

淮阴第二抽水站进水流道裂缝分析与处理

盛维高¹ 孔宪宾²

(1.江苏省淮沭新河管理处 江苏 淮阴 223005 ;2.淮阴工学院 江苏 淮阴 223001)

摘要 :针对淮阴第二抽水站工程进水流道裂缝问题 ,运用温度应力理论分析混凝土结构产生裂缝的原因 ,泵送混凝土施工是形成裂缝的主要原因 ,高温季节施工 ,拆模过早有助于裂缝的形成 ,配置的构造钢筋不能满足混凝土抗裂要求 ,提出对表面裂缝采用抗渗聚合物砂浆或环氧玻璃钢进行表面封闭 ,对贯穿裂缝进行压力灌浆处理 .

关键词 :泵站 ;流道 ;混凝土温度应力 ;裂缝

中图分类号 :TV675 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2002)07-0027-03

淮阴第二抽水站是南水北调东线工程第三梯级抽水站 ,工程于 2001 年 3 月开始站身主体土方开挖 ,建成后将承担向洪泽湖和淮北地区补水的任务 .工程设计抽水能力 100 m³/s ,采用 3 台套叶轮直径 3.1 m 可逆式全调节立式轴流泵机组 ,单机容量 2 800 kW ,发电流量 40 m³/s ,发电功率 1 000 kW .抽水站采用堤后式布置 ,泵房为肘形管进水流道 ,虹吸管出水流道 ,流道为 0.75 m 厚钢筋混凝土现浇结构 .

1 裂缝调查

淮阴第二抽水站进水流道墩墙及蜗壳部位位于 2001 年 6 月 11 日一次性浇筑 ,当时气温约 28 ~ 29℃ ,混凝土由现场混凝土搅拌站搅拌后通过泵送进行浇筑 ,浇筑仓面现场测定混凝土温度为 29℃ 左右 .混凝土浇筑日期及配合比见表 1 .进水流道的墩墙及蜗壳部位的模板分别为竹胶板、砖模 .墩墙、隔水墙 7 月 4 日拆模 ,拆模后即发现裂缝 ,蜗壳部位因涉及站身上部混凝土浇筑 ,砖模至 9 月初才拆除 ,其裂缝应该与墩墙位置的裂缝同期出现 .为分析裂缝

表 1 混凝土浇筑日期及配合比

项 目	进水流道墩墙	隔水墙蜗壳部位
浇筑日期	2001-06-12	2001-06-11
混凝土强度等级	C25	C25
水 泥	普硅 425 号	普硅 425 号
水灰比	0.54	0.54
水泥用量	319 kg/m ⁻³	319 kg/m ⁻³
水泥:黄沙:石子:水	1:2.57:3.41:0.54	1:2.58:3.50:0.54
外加剂	NAF(1.2%)	JM(1.0%)
坍落度	15 ~ 17 cm	14 ~ 16 cm

原因 ,在 1 ~ 3 号进水流道侧 ,分别在裂缝部位钻取芯样一块 ,钻进深度约 35 cm ,取出的芯样长度为 31 ~ 32 cm ,芯样内部缝宽较表面缝宽略大 .蜗壳部位的裂缝不同于隔水墙及墩墙裂缝 ,在排水廊道及进水流道侧面均发现裂缝(表 2) ,不仅裂缝宽度较宽 ,所取芯样也证明其基本贯穿 .

