

# 山区机制砂高性能混凝土泵送施工技术

万引余

中铁第五勘察设计院集团有限公司 北京 102600

**摘要：**山区混凝土采用机制砂拌制，高塔泵送难度大。需提前设计多套混凝土配合比，分析机制砂的优缺点，选用最优方案，混凝土浇筑前，根据天气、环境及泵送高度对机制砂进行试验，及时调整施工配合比，做好浇筑前试拌工作。

**关键词：**高塔泵送；山区条件；机制砂；材料选用；减水剂；泵送设施

## 引言

贵州金仁桐高速公路桐梓河特大桥是一座全长1422m的钢桁梁悬索桥，主跨965m。大桥主塔为门形框架结构，其中仁怀侧3#索塔塔高208.0m，塔柱采用横断面

为八边形的箱型截面，纵向壁厚上段为1.0m，下段为1.2m，在下横梁处加厚至2.0m；横向壁厚上段为1.0m，下段1.2m，在下横梁处加厚至1.7m；在塔底2.0m范围内设置实心段，均采用C50高标号混凝土。

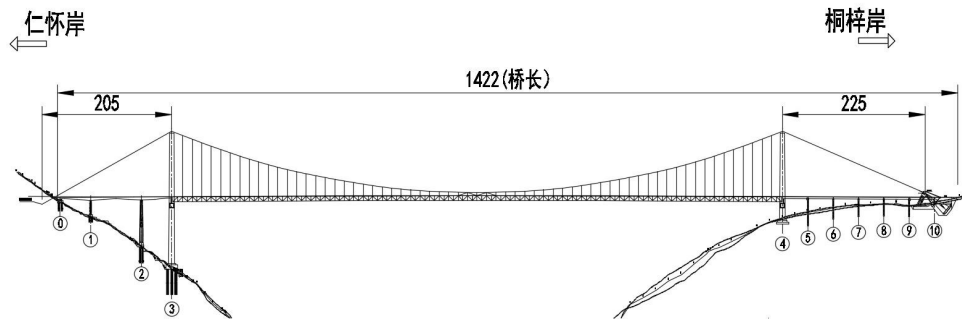


图1 全桥立面图

本项目地处贵州省偏远山区，沿线资源匮乏，利用现有机制砂配置并泵送的高性能混凝土质量是高塔施工的关键，基于此项目开展山区机制砂高性能泵送混凝土施工技术研究，同时也适用于其它山区机制砂高性能混凝土施工。

## 1 工艺原理

混凝土采用高压地泵和内径为130mm的泵管进行输送，管道沿塔身布置，泵管用卡环与塔身预埋件固定。为防止塔身混凝土浇筑过程离析，塔身混凝土浇筑过程设置串筒，且控制出料口下面混凝土堆积高度不超过1m，浇筑过程安排专人对模板监控。

为了使208m的主塔混凝土施工能够顺利的进行，机

制砂采用“干法、湿法、半干半湿”综合使用的生产方式，减水剂采用“半合成、半复配”的生产方式，混凝土塔身的浇筑采用“竖向分层、插入振捣”。

混凝土振捣使用50型插入式振动器，振捣深度超过每层的接触面一定深度（一般5~10cm），保证下层在可重塑期间再进行一次振捣。振捣时不得紧靠模板、拉杆进行振捣（距离模板5~10cm）。混凝土浇筑连续进行，浇筑过程不得间断。气温不高于25℃时，混凝土的运输、浇筑及间歇的全部时间不得超过180分钟；气温高于25℃，混凝土的运输、浇筑及间歇的全部时间不得超过150分钟。

