

大型水闸挡土墙典型裂缝成因分析及防治措施

韦 华¹, 陈迅捷¹, 魏治文², 牛志国¹, 胡智农¹

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 湖北省水利水电规划勘测设计院, 湖北 武汉 430072)

摘要:通过对埋入水闸挡土墙混凝土中的温度计、应变计、钢筋计等监测仪器所采集数据的综合分析, 得出了该水闸挡土墙混凝土开裂的具体原因. 分析结果表明: 该挡土墙混凝土开裂主要是由于大气温度突然降低, 引起混凝土急剧收缩, 而收缩又受到墙体两侧柱子及墙内钢筋的约束, 从而产生较大的收缩拉应力, 且产生的拉应力超过同龄期混凝土抗拉强度, 最终引起混凝土开裂. 针对该挡土墙混凝土开裂的主要原因, 为了降低水工混凝土因收缩引起开裂的风险, 提出了在混凝土浇筑前采取减少水泥浆用量、掺入适量膨胀剂, 以及在混凝土浇筑成型后采取潮湿养护和保温养护的建议.

关 键 词: 混凝土; 收缩; 约束; 裂缝

中图分类号: TU528.01

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2013)01-0047-07

裂缝是混凝土建筑物的常见病害之一, 在不同建筑行业, 对混凝土裂缝的敏感性有所差别, 如在工民建行业, 对墙体结构的微小裂缝并不敏感, 但是对于水工混凝土建筑物, 对任何细小的裂缝都特别敏感. 因为水工混凝土建筑物的裂缝会引起混凝土表面质量不达标、抗渗性降低、钢筋锈蚀、耐久性变差等一系列问题^[1-2]; 并且, 水工混凝土建筑物的裂缝在水压力作用下会产生水力劈裂, 影响混凝土的承载力和保水性, 甚至影响建筑物安全运行^[3-4]. 因此, 开展水工混凝土开裂原因的分析与防治就显得尤为重要.

引起水工混凝土开裂的因素很多, 既有混凝土材料本身因素, 又有混凝土所处环境的外在因素. 宋克勇等^[5]通过对多年水利工程施工经验的总结, 从原材料、设计、施工、服役环境等4个方面列出了水工混凝土裂缝控制的综合措施, 对水工混凝土施工具有一定的参考价值; 吉顺文^[6]对水工混凝土中薄壁结构开展了温度裂缝仿真计算, 并在仿真计算的基础上提出了有关薄壁结构施工过程防开裂的具体措施和方法; 牛道昌^[7]研究了水工混凝土裂缝与干缩的关系, 研究结果认为: 混凝土干缩是引起水工混凝土开裂的重要因素之一, 通过加强混凝土潮湿养护, 可有效降低水工混凝土因干缩引起的开裂风险; 冯乃谦^[8]从混凝土配合比、施工与后期养护等角度展开了预防混凝土开裂措施的研究, 研究认为通过前期优化混凝土配合比, 施工时加强质量控制和后期养护, 可有效降低混凝土开裂风险; 朱伯芳院士^[9]、朱岳明^[10]主要从混凝土温度的角度出发, 通过对水工建筑物的施工过程和温度应力的仿真计算, 研究解决水工混凝土裂缝的方法与技术. 从大量的参考文献看, 有关水工混凝土裂缝研究, 不同科研机构和科研人员有着不同的研究方向, 在不同的研究领域都取得了相应的研究成果, 但从总体来看, 仍有许多工作需要去细化, 去进一步研究, 揭示不同环境, 不同材料混凝土开裂原因.

本文主要依据江汉平原某大型水闸挡土墙混凝土室内及现场试验数据及其工程监测资料, 对该工程的裂缝成因展开分析, 根据分析结果, 提出了预防此类裂缝的具体措施和方法, 以供后续其他工程借鉴和参考.

