

滑模混凝土脱模强度检测方法的研究及应用

李凤玉, 胡建立

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 611730)

摘要: 依托双江口水电站工程研制出滑模混凝土脱模强度测量装置, 其应用结果表明: 该装置能及时、真实地反映混凝土的脱模强度, 准确确定脱模时间, 能够有效控制滑模滑升的速度, 从而为滑模施工提供了有力的技术支撑, 具有较高的推广价值。本文阐述该装置具体的研制与应用过程。

关键词: 双江口水电站; 滑模; 混凝土脱模强度; 测量装置; 检测方法

中图分类号: TV7; TV52; TV43

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2023)06-0059-04

Study and Application of Measuring Method of Demoulding Strength for Slipform Concrete

LI Fengyu, HU Jiangle

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 611730)

Abstract: Measuring device of demoulding strength for slipform concrete was developed based on Shuangjiangkou Hydropower Station. The application results show that this device can timely and truly represent the concrete demoulding strength, accurately determine the demoulding time, and effectively control the speed of slipform, thus providing a great technical support for the slipform construction, which has a high popularization value. The paper describes the specific development and application process of the device.

Key words: Shuangjiangkou Hydropower Station; Slipform; Demoulding strength; Measuring device; Measuring method

1 概述

滑模施工是水利水电工程混凝土施工的主要方式之一, 广泛应用于竖井、面板、斜井、溢流面、隧洞底拱、渠道等结构建筑物。在滑模混凝土施工过程中, 滑模脱模时的混凝土强度是影响其能否滑升的关键技术指标之一。其脱模强度是否适宜关系到混凝土浇筑的质量: 脱模强度较低时混凝土易出现垮塌、表面鼓胀现象; 脱模强度过高时则会出现模板滑升困难、混凝土拉裂等现象^[1]。

双江口水电站为大渡河干流水电 28 级梯级规划中(自上游向下游)的第 5 级水电站, 位于四川省阿坝藏族羌族自治州马尔康县、金川县境内, 是大渡河流域水电梯级开发的上游控制性水库工程, 其坝址位于大渡河上源河流——足木足河与绰斯甲河汇合口以下约 2 km 处, 电站处于高海拔、高寒地区。双江口水电站的开发任务主要为发电, 电站装机容量为 2 000 MW, 多年平均发电量为 77.07 亿 kW·h, 电站水库正常蓄水位高程

为 2 500 m, 总库容为 27.32 亿 m³, 调节库容为 19.17 亿 m³。双江口水电站为一等大(1)型工程, 坝高 315 m, 为目前已建和在建的世界第一高堆石坝, 枢纽工程由拦河大坝、泄洪建筑物、引水发电系统等组成。拦河大坝为砾质土心墙堆石坝, 心墙两岸岸坡采用盖板混凝土。双江口水电站心墙防渗体岸坡部分盖板混凝土浇筑采用滑模施工, 两岸岸坡坡比为 1:0.58~1:1.3, 具有边坡高陡、施工难度大的特点。同时, 盖板混凝土采用低热水泥拌制, 受现场强光照、昼夜温差大(极差达到 18℃)的气候条件影响, 难以对混凝土的早期强度发展进行精确地预测和控制, 而滑模的脱模强度则与其相关^[2]。《水工建筑物滑模施工技术规范》DL/T 5400—2016 中规定采用贯入阻力法评价滑模混凝土的脱模强度^[3]。在室内通过筛取砂浆测定贯入阻力并绘制时间与贯入阻力的关系曲线图, 根据相关规范要求的脱模强度在曲线图上找到对应的时间即为脱模时间。但该方法存在无法进行现场检测和无法真实反映现场滑模混凝土脱

收稿日期: 2023-02-02

模强度的问题,其误差较大,容易造成质量和安全事故。鉴于此,项目部依托双江口水电站工程进行了技术攻关,研制出滑模混凝土现场脱模强度测量装置,并对滑模混凝土脱模强度检测方法进行了探索。该测量装置及检测方法已在双江口水电站工程中成功应用并取得了较好的效果,本文介绍了该装置具体的研究与应用过程。

