

仙居抽水蓄能电站地下厂房混凝土施工温度控制

林志旺，杨 葛

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川 成都 610066)

摘 要:仙居抽水蓄能电站安装 4 台单机容量为 37.5 MW 的立轴单级混流可逆式水轮发电机组,电站地下厂房长 176 m,宽 25 m,高 51.5 m。其中厂房结构混凝土分为尾水管层、蜗壳层、水轮机层、中间层、发电机层,厂房混凝土施工具有工程量大、工期紧、施工强度高、工序多、高温季节施工等特点。对施工过程中采取的温度控制措施进行了阐述,保证了厂房混凝土温度控制满足设计要求,所取得的经验可为类似工程提供参考。

关键词:仙居抽水蓄能电站;厂房;混凝土;温度控制

中图分类号:TV7;TV52;TV554;TV43 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)03-0055-03

Temperature Control of Concrete Construction at Underground Powerhouse of Xianju Pumped Storage Power Station

LIN Zhiwang, YANG Ge

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: Xianju Pumped Storage Power Station is equipped with 4 vertical shaft single—stage mixed flow reversible water turbine generators with a single unit capacity of 37.5mw. The underground powerhouse of the power station is 176m long, 25m wide and 51.5m high. The structural concrete of the powerhouse is divided into tailrace layer, volute layer, turbine layer, middle layer and generator layer. The concrete construction of the powerhouse is characterized by large quantities, tight construction period, high construction intensity, various working processes and construction in high temperature season and etc. The temperature control measures taken in the construction process are described, which ensures that the concrete temperature control of the powerhouse meets the design requirements. The experience obtained can provide reference for similar projects.

Key words: Xianju Pumped Storage Power Station; powerhouse; concrete; temperature control

1 概 述

仙居抽水蓄能电站位于浙江省仙居县湫山乡境内,属亚热带湿润季风区,四季变化明显,初夏季节阴雨连绵,进入梅雨期至盛夏受副热带高压控制,天气以晴热为主,同时受台风影响形成大暴雨而造成洪水灾害。据仙居气象站 1961~2004 年资料统计,其多年平均气温为 17.3℃,极端最高气温为 41.3℃(2003 年 7 月),极端最低气温为 -9.9℃(1980 年 2 月 5 日);据柏枝岙站 1959~1967、1973~1990 年 27 a 水温资料统计,多年平均水温为 19.1℃,多年平均各月平均水温在 10.4℃~28℃之间,历年最高水温为 33.6℃,出现在 1967 年;历年最低水温为 3.8℃,出现在 1961 年。

收稿日期:2020-04-23

仙居抽水蓄能电站地下建筑物主要包括主厂房、副厂房、安装场、主变洞、尾闸洞、厂内透平油罐室、母线洞、500 kV 电缆出线洞等。另外,厂区建筑物还包括地面开关站、GIS 室、继保楼、柴油机房、中控楼等。根据《大体积混凝土施工规范》(GB50496—2018),仙居水电站主厂房尾水管、蜗壳、机墩混凝土属于大体积混凝土,而大体积混凝土温度控制是关系到混凝土施工质量、施工速度和经济性的关键指标之一。根据招标文件中关于温度控制的指标和要求,施工中需采用合理的温度控制措施防止产生危害性裂缝,尽量减少表面裂缝对确保工程质量和安全至关重要。

根据《厂房技施结构设计总说明》要求,地下厂房中的尾水管、蜗壳、机墩混凝土入仓温度应控制在 22℃以内,浇筑时必须制定切实可行的温度

控制措施(方案),并在6、7、8三个月内进行浇筑,若无适当的温控措施,则不能在6、7、8三个月内浇筑。施工中应通过试验建立混凝土出机口温度与现场浇筑温度之间的关系并采取有效的措施减少混凝土运输中的温升。

根据施工总进度计划,大体积混凝土施工时段主要集中在6~10月,为保证大体积混凝土施工质量,需要采取有针对性的温度控制措施。

2 温度控制计算

(1)混凝土出机口温度。根据设计要求,混凝土入仓温度应控制在 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,则出机口温度应控制在 $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。为确保出机口温度能够低于 $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,采用冷水拌和并采用冰屑代替一部分拌和用水(冰屑在拌和过程中融解,可进一步降低混凝土出机口温度)。

