

长距离输水隧洞混凝土质量保障关键技术研究

宫治军

(辽宁省水利工程建设质量与安全监督中心站, 辽宁 沈阳 110000)

【摘要】 C35W12F200 混凝土在长距离输水隧洞工程中应用极少,如何保障混凝土的质量对隧洞工程的使用寿命至关重要。本文提出了以 C35W12F200 混凝土为原材料的关键技术指标,推荐了配合比的优化措施,总结了质量控制的技术要求,改进了混凝土的投料工艺,保障了混凝土质量。

【关键词】 混凝土质量;质量控制;长距离隧洞;输水隧洞

中图分类号: TV554+.14

文献标识码: B

文章编号: 1005-4774(2017)09-0033-04

Research on key technology of long-distance water transmission tunnel concrete quality assurance

GONG Zhijun

(Liaoning Water Conservancy Project Construction Quality and Safety Supervision Center Station, Shenyang 110000, China)

Abstract: C35W12F200 concrete is applied in long-distance water transmission tunnel project rarely. How to ensure the quality of concrete has vital importance to the service life of tunnel engineering. In the paper, key technology indicators with C35W12F200 concrete as raw materials are proposed. Optimization measures of mixture ratio are recommended. Technical requirements for quality control are summarized. Concrete feeding process is improved, thereby ensuring the quality of concrete.

Keywords: concrete quality; quality control; long distance tunnel; water transmission tunnel

1 引言

长距离输水隧洞是引调水工程的重要组成部分,深埋地下,多起伏,水力条件复杂,混凝土施工困难较多。

辽宁省重点输供水工程隧洞总长约 290km,在世界长大隧洞中位居前列。隧洞衬砌混凝土设计指标为 C35W12F200,设计使用年限为 100 年。该指标在国内外已建成或正在建设的长距离输水隧洞中应用极少,可以借鉴的经验不多。为了保障混凝土质量,本文从

混凝土配合比、施工质量控制及施工工艺等方面进行研究,提出了混凝土施工质量保障关键技术,提高了混凝土质量。

2 混凝土配合比设计及优化

2.1 原材料优选

结合工程实际情况,通过大量的原材料试验和分析,本文提出了长距离输水隧洞衬砌混凝土原材料的关键技术指标,特别是现行规范无明确要求的技术指标见表 1。此项优选结果在工程中应用的效果良好。

表1 原材料关键技术指标

| 材料 | 检测项目 | 规范要求 | 研究成果 |
|--------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 水泥 | 比表面积/(m ² /kg) | 选择性指标, ≥300 | 300 ~ 350 |
| | 28d 抗压强度/MPa | ≥42.5 | ≥46.0 |
| | 铝酸三钙含量 C ₃ A/% | 无明确要求 | <8 |
| | 碱含量/% | 无明确要求 | ≤0.6 |
| 高性能减水剂 | 泌水率比/% | ≤60 | ≤20 |
| | 碱含量(按折固量计) | 无明确要求 | ≤10 |
| | 氯离子含量(按折固量计) | 无明确要求 | ≤0.6 |
| | 硫酸钠含量(按折固量计) | 无明确要求 | ≤5 |
| 粉煤灰 | 规格型号 | 无明确要求 | Ⅱ级以上 F 类粉煤灰 |
| 抗裂防水剂 | 碱含量/% | ≤0.75 | ≤0.60 |
| | 限制膨胀率/% | 水中 7d + 干空 21d ≥ -0.010 | 水中 7d + 干空 21d ≥ 0.00 |

2.2 混凝土配合比优化措施

工程前期建设过程中,气泡、麻面和裂缝等外观质量问题较多,且大量试验结果表明混凝土抗压强度高于设计指标较多,造成资金较大浪费。通过改进外加

剂型号、降低水胶比等措施优化混凝土配合比,混凝土外观质量普遍提高,其中裂缝减少 76.6%、气泡减少 40.0%,经济性更加合理,施工成本降低 824.6 万元,见表 2 ~ 表 4。

表2 配合比优化技术措施

| 原配合比 | 优化措施 | 优化目的 |
|-----------------|-----------------------|---|
| 复合型减水引气剂 | 增加减水剂减水率,引气剂单掺,且加入消泡剂 | 便于外加剂掺量控制,减少气泡产生 |
| 普通抗裂防水剂 | 限制膨胀率及碱含量,最佳掺量 6% | 补偿混凝土收缩,降低裂缝产生概率 |
| 水胶比 0.38 ~ 0.41 | 水胶比 0.35 ~ 0.38,掺加缓凝剂 | 减少单位用水量及水泥量,降低水化热,减少裂缝产生,增强密实度,提高抗渗性,降低成本 |

表3 外观质量检测结果对比

| 项 目 | 配合比优化前 | 配合比优化后 | 优化效果 |
|-----------------------|---------|--------|----------|
| 边顶拱每 100m 裂缝数量/条 | 11.1 | 2.6 | 减少 76.6% |
| 每仓气泡面积/m ² | 14 ~ 16 | 8 ~ 10 | 减少 40.0% |