收稿日期: 2012-06-28

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金重点项目(Y412005, Y412001)

作者简介: 韦 华(1981-), 男, 江苏连云港人, 工程师, 博士, 主要从事水工混凝土研究. E-mail: hwei@nhri.cn

1 工程基本资料

某大型水闸位于江汉平原,属于湖北省重点工程,水闸下游左侧挡土墙用泵送混凝土浇筑,浇筑后不间断洒水养护.挡土墙长 8 m,厚 35 cm,高 450 cm,墙的两端各有一根水平截面为 600 mm×650 mm 钢筋混凝土柱子,其中挡土墙混凝土在两端柱子浇筑成型 16 d 后开始浇筑.为了监测挡土墙施工质量,在墙中间位置监测点 1,2,3 处安装了 3 只温度计(用 T 表示),用来测量混凝土内部温度随时间变化情况,在墙外侧安装 1 只温度计,测试大气温度变化;3 只应变计(用 Y 表示)用来测量混凝土变形随时间变化情况;3 只钢筋计(用 G 表示)用来测量内部钢筋受力情况.仪器安装完后浇筑混凝土,同时开始观测混凝土温度、变形、钢筋受力、混凝土表观质量.在混凝土浇筑 206~240 h 这段时间,在埋设监测仪器的 1,2,3 部位左侧 30 cm 处出现一条从上至下的贯穿裂缝.现通过试验数据及现场监测资料分析该挡土墙开裂的主要原因,以供后续相关工程参考.仪器布置图及裂缝位置见图 1.

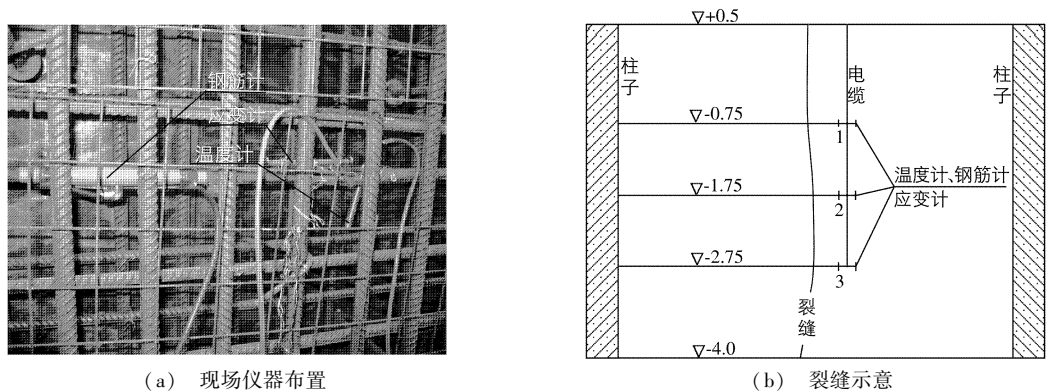


图 1 现场仪器布置及裂缝示意图

Fig. 1 The instrument layout in field and schematic diagram of crack

混凝土原材料中的水泥为海螺牌 P·O 42.5 水泥,粉煤灰为武汉青山热电厂回收 I 级粉煤灰,水泥及 I 级粉煤灰化学成分见表 1.

表 1 水泥及粉煤灰主要化学成分

Tab. 1 The main chemical components of cement and I fly ash									%
名 称	烧失量	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
水 泥	3.50	21.20	61.18	1.90	3.36	5.89	0.15	0.57	2.24
I 级灰	2.92	53.14	4.87	1.42	11.94	24.24	0.72	0.27	0.48

骨料包括砂(细度模数为 2.65 的河砂,密度 2.60 g/cm³)和碎石(人工碎石,二级配,粒径 5~40 mm,密度 2.65 g/cm³).采用 FDN 高效减水剂.先在试验室内做成套试验,经优选后再确定工程现场浇筑配合比,每立方米混凝土的用量分别为水 171 kg,水泥 360 kg,粉煤灰 90 kg,砂 660 kg,碎石 1 080 kg,外加剂 3.6 kg.

