

# TBM 管片混凝土配合比及蒸汽养护 工艺参数的确定

裴有立, 孟怀秀, 范春艳

(中国水利水电第十工程局有限公司勘测设计院, 四川 都江堰 611830)

**摘 要:**在西藏林芝米墨公路项目的隧道施工中,采用了先进的 TBM 掘进技术,其中混凝土管片生产是保证整体隧道施工顺利进行的决定性因素之一。通过拌合不同水胶比的试配混凝土,经不同温度梯度对管片混凝土进行蒸汽养护,找出蒸汽环境和混凝土强度、耐久性性能之间的相互关系,从而得到满足混凝土管片设计要求的混凝土配合比、蒸养温度等 TBM 管片生产中需要的重要参数。

**关键词:**混凝土;基本参数;工艺确定;配合比

**中图分类号:**TU528.56;TQ171.77+4.2;TK426

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2019)03-0071-04

## Determination of Concrete Mixing Ratio and Steam Curing Technology Parameters of TBM Segments

PEI Youli, MENG Huaixiu, FAN Chunyan

(Survey and Design Institute of Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract:** Advanced TBM tunneling technology is applied in the construction of the Mimo Highway Project in Linzhi of Tibet. The production of concrete segments is one of the decisive factors to ensure the smooth progress of the overall tunnel construction. By mixing concrete with different water and glue ratios, steam curing is carried out for the segment concrete through different temperature gradients, and the relationship between the steam environment and the properties of concrete strength and durability is found. Thus, the important parameters required in the production of TBM segments such as concrete mixing ratio and steam temperature which meet the design requirements of concrete segments are obtained.

**Key words:** concrete; basic parameters; technology determination; mixing ratio

### 1 工程概况

西藏林芝米林派镇至墨脱解放大桥农村公路一期工程 I 标路线从景区大门外约 100 m 的雅江鱼村饭店附近接现有岗(嘎)派(镇)旅游公路,沿现有大峡谷景区停车场外侧平台展线,派巴沟左岸而上,至派巴沟山体变陡、沟口变窄位置采用 213 m 桥梁跨过派巴沟至右岸,并在右岸缓坡平台回头展线,在现有派镇水池附近与现有便道接线,沿便道上行,至派镇松林口碎石土路 3 078 m 一级平台位置,与现有派镇松林口碎石土路相接,沿现有土路上行至松林口 3 550 m 附近高程,采用特长隧道穿越多雄拉山,终点多雄拉隧道出口。本标段路线起点桩号为 K0+000.00,止点桩号为 K13+615.00,路线总长为 13.615 km,其中特长

隧道 4.4 km,小桥 38 m。隧道均采用 TBM 掘进机掘进,预制管片安装的方式进行支护。

在 TBM 掘进机的掘进施工中,混凝土管片的生产是保证整体掘进施工的决定性因素之一。为确保混凝土管片生产的质量管控及生产效率,严格从原材料把关,同时还要求配合比设计,蒸汽养护工艺试验,强度、耐久性试验等各环节环环相扣,紧密配合。

### 2 混凝土原材料

(1)用于配制管片混凝土的水泥一般要求有早强性,与外加剂相容性好,标准稠度用水量比较大,初凝时间较短。本次试验采用水泥华新水泥有限公司生产的华新 P.O42.5 水泥。

(2)用于配制管片混凝土的细集料采用细度模数在 2.3~3.0,含泥量不大于 3.0 的中砂,且为

收稿日期:2019-03-20

非碱性骨料。本次试验用细骨料为河口料场生产的人工中砂,满足规范要求。

(3)用于配制管片混凝土的粗骨料采用粒径为 5~16 mm、16~31.5 mm,粒形较好,质地坚硬,针片状含量较小,压碎指标较小的碎石,且为非碱性骨料。本次试验用粗骨料为河口料场生产的碎石,满足规范要求。

(4)用于配制管片混凝土的外加剂宜采用具有引气性、早强型的高性能减水剂,并和水泥具有良好的相容性。本次试验用外加剂为山西华凯生产的聚羧酸高性能减水剂。

(5)用于配制管片混凝土的拌合用水为工地

使用的生活生产用水(水质分析满足规范要求)。

### 3 管片混凝土配合比设计基本参数的选择

(1)根据设计要求,本标段 TBM 管片应符合下列要求:C35P10F150;

