

碾压混凝土坝温控防裂探讨

⑧
18-30

蔡为武

(水利部松辽水利委员会, 吉林长春 130021)

TV642.2
TV544.7

摘要:针对我国碾压混凝土坝建设中存在工期较长、造价较高、经济效益不太显著等问题,探讨碾压混凝土坝温控防裂措施,分析温控防裂的特点,建议将温控防裂分为有较高的耐久性与外观要求的重要大坝和只有一般要求的大坝两类,提出温控防裂准则与防裂重要性顺序、结构设计措施及温度控制措施。

关键词:碾压混凝土坝;混凝土温度控制;防裂措施

中图分类号:TV642.2

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2000)02-0028-03

碾压混凝土坝在我国已有十多年建设经验,但是实践表明,工期并不够快,造价节省也不多,经济效益并不很显著。例如,我国某坝,高75m,混凝土总量 $13.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,浇筑历时18个月,净碾压284d;巴西诺瓦重力坝,高56m,混凝土总量 $13.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,仅用110d即完工,差距很大。

笔者认为,差距的根本原因是:我国的施工规定有些地方失之过严,特别是温控措施,在常规混凝土规定之外,常常还有些更为严格的要求,失去了碾压混凝土简化、快速施工的特点。本文提出一些个人看法,供有关方面探讨。

1 温控防裂等级

建议将温控防裂分为两类,一类为有较高的耐久性与外观要求的重要大坝,二类为只有一般要求的大坝。对一、二、三级长期蓄水的大坝,宜按一类要求,一、二、三级非长期蓄水的大坝,如滞洪、拦河坝,以及四、五级大坝,可按二类要求。

2 碾压混凝土坝温控防裂的特点

a. 水化热温升低、慢、匀。碾压混凝土水泥用量少,粉煤灰掺量高。它的绝热温升比常规混凝土少,水化热温升通常为 10°C 以下,并且最高温度常在数周乃至数月后,远较常规混凝土晚。因此,其温度分布极为均匀。与常规混凝土在层面间常有锯齿形温度突变不同,只有不明显的层间阶形分布。由于碾压混凝土的后期弹模和徐变较高,其温度应力分布较温度分布更为均匀。

由于水化热温升低、慢、匀,因此,与常规混凝土相比,同一温差所产生的温度应力分布有显著不同。可以采用简化的温控措施。

b. 较高的徐变防裂能力。虽然碾压混凝土的抗拉强度与常规混凝土相似,但碾压混凝土徐变度大。由于粉煤灰在一年以后还有一定的活性,能够继续形成水化物晶体,使晶体间由于应力产生的微裂隙得以穿插交错,恢复为整体。也即其慢速极限拉伸变形远大于常规混凝土,对基础约束的抗裂能力远大于常规混凝土。

c. 层面竖向抗拉能力低。碾压混凝土的层面比常规混凝土多。施工中常易产生主骨料分离,层面粘结不良等缺陷。因此,温控防裂的主要对象是防止水平层面开裂,并且应将加强层面粘结、上游防渗措施与温控防裂措施相结合。

d. 具有较高的抗溶蚀能力。碾压混凝土的粉煤灰掺量很高,具有足够的二氧化硅与水泥水化产物相结合,对常见的泛酸性侵蚀、溶出性侵蚀和游离二氧化碳侵蚀有足够的抗侵蚀能力。因此,即使漏水,也很少出现上游侧缝面被侵蚀,下游侧缝面析出钙质沉淀物现象,不致造成严重溶蚀,在大坝耐久性与外观方面有很大优点,防裂要求较常规混凝土可适当放宽。

大连市王家店、龙王塘、大西山三座圪工重力坝,分别建于80~60年前。虽然坝体均有裂缝,其中大西山坝的廊内裂缝较宽,漏水较多,但由于砌筑水泥中有20%火山灰质掺合料,坝体外表很少见到析出的钙质沉淀物。三座大坝至今仍在运行。这一经验

可作为上述论点的依据。

3 温控防裂准则与防裂重要性顺序

我国现行常规混凝土坝的温控防裂仍沿用美国三四十年代旧概念,以防止坝基混凝土的基础贯穿裂缝为重点,提出允许基础温差作为温控防裂的主要准则。又基于实践中坝体多为内外温差产生的表面裂缝,提出坝体混凝土允许最高温度作出辅助控制准则。实践表明,上述两方面控制并不真正防止常规混凝土的开裂,更不能套用于碾压混凝土中。

例如,美国陆军工程师团建设的德沃歇克重力坝,坝高 214 m,是国内常作为圭臬的工程。混凝土出机温度 7℃,基础温差 17℃,蓄水后却产生了严重的顺流向劈头裂缝,3 号坝段的劈裂范围约占坝体剖面积的 1/2,渗水沿廊道进入厂房。其后,加拿大的雷米尔斯托克重力坝,高 175 m,其混凝土出机温度为 7~10℃,同样也在几个坝段产生劈头裂缝和漏水。

