**《土木工程材料》实验教学指导书**

**深圳大学土木工程学院**

**建筑材料实验室**

**前 言**

一、试验目的

通过材料的常规试验操作，了解试验设备、操作步骤，掌握材料质量的检验方法及相关的标准和规范要求，熟悉测试原理，为今后合理使用、正确鉴别、检测材料及进行科学研究奠定基础，并通过试验加深理解和进一步巩固所学过的理论知识。竖立“四培养”观念，即培养学生独立进行材料质量检验的能力；培养学生严谨的认真的科学态度；培养学生善于思考，勇于探索，独立分析问题和解决问题的能力，培养学生分工明确，互相协作的精神。

二、试验要求

1、注意的问题

（1）在了解土木工程材料技术性能和质量标准的基础上，理解其含义，才能更好地理解其标准。要求试验前必须预习。

 （2）不同材料的取样方法、试样数量等不尽相同，应加以区别。

 （3）检验方法是试验的重点之一，是鉴别材料质量和手段，是试验课的重要环节，直接影响测试数据，必须以严密的工作，严谨的态度，严格的操作等科学思想对待整个试验过程。

 （4）试验报告是试验课内容之一，应该有创新，有新意，能提出问题，并培养独立分析和解决问题的能力。

 2．试验技能训练

试验预习报告：试验之前进行预习，初步了解试验内容、目的、基本原理，感悟理论与实践的区别，找出问题，这样可带着问题进行试验，加深印象，加深理解。

试验报告：实验学习中掌握的内容基本体现在实验报告中。其试验报告的形式可以不同，但内容基本一致，有试验名称、试验内容、试验目的、试验原理、测试数据、数据处理、结果评定及分析等，同时要求在试验报告中反映出预习报告中提出的问题，新观点的提出并设想解决方案。

三、试验数据处理

 1．误差理论

 （1） 误差的概念：做任何一项试验时，所测定的数据必然有误差，尽管所使用的仪器设备，试验方法，试验条件相同，但测试结果往往存在与被测体实际状况之间的差异，造成这种差异的原因是众多的，如仪器本身精度，测试人员的技术水平，测试环境等，这种测试结果与真值（因真实值无法确定，通常取与之接近的实际值代替）之间的差异称为测量误差，这种误差的存在具有必然性和普遍性。一般称之为误差公理，即测量结果都有误差，误差自始自终存在于一切科学试验和测量的过程中。

 （2）误差的种类：误差来源于设备误差，测量误差，环境误差，人员误差，方法误差等多方面，但就其性质可分为三类：

系统误差：在测量过程中不发生改变或遵循一定规律变化的误差，称为系统误差。如天平砝码不准确产生测量始终恒定不变的仪器误差；测试人员生理特点造成读数偏高，偏低误差；仪器度盘指针偏心造成每转一周误差相同的周期性变化的误差等，这种误差的产生原因明确误差大小可确定。通过产生原因的分析，采取有关措施，就可消除中减弱系统误差，避免对测试结果的影响。通常所说的准确度就是反映系统误差大小的程度。

过失误差（粗大误差，粗误差）：由于操作者本身的主观原因（如责任心差，工作不认真，过度疲劳等而造成操作失误，读数错误，计算错误等误差）或测量仪器自身不合格等造成的误差称为过失误差或粗误差，这种误差是无规律的，超出规定条件下产生的，导致试验结果是错误的。因此这种误差必须消除，凡含有过失误差的数据均应舍去。

偶然误差（随机误差）：随机误差是指在测试过程中反复测量同一量值时，误差以不确定的方式变化，没有规律性，其大小和特点随机变化的误差。产生随机误差的原因有客观条件的偶然变化，仪器结构不稳定，试样本身不均匀等，这种误差的特点是变化频繁，复杂，无法掌握其规律。任何测试中的随机误差是无法消除和避免的，而且其变化大小无法控制和测定。但可以通过大量试验找出误差的分布规律，用统计法对数据分析和处理后，确定误差的范围，得出最可靠的结果。通常所说的精密度就是反映随机误差的大小程度。可见，精密度和准确度的综合影响可反映出测量值与真值的接近程度，测量值与真值越接近，可以说测量值的精确度越高，系统误差和偶然误差就越小，精密度、准确度、精确度从不同角度反映了测试误差，但意义不同。

2．数据处理

数字修约：各种测量，计算得到的数值都需要按相关的计量规则进行数字修约。数字修约应遵循以下规则：

（1）在拟舍去部分的数字中，若左边第一个数字小于5（不包括5），则舍去，即拟保留的末位数字不变；例：将54.343修约到只保留一位小数，则在54.343中，拟舍去数字为43，拟保留数字为54.3，拟保留数字的未位数（修约数字）为3，据上条规则，拟舍去数字中左边第一个数字为4，小于5，则舍去。拟保留的末位数不需要修约，仍为3。则修约结果为51.3。

（2）在拟舍去部分的数字中，若左边第一个数字大于（不包括5），则进一，即拟保留的末位数字加一；例：将54.383修约到只保留一位小数，按上条规则，拟舍去数字左边第一个数字为8，大于5则进一，拟保留的末位数3需修正，则加1为4，修约结果为54.4。

 （3）在拟舍去部分的数字中，若左边第一个数字等于5而其右边的数字并非全部为零，则进一，即所拟保留的末位数字加一；例：将54.3501修约到只保留一位小数，拟舍去部分数字中501左边第一个数字等于5，而右边的数字01并不全是零，则进一，拟保留的数字中51.3的末位数3需修正为4，则修约结果为54.4。

 （4）在拟去部分的数字中，若左边第一个数字等于5而其右边数字皆为零，所拟保留的未位数若为奇数则进一，若为偶数（包括0）则不进；例：将54.3500修约到只保留一位小数。拟舍去部分左边第一个数字等于0，而右边数字皆为零，拟保留数字54.3中未位数为3，是奇数则进一，3修正为4，则修约结果为54.4，例：将54.8500。修约到只保留一位小数，则修约结果为54.8。

以上修约规则称为“四舍六入五成双法则”，记忆口决：五下舍去五上进，单收双弃指五整。

（5）所舍去数字若为两位以上数字，不得连续修约；例：将53.4586修约为整数，应修约为53，而不能修约为54（53.459—53.46—53.5—54）

 （6）凡标准中规定有界数值时，不允许采用数字修约的方法；例：含水率测定中，2次测定值与平均值之差不得大于0.03%，即最大差值0.03，而不能将0.031修约为0.03。

