

耿楼船闸闸室墙温度裂缝控制方案

王本法 王瑞

安徽水安建设集团股份有限公司

摘要: 耿楼船闸闸室墙体厚度为 1~2m, 属于大体积混凝土, 由于水泥水化热温度、干缩等易产生裂缝。为避免闸室墙产生裂缝, 在施工前采取减少水泥用量以减少水泥水化热、埋设冷凝管降温、掺加抗裂剂等控制措施, 并对计划施工期间的环境条件进行混凝土裂缝验算。

关键词: 大体积混凝土; 温度裂缝; 配合比; 冷凝管降温

1. 前言

沙颍河治理耿楼枢纽船闸闸室为 U 型槽结构, 闸室墙墙体厚度为 2m(底)~1m(顶)、墙体高 14.96m, 每节闸室长为 20m, 混凝土强度等级为 C25。采用混凝土拌和楼拌和, 混凝土搅拌车和混凝土输送泵运输, 人工平仓振捣。

因墙体属于大体积混凝土, 为避免产生温度裂缝, 在施工前须采取控制措施。

2. 优化混凝土配合比

采用泵送浇筑的混凝土和易性要求高, 但水泥用量过大又会产生温度裂缝。

根据以往的施工经验, 采用“双掺法”施工, 即配料时掺入适量的泵送减水剂和 I 级粉煤灰, 混凝土中添加适量的优质粉煤灰代替水泥, 能够减少水泥用量降低水灰比, 从而降低水化热, 防止温度裂缝的产生。另外, 通过粉煤灰的二次反应, 减少了混凝土水化物的产生, 减缓了水化反应速度, 推迟了温峰的出现, 有一定的防止产生温度裂缝的作用。

3. 加强混凝土施工管理

3.1 操作控制

混凝土浇筑过程中, 严格按操作工艺施工, 严禁出现漏振现象。同时浇筑上层混凝土时把模板及钢筋上的水泥乳皮敲尽, 避免混凝土表面出现水纹及脱皮现象, 造成混凝土表面水分散失的速度加快, 引起干缩裂缝。多挂串筒下料, 尽量减小摊铺范围, 以易于人工平仓。

3.2 排除泌水

浇筑过程中, 仓面上有少量泌水, 若不及时排除, 混凝土终凝后, 此处水分散失较快, 出现起皮、裂缝现象, 从而加快混凝土内部水分的散失, 使表面裂缝加深、加大, 以致出现深裂缝。为此派专人把泌水用真空吸水泵排走或人工用水勺等工具排走, 此举可避免混凝土表面产生脱皮、细裂缝的出现, 有利于提高混凝土质量和抗裂。

3.3 二次复振

混凝土浇筑后 4 小时左右, 水泥水化反应激烈, 出现泌水和水分蒸发现象, 骨料与胶合料之间易产生不均匀沉降; 所以在混凝土浇筑 1~2 小时后, 需对混凝土进行二次振捣, 通过二次振捣, 细化了混凝土中的毛细孔, 增加了混凝土的密实度, 提高了混凝土的质量, 有利于防止塑性收缩裂缝的产生。

3.4 推迟拆模、加强养护

混凝土早期水泥水化需水量大, 适当推迟拆模时间, 可减少混凝土表面水分的散失, 保证了表面混凝土水泥水化过程中不至于缺水, 降低了混凝土表面出现干缩裂缝的可能。

养护主要是保持混凝土硬化过程中适宜的温度和湿度条件, 混凝土的保温措施常常也起到了保湿的效果, 因此兼有两方面的效果。

4. 混凝土浇筑裂缝控制计算

裂缝控制计算公式及相关经验系数取自江正荣编著的《建筑施工计算手册》。

4.1 混凝土拌和物出机温度计算

混凝土拌和物出机温度计算公式如下:

$$T_o = [0.22 \times (T_s M_s + T_g M_g + T_c M_c + T_f M_f) + T_w M_w + T_s W_s + T_g W_g + T_f W_f] \div [0.22(M_s + M_g + M_c + M_f) + M_w + W_s + W_g]$$

