

茅坪溪土石坝沥青混凝土心墙施工期变形分析

荣冠¹, 朱焕春¹

(1. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室 湖北 武汉 430072)

摘要:介绍了茅坪溪防护土石坝施工期沥青混凝土心墙安全监测情况,对心墙应力、应变、变形及温度状态等观测资料进行了较详细的分析探讨。目前监测结果为:心墙底部压应力测值较理论计算值小,其增长与心墙高程升高关系协调。心墙不同高程处应变主要受温度、上部荷载及两侧过渡料性质影响,从测值分析心墙中上部应变随高程升高增长较快。心墙与过渡料间位错变形反映心墙压缩变形大于两侧过渡料沉降变形,且心墙中部变形较上、下部变形要大。底部心墙与基座间水平位移变形初期主要受施工影响,后期施工对其影响较小,总体变形稳定。分析表明心墙现阶段变形稳定,应变、应力测值和温度变化正常,工作性态良好,心墙与过渡料及填筑料间能协调变形,符合土石坝变形基本规律。

关键词:土石坝;沥青混凝土心墙;安全监测;变形

中图分类号:TV543 **文献标识码:**A

1 工程概况

茅坪溪防护土石坝位于三峡大坝上游的长江右岸,它是为避免三峡水库蓄水后秭归县茅坪镇附近土地淹没而修筑的一等一级防护工程。坝顶高程185m,最大坝高104m,坝轴线长1840m,坝顶宽20m。其中沥青混凝土心墙高94m。坝坡坡比为1:2.25~1:3.0,设计正常蓄水位175m,校核洪水位180m。坝体填筑料有风化砂、石渣混合料、石渣料、过渡料、堆石料、反滤料、砂卵石料等,土石方填筑量1213万m³。大坝防渗体系由碾压沥青混凝土心墙、混凝土防渗墙、混凝土基座、固结灌浆及帷幕灌浆等组成。在河床段长230m宽范围为沥青混凝土防渗心墙,两岸岸坡段为混凝土防渗墙上接沥青混凝土心墙,两坝肩防渗体系采用混凝土防渗墙,防渗墙厚0.8m,墙下视基岩透水情况在部分地段设置灌浆帷幕。沥青混凝土心墙厚度从顶部185m高程的60cm渐变至94m高程处为120cm,底部再扩大为270cm宽与混凝土基座连接,心墙与左、右岸岸坡相连接处厚度也适当扩大。整个沥青混凝土防渗墙总面积为4.63万m²,工程量为5.312万m³。

2 安全监测内容

三峡茅坪溪防护土石坝是一座采用沥青混凝土心墙防渗的高土石坝,在设计、施工等方面均无直接经验,因此对沥青混凝土心墙的变形进行全面监测意义重大。针对近100m高的沥青混凝土心墙,为了解其在施工期、初次蓄水期及稳定运行期不同阶段的变形和工作状态,确保防护工程安全同时为工程建设积累经验,设计了较全面的安全监测项目。针对沥青混凝土心墙主要监测仪器有位错计、应变计、温度计、压应力计、界面变位计、钢丝水平位移计和渗压计等,具体设计情况见表1。设计了0+580、0+700及0+850三个主要监测断面,关键断面坝体填筑和仪器布置情况见图1。

收稿日期:2002-05-09

作者简介:荣冠(1971-),男,江西修水人,讲师,主要从事工程地质教学和岩体稳定性研究工作。

表 1 茅坪溪防护土石坝沥青混凝土心墙安全监测项目

监测项目	监测目的	监测位置	设计数量
位错计	沥青心墙与混凝土基座及过渡料和心墙间位错变形	心墙与混凝土基座处及心墙不同高程处	34 支
界面变位计	心墙岸坡段与过渡料之间位错变形	坝体左右岸坡	6 支
应变计	心墙应变和变形	心墙不同高程处	36 支
温度计	心墙内部温度变化	心墙不同高程处	25 支
渗压计	心墙防渗效果	紧靠心墙上下游过渡料内	5 支
压应力	计心墙底部压应力	心墙底部	4 支
钢丝位	移计心墙水平位移	心墙 137m 高程三断面处	3 套

