

# 机制砂品质和石粉掺量对混凝土性能影响

方啸哨

浙江交工集团股份有限公司大桥分公司

**摘要：**混凝土是建筑工程中必不可少的材料，然而混凝土又因为成分的不同，表现出不同的性能。机制砂的品质高低，就直接决定混凝土的性能。混凝土中石粉的含量差异，也使得混凝土性能表现出明显的差异。本文研究了机制砂品质和石粉含量对混凝土性能产生的影响。

**关键词：**机制砂；石粉；混凝土；性能

## 引言

我国建筑工程高速发展，时至今日，已经取得了相当喜人的成就。城市化的程度越来越高，建筑工程对施工材料的要求也越来越高。天然砂石作为混凝土的主要原料，经过多年的建筑工程使用，正呈现出质量逐渐下降、储量越发紧缺、对生态环境破坏越发深重的态势。为了延缓这一发展趋势，机制砂逐渐成了建筑工程更为常用的混凝土成分。

### 一、机制砂的应用

机制砂在近些年的使用过程中，一直存在争议。其中机制砂石粉的含量作为争议的焦点，一直以来都备受建筑工程技术人员重视。我国和西方发达国家在机制砂中石粉含量方面一直存在差异，而鉴于具体的建筑工程施工需要，我国对石粉的含量还要相对严格一些。我国要求中规定，石粉含量所占比例最高不能超过10%，而澳洲和非洲国家的要求相对宽松，比如，澳大利亚的标准中，就要求石粉含量可以在25%以内，而非洲国家则将这一指标限制在15%-20%之间。Celik通过对石粉含量遍布0%-30%的混凝土进行研究，得出结论：在石粉含量为10%时，混凝土的抗折强度最佳。而Malhotra将这一研究进行推进，得出结论为：当水灰比为0.7时，石粉掺量的提高有利于混凝土的强度增加，而在石粉掺量在15%-20%之间时，混凝土7d的抗折强度要高出约30个百分点。我国虽然对混凝土石粉含量的影响研究较为滞后，但通过长期的工程实践，一些学者也得出了这样的结论：在使用中低强度的混凝土时，石粉的掺量限制可以适当拓宽，只要掺量处于10%-18%这一区间内，混凝土的性能就能够满足建设需求。我国地质情况复杂，岩性土壤较多，对生产工艺要求较高。而一些机制砂生产企业没有足够先进的生产技术，管理水平也相对落后，使得我国机制砂质量参差不齐，有些成品机制砂石粉含量达不到要求，和国外质量得到严格管控的机制砂有很大差距。还有一些机制砂生产企业为了节约成本，擅自添加了劣质石粉，将那些石料场做废弃处理的下脚料进行磨碎，用来制作机制砂，这也在一定程度上降低了混凝土的整体性能，从而影响了建筑工程的质量。混凝土的质量达不到要求，不光给施工带来一定的困难，甚至还会在使用的过程中发生安全事故，得不偿失。还有一些施工单位在建设工程的过程中，一味地放宽要求，使得石粉含量不能维持在正常区间内，导致混凝土整体性能下降，无法满足施工的需求。

### 二、试验原料和试验方法

#### (一) 试验原料

试验原料为南平金牛水泥有限公司生产的水泥，型号为P.0 42.5。这种水泥的比表面积为398.7/m<sup>2</sup>/kg，标准稠度用水量为26.2%，根据实测得出初凝时间为203min，终凝时间为261min。抗折强度和抗压强度如下表所示：

抗压强度 MPa	3d	≥17.0	26.1	25.6	26.4
			26.0	25.6	26.4
			26.0		
	28d	≥42.5	49.9	50.1	50.8
			50.3	49.9	50.3
50.2					
抗折强度 MPa	3d	≥3.5	5.1	5.1	5.2
			5.2		
	28d	≥6.5	7.6	7.5	7.4
			7.5		

试验所用的粉煤灰是福建省磊鑫环保科技有限公司生产的II级粉煤灰，其细度为15.5%，需水量为94%，烧失量为0.62%。

试验所选用矿粉是由福建罗源闽光钢铁有限责任公司提供的密度为2.88 g/立方厘米，比表面积为423m<sup>2</sup>/kg，7d活性为84%的矿粉。经过实测，流动比为100%。