T_o ——混凝土的拌和温度(°C);

T_s 、 T_g ——砂、石子的温度(°C);

T_c 、 T_f 、 T_w ——水泥、粉煤灰、拌和用水温度(°C);

M_c 、 M_f 、 M_s 、 M_g ——水泥、粉煤灰扣除含水量的砂及石子的重量(kg);

M_w 、 W_s 、 W_g 、 W_f ——水、砂、石子及粉煤灰中游离水的重量(kg), 取 $W_s = W_g = W_f = 0$ 。

闸室墙混凝土浇筑时间计划在 12 月~次年 2 月, 拌和水为深井水(12°C), 计算时按各原材料温度等同于日平均气温考虑, 取月最高平均气温 10°C 和月最低平均气温 5°C, 即: $T_s = 5^\circ\text{C}$ 和 10°C 、 $T_g = 5^\circ\text{C}$ 和 10°C 、 $T_c = 5^\circ\text{C}$ 和 10°C 、 $T_w = 12^\circ\text{C}$ 、 $T_f = 5^\circ\text{C}$ 和 10°C 。

则混凝土的拌和温度为:

$$T_{o1} = 6.87^\circ\text{C}$$

$$T_{o2} = 10.53^\circ\text{C}$$

4.2 混凝土浇筑温度(入模温度)计算

混凝土的浇筑温度按下式计算:

$$T_p = T_o + (T_a - T_o)(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \theta_n)$$

T_p ——混凝土的浇筑温度(°C);

T_o ——混凝土的拌和温度(°C);

T_a ——混凝土运输和浇筑时的室外气温(°C), 取平均值 $T_a = 5^\circ\text{C}$ 和 $T_a = 10^\circ\text{C}$ 计算。

θ_1 、 θ_2 、 $\theta_3 \dots \theta_n$ ——温度损失系数, 按以下规定取用:

(1) 混凝土装卸和运转, 每次 $\theta = 0.032$, 取装卸、运转次数为 2, $\theta = 0.064$;

(2) 混凝土运输时, $\theta = At$, t 为运输时间(min), 查表知 $A = 0.0042$, 取 $t = 5\text{min}$, 则 $\theta_2 = 0.0042 \times 5 = 0.021$;

(3) 浇筑过程中, $\theta = 0.003t$, t 为浇筑时间(min), 取 $t = 30\text{min}$, $\theta_3 = 0.003 \times 30 = 0.09$ 。

由前知, 混凝土的拌和温度 T_o 取 6.87°C 和 10.53°C , 则 T_p 如下:

$$T_{p1} = 6.87 + (5 - 6.87) \times (0.064 + 0.021 + 0.09) = 6.54^\circ\text{C}$$

$$T_{p2} = 10.53 + (10 - 10.53) \times (0.064 + 0.021 + 0.09) = 10.44^\circ\text{C}$$

4.3 混凝土水化热温升计算

根据“巢东”牌 PC32.5 级水泥掺粉煤灰和 HLC-NAF9 泵送剂后水泥水化热试验资料, 推测 30 天水化热为 $307.2(\text{J/kg})$ 。

(1) 混凝土最大绝热温升

采用《建筑施工计算手册》11.5 节公式 $T_{max} = m_c Q / (c\rho)$

t ——龄期(d)

m_c ——含粉煤灰在内的胶凝材料用量(kg/m^3)

c ——混凝土比热, 取 $0.96 \text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$

ρ ——混凝土质量密度, 取配合比数值

Q ——胶凝材料的水化热

表 1 混凝土各龄期的绝热温升计算结果

$T(t)$	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
绝热温升	6.54°C	32.8	46.3	51.8	54.1	55.1	55.4	55.6	55.7	55.7
	10.44°C	34.3	47.4	52.5	54.5	55.2	55.5	55.6	55.7	55.7

