叶巴滩水电站左岸高线混凝土系统设计

潘　勇，袁　木
（中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，四川 成都　610072）

摘　要：叶巴滩电站左岸高线大坝混凝土系统位于高原高寒峡谷地区，负责供应大坝混凝土，混凝土供应量大，温控要求严，生产规模大，高峰持续时间长，需同时生产预冷和预热混凝土，工艺复杂，同时系统可供布置场地十分有限，设计难度大。通过精细化设计，采用先进工艺流程，合理布置，解决了设计难题。

关键词：叶巴滩大坝；混凝土；生产规模；工艺设计；系统设计
中图分类号：[TM622]；TV642.1；TK262　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1001-2184(2019)01-0029-05

1　混凝土系统特点及生产规模

1.1　系统主要特点

（1）坝体混凝土总量大、施工强度高、持续时间长。叶巴滩水电站坝体混凝土总量约 270 万 m^3，浇筑直线工期 39 个月，月高峰浇筑强度约 10 万 m^3。

（2）工程地处高原高寒地区，对混凝土质量尤其是温控质量要求高。系统不仅生产预冷混凝土，同时还要生产预热混凝土。预冷、预热系统容量高且必须稳定可靠地运行。

（3）系统必须连续供料，混凝土的发料、运输、卸料要形成循环回路，以保证缆机高效运行。

（4）系统场地用地面积仅 17 000 m^2，布置极其困难。

1.2　系统生产规模

左岸高线混凝土生产系统位于大坝左岸下游约 100 m 处，供应整个大坝工程混凝土，供应总量约 270 万 m^3。其中，高温季节（5～9 月）需要预冷的混凝土约 110 万 m^3，出机口温度不高于 7℃；低温季节（11～2 月）需要预热混凝土约 80 万 m^3，出机口温度不低于 10 ℃。系统按满足 10 万 m^3 的混凝土月高峰浇筑强度要求进行设计，但考虑本工程混凝土月高峰浇筑的不均匀性，生产能力应留有适当裕度。因此，设计规模按同时满足常态混凝土 400 m^3/h，预冷温控混凝土满足 360 m^3/h，预热温控混凝土满足 340 m^3/h 的生产能力进行设计、设备选型及布置。左岸高线混凝土生产系统主要技术指标见表 1。

表 1　左岸混凝土生产系统主要技术指标

序号	项目	单位	指标	备注	
1	混凝土设计生产能力	常态混凝土	m^3/h	400	
		预冷混凝土	m^3/h	360	出机口温度：≤7 ℃
		预热混凝土	m^3/h	340	出机口温度：≥10 ℃
2	骨料竖井	粗骨料	m^3	16 000	满足高峰时段 3 d 用量
		细骨料	m^3	8 000	满足高峰时段 3 d 用量
3	胶凝材料储量	水泥	t	4×1 500	满足高峰时段 5 d 用量
		粉煤灰	t	2×1 500	满足高峰时段 5 d 用量
4	制冷容量	一次风冷	万 Kcal/h	357	冷风温度－3 ℃
		二次风冷	万 Kcal/h	236	冷风温度 0 ℃
		拌和冷水	万 Kcal/h	54	拌和水出厂温度 3 ℃
		片冰	万 Kcal/h	232	片冰温度－5 ℃
5	制热容量	装机规模	万 Kcal/h	265	
		热风循环量	万 m^3/h	25	
6	供风量	m^3/min	245		
7	供水量	m^3/h	180		
8	总用电负荷	kW	12 000		

2　混凝土系统总体布置与工艺设计

2.1　布置原则

（1）系统宜紧靠坝头，减小混凝土运输过程

收稿日期：2018-12-09

温度回升;混凝土运输采用循环线路,提高施工效率。

(2)设计中遵循以空间换面积的思路,分台阶空间布置,减小占地面积和土建开挖。

(3)充分利用地形,主要原材料采取从高处往低处输送方式,节约能源。

(4)经济合理地配置系统容量,避免规模过大造成工程量增加和设备利用率过低。

2.2　系统总体布置

左岸高线混凝土生产系统场地非常狭窄,占地面积仅约 17 000 m^2。开挖成 2 894.00 m、2 930.00 m 两个平台,同时对场地内冲沟采用框架现浇形成场地。

靠山侧布置 6 个骨料竖井,竖井直径 10 m,竖井净间距 10 m,竖井高度 50 m。在 2 930.00 m 高程平台布置二次筛分车间、调节料仓、一次风冷车间。为节约占地,处理筛分废水的沉淀池、加药间等布置在二次筛分车间至调节料仓的胶带机下方。