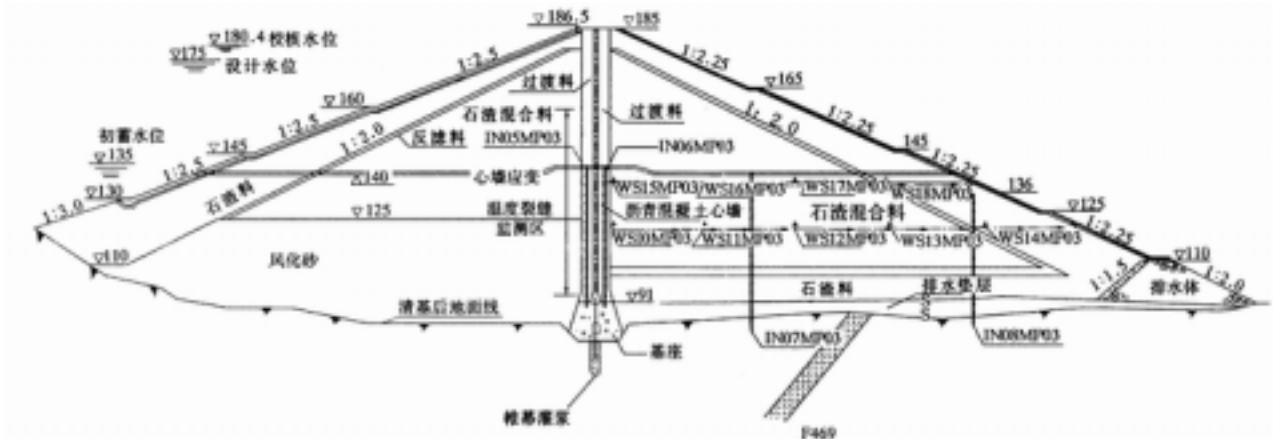


图 1 茅坪大坝 0+700 断面坝体填筑及部分监测仪器布置示意(单位: m)

3 施工期监测成果分析

茅坪溪土石坝沥青砼心墙从 1997 年 9 月份开始施工,至 2002 年 4 月心墙和坝体填筑至 158m 高程(心墙最大高度为 67m),预计 2003 年 4 月坝体上升到顶(185m)。2000 年 8 月已全部完成心墙监测仪器埋设工作,现已进行了近 5 年的施工期连续监测。大量观测资料全面准确地反映了心墙在施工期的变形特征,同时监测资料在反馈指导施工方面也发挥了积极作用,现将获得的部分观测成果(2002 年 2 月)分析如下。

3.1 心墙底部压应力 埋设于心墙底部的压应力计测值见表 2,测值过程线见图 2。由表 2 可知心墙底部压应力测值在 -0.84 ~ 1.14MPa,小于按自重计算的压应力,与同高程上、下游过渡料中的土压应力计测

值比较也要小。

根据文献 [3] 的非有限元计算结果,大坝建建时(185m)沥青混凝土心墙底部最大压应力达 3.15MPa,按目前心墙底部压应力测值和变化过程来分析实测值要小于计算值。分析这是由于沥青混凝土心墙为一种柔性材料,其沉降变形大于过渡料的沉降变形导致过渡料分担了部分心墙荷载,

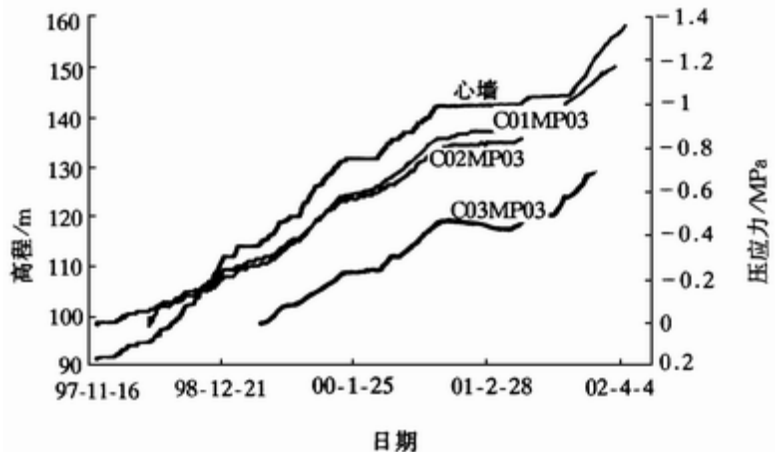


图 2 心墙底部压应力测值过程线

即过渡料对心墙提供了一定的被动土压力。压应力过程线表明心墙底部的压应力随心墙的上升而不断增大，且其增长规律与心墙高程上升情况吻合。这反映心墙与两侧过渡料的变形较协调。

