

# 浅谈混凝土抗渗等级、渗透系数及 相对渗透系数

高宏志

中国水电基础局有限公司,天津 301700

**【摘要】**在混凝土工程中,混凝土的渗透性能是其重要控制指标,常根据混凝土的抗渗等级、渗透系数等室内试验参数对混凝土渗透性能进行评价。本文对混凝土抗渗等级、渗透系数及相对渗透系数三个室内试验参数进行论述说明,以便能更好的理解和掌握混凝土各渗透性能参数的含义和之间的关系。

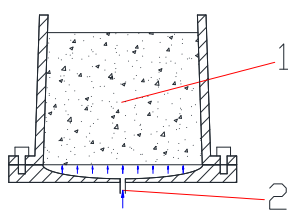
**【关键词】**混凝土;抗渗等级;渗透系数;相对渗透系数

## 前言

在混凝土工程中,混凝土的渗透性能是其重要控制指标,常根据混凝土的抗渗等级、渗透系数等室内试验参数对混凝土渗透性能进行评价。本文对混凝土抗渗等级、渗透系数及相对渗透系数三个室内试验参数进行论述说明,以便能更好的理解和掌握混凝土各渗透性能参数的含义和之间的关系。

## 1.混凝土抗渗等级试验

以《水工混凝土试验规程》SL352-2006为例,对于普通混凝土抗渗等级试验简述如下:将6个抗渗试块(上口 $\phi$ 175mm $\times$ 下口 $\phi$ 185mm $\times$ 高150mm的截头圆锥体)侧面密封后,安装在抗渗仪上(见图1),试验时水从下口渗入,水压从0.1MPa开始,每隔8h增加0.1MPa水压,当6个试件中有3个试件表面出现渗水时,或加至规定压力(设计抗渗等级所对应的压力),在8h内6个试件中表面渗水试件少于3个时,即可停止试验,并记下此时水压力。



1-抗渗试件; 2-进水口

图1: 抗渗等级试验示意图

混凝土抗渗等级,以每组6个试件中2个出现渗水时的最大水压力表示,抗渗等级按公式为:

$$W = 10H - 1$$

式中, W—混凝土抗渗等级; H—6个试件中有2个渗水时

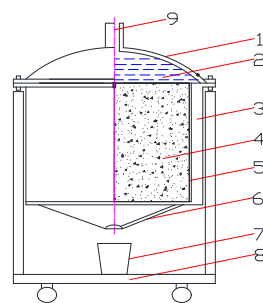
的水压力,MPa;

若压力加至规定数值,在8h内,6个试件中表面渗水的试件少于2个,则试件的抗渗等级大于规定值。例如,1MPa试验压力,加压8h,出现1个(或0个)试件表面渗水,则试件抗渗等级为 $W > 10 \times 1 - 1 = 9$ ,即 $W > 9$ ;若出现2个试件表面渗水,则 $W = 9$ 。

## 2 混凝土渗透系数试验

### 2.1 普通混凝土渗透系数试验

以《水工混凝土试验规程》SL352-2006中全级配混凝土渗透系数试验为例。渗透系数测定仪器由水压稳定系统和试件箱密封容器两部分组成。水压稳定系统供给试件箱的额定水压力为8~10MPa,并有分支接口,将压力水分流到各个试件箱容器。试件箱容器下设有收集和测量通过试件渗出水量的容器(见图2)。该试验试模尺寸为 $\phi$ 450mm $\times$ 450mm或 $\phi$ 300mm $\times$ 300mm圆柱体试模各3个。试验时应注意,将试件放在垫好透水板的试验容器内,要在试件与模壁之间的空间填入不透水材料(如沥青),容器顶盖安装时也要保证密封效果良好。



1-缸盖; 2-水; 3-缸筒; 4-试件; 5-止水缝材料; 6-有机玻璃漏斗; 7-量杯; 8-小车; 9-进水阀

图2: 全级配混凝土渗透系数试验示意图

混凝土抗压强度 30MPa 以下时,试验压力可从 0.2MPa 开始,在恒定压力下,每隔 8h 逐级增加 0.1MPa 压力(混凝土抗压强度 30MPa 以上时,试验压力可从 0.5~1.0MPa 开始,每隔 8h 逐级增加 0.4MPa 压力),直至 3 个试件底部全部渗水为止。恒定在最后一级压力值上,开始渗透系数试验,每 8h 测读一次集水瓶的水量,直至渗流量基本稳定。在直角坐标纸上绘制流出积累水量与历时过程线,当过程线成一直线时,即流量稳定,可停止试验。每个试件测得一条累积流出水量过程线,在过程线的直线段上,横坐标截取大于 100h 时段,其斜率为恒定流量,取 3 个试件的平均流量作为最终恒定流量。并通过以下公式计算混凝土渗透系数:  $K=QL/AH$  式中  $K$ —混凝土渗透系数, m/s;  $Q$ —通过混凝土的平均流量,  $m^3/s$ ;  $A$ —试件截面积,  $m^2$ ;  $L$ —试件高度,  $m$ ;  $H$ —作用水头 (1MPa 水压=100m 水头),  $m$ 。

