

Discussion on Crack Prevention Measures of Concrete Panel

Jie Gao

Second Engineering Company of Sinohydro 15 Engineering Bureau Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710016, China

Abstract

Concrete panel is the main seepage proof body of rockfill dam. Based on the example of concrete and gravel dam in Xinjiang, this paper introduces the comparison of shrinkage concrete and concrete) and non-compensation ordinary concrete in China, experimental study and the practical application in the project, expounds the anti-seepage principle of panel concrete, material performance and crack resistance technology.

Keywords

panel cracks; anti cracking principle; compensating shrinkage concrete; UEA concrete

混凝土面板防裂措施探讨

高杰

中国水电建设集团十五工程局有限公司第二工程公司, 中国·陕西 西安 710016

摘 要

混凝土面板是堆石坝的主要防渗体。论文结合新疆乌鲁瓦提混凝土面板砂砾石坝工程实例, 介绍了干燥、多风、寒冷地区掺UEA膨胀剂配制成的微膨胀补偿收缩混凝土(简称UEA混凝土)与非补偿收缩普通混凝土的多项技术性能对比, 实验研究及在该工程上的实际运用, 阐述了面板混凝土的防渗原理、材料性能和抗裂技术措施。

关键词

面板裂缝; 防裂原理; 补偿收缩混凝土; UEA混凝土

1 引言

混凝土的裂缝问题是多年内未解决的问题。而对于面板堆石坝中的混凝土面板, 施工过程中出现的裂缝问题, 一直是工程科技人员关注的话题。由于水泥材料本身的抗拉强度低, 韧性差, 当气候干燥或环境温度下降时, 混凝土很容易产生收缩, 出现裂缝, 从而导致钢筋锈蚀、渗漏, 耐久性下降。

据统计, 混凝土裂缝 80% 以上都是由于混凝土自身变形引起, 只有一小部分由于承载力不足导致。混凝土的自身变形包括化学收缩(也叫自身体积变形)、塑性收缩(终凝前的变形)、干湿变形(干缩湿胀)、温度变形(热胀冷缩), 四种变形, 主要是干缩和冷缩。而对于面板混凝土, 早期硬化阶段, 在保湿的条件下防止冷缩, 硬化以后在保温的条件下防止干缩。

由于面板在厚度方向远小于长度方向和宽度方向, 因此在混凝土水化热散热及环境温度改变时, 其热传导主要是沿板厚方向进行的。而面板混凝土在浇筑后, 由于底部受垫

层、两侧受先浇板块、内部受钢筋约束, 当面板混凝土温度相对于浇筑温度有改变时则会出现温度应力。当温度应力大于混凝土的抗拉强度, 混凝土就会出现裂缝^[1]。

补偿收缩混凝土的出现, 有效地解决了混凝土的抗裂问题, 其抗裂原理就是利用限制膨胀率来补偿限制收缩, 简单地可用下列公式表示:

$$\epsilon_{2m} - (S_2 + S_t) + S_e = D \leq |S_k|$$

式中, ϵ_{2m} ——补偿收缩混凝土限制膨胀率(%) ;

S_e ——弹性变性(%) ;

S_2 ——混凝土干缩率(%) ;

S_t ——混凝土冷缩率(%) ;

S_k ——混凝土极限拉伸值;

D ——剩余变形, $D > 0$ 时, 混凝土内不出现拉应力, $D < |S_k|$ 时, 混凝土不会产生裂缝。

2 乌鲁瓦提工程面板抗裂措施

乌鲁瓦提水利枢纽工程位于新疆和田地区和田县境内, 喀拉喀什河中游河段, 是一个具有灌溉、发电、防洪、保护生态等综合效益的大 II 型水利工程, 主坝是混凝土面板砂砾石堆石坝, 坝高 131.8m。混凝土面板靠近两岸受拉区 6m 宽, 中间受压区 12m 宽, 面板厚度由 $t = 0.3 + 0.003H$ (m) 确定,