3、数字记录

在所有的试验中都离不开数据记录，而数字记录的正确与否，影响到计算精度，所以也应按相应的规则进行记录。

 （1）记录测量数据时，只保留一位可疑（不确定）数字。

（2）在数据计算时，当有效数字（指测量中实际能测得的数字）确定之后，其余数字应按修约规则一律舍去。

（3）当表示精确度（通常反映综合误差大小的程度）时，一般只取一位有效数字。

**试验一 土木工程材料基本物理性质试验**

**一、密度试验**

1、方法原理

密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量。本试验中，将一定质量的粉体材料倒入装有足够量液体介质的李氏瓶内，液体的体积应可以充分浸润材料颗粒。根据阿基米德定律，材料颗粒的体积等于它所排开的液体体积，从而计算出材料单位体积的质量即为密度。

2、试验目的及试验依据

采用李氏瓶法测量给定混凝土粉未的密度，掌握粉体材料密度的测量方法。本试验参照GB/T 208-2014《水泥密度测定方法》进行。

3、主要仪器

李氏瓶，恒温水槽，烘箱，天平（精度0.01 g），温度计，干燥器等。

4、试验制备

将混凝土试件破碎磨细，通过0.90mm方孔筛，在110±5℃温度下烘干，并在干燥器内冷却至室温。

5、试验步骤

（1）将与试样不起反应的液体（本试验用洁净水）注入李氏瓶中至“0mL”到“1mL”之间刻度线后，盖上瓶塞放入恒温水槽内，使刻度部分浸入水中（水温应控制在20±1℃），恒温至少30min，记下初始刻度V1。

（2）从恒温箱中取出李氏瓶，用滤纸将李氏瓶细长颈内没有液体的部分仔细擦干净。

（3）称取试样50g，精确至0.01 g。用小匙将试样一点点装入李氏瓶中，反复摇动（亦可用超声波震动），至没有气泡排出，再次将李氏瓶静置于恒温水槽，使刻度部分浸入水中，恒温至少30 min，记下第二次刻度V2。

（5）第一次读数和第二次读数时，恒温水槽的温度差不大于0.2℃。

6、结果计算

试样密度ρ按式（1）计算，结果精确至0.01g/cm3，试验结果取两次测定结果的算术平均值，两次测定结果之差不大于0.02g/cm3。

ρ=m／（V2-V1） ………………………… （1）

式中：

ρ——试样密度，单位为g/cm3；

m——试样质量，单位为g；

V1——李氏瓶初始读数（mL）；

V2——李氏瓶第二次读数（mL）。

**二、体积密度试验**

1、方法原理

体积密度是指材料在自然状态下单位体积（包括材料实体及其开口孔隙、闭口孔隙）的质量。本试验通过测量规则形状物体的体积和质量，从而计算出材料单位体积的质量即为体积密度。

2、试验目的及试验依据

测量规则形状材料密度，掌握游标卡尺的使用。本试验参照GB/T 11969-2008《蒸压加气混凝土性能试验方法》进行。

3、主要仪器

烘箱，天平（精度1 g），游标卡尺等。

4、试验制备

将混凝土试件在110±5℃温度下烘干至恒重。

5、试验步骤

取混凝土试件一组3块，逐块量取长、宽、高三个方向的轴线尺寸，计算试件的体积V；并称取试件的质量m。

6、结果计算

试样体积密度ρ′按式（2）计算，结果精确至1g/cm3，试验结果取三块试件测量结果的算术平均值。

ρ′=m／V ………………………… （2）

式中：

ρ′——试样体积密度，单位为g/cm3；

m——试样质量，单位为g；

V——试样的体积（mL）；

**三、表观密度试验**

1、方法原理

表观密度是指单位体积（含材料实体及闭口孔隙体积）材料的干质量。本试验采用水中称重法物体的表观密度。根据阿基米德的浮力定律，浸入静止流体中的物体受到的浮力等于该物体所排开的流体重量，通过静水力天平称量物体的所受的浮力，根据阿基米德浮力定律，计算出物体的表观密度。

2、试验目的及试验依据

采用水中称重法测量给定物体的表观密度，掌握材料表观密度的测量方法。本试验参照JGJ 52-2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》进行。

3、主要仪器

静水力天平（带吊篮、有溢流孔的盛水容器），烘箱等。

4、试验制备

将混凝土试件在110±5℃温度下烘干，并在干燥器内冷却至室温。

5、试验步骤

（1）用天平称取混凝土试件的质量m0。

（2）关紧盛水容器溢流孔的水龙头；将吊篮放入盛水容器中，注水至水面高出溢流孔，打开水龙头，等水龙头中无水溢出后，关紧水龙头，称取吊篮在水中的质量m1。

（3）关紧盛水容器溢流孔的水龙头；将混凝土试件放入吊篮，然后将吊篮放入盛水容器中，注水至水面高出溢流孔，并用上下升降吊篮的方法排除气泡（试样不得露出水面）；打开水龙头，等水龙头中无水溢阵后，关紧水龙头，称取吊篮及试样在水中的质量m2。

6、结果计算

试样表观密度ρ0按式（3）计算，结果精确至0.01g/cm3，试验结果取两次测定结果的算术平均值，两次测定结果之差不大于0.02g/cm3。

ρ0$=（\frac{m\_{0}}{m\_{0}+m\_{1}-m\_{2}}）×1000 $………………………… （3）

式中：

ρ0——试样表观密度，单位为kg/cm3；

m0——试样烘干质量，单位为g；

m1——吊篮在水中的质量，单位为g；

m2——吊篮及试样在水中的质量，单位为g。

**试验二 水泥技术性能检验**

**一、水泥试验的一般规定**

1、试验室温度为17 ~ 25℃，相对温度大于50%。养护室温度为20±2℃，相对温度大于90%。

2、试验用水应是洁净的淡水，有争议时也可采用蒸馏水。

3、水泥试样应充分搅拌均匀，并通过0.9mm方孔筛，记录其筛余物情况。

4、试验用材料、仪器、用具的温度与试验室一致。

**二、水泥标准稠度用水量检验（代用法）**

1、试验原理

水泥净浆对试杆（或试锥）的沉入具有一定阻力，通过试验不同含水量水泥净浆的穿透性，以确定达到标准稠度水泥净浆时所需加入的水量。

2、试验目的及试验依据

水泥的凝结时间、安定性均受水泥净浆稀稠的影响，为了使不同水泥的凝结时间和安定性具有可比性，必须规定一个标准稠度。此试验测定水泥将浆达到标准稠度时的用水量，作为凝结时间和安定性试验用水量的依据。

