土浇筑。钢蜗壳外圈最大直径 29.50 m，底部不能直接进料浇筑占 72%。浇筑方法与钢管底部混凝土浇筑方法雷同。对座环阴角部位使用 24 个  $\varnothing 25$  cm 小圆孔灌料浇筑。

3.3.6 溢流坝面二期混凝土浇筑。使用自制液压爬轨式滑模机一台在 16# 和 17# 坝堰面和消力屏反坡段：高差 27 m，宽 20 m 溢流面施工，400# 混凝土，台班产量 94 m<sup>3</sup>，日上升 6.6 m。其他堰面仍用常规桁架式模板。

3.3.7 门槽二期混凝土浇筑。厂前坝、厂房、溢流坝、泄洪孔和排沙孔的 12 种门槽少量使用常规浇筑二期混凝土外，用滑模施工计 14 714 m，平均每台班滑升 2 m。

3.3.8 大型塔柱框格结构的滑模技术。滑模技术大规模应用于岩滩水电站升船机大型塔柱薄墙框格结构，在长 45.3 m，宽 15.3 m，高 72.5 m，最大浇筑面积 182 m<sup>2</sup> 上进行四面和三面框格与梁同时进行滑模，在 4 个月 20 天内快速完成混凝土浇筑 2.7×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

该研究成果，解决了框格结构的大面积高强度混凝土滑模诸项技术难题：大面积滑模；框格一边墙单面模板滑模；梁柱连接与三面框格同时滑模；迂穿模板插筋滑模等，滑升变形均控制在设计规定的 ±30 mm 以内，混凝土外观笔直平整、无错台、挂帘、胀肚、蜂窝、露筋等通病。大型框格结构滑模技术已推广应用于贵港航运枢纽工程闸墩滑模。

3.3.9 溢流坝闸墩予应力锚块混凝土浇筑。该锚块一般长 6 m，宽 9.4 m，高 5 m，最大的 7# 墩为 6 m × 18.6 m × 5 m。由于主锚索、次锚索、斜锚索、水平次锚索及钢筋，预埋件多而密布，则采用下撑式和吊拉式钢模，20 t 缆机运料，混凝土泵送高流态混凝土入仓，水平分层连续浇筑，一梁一次浇成。

3.3.10 坝顶永久门机大梁混凝土浇筑。溢流坝顶启闭机 2×250 t 大梁 7×2 条，跨度 15 m，T 型梁高 3 200 mm，翼缘宽 3 600 mm 或 2 800 mm，每条重 430 t。采用吊桥式钢模，高缆机吊 3 m<sup>3</sup> 混凝土入仓，水平分层连续浇筑，一梁一次浇成。

### 3.4 “金包银”碾压混凝土大坝浇筑

在碾压混凝土围堰筑坝技术获得成功的基础上，进行高 110 m 大坝“金包银”碾压混凝土浇筑。采用大仓面、通仓、薄层、连续浇筑、常态混凝土和碾压混凝土同步上升的施工方法，实现了最大月上升坝高

11.3 m 和日产 10 619 m<sup>3</sup> 的国内外先进水平。“金包银”碾压混凝土典型剖面图见图 3。

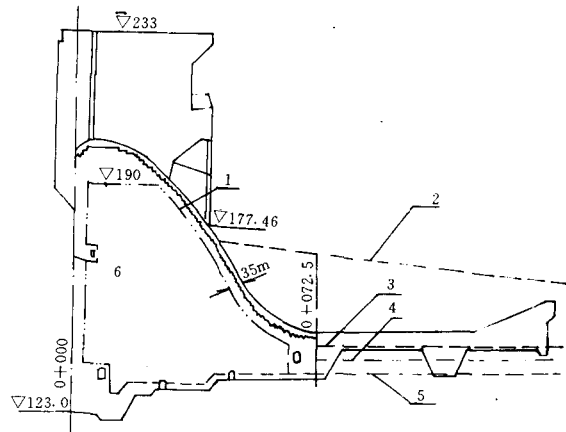
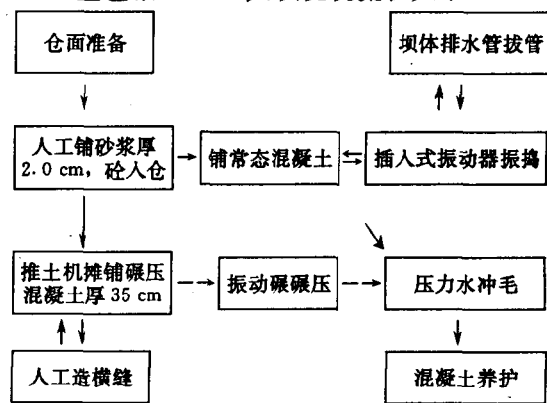


图 3 碾压混凝土典型剖面图

Fig. 3 Typical section of RCC

1 碾压混凝土与常态混凝土分界线 Border between RCC and Normal concrete; 2  $\nabla 175$  m 混凝土进仓路 Entrance roadway of RCC; 3  $\nabla 144$  m 混凝土进仓路 Entrance roadway of RCC; 4  $\nabla 140$  m 混凝土进仓路 Entrance roadway of RCC; 5  $\nabla 136$  m 混凝土进仓路 Entrance roadway of RCC; 6 碾压混凝土 R<sub>10</sub> 150# S<sub>4</sub> RCC R<sub>10</sub> 150# S<sub>4</sub>.

