

隧道大体积混凝土温度裂缝抑制措施

田怀念

中国铁建华中总部

摘要:为解决隧道大体积混凝土因出现温度裂缝而引起的工程结构安全问题,通过对阳澄西湖隧道大体积混凝土现场施工措施和监测数据的分析,首先提出了分层浇筑、控制振捣质量、控制混凝土入模温度、控制拆模时间、混凝土养护、控制支撑拆除时间这六个抑制温度裂缝产生的施工措施,随后利用高性能双光栅温度-应变式传感器对施工现场结构的温度和应变进行智能化监测。结合现场监测的底板、侧墙和顶板的温度和应变的数据分析指出:底板、侧墙和顶板自混凝土浇筑开始后,由于混凝土硬化过程中释放出大量水化热,导致其温度呈现先急剧增大再缓慢降低的变化趋势;由于混凝土导热性能较差,底板、侧墙和顶板的中部中心产生水化热不能及时传递到混凝土表面,因此其温度总体呈现“中心高两边低”的现象;由于混凝土的热胀冷缩作用,底板、侧墙和顶板的应变变化趋势与温度相似,呈现先急剧增大,再缓慢降低。从温度裂缝产生的机理上分析了大体积混凝土浇筑时温度和应变的变化规律,为后续的工程施工提供了参考。

关键词:温度裂缝;智能化监测;水化热;大体积混凝土

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.18.012

引言

大体积混凝土裂缝的产生主要有以下四种形式:泌水现象、干燥收缩裂缝、温度裂缝和施工冷缝^[1],在这四种形式中,温度应力变化不均匀是混凝土产生裂缝的主要原因,此类裂缝往往会形成贯穿性裂缝,对工程结构的抗渗性、整体性和耐久性产生不利影响^[2]。温度裂缝的产生贯穿在整个施工过程中,从混凝土浇筑开始直至最后的模板拆除以及后续的养护,如果不采取规范的施工措施,温度裂缝都会随之产生,因此隧道大体积混凝土工程建设中,研究温度裂缝产生的机理以及温度裂缝的抑制措施显得尤为重要了。

在温度裂缝产生的机理研究中,相关学者研究指出^[3-4],外界温变化、结构受到了一定的约束条件以及水泥水化过程中释放出来的水化热是大体积混凝土产生裂缝的主要原因。本文根据阳澄西湖隧道大体积混凝土的现场施工状况,对大体积混凝土裂缝的产生进行了分析,并提出了隧道大体积混凝土温度裂缝的抑制措施,以期为该隧道工程的大体积混凝土温度裂缝控制提供参考。

一、工程概况

苏州春申湖路快速化改造项目5标段起于苏嘉杭高速东侧,道路以隧道形式由西向东沿旺巷港河北、林家港河南布线,在湖滨路东进入阳澄西湖,并在通过园区段登陆接地,起点桩号为K9+830,终点桩号为K14+299.287,主线隧道全长4.47km。本次施工监测段里程范围为K9+970~K10+19、K10+660~K11+280、K11+930~K14+100,其中主线暗埋段为两孔一管廊矩形结构,隧道单孔净宽14.10m,净高5.0~5.15m,中间6管廊净宽1.80m。

二、温度裂缝控制的施工措施

(1)采用分层浇筑。底板采用斜向分层的浇筑方式,单层浇筑厚度为300mm,浇筑时由底板较低一端中间位置向两侧浇筑,逐渐向较高一端推进;侧墙和顶板按每层300mm厚分层浇筑。分层间隔浇筑时间不得超过混凝土初凝时间。

(2)控制振捣质量。采用插入式振捣器进行振捣,插入间距不应大于振捣棒振动作用半径的一倍,插入深度为穿透浇筑厚度至下层拌合物50mm处,与侧模应保持50~100mm的距离,振捣时间控制在10s~30s之内,做到快插慢拔,当混凝土出现停止下沉,不冒气泡,表面呈现平坦、泛浆这些密实标志即可停止振捣。

(3)控制混凝土入模温度。混凝土浇筑时选取温差小的时间段进行浇筑可以有效控制温度裂缝的产生。夏季施工混凝土拌合物入模温度不应高于30℃,且应不高于气温5℃,当日间温度超过30℃时,可选择夜间浇筑混凝土,并在混凝土用水中加冰进行降温;冬季施工混凝土拌合物入模温度不应低于5℃,混凝土内部温度和外表温差不得大于25℃。

