

塑性混凝土在水电工程中的应用及相关问题探讨

陈仁峰

(四川省能源投资集团有限责任公司,四川 成都 610081)

摘要:对塑性混凝土特性和影响因素进行了研究,结合配合比设计及工程应用中取得的经验,对塑性混凝土相关问题进行了探讨。

关键词:塑性混凝土;特性;影响因素;设计指标;试验方法

中图分类号:TV7;TV52;TV22

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)02-0011-03

1 概述

塑性混凝土是用膨润土、粘土等掺和料取代普通混凝土中的水泥用量,经搅拌、浇筑凝结而成的具有低强度、低弹模和大应变的防渗材料。塑性混凝土从二十世纪六十年代开始应用到防渗墙工程中,在国内防渗工程中的应用已有近四十年的历史。塑性混凝土的主要优势在于其弹性模量低、极限变形大,适应变形的能力强,克服了刚性混凝土变形能力小,易造成应力集中、易产生裂缝的缺点,作为一种相对廉价、良好的防渗材料较广泛地应用于各种工程的防渗体中。

2 塑性混凝土具有的特性

2.1 塑性混凝土的优良性能

与刚性防渗墙相比,塑性混凝土的优良性能主要体现如下:

(1)具有极低的变形模量。通过调整配合比,其变形模量可在较大范围内变化。

(2)其性质介于土与混凝土之间,具有与土层形态非常相似的应力应变曲线,可以选择与周围土层应力应变曲线相吻合的塑性混凝土配合比。

(3)塑性混凝土在无侧限条件下的极限应变超过1%,比普通混凝土(0.08%~0.3%)大几倍甚至几十倍,能随堰体一起变形,墙体内部应力小。

(4)在三向受力条件下,塑性混凝土的强度有一定的提高,极限应变增长更大,意味着随着围压的增加,塑性混凝土的强度亦增加了、随堰体变形的能力增强了,防渗墙的安全度得以提高。三峡工程二期围堰塑性混凝土不同围压(σ_3)下的应力应变关系见图1。

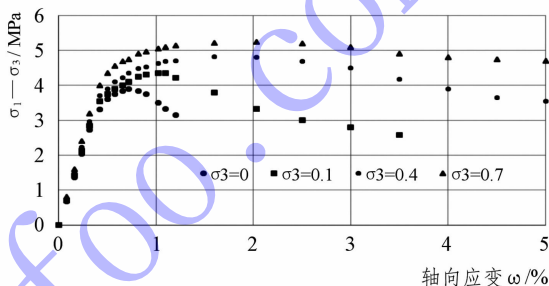


图1 不同围压(σ_3)下的应力—应变关系图

2.2 塑性混凝土性能的微观分析

塑性混凝土具有上述优良性能的主要原因是其掺入了膨润土。膨润土的矿物组成主要为蒙脱石,一般含量达80%以上,其次为石英,方解石含量较少。膨润土细颗粒硬化后会形成含有许多缺陷和空隙的多相非均质复合材料。当承受荷载时,其缺陷和空隙闭合,因而塑性混凝土比普通混凝土变形要大得多,弹性模量亦低得多。

从微观结构看,膨润土具有复杂的网状结构,其由两层硅氧四面体和一层铝氧八面体构成,这一特殊的结构使其具有优异的离子交换性和吸水膨胀性。另外,由于其结构中 Al^{3+} 可被 Mg^{2+} 所取代,从而使每一层复网层并不呈现电中性,而是带负电荷,导致略带正电荷的水化正离子易于进入;又因水的极化和氢键作用,水亦进入层间,使其产生膨胀。因此,塑性混凝土在渗水压力的作用下具有较好的吸水膨胀性能,从而具备良好的抗渗性。

2.3 影响因素

总体来看,水泥用量对塑性混凝土强度、弹模的影响为正相关关系,即水泥用量越高,混凝土强度、弹模越高;膨润土用量对塑性混凝土强度、弹

模的影响为负相关关系,即膨润土用量越高,混凝土强度、弹模越低。为此,需要找到一个合适的点,进而保证混凝土强度、弹模满足工程要求。

(1)膨润土对混凝土性能的影响。

从塑性混凝土的组成材料和作用机理看,其材料的组合和作用机理与普通混凝土不一样,在性能上表现为弹、塑、粘性,其力学性能主要受胶凝材料的影响。

《水利水电工程混凝土防渗墙施工规范》(DL/T5199-2004)将膨润土作为胶凝材料。相关试验成果表明:膨润土作为胶凝材料,膨润土每 m^3 混凝土用量不同时,塑性混凝土抗压强度——胶水比为非线性关系(图2)。当膨润土每 m^3 混凝土用量相同时,不将膨润土作为胶凝材料,塑性混凝土抗压强度——胶水比相关性较好(图3)。