在采取上述措施后,混凝土出机口温度可以控制在 $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。

(2)入仓温度计算。混凝土从拌和楼装入 9 m^3 搅拌运输车后,经厂外公路运输、进厂交通洞到厂房,卸入 7.5 m^3 吊罐,由桥机吊运到1#机组下落到仓面入仓。根据《水利水电工程施工手册》中的公式(8-4-4)计算得出入仓温度 $TBP=21+(27-21)(0.032+0.032+0.06)\approx 21.74(^{\circ}\text{C})<22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3)混凝土浇筑温度。根据《水利水电工程施工手册》中的公式(8-4-5)计算得出浇筑温度 $TP=21.74+0.003\times 150\times (23-21.74)\approx 22.31(^{\circ}\text{C})$ 。

(4)混凝土水化热温度估算。由于缺乏资料,不能进行详细的计算而只能进行估算。根据《水利水电工程施工手册》(2002版), 10 kg 水泥可以产生混凝土绝热温升 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。研究结果显示:二级配泵送混凝土C25用 282 kg 水泥,则混凝土的水化热温升最高温度为 $28.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(5)混凝土内外温差估算。混凝土内部最高温度由混凝土水化热温升和混凝土浇筑温度两大主要因素决定。估算混凝土内部最高温度可以简单地将两个温度相叠加,即 $28.2+22.31=50.51(^{\circ}\text{C})$ 为混凝土内部最高温度。这样计算的结果数值偏高,但对混凝土结构是偏安全的。

3 温度控制措施

3.1 控制混凝土入仓温度在 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内的措施

(1)控制混凝土出机口温度。根据设计要求,混凝土入仓温度应控制在 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,则出机口温度应控制在 $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。出机口温度计算

详见2(温度控制计算)。

①水泥罐、外加剂罐。搭设遮阳网以减少水泥罐在太阳光下的暴晒,在罐外围每 2 m 制作一个比罐直径大 0.4 m 的圆支架,用于搭设遮阳网;在水泥罐、遮阳网表面喷洒冷水以起到降温作用。

②骨料仓。设置遮阳棚,遮阳棚设置在骨料仓顶部,以减少骨料在太阳光下的暴晒;加大骨料堆积高度,保证骨料高度不低于 6 m ;通过地弄取料。

③输料皮带。搭盖遮阳棚,遮阳棚为半封闭状态,以避免骨料输送时在太阳光照射下的升温,输料皮带全长搭设遮阳棚。

④水。采用冷水与河水混合,拌和用水全部通过FWS-15管壳式冷凝器进入搅拌罐,在冷凝器内放置直径 $30\sim 50\text{ cm}$ 大小的冰块;在拌和用水内掺加碎冰屑(直径 5 mm 以下),将碎冰温度控制在 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,每 m^3 混凝土掺加 50 kg 碎冰以代替 50 kg 水。

⑤水泥。采用低热水泥;水泥罐提前存储水泥以降低水泥的自身温度(因水泥运到现场时温度较高,为降低使用时的温度,故提前存储水泥)。

⑥骨料存储仓。在骨料仓表面采用高压雾化水喷淋以降低骨料的温度。

(2) 控制混凝土入仓温度的措施。

①维护施工路线,派专人打扫拌和站至厂房的道路(约 4.2 km)并保证运输路线畅通、无堵塞,在保证安全的条件下提高运输速度,减少运输时间;

②中间不转运,拌和站装车运至厂房后直接通过皮带机及吊罐入仓;

③避开高温时段浇筑,安排在傍晚时开仓,并于第二天上午 $10:00$ 之前收仓;

④对运输罐车采取外裹帆布保温罩的方式进行保温;

⑤加强管理,各施工环节要配合紧密,配足人员和设备,加快入仓速度。根据现场的具体情况,布置1台皮带机和一台 20 t 桥机入仓,浇筑人员分为2组,每组6人,各自负责指定的区域。经计算,混凝土入仓温度为 $21.74\text{ }^{\circ}\text{C}$,满足混凝土入仓温度控制在 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内的要求。

3.2 控制混凝土内外温差不大于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

控制混凝土内外温差最有效的措施是降低混凝土入仓温度和提高混凝土表面温度两方面。

(1)控制混凝土水化热温升:采用低热水泥和低流态混凝土,采取皮带机和吊罐入仓,混凝土塌

落度为 7~9 cm。

(2) 降低混凝土的浇筑温度。① 控制混凝土出机口温度;② 控制混凝土入仓温度;③ 混凝土入仓后及时进行振捣,浇筑人员分为 2 组,每组 6 人,缩短铺料平仓振捣至上层混凝土覆盖前的时间,减少混凝土浇筑过程中温度的回升。根据试验资料,要求在 150 min 之内必须覆盖其上层混凝土。根据计算得知:在出机口温度为 20.35℃ 的条件下,其混凝土浇筑温度为 22.31℃。

