

Optimization of Cement Concrete Mix Proportion Design

Hengxuan Hu

Third Engineering Branch Company China Railway First Bureau Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 713700, China

Abstract

Since British craftsman Joseph Aspdin invented ‘Portland’ cement in 1824, it has been widely used in various construction industries because the concrete made with it possesses the strength and durability required for engineering projects, with readily available raw materials, low cost, and particularly low energy consumption. With the continuous development of concrete technology, it has evolved from a structural material with a single performance to a building material with multiple performances. To date, concrete has many advantages such as strong plasticity, good flowability, good water resistance, wide sources of raw materials, high cost-performance ratio, and suitability for industrial production.

Keywords

High fluidity; high viscosity; self-compaction

水泥混凝土配合比设计优化

胡恒轩

中铁一局集团有限公司第三工程分公司，中国·陕西 西安 713700

摘要

自 1824 年英国工匠亚斯普丁发明了“波特兰”水泥后，由于用它配制而成的混凝土具有工程所需要的强度和耐久性，而且原料易得，造价较低，特别是能耗较低，因而被广泛应用于各种建筑行业。随着混凝土技术的不断发展，其由一种单一性能的结构材料发展到多性能的建筑材料。发展至今，混凝土具有可塑性强、流动性好、防水性好、原材料来源广泛、性价比高、以及适合工业化生产等诸多优点。

关键词

高流动性；高粘聚性；自密实性

1 课题来源及目标

项目整体效益由诸多因素影响，其中混凝土成本所占比例巨大，在保证混凝土工作性能，工程整体质量的情况下，优化混凝土配合比设计，减少混凝土成本消耗，可以很大程度上提高项目整体效益。为了积极响应股份公司“降本增效”和集团公司“强基增效”的总体要求，公司根据项目规模、综合能力等因素，决定在合新铁路项目进行混凝土配合比优化这一重要课题。公司合新铁路项目水泥混凝土设计量为 23 万 m³。

研究流程如下：依据设计标准、规范及规程，根据施工工艺、施工技术、原材料（水泥、粉煤灰、矿粉、砂、石、外加剂等）质量等综合因素进行配合比设计及优化，以提高混凝土性能、降低成本、节约材料、降低能耗、创建绿色环保工程为目标。

2 原材料准备及筛选

2.1 骨料的选择

2.1.1 细骨料

细骨料的颗粒粒径介于胶凝材料和粗骨料之间，填充粗骨料之间的大部分空隙，并与水泥浆均匀混合形成水泥砂浆，使水泥浆在混凝土中分布更加均匀，也使粗骨料均匀悬浮于砂浆中，提高混凝土的均匀性，同时，细骨料将水泥浆分割阻断，使水泥浆的收缩应力分散，缓解混凝土因水泥浆的收缩而形成的开裂。良好的颗粒级配是保证混凝土工作性能的重要因素，但细骨料中的有害物质（泥、泥块、有机物、轻物质、云母等）会使混凝土本体遭受破坏，严重影响混凝土的服役寿命，甚至是结构安全，因此，在选择细骨料时，必须考虑到这些因素。经过筛选，本课题采用湖南益阳洞庭湖砂场生产的细骨料。如表 1 所示：

【作者简介】胡恒轩（1995-），男，中国陕西泾阳人，从事建筑工程研究。

表1 细骨料性能检测结果

生产厂家		颗粒级配	细度模数	含泥量 /%	泥块含量 /%	云母含量 /%	有害物质含量
规定值	C35-C45	/	3.0-2.3	≤ 2.5	≤ 0.5	≤ 0.5	/
	≥ C50			≤ 2.0			
湖南益阳洞庭湖砂场	合格		2.8	0.9	0.1	0.1	合格

2.1.2 粗骨料

粗骨料是构成混凝土结构的主要材料，是混凝土的骨架。在混凝土的水化反应中，粗骨料的体积在混凝土中不发生变化，最大程度保证了混凝土的体积稳定性，制约了胶凝材料凝结过程中的体积收缩。当混凝土硬化后，骨料是混凝土塑形的关键材料，是强度的主要来源，因此，需要骨料的强度高于水泥浆强度，防止在承受荷载时，骨料被率先破坏，使混凝土强度降低。同时，良好的骨料级配可以有效提高混凝土质量，增加混凝土流动性，降低浆体用量。如表2所示：

2.2 水泥

水泥的组成及各项性能对于混凝土有着极大的影响。

水泥的矿物组成不同，对于混凝土的强度的增长、耐久性、抗渗性有着非常巨大的影响。

水泥的细度越小，比表面积越大，其水化速率越大，混凝土的早期强度相对较高。

大量的研究表明低碱水泥的抗裂性能明显高于高碱水泥。

除此之外，水泥的初终凝时间、需水量、与外加剂的适应性等都对混凝土的性能有一定的作用。

经过对比几种不同品牌的水泥，最终本课题组决定采用凤阳中都水泥厂生产的P·O 42.5水泥以及蚌埠海螺水泥有限公司生产的P·O 42.5水泥和P·II 52.5水泥。性能检测结果如下：如表3所示：