(2)管片混凝土配合比试配。根据《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011 要求,分别对 0.45、0.40、0.35 三个水灰比分别进行了成型检测,设计坍落度 70~90 mm。试配方案见表 1。

### 4 混凝土试配及蒸汽养护工艺的确定

试拌配合比混凝土蒸汽养护和标准养护两种,试拌后混凝土静养、升温、恒温、降温、标准养护;试拌后混凝土进行标准养护。根据两种试验

表 1 管片混凝土配合比试配表

水胶比	砂率 /%	混凝土原材料用量 /kg·m <sup>-3</sup>					
		水泥	砂	碎石 5~16 mm	碎石 16~31.5 mm	水	HKPC-1
0.45	36	322	695	502	753	145	3.220
0.40	35	363	664	500	751	145	3.630
0.35	34	414	631	498	746	144	4.140

结果选择满足要求的配合比参数及现场蒸养护的工艺参数(蒸养后,脱模强度不小于 15 MPa)。

蒸养试验分为静养、升温、恒温、降温四个阶段,蒸养时间按每个模具行走每个工位所需时间而定,共 24 个工位。本次试验每个模具行走一个工位按 15 min 控制,总共需要花费时间 360 min。

(1)静养段。根据预制管片流水线生产工艺特点,预养护是通过静养来实现,其作用是让混凝土在常温下进行养护,以达到管片生产的技术要求。根据现场工艺要求,静养段分为室外静养和室内静养,室外静养有 2 个工位,室内静养有 6 个工位,按模具在每个工位行走静养温度按 35 ℃ 控制(模拟施工现场室内控制环境温度)。

(2)升温段。根据现场工艺要求,升温段有 3 个工位,按规范要求,升温速度不宜超过 15 ℃/h,最高温度分别按静养段对应升温段的 50 ℃、55 ℃、55 ℃ 进行控制。

(3)恒温段。根据现场工艺要求,升温段有 6 个工位最高温度分别按升温段对应恒温段的 60 ℃、65 ℃、70 ℃ 进行控制。

(4)降温段。降温段分为室内降温和室外降温两段,根据规范要求,降温速度不宜超过 20 ℃/h,室内降温(3 个工位)最低温度分别按恒温段对应降温段的 50 ℃、55 ℃、55 ℃ 进行控制,室外降温(4 个工位)最低温度分别按室内降温对应室外降温 35 ℃ 进行控制。排列蒸汽养护试验温度、时间控制详见表 2。

表 2 排列蒸养试验温度、时间控制表

蒸养温度梯度 及时间组合	控制项目	控制过程					
		静养段		升温段	恒温段	降温段	
		室外静养	室内静养			室内降温	室外降温
第 1 组合	温度 /℃	环境温度	35	50	60	50	35
	时间 /min	30	90	45	90	45	60
第 2 组合	温度 /℃	环境温度	35	55	65	55	35
	时间 /min	30	90	45	90	45	60
第 2 组合	温度 /℃	环境温度	35	55	70	55	35
	时间 /min	30	90	45	90	45	60

将三种温度梯度及时间组合,分别进行蒸养试验,得出相应的试验结果。从中选出一个既能满足生产线循环作业,又能保证管片质量,且经济

合理的最佳温度梯度及时间组合。

三种组合混凝土物理性能及耐久性检测结果见表 3。

表 3 三种组合各水胶比下混凝土物理性能及耐久性检测结果

序号	水胶比	砂率 / %	坍落度 / mm	蒸养后抗压强度 / MPa	蒸养+标养 28 d 抗压强度 / MPa	标养 28 d 抗压强度 / MPa	抗渗性能	抗冻性能
第一组	0.45	36	47	13.2	34.2	41.7	> P10	> F150
	0.40	35	51	14.8	38.1	45.6	> P10	> F150
	0.35	34	44	15.3	43.3	51.1	> P10	> F150
第二组	0.45	36	47	15.8	38.4	41.7	> P10	> F150
	0.40	35	51	17.9	43.7	45.6	> P10	> F150
	0.35	34	44	21.3	48.3	51.1	> P10	> F150
第三组	0.45	36	47	19.9	35.6	41.7	> P10	> F150
	0.40	35	51	23.8	38.4	45.6	> P10	> F150
	0.35	34	44	26.4	44.1	51.1	> P10	> F150