本试验参照GB/T1346-2011《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》中的标准稠度用水量测定方法（代用法）中的不变水量法进行。

3、主要仪器

（1）水泥净浆搅拌机

（2）代用法维卡仪

（3）量水器和天平

4、试验步骤要点及注意事项

 （1）称取500 g水泥，量取142.5 mL的水；

 （2）先用扭干的湿布擦拭水泥净浆搅拌机的搅拌锅和搅拌叶，将量好的拌和水倒入搅拌锅内，然后在5s~10 s内小心将称好的水泥加入水中，将搅拌锅安放在搅拌机的锅座上，升至搅拌位置，启动搅拌机，低速搅拌120s，停15s，在停止的时间内用小刀将叶片和锅壁上的水泥浆刮入锅中，接着高速搅拌120s，搅拌完成。

 （3）水泥净浆搅拌结束后，立即将拌和好的水泥净浆装入锥模中，用宽约25mm的直边刀插捣5次，再轻振5次，刮去多余的净浆，抹平后迅速放至试锥下面固定的位置上，将试锥下降至锥尖刚好与水泥净浆表面接触，拧紧螺丝，调整指针对准零点，突然放松螺丝，让试锥垂直自由沉入净浆中，释放试锥30s时，记录试锥下沉深度S。沉入深度测定应在搅拌后1.5min的内完成。

5、数据处理及试验结果

据试锥下沉深度S（mm）按式（4）计算得标准稠度用水量（P）%。

P = 33.4—0.185S…………………………（4）

标准稠度用水量也可从仪器上对应的标尺上读取，当S＜13mm时，应改用调整水量法测定。

**三、水泥凝结时间检验**

（一）试验原理及方法

通过测定试针沉入标准稠度水泥净浆一定深度时所经历的时间来表示水泥初凝和终凝时间。

（二）试验目的和标准

通过凝结时间的测定，得到初凝时间和终凝时间，以便评定水泥质量，判定是要符合技术标准要求。GB175-2007《通用硅酸盐水泥》规定：硅酸盐水泥初凝时间不得早于45min，终凝时间不得迟于390min；普通硅酸盐水泥矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合水泥初凝时间不得早于45min，终凝时间不得迟于10h；

本试验参照GB/T1346-2011《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》进行。

3、主要仪器

（1）水泥净浆搅拌机

（2）法维卡仪

（3）量水器和天平

4、试验步骤要点及注意事项

 （1）称取500 g水泥，量取上述标准稠度用水量试验所测得的用水量；

 （2）先用扭干的湿布擦拭水泥净浆搅拌机的搅拌锅和搅拌叶，将量好的拌和水倒入搅拌锅内，然后在5s~10 s内小心将称好的水泥加入水中，将搅拌锅安放在搅拌机的锅座上，升至搅拌位置，启动搅拌机，低速搅拌120s，停15s，在停止的时间内用小刀将叶片和锅壁上的水泥浆刮入锅中，接着高速搅拌120s，搅拌完成。

 （3）水泥净浆搅拌结束后，立即将拌和好的水泥净浆装入试模中，用宽约25mm的直边刀插捣5次，再轻振5次，刮平后立即放入湿气养护箱中。记录水泥全部加入水中的时间作为凝时间的起始时间。

 （4）调整维卡仪的试针接触玻璃板时指针对准零点。

（5）试件在湿气养护箱中养护至加水后30min时进行第一次测定。测定时，从湿气养护箱中取出试模入到试针下，降低试针与水泥净浆表面接触。拧紧螺丝1s~2s后，突然放松，试针垂直自由地沉入水泥净浆。观察试针停止下沉或释放试针30s时指针的读数。临近初凝时间时每隔5min测定一次，当试针学至距底板4mm±1mm时，为水泥达到初凝状态；由水泥全部加入水中至初凝状态的时间为水泥的初凝时间，用min表示。

（6）在完成初凝时间测定后，立即将试模连同浆体以平移的方式从玻璃板取下，翻转180°，直径大端向上，小端向下放在下班板上，再放入湿气养护箱中继续养护。换上终凝试针。监近终凝时间时每隔15min测定一次，当试针环形附件开始不能在试件上留下痕迹时，为水泥达到终凝状态。由水泥全部加入水中至终凝状态的时间为水泥的终凝时间，用min表示。

（7）测定时应注意，在最初测定的操作时应轻轻扶持金属柱，使其徐徐下降，以防试针撞弯，但结果以自由下落为准。在整个测试过程中试针沉入的位置至少要距试模内壁10mm。到达初凝时应立即重复测一次，当两次结论相同时才能确定到达初凝状态，到达终凝时，需要在试体另处两个不同点测试，确认结论相同才能确定到达终凝状态。第次测定不能让试针落入原针孔，每次测试完毕须将试针擦净并将试模放回湿气养护箱内，整个过程要防止试模受振。

**四、水泥体积安定性检验（演示）**

（一）试验原理及方法

通过测定沸煮后雷氏夹两个试针的相对位移来恒量水泥标准稠净浆体积膨胀程度，以此评定水泥浆硬化后体积是否均匀变化。

（二）试验目的和标准

通过测定沸煮后标准稠度水泥净浆试样的体积和外形的变化程度，评定体积安定性是否合格。

本试验依据GB/T 1346-2011《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》进行。

3、主要仪器

（1）水泥净浆搅拌机

（2）法维卡仪

（3）量水器和天平

4、试验步骤要点及注意事项

（1）采用凝结时间试验制备的净浆进行试验；

（2）将预先准备好的雷氏夹放在已稍擦油的玻璃板上，并立即将已制备好的标准稠度净浆一次装满雷氏夹，装浆时一只手轻轻扶持雷氏夹，另一只手用宽约25 mm的直边刀在浆体表面轻轻插捣3次，然后抹平，接着将试件移至湿气养护箱内养护24h±2h。

（3）脱去玻璃板取下试件，先测量雷氏夹指针尖端的距离（A），精确到0.5mm，接着将试件放入沸煮箱水中的试件架上，指针朝上，然后在30min±5 min内加热至沸腾并恒沸180min±5 min。

