

浅谈干硬性混凝土预制块生产参数与配合比优化设计

隆国苍*

中国水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810000

摘要 : 干硬性混凝土与普通塑性混凝土呈现不同的物理状态, 显得干稠而难以流动的混凝土拌和物。依托实际工程项目, 并结合自建厂配备的全自动机械化生产设备性能, 采用试验的方法进行干硬性混凝土预制块各项性能研究, 从分析影响干硬性混凝土性能的各方面因素入手, 进行干硬性混凝土原材料试验、配合比参数与各项性能关系试验研究, 确定满足各项性能要求的干硬性混凝土预制块配合比, 同时根据试验对比, 找到最佳振动频率和振动时间, 加快生产进程, 降低预制块生产模具损坏率, 减少因模具损坏而引起后期人工处理的费用。

关键词 : 干硬性混凝土; 生产参数; 配合比

Introduction to the Optimization Design of Production Parameters and Ratio of Dry Rigid Precast Concrete Blocks

Long Guocang*

China Water Resources and Hydropower Fourth Engineering Bureau Co., Ltd, Qinghai, Xining 810000

Abstract : Dry hard concrete and ordinary plastic concrete present different physical states, appearing dry and thick and difficult to flow concrete mix. Based on the actual project and combined with the performance of the fully automatic mechanized production equipment equipped by the self-built factory, the paper adopts the experimental method to study the performance of the precast block of dry rigid concrete. Starting from analyzing the factors affecting the performance of dry rigid concrete, the paper conducts the raw material test, the mix ratio parameter and the relationship between the performance of dry rigid concrete. Determine the mix ratio of precast concrete blocks that meet the performance requirements. At the same time, the optimal vibration frequency and vibration time are found according to the test comparison, which speeds up the production process, reduces the mold damage rate and reduces the cost of manual treatment caused by mold damage.

Key words : dry hard concrete; production parameters; proportioning

近些年来, 随着我国装配式建筑的发展, 预制混凝土构件的应用越来越广, 其需求也在不断增加。预制混凝土构件和制品的生产中, 干硬性混凝土凭借其质量稳定、水泥用量低、模板周转率快等特点, 一直被广泛使用, 尤其在水利工程方面, 已成为江河湖泊、输水渠道、人工航道等护坡护岸工程的主要防护结构形式。预制块混凝土护坡具有良好的抗冲刷、适应变形能力等效果极佳, 并结合生态理念预制块铺设完成后空隙适宜水草、底栖生物等生长生存, 能够有效的保护生态环境。并可以进一步提高护砌施工与管理的规范化程度、提高工程施工的效率、实现施工工艺优化改进、提高工程建设信息的利用效率, 以及提高工程质量、保障工程运行的安全。为此依托实际工程, 优化各项生产工艺参数, 使项目实际预制块生产过程中既保证质量又经济合理, 对相关预制块生产工艺参数进行了探讨。

一、原材料试验

(一) 水泥

水泥为淮南海螺42.5普通硅酸盐水泥, 经检测, 比表面积为377 m²/kg, 28天抗压强度为47.9MPa, 28天抗折强度为7.5MPa, 检测结果均符合相关要求。

(二) 粗骨料

结合工程实际、通过论证分析对碎石检测提出以下要求:

1. 碎石粒径要满足《混凝土结构工程施工规范》(GB50666-

2011) 相关要求:

1) 粗骨料宜采用连续粒级, 也可用单粒级组合成满足要求的连续粒级。

2) 碎石粒级的检验方法执行《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52-2006) 的规定。

3) 不再按《水工混凝土施工规范》(SL677-2014) 要求检测碎石的超径、逊径含量和中径筛除率。

2. 碎石除粒级外, 其他指标要满足《水工混凝土施工规范》(SL677-2014) 的相关规定。粗骨料采用粒径为5—10mm 碎石,

* 作者简介: 隆国苍, 男, 高级工程师, 本科, 主要从事水电水利工程施工管理工作。

所检指标均符合相关要求。

(三) 细骨料

细骨料为采用天然河砂，所检指标均符合相关要求。

二、干硬性混凝土配合比设计

(一) 干硬性混凝土配合比设计的基本原则

同普通混凝土相比，由于干硬性混凝土不存在流动的水泥浆体，干硬性混凝土的强度在取决于水泥用量和单位用水量的同时，混凝土的密实程度对其强度也存在重大影响。影响干硬性混凝土密实程度的因素主要有骨料级配和振动工艺参数。合理的材料配比、合适的振动频率和充足的振动时间，能够有效减少混凝土内部孔隙，进而提高干硬性混凝土抗压强度和软化系数。配合比设计的基本原则如下：