【作者简介】高杰(1966-), 男, 中国陕西泾阳人, 本科, 工程师, 从事水利工程质量管理工作。

面板最大厚度 0.7m，最小厚度 0.3m，面板内部采用单层双向配筋。

该工程主要从原材料和施工工艺，加强养护几个方面提高混凝土的抗裂能力。

2.1 混凝土配合比设计与优化

首先从原材料进行优选，其次从配合比上进行优化。

①水泥：选用和田地区杜瓦水泥厂中热硅酸盐 425# 水泥，七天水化热为 302J/g（一期面板），286J/g（二期面板），其化学成分和矿物成分见表 1，物理、力学性能检测结果见表 2。

②砂石骨料：主要为花岗岩，片麻岩石料，硬度较高，粗骨料为卵、碎石混合料，砂为人工砂和河床砂混合砂，细度模数为 2.8 ± 0.2 。

③外加剂：根据面板防裂、抗冻、抗渗等设计要求，选用了四种外加剂，膨胀剂为南京特种材料厂生产的 UEA-III。PMS-1、PMS-2：（抗裂防冻剂），由 NF-1（高效减水剂乌鲁木齐市南湖化工厂）、AE 引气剂，南京特种材料厂生产的 UEA-III 膨胀剂配制而成，具体见表 3。

④粉煤灰：选用新疆玛纳斯火电厂的 II 级粉煤灰。

⑤配合比设计及优化：面板先后采用了 5 种配合比，分别是： W_{1-1} 、 W_{1-2} 、 W_{2-1} 、 W_{2-2} 、 W_{2-3} ，其中， W_{1-1} 、 W_{1-2} 是一期面板的配合比。 W_{1-1} 是补偿收缩型， W_{1-2} 是普通型。 W_{2-1} 、 W_{2-2} 、 W_{2-3} 是二期面板配合比，都属于补偿收缩型，具体配比见表 4。

2.2 施工中采取的防裂措施

面板混凝土施工中，为了严格控制其施工质量，对坍落度、含气量、入仓温度进行抽样检验，坍落度控制在 4~7cm，含气量控制在 4%~5%，控制入仓温度不大于 35℃（规范规定值）^[2]。

2.3 面板混凝土养护

一、二期面板共采用了五种养护方法：①塑料膜（下）+草帘（上）；②化纤毯（下）+塑料膜（上）；③一层或二层化纤毯；④苯板（下）+化纤毯（上）；⑤塑料膜（下）+化纤毯（上）。

安排专人养护。养护期间安排专人每天测温，测面板表面温度，测气温，记录每天的风速，为面板防裂积累现场数据。

表 1 水泥化学充分和矿物成分试验结果

浇筑部位	化学成分 %							矿物成分 %			
	烧失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
一期面板	1.65	21.05	5.58	5.18	62.29	2.58	1.71	51.6	21.92	5.57	15.18
二期面板	1.82	21.02	4.78	4.54	61.36	2.65	2.93	43.02	27.81	4.99	13.8

表 2 水泥物理力学试验结果

试验项目	细度 %	标准稠度 %	凝结时间		安定性	抗拉强度 (Mpa)			抗压强度 (Mpa)		
			初凝时:分	终凝时:分		3d	7d	28d	3d	7d	28d
试验结果	4.4	25.5	2: 20	3: 37	合格	4.9	6.6	8.1	25.6	33.5	47.8

表 3 外加剂掺量表

名称	性能	掺量 %	外加剂中膨胀剂掺量 (%) (9liang 两量 %)	生产厂家
TMS 特密斯	减水、引气、补偿收缩	5	4.25	江苏镇江特密斯厂
PMS--1	减水、引气、补偿收缩	6.4	5	乌鲁木齐市南湖化工厂
PMS--2	减水、引气、补偿收缩	8.4	7	乌鲁木齐市南湖化工厂
RH--2	高效减水	0.5-0.6	0	北京高碑店外加剂厂
AE	引气	0.002-0.004		乌鲁木齐市南湖化工厂

表4 面板混凝土配合比

配合比 编号	水 灰 比	砂 率 %	砂石料在饱和状态下每立方米砼各材料量 (kg)							外加剂	
			粉煤灰	水	水泥	砂	5~10 mm	10~20 mm	20~40 mm	名称	用量
W ₁₋₁	0.45	3.6		149.8	333	680	243	364	607	TMS	16.65
W ₁₋₂	0.45	3.8		154	342	711	233	349	582	RH-2	1.17
										AE	0.0068
W ₂₋₁	0.36	36	35	133	300	685.7	244.7	367.1	611.8	PMS-1	22.5
W ₂₋₂	0.36	36	52	133	282	680.4	242.8	364.2	607.1	PMS-2	30.1
W ₂₋₃	0.38	34	52	135	282	643.8	250.9	376.3	627.2	PMS-2	22.5