(3) 加强混凝土表面的养护。混凝土浇筑完成后,在其表面先覆盖保温被、喷洒温水后在保温被上覆盖塑料薄膜,以起到保湿保温养护作用。温水的温度需根据混凝土内部测温计测得的温度减去 20°C 。温水采用直流式热水器加热,采用淋浴喷头喷洒,需要保证混凝土表面一直处于湿润状态。根据《水利水电工程施工手册》(2002 版),当混凝土顶面铺一层保温材料后,其混凝土表面温度比气温高 10°C ,因此,当洞内气温为 23°C 时,则混凝土表面温度为 33°C 。

(4) 加强混凝土浇筑过程中的温度监测。在混凝土浇筑过程中,派专人在拌和站监测气温、混凝土出机口温度并做坍落度试验,取样制作试块,观察混凝土的和易性,随时反映混凝土的拌和质量,如有质量问题需随时向监理人员报告。同时,在厂房施工现场测试气温、坍落度、入仓温度、浇

~~~~~

(上接第 29 页)

筑温度,建立气温、出机口温度、塌落度、入仓温度之间的相关关系。

在混凝土养护期间,一定要监测混凝土表面温度和混凝土内部温度,充分掌握混凝土内外温度变化情况。

## 4 结 语

仙居抽水蓄能电站混凝土施工高峰期正值夏季高温期,通过对混凝土原材料、混凝土的拌和、运输、浇筑、养护等工序采取相应的措施进行温度控制,达到了控制混凝土入仓温度的目的,保证了混凝土的浇筑质量,取得了较好的效果,节约了工程成本,经过三年多时间的发电运行,验证了厂房混凝土温度控制设计的可行性,其质量得到了实践的检验。

### 参考文献:

- [1] 全国水利水电施工技术信息网, 组编. 水利水电工程施工手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [2] 水利水电工程施工组织设计, SL303—2017[S].
- [3] 混凝土外加剂, GB8076—2008[S].
- [4] 用于水泥和混凝土中的粉煤灰, GB/T 1596—2017[S].
- [5] 大体积混凝土施工规范, GB50496—2018[S].

### 作者简介：

林志旺(1987-),男,湖南株洲人,工程师,学士,从事水利水电工程  
工程施工技术与管理工作;

杨 葛(1990-),男,湖北曾都人,工程师,学士,从事水利水电工程  
工程施工技术与管理工作。 (责任编辑:李燕辉)

—————  
(上接第 29 页)

表 2 渔子溪电站 4 号机组开机各部  
振动、摆度、温度统计表

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 上导摆度 / $\mu\text{m}$        | 128  |
| 下导摆度 / $\mu\text{m}$        | 139  |
| 水导摆度 / $\mu\text{m}$        | 104  |
| 上机架振动 / $\mu\text{m}$       | 34   |
| 下机架振动 / $\mu\text{m}$       | 22   |
| 顶盖振动 / $\mu\text{m}$        | 19   |
| 上导最高瓦温 / $^{\circ}\text{C}$ | 54.8 |
| 推力最高瓦温 / $^{\circ}\text{C}$ | 28.8 |
| 下导最高瓦温 / $^{\circ}\text{C}$ | 49.1 |
| 水导最高瓦温 / $^{\circ}\text{C}$ | 57.6 |

冷却结构,优化了机组结构,且省去了机组大修后开机试验过程中推力冷却器滤网清扫工作,节约了开机试验时间。除此之外,避免了机组运行过程中因滤网堵塞引起的推力瓦温高的缺陷,减少了机组运维工作量。

渔子溪电站 4 号水轮发电机改造后机组各部  
振动、摆度、温度均在国家标准范围内,改造质量

满足要求。渔子溪电站 4 号水轮发电机作为映秀湾电厂第一台改造发电机,其成功改造为映秀湾电厂另外 10 台机组发电机改造提供了宝贵经验,也为国内其他相似机组改造提供了参考。

### 参考文献:

[1] 电监会,关于吸取俄罗斯萨扬水电站事故教训进一步加强水电站安全监督管理的意见,2010年2号.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,水轮发电机组安装技术规范(GB/T8564—2003),2003.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,水轮发电机组基本技术条件(GB/T7894—2009),2009.

### 作者简介：

谈泰权(1991-),男,重庆奉节人,工程师,硕士研究生,从事水力机械技术与管理工作;

王昌林(1974-),男,四川华蓥人,高级工程师,学士,从事水力机械技术与管理工作;

秦泰松(1964-),男,四川崇州人,高级工程师,学士,从事水力机械技术与管理工作。

(责任编辑:卓政昌、吴永红)