## 2 高塔混凝土施工流程

山区机制砂高性能混凝土高塔泵送施工流程如下：

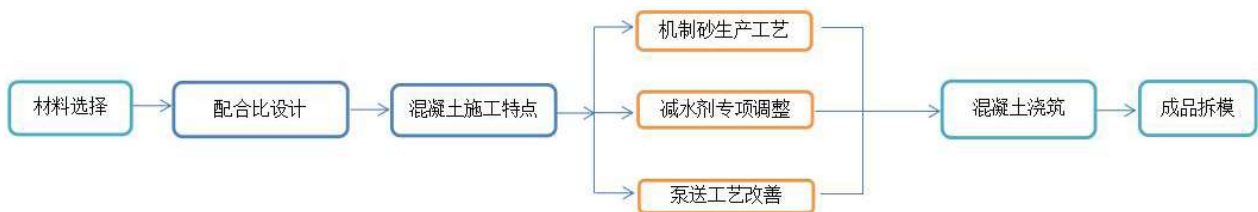


图2 机制砂高性能混凝土施工工艺流程图

### 3 施工工艺

#### 3.1 材料选用

选用同厂家、同牌号的低水化热的水泥，避免使用早强水泥：水泥出厂时间不得大于3个月且不得受潮结块。

细骨料选用级配合理、质地均匀坚固、吸水率低、空隙率小、粒形清洁的中砂，其细度模数控制在2.6~3.0之间；砂中有害杂质严格按《建筑用砂》（GB/T14684-2001）控制，特别是含泥量不得超过2%，最好采用同一料场的砂。

粗骨料选用粒形良好、质地均匀坚固、线胀系数小、级配良好的连续级配碎石，其最大粒径不大于25mm，选用骨料前进行碱活性检验，不得采用有碱活性反的骨料，含泥量不得超过1%<sup>[1]</sup>。

使用优质 I 级粉煤灰作为掺合料，对普通硅酸盐水泥其掺量控制在15%~30%之间，根据配合比试验合理确定掺量。对粉煤灰掺量在了解水泥中粉煤灰含量后按上述掺量控制。

施工中可根据需要使用高效减水剂、缓凝剂，除此之外不得掺加其它任何外加剂，外加剂的品种与所用水泥相匹配，其质量符合《混凝土外加剂》（GB/T8076—1997）的相关规定要求。

#### 3.2 配合比设计

混凝土原材料进场检测满足设计及规范要求后方可使用。混凝土拌制前，应测定砂、石含水率，并根据测试结果和理论配合比调整材料用量，提出施工配合比。

配置混凝土拌和物时，所使用的称料衡器经过检验校正。水、水泥、外加剂及粉煤灰用量准确到±1%，粗、细骨料的用量准确到±2%。

混凝土在拌和站集中拌制，砼罐车运输。水泥采用播州西南P.O42.5水泥、粗细集料采用花秋大山砂石料场生产的机制砂、碎石。拌和用水为桐梓河水，通过设置在沿线的两级抽水泵站将水引至拌和站水池，以供拌和站生产用。塔身C50混凝土绘制28天强度<sup>[2]</sup>与水胶比关系图如下：

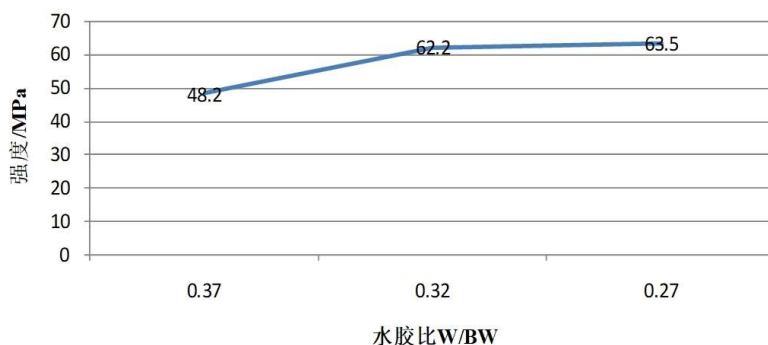


图3 混凝土28天强度与水胶比关系图

#### 3.3 机制砂生产

##### 3.3.1 机制砂生产方法

机制砂一般生产工艺包括干法生产和湿法生产，为了节能降耗、绿色环保、智能优质，可以采用半干法生产工艺。湿法生产工艺主要优点是可以完全去除毛料中的含泥，系统中不会产生粉尘。但其缺点是成品砂的石粉含量较低，不仅影响机制砂的品质和混凝土拌合物的性能，而且对环境污染严重。大型水电站人工砂石系统仍然采用湿法生产工艺，但为了提高石粉含量和处理废水，随着对新工艺的不断探索，有效提高石粉含量已成为可能。

