

# 基于混凝土 20 h 内强度龄期关系曲线确定 调压井滑模滑升时间研究

杨 军, 冀 祥

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

**摘 要:** 水利水电工程调压井滑模施工中的混凝土强度是一个非常重要的技术参数, 且是控制滑模滑升速度的依据, 也是滑模能否提升的前提条件。阐述了通过对现场混凝土试件进行抗压强度检测, 采用线性回归分析方法得出了该配合比混凝土在 20 h 内的时间与抗压强度关系曲线, 依据该关系式推出了调压井 20 h 内混凝土随时间增长的连续强度, 从而判断出滑模是否满足提升要求, 进而确定出滑模的滑升时间。该方法的采用减少了取样频次、检测时间与检测成本, 能够更加便捷、快速地在施工现场计算出混凝土强度是否满足滑模滑升要求。

**关键词:** 混凝土 20 h 内强度龄期关系曲线; 调压井; 滑模; 滑升时间; 混凝土强度; 滑模提升强度; 混凝土早期强度曲线

**中图分类号:** TV7; TV52; TV544; TV554

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2024)01-0032-04

## Research on Determining Sliding Time of the Slipform of the Surge Shaft Based on the Strength-age Relationship Curve of Concrete within 20 Hours

YANG Jun, JI Xiang

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** Concrete strength is a very important technical parameter in the process of slipform construction of surge shaft in water conservancy and hydropower engineering, and it is the basis for controlling the sliding speed of slipform, and also the precondition for the lifting of slipform. In this paper, by testing the compressive strength of concrete samples on site, and linear regression analysis is adopted to obtain the relationship curve between time and compressive strength within 20 hours of the concrete mixture. According to the relationship formula, the continuous strength of the concrete in the surge shaft can be derived with time, thereby judging whether the sliding mode meets the lifting strip requirements and determining the lifting time. The adoption of this method reduces the sampling frequency, reducing the detection time and the detection cost, and more conveniently and quickly calculating whether the concrete strength meets the sliding rise requirement of the slipform at the construction site.

**Keywords:** Strength-age relationship curve of concrete within 20 hours; Surge shaft; Slipform; Lifting time; Concrete strength; Slipform lifting strength; Early strength curve of concrete

### 1 概 述

JHYJ 水电站坝址位于输水隧洞出口下游约 1 km 处, 调压室位于引水隧洞末端, 为水室式调压室。该调压室竖井采用圆形断面, 上室无压断面采用城门洞形, 经调压室最低涌波计算后决定不设下室。竖井内径为 12.0 m, 底板高程为 1 104.62 m, 顶部平台高程为 1 225.00 m, 竖井高 120.38 m, 其上室设在隧洞上游侧, 长 200 m。城门洞形的断面尺寸为 8.0 m(宽)×(10.0~12.0 m)

(高), 进口底板高程为 1 202.00 m, 倾向竖井的排水底坡坡度为 1%。调压室检修闸门布置在竖井下游侧, 平板闸门的尺寸为 5.4 m×6.2 m。在闸门井后的混凝土中设有通气孔, 在调压室顶部下游侧设置有闸门启闭检修平台。

水利水电工程中调压井混凝土施工的方法主要有两种: 常规混凝土浇筑方法和滑模施工方法。常规混凝土浇筑方法是最常用的施工方法, 它采用木模板、钢模板或胶合板模板等作为模具, 在模板内浇筑混凝土, 待混凝土达到一定强度后拆除模板。这种方法适用于各种形状和

收稿日期: 2023-10-10

尺寸的调压井,但由于模板数量多而造成施工进度慢、施工成本高;滑模施工方法则是由下而上采用液压或其他提升装置沿现浇混凝土表面边浇筑混凝土、边进行同步滑动提升和连续作业,形成所需要的结构。滑模施工方法可以减少模板的使用量,提高施工速度,特别适用于圆形调压井的浇筑。由于该工程的调压井采用圆形断面,故最终决定对调压室竖井 1 106.62~1 223.50 m 高程范围内的井壁采用滑模进行浇筑施工。为保证调压井混凝土的浇筑质量,要求混凝土强度必须达到 0.2~0.4 MPa 时才可以滑升滑模。为加快施工进度、保证混凝土的浇筑质量,必需提前准确预测混凝土强度的增长趋势,进而确定滑模提升的时间。滑模施工情况见图 1。