（4）沸煮结束后，立即放掉沸煮箱中的热水，打开箱盖，待箱体冷却至室温，取出试件，测量雷氏夹指针尖端的距离（C），精确到0.5mm，当两个试件煮后增加距离（C-A）的平均值不大于5.0 mm时，即认为该水泥安定性合格，当两个试件煮后增加距离（C-A）的平均值大于5.0 mm时，应用同一样品立即重做一次试验。以复检结果为准。

**五、水泥胶砂强度检验（ISO法）**

1、试验原理及方法

通过测定以规定水灰及灰砂比制备成标准尺寸的胶砂试块的抗压破坏荷载，抗折破坏荷载，确定其抗压强度、抗折强度。

2、试验目的及标准

通过检验不同令期的抗压强度、抗折强度，确定水泥的强度等级或评定水泥强度是否符合标准要求。

本试验依据GB/T 17671-1999《水泥胶砂强度方法（ISO）》进行。

3、主要仪器

（1）行星式胶砂搅拌机：由搅拌锅，搅拌叶，电动机等组成。

（2）水泥胶砂试摸。

（3）水泥胶砂试体成型振实台。

（4）抗折试验机

（5）抗压试验机

（6）抗压夹具

4、试验步骤要点及注意事项

（1）称取水泥试样450g，水225 g ，ISO标准砂一袋（1350g）。

（2）将标准砂1袋倒入加砂器，将水倒入搅拌锅内，再倒入水泥，将搅拌锅放在固定架上，上升至固定位置后开动搅拌机，低速搅拌30s后，在第二个30s开始的同时搅拌机自动均匀加入砂子，然后机器自动转至高速，再拌30s，停拌90s。在第一个15s内，用胶皮刮具将叶片和锅壁上的胶砂、刮入锅中间，在高速下继续搅拌60s，搅拌完成。

（3）胶砂制备后应立即成型，将空摸及模套固定于振实台上，将胶砂分二层装入试模，装第一层时每模槽内约放300g胶砂，用大播料器将料层播平，振实60次后，再装入第二层胶砂，用小播料器播平后再振实60次，然后从振实台上取上试模，用金属直尺以90°的角度架在试模模顶一端，沿试模长度方向从横向以锯割动作慢慢向另一端移动，将超出试模部分的胶砂刮去，并用同一直尺以近乎水平的情况下将试体表面抹平，然后作好标记。

（4）将做好的标记的试模放入标准养护箱内养护至规定的脱模时间取出，用防水笔对试体进行编号标记后脱模。对于24h龄期的试件，应在试验前20min内脱摸，并用湿布覆盖到试验。对于24h以上龄期的试件，应在成型后20-24h间脱模，并放入20±1℃水中养护至试验龄期。

5、养护到期的试件，应在试验前15min从水中取出，擦去表面沉积物，并用湿布覆盖到试验。先进行抗折试验，后做抗压试验。

抗折试验：将试件长向侧面放于抗折试件机的两个支撑圆柱上，通过加荷圆柱，以50±10N/S速率均匀将荷载加在试件相对侧面至折断，记录破坏荷载（Ff）。

抗压试验：以折断后保持潮湿状态的两个半截棱柱体以侧面为受压面，分别放入抗压夹具内，并要求试件中心、夹具中心、压力机压板中心，三心合一，偏差为±0.5mm ，以2.4KN±0.2KN/S的速率均匀加荷至破坏，记录破坏荷载（Fc）

5、数据处理及结果评定

抗折强度Rf以牛顿每平方毫米（MPa）表示，按下式计算：

抗折强度 Rf＝1.5FfL/b3 （精确至0.1MPa）

式中

Ff——棱柱体折断时的荷载（KN）；

 L——两个支撑园柱之间的距离（mm），L=100mm；

 b——棱柱体正方形截面的边长 ，b=40mm。

以一组三个棱柱体抗折强度的平均值为试验结果，当三个强度值中有超出平均值±10%时，应剔除后再取平均值作为抗折强度试验结果。

抗压强度Rc以牛顿每平方毫米（MPa）表示，按下式计算：

Rc=FC/A（精确至0.1MPa）

式中

Fc——受压破坏最大荷载（N）

 A——受压面积（40mm×40mm）

以一组三个梭柱体得到的六个抗压强度测定值的算术平均值为试验结果。当六个测定值中有一个超出六个平均值的±10%时，应剔除这个结果，以剩下的五个抗压强度的平均值为结果，若五个测定值中再有超出平均数±10%时，则此组结果作废。

当强度值低于标准要求的最低强度值时，应视为不合格或降低等级。

**试验三 混凝土用砂、石性能检验**

**一、砂的颗粒级配检验**

1、试验原理及方法

用由不同孔径的方孔筛组成的一套标准筛对砂样进行筛分，测定砂样中不同粒径的颗粒含量。

2、试验目的及标准

通过筛分析试验测定不同粒径骨料的含量比例，评定砂的颗粒级配状况及粗细程度，计算砂的细度模数，为工程合理用砂提供技术依据。

本试验依据GB/T14684-2011《建设用砂》进行。

3、主要仪器

（1）试验用标准筛：符合GB/T6003中方孔试验筛的规定，孔径为150um、300um、600um、1.18mm、2.36mm、4.75mm及9.5mm的筛各一只，并附有筛底和筛盖。

（2）鼓风烘箱：温度控制在（105±5）℃。

（3）天平：称量1000g，感量1g。

（4）摇筛机

4、试验步骤要点及注意事项

（1）按规定取样，缩分试样至约1100g，放入烘箱内于（105±5）℃烘干至恒量，待冷却至室温后，筛除大于9.5mm的颗粒（并算出其筛余百分率），分成大至相等的两份试样。

（2）称取试样500g（精确至1g）倒入按孔径大小从上至下组合的套筛（附筛底）上，盖上筛盖。

（3）将套筛安放在摇筛机上，摇10mm后，取下套筛，按筛孔大小顺序依次逐个进行手筛，筛至每分钟通过量小于试样总量的0.1%（即0.5g）为止，通过的试样（即小于筛孔直径的试样）并入下一号筛，并和下一号筛中的试样一起手筛，依次分别进行至各号筛全部筛完为止。

（4）称量各号筛的筛余量（精确至1g），试样在各号筛上的筛余量不得超过按（1）式计算出的量，若超过应按下列处理方法之一进行：筛分后，如每号筛的筛余量与筛底的剩余量之和同原试样质量之差超过1%时，须重新试验。