表 2 混凝土各龄期的收缩变形值

t	$e^{-0.01t}$	$1-e^{-0.01t}$	$0.91 \times 10^{-4} (1-e^{-0.01t})$
3	0.970445533	0.029554467	0.000026894564
6	0.941764533	0.058235467	0.000052994274
9	0.913931185	0.086068815	0.000078322621
12	0.886920436	0.113079564	0.000102902403
15	0.860707976	0.139292024	0.000126755741
18	0.835270211	0.164729789	0.000149904108
21	0.810584246	0.189415754	0.000172368336
24	0.786627861	0.213372139	0.000194168646
27	0.763379494	0.236620506	0.00021532466
30	0.74081822	0.259181779	0.000235855418
∞	0	1	0.000091

则混凝土最大绝热温升:

$$T_{max} = m_c Q / (c\rho) = (404 + 80.8) \times 307.2 / (0.96 \times 2784.6) = 55.7^\circ\text{C}$$

(2) 混凝土各龄期的绝热温升

采用《建筑施工计算手册》11.5 节公式 $T(t) = m_c Q / (c\rho)(1 - e^{-mt})$, m ——经验系数, 10°C 时为 0.318, 5°C 时为 0.296。

混凝土入模温度为 6.54°C 和 10.44°C 时, 各龄期的绝热温升计算结果如表 1。

4.4 混凝土各龄期收缩值及收缩当量温度计算

混凝土收缩在混凝土内引起相当大的应力, 可导致混凝土裂缝, 为便于按温差计算应力, 将混凝土收缩产生的变形, 换成相当于引起同样变形所需的温度, 即把收缩换算成“收缩当量温差 T_y ”。

4.4.1 混凝土任意龄期的收缩变形值

计算公式: $\epsilon_y(t) = \epsilon_y^0 (1 - e^{-bt}) \times M_1 \times M_2 \times M_3 \times M_4 \times M_5 \times M_6 \times M_7 \times M_8 \times M_9 \times M_{10}$

ϵ_y^0 ——标准状态下混凝土的最终收缩值, 取 3.24×10^{-4}

b ——经验系数, 取 0.01

M_1 ——水泥品种修正系数, 取 1.0

M_2 ——水泥细度修正系数, 取 1.35

M_3 ——粗骨料修正系数, 取 1.0

M_4 ——水灰比修正系数, 取 1.3

M_5 ——水泥浆量修正系数, 取 0.9

M_6 ——初期养护时间修正系数, 取 0.84

M_7 ——使用环境湿度状态修正系数, 取 0.77

M_8 ——水力半径修正系数, 取 0.31

M_9 ——振捣方法修正系数, 取 1.0

M_{10} ——配筋修正系数, 取 0.89。结果如表 2。

4.4.2 各龄期混凝土收缩的当量温差

混凝土收缩当量温差计算公式为: $T_y = \epsilon_y(t) / \alpha$ 。 α ——混凝土线膨胀系数, 取 1.0×10^{-5} 。结果如表 3。

4.5 各龄期混凝土弹性模量计算

混凝土浇筑初期, 处于升温阶段, 呈塑性状态, 混凝土的弹性模量很小, 由变形变化引起的应力也很小, 温度应力一般可忽略不计。经过数日, 弹性模量随时间迅速上升, 此时由变形变化引起的应力状态(即混凝土降温引起拉应力)随着弹性模量的上升显著增加, 因此必须考虑弹性模量的变化规律, 一般按下列公

表 3 混凝土收缩的当量温差计算结果

$T_{(d)}$	$\epsilon_{y(t)}$	$T_{y(t)}$
3	0.000026894564	0.27°C
6	0.000052994274	0.53°C
9	0.000078322621	0.78°C
12	0.000102902403	1.03°C
15	0.000126755741	1.27°C
18	0.000149904108	1.50°C
21	0.000172368336	1.72°C
24	0.000194168646	1.94°C
27	0.00021532466	2.15°C
30	0.000235855418	2.36°C
∞	0.000091	9.1°C

式计算:

$$E_{(t)} = E_0 (1 - e^{-0.09t});$$

$E_{(t)}$ ——混凝土任意龄期的弹性模量 (N/mm²);

