

辉长岩骨料大坝碾压混凝土导温系数试验研究

王崧美¹, 刘忠富¹, 夏广新², 罗敬寒², 龚云柱²

(1. 中水东北勘测设计研究有限责任公司, 吉林 长春 130061;
2. 华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 云南 迪庆 674608)

摘要: 辉长岩骨料用于碾压混凝土重力坝中没有工程经验可借鉴, 属于一种新材料和新技术, 有必要结合工程原材料开展碾压混凝土的导温系数研究。采用现场取样的方式, 对 TB 水电工程两种设计指标辉长岩骨料碾压混凝土的导温系数进行测试, 结果表明: 设计指标为 C₉₀20W8F100 和 C₉₀15W6F100 的碾压混凝土导温系数分别为 3.81×10^{-3} 、 $3.82 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$, 数值比较接近; 碾压混凝土的导温系数随养护龄期的增加而减小。

关键词: 碾压混凝土; 辉长岩骨料; 导温系数; TB 水电工程

中图分类号: TV431 文献标志码: A 文章编号: 1006-7647(2024)S1-0140-04

Experimental study on thermal diffusivity of gabbro aggregate roller compacted concrete//WANG Songmei¹, LIU Zhongfu¹, XIA Guangxin², LUO Jinghan², GONG Yunzhu² (1. China Water Northeast Investigation, Design and Research Co., Ltd, Changchun 130061, China; 2. Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

Abstract: There is no engineering experience to learn from the use of gabbro aggregate roller compacted concrete gravity dams, which is a new material and technology, so it is necessary to combine the engineering raw materials to carry out the research on the thermal diffusivity of roller compacted concrete. In this paper, the field sampling method is used to test the thermal diffusivity of two design indexes of crushed concrete in TB Hydropower Project, and the results show that: the thermal diffusivity of the roller compacted concrete with design indexes of C₉₀20W8F100 and C₉₀15W6F100 are 3.81×10^{-3} , $3.82 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$, respectively, and the values are close to each other; it was found that the thermal diffusivity of the roller compacted concrete decreased with the increase of the age of curing in the test

Key words: roller compacted concrete; gabbro aggregate; thermal diffusivity; TB Hydropower Project

近年来,碾压混凝土筑坝技术在我国得到广泛推广,到 2016 年已建、在建碾压混凝土坝 192 座,我国已成为世界上碾压混凝土坝建设速度最快、建成数量最多、筑坝经验最丰富、工艺创新最广的国家^[1]。在混凝土大坝工程中,裂缝问题一直是关注的重点,重力坝的裂缝多是由于温度应力引起的^[2]。为了有效控制裂缝问题,首先要了解坝体内部温度应力场分布,温度应力场受混凝土本身热学性能参数的影响,导温系数是其中非常重要的一项参数。混凝土导温系数是混凝土中某一点温度的扰动传递到另一点的速率量度,导温系数又称为热扩散系数^[3]。混凝土的热学性能是分析大体积混凝土内部温度、温度应力及温度变形情况和变化规律的重要依据。

目前对常态混凝土的导温系数研究较多,针对

碾压混凝土的研究相对较少。本文采用现场取样的方式,对 TB 水电工程两种设计指标碾压混凝土的导温系数进行测试。由于 TB 水电工程首次使用辉长岩加工的骨料,针对使用这类骨料的碾压混凝土导温系数研究在以往的研究中鲜有报道,对其研究具有重要意义。

1 工程概况

云南 TB 水电工程是澜沧江干流上游河段规划的第四个梯级水电站,其上游梯级为里底水电站,下游梯级为黄登水电站。TB 水电工程属一等大(1)型工程,装机容量 1 400 MW,采用碾压混凝土重力坝,坝顶高程 1 740.00 m,坝顶长 477.00 m,最大坝高 158.00 m。大坝碾压混凝土总量 201.7 万 m³,常态混凝土 25.66 万 m³。

作者简介:王崧美(1998—)男,助理工程师,硕士,主要从事水利水电工程质量检测工作。E-mail:songmeiw001@163.com

2 试验内容和方法

2.1 试验内容

本文采用现场取样的方式,按照 DL/T 5433—2009《水工碾压混凝土试验规程》成型养护试件,根据现场施工情况选取两种碾压混凝土设计指标 C₉₀15W6F100(三级配)和 C₉₀20W8F100(三级配)各进行两组导温系数测试,进行对比试验,每组两个试件,共成型 8 个试件。两种设计指标采用的碾压混凝土配合比如表 1 所示。