1. 通过强度对比，确定最佳生产工艺参数；
2. 按最佳生产工艺参数强度值，找到水胶比；
3. 分析混凝土各项性能结果，确定配合比。

(二) 干硬性混凝土生产工艺参数确定

1. 抗压强度检测

针对干硬性混凝土预制块形状不规则性的特点，一般选用分别为：切割立方体法、钻芯取样法和干硬性混凝土圆柱体抗压强度法三种试验方法进行抗压强度检测。

切割立方体法：通过在随机抽样的砌块实体上，利用切割设备切割，得到符合 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 、 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 、 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的标准立方体试件，该方法最符合混凝土常规检验标准，可以直接得到砌块的抗压强度，也是进行试验数据分析的可靠参照值。但此法配备比较大型的专业切割设备，同时预制厂生产的预制砌块本身尺寸满足不了切割出适合试验的试件，切割立方体法不适用于本工程。

钻芯取样法：该法也是混凝土常规检验方法系列之一，可以通过换算得到试件的抗压强度，也是试验数据分析的重要方法。一般芯样试件尺寸： $\Phi 100\text{ mm} \times 100\text{mm}$ 和 $\Phi 70\text{ mm} \times 70\text{mm}$ 高径比 1:1 的圆柱体试件。此法需要仪器设备易满足，操作简单。

同密度振压成型法：即将装满所需重量集料的试模放置在同密度圆柱体试件成型仪上在施加激振力的同时对试模上压板施加压力，等试件达到设定尺寸时使用脱模机脱出试件，送至养护室养护，达到龄期后进行强度试验。此方法在试件压制过程中，需要专用的带压力的小型振动台，根据试验室现有仪器设备无法满足，因此，在强度试验中，不予考虑。

结合本项目预制块形体尺寸及试验室现有资源配置，采用钻芯取样法进行试验。

2. 砂率的确定

粗细骨料紧密密度在挤压法干硬性混凝土预制块密实度中起着重要作用，若两者组合级配不良，空隙率大，将增加填充空隙所需的水泥砂浆用量。为了得到最合理的粗细骨料级配，进行了不同砂率组合的粗细骨料紧密密度试验，根据试验结果，最终选择粗细骨料紧密密度大的砂率 60% 作为干硬性混凝土配合比的最优砂率。

3. 生产参数的选择

干硬性混凝土由于流动性较差，成型工艺需采用振动 + 挤压

方式，使其达到密实状态下的表观密度，才能充分发挥其设计强度和耐久性，成型工艺的参数选择对于干硬性混凝土的性能无疑会产生关键性影响，当工艺参数与配合比不匹配时，混凝土制品无法达到足够密实，配合比设计的性能也无法达到要求，因此，选择生产工艺参数至关重要。

本工程预制厂生产设备为共有两条生产线，为两条美国贝赛尔机械（三河）有限公司生产的贝赛尔 LONG9 混凝土制品及固体废物处置自动生产线。布置的两条生产线可实现理想的人机对话，执行手动、半自动、全自动操作模式，振动频率可在 $3600\text{r}/\text{min} \sim 3900\text{r}/\text{min}$ 内任意设置。

由于混凝土预制块所用配合比的设计至今还没有成熟的公式可以应用，根据对安徽省内一些预制块生产厂家考察，由于原材料和生产设备的差异，C25 干硬性预制块水胶比一般在 $0.31 \sim 0.44$ 之间，用水量控制于 $110 \sim 140\text{ kg}/\text{m}^3$ 。结合施工现场原材料及设备配置情况，通过固定其中一因素，变化其他因素，从而找出最优配合比。

干硬性混凝土配合比设计试验采用最大容重法，混凝土容重假设为 $2250\text{kg}/\text{m}^3$ ，细骨料选用纯河砂，根据干硬性混凝土的特点，选择 0.32、0.35、0.38、0.41 四个水胶比进行试验，对现场拌合后的混凝土以“手捏成团、落地分散”、挤压成型的预制块表面光洁度来判别混凝土干硬状态。经反复试验调整，最终确定砂率为 60%，用水量选取 $128\text{kg}/\text{m}^3$ 。振动频率分别为 $3600\text{r}/\text{min}$ 、 $3700\text{r}/\text{min}$ 、 $3800\text{r}/\text{min}$ 、 $3900\text{r}/\text{min}$ 进行挤压成型，挤压时间设定为 20s、25s、30s、35s、40s，成型组数按每一振动频率和每一振动时间各成型 2 组，每组 6 块，成型预制块放置湿度大于 95%，温度在 20 ± 2 度标准养护室进行养护，待养护 28 天后进行钻取芯样检测抗压强度，检测不同生产工艺抗压强度试验结果，根据抗压强度大小选定最佳振动频率。

