

# C80 泵送混凝土的配合比设计与规模化生产 流程控制

吴德龙 魏劼（上海建工材料工程有限公司）

**摘要：**本文针对上海市卢湾地区 107、108 地块项目中对混凝土高强度、大方量和百米高度泵送的技术和施工要求，就选定的原材料，通过试验设计 C80 泵送混凝土的配合比，选择最佳的胶凝材料比例、用水量、外加剂掺量和砂率。并进一步研究了在规模化生产中不同的搅拌机单盘搅拌方量、搅拌时间和投料方式对搅拌机电机工作状态和混凝土性能的影响。最终确定了满足要求的配合比和搅拌工艺流程。

**关键字：**C80；泵送混凝土；配合比；生产流程

随科学技术的迅速发展和混凝土技术的不断进步，世界各国使用的混凝土平均强度不断提高。发展高强度等级的混凝土，在减轻结构自重、满足强度、节约材料和节省资金等方面都有良好的技术经济效果。国外已有 150 MPa 预制超高强混凝土构件和 130 MPa 现浇超高强混凝土的成功案例<sup>[1]</sup>。我国也有 C80~C100 高强混凝土研究方面的报道，并在预制构件领域有一些应用；但在预拌混凝土领域应用很少，特别是在需大方量、百米高度泵送的工程中技术难度更高，应用更少。目前，如何确保高强混凝土高强的同时还易于泵送，始终是推广应用高强泵送混凝土的一个的难题。

在上海市卢湾地区 107、108 地块项目中，地上结构 4~23 层中的柱采用 C80 高强泵送混凝土，浇注总量达 5000 m<sup>3</sup>，浇筑高度达 100.3m。上海建工材料工程有限公司长桥搅拌站，在现有设备条件下，针对此项目高强度、大方量和百米高度泵送的项目要求，探讨和研究高性能、高强度混凝土的配合比确定和现场生产流程的控制。尤其在现有单卧轴搅拌设备前提下，针对 C80 混凝土的特性，着力对制备搅拌工艺流程的改良进行实践研究。通过试验最终确定了满足强度和泵送要求的混凝土配合比与规模化生产相适应的搅拌工艺流程。

## 1 原材料

试验所用原材料：1) 水泥，P·I52.5，海螺水泥厂；2) 黄砂，细度模数为 2.8~3.0，芜湖芜繁；3) 碎石，粒径 5~20mm，新开元；4) 自来水；5) 粉煤灰，I 级灰，镇江华源新材料有限公司；6) 外加剂，SP-8CR，上海麦斯特建工高科技建筑化工有限公司；7) 矿粉，S95，宝田新型建材有限公司。

## 2 混凝土配合比设计

### 2.1 胶凝材料比例的确定

一个好的配合比中，胶凝材料体系同样符合最紧密堆积理论，一方面可以充分发挥微集料的密实填充效应，使混凝土的密实度最大，空隙率最小；另一方面体系在达到相同的流动度时，需水量最小<sup>[2][3]</sup>。

就水泥、粉煤灰、矿粉和硅粉，分别以不同的质量分数复合组成 11 组复合胶凝体系，加入相同掺量的 SP-8CR，进行净浆流动度试验比较，结果见表 1。

表 1 采用不同胶凝材料组合的净浆流动度

组号	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
流动度 (mm)	205	222	226	232	226.5	211	226	212.5	227	209	229

由表 1 可见有 5 种组合净浆表现都较好，流动度在 226mm 以上，综合其他因素，对其中 4 组进行混凝土试验，试验结果见表 2。数据显示 A11 组的新拌混凝土不仅混凝土粘性小，倒锥时间仅为 10 秒，而且混凝土坍落度保持性好，120min 后在室温 25℃ 情况下无损失，硬化混凝土强度发展好。因此将其确定为胶凝材料的比例。

表 2 采用不同胶凝组合的混凝土性能对比

试验名称		A3	A4	A9	A11
初始倒锥 (S)		25	20	17	10
坍落度 (mm)	初始	230	245	245	245
	120 min	230	240	250	240
扩展度 (mm)	初始	645	665	680	680
	120 min	600	615	695	685
抗压强度 (MPa)	3D	62.2	59.7	52.4	54.8
	7D	88.4	85.3	83.1	85.0
	28D	111.5	109.6	104.8	101.5
	56D	111.5	103.9	103.9	116.8