依据规范要求,自主设计了一种导温系数试件成型装置,装置主要由带凹槽的试件支架、直径 10 mm 高 300 mm 的铁杆以及内径 200 mm 高 400 mm 的圆柱形 PVC 试模三部分组成,如图 1、图 2 所示。试件成型时,先将铁杆插入试件支架中心预留孔,然后将 PVC 试模套入试件支架的凹槽中,接着将混凝土拌和物分 3 层装入,每装一层之后放上压重块振实至表面泛浆然后装下一层,直至最后一层。图 3 为成型养护后的试件。



图 1 试件支架和铁杆

2.2 试验设备

试验采用的导温系数测定设备为自主设计的一种简易装置,装置由加热桶、冷却桶两部分组成,能够按照规范实现导温系数的测定,其原理如图 4 所示。

2.3 试验过程

按照 DL/T 5433—2009《水工碾压混凝土试验规程》开展试验。具体步骤为:



图 2 试件成型装置



图 3 成型养护后的试件

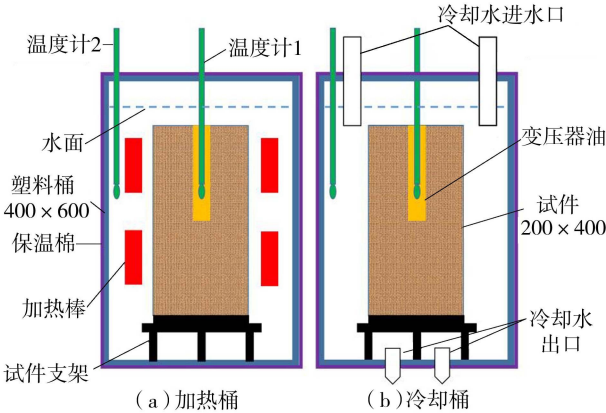


图 4 导温系数试验设备原理图(单位:mm)

步骤 1 试验前一天取出试件,在顶面靠近中心孔周围凿毛,用湿布抹净,向孔内注入变压器油,放入温度计,使测头浸没在油中,将孔口塞紧,用聚氨酯防水胶严密封口。

步骤 2 试验时将试件安放在试架上,连试架一起放入加热桶中,加水高出试件顶面 50 mm 以上,盖上桶盖,启动加热器,将桶中的水加热至 60℃,待

表 1 现场碾压混凝土使用的配合比

序号	试件编号	设计指标	水胶比	粉煤灰掺量/%	砂率/%	配合比参数/(kg/m ³)				
						用水量	水泥	粉煤灰	砂	骨料
1	DW1-1	C ₉₀ 20W8F100	0.48	55	32	90	84	103	737	1600
2	DW1-2	C ₉₀ 20W8F100	0.48	55	32	90	84	103	737	1600
3	DW2-1	C ₉₀ 15W6F100	0.53	60	33	90	68	102	765	1587
4	DW2-2	C ₉₀ 15W6F100	0.53	60	33	90	68	102	765	1587
5	DW3-1	C ₉₀ 15W6F100	0.53	60	33	90	68	102	765	1587
6	DW3-2	C ₉₀ 15W6F100	0.53	60	33	90	68	102	765	1587
7	DW4-1	C ₉₀ 20W8F100	0.48	55	32	90	84	103	737	1600
8	DW4-2	C ₉₀ 20W8F100	0.48	55	32	90	84	103	737	1600

注:骨料为三级配,VC 值为 3~5 s,JM-II Rec 型缓凝高效减水剂掺量为 1%,YQ-AE 型引气剂掺量为 0.22%。

试件中心温度与水温相同时停止加热。

步骤3 在冷却桶内注满水,并使其不断流动,以使水温均匀一致。

步骤4 将经加热并温度均匀一致的试件迅速连同试件支架一起放入冷却桶内,水面应高出试件顶面 50 mm 以上,测读试件中心温度和冷却水温,并开始计时,每隔 5 min 测读一次,直到试件中心温度与冷却水水温相差 3~6℃时停止。

