

小浪底泄洪工程高强度等级混凝土裂缝产生的原因及防治

廖 波

(小浪底工程咨询有限公司, 河南 济源 454681)

摘要:小浪底泄洪工程中采用了抗空蚀、耐磨性能好的 70 MPa 高强度等级 C70 硅粉混凝土, 文章结合小浪底泄洪工程实际对大体积、70 MPa 高强度等级混凝土早期和后期施工裂缝产生的原因及防治进行了探讨, 并介绍了两种工艺成熟的裂缝处理方法: 环氧树脂和特细水泥注浆法。

关键词:高强度等级混凝土; 混凝土裂缝; 环氧树脂; 特细水泥

中图分类号:TV544; TV543+.6

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2002)01-0031-03

黄河小浪底水利枢纽工程位于河南省洛阳市以北 40 km, 黄河中游最后一段峡谷的出口处, 上距三门峡水利枢纽 130 km, 下距花园口 128 km。水库总库容 126.5 亿 m^3 , 其中有效库容 51 亿 m^3 。枢纽以防洪、防凌、减淤为主, 兼顾供水、灌溉和发电, 蓄清排浑、除害兴利、综合利用。

小浪底的泄洪项目主要包括: 进水口引渠、10 个功能不同的塔体组成的进水塔、3 条孔板(导流)洞、3 条明流泄洪洞、3 条排沙洞、1 条正常溢洪道、出口消力塘和泄水渠、尾水明渠。

小浪底汛期来水平均含沙量 48.6 kg/m^3 , 瞬时最大含沙量 941 kg/m^3 。在正常蓄水位时, 孔板洞要承受 139.4 m 水头的压力, 泄洪时水流最大流速 35 m/s; 排沙洞最大水头 122 m, 最大流速 25 m/s, 明流洞最大流速 35 m/s; 溢洪道最大流速 35.5 m/s。为防止高流速高含沙水流对流道的空蚀和磨损, 在 3 条孔板(导流)洞闸室以下洞身段、3 条排沙洞明流段、3 条明流洞和溢洪道采用了抗空蚀耐磨性能好的 70 MPa 高强度等级 C70 硅粉混凝土。

强度等级 40 MPa 以下的混凝土在我国普遍使用, 并具有丰富的施工经验和研究成果, 但大体积、大范围使用 C70 混凝土, 在我国水利工程中还是较少的。在小浪底孔板(导流)洞闸室以下洞身段、排沙洞明流段、明流洞和溢洪道 C70 高强度等级混凝土施工过程中, 混凝土都有不同程度的裂缝出现, 裂缝宽度一般在 0.4~0.8 mm, 最大宽度 2 mm, 裂缝平均长度 4 m。

1 高强度等级混凝土裂缝产生的原因

1.1 早期裂缝

混凝土早期裂缝主要与混凝土升温过程早期内部与外部混凝土升温幅度相差过大, 拆模后表面降温梯度过大有关。混凝土浇筑早期, 因水化热作用, 温度升高较快(见图 1), 混凝土内部体积开始膨胀, 但表面散热较快, 体积变化不大, 混凝土内部温升大, 外部温升小, 内部受压, 外部受拉。混凝土表面的最大拉应力出现在浇筑早期温度升高幅度最大的时候, 而这时混凝土抗拉强度不高, 容易在早期(浇筑 2~4 d)出现裂缝(见表 1)。有些部位在拆模(龄期 2~3 d)时已出现裂缝, 有些部位在拆模后 1~2 d 内出现裂缝。

表 1 C70 混凝土表面早期拉应力

温差/ $^{\circ}C$	拉应力/ MPa
升温过程内表温差(3 d)	7 1.28
	9 1.79
	12 2.56
表面温度降温梯度(5 d)	5 1.38
	8 2.21
	10 2.76

注: C70 混凝土 3 d 时极限拉应力 $[\sigma] = 1.92 MPa$; 5 d 时极限拉应力 $[\sigma] = 2.47 MPa$ 。

从表 1 可以看出, 在升温过程中, 当内表温差超过 12 $^{\circ}C$ 时, C70 混凝土的实际拉应力大于 C70 混凝土的极限拉应力 $[\sigma]$; 表面温度降温梯度超过 10 $^{\circ}C$ 时, C70 混凝土的实际拉应力大于 C70 混凝土的极限拉应力 $[\sigma]$, 都将产生裂缝。根据统计的现场温度

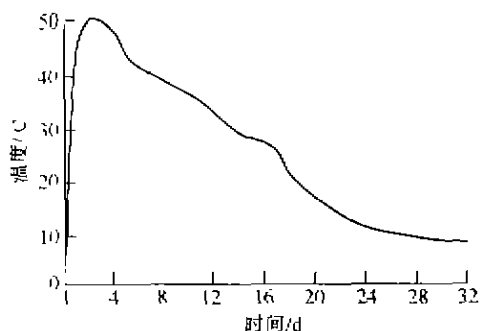


图1 C70混凝土温度上升曲线

资料,混凝土在木模板保护,外界气温 10°C 左右情况下,1~2m厚的C70混凝土在升温过程中内表温差在 $6\sim 9^{\circ}\text{C}$,根据表1的计算分析结果,拆模前一般不会出现裂缝.从现场施工情况发现,凡是拆模时即出现裂缝的,多是采用混凝土泵入仓水泥用量加大或浇筑后遇到特别冷的天气而未很好进行冬季保温,或同时具备上述两种因素,此时混凝土在升温过程中内表温差大于 12°C ,所以在拆模时混凝土就已经产生了裂缝.3号明流洞左边墙第54块混凝土在拆模时就发现有裂缝出现.