E_0 ——最终弹性模量, 一般取 28d 的弹性模量 2.55×10^4 N/mm²;

t ——混凝土浇筑后到计算时的天数。

各时段的弹性模量计算结果如下:

$$E_{(3)} = 2.55 \times 10^4 (1 - e^{-0.09 \times 3}) = 0.603 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(6)} = 1.064 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(9)} = 1.416 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(12)} = 1.684 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(15)} = 1.889 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(18)} = 2.045 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(21)} = 2.165 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(24)} = 2.256 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(27)} = 2.326 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(30)} = 2.3786 \times 10^4 \text{ N/mm}^2;$$

$$E_{(\infty)} = 2.550 \times 10^4 \text{ N/mm}^2.$$

4.6 各龄期混凝土松弛系数的取值

在计算温度应力时, 徐变所导致的温度应力的松弛, 有益于防止裂缝的开展, 徐变可使混凝土的长期极限抗拉值增加一倍左右, 即提高了混凝土的极限变形能力。因此在计算混凝土的抗裂

性时显然需要把松弛考虑进去。考虑龄期及荷载持续时间影响下的应力松弛系数为：

$$S_{(3)}=0.57, S_{(6)}=0.52, S_{(9)}=0.48, S_{(12)}=0.44, S_{(15)}=0.411, S_{(18)}=0.386, S_{(21)}=0.368, S_{(24)}=0.352, S_{(27)}=0.332, S_{(30)}=0.280。$$

4.7 混凝土的温度应力计算

4.7.1 自约束应力

墙体混凝土由于水化热作用，中心温度高，与外界接触的表面温度低，当混凝土表面受外界气温影响急剧冷却收缩时，外部混凝土质点与内部混凝土各质点之间相互约束，使表面产生拉应力，内部降温慢受到自约束产生压应力。根据《建筑施工计算手册》：

$$\text{拉应力计算公式：}\sigma_t=2/3\times E_{(t)}\alpha\Delta T_t/(1-\gamma)$$

$$\text{压应力计算公式：}\sigma_c=2/3\times E_{(t)}\alpha\Delta T_t/(1-\gamma)$$

$E_{(t)}$ ——混凝土的弹性模量(N/mm²)；

α ——混凝土的热膨胀系数(1/°C)；

ΔT_t ——混凝土截面中心与表面之间的温差(°C)；

γ ——混凝土的泊松比。

由以上计算公式知，当计算的应力小于该龄期混凝土的抗拉强度时，不会出现表面裂缝，反之有可能出现表面裂缝。另外，采取控制内外温差 ΔT 的措施可有效地控制表面裂缝出现。根据规范和相关资料，养护期内内外温差控制在25°C范围内。本工程以23°C为控制基准，控制的方法主要是及时观测混凝土内外温度(设置温度观测点)，当内外温差达23°C(或气温骤降)时对混凝土内部采用循环水冷凝降温，必要时对表面采取包裹塑料薄膜等蓄热保温措施。

4.7.2 外约束裂缝控制(混凝土的最大温度收缩应力计算)

大体积混凝土浇筑后，由于水泥水化热产生温升，体积膨胀，达到峰值后将持续一段时间，以后温度逐渐下降，从表面开始慢慢深入到内部，最终内部温度与外界长年平均气温相平衡，此时混凝土弹性模量很大，降温时的温度收缩变形将引起较大的温度收缩应力，当温度收缩应力大于混凝土的抗拉强度时，即产生裂缝。底板混凝土浇筑后，随着时间增长水化热温升逐渐降低，温度收缩变形也逐渐减小，弹性模量逐渐加大，混凝土浇筑21天后的松弛系数 $S(t)$ 增大很多，故应尽量缩短墙体混凝土与底板混凝土之间的浇筑时间间隔，使墙体混凝土与底板混凝土之间的温度收缩变形及松弛系数差值相对减小，降低约束程度，从而减小约束应力。根据以上参数，采用《建筑施工计算手册》11.9节的简化计算公式进行计算。

