

2 894.154~2 931.775 m,属川西高原气候区,多年平均气温为 7.9°C ,极端最低气温为 -21.9°C 。

(2)薄壁箱型结构,水化热低。顶板厚30 cm,属薄壁箱型结构,混凝土自身水化放热不大,不适宜采用蓄热法养护。

(3)矢跨比大,坡面浇筑缓慢,泵管内混凝土的停留时间及仓面混凝土的暴露时间较长。主拱圈净矢跨比为 $1/5$,尤其拱脚段坡度较陡,单侧入仓速度仅为 $4\text{ m}^3/\text{h}$ 。除去混凝土损耗,顶板浇筑长度约为2 m。

(4)水分蒸发快,易产生干缩裂缝。气候干燥,底板、顶板混凝土外露面大,在水化放热和表面蒸发的双重作用下,混凝土迅速失水。

(5)昼夜温差大,易产生温度裂缝。根据现场实测温度,白天最高温度为 $1^{\circ}\text{C}\sim 12^{\circ}\text{C}$,夜间最低温度为 $-19.5^{\circ}\text{C}\sim -8^{\circ}\text{C}$,平均昼夜温差在 20°C 以上,混凝土极易产生温度裂缝。

(6)沟谷地带风速高,热量散失快。一般白天风速为 $0\sim 4$ 级,夜间风速在4级以上,寒风状态下,混凝土表面温度以 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (夜间)以上的速度散失。

3 冬季采取的施工措施

为解决上述施工难点,主要采取了以下措施。

3.1 合理安排施工时段

合理安排混凝土浇筑施工时段。 $8:30\sim 17:30$ 天气良好时,当地气温可达 $-3^{\circ}\text{C}\sim 12^{\circ}\text{C}$,多选择在此时段施工。另外,雨雪、大风天气下不开展混凝土浇筑施工^[1]。

3.2 提高混凝土入仓温度

(1)原材料及机械、设备的保温。料棚周围使用军用帆布进行遮蔽,进出口设双层保温棉门帘,骨料仓内砂、石骨料夜间采用棉被覆盖以确保混凝土用骨料清洁,不含有冰雪等冻块。整个拌和系统设防风雪保温棚,对外露油管、气管和水管使用加厚海绵进行缠绕保温,拌和机、启闭气阀及分料仓三面设浴霸灯,混凝土开仓前3 h进行加热。

(2)控制出机口温度。主拱圈为C40混凝土,采用原材料拟定温度校核出机口温度的方法确定各原材料、拌和用水及拌和料温度。投料前,应先用热水冲洗搅拌机,投料顺序为骨料、水、搅

拌,再加水泥、外加剂搅拌,搅拌时间应较常温时延长50%^[2]。根据热工计算,施工时将水温加热至 50°C ^[3]、砂保温在 5°C 、碎石保温在 1°C 、水泥和掺合料保持在 0°C 以上,则混凝土出机口理论温度为 11.1°C ,满足规范要求出机口温度不小于 10°C 的要求。

(3)混凝土输送时的保温。为减少混凝土运输过程中的热量散失,在距桥约200 m处增设了一套JS750型拌和系统,混凝土罐车外部覆盖保温套,入仓地泵管道用棉絮裹紧。

拌制速度、拌制量及混凝土罐车配置数量与入仓速度相匹配,将混凝土罐车调整为 3.5 m^3 容量,每台地泵配备2台罐车以保证浇筑连续。

(4)入仓温度控制。在上述出机口温度(11.1°C)条件下,减去混凝土运输至浇筑时的温度损失,在环境温度 -12°C 下,理论入仓温度为 5.3°C ,满足入模温度不低于 5°C 的要求^[4]。

若因气温骤降不满足要求或需要提高入仓温度时,可以通过提高原材料和搅拌用水温度的方式,提高出机口温度达到入仓温度要求。

3.3 优化混凝土浇筑工艺

(1)动态调整混凝土坍落度。浇筑时,根据主拱圈浇筑部位坡度的大小,对混凝土坍落度进行动态调整。自拱脚向拱顶,一般入仓坍落度为 $15\sim 18\text{ cm}$,每隔6 m左右应进行一次微调。在满足高压输送泵入仓的前提下,增加混凝土坡面的自稳能力,以方便浇筑施工。

(2)采用压模施工工艺。因坡度较大,混凝土入仓后需待其流动性减小到一定范围时方可进行振捣工序施工,在较大程度上降低了施工效率。为此,采用了压模施工工艺:木模板和钢管组成压模,宽50 cm,浇筑前将其先临时安放至相应部位,随着浇筑进展逐块固定,既满足了插入式振捣条件,又有效防止了混凝土下滑,且易进行人工收面。