表4 配合比优化前后成本对比

| 项 目 | 每立方混凝土材料用量/(kg/m ³) | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------------|--------|-------|------|------|-------|--------------|---------------|
| | 水泥 | 粉煤灰 | 抗裂防水剂 | 水 | 外加剂 | 砂 | 小石(5 ~ 20mm) | 中石(20 ~ 40mm) |
| 原配合比 | 327 | 62 | 25 | 153 | 4.19 | 807 | 616 | 410 |
| 优化配合比 | 302 | 82 | 24 | 151 | 4.13 | 792 | 524 | 525 |
| 节省原材料/(kg/m ³) | 25 | -20 | 1 | 2 | 0.06 | 15 | 92 | -115 |
| 工程节约量/t | 30811 | -24649 | 1232 | 2464 | 73 | 18486 | 113385 | -141731 |
| 原材料单价/(元/t) | 408 | 245 | 1650 | 0 | 4250 | 47 | 53 | 53 |
| 节省资金/万元 | 1257 | -604 | 203 | 0 | 31 | 87 | 601 | -751 |
| 合计/万元 | 825 | | | | | | | |

3 混凝土施工质量控制

3.1 质量控制技术措施

研究人员通过调研座谈、现场检查及试验研究,从项目法人第三方检测与混凝土抗压、抗渗、抗冻性能检测频次,允许浇筑时间和冬季施工技术要求等方面提出了混凝土施工质量控制技术措施,特别对现行技术规范没有明确要求的指标予以明确,同时也采取了高于现行规范要求的技术措施^[1-3],见表5。

3.2 质量控制效果

截至2015年年底,研究人员开展了混凝土抗压强度试验检测4886组,检测结果均达到设计强度,强度保证率均在97.7%以上。混凝土抗冻性能累计检测140组,抗渗性能累计检测139组,检测结果合格率达到100%。上述检测成果说明研究人员推荐的混凝土施工质量控制技术措施有效保障了混凝土质量,稳定可靠。各施工作业区抗压强度检测平均值如图1所示。

表5 混凝土质量控制技术措施

| 序号 | 项 目 | 规 范 要 求 | 推荐控制技术措施 | |
|----|-------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1 | 项目法人第三方检测 | 无 | 抽检比例为施工单位自检的1%~2% | |
| 2 | 混凝土抗压强度检测频次 | 大体积混凝土500m ³ 成型一组 | 每仓混凝土取样一组 | |
| 3 | 混凝土抗冻、抗渗检测频次 | 每季度或每个重要部位检测一组 | 每1000m ³ 取样一组 | |
| 4 | 混凝土从搅拌机卸料到浇筑完毕的时间 | 未明确区分是否掺加缓凝剂的允许时间 | 掺加缓凝剂 | 温度低于25℃,允许时间小于180min |
| | | | 不掺加缓凝剂 | 温度高于25℃,允许时间小于150min |
| 5 | 混凝土入模坍落度 | 坍落度大于100mm 允许偏差±30mm | 190±30mm,对拱部混凝土及钢筋密集处不大于220mm | |
| 6 | 冬季混凝土拌和时间 | 90s | 120s | |
| 7 | 冬季混凝土出机口温度 | 不低于5℃ | 10~15℃ | |

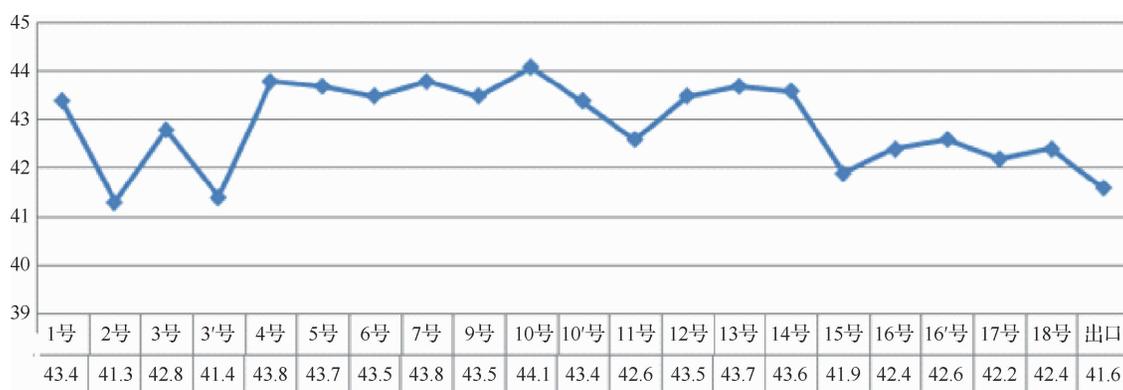


图1 各工区抗压强度检测平均值

4 混凝土施工工艺优化

在进行隧洞边顶拱混凝土浇筑过程中经常出现堵管、浇筑不均匀等现象,造成施工冷缝的出现。为更好保证混凝土浇筑的连续性和均匀性,研究人员研发出一种“边顶拱台车斜溜槽多窗口同时喂料工艺”。该