2 试验结果及开裂成因分析

2.1 试验结果

混凝土搅拌均匀后,成型 150 mm×150 mm×150 mm 抗压强度试件,分别放在标准养护室和工地现场自然条件下养护,测试其 3,7,14 和 28 d 抗压强度;同时在标准养护条件下测试混凝土的轴拉强度、轴拉弹模、极限拉伸值、干缩、自身体积变形、线膨胀系数等.具体试验结果见表 2.

表2 标准养护与自然养护条件下测试结果

Tab.2 Test results of mechanical properties curing in standard and natural conditions

养护 龄期 / d	抗压强度/ MPa		轴拉强度/ MPa	极限拉伸值/ 10^{-6}	轴拉弹模/ GPa	干缩/ 10^{-6}	自身体积变形/ 10^{-6}	线膨胀系数/ 10^{-6}
	标准养护	现场自然养护	标准养护	标准养护	标准养护	标准养护	标准养护	标准养护
1						-25	2	/
3	21.4	22.7	/	/	/	-75	4	/
7	27.5	30.8	2.47	86	35.2	-95	-5	/
14	39.5	42.2	/	/	/	-156	-11	/
28	49.1	51.6	3.32	112	44.7	-225	-24	9.2

2.2 挡土墙混凝土裂缝成因分析

2.2.1 挡土墙混凝土内外温差 图2为挡土墙1,2,3号监测点内部温度、大气温度随时间的变化。可见,在混凝土浇筑72~336 h这段时间内,由于昼夜温差的原因,大气温度随时间变化较为剧烈,特别是在192~216 h这个时间段内,气温在8 h内从27℃突降到6℃,温降速率达2.63℃/h;另外,由于挡土墙厚度只有350 mm,因此挡土墙内部温度总体上随大气温度变化而变化,但由于胶凝材料水化产生热量及混凝土具有一定的保温性等原因,挡土墙内部温度变化相对大气温度变化较为平缓,且1,2,3号监测点温度变化趋势基本一致。在混凝土浇筑192~230 h这个时间段,由于大气温度突然降低,挡土墙内部温度下降12.6℃。

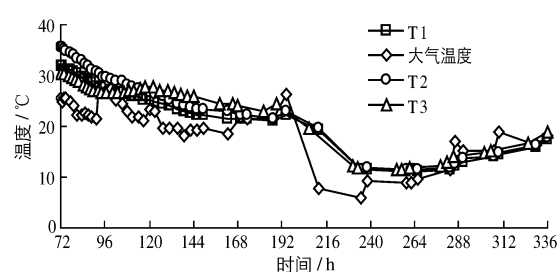


图2 监测点1,2,3处墙内温度及大气温度随时间变化

Fig.2 Inner temperature of the wall and the atmospheric temperature changing with time at the monitoring points 1, 2 and 3

2.2.2 裂缝成因分析 在不受外力及约束条件下,监测段水闸挡土墙的理论变形 $\varepsilon_{理}$ 由三部份组成: $\varepsilon_{理} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$,其中: ε_1 为混凝土因温度降低或升高而引起的收缩或膨胀变形; ε_2 为胶凝材料水化引起的混凝土自身体积变形; ε_3 为混凝土因内部水分散失引起的干缩变形。

混凝土具有热胀冷缩的特性,在浇筑后的192~230 h这个时间段,由于外部大气温度的急剧降低,使得挡土墙内部温度下降12.6℃,混凝土温度下降,将引起混凝土收缩,该配合比的混凝土28 d线膨胀系数为 9.2×10^{-6} ,而在混凝土浇筑后192~230 h这个时间段,混凝土还没有完全凝结硬化,此时间段线膨胀系数 α_{192} 应大于 9.2×10^{-6} ,现仍假设该时段混凝土线膨胀系数 α_{192} 为 9.2×10^{-6} ,则由温度降低引起的收缩变形为: $\varepsilon_1 = -12.6 \times 9.2 \times 10^{-6} = -115.9 \times 10^{-6}$ 。