(4)控制拆模时间。混凝土强度超过设计强度的75%以上,预计拆模后的混凝土表面温降不超过9℃才允许拆模^[5]。一般在浇筑成型开始2天左右,侧模混凝土强度可达7MPa以上,此时满足拆模需求,其表面及棱角不会因拆模而受损。隧道主体结构裂缝产生通常在侧墙部位,侧墙自浇筑结束后的变形一般在2天左右达到最大,因此侧墙部位的最佳拆模时间应不少于3天。

(5)混凝土养护。底板和顶板采用土工布覆盖洒水养生的措施;侧墙拆模时先松开侧墙钢模板,从墙体顶端淋水进行湿养护,拆模后采用薄膜覆盖加喷淋的方式进行保温、保湿,养生时间不少于14天。

(6)控制支撑拆除时间。底板、顶板和侧墙在施工时多制备几组同条件养护试块。底板混凝土施工完

毕，同养试块达到设计强度的85%后拆除第四道钢支撑；待侧墙支架模板搭设第三道钢支撑位置后再拆除第三道钢支撑，施工侧墙；侧墙砼施工完毕，同养试块达到设计强度的100%后拆除第二道钢支撑；施作顶板混凝土，顶板混凝土同养试块达到设计强度的100%后方可拆除第一道砼支撑。采取这种措施可以防止由于支撑过早拆除混凝土受到外力挤压而产生裂缝。

