

## 高地温隧洞对喷射混凝土性能影响的研究

李向辉 汪健 段宇

(河北工程大学 水电学院 河北 邯郸 056038)

**摘要:** 针对奇热哈塔尔水电站引水隧洞在不同洞段温度和湿度相差较大,对喷射混凝土的性能产生不同程度的影响的问题,通过模拟试验方法,模拟现场不同温湿度环境,采用浇筑法混凝土和喷射法混凝土两种对比实验,对试块养护、试压,并从微观上分析温湿度对混凝土试块的影响,高温环境养护的试块可以提高混凝土的前期强度,同时也能促进混凝土内部的水化反应。

**关键词:** 高地温; 性能; 抗压强度; 水化反应

中图分类号: TV43

文献标识码: A

### Research on the effects of high temperature tunnel of sprayed concrete performance

LI Xiang-hui, WANG Jian, DUAN Yu

(College of Mechanical Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** There are very much difference between temperature and humidity of the Qire Hataer hydro-power station diversion tunnel in different hole, which has different degrees of influence on the performance of the sprayed concrete. Through the simulation test method, this paper simulated field in different temperature and humidity environment, the blocks were maintained and tested, and analysis of the influence of temperature and humidity on concrete block was analyzed from the microscopic aspect by using the methods of casting concrete and jet concrete experiment. Finally, it is concluded that the environment of high temperature curing can improve the early strength of concrete of test block, but also can promote the hydration reaction inside the concrete.

**Key words:** high temperature; performance; compressive strength; hydration reaction

近几十年,随着水利地下工程快速的发展,尤其在水工隧洞的建设中,开挖深度在不断增加,这就出现了高温地热水的问题。尤其在开挖深度较大的隧洞中,出现了严重的高地温现象,这对混凝土衬砌强度产生较大的影响。许多学者针对这一现象对混凝土进行了多层次的研究。何锦云、王陆陆<sup>[1]</sup>通过C40混凝土和易性和抗压强度研究,总结出砂率和粉煤灰掺量对混凝土强度的影响;刘志勇<sup>[2]</sup>研究了高温高湿环境对喷射混凝土抗压强度的影响;资伟<sup>[3]</sup>通过不同的温度环境和混凝土加热时间的实验,利用理论结果和实验结果相对比的方法,分析出温度对混凝土的力学性能的影响;张岩、李宁等<sup>[4]</sup>根据布伦口-公格尔水电站

引水隧洞存在的高温差环境,对混凝土衬砌进行劈拉实验,最终提出高温差环境下关于混凝土衬砌的劈拉强度的公式。本文采用喷射和浇筑混凝土试块的方式,在不同温湿度环境下养护混凝土,通过混凝土抗压实验和XRD检测来研究不同温湿度对混凝土强度的影响。

### 1 工程概括

齐热哈塔尔水电站工程位于新疆维吾尔自治区喀什市塔什库尔干塔吉克自治县境内的塔什库尔干河上。工程区域属于大陆性高原气候,只有冷、暖两季,冷季寒冷而长,暖季温和而短。气温的年、日变化显著,日温差高达20℃左右,有“早

表1 混凝土配合比

Tab.1 Concrete mix ratio

水灰比	粉煤灰/%	材料用量 (kg/m <sup>3</sup> )							
		水	水泥	粉煤灰	砂	小石	减水剂/0.7%	速凝剂/4%	纤维
0.42	20	196	373	93	895	860	3.27	18.67	1.0

穿皮衣午穿纱,围着火炉吃西瓜”的真实描述。

引水发电洞Ⅱ标段为桩号4+500.00~15+660.86,洞长11160.86m,隧洞洞径4.7m。尤其在3号和4号洞的洞内温度较高,岩壁温度最高可达100℃以上,由于洞内不断通风降温,空气温度也有60℃左右,在部分洞段还有地热水的出现,可谓典型的高温地热水隧洞。不同的桩号所对应的岩壁和空气温度变化如图1所示。

