

叶巴滩水电站 2017 年冬季施工保温要求与措施

范 雄 安

(华电金沙江上游水电开发有限公司,四川 成都 610000)

摘 要:叶巴滩坝址区独特的气候条件不利于拱坝混凝土的温控防裂,尤其是混凝土表面保温措施极为重要。为了获取不同保温措施条件下大体积混凝土的温控参数,确保后期拱坝大体积混凝土施工期防裂安全和所提表面保温措施的可行性和可靠性,有必要开展混凝土冬季浇筑保温措施效果试验、探索与总结。

关键词:混凝土;冬季施工;保温措施;控制指标;实际效果

中图分类号:TV741/748;U641.5;TU111.4+1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)01-0059-04

1 叶巴滩水电站气温特点

叶巴滩水电站位于四川与西藏界河金沙江上游河段上,系金沙江上游规划 13 个梯级水电站的第 7 级。电站枢纽建筑物由混凝土双曲拱坝、泄洪消能建筑物、引水发电建筑物等组成,大坝最大坝高 217.0 m。叶巴滩水电站坝址区海拔高度 2 700~2 900 m,属高寒高海拔地区,坝址区气候条件具有以下特点:

(1)海拔高,年平均气温低。坝址区多年平均气温约 9.2℃,全年有 4 个月的月平均气温低于 5℃,坝址区极端最低气温-23.5℃。

(2)气温日变幅极大。气温日变幅超过 15℃的全年有 263 d,日变幅超过 20℃的有 166 d。其中 1 月份气温最大日变幅达 27℃。

(3)气候干燥,降雨量远小于蒸发量。根据盖

玉简易气象站近 9 年的观测资料,坝址区多年平均年蒸发量为 1 200.2 mm(20 cm 蒸发皿),多年平均相对湿度 78%,多年平均年降水量仅 658 mm,历年最大日降水量 43.3 mm。

(4)寒潮频繁。根据近 3 年的气象资料分析,坝址区多年平均寒潮次数 8~10 次,寒潮最大降温幅度 10.9℃。

2 冬季施工的概念及温度实测情况

凡工程所在地的日平均气温连续 5 d 稳定在 5℃以下或最低气温连续 5 天稳定在-3℃以下时,即进入低温季节施工期。

经实测,叶巴滩水电站 2017 年 12 月 1 日至 2018 年 1 月 31 日坝区(海拔 2 750 m)各时间平均及最低气温见表 1,俄德西沟工区(海拔 3 000 m)各时间平均及最低气温见表 2。

表 1 坝区(海拔 2 750 m)各时间平均及最低气温统计表

气温	测温时间/温度/℃											
	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
平均气温	-2	-2.5	-9	-4.5	-4	-2.8	7	7	7.2	5.4	3.7	1
最低气温	-6	-7	-9	-7	-6	-4	-3	-1	3	2	-1	-5

表 2 俄德西沟工区(海拔 3 000 m)各时间平均及最低气温统计表

气温	测温时间/温度/℃											
	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
平均气温	-3	-4	-6	-7.3	-7	-5	-2	3	6.4	3.9	2.4	-1
最低气温	-4	-7	-9	-10	-8	-8	-7	-3	-2	1	-3	-4

3 冬季施工各项控制指标

3.1 低温季节及高温季节

叶巴滩水电站低温季节指 10 月至次年 3 月,

高温季节指 4 月至 9 月。

3.2 冬季混凝土施工

规范要求(建议注明规范名称和编号),除特殊需要,日平均气温在-20℃以下时不宜进行混

凝土施工。

3.3 混凝土允许受冻临界强度

混凝土获得一定强度后再受冻,保证混凝土结构不致造成破坏,后期强度仍能继续增长,最终强度可达 28d 龄期强度的 95% 以上。混凝土受冻以前具有的强度,称为混凝土允许受冻临界强度。

混凝土允许受冻临界强度是低温季节混凝土拆模、保温、检验混凝土质量的重要标准。根据规范规定,混凝土允许受冻临界强度值应满足下列要求:

(1) 大体积混凝土不低于 7.0 MPa 或成熟度不低于 $1\ 800\ ^\circ\text{C}\cdot\text{h}$;

(2) 非大体积混凝土和钢筋混凝土不应低于设计强度的 85%。

大体积混凝土,目前没有统一定义,其中用表面积系数 $M < 3$ ($M = \text{结构物表面积}/\text{结构物体积}$) 来标识大体积混凝土。工业和民用建筑物中,以 $M < 5$ 来划分大体积混凝土,这是与水工混凝土不同之处。