## 2.2 用水量和外加剂掺量的确定

对于高强混凝土并非水灰比越低越好。当水灰比过低，不仅新拌混凝土料粘稠，不宜于施工，而且混凝土后期强度发展不好，甚至倒缩。切割硬化后混凝土试块，试块中心存在未水化胶凝颗粒。这主要是由于过低的水灰比，不足以提供水泥水化所必需的水量，反而降低混凝土中骨料周围的界面粘结能力。

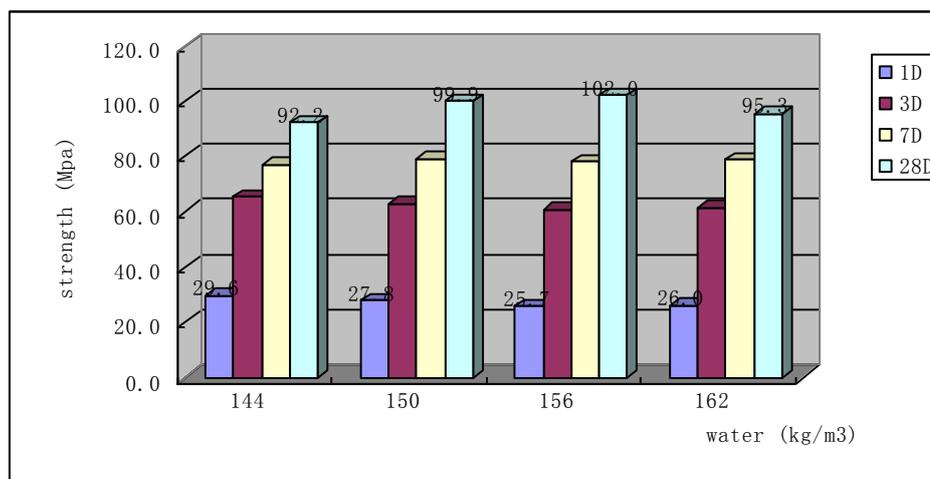


图 1 不同用水量对强度的影响

不同的混凝土用水量，通过调整外加剂的掺量达到基本相同的扩展度时进行比较，可发

现当用水量为 150 公斤左右时, 不仅新拌混凝土比较松, 易于施工, 而且硬化后混凝土的强度也有一定的保证, 试验结果见图 1。

在混凝土中掺入适量的外加剂可提高混凝土的流动性, 降低混凝土粘度, 改善混凝土的和易性能。保持水泥和用水量不变, 改变外加剂掺量进行混凝土试验, 试验结果如表 3。由表可知, 当掺量达到胶凝材料的 2.3%时, 混凝土的和易性和强度均比较理想, 初步确定外加剂掺量为 2.3%。

表 3 不同外加剂掺量对混凝土拌合物性能的影响

编号	外加剂掺量	坍落度(mm)	扩展度(mm)	拌和物状态	28 天强度(MPa)
1	1.6%	220	510×520	粘	89.6
2	2.0%	230	620×610	偏粘	85.9
3	2.3%	250	670×670	较松	93.5
4	2.5%	255	720×750	松、泌水	86.3

进一步进行混凝土试验验证, 将外加剂掺量调整为 2.32%。

### 2.3 砂率的选择

所选用石子的堆积空隙率为 45%, 根据以上确定的胶凝材料和用水量, 推算出砂率为 41.8%。表 4 为保持其他材料不变, 对不同的砂率进行混凝土对比试验。

表 4 不同砂率对混凝土性能的影响

砂率(%)	坍落度(mm)	扩展度(mm)	28 天强度(MPa)
37	235	690	95.0
39	235	665	94.5
41	240	650	97.2
43	250	660	97.2
45	250	625	96.3
47	250	610	92.5

砂率从 37%增加到 47%, 坍落度有所增大, 扩展度有所减小, 混凝土的包裹性增加。这是由于伴随着砂率的增大, 集料的比表面积就相应增加, 所以在相同用水量的情况下浆体包裹集料的包裹性就好。但砂率为 47%的混凝土, 28 天强度相对稍小。试验显示混凝土含气量差异不大, 粘性也未见明显变化, 其他都在波动范围内。考虑到实际工程需将混凝土泵送至百米, 所以将砂率控制在 42%左右。

经过多次的验证试验后, 确定 C80 泵送混凝土的配合比, 水: 胶凝材料: 砂: 石=0.26: 1.00: 1.21: 1.72, 外加剂 SP-8CR 掺量为 2.32%。在验证试验中, 扩展度控制在 605~745mm, 28 天平均强度为 105.4 Mpa, 方差为 5.36, 说明此配合比合理、混凝土性能稳定, 满足要求。