试验使用的外加剂是厦门兴纳科技有限公司生产的减水剂，经过实测得出，其减水率为26.6%，泌水率为25%，含气量为3.4%，凝结时间差为117min。

试验选用的石粉经过筛选、烘干，已达到试验标准。试验选用的细骨料是机制砂，经过检验发现，这一机制砂的细度模数M<sub>x</sub>=3.18，级配区为II区，项目自加工生产，属花岗岩。试验选用的细骨料为0-30mm粒径的连续颗粒，同属于花岗岩，含泥量为0.2%。

### (二) 试验方法

#### (1) 混凝土性能试验

本试验在求混凝土坍落度时，参照的是《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T50080-2002；在进行抗压度实验时，参照的是《普通混凝土力学性能高实验方法标准》GB/T50081-2011；但使用电通量法抗氯离子渗透实验和使用接触法进行收缩实验时，其标准为《普通混凝土长期性能和耐久性试验方法标准》GB/T50082-2009。

#### (2) 石粉性能试验

针对石粉性能进行试验时，使用的设备是激光粒度测定仪。试验的石粉使用XRD方法进行测试。在分析石粉颗粒的微观形状时，使用的是扫描电镜法。

### 三、试验结果和讨论

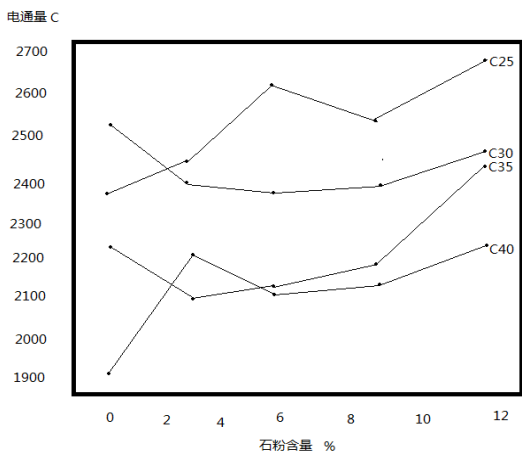
#### (一) 石粉含量对混凝土坍落度及其抗压强度的影响

通过试验我们发现，当石粉掺量在0%-12%时，随着掺量的提高，C25-C35混凝土的坍落度先呈现增长的趋势，后发生适当回落。这一指标在C25、C35、C30混凝土中石粉含量为3%和6%时为最大。不过在试验过程中，C40的混凝土坍落度则一直呈现降低的趋势。当石粉含量控制在0%至3%这一区间内时，混凝土材料的整体塌落度下降速度缓慢。当时粉含量超过3%时，坍落度的下降速度提高，其降低幅度大约为5mm，由于在可接受的范围内，这一数值可以基本视作误差。然而，当时粉掺量超过12%时，塌落度的降低速度明显提高，甚至可达50mm至110mm。当石粉含量在零至12%之间时，C25-C40混凝土抗压强度没有产生明显的不利影

响,其抗压强度满足相应标准。通过实验和0掺量的空白样进行对比,我们发现,石粉掺量的提高让混凝土强度发生了相应的改变,总体变量在±3MP之内。由此我们可以得出,当对混凝土强度没有较高要求时,0含量至12%含量的石粉对混凝土的强度没有明显的影响,但因为石粉含量的不同,混凝土的坍落度会有一些变化,尤其在石粉的含量超过3%时,塌落度迅速提高,会对施工造成严重的影响。

(二) 不同石粉含量对混凝土电通量的影响

这一实验的结果由下图展示。



可见,在和空白样的对比中,当C25、C40混凝土加入石粉后,电通量都明显高于空白样,而电通量在石粉含量为12%时最大;而对于C30和C35混凝土而言,随着石粉的添加,其电通量呈现出先增长,后降低的状态。当石粉含量控制在3%-9%之间时,这一变化比较平缓,数值之间差异不大。可见,石粉含量在0%-12%之间变化时,C25-C40混凝土的电通量分布较为分散,并不决定统一的规律性。不过在和空白样的对比中,我们可以发现,当石粉含量到达12%时,不同混凝土的电通量都相应提高,这一比例维持在2.3%-15.27%之间。这一结果说明混凝土中的石粉并没有发挥到其应有的填充作用。不过,混凝土中的石粉量对抗氯离子渗透性没有产生明显的影响,不同强度、还有不同石粉量的混凝土,抗氯离子渗透性大致相同。