2.3 粉煤灰

优质的粉煤灰及合理的掺量可以很好地提高混凝土的各项性能，粉煤灰颗粒形状为球形，在混凝土的搅拌中，可以有效地降低粗细骨料颗粒相互间的摩擦力，从而使混凝土拌合物的流动性有所提高。粉煤灰颗粒填充在水泥颗粒的间隙与絮凝的结构内，占据充水的空间，能有效释放出絮凝结构内的水分，进而在单位的用水量逐渐增加的要求下，增大水泥浆体流动性。因此，选择合适的粉煤灰可以很大程度地满足现场施工对于混凝土性能的要求。对选用的粉煤灰进行试验检测。

2.4 矿粉

在混凝土中掺加矿粉和粉煤灰，可以使混凝土强度互补，从而兼顾混凝土早期和后期强度，同时，矿粉的加入可以使混凝土的粘聚性增加，与粉煤灰的作用形成互补，使混凝土的坍落度增加，和易性好，粘聚性好，泌水得到改善。同时，矿粉和粉煤灰复配，可以发挥掺合料的微骨料效应和二次水化反应，使混凝土孔径细化，连通孔减少，混凝土密实性提高，从而大幅提高混凝土的抗渗性能。因此，选择与粉煤灰形成良好复配关系的矿粉对于所生产的混凝土有重要的意义。如表4所示：

通过试验检测，本课题决定采用江苏淮龙新型建材有限公司生产的S95型矿粉。

表2 粗骨料性能检测结果

生产厂家	含泥量 /%	泥块含量 /%	压碎值 /%	针片状含量 /%	表观密度 Kg/m ³
规定值	≤ 1.0	≤ 0.2	≤ 10	≤ 8	≥ 2600
枣庄沃丰矿业	0.3	0.1	9.1	2	2690

表3 水泥性能检测结果

生产厂家	规格型号	比表面积 m ² /kg	初凝时间 /min	终凝时间 /min	安定性	3d 抗折强度 / MPa	28d 抗折强度 / MPa	3d 抗压强度 / MPa	28d 抗压强度 / MPa
规定值	P·O 42.5	300-350	≥ 45	≤ 600	/	≥ 3.5	≥ 6.5	≥ 17.0	≥ 42.5
凤阳中都		329	254	328	合格	5.2	7.3	29.3	48.0
蚌埠海螺		322	256	328	合格	5.3	7.5	32.9	52.4
规定值	P·II 52.5	300-350	≥ 45	≤ 600	/	≥ 4.0	≥ 7.0	≥ 23.0	≥ 52.5
蚌埠海螺		347	191	248	合格	6.0	9.0	29.4	60.2

表4 矿粉性能检测结果

生产厂家	规格型号	流动度比 /%	比表面积 m ² /kg	密度 g/cm ³	烧失量 /%
规定值	S95	≥ 95	≥ 400	≥ 2.8	≤ 1.0
江苏淮龙新型建材有限公司		105	439	2.90	0.12

2.5 外加剂

外加剂的使用可以提高混凝土的和易性，使得新拌混凝土能够更好地满足现场施工要求。本课题决定采用中铁一局集团工业贸易有限公司所产的聚羧酸高性能减水剂，其试验检测结果如表5所示：

经过试验检测，选择原材料结果如表6所示：

表5 外加剂性能检测结果

生产厂家	型号	减水率 /%	含气量 /%	泌水率比 /%	压力泌水率比 /%	抗压强度比 /%		碱含量 /%	坍落度 1h 经时变化量 /mm
						7d	28d		
规定值	缓凝型	≥ 25	3.0-6.0	≤ 20	≤ 90	≥ 140	≥ 130	≤ 10	≤ 60
中铁一局集团工业贸易有限公司	缓凝型	28	3.3	3	40	147	139	2.11	25

表6 原材料选取结果

材料名称	水泥	水泥	粉煤灰	矿粉	细骨料	粗骨料	水	减水剂
生产厂家	凤阳中都水泥有限公司	蚌埠海螺水泥有限公司	淮南常华电力实业总公司	江苏淮龙新型建材有限公司	湖南益阳洞庭湖砂场	枣庄沃丰矿业	地下水	中铁一局集团工贸有限公司
规格	P · O42.5 P · II 52.5	P · O 42.5 P · II 52.5	F类 I 级 F类 II 级	S95	中砂 (细度模数 2.8)	5-10mm/ 10-20mm/ 20-31.5mm	/	聚羧酸系高性能缓凝型

3 配合比设计及原则

配合比设计是混凝土生产过程中最重要的工作，科学合理的水泥混凝土配合比才能满足强度、工作性、耐久性要求，才能降本增效，且保证工程实体质量。根据合新铁路的设计、施工组织及施工方案要求，所设计混凝土配合比需坚持以下两个原则：