图 5 和图 6 分别为试件加热和冷却过程。

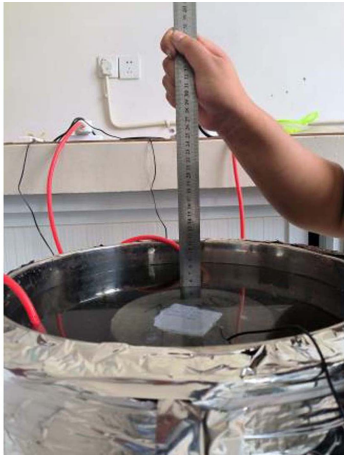


图 5 试件加热过程



图 6 试件冷却过程

3 试验结果与分析

3.1 原材料品质试验

为了更好地对试验结果进行分析验证,对试件成型采用的原材料进行了品质试验。①水泥采用云南华新水泥(迪庆)有限公司生产的 P·MH42.5 型水泥;②粉煤灰采用贵州盘江电投发电有限公司生产的 F 类Ⅱ级粉煤灰;③粗细骨料采用 TB 沟砂石系统生产的人工砂石骨料,母岩岩性为辉长岩;④减水剂采用江苏苏博特新材料股份有限公司生产的 JM-ⅡRcc 型缓凝高效减水剂,引气剂采用天津鑫永强混凝土外加剂有限公司生产的 YQ-AE 型引气剂,外加剂品质试验结果均满足相关规范要求。

3.2 导温系数试验结果

对试验数据进行处理,计算得到各组试件的导温系数,每组试验取 2 个试件测值的平均值作为该组试验结果。表 2 给出了两种设计指标 4 组导温系数试验的结果。从表 2 可以看出,两种设计指标的导温系数比较接近,据美国混凝土学会 207 委员会资料显示,导温系数很大程度上取决于骨料的种类,本文试验所用骨料均为母岩为辉长岩加工的人工骨料,这可能是导温系数比较接近的一个重要原因。

表 2 导温系数试验结果

设计指标	样品编号	养护龄期/d	导温系数/ ($10^{-3}\text{m}^2/\text{h}$)	平均值/ ($10^{-3}\text{m}^2/\text{h}$)
$C_{90}20\text{W}8\text{F}100$	DW1-1	20	3.87	3.87
	DW1-2	20	3.86	
$C_{90}20\text{W}8\text{F}100$	DW4-1	26	3.78	3.75
	DW4-2	26	3.72	
$C_{90}15\text{W}6\text{F}100$	DW2-1	21	3.73	3.89
	DW2-2	21	4.05	
$C_{90}15\text{W}6\text{F}100$	DW3-1	26	3.94	3.74
	DW3-2	26	3.53	

各组试件导温系数的变化规律如图 7 所示。

从图 7 可以看出,各组试验试件中心温度均随冷却时间的增加而降低,前 60 min 降低得快,到 80 min 以后降低幅度逐渐趋于平缓;各组试验冷却水温在 20~25℃,基本上不随冷却时间的变化而变化。同时,可以看到一组试验中两个试件中心温度变化曲线重合性较好,说明采用的试验设备性能稳定可靠,数据准确可靠,试验结果合理。

另一方面,还可以发现同一设计指标的两组试验结果存在差异,分析其原因,这可能是养护龄期不同导致的。设计指标为 $C_{90}20\text{W}8\text{F}100$ 的两组试验试件的养护龄期分别为 20 d 和 26 d,其中养护龄期为 20 d 的导温系数为 $3.87\times 10^{-3}\text{m}^2/\text{h}$,高于养护龄期为 26 d 的导温系数 $3.75\times 10^{-3}\text{m}^2/\text{h}$;设计指标为 $C_{90}15\text{W}6\text{F}100$ 的两组试验试件的养护龄期分别为 21 d 和 26 d,其中养护龄期为 21 d 的导温系数为 $3.89\times 10^{-3}\text{m}^2/\text{h}$,高于养护龄期为 26 d 的导温系数 $3.74\times 10^{-3}\text{m}^2/\text{h}$,由此可推断试验中碾压混凝土的导温系数随养护龄期的增加而减小,但该结论是否具有普遍性仍需开展进一步试验证明。

图 8 为本文试验结果和几个不同工程的碾压混凝土导温系数测试数据^[4],可以看出,不同工程碾压混凝土的导温系数存在差异,其取值范围大致在 $3.3\times 10^{-3}\sim 5.4\times 10^{-3}\text{m}^2/\text{h}$ 之间,平均为 $4.4\times 10^{-3}\text{m}^2/\text{h}$,离散系数为 0.158。TB 水电工程辉长岩骨料碾压混凝土的导温系数较景洪水电站、沙溪口水电站、上静水电站的导温系数要小,可能是由于