6 个胶凝材料罐基础布置在 2 894.00 m～2 930.00 m 平台的斜坡上,胶凝材料罐基本上不占用 2 894.00 m 平台面积。2 座拌和楼、二次风冷主集装箱、办公楼及实验室、外加剂车间、锅炉房、空压机房等布置在 2 894.00 m 平台。系统的混凝土运输线经左岸大坝供料线平台、上游 502＃公路、坝顶 5＃公路、下游的 505＃运输洞回到系统内形成环形道路。左岸高线混凝土系统平面布置见图 1。

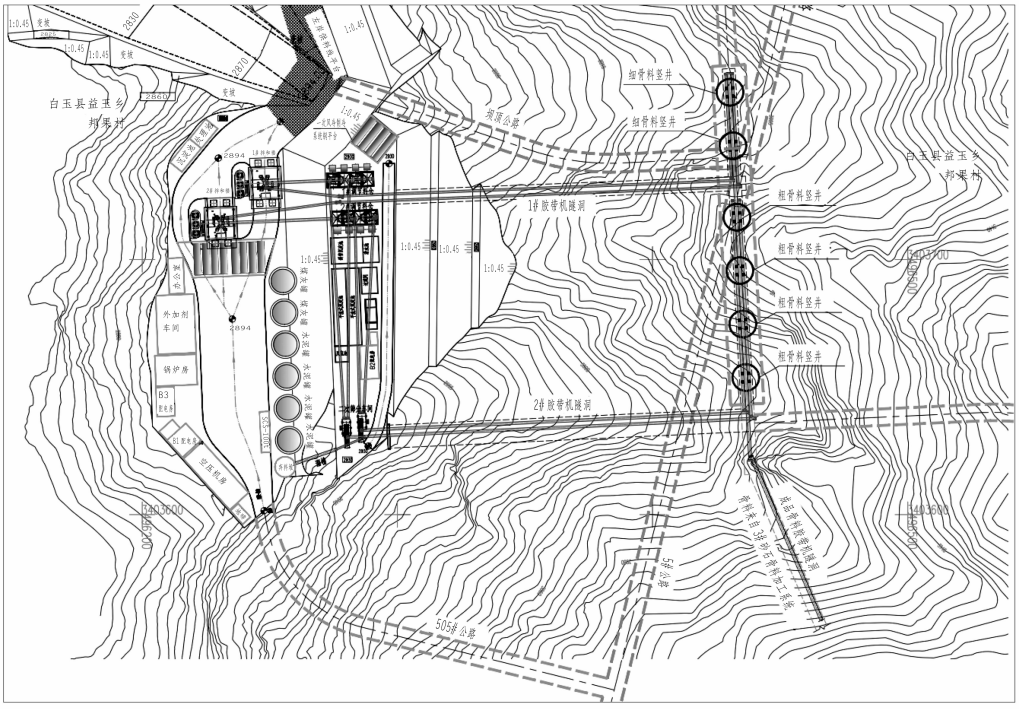


图 1　左岸高线混凝土系统平面布置图

2.3　系统工艺设计及布置

2.3.1　拌和楼选型及布置

系统设计生产能力:常态混凝土 400 m^3/h,预冷混凝土 360 m^3/h,预热混凝土 340 m^3/h,三班制生产。

HL360－4F4500LB 型拌和楼铭牌额定生产能力为:常态混凝土 360 m^3/h(四级配),预冷混凝土 250 m^3/h。考虑本工程混凝土月高峰浇筑的不均匀性,生产能力应留有适当裕度,设置 2 座 HL360－4F4500LB 型拌和楼完全满足要求。

系统布置以拌和楼为中心,统筹其他组成部分的相互关系。2 座拌和楼在 2 894.00 m 高程平台上呈前后错开布置,出料线独立。每座楼原材料进料线与出料线基本垂直,出料线紧临坝肩供料线平台,出料十分顺畅。

2.3.2　骨料储运系统

2.3.2.1　砂石骨料供应

系统成品骨料由俄德西沟 3＃砂石加工系统

生产供应。粗细骨料采用胶带机从成品料堆接料点沿 7#公路隧洞运至左岸高线混凝土系统竖井群，经井顶卸料小车卸料入井。骨料运输系统采用 2 条长距离胶带输送机，每条输送能力为 1 500 t/h，运输距离约 2.5 km。第一条胶带机与 7#公路共用隧洞，胶带机靠山布置，长度约 1 600 m。第二条 2 胶带机为新建胶带机隧洞，断面尺寸 4.5 m×4 m(宽×高)，长度约 900 m。