2 滑模施工混凝土脱模强度测量装置的研制

滑模施工混凝土脱模强度现有的检测方法是在室内通过筛取砂浆并测定贯入阻力、绘制时间与贯入阻力的关系曲线图^[4],根据不同部位(如竖井、墩墙、混凝土面板、斜井)要求的脱模强度在曲线图上找到与其相对应的时间即为脱模时间。现场施工时,只要混凝土达到上述脱模时间即可脱模。但该检测方法在现场使用时存在以下缺陷:(1)需要筛取砂浆,导致试验人员工作量大,同时需要处理试验后的废弃物;(2)该方法无法对滑模混凝土脱模后的强度进行实时检测;(3)现场滑模混凝土受气温、风速、光照等气候条件影响较大,且该方法不能反映现场混凝土强度的实时变化。综上所述,该检测方法无法真实反映现场滑模混凝土脱模时的强度,误差较大,容易发生质量和安全事故。

目前国内尚无准确检测滑模混凝土现场脱模强度的仪器设备及测试方法。滑模提升后,由于混凝土脱模强度不满足相关技术要求将造成质量事故或存在安全隐患。混凝土的脱模强度不满足相关要求造成的事故有两种形式。A类形式:混凝土强度偏低,仓面混凝土出现垮塌、鼓包现象;B类形式:混凝土强度偏高,混凝土出现拉裂、模板变形现象。以双江口水电站右岸高程2360 m以下盖板C25W10F50二级配混凝土为例:单次出现A类质量事故后,停工处理10 d后才恢复施工,所造成的直接经济损失为74562元;单次出现B类质量事故后,将停工处理12 d后才能恢复施工,所造成的直接经济损失为89512元。

针对现有检测方法存在的不足,此次研制的滑模混凝土脱模强度测量装置(以下简称测量装置)结合了混凝土贯入阻力仪和混凝土回弹仪的混凝土强度的检测原理^[5]。该测量装置由测针、连接杆、压力传感器、集成电路板、电源、控制面板、数显屏幕等组成。其工作原理为:通过测针贯

入混凝土一定深度测定混凝土的贯入压力,据此计算混凝土的强度。该装置主要用于检测滑模混凝土脱模时的强度,测量范围为0.1~1.5 MPa,其具有体积小、重量轻、操作简单的特点;同时现场检测时无需进行混凝土取样筛取砂浆。该测量装置见图1。

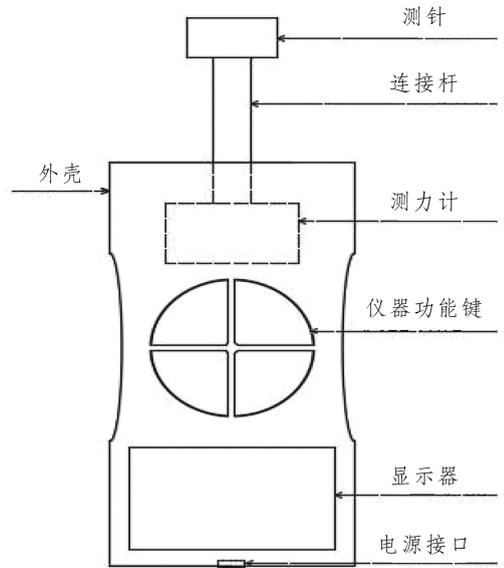


图1 测量装置示意图

采用该测量装置进行检测的步骤为:室内标定和现场测试。

(1)室内标定:①将同一批混凝土拌和物试样分为两份,一份筛取砂浆后将砂浆装入试模按照贯入阻力试验的方法检测混凝土强度;②将另一份混凝土装入试模振捣密实后用于标定测量装置;③将测量装置的测针垂直于混凝土表面施加垂直压力,待垂直压力达到贯入阻力法的压力时停止施压,记录测针的贯入深度和贯入压力,每次需测试3点,贯入深度取算术平均值;④绘制贯入压力-时间-贯入深度曲线,将采用两种试验方法建立的曲线图做差异性比较,进一步精确脱模时间以减少误差。通过曲线图查找适宜的脱模强度和脱模时间。室内标定成果见表1,贯入阻力与时间关系曲线见图2,贯入阻力仪室内测试情况见图3,新研制仪器室内测试标定情况见图4。