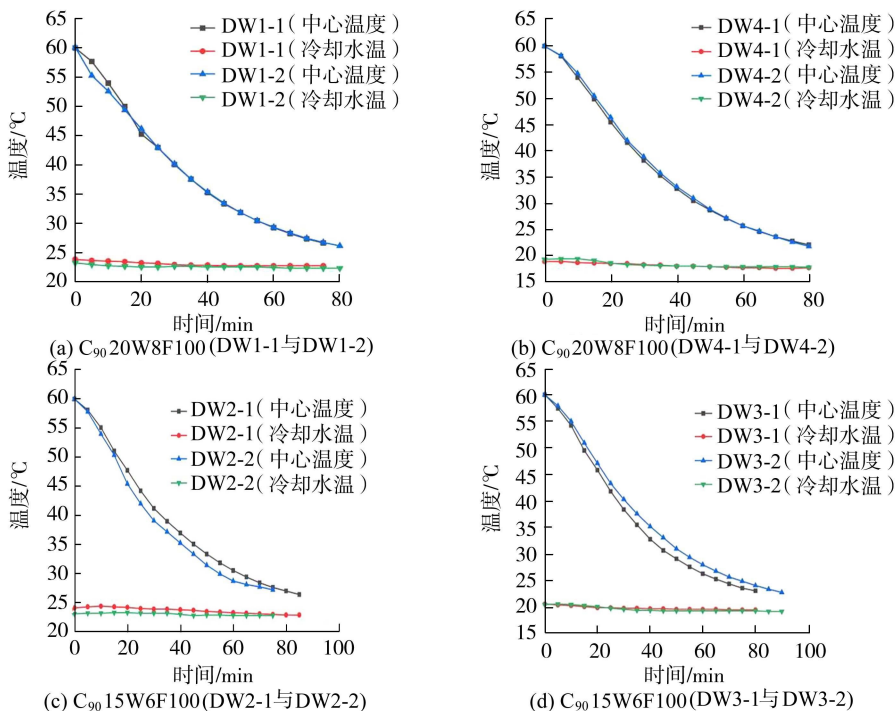


图 7 导温系数测定过程中温度随冷却时间的变化曲线

辉长岩骨料自身特性造成的。

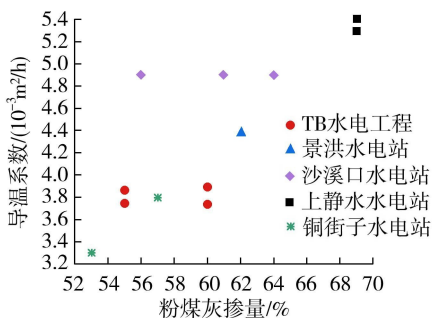


图 8 不同工程碾压混凝土导温系数测试结果

4 结 论

a. 试验结果分析表明,自主设计的混凝土导温系数测试装置基本符合规范要求,设备稳定可靠,测试数据准确可靠。

b. 设计指标为 $C_{90}20W8F100$ 的两组试验测得的导温系数分别为 3.87×10^{-3} 、 $3.75 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$,平均值为 $3.81 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$;设计指标为 $C_{90}15W6F100$ 的两组试验测得的导温系数分别为 3.89×10^{-3} 、 $3.74 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$,平均值为 $3.82 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$,两种设计指标的碾压混凝土导温系数比较接近。

c. 试验发现,碾压混凝土的导温系数随养护龄期的增加而减小,但结论是否具有普遍性仍需开展大量试验证明。

d. TB 水电工程辉长岩骨料碾压混凝土的导温系数为 $3.81 \times 10^{-3} \sim 3.82 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$,较景洪水电站、沙溪口水电站、上静水水电站的导温系数要小,可能是由于辉长岩骨料自身特性造成的。

参考文献:

- [1] 刘六宴,温丽萍. 中国碾压混凝土坝统计分析[J]. 水利建设与管理, 2017, 37 (1): 6-11. (LIU Liuyan, WEN Liping. Statistical analysis on RCC dam in China [J]. Water Resources Development & Management, 2017, 37 (1): 6-11. (in Chinese))
- [2] 李芬花. 水工建筑物 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [3] 孙阳,姜宗科,朱为勇. 大掺量粉煤灰混凝土导温系数试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2014 (10): 108-112. (SUN Yang, LOU Zongke, ZHU Weiyong. Experimental research on the thermal diffusivity of high content fly-ash concrete [J]. China Rural Water and Hydropower, 2014 (10): 108-112. (in Chinese))
- [4] 方坤河,刘六宴. 碾压混凝土的热学特性研究[J]. 湖北水力发电, 1995 (2): 28-35. (FANG Kunhe, LIU Liuyan, Thermal characterization of compacted concrete [J], Hydropower and New Energy, 1995 (2): 28-35. (in Chinese))

(收稿日期: 2024 - 09 - 28 编辑: 熊水斌)