3.2 心墙垂直向应变 为了解心墙的应变和变形情况，在 0+700 断面上游和 0+701 断面下游高程 95~170m 间心墙对称埋设了 36 支应变计（见图 3）。从理论上分析沥青混凝土心墙为一种薄壁柔性结构，其变形主要受周边约束条件控制。当施工期心墙随两侧过渡料均衡上升时，其变形主要由两侧坝体压力及本身上部自重决定。表 3 和图 4~图 5 为部分应变观测成果。根据观测结果心墙应变具有以下规律：应变随心墙升高呈现不断增大的趋势，特别是心墙中部高程处应变测值过程线与心墙高程变化曲线具有很好的一致性。心墙不同高程处仪器埋设初期由于沥青混凝土温度高应变速率较大，当温度下降稳定后应变速率较平稳，主要受心墙荷载影响。心墙底部应变在心墙温度稳定后受心墙升高荷载增大的影响较小，反映两侧过渡料对心墙发挥了较大支撑作用。这与心墙底部压应力测值偏小是一致的，同时表明过渡料与心墙间有一定的“拱效应”。在蓄水过程中应注意可能的水力劈裂情况。据文献^[3]计算结果，大坝建建时心墙底部最大压应变为 43400 微应变，按目前情况分析计算的变形规律与实测情况不完全吻合，实测值相对较小。心墙上、下游侧对应的变形有一定的差异。具体情况为高程 95~101m、116~125m 间上游应变测值较下游稍大；高程 104~113m、128~134m 间则相反。此结果对心墙稳定有利，反映心墙未向一侧变形，同时表明坝体选料合理，施工优良，符合沥青混凝土心墙土石坝心墙变形一般规律：施工期主要为沉降变形，上下游向水平位移很小；初蓄低水位时心墙向上游倾斜；蓄水到一定高程时心墙则转向往下游倾斜。

表 2 沥青混凝土心墙底部压应力测值

仪器编号	桩号	高程/m	应力/MPa	对应心墙高度/m
C01MP03	0+580	94.0	-1.14	60.0
C02MP03	0+700	91.0	-0.84	51.4
C04MP03	0+705	91.2	-1.10	62.8
C03MP03	0+8501	15.0	-0.69	36.6

表 3 沥青混凝土心墙部分应变测值

仪器编号	埋设高程 /m	桩号	应变	对应心墙高度/m
S01MP03	95.0	0+700	-0.00808	61.0
S06MP03	101.0	0+701	-0.00787	55.0
S13MP03	113.0	0+700	-0.01461	43.0
S20MP03	122.0	0+701	-0.00489	34.0
S27MP03	134.0	0+700	-0.0036	22.0
S30MP03	145.0	0+701	-0.00081	9.0