## 2.2 塑性混凝土渗透系数试验

在《水工塑性混凝土试验规程》DL/T5303-2013 中,塑性混凝土渗透系数试验,是用 1 组(2 个)抗渗试件(上口  $\phi 175mm \times$  下口  $\phi 185mm \times$  高 150mm)进行。当试件到达龄期前一天,将试件放入真空饱水装置中进行饱和。达到龄期进行试验,将试件侧面封闭,安装在抗渗仪上并根据设计要求的水力坡降计算试验初始水压力,将抗渗仪水压力一次加到计算水压力,直至试件上端面出现渗水。用中性滤纸或吸水性好的材料浆渗水吸干,同时开始记录时间。将足量的滤纸称重,并覆盖在渗水试件表面,盖上玻璃板,间隔 1-2h 取出中性滤纸称重,前后 2 次质量差即为该时段的渗水量。记录连续 6 个时段的渗水量。以 6 个时段测值的平均值作为结果。当 6 个时段渗透系数最大值与最小值之差超过  $2 \times 10^{-n}$  时,舍去最大值和最小值,取其余 4 个时段平均值作为试验结果。试验水压力按照公式“ $H=JL$ ”计算,式中,  $H$ —试验水压力,用水柱高度表示,  $cm$ ;  $J$ —设计渗透比降;  $L$ —试件渗水高度, 15cm。混凝土渗透系数计算公式为:

$$K_T = \frac{VL}{AHt}$$

式中,  $K_T$ —水温  $T^\circ C$  时试件的渗透系数,  $cm/s$ ;  $V$ —时间  $t$  秒内的渗透水量,  $cm^3$ ;  $L$ —试件渗水高度, 15cm;  $H$ —试件渗水时的水压力,  $cm$ ;  $t$ —间隔时间,  $s$ ;  $A$ —试件平均截面积,  $cm^2$ 。

## 3 混凝土相对渗透试验

以《水工混凝土试验规程》SL352-2006 为例,对普通混凝土相对渗透系数试验进行描述。该检测参数是测定混凝土在恒定水压下的渗水高度,计算相对渗透系数,比较不同混凝土的抗渗性,适用于抗渗性能较高的混凝土。该试验所用试件及仪器与“抗渗等级试验”相同(见图 1),区别在于试验时将抗渗仪水压力一次加到 0.8MPa(当混凝土较密实时,可将试验水压力改用 1.0MPa

或 1.2MPa,并在试验报告中注明。),同时开始记录时间,在此压力下恒定 24h,然后卸压并取出试件。试验时应注意,在恒压过程中,如果试件端面出现渗水,则停止试验,并记录出水时间。此时该试件的渗水高度即为试件高度 15cm。在试件两端面直径处,按平行方向各垫 1 根  $\phi 6mm$  钢垫条,用压力机将试件劈开。将劈开面的底边 10 等分,在各等分点处测量渗水高度(试件劈开后,过 2 至 3min 即可看出水痕,此时用笔划出水痕位置,测量渗水高度)。以各点渗水高度平均值作为该试件的渗水高度。相对渗透性系数计算公式为:

$$K_r = \frac{aD_m^2}{2tH}$$

式中,  $K_r$ —相对渗透性系数,  $cm/s$ ;  $D_m$ —平均渗水高度,  $cm$ ;  $H$ —水压力,以水柱高度表示,  $cm$  (1MPa 水压力等于 10200cm 水柱高度);  $t$ —恒压时间,  $s$ ;  $a$ —混凝土的吸水率, % (常规混凝土吸水率一般取 0.03)。

该试验以 1 组 6 个试件测值的平均值作为结果。在《水工塑性混凝土试验规程》DL/T5303-2013 中,对于相对渗透系数的试验方法与 SL352-2006 中方法一致,但塑性混凝土的吸水率应实测,  $a=(m_1-m_2)/m_1 \times 100$ , 式中,  $m_1$ —饱水试件质量,  $g$ ;  $m_2$ —干燥试件质量,  $g$ ; 混凝土吸水率以 3 个试件 (100mm  $\times$  100mm  $\times$  100mm) 平均值作为结果。

