

道路建筑材料概述

道路建筑材料分类

道路建筑材料不仅是道路与桥梁工程的物质基础,而且也是决定工程质量和使用性能的关键因素,所以合理选择并且正确使用材料至关重要。道路与桥梁工程所用建筑材料,主要有:

➤一、砂石材料

砂石材料是人工开采的岩石或轧制的碎石以及地壳表层岩石经天然风化而得到的松散颗粒。其中,较大尺寸的块状石料经加工后,可直接应用于铺筑道路、砌筑各种桥梁结构物或铺筑隧道基础,性能稳定的可作为集料来配制水泥混凝土和沥青混合料。

➤二、无机结合料及其制品

在道路与桥梁建筑中最常用到的无机结合料主要是石灰和水泥。水泥与集料配制的水泥混凝土是桥梁建筑中钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土结构的主要材料。用水泥、石灰等拌制而成的无机结合料稳定类混合料,广泛应用于路面基层或面层结构中。此外,水泥砂浆是各种桥梁圬工结构物砌筑的重要结合料。

➤三、有机结合料及其混合料

有机结合料主要是指石油沥青、乳化沥青和煤沥青,它们与不同粒径的集料配制成沥青混合料,修筑成各种类型的沥青路面,成为现代路面建设中一种极为重要的筑路材料。

➤四、高分子聚合物材料

各种高分子聚合物材料应用于道路和桥梁建设中,除了可以代替传统材料外,还可以改善路桥工程材料的性能,加固土壤,改善沥青性能和增强水泥混凝土强度等,是一种有发展前途的新材料。

➤五、建筑钢材

建筑钢材是桥梁钢结构及钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土结构的重要材料。

道路建筑材料技术性质

道路与桥梁建筑物,不仅要受到复杂的荷载作用,而且还受到各种复杂自然因素的影响,

所以道路桥梁用建筑材料,既要具备抵抗复杂外力作用的综合力学性能,又必须具有抵抗日光、温度变化、雨淋、冻融等自然因素作用的稳定性。为保证道路桥梁用材料的综合力学强度和稳定性,要求其具备的技术性质有以下几个方面:

➤一、力学性质

力学性质是指道路建筑材料抵抗车辆荷载复杂力系综合作用的性能,这是道路建筑材料最重要的性质。目前除了通过静态的拉、压、弯、剪等试验来反映材料的力学性能外,根据其受力特点,道路建筑材料还可以采用磨光、磨耗、冲击等试验方法来反映其性能。随着科技的发展,将进一步考虑材料在不同温度和时间条件下的力学性能的变化。

➤二、物理性质

材料在使用过程中,其力学强度随温度和湿度等物理因素影响而改变。一般情况下,材料的强度会随温度的升高或含水率的增加而显著降低。因此,材料的温度稳定性、水稳定性是材料性能的主要指标之一。此外,通常还要测定材料的一些物理常数,如密度、堆积密度、孔隙率等来了解内部的组成结构,并且根据物理常数与力学性能之间的相关性,推断材料的力学性能。

➤三、化学性质

化学性质是材料抵抗各种周围环境对其化学作用的性能。道路与桥梁建筑材料在受到周围介质的侵蚀时,会导致其强度降低;在受到大气因素,如气温的交替变化、日光中的紫外线、空气中的水和氧等的综合作用下,会引起材料的“老化”,特别是各种有机材料如沥青材料,表现更为显著。

➤四、工艺性质

工艺性质是材料适合于按照一定工艺流程进行加工的性能。例如水泥混凝土拌合物应具备一定的和易性,以便浇注成一定形状的构件,但是,结构特点和加工工艺不同,对混凝土的流动性的要求也不同。材料的工艺性质是通过一定的试验方法和指标进行控制的。

➤五、耐久性能

材料的耐久性,是指用于构筑物的材料在环境的各种因素影响下,能长久地保持其性能的性质。道路建筑材料在使用过程中将会受到环境的各种影响,例如:钢筋会锈蚀,水泥混凝土会受到各种酸、碱、盐的侵蚀,沥青的老化等。这些化学变化,都使材料的组成或结构发生改变,性质也随之发生变化,造成使用功能恶化。所以,在构筑物的设计及材料的选用中,必须慎重考虑材料的耐久性问题,以利于节约材料,减少维修费用,延长构筑物的使用寿命。

建筑材料以上几个方面的性能是互相联系、互相影响、互相制约的,在研究材料性能时,必须把各方面的性能联系起来统一考虑。

道路建筑材料的检测方法及技术标准

一、道路材料的一般验证方法

道路建筑材料试验是本课程的一个重要组成部分。材料应具有一定的技术性能,而对这些性能的检验,必须通过适当的测试手段来进行。检验测定道路与桥梁结构物中所用材料在实际结构物中的性质,通常可采用试验室内原材料性能检验测定、试验室内模拟结构检验测定以及现场修筑试验性结构物检定等方法。而本课程着重阐述试验室内原材料性能检验测定。室内材料试验包括下列内容:

1. 物理性能试验

测定道路桥梁用材料的物理常数,除了可以提供材料组成设计时所用的一些原始资料外,还可以通过物理常数测定间接推断材料的力学性能,因为物理常数是材料内部组成结构的反映。

2. 力学性质试验

目前建筑材料的力学性质主要是采用各种试验机测定其静态力学性能(如抗压、拉、弯、剪等强度)来反映。

建筑材料的成分、结构和构造,决定了它所具备的力学性质,但同一种建筑材料,在不同温度、不同荷载作用及不同时间条件下性能却有所不同,所以在检测材料的力学性质时,必须按照严格规定进行,尽量使材料的受力状态与其在路上的实际受力状态较为接近。