“金包银”RCC 大坝浇筑流程如下：



## 4 施工质量及经济效益评价

岩滩厂坝混凝土施工达到月浇筑 11×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup> 的国内先进水平，实现了 110 m 高坝日浇筑碾压混凝土 10 619 m<sup>3</sup> 的国际先进水平。

碾压混凝土水泥单耗 55 kg/m<sup>3</sup>，为大坝常规混凝土概算定额耗量的 32%。常规混凝土水泥单耗 143 kg/m<sup>3</sup>，为概算定额耗量的 63%。

按现场质量控制试验成果统计，混凝土抗压强度取样 3533 组，其离差系数 C<sub>v</sub> 值和保证率 P 值见表 2，达到 SDJ207-82 和 SDJS14-86 规范的优秀水平。混凝土抗渗取样 345 组，满足设计要求。

已验收的厂坝混凝土、灌浆、机电及金属结各项

工程的质量均为优良。

岩滩碾压混凝土筑坝技术应用用于围堰和高110 m大坝,节约工程投资超过3 000万元。同时,岩滩水电站1号机组提前9个半月并网发电,增发302.5 MW,按目前实际出力计算,增加14亿kWh以上。按每度电电价0.8元计算,增加电力收入1.12亿元。按广西每度电的产值3.5元计,则为社会增加产值49亿元。若计入二、三、四台机组相应提前发电,其效益会更大。

表2 混凝土抗压强度的离差系数 $C_v$ 值和保证率 $P$ 值  
Table 2 Coefficient of variation ( $C_v$ ) and guaranteed probability ( $P$ ) of concrete's compression strength

工程部位 Position	混凝土 标号 Grade of concrete	取样试件 Test samples (in group)	$C_v$ 值	$P$ 值 (%)
厂房工程 Powerhouse	<200#	436	0.142	98.33
	>200#	660	0.139	93.70
厂前坝工程 Dam in front of powerhouse	<200#	717	0.144	98.75
	>200#	303	0.129	91.83
大坝工程 Dam in other places	<200#	650	0.137	99.26
	>200#	422	0.107	90.14
碾压混凝土 Roller compacted concrete	<200#	137	0.137	99.66

岩滩厂坝混凝土浇筑的关键性工艺和措施是:

(1) 优化配合比 采用和机制石灰岩人工砂石料,碎石按80 mm~40 mm、40 mm~20 mm、20 mm~5 mm分级,大石:中石:小石组合比例为30:40:30。人工砂石料含石粉控制在12%~15%。水泥用量55 kg/m<sup>3</sup>,高掺粉煤灰105 kg/m<sup>3</sup>,占胶凝材料66.4%。掺用TF减水缓凝剂。混凝土 $V_c$ 值控制15 s

±5 s。

(2) 拌和楼投料顺序:碎石→水泥→水、外加剂→砂、粉煤灰。拌和时间150 s~180 s。

(3) 平仓 缆机或汽车直接入仓或皮带机运料入仓,汽车转料:20 t自卸汽车尾部装有液压式布料机,用布料刮板控制铺料层厚35 cm,宽5 m左右条状。布料不均匀处再用推土机协助摊铺达到布料均匀厚薄适中。

(4) 碾压 根据震动碾各自性能、振激力大小,对层厚铺料35 cm,先实施无振碾压2遍后,YZ10P和YZ10B碾压8~12遍;DA-50碾压4~6遍;BW200E碾压6~8遍;BW75S碾压边角13~18遍,可达到设计要求的碾压质量指标。

按混凝土的初凝时间为层面结合允许间隔时间作为控制。初凝前层面不作处理。如初凝又未终凝,铺2 cm同标号砂浆处理。如终凝则层面用压力水枪冲毛或凿毛,洒水养护,待恢复铺筑时,再铺一层2 cm砂浆处理。

(5) 坝身排水孔采用人工拔管造孔,以减少施工干扰,防止塞孔。坝体横缝采用人工造缝,是在设计分缝线上人工立1.5 cm厚木板作隔缝。实施此法,将造缝过程融合于平仓和碾压过程工序里,不占流程时间,隔板不倒不碎,两侧混凝土压实质量好。

(6) 常态混凝土和RCC同步一升。上游RCC围堰最大浇筑仓面积5 500 m<sup>2</sup>,大坝一般2个坝段为一仓面积2 900 m<sup>2</sup>。在常态混凝土和RCC接合部用振动碾和振动器联合振碾。

(7) 碾压混凝土温度控制措施 常态混凝土一般控制在15℃~16℃,RCC控制在25℃以内。RCC施工当日平均气温大于25℃时停止浇筑。当日平均气温大于25℃,小于30℃,在当日20时至次日10时浇筑。一个浇筑层压实厚度为30 cm,一般连续铺筑10个薄层3 m后间歇2 d~4 d,继续浇筑。高温季节RCC采用风冷骨料,加冰片、冷水拌合。浇筑过程中层面喷雾保湿。上游防渗层常态混凝土,预埋冷却水管进行一期通水冷却。

(责任编辑:邓大玉 蒋汉明)