2 原因分析

混凝土产生裂缝的原因很多 ,也很复杂 .对于泵浇混凝土结构 ,由于混凝土水泥用量很大 ,混凝土绝

表 2 进水流道裂缝情况监测

日 期	1 号墩墙 南侧	2 号墩墙 北侧	2 号墩墙 南侧	3 号墩墙 北侧	3 号墩墙 南侧	5 号墩墙 北侧	5 号墩墙 南侧	7 号墩墙 北侧	1 号孔 蜗壳处	2 号孔 蜗壳处	3 号孔 蜗壳处
	mm										
2001-07-04	0.25	0.28	0.32	0.5	0.35	0.23	0.26	0.38			
2001-07-20	0.25	0.28	0.32	0.5	0.35	0.23	0.26	0.38			
2001-08-05	0.25	0.28	0.32	0.5	0.35	0.23	0.26	0.38			
2001-08-20	0.25	0.28	0.32	0.5	0.35	0.23	0.26	0.38			
2001-09-05	0.25	0.28	0.32	0.5	0.35	0.23	0.26	0.38	0.6(内)	0.9(内)	0.4(内)
2001-09-14	0.25	0.28	0.32	0.5	0.35	0.23	0.26	0.38	0.6(内)	0.9(内)	0.4(内)
2001-10-10	0.25	0.28	0.32	0.5	0.35	0.23	0.26	0.38	0.6(内)	0.9(内)	0.4(内)
2001-11-20									0.2(外)	0.6(外)	0.14(外)

注 :①观测方法 :放大镜 ;②内表示进水流道侧表面 ,外表示排水廊道侧表面 .

作者简介 :盛维高(1976—) ,男 ,江苏淮阴人 ,助理工程师 ,从事水利工程建设管理工作 .

热升温很高,在不利的约束条件下,如受基础板约束,就可能产生很大的温度应力.干缩应力也是混凝土结构产生裂缝的原因之一,但笔者认为本工程裂缝产生的原因主要是前者.

2.1 结构内部温度计算

混凝土浇筑后,混凝土因水泥水化热升温而达到最高温度,即混凝土的入模温度加上混凝土浇筑后内部实际最高温度.混凝土最高绝热温升按下式计算^[1]:

$$T_{\max} = \frac{WQ_0}{C\gamma} \quad (1)$$

式中: Q_0 为单位水泥 28 d 累积水化热,425 号普通硅酸盐水泥取 37 650 J/kg; C 为混凝土比热,取 993.7 kJ/(kg·°C); γ 为混凝土密度,取 2400 kg/m³; W 为水泥用量,取 319 kg/m³.

根据式(1),计算得本工程混凝土最高绝热温升 $T_{\max} = 50.4^\circ\text{C}$. 参照类似工程实践经验,混凝土内部实际最高升温 T_t 与混凝土最高绝热温升 $T_{\max}$ 之比 $T_t/T_{\max} = 0.35$,因此可确定 $T_t = 17.6^\circ\text{C}$. 根据施工现场测定,混凝土入模温度为 29°C ,由此确定混凝土内部因水化热而达到的最高温度 T_H 为 46.6°C .

2.2 收缩当量温差

为便于计算,使混凝土本身硬化过程产生的收缩应力与水化热降温产生的收缩应力等同考虑,必须将混凝土各龄期的收缩转换成当量温差^[1]:

$$\varepsilon_{(t)} = 3.24 \times 10^{-4} (1 - e^{-0.01t}) M_1 M_2 \dots M_n \quad (2)$$

式中: $\varepsilon_{(t)}$ 为混凝土各龄期的收缩变形; $M_1 M_2 \dots M_n$ 为考虑水泥品种、骨料、水灰比、水泥浆含量等因素而形成的修正系数,本工程取 $M_1 M_2 \dots M_n$ 为 1.32.

7月4日进水流道墩墙拆模时 $t = 24$ d,收缩当量为 $\varepsilon_{(t)} = 0.91 \times 10^{-4}$,当量温差 $T_1 = \varepsilon_{(t)}/\alpha = 0.91 \times 10^{-4}/10 \times 10^{-6} = 9.1^\circ\text{C}$,其中 α 为混凝土线膨胀系数.由此可得混凝土总温差 T_0 为 55.7°C .

2.3 温度应力计算

a. 进水流道墩墙温度应力计算已有比较成熟的方法^[2],计算概化图如图1所示.由于水化热的不均匀降温和不均匀收缩引起的自约束力,导致表面开裂,实际应力状态为平面应力问题,再考虑由徐变引起的应力松弛,乘以松弛系数 $H(t, \tau)$,最终徐变应力为

$$\delta_{x(y)} = \frac{H(t, \tau) E T_0}{1 - \mu} \cdot \left(\frac{\gamma^2}{h^2} - \frac{1}{3} \right) \quad (3)$$

边界条件: $T_{(y)}y = \pm h = 0$

墙中心: $T_{(y)}y = \pm h = T_0$

式中: $H(t, \tau)$ 为应力松弛系数,取 0.3~0.5; E 为混凝土弹性模量.