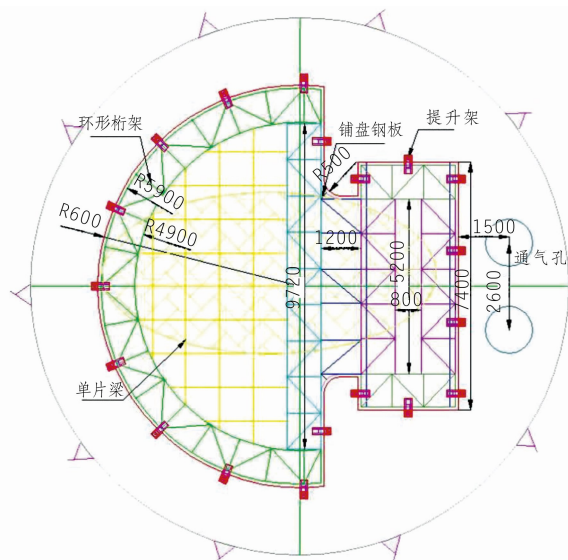


图 1 滑模施工图

## 2 调压井滑模滑升时的混凝土强度

### 2.1 滑模施工工艺

滑模施工是现浇混凝土工程的一项施工工艺。滑模施工时模板一次性组装完成,在其上设置有供施工人员操作的平台,并由下而上采用液压或其他提升装置沿现浇混凝土表面,边浇筑混凝土边进行同步滑动提升和连续作业<sup>[1]</sup>。

### 2.2 滑模滑升时的混凝土强度要求

混凝土强度是确定滑模滑升时间的主要因素之一。该项目滑模沿倾斜或水平方向滑动时,经计算和试验确定的混凝土脱模强度应控制在 0.2~0.4 MPa<sup>[2]</sup>,当混凝土强度达到 0.2~0.4 MPa

时有利于保证混凝土的外观和质量。若混凝土强度未达到 0.2 MPa 时将会造成混凝土坍塌、拉裂、跑浆、鼓包等情况出现。当混凝土强度大于 0.4 MPa 时提升滑模会有沾模情况出现而破坏混凝土结构、降低混凝土质量。因此,为保证调压井混凝土的浇筑质量,加快施工进度,需要提前准确预测混凝土强度的增长趋势,从而确定滑模提升的时间。

## 3 调压井混凝土原材料及配合比

### 3.1 原材料

水泥:采用博海 P. O42.5 水泥,该水泥的各项性能指标必须符合《通用硅酸盐水泥》GB 175—2007 中的有关技术要求。

粉煤灰:采用新疆玛纳斯发电有限责任公司生产的 F 类/I 级粉煤灰,该粉煤灰的检测指标应满足《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596—2017 中的 I 级粉煤灰的有关技术要求。

粗、细骨料:采用查汗图天然砂砾料场的骨料。其骨料品质必须满足《水工混凝土施工规范》SL 677—2014 中的相关技术要求。

高效减水剂:采用江苏苏博特新材料股份有限公司生产的高效减水剂(SBTJM—II),其掺配比例为胶材用量的 0.8%。

引气剂:采用江苏苏博特新材料股份有限公司生产的 GYQ—I 引气剂,其掺配比例为胶材用量的 0.02%(C30F150W10)、0.025%(C30F300W8)。

### 3.2 配合比

JHYJ 水电站调压井混凝土配合比见表 1。

## 4 调压井混凝土抗压强度试验

### 4.1 抗压强度的测试方法

混凝土抗压强度采用电液式压力试验机检测标准试块(150 mm×150 mm×150 mm)得出的抗压强度<sup>[3]</sup>。

### 4.2 试验检测条件

为检测混凝土抗压强度的准确性,减少混凝土抗压强度的干扰因素,必须严格控制入仓混凝土坍落度在 180~220 mm 范围内、记录浇筑时的大气温度,取样并记录混凝土的入仓温度。因同条件养护试块强度和结构实体强度具有很好的相关性,能够较好地反映结构实体的混凝土强度<sup>[4]</sup>,故将试件放置在与施工现场相同的条件进行养护。浇筑期间的环境温度趋于稳定(34 ℃

~38 ℃ 范围内)。

#### 4.3 试验检测数据

JHYJ 水电站调压井 C30F150W10 混凝土

土 20 h 内的抗压强度见表 2, JHYJ 水电站调压井 C30F300W8 混凝土 20 h 内的抗压强度见表 3。

表 1 JHYJ 水电站调压井混凝土配合比表

混凝土强度 /MPa	水灰比	砂率 /%	粉煤灰掺量 /%	减水剂掺量 /%	引气剂掺量 /%	混凝土材料用量 /( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )								坍落度 /mm	含气量 /%	备注	
						水	水泥	粉煤灰	砂	小石	中石	减水剂	引气剂				
C30F150W10	0.43	44	25	0.8	0.020	145	253	84	822	628	418	2.696	0.067	4	180~220	3.5~5.5	掺 0.9 $\text{kg}/\text{m}^3$ 的微纤维
C30F300W8	0.42	44	25	0.8	0.025	145	259	86	818	625	417	2.76	0.086	2	180~220	4.5~6.5	掺 0.9 $\text{kg}/\text{m}^3$ 的微纤维