通过试验数据，对比分析在不同水胶比振动频率和抗压强度关系曲线、不同水胶比振动时间和抗压强度关系曲线，可得出结论如下：

在标准养护条件下，振动频率在 $3600 \sim 3800$ 范围内时，随着振动频率的增加，28d 抗压强度增长速率显著；当 $3800 \sim 3900$ 范围内时，28d 抗压强度增长不明显。

在标准养护条件下，振动时间在 $20 \sim 30\text{s}$ 范围内时，随着振动时间的增加，28d 抗压强度增长速率显著；当 $30 \sim 40\text{s}$ 范围内时，28d 抗压强度增长不明显。

挤压法干硬性混凝土预制块生产工艺中，振动频率和振动时间是两个关键因素。从试验结果可以看出：不同水胶比 28d 抗压强度与振动频率成正比例关系，当振动频率为 $3900\text{r}/\text{min}$ 时抗压强度值最大，这是因为在振动挤压作用下，随着振动频率的增大，促进混凝土集料颗粒间相互运动，排出内部空气，减小空隙率。同时，水泥浆失去稳定状态而流动，填满集料间空隙，集料结合更紧密，所以适当的振动频率可以使混凝土内部更密实，颗粒结合更紧密。当振动频率达到 $3800\text{r}/\text{min}$ 时，继续增加振动频率，对干硬性混凝土抗压强度影响不大。考虑到振动频率增大，对成型模具的损伤而造成预制块变形，后期增加人工处理成本，在生产过程中最佳振动频率选取 $3800\text{r}/\text{min}$ 。

振动时间直接决定了预制块密实程度与生产效率，最佳的振动时间既保证干硬性混凝土拌合物充分振实又不能过长而导致能耗浪费。试验结果显示，随着振动时间的延长，28d 抗压强度基

本呈增长趋势，当振动时间达到30s时，28d抗压强度增长速率缓慢，这是因为振动时间为30s时，混凝土已达到完全液化状态，继续增加振动时间，对混凝土抗压强度影响不大。综合生产效率考虑，最佳振动时间选择30s。

4. 水胶比选择

由不同生产参数配合比抗压强度试验结果得出，在最佳振动频率为3800r/min、振动时间30s时，不同水胶比抗压强度见表1。

表1 不同水胶比抗压强度

水胶比	0.32	0.35	0.38	0.41
胶水比	3.12	2.86	2.63	2.44
抗压强度	41.5	38.1	33.6	28.5

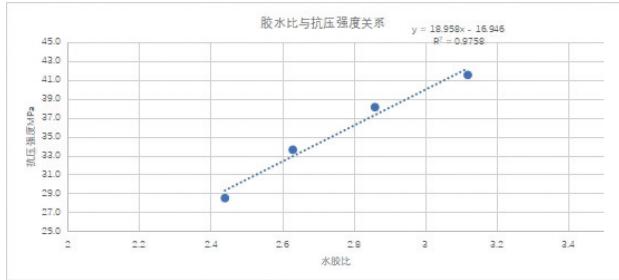


图3 不同胶水比与抗压强度关系图

根据《水工混凝土试验规程》SL/T352-2020附录A“水工混凝土配合比设计方法”，配制强度按以下公式计算：

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + t \sigma$$

式中： $f_{cu,0}$ – 混凝土配制强度 (MPa)；

$f_{cu,k}$ – 混凝土设计龄期的设计抗压强度 (MPa)；

t – 保证率系数，保证率 P 选定95.0，保证率系数 t 取值为1.645；

σ – 混凝土抗压强度标准差 (MPa)，设计抗压强度 C25， σ 取值为 4.0。

计算出 C25 干硬性预制块配制强度为 31.6MPa，根据不同胶水比与抗压强度线性回归方程，可计算得出 C25 干硬性混凝土预制块对应水胶比为 0.39。

综上所述，通过试验对比分析，最终确定现场施工配合比及设备生产参数详见表2。

表2 现场施工配合比及生产参数

水胶比	水泥 (kg)	水	河砂	骨料 (5—10mm)	砂率 (%)	振动时间 (s)	振动频率 (r/min)
0.39	328	128	1077	718	60	30	3800