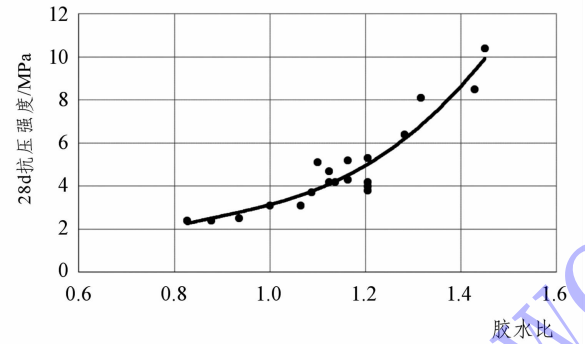


图2 塑性混凝土抗压强度——胶水比关系图
(膨润土作为胶凝材料)

(2)引气剂对弹性模量的影响。

试验证明:当适当、均匀地引入微气泡,对降

低塑性混凝土的弹性模量具有较好的效果(图4)。但混凝土含气量过大时,对塑性混凝土的强度影响较大。

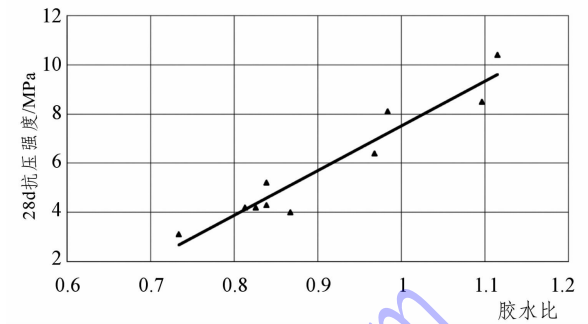


图3 塑性混凝土抗压强度——胶水比关系图
(膨润土用量相同)

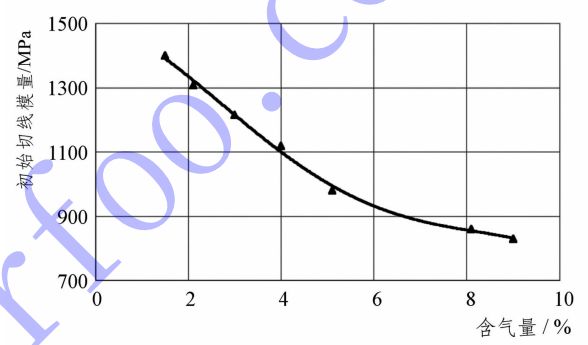


图4 含气量对塑性混凝土初始切线模量影响图

3 常用的设计指标及配合比

由于对塑性混凝土的系统研究还不够深入,目前的塑性混凝土设计指标基本参照三峡等大型工程的指标确定。国内部分大型水电工程采用的塑性混凝土设计指标见表1。

表1 国内部分大型水电工程围堰防渗墙塑性混凝土设计指标表

工程名称	设计指标						
	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	抗折强度 /MPa	弹性模量 /MPa	抗渗等级	渗透系数 /cm·s ⁻¹	破坏比降
三峡工程二期围堰	4~5	—	≥1.5	≤1 000 初始切线	—	$K \leq i \times 10^{-7}$	≥80
锦屏一级水电站围堰	≥50	≥0.5	—	≤1 500	≥W8	—	—
锦屏二级水电站围堰	4~6	—	—	800~1 500	—	$K \leq i \times 10^{-7}$	≥200
金沙水电站二期围堰	4~5	—	—	—	—	$K < i \times 10^{-7}$	—