3. 化学性质试验

对于材料化学性质的试验,通常只进行一些简单化合物含量或有害物质含量的检测分析。如石灰通常需要检测其 CaO 、 MgO 的含量,因为它们含量是评价石灰质量的主要指标。对于某些材料如沥青的“组分”分析,随着近代检测技术的发展,核磁共振波谱、红外光谱、X 射线衍射和扫描电子显微镜等检测方法的逐步应用,促进了沥青化学结构与路用性能的相依性的研究,有可能从化学结构上来设计要求性能的沥青材料。

4. 工艺性质试验

现代工艺试验主要是将一些经验指标与工艺要求联系起来,尚缺乏科学理论的分析。随着流变力学、断裂力学等的发展,许多材料工艺性质的试验按照流变—断裂学理论来进行分析,并提出不同的方法。例如,沥青混合料的摊铺性质采用流动性系数等指标来控制。

二、道路材料质量的标准化和技术标准

道路与桥梁结构物所用材料及其制品必须具备一定的技术性质,以适应道路结构物不同建筑结构与施工条件的要求。这些要求体现为国家标准或有关的技术规范规定的一些技术指标。在道路设计与建设过程中我们应该按这些指标来评价道路材料的质量。

为了保证建筑材料的质量,我国对各种材料制定了专门的技术标准。目前,我国建筑材料的标准分为:国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四个等级。对需要在全国范围内统一的制定“国家标准”,国家标准由国务院标准化行政主管部门编制计划、组织草拟、统一审批、编

号、发布。我国国家标准以符号“GB”代表,还要注明编号、制定修订年份、标准名称等。对没有国家标准而又需要在全国某行业范围内统一的技术要求,可以制定行业标准。行业标准由国务院有关行政主管部门制定,并报国务院标准化行政主管部门备案,在公布国家标准之后,该项行业标准即行废止。在行业标准后加“T”,表示推荐性行业标准,又称为非强制性标准或自愿性标准。在标准后加“J”,表示“基本建设方面”,如建筑行业标准,代号“JTJ”。

我国国家标准及各种标准代号示例如表 0-1 所示。

表 0-1 各种标准代号

标准种类		代号		表示顺序(例)
1	国家标准	GB	GB 强制性标准 GB/T 推荐性标准 GBN 内控标准	代号、标准编号、颁布年代 (GB 175—2007 通用硅酸盐水泥)
2	交通部 行业标准	按原部 标准代号	JT 交通行业强制性 标准 JT/T 交通行业推荐 性标准	代号、标准编号、颁布年代 (JTG E20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试 验规程)
	专业标准	ZB	ZB	代号、专业类号、标准号、颁布年代 (ZBQ 15002—89)
3	地方标准	DB	DB 地方强制性标准 DB/T 地方推荐性 标准	代号、行政区号、标准号、颁布年代 (DB 34/T234—2002)
4	企业标准	QB	QB	代号/企业代号、顺序号、发布年代 (QB/T 2480—2000)

道路建筑材料与路桥工程的关系

一、材料是工程结构物的物质基础

道路建筑材料是道路、桥梁等工程结构物的物质基础。材料质量的好坏,配制是否合理及选用是否合适等,均直接影响结构物的质量。道路工程结构物裸露于大自然中,承受瞬间、反复动荷载的作用,材料的性能和质量对结构物的使用性能影响极大。近年来由于交通量的迅速增长和车辆行驶的渠化,一些高等级路面出现较严重的波浪、车辙等病害现象,这些均与材料的性质有一定的关系。

二、材料的使用与工程造价密切相关

众多工程统计分析表明,在道路与桥梁工程中,用于材料方面的费用约占总造价的 60%,特别是高标准的高速公路与桥梁,材料费所占的比例更大。因此合理地选择和使用材料对节约工程投资、降低工程造价十分必要。所以,作为一名道路桥梁工程专业的技术人员,必须熟

悉建筑材料的品种和性能,并能在不同的工程中合理使用,发挥材料的各种功能,降低材料成本。

三、材料科学的进步可以促进工程技术发展

工程建筑设计、施工工艺的更新换代,往往要依赖于新材料的发展;同时,新材料的出现和使用,必然导致工程建筑设计、施工工艺的新突破。在道路与桥梁工程建设中,材料同样是促进道路与桥梁工程技术发展的重要基础。

道路建筑材料的发展趋势

随着国民经济和道路交通事业的蓬勃发展,高等级道路建设的速度不断加快,对道路、桥梁、隧道等结构物提出了更高的要求,同时也对道路建筑材料提出了更高的要求,道路建筑材料的发展必然要在科学发展观的指导下与资源、能源、环境等因素密切结合,走可持续发展的道路。现代道路建筑材料的发展趋势有以下几个方面:

①产品性能上,要求高强、轻质、高耐久性、高耐火性、高性能、绿色环保等。这对提高道桥工程的安全性、经济性、适用性及使用寿命等有着非常重要的作用。如现代大跨度的桥梁要求采用高强、轻质的材料。

②制品形式上,部分道路建筑材料向预制化、构件化、大尺寸方向发展。如大型桥梁预制构件等。

③生产工艺上,采用现代技术,提高生产效率,降低生产能耗,采用新型节能材料。社会发展要求淘汰落后的生产工艺,而传统建材工业能耗较高,所以采用现代科学技术、降低生产能耗、提高产品竞争力成为必然趋势。

④资源利用上,充分利用工业废弃物,保护环境,节约资源。材料的发展改善了人类的生存环境,但也加快了资源、能源的消耗,影响了环境质量。所以节省资源,不产生或不排放污染环境、破坏生态的有害物质,减轻对地球和生态系统的负面影响,实现非再生性资源的可循环使用、可持续发展是道路建筑材料发展的必由之路。

