

围堰明挖法隧道大体积混凝土裂缝防控措施

夏雪迪

华设检测科技有限公司 江苏 南京 210000

摘要: 本文针对围堰明挖法隧道大体积混凝土裂缝产生的原因,从原材料选择、混凝土浇筑施工、养护等方面进行细致的分析,并提出了大体积混凝土裂缝的预防控制措施,以为其他混凝土工程施工裂缝防治提供参考。

关键词: 隧道; 混凝土; 裂缝; 防控措施

引言

伴随着我国经济社会的发展,交通工程项目越来越多,其中大体积混凝土施工也逐渐增多,大体积混凝土普遍存在裂缝出现的现象,而围堰明挖法隧道大体积混凝土裂缝影响着结构安全耐久性,针对这一点,本文围绕着如何控制围堰明挖法隧道大体积混凝土裂缝进行了阐述。

1 关键技术要求

表1 关键技术指标要求

编号	风险源	设计建议采取的措施
1	大体积混凝土浇筑裂缝	跳仓法分段施工 采取先进的养护工艺 选取合适的添加剂 采取一定的温控设计措施
2	隧道渗漏	隧道防水与耐久性设计选取先进的材料和工艺 严格把控质量

表2 关键材料技术指标要求

编号	项目	指标	
1	限制膨胀率/%	水中7d \geq	0.05
		空气中21d \geq	-0.01
2	初凝后的水泥水化热降低率/%	24h \geq	50
		7d \leq	15

备注:限制膨胀率和抗压强度技术指标要求参考《混凝土膨胀剂》(GB 23439-2017),水泥水化热降低率技术指标要求参考《水泥水化热测定方法》(GB/T12959-2008),其中对比样内掺10%抗裂剂样品。

2 项目特点难点

2.1 部分结构单侧支模

侧墙与围护桩、工法桩间距较小,因此只能单侧立模,侧墙外侧防水施工难度大,对混凝土结构自防水要求高,导致对混凝土的抗裂性和抗渗性要求更加严格。

2.2 大体积混凝土温度开裂风险高

隧道底板、侧墙、顶板的尺寸不同,混凝土的开裂

风险很大,因此对混凝土的抗裂性、抗渗性要求高。因为混凝土是一种脆性材料,抗拉强度相对较低,混凝土水化过程中产生的各种收缩会导致混凝土结构产生大量裂缝,从而会导致混凝土整体结构的防水性能被破坏^[1]。大量工程实践证明,要想做好混凝土结构的防水,最为重要的就是减少混凝土结构裂缝的产生。因此裂缝控制是围堰明挖法隧道工程防水的关键所在。

2.3 环境温度影响大

围堰明挖法隧道施工过程较为复杂,隧道施工时间跨度长,受工程场地气象环境影响较大。根据实际工程经验可知,1~2m厚混凝土内部2d~3d温升值在入模温度的基础上一般可升高30°C~40°C,由于外界环境温度相对较低,温差大,混凝土内部温度从最高温度下降至环境温度,如温差(内部和表面、表面和环境)达30°C,这会使混凝土内部产生约300微应变(收缩率3/万),温降收缩应力常会引起混凝土开裂。

3 温控抗裂方案设计

3.1 关键抗裂材料选择

该项目采用混凝土温降补偿抗裂技术,在混凝土拌合时掺入同时具有温控作用和微膨胀性能的高性能膨胀抗裂剂,减小混凝土内外温度差,减少因内外温度差而产生的裂缝。

3.2 抗裂关键施工工艺技术的实施

通过分段浇筑长度设计、混凝土配合比优化设计、施工前关键技术交底、施工过程监督指导、先进的养护措施选择、混凝土温度及应力监测等一系列技术手段,使技术方案落实实施。

4 抗裂关键技术措施

4.1 原材料质量控制

4.1.1 水泥

推荐使用P·O 42.5的普通硅酸盐水泥,且水泥各项技术指标必须符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175-2007)的要求,水泥中的碱含量应不大于0.6%,铝酸三钙含量应

不大于8%，可减少早期水化热^[2]。

4.1.2 粉煤灰

推荐使用烧失量不大于5%，非脱硫脱硝粉煤灰，45 μm 方孔筛筛余 $\leq 15\%$ ，需水量比 $\leq 100\%$ ，其它技术指标应满足《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB/T 1596-2017）要求。

4.1.3 矿渣粉

推荐使用比表面积400~480 m^2/kg 范围的S95级粒化高炉矿渣粉，密度 $\geq 2.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，矿渣粉各项技术指标应满足《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》（GB/T 18046-2008）的要求。1）细集料：推荐使用颗粒级配好且未风化的天然河砂，细度模数为2.6~2.9的2区中砂，含泥量、泥块含量、氯离子含量等技术指标应符合《建设用砂》（GB/T 14684-2022）中II类砂的要求，严禁使用风化花岗岩破碎的机制砂。2）粗集料：推荐使用级配良好且未风化的碎石，最大公称粒径不大于26.5mm，粒径控制为5mm~25mm，压碎值应不大于20%，且严禁使用碱活性的粗集料，含泥量应不大于0.5%，其他技术指标符合《建设用卵石、碎石》（GB/T 14685-2022）要求。