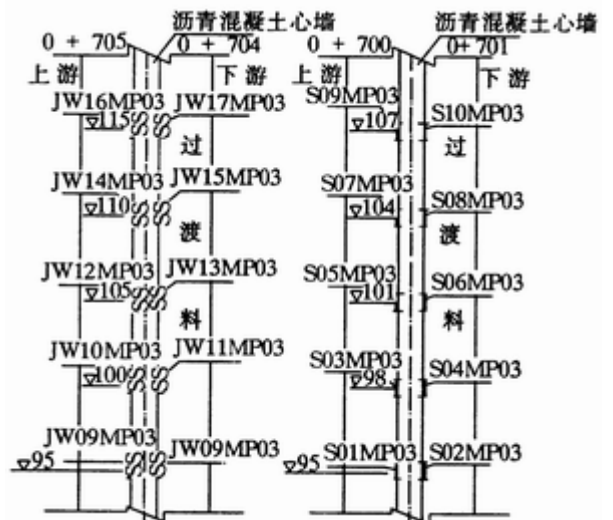


图 3 沥青混凝土心墙应变计及位错计埋设示意

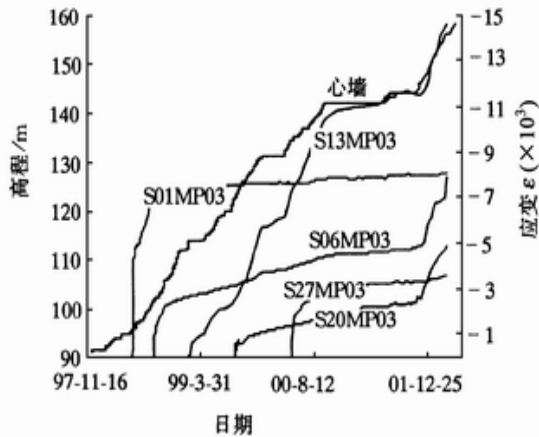


图 4 心墙不同高程处应变测值过程线

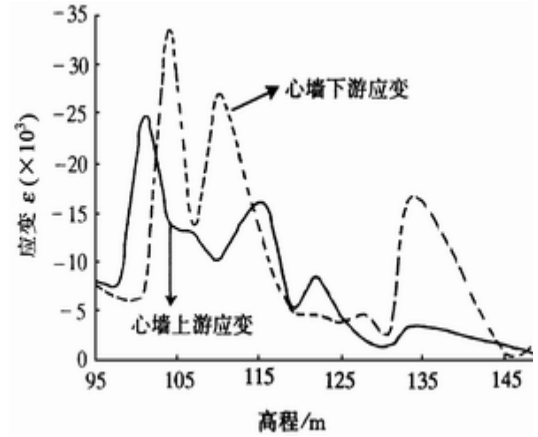


图 5 0+700 断面不同高程处应变测值分布

3.3 心墙与过渡料间垂直向变形 茅坪溪防护大坝分别在心墙 0+705 断面上游和 0+704 断面下游高程 95~160m 间各埋设了 13 支竖向位错计 (见图 3), 用于监测沥青混凝土心墙与两侧过渡料之间的相对位错变形。心墙与两侧过渡料间的变形关系主要受其变形模量影响。当过渡料变形模量大于心墙变形模量时, 心墙中应力相应要变小, 此时坝体在一定程度上支撑着心墙。反过来过渡料变形模量较小时, 则心墙支撑两侧填筑料使心墙变形复杂, 这显然是不利的。当心墙与过渡料和坝壳填筑料的变形测值过程线模量匹配合理增大时对心墙良好受力及协调变形是有利的。表 4 和图 6~图 8 是有关位错计的观测结果。总体来说

表 4 部分位错计观测成果

仪器编号	桩号	埋设高程 /m	变形/mm
JW10MP03	0+705	100.0	-12.29
JW13MP03	0+704	105.0	-32.95
JW14MP03	0+705	110.0	-12.68
JW17MP03	0+704	115.0	-18.07
JW18MP03	0+705	120.0	-11.82
JW20MP03	0+705	125.0	-5.49
JW23MP03	0+704	130.0	-3.77
JW24MP03	0+705	135.0	-0.32
JW27MP03	0+704	145.0	-1.59
JW28MP03	0+705	150.0	-1.63

注: 负值表示锚板间距离减小, 仪器受压。

仪器为受压状态, 表明沥青混凝土心墙压缩变形大于过渡料的沉降变形。测值一般规律为: 仪器埋设初期由于心墙温度相对较高, 变形大, 仪器表现为受压, 且变形速率较大。随后由于心墙填筑高程上升, 下部沥青混凝土温度趋于稳定, 过渡料沉降量增大, 此时仪器表现为相对受拉 (压缩量减少)。随着心墙的进一步上升过渡料逐渐趋于密实, 而沥青混凝土心墙具有复杂的黏弹塑性变形特征^[1], 仪器测值表现为随心墙高程增加受压进一步增大。沿竖直方向心墙与过渡料间上、下游侧的垂直变形规律基本一致, 且心墙底部顶部变形较小而中间变形较大。这主要是由沥青混凝土温度变化及过渡料与沥青混凝土分层填筑受压密实决定的, 与有关土石坝沉降规律计算结果^[2]也是吻合的。

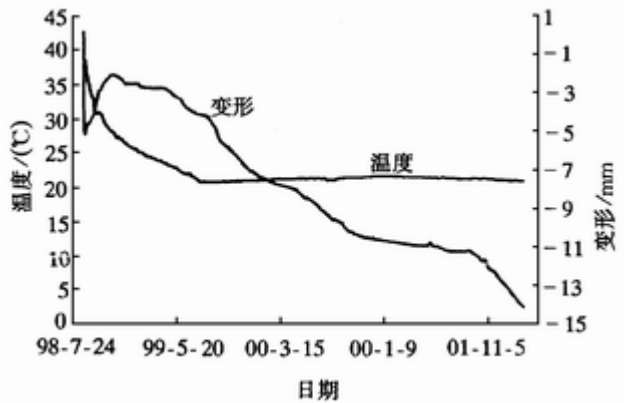


图 6 JW11MP03(0+704 断面 100m 高程)