(2)现场测试:①滑模滑升5~10 cm高度;②将测量装置的测针垂直于混凝土表面施加垂直压力,待测针贯入深度达到室内标定试验的贯入深度时停止施压,记录贯入压力值;③现场每次测试16点,去掉3个最大值和3个最小值后取剩余10

点测值的算术平均值为测定压力值；④根据检测结果确定滑模是否继续滑升。新研制仪器现场测试情况见图 5。

表 1 室内标定成果表

历时 /min	贯入阻力仪		测量装置	
	贯入深度 /mm	贯入阻力 P /MPa	贯入深度 /mm	贯入阻力 P /MPa
0	25	0	2.5	0
30	25	0	2.5	0
60	25	0	2.5	0
90	25	0	2.5	0
120	25	0.08	2.5	0.07
150	25	0.15	2.5	0.13
180	25	0.25	2.5	0.21
210	25	0.32	2.5	0.30
240	25	0.41	2.5	0.39
270	25	0.51	2.5	0.48
300	25	0.68	2.5	0.68
330	25	0.85	2.5	0.87
360	25	1.02	2.5	1.09
390	25	1.31	2.5	1.35
420	25	1.53	2.5	1.59
450	25	1.85	2.5	1.82



图 3 贯入阻力仪室内测试照片



图 4 新研制仪器室内测试标定照片



图 5 新研制仪器现场测试照片

3 新研制的测量装置与贯入阻力法相比具有的特点及优点

该测量装置研制时遵循简单、适用、方便、试验结果准确可靠的原则。该仪器于 2019 年在双江口水电站投入使用,滑模施工时采用该测量装

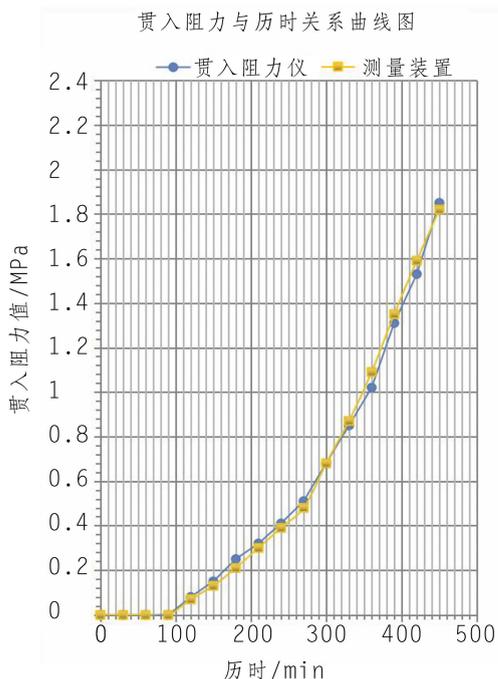


图 2 贯入阻力与时间关系曲线图

置测量滑模混凝土的脱模强度并依据检测结果确定脱模时间、指导滑模施工。

所研制的测量装置与贯入阻力法相比具有以下特点及优点:(1)仪器小巧、轻便,能够随身携带;(2)无需混凝土取样筛取砂浆进行检测,从而降低了检测人员的劳动强度;同时,无检测弃渣产生实现了绿色环保;(3)能够在现场及时检测,每次检测仅需 10 min,并可在现场提供检测结果;(4)检测结果准确可靠,能够真实反映现场混凝土的实际强度。