G＝A×d1/2/200…………………………………………（1）

式中：

G——在一个筛上的筛余量（g）

A——筛面面积（mm2）

d——筛孔尺寸（mm）

处理方法：

1）将该粒级试样分成少于按（1）式计算出的量（至少分成两份），分别筛分，并以筛余量之和作为该号筛的筛余量。

2）将该粒级及以下各粒级的筛余混合均匀，称出其质量（精确至1g），再用四分法缩分为大致相等的两份，取其中1份，称出其质量（精确至1g），继续筛分。计算该粒级及以下各粒级的分计筛余量时，应根据缩分比例进行修正。

4、数据处理及结果评定

（1）计算分计筛余百分率：各号筛的筛余量与试样总量之比，精确至0.1%。

（2）计算累计筛余百分率：该号筛的筛余百分率加上该号筛以上各筛余百分率之和，精确至0.1%。筛分后，如每号筛的筛余量与筛底的剩余量之和同原试样质量之差超过1%，应重新试验。

（3）按式（2）计算细度模数（Mχ）细度模数取两次试验结果的算术平均值，精确至0.1。

Mχ＝[（A2＋A3＋ A4＋ A5 ＋ A6 ）－5 A1 ] /（100－A1）………………（2）

式中

Mχ——细度模数

A1、A2、A3、 A4、 A5、 A6——分别是孔径为4.75mm、2.36mm、1.18mm、600um、300um、150um筛的累计筛余百分率。

（4）累计筛余百分率取两次试验结果的算术平均值，精确至1%。细度模数取两次试验结果的算术平均值，如两次试验的细度模数之差超过0.20时，须重新试验。据计算得到的累计筛余百分率对照标准要求，评定该砂属的颗粒级配。

**二、砂的表观密度测定**

1、试验原理及方法

利用阿基米德原理（即骨料排出水的体积为骨料的体积）确定一定质量砂的体积（包括封闭孔隙在内），计算砂的表观密度。

2、试验目的及标准

通过测定砂的表观密度为计算空隙率及砼配合比设计提供依据。

本试验依据GB/T14684－2011《建设用砂》进行。

3、主要仪器

（1）烘 箱：能使温度控制在（105±5）℃。

（2）容量瓶：500mL。

（3）天平，称量1000g，感量。

4、试验步骤要点和注意事项

（1）按规定取试并将试样缩分至约660g，放在烘箱中于（105±5）℃下烘干至恒量，待冷却至室温后，分成大致相等的两份备用。

（2）称取试样300g，精确至0.1g。将试样装入容量瓶中，注入冷开水至接近500 mL的刻度处，用手旋转摇动容量瓶，使砂样充分摇动，排除气泡，塞紧瓶塞，静置24h。然后用滴管小心加水至容量瓶500mL刻度处，塞紧瓶塞，擦干瓶外水分，称出其质量，精确至0.1g。

（3）倒出瓶内水和试样，洗净容量瓶，再向容量瓶内注水至500mL刻度处塞紧瓶塞，擦干瓶外水分，称出其质量，精确至0.1g。

5、数据处理及结果评定

砂的表观密度按下式计算，精确至10kg/m3：

 ρO＝G0\*ρ水/（G0+G2－G1）

式中

ρ0——表观密度（kg/m3）；

ρ水——水的密度，取1000 kg/m3；

G0 ——烘干试样的质量（g）；

G1 ——试样、水及容量瓶的总质量（g）；

G2 ——水及容量瓶的总质量（g）。

**三、砂的堆积密度测定**

1、试验原理及方法

通过测定装满容量筒的砂的质量和体积（自然状态下）计算堆积密度。

2、试验目的及标准

通过测定砂的堆积密度为计算空隙率及砼配合比设计提供依据。

本试验依据GB/T14684－2011《建设用砂》进行。

3、主要仪器

（1）烘 箱：能使温度控制在（105±5）℃。

（2）容量筒：容积为1L。

（3）天平，称量1000g，感量0.1g。

（4）方孔筛：孔径为4.75mm的筛一只。

4、试验步骤要点和注意事项

（1）取试样约3L，放在烘箱中于（105±5）℃下烘干至恒量，待冷却至室温后，筛除大于4.75mm的颗粒，分成大致相等的两份备用。

（2）取试样一份，用料斗将试样从容量筒中心上方50mm处，以自由落体落下徐徐倒入容量筒中并呈堆积体，容量筒四周溢满时停止加料，然后用直尺沿筒口中心向两边刮平，称出试样和容量筒的总质量G1（精确至1g），称容量筒质量G2。

（3）注意事项：

（1）试样通过料斗装入容量筒时，料斗口距容量筒口最大高度不超过50mm，试验过程中应防止振动容量筒；

（2）试验前应按规定方法对容量筒体积进行校正；

5、数据处理及结果评定

（1）堆积密度按下式计算，取两次试验结果的算术平均值（精确至10kg/m3）：

 ρ1＝（G1－G2）/V0

式中

ρ1——堆积密度（kg/m3）（精确至10kg/ m3）

G1 ——容量筒和试样总质量（g）

 G2 ——容量筒质量（g）

 V0 ——容量筒体积（L）

（2）空隙按下式计算，取两次试验结果的算术平均值（精确至1%）：

 P=（1－ρ1/ρO）×100

式中

P——空隙率（%）

ρ1——砂的堆积密度（kg/m3）

 ρO——砂的表观密度（kg/m3）

**四、石子密度测定**

1、试验原理及方法

利用阿基米德原理（即骨料排出水的体积为骨料的体积）确定粗骨料（卵石或碎石）的近似密实体积（包括封闭孔隙在内），计算粗骨料的密度。

2、试验目的和标准

通过密度测定，为计算试样空隙率及砼配合比设计提供依据。

本试验依据GB/T14685-2011《建设用卵石、碎石》中的广口瓶法进行。

3、主要仪器

（1）烘箱：能使温度控制在（105±5）℃

（2）方孔筛：孔径为4.75mm腐蚀金属板组成的筛一只。

（3）天平：称量2kg，感量1g。

（4）广口瓶：1000ml，磨口，带玻璃片。

4、试验步骤要点及注意事项

（1）按规定取样缩分至规定的数量，风干后筛除小于4.75mm的颗粒，然后洗净，分成大致相等的两份备用。

（2）将试样浸水饱和，装入广口瓶，装试样时，广口瓶应倾斜放置，注入饮用水，左右摇动排尽气泡后，向瓶内滴水至瓶口边缘，用玻璃片沿瓶口迅速滑行，紧贴瓶口水面，覆盖瓶口，擦干瓶外水分后，称出试样、水、瓶和玻璃片总质量G1（精确至1g）。