(三) 不同石粉含量对混凝土收缩性能的影响

通过试验,我们可以发现,混凝土的干缩率和混凝土的龄期大致呈正增长关系。龄期越大的混凝土,其干缩率越大。不过,石粉含量的不同,对混凝土的干缩率产生的影响不够稳定。当石粉含量为6%时,C25、C30混凝土的干缩率最小。石粉掺量对C35、C40混凝土干缩率的影响则较大。

(四) 石粉粒径、组成和微观形貌

上文提到过,该试验要使用激光粒径测定仪来对石粉的粒径进行测定。通过精确的测量发现,石粉粒径主要在25 μm左右。通过XRD方法的使用,我们发现,石粉中除了大量的二氧化硅成分外,还有一定的云母和斜绿泥石。而通过SEM方法的使用,我们还能得出石粉颗粒形状大多为扁平状,厚度较薄,呈薄片状。造成这一状态的原因主要在于石粉中云母所具有的解理性,使其在受力的过程中发生破碎,造成解理,而解理面通常较大,且断口相对完整,这时,石粉颗粒就非常容易呈现出扁平状。二氧化硅是石粉的主要成分,石粉在混凝土中发挥填充作用,其粒径通常较粗。所以,适量添加石粉,能够让混凝土中形成骨架,使其整体承载能力得到提升。不过,石粉中不光含有一定的云母,还

含有如斜绿泥石等成分,不可否认的是,斜绿泥石等杂质会降低混凝土的性能,同时对减水剂发挥作用也能产生一定的妨碍。有些黏土通透性差,透水性差,石粉的吸水性就会得到相应提升。另外,通过对石粉围观结构的观察,我们已经得知,石粉多呈现薄片状或石板状,石粉和其他成分之间的摩擦力较大,所以,在同样的水灰比条件下,石粉掺量的提高会迅速降低混凝土的坍落度,使其达不到预期要求。

(五) 石粉含量对混凝土氯离子渗透性的影响

通常,混凝土的电通量都小于2000C。根据ASTM1202总导电量和其中对于混凝土的分类,我们可以得知,2000C属于低氯离子渗透性。个别超过2000C的混凝土类别,属于中高氯离子渗透性。加入混凝土中的石粉不光可以起到填充孔隙的作用,还能增加混凝土的密实程度,提高混凝土中氯离子的渗透性。要想让混凝土具有更好的抗氯离子渗透性,无法通过提高石粉添加量达到目的。另外,石粉和水泥中的C3A和C4AF发生反应的话,会生成水化氯酸钙,和别的水化物进行结合,进一步提高混凝土的紧密型,提高其稳定性,还会提高抗氯离子渗透性。通过试验得知,当石粉含量维持在6%时,氯离子渗透性最低。这说明,当石粉含量在6%时,机制砂整体已经达到最佳的紧密性,但是在实际工程建设时,通常要将其含量提升到9%-12%这一区间内,以提高混凝土的和易性,才能满足施工需求。

(六) 石粉含量对机制砂混凝土抗冻性的影响

机制砂对于混凝土抗冻性的提高,通常没有骆马湖砂效果明显。这是由于机制砂的表面比较粗糙,在对其进行粉碎的过程中,很有可能造成裂缝,这就导致混凝土内部的连通毛细孔相较于天然砂数量更多,使其吸水率大大提升,远高于天然砂,导致其内部的水分很容易在低温的环境中形成冰晶,存留在结构内部,造成混凝土冻伤,导致混凝土抗冻性下降。另外,粉碎过程产生的裂纹还会导致机制砂在被水泥包裹之后,有很大概率在内部产生密封空间,形成类似于密闭容器的效果,更不易于水的渗出。当机制砂的吸水量达到临界点时,体积就会相应膨胀,由于内部张力的增大,会对周边结构造成破坏,降低混凝土结构的使用寿命。在机制砂中适量添加石粉,就能较好地改善这一情况。石粉由于其结构特点,不会因为裂缝等原因产生密闭空间,所以不会因为内部冻伤而影响整体结构的稳定性。

