

Study on Temperature Control and Crack Prevention Measures of Mass Concrete

Bo ZHANG^{1*}, Zhaofeng LU²

¹College of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

²Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: RCC dam due to low heat of hydration, low cost advantage has been rapid development, but still inevitably produce temperature cracks, this paper RCC commonly Temperature control measures for analysis to give RCC dam temperature control scheme designed to provide a reference.

Keywords: RCC; Pipe cooling; Surface insulation; Crack

大体积混凝土温控防裂措施研究

张博^{1*}, 陆兆峰²

¹重庆交通大学土木工程学院, 重庆, 中国, 400074

²重庆交通大学, 重庆, 中国, 400074

摘要: 但是仍然不可避免的会产生温度裂缝, 本文就碾压混凝土常用的温控防裂措施进行分析研究, 以给碾压混凝土坝的温控方案设计提供一定的参考。

关键词: 碾压混凝土; 水管冷却; 表面保温; 裂缝

1 引言

由于碾压混凝土坝具有脆性易裂的特点, 而且其受温度影响很大, 因此一定要在施工期做好温控防裂措施尽量避免坝体产生裂缝, 以防止蓄水时因渗透使裂缝扩展成深层裂缝或贯穿性裂缝, 极大地破坏坝体安全和耐久性。本文对高寒地区碾压混凝土坝的特点及开裂机理进行分析, 并据此分析了集中常用的施工期温控防裂措施。

2 碾压混凝土坝的主要特点

碾压混凝土坝不管在技术上还是经济上都有着独特的优势, 也正因此才能在几十年的时间里迅速发展。与常规混凝土坝相比, 碾压混凝土坝有很多不同之处, 这里仅从温控防裂角度出发就材料特性和施工工艺两方面说明其特点如下:

从材料上说, 由于碾压混凝土坝采用的是干硬性混凝土, 灰水比相对较小, 水泥用量也相对比较少, 并掺入大量的粉煤灰作为替代, 因此, 其水化放热量要明显低于常态混凝土, 通常仅为常态混凝土的50%~70%, 特别是在早龄期状态下鉴于碾压混凝土坝脆性易裂且受温度影响很大的特点, 一定要在施工

期做好温控防裂措施尽量避免坝体产生裂缝, 以防止蓄水时因渗透使裂缝扩展成深层裂缝或贯穿性裂缝, 极大地破坏坝体安全和耐久性[1]。这一点对于降低坝体内部最高温度是有利的。另外, 大量粉煤灰的掺入也使得混凝土的可碾压性更强, 更有利于施工的进行。但是, 一方面, 碾压混凝土早期温升较低, 强度也比较低, 若养护不利很容易形成早期裂缝; 另一方面, 后期温升高将不可避免的造成高温持续时间长的结果, 如果不采取温控措施降温, 也会对坝体防裂造成不利影响。

从施工方面说, 碾压混凝土坝不设纵缝, 甚至也不设横缝, 采用通仓薄层连续浇筑的施工方式, 一方面, 降低了浇筑块之间的水平高差, 并减少了模板用量, 提高了施工的安全度; 另一方面, 大仓面施工也使得机械设备利用率较高, 因此施工速度可以大大加快, 对于高坝, 可实现每周垂直上升 2.5~3m, 低坝甚至可以更快。这种施工方法减少了浇筑层面的暴露度, 也减少了外界环境对于坝体温度的影响, 对于减小温度应力有一定的好处。同时, 也使得施工面的散热时间较短, 混凝土内外约束、层间约束增强, 并与冷却水管的铺设互相干扰, 这些对于坝体的温控防裂是不利的。