学习情境 1

砂石材料



情境导入

砂石材料是道路与桥梁建筑中用量最大的一种建筑材料,砂石材料包括天然岩石、人工轧制的碎石、地壳表层岩石经天然风化得到的松散集料以及工业冶金矿渣等。它可以直接用于铺筑道路或砌筑道路桥梁的圬工结构,也可以作为水泥混凝土、沥青混合料的集料。以下为砂石材料用于水泥混凝土以及沥青混合料集料的图示。



用作道路与桥梁工程的砂石材料都要具备一定的技术性质以适应不同工程的技术要求,特别是作为水泥混凝土或沥青混凝土用集料,要严格按照级配理论要求依据矿质混合料组成设计方法进行组成设计。



学习目标

知识目标:掌握评价砂石材料技术性质的主要指标,学会检验砂石材料技术性质的方法,学会应用级配理论设计矿质混合料配合组成的方法。

能力目标:能熟练地检测砂石材料的技术性质并结合工程所处环境条件合理选择材料品种;会进行矿质集料组成设计。

任务 1.1 砂石材料的技术性质



教学内容

重点阐述砂石材料(包括岩石和粗、细集料)的技术性质、技术标准、评价方法和评价指标。



关键词

岩石 集料 技术性质 技术标准

1.1.1 岩石的技术性质

岩石的技术性质,主要从物理性质、力学性质和化学性质三方面进行评价。

1. 物理性质

岩石的物理性质包括:物理常数(如真实密度、毛体积密度和孔隙率等)、吸水性(如吸水率、饱和吸水率)和抗冻性。

(1) 物理常数

岩石的物理常数是岩石矿物组成结构状态的反映,它与岩石的技术性质有着密切的关系。岩石的内部组成结构主要是由矿质实体和孔隙(包括与外界连通的开口孔隙和不与外接连通的闭口孔隙)所组成,如图 1-1 所示。在路桥工程用块状石料中,最常用的物理常数主要是真实密度、毛体积密度和孔隙率。

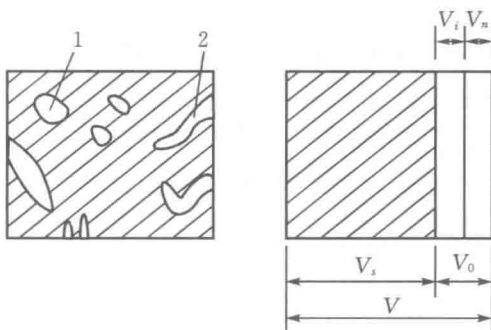


图 1-1 含孔材料体积组成示意图

1—闭孔孔隙; 2—开孔孔隙

①真实密度。真实密度是岩石在规定条件($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒重,温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)下,烘干岩石矿质实体单位体积(不包括开口与闭口孔隙)的质量,用 ρ_t 表示。

$$\rho_t = \frac{m_s}{V_s} \quad (1-1)$$

式中: ρ_t ——岩石的真实密度(g/cm^3);

m_s ——岩石矿质实体的质量(g);

V_s ——岩石矿质实体的体积(cm^3)。

岩石真实密度的测定方法按我国现行《公路工程岩石试验规程》(JTG E41—2005)采用“密度瓶法”。要获得矿质实体的体积,必须将岩石粉碎磨细,通过试验测定出来。

②毛体积密度。毛体积密度是在规定条件下,烘干岩石(包括孔隙在内)的单位体积的质量。根据岩石含水状态,毛体积密度可分为干密度、饱和密度和天然密度。毛体积密度用 ρ_b 表示。

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i} \quad (1-2)$$

式中: ρ_b ——岩石的毛体积密度(g/cm^3);

m_s ——岩石矿质实体的质量(g);

V_s ——岩石矿质实体的体积(cm^3);

V_i ——岩石开口孔隙的体积(cm^3);

V_n ——岩石闭口孔隙的体积(cm^3)。

岩石毛体积密度的测定方法,按我国现行《公路工程岩石试验规程》规定,利用量积法、水中称量法和蜡封法来测定毛体积密度。

由于岩石矿质实体的体积和孔隙体积之和即岩石的总体积 $V, V_s + V_n + V_i = V$, 所以式(1-2)可写为式(1-2'):

$$\rho_b = \frac{m_s}{V} \quad (1-2')$$

③孔隙率。岩石的孔隙率是指岩石孔隙体积占岩石总体积的百分率。岩石孔隙率用式(1-3)表示,结果精确至 0.1%:

$$n = \frac{V_0}{V} \times 100 \quad (1-3)$$

式中: n ——岩石的孔隙率(%);

V_0 ——岩石的孔隙(包括开口孔隙和闭口孔隙)的体积(cm^3);

V ——岩石的总体积(cm^3)。

孔隙率亦可以用真实密度和毛体积密度计算求得,由式(1-3)得: $n = [(V - V_s)/V] \times 100 = [1 - (V_s/V)] \times 100$, 又由式(1-1)和式(1-2')得 $V_s = m_s/\rho_t, V = m_s/\rho_b$, 故式(1-3)可表达为式(1-3'):

$$n = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (1-3')$$

式中: n ——岩石的孔隙率(%);

ρ_t ——岩石的真实密度(g/cm^3);

ρ_b ——岩石的毛体积密度(g/cm^3)。

以上三个物理常数不仅反映石料的内部组成结构的状态,而且能间接地反映出石料的力学性质。尤其是石料的孔结构,会影响其所轧制成的集料在水泥(或沥青)中对水泥浆(或沥青)的吸收、吸附等化学交互作用程度。

