

砂岩作为混凝土骨料的配合比 方案设计与可行性分析

谷 飞

(中铁二十三局第六工程有限公司, 重庆 400000)

摘 要 本研究旨在探讨云南地区砂岩作为混凝土骨料的可行性, 并对混凝土配合比进行设计与优化。砂岩尽管抗压强度较低、吸水率较高, 但通过一系列化学与物理性能检测后, 证明其符合行业规范要求, 具备作为混凝土骨料的条件。通过对砂岩加工管理与技术层面控制, 优化了骨料的粒径分布及质量。实验结果表明, 通过设计配合比并调整集料处理工艺, 砂岩混凝土在抗压强度、抗折强度和抗渗性等方面均能满足工程要求, 而且经济性和环保性优势明显, 特别适用于非结构性或低负荷应用场景。

关键词 砂岩; 公路工程; 配合比设计

中图分类号: U415

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)03-0098-03

1 前言

1.1 研究背景与目的

在国家环保政策指导下, 常用的高强度岩石如花岗岩和玄武岩经处理成为混凝土骨料的主要来源。然而, 原料地理位置和输送成本直接影响集料生产成本及其环保效益。在云南楚雄州公路工程项目前期的材料调研中, 发现当地砂岩虽力学性能较弱, 但考虑成本和环境因素, 研究其作为混凝土骨料的潜力是必要的。通过科学试验验证砂岩骨料的性能, 旨在提供经济且环保的混凝土方案, 同时可能推动骨料领域的材料应用创新。

1.2 砂岩的基本特性

砂岩是一种沉积岩, 绝大部分砂岩是由石英或长石组成的。其母岩保水抗压强度在最低为 30MPa, 最高为 75MPa 表观密度在 $2600\text{m}^3\sim 2650\text{m}^3$, 在规范要求的最低限度。吸水率范围在 1.8% 到 2.9%。

2 砂岩作为粗骨料的可行性分析

在公路工程建设项目中, 混凝土作为关键材料需求量达到数百万方。面对如此大的需求, 砂岩的开采与应用成为重点。然而砂岩矿床的岩层复合性导致了石英砂岩等高抗压强度岩石与长石砂岩、红砂岩等低抗压强度岩石的共存, 这对于骨料的选择和加工提出了挑战。

本研究首先通过化学分析, 确认砂岩的有害成分(包括有机物含量、硫化物及硫酸盐含量、氯离子含

量以及碱骨料反应)均满足行业规范要求, 从而保证了岩石利用的基本条件得以满足。

为确保供应的骨料质量能够符合工程的严格标准, 实施了管理与技术层面的精细化控制策略。首先, 对矿床进行详尽的岩层划分, 明确标记出不符合抗压强度要求的区域。其次, 在砂岩加工之前对原石进行精准预选, 利用震动筛分技术去除大量泥土和弱颗粒, 以优化碎石粒径分布并实现 5mm~10mm、10mm~16mm 和 16mm~25mm 这三个粒径等级的高效掺配^[1]。采用反击式破碎机和整形设备, 提升骨料的粒型和洁净度。最后, 实行了以结果为导向的质量管理策略, 即通过对混凝土实际性能的持续监测来指导骨料生产工艺的优化, 以此确保混凝土骨料的高质量标准。成品粗集料试验检测数据为: 碎石压碎值指标 19%, 吸水率 1.7%, 坚固性 7%, 针片状颗粒含量 4.8%, 表观密度 $2610\text{kg}/\text{m}^3$, 孔隙率 40.8%。

3 砂岩作为细骨料的可行性分析

在分析砂岩作为细骨料的适用性时, 需首先关注粗骨料生产过程中的碎石颗粒尺寸分布和产量。根据当前生产实践, 碎石的尺寸配比通常遵循 5mm~10mm、10mm~16mm 和 16mm~25mm 颗粒的生产比例为 5:4:3。在这一配比下, 5mm~10mm 尺寸的颗粒产量较高, 但在实际使用中, 其消耗量却相对较低, 这就导致了资源的潜在过剩。破碎过程中产生的余料的检测表明, 其坚固系数仅为 15%, 这一数据指出了软弱颗粒的显著存在。石粉含量高达 21%, 即使借助集尘设备控制其含量, 也