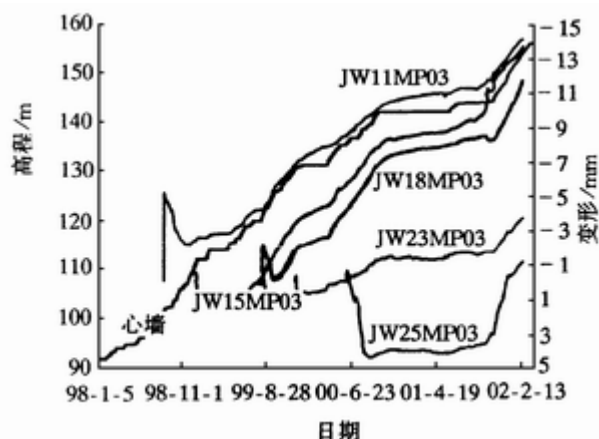


图7 部分位错计及心墙高程测值过程线

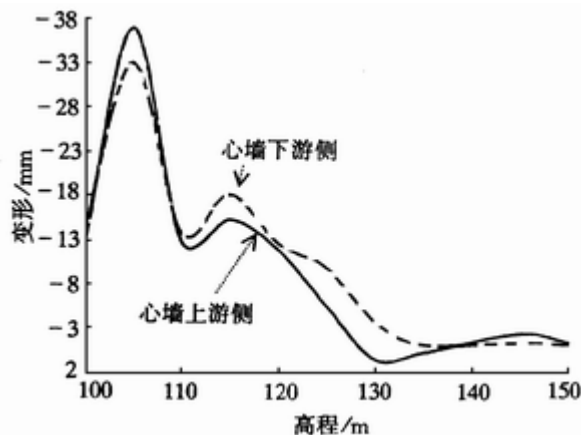


图8 位错计测值沿高程分布

3.4 心墙与混凝土基座间水平变形 沥青心墙与混凝土基座间水平位错情况见表5和图9。观测结果表明随着坝体上升心墙温度趋于稳定，上部施工对其影响很小，总体变形也趋于稳定。但心墙与基座间水平向位移相差较大，除0+700断面附近向上游变形外其他位置基本向下游变形。上述情况主要是由当时坝体上、下游填筑进度不一致、仪器埋设初期心墙温度较高易变形及施工机械在心墙附近活动等因素影响所致。

表5 心墙与混凝土基座间水平位移测值

仪器编号	桩号	高程/m	变形/mm
JW01MP03	0+340	135.2	3.61
JW03MP03	0+546	104.0	0.25
JW04MP03	0+580	93.81	7.89
JW05MP03	0+700	91.2	-1.85
JW07MP03	0+850	115.0	-0.02

注：负值表示心墙相对基座向上游变形。

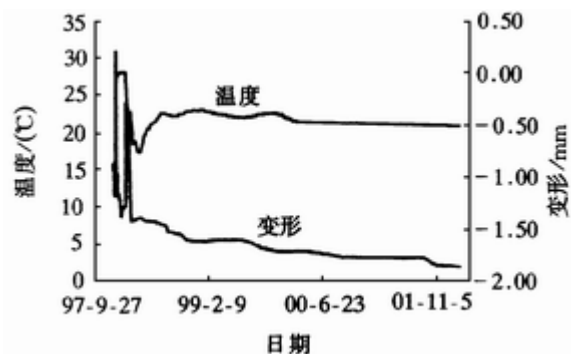


图9 JW05MP03(0+700断面)位移测值过程线

如0+700断面附近为河床深槽部位，当时施工机械基本集中在下游过渡料带活动结果导致心墙向上游变形。而其他断面仪器埋设位置心墙上游填筑进度较下游快，同时施工机械也主要在上游，所以心墙表现为向下游位移。施工中根据此水平位移观测结果，及时在碾压强度及对称填筑碾压方面采取了相应措施，对控制心墙过大变形起了重要作用。