(2) 吸水性

岩石的吸水性是岩石在规定条件下吸收水分的能力。由于石料孔结构的差异,在不同试验条件下吸水能力不同,采用吸水率和饱和吸水率两项指标来表征。

①吸水率。岩石吸水率是指在室内常温($20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$)和大气压条件下,岩石试样最大的吸水质量与烘干($105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 干燥至恒重)岩石试件质量之比,以百分率表示。我国现行《公路工程岩石试验规程》规定采用自由吸水法测定,按式(1-4)计算,精确值 0.01%:

$$w_a = \frac{m_1 - m}{m} \times 100 \quad (1-4)$$

式中: w_a ——岩石吸水率(%);

m ——烘至恒重时的试件质量(g);

m_1 ——吸水至恒重时的试件质量(g)。

②饱和吸水率。岩石的饱和吸水率是指在室内常温($20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$)和真空抽气后的条件下,岩石试样最大的吸水质量与烘干岩石试件质量之比,以百分率表示。我国现行《公路工程岩石试验规程》规定采用煮沸法或真空抽气法测定,按式(1-5)计算,精确值0.01%:

$$w_{\text{sat}} = \frac{m_2 - m}{m} \times 100 \quad (1-5)$$

式中: w_{sat} ——岩石饱和吸水率(%);

m ——烘至恒重时的试件质量(g);

m_2 ——岩石饱和状态下含表面水的湿质量(g)。

吸水率、饱和吸水率能有效地反映岩石微裂隙的发育程度,可用来判断岩石的抗冻性和抗风化等性能。

(3) 抗冻性

材料的抗冻性是指材料在吸水饱和状态下,经受规定次数的冻融循环后抵抗破坏的能力。材料遭受冻结破坏,主要因浸入其孔隙的水结冰后体积膨胀,对孔壁产生的应力所致。另外,冻融时的温差应力,亦产生破坏作用。抗冻性良好的材料,其耐水性、抗温度或干湿交替变化能力、抗风化能力等亦强,因此抗冻性也是评价材料耐久性能的综合指标。

材料的抗冻性用抗冻等级来表示。以规定的吸水饱和试件,在标准试验条件下,经一定次数的冻融循环后,强度降低及质量损失不超过规定数值,则此冻融循环次数即为抗冻等级,用F50、F100、F150等表示,分别表示抵抗50次、100次、150次冻融循环,而未超过规定的损失程度。显然,冻融循环次数越多,抗冻等级越高,抗冻性能也越好。对于冻融的温度和时间,循环次数,冻后损失的项目和程度,不同的材料均有各自的具体规定。

岩石抗冻性试验通常采用直接冻融法。试件在饱和状态下,在 -15°C 时冻结4h后,放入 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 水中融解4h,为冻融循环一次,如此反复冻融至规定次数为止。经历规定的冻融循环次数后,详细检查各试件有无剥落、裂缝、分层及掉角等现象,并记录检查情况。将冻融试验后的试件烘干至恒重,称其质量,然后测定其抗压强度,并计算岩石的冻融质量损失率和冻融系数。如无条件进行冻融试验,也可以采用坚固性简易快速测定法,这种方法通过饱和硫酸钠溶液进行多次浸泡与烘干循环后来测定。

2. 力学性质

公路与桥梁工程结构物中用岩石,应具备一定的力学性质,如抗拉、抗压、抗剪、抗折强度,还应具备如抗磨光、抗冲击和抗磨耗等力学性能,在此主要讨论确定岩石的抗压强度和磨耗性两项性质。

(1) 单轴抗压强度

岩石的单轴抗压强度,按我国现行《公路工程岩石试验规程》规定:将岩石制备成标准试件(建筑基础用的岩石试验,采用直径 $50\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$,高径比2:1的圆柱体试件;桥梁工程用的石料试验,采用边长为 $70\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ 的立方体试件;路面工程的石料试验,采用圆柱体或立方体试件,其直径或边长和高均为 $50\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$),经吸水饱和后,单轴受压并按规定的加载条件下,达到极限破坏时单位承压面积的荷载。按式(1-6)计算:

$$R = \frac{P}{A} \quad (1-6)$$

式中: R ——岩石的抗压强度(MPa);

P ——试件破坏时的荷载(N);

A ——试件的截面积(mm^2)。

岩石的抗压强度是反映岩石力学性质的主要指标之一,它在岩体工程分类、建筑材料选择及工程岩体稳定性评价计算中都是必不可少的指标。

(2) 磨耗性

磨耗性是岩石抵抗撞击、剪切和摩擦等综合作用的性能,以磨耗率表示,我国现行标准《公路工程岩石试验规程》规定岩石磨耗试验方法与粗集料的磨耗试验方法相同,按《公路工程集料试验规程》(JTG E42—2005)采用洛杉矶式磨耗试验。

试验时采用洛杉矶磨耗试验机,其圆筒内径为 $710 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$,内侧长 $510 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$,两端封闭。试验时将规定质量且有一定级配的试样和一定质量的钢球置于试验机中,以 $30 \sim 33 \text{ r/min}$ 的转速转动至要求次数后停止,取出试样,用 1.7 mm 的方孔筛筛去试样的细屑,用水洗净留在筛上的试样,烘至恒重并称其质量。岩石磨耗率按式(1-7)计算,精确值 0.1% :

$$Q = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-7)$$

式中: Q ——洛杉矶磨耗率(%);

m_1 ——装入圆筒中的试样质量(g);

m_2 ——试验后在 1.7 mm 筛上洗净烘干的试样质量(g)。

3. 化学性质

岩石的化学性质影响着混合料的物理—力学性质。根据试验研究的结果,按 SiO_2 的含量多少将岩石分为酸性、碱性及中性。按克罗斯的分类法,岩石化学组成中 SiO_2 含量大于 65% 的岩石为酸性岩石,如花岗岩、石英岩等; SiO_2 含量在 $52\% \sim 65\%$ 的岩石为中性岩石,如闪长岩、辉绿岩等; SiO_2 含量小于 52% 的岩石称为碱性岩石,如石灰岩、玄武岩等。所以在选择与沥青结合的岩石时,应考虑岩石的酸碱性对沥青与岩石粘结性的影响,优先采用碱性石料,以提高沥青与石料的黏附性。