良好的机制砂品质是级配良好、适宜的石粉含量、

**作者简介：**万引余，1981年8月，男，甘肃白银，大学本科，高级工程师，研究方向：桥梁施工技术，单位：中铁第五勘察设计院集团有限公司，102600，邮箱：27615491@qq.com

含泥量低、粒形合理<sup>[3]</sup>。要制备出良好的机制砂应选用合理的机制砂生产工艺。机制砂的生产工艺流程一般可分为以下几个阶段：块石→粗碎→中碎→细碎→筛分→除尘→机制砂。即：制砂过程是将块状岩石，经几次破碎后，制成颗粒小于4.75mm的机制砂。目前国内典型的机制砂干法生产。

由于湿法与干法制砂工艺均存在弊端，目前半干法制砂工艺的提出引起了业内人士极大的关注，对其良好的发展前景给予了肯定。半干式制砂技术是在整个工艺流程的生产过程中全面的考虑节能降耗、绿色环保、智能优质的设计理念。

机制砂的除粉工艺是机制砂石粉含量控制的关键，既要机制砂中粉料含量满足不同等级混凝土使用要求，又对级配影响较小，建议采用干法制砂分级机或轮式洗砂机除粉。

##### 3.3.2 机制砂技术控制指标

主要技术指标有砂的细度模数，砂的类别，砂的颗粒级配，砂的含泥量，石粉含量和含泥块量，有害物质，坚固性，表观密度、松散堆积密度、空隙率，碱集料反应，含水率和饱和面干吸水率等<sup>[4]</sup>。

### 3.4 减水剂选择

#### 3.4.1 减水剂的母液合成

①采用自由基引发体系共聚：将适量的聚醚单体、水、烯基磺酸盐等按照一定比例放入三口烧瓶，边加热边搅拌使之溶解均匀每条街知所需要的温度（一般60-70℃），控制温度，在1-2h内均匀滴加活性丙烯酸单体、分子调节剂等，然后再恒温水浴锅中保温，至聚合反应完成并均匀化，降温中和，加水调节至设计浓度。通过一些专业的技术手段将其中的母链分子结构炼化得更加稳定，使本项目所用的材料不易被机制砂中泥土吸附。

②有了母链分子结构的更加稳定，在合成母液的同时，添加适量的抗泥剂。

关于抗泥剂的剂量掺入我们分别设置了四种种掺量：未掺、0.2%、0.5%、0.7%并得出以下结果：未掺抗泥剂的拌合物坍落度明显小于掺抗泥剂的拌合物、1h坍落度损失相对较大，抗泥剂掺入量为0.5%和0.7%，拌合物坍落度1h后的损失变化已经不明显，均具有良好的保坍效果。随着抗泥剂的增加，拌合物7d和28d强度出现先增大后减小的趋势，掺量在0.5%-0.7%时的强度最高。