三、质量控制

(一) 原材料质量控制

为了保证配合比与施工配合比的一致性、准确性，原材料进场检测是一个重要的工作环节，是保证干硬性混凝土预制块质量的前提。干硬性混凝土预制块使用的现场原材料（水泥、河砂、碎石），必须按同一批次的、具有代表性的样品进行提前抽样检测，掌握工程实际用原材料的品质和性能。

用水量作为干硬性混凝土预制块生产工艺中最重要控制环节。如果用水量过少，导致混凝土拌和物过干，造成混凝土内部

出现较多的蜂窝孔洞，造成预制块强度偏低；如果用水量过多，就会导致预制块的稳定性不够，砌块表面出现拉浆痕迹，整体外观质量较粗糙，未能达到设计要求。因此，粗细骨料的含水率检测尤为重要。砂子、小石的含水率变化每班检查二次，气温变化较大、雨后、砂石储料条件突变等情况下，每两小时应检查一次，计算结果作为施工配合比中用水量调整的依据。

对淮南海螺水泥有限公司 P.O42.5 水泥进行了 129 组物理力学性能试验，检测项目主要包括水泥的凝结时间、标准稠度用水量、比表面积、安定性、抗压强度、抗折强度，从检测结果看，水泥的各项指标均满足 GB175-2007 的要求。

(二) 养护

干硬性混凝土预制块采用蒸汽养护和洒水养护两种方式相结合。蒸汽养护是放置于预制厂设置的养护窑中蒸养，温度设置为 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $\geq 60\%$ ，养护 8—10 小时达到抓码强度后，出窑继续洒水养护。洒水养护期间，设置必要的措施保证码垛产品的每个部位都能够养生到位，夏季应采用地埋式喷淋系统与土工布覆盖相结合的方式，必要时辅以人工洒水养护。洒水养护不应低于 14 天，养护期间预制块芯部与表层、表层与环境之间的温差不宜超过 20°C 。冬季采用养护窑养护，不得洒水养护。

(三) 质量检测

干硬性混凝土预制块产品分为型式检验和出厂检验，型式检验应对尺寸偏差、抗压强度、吸水率、抗冻性、碳化系数、软化系数进行全检，正常生产情况下应每年进行一次。出厂检验检测项目为外观质量、尺寸偏差、强度等级，按规格、种类、龄期和强度等级分批验收，以同一种原材料配制而成的相同规格、龄期、强度等级和相同生产工艺生产的 500m³ 且不超过 3 万块砌块为一批，每周生产不足 500m³ 且不超过 3 万块砌块按一批计。

四、结语

综上所述，通过混凝土配合比试验，确定了用于本工程挤压法干硬性混凝土预制块的混凝土配合比；通过对比试验，分析确定了预制块生产过程中，振动频率，振动时间等生产工艺参数，保证了成型预制块质量，降低了生产成本。同时，由于预制块施工工艺是铰接式拼接，模具的损坏会引起预制块变形，造成预制块无法联结，而最佳生产工艺的确定，不仅提高了生产效率，同时降低了高频率、长时间振动对干硬性混凝土预制块生产试模损耗率，减少了因试模损坏而引起的人工处理，减少不必要的投入。

参考文献

- [1] 姚浩刚、徐捷. 预制干硬性混凝土空心砌块质量检验方法研究 [J]. 城市道桥与防洪, 2013 (6/6) : 209-211+231.
- [2] 任志强、陈涛、闫文俊、崔培强. 锡张高速 C25 干硬性混凝土配合比设计研究 [J]. 建材世界, 2012 (33/5) : 28-30.
- [3] 郭傲、赵铁军、王鹏刚、陆文攀. 砂率对干硬性混凝土性能的影响 [J]. 铁道建筑, 2015 (2) : 137-140.
- [4] 刘春艳、张旭春、贺阳、夏京亮、周永祥. 干硬性混凝土制品成型工艺研究综述 [J]. 混凝土与水泥制品, 2018 (5/5) : 11-15.
- [5] 黄克宝、石箭光、贺阳、夏京亮、周永祥、刘剑、张旭春. 联锁块特干硬性混凝土配制技术研究 [J]. 建材世界, 2019 (40/3) : 45-47.
- [6] 甘继胜、何清举、李昭生. 高强度干硬性混凝土护坡砌块配合比设计 [J]. 水电能源科学, 2009 (27/6) : 116-117+169.