（3）将瓶中试样倒出，放烘箱（105±5）℃内烘干至恒量，冷却至室温后称其质量GO（精确至1g）。

（4）将瓶内重新注水至瓶口，用玻璃片紧贴瓶口水面覆盖瓶口，擦干瓶外水分后，称水，瓶和玻璃片总质量G2（精确至1g）。

5、数据处理及结果评定

石子的表观密度按下式计算（精确至10kg/m3）

ρO= GO/（GO+G2-G1） ×ρ水

式中

ρO——密度（kg/m3）

GO——烘干后试样的质量（g）

G1——试样、水、瓶和玻璃片的质量（g）

G2——水瓶和玻璃片的质量（g）

密度取两次试验结果的平均值，当两次试验结果之差大于20kg/m3时，须重新试验，若两次试验结果之差超过20 kg/m3，可取4次试验结果的算术平均值。

**试验四 新拌混凝土性能试验验**

**一、混凝土配合比试验设计**

1、原材料

（1）水泥：采用P.O.42.5水泥，密度取3.1g/cm3，如无水泥实测强度则可取富余系数1.13。

（2）砂：中砂，细度模数2.5-2.8,表观密度2650kg/m3；堆积密度1460 kg/m3。

（3）碎石：规格10-31.5mm，表观密度2650kg/m3；堆积密度1450 kg/m3。

（4）外加剂：高效减水剂，减氺率20％，推荐掺量1.8%。

（5）II级粉煤灰。

（6）自来水。

2、混凝土性能要求暨设计任务书

强度等级：C20，C25，C30，C35，C40，C45，C50任选

坍落度：35～160mm之间选定

3、参考文献

（1）GB/T50080-2002 普通水泥混凝土拌合物性能试验方法标准

（2）JGJ55-2000 普通混凝土配合比设计规程

（3）GB/T50081-2002普通水泥混凝土力学性能试验方法标准

（4）土木工程材料－土木工程材料试验

4、试验要求

（1）每组任选题目及相关性能要求设计配合比一组，提供配合比设计过程；

（2）现场配制混凝土15升，按计算配合比计算出15升混凝土水泥、水、砂、石、粉煤灰及减水剂（如掺用）的用量；

（3）记录坍落度、调整过程（满足坍落度要求）；

（4）混凝土满足坍落度要求后，成型100×100×100mm三联模2组，分别测定28d混凝土抗压强度及28d劈裂抗拉强度；

**二、混凝土拌合物试样的制备**

1、主要仪器

（1）搅拌机；

（2）磅称（称量50-100kg，精度50g）；

（3）天平（称量5kg，精度1g）

2、试样制备的一般规定

（1）在试验室制备混凝土拌合物时，试验室的温度应保持在（20±5℃），所用材料应提前一天放到试验室内。

（2）试验室拌和混凝土时，材料用量应以质量计。

（3）顶层插捣完毕，刮去多余混凝土后抹平混凝土拌合物的制备应符合JGJ55-2011《普通混凝土配合比设计规程》中的相关规定。

（4）从试样制务完毕到开始做各项性能试验不宜超过5min。

（5）一般采用机械拌合法制备混凝土拌合物，搅拌量不小于搅拌机额定搅拌量的1/4。按照配合比，称取各种材料，分别按石、水泥、砂依次倒入搅拌机内，开动机器，徐徐将水加入，搅拌2-3 min，将混凝土拌合物倾倒在铁板上，再经人工翻拌两次，使拌合物均匀一致后用作试验。

**三、混凝土拌和物的和易性检验**

1、试验原理及方法

通过测定混凝土拌和物在自重作用下自由坍落的程度及外观现象（泌水，离析）等，评定混凝土的和易性（流动性、保水性、粘聚性）是否满足施工要求。

2、试验目的及标准

通过测定坍落度，观察混凝土的和易性，确定混凝土拌和物否满足施工要求。

本试验依据GB/T 50080-2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》进行。

3、主要仪器

（1）坍落度筒

（2）插捣棒、卡尺

（3）拌和用刚性不吸水平板：尺寸不宜小于1.5 m×2m

2、试验步骤要点及注意事项

（1）湿润坍落度筒、平板及捣棒等，并把坍落筒放在平板中心，用脚踩住两边的脚踏板。

（2）将制备好的混凝土拌合物用小铲分三层均匀装入筒内，使捣实后每层高约为筒高的1/3。每层用捣棒插捣25次，捣棒应在整个截面上由外向中心均匀插捣，捣棒应插透本层，并与下层接触。

（3）顶层插捣完毕，刮去多余混凝土后抹平

（4）清除筒周边混凝土，垂直平稳提起坍落度筒，提离过程应在5~10s内完成。从开始装料到提起坍落度筒的整个过程，应不间断进行，并应在150s内完成。

（5）提出坍落筒后，立即量测筒高与坍落后混凝土试体最高点之间的高度差，即为该拌和物的坍落度（以mm为单位，结果表达精确至5mm）。坍落度筒提离后，如混凝土发生崩坍或一边剪坏现象，则应重新取样另行测定。如第二次试验仍出现上述现象，则表示该混凝土拌和物和易性不好，应予记录备查。

（6）观察坍落后的混凝土试体的粘聚性和保水性。粘聚性的检查方法是用捣棒在已坍落的混凝土锥体侧面轻轻敲打，此时，如果锥体逐渐下沉，则表示粘聚性良好，如果锥体倒塌、部分崩裂或出现离析现象，则表示粘聚性不好。保水性以混凝土拌和物中稀浆析出的程度来评定。坍落度筒提起后如有较多的稀浆从底部析出，锥体部分的混凝土也因失浆而骨料外露，则表明此混凝土拌和物的保水性能不好。如坍落度筒提起后无稀浆或仅有少量稀浆自底部析出，则表示此混凝土拌和物保水性良好。