2.3.2.2　粗细骨料储运

6 个骨料竖井成一条直线布置于 2 930.00 m 平台靠山侧的山体内，骨料竖井直径均为 10 m，竖井壁净间距 10 m，竖井顶部高程 2 989.00 m，底部高程 2 939.00 m，高度均为 50 m。骨料竖井下方设置胶带机廊道，廊道底部高程 2 935.00 m，净空 3 m。

粗骨料由骨料竖井下的 GZG1003 型振动给料机给料，通过 2 条 B=1 000 mm、V=2 m/s 胶带机给二次筛分楼供料。粗骨料经过冲洗分级后由 B=800 mm、V=2 m/s 胶带机将粗骨料送入一次风冷调节料仓暂存，然后再通过料仓下的气动弧门经 2 条 B=1 000 mm、V=2.0 m/s 胶带机给拌和楼供料。

细骨料由骨料竖井下的气动弧门给料，通过 2 条 B=800 mm、V=2 m/s 的胶带机分别给 2 座拌和楼供料。

2.3.3　骨料二次筛分布置

为控制骨料超逊径与裹粉，需设置二次冲洗筛分车间。二次筛分车间设 2 组筛分楼，每组生产能力为 700 t/h，分别与 2 座调节料仓相对应。其中，一阶筛分布置在 2 930.00 m 高程平台，通过 2YKR2460 型筛分机将骨料分级；二阶筛分直接布置在调节料仓顶部，二阶筛分选用单层筛，通过 YKR2460 型筛分机将骨料分级为四种粗骨料，筛分后的粗骨料直接进入调节料仓。

2.3.4　骨料一次风冷调节料仓布置

一次风冷调节料仓共两座，平行布置在高程 2 930.00 m 平台上。每座调节料仓分隔为 4 个仓，储存 4 级骨料，单仓净截面为 4.0 m×5.0 m×10.0 m(长×宽×高)。特大石及大石料仓内设置缓降器。卸料采用气动弧门。预冷骨料由胶带机运输，各级骨料按序轮换向拌和楼料仓供料，调节料仓与胶带机栈桥均设采暖保温设施。

2.3.5　胶凝材料储运系统布置

系统内设置 6 个 φ10 m 的胶凝材料罐，其中 4 个为水泥罐、2 个为粉煤灰罐。料罐基础布置在 2 894.00～2 930.00 m 平台的斜坡上，基本不占用平台面积。料罐均相邻布置，相邻罐间间距为 12.5 m。在场内道路与罐体之间规划了回车场，以方便散装水泥罐车回车卸料。

2.3.6　空压机及外加剂车间布置

空压机房、外加剂车间、配电房、锅炉房等布置于 2 894.00 m 高程平台临江侧，与胶凝材料罐之间形成一块较大的回车场，便于物流运输。

空压机房平面尺寸为 27.38 m×7.8 m(长×宽)。空压机站装机容量为 245 m^3/min，机房内布置 6 台 LGFD250－095H 螺杆空压机。外加剂车间由库房、配液池、储液池、实验室等组成，总建筑面积为 450 m^2，可满足 30 d 的外加剂用量。

2.3.7　废水处理系统布置

废水处理系统布置在 2 930.00 m 平台上，位于筛分车间至调节料仓的胶带机下，主要布置有平流式沉淀池、斜管沉淀池、清水池、加药间及控制室等。

平流式沉淀池结构尺寸为 30.0 m×5.0 m×6.96 m(长×宽×高)、斜管沉淀池结构尺寸为 12.3 m×10 m×3.87 m(长×宽×高)，清水池结构尺寸为 10 m×6 m×3.77 m，加药间结构尺寸为 5.76 m×4 m×4.5 m(长×宽×高)。

2.3.8　预热系统布置

预热系统由锅炉房、蒸汽管道、蒸汽排管等组成。

锅炉房布置在 2 894.00 m 高程平台上，平面尺寸为 16.2 m×11.9 m(长×宽)。蒸汽管道主要布置在各个车间、胶带机廊道内，用于保持车间和胶带机廊道的温度。蒸汽排管布置在调节调仓底部的出料口，主要在低温季节解冻出料口附近的骨料。暖风集装箱布置在拌和楼储料仓旁。