$$\text{温度收缩应力简化计算公式：}\sigma=E_{(t)}\alpha\Delta T(1-r)S_{(t)}R$$

其中 $\Delta T=T_p+2/3T_{(t)}+T_{y(t)}-T_h$

σ ——混凝土基础的温度(包括收缩)应力(N/mm²)；

$E_{(t)}$ ——混凝土浇筑后至计算时的弹性模量(N/mm²)，一般取平均值；

α ——混凝土线膨胀系数，取 1.0×10^{-5} ；

r ——泊松比，取0.15；

$S_{(t)}$ ——各龄期混凝土松弛系数，取0.28；

R ——混凝土的外约束系数，根据《建筑施工计算手册》和王铁梦教授的论文资料，本工程为钢筋混凝土底板基础，取 $R=1$ 。

ΔT ——混凝土的最大综合温差(°C)绝对值；

T_p ——混凝土的浇筑温度(°C)；

$T_{(t)}$ ——时间为 t 时的混凝土绝热温升值(°C)；

$T_{y(t)}$ ——混凝土的收缩当量温差(°C)；

T_h ——混凝土浇筑完后达到稳定时的温度。

当混凝土入模温度 T_p 为6.54°C时，最大综合温差 ΔT 为

36.67°C，则混凝土收缩应力为 $\sigma_{\max}=25000\times 0.00001\times 36.67\times 0.28\times 1/(1-0.15)=3.02\text{MPa}$

C25混凝土的设计允许抗拉强度 f_{ct} 为1.27MPa，根据以上计算，墙体混凝土可能会产生裂缝。

当混凝土入模温度 T_p 为10.44°C时，最大综合温差 ΔT 为40.57°C，则混凝土收缩应力为 $\sigma_{\max}=25000\times 0.00001\times 40.57\times 0.28\times 1/(1-0.15)=3.34\text{MPa}$ ，C25混凝土的设计允许抗拉强度 f_{ct} 为1.27MPa，墙体混凝土仍可能产生裂缝。

5. 抗裂措施

由温度应力计算公式可知，混凝土浇筑后影响应力的可变因素主要为综合降温差，最大综合温差的计算公式为： $\Delta T=T_p+2/3T_{(t)}+T_{y(t)}-T_h$ 。 T_p 为混凝土入仓温度，在冬季已经是很低了， $T_{(t)}$ 为龄期 t 的水泥水化热绝热温升， $T_{y(t)}$ 为混凝土收缩当量温差， T_h 为混凝土稳定温度(养护期为平均环境温度 T_m)。因此，为满足抗裂要求，应降低各时段允许综合温差即水化热温升值 $T_{(t)}$ 。为了有效降低水泥水化热绝热温升，需在墙内设置冷凝管降温，同时加强表面保温养护，控制内外温差。

为减小闸室墙混凝土收缩应力，同时在混凝土中掺入HCL-I抗裂剂，其与水泥水化物产生反应，使混凝土早期产生适度膨胀，在钢筋、邻位混凝土的约束下转变为予压应力，可抵消部分混凝土收缩及温差引起的拉应力，从而防止或减少混凝土开裂。

掺入HCL-I抗裂剂膨胀后混凝土产生的压应力，在考虑各种影响因素后的计算公式如下：

$$\sigma p=[0.484\sigma/(1-\mu)]\times \gamma$$

式中： σp ——混凝土膨胀产生的压应力；

σ ——试验所得的因混凝土膨胀产生的压应力，取0.18MPa(参考值取自南京水科院)；

μ ——混凝土的泊松比，取0.15；

γ ——折减系数，考虑试验条件和施工条件差异情况取0.8

则 $\sigma p=0.082\text{MPa}$ 。

6. 闸室墙温度观测及冷凝管布置

6.1 温度传感器埋设

为了准确控制混凝土内部温度，在每节闸室的一侧边墙混凝土内埋置三个电阻式温度传感器。三个传感器埋在同一水平面上，其中1#传感器埋在闸室墙中心处，2#传感器埋在距墙面0.06m处，如图1所示。