试验结论：在石粉含量和含泥较大的情况下，抗泥剂有效的改善了混凝土的和易性，它带有的大量电荷可以优先吸附在石粉和泥土颗粒表面，中和掉泥土表面的

电荷，从而降低了泥土和石粉对减水剂的吸附，增加了材料的适用性，最终我们决定添加0.5%的抗泥剂。

#### 3.4.2 减水剂复配选择

为了验证材料的配置性能，技术人员在项目试验室将母液及小料（保坍剂、引气剂、缓凝剂、消泡剂）进行复配：

①根据现场材料波动调整外加剂保坍成分，增加混凝土的保坍效果。

②由于C50混凝土较粘用改性缓凝剂调整降低混凝土粘度。

③增加降粘小料用量使混凝土更柔和，流动性更好。

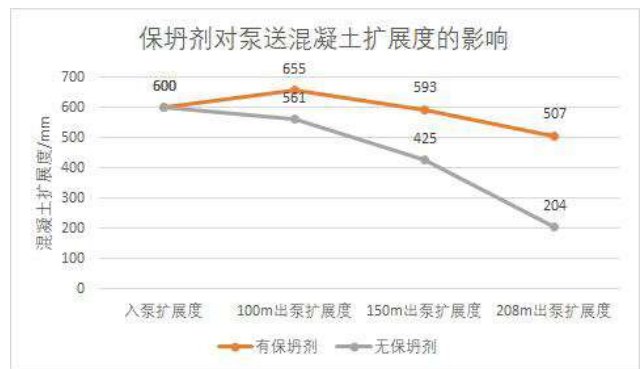


图4 减水剂保坍成分调整后对泵损的影响

保坍剂能降低混凝土泵送过程的坍损，其效果在150m以上泵送时尤为显著。保坍剂能有效降低高泵送混凝土坍落度损失，能减小泵送中由坍落度损失过大引发的堵管现象以及维持出泵后混凝土的工作性能。

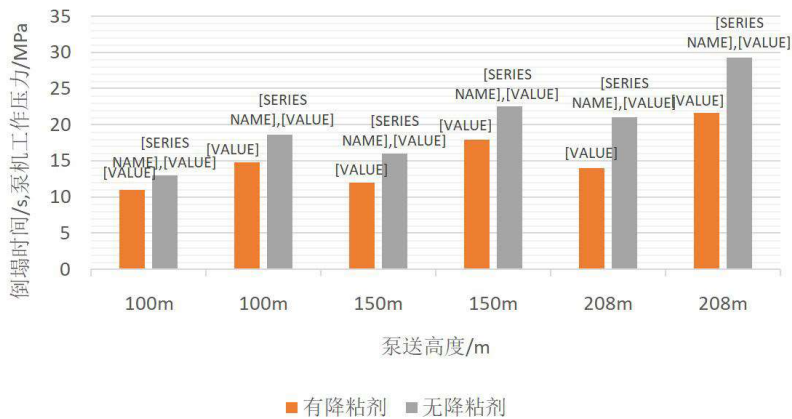


图5 减水剂加降粘小料用量后对泵压的影响

降粘料对混凝土稠度的影响，使混凝土与泵管壁的摩擦力显著减小，降低泵机工作压力，低压、稳定的泵压工作条件有效避免因泵压不足带来的堵管现象。

## 4 高塔泵送技术

### 4.1 设备检查与布置

泵送设施采用HTB80的高压地泵，泵管沿塔身布置方法通过提前预埋预埋固定套件，用卡环将其固定。

检查眼镜板与切割环之间的间隙是否超过1mm，当间隙大于1mm时，通过调整异形螺栓来缩小眼镜板和切割环之间的间隙，出现无法调整的情况时，直接更换磨

损物件。

对于混凝土活塞磨损情况，通过观察水箱中的水是否浑浊、有无砂浆，输送缸磨损严重时，会引起漏浆，如果更换活塞后水箱中的水很快变浑浊，而活塞是好的，表明输送缸已经磨损。判断出这些物件损坏后，即使更换。

泵管的布置按“减少弯头，泵距最短，弯头不小于90°”的方法来进行。在泵机与泵管接触处，泵管的水平长度不低于5.0m，泵出口锥管处至少接入1m的直管后再接弯管。

为防止塔身混凝土浇筑过程离析，控制混凝土自由倾落高度不超过2m，塔身混凝土浇筑过程设置串筒，且控制出料口下面混凝土堆积高度不超过1m，浇筑过程安排专人对模板监控。