相反,加拿大 1947~1948 年建造的 Stewaterville 重力坝,坝高约 50 m,施工时采用高约 15~30 m 的高块浇筑,入仓温度相当高而未加控制。竣工后,美国陆军工程师团人员参观时,曾与加拿大工程师就温度控制争辩,声言须待几十年后才见分晓。但笔者于 1991 年会见该坝大坝安全负责人时,询及该坝是否有坝体开裂问题,答复是坝体结构并无任何问题。

前述美国与加拿大两坝虽然采用严格温控措施,基础温差并未超过规定,内部最高温度也只是 32℃ 左右,却仍然产生严重裂缝。并且裂缝并非基础约束产生的顺坝轴线方向由下向上发展的基础贯穿裂缝,而是由上游向下游发展的顺流向劈头裂缝。且缝宽虽是下部较宽上部较窄,但近基岩附近缝宽却不明显。显然前述温控理论不符合实际。美国工程师团的解释是:原设计按稳定温度 13℃ 控制,温差 17℃,即最高温度 30℃,实际蓄水时初春水温仅 7℃,以致基础温差超出原预计所致。笔者认为,蓄水时,内外温差大致为 $(30 \sim 32)^\circ\text{C} - 7^\circ\text{C} = 23 \sim 25^\circ\text{C}$,因此,内外温差过大且过于急骤,才是开裂的主要原因。基础温差并非开裂的原因。至于 Stewaterville 大坝,情况不很清楚,但从冬季施工有可靠表面保温措施推测,温降速度很慢,因而未产生严重开裂。

从开裂危害性来看,与坝轴线平行的基础约束裂缝并非是最严重的裂缝,实践中很少遇见,且即使开裂,蓄水后缝面受压,温度恒定,不会产生问题。上游面劈头裂缝虽有一些实例,但即使将一个坝段劈裂成两个坝段,仍然能各自保持稳定,剖面应力也不会严重恶化。相反,上游面水平裂缝,尤其是碾压混凝土坝沿水平层面开裂,当剖面竖向压应力低于缝

内水平压力时,裂缝将扩展至下游面。拱坝的水平开裂将使坝体变为几层水平拱,无论重力坝或拱坝,水平开裂发生概率高,危害性大,应该首先防止;其次才是上游面劈头裂缝,是与坝轴线平行的基础贯穿裂缝,发生概率低,危害性很小,不必作为碾压混凝土坝的温控防裂对象。

4 结构设计措施

4.1 上游保温防渗层

如前所述,防裂的顺序首先是上游面水平向裂缝,其次是竖向劈头裂缝。如果上游面在设计之初就设置保温防渗层,即可一举防止两种裂缝的危害。建议对有一类防裂要求的在上游面模板内侧水位变化区普遍设置双层泡膜垫,拆模后泡膜垫即留于坝面,既保温又可作为初步防渗。蓄水前随水位上涨在其表面再贴一道双层泡膜垫,以弥补施工时局部破损部位。在寒冷和严寒地区,双层泡膜垫可能不够,可根据实践和理论计算,改用较厚的泡沫塑料膜,一膜一布(无纺布)或二膜一布、一膜二布等土工膜材料。蓄水前必要时随水位上涨再加贴一层防渗层。

不必担心高分子材料的耐久性。蓄水后水温变化不大,无紫外线和臭氧作用,其水下耐久性是可靠的,但水位变化区则仍受紫外线和臭氧影响,并且还可能受碰撞等作用影响,宜在其外采用喷混凝土或现浇混凝土保护。

黄土地区多沙河流上筑坝时,可在上游面一定高度范围内利用淤沙,或在上游面填土防渗。

对二类要求的坝,可不设保温防渗层。

4.2 横缝

对于二类要求的坝,无结构要求时可不设横缝。即使开裂,也不致影响安全。根据美国上静水等坝实践经验,裂缝漏水不致影响运行。

对于一类要求的坝,如上游无保温防渗层,坝体较长或地形变化较大时,宜设置模缝。横缝间距视气温、地形和施工机械要求及是否一个枯水季建成选定。坝的长高比小于 3.0 时,也可不设横缝。

4.3 拱坝厚度

拱坝一般须设横缝灌浆时,不宜为灌浆进行人工二期冷却。可以利用 1~2 个冬末春初自然冷却后进行横缝灌浆。达到上下游各有全坝厚度 1/3 范围内低于稳定温度即可。中间 1/3 范围稍高于稳定温度并不会严重影响坝体应力分布。因此,如果只能利用一个冬春的自然冷却,坝厚不宜超过 12 m,如果坝体中下部可利用 2 个冬春自然冷却时,坝厚不宜超过 18 m。

