

水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术

蒋林

广西科源工程咨询有限责任公司

摘要：水利工程承担着灌溉、防洪、发电等功能，每年为国家创造了极高的经济与社会效益。随着经济社会的稳步发展，国家增大了在水利工程中的投入，水利工程的数量逐年递增、规模持续扩大。为保障水利工程的结构质量与安全，相关人员在施工建设中需重视混凝土施工，虽混凝土施工技术日渐成熟，但水利工程中的混凝土裂缝时有发生，严重影响了工程的正常运行。基于此，本文从水利工程混凝土裂缝的类型、特征与原因着手，重点探究了控制混凝土裂缝的措施，对同类型项目具有指导与借鉴意义。

关键词：水利工程；混凝土裂缝；控制技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.04.072

水利工程为重点民生项目，其关乎人民生命财产安全、局部经济发展。结合我国水利工程建设经验，混凝土施工为其中的重点和难点，主要是因为混凝土施工的流程繁多，材料质量不达标、操作不规范等都会增大混凝土裂缝的出现概率，易造成水利工程的质量安全风险。当前行业内对水利工程的结构施工提出了新的要求，各工程企业在水利工程中应考虑现场情况、施工目标与要求，制定科学的混凝土施工方案，在此方案中包含混凝土裂缝的预防与控制措施，减少混凝土裂缝这类质量问题。

一、水利工程混凝土裂缝的类型、特征和成因

（一）温度裂缝

水利工程混凝土施工过程中，温度裂缝的出现频次较高，这类裂缝主要由温度因素所导致。不同于一般的工程项目，水利工程的规模庞大，为大体积混凝土施工作业，整个施工作业中需注重温度监测与控制。混凝土浇筑硬化阶段，因为混合物中有水泥，而水泥的水化热反应强烈，此反应过程中释放的热量留在混凝土结构内短时间无法散失，而混凝土表面在环境影响下温度急剧下降，内外部温差极大，驱使混凝土表面产生拉应力，但因为混凝土的抗拉承载力较小，这种温度影响也就会导致表面或贯通性裂缝，不利于保障混凝土结构的完整性^[1]。

（二）约束裂缝

水利工程项目的基础施工要求较高，基础部位浇筑混凝土时间存在温度应力、地基约束的双重影响，在二者作用下基础混凝土出现裂缝的概率较高。地基变形微乎其微，基本可忽略，假定其不变，但新浇筑的混凝土在温度影响下常常出现体积变化，不变的地基限制了新浇混凝土的体积变化，当达到一定极限时就会导致裂缝。当然，这类型裂缝在旧混凝土上新浇混凝土时，旧混凝土对新混凝土的变形有约束，同样会引发裂缝，因

为约束而导致的裂缝就是约束裂缝。

（三）沉陷裂缝

沉陷裂缝主要是因为基础处理不科学所导致，施工人员在作业中未根据基础所在区域内的土质、水文条件选择处理方法，后续伴随着不均匀沉降、扬压力增大的情形，或者模板强度过小、振捣不规范，都会导致模板出现或大或小的变形或移位^[2]。沉陷裂缝有其特殊性，表现在裂缝发展方向上，其方向一般与地面为垂直关系或者呈 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 夹角，而裂缝宽度完全由荷载、建筑沉降决定，多以贯穿性裂缝位置。

（四）收缩裂缝

收缩裂缝为收缩现象所引发，但结合其原因，又细分为塑性收缩与干缩裂缝两种。混凝土浇筑作业结束后需静待一段时间达到硬化状态，在此时间段内塑性收缩较为常见，因为在此时间段内可能外部环境温度异常高，混凝土内部水分流向表面并在短时间内蒸发，水分流失严重，毛细负压引发了收缩力，加剧了混凝土表面的体积收缩现象，如混凝土无法抵抗这一体积收缩变化，势必出现裂缝^[3]。塑性收缩裂缝多出现在混凝土暴露表面，裂缝不深且间断，为中间宽、两端长短不同的细长形状。干缩裂缝与塑性裂缝的产生原因高度一致，同样出现在硬化的后期阶段，主要为后续未做好保养所导致，其裂缝分布在混凝土表面，走向有纵向也有横向，类似龟纹。