6.2 冷凝管布置

冷凝管采用 $\phi 50$ 镀锌钢管或普通钢管制作，转弯处采用标准弯头连接。考虑降温需要及混凝土浇筑条件，闸室墙内的冷凝管共布置五层，第一层到第三层均布置三道纵管，层间距为0.7m，

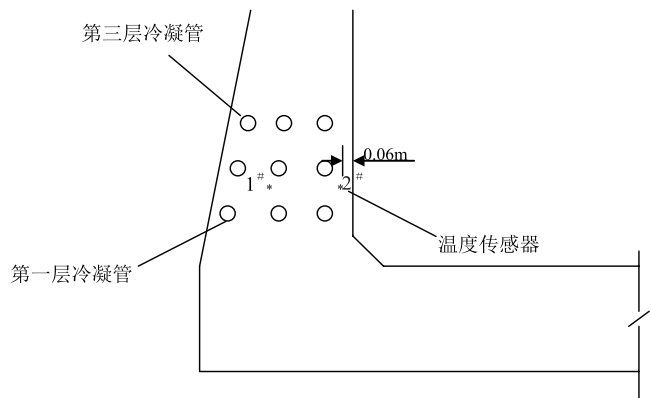


图1 闸室墙温度传感器埋设图

管间距为0.6m。第一层距施工缝0.3m，第四层到第五层布置二道纵管，层间距0.7m，管间距为0.8m。第一层到第五层靠迎水

侧的冷凝管距迎水侧墙面净距为0.4m。冷凝管由φ14螺纹钢进行焊接固定。具体布置见图2。

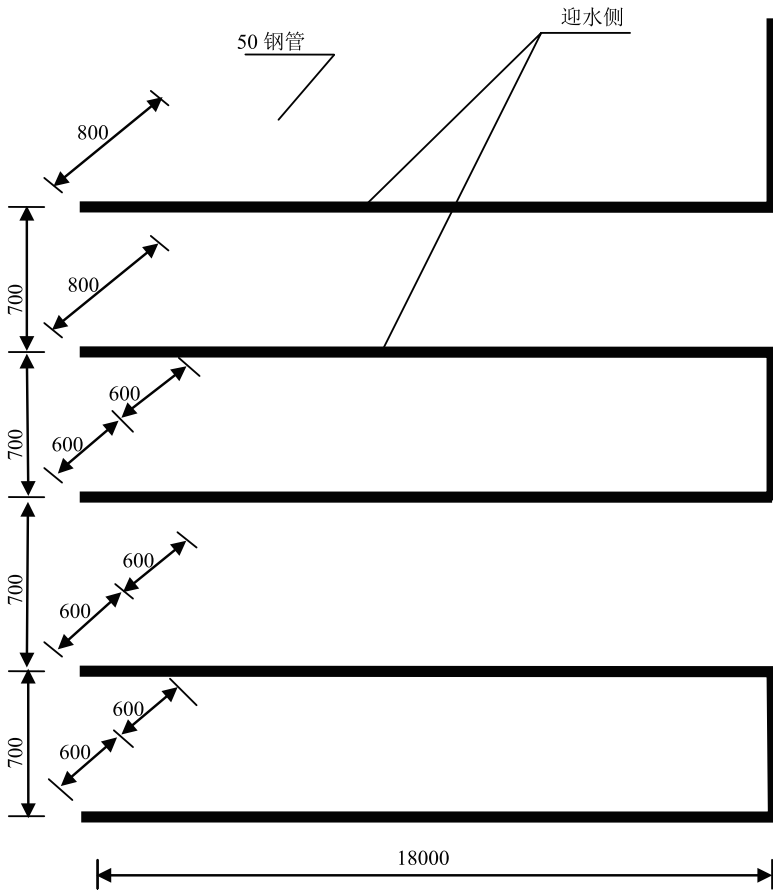


图2 闸室墙冷凝管安装立体示意图

6.3 冷凝管运用及温度观测

冷凝管的冷却水采用现场深井水，即将深井水抽到闸室墙附近的水箱中，在水箱内安装高扬程水泵直接供水。供水前先测量墙内混凝土温度和水箱的水温，当墙内混凝土温度高于推算的混凝土内部允许温度1~3℃时，即开始供冷却水，直到混凝土内部温度低于允许升温值3~5℃时（同时须满足内外温度差小于23℃）停止，供水过程中须随时观测混凝土内部温度。温度观测与供水相结合，并做记录，前10天在每次冷却后2小时内必须观测一次温度。