三、数据分析

本工程浇筑分为底板、中板及顶板分层浇筑的方法，其中底板为一次性浇筑，侧墙和顶板分两次浇筑，这样有利于侧墙的应力释放，减少侧墙因受力而引起的结构性裂缝。

(一) 监测点布置

根据隧道结构及其所在位置，考虑隧道剖面的对称性，隧道混凝土墙板的监测关键点主要为顶板、底板、顶板与侧边墙体的转角处、底板与侧边墙体的转角处以

及侧边墙体，故在该剖面上设置五个测位，每个测位设3个监测点，每个测点各设1支温度应变传感器，并隔一定时间测量环境温度，应变计埋置位置如图1所示。

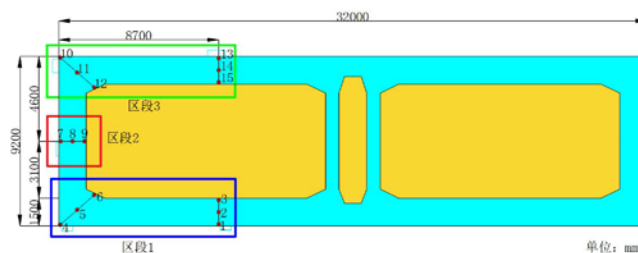


图1 监测点布置示意图

(二) 底板、侧墙和顶板温度监测结果分析

隧道的底板、侧墙和顶板自开始浇筑后，其内部温度随时间的变化如图2所示，其温度监测关键数据如表1所示。

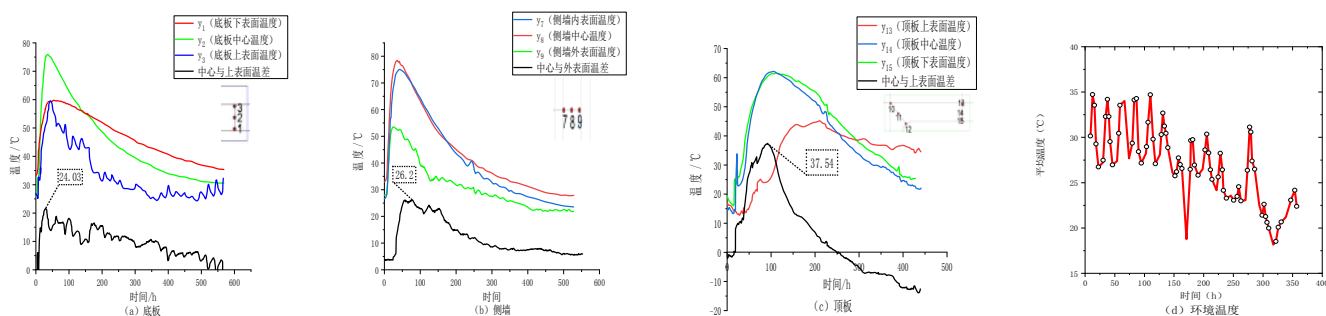


图2 混凝土里表温度曲线

由图2可知，底板、侧墙和顶板的温度总体呈现先急剧增大再缓慢减小的趋势，底板上表面和侧墙外表面的温度呈现先急剧增大再波浪式缓慢减小的趋势，底板、侧墙和顶板温度总体呈现“中心高两边低”的变化规律。混凝土在浇筑过程中会释放出大量水化热无法释放到外界环境中，这就导致了底板、侧墙和顶板的温度会出现急剧上升的现象，由于底板上表面、侧墙外表面与空气接触，受外界环境影响较大，因此底板上表面和侧墙外表面的温度会随外界环境的变化呈现波浪式下降趋势。由于大体积混凝土导热性能差，底板、侧墙和顶板中部中心的混凝土产生的水化热并不能及时传递到混凝土表面，再扩散到外界环境中，这也就促使了底板中心温度的升高，促进了底板温度“中心高两边低”这一现象的发生。底板、侧墙和顶板中部中心入模温度分别为25.48℃、25.76℃和15.27℃，外界环境的平均温度在30℃左右，外界环境温度、底板与侧墙中部中心温度都偏高，进而增高了混凝土最高温度值，因此可在浇筑混凝土时在混凝土的用水中加冰进行冷却，进而抑制温度裂缝的产生。底板、侧墙和顶板的最高温度均出现在中部中心位置，分别为74.95℃、78.75℃和62.53℃，其中部中心的最大温升分别为49.47℃、

52.99℃和47.26℃，其中部中心与外表面的最大温差分别为24.03℃、26.2℃和37.54℃。底板、侧墙和顶板的最高温度都偏高，最高温度越高，增大了混凝土表面与内部之间的温度梯度，温度梯度越大，会导致中部中心与外表面的热胀冷缩程度越大，这也就导致温度裂缝的产生。底板中部中心温峰出现时间为34.52h，外表面温峰出现时间为43.4h；侧墙中部中心温峰出现时间为56.96h，外表面温峰出现时间44.85h；顶板中部中心温峰出现时间为106.57h，外表面温峰出现时间为206.85h。底板相对于侧墙和顶板的温峰出现时间过早，温峰时间出现时间过早就会导致大体积混凝土中部中心与外表面出现较大温差，进而导致温度裂缝的产生，因此在浇筑底板混凝土时掺加缓凝剂，缓凝剂具有延长温峰出现的作用，从而减少温度裂缝的产生。

(三) 底板、侧墙和顶板应变监测结果分析

隧道的底板、侧墙和顶板自开始浇筑后，其内部应变随时间的变化如图3所示，其应变监测关键数据如表1所示。

由图3和表1可知，底板、侧墙和顶板的应力变化曲线基本和温度变化曲线一致，呈现先急剧增大再缓慢降低的趋势，底板混凝土在硬化结束后应变为负值，呈现

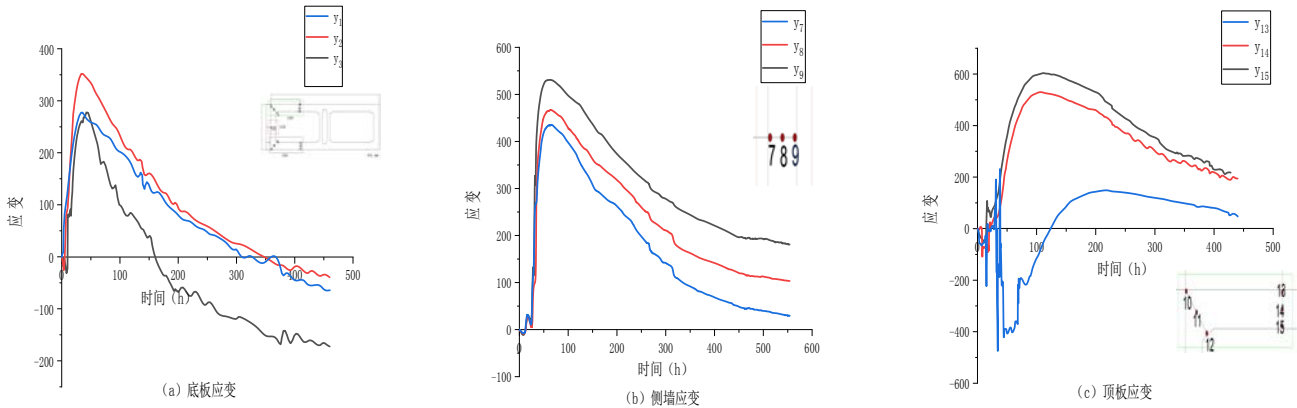


图3 混凝土里表应变曲线

表1 不同结构里表应变数据

部位	最大温升/℃	温升阶段最大变形 (μ ε)	温升阶段单位温升膨胀/μ ε /℃	温降值 (℃)	温降阶段变形 (μ ε)	温降阶段单位温降收缩/μ ε /℃
底板中部中心	49.47	355.17	7.18	44.7	393.27	8.8
侧墙中部中心	52.99	472.39	8.91	50.75	368.27	7.26
顶板中部中心	47.26	533.85	11.3	40.45	337.08	8.33