## 3 生产流程控制

### 3.1 原材料的管理

C80 混凝土生产所用粗骨料为新开元 5~20mm 碎石, 细骨料为细度模数 2.8~3.0 的 II 区中砂。故此类原材料独立堆放并安插标识, 并由专人负责清理, 防止砂、石堆场的积水影响

生产。生产所用的水泥、粉煤灰等胶凝材料做到专仓专用，固定仓号。在正式进料生产前均有专人负责对筒仓内部进行清理，确保在粉料进筒仓后不与前一次使用的粉料有混料的可能。

在每次试验前 3 个小时对此次试验所用粗细骨料进行含水率试验，所得数据及时反馈至拌台。并确保外加剂在储存过程中不受污染，在试验前对原材料进料仓进行确认。

### 3.2 拌机单盘搅拌方量的确定

按照《高强泵送混凝土生产和施工规程》(DG/TJ08-503-2000)规定拌制 C80 泵送混凝土。搅拌设备为长桥拌站自行制造的仿德国制 ALBA2m<sup>3</sup> 机 MAO3000/2000(单卧轴)混凝土一楼双机搅拌楼。

高强泵送混凝土由于复合胶凝材料的颗粒较细，粉料量较多，要在现有的单卧轴式 2m<sup>3</sup> 搅拌机充分拌匀，除了适当延长时间外，必须采取减少单盘搅拌量、分批投料、滞后加水等办法，以解决搅拌时可能发生的胶凝材料结团、砂结块、拌机电机电流过大而损坏设备等问题。通过观察拌机工作时电机电流的变化情况，选择合理的单盘搅拌量，以适应规模化生产的需要，试验结果见表 5。

表 5 不同的单盘方量对拌机的影响

单盘方量 (m <sup>3</sup> )	电机电流 (A)	拌机工作状态
2.0	>150	拌机跳闸
1.8	140	拌机报警
1.5	130	拌机间歇报警
1.2	110	拌机工作顺畅
1.0	100	拌机工作顺畅

注：表中电流为拌机初始工作电流

通过试验可以看到单盘方量在 1.0m<sup>3</sup> 到 1.2m<sup>3</sup> 时拌机可以保持顺畅工作状态，考虑在生产过程中的供应量的问题，因此单盘方量选择 1.2m<sup>3</sup>。

### 3.3 拌机搅拌时间的确定

C80 泵送混凝土生产前需要对搅拌机进行清洗调整，由于 C80 混凝土的特殊性，在历次试验中发现原有的拌机投料顺序无法使聚羧酸类外加剂在搅拌时间内充分发挥作用，往往造成混凝土出厂坍落度小于到现场浇捣的坍落度。因此选择合理的搅拌时间同样非常重要。保持搅拌工艺不变，改变搅拌时间进行试验，通过搅拌时间与电机电流和扩展度的变化关系来确定最佳的搅拌时间，试验结果见表 6，由此确定最佳的搅拌时间为 120s。

表 6 搅拌时间对电机电流和混凝土性能的影响

搅拌时间(s)	电机电流 (A)	混凝土状态	扩展度(mm)	1h 后扩展度 (mm)
70	130	干硬，无法下料	-	-
90	100	粘性大，可下料，结团多	450×470	640×590
110	80	较粘，可下料，有结团	550×590	630×680
120	70	松，可下料，结团少	660×650	680×690
180	60	松，可下料，基本无结团	670×700	680×700

注：表中电流为拌机出料工作电流。

### 3.4 拌机搅拌投料方式的确定

为进一步改善混凝土胶凝材料结团现象，有效降低搅拌机负荷，控制电机电流，进行投料方式的分析。试验保持搅拌时间 120s，分析三种不同的投料顺序对电机电流和混凝土状态的影响，结果见图 2。