从三种组合的试验结果看,第一组合温度梯度不能满足蒸养后脱模强度不小于 15 MPa 的要求。第三组合温度梯度蒸养后,脱模强度偏高。这不仅浪费了资源,还影响了混凝土后期强度,且由于蒸养温度过高,管片脱模后表面温度达 50 多度,环境湿度仅 10 度左右,如此大的温差,管片表面容易产生温度裂缝。第二组合

蒸养强度满足要求,且混凝土 28 d 强度发展良好。综上所述,从质量保证,还是经济合理两方面考虑,取第二种组合。

### 5 管片混凝土配合比的确定

根据上述三种组合的试拌结果,得出第二组合灰水比和抗压强度关系曲线如图 1 所示。

根据上述三种组合的试拌结果通过计算,蒸

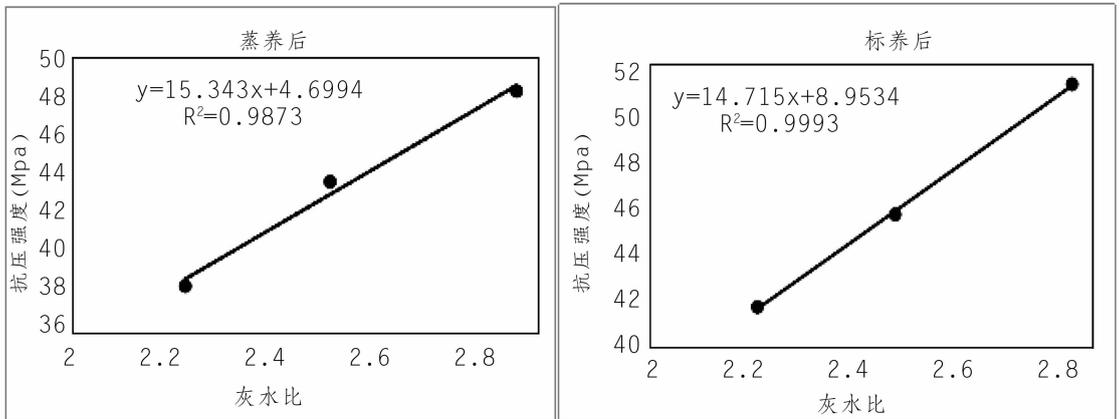


图 1 第二组合灰水比和抗压强度关系曲线图

养后 28d 抗压强度与胶水比的回归方程式为:

$$y = 15.343x + 4.6994$$

相关系数  $r = 0.9936$

标养后 28 d 抗压强度与胶水比的回归方程

式为:

$$y = 14.715x + 8.9534$$

相关系数  $r = 0.9996$

式中  $x$  胶水比;  $y$  混凝土 28 d 抗压强度, MPa。

最后,综合得出蒸汽养护 C35P10F150 混凝土的水灰比为 0.40,标准养护 C35P10F150 凝

土的水灰比为 0.43,综合蒸汽养护、标准养护的试验结果及相关规范要求(蒸养工艺后,管片预制混凝土强度达到 15 MPa)确定 C35P10F150 混凝土的水灰比为 0.40。

最终 C35P10F150 混凝土配合比如表 4 所示。

### 6 存在的问题及解决的办法

#### 6.1 减水剂的调整

管片厂开始工艺性生产,根据试验室配合比,C35 胶凝材料用量为  $363 \text{ kg/m}^3$ ,减水剂掺量为胶凝材料的 1.0%,每方用量为 3.63 kg。在试验

表 4 C35P10F150 混凝土配合比

每方混凝土原材料用量 /kg · m <sup>-3</sup>						
水泥	砂	516 mm 碎石	1631.5 mm 碎石	水	HKPC-1	
					掺量 /%	用量 /kg
363	653	512	769	145	1.0	3.630