面临着控制难度大、成本经济性低下的双重挑战。尽管如此,这些余料可以作为路基材料得到重新利用。

鉴于上述情况,将 5mm~10mm 粒级的碎石作为细骨料生产的原材料,显得更为合理与高效。不仅可以更好地平衡各尺寸颗粒的供需关系,而且用已成型的颗粒加工石粉含量相对更低。过多的石粉会导致混凝土的粘性增大,从而影响其可泵性、和易性。此外,使用已成型的颗粒作为原材料可以在一定程度上预测和控制最终产品的粒度分布,这对于确保混凝土的整体性能至关重要。

成品细集料试验检测数据为:最大压碎值指标 24%,吸水率 1.9%,细度模数 2.9,石粉含量 8.9%,表观密度 2640kg/m³,孔隙率 42.1%。

4 混凝土的配合比设计

4.1 原材料的选择与基本设计方案

在混凝土配合比设计的初始阶段以 C35 泵送混凝土作为基准进行调试。鉴于骨料的表观密度偏低,采用体积法进行配比计算以确保更高的准确性。所选材料包括华润品牌的 P.042.5 型号水泥,来自昆明发电厂的 F 类 - II 级粉煤灰,以及山西恒泰伟业生产的聚羧酸系高效减水剂。其中水胶比根据经验假定取值为 0.40,胶材用量根据公式 $B=180+b \cdot f_{cu}$, $k(b=6.1 \sim 6.5)$ b 取值 6.3 得出大致胶材用量为 $400.5 \approx 400$ 。通过参 10%, 15%, 20%, 25% 粉煤灰的胶砂试验确定粉煤灰掺量在 20% 时扩展度及强度最优。减水剂为了更低的敏感性以及整套混凝土配合比的适应性选择掺量为 1.3%。

在砂率的选择上,如果砂率过高,由于细集料总表面积增大,在一定用水量的条件下,砂浆会变得过黏,从而使混凝土的流动性变差。相反,若砂率过小,浆体就少,也减弱了胶结浆体的润滑作用,同样会使混凝土的流动性变差,造成不易泵送,甚至堵泵等现象。

众所周知,骨料作为混凝土的骨架,大一点石子填充整体空间,小一点石子填充大石子之间空隙,细集料填充粗集料的空隙。所以,粗骨料和细骨料应作为一个整体看待。砂 0.075mm 以下的颗粒并不能单纯地用于填充作用,0.075mm 以下颗粒更多的是参与浆体体系。通过对粗细集料的筛分结果排除 0.3mm 以下颗粒在计算机上进行最佳曲线模拟,得出最佳曲线附近的碎石掺配比例以及砂率,碎石 5mm~10mm、10mm~16mm 和 16mm~25mm 掺配比例 3:4:3,砂率为 41%。砂率通过规范给出的公式验算为 42%,先取用 41% 作为试配砂率。碎石 5mm~10mm、10mm~16mm 和 16mm~25mm 掺配比例通过空隙率试验得出,分别为 2:5:3 与 3:4:3,空隙率相差无几,考虑到在

石子质量相同时,细石颗粒越多石子的总表面积越大,砂浆量一定的情况下,包裹石子所需的浆体量就多,最终确认碎石 5mm~10mm、10mm~16mm 和 16mm~25mm 掺配比例为 2:5:3。最终 C35 泵送混凝土初步设计配比为水泥 320KG,粉煤灰 80KG,细集料 753KG,粗集料 1071KG,水 160KG,减水剂 5.20KG。

