

天台抽水蓄能电站岩壁吊车梁混凝土温度控制技术

樊明忠

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘要:阐述了浙江天台抽水蓄能电站地下厂房岩壁吊车梁混凝土施工过程中在现场通过对混凝土配合比进行优化、现场砂石骨料防护、延迟拆模时间、在岩壁吊车梁内部增设冷却管、降低混凝土入仓温度、降低混凝土坍落度等一系列控制及预防混凝土裂缝措施的实施,取得良好效果的过程。通过工程实践,总结出一套合理、可行的控制与防范措施,能够使混凝土温度及温度裂缝得到良好的控制,达到镜面混凝土效果。

关键词:天台抽水蓄能电站;地下厂房;岩壁吊车梁;温度控制;施工

中图分类号:TV741;TV52;TV7;TV51

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)增 2-0100-04

Temperature Control Technology of Rock-bolted Crane Girders in Tiantai Pumped Storage Project

FAN Mingzhong

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

Abstract: During the construction of rock-bolted crane girders concrete in the underground powerhouse of Tiantai Pumped Storage Project in Zhejiang Province, a series of measures to control and prevent concrete cracks have been taken, such as optimizing concrete mix ratio, protecting sand and aggregate on site, delaying mold removal time, adding cooling pipes inside the rock-anchored beams, reducing the temperature of concrete warehousing, and reducing the slump of concrete. Through the practice of this project, a set of reasonable and feasible control and prevention measures are summarized, which can well control the concrete temperature and cracks and achieve effect of mirror concrete.

Key words: Tiantai Pumped Storage Project; Underground powerhouse; Rock-bolted crane girders; Temperature control; Construction

1 概述

在水电站地下厂房岩壁吊车梁施工过程中经常会出现混凝土裂缝,而混凝土裂缝会影响到岩壁吊车梁整体结构的耐久性,已越来越引起专业人士的重视。岩壁吊车梁混凝土在其硬化期由于水泥释放的水化热导致混凝土的内部温度上升使混凝土表面发生拉应力;且因外界气温变化易引起混凝土表面产生拉应力,当混凝土表面拉应力大于混凝土抗裂能力时,混凝土表面即会产生表面裂缝^[1]。由于混凝土的内部温度变化较慢,而其表面温度变化又大,在混凝土浇筑完成后因养护不及时而易导致其表面干缩变形产生裂缝。笔者阐述了天台抽水蓄能电站地下厂房岩壁吊车梁混凝土施工过程中通过采取一系列温控措施,有效地控制混凝土表面裂缝产生的过程,所施工的混凝土

土外观质量良好。

2 地下厂房岩壁吊车梁施工

天台抽水蓄能电站地下厂房岩壁吊车梁位于该地下厂房上下游边墙位置,桩号为厂右 0+019.400~厂左 156.500,高程为 109.30~112.15 m。采用二级配混凝土,标号为 C30W8F50。岩壁吊车梁采取分段方式施工,分段长度 7~12 m 划分,上、下游两侧共划分了 31 个浇筑仓。吊顶支撑的分段长度为 29.5~43.5 m,划分为 10 个浇筑仓。混凝土浇筑完成后其模板不拆除,以确保在厂房开挖过程中岩壁吊车梁混凝土不会受到破坏,待厂房第 V 层开挖结束后再进行拆除。

为控制岩壁吊车梁混凝土水化热,项目部将混凝土坍落度控制在 100~120 mm。混凝土施工采用 25 t 吊车吊 1.0 m³ 立罐入仓。为提高岩壁吊车梁混凝土的表面光洁度,混凝土模板采用

收稿日期:2024-01-10

镜面模板,即木模板内衬 PE 板。

混凝土浇筑的时段为 12 月~次年 3 月,根据对往年气温的统计,12 月~次年 3 月多年的平均温度为:12 月份为 7.7℃,1 月份为 5.7℃,2 月份为 7.6℃,3 月份为 11.4℃。混凝土拌和的各项原材料温度基本与气温相同。考虑其偏差,将骨料及拌和水温度取 15℃,水泥和粉煤灰取 20℃。混凝土出机口温度的计算情况见表 1。