(七) 石粉含量对混凝土收缩性能的影响

机制砂混凝土的收缩率比湖砂混凝土大,而后期又比湖砂的收缩率小,变化较大。这是由于水化过程早起,石粉的晶核作用让水化硅酸钙和水化铝酸钙的生成过程更快,另外,石粉还可以和氢氧化钙发生反应,和水化铝酸钙结合形成水化碳铝酸钙,进一步收缩。由于大部分的石粉主要起着填充作用,所以,收缩程度过大,也会影响混凝土的质量。

(八) 石粉细度对混凝土性能的影响

外国专家Esping针对石粉细度对混凝土性能的影响展开了研究,结果表明,混凝土的坍落度会因为比表面积的增加而降低。这是因为,当比表面积增加时,其内部的屈服应力增加。还有一些专家研究发现,砂浆的强度还会随着石粉细度的提高而得到相应的改善,而且石粉对混凝土早期强度的作用要远远大于对其后期强度的作用,而且只有当石粉细度达到一定数值之后,才能发挥预期的强化效果。

(九) 石粉中矿物成分对混凝土性能的影响

研究发现,在环境因素相同的条件下,花岗岩石粉水泥浆无论从黏性还是屈服应力的角度来看,都要强于石灰岩石粉的水泥

(下转第101页)

中保证钻机垂直度，及时校核，确保后期钢管桩安装过程的顺利。

**(五) 钻孔清洗**

钻孔完毕后，连续不断的用不小于 1.4MPa 高压风彻底冲洗钻孔，直至孔口返出之风手感无尘屑，延续 5min，孔内沉渣不大于 5cm。

**(六) 钢管桩安装**

清孔完毕后，将制作好的钢管桩安装至孔底，钢管桩采用丝扣连接。下管过程中严格控制下管底面标高，避免钢管桩下管不到位现象。

下管过程中如遇到下管障碍或卡管现象，主要是钻孔缩孔或者塌孔引起的。在遇到下管障碍或者卡管现象时，可利用 GY-100 工程地质钻机吊重锤锤击下管，使钢管桩下至孔底标高。如锤击下管仍不能下至孔底时，需利用钻机拔出钢管桩，然后重新扩孔或者重新钻孔。

**(七) 回填碎石、注浆**

在钢管桩下管完成后，在钢管内放置 2 根 50PE 灌浆管，1 根灌浆管伸入到孔底，另 1 根灌浆管加工成花管伸入距孔底 2m 处，用 5~16mm 的碎石充填满钢管，充填前用漏斗形状的导向器放置在钢管孔口，使碎石顺利进入孔内，充填至设计高程。在孔口用孔口器密封钢管，孔口密封器连接孔内、外灌浆管，灌浆泵采用 3SNS-A 高压灌浆泵，全孔分两次灌浆。灌浆浆液采用 ZJ-400D 高速搅拌机集中拌制，输浆管输送至双层储浆桶浆液，灌浆材料为 P.042.5 水泥，浆液水灰比 1: 1~0.5: 1，灌浆压力 0.3~0.6MPa，灌浆过程中，压力逐渐慢升，在孔口返浆（冒浆）后继续灌注 10min 可结束。

**五、施工工种存在的问题及对策**

**(一) 施钻位置位于隧道内，施工空间环境差**

隧道内空间有限，大型钻孔机械无法使用，小型机械动力不能满足要求，需选择动力较大，高度较低的新型地质钻机进行作

业。

**(二) 吹孔时孔内渗水裹带大量石渣和泥浆，造成孔壁形成局部脱空，给成孔带来施工困难**

清孔完成后及时安装钢管桩，减少孔内缩颈、坍塌造成的钢管桩不能安装到位。安装钢管桩时可利用钻机加压辅助安装，确因塌孔、缩颈无法安装到位是，需拔出钢管桩，重新在原位钻孔。

**(三) 灌浆时灌浆压力过大时，出现“跑”“冒”“漏”等现象，造成很大浪费，带来一定的经济损失**

注浆前采用水泥水玻璃双液浆对孔口周围进行预注浆封闭。水泥水玻璃双液浆孔口封闭效果不佳时，可重复多次注浆封闭孔口，以保证达到注浆效果。必要时可增设 15cm 厚混凝土止浆层。