3 碾压混凝土坝开裂机理及裂缝危害

国内外众多工程经验表明, 温度荷载在混凝土坝所承受的荷载中占主导地位, 温度应力在数值上甚至可能超过其他坝本身体积变化引起的荷载和结构荷载引起的应力之和[2]。温度变化会引起混凝土结构的体积变化, 进而引起拉应力。通常情况下, 当约束超过混凝土的应变能力时, 就会导致裂缝的产生。温度变化不仅能引起裂缝, 还对大坝整体的应力状态有重要影响。大坝重要部位的应力状态是坝体安全监测工作的重要部分, 对于坝体安全控制有很大的意义。因此, 在碾压混凝土坝设计和施工中, 做好温度应力的控制和温度裂缝的防止工作就显得极为重要。

裂缝对混凝土大坝的耐久性有着很重要的影响。大体积混凝土的裂缝主要有干缩裂缝和温度裂缝两种, 其中干缩裂缝只发生在大体积混凝土的外表面, 只要加强养护措施, 一般不会引起较大危害, 而温度裂缝的形成因素比较复杂并且不容易控制, 因此, 我们常常关注的是温度应力引起的裂缝[3]。

在混凝土浇筑之后, 其中的水泥发生水化凝结变化, 这个过程要散发大量的水化热, 但由于混凝土导热性很差, 导致其内部热量不能及时消散而不断升温, 由于“热胀冷缩”原理使得混凝土体积膨胀[4]。水化放热完毕后, 温度将达到最大值, 此后随着坝体与外界的热交换或人工冷却过程温度将逐渐降至稳定温度场。在坝基础部位, 混凝土的收缩受到基岩的约束, 容易产生很大的拉应力, 如果超出混凝土的允许抗拉强度, 就可能造成危害性很大的基础贯穿裂缝[4]。基岩约束区以上部位, 多因为坝体结构本身的相互约束而形成较大拉应力, 也可能引起表面裂缝或是深层裂缝。碾压混凝土分层浇筑的施工方法使得上下层混凝土之间也会形成温差约束, 这一点在施工期也需要引起注意。大量工程实践经验表明, 坝体降温至稳定温度场往往需要几十年甚至几百年的时间, 在这漫长的降温过程中, 不仅可能产生新的裂缝, 而且早期的表面裂缝也有可能进一步发展成深层裂缝或贯穿性裂缝。

一般来说, 混凝土在早期由于温度应力形成的表面裂缝对坝体的承载能力没有影响, 只影响大坝使用的耐久性[5]。但是, 这些裂缝可能会因暴露在空气或水中而导致内部钢筋锈蚀、混凝土碳化、表面保护层酥松剥落、渗漏等问题, 从而使得坝体强度明显降低, 影响其正常使用, 甚至缩短建筑物寿命。特别是

上游面的裂缝, 蓄水后长期浸水容易发展扩大, 因此应做封闭处理。深层裂缝大多是由基础约束区以外的表面裂缝逐渐扩展而成的, 危害虽没有贯穿裂缝大, 但是也改变了坝体原来的受力状态, 结构内部的应力进行了重新分配, 这样对于大坝的受力安全非常不利。贯穿性裂缝是切断混凝土整体性的大裂缝, 通常穿过一个甚至几个浇筑层, 严重破坏了坝体的稳定性和耐久性, 是危害最大的裂缝。尤其是基础贯穿裂缝和上游坝面的劈头缝, 一旦形成, 会改变原设计的分缝分块条件、削弱坝体刚度, 可能会造成坝体重要部位甚至整体结构被破坏的后果。总之, 不管哪种裂缝对于坝体而言都是不容忽视的, 即便是危害最小的表面裂缝也会对坝体外观造成一定的影响, 因此, 对于表面裂缝、深层裂缝和贯穿性裂缝都要以预防为主, 如果已经出现, 要尽快采取措施进行处理, 以免酿成更坏的结果。