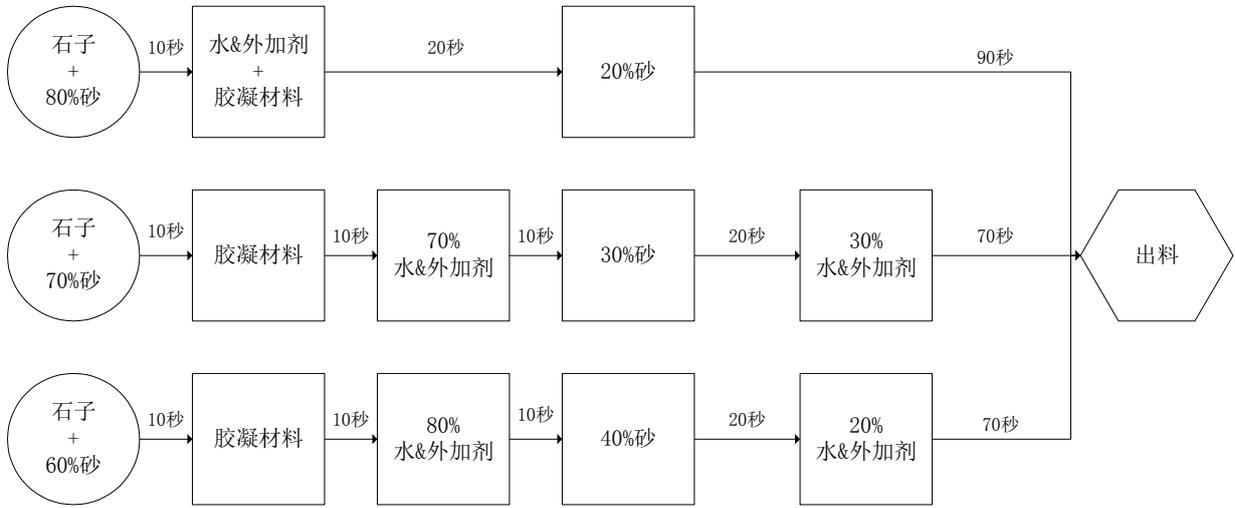


图 2 三种不同投料顺序

在对三种投料方式进行对比（结果见表 7）最终确定了投料方式三，即先投 60%黄砂和碎石搅拌，30 秒后再投另外 40%黄砂，将外加剂投入水中，加 80%的水投入胶凝材料搅拌，30 秒后再投另外 20%的水。整个过程用时 120 秒。这个过程可以比较有效地降低电机电流，减少混凝土胶凝材料结团。

表 7 不同的投料方式对电机电流和混凝土性能的影响

投料方式	电机电流 (A)	混凝土状态	扩展度(mm)	1h 后扩展度 (mm)
投料方式一	70	松，可下料，结团少	630×670	700×670
投料方式二	60	松，可下料，基本无结团	650×690	710×680
投料方式三	60	松，可下料，基本无结团	660×700	690×690

由以上混凝土配合比设计和生产流程控制下，107、108 工程 C80 泵送混凝土强度满足《混凝土强度检测评定标准》(GBJ107-87) 的要求，结果见表 8。

表 8 C80 泵送混凝土强度评定结果

数据来源	长桥搅拌站		成型日期		2007/06/01
设计等级	C80	本批组数	42	统计日期	2007/10/11
平均值 ( $m_{f_{cu}}$ )	86.8MPa		标准差 ( $S_{f_{cu}}$ )		1.91MPa
最小值 ( $f_{cu,min}$ )	81.2MPa		最大值 ( $f_{cu,max}$ )		93.7MPa
$\lambda_1$	1.60		$\lambda_2$		0.85
合格判定条件	$m_{f_{cu}} - \lambda_1 \times S_{f_{cu}} \geq 0.9 \times f_{cu,k}; f_{cu,min} \geq \lambda_2 \times f_{cu,k}$				
结论	合格				

C80 泵送混凝土硬化后耐久性指标如下：

表 9 硬化混凝土耐久性指标

劈裂抗拉强度(Mpa)	轴心抗压强度(Mpa)	轴压比	静力弹性模量(Mpa)
6.97	72.3	0.79	$4.91 \times 10^4$

#### 4 小结

1. C80 泵送混凝土的配合比为水：胶凝材料：砂：石=0.26：1.00：1.21：1.72，外加剂 SP-8CR 掺量为 2.32%。

2. 规模化生产流程控制：拌机单盘搅拌方量为  $1.2\text{m}^3$ ，搅拌时间为 120s，选择投料方式三，即先投 60%黄砂和碎石搅拌，30 秒后再投另外 40%黄砂，将外加剂投入水中，加 80%的水投入胶凝材料搅拌，30 秒后再投另外 20%的水。

3. 本工程 C80 混凝土供应历时进 4 个月。作为混凝土供应方，在施工进程中通过不断改良优化搅拌工艺解决混凝土性能和施工适应等问题累积了一定的经验，为将来 C80 乃至更高标号的研制施工奠定了扎实的基础。

#### 参考文献：

- [1] 汤浅昇.《万年长寿命的混凝土技术》,超高耐久性混凝土结构技术国际研讨会,武汉,2007
- [2] 周刚.关于高强混凝土配合比设计[J].安徽建筑,2005,(6)
- [3] 廖平若,廖固,易丹.高性能混凝土的试验研究[J].中南公路工程,2005,(3)