3.5 心墙施工温控情况 沥青混凝土温度观测的目的在于了解不同工作条件下心墙内部温度变化规律，同时可配合进行温度对心墙变形及裂缝影响的分析。沥青混凝土在出仓、运输、摊铺、初碾及终碾过程中对温度控制要求较高，心墙温度直接影响其变形特征及工作性态。施工中要求单层碾压厚度在20~23cm，摊铺温度在 (160 ± 10) ，碾压温度在140左右。140m高程以下心墙内不同断面不同高程处共布置了25支高温温度计，典型断面温度计测值变化情况见图10。如0+700断面139m高程处的T16MP03温度计监测到的最高温度为124.87，最低温度为17.57。实际上最高温度为沥青混凝土碾压后的温度，最低温度为受外界气温影响的坝体地温。观测结果显示心墙受上覆高温沥青混凝土摊铺碾压影响可出现3~4次明显温度升高现象，施工过程中高温沥青混凝土可使下覆40cm之内沥青混凝土温度升高达到50软化点，当上覆厚度超过80cm后上部高温施工对其温度影响已很小。随着心墙高程上升心墙温度趋于稳定，此时

测值主要反映坝体地温的变化。

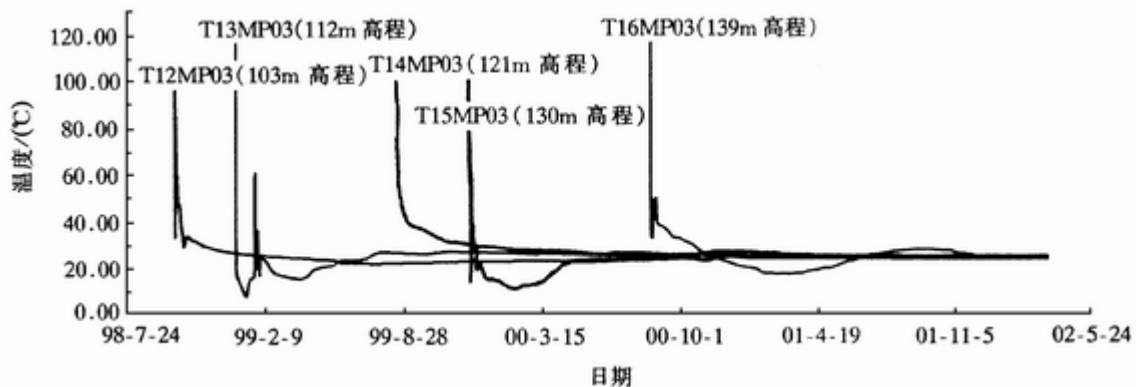


图10 0+700断面温度计测值过程线

4 结 语

茅坪溪防护土石坝已进行近5年施工期监测工作,获得了大量施工期观测资料,为及时了解心墙工作状态和指导现场施工发挥了积极作用。根据多年工作对茅坪溪防护坝施工和目前变形有以下几点认识:(1)茅坪溪土石坝采用沥青混凝土心墙防渗具有适应变形能力强、工程量少、防渗性能较好和易于施工等优点。(2)心墙底部不同部位压应力正常,测值较理论计算值小,其增长与心墙高程升高关系协调。(3)心墙不同高程处应变情况主要受温度、上部荷载及两侧过渡料性质影响,根据观测结果,心墙中上部应变随高程升高增长较快。(4)心墙与过渡料间的位错计反映心墙压缩变形大于两侧过渡料沉降变形,且心墙中部变形较上下部变形大。(5)沥青心墙底部与基座间水平变形初期主要受施工影响,后期施工对其影响较小,总体变形稳定。(6)严格沥青混凝土心墙施工温度控制对保证其良好力学性能及正常变形具有重要作用。(7)监测资料分析表明心墙现阶段变形稳定,应变、应力测值和温度变化正常,工作性能良好,心墙与过渡料及填筑料间能协调变形,符合土石坝变形基本规律。但坝体及心墙各种变形指标仍处于施工活跃期,加之上部坝体施工较快,心墙进一步变形情况需继续监测和深入研究。(8)茅坪溪土石坝在高沥青混凝土心墙的设计施工方面取得了一些经验(如高温仪器埋设及观测、心墙及过渡料施工、高温仪器率定等),对同类工程科研、设计及施工具有参考价值。

随着三峡工程初期蓄水,土石坝二期(140m高程~185m高程)施工的进行,茅坪溪土石坝心墙工作性能将发生变化,为确保防护大坝安全,监测工作将进入一个关键阶段。

参 考 文 献 :

- [1] 蒋长元,蒋颂涛,等. 沥青混凝土防渗墙[M]. 北京:水利电力出版社,1992.
- [2] 陈慧远. 土石坝有限元分析[M]. 南京:河海大学出版社,1988.
- [3] 胡春林,胡安明,李友华. 茅坪溪土石坝沥青混凝土心墙的力学特性与施工控制[J]. 岩石力学与工程学报. 2001, 20(5): 742-746.