4 高寒地区碾压混凝土坝的主要特点

高寒地区碾压混凝土坝的施工和其它地区碾压混凝土坝的施工方法大致相同, 但是由于气候的影响, 高寒地区碾压混凝土坝的施工方法有其自身的特点。众所周知, 低温会延缓常规混凝土的水化作用, 在寒冷的气候条件下进行碾压混凝土的施工, 需要采取有效的养护和保护措施促进材料的充分水化。尤其是早龄期混凝土, 强度尚未达到设计值, 若遭受低温冻结, 需另外采取有利措施才可能恢复原来的设计强度。因此, 此类地区碾压混凝土坝施工一般在每年的4~10月份, 冬季停止施工[6]。高温季节浇筑的混凝土, 一方面水泥水化放热, 促使坝体温度上升; 另一方面, 短间歇连续升程的通仓浇筑致使坝体散热缓慢。在高寒地区, 冬季气温非常低而且持续时间比较长, 导致坝体表面温度迅速降低, 不同的温度在坝体表面形成温度梯度区, 从而在坝体内部对外部产生明显的约束, 导致上下游表面形成表面裂缝; 坝体越冬层面附近上、下游侧水平施工缝易受温度骤降的影响而产生开裂; 大坝底孔也很容易受到温度骤降和寒潮的影响, 使得底孔周围出现较强的温度应力。

为了防止温度裂缝的产生, 最主要的是在碾压混凝土坝的施工期、运行期以及冬季施工间歇期对混凝土的保养。具体应该做到以下几点:

加强坝面保温。基于高寒地区的气候特点, 表面保温措施是碾压混凝土坝必须采取的温控措施之一。

裸露在空气中的坝体表面容易受外界气温的影响产生较大的温度波动, 由于“热胀冷缩”而造成温度危害, 因此, 除了蓄水水位以下部分, 坝体上下游面均需永久表面保温, 以防运行期出现裂缝; 水位变化区易受冻融破坏, 蓄水后要经常观测、检查, 一旦出现问题可以尽快补救; 尤其要做好当年新浇筑混凝土在冬季施工间歇期的保温措施。

坝基部位对于坝体安全极其重要, 坝基出现裂缝将会造成渗漏等很严重的影响, 在高寒地区筑坝, 坝基常常是最危险的部位, 所以可适当放宽坝基开挖标准, 降低基础约束程度。对于东北某些工程, 越冬期间也可考虑采用蓄水保温措施。

就避免或减少基础混凝土裂缝而言, 在高寒地区筑坝, 最好将基础混凝土浇筑安排在气温较高时浇筑。

采取其他常用的方法来控制坝体内部温度。如: 在温度较低时浇筑; 运用冷水管进行冷却; 尽量降低坝体内部和表面的温度之差等。

5 温控防裂措施

碾压混凝土坝相较于常规混凝土坝的优势之一便是, 薄层连续、快速浇筑的施工方式可以使坝体内部温度分布更均匀, 可以简化温控措施。并且有一些中小型碾压混凝土坝, 只需避开高温季节浇筑而不采取更多温控措施便取得了成功[7]。但是, 更多的工程实践证明, 对于大体积高坝或是特殊气候区大坝, 尤其是需要在高温季节不间断施工的大坝, 不采取有效的温控措施是完全不可行的。随着碾压混凝土坝施工技术的发展, 温控防裂技术也得到了进一步的发展, 在常态混凝土中成功运用的温控措施在碾压混凝土中已经基本全部实现。这些措施主要包括骨料预冷、加冰拌合、仓面喷雾、表面保温、水管冷却等。

5.1 降低浇筑温度

这一点应从降低混凝土的出机口温度、减少运输途中和浇筑仓面的温度回升两方面着手。降低出机口温度通常有骨料预冷、加冰或用冷水拌合、液氮冷却等方法。向骨料堆喷雾使其蒸发冷却是最简单的预冷方式, 也可在长运输带运送骨料过程中喷冷水、向料箱中吹入冷空气进行冷却。加冰或用冷水拌合是常态混凝土常用的冷却方法, 但是碾压混凝土的用水量较少, 所以该方法的效果并不十分明显。液氮冷却法是