3　预冷、预热系统设计

3.1　气象资料

历年月平均气温、水温见表 2。

3.2　预冷系统工艺设计

混凝土生产系统高温季节(5～9 月)混凝土出机口温度不高于 7 ℃；低温季节(11～2 月)混凝土出机口温度不低于 10 ℃。

表 2　历年月平均气温、水温　　/℃

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
气温	0.4	4.2	6.5	9.2	13.7	16.6	17	16.1	13.6	8.9	4	0.1
水温	3.4	4.8	5.6	6.9	8.2	9.9	10.3	9.9	9.3	7.2	5.1	3.8

根据三峡、溪洛渡、拉西瓦、官地等电站工程的经验和计算,决定采用粗骨料两次风冷、加冰、加冷水拌和的混凝土预冷工艺,确保混凝土出机口温度满足设计要求。

3.2.1　温控措施

(1)在 2 930.00 m 调节料仓中对粗骨料进行一次风冷,骨料温度从 17.0 ℃平均冷却至 7 ℃。

(2)在拌和楼料仓内对粗骨料进行二次风冷,考虑 2 ℃温度回升,骨料温度从 9 ℃平均冷却到 5.0 ℃。

(3)拌和用冷水 4 ℃,片冰温 −5 ℃。每 m^3 混凝土加 30～65 kg 片冰。

(4)二次筛分、调节料仓、骨料输送廊道、拌和楼以及输冰设备均要保温,以减少混凝土物料温度回升。

3.2.2　预冷系统工艺流程

混凝土预冷系统由四部分组成:调节料仓风冷系统、拌和楼二次风冷系统、制冰系统及制冷水系统。

3.2.2.1　风冷系统

粗骨料经二次筛分后进入调节料仓进行骨料冷却,调节料仓由四个料仓组成,自上而下分为进料区、冷却区、储料区。冷风自下而上通过骨料,骨料按用料速度自上而下流动,边进料,边冷却,边出料。冷却后的骨料经保温廊道由胶带机送至拌和楼相应的料仓进行二次风冷。拌和楼料仓同样由四个料仓组成,通过风冷使骨料进一步降到设计值 5 ℃。

一次风冷系统配置了 4 组 ZJJZ−40−1130B 和 ZJJZ−40−790B 冷风主机集装箱、4 组 WHNJZ−3000 和 WHNJZ−2000 冷风蒸发冷集装箱、4 组 KLJZ−36B 和 KLJZ−23B 冷风集装箱。拌和楼二次风冷系统配置了 4 组 ZJJZ−40−830B 和 ZJJZ−40−580B 冷风主机集装箱、8 组 WHNJZ−2000 冷风蒸发冷集装箱、4 组 KLJZ−23B 和 KLJZ−16B 冷风集装箱。

3.2.2.2　冷水及冰系统

混凝土拌和用冷水由冷水集装箱生产。片冰由片冰集装箱生产,片冰集装箱从上到下分别为片冰机、冰库和风送系统。片冰机生产的片冰落入贮冰库中贮存,贮冰库中的片冰由气力输冰装置送到拌和楼上的调节冰仓,通过调节冰仓下的螺旋输送机送到拌和楼称量器中称量。

冷水、片冰系统主要配置了 1 组 ZJJZ−20−1020B 冷水主机集装箱、1 组 LS−25 冷水集装箱、1 组 WHNJZ−2000 冷水蒸发冷集装箱、2 组片冰集装箱等。左岸高线混凝土预冷系统主要技术指标见表 3。

表 3　左岸高线混凝土预冷系统主要技术指标

序号	项目	单位	一次风冷	二次风冷	制冰	制冷水
1	冷水温度	℃				4
2	制冷装机容量	$\times10^4$ kcal/h	357	236	232	54
3	冷风循环量	万 m^3/h	32	41		
4	片冰产量	t/d			300	

3.3　预热系统工艺设计

本系统采用蒸汽排管为骨料除冰,拌和楼料仓热风加热粗骨料、60 ℃热水拌和混凝土的工艺,确保混凝土出机口温度在 10 ℃以上。

3.3.1　温控措施

(1)粗骨料在拌和楼料仓内进行加热,使粗骨料温度升至 5 ℃,骨料加热蒸汽量为 1.1 t/h。

(2)每方混凝土加 60 ℃热水进行拌和,加水量在 50～90 kg 之间,热水蒸汽量为 1.6 t/h。

3.3.2　预热系统工艺流程

混凝土预热系统由三部分组成:热风系统、热水系统、蒸汽系统。

3.3.2.1　热风系统

粗骨料热风加热在拌和楼粗骨料仓内进行,由四个料仓组成,料仓由上而下分成进料区、加热区、出料区,通过热风加热使骨料温度升到设计值。热风由拌和楼风机平台上热风集装箱组生产提供,热风机的热源由锅炉房提供。