另一方面,混凝土浇筑192 h后,由于胶凝材料水化将引起自身体积变形,根据室内试验获得的该混凝土自身体积变形随时间变化规律数据,利用插值法计算得到混凝土浇筑192~230 h这个时间段自身体积变形量为: $\varepsilon_2 = -7 \times 10^{-6}$ 。

由于该批混凝土在现场浇筑成型后,采取不间断洒水养护,因此该批混凝土因干缩引起的变形记为0,即: $\varepsilon_3 = 0$,因而在不受外力及约束条件下,水闸挡土墙的理论变形值为: $\varepsilon_{理} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = -122.9 \times 10^{-6}$ 。

但是该挡土墙两侧及基础底座有已凝结硬化的钢筋混凝土,同时混凝土内部布置大量钢筋,挡土墙两侧及基础底座已凝结硬化的钢筋混凝土和内部钢筋将对混凝土的收缩变形产生约束,阻碍混凝土的收缩变形,挡土墙混凝土实际收缩变形值将小于理论变形值,即: $\varepsilon_{实} < \varepsilon_{理}$ 。澳大利亚新威尔士大学的 R. I. Gilbert 教授研究认为^[11]:钢筋混凝土结构的收缩受到约束时,在混凝土中将产生约束拉应力,约束拉应力 σ_t 由两部分承担,混凝土承担部分拉应力,记为 σ_c ,钢筋承担部分拉应力,记为 σ_s ,即: $\sigma_t = \sigma_c + \sigma_s$,随着约束拉应力 σ_t 增大, σ_c 和 σ_s 也随之增加,当混凝土承担的拉应力 σ_c 大于等于该龄期的极限抗拉强度 $\sigma_{极}$ 时,即: $\sigma_c \geq \sigma_{极}$,混

凝土就会逐渐发生开裂. 中交二航局刘秉京教授研究也认为^[12]混凝土的收缩裂缝主要是由于约束拉应力引起的, 约束引起的拉应力及其开裂示意图如图 3 所示.

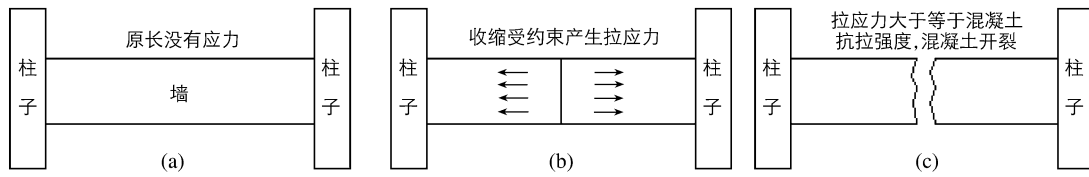


图 3 收缩引起墙体开裂示意图

Fig. 3 Cracks caused by shrinkage

因收缩受到约束而引起的混凝土拉应力的值, 可根据混凝土力学性能与变形性能测试值, 利用有限元法进行数值模拟计算得出. 根据该挡土墙所处的环境和约束条件, 确定该挡土墙边界条件为第三类边界条件, 利用相关变分原理, 确定三维非稳定温度场问题的有限单元法求解泛函数^[13]为:

$$I(T) = \iiint_{R_t} \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \right) T \right\} dx dy dz + \iint_{S_1^3} \frac{B}{\lambda} \left(\frac{T}{2} - T_\alpha \right) T ds \quad (1)$$

式中: R_t 为计算域; T 为温度; θ 为绝热温升; α 为导温系数; λ 为导热系数; B 为表面散热系数; T_α 为外界气温; τ 为混凝土龄期; t 为时间; S_1^3 为第三类边界条件.

根据泛函数的驻值条件 $\frac{\delta I}{\delta T} = 0$ 和时间差分, 可得仿真计算求解的有限单元法格式为^[13]:

$$\left[\mathbf{H} + \frac{1}{\Delta t_n} \right] \mathbf{T}_{n+1} - \frac{1}{\Delta t_n} \mathbf{R} \mathbf{T}_n + \mathbf{F}_{n+1} = 0 \quad (2)$$

式中: $\mathbf{H}$ 为热传导矩阵; $\mathbf{R}$ 为热传导补充矩阵; $\mathbf{T}_{n+1}$ 和 $\mathbf{T}_n$ 为结点温度列阵; $\mathbf{F}_{n+1}$ 为结点温度载荷列阵.