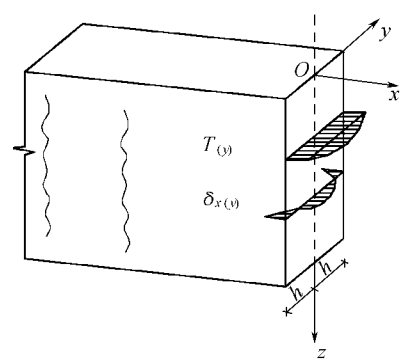


图1 计算概化图

根据式(3),计算得本工程的 $\delta_{x(y)}^* = 3.67 \sim 6.12$ MPa.

对于 C25 混凝土,其抗拉强度设计值 $f_t = 1.3$ MPa,考虑偏心非均匀受拉,取 $\gamma = 1.7$. 由于 $\delta_{x(y)}^* > \gamma f_t$,超过混凝土抗拉强度,从而产生裂缝.

b. 蜗壳部位进水流道是断面变化结构,在垂直于水流方向,长度 L 为 25.4 m,本次混凝土浇筑从高程 0.1 m 至 4.7 m,浇筑坯厚 0.4 m,壁厚约 0.75 m,按薄壁结构考虑,近似地采用约束系数法计算应力,其中收缩当量温差参照 2.2 节方法计算.考虑混凝土弹性模量 E 随龄期变化情况,根据文献[3],可采用下式计算:

$$\delta_{\tau} = \alpha \sum R_{\tau} E_{\tau} \Delta T_{\tau} H(t, \tau) \quad (4)$$

$$E_{\tau} = E_0 (1 - e^{-0.09t}) \quad (5)$$

$$T_{\max} = \frac{WQ_0}{C\gamma} (1 - e^{-mt}) \quad (6)$$

式中: τ 为每一计算时段中点的龄期; E_{τ} 为混凝土龄期 τ 时的弹性模量,由式(5)可绘出混凝土弹性模量变化曲线(图2); ΔT_{τ} 为每一计算时段内的温差,混凝土绝热温升变化见图3; R_{τ} 为混凝土龄期 τ 时的约束系数(与混凝土浇筑块的高长比 H/L 及新老混凝土弹模比 E_{τ}/E_0 有关,由图4可见 R_{τ} 随着 H/L 和 E_{τ}/E_0 的减小而增大,计算时由 $H/L = 0.016$ 和 E_{τ}/E_0 求得 $R_{\tau} = R[H/L, E_{\tau}/E_0]$; $H(t, \tau)$ 为混凝土应力松弛系数^[1],见表3; m 为水泥发热速率参数,425号普通硅酸盐水泥取 0.36.

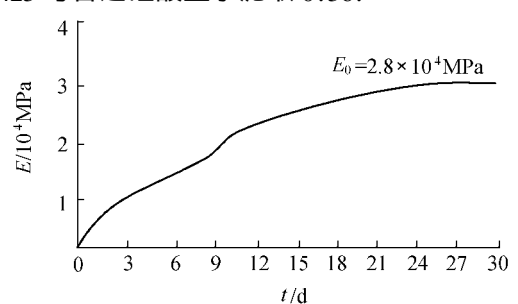


图2 混凝土弹性模量

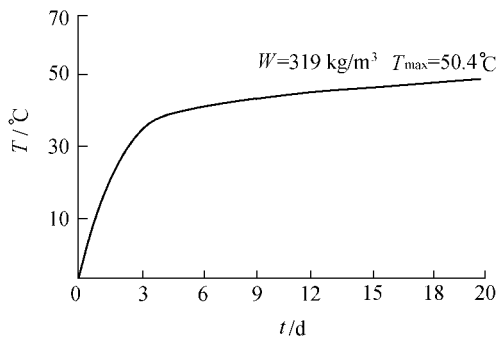


图3 混凝土绝热温升

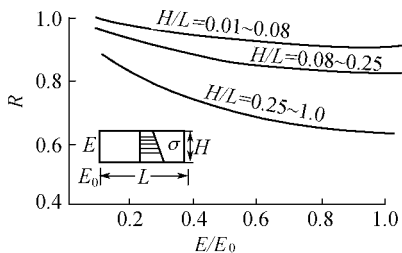


图4 混凝土约束系数

表3 各龄期混凝土应力松弛系数 $H(t, \tau)$

t/d	$H(t, \tau)$	t/d	$H(t, \tau)$
3	0.57	18	0.386
6	0.52	21	0.368
9	0.48	24	0.352
12	0.44	27	0.339
15	0.41	30	0.327