体积收缩，侧墙和顶板混凝土在硬化结束后应变为正值，呈现体积膨胀。从应变与应力的关系来看，底板混凝土自混凝土开始浇筑后，底板应变为正值，因此底板呈现拉应力状态，随着浇筑的完成，水化热的不断释放，底板应变增大，其中底板中部中心应变增大至355.17 μ ε，因此拉应力也在不断增大，随着混凝土温度的下降，底板应变不断下降，其中底板中部中心温降阶段变形为393.27 μ ε，因此拉应力也开始减小，在监测结束时，底板应变为负值，因此底板的拉应力逐渐转变为压应力。侧墙和顶板在混凝土浇筑过程中，刚开始应变为正值，因此为拉应力状态，随着应变的逐渐增大，其中侧墙中部中心温升阶段的最大应变为472.39 μ ε，顶板中部中心温升阶段的最大应变为533.85 μ ε，因此侧墙和顶板的拉应力逐渐增大，随着混凝土温度的降低，侧墙和顶板的应变不断减小，其中侧墙中部中心温降阶段变形为368.27 μ ε，顶板中部中心温降阶段变形为337.08 μ ε，因此侧墙和顶板的拉应力逐渐减小并最终表现为拉应力。底板中部中心的温升阶段单位温升膨胀为7.18 μ ε /℃，侧墙中部中心的温升阶段单位温升膨胀为8.91 μ ε /℃，顶板中部中心的温升阶段单位温升膨胀为11.3 μ ε /℃，根据监测的应变数据可知，顶板中部中心温升阶段单位温升膨胀较大，应变过大这会导致混凝土内部变形不均匀，进而引发温度裂缝的产生，因此在施工过程中可对顶板进行洒水养护降温，增加顶板混凝土的湿度的同时进行降温，抑制顶板应变过大而引发的温度裂缝。

四、结论

(1) 采用分层浇筑和控制振捣质量是通过增加混凝土的密实度和加速散热去降低隧道大体积混凝土的开

裂；控制入模温度和混凝土的养护是通过降低混凝土水化热来抑制隧道大体积混凝土的开裂；控制拆模时间和控制支撑拆除时间是通过判断混凝土硬化强度达到规范来抑制隧道大体积混凝土裂缝的开展。

(2) 在现场隧道大体积混凝土浇筑过程中，底板、侧墙和顶板的中部中心与外表面的最大温差均偏高，极易产生温度裂缝，可用过降低混凝土浇筑层厚度、将冷却液体埋入混凝土中的管路内和采用保温材料覆盖在混凝土的外表面这些施工措施降低水化热抑制温度裂缝的产生；顶板中部中心温升阶段单位温升膨胀较大，顶板中部中心应变过快，会导致顶板产生不均匀变形，容易造成温度裂缝的产生，可对顶板进行采用洒水养护降温来降低温度裂缝的产生。

参考文献

[1] 王沧州. 大体积混凝土裂缝分析及应对措施[J]. 铁道工程学报, 2010, 27(7): 73-76.
 [2] 刘晔. 大体积混凝土温控抗裂性能评价及温度裂缝防控措施[J]. 价值工程, 2017, 36(2): 150-153.
 [3] 刘昌济, 王斌, 卜显英. 大体积混凝土裂缝原因分析及控制措施[J]. 石家庄铁道学院学报, 2005, 18(z1): 54-57.
 [4] 陈广成. 大体积抗渗混凝土温度裂缝的控制措施[J]. 林产工业, 2017, 44(9): 60-62.
 [5] 彭再勇. 红谷沉管隧道管节大体积混凝土温控与防裂技术[J]. 隧道建设, 2016, 36(9): 1139-1146.
 作者简介: 田怀念(1977.09-), 男, 陕西省渭南市, 汉族, 研究生(2011年4月), 高级工程师, 研究方向: 土木工程。