坚持“工作性第一、耐久性第一”的原则。

坚持“提高性能、降本增效、节能降耗、绿色环保”的原则。

除此之外，还需满足以下要求：

最小水泥用量

最小砂率

水胶比不变

合理的容重

合新项目环境等级为 L1(氯盐环境)、T2(室外环境)。

4 试验过程

4.1 拌合

按照理论配合比，称取所需各种原材料，按照碎石，胶凝材料，砂进行投料，在双卧轴搅拌机中搅拌 30s 左右，将称取的水及减水剂加入干料中，搅拌 120s。将搅拌好的混凝土放置在拌板上，进行混凝土出机性能检测。

4.2 混凝土性能检测

通过对塌落度及含气量的检测，发现当粗骨料三级配比例为：5-10mm:10-20mm:16-31.5mm=4:3:3 时，其含气量为 1.7，不符合设计要求，因此舍弃该组比例，并将粗骨料三级配比例改为：5-10mm:10-20mm:16-31.5mm=3:5:2，再次进行试验，通过检测，混凝土具有较好的和易性和粘聚性，该组级配比例的混凝土出机性能符合设计要求。

将符合设计要求的混凝土装入 150*150*150mm 的工程

试模中，待 24 小时后，将试件脱模，放入标准养护室进行养护。

4.3 抗压强度检测

在试件养护龄期达到 7d, 14d, 28d, 56d, 90d 时，对试件进行抗压强度检测，并记录试验数据。

4.4 耐久性检测

在试件养护龄期达到 56d 时，对试件进行耐久性能检测，试验数据如表 7 所示：

表7 耐久性能检测结果

强度等级	C30	C40	C40 水下	C45
规定值	< 1200C	< 1200C	< 1200C	< 1200C
电通量值 /C	900	873	814	857

通过试件电通量检测，所配制混凝土耐久性能满足规范要求。

5 结果分析

根据混凝土试件抗压强度结果制成折线图进行分析：

5.1 粉煤灰掺量为 40% 时不同强度等级混凝土抗压强度分

混凝土强度值与龄期成正比，前 14 天强度增长速率较大，后期强度增长速率开始下降。

制备不同强度等级混凝土，使用两种水泥混凝土强度均在不停增加，90 天强度（梁，单掺）均满足配置强度要求。在同标号混凝土中，用海螺水泥制备的混凝土强度整体略高于凤阳中都水泥。

5.2 不同粉煤灰掺量时不同强度等级混凝土试件抗压强度

随着粉煤灰掺量的增大，相同龄期下混凝土的强度逐渐下降，混凝土抗压强度与粉煤灰掺量成反比。

对于不同标号混凝土，粉煤灰掺量为 50% 和 60% 的试件 28 天强度无法达到设计强度，但随着龄期增加，强度持续增长，90 天时强度均满足要求。

对于 C40 混凝土，当龄期达到 56 天时，40% 及以下掺量的混凝土强度均可达到配制强度，且随着龄期增加，其强度也在持续增加。

对于 C45 混凝土，当龄期达到 56 天时，只有 30% 及以下粉煤灰掺量的试件达到配制强度，随着龄期增加，其强度也在持续增加，达到 90 天龄期时，50% 及以下的粉煤灰掺量的试件均可达到配制强度。

5.3 高粉煤灰掺量时不同强度等级混凝土试件抗压强度

可以得出，用海螺 P·Ⅱ 52.5 水泥所制备的混凝土，当粉煤灰掺量为 39%，在龄期为 7d 时，其强度已达到设计强度，当粉煤灰掺量为 49% 及以上掺量，在龄期为 14d 时，强度达到设计强度。

6 结语

随着混凝土中粉煤灰掺量的增加，混凝土强度会降低，

强度与粉煤灰掺量成反比。但强度随着龄期的增长也在持续增加。

在满足强度要求的前提下，就经济效益而言，选用凤阳中都 P·O 42.5 水泥。胶凝材料中粉煤灰掺量为 40% 时，混凝土经济效益最好，且强度值随龄期增长持续增加，可以满足强度要求。

参考文献

- [1] 刘森.碱激发再生微粉胶凝材料性能调控及微观机理研究[D].扬州大学,2025.DOI:10.27441/d.cnki.gyzdu.2025.000001.
- [2] 王根叶,宋照尚,邱中原,等.基于密实度原理的机场道面混凝土配合比设计及性能研究[J/OL].混凝土与水泥制品,1-5[2025-10-29].<https://link.cnki.net/urlid/32.1173.TU.20250819.1329.009>.
- [3] 王磊.高强度水泥配合比方案的管理与安全监管[J].水泥,2025,(08):145-147.DOI:10.13739/j.cnki.cn11-1899/tq.2025.08.045.
- [4] 孙克龙,袁文华,翟浩然.双层透水混凝土配合比设计与抗堵塞性能研究[J].建井技术,2025,46(04):93-99.DOI:10.19458/j.cnki.cn11-2456/td.2025.04.015.