表 2 JHYJ 水电站调压井 C30F150W10 混凝土 20 h 内的抗压强度表

项目	时间 /min							
	724	756	798	864	952	1 083	1 140	1 180
抗压强度 /MPa	0.232	0.561	0.851	1.297	1.783	2.701	3.215	3.425

表 3 JHYJ 水电站调压井 C30F300W8 混凝土 20 h 内的抗压强度表

项目	时间 /min								
	684	716	758	824	912	1 043	1 100	1 140	1 170
抗压强度 /MPa	0.188	0.339	0.52	0.825	1.325	2.164	2.475	2.637	2.823

#### 4.4 影响因素分析

##### 4.4.1 原材料

经查阅相关文献得知:影响混凝土凝结时间和抗压强度的因素很多,其中包括水泥的品种和胶材用量、水泥细度、粉煤灰掺量及粉煤灰细度<sup>[5]</sup>、骨料种类、骨料粒径的大小和用量、混凝土拌合水的用量、混凝土的养护条件、环境温湿度、混凝土所用建材的温度、混凝土所用骨料的含水量等。这些因素对混凝土的凝结时间和抗压强度具有不同程度的影响。为了降低除凝结时间以外的因素对混凝土强度的影响,必须严格控制施工期间各影响因素的稳定性,因此,对多自变量可以按单自变量进行回归分析。

##### 4.4.2 混凝土温度及环境温度

鉴于混凝土的拌合温度、入仓温度和养护温度对混凝土强度和外观质量影响很大,对此,笔者采用了以下方式进行了控制。

(1)散装水泥运抵后,首先在阴凉处停放几个小时,使水泥温度降低到 60 ℃ 以下以降低水泥的入仓温度。

(2)高温时采用冷水拌合,控制水温。

(3)避免在高温时段浇筑。

(4)在混凝土罐车外包保温被以减少太阳直

射造成的混凝土温度回升。

(5)缩短混凝土运输及等待卸料的时间,入仓后及时进行平仓振捣。

(6)在仓内,为防止混凝土的温度受阳光照射及气温影响而回升,采用土工布覆盖的方式同时根据土工布水分的蒸发情况及时喷雾湿润。高温期除了用土工布进行覆盖养护外,同时采取了喷雾措施,每 5~8 min 喷雾一次能够降低仓面温度 3 ℃~5 ℃,改变小气候以降低作业面的温度。

(7)在低温季节,混凝土浇筑完成后采用 PEP 保温被进行覆盖,以降低混凝土的内外温差。

通过采用以上控制方法将混凝土及环境温度对混凝土强度的影响波动降至最低。

##### 4.4.3 混凝土拌合物

对每个批次的原材料进行合格性检测,对砂石骨料每隔 4 h 检测一次并更新配料单,对外加剂浓度每隔 4 h 检测一次并更新配料单,对拌合站的拌合材料称量每 4 h 检查一次以将称量偏差控制在相关范围之内。对混凝土拌合物的性能及出机口温度每隔 4 h 检测一次以将其控制在相关范围之内,对入仓混凝土及环境温度必须进行实时检测。通过以上措施的实施保证了混凝土拌合物实际配合比的准确性。

#### 4.5 C30F150W10 混凝土线性方程

线性回归分析是根据一个或一组自变量的变动情况预测与其具有相关关系的某随机变量未来值的一种方法。回归分析需要建立描述变量间相关关系的回归方程。如果回归函数是一个线性函数,则称变量间是线性相关。一元线性回归分析包括两个变量:一个是自变量,以  $x$  (时间, min) 表示;另一个是因变量(预测变量),以  $y$  (强度, MPa) 表示。 $R^2$  为判定系数,也被称为拟合优度、可决系数,是测定回归直线拟合优度的重要指标,该统计量越接近于 1,模型的拟合优度越高。