## 4 试验参数的分析

混凝土室内渗透性能试验分为抗渗性试验、渗透系数试验和相对渗透试验(见表 1),三者试验方法相似,但因计算公式不同,这三个参数的含义是有区别的。

表 1 混凝土室内渗透性能试验统计表

试验名	检测参数	计算公式	备注
抗渗性	抗渗等级	$W=10H-1$	逐级加压法, 0.1 MPa 开
渗透系数试验	渗透系数	$K=QL/AH$	普通混凝土, A 为试件截
	渗透系数	$K_T=VL/AHt$	塑性混凝土, A 为试件平
相对渗	相对渗透	$K_r=aD_m^2/2tH$	一次加压 0.8MPa 或其

(1) 抗渗性试验,求得抗渗等级  $W$ 。通过抗渗试件产生渗水时的水压力大小来求得,表示混凝土抗水压的能力,抗渗等级越大,混凝土抗水压能力越大。试验时必须有一定数量的抗渗试件没有水渗出。抗渗等级大小决定于试验过程中的水压力一个变量,未考虑渗出水量的多少。

(2) 渗透系数试验,求得渗透系数  $K_T$ 。表示在一定水压力

下的,水穿透一定尺寸试件时,在试件内部的稳定渗流速度。该试验必须产生稳定的渗透水,否则无法计算渗透系数。普通混凝土和塑性混凝土渗透系数试验原理及方法相似,公式化简后一致。从公式可知,渗透系数决定于试件渗水时的流量与水压力两个变量。

(3)对于同种类混凝土而言,其内部颗粒组成和毛细孔结构相似,此时混凝土内部结构越密实,通常其抗压强度和抗静水压能力也越高,渗透系数也越小,一些试验成果给出了混凝土渗透系数与抗渗等级之间的换算关系式(经验公式)。但是从两个试验参数计算公式和含义来看,渗透系数有静水压力与渗水流量两个变量参与计算,抗渗等级只有静水压力一个变量参与计算,且两个参数试验条件也不同,理论上没有可比性。对于不同种类的混凝土之间(如普通混凝土、掺粘土或膨润土的塑性混凝土),因其内部结构差别较大,抗渗等级与渗透系数之间没有规律性。例如,塑性混凝土因掺有适量的土颗粒,其抗压强度和弹性模量相对于普通混凝土均降低,但因其内部结构更加致密,使其在较小的静水压力作用下,可具有较小的渗透系数(通常比同等抗压强度的普通混凝土要小)。目前混凝土材料组成多样化,其内部组成和微观结构也千差万别,渗透系数应通过试验求得,抗渗等级与渗透系数之间没有规律,通过一些两者之间的经验关系去相互推导,是不科学的。

(4)相对渗透试验,求得混凝土相对渗透系数  $K_r$ 。该参数虽然与渗透系数单位相同,但试验过程中抗渗试件可能渗透水,

也可能未渗透水。该试验是通过测定混凝土在某恒定水压下一定时间内的渗径长度(试件透水时渗径取试件高度),来计算相对渗透系数值。该参数大小决定于吸水率、平均渗径、水压力及时间四个变量参数,影响因素较多,比如计算过程中时间相同渗径不同,或渗径相同时间不同。这种方法,无渗透水量参与计算,不是真的渗透系数,适合快速比对不同混凝土材料(往往较密实、不易透水)之间的抗渗性强弱。

## 5 结论

(1)混凝土抗渗等级反应混凝土抗静水压和阻渗能力,渗透系数反应混凝土构件在一定静水压力作用下发生稳定渗透水时的渗水流速,两者定义不同,没有可比性。

(2)对于同种类混凝土,其内部结构相似,通常抗渗等级越高,渗透系数越小,但没有绝对的换算关系。对于不同种类的混凝土之间,其内部结构差别较大,抗渗等级与渗透系数无统一规律,参照以往一些经验关系式去相互推导,是不科学的,应通过试验求得。

(3)相对渗透系数,单位与渗透系数相同,但不是真的渗透系数,适合快速比对较密实且不易透水的不同混凝土之间的抗渗性强弱。

(4)混凝土抗渗等级、渗透系数及相对渗透系数是反应混凝土渗透性能的三个常用检测参数,其定义和含义不同,在进行混凝土渗透性能研究时,应注意理解和区分。

## 参考文献:

- [1] 《水工混凝土试验规程》SL352-2006
- [2] 《水工塑性混凝土试验规程》DL/T5303-2013