根据设定的初始条件和边界条件, 计算混凝土浇筑后 192 ~ 240 h 这个时间段由外界气温骤降引起的拉应力, 计算时间段混凝土的力学特性参数和热学特性参数如下: 导温系数 $0.0036 \text{ m}^2/\text{h}$, 弹性模量 37.8 GPa , 泊松比为 0.3 , 导热系数 $10.0 \text{ kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$, 表面散热系数 $69.16 \text{ kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$, 热膨胀系数 $9.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$. 该段挡土墙共划分成 8 064 个单元和 9 405 个结点, 图 4 为计算单元的三维网格, 计算结果中挡土墙长度方向、中间部位、竖向截面、最大法向拉应力如图 5 所示.

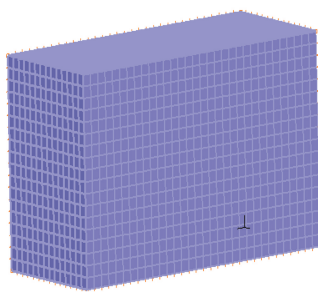


图 4 计算网格

Fig. 4 Grid graph

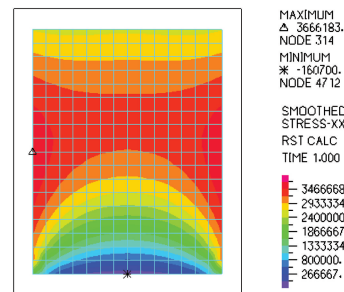


图 5 法向最大拉应力

Fig. 5 The maximum tensile stress in normal direction

监测仪器埋设点因收缩受到约束而引起的混凝土拉应力的值, 可根据同济大学张雄教授^[15]推荐的公式 (3) 计算得出:

$$\sigma_t = E_t(\varepsilon_t \delta) \quad (3)$$

式中: σ_t 为 t 时刻混凝土受拉应力 (MPa); E_t 为 t 时刻混凝土轴拉弹性模量 (GPa); ε_t 为 t 时刻混凝土自由收缩变形 ($\times 10^{-6}$); δ 为混凝土收缩约束度, 由受到内外约束程度决定.

公式(3)中, ε_t 为 t 时刻混凝土由约束拉应力产生的受拉变形, 本文中由埋设在混凝土中的应变计直接测量得出。

图6为监测点1, 2, 3处墙内混凝土变形随时间变化过程。可见, 在混凝土浇筑后72~192 h这个时间段, 混凝土的变形相对比较平稳; 而在混凝土浇筑后192~240 h这个时间段, 由于收缩受到约束引起的拉应力迅速增加, 从而引起混凝土受拉变形急剧增加。监测点1, 2, 3处的受拉变形最大值分别为 $\varepsilon_{11} = 82 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_{12} = 52 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_{13} = 35 \times 10^{-6}$ 。

该混凝土7 d和28 d轴拉弹性模量分别为35.2和44.7 GPa, 利用轴拉弹性模量随时间变化关系及插值法计算得混凝土浇筑192~240 h这个时间段的轴拉弹性模量, 即: $E = 37.8$ GPa, 利用公式(3)计算得到监测点1, 2, 3处的最大拉应力分别为 $\sigma_1 = 3.10$ MPa, $\sigma_2 = 1.97$ MPa, $\sigma_3 = 1.32$ MPa。通过实测结果与仿真计算结果相比较, 可发现实测结果与仿真计算结果相吻合, 因此也反推出仿真计算结果精度较高。