► 1.1.2 集料的技术性质

集料是指在混合料中起骨架或填充作用的粒料,包括岩石天然风化而成的砾石(卵石)和砂等,以及由岩石经人工轧制的各种尺寸的碎石、机制砂、石屑等。

工程上根据集料的粒径大小将集料分为粗集料和细集料两类。

1. 粗集料

在沥青混合料中,粗集料是指粒径大于 2.36 mm 的碎石、破碎砾石、筛选砾石和矿渣等;在水泥混凝土中,粗集料是指粒径大于 4.75 mm 的碎石、砾石和破碎砾石等。粗集料的技术性质主要包括物理性质和力学性质两个方面。

(1) 物理性质

①物理常数。在计算粗集料的物理常数时,不仅要考虑到粗集料颗粒中的孔隙(开口孔隙或闭口孔隙),还要考虑颗粒间的空隙。

A. 表观密度(简称视密度)。粗集料的表观密度是在规定条件下($105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 烘干至恒重),单位体积(包括集料矿质实体及不吸水的闭口孔隙体积,但不包括能吸水的开口孔隙体

积)的质量。粗集料表观密度以 ρ_a 表示:

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_s + V_n} \quad (1-8)$$

式中: ρ_a ——粗集料表观密度(g/cm^3);

m_s ——矿质实体质量(g);

V_s ——矿质实体体积(cm^3);

V_n ——粗集料矿质实体中闭口孔隙体积(cm^3)。

粗集料表观密度测定方法按《公路工程集料试验规程》规定采用网篮法。具体内容见“任务 1.4 砂石材料试验实训”。

B. 毛体积密度。粗集料的毛体积密度是在规定条件下,单位毛体积(包括材料实体、闭口孔隙和开口孔隙)的质量。粗集料的毛体积密度可由式(1-9)求得:

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i} \quad (1-9)$$

式中: ρ_b ——粗集料的毛体积密度(g/cm^3);

m_s ——矿质实体质量(g);

V_s, V_n, V_i ——分别为粗集料矿质实体、闭口孔隙和开口孔隙体积(cm^3)。

粗集料毛体积密度的测定方法是按《公路工程集料试验规程》规定测定,是将已知质量的干燥粗集料经 24 h 饱水后,用湿毛巾擦干而求得饱和面干质量,然后用排水法求得水中的体积,即求得粗集料毛体积密度。

C. 堆积密度。粗集料的堆积密度是单位体积(包括矿质实体、闭口孔隙和开口孔隙及颗粒间体积)物质颗粒的质量,可按式(1-10)求得:

$$\rho = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i + V_v} \quad (1-10)$$

式中: ρ ——粗集料的堆积密度(g/cm^3);

m_s ——矿质实体的质量(g);

V_s, V_n, V_i, V_v ——分别为矿质实体、闭口孔隙、开口孔隙和空隙的体积(cm^3)。

粗集料的堆积密度包括自然堆积状态、振实状态和捣实状态下的堆积密度,计算同式(1-10)。

散粒状材料的体积组成如图 1-2 所示。开口孔的孔体积为 V_i ,闭口孔的孔体积为 V_n ,则孔隙体积之和 $V_0 = V_i + V_n$ 。

D. 空隙率。空隙率是指粗集料颗粒之间空隙体积占粗集料总体积的百分比。粗集料空隙率可按式(1-11)计算:

$$n = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_a}\right) \times 100 \quad (1-11)$$

式中: n ——粗集料空隙率(%);

ρ ——粗集料的堆积密度(g/cm^3);

ρ_a ——粗集料的表观密度(g/cm^3)。

②级配。粗集料中各组成颗粒的分级和搭配情况称为级配,级配是通过筛分试验确定的。对水泥混凝土用粗集料可采用干筛法筛分试验,对沥青混合料及基层用粗集料必须采用水洗法筛分试验。筛分试验就是将粗集料经过一系列筛孔尺寸的标准筛(标准筛为方孔筛,筛孔尺

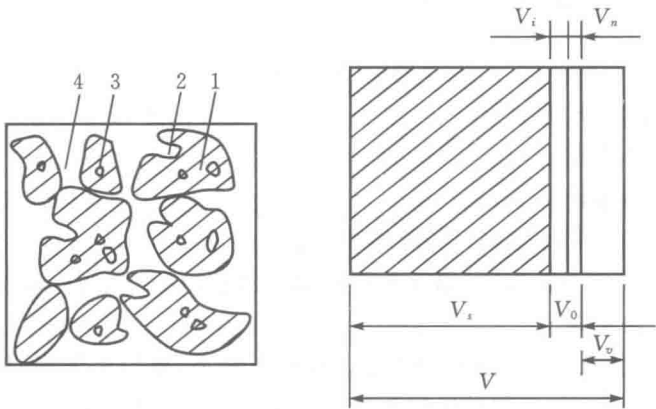


图 1-2 散粒材料松散体积组成示意图

1—颗粒中的固体物质；2—颗粒中的开口孔隙；3—颗粒的闭口孔隙；4—颗粒间的空隙

寸依次为 90 mm、75 mm、63 mm、53 mm、37.5 mm、31.5 mm、26.5 mm、19 mm、16 mm、9.5 mm、4.75 mm、2.36 mm)，测出各个筛上的筛余量，根据集料试样的质量与存留在各筛孔上的集料质量，就可以得出一系列与集料级配有关的参数：a. 分计筛余百分率；b. 累计筛余百分率；c. 通过百分率。粗集料的筛分试验中采用的标准套筛尺寸范围及试样质量与细集料筛分试验有所不同，但级配参数的计算方法与细集料相同，详见“细集料”内容。