（五）荷载裂缝

水利工程中的混凝土结构由许多造型、尺寸的混凝土构件组成，每个混凝土构件都有其承载力上限，如有外部荷载作用于构件，且承载力超出了构件自身承载力极限时就会导致荷载裂缝。如在实际作业中未进一步控制荷载作用，导致作用力持续增大，将严重损坏构件，给混凝土结构带来巨大风险。

（六）化学反应引起的裂缝

混凝土结构体系中也有一类因化学反应而出现的裂缝，就是碱骨料反应裂缝、钢筋锈蚀裂缝。混凝土中包含的材料类型较多，以特定配合比完成混凝土拌合后将同步伴随着较多的碱性离子，这些离子与活性骨料之间存在化学反应，反应的同时吸收周围环境中的水分促进体积膨胀，易导致混凝土的疏松、膨胀开裂等质量缺陷。

二、水利工程施工中混凝土裂缝的预防与控制措施

（一）严格控制施工原料选取

混凝土作为水利工程项目中的重点，其施工难度较大，出现裂缝的概率较高，为应对各类裂缝，施工人员在现场作业中需注意原材料质量控制。混凝土中包含的

材料种类繁多,水泥、粗骨料、细骨料、添加剂等,任何一种材料的质量不达标,都会影响混凝土的性能,也就使混凝土有出现裂缝的可能。为此,要控制混凝土裂缝,相关人员必须合理选用原材料,根据水利工程混凝土施工中的材料配备要求,对比市场上的材料性能、价格等,选择高性能材料,从源头上杜绝材料质量问题。结合水利工程建设标准,施工中需选用大粒径、高强度的优质骨料,在其他材料的质量都达标的前提下,优质骨料能增强混凝土表面的严密性,控制水泥水化热,减少裂缝。

(二) 增加混凝土裂缝检查频次

水利工程混凝土作业的工程量较大,施工需耗费较长时间,为合理减少裂缝,现场作业中施工企业需增加检查频次,重点关注混凝土裂缝,如检查是否有裂缝、裂缝部位、原因、发展方向等,在裂缝出现的早期采取有效的控制措施,避免裂缝发展。现场检查需由专人负责,他们在现场需开展一系列检测,以对比各项指标,如存在指标异常,需及时处理。化学灌浆技术指标如表1所示。

表1 化学灌浆技术指标

材料名称	黏结强度/ MPa	抗压强度 /MPa	遇水膨胀率 /%
LW水溶性聚氨酯	1.7	-	273
HW水溶性聚氨酯	2.7	19.8	-
LW: HW=60: 40	1.86	11.8	30
低黏度环氧树脂	5.1	82.4	-

(三) 优化混凝土的配比

混凝土作业中配合比也是需关注的重要方面,如设计的配合比不佳,混凝土的强度、坍落度等可能达不到要求,易出现裂缝问题。为此,施工人员在现场作业中必须根据混凝土的施工要求确定配合比,一般需在现场开展配合比试验,结合试验结果的对比与分析得到最优配备。当确定配比后施工人员在配备混凝土时需注意每一种原材料的用量,避免某一种材料过多或者过少引起的混凝土质量问题。

(四) 加强温度控制

混凝土施工中温度是需要关注的一大参数,如施工作业中未合理监测和控制温度,可能出现温度裂缝。因此,任何规模与类型的水利工程混凝土施工中,施工人员都需加强温度管理,根据混凝土施工流程及温度变化,合理调整与控制温度。混凝土的特殊性质决定了其内外部较大的温度差,考虑大水热化影响,施工人员应注意水泥选择,一般应选用地水热化水泥,如硅酸盐水泥等,以减少水泥水化热造成的负面影响,将混凝土内外部温差控制在正常范围内。但控制混凝土温度时,有关人员也需要关注项目所在地的季节、气候等情况,如水利工程属于暖温带半湿润季风气候,夏季高温多雨,最高温不超30℃,考虑到混凝土施工的质量要求,如混

凝土作业恰好在夏季,为避免高温的影响,施工中应采取降温措施,以减少混凝土表面水分的蒸发,如可在混凝土中埋设水管,将冷水通入管内^[4]。浇筑混凝土期间施工人员需选择恰当的作业时机,避免外部温度过高或者过低影响混凝土温度,如可在7:00~10:00进行浇筑。