通过对 YHYJ 水电站调压井 C30F150W10

混凝土 20 h 内抗压强度与时间的试验数据进行回归分析得出以下混凝土强度与时间关系式:

$$y = 0.0069x - 4.6694$$

式中: $x$  为时间, min; $y$  为抗压强度, MPa。

$R^2 = 0.9978$ , 说明混凝土龄期与强度基本呈线性关系。C30F150W10 时间强度曲线见图 2。

#### 4.6 C30F300W8 混凝土线性方程

通过对 YHYJ 水电站调压井 C30F150W10 混凝土 20 h 内抗压强度与时间的试验数据进行回归分析得出以下混凝土强度与时间关系式:

$$y = 0.0055x - 3.6613$$

$R^2 = 0.9978$  说明混凝土龄期与强度基本呈线性关系。C30F300W8 时间强度曲线见图 3。

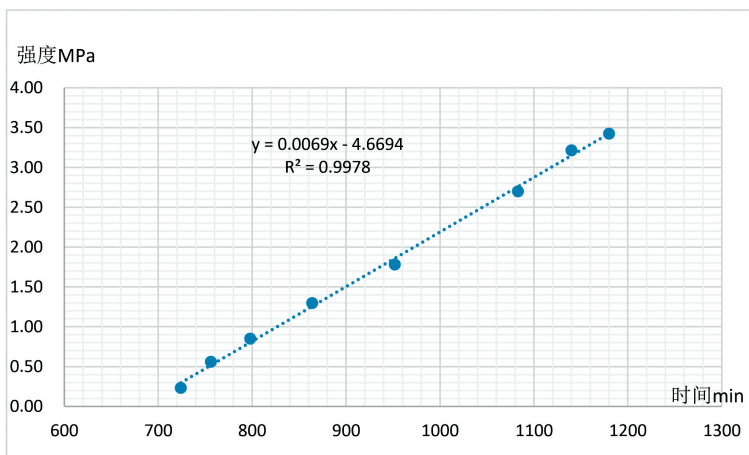


图 2 C30F150W10 时间强度曲线图

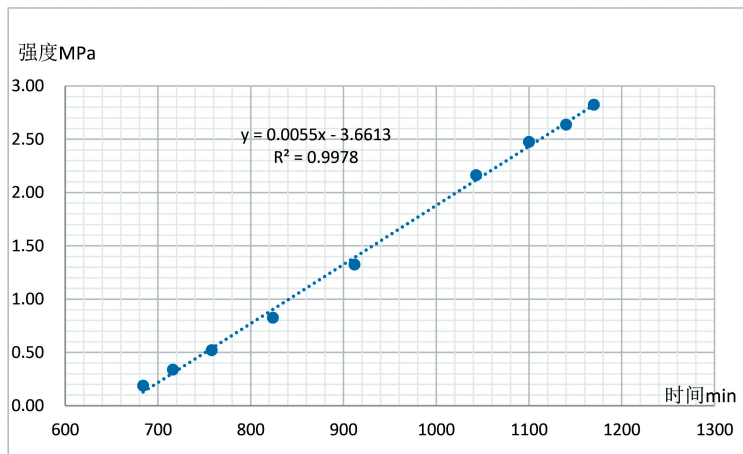


图 3 C30F300W8 时间强度曲线图

## 5 工程应用效果与结语

JHJY 水电站项目的工程技术人员根据施工现场的混凝土强度、混凝土供料、施工配合比等具体情况确定出合理的滑模滑升速度。该项目滑模

沿倾斜或水平方向滑动时经计算确定的混凝土脱模强度应控制在 0.2~0.4 MPa。当混凝土强度达到 0.2~0.4 MPa 时有利于保证混凝土外观质

(下转第 39 页)