③坚固性。对于轧制成的碎石或是天然卵石亦可采用规定级配的各粒级集料，按现行《公路工程集料试验规程》选取规定数量，分别装入金属网篮浸入饱和和硫酸钠溶液中进行干湿循环试验，完成五次循环后，观察其表面破坏情况，并用质量损失百分率来计算其坚固性（也称安定性）。

试样中各粒级颗粒的分计质量损失百分率按式（1-12）计算：

$$Q_i = \frac{m_i - m'_i}{m_i} \times 100 \tag{1-12}$$

式中： Q_i ——各粒级颗粒的分计质量损失百分率（%）；
 m_i ——各粒级试样试验前的烘干质量（g）；
 m'_i ——经硫酸钠溶液法试验后各粒级筛余颗粒的烘干质量（g）。

试样总质量损失百分率按式（1-12'）计算，精确至 1%：

$$Q = \frac{\sum m_i Q_i}{\sum m_i} \tag{1-12'}$$

式中： Q ——试样总质量损失百分率（%）；
 m_i ——试样中各粒级的分计质量（g）；
 Q_i ——各粒级的分计质量损失百分率（%）。

(2)力学性质

粗集料力学性质主要是压碎值和磨耗率；其次是抗滑表层用集料的三项试验，即磨光值、道瑞磨耗值和冲击值。除洛杉矶式磨耗试验已在岩石力学性质中讲过，现将压碎值、磨光值、道瑞磨耗值和冲击值分述如下。

①压碎值。粗集料压碎值用于衡量集料在逐渐增加的荷载下,抵抗压碎的能力。它是衡量集料力学性质的一个指标,用以评价其在公路工程中的适用性。

按《公路工程集料试验规程》的规定,粗集料压碎值试验是将 9.5~13.2 mm 集料试样 3 kg 装入压碎值测定仪(图 1-3)的金属筒内,放在压力机上,在 10 min 左右时间内均匀地加荷至 400 kN,稳压 5 s 然后卸载,称其通过 2.36 mm 的筛余质量(精确至 1 g),按式(1-13)计算,精确至 0.1%:

$$Q'_a = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (1-13)$$

式中: Q'_a ——石料压碎值(%);

m_0 ——试验前试样质量(g);

m_1 ——试验后通过 2.36 mm 筛孔的集料质量(g)。

②磨光值。在现代高速行车条件下,要求路面集料既不要产生较大的磨损,也不要被磨

光,也就是说对路面粗糙度提出了更高的要求。集料磨光值是反映集料抵抗轮胎磨光作用能力的指标,是利用加速磨光机(图 1-4)磨光集料并以摆式摩擦系数测定仪(图 1-5)测得的磨光后集料的摩擦系数值来确定。用高磨光值的集料来铺筑道路路面表层,可提高路表的抗滑能力,保障车辆的安全行驶。

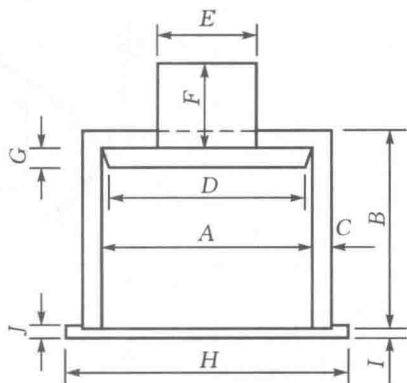


图 1-3 压碎值测定仪

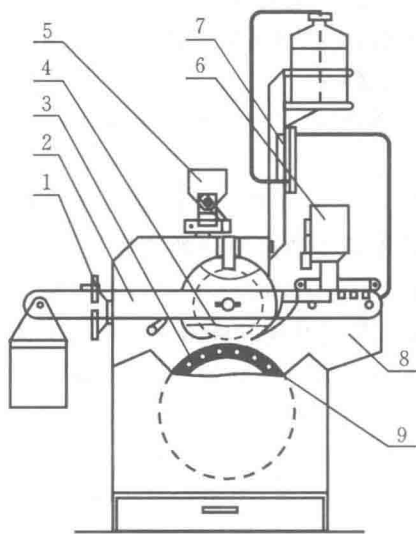


图 1-4 加速磨光试验机

1—荷载调整系统;2—调整臂(配重);3—道路轮;4—橡胶轮;5—细料贮砂斗;6—粗料贮砂斗;7—供水系统;8—机体;9—试块(14块)

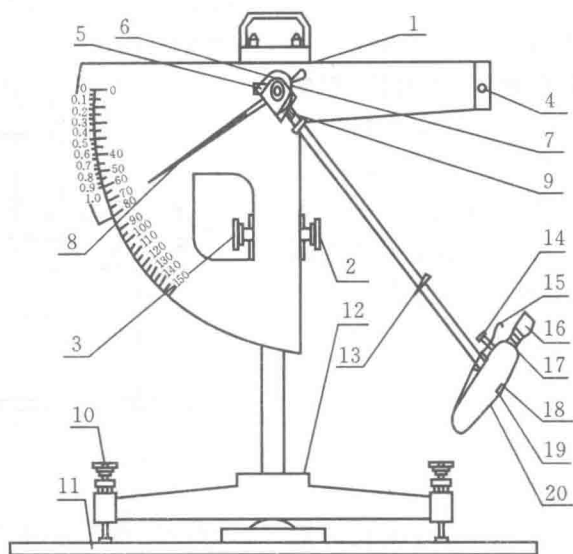


图 1-5 摆式摩擦系数测定仪

1—紧固把手;2,3—升降把手;4—释放开关;5—转向节螺盖;6—调节螺母;7—针簧片或毡垫;8—指针;9—连接螺母;10—调平螺栓;11—底座;12—水准泡;13—卡环;14—定位螺丝;15—举升柄;16—平衡锤;17—并紧螺母;18—滑溜块;19—橡胶片;20—止滑螺丝