2.2.3 墙内钢筋受力分析 图7为监测点1, 2, 3处墙内钢筋受力随时间变化过程。可见, 在浇筑后的72~192 h这个时间段, 监测点1, 2, 3处钢筋受力变化相对比较平稳, 而在192~240 h这个时间段, 由于钢筋计左侧混凝土开裂, 使得钢筋所受的拉应力快速增加, 240 h后, 钢筋所受拉应力缓慢降低。对于此现象, R. I. Gilbert 教授研究认为^[16]: 混凝土开裂后, 内部混凝土和钢筋的受力会重新调整, 在开裂区, 混凝土不再承担任何约束拉应力, 约束拉应力全部由钢筋承担, 因此在开裂区及过渡区钢筋所受的约束拉应力将显著增大。混凝土和钢筋调整后的受力状况如图8所示, 其中 w 表示裂缝的宽度, S_0 表示过渡区(过渡区是指混凝土所受的拉应力从0变到 σ_{cl} 的区域)的长度。在图8(a)中, 在开裂处混凝土承担的拉应力为0, 在过渡区, 混凝土所受的拉应力逐渐增大, 最后趋向于 σ_{cl} ; 图8(b)中, 在裂缝处, 约束拉应力全部由钢筋承担, 钢筋所受的拉应力在开裂处达最大值 σ_{s2} , 通过过渡区逐渐减小到 σ_{s1} 。

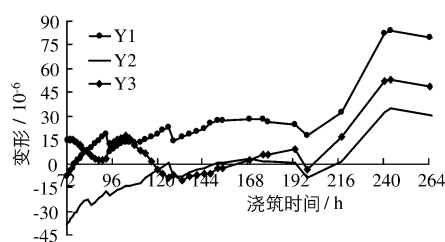


图6 监测点1, 2, 3处混凝土变形随时间变化

Fig. 6 Concrete deformation changing with time at the monitoring points 1, 2 and 3

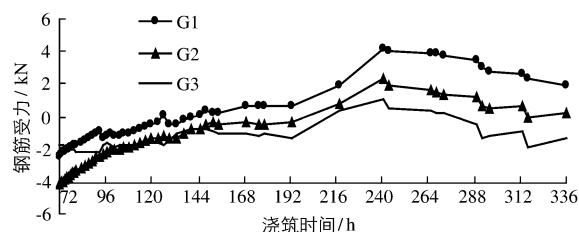
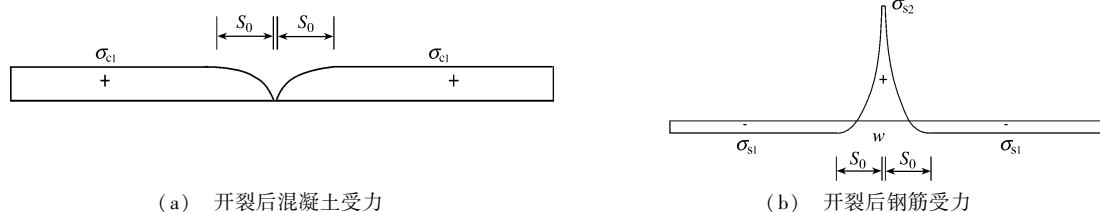


图7 各监测点钢筋受力随时间变化

Fig. 7 The bear of reinforcement changing with time at the monitoring point 1, 2 and 3



(a) 开裂后混凝土受力

(b) 开裂后钢筋受力

图8 混凝土开裂后混凝土和钢筋受力示意图

Fig. 8 Stress of concrete and reinforcement after cracking

2.2.4 挡土墙开裂原因总结 通过对埋设在水闸挡土墙中温度计、变形计所采集数据的综合分析, 同时运用数值模拟方法对挡土墙因温度骤降引起的最大拉应力进行计算, 可知该水闸挡土墙开裂是由于在混凝土浇筑后192~216 h这个时间段的外部气温的突然降低, 引起混凝土收缩, 而收缩又受到墙体两侧柱子、底座混凝土、内部钢筋的约束, 在约束条件下产生的拉应力超过同龄期混凝土的轴拉强度引起的, 挡土墙内部钢筋受力变化情况恰好可以证明混凝土开裂的具体时间是在192~240 h时间段。

3 防开裂措施

通过对上述水闸挡土墙混凝土裂缝成因的分析可知,当混凝土的收缩受到约束时,产生的拉应力容易引起混凝土开裂.为了降低水工混凝土因收缩引起的开裂风险,建议在工程建设过程中采取以下几点措施:

(1)减少配合比中水泥浆含量.在保证混凝土满足设计要求的前提下,对混凝土配合比进行优化,减少配合比中水泥浆的含量,即减少用水量和胶凝材料用量,可达到降低胶凝材料水化散热量,减小自身体积变形的目的.

