

丰满水电站大坝混凝土冬季施工关键技术

朱晓秦 谢辉

(中国水利水电第十六工程局有限公司, 福建 福州 350003)

摘要: 东北特有的气候特点对冬季施工造成不少困扰, 文章以丰满水满水电站工程为例, 通过对东北严寒地区大坝闸墩及二期混凝土冬季施工技术影响因素进行分析、比较, 最后得出的结论, 采取合适的温控措施, 可满足严寒地区冬季混凝土施工需要, 这对类似工程冬季施工提供了良好的借鉴和参考。

关键词: 丰满水电站; 大坝混凝土; 冬季施工; 关键技术

Key technology of dam concrete construction in winter in Fengman Hydropower Station

Zhu Xiaoqin, Xiehui

(Sinohydro Bureau 16 Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350003)

Abstract: The unique climate characteristics in Northeast China cause a lot of troubles to winter construction. Taking Fengman Shuiman hydropower station project as an example, this paper analyzes and compares the influencing factors of dam pier and phase II concrete construction technology in winter in Northeast China's frigid region, and finally comes to the conclusion that proper temperature control measures can meet the needs of winter concrete construction in frigid region, which can meet the needs of similar projects in winter Construction provides a good reference and reference.

Keywords: Fengman Hydropower Station; dam concrete; winter construction; key technology

1 工程简况

丰满重建工程大坝为碾压混凝土重力坝, 全长1068.00m, 坝高94.50m, 碾压混凝土量约195万m³, 常态混凝土量约85万m³。工程地处第二松花江流域, 第二松花江流域位于中温带大陆性季风气候区, 主要受太平洋季风及西伯利亚高压影响, 特点是春季干燥多风, 夏季湿热多雨, 秋季晴冷温差大, 冬季严寒漫长。

丰满地区多年平均气温为3.9℃, 极端最高气温为37.0℃, 极端最低气温为-42.5℃。多年平均降水量为656.2mm, 降水量在年内分配不均匀, 6月~9月降水量占全年降水量的74.5%。多年平均蒸发量为1422.6mm。多年平均风速2.9m/s, 最大风速30m/s, 最大冻土深度1.90m, 封冻期长达130天左右。

2 施工背景

丰满水电站地处东北严寒地区, 为确保2019年汛前下闸蓄水发电目标, 需要在2018年11月~2019年3月进行闸墩上部混凝土及门槽二期混凝土浇筑, 完成后进行坝顶预制梁及金结机电设备安装。为此, 需克服极低温条件下混凝土高强度、高难度、功效低等难题, 在整个混凝土生产流程辅以各种温控措施, 保证混凝土冬季施工质量, 达到设计所要求强度及耐久性标准。

收稿日期:

作者简介: 朱晓秦(1984-), 男, 湖北荆州人, 高级工程师, 主要从事水利水电施工与项目管理。

通讯地址: 福建省福州市湖东路 82 号中国水利水电第十六工程局有限公司。手机: 18672124972。E_mail:83722396@.com

3 混凝土冬季施工关键技术

3.1 砂石骨料升温措施

砂石骨料升温采用暖棚法，对原风冷料仓进行措改，在料仓内壁粘贴一层锡箔纸，再粘贴3层3cm厚的橡塑海绵，料仓顶部采用三防帆布覆盖密封。砂石骨料采用水暖预热，通过改造冬季供暖管路，连接至风冷料仓对骨料进行加热，主管路采用DN50PE管材，管材外壁采用1层锡箔纸+2层橡塑海绵包裹保温，支管为DN32钢管，支管与取暖鳍片连接，供暖水温保持在60℃左右，以保障骨料温度在8℃以上。

3.2 拌和楼保温加热措施

3.2.1 供水管路保温

2×3m³强制式拌和楼用水来源为右岸拌和系统高位水池，进入冬季施工后右岸高位水池将不具备运行条件，拌和楼冬季用水另寻水源，在大坝围堰下游侧靠近右岸拌和系统处设置新的取水点，采用浮筒船加水泵取水，现场采用1台排污泵（型号为50WQ18-60-5.5KW）抽水。

供水管路保温采用发热带加热保温及橡塑海绵包裹，发热带型号为3.5kw/100m，采用锡箔纸粘附在供水管路外侧，发热带紧附在供水管路外壁。发热带安装完成后在外围包裹1层橡塑海绵，厚3cm，采用铁丝绑扎固定，橡塑海绵包裹平整，扎带紧固适中、间距均匀，相邻两段橡塑海绵连接接头处包裹严密。具体施工方法详见图1。