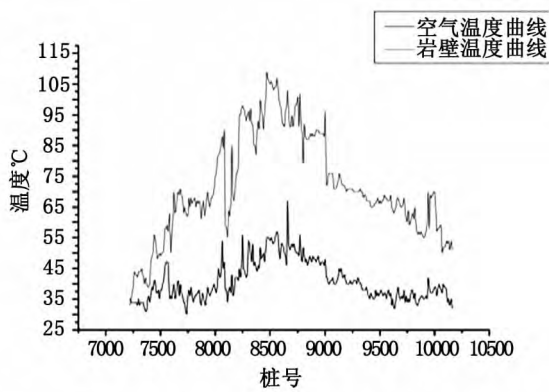


图1 岩壁温度和空气温度变化曲线图

Fig.1 The variation graph of wall temperature and the air temperature

## 2 混凝土的材料的选用和用量

**水泥。**喷射混凝土要优先选用新鲜的无结块的普通硅酸盐水泥,标号不宜低于32.5级。也可采用新鲜的,标号不低于42.5级的矿渣水泥。本实验采用的是邯郸太行山水泥,42.5级的普通硅酸盐水泥。

**粉煤灰。**Ⅱ级以上优质粉煤灰。它可以提高喷射混凝土的粘聚性、密实度和强度。

**细骨料。**应优先选用天然砂,也可采用人工砂。砂的细度模数宜为2.5~3.0,含水率宜为5%~7%,本实验采用的是标准砂,砂的粒径0.25~0.5mm。

**粗骨料。**优先选用卵石,也可采用碎石。砂石料的质量必须满足喷射混凝土施工规范的有关规定,最大粒径为15mm。本实验采用碎石,其粒径在5~15mm之间。

**减水剂。**本实验采用萘系高效减水剂,其对水泥粒子有分散作用,改善混凝土的和易性,全面

提高砼混凝土的物理力学性能。对混凝土有显著的早强、增强效果,其强度提高幅度为20%~60%。

**速凝剂。**本实验使用的是铝酸钠类速凝剂,它一般应用到湿喷和干喷混凝土中,效果显著。

**纤维。**采用是聚丙烯纤维。

喷射混凝土配合比见表1。

## 3 试验方案

根据隧洞的温湿度数据,选取特殊的四种工况进行研究,即:低温(30℃)高湿(80%)、高温(60℃)低湿(35%)、低温低湿(温度30℃,湿度35%)、高温高湿(温度38℃,湿度80%)。依次编组为1、2、3、4。

## 4 试验结果及分析

### 4.1 抗压强度结果及分析

通过7d的养护后,进行抗压试验,抗压数据见表2。

表2 抗压实验结果

Tab.2 Compression test results

组号	浇筑法试块	喷射法试块
	7d 抗压强度 /MPa	7d 抗压强度 /MPa
1	27.88	14.04
2	28.29	19.13
3	26.10	13.33
4	23.37	13.05

通过表2可以看出,在4组实验中,在喷射法的试块中,抗压强度最大的是高温低湿环境下养护的试块,其他三组抗压强度基本接近;在浇筑法的试块中,抗压强度最大的同样也是高温低湿环境下养护的试块,低温高湿环境下的试块抗压强度基本与其接近,标准养护的试块强度最低,这反映出:高温条件下,促进了混凝土内部的水化反应,使试块的强度在7d内得到很好的提高。这也证明了文献[5]中的结论:温度越高,混凝土的早期强度越高。

比较喷射法试块和浇筑法试块的抗压强度发

现 喷射法试块的抗压强度接近浇筑法试块抗压强度的一半,通过抗压后比较两种试块的断面情况,发现喷射法的试块内部存在大量的空隙,密实性远远低于浇筑法的试块。这也进一步说明喷射法的混凝土抗压强度低于浇筑法的混凝土强度。