工业和民用建筑施工中,用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制的混凝土其抗压强度达到设计强度的 30% 前均不得受冻。

3.4 骨料预热

低温季节骨料不冻结,料堆中下部骨料温度不低于 $3\ ^\circ\text{C}$ 。

规范 9.2.3 条对原材料加热进行了说明,明确当日平均温度稳定 $-15\ ^\circ\text{C}$ 以下时,应加热骨料。这是国内北方和前苏联的经验,日平均气温高于 $-5\ ^\circ\text{C}$ 时应采用热水拌和的方法。骨料预热可以在料堆或储料仓内加热,亦可利用解冻室加热。热风可以用于直接加热,热水一般用于间接加热。

3.5 混凝土拌和

(1) 拌和混凝土前,应用热水和蒸汽冲洗拌合机,并将积水或冰水排除,并使拌合机机体处于正温状态。混凝土拌和时间比常温季节适当延长,延长时间由试验确定,一般延长 20%~25%。

(2) 提高混凝土的温度,首先考虑用热水拌和(在一般情况下,拌和用水温度每提高 $5\ ^\circ\text{C}$,混凝土约升温 $1\ ^\circ\text{C}$),当热水拌和尚不能满足要求时,再加热砂石骨料。水泥不得直接加热。

(3) 用热水拌和,水温一般不宜超过 $60\ ^\circ\text{C}$ 。有的资料介绍可用 $80\sim 100\ ^\circ\text{C}$ 拌和热水温度,本工程仍采用 $60\ ^\circ\text{C}$,原因是 $80\ ^\circ\text{C}$ 以上的热水可能会使水泥假凝。还有大体混凝土施工用水量很大,在工地加热水温一般可达到 $50\sim 60\ ^\circ\text{C}$,要加 $80\sim 100\ ^\circ\text{C}$ 热水比较困难。超过 $60\ ^\circ\text{C}$ 时,应改变拌和加料顺序,将骨料与水先拌和,然后加入水泥拌和,避免水泥假凝。

(4) 骨料最高温度不宜超过 $60\ ^\circ\text{C}$ 。若可以采用不加热的骨料时,则骨料中绝不能混有冰雪、表面不能结冰。

(5) 外加剂如何加热要根据产品性能来确定。

(6) 进入拌和楼的水泥温度不应高于 $60\ ^\circ\text{C}$ 。

3.6 运输设备的保温

(1) 混凝土罐保温。当日平均气温低于 $-10\ ^\circ\text{C}$ 时,混凝土罐需要保温。

(2) 自卸汽车保温。低温季节运送混凝土的大中型自卸车(装混凝土 $3\ \text{m}^3$ 以上)应加以保温。当气温比较低和运输距离较远时可以利用汽车废气进行保温,在车厢底板上加 $2\ \text{mm}$ 厚钢板,形成约 $50\ \text{mm}$ 高的空腔,通入废气加热,其温度可达 $130\sim 135\ ^\circ\text{C}$ 。为保证安全,应使车厢低的废气出口截面积比入口管子截面大 $4\sim 5$ 倍。

3.7 保温采暖温度要求

低温季度混凝土拌和与浇筑仓面各部位,一般均应处于正温状态。具体要求见表 3:

3.8 混凝土出机口温度

实际拌和过程中有热量的损失和拌和机体的温度传导损失等影响,混凝土出机口温度比理论拌和后温度要降低 $3\sim 4.5\ ^\circ\text{C}$,温度降低值参考表 4:

设计要求混凝土出机口温度应根据最高温度确定,低温季节出机口温度不低于 $10\ ^\circ\text{C}$ 。

3.9 混凝土运输过程温度损失

估算公式为:

$$t_u = a(t_0 - t_a)z$$

式中 t_u 为混凝土运输过程中的温度损失, $^\circ\text{C}$; t_0 为混凝土开始运输时的温度, $^\circ\text{C}$; t_a 为外界气温, $^\circ\text{C}$; Z 为运输时间, h ; a 为容器系数(采用吊罐时,水平运输和垂直运输时均取 0.15,敞口容器,包括自卸汽车和胶带机运输时取 0.2)。