4.2 配合比的优化与调整

初次试拌后的混凝土坍落度在 3 小时内持续下降,流动性和包裹性不佳、工作性差。为了改善混凝土的这些性能指标,对细集料中的石粉含量进行了细致的调整和测试,涵盖了 6%、9%、12% 和 15% 这四个不同的掺量水平。实验结果揭示出,在 6% 的石粉含量时,混凝土展现出最佳的流动性;而当石粉含量提高至 15% 时,则展现出最优的包裹性。综合考虑流动性和包裹性两方面的需求,最终确定将石粉的掺量定为 11%。尽管如此,混凝土的流动性仍未能达到预期目标。

在对混凝土工作性问题进行更深入的分析后发现,因骨料吸水率较高,在拌合过程中吸收了过量的自由水分及减水剂,从而导致了水泥浆体的粘稠性增强,对混凝土的流动性构成了不利影响。由于至此尚未进行混凝土强度的验证测试,调整水胶比并不是一个恰当的选择。因此,作为一种替代方案,决定着手调整减水剂的配方,特别是其引气成分,以期改善混凝土的流动性。由于粘稠浆体中容易形成的有害气体难以排出,采用了“先消除后引入”的策略,即先通过添加消泡剂来消除有害气泡,然后通过添加十二烷基苯磺酸钠来引入有利的微细气泡,这一策略能够增加浆体的体积率,从而改善混凝土的工作性。此外,还引入了德固赛品牌的液体引气剂,这种剂型能够形成稍大的有益气泡,有助于提高混凝土的整体流动性。经过调整混凝土的含气量精确控制在 3.0%,显著提升了混凝土的工作性^[2]。

此时,已经完成了混凝土配合比的初步设计,但为了进一步优化配合比,同时出于成本控制的考虑,接下来的工作侧重于在不牺牲混凝土强度和工作性能的前提下降低水泥用量。为此进行一系列试验来确定水胶比与强度之间的数学模型。同时,在满足混凝土包裹性和流动性的前提下,浆体体积越小可以使干缩裂缝发生的可能性降低,增加混凝土的体积稳定性。以此选用正交试验法来设计混凝土配合比。选择水泥用量,水胶比和砂率三因素,每个因素 3 个水平,以 28 天抗压强度以及坍落度为考察指标设计试验方案。设计方案如表 1 所示。

表1

| 正交法混凝土配合比设计 | | | | | |
|-------------|--------|-------|------|----------|-----|
| 编号 | A 水泥用量 | B 水胶比 | C 砂率 | 28d 抗压强度 | 坍落度 |
| 1 | 380 | 0.38 | 39 | 48.2 | 170 |
| 2 | 380 | 0.40 | 43 | 45.5 | 180 |
| 3 | 380 | 0.42 | 41 | 42.7 | 185 |
| 4 | 400 | 0.42 | 43 | 43.2 | 195 |
| 5 | 400 | 0.38 | 41 | 49.1 | 180 |
| 6 | 400 | 0.40 | 39 | 46.0 | 190 |
| 7 | 420 | 0.40 | 41 | 46.3 | 205 |
| 8 | 420 | 0.42 | 39 | 43.5 | 210 |
| 9 | 420 | 0.38 | 43 | 50.4 | 190 |

通过极差与方差分析,对于混凝土强度水胶比的权重影响为6.1,大于水泥权重的1.267,砂率的权重很小。而方差分析更为明显,说明砂率在此范围内对混凝土强度的影响有限。而对于坍落度的影响权重则为水泥大于水胶比大于砂率,说明砂率在此范围内对坍落度的影响较小。

理论和实践均表明,水胶比与混凝土强度之间存在反比关系,而在一定范围内这一关系可以被近似看作是线性的。因此使用线性回归得出关系式 $y=-0.0065x+0.7014$ 。利用关系式根据各标号混凝土配置强度可以得出各标号的水胶比。利用公式 $B=180+b*f_{cu}$, $k(b=6.1\sim 6.5)$ 可以计算出各标号大致胶材用量,有了水胶比和水泥用量即可以算出各标号混凝土配合比,然后再进行调整^[3]。后续计算及调整不再赘述。