(2)掺入适量的膨胀剂.在混凝土中掺入适量膨胀剂配成补偿收缩混凝土,在养护期能产生适度体积膨胀,在钢筋和邻位约束情况下能对钢筋产生一定的拉应力,从而对混凝土产生压缩作用,能抵消部份收缩产生的拉应力,起到补偿收缩和提高混凝土抗裂性的作用.

(3)采取潮湿养护,减小干缩量.干缩主要是由于混凝土内部水分散失引起的,因此在混凝土浇筑成型后,采取洒水养护、湿麻袋潮湿养护等方法,降低混凝土内部水分散失量,达到减小干缩的目的.

(4)注重混凝土保温.在混凝土浇筑成型后,用保温板或保温膜覆盖在混凝土表面,减小外界温度对混凝土的影响,可显著降低混凝土开裂风险,特别是在春秋两季,昼夜温差变化较大,对混凝土采取保温措施显得尤为重要.

4 结 语

(1)通过对某水闸挡土墙温度、变形和钢筋受力等 3 个因素综合分析,得出该挡土墙混凝土开裂的主要原因是:大气温度突然降低,引起混凝土急剧收缩,而收缩受到墙体两侧柱子及墙内钢筋的约束,产生较大的收缩拉应力,且产生的拉应力超过同龄期混凝土轴拉强度,最终导致混凝土开裂.

(2)针对本工程挡土墙混凝土开裂的主要原因,为了降低水工混凝土因收缩引起开裂的风险,建议在混凝土浇筑前采取减少水泥浆用量、掺入适量膨胀剂等措施,在混凝土浇筑成型后采取潮湿养护、保温养护等措施,可有效降低混凝土收缩开裂风险,显著提高水工混凝土的保水性和耐久性.

参 考 文 献:

- [1] 李胜,孙保沐,王海龙.大体积混凝土温度裂缝与防治[J].水利技术监督,2005(2):76-78. (LI Sheng, SUN Bao-mu, WANG Hai-long. The mass concrete temperature cracks and its controlling steps[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2005(2): 76-78. (in Chinese))
- [2] 王铁梦.工程结构裂缝控制[M].北京:中国建筑工业出版社,1997. (WANG Tie-meng. Crack control of engineering structures[M]. Beijing: China Building Industry Press, 1997. (in Chinese))
- [3] 何建红,钟良红.混凝土裂缝的成因、预防及处理[J].人民长江,2005,36(6):34-36. (HE Jian-hong, ZHONG Liang-hong. The causes of concrete cracks and its prevention and treatment[J]. Yangtze River, 2005, 36(6): 34-36. (in Chinese))
- [4] 邓进标,邹志晖,韩伯鲤,等.水工混凝土建筑物裂缝分析及其处理[M].武汉:武汉水利电力大学出版社,1998. (DENG Jin-biao, ZOU Zhi-hui, HAN Bo-li, et al. Crack analysis and treatment of hydraulic concrete building[M]. Wuhan: Wuhan University of Hydraulic and Electrical Engineering Press, 1998. (in Chinese))
- [5] 宋克勇,罗顺利,刘保松,等.水工混凝土裂缝控制综合分析[J].南水北调与水利科技,2007,5(4):85-88. (SONG Ke-yong, LUO Shun-li, LIU Bao-song, et al. Synthesis analysis for hydraulic engineering concrete cracks controls[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2007, 5(4): 85-88. (in Chinese))
- [6] 吉顺文,朱岳明,蒋一鸣.平原地区水工混凝土裂缝成因与防裂研究[J].三峡大学学报:自然科学版,2009,31(4):37-39. (JI Shun-wen, ZHU Yue-ming, JIANG Yi-ming. Study of causes of hydraulic concrete cracking and its prevention measures in plain area[J]. J of China Three Gorges Univ (Natural Sciences), 2009, 31(4): 37-39. (in Chinese))
- [7] 牛道昌.水工混凝土干缩与裂缝的关系[J].水利水电工程设计,1995(4):44-51. (NIU Dao-chang. The relationship