**四、混凝土拌和物表观密度试验**

1、试验原理及方法

测定混凝土拌和物捣实后的单位体积质量，以提供核实混凝土配合比计算中的材料用量。

2、试验目的及标准

本试验依据GB/T 50080-2002《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》进行。

3、主要仪器

（1）容量筒——金属制成的圆筒，两旁装有手把。对骨料最大粒径不大于40mm的拌和物采用容积为5升的容量筒，其内径与筒高均匀186±2mm，筒壁厚为3mm；骨料最大粒径大于40mm时，容量筒的内径与筒高均应大于骨料最大粒径的4位。容量筒上缘及内壁应光滑平整，顶面与底面应平行并与圆柱体的轴垂直。容量筒容积应按规定经常予以标定。

（2）台 秤——称量100kg，感量50g。

（3）振动台——频率应为50±3Hz，空载时的振幅应为0.5±0.1mm。

（4）捣 棒——直径16mm、长600mm的钢棒，端部磨圆。

（5）小铲、抹刀、刮尺等。

4、试验步骤要点及注意事项

（1）用湿布把容量筒内外擦干净，称出重量（W1），精确至50g。

（2）混凝土的装料及捣实方法应视拌和物的稠度而定。一般来说，为使所测混凝土密实状态更接近于实际状况，对于坍落度不大于70mm的混凝土，宜用振动台振实， 大于70mm的混凝土用捣棒捣实。

采用振动台振实时，应一次将混凝土拌和物灌满到稍高出容量筒口。装料时允许用捣棒稍加插捣，振捣过程中如混凝土高度沉落到低于筒口，则应随时添加混凝土。振动直至表面出浆为止。

（3）用刮尺齐筒口将多余的混凝土拌和物刮去，表面如有凹陷应予填平。 将容量筒外壁擦净，称出混凝土与容量筒总重（W2），精确至50g。

5、数据处理及结果评定

混凝土拌和物表观密度按下式计算：

γh =（W2- W1）/V×1000

式中

W1——容量筒重量，（kg）

W2——容量筒及试样总重，（kg）

V ——容量筒容积，（L）

试验结果的计算精确至10（kg/m3）。

**五、混凝土力学性能试验试件制作及养护**

 1、试验目的及标准

制作用于抗压强度及劈裂抗拉强度的混凝土试件，并养护至试验龄期。本试验依据GB/T 50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行。

3、主要仪器

（1）混凝土试模。

（2）标准养护室，温度20±2℃，相对湿度95%以上。

（3）振动台——频率应为50±3Hz，空载时的振幅应为0.5±0.1mm。

（4）捣 棒——直径16mm、长600mm的钢棒，端部磨圆。

（5）小铲、抹刀、刮尺等。

4、试验步骤要点及注意事项

 （1）成型前，在试模内表面涂一薄层矿物油或其他不与混凝土发生反应的脱模剂。

（2）用铁锨将拌制好的混凝土拌合物来回拌合三次，将混凝土拌合物一次装入试模，装料时用抹刀沿各试模壁插捣，并使混凝土拌合物高出试模口。

（3）将试模固定在振动台上振动，振动时试模不得有任何跳动，振动应持续到表面出浆为止，不得过振。

（4）刮除试模上口多余的混凝土，将试模从振动台上取下，静置于20±5℃的环境下，待混凝土临近初凝时，用抹刀抹平。

（5）试件成型后，用不透水的薄膜覆盖表面，在20±5℃的环境下静置一昼夜至两昼夜，然后编号、拆模。拆模后立即将试件放入温度20±2℃，相对湿度95%以上的标准养护室内养护至试验龄期。

**试验五 硬化混凝土力学性能试验**

**一、混凝土抗压强度检验**

1、试验目的及标准

通过测定混凝土立方体的抗压强度，以检验材料质量，确定、校核混凝土配合比，确定混凝土强度等级，并为控制施工质量提供依据。

本试验依据GB/T 50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行。

2、主要仪器

压力试验机——精度（示值的机对误差）至少应为±2%，其量程应能使试件的预期破坏荷载值不小于全量程的20%，也不大于全量程的80%。与试件接触的压板或垫板的尺寸应大于试件的承压面，其不平度应为每100mm不超过0.02mm（即为0.02%）。

3、试验步骤要点及注意事项

（1）试件从养护地点取出后，应尽快进行试验，以免试件内部的温温度发生显著变化。

（2）先将试件擦试干净，测量尺寸，并检查外观。试件尺寸测量精确至1mm，并据此计算试件的承压面积。如实测尺寸与公称尺寸之差不超过1mm，可按公称尺寸进行计算。

（3）将试件安放在试验机的下压板上，试件的承压面应与成型时的顶面垂直。试件的中心应与试验机下压板中心对准。开动试验机，当上板与试件接近时，调整球座，使接触均衡。

（4）混凝土试件的试验应连续而均匀地加荷，混凝土强度等级低于C30时，其加荷速度为0.3~0.5MPa/s；若混凝土强度等级高于或等于C30时，则为0.5~0.8MPa/s。当试个接近破坏而开始迅速变形时，停止调整试验机油门，直到试件破坏。然后记录破坏荷载。

4、数据处理及结果评定

（1）混凝土立方体试件抗压强度按下式计算（精确至0.1MPa）:

fcc =

式中

 fcc——混凝土立方体试件抗压强度，（MPa）

P——抗压破坏荷载，（N）

A——试件承压面积，（mm2）

（2）以3个试件测值的算术平均值作为该组试件的抗压强度值。3个测值中的最大值或最小值中如有1个与中间值的差值超过中间或值的15%时，则把最大及最小值舍除，取中间值作为该组试件的抗压强度值。如有2个测值与中间值的差均超过中间值的15%，则该组试件的试验结果无效。

（3）取150mm×150mm×150mm试件的抗压强度为标准值，用其他尺寸试件测得的强度值均应乘以尺寸换算系数，其值对200mm×200mm×200mm试件为1.05，对100mm×100mm×100mm试件为0.95。

**试验六 混凝土碳化试验**

**一、混凝土碳化的原因与条件**

1、混凝土碳化的原因

混凝土是一种碱性体系，水泥水化生成的氢氧化钙使混凝土中孔隙溶液处于较高的碱度。但大气中的CO2通过混凝土的孔隙溶解于毛细管中的液相，并与水泥水化产生的碱性物质反应，生成中性的CaCO3，使混凝土的碱度降低，在适当的环境下导致钢筋脱钝生锈。
 通常情况下，混凝土的碳化方程可用下式表示

 