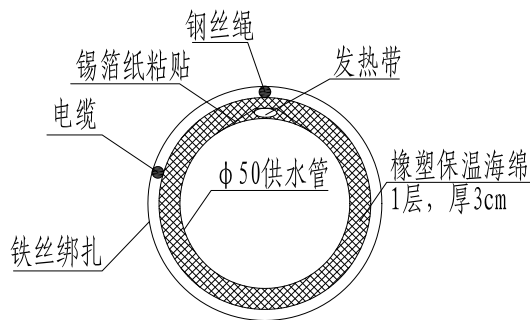


图1 供水管路保温示意图

3.2.2 水箱、外加剂箱保温

为满足拌和楼冬季施工需求，在拌和楼处设置水箱、外加剂箱及引气剂箱。水箱及外加剂箱采用12mm厚钢板制作，尺寸为4.5m×1.8m×1.8m，中间设置隔板分为两个箱体，其中水箱体积为2.5m×1.8m×1.8m，外加剂箱体积为2.0m×1.8m×1.8m，引气剂箱尺寸为1.5m×1.5m×1.5m。水箱底部设置电热管，功率为9000W，共三套，外加剂箱及引气剂箱底部各设置一套电热管，功率为2000w。

3个箱体外侧需全面包裹橡塑保温海绵，共安装3层，每层厚3cm，保温海绵包裹严密、均匀平整，水箱底部的保温橡塑海绵在吊装完成前施工完毕，橡塑海绵施工完成后需在外侧覆盖棉被，棉被覆盖完成后采用∠50×5角钢配合M16螺栓将其固定在水箱外侧。

3.2.3 上楼管线施工

拌和楼冬季施工的水、外加剂及引气剂均以泵送的形式输送至拌和楼配料平台，水箱内布置潜水泵1台，功率为5.5kw,外加剂箱及引气剂箱内布置3台2.2kw的化工泵，供应拌和楼的水、外加剂及引气剂分别由 $\phi 50$ 、 $\phi 40$ 镀锌钢管及输送至拌和楼，上楼管路需采用电热管加热及包裹橡塑海绵的方式进行保温，具体施工方法与供水管路一致。

3.2.4 拌和楼内保温措施

为满足拌和楼冬季运行温度需求，需在拌和楼内安装30台小太阳取暖器（功率1000w），小太阳取暖器安装在拌和楼四周，在每个楼层均匀布置，搅拌机启动前拌和楼工作人员先开启小太阳加热器提高楼内温度，同时检查各部件运行是否灵活，运行前必须加热搅拌机减速器，防止启动负荷过大造成电机烧毁。

3.2.5 水箱、灰罐单仓泵及水泥罐单仓泵保温棚搭设

现场布置的水箱、外加剂箱、引气剂箱及粉煤灰罐单仓泵均直接暴露在空气中，为满足拌和楼冬季运行要求，对以上部位搭设保温棚，共搭设4个，其中水箱处搭设1个，尺寸为10m \times 8m，高5m；粉煤灰罐单仓泵搭设1个、水泥罐单仓泵搭设2个，尺寸规格为6m \times 6m，高5m。保温棚搭设时采用 $\phi 50$ 钢管搭设框架，在钢管框架外侧安装10cm厚夹心彩钢板墙面及棚顶，彩钢板安装完成后在外侧包裹1~2层棉被，采用钢管及铁丝将其固定。水箱处保温棚搭设时在博物馆方向设置大门，门宽4m，高2.5m，满足外加剂倒运车出入。单仓泵保温棚搭设时顶部与罐体底部搭接严密，有缝隙的地方用保温橡塑海绵或棉被封堵。

3.3 仓面用水保温加热措施

溢流坝段闸墩混凝土冬季施工供水在10#坝段设置1个2.00m \times 2.00m \times 2.00m的水箱，水箱箱体采用厚12mm钢板，水箱一侧设增压泵，并在水箱外围搭设脚手架（3.0m \times 3.0m \times 3.0m）框架，形成外部保温棚，保温棚采用双排脚手架、棉被、保温棉、三防布封闭，并留1m \times 1.8m的出口供补水车加水 and 人员进出。取水点设在消力池围堰附近。在围堰放置一台水泵循环抽水，由补水车运至保温棚处将水转入水箱。水箱内的水经水管连接送至保温棚内，外露水管用保温棉和三防帆布反复包裹保温（仓面用水及管路保温方法同上），送水管路兼做消防管路。水温过低时，为防止水结冻，配置10个加热棒进行加热，保证水温大于5 $^{\circ}$ C以上。