- between shrinkage and cracks of hydraulic concrete[J]. Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering, 1995(4): 44-51. (in Chinese))
- [8] 冯乃谦, 顾晴霞, 郝挺宇. 混凝土结构的裂缝与对策[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006. (FENG Nai-qian, GU Qing-xia, HAO Ting-yu. Cracking in concrete structure and its counter measures [M]. Beijing: China Machine Press, 2006. (in Chinese))
- [9] 朱伯芳. 论混凝土坝的几个重要问题[J]. 中国工程科学, 2006, 8(7): 21-29. (ZHU Bo-fang. On some important problems about concrete dams[J]. Engineering Science, 2006, 8(7): 21-29. (in Chinese))
- [10] 朱岳明, 贺金仁, 刘勇军. 龙滩高 RCC 重力坝夏季不同浇筑温度的温控防裂研究[J]. 水力发电, 2002(11): 32-36. (ZHU Yue-ming, HE Jin-ren, LIU Yong-jun. Temperature control and cracking prevention of Longtan High RCC Gravity Dam with different concrete placement temperatures in summer[J]. Water Power, 2002(11): 32-36. (in Chinese))
- [11] GILBERT R I. Shrinkage cracking in fully restrained concrete members[J]. ACI Structural Journal, 1992, 89(2): 141-149.
- [12] 刘秉京. 混凝土技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998. (LIU Bing-jing. Concrete technology [M]. Beijing: China Communication Press, 1998. (in Chinese))
- [13] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999. (ZHU Bo-fang. Thermal stress and temperature control of mass concrete[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999. (in Chinese))
- [14] SPRINGENSCHMID R. Prevention of thermal cracking in concrete at early ages[J]. State of the Art Report, 1998, 119: 348-354.
- [15] 张雄, 张小伟, 李旭峰. 混凝土结构裂缝防治技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007. (ZHANG Xiong, ZHANG Xiao-wei, LI Xu-feng. Concrete structure crack prevention[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007. (in Chinese))
- [16] GILBERT R I. Shrinkage, cracking and deflection-the serviceability of concrete structures[J]. Electronic Journal of Structural Engineering, 2001, 1(1): 2-14.

Cause analysis of typical crack on a sluice retaining wall and its prevention measures

WEI Hua¹, CHEN Xun-jie¹, WEI Zhi-wen², NIU Zhi-guo¹, HU Zhi-nong¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Hubei Exploration & Design Institute of Water Conservation & Hydroelectric Engineering, Wuhan 430072, China)

Abstract: The authors have comprehensively analyzed the data collected from monitoring instruments, such as thermometers, strain gauges and reinforcement meters which are embedded in the sluice retaining wall. So the fundamental reasons of concrete cracking of the sluice retaining wall are obtained. The research results show that the reason for the sluice retaining wall cracking is the sudden drop of the atmospheric temperature. The temperature decrease causes the concrete shrinking which is constrained by two sides of pillars and inter reinforcement, and at the same time, the shrinkage tensile stress appears too. Crack appears when the shrinkage tensile stress is over the tensile strength of the concrete. Therefore, before the pouring of the concrete, reducing the amount of slurry and mixing with an appropriate amount of expansive agent are suggested. And after concrete pouring, curing with moisture and heat preservation materials is suggested too. These recommendations are suggested in order to reduce the risk of hydraulic concrete cracking which is caused by shrinkage.

Key words: concrete; shrinkage; constraint; crack