注:除此以外,大部分水电工程塑性混凝土要求为自密实,坍落度一般为200~240 mm,部分工程对1~1.5 h后的坍落度以及凝结时间有要求。

国内部分工程采用的塑性混凝土配合比见表2。

4 施工质量控制

混凝土防渗墙的施工质量主要包括成槽质量控制、嵌岩深度质量控制、清孔质量控制。槽孔清孔换浆经检查合格后,在4 h内开浇混凝土,浇筑

表 2 国内部分工程防渗墙采用的塑性混凝土配合比表

工程名称	水胶比	砂率 /%	材料用量 /kg · m ³							
			水	水泥	粉煤灰	膨润土	砂	石	减水剂	引气剂
海勃湾水利枢纽	0.9	53	230	172	/	84	961	853	0.51	/
哈达山水利枢纽工程	0.85	55	263	180	/	130	916	749	0.78	/
漫水湾引水工程	0.93	45	279	175	/	125	741	879	0.44	/
锦屏一级水电站围堰	0.77	85	285	230	40	100	1 244	223	2.96	0.148
锦屏二级水电站围堰	0.95	80	275	150	/	140	1 266	319	1.16	0.064
三峡工程二期上游围堰	0.75	95	282	185	80	110	1 369	74	2.25	0.056
三峡工程二期下游围堰	1.13	100	380	270	/	65	1 255 (风化砂)		2.7	/
金沙水电站	0.85	85	305	221	/	138	940	428	2.87	0.036
青山水库	0.65	55	235	253	/	108	906	741	1.3	/

混凝土一般采用直升导管法。

施工质量控制除了控制混凝土的拌和、浇筑质量外,还包括墙身质量检查。

(1)严格控制称量偏差。

(2)合理确定拌和时间以保证混凝土的均匀性、和易性,必要时通过试验确定拌和时间。

(3)混凝土浇筑应连续进行,泵送能力大于最大浇筑强度,以保证泵至槽口的混凝土具有良好的和易性。

(4)导管埋入混凝土的深度不小于 1 m,不大于 6 m;混凝土面应均匀上升,各处高差应控制在 0.5 m 以内。

(5)墙身质量检查的内容包括墙体的均匀性、可能存在的缺陷和墙段接缝。检查常采用无损检测和钻孔取芯方法。无损检测常用的方法有弹性波 CT 技术、垂直反射法、层析成像法等,需根据实际情况选择。使用钻孔取芯法一方面检查墙体材料的均匀、完整情况以及有无孔洞、夹泥和混浆等质量问题;另一方面通过芯样检测其抗压强度、抗拉强度、变形模量、抗渗等级或渗透系数等物理力学性能指标。

5 相关问题探讨

目前,国内大部分工程的塑性混凝土设计指标主要参照以往大型水电工程的指标与经验。另外,由于对塑性混凝土的研究不像普通水工混凝土那样系统、深入,试验方法还有进一步改进的余地。笔者根据多年从事塑性混凝土试验与施工取得的经验,对以下问题提出了具体的建议,供探讨。

(1)关于设计指标。

①抗压强度。

三峡工程二期围堰防渗墙设计要求其抗压强度为 4~5 MPa,而三峡工程二期围堰防渗墙最大墙高为 74 m。根据三峡工程二期围堰、锦屏一级水电站围堰等工程应力变形有限元分析成果看,其堰体应力水平较低,且基本为压应力。而国内目前很多工程的围堰防渗墙高度比三峡工程低得多,但其抗压强度设计指标甚至高于三峡工程,偏于保守。

②弹性模量。

目前国内对塑性混凝土的弹性模量要求一般为两种:一种是以三峡工程为代表的初始切线模量,另一种为弹性模量,限定值一般在 1 500 MPa 以内。根据大量的试验数据,同一试件初始切线模量要低于弹性模量,且弹性模量要控制在 1 500 MPa 以内很困难。塑性混凝土弹性阶段之后的塑性变形较大,在有围压(即三向受力)的情况下其极限应变更大,因此,从充分利用塑性混凝土特性(塑性变形)的角度考虑,对弹性模量的限定可适当放宽。

③抗渗能力。

国内塑性混凝土的抗渗能力一般对渗透系数有要求,少量工程对抗渗等级有要求。由于塑性混凝土强度低,若按普通混凝土抗渗等级试验方法测试抗渗等级容易导致试件破坏,且抗渗等级 W1 混凝土渗透系数为 3.91×10^{-8} cm/s,抗渗等级 W2 混凝土渗透系数为 1.96×10^{-8} cm/s。国内塑性混凝土渗透系数普遍要求 $< i \times 10^{-7}$ cm/s,按抗渗等级进行要求会导致对塑性混凝土渗透系数要求过高。