3.4 仓面搭设暖棚措施

溢流坝段闸墩混凝土浇筑采用暖棚法进行施工。

暖棚法：即在混凝土结构周围用保温材料搭成暖棚在棚内安设暖风机进行采暖，使混凝土浇筑与养护处于正温。暖棚法施工适用于日平均气温-10~-30 $^{\circ}$ C。

暖棚安装施工：为保证溢流坝段闸墩混凝土冬季施工保温需要，根据溢流坝段闸墩混凝土浇筑高程，在溢流坝段闸墩混凝土保温棚，保温棚结构支撑采用两侧钢模板顶部安全防护栏杆及 $\phi 48$ mm壁厚3.5mm的钢管，安全防护栏杆中间采用 $\phi 48$ mm壁厚3.5mm的钢管与安全防护栏杆进行连接，保温棚顶面保温搭设方式为1层塑料薄膜+1层三防布，详见图2。保温材料铺设时需向外延伸与悬臂翻升模板外侧保温材料有效搭接，形成封闭空间加强保温效果，并采用铁丝进行绑扎，有效连接固定。为保证浇筑过程中仓内温度满足冬季施工要求，在棚内布置工业暖风机保证仓内温度。

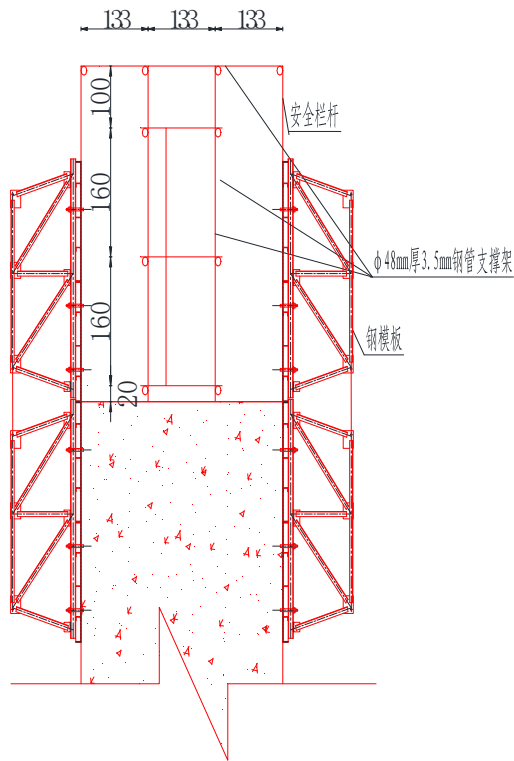


图2 保温暖棚结构示意图

仓内所需热量计算:

计算加热空间的体积: 经计算单个暖棚体积为 $V=4 \times (28.76+12.5) \times 4.2=$

693m^3 , 暖棚的面积 $A=(28.76+12.5+4) \times 2 \times 4.2+(28.76+12.5+4) \times 4=545.3\text{m}^2$;

B、计算环境温度与所需温度差值: 外部平均温度 -15°C , 棚内温度 5°C , $t_c-t_a=20^\circ\text{C}$;

C、确定放热系数: 保温不严密, 查施工手册传热系数计算如下:

$$\beta = 10\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$$

D、计算所需热量:

暖棚每小时耗热量: $Q_b = \beta F_d (t_c - t_a) = 10 \times 545.3 \times 20 = 109060\text{kcal/h}$;

下料口冷空气渗入每小时的耗热量:

$$Q_k = \frac{n}{3} V_n (t_c - t_a) = \frac{3}{3} \times 693 \times 20 = 13860\text{kcal/h}$$

暖棚每小时需要供热量:

$$Q_n = Q_b + Q_k = 109060 + 13860 = 122920\text{kcal/h}$$

$1\text{KW}=1\text{k}/4.18\text{ cal/s}=861.24\text{Kcal/h}$

BV290E工业暖风机输出功率为 81kw 。

$$\text{工业暖风机用量: } n = \frac{Q_n}{P} = \frac{122920}{81 \times 861.24} = 1.76$$

根据计算1个暖棚按2个工业暖风机布置。

E、最低热流量计算：

确定最低要求系数：小于5000 m³ 的建筑空间，系数B=3.0；大于5000 m³ 的建筑空间，系数B=2.5。单个暖棚体积等于693 m³，小于5000 m³，B取3.0