3.3.2.2　热水系统

混凝土拌和用热水由设于制热车间内的汽水换热器生产,热水经水泵输送到拌和楼称量斗称

量后进入集料斗加入拌和机。

3.3.2.3　蒸汽系统

蒸汽排管布置在调节调仓底部的出料口，主要在低温季节解冻出料口附近的骨料。热源由制热锅炉提供。

左岸高线混凝土预热系统主要技术指标见表 4。

表 4　左岸高线混凝土预热系统主要技术指标

序号	项目	单位	指标	备注
1	预热混凝土生产能力	m^3/h	340	
2	出机口温度	℃	≥10	
3	制热装机	t / h	4.0	蒸汽量
4	热风循环量	万 m^3/h	25	

4　结　语

叶巴滩左岸高线混凝土系统位于高原高寒峡谷地区，混凝土供应量大，温控要求严，生产规模，高峰持续时间长，需同时生产预冷和预热混凝土，工艺复杂，同时系统可供布置场地十分有限，设计难度大。通过精细化设计，采用先进工艺流程，合理布置，解决了设计难题。

系统的设计方案对位于高原高寒地区、河谷陡峭狭窄、混凝土系统场地十分有限的类似工程提供了可以借鉴的设计参考。

参考文献：

[1]　中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司金沙江上游叶巴滩水电站可行性研究报告[R]. 报告编号：CD228 KX－13－9(1)，2016.

[2]　水电工程混凝土生产系统设计规范（NB/T　35005－2013）.

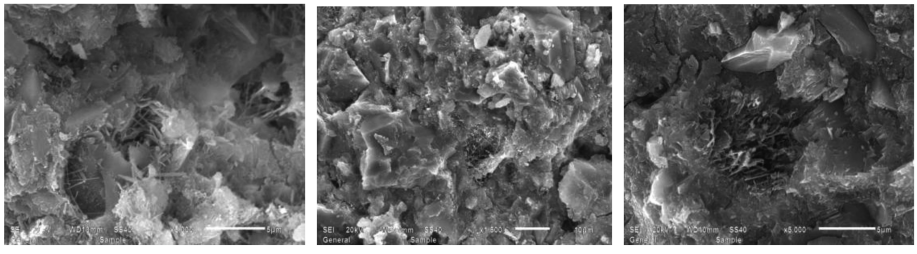
作者简介：

潘　勇(1973-)，男，四川遂宁中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司水利水电工程施工组织；

袁　木(1990-)，男，湖北黄岗人，中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司水利水电工程三维可视化设计.

（责任编辑：卓政昌）

（上接第 28 页）



(a)7 d　　(b)28 d　　(c)90 d

图 7　净浆试件 90d 龄期水化产物的 SEM 照片（30％火山灰，70％水泥）

拉强度、耐久性能影响较小，但磷渣替代粉煤灰后，早期干缩略有增加，后期基本相当；而火山灰替代粉煤灰后，混凝土干缩有增大的趋势。

(3)磷渣和火山灰在混凝土中的作用机理类似，都是其与水泥水化生成的氢氧化钙发生火山灰反应，只是生成的水化产物不同；这些新的水化产物使得混凝土内部结构更加密实，从而对混凝土产生相应的影响。

参考文献：

[1]　杨华全，李文伟.水工混凝土研究与应用[M].北京：中国水利水电出版社，2005.

[2]　陈霞杨，杨华全，石妍，张建峰.磷渣粉水泥基复合胶凝体系的水化特性[J].建筑材料学报，2016(4)：619－624.

[3]　谢莎莎.水泥－火山灰质胶凝体系水化机理研究[D].武汉：长江水利委员会长江科学院，2011：36－37.

作者简介：

周益舒(1985-)，男，江苏阜宁人，工程师，主要从事水利水电工程管理工作.

（责任编辑：卓政昌）

从追赶、跟随到超越 中国水电机组制造实现“三级跳”

金沙江白鹤滩水电站百万千瓦水轮发电机组是世界水电装备制造行业的里程碑，它标志着我国超大容量水电机组的制造能力和水平已经达到世界顶尖水平。三峡工程建设初期，我国水电装备制造业只能有自主设计制造单机容量 32 万千瓦水电机组的能力，20 多年时间，我国水电装备制造业实现从追赶、跟随到超越的重大跨越。

（中国长江三峡集团有限公司　2019 年 1 月 17 日）