混凝土在拆模后无任何保护的情况下,经计算C70混凝土表面拆模后第一天降温梯度最大,一般达到 $12\sim 20^{\circ}\text{C}$,根据表1计算分析结果,一天表面降温 10°C 时所产生的温度应力足以将混凝土表面拉开.实际统计资料表明,拆模后混凝土未采取有效的保护措施,遇低温时混凝土表面温度骤然下降,引起更大的温度变化,使得混凝土表面的拉应力更大,这样混凝土在拆模后1~2d内将出现表面裂缝.溢洪道左边墙WL-50K块的F层(层高3m)在拆模时未发现裂缝,拆模后未进行任何保护,拆模后第2天发现3条竖向贯穿裂缝.

早期混凝土裂缝一般为表面裂缝,方向不定、数量较多.根据现场统计资料,此类裂缝占总量的69%.

1.2 后期裂缝

混凝土后期裂缝主要由基础温差引起,与施工分块尺寸、混凝土弹模/基岩弹模等因素有关.

对于厚度1~2m的混凝土底板或边墙,当混凝土块温度由最高降至最低(或稳定温度)时,由于受基岩的强约束,产生较大的拉应力,如果基础温差较大或分块尺寸较大,产生的拉应力大于混凝土抗拉力,混凝土就会产生裂缝,对厚度1m的C70混凝土基础温度应力进行计算的结果见表2.

由表2可见:基岩上的C70混凝土板,若控制基础温差 37°C (对应最高温度为 45°C 左右),浇筑分块长度大于15m时其拉应力大于C70混凝土 $[\sigma]$ 值

3.5MPa ,将会产生裂缝.若控制基础温差 46°C (对应最高温度为 54°C 左右),浇筑分块长度大于6m,将会产生裂缝.在溢洪道、孔板洞中闸室等C70混凝土分块长度达15m,因其最高温度超过 45°C ,因此在这些部位出现了后期混凝土裂缝.

表2 C70混凝土基础温差温度拉应力

基础温差/ $^{\circ}\text{C}$	拉应力/ MPa		
	$L=6\text{m}$	$L=10\text{m}$	$L=15\text{m}$
37	2.7	3.4	3.6
46	3.4	4.2	4.5

注:①C70混凝土 $[\sigma]=3.5\text{MPa}$,应力安全系数为1.3;②L为浇筑块最长边尺寸.

在无早期裂缝的浇筑块上,后期裂缝一般出现在浇筑块中间位置,而在已出现早期裂缝的浇筑块,后期裂缝只在已出现的裂缝上继续拉长加深.由于底板和围岩形成的基础约束力较强,由此产生的裂缝是深层裂缝和贯穿性裂缝.此类裂缝数量较少,但危害最大.根据现场统计资料,此类裂缝占总量的31%.

2 高强度等级混凝土裂缝的预防

a. 优化混凝土配合比.在满足强度等设计指标要求的情况下,掺加粉煤灰25%~40%,尽量减少水泥用量,降低混凝土水化热温升,提高混凝土的后期强度及抗裂能力.

b. 提高施工质量,加强混凝土浇筑过程中的振捣控制,保证混凝土内部组织密实,达到提高混凝土极限拉伸值的目的.

c. 缩短混凝土分块长度.根据水工规范,隧洞及泄洪槽衬砌分块长度一般6~12m.据表2计算分析结果,C70混凝土分块长度取规范的下限,以4~6m较合适.

d. 加强混凝土温度控制.C70混凝土温控比其他低强度混凝土更难以控制.高强度等级混凝土温控有其特殊性,与低强度混凝土相比,其龄期3~7d温度提高的幅度远大于其强度提高的幅度,因此需采取比一般低强度混凝土更强的温控措施.在混凝土施工时降低浇筑温度,也就是降低最高温升和初始温差,达到降低表面拉应力的目的.这对防止早期温度裂缝非常有效.降低浇筑温度要控制3个环节:①控制骨料温度和水水泥温度,充分利用制冷设施来降低出机温度;②混凝土运输中采用搅拌车,减少运输途中的温度回升;③减少入仓振捣时的温度回升.

e. 混凝土养护.混凝土冬季拆模后,为防止混凝土表面洒水结冰造成内外温差过大出现裂缝,小浪底工程使用Sika保水养护剂,拆模后刷在混凝土表面进行养护.该养护剂在90d后老化,自行剥落.