这样可推算出龄期 $t = 30\text{ d}$ 前温度总应力为 1.62 MPa 。由于混凝土泵送过程中卡泵等因素影响,造成浇筑间歇时间较长,形成施工冷缝,最大应力值往往发生在施工冷缝层面上。本次浇筑坝厚 0.4 m ,浇筑仓面长 25.4 m ,高长比 $H/L = 0.016$,约束系数达 0.9 。如果增加现场泵送混凝土生产能力,提高每坏浇筑厚度 H ,适当提高 H/L 值,从图4可以看出,对于相同 $E(t)/E_0$ 值时,约束系数 R 可降低,从而可使最大拉应力减小。这一点对于类似混凝土结构温度应力的控制很有必要考虑。

3 结 论

a. 由于施工需要,泵送混凝土的坍落度大,水泥用量高,造成水泥水化热高,而且温度应力较大,可能是形成裂缝的主要原因。

b. 高温季节泵送混凝土施工,如拆模早,造成内外温差大,应力松弛系数大,应力松弛小,有助于裂缝的形成。

c. 泵送混凝土成型后易产生泌水,有人认为泌水对减轻混凝土塑性收缩有益,这种观点有失偏颇。对于泵送混凝土,因所含水分多,当混凝土的泌水作用低于蒸发作用时,使表层脱水速度大于内层供水

速度,造成混凝土体积收缩,干缩量大;当疏于养护时,易在表面形成裂缝;当与温度拉应力叠加时,易发展为贯穿裂缝。这也可能是造成蜗壳部位进水流道裂缝贯穿的原因之一。

d. 进水流道按构造配筋,混凝土试块的抗压强度 7 d 已超过设计强度, 28 d 混凝土强度平均值一般在 40 MPa 左右,最大达 54.7 MPa 。由于混凝土早期强度高,其配置的构造钢筋已不能满足混凝土抗裂要求。适当增配构造筋,能有效提高混凝土的抗裂性能,尤其对于像进出水流道这样壁厚较小的结构,效果较显著。淮阴第二抽水站虹吸管出水流道浇筑前增加一道 $\varnothing 8@100$ 钢筋网,拆模后没有发现裂缝。

4 建议处理方案

a. 表面裂缝对泵站建筑物的承载力一般无太大影响,属于自平衡应力,开裂后应力大部分已消失,一般情况下裂缝也不会发展,裂缝监测数据(表2)亦可说明这一点。因此对于墩墙及隔水墙部位的裂缝,只需采用抗渗聚合物砂浆或环氧玻璃钢进行表面封闭,防止钢筋锈蚀与混凝土碳化。

b. 对于贯穿裂缝,不能仅仅进行简单的补缝,要进行压力灌浆处理。在排水廊道内把墙打毛,裂缝位置凿成“V”字开口,墙面钢筋增浇 20 cm 厚的钢筋混凝土,与相邻墙面倒坡连接,一方面处理排水廊道侧墙面裂缝,也可有效地防止进水流道在水压力作用下出现渗水,进水流道侧裂缝均凿成“U”字开口,用压力灌浆法进行灌浆,至进水流道裂缝口冒浆为止。如采用水泥-水玻璃灌浆材料,其各种组分为 1.35 水玻璃、 425 号水泥配制水灰比 0.8 的水泥浆、 3% 磷酸钠缓凝剂。此方法在盐河北闸加固工程闸室墩墙裂缝的修补中效果较好。

参考文献:

- [1] 赵志缙. 高层建筑基础工程施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986. 238~250.
- [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. 76~78.
- [3] 王同生. 泵送混凝土薄壁结构的温度干缩应力和裂缝问题[J]. 建设与管理, 2001(1): 13~16.

(收稿日期 2002-03-07 编辑: 马敏峰)