(五) 加强混凝土养护管理

合理养护对提高混凝土性能、减少裂缝非常有效,为保障混凝土施工质量,水利工程混凝土作业中相关人员需加强养护施工。为保障养护方案的合理性与可行性,施工人员需综合混凝土配比、环境温度、结构断面尺寸等因素,确保养护方法与实际情况相符合。有关专家通过大量的试验,发现混凝土最低养护温度为5℃,如水利工程所在地区相对寒冷,应适当提高养护温度,达到10℃;如为更大厚度的混凝土断面,养护温度更高,基本维持在20℃左右;为避免养护后急剧降温导致的裂缝,养护结束2d后续混凝土温度必须超过0℃。

因为养护为后期工作,为使养护工作更具针对性,前期作业中应加强施工监测与记录,如搅拌阶段应记录搅拌温度、时间,并记录结合气温变化所做出的调整;浇筑阶段的浇筑温度、工艺等。进入养护阶段后有关人员需及时调取前期的施工记录,整合数据得到最佳的养护方案,如确定养护方法、温度、时间等。如水利工程地区相对寒冷,因为温度相对较低,可适当延长养护时间。

针对混凝土养护,隔热养护与蓄热养护较为常用。如在水利工程中采取隔热养护方式,施工人员需选择恰当的隔热材料,用该材料来确保混凝土温度达到规定,促进水化反应并大大临界强度,但结合这一养护方式的特点,在最低温超-3℃的情况下更为适用,如温度更低,需选用高性能隔热材料,以保障养护效果。通过使用隔热材料,可减小水泥的水化热损失,但因为水利工程混凝土为大体积作业,浇筑面积大,温度在短时间内急剧减小,裂缝时有发生。考虑这一因素,在混凝土养护期间施工人员需加强温度管理,如最低温不超-15℃,需合理使用防冻剂。蓄热养护就是要通过水化热将储存热能,保持良好、稳定的环境条件,促进水化反应的进行。现场操作中相关人员需将适当加热骨料与水,但需控制加热时间,以通过这一方式抵消硬化阶段所丢失的热量。加热水的操作简单,很多情况下首选此方式,但需注意加热温度应在90℃以内,如加热水无法达到实际的施工标准,再考虑加热砂石,加热温度略低于水加热温度,一般不超75℃。水加热时施工人员可在水箱中引入电极加热法,这一方式不仅操作简单,且成本投入较低;砂石加热主要为管道加热、大锅加热^[5]。如在混凝土养护中选用蓄热养护法,施工人员需分析混凝土温度、浇筑速度,以此确定构件的散热情况,在此基础上确定养护方法。个别水利工程的混凝土作业中有更高的抗渗、抗渗标准,为从根本上保障抗渗强度,施工人员需适当提高初始强度,抑制热胀冷缩所

引发的变形现象，如可采用高活性快硬水泥或者减小水灰比。

三、混凝土裂缝常用的处理方法

水利工程混凝土施工的特殊性决定了裂缝问题无法彻底消除，只能采取一定的措施预防裂缝的出现，或者在裂缝出现后及时修复。但混凝土裂缝的种类繁多，在处理裂缝时需要考虑裂缝类型、原因、发展方向等，选择合适的处理方式，如处于混凝土表面有防风化、防渗、抗冲、耐磨要求部位的裂缝，需采取表面处理法；针对削弱结构整体性、强度、防渗性的裂缝，灌浆方法更为有效。总体来看，混凝土裂缝处理中主要可选用以下处理方式：

（一）表面处理法

如混凝土结构中有细小裂缝或者网状裂缝，但这些裂缝不影响整体结构的承载力，就可采用表面处理法。结合当下的技术发展，表面处理法又可细分为表面涂抹法、表面贴补法。浆材无法灌入的细、浅裂缝，深度未达钢筋表面的发丝裂缝、不漏水、不伸缩、不再继续发展的裂缝，均可利用表面涂抹法来处理，但具体处理中需注意选择材料，如环氧胶泥、水泥浆，将这些材料涂抹于裂缝表面或，或者直接在混凝土裂缝位置涂抹热沥青或者油漆等防腐材料。表面贴补法处理裂缝时可选择土工膜或者其他防水材料，但其主要用在蜂窝麻面、变形缝等大面积漏水的裂缝处理，当然具体施工中也可在裂缝表面粘贴碳纤维布、玻璃纤维布。水利工程混凝土结构中用表面处理法修复裂缝，操作相对简单，且施工处理快，但也存在一定的不足，就是仅能处理裂缝表面而无法处理裂缝内部，处理后的裂缝还有发展的可能性。针对这一情况，可选用以下预防措施：选用碱活性小的砂石材料；配备低碱水泥、低碱或无碱外加剂；选择恰当的掺合料，以减小碱骨料反应。混凝土浇筑或者振捣作业中可能存在不规范操作，或者钢筋保护层厚度小，有害物质可能进入结构内部引发钢筋锈蚀，导致混凝土胀裂，这一情况下主要为纵向裂缝，沿钢筋分布，这类型裂缝可采取以下预防措施：增大钢筋保护层厚度、注意混凝土级配、混凝土浇筑与振捣需符合规范。