横缝灌浆在一定程度上可防止上下游方向竖向

裂缝的产生,即使产生也不会有严重危害。

5 温度控制措施

以往温度控制设计常将随时间和空间变化的复杂温度与应力演变过程,概化为几个与时空无关的基础温差、上下层温差、内升温差和混凝土最高温度等几个常数,常常容易导致误解。由于缺少经验,设计人员选取的相应参数稍偏保守,温度相差 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,温度控制就常发生急剧变化。某工程由于误用了过严的混凝土最高温度($30\sim 32^{\circ}\text{C}$),导致碾压混凝土施工时采用预冷、冷却水管等不必要的复杂措施。因此不如直接根据实践经验选用相应温控措施更为可靠。除层面施工缝有时开裂外,碾压混凝土坝很少有开裂的报导。实践表明,碾压混凝土的温控防裂并无重大难题,不必采取复杂措施。下面是一些笔者认为可取的措施。

5.1 快速施工

最根本的温控措施是快速施工。

从总体上看,混凝土施工的最佳季节是冬春枯水季节,既便于导流,又便于温控。如果按用一台 $4\times 3\text{m}^3$ 拌合楼最大生产能力 $240\text{m}^3/\text{h}$,全枯水季平均生产能力 $100\text{m}^3/\text{h}$ 计,枯水季 4000h 总产量将达到 $40\text{万}\text{m}^3$ 。因此,混凝土总量不超过 $40\text{万}\text{m}^3$,坝高度不超过 50m 的碾压混凝土坝,最好在一个枯水季基本碾压完毕,并据此选择相应的上坝运输和铺筑碾压方式。如果混凝土量过大或坝过高,不能在一个枯水季完工时,可采用一些夏季施工措施,不宜停工,以求全工程的最大效益。同时也可避免长期间歇造成的上下层温差应力。

5.2 白天施工措施

炎热季节碾压层面易超过规定间歇时间,但层面质量与其说取决于气温,不如说更大程度上取决于太阳辐射升温。 35°C 的气温不可能使混凝土层面升至 36°C ,但辐射却可使表层数毫米的温度上升至 50°C ,导致脱水、干硬。比较简便的方式是仅在晚间两班浇筑碾压,白天留给立模等其它工序。混凝土层面为防辐射升温采取洒水养护。由于春秋季节辐射强度与夏季相差不多,最好春秋季节也同样白天停工,晚间施工。

5.3 分层温度与层间间歇

由于碾压混凝土水化热温升低而慢,坝层面散热作用很小,一般不超过总水化热量的 10% ,此即不超过 1°C ,因此,不必单纯为降温而要求层间间歇时间。

混凝土龄期相差愈小,下层混凝土龄期愈短,其活性也愈大、愈容易与上层结合。因此上下层间一般

同一立模高度内的新缝,上下间歇不宜超过 10h ,不同模板分层间歇,也不宜超过 72h 。

模板高度不宜超过 1m ,以便相邻块间的施工和通行,这样一个晚间 16h 内浇筑2层层厚 50cm 或3层,每层 33cm ,白天用 8h 即可组装一个仓面的模板。甚至可以边填筑,边立模。每昼夜上升速度最大可达 1m 。如果坝体水平载压面积过大,最佳的立模高度宜为一次层厚,即 0.5m 。各坝段均衡施工,相邻坝段间同步上升,提高机械设备利用率,上下层间和相邻块的间歇时间增大,增加了相互间的温差,容易导致温差开裂。

5.4 表面保温隔热

春夏秋季层面白天宜覆盖防辐射保温被,以减少辐射升温,晚间则应打开散热。

寒冷和严寒地区冬季常被迫停工。停工前层面宜铺厚 $0.3\sim 1\text{m}$ 沙土层保温,或 $10\sim 50\text{cm}$ 泡沫聚氨脂,上游面除利用保温防渗层外,还宜喷涂厚 $10\sim 50\text{cm}$ 的聚氨脂泡沫层。

严寒地区也可考虑在冬季停工面以下 $1\sim 2\text{m}$ 内埋设一层冷却水管,使混凝土温度能随气温同步下降,冷却。恢复浇筑时,则通热水使混凝土温度上升,以减少上下层温差,避免在上下游面产生水平层面开裂。

5.5 夏季浇筑措施

除前述晚间浇筑白天停工外,一般不必再采用其它重大措施。

一般以混凝土出机温度低于月平均气温 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 即可,不必采用预冷,过薄的碾压层极易因辐射升温抵消其预冷效果。

(收稿日期:1998-11-24 编辑:张志琴)

·简报·

国际大坝委员会第20届大会 和第68届年会将在北京召开

国际大坝委员会第68届年会和第20届大会将于2000年9月14~22日在北京举行。会议由水利部、国家电力公司、中国长江三峡开发总公司、中国水利学会和中国水力发电工程学会等单位共同主办。国务院副总理温家宝担任组委会名誉主席,水利部部长江思诚担任主席,副主席分别由三峡开发总公司总经理陆佑楣和国家电力公司副总经理周大兵担任。会议主要日程安排:9月14~18日召开第68届年会;19~22日举行第20届大会。大会将讨论4个技术专题:①大坝的风险分析(76题);②大坝的效益及需关注的问题(77题);③大坝与安全的基础(78题);④有闸门及其它控制设施的溢洪与大坝安全(79题)。有关会议的详细内容可访问<http://www.vcold-cigb.org.cn>。

(编辑部供稿)