不存在有害物质污染问题,同时覆盖泡沫塑料保温。

施工中采取以上措施后,有效地控制了裂缝的发生和发展,3号明流洞在施工后期裂缝明显减少。

3 高强度等级混凝土裂缝处理措施

根据技术规范要求,凡是裂缝宽度大于0.5 mm或是长度大于1.5 m的裂缝均应进行处理。小浪底泄洪工程对高强度等级混凝土裂缝主要采用环氧树脂和特细水泥注浆进行处理。

3.1 环氧注浆处理

a. 注浆材料。Sika752 环氧树脂是淡黄色的胶状体,该材料不易燃,可在自然状态下或潮湿的混凝土表面无收缩硬化。Sika752 环氧树脂力学强度指标及修补裂缝满足的条件为:龄期14 d的抗压强度64 MPa,龄期14 d的抗拉强度27 MPa,与混凝土的粘结强度3 MPa,与钢材的粘结强度9 MPa,被修补的混凝土表面允许温度3~40℃,可修补裂缝宽度0.2~0.5 mm。

b. 裂缝处理步骤:①用冲击钻沿裂缝钻孔,孔径6 mm,孔深10 cm,孔距30 cm左右;②用高压风水枪冲洗裂缝及周围混凝土表面,并用高压空气吹净缝内积水;③在钻孔处安放灌浆接口,同时用Sika731环氧砂浆封闭裂缝及灌浆接口底座,待凝24 h;④把分别包装的Sika752 A、B两种材料按2:1的比例在干净的容器内混合并搅拌3 min;⑤用环氧注浆泵将拌和好的浆液注入裂缝内,竖向缝自下而上,水平缝自一端向另一端,逐孔灌注,灌注压力为0.4~0.6 MPa;⑥自然状态下养护,达到一定强度后用砂轮机把表面打平磨光。

c. 裂缝处理效果。孔板(导流)洞、排沙洞泄槽段均采用此方法进行处理,在处理过的裂缝中进行随机取芯检查,从芯样外观看,灌注材料充满裂缝空隙,与混凝土结合很好。进行抗压实验时,抗压强度达到62~63 MPa,满足混凝土设计强度要求。

3.2 特细水泥注浆处理

a. 注浆材料。特细水泥(Sika Mikrodur R-U)因其组成很细(细度为:最大颗粒通过 $d_{95} < 9.5 \mu\text{m}$,比表面积大于 $16000 \text{ cm}^2/\text{g}$),使其有别于普通水泥。使用时特细水泥添加3%的外加剂(Sika Intraplant HE50)和水混合(水灰比为0.55~0.65,密度为 3.0 kg/L)。特细水泥力学强度指标及修补裂缝满足的条件为:龄期1 d,7 d,28 d的抗压强度分别为23 MPa,45 MPa,60 MPa,可修补裂缝宽度大于0.2 mm。

b. 裂缝处理步骤。施工方法及操作步骤与环氧树脂灌浆类似,不同的是环氧树脂灌浆沿逢面钻孔插入灌浆管,而特细水泥灌浆不需钻孔,只需沿逢面

每隔30~50 cm安装一只管座,管座上连接支管,竖向缝自下而上,水平缝从一端到另一端,逐孔灌注,灌浆压力约0.6~1.2 MPa。

c. 裂缝处理效果。3条明流洞泄槽段裂缝采用此方法处理,根据取芯检查结果,水泥变形与混凝土接近,抗压强度达到61 MPa,满足混凝土设计强度要求。

如果有渗水的裂缝采用特细水泥方法效果要比Sika环氧树脂好,但特细水泥方法造价要比Sika752方法高30%左右。因此,处理高强度等级混凝土裂缝时应根据实际情况选择不同的修补方法。

4 结 语

a. 小浪底泄洪工程采用70 MPa高强度等级C70混凝土的部位出现各种类型裂缝的几率较C40以下混凝土的部位为高。从裂缝产生的时间上看,早期裂缝居多。从表面裂缝、深层裂缝、贯穿裂缝类型上看,C70高强度等级混凝土中深层裂缝、贯穿裂缝较C40以下混凝土多。裂缝产生的原因是:混凝土早期裂缝主要与混凝土升温过程早期内部与外部混凝土的温差较大,拆模后表面降温梯度过大有关。混凝土后期裂缝主要由基础温差引起,与施工分块尺寸、混凝土弹模/基岩弹模等因素有关。施工中采取优化混凝土配合比,提高施工质量,缩短混凝土分块长度,加强混凝土温度控制和混凝土养护等预防措施,可防止裂缝形成,取得了良好的效果。

b. 按照技术规范要求,凡是缝宽大于0.5 mm或长度大于1.5 m的裂缝均应进行处理。小浪底采用环氧树脂注浆法和特细水泥注浆法处理裂缝,这两种方法工艺成熟,处理后的抗压强度满足设计要求。

c. 为了避免和减少高强度混凝土上的裂缝,优化配合比设计、研制“补偿收缩混凝土”是土木工程界面临的新课题。

(收稿日期:2000-06-06 编辑:熊水斌)