**(四) 由于钻孔缩孔或者塌孔导致下管障碍或者卡管现象**

遇到下管障碍或卡管现象，可利用 GY-100 工程地质钻机吊重锤锤击下管，使钢管桩下至孔底标高。如锤击下管人不能下至孔底时，需利用钻机拔出已下钢管桩，然后重新扩孔或者重新钻孔。

**六、结语**

隧道内由于地质勘测不到位、地质变化较大等原因，洞内软基及岩溶较为常见。做好洞内软基处理，确保高铁隧道的地基承载力，进而保障高铁的安全运营至关重要。本文通过工程实例，介绍了碎石注浆钢管桩在隧道软基处理中的应用，有效的解决了隧道内地基承载力不足问题。希望能为今后的类似工程提供帮助和借鉴，为我国高铁发展贡献一份力量。

**参考文献**

[1] 李开军. 钢管桩注浆加固隧道地基技术[J]. 四川建材, 2010, 36(03): 68-69.  
 [2] 金强国, 张民庆. 圆梁山隧道淤泥质黏土充填溶洞底板钢管桩注浆加固技术[J]. 隧道建设, 2003(06): 35-37+40.

(上接第 90 页)

浆，而且当内部的屈服应力达到 0 时，对减水剂的需求量也大大提升，甚至能够达到后者的两倍。还有专家研究表明，石灰岩和石英岩粉和减水剂之间存在较好的适配性，而相比之下，玄武岩和减水剂的适配性较差。从内部开裂的角度来看，加入片麻岩、玄武岩、石灰岩等成分的混凝土总体开裂面积较大，对混凝土的整体性能有较大的影响，而加入石英岩粉粉的混凝土，开裂程度较轻，不仅能提高混凝土结构的整体稳定性，还能提高其抗冻性。

**(十) 石粉中含泥量对混凝土性能的影响**

相关领域专家 Yoo1 经过研究发现，含泥量的提高会显著提高同样环境条件下混凝土的用水量和对减水剂的需求量。还有一些专家经过研究，得出石粉中亚甲蓝值和含泥量成正比关系，不过具体关系趋势受到泥粉液限指数的影响。亚甲蓝值还会增加开裂和收缩的程度，对混凝土的抗冻性造成一定影响，通过研究发现，要想将亚甲蓝值对混凝土性能的影响降到最低，要将其控制在 1.4g/kg 以下的区间内。

**结束语**

随着我国建筑工程领域的发展，建筑材料也呈现多元化的趋势。为了提高产量，节约成本，机制砂应运而生，逐渐取代了传统工程施工中使用的天然砂。不过，机制砂因其物理特性的限制，还不能像天然砂那样确保建筑的质量。尤其我国机制砂生产企业众多，机制砂质量参差不齐，市场还没有形成统一的标准，这些都对我国建筑行业的健康发展产生了负面的影响。为了解决机制砂在施工中的各种问题，企业要提高机制砂生产水平，建筑

工程相关人员也要对机制砂的使用有足够的认知，对机制砂中各种成分对混凝土性能的影响有清晰的认识，在使用机制砂的过程中，科学控制成分的配比，以便让混凝土结构达到预期的效果。本文就从试验入手，分析了机制砂中石粉掺量对混凝土性能的影响，并简单分析了其中杂质或含泥量对混凝土性能的影响，供广大建筑工程专业人员参考。

**参考文献**

[1] 范德科, 马强, 周宗辉, 单立福, 孔凡胜, 王忠浩. 石粉对机制砂混凝土性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2016, 35(03): 913-917.  
 [2] 蔡基伟, 李北星, 周明凯, 胡晓曼. 石粉对低强度机制砂混凝土性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2006(04): 27-30.  
 [3] 李北星, 周明凯, 田建平, 胡晓曼. 石粉与粉煤灰对 C60 机制砂高性能混凝土性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2006(04): 381-387.  
 [4] 王稷良, 牛开民, 刘英, 李北星, 周明凯. 机制砂中石粉对混凝土性能影响的研究现状[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2008, 4(S1): 302-307+322.  
 [5] 李北星, 周明凯, 蔡基伟, 王稷良. 机制砂中石粉对不同强度等级混凝土性能的影响研究[J]. 混凝土, 2008(07): 51-54+57.  
 [6] 刘战整, 周明凯, 李北星. 石粉对机制砂混凝土性能影响的研究进展[J]. 材料导报, 2014, 28(19): 100-103.