

铁路混凝土配合比优化研究

葛静权

中铁北京工程局集团第五工程有限公司 浙江 杭州 311215

摘要：铁路作为国家重要的基础设施，在国民经济发展中扮演着举足轻重的角色。随着我国铁路建设的迅猛发展，尤其是高速铁路的大规模兴建，对铁路工程质量和耐久性提出了更为严苛的要求。混凝土作为铁路工程中最主要的建筑材料之一，广泛应用于桥梁、隧道、轨道、路基等各个关键部位，其性能的优劣直接关乎铁路工程的整体质量与服役寿命。因此对铁路混凝土配合比优化进行深入研究探讨是非常有必要的。

关键词：铁路；混凝土配合比；优化

引言：在铁路工程中，混凝土不仅要承受巨大的静荷载，还要经受列车高速行驶产生的动荷载以及各种复杂环境因素的长期作用，如温度变化、湿度波动、化学侵蚀等。铁路混凝土必须具备高强度、高耐久性、良好的工作性能以及体积稳定性等一系列优异性能，以确保铁路结构的安全可靠和长期稳定运行。而混凝土的这些性能在很大程度上取决于其配合比的设计是否科学合理。基于此，论文重点探讨了影响铁路混凝土配合比的因素及优化策略。旨在提高铁路混凝土的性能，满足日益增长的铁路建设需求。

1 铁路混凝土配合比的重要性

首先，混凝土配合比是决定混凝土性能的关键，对铁路工程质量具有直接影响。合理的配合比能够赋予混凝土足够的强度，以应对铁路运营中的各种荷载，包括列车的自重、动态荷载及其他附加荷载。对于铁路桥梁建设而言，高强度的混凝土利用优化配合比得以实现，最大程度上确保了桥梁结构能够承受巨大的压力和拉力，并且增强了其承载能力和稳定性。除此之外，良好的配合比还能提升混凝土的耐久性，抵抗干湿循环、温度变化及化学腐蚀等环境因素，延长桥梁的使用寿命并降低维护成本。在铁路隧道工程中，合理的混凝土配合比对于隧道的稳定性和防水性能同样至关重要，不当的配合比可能导致地下水渗入，引发衬砌结构的腐蚀和损坏，严重影响隧道的正常使用和安全性。

其次，铁路混凝土必须具备良好的适应性，以应对不同地理区域和复杂气候条件所带来的挑战。从寒冷地区到炎热地区，从干旱地带到潮湿沿海地区，铁路混凝土结构需在各种温度、湿度及酸碱度条件下长期服役。在寒冷地区，混凝土需具备良好的抗冻性能，以防止冻融循环导致的结构破坏^[1]。利用优化配合比并掺入引气剂，形成微小均匀的气泡，可有效缓解冻融过程中的

膨胀应力，提高混凝土的抗冻耐久性。在沿海地区，混凝土需具备抗氯离子渗透性能，以防止钢筋锈蚀和结构强度降低。这可以通过降低水胶比、增加矿物掺合料掺量等措施来实现，改善混凝土的微观结构，提高其密实度，阻止氯离子的侵入。

另一方面，对于穿越化学侵蚀性土壤或地下水地区的铁路，混凝土配合比的设计需充分考虑土壤和地下水中化学物质的种类和浓度。选择合适的水泥品种和外加剂，以提高混凝土的抗化学侵蚀性能，是确保铁路在这些特殊环境下安全运行的关键。

2 影响铁路混凝土配合比的因素

2.1 原材料特性

2.1.1 水泥

水泥作为混凝土中的关键胶凝材料，其强度等级和品种对混凝土性能有着直接影响。高强度等级的水泥能够赋予混凝土更高的早期和后期强度，而不同品种的水泥则因其矿物组成和化学成分的差异，对混凝土的凝结时间、耐久性等性能产生不同影响。

2.1.2 骨料

骨料在混凝土中占据较大比例，对混凝土性能有着重要影响。粗细骨料的粒径、级配和形状等特性，直接决定着混凝土的工作性、强度和耐久性。粗骨料的最大粒径影响混凝土的强度和工作性，需根据具体工程部位和施工要求合理选择。骨料的级配则利用不同粒径骨料的搭配，尽可能减少空隙率，进而提高混凝土的密实度和强度。而且，粗骨料的形状也会影响混凝土的粘结力和流动性，需根据工程需求进行选择。

2.1.3 掺合料

掺合料在铁路混凝土中的应用日益广泛，主要包括粉煤灰、矿渣粉等。掺合料不仅能够改善混凝土的性能，还具有降低成本的重要意义。粉煤灰能够显著提高

混凝土的流动性,减少用水量,降低水化热,防止裂缝产生。矿渣粉则能与水泥水化产生的氢氧化钙发生二次水化反应,提高混凝土的密实度和强度,改善其耐久性能。

2.1.4 外加剂

外加剂是调节混凝土性能的重要手段。减水剂能够显著提高混凝土的流动性,降低用水量,提高强度和耐久性。而早强剂则能加速水泥的水化反应,提高混凝土的早期强度,加快施工进度。但需注意控制掺量,尽量避免过量使用导致混凝土性能下降。