(下转第 50 页)

况,结合以往工程经验,对于统供材料的核销采取半年进行一次核销。

(1)积极做好限额领料及物资盘点工作。对施工队的材料发放必须要有工程技术部门出具的限额领料单,要有计划、合理地分配物资,而不是采购多少,发放多少,要充分考虑资金的流动及物资的安全风险。物资盘点过程中,盘点内容不仅仅包括库存的材料,还需对已领未耗的材料进行盘点。

(2)加强物资核销工作的宣传、指导、监督及检查力度。物资管理部门应加强物资核销工作的宣传力度,使各级领导及工作人员转变观念,认识到物资核销工作对于材料成本及施工成本的重要性和紧迫性。各相关部门应积极参与、共同做好项目物资的核销工作。各上级物资管理部门应加大对项目物资核销工作的指导、服务,加强对各项目物资核销工作资料的收集、整理、分析及核实工作,进一步加强对物资核销工作的监督、检查力度,确保核销工作的真实性,切实加强对主要材料的管控工作。

(3)做好物资核销结果的分析工作是重中之

(上接第 13 页)

(2)关于塑性混凝土的试验方法。

水工塑性混凝土已有相应的试验规程《水工塑性混凝土试验规程(DL/T 5303-2013)》,对塑性混凝土相关性能试验及取值进行了规定。

①弹性模量试验方法。

《水工塑性混凝土试验规程》规定弹性模量测试的标距为整个试件的长度(即 300 mm),经过不少于三次预压,测试 20% 至 40% 应力之间的弹性模量。考虑到端面约束对混凝土变形能力的影响,笔者建议参照普通混凝土弹模试验取中部 150 mm 作为测量标距。

②抗渗试验方法。

由于塑性混凝土强度低,故国内目前大部分将其强度控制在 4~5 MPa。使用水工混凝土上口直径 175 mm、下口直径 185 mm、高 150 mm 的截头圆锥体进行抗渗试验时,当试件底部水压力为 0.8 MPa 时,试模侧面对塑性混凝土试件的压力已大大超过 5 MPa,进而导致试件受压破坏,而

重,必须严格控制。对于严重超额使用统供材料的情况,必须在当期找出原因,若没有明确的原因则直接在当期按合同和相关管理办法进行预扣除;对于出现的问题必须进行及时的整改,制定有针对性的措施,使物资的消耗时时处于可控状态,才能达到物资核销的目的和要求。

3 结 语

物资管理作为水电工程建设管理中重要的一环,不仅影响到工程进度和工程质量以及工程造价成本控制,而且对水电站统供材料管理中的计划、使用过程控制及核销等受现场条件及多因素影响较大,尤其对于营改增后统供材料的管理,在现实管理工作中依然存在诸多缺陷和不足,这就需要结合实际情况,不断摸索和总结完善。唯有不断探索,才能找到更适宜的管理模式及方法。

作者简介:

李传勇(1985-),男,四川资中人,工程师,从事水利水电工程建设技术与管理工作;
郑思琪(1993-),女,四川绵阳人,助理工程师,从事水利水电工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

不是产生渗透破坏。笔者建议:降低试验水压力或采用其他方式进行抗渗试验。

(3)关于是否选用引气剂。

引气剂在混凝土中起到的作用是明显的。在塑性混凝土中掺加引气剂,可以改善塑性混凝土拌和物的和易性、提高塑性混凝土的耐久性能、降低塑性混凝土的弹性模量。不同工程掺用引气剂对降低塑性混凝土弹性模量的幅度存在较大差异,但总体来看,掺引气剂后塑性混凝土的性能更有优势,因此,笔者建议在工程中宜使用引气剂。

6 结 语

目前国内水电工程塑性混凝土的应用已较普遍,但对其系统性的研究仍较缺乏。随着研究的逐步深入,塑性混凝土配合比设计、试验、施工的经验将会更加丰富,塑性混凝土的应用将会迎来更广阔的前景。

作者简介:

陈仁峰(1978-),男,四川遂宁人,副总工程师兼工程技术部部长,高级工程师,学士,从事水电工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)