经过比较,认为一层化纤毯或二层化纤毯养护效果好,发生裂缝较少。主要原因是:化纤毯散热性较好,防风易固定。

3 面板混凝土发生裂缝的原因

面板混凝土的裂缝,主要由两类:一类是结构性裂缝,其产生原因是面板自重和堆石坝的不均匀沉降;另一类是非结构性裂缝,它是由于面板混凝土自身干缩及外界气温变化引起的冷缩,即收缩变形引起,后一类裂缝占主要比重。

4 补偿收缩混凝土抗裂机理

UEA 膨胀剂加入混凝土中,会产生大量的膨胀结晶水化合物——硫铝酸钙(3CaO·AL₂O₃·CaSO₄·31H₂O),即钙矾石,使混凝土产生适量的膨胀,在钢筋与其他约束的限制条件下,混凝土产生一定的压应力,这种压应力能够抵消导致混凝土开裂的全部或部分拉应力,并减轻或避免混凝土开裂。补偿模式如图1所示。

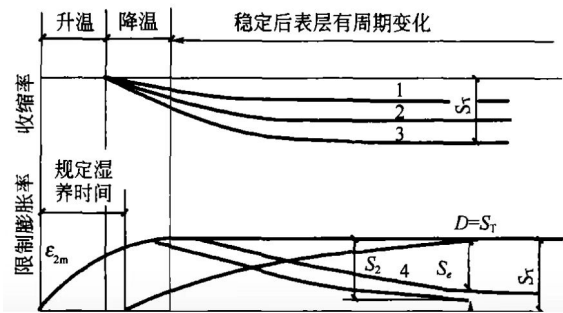


图1 冷缩与干缩联合补偿收缩模式

$$\epsilon_{2m} + S_e - (S_2 + S_T) = D \leq |S_k|$$

省去 S_e , 就变成:

$$\epsilon_{2m} - (S_2 + S_T) = D \leq |S_k|$$

式中, ϵ_{2m} ——限制膨胀率;

S_e ——弹性变形, 可省去

S_2 ——干缩变形;

S_T ——冷缩变形;

D——剩余变形;

S_k ——混凝土极限拉伸值。

$D > 0$, 混凝土内不出现拉应力, $D \leq |S_k|$ 时, 混凝土不会产生裂缝。

5 面板内部温度场

在面板混凝土浇筑之后,由于受底部垫层及混凝土内部钢筋的约束(后浇板块还要受两侧先浇板块的约束),当面板砼温度相对于浇筑温度有所改变时,就会出现温度应力,温度荷载计算可以混凝土水化热温升达到最高温度时所对应的温度场为基准。由于面板厚度(0.3~0.7m)远小于宽度(6~12m)和长度(50~80m)。因此,在水化热散发及环境温度改变时,其热传导主要沿面板厚度方向进行,可简化为一维热传导问题。沿厚度方向上任一点z的温度T,仅是z和时间t的函数,可建立如下定解问题:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

$$T(0,t) = T_0(t) = T_{\alpha}(0) = C \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\beta}{\lambda} T\right) \Big|_{z=h} = \frac{\beta}{\lambda} T_{\alpha}(t) \quad (3)$$

$$T_{(z,0)} = T_p \quad (4)$$

(1) 是非齐次的一维热传导方程, (2) 和 (3) 为边界条件(第一类与第三类边界条件), (4) 为初始条件。

式中, $\theta = \theta_0(1 - e^{-m})$ ——水化热绝热温升公式;

θ_0 ——最大绝热温升, m 与浇筑温度有关;

T_p ——浇筑温度;

$T_{0(t)}$ ——垫层温度, 为常数 C;

$T_{\alpha(t)}$ ——外界气温, 且 $T_{\alpha(0)} = C$;