采用该测量装置在施工现场不同环境条件下对滑模混凝土的脱模强度进行了检测,发现混凝土贯入阻力随环境温度的升高而逐渐增大。现场不同气候条件下测量装置与贯入阻力法结果对比情况见表 2。

表 2 现场不同气候条件下测量装置与贯入阻力法结果对比表

历时 /min	贯入阻力仪室内 20℃贯入阻力 P /MPa	测量装置在不同环境下的 贯入阻力值 P /MPa		
		阴天 10℃	阴天 20℃	晴天 30℃
		0	0	0
30	0	0	0	
60	0	0	0	
90	0	0	0	0.05
120	0.08	0	0.08	0.13
150	0.15	0.04	0.18	0.26
180	0.25	0.07	0.24	0.41
210	0.32	0.13	0.35	0.52
240	0.41	0.21	0.46	0.80
270	0.51	0.30	0.55	1.06
300	0.68	0.38	0.75	1.36
330	0.85	0.49	0.98	1.74
360	1.02	0.62	1.20	2.03
390	1.31	0.72	1.49	2.30
420	1.53	0.83	1.68	2.62
450	1.85	0.92	1.89	2.93

备注:不同环境是指在施工现场不同天气条件下进行的测试,其中晴天 30℃是指太阳直射滑模的天气状况。

4 现场应用情况

在滑模混凝土施工过程中,第一层混凝土浇筑完成后,按照室内试验进行现场脱模强度的时间进行预估,待该时间达到后,将滑模提升约 7

cm 进行现场混凝土脱模强度检测,将现场脱模强度测量装置的测针端部与混凝土表面接触,测针应垂直于混凝土表面,经 10 s 后使测针贯入室内试验确定的深度,记录贯入阻力值,该值即为即时混凝土强度。现场测试时,每次检测 16 个测点,测点均匀分布在混凝土表面,测点不得布置在气孔、裸露的石子表面或浮浆上。去掉 16 个测值中 3 个最大值和 3 个最小值后取剩余 10 个测值的算术平均值作为检测结果。依据脱模强度检测结果及施工应用情况后发现:将脱模强度控制在 0.3~0.5 MPa 较为适宜。滑模提升后,观察混凝土是否存在坍塌、鼓包、拉裂等现象。如无上述现象发生,则所确定的脱模强度适宜;如存在上述现象,则应调整脱模时间。通过采用新的检测方法,盖板滑模混凝土未发生因脱模时间过短出现的“坍塌、鼓包”现象,同时亦未发生因脱模时间过长出现的“混凝土拉裂”现象。滑模混凝土浇筑后其表面光滑,形体结构满足要求。运用该检测方法后,可以有效保障滑模混凝土的脱模强度(时间)和适宜的滑升速度,减少因现有检测技术不能完全反映滑模现场脱模强度造成的质量事故及安全事故,减少返工处理和缺陷修补造成的经济损失。该检测方法成功应用后,“滑模混凝土现场脱模强度测量装置”获得了国家知识产权局实用新型专利证书(证书编号:ZL 2020 2 2012546.2),所编写的《滑模混凝土脱模强度检测施工工法》获得中国水利水电第七工程局有限公司的公司工法(工法编号:QJGF-2021),目前该工法正在申报中国电建集团工法,所实施的《滑模混凝土现场脱模强度测量装置研制》获得中国电力企业联合会“2022 年度电力职工技术创新奖三等奖”(证书号:PIA-2022-ZG-3254)。

5 结语

采用依托双江口水电站工程施工研制的测量装置对滑模混凝土现场脱模强度进行检测的工程实践证明:该装置能够在现场及时确定滑模的脱模时间,检测数据准确度高,能够有效控制滑模的滑升时间和滑升速度,从而为现场施工提供了有力的技术支持。采用该方法能够有效降低人工成本费用并减少混凝土取样的成本费用;能够防止滑模脱模时间过早或延迟而造成的混凝土坍塌、

(下转第 81 页)