(3)缩短铺筑分段长度。将混凝土铺筑段长度调整为1.5 m左右,优化浇筑工艺后,浇筑时间约为35 min,浇筑完成后及时采取养护措施。

3.4 “四合一”加热保温养护

浇筑过程中,采取“完成一段,及时保温一段”

的方式进行养护,采用保湿+生热+保温+防风“四合一”保温养护措施。具体为:加厚塑料薄膜包裹混凝土表面以保持水分,薄膜上覆盖可调温式电热毯主动生热^[4],电热毯上加盖双层棉被进行保温,棉被上再使用军用防水帆布防雨雪、防风。保证混凝土表面温度在8℃以上,养护时间不少于21 d。

4 温度监测

4.1 监测原理

混凝土内部采用“铂式温度传感器+配套测温仪”^[5]进行温度监测。原理:铂电阻随温度有一一对应的依赖关系(可以近似为线性),故选定两点,如水的三相点0℃和沸点100℃,分别测量铂电阻,然后等分,得到依赖关系 $R(T)$;温度高时铂电阻大,等电压下流过的电流小,以此建立电流与温度的关系 $I=U/R(T)$,从而可以指示温度的变化,具有精度高、测点布设方便等特点。

环境温度、出机口拌和料温度、混凝土入模温度均使用煤油温度计监测,混凝土表面温度采用红外线温度枪监测。

4.2 测点布置

为全面了解冬季施工措施下主拱圈各部位的温度情况,根据结构物形体进行了布点,具体为:沿主拱圈横向布置2点,分别布置在距边缘20 cm位置和中轴线位置,纵向每隔6 m布置1排,温度传感器布置在仓位结构中部,每仓共约10点(图2)。浇筑过程中,应时刻关注传感器情况并用测温仪检测,对于明显破坏或偏差过大者应予以更换,若已无法更换,舍弃此测点以保证数据的准确性。以内部测温点顶部的混凝土外露面对应位置作为表面测温点。

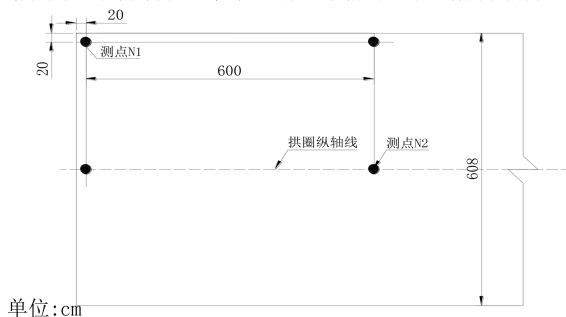


图2 温度测点平面布置图

4.3 监测的实施

冬季施工时,拌和料温度直接影响到混凝土成型质量及强度成长空间,而保温养护则关系到混凝土后期强度成长状况,因此,温度监测应贯穿混凝土施工全过程。拱圈混凝土温度监测频率根据混凝土成长规律及抗冻特性确定;混凝土前期成长速度较快,较为脆弱,尤其是前3 d时间内(未达到设计强度40%之前)。根据主拱圈施工现场实际情况,所设置的具体测温项目及频率为:(1)混凝土浇筑期间,环境温度、混凝土拌和料出机口温度、入仓温度每2 h测量一次。(2)混凝土浇筑完成后,立即检测混凝土成型温度。(3)混凝土养护期间,第1~3 d每2 h测量一次,第4~7 d每4 h测量一次,第8~21 d每8 h测量一次。混凝土监测温度由测控小组负责测量、记录、整理、分析并及时得出测温成果,以便调整冬季施工措施。

4.4 典型数据分析

主拱圈顶板拱肩节段最后浇筑(后浇带工程量较小不含其中),时间为2018年11月23日,外界环境温度最低,混凝土施工质量最难保证。笔者取其自浇筑开始至养护结束(21 d)监测数据进行分析得到各阶段冬季施工措施取得的效果。

4.4.1 浇筑阶段温度监测数据分析

混凝土浇筑时间段为8:30~16:00,总时长约为7 h,浇筑时间段内环境温度、出机口温度、入仓温度随浇筑持续时间—温度曲线见图3。

由测量数据可以看出:(1)混凝土拌和料出机口温度、入仓温度与外界环境温度呈基本一致变化规律,且外界气温越低,温降越大。(2)出机口温度为13℃~16℃,入仓温度为9.6℃~14.5℃,满足规范要求及施工需要,且温度略高于理论计算值。

4.4.2 养护阶段温度监测数据分析

保温养护自第一段浇筑完成、混凝土基本达到初凝时开始以减少热量散失。在冬季施工养护措施作用下,主拱圈各监测点混凝土内、表部温度及温差均满足规范要求。笔者以更具有代表性的边缘部位测点N1(N1为混凝土表面测点)温度及中部测点N2(N2为混凝土表面测点)温度进行分析。