2.2 施工条件

2.2.1 浇筑方式

不同的浇筑方式对混凝土的流动性和工作性有着不同要求。泵送浇筑方式要求混凝土具有良好的流动性和可泵性,以确保混凝土能够通过输送管道^[2]。而现场浇筑、振捣方式施工的铁路基础工程,则对混凝土的粘聚性和抗离析性要求较高。因此,在配合比设计时需充分考虑浇筑方式的影响。

2.2.2 施工温度

施工温度是影响混凝土性能的重要环境因素。在高温环境下施工时,混凝土的水化反应速度加快,凝结时间缩短,可能导致坍落度损失过快、过早凝结等问题。而在低温环境下施工时,混凝土的水化反应速度减缓,凝结时间延长,强度增长缓慢。所以,需根据施工温度采取相应的措施,如使用缓凝剂、降低搅拌温度、对原材料进行降温处理等,以确保混凝土的正常凝结硬化和强度发展。

3 铁路混凝土配合比优化策略

3.1 降低水胶比

水胶比是混凝土中水的质量与胶凝材料(水泥、掺合料等)质量的比值,是影响混凝土强度和耐久性的关键因素。降低水胶比能够显著减少混凝土内部的孔隙率,提高混凝土的密实度和强度。

从混凝土的微观结构来看,水泥水化过程中,水与水泥发生化学反应,形成水化产物填充在骨料之间的空隙中。当水胶比过高时,多余的水分在混凝土硬化后会留下孔隙,这些孔隙成为外界有害物质侵入混凝土内部的通道,极大地降低了混凝土的强度和耐久性。而当水胶比降低时,水泥浆体中的水分相对减少,水化产物能够更紧密地填充孔隙,从而提高混凝土的密实度和强度。

实际工程中,降低水胶比可以通过多种方式实现。首先,使用高效减水剂是一种常见且有效的方法。高效减水剂能够在不影响混凝土工作性能的前提下,显著减少混凝土的用水量。例如,萘系高效减水剂和聚羧酸系

高效减水剂,其减水率可达20%~40%。

其次,优化骨料级配也可以间接降低水胶比。利用调整骨料的粒径分布,减少骨料间的空隙,从而降低填充空隙所需的水泥浆量。此外,合理选择优质的掺合料,如硅灰、优质粉煤灰等,利用其微集料填充效应和火山灰活性,也有助于在降低水胶比的情况下保证混凝土的性能。降低水胶比的效果是显著的。例如,在针对铁路桥梁混凝土的试验中,当水胶比从0.5降低到0.4时,混凝土28天抗压强度从40MPa提高到了50MPa,强度提升了25%。同时,混凝土的抗渗性也得到了极大改善,有效阻止了水分和有害离子的侵入。优化后,混凝土的坍落度保持在180~220mm,扩展度达到500~550mm,黏聚性良好,保水性也满足施工要求,和易性得到有效保障。

3.2 合理使用掺合料

掺合料在铁路混凝土中扮演着至关重要的角色,其合理使用对于改善混凝土性能具有重要意义^[3]。常见的掺合料如粉煤灰、矿渣粉等,具有独特的物理和化学性质,能够对混凝土的性能产生多方面的影响。

粉煤灰是一种由燃煤电厂排放的工业废料,其主要成分是二氧化硅(SiO_2)、氧化铝(Al_2O_3)等。粉煤灰的颗粒细小,且多为球形玻璃体,具有良好的形态效应。在混凝土中掺入适量的粉煤灰,可以起到以下作用:

3.2.1 填充效应

粉煤灰颗粒能够填充在水泥颗粒和骨料之间的空隙中,使混凝土的微观结构更加密实,从而提高混凝土的强度和耐久性。研究表明,当粉煤灰掺量为15%到25%时,混凝土的抗渗性可提高20%~30%。

3.2.2 火山灰效应

粉煤灰中的活性成分能够与水泥水化产生的氢氧化钙发生二次水化反应,生成更多的凝胶物质,进一步增强混凝土的强度和耐久性。

3.2.3 改善工作性能

粉煤灰和矿渣粉等掺合料的加入,能够显著改善混凝土的工作性能。具体来说:

粉煤灰的球形颗粒在混凝土中起到了类似滚珠轴承的作用,减少了浆体与骨料间的摩擦,从而提高了混凝土的流动性^[3]。实验数据显示,随着粉煤灰掺量的增加,混凝土的坍落度也会相应提高。例如,在某些情况下,当粉煤灰掺量控制在一定范围内时(如20%左右),可以显著提高混凝土的流动性,同时保持较好的粘聚性和保水性,便于施工操作。这不仅减少了施工过程中的能耗和人力成本,还提高了施工效率。