根据经验公式，最小热空气流量（D）=V×B=2079 m³/h；

选用BV290E工业暖风机，热空气输出量：6600 m³/h，单个暖棚，2台满足要求。

根据暖棚结构特点及热功计算结果，保温棚内采用了工业暖风机进行取暖，保证棚内温度处于正温。

3.5 施工过程注意事项

1、暖棚法混凝土施工时，棚内各测点温度不低于5℃，选择有代表性的位置进行测温，每10min测温一次。

2、混凝土浇筑前清理仓号尽可能在白天气温较高时段施工，避开气温低于0℃或夜间冲洗。

3、浇筑过程中，及时清除钢筋、模板和浇筑设施等附着的冰雪，浇筑过程中如遇小雨天气或雪天天气及时采用橡塑海绵及三防帆布覆盖仓面，保持仓面不受雨、雪水浸泡。严禁将冰雪、冻块带入仓内，发现及时清理出仓。

4、为保证混凝土浇筑质量，尽量选择气温相对较高的白天进行混凝土浇筑施工。

5、加强温度监测，外界气温每4h测量一次，水温每2h测量一次，混凝土出机口温度和浇筑温度每2h测量一次。

6、混凝土冬季施工需加强混凝土入仓温度的监测工作，对于监测结果及时通知现场指挥人员、拌和系统负责人及技术负责人。

3.6 混凝土养护

冬季浇筑的混凝土,由正温转入负温养护前,混凝土转入负温养护强度达到了允许受冻的临界值或成熟度值。

采用的保温材料(塑料布、橡塑海绵、三防帆布等),保持干燥。

在模板外部保温,必须在设置保温材料后方可浇筑混凝土.模板表面外挂橡塑海绵保温材料并扎牢,然后再浇筑混凝土。

刚浇筑完毕的混凝土水平面,先覆盖1层塑料薄膜,上部再覆盖电热毯+6层橡塑海绵+1层三防帆布,大体积混凝土浇筑及二次抹面压实后立即覆盖保温。

拆模后的混凝土及时覆盖保温材料,以防混凝土表面温度的骤降而产生裂缝。

4 冬季施工效果评价

4.1 现场温度测量

冬季混凝土施工温度测量采用自动化采集存储设备,采集频率10min/次,以全面掌握混凝土冬季施工中温度变化情况,并为温控措施的积极调整提供理论依据。分别在暖棚及混凝土内部埋设温度计进行自动监测,暖棚内的温度计在收仓后塞入混凝土保温材料下,用于测量混凝土表面温度。通过所埋设的温度计温度变化曲线评价保温效果。见图3、图4。

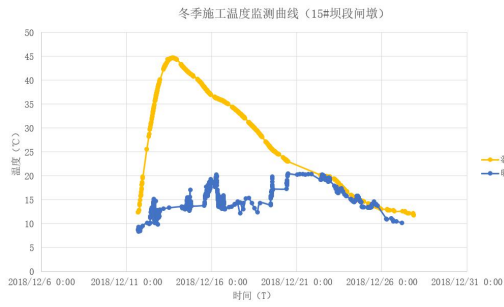


图3 15#坝段闸墩冬季施工温度监测曲线

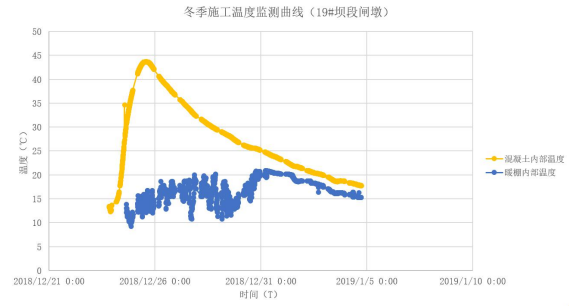


图4 19#坝段闸墩冬季施工温度监测曲线

图3、图4中通过对暖棚及混凝土内部温度的采集，在经数据处理后，形成温度过程曲线。由曲线可得，在浇筑过程中，暖棚内温度基本保持在10℃以上，由于浇筑人员进出，棚内温度出现一定波动，波动幅度在6℃左右，温度保持良好。浇筑完成后，暖棚内温度计埋入保温材料与混凝土面之间，用于监测混凝土表面温度，期间混凝土表面温度整体呈上升趋势，升温幅度不大，后期随混凝土水化热结束后，混凝土内部温度开始下降，混凝土表面温度与内部温度逐步接近后开始降温，混凝土内部温度与表面温度降温趋势接近。