#### 4.2 XRD 测试结果及分析

图 2 给出了 30 °C 时高湿条件下的浇筑法试块和喷射法试块的 XRD 图谱。

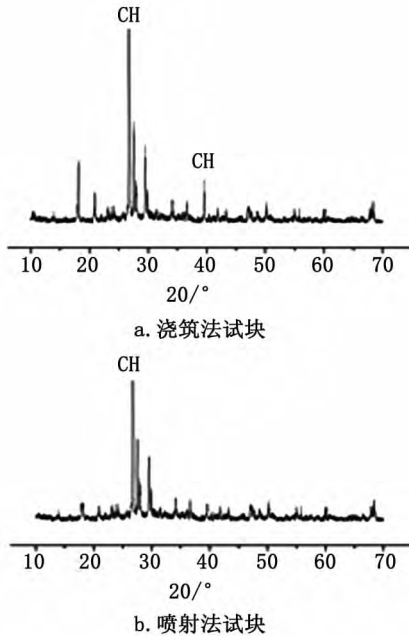


图2 30°C高湿条件下XRD图谱  
Fig.2 XRD spectrum of block in condition of 30°C and humidity

从图 2 中可以看出喷射法试块的氢氧化钙 (CH) 的最大峰值低于浇筑法的 CH 峰值,说明 CH 含量相对较少;水泥水化反应是硅酸三钙、硅酸二钙与水产生化学反应的一个过程,主要生成 CH 晶体,所以通过分析水泥水化反应后 CH 晶体的含量就可以得知水泥水化反应进行的程度<sup>[6-7]</sup>。在 a 图中发现,相对于 b 图 CH 峰值较多,说明水泥水化反应比较充分。

图 3 给出了 38 °C 时高湿环境下的浇筑法试块和喷射法试块的 XRD 图谱。

从图 3 中可以看出,浇筑法试块和喷射法试块的 CH 最大峰值基本相同,但是从整体而言,还是浇筑的试块水化反应比较充分。对比图 2 和图 3 可以看出,图 2 中的峰值比图 3 中的峰值多,但不是很明显,说明高湿环境下,温度相差不大时,几乎不会影响水化反应,从另一方面说明:在 30°C

高湿条件和 38 °C 高湿条件养护的混凝土试块的抗压强度基本接近。

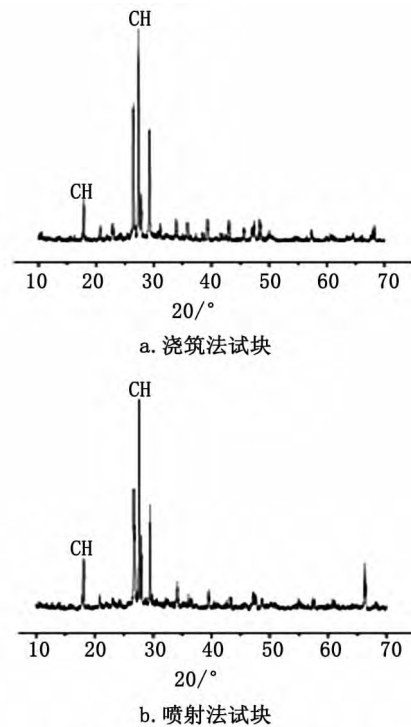


图3 38°C高湿条件下XRD图谱  
Fig.3 XRD spectrum of block in condition of 38°C and humidity

图 4 给出了 30 °C 时低湿环境下的浇筑法试块和喷射法试块的 XRD 图谱。

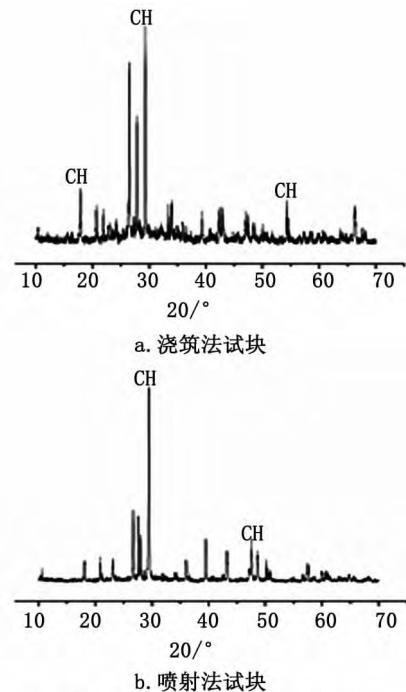


图4 30°C低湿条件下XRD图谱  
Fig.4 XRD spectrum of block in condition of 30°C and humidity