养护开始时间为 11 : 00 左右,笔者以此为养护阶段温度监测起始时间绘制养护持续时间—温度曲线(图 4)。

由测量数据可以看出:

(1)混凝土养护开始前,受环境温度影响,温度已逐步接近于环境温度;及时养护后,混凝土内外部温度均呈规律性上升趋势。

(2)外界环境总体体现为下降趋势,且昼夜温

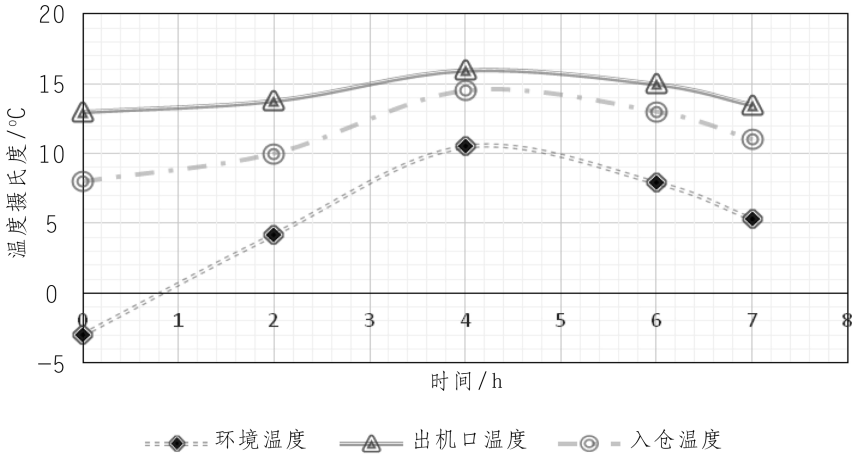


图 3 浇筑阶段温度—时间曲线图

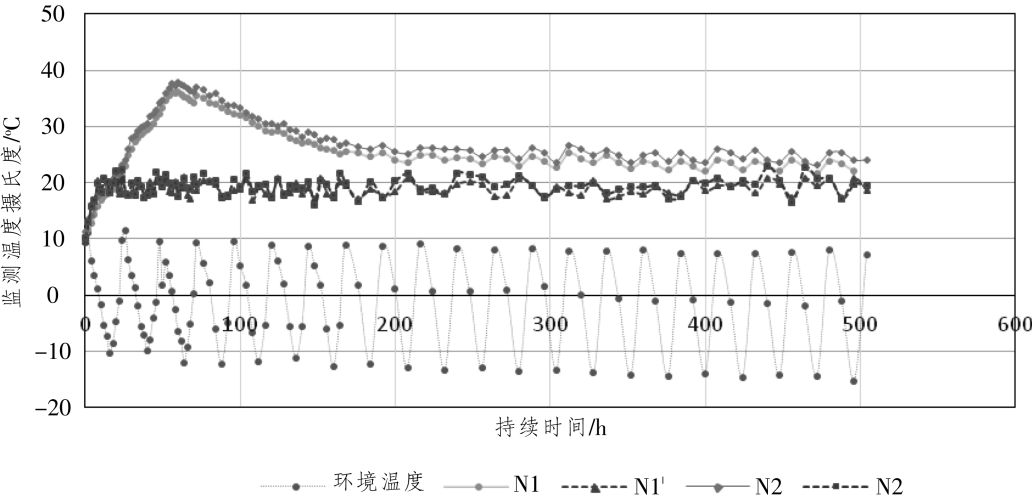


图 4 养护阶段温度—时间曲线图

差均在 20 ℃ 以上,但混凝土表面温度控制在 19 ℃ 左右,最大温差约为 19 ℃,平稳状态下温差约为 4.5 ℃,混凝土内部温度及表面温度受外界环境温度影响程度未随其变化而变化。测点 N1 和 N1'温度略高于测点 N2 和 N2'温度,说明混凝土内、表温度较中心部位散热微快,但温差较小,约为 1 ℃~2 ℃。

(3)在水化热及养护措施的共同作用下,混凝土内部温度在 56 h 后达到峰值,最高温度为 37.8 ℃,持续时间约为 8 h,并于 160 h 后趋于平稳状

态,内部水化热仍在缓慢释放,温度约为 24 ℃~26 ℃,与混凝土表面温差约为 3 ℃。

5 效果评价

结合温度监测数据分析及现场观察,所采用的冬季施工措施取得的效果如下:

(1)合理安排施工时段,降低了因外界环境温度过低引起混凝土降温速度加快的效应。

(2)原材料、设备保温和拌和水加热措施适用于高海拔、高寒地区混凝土施工,经济、合理、操作简单,可有效提高混凝土出机口温度。采

用合理化的资源配置、新建拌和站及运输设备保温措施,从缩短运输时间和降低温度散失速率两方面减少了运输过程中的热量损失,提高了混凝土入仓温度。

(3)混凝土浇筑工艺的优化,克服了主拱圈陡坡不易浇筑施工的难题,提高了浇筑效率,避免了混凝土在冷空气中长时间暴露,使其可尽快处于养护状态,确保了混凝土成长条件。

(4)通过包裹军用防雨布、棉被及可调式电热毯形成外隔内控封闭体系的“四合一”加热保温养护措施,将混凝土各部位受环境温度的影响降低到较小程度,较好地将混凝土内外温差控制在 20℃ 以内,对温度裂缝的控制起到了决定性作用。

(5)混凝土遵循水化放热成长规律,由于其为薄壁构件,水化热量较低、散失速度较快,受温控措施调节,控制了内外温差。

(6)通过现场观察,养护阶段混凝土表面湿润,塑料薄膜上可见均匀凝结水,从而可靠地阻止了混凝土水分因蒸发流失。

6 结 语

高海拔、高寒地区混凝土冬季施工的难度本身较大,而处于该地区的大型拱桥主拱圈现浇施工更是面临着施工工艺不够成熟、保温保湿不易

~~~~~

(上接第 49 页)

凝土浇筑完成后进行该焊缝的焊接。

3 结 语

安谷水电站下护板安装方案的优化,既保证了下护板本身安装质量的要求,又解决了二期混凝土浇筑问题,促进了施工进度,对大型轴流转桨式机组水轮机埋件安装具有一定的借鉴价值。

参考文献:

[1] 张秀萍.水电站机组座环安装[J].城市建设理论研究,2012,2(11):94.

~~~~~

中国水电五局公司承建的龙溪口航电枢纽工程“一期一枯”节点目标顺利完成

5 月 24 日,中国水电五局公司承建的龙溪口航电枢纽工程“一期一枯”节点目标顺利完成。岷江作为长江黄金水道的重要支流,是四川省“四项拓展、全域开放”发展战略的四川南向开放大通道,是成都经济区连接长江中下游地区的纽带,是国务院批准的“两横一纵两网十八线”国家高等级航道之一。岷江乐山至宜宾 164 km 间共规划老木孔、东风岩、犍为、龙溪口四个梯级枢纽。中国水电五局公司于 2018 年 2 月与其它四家单位组成 EPC 五星联合体中标龙溪口航电枢纽工程,施工范围包括左岸发电厂房、安装间、左岸接头坝、鱼道、厂房上下游护坡、左岸 13 孔泄洪闸、左、右岸筛分拌和系统、左右岸混凝土导墙、施工变电站、业主营地等项目。2019 年 10 月 8 日,中国水电五局公司所承建标段主体工程正式开工。

(中水五局 供稿)

控制等难题。两河口水电站密瓦段折多沟大桥主拱圈施工时段为 2019 年 9 月 26 日至 2019 年 12 月 4 日,其中 10 月 20 日至 12 月 4 日属于冬季施工,施工中通过采取较为经济、操作简便的冬季施工措施,确保了施工质量,强度满足要求,外表平整光滑,未发现裂缝,所取得的经验可供类似拱桥工程参考借鉴。

参考文献:

[1] 范 玮,张 磊.浅析混凝土工程冬季施工应注意的问题[J].山西建筑,2005,31(7):130—131.
[2] 陈庆忠.浅析混凝土冬季施工质量控制[J].南水北调与水利科技,2007,5(增刊):33—34.
[3] 王 翔.道路桥梁冬季施工中混凝土浇筑的施工技术[J].建筑工程技术与设计,2018,6(36):1 847.
[4] 张琛玮.山区桥梁混凝土冬季施工质量控制分析[J].交通世界(上旬刊),2019,26(1):196—197.
[5] 郝桂青,李健飞.铂电阻温度传感器实现线性测温方案的研究[J].自动化仪表,2011,32(11):84—86.

作者简介:

张朋岗(1987-),男,河北邢台人,工程师,从事水利水电及公路施工技术与管理工
王 伟(1986-),男,四川德阳人,工程师,从事水利水电及公路施工技术与管理工
刘 铁(1982-),男,四川成都人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

~~~~~

[2] 邱政宇.关于水电站机组安装的研究分析[J].城市建设理论研究,2014,4(15):126.  
[3] 朱贵忠.构皮滩水电站座环安装技术[J].水利水电施工,2013,36(2):79—83.  
[4] 夏汉鹏,陈 坤.龙桥水电站水轮发电机组安装工艺[J].湖北水力发电,2007,7(增 1):96—97.  
[5] 赵秋云.阿古阿米利普水电站机组安装特性[J].水利水电快报,1996,17(12),27—30.

作者简介:

张 龙(1986-),男,山西永济人,工程师,学士,从事机电设备安装工作。

(责任编辑:李燕辉)