工艺的核心理念是在衬砌模板台车的顶部增设一个集料斗,集料斗内中部竖直固定一个中隔板,把集料斗分隔成两部分,混凝土从集料斗两侧均匀浇入仓面。该工艺设备结构三维效果图如图2所示。该工艺设备已经获得国家实用新型专利,并在工程中得到了应用。经实践检验,该工艺工序转换快,浇筑时间短,在节省

了大量施工时间的同时也有效提高了衬砌混凝土质量,取得了良好的效果。

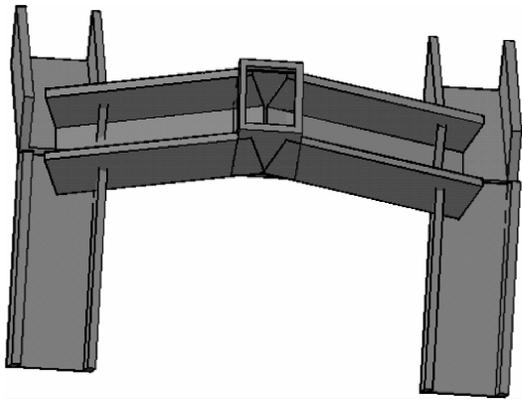


图2 多窗口同时喂料工艺三维效果

5 结论

a. 本文通过混凝土配合比优化研究和施工质量

(上接第45页)

3.3.4 焊接效果分析

试验结果表明,一次合格率100%,每道焊口平均用工68.2工时。人员饱和状态下,最短用时25.1h。

综合分析试验结果表明:V形坡口焊接工艺返修率几乎为0%,1次拍片Ⅱ级及以上100%,其中3号焊缝Ⅰ级片3张、Ⅱ级片6张,Ⅰ级片合格率为33%;4号焊缝Ⅰ级片3张、Ⅱ级片6张,Ⅰ级片合格率为33%;5号焊缝Ⅰ级片4张、Ⅱ级片5张,Ⅰ级片合格率为44%;6号焊缝Ⅰ级片3张、Ⅱ级片6张,Ⅰ级片合格率为33%;7号焊缝Ⅰ级片4张、Ⅱ级片5张,Ⅰ级片合格率为44%;8号焊缝Ⅰ级片4张、Ⅱ级片5张,Ⅰ级片合格率为44%;9号焊缝Ⅰ级片2张、Ⅱ级片7张,Ⅰ级片合格率为22%。焊口检测合格率远高于K形坡口返修后钢管焊口。焊接力学性能试验结果表明接头拉伸强度最大为424MPa,远大于K形坡口焊接强度。通过对9道焊缝进行工效统计分析,每道口所用工时平均为25h,工作效率大大提高。顶管后超声波检测结果也表明钢管坡口形式的变化对焊缝质量影响不大。

保障技术研究,提出了长距离输水隧洞C35W12F200混凝土所用原材料的关键技术指标、优化技术措施和质量控制措施,极大提高了混凝土质量,可为其他工程提供参考。

b. 本文推荐的“边顶拱台车斜溜槽多窗口同时喂料工艺”切实提高了混凝土施工效率,保障了混凝土施工质量,实现了隧洞混凝土衬砌的工艺创新。◆

参考文献

- [1] SL 677—2014 水工混凝土施工规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2014.
- [2] SL 352—2006 水工混凝土试验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [3] SL 632—2012 水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准——混凝土工程[S]. 北京:中国水利水电出版社,2012.

综合分析表明,通过对钢管坡口形式的改变及焊接工艺的完善,焊接质量得到明显改善,焊缝力学性能也相应提高,工效方面由原来的33h缩短至25h。

4 结论

K形坡口焊接对焊工技术要求较高,受焊缝立面限制,不方便施焊,焊枪角度不好控制,极易造成未焊透等缺陷。K形接口清根时,内部杂质很难全部清理干净。K形坡口焊接工艺返修率高,返修后焊接质量达到Ⅰ级片的概率很小。K形坡口钢管每道焊口平均用工109工时。在人员饱和情况下,每道口所用工时平均为33h,焊接时间长,劳动强度大,极易造成焊接质量的不稳定。

V形坡口焊接工艺返修率几乎为0%,一次拍片Ⅱ级及以上100%,焊接接头拉伸强度大于K形坡口焊接强度。V形坡口钢管每道焊口平均用工68工时。人员饱和状态下,最短用时25h,工作效率大大提高。顶管后超声波检测结果表明钢管坡口形式的变化对焊缝质量影响不大。◆