因墙体结构较短且双面散热，故无须采取大坝式的交替循环供水方式，本次采用从底层供水（进口在墙顶），流至顶层后从上端出水的供水方式。

冷凝管运用时间为28天，28天后用封头临时封住。

为避免因底板约束引起收缩裂缝，底板施工结束后尽快进行闸室墙施工。

7. 结束语

大体积混凝土产生裂缝是通病，但通过简易计算，采取切实可行的技术措施，从控制温度、优化配合比着手，耿楼船闸运行多年仍未发现裂缝。

参考文献：

[1] 江正荣. 建筑施工计算手册. 北京：中国建筑工业出版社，2001：649-670.
 [2] 王铁梦. 工程结构裂缝控制 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，1997：335-336.

作者简介：王本法，大学本科，高级工程师。研究方向：工程施工。

上接（第06页）

落有致、彰显特色，尽量保持原址原貌，尽量避免现有民居的大拆大建；保护自然山体景观资源和村落环境风貌，建立良好的生产空间和人居环境。

聚居点内地形坡度大等高线密集的区域采取“阶梯退台式”的布局模式，以适应现有的地形条件，减少土方量，营造高低错落、层次丰富的空间界面；地势较低的区域，结合其丰富的植被、保留的现存农房和林盘资源采取“低密林盘式”的布局模式，营造独门独院、意境幽深的空间氛围。[见（第06页）图1]

（五）因地制宜，提升人居环境

根据村庄条件，建设基础设施及公共服务设施。在聚居点南侧新建居住组团内建设综合服务中心，包括村委会、党员活动室、司法调解室、卫生计生中心、文化体育中心、便民活动中心、农民培训中心等；在综合服务中心东侧建设中心广场，包括建设设施等；保留官料河畔九家桥北1侧的幼儿园；选址新建小学，提升公共服务水平。

在新建村委会设置无害化公厕1个，滨河游园设置无害化公厕1个，各活动小广场设置无害化公厕1个，在重要节点及人员聚集场地布置废物箱，间距不大于50米。改善村庄的环境卫生状况。

改善现有的道路状况，采用原生态材料——卵石、片石与原木进行铺砌与装饰，形成整洁、干净有特色的乡村漫步道，提升整个乡村的风貌形象。对排水沟进行改造，在保证功能性的前提

下结合雨水花园形式，通过卵石堆砌对其进行景观美观性改造，增强景观视觉效果。

四、结语

乡村振兴的战略为村庄的规划提供了新的发展思路，改变了传统以村庄美化为主体的村庄规划方式。山地贫困地区的村庄在生态保护、产业发展、文化传承、人口流动、人居环境等方面都存在较大的问题，在乡村振兴战略的框架下，需要从村域进行空间规划，同时以产业的发展为基础，以村民的意愿为导向，以文化传承和村落肌理为特色，促进村庄的提升和可持续发展。

参考文献：

[1] 郝少军. 基于扶贫移民的白于山区镇域村庄布局规划研究——以定边县杨井镇为例 [D]. 长安：长安大学，城乡规划学硕士论文，2016.
 [2] 彭丰. 精准扶贫背景下的美丽乡村村域规划研究——以四川省马桑村为例 [D]. 重庆大学，建筑设计及其理论硕士论文，2016.
 [3] 罗军等. 南充市乡村振兴战略实施规划 [J]. 现代农业科技. 2018 (16): 282-290.
 [4] 杨玉珍. 乡村振兴战略实施中的认知与实践误区及其矫正 [J]. 中州刊. 2018 (06): 33-39.
 [5] 乔杰等. 全面发展视角下的乡村规划 [J]. 城市规划. 2017 (01): 45-54.