磨光值试验的基本方法是将 9.5~13.2 mm 集料颗粒尽量紧密地排列于试模中,用环氧树脂砂浆固定,制成试件,经养护后拆模。同种集料制备四个试件,按顺序排列在道路轮上。先用 30 号金刚砂(粗砂)对试件磨蚀 3 h,再用 280 号金刚砂(细砂)磨蚀 3 h 后停机。取出试件,用摆式仪测定试件的摩擦系数,将摩擦系数除以 0.6 即为该集料的磨光值,用 *PSV* 表示。集料磨光值愈高,表示其抗滑性愈好。

③冲击值。冲击值是反映集料抵抗多次连续重复冲击荷载作用的性能,可采用冲击试验仪(图 1-6)测定。

冲击试验方法是选取粒径为 9.5~13.2 mm 的集料试样,用金属量筒分三次捣实的方法确定试验用集料数量,将集料装于冲击值试验仪的盛样器中,用捣棒半球形端将集料捣实 25 次使其初步压实,然后用质量为 $13.75\text{ kg} \pm 0.05\text{ kg}$ 的冲击锤,沿导杆自集料表面以上 $380\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ 处,自由落下锤击集料并连续锤击 15 次,每次锤击间隔时间不少于 1 s。将冲击试验后的集料用 2.36 mm 的筛子筛分并称量,分别称取保留在 2.36 mm 筛上及筛下的石屑质量,精确至 0.1 g,按式(1-14)计算:

$$AIV = \frac{m_2}{m} \times 100 \quad (1-14)$$

式中: AIV ——集料的冲击值(%);

m ——试样总质量(g);

m_2 ——冲击破碎后通过 2.36 mm 的试样质量(g)。

④磨耗值。集料磨耗值用于评定路面表层所用集料抵抗车轮撞击及磨耗的能力。按我国现行试验规程《公路工程集料试验规程》采用道瑞磨耗试验机来测定集料的磨耗值。其方法是

选取粒径为 9.5~13.2 mm 的洗净干燥集料试样,单层排放于两个试模内(不少于 24 粒),然后用细砂(0.1~0.3 mm)充填,并用环氧树脂砂浆填充密实。常温下经养护 24 h,拆模取出试件,准确称出试件质量,将试件放在托盘内,称出试件、托盘和配重的质量并将合计的质量调整到 $2\,000\text{ g}\pm 10\text{ g}$ 。将试件连同托盘放入磨耗机内,磨盘以 $28\sim 30\text{ r/min}$ 的转速旋转,磨 500 圈后,取出试件,刷净残砂,准确称出试件质量,精确至 0.1 g,其磨耗值按式(1-15)计算:

$$AAV = \frac{3(m_1 - m_2)}{\rho_s} \quad (1-15)$$

式中: AAV —— 集料的道瑞磨耗值;

m_1 —— 磨耗前试件的质量(g);

m_2 —— 磨耗后试件的质量(g);

ρ_s —— 集料的表干密度(g/cm^3)。

集料磨耗值越高,表示集料耐磨性愈差。

2. 细集料

在沥青混合物中,细集料是指粒径小于 2.36 mm 的天然砂、机制砂及石屑;在水泥混凝土中,细集料是指粒径小于 4.75 mm 天然砂、机制砂。在工程中应用较多的细集料是砂。

砂按来源分为两类:第一类是天然砂,它是自然生成的,经人工开采和筛分的粒径小于 4.75 mm 的岩石颗粒。按其产源不同,可分为河砂、山砂和海砂。河砂颗粒表面圆滑,比较洁净,质地较好,产源广;山砂颗粒表面粗糙有棱角,含泥量和含有机杂质多;海砂虽然具有河砂的特点,但因在海中所以常混有贝壳、碎片和盐分等有害杂质。一般工程上多使用河砂,在缺乏河砂地区,可采用山砂或海砂,但在使用时必须按规定作技术检验。第二类为机制砂,它是经除土处理,由机械破碎、筛分制成的,粒径小于 4.75 mm 的岩石、矿山尾矿或工业废渣颗粒。其表面多棱角,较洁净,但造价较高,如无特殊情况,多不采用这种砂。

细集料技术性质主要包括物理性质、颗粒级配和粗度。

(1) 物理常数

细集料的物理常数主要有表观密度、堆积密度和空隙率等,其含义与粗集料完全相同,具体数值可通过试验测定。细集料的物理常数计算方法与粗集料相同。

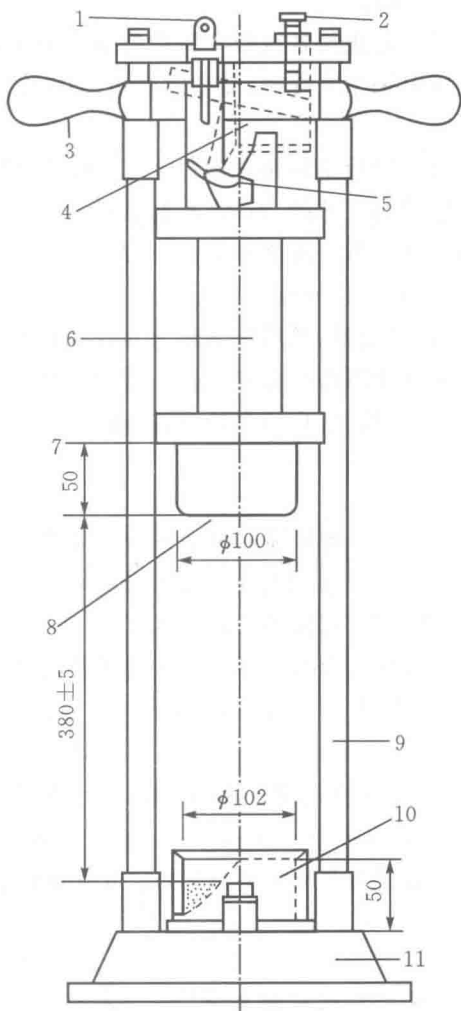


图 1-6 冲击试验仪(尺寸单位:mm)