此外,矿渣粉的加入也有助于改善混凝土拌合物的

粘聚性,并减少坍落度损失。虽然矿渣粉本身并不具备减水功能,对混凝土拌合物的需水量或流动性影响甚微,但在适量掺入的情况下,可以观察到混凝土工作性能的积极变化。

值得注意的是,双掺技术(如粉煤灰和矿渣粉双掺)能够进一步发挥不同掺合料的优势,产生协同效应,从而更大程度地改善混凝土的工作性能。

3.3 优化骨料级配

第一,筛分分析。对骨料进行筛分分析,了解骨料的粒径分布情况,然后根据混凝土的设计要求,调整不同粒径骨料的比例,使其达到最佳级配。第二,使用级配良好的骨料。使用级配良好的天然骨料或通过人工破碎制备级配合理的骨料。第三,添加细粉料。通过添加适量的细粉料,如石粉等,来填充骨料之间的微小空隙,进一步优化骨料级配,提高混凝土的性能。

3.4 外加剂的精准使用

3.4.1 减水剂

减水剂是铁路混凝土中应用最为广泛的外加剂之一,其主要作用是在不增加用水量的情况下,显著提高混凝土的流动性。在铁路桥梁的泵送施工中,为了使混凝土能够顺利通过输送管道,到达指定位置,需要混凝土具有良好的流动性和可泵性。高效减水剂的减水率可达20%-40%,能够在保持混凝土坍落度不变的情况下,大幅减少用水量,从而降低水胶比,提高混凝土的强度和耐久性。同时,减少用水量还能减少混凝土因水分蒸发而产生的收缩裂缝,提高混凝土的体积稳定性。在某高速铁路桥梁的箱梁浇筑中,使用了聚羧酸系高效减水剂,减水率达到了30%,使混凝土在满足泵送要求的同时,强度等级提高了一个等级,有效增强了箱梁的承载能力和耐久性。使用减水剂后,混凝土坍落度从150mm提高到200mm,扩展度从400mm增大到500mm,和易性得到极大提升。

3.4.2 缓凝剂

缓凝剂能够延缓混凝土的凝结时间,防止混凝土在施工过程中过早凝结。在高温环境下施工或进行大体积混凝土浇筑时,混凝土的水化反应速度加快,容易出现过早凝结的情况,给施工带来困难^[4]。此时,使用缓凝剂可以延长混凝土的凝结时间,保证混凝土有足够的时间

进行搅拌、运输和浇筑。

3.4.3 早强剂

早强剂则能加速水泥的水化反应,提高混凝土的早期强度。在铁路工程的冬季施工或对工期要求紧迫的情况下,使用早强剂可以使混凝土在较短时间内达到拆模和承受荷载的强度要求,加快施工进度。早强剂可使混凝土在3到7天内达到设计强度的50%~70%,而未掺早强剂的混凝土在相同条件下可能只能达到设计强度的30%~50%。但需要注意的是,早强剂的使用应控制掺量,过量使用可能会导致混凝土后期强度增长缓慢、耐久性下降等问题。

3.4.4 引气剂

引气剂能够在混凝土中引入微小的封闭气泡,这些气泡可以改善混凝土的抗冻性、抗渗性和工作性能。在寒冷地区的铁路工程中,混凝土容易受到冻融循环的影响,导致结构破坏。引气剂(掺量一般控制在0.005%~0.02%)引入的气泡能够在混凝土受冻时提供膨胀空间,缓解冻胀应力,从而提高混凝土的抗冻耐久性。同时,这些气泡还能填充混凝土内部的孔隙,提高混凝土的抗渗性。引入引气剂后,混凝土含气量达到4%~6%,抗冻等级可提高2~3个等级,且由于气泡的润滑作用,混凝土的流动性有所增加,和易性得到改善。

结语:综上所述,铁路混凝土配合比的合理设计对于保障铁路工程质量、适应特殊环境需求具有重要意义。它不仅关系到铁路结构的安全性和稳定性,还直接影响到铁路工程的运营寿命和维护成本。因此,在铁路建设中,应高度重视混凝土配合比的设计和优化工作,以确保铁路工程的安全可靠运行。

参考文献

- [1]陈建春.高速铁路高性能混凝土配合比优化设计研究[J].现代工程科技,2024,3(4):65-68.
- [2]张孝斌.高速铁路高性能混凝土配合比优化及性能研究[J].科技创新与应用,2022,12(9):107-109,113.
- [3]邓小卫.铁路项目混凝土配合比优化的可行性分析[J].高铁速递,2021(3):92-93.
- [4]薄海龙.高速铁路自密实混凝土配合比控制[J].中国新技术新产品,2022(7):97-100.