（二）填充法

混凝土结构中出现裂缝时，同样可在裂缝内填充材料来修复，但这种填充法在宽度较大的裂缝中较为有效，一般宽度为0.3mm，如裂缝深度较小或者裂缝中存在充填物，灌浆法无法有效处理裂缝，可开V型槽，随后用高强、高防水性树脂或者环氧砂浆材料填充。根据填充法的裂缝修复情况，施工操作简单且成本低，是广受欢迎的处理方式。

（三）灌浆法

裂缝处理中灌浆法也相对有效，但根据使用材料的不同，主要为水泥灌浆与化学灌浆两种，具体的灌浆操作中需配备特定型号的压力设备，由该设备将浆液注入缝隙内；采用弹性补缝器将注缝胶注入缝隙，这一方式

的操作流程少且效果突出。水利工程项目中所采用的补缝浆主要为胶结材料，交联固化后该材料能与混凝土保持良好的黏结效果，从而抑制裂缝的发展。胶结材料可选择水泥浆、环氧树脂、甲基丙烯酸酯等，具体还需根据混凝土裂缝的类型和原因来选择材料。与其他的裂缝处理方式相比较，灌浆法的适用性广，无论为小裂缝还是大裂缝均可采用此方法。

（四）混凝土置换法

混凝土裂缝处理中置换法也相对常用，就是将裂缝部位或者附近损坏的混凝土剔除，随后填充新配置的混凝土或者其他材料。如混凝土裂缝相对严重一般可采用这一处理方式，但需选择高性能置换材料，如水泥砂浆、聚合物。

（五）加固法

如混凝土结构因荷载过大产生了裂缝，且该裂缝又影响到了整个的结构性能，在处理该裂缝时需选用加固法：在原有基础上增大混凝土结构的截面面积、在构件角部外包型钢、采用预应力加固法、粘贴钢板或者碳纤维、增设支点。当然，加固处理中并不仅仅局限在以下方面，施工人员还可引入围套加固法，在结构外部一端包钢筋围套，以增强结构承载力。

（六）钻孔加PVC管再铺加钢筋网处理法

钻孔加PVC管再铺钢筋网法在裂缝处理中也相对有效，但这一方法有其特殊的适用条件，一般用在大体积混凝土内部裂缝中。施工人员在浇筑大体积混凝土时，如发现已完成浇筑的下层混凝土有开裂现象，正式开始浇筑上层混凝土时可在下层浇筑块表面两端钻孔，但需控制孔径，以通过钻孔释放应力，避免此处的应力集中，抑制裂缝的水平发展；在此工作结束后，沿混凝土裂缝方向铺设PVC半圆管，用钢筋加固该管道，最后在管道上布设一层或两层水平钢筋网，阻止裂缝的延伸。

结束语

裂缝为水利工程混凝土作业中相对常见的质量问题，其对混凝土结构性能的影响较大，为有效减少裂缝，提高水利工程的质量与安全，相关人员在施工中需加强裂缝预防与控制，保障混凝土作业的规范性与有效性。

参考文献

- [1] 孙茜. 水利工程中混凝土裂缝的成因以及防治举措探究[J]. 水电水利, 2022, 6(4): 10-12.
- [2] 张宇. 水利工程混凝土裂缝产生的原因及防治措施[J]. 红水河, 2022, 41(5): 22-25.
- [3] 周妍. 水利工程施工中混凝土裂缝的防治措施[J]. 科技创新导报, 2022, 19(14): 3.
- [4] 王玉成. 水利工程施工中混凝土裂缝控制技术浅述[J]. 建材发展导向(下), 2021, 019(003): 270-271.
- [5] 高古师. 水利工程施工中混凝土裂缝防治措施分析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(17): 145-147.