表 3 混凝土拌合与浇筑仓面各部位保温温度要求参考表

序号	部位名称	采暖计算温度	序号	部位名称	采暖计算温度
(一)混凝土拌和与运输系统			7	空气压缩机房	15 ℃
1	骨料预热间	5—15 ℃	8	车房	10 ℃
2	拌和楼	10 ℃	9	工地试验室	16 ℃
	称量层		18 ℃	(二)混凝土浇筑	
3	合办、出料、进料层	10 ℃	1	准备工作仓面	5 ℃
4	外加剂间	16 ℃	2	清基与加热仓面	5 ℃
5	洗罐间	10 ℃	3	浇筑仓面	5 ℃
6	锅炉房	16 ℃	4	养护仓面	5 ℃
6	胶带输送机房	5 ℃			

表 4 混凝土拌和过程中的温度降低值

混凝土和气温间的温度差 /℃	15	20	25	30
混凝土温度降低值 /℃	3.0	3.5	4.0	4.5

3.10 混凝土入仓等温度损失

估算公式为：

$$t_j = 0.17(t_p - t_c)z$$

式中 t_j 为混凝土浇筑过程中的温度损失,℃; t_p 为混凝土入仓温度,℃; t_c 为外界或暖棚内气温,℃; Z 为平仓振捣到表面覆盖时间,h。

设计要求宜控制混凝土从出机口到仓面,入仓温度回升或损失在 1 ℃ 以内;宜控制混凝土从出机口至上层混凝土覆盖前的温度回升值或损失不超过 4 ℃。

3.11 混凝土浇筑温度

混凝土浇筑温度应根据满足最高温度确定,参考低温季节混凝土浇筑温度 6~10 ℃,高温季节不大于 14 ℃。

3.12 基岩与混凝土表层加热

在严寒条件下基岩或混凝土表面温度通常都为负温,在这些部位浇筑混凝土时,一般讲基岩或混凝土加温至正温,或以浇筑仓面边角表面温度达到正温为标准,以防止混凝土早期受冻。

设计要求低温季节基岩或老混凝土应加热至 3 ℃ 以上。

3.13 混凝土分层浇筑厚度要求

混凝土应采用分层连续的方法浇筑,浇筑分层厚度不得小于 20 cm。

设计要求导流洞进水塔混凝土浇筑分层厚度为 1.5~3 m 左右,上、下层浇筑间歇时间宜为 5~7 d,最长间歇期不超过 15 d。

3.14 混凝土拆模规定

低温季节混凝土模板一般不拆模,如果必须拆模,应按下列规定进行:

(1)非承重模板拆除时,混凝土强度必须大于允许受冻的临界强度或成熟度值,拆模和养护应满足温控防裂要求,应保证内外温差小于 20 ℃ 或 2~3 d 内混凝土表面温降小于 6 ℃。