将液氮通入拌和机进行冷却, 这种方法不受需水量的影响, 效果较明显, 但是也比较昂贵。薄层碾压的施工方式会使混凝土与空气的热交换更严重, 入仓温度回升快, 所以要严格控制混凝土运输时间和浇筑仓面暴露时间, 还可采用喷雾、盖保温被、快速覆盖等措施来减小浇筑温度相对于出机口的回升率。另外, 将温控的重点部位安排在低温季节或是晚上浇筑, 也可有效控制仓面的温度回升。

5.2 减少水化热温升, 改善混凝土抗裂性能

对于碾压混凝土而言, 任何类型的水泥都是可用的, 但若使用水化热较低的水泥, 如中热水泥、火山灰水泥等, 则更有利于坝体的温控防裂。同时掺入一部分粉煤灰以替代水泥和掺入减水剂以减少水泥用量也可以削减水化热产生的温度峰值。因此, 要加强混凝土原材料及混凝土性能的试验研究, 加大粉煤灰掺量, 采用中热大坝水泥, 在保证混凝土质量满足设计要求且便于施工的前提下, 尽量减少单位水泥用量, 有效降低混凝土水化热温升, 提高混凝土的抗裂性能。此外, 我国目前正在研究尝试的适当掺入氧化镁也可作为辅助手段, 适量的氧化镁可使混凝土产生微膨胀变形, 抵消部分温度收缩变形, 有利于降低约束区、高温季节浇筑区及坝上游防渗层的拉应力。

5.3 水管冷却

水管冷却是在混凝土内埋设水管, 通入连续流动的低温水以降低混凝土内部温度, 于 1933 年在美国胡佛坝施工中成功应用后成为混凝土坝温度控制的重要手段[8]。影响水管冷却效果的因素主要有管距、水温 and 通水时间。水管管距变小, 使水管铺设量变大, 也使通水时间大大减少; 通水水温越低, 与混凝土的温差就越大, 理论上冷却效果也就越好, 但是过大的温差也会在水管周围引起较大的拉应力, 反而不利于防裂; 通水时间要依据实际通水效果确定, 坝内降温至一定程度即可停止通水, 通水时间过长也会导致坝体内部早期温度低于稳定温度, 在运行期产生温升膨胀[9]。此外, 水管直径、塑料水管的厚度、通水流量、水管长度对冷却效果也有一定的影响, 但影响效果并不显著, 通水时还要注意不断改变流向, 以使冷却结束后混凝土温度尽量均匀。

水管冷却在常态混凝土中已被证明是效果较好且造价较低的温控措施, 并成功运用在多个大体积混凝土

土工程上。然而混凝土的碾压施工会对冷却水管的铺设产生很大的干扰,情况严重时会导致冷水管破裂,这就导致了水管冷却措施在这项施工中被局限化。随着碾压混凝土坝越建越高,一些高坝在高温季节浇筑时,如果只采用其他温控措施往往已不能满足防裂要求,这也促使人们不断寻找水管冷却的新技术。最近十几年,人们尝试使用塑料冷却水管,取得了很大成功,使这个难题慢慢得到了解决。从而使碾压混凝土坝在高温环境下浇筑时也可以采用通水管冷却的措施。我国很多地方的碾压混凝土坝都采用了采用了通水管冷却措施,取得了明显的效果。

水管冷却效果的好坏往往对坝体的温控防裂工作起着至关重要的作用,同时对坝体的施工质量和施工进度安排也有一定的影响,因此,是否采取水管冷却措施对于蓄水计划安排的影响是非常大的。若在高温浇筑区埋设水管通水冷却,则坝体内部温度可以迅速降低,蓄水时的冷击影响便会减小很多,因此坝体对于蓄水时间和水温的要求也会相应放宽;但是由于水管的铺设增加了工程量,工期也可能需要有所延长,工程将因蓄水时间的推迟而不能早日发挥效益。若有些工程需要全年连续浇筑施工,而夏季高温季节又不采取水管冷却措施,坝体内部温度可能会达到一个相当高的值且仅靠自然降温速度缓慢,蓄水冷击将对坝体安全造成威胁,从而要求混凝土浇筑碾压时采取更多更有效的其它温控措施来削减内部温度峰值,或者等待坝体降至一定温度才可考虑蓄水。