4.2 混凝土入模温度控制措施

混凝土入模温度是混凝土结构温度上升的起点，入模温度的高低对混凝土温峰值及将来的降温幅度均有直接影响。因此在大体积混凝土结构施工过程中应尽可能降低混凝土的入模温度，从而可以降低混凝土的温缩。通过工程实践总结出减小混凝土的入模温度可以采取以下措施：1）夏季高温施工时，控制混凝土入模温度不大于28 $^{\circ}\text{C}$ ；冬期施工时，混凝土入模温度不低于5 $^{\circ}\text{C}$ 。2）水泥在混凝土拌合站的出罐温度应不大于55 $^{\circ}\text{C}$ ，新入罐水泥因其温度较高（一般在70~80 $^{\circ}\text{C}$ ），不可立即使用，建议存储一段时间，待温度低于55 $^{\circ}\text{C}$ 时再使用。3）集料拌合温度控制不大于30 $^{\circ}\text{C}$ ，集料堆场需全封闭，夏季温度高可适当开启堆场内的喷淋设施来降低集料表面温度。4）混凝土拌和用水可以使用温度较低的地下井水，或者冰水混合使用，建议混凝土拌合站使用制冰机生产冰屑。具体控制措施如下：

4.2.1 降低混凝土原材料温度

原材料对混凝土拌合物出站温度影响：粗集料温度影响最大，细集料和水的温度次之，水泥的温度影响相对较小。因此，降低混凝土入模温度的最有效的方法是降低集料的温度，集料温度每降低1 $^{\circ}\text{C}$ ，可使混凝土拌合物出站温度降低约0.3~0.5 $^{\circ}\text{C}$ 。如果拌合站料仓为露天式，需在集料料仓上方设置遮阳棚，减少阳光暴晒，并且在混凝土生产前，应对原材料温度进行测量，防止原

材料温度过高。

4.2.2 拌合水加冰

由于冰屑融化成水时将吸收约335kJ/kg的热量，还可以用冰屑代替一部分拌合水，可有效降低混凝土的出机温度。加冰率由混凝土试拌结果来确定，一般不大于80%。

4.2.3 控制混凝土运输过程的温升

特别是夏季，为了减小混凝土罐车在运输过程中罐体温度的上升，需在罐体周围包裹保一层保温布，通过洒水进行降温。施工现场调度人员，应根据现场施工情况及时调整混凝土罐车卸料次序及拌和站生产数量，减少混凝土因罐车在现场等待时间过长而升温。

4.3 混凝土浇筑和振捣质量控制要点

1）混凝土应严格按照混凝土设计配合比进行生产，混凝土拌合站应保证原材料的稳定性和材料称量的准确性。现场技术人员应及时检测到场混凝土的和易性，混凝土坍落度应控制在180mm \pm 30mm以内，且无离析现象，如施工现场混凝土坍落度不符合要求，需及时退场处理。2）混凝土应分层连续浇筑。混凝土浇筑应从低处开始，两侧对称浇筑。浇筑时，要在下一层混凝土初凝之前浇筑上一层混凝土，减少施工冷缝产生。3）侧墙浇筑时混凝土下料高度应控制在1.8m以内。当混凝土自由下落高度超过1.8m时，则应接长导管防止混凝土因下料高度过高而产生混凝土离析现象。优化分层浇筑厚度：混凝土的分层浇筑厚度应控制在30cm~50cm范围内。施工过程中，应根据混凝土拌合站的生产能力和施工实际情况，调整每层混凝土的浇筑厚度，以缩短混凝土施工间隔时间，保证下层混凝土初凝之前完成上层混凝土浇筑，从而减少混凝土塑性收缩裂缝。4）正确进行混凝土拌和物的振捣：振捣棒插入时要快，拔出时要慢，以免在混凝土中留下空隙；每次插入振捣的时间在20~30s左右，并以混凝土不再显著下沉，不出现气泡，开始泛浆为准。振捣时间不宜过久，时间太久会出现细集料与水泥浆分离，粗集料下沉，并在混凝土表面形成砂层，影响混凝土质量。振捣棒应插入下层混凝土10cm，以加强上下层混凝土的结合。同时振捣是不允许碰到模板、钢筋和预埋件，在钢筋密集处和模板边角处应配合使用铁钎捣实。5）浇筑间隔期：各层混凝土浇筑间隔时间应尽可能缩短，降低先期浇筑的混凝土对后期浇筑的混凝土收缩约束。