(2)承重模板拆除经计算确定。

(3)避免在夜间和预期气温骤降时间内拆模。

3.15 气温骤降

指日平均气温在 2~3 d 内连续下降累计 6 ℃ 以上。

3.16 冬季施工混凝土养护温度要求

当天平均温度低于 5 ℃ 时,不需要养护。开始养护时的温度不得低于 5 ℃,细薄截面结构不得低于 10 ℃。

3.17 基坑中混凝土且有地下水时养护要求

对于基坑中的混凝土,当地下水位较高时可待顶面混凝土初凝后,采用放水淹没的方法养护,但当地下水位超出混凝土顶面的高度小于冰层厚度时,不得放水养护。

3.18 冬季施工温度检测要求

3.18.1 检测方法

(1)混凝土出机口温度:在拌和楼出料口取样测得的混凝土表面以下 10 cm 处的混凝土温度。

(2)混凝土浇筑温度:混凝土经过平仓振捣后,覆盖上层混凝土前,在距混凝土面 10 cm 深处的混凝土温度。

(3)混凝土最高温度:混凝土浇筑块测量的内部平均最高温度。

(4)混凝土表面温度:隧洞衬砌混凝土厚度较薄,对隧洞衬砌混凝土,混凝土表面以内 3 cm 处测

量的温度;对于其他大体积混凝土,混凝土表面以内 5 cm 处测量的温度。

3.18.2 检测频次

(1)水、外加剂及骨料的温度每 1 h 检测 1 次。

(2)混凝土出机口温度、运输过程中温度损失和混凝土浇筑温度,根据需要或每 2 h 检测 1 次。

(3)暖棚法施工时,暖棚内气温每 4 h 检测 1 次。

(4)采用蓄热法养护,在养护期间至少每 6 h 检测一次。

(5)掺防冻剂的混凝土在强度未达到混凝土允许受冻临界强度前,应每 2 h 检测 1 次,达到允许受冻强度以后,每 6h 检测 1 次。

(6)采用加热法养护混凝土时,在升温、降温期间每 1 h 检测 1 次,在恒温期间每 2 h 检测 1 次。

(7)大体积混凝土浇筑后三天内应加密观测温度变化,外部混凝土应每天观测最高、最低温度,内部混凝土 8 h 观测 1 次,其后宜 12 h 观测 1 次。

3.19 混凝土上下层温差

在间歇期超过 28 d 的混凝土面上继续浇筑混凝土时,上下层允许温差 $\leq 18^{\circ}\text{C}$ 。

3.20 混凝土内外温差

设计要求控制混凝土内外温差 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 。

3.21 冬季施工对制作试件要求

除应按规定制作标准试件外,还应根据养护、拆模、承受荷载的需要,增加与结构同条件养护的施工试件不少于 2 组。

4 冬季混凝土施工保温措施及效果

表 5 俄德西沟排水洞洞内保温温度实测统计表

测温时间/平均温度 / $^{\circ}\text{C}$											
0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
11	10.8	10.9	10.8	10.8	10.6	11	11.1	10.8	11	10.5	10.8

表 6 桥梁预制梁保温温度实测统计表

测温时间/平均温度 / $^{\circ}\text{C}$											
0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
8.2	8.5	8.5	8.6	9.0	9.1	9.7	10.3	10.4	10.7	10.6	10.6

4.2.3 导流洞底板混凝土浇筑保温情况

经实测,拌和水采用燃煤锅炉加热、混合后水温 $9\sim 20^{\circ}\text{C}$;砂石骨料采用地暖+拌和热水循环加热,温度 $4\sim 8^{\circ}\text{C}$;通过冷热水混合(热水温度

4.1 保温措施

2017 年,叶巴滩水电站针对前期工程主要采取了以下保温措施:

(1)桥梁、房建板梁柱等体积较小,或重要部位的混凝土结构采用搭设全封闭暖棚+加热蒸汽保温+白天太阳照射时间浇筑措施。

(2)路面、挡墙等大面积混凝土采用塑料薄膜+电热毯+棉被+白天太阳照射时间浇筑措施。

(3)洞内混凝土采用洞口、洞内分隔挂帘+浇筑仓位区段加热措施。

(4)砂石骨料采用封闭覆盖,保证骨料温度在 0°C 以上措施,对结冰部分提前剔除。导流洞砂石骨料采用了地暖措施。

(5)混凝土拌和系统采用加热水,保证出机口温度满足要求。

(6)混凝土运输罐车采用包裹棉被+缩短运距措施。

保温措施分别有:洞口挂帘保温、洞内分区段挂帘保温、洞内底板浇筑保温、预制梁暖棚蒸汽保温、骨料覆盖保温、拌和楼烧热水措施。

4.2 保温效果

4.2.1 俄德西沟洞内保温温度检测情况

经 2017 年 12 月 1 日—2018 年 1 月 31 日实测俄德西沟排水洞洞内保温温度满足规范要求,见表 5:

4.2.2 预制梁保温棚内温度检测情况

经 2017 年 12 月 1 日—2017 年 12 月 31 日实测预制梁保温棚内温度检测结果满足规范要求,见表 6:

40°C 左右),混凝土出机口温度 $9\sim 15^{\circ}\text{C}$;混凝土浇筑温度 $10\sim 18^{\circ}\text{C}$;导流洞洞内温度随气温变化,但变化量不明显,洞内温度在 $4\sim 9^{\circ}\text{C}$ 之间。

(下转第 67 页)

3.2.1 岩爆洞段开挖工序宜及时总结

岩爆洞段开挖采取短进尺,控制孔深范围 1.0~3.5m,周边光面爆破,并施作应力释放孔和应力解除爆破孔等。

3.2.2 需要及时调整施工组织设计

通过现场大量的试验,在不同部位、不同洞段,相关掌子面加固及超前支护+控制爆破和应力解除+锚网喷+系统支护或衬砌等措施根据岩爆类型分别使用。这样,既保证施工安全,也方便现场管理和保证施工进度。因此,应进行施工组织设计调整,在大量试验数据基础上,对岩爆洞段的开挖工序时间进行论证,重新评估工序工作内容,明确合理的预防时间与治理时间,方便工序管理。