#### 4.2 浇筑方法

确认设备正常运转，通水润管，随后泵送砂配比砂浆使管壁浆体提前附着。

混凝土运输至现场，首车混凝土进行含气量试验、导致坍落度筒排空试验；含气量试验确定混凝土中的含气量是否会影响混凝土的外观质量，容重是否在可控范围内，进而保证混凝土强度；倒置坍落度筒排空试验用于判断混凝土流动性是否达到要求。

塔身浇筑顺序：竖向分层浇筑原则，浇筑过程四周同步，防止爬模偏载，要求分层浇筑厚度控制在30cm之内；横梁混凝土从两端向跨中浇筑，竖向分层，横向分段，施工中控制混凝土浇筑速度，尽量减少上下层新老混凝土的温差和间歇时间，提高新混凝土的抗裂强度，防止出现冷缝现象。分层间隔浇筑时间不得大于混凝土可重塑时间。

混凝土振捣使用50型插入式振动器，振捣深度超过每层的接触面一定深度（一般5~10cm），保证下层在可重塑期间再进行一次振捣。振捣时不得紧靠模板、拉杆进行振捣（距离模板5~10cm）。混凝土浇筑连续进行，浇筑过程不得间断。气温不高于25℃时，混凝土的运输、浇筑及间歇的全部时间不得超过180分钟；气温高于25℃，混凝土的运输、浇筑及间歇的全部时间不得超过150分钟。

塔身采用喷雾式养护剂进行养护，顶面覆盖土工布。混凝土的养护时间不小于14天。遇到冬季低温天气延长脱模时间，采用棉被四周包裹。

#### 4.3 拆模效果

通过对本项目山区机制砂高塔泵送混凝土施工技术的研究，实际浇筑的塔身混凝土表面平整、密实、施工缝整齐，外露部分无模板接头痕迹和颜色不均匀现象，外形轮廓清晰，线条直顺，无翘曲现象，无蜂窝、麻面。

#### 5 施工关键技术

5.1 对于优质机制砂的提供，试验人员到厂指导、了解当地的生产方法，最后将其生产方法改为“干法、湿法、半干法”综合使用<sup>[5]</sup>。

5.2 专用的减水剂研发首要解决了优质材料匮乏的问题，改善了混凝土的和易性，针对不同节点，不同天气条件做出不同的调整对策。

5.3 泵送工艺的改善有效的提高了混凝土的可泵性，极大的避免了施工过程中遇到的问题，提高工作效率。

5.4 专用减水剂和优质的掺合料配制混凝土，较大的节约了成本且具有实用性。

#### 结论

桐梓河特大桥位于贵州省金沙经仁怀至桐梓高速公路全线中的重要控制性工程，同时也是标志性建筑。主塔最高达到208m，2020年12月开始浇筑，2022年1月完成最高主塔的浇筑工作。该工程的工作地点属于山区，路线蜿蜒崎岖，施工场地极其困难，材料匮乏。专用减水剂的研发以及高塔混凝土泵送工艺的改善有效解决了优质材料匮乏、泵送困难、堵管等问题，加快施工进度，符合节能环保的要求，对于山区高塔泵送的混凝土浇筑工程有较大的参考借鉴价值。

#### 参考文献

- [1]周明凯.机制砂高性能混凝土的配制及应用[J].山东建材,2007(01):58-60.
- [2]刘义峰.机制砂高性能混凝土在高速公路工程中的应用研究[J].国防交通工程与技术,2013(06):25-27.
- [3]陈飏,王稷良,杨玉标,等.石粉含量对C80机制砂混凝土性能的影响[J].武汉理工大学学报,2007,25(8):41-43.
- [4]林毅文.浅析高性能机制砂混凝土的性能及应用技术[J].江西建材,2016(3):1.DOI:10.3969/j.issn.1006-2890.2016.03.082.
- [5]夏国邦,陈雷,刘兆磊.云南地区高强高性能机制砂混凝土施工质量控制措施[J].公路交通科技(应用技术版),2016,000(006):P.154-155.