4.2 后期强度检测

主要混凝土配合比，冬季闸墩施工主要混凝土配合比见表1。

表1 闸墩冬季施工主要混凝土配合比

设计强度等级	级配	水胶比	灰掺量 (%)	砂率	单位体积材料用量 (kg/m ³)						外加剂				稠度或坍落度 (cm)	含气量 (%)
					水泥 (c)	粉煤灰 (FL)	砂 (S)	5-20 (mm) (Gs)	20-40 (mm) (Gm)	水 (W)	早强防冻剂 HNF-4 (B)	SBTJM® -II 缓凝高效减水剂 (%)	GYQ- I 引气剂 (%)	早强防冻剂 HNF-4 (B) %		
C ₉₀ 20W4F200	二	0.5	20	41	250	62	727	533	533	156	15.6	0.8	0.02	5	14~18	4~5
C ₉₀ 20W6F300	二	0.38	20	39	281	70	666	530	530	158	/	0.8	0.03	/	14~18	5~6
C30W6F300	二	0.38	15	37	376	66	613	509	509	168	22.1	0.8	0.03	5	14~18	5~6

混凝土冬季施工期间，分别进行混凝土标准养护下与施工现场同条件养护下强度检测，具体检测成果见下表2。

表2 混凝土强度检测统计表

检测项目	组数	平均值项:平均值 (Mpa)	最大值项:平均值 (Mpa)	最小值项:平均值 (Mpa)
C30W6F300	49	/	/	/
7天	4	/	/	/
机口抗压	2	19.5	21.5	17.5
同条件机口抗压	2	13.7	15.2	12.2

检测项目	组数	平均值项:平均值 (Mpa)	最大值项:平均值 (Mpa)	最小值项:平均值 (Mpa)
28 天	41	/	/	/
仓面抗压	2	33.2	33.8	32.7
机口抗压	24	35.0	40.1	31.2
机口劈拉	3	2.41	2.55	2.27
同条件机口抗压	12	24.1	33.4	17.2
60 天	4	/	/	/
机口抗压	2	37.6	38.7	36.6
同条件机口抗压	2	22.2	24.0	20.5
C9020W4F200	12	/	/	/
28 天	7	/	/	/
机口抗压	5	27.2	31.6	23.6
同条件机口抗压	2	22.8	26.7	19.0
90 天	5	/	/	/
机口抗压	5	37.9	46.0	34.0
C9020W6F300	4	/	/	/
28 天	3	/	/	/
机口抗压	2	31.3	32.6	30.0
同条件机口抗压	1	28.2	28.2	28.2
90 天	1	/	/	/
机口抗压	1	41.9	41.9	41.9

通过对比混凝土标准养护下与施工现场同条件养护下强度检测，由于28天龄期机口抗压检测组数较多，取此条件下的平均值进行对比分析，计算得同条件下机口抗压强度约为标准养护条件下的69%，冬季施工条件下混凝土抗压强度增长保持良好。

由现场实测混凝土养护资料，计算冬季施工混凝土成熟度。根据《水工混凝土施工规范》DLT5144-2015计算混凝土已达到的等效龄期：

$$t = \sum \alpha_t t_T$$

式中：t为等效龄期（h）；

α_t 为温度等效系数，按表B.0.3用；

t_T为温度T的持续时间。

为方便计算，根据暖棚内所测温度，取平均温度13℃，查《水工混凝土施工规范》DLT5144-2015表B.0.3可得 α_t 为0.68，混凝土现场试件同条件养护28天龄期时强度与标准养护室457h的强度相当。

3.3 裂缝普查情况

2018年冬季施工共完成闸墩混凝土20仓，共浇筑混凝土约5000m³，经裂缝普查，所浇筑仓块均未发现裂缝。

4 结语

丰满重建工程坝区极端的低温气候，对混凝土冬季施工具有很大的挑战性，通过施工前精心准备、骨料预热、拌和预热、运输保温、暖棚法浇筑混凝土、后期保温及温度监测等一系列技术措施的实施，为混凝土冬季施工质量提供了有力保障，其关键施工技术可供今后类似工程借鉴与参考。

参 考 文 献：

- [1] 陈明春, 梁国顺. 大体积混凝土冬季施工探讨[J]. 工程施工技术, 2018(3):205-206.
- [2] 赵振懿. 关于水利工程混凝土冬季施工的技术探讨[J]. 设计与施工, 2019(9):47-48.
- [3] 郭斌, 郑龙德. 关于水利水电工程冬季混凝土施工技术的研究. 民营科技, 2018(8):108-01.
- [4] 陈跃, 张永智, 张之钰. 混凝土冬季施工措施及拌和物热工计算[J]. 山西水利科技, 2019(3):1-31.
- [5] 魏莉. 克孜勒塔斯水电站工程混凝土冬季施工[J]. 中国水能及电气化, 2019(8):13-16.
- [6] 郑贵亮. 试析水利水电工程冬季混凝土施工技术应用. 智能水利, 2018(4):150-151.
- [7] 范雄安. 叶巴滩水电站2017年冬季施工保温要求与措施. 四川水力发电, 2019(1): 59-67.