4 结 语

中国与国际上正在建设的长大交通(公路、铁路)隧道,其要求也愈来愈高,挑战会更多。因环境要求不同、工程地质条件不同、洞室结构不同、施工组织管理方式不同,特长隧洞工程大流量涌水的施工处理和高地应力洞室工程施工对岩爆防

(上接第 62 页)

经监理独立取样检测,左岸导流洞 C₃₅ W₈ F₁₀₀ 底板混凝土 28d 抗压强度 2 组:最大值 41.1 MPa、最小值 39.0 MPa、平均值 40.1 MPa; C₄₀ W₈ F₁₀₀ 底板混凝土 28 d 抗压强度 5 组:最大值 42.3 MPa、最小值 40.2 MPa、平均值 40.8 MPa; C₂₅ W₈ F₁₀₀ 边顶拱混凝土 28 d 抗压强度 3 组:最大值 28.3 MPa、最小值 25.0 MPa、平均值 27.1 MPa。

右岸导流洞 C₄₀ W₈ F₁₀₀ 底板混凝土 28 d 抗压强度 5 组:最大值 42.3 MPa、最小值 41.1 MPa、平均 P 值 41.4 MPa; C₂₅ W₈ F₁₀₀ 边顶拱混凝土 28 d 抗压强度 4 组:最大值 32.7 MPa、最小值 25.3 MPa、平均值:28.6 MPa。

通过现场同条件与标养室件与不同龄期混凝土强度增长情况来看,3 d 标养强度达到设计强度值的 35%,同养强度达到设计强度值的 30%;7 d 标养强度达到设计强度值的 65%,同养强度达到设计强度值的 60%;14 d 标养强度达到设计强度值的 88%,同养强度达到设计强度值的 75%。

5 结 语

叶巴滩坝址区独特的气候条件不利于拱坝混

治,都会面临工程建设新的难题。探索特长隧洞开挖工序管理愈加重要。

特长隧洞开挖工序改善、效率提高仍然有空间,尤其是初期支护时间有较大弹性。目前中国电建集团贵阳院勘测设计研究院有限公司在特长隧洞施工监理管理和协调控制等方面积累一定经验,可为同行提供参考。

参考文献:

- [1] 《公路工程技术标准》(JTGB01-2014),中华人民共和国交通运输部发布,2015-01-01 实施。
- [2] 陈玉奇.锦屏水电工程超复杂地下洞室群施工监理[M].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [3] 《水电工程施工组织设计规范》(DL/T5397-2007),中国电力出版社,中华人民共和国发展和改革委员会发布,2008-06-01 实施。

作者简介:

马军林(1978-),男,甘肃通渭人,高级工程师,主要从事水利水电工程管理工作;

陈玉奇(1965-),男,贵州遵义人,教授级高工,中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司工程监理公司总工程师,主要从事地下工程地质与水文地质勘察、岩土工程施工及监理工作。

(责任编辑:卓政昌)

凝土的温控防裂,尤其是混凝土表面保温措施极为重要。为了获取不同保温措施条件下大体积混凝土的温控参数,确保后期拱坝大体积混凝土施工期防裂安全和所提表面保温措施的可行性和可靠性,有必要开展混凝土冬季浇筑保温措施效果试验、探索与总结。从叶巴滩水电站 2017 年冬季施工保温措施落实情况看,所施工混凝土质量经检测全部合格,没有出现受冻、低强等问题,为后续主体工程施工积累了一定经验。目前,大坝等主体工程刚开始施工,有关高寒、高海拔地区冬季施工保温措施的研究工作还有待于进一步深入。

参考文献:

- [1] 《水工混凝土施工规范》DL/T 5144-2015,中国电力出版社,国家能源局发布,2015 北京。
- [2] 《水工混凝土试验规程》DL/T 5150-2001,电力出版社,2002 北京。
- [3] 《水电工程施工组织设计规范》(DL/T5397-2007),中国电力出版社,中华人民共和国发展和改革委员会发布,2008-06-01 实施。

作者简介:

范雄安(1978-),男,广西贵港人,高级工程师,主要从事水利水电工程管理工作。

(责任编辑:卓政昌)