表 1 混凝土出机口温度计算表

项目	用量 /(kg·m ⁻³)	含水率 /%	含水量 /kg	比热 /kJ·(kg·℃) ⁻¹	综合系数 /kJ(m ³ ·℃) ⁻¹	进料温度 /℃	热量 /(kJ·m ⁻³)
G1	0	0.5	0	0.963	0.00	15	0.00
G2	0	0.5	0	0.963	0.00	15	0.00
G3	675	0.5	3.375	0.963	650.03	15	9 750.38
G4	675	0.5	3.375	0.963	650.03	15	9 750.38
S	700	5	35	0.963	674.10	15	10 111.50
C	280	0	0	0.796	222.88	20	4 457.60
F	90	0	0	0.796	71.64	20	1 432.80
WJ	2	100	2	4.187	8.37	15	125.61
W	140	100	96.25	4.187	403.00	15	6 044.98
搅拌热							1 500.00
合计	2 562		140		2 680.04		43 173.24
混凝土出机口温度 /℃							16.11

注:G1 为特大石,G2 为大石,G3 为中石,G4 为小石,S 为砂,C 为水泥,F 为粉煤灰,WJ 为外加剂,W 为水。

经计算得知出机口温度为 16.11℃,混凝土拌和满足设计要求。

3 温控措施

在混凝土施工过程中,所实施的温控措施是对混凝土裂缝进行控制的关键。项目部对配合比设计、控制拌和物温度、运输车辆保护、浇筑时间控制、通水冷却、洒水覆盖养护等环节作好了必要的工作,而且所采取的合理安排仓位、科学配置各项资源、加快入仓速度及加强混凝土表面保护等工作亦对混凝土温控起到了至关重要的作用。

3.1 混凝土配合比

(1)配合比设计。在混凝土强度、塌落度、耐久性及和易性满足设计要求的前提下,采取降低混凝土水灰比、减少单位用水量、提高粉煤灰掺量的措施,能够降低单位体积混凝土的水泥用量,降低水化热量,减少混凝土干缩^[2]。

(2)施工配合比。根据监理批复的配合比,在混凝土开仓前进行了砂石骨料含水率的测定,同时根据混凝土塌落度及其他相关要求调整了高效减水剂的掺量,减少了用水量,进而降低了水泥用量,达到了减少水化热、降低混凝土硬化期温升的目的。

3.2 降低混凝土施工期的温度

3.2.1 源头控制

(1)对拌和站料仓、上料皮带输送机采取封闭措施,防止阳光直射导致骨料温度上升;

(2)在拌和系统骨料仓内,布置了一台中央空调对砂石骨料进行预冷,并对料仓内的骨料采取喷雾降温^[3];

(3)高温情况下无法满足出机口混凝土温度要求时,采用在储水罐内加冰的方式对拌和用水进行降温。采用冰水进行混凝土拌和降低了混凝土出机口温度^[4];

(4)水泥需要根据施工进度提前购进并使其自然冷却;

(5)对拌和用水的水池增设了遮阳棚,用于盛外加剂的桶不得被阳光直晒。

3.2.2 过程控制

(1)对混凝土罐车的罐体采用遮阳布隔热以降低混凝土水平运输过程中的温升;

(2)合理安排混凝土仓位、布置好吊车停放位置以减少混凝土罐车的等待时间;

(3)加快混凝土入仓速度,对入仓混凝土及时进行平仓振捣;

(4)对混凝土运输车辆、吊罐、仓面、振捣棒等提前浇水冷却或采取有效的遮阳措施;

(5)将混凝土浇筑时间尽量安排在早晚、夜间和阴天,施工应避开白天高温时段;

(6)在外界温度较高时,对混凝土仓面采用洒水或喷雾降温。

3.3 降低混凝土温升

(1)混凝土浇筑完成 12 h 左右,开始对混凝土表面进行覆盖并洒水养护。混凝土拆模后一定要及时覆盖并洒水养护,以保持混凝土面湿润。

(2)对于岩壁吊车梁混凝土采取覆盖养护膜和土工布、洒水养护等措施进行养护,直至混凝土达到 28 d 龄期。

(3)通水冷却主要用于控制岩壁吊车梁混凝土内外温差和最高温度在设计允许的范围内。为了防止水管冷却时水温与混凝土温差过大,对冷却水水温、冷却速度、冷却时间均需进行控制。根据相关技术要求,在混凝土开始浇筑时即开始初期通水,通水时间一般为 14 d。其混凝土温度与水温之差不超过 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,冷却水温度不高于 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$,通水流量为 $1.5\sim 2.0\text{ m}^3/\text{h}$;冷却时,混凝土的日降温不应超过 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,对于冷却水的进出口方向应 24 h 交换一次。具体措施为:

①在岩壁吊车梁仓内埋设高密度聚乙烯冷却水管,其管外直径为 28 mm,壁厚 2 mm。冷却水管沿仓面长度方向水平埋设,其水平间距为 1.0 m,距离模板 50 cm;竖向共设两层冷却水管,其层间距为 1.5 m。进水口及出水口均布置在岩壁吊车梁顶部,其埋设要求为:水管采用全新聚乙烯管,水管不得有堵塞、裂口、凹陷等影响通水的情况出现,管两端垂直轴线切割平整,冷却水管用 8 号铁丝绑扎、固定在仓内的钢筋上^[5]。开仓前,对冷却水管进行通水测试,对漏水处采用接头连接后重新测试的方式并确保连接处不漏水。

②通水应在混凝土浇筑开仓后即刻进行。在满足混凝土温控指标的前提下,其水源可采用施工用水;在经生产性试验测定出施工用水无法满足温控要求时,采用通制冷水进行混凝土冷却。冷却水管立面与平面布置情况见图 1。

将冷却水的制冷设备布置在通风兼安全洞靠近副厂房侧,将系统水经制冷设备制冷后,由冷却水供水主管(DN100)和供水支管(DN50)供至浇筑仓号附近,再通过高密度聚乙烯冷却水管引入仓内。岩壁吊车梁混凝土浇筑完成后的前 3 d,采

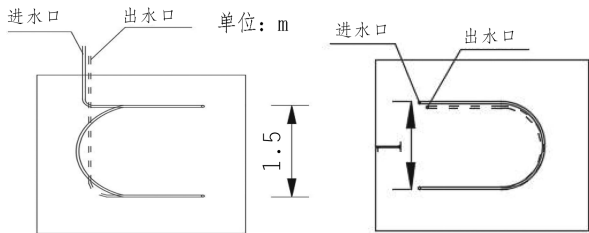


图 1 冷却水管立面与平面布置图

用大流量通水(其流量为 $25\sim 30\text{ L}/\text{min}$),冷却水管一般通 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 制冷水或施工用水(水温不超过 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$)。混凝土的温度与水温之差不超过 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,冷却时混凝土的日降温幅度不应超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。冷却通水的时间初定为 14 d,并根据混凝土的温度监测结果进行调整。通水冷却时每天需调换进出口方向并由温控小组指定专人作好详细的通水冷却温度记录,报温控小组与质量部备查。

③冷却通水结束后,对冷却水管采用回填灌浆的方式进行回填。回填前应保持出浆口畅通,确保浓浆充满管道,回填采用 0.5 : 1 的水泥浓浆从一端灌浆,待另一端出浆比重达到 0.5 : 1 时封堵出浆口,然后采用纯压式灌浆,压力为 0.3 MPa,直至不进浆时封堵进浆口,结束灌浆;待 24 h 后将外露管口割除。

3.4 混凝土表面的保护措施

对已浇筑的混凝土进行保温以缩小其内外温差。在其养护过程中,应通过温度监测调整其养护方式。混凝土养护过程中需要注意以下事项:

(1)岩壁吊车梁混凝土浇筑完成后一定要及时进行覆盖保温。模板拆除后对混凝土表面采用竹夹板进行保护,以避免厂房下部开挖时的爆破飞石砸坏混凝土表面。

(2)对龄期未满 28 d 的岩壁吊车梁混凝土采用塑料薄膜加土工布的形式进行表面保护,直至混凝土临期达到设计要求。

(3)根据温度监测情况做好温度监测表,定期总结温度变化规律,调整冷却水的通水时间及混凝土养护方式,以确保其内外温差不大于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(4)对混凝土罐车的罐体采用帆布罩包裹以减少其温度流失,尽量减少混凝土运输时间和等待卸料的时间。