式中：*X*c——碳化深度，mm；

*k*——碳化系数，mm/；

*t*——碳化时间，a。

碳化系数*k*综合反映各影响因素对碳化速度的影响，总体可分为外部环境条件和内部混凝土抗碳化能力两项。

2、影响混凝土碳化的因素

（1 ）环境CO2浓度对碳化速度的影响可用系数表示：



式中：0.03%为海平面上大气的CO2浓度，CO为环境CO2浓度（%），大城市的室外Co要高于0.03%，而室内CO2浓度平均为室外的1.8倍左右。

（2）随环境温度升高，碳化速度加快；当环境湿度过小时，由于混凝土内缺乏反应水份，碳化速度变缓，环境湿度过大时，混凝土内孔隙水接近饱合，CO2向混凝土内扩散困难，碳化速度也要减小，试验表明相对湿度在50～60%时，碳化速度最快。

（3）混凝土配合比，特别是水胶比，是影响混凝土密实性的主要因素，水胶比越低，密实度越高，碳化系数越小。混凝土强度与碳化系数有明显的相关关系，强度越高，混凝土相对密实，碳化系数越小。

（4）混凝土的浇注质量、养护条件也是影响混凝土密实性的主要因素，构件表面往往处于不同的浇注养护条件，各表面间碳化系数也经常存在差异。

（5）构件角部CO2气体为双向扩散，其碳化速度是非角部的1.4倍。构件的拉应力区由于微裂缝的扩展，气体扩散快，其碳化速率达受压区碳化速率的1.1倍以上。

（6）胶凝材料有粉煤灰等掺和料时，由于碱度减小，碳化系数明显增加，但对于低水胶比的大掺量粉煤灰混凝土由于混凝土微结构（密实性）的改善，可有效减小CO2气体向混凝土内扩散，因此，一般认为其抗碳化能力并不低于普通混凝土。

（7）混凝土是一种非均质的多相的材料，即使是同一个构件（配合比、浇注方式、养护条件相同），不同部位混凝土的密实度也会有很大差异，因此混凝土碳化系数离散性很大，根据实测资料统计，变异系数往往大于0.3。密实的混凝土碳化系数可能小于1，很不密实的混凝土碳化系数可能大于10。

**二、试验要求**

本方法适用于测定在一定浓度的二氧化碳气体介质中混凝土试件的碳化程度，以评定该混凝土的抗碳化能力。碳化试验应采用棱柱体混凝土试件，以3块为一组，试件的最小边长应符合下表的要求。棱柱体的高宽比应不小于3。

碳化试验试件尺寸选用

|  |  |
| --- | --- |
| 试件最小边长（毫米） | 骨料最大料径（毫米） |
| 100150200 | 304060 |

　　无棱柱体试件时，也可用立方体试件代替，但其数量应相应增加。
　　试件一般应在28天龄期进行碳化，采用掺合料的混凝土可根据其特性决定碳化前的养护龄期。碳化试验的试件宜采用标准养护。但应在试验前2天从标准养护室取出。然后在60℃温度下烘48小时。经烘干处理后的试件，除留下一个或相对的两个侧面外，其余表面应用加热的石腊予以密封。在侧面上顺长度方向用铅笔以10毫米间距画出平行线，以预定碳化深度的测量点。

**三、混凝土碳化试验所用设备**

1、碳化箱，带有密封盖的密闭容器，容器的容积至少应为顶定进行试验的试件体积的两倍。箱内应有架空试件的铁架，二氧化碳引入口，分析取样用的气体引出口，箱内气体对流循环装置，温湿度测量以及为保持箱内恒温恒湿所需的设施。必要时，可设玻璃观察口以对箱内的温湿度进行读数。
 2、气体分析仪能分析箱内气体中的二氧化碳浓度、精确到1%。

3、二氧化碳供气装置包括气瓶、压力表及流量计。

  **四、混凝土碳化试验步骤**
　　1、将经过处理的试件放入碳化箱内的铁架上，各试件经受碳化的表面之间的间距至少应不少于50毫米。
　　2、将碳化箱盖严密封。密封可采用机械办法或油封，但不得采用水封以免影响箱内的湿度调节。开动箱内气体对流装置，徐徐充入二氧化碳，并测定箱内的二氧化碳浓度，逐步调节二氧化碳的流量，使箱内的二氧化碳浓度保持在20±3%。在整个试验期间可用去湿装置或放入硅胶，使箱内的相对湿度控制在70±5%的范围内。碳化试验应在20±5℃的温度下进行。
　　3、每隔一定时期对箱内的二氧化碳浓度，温度及湿度作一次测定。一般在第一、二天每隔两小时测定一次，以后每隔4小时测定一次。并根据所测得的二氧化碳浓度随时调节其流量。去湿用的硅胶应经常更换。
　　4、碳化到了3、7、14及28天时，各取出试件，破型以测定其碳化深度。棱柱体试件在压力试验机上用劈裂法从一端开始破型。每次切除的厚度约为试件宽度的一半，用石腊将破型后试件的切断面封好，再放入箱内继续碳化，直到下一个试验期。如采用立方体试件，则在试件中部劈开。立方体试件只作一次检验，劈开后不再放回碳化箱重复使用。
　　5、将切除所得的试件部份刮去断面上残存的粉末，随即喷上（或滴上）浓度为1%的酚酞酒精溶液（含20%的蒸馏水）。经30秒钟后，按原先标划的每10毫米一个测量点用钢板尺分别测出两侧面各点的碳化深度。如果测点处的碳化分界线上刚好嵌有粗骨料颗粒，则可取该颗粒两侧处碳化深度的平均值作为该点的深度值。碳化深度测量精确至1毫米。

 五、数据处理

混凝土在各试验龄期时的平均碳化深度应按下式计算，精确到0.1毫米：


　　 式中：—— 试件碳化t天后的平均碳化深度（毫米）；

　　　　　*di* —— 两个侧面上各测点的碳化深度（毫米）；

*n* —— 两个侧面上的侧点总数。

　　以在标准条件下（即二氧化碳浓度为20±3%，温度为20±5℃，湿度为70±5%）的3个试件碳化28天的碳化深度平均值作为供相互对比用的混凝土碳化值，以此值来对比各种混凝土的抗碳化能力及对钢筋的保护作用。以各龄期计算所得的碳化深度绘制碳化时间与碳化深度的关系曲线，以表示在该条件下的混凝土碳化发展规律。