1—卸机销钉;2—可调的卸机制动螺栓;3—手提把;4—冲击计数器;5—卸机钩;6—冲击锤;7—削角;8—钢化表面;9—冲击锤导杆;10—圆形钢筒内侧钢化表面;11—圆形基座

(2) 级配

级配是集料各级粒径颗粒的分配情况,砂的级配可通过筛分试验确定。对水泥混凝土用细集料可采用干筛法,需要时也可采用水洗法筛分;对沥青混合料及基层用细集料必须采用水洗法筛分。

筛分试验是将预先通过 9.5 mm 方孔筛(水泥混凝土用天然砂)或 4.75 mm 筛(沥青路面及基层用的天然砂、石屑、机制砂等)的试样,称取不少于 550 g 的试样,在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的温度下烘干至恒重。准确称取烘干试样 500 g (M),置于按筛孔大小顺序排列分别为 4.75 mm、2.36 mm、1.18 mm、0.6 mm、0.3 mm、0.15 mm 的方孔筛上,分别求出试样存留在各筛上的质量,即筛余量,然后按下述方式计算其有关级配参数。

①分计筛余百分率。各号筛的分计筛余百分率为该号筛上的筛余量除以试样总质量(M)的百分率,按式(1-16)计算,准确至 0.1%:

$$a_i = \frac{m_i}{M} \times 100 \quad (1-16)$$

式中: a_i ——各号筛的分计筛余百分率(%);

m_i ——某号筛上的筛余质量(g);

M ——试样的总质量(g)。

②累计筛余百分率。各号筛的累计筛余百分率为该号筛及大于该号筛的分计筛余百分率之和,按式(1-17)计算,准确至 0.1%:

$$A_i = a_1 + a_2 + \cdots + a_i \quad (1-17)$$

式中: A_i ——各号筛的累计筛余百分率(%);

$a_1, a_2, \dots, a_i$ ——4.75 mm、2.36 mm……至计算的某号筛的分计筛余百分率(%)。

③通过百分率。各号筛的通过百分率等于 100 减去该号筛的累计筛余百分率,按式(1-18)计算,准确至 0.1%:

$$P_i = 100 - A_i \quad (1-18)$$

式中: P_i ——各号筛的通过百分率(%);

A_i ——各号筛的累计筛余百分率(%)。

(3) 粗度

粗度是评价砂的粗细程度的一种指标,通常用细度模数表示。细度模数亦称细度模量,可按式(1-19)计算,精确至 0.01:

$$M_x = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1} \quad (1-19)$$

式中: M_x ——砂的细度模数;

$A_1, A_2, \dots, A_6$ ——分别为边长 4.75 mm、2.36 mm……0.15 mm 筛的累计筛余百分率(%)。

细度模数越大,表示细集料愈粗。我国现行标准《建设用砂》(GB/T 14684—2011)规定砂的粗细程度按细度模数 M_x 可分为粗、中、细三种规格,其范围应符合下列规定:

粗砂: $M_x = 3.7 \sim 3.1$

中砂: $M_x = 3.0 \sim 2.3$

细砂: $M_x = 2.2 \sim 1.6$

【例 1-1】 工地现有砂 500 g,筛分试验后的筛分结果如表 1-1 所示。计算该砂的细度模数,并评价其粗细程度。

表 1-1 筛分试验后的筛分结果

筛孔尺寸(mm)	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	底盘
筛余量(g)	0	12.5	63.4	110.5	147.6	102.8	45.1	18.1

解 按题所给筛分结果计算如表 1-2 所示。

表 1-2 筛分结果计算

方孔筛筛孔尺寸(mm)	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	底盘
筛余量(g)	0	12.5	63.4	110.5	147.6	102.8	45.1	18.1
分计筛余百分率(%)	0	2.5	12.7	22.1	29.5	20.6	9.0	3.6
累计筛余百分率(%)	0	2.5	15.2	37.3	66.8	87.4	96.4	100
通过百分率(%)	100	97.5	84.8	62.7	33.2	12.6	3.6	0

根据公式(1-19)计算细度模数:

$$M_x = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1}$$

$$= [(96.4 + 87.4 + 66.8 + 37.3 + 15.2) - 5 \times 2.5] \div (100 - 2.5) = 2.98$$

由于细度模数为 2.98 在 3.0~2.3 之间,所以,此砂为中砂。

细度模数虽能表示砂的粗细程度,但不能完全反映出砂的颗粒级配情况,因为相同细度模数的砂可能有不同的颗粒级配。因此,要全面表征砂的颗粒性质,必须同时使用细度模数和级配两个指标。



复习思考题

一、名词解释

表观密度 吸水率 抗冻性 压碎值 磨耗值

二、填空题

1. 材料的毛体积密度是指材料_____的干质量。
2. 材料的抗冻性以材料在吸水饱和状态下所能抵抗的_____来表示。

三、选择题

1. 材料的孔隙率增大时,其性质保持不变的是_____。
 - A. 表观密度
 - B. 堆积密度
 - C. 密度
 - D. 强度
2. 材料在水中吸收水分的性质称为_____。
 - A. 吸水性
 - B. 吸湿性
 - C. 耐水性
 - D. 渗透性
3. 含水率为 10% 的湿砂 220 g,其中水的质量为_____。
 - A. 19.8 g
 - B. 22 g
 - C. 20 g
 - D. 20.2 g