(5)低温季节对洞口部位及时进行封闭遮挡,避免出现过堂风。

3.5 温度监测

实施温度监测以掌握原材料的温度情况、混凝土出机口温度、浇筑温度、混凝土内部温度变化等,以便随时实施温控调整措施。

(1)在拌和站现场、施工场地布置温度计进行气温观测并做好记录。

(2)试验室人员及现场质检员在混凝土浇筑过程中必须及时对混凝土原材料进行温度监测。对于原材料温度至少每 4 h 测量一次并做好记录,依此调整温控措施。

(3)在混凝土浇筑过程中,每 4 h 监测一次出机口温度和入仓温度。

(4)在岩壁吊车梁混凝土内埋设了 3 支温度计用于混凝土内部温度的观测。混凝土浇筑完成后立即开始记录。在开始浇筑的 3 d 内,每隔 4 h 监测一次,5 d 后每天至少测温 2 次。温度监测的内容主要包括仓内外气温、混凝土出机口温度、入仓温度、冷却水进出口温度、压力、流量及混凝土内部温度变化过程并做好记录。仓内温度计的埋设位置见图 2。

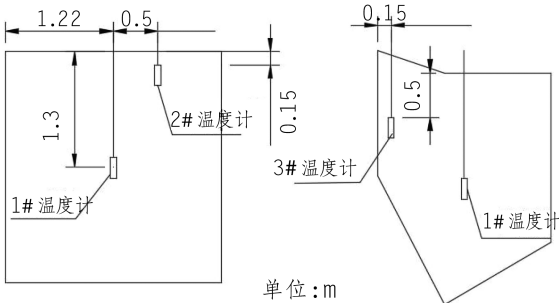


图 2 仓内温度计埋设位置示意图

(5)混凝土通水冷却后,观测每个浇筑段冷却水进、出口处的水温。在混凝土浇筑后 1~5 d 内,观测频率为 1 次/4 h,5 d 以后的观测频率为 1 次/12 h。根据对冷却水与混凝土内部温度的监测数据进行分析并调整冷却水的温度及流速。

3.6 所采取的温控技术及资源保证措施

(1)逐级进行技术交底,使施工作业人员明确各自的职责及技术要求;

(2)配置经验丰富的现场管理人员,成立专职温控管理小组,对混凝土的生产、运输、浇筑、养护和通水冷却进行全过程控制。同时配置性能先进、状态良好的施工设备和监测仪器,为温控管理

工作提供资源保证;

(3)对监测资料及时进行统计、整理和分析,并根据监测分析资料对各个环节的温控措施进行相应的调整,以达到岩壁吊车梁最终最高允许温度及内外温差条件的目的。根据岩壁吊车梁混凝土升温情况,及时调整进入冷却水管的水温和通水时间。超温 1℃时,应预警并采取适当的应对措施;超温 2℃时,立即启动快速反应机制,通知温控小组进行处置;

(4)当混凝土温控出现异常时,及时组织参建各方召开温控工作专题会及现场会,制定出切实可行的处理措施并对温控工作进行改进及总结。

4 结 语

天台抽水蓄能电站地下厂房岩壁吊车梁混凝土温度采取切实可行的控制措施,优化了混凝土配合比、对现场砂石骨料进行了预冷、延迟了拆模时间、在岩壁吊车梁内部增设了冷却管、降低了混凝土的入仓温度以及混凝土坍塌度等,有效地预防了混凝土裂缝的产生,使混凝土表面达到了镜面效果。施工过程中,项目部实行了全面细化管理,使施工质量得到了有效监督,取得了令人满意的结果,为天台抽水蓄能电站按期完成任务提供了保障。笔者希望以上采用的温控措施和工艺能够对类似岩壁吊车梁混凝土施工提供借鉴。

参考文献:

[1] 罗强,高芳胜.大体积混凝土温度场及裂缝控制[J].建材与装饰,2021,17(12):21-22.
[2] 王健.仙居抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁混凝土施工的温控措施[C].中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会,2014年抽水蓄能学术交流会论文集.2014:467-468.
[3] 王宝仲.索风营水电站岩锚梁混凝土温度裂缝与控制[J].贵州水力发电,2006,20(4):41-42.
[4] 赖兴海.大体积混凝土施工技术与温度控制剖析[J].散装水泥,2023,39(6):101-103.
[5] 宋建奎,杨海燕.岩锚梁工程混凝土施工[J].云南水力发电,2014,30(增刊 1):20-22,95.

作者简介:

樊明忠(1970-),男,青海西宁人,项目总工程师,副高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(编辑:李燕辉)