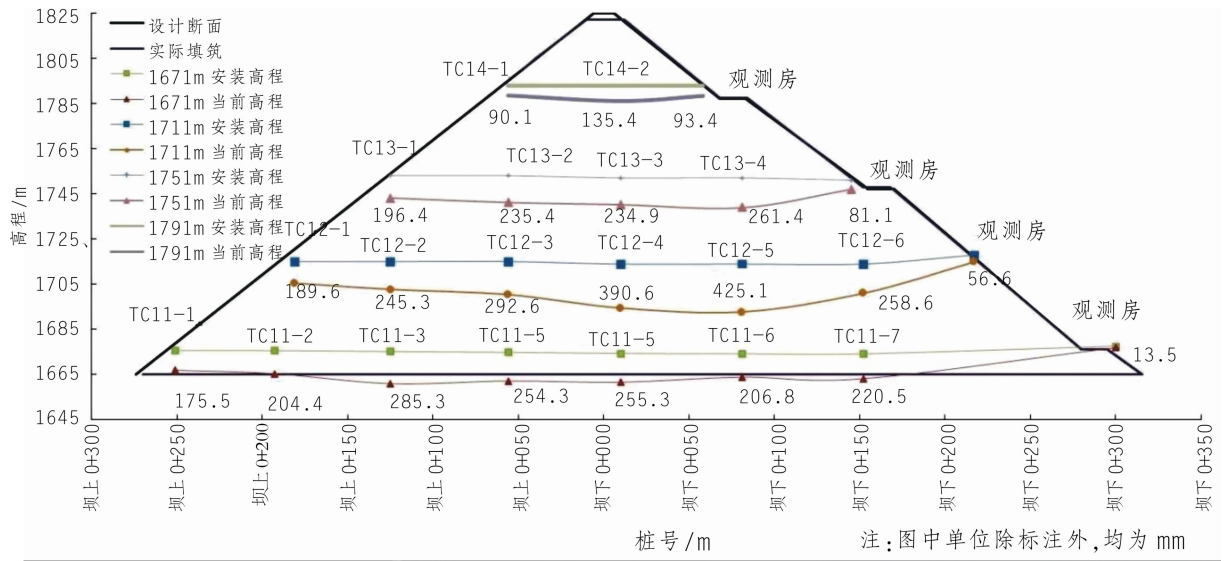


图1 大坝沉降量分布示意图

整、有效、准确、快速的质量控制体系在阿尔塔什水利枢纽工程大坝填筑中得到了有效应用,加快了施工进度,强有力地保障了大坝高强度的填筑施工,保障了施工进度计划,同时亦保障了对大坝填筑施工质量的有效控制,保障了大坝稳定安全运行。

## 5 结语

通过对砂砾石料含水率快速检测技术进行的研究与应用,该检测方法为现场连续施工起到了良好的推动作用。根据对试验成果进行分析得知:砂砾石料含水率快速检测方法在大坝填筑质量控制中可行且有效,该研究成果对缩短高强度填筑时间、保证坝体填筑质量及坝体

(上接第35页)

量。通过对每个批次的原材料进行合格性检测,对外加剂配置浓度进行实时检测,对混凝土拌合物的性能及出机口温度进行检测,对入仓混凝土及环境温度进行实时检测后将其控制在相关范围之内。通过以上措施的实施,保证了混凝土拌合物实际配合比的准确性,进而减弱了影响混凝土凝结时间和抗压强度的因素。为保证调压井混凝土的浇筑质量,加快施工进度,必需提前准确预测混凝土强度的增长趋势,从而确定滑模提升的时间。

混凝土的脱模时间从拌合物出机口时间起算,通过文中所述方法和条件得出的线性方程,结合混凝土脱模强度可以反推出脱模时间,从而为滑膜施工提供数据支撑,加快施工进度,节约试验成本;也可以通过不同脱模时间点求得相应的混

稳定等方面起到了重要作用,所取得的经验对同类型的填筑料起到了很好的借鉴作用,同时,试验成果对后续开工建设的同类工程施工控制方法的选择具有重要的指导意义。

## 参考文献:

- [1] 土工试验规程,SL 237-1999[S].
- [2] 水电水利工程土工试验规程,DL/T 5355-2006[S].
- [3] 水电水利工程粗粒土试验规程,DL/T 5356-2006[S].
- [4] 土石筑坝材料碾压试验规程,NB/T 35016-2013[S].
- [5] 土工试验方法标准,GB/T 50123-2019[S].

## 作者简介:

赵红梅(1984-),女,甘肃陇南人,工程师,从事水利水电工程试验检测工作。(编辑:李燕辉)

凝土强度,从而优化施工方案,提高施工质量。此次研究取得的结果可为类似项目提供参考,结合实际情况确定脱模时间。

## 参考文献:

- [1] 水工建筑物滑动模板施工技术规范,SL 32-2014[S].
- [2] 水工混凝土施工规范,SL 677-2014[S].
- [3] 水工混凝土试验规程,SL/T 352-2020[S].
- [4] 何世玲,刘立新. 同条件养护试件检验结构实体混凝土强度研究[J]. 武汉理工大学学报,2006,28(9): 76-79.
- [5] 黄莹,谢友均,刘宝举. 粉煤灰掺量和细度对水泥凝结时间的影响[J]. 水泥,2003,30(12): 4-6.

## 作者简介:

杨军(1995-),男,甘肃天水人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与试验检测工作;  
冀祥(1995-),男,河南驻马店人,助理工程师,从事市政工程施工技术与试验检测工作。(编辑:李燕辉)