5 集料控制工艺的优化

在混凝土试拌过程中发现流动性低下和坍落度持续下降这两个问题。经过试验分析,归纳出流动性不足的根本原因在于集料的过高吸水性,其中尤其是小于0.075mm细集料对于浆体影响尤为明显。此外,坍落度的降低可归因于骨料在拌合过程中及其后持续吸收水分和减水剂,使得混凝土的工作性难以稳定控制^[4]。

为了解决这些问题,转而优化集料的生产工艺。通过调节制砂设备的集尘系统,可以精确控制细集料中小于0.075mm颗粒的百分比。根据前面的试验结果,确定将石粉含量维持在9%~11%的范围内是最佳的,这个比例能够兼顾流动性和坍落度的要求。

针对坍落度快速降低的问题,采取了在骨料生产阶段进行预湿处理,并在实际混合生产时,从配比中扣除相应的含水率。这一措施带来了多方面的优势:首先,它减少了生产过程中的扬尘,有效避免了环境

污染问题;其次,它提高了细集料的可控性,在生产完成下料时减少了由于颗粒级配不均而产生的问题。经过一系列的试验和调整,发现当粗集料含水率控制在3%时,细集料的含水率控制在6%,不仅能解决骨料在拌合过程中持续吸附水和减水剂的问题,还可以防止因含水率不均而引起的混凝土强度偏差。

6 砂岩混凝土的应用局限与挑战

在后续的试验中,砂岩作为骨料的混凝土抗压强度、抗折强度、抗渗性可以满足规范要求,弹性模量相较其他岩石的混凝土偏低,这使其在一定程度上适用于非结构性或低负荷的应用场景。

混凝土中使用砂岩作为骨料,一方面可以降低材料成本,另一方面有助于废物利用和环境保护。然而,砂岩混凝土也存在一定的局限性。砂岩的孔隙率较高,可能导致强度不均匀和耐久性问题,特别是在长期水力侵蚀和冻融循环的环境中。此外,砂岩中不同成分的不均匀分布,也可能影响混凝土的整体性能。因本项目位置条件受限,对混凝土耐久性等长期性能未能进行测试。其对混凝土拌和物的工作性及硬化后混凝土的强度和稳定性的影响仍需深入研究和优化^[5]。

7 未来砂岩混凝土工艺的改进方向

砂岩混凝土未来的改进方向主要包括以下几个方面:首先,通过改良砂岩的预处理过程,例如采用适当的密封剂或改性剂来减少其孔隙率和吸水率,从而提高混凝土的整体性能。其次,开发新型的混合设计,利用砂岩的优势,同时引入其他材料如高性能纤维等,以弥补其不足,增强混凝土的结构性能。最后,利用现代化测试和模拟技术,对砂岩混凝土的长期性能进行预测和分析,以指导实际的应用。通过这些改进措施,砂岩混凝土有望在更多领域得到应用,并表现出更优异的性能。

参考文献:

- [1] 王谦源,胡京爽.混凝土集料级配与分形[J].岩土力学,1997(03):93-100.
- [2] 李宝仁,张军,朱安龙,等.高碱活性砂岩骨料在混凝土防渗面板中的应用[J].水电与抽水蓄能,2016,02(06):61-65.
- [3] 张顺,毛会永.软硬相间岩体混凝土人工骨料初探[J].资源环境与工程,2015,29(05):722-725.
- [4] 刘国华,陈斌,曹学有.粗骨料对混凝土性能的影响与定量评价[J].浙江水利科技,2003(06):1-3,22.
- [5] 李清富,孙振华,张海洋.粉煤灰和硅粉对混凝土强度影响的试验研究[J].混凝土,2011(05):77-79.