4.4 不同部位混凝土抹面及养护控制要点

4.4.1 顶板

顶板施工控制要点如下：1）浇筑：顶板混凝土浇筑

应连续分层浇筑施工, 分层浇筑厚度不大于500mm, 加强连续振捣, 间距控制在350~450mm, 快插慢拨, 振点布置要均匀, 振捣时间以混凝土表面泛浆, 且无明显浮浆为止。2) 抹面: 顶板浇筑振捣完后, 人工第一次摊平混凝土; 由于混凝土浇筑振捣后处于塑性阶段, 砂石骨料容易下沉, 水向上迁移(泌水), 因钢筋的阻碍可导致出现顺筋塑性裂缝, 不宜过早覆盖薄膜, 因此建议, 在初凝时(骨料已充分沉降后)采用整平机(即常用的提浆机)二次收面, 及时覆盖薄膜, 效果优良。3) 养护: 第二天混凝土硬化后可直接覆盖毛毡或土工布并洒水养护(毛毡保湿效果好), 保湿养护时间14天以上。

4.4.2 冬期施工注意事项

当室外昼夜日平均气温连续5d稳定小于5℃时, 混凝土工程应采取冬期施工的措施, 混凝土养护应以保温为主, 严禁洒水养护。混凝土面不应直接与水接触, 避免混凝土表面形成冻害^[3], 混凝土浇筑完毕后, 应使用磨平机或者人工找平抹面后立即覆盖薄膜, 用保温材料(如毛毡、油毛毡、土工布或棉被等)覆盖, 应加强混凝土表面的保温措施。

4.4.3 雨期施工注意事项

及时了解当地天气预报, 合理安排混凝土浇筑施工。在小雨天气进行浇筑时, 应适当减少混凝土拌和用水量, 减小混凝土拌合物出厂坍落度; 尽量加快浇筑速度并且要做到边浇筑边覆盖边振捣, 不要因为雨中作业而产生过振或漏振, 同时做好新浇筑混凝土面尤其是接头部位的保护工作。

4.4.4 侧墙

1) 浇筑: 侧墙混凝土浇筑采用连续分层浇筑, 分层高度不大于500mm。浇筑过程中应注意混凝土振捣, 振捣间距控制在350~450mm, 快插慢拨, 振点布置要均匀, 振捣时间以混凝土表面泛浆为止, 防止混凝土漏振或过振。2) 拆模: 侧墙采用钢模板, 其特点是保温效果差, 周转频次高, 为保证工期要求, 建议浇筑完毕3~5d拆除模板, 拆模后及时洒水, 待混凝土吸水后贴上一层水能量养护膜, 可以锁住水分, 防止蒸发, 外层再覆盖1层土工布保温, 进一步减少热量散发, 降低降温速率。

5 混凝土温度与应变监测

为综合控制混凝土施工及后期的养护措施, 在施工

过程中选择若干具有代表性的验证段进行数据监测和跟进验证, 在验证段隧道主体混凝土不同结构部位埋设应变计、温度传感器, 对混凝土的应变和温度进行实时监测。通过监测内部不同位置温度与应变情况, 可有针对性地进行拆模养护, 更好地控制混凝土的开裂。混凝土温度与应变传感器可实时监测混凝土的温度与应变情况。

5.1 应变计和温度传感器

推荐使用埋入式振弦式应变计和温度传感器, 通过采集监测点的应变和温度数据, 来监测分析混凝土结构部位的受力和温度变化状态。

5.2 验证段监测点布置方案

在各验证段中, 应重点监测混凝土结构变形和温度变化, 尤其关注大长度、大体积、不规则结构的变形量, 通过监测数据分析判断混凝土结构抗裂效果。根据《大体积混凝土施工标准》和《大体积混凝土温度测控技术规范》中温度监测设备布点要求: 根据混凝土结构厚度, 每个监测点应布置1个应变计, 2个温度传感器, 分别位于混凝土的内、外表层(距混凝土表面约5cm)。结合工程实际结构类型, 制定混凝土应变及温度监测方案。

5.3 监测点测试要求

a.浇筑混凝土前, 应变计应清零; b.详细记录混凝土覆盖应变计的相应时间; c.记录现场每天的环境温度及相对湿度; d.记录混凝土浇筑时的入模温度; e.混凝土振捣收面后, 及时采集第一次监测数据;

结束语

围堰明挖法隧道混凝土的施工直接影响隧道主体的使用性能和耐久性, 如果不能很好的采取防治措施减少隧道混凝土结构裂缝的产生, 那么隧道的工程质量就难以保证, 如出现漏水透水事故将对人民生命财产造成难以估计的损失, 对于此类特殊工程, 必须针对工程特殊性制定切实可行的施工方案, 并从组织措施和施工措施加以保证。

参考文献

- [1]《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666-2011);
- [2]《混凝土质量控制标准》(GB 50164-2011);
- [3]《大体积混凝土温度测控技术规范》(GB 51028-2015);