从图4中可以看出,浇筑试块的曲线波动远远比喷射法试块的曲线波动要密,说明浇筑试块水化反应是比较充分的;和图2相比发现,当湿度降低后,喷射法试块的水化反应明显降低,但是浇筑试块的水化反应几乎没太大影响,说明湿度较高的环境,给水化反应提供了充足的水,保证了水化反应良好的进行。

图5给出了60℃时低湿环境下的浇筑法试块和喷射法试块的XRD图谱。

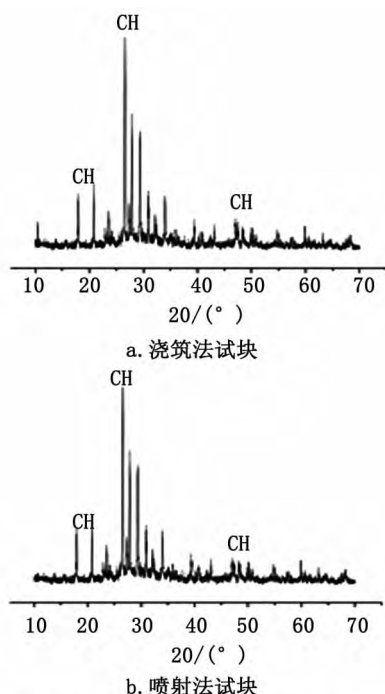


图5 60℃低湿条件下XRD图谱

Fig.5 XRD spectrum of block in condition of 30℃ and humidity

从图5中可以看出,浇筑试块的CH晶体含量比喷射混凝土的CH晶体的含量多很多,说明浇筑的试块的水化反应更充分;和图3相比较发现,60℃环境下的CH晶体含量更高,进一步证明了文献[8]的结论:随着温度的升高,水泥的水化反应

程度越高,从而在短期内迅速提高混凝土的强度。

## 5 结论

在高湿环境低温范围内,温度的变化几乎不会影响混凝土内部的水化反应,它们的抗压强度基本接近,但是当降低湿度后,混凝土的水化反应也随着降低,降低幅度并不是很大,在降低到一定湿度情况下,对混凝土强度的影响并不是很大。当在低湿条件下,提供温度则会加快混凝土内部的水化反应,同时也能在短期内提高混凝土的强度。由于选择的是隧洞部分洞段的温湿度环境进行研究的,有一定局限性,并不影响对结果的研究。

## 参考文献:

- [1]何锦云,王陆陆. C40 特细砂混凝土和易性和抗压强度研究[J]. 河北工程大学:自然科学版,2012,29(3):1-4.
- [2]刘志勇. 高温高湿环境中喷射混凝土材料配方试验研究[J]. 中西部科技,2008,7(5):1-3
- [3]资伟. 高温作用后混凝土结构力学性能及耐久性能研究[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [4]张岩,李宁,张浩博,等. 温差影响下水工隧洞喷层结构的早期劈拉强度试验研究[J]. 水利发电学报,2014,33(2):221-224.
- [5]张子明,周红军,赵吉坤. 温度对混凝土强度的影响[J]. 河海大学学报,2004,6(32):676
- [6]贾艳涛. 矿渣和粉煤灰水泥基材料的水化机理研究[D]. 南京:东南大学,2005.
- [7]黄颖,许永吉. 预应力混凝土连续梁桥支座更换及梁体复位施工监控研究[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,2013,26(6):68-73.
- [8]汲江涛. 高岩温隧道衬砌混凝土力学性能的研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2013.

(责任编辑 刘存英)