5.4 表面保护

坝体周围温度急剧升高或者降低,寒潮、霜降等天气都能使坝体表层产生温度梯度,从而在坝体中产生很大的拉应力,使其表面产生裂缝。尤其在气温年变化较大的地区,这种情况不仅在施工早期需要引起关注,也会发生在运行期的坝体暴露面。在坝体表面覆盖保温材料可以减少这些不利条件的影响、减小表面温度梯度,改善混凝土的变形和受力条件,提高混凝土的耐久性。因而,防止表面裂缝首先要做好混凝土表面保护措施。同时,表面保温还可以防止干缩裂缝的产生和冬季施工混凝土的冻害。可用的保温材料有很多,目前常用的有珍珠岩发泡保温涂料、纤维

板、聚乙烯、聚苯乙烯、聚氨酯等。混凝土表面保护材料的施工方法有内贴法和外贴法两种。

5.5 斜层碾压

斜层铺筑碾压可以大大提高混凝土施工效率,也有利于坝体的抗滑稳定,主要是解决了浇筑能力的问题。同时,由于斜层碾压缩短了覆盖时间,减少了热量倒灌,浇筑完成后的坝体温度要比平层铺筑法稍低一些。仿真分析结果表明,斜层铺筑碾压与平层铺筑相比可使最高温度降低 1°C - 2°C ;大坝降至稳定温度场时,最大拉应力值也有所降低[10]。

6 结语

温度裂缝对于碾压混凝土坝的危害不容忽视,因此,温控防裂对于坝体安全的影响是一个必须重视的问题,在实际应用中通常是考虑各相关因素对大坝温度场应力场的影响。目前常用的方法是利用三维有限元方法、借助 FORTRAN、ANSYS 等语言编程,建立坝体模型进行全过程模拟仿真计算。

References (参考文献)

- [1] 杨阳,梁川.碾压混凝土筑坝技术及其新进展[J].四川水力发电,2001,20(2):83-85.
- [2] 吕琦,陈尧隆.高寒地区碾压混凝土坝缺口度汛温度场仿真分析[J].西安理工大学学报,2007,23(1):91-94.
- [3] 左红军.某碾压混凝土重力坝温控措施研究[J].四川水力发电,2010,29(5):4-12.
- [4] 许涛.高寒地区碾压混凝土坝温度应力仿真分析[D].西安:西安理工大学,2006.8.
- [5] 碾压混凝土筑坝技术国际会议论文集[C].成都,1999.
- [6] 曹楚生.再论新概念碾压混凝土坝的设计[J].中国三峡建设,2003,5:4-10.
- [7] 张晓飞,李守义,陈尧隆等.碾压混凝土拱坝温度场计算的浮动网格法[J].土木工程学报,2006,39(2):126-129.
- [8] Andrew Dodd,Ljiljana Spasic-Gril.The first major RCC dam in turkey[J].International Water Power & Dam Construction,2000,52(7):34-36.
- [9] Zhenhong Wang,Guoxin Zhang,Zhaogang Wang et al.Effect of Cooling Pipe in Thin-walled Hydraulic Structure during Construction[C].//Trends in Civil Engineering. Part1.2012 :955-958.
- [10] Schutter G D. Finite Element Simulation of Thermal Cracking in Massive Hardening Concrete Elements Using Degree of Hydration Based Material Laws[J].Computers and Structures, 2002,80(27):2035-2024.
- [11] Allen H G, Buls on P S. Background to Buckling[M].London:McGraw - Hill Book Co.(UK) Ltd.,c1980:549.