α 、 λ 、 β ——混凝土导温系数、导热系数及表面放热系数;

h——面板厚度。

运用分离变量法, 固有函数法, 拉普拉斯积分变换, 逆变换求解得到:

$$T_{(z,t)} = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ C_n e^{-\alpha \beta n^2 t} + \frac{2m\theta_0}{\alpha \beta_n^2 - m} (e^{-m t} - e^{-\alpha \beta n^2 t}) - \frac{\beta h}{\lambda + \beta h} \right.$$

$$e^{-\alpha \beta n^2 t} [T_\alpha(t) - C] \sin \beta_n Z + \frac{\beta [T_\alpha(t) - c]}{\lambda + \beta h} Z + C$$

式中,

$$C_n = \frac{1}{h} \int_0^h (T_p - C) \sin \beta_n Z dz$$

$$\beta_n = \frac{r_n}{h} \quad r_n \text{ 为特征值, } r_n \text{ 由 } \tan r_n = a r_n \text{ 确定。} a = \frac{-\lambda}{\beta h}。$$

可以看出它的解是一个无穷级数与一个关于 Z 的一次线性函数的组合。

只要知道上述参数和常数, 就可以求出其温度分布, 可以求出任一点各个时间所对应的温度。

6 混凝土表面散热系数 β

要防止混凝土表面裂缝发生, 就要根据当地的气候条件、气温条件、空气湿度条件, 对混凝土表面进行适当的保护, 做到表面保湿、保温(利于散热、防止风吹、冷缩、干缩)。

规范规定, 混凝土的入仓温度不大于 35℃, 不小于 5℃, 降温速率不大于 2℃/d。所以, 选择适当的覆盖材料对混凝土的防裂至关重要。

大量的试验结果表明: 混凝土表面的放热系数 β , 对混凝土表面的温度梯度 $\frac{\partial T}{\partial z}$ 和温度应力 T 有重要影响, 与表面的光滑(粗糙)有关, 也与风速(或风力等级)有关^[3]。

当混凝土表面无覆盖时, 其表面放热系数为:

$$\text{表面粗糙: } \beta = 21.06 + 17.58V^{0.910};$$

$$\text{表面光滑: } \beta = 18.46 + 17.30V^{0.883};$$

V 为风速, β 为表面放热系数。

当混凝土表面有覆盖(保温层)时, 其表面等效放热系数为:

$$\beta_s = \frac{1}{1/\beta + \sum h_i/\lambda_i}$$

β 为最外层保温层的表面放热系数;

H_i, λ_i 为第 i 层保温层的厚度与导热系数, β_s 是等效放热系数。

而乌鲁瓦提工程的五种养护方法, 以单层或双层化纤毯养护效果最好, 说明这种养护方法不仅保湿防风, 也有利于均匀散热, 不会因为外界气温下降, 大风而受影响。

7 结语

①采用中热、低热(水化热较低)的水泥, 可降低水化热温升, 从而降低混凝土的干缩裂缝。

②采用掺“UEA”膨胀剂, 粉煤灰, 高效减水剂“三掺”技术。

掺粉煤灰能减少水泥用量, 从而降低水化热温升, 减小温度应力。

掺高效减水剂, 能减小水灰比, 提高砼强度, 延缓混凝土硬化时间, 从而延迟混凝土干缩。

掺 UEA 膨胀剂, 用混凝土的膨胀来补偿其收缩, 延迟其收缩, 减小甚至消除其收缩。

③构建面板砼温度场, 计算分析、研究面板混凝土热学参数, 包括水化热温升、导温系数、导热系数、表面放热系数, 为面板混凝土防裂提供理论依据。

④面板混凝土表面覆盖保护, 要根据当地气候、气温、空气湿度, 选择适当的保护材料。

⑤面板混凝土施工要选择合适的季节进行, 避免在低温或高温季节施工。

参考文献

- [1] 周晓玉. 大坝混凝土面板防裂措施对比分析研究[J]. 水利技术监督, 2021, 169(11): 11-14.
- [2] 曹力, 刘伟, 陈小明. 混凝土面板防裂技术措施的研究与应用[J]. 水电站机电技术, 2021, 44(4): 75-77.
- [3] 李家正, 桂全良, 杨华全. 防止面板混凝土收缩裂缝的措施探讨[J]. 水力发电, 2004, 30(1): 32-35.