室试拌此配合比时和易性良好,不泌水。然在现场实际生产过程中发现,同样的掺量,由于振捣方式等施工工艺与试验室的理想状态有很大的差异。导致混凝土产生拔地、泌水、混凝土表面产生很厚的浮浆等现象。为此,我们在生产过程中将减水剂掺量调整至胶凝材料的 0.7%,每方用量为 2.54 kg,经现场生产发现拔地、泌水、浮浆等现象消除,混凝土和易性也明显改善。

## 6.2 气泡问题

在生产过程中,管片两侧上部很多气泡,为此我们在配合比优化方面也做了很多工作,如试验室配合比砂率为 35%,根据现场骨料情况将砂率调整为 36%。但效果不明显,现场技术人员进行交流,是否是脱模剂的问题前用的是油性脱模剂,它对混凝土产生的气泡吸附在混凝土表面,我们建议改为水性脱模剂,效果非常显著,混凝土表面光滑。

## 6.3 坍落度控制

试验室配合比设计时,坍落度控制在 70~90 mm,然在实际生产过程中,振捣强度比试验室振捣强几倍,如按 70~90 mm 控制,管片表面至少有 50 mm 的浮浆,翻砂情况严重,大大影响了混凝土质量,影响抹面速度,不能满足每个工位 15 min 的停留时间,影响生产效率根据这一情况,将坍落度调整为 30~50 mm 浮浆厚度 10 mm,保证了混凝土质量,解决了因浮浆太厚无法抹面使管片流水线无法正常循环的问题,满足施工要求。

## 6.4 裂缝产生的原因及控制措施

施工过程中出现了一些混凝土裂缝,分析混

凝土裂缝的产生主要有以下两种原因:第一,刚出模时管片表面温度达四十多度,而管片厂(环境温度)只有 10 度左右。如此悬殊的温差管片表面容易产生细微的裂缝。为此,尽量增加管片厂的温度,使之与管片表面温度尽量接近,从而减小温差。第二种产生裂缝的原因是,在管片的摆放过程中,三片为一组,中间由木方隔开。如果木方摆放位置不在同一条线上,就会使得管片产生不均匀受力,出现裂缝。还有地基不牢造成管片倾斜,使得管片产生不均匀沉降产生裂缝。所以在管片摆放过程中,地基,木方必须严格要求执行。

## 7 结语

在 TBM 掘进施工过程中,管片起到非常重要的,管片混凝土质量显得尤为重要。在西藏高海拔地区对于管片质量控制,难度比一般地区大所以我们在生产过程中不断总结经验,不断提高管片质量。

## 参考文献:

- [1] 《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082—2008.
- [2] 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55—2011.
- [3] 《混凝土外加剂》GB 8076—2008.
- [4] 《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446—2008.

## 作者简介:

裴有立(1982-),男,青海乐都人,工程师,从事建设工程试验检测工作;

孟怀秀(1986-),女,重庆江津人,工程师,从事建设工程试验检测工作;

范春艳(1976-),女,湖北洪湖人,工程师,从事水利水电工程建设技术与试验检测管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

# 水电十局签订老挝东萨宏水电站项目运行维护合同

5月31日,老挝东萨宏水电站运维合同签约仪式在成都举行,水电十局和马来西亚美佳第一有限公司代表在运维合同上签字。双方有关领导出席了签约仪式。

东萨宏水电站运维合同是水电十局再次斩获的海外大中型水电站运维合同。面对建筑施工企业转型浪潮,水电十局制定了“特色发展”战略,成立了运行维护检修公司,在“人无我有、人有我精”的特色发展理念指引下积极拓展水电站运维检市场。水电十局在和马来西亚国家电力公司、老挝国家电力公司的竞争中,凭借切实可行的运行维护方案、有竞争力的报价和“powerchina”的良好品牌形象最终获得该项目,是运行维护检修公司在老挝运维市场多年深耕细作的又一成果,进一步巩固了在水电站运维行业的优势地位。