

辊压法预制管涵施工工法的分析与应用

何巨, 杨彤彤, 刘旭东

(中交一航局第一工程有限公司)

摘要:为解决南太平洋岛国预制管涵施工中成品质量不稳定和施工成本较高的问题,以巴布亚新几内亚某公路改造项目为例,对辊压离心施工技术原理和施工流程详细分析;结合工程实践中出现的质量问题,提出了相应的工艺优化方案,进一步改进了施工质量。从而验证辊压法在提升生产效率、加强质量控制和节约成本方面的应用效果良好。最终研究结果表明,辊压离心施工工法在南太平洋岛国管涵工程中具有显著的应用价值,为预制混凝土管涵后续大规模施工提供了一定的参考和经验。

关键词:悬辊法;干硬混凝土;预制管涵;施工工法;承载力测试

0 引言

预制混凝土涵洞广泛应用于市政排水、公路涵洞及防洪工程,其施工质量和效率直接关系到工程的整体性能。针对预制管涵制作方法,国内外学者研究主要在离心法、芯模振动法等方面,虽然适用于不同管径、不同类型的涵洞,但在设备复杂程度、能耗、工期效率等方面存在明显的局限性^[1]。随着“一带一路”沿线基础设施项目的推进,很多工程项目面临着规模小、工期紧、设备调度难等挑战,特别是在南太平洋地区的小管径管道施工项目中,施工工序的简化和优化显得尤为重要^[2]。

悬辊法因工艺简单、效率高、适应性强而受到关注。该法将悬辊机的碾压与离心作用相结合,使干硬性混凝土在短时间内达到较高的致密性,生产出强度和耐久性优异的涵洞产品^[3]。本文结合巴布亚新几内亚某公路项目的实际应用和澳标,详细论述了悬挂压路机法施工原理及工艺流程,分析了其在提高生产效率、降低成本、保证质量控制方面的优势,并针对施工质量问题提出了改进建议,旨在为南太平洋地区同类工程的实施提供科学依据和实践参考。

1 工程概况

本工程为巴布亚新几内亚西高地省某高地公路升级改造项

目,工程桩号为 K0+000—K13+760,总长约 13.76 km,包含机场支路 1.2 km。

本工程共设计钢筋混凝土管涵 14 处,其中 DN900 管涵 9 处(Class 3 管节 28 节,Class 4 管节 69 节),DN1050 管涵 3 处(Class 3 管节 11 节,Class 4 管节 11 节,Class 6 管节 19 节),DN1200 管涵 2 处(Class 3 管节 20 节)。工程需建设雨水井 508 个,雨水井与排水沟间通过 DN300 素混凝土圆管连接,共需 DN300 管 1 250 节。大、小路口 162 处均采用 Class 3、DN600 的钢筋混凝土管,共需 730 节。综上所述,本工程共需要预制混凝土管 2 160 节,其中包含压载试验用管 22 节。

2 工艺原理及技术特点

悬辊法的管涵制作工艺最早应用于混凝土管道的生产,随着技术的不断成熟,该工艺在管涵生产中的应用逐渐增多。国外相关研究表明,悬辊法制作工艺可以有效提高预制构件的密实度和强度^[4]。

2.1 悬辊工艺成型原理

采用悬辊机通过电动机的带动和摩擦使滚轴和挂在机具滚柱上的模型共同旋转,并借助钢模旋转时产生的离心力,将投入钢模中的干硬混凝土均匀地粘结在铸型的内壁上。随喂料量的增大,壁厚变大,到了一定程度后,浇口与悬辊分离。然后停止进料,升高轧辊的旋转速度(1 200 r/min),使混凝土的离心力增加。在这种情况下,混凝土与转动的滚柱直接接触,靠着滚柱和混凝土的摩擦,使其不断地转动,而辊轴则对内壁的混凝土

重复滚压。利用离心力和辊压的双重效应,可使混凝土在 6~8 min 内达到所需的密实度,同时得到光滑的内外表面^[3]。

2.2 混凝土配合比设计

采用悬辊法生产管涵时,必须使用干硬性混凝土,坍落度在 10 mm 以内,其流动性以维勃稠度来反映,通常水灰比在 0.3~0.36 之间^[5]。

2.2.1 原材料的技术要求

水泥:应尽可能地选用低水化热和低膨胀的水泥。

细粒级配:尽量选用中、粗集料,粒径均匀,泥含量低。拟用细集料颗粒级配要落在颗粒级配上下限之间,见图 1。粗骨料粒径要严格控制,不能超过 1%;颗粒大小要按管涵的大小确定,要有较低的吸水率和较好的级配。

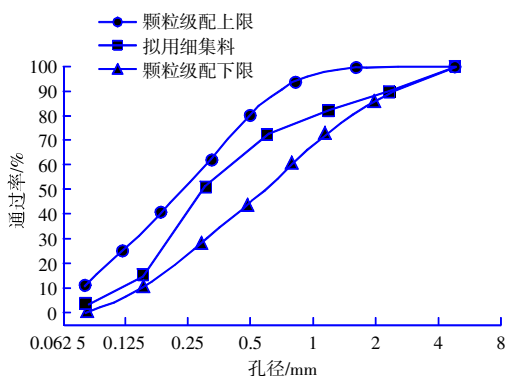


图 1 颗粒级配曲线图

2.2.2 配合比设计

1) 确定混凝土试配强度 $f_{cu,0}$

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + 1.645\sigma \quad (1)$$

式中: $f_{cu,k}$ 为混凝土强度标准值, MPa; σ 为混凝土强度标准差, MPa。

水灰比可根据混凝土标准强度确定,取值范围宜为 0.3~0.36。

2) 确定混凝土水用量 m_{w0}

根据拌合物的维勃稠度确定混凝土用水量。

3) 计算混凝土水泥用量 m_{c0}

$$m_{c0} = \frac{m_{w0}}{W/B} \quad (2)$$

式中: W/B 为水灰比,其中 W 为水的质量, B 为水泥的质量。

4) 计算混凝土粗、细骨料用量(质量法)

$$m_{g0} + m_{s0} = m_{cp} - m_{c0} - m_{w0} \quad (3)$$

$$\beta_s = m_{s0} / (m_{g0} + m_{s0}) \times 100\% \quad (4)$$

式中: m_{g0} 为混凝土粗骨料用量, kg/m^3 ; m_{s0} 为混凝土细骨料用量, kg/m^3 ; m_{w0} 为混凝土水用量, kg/m^3 ; m_{cp} 为拌合物假设量,一般范围为 2 350~2 450 kg/m^3 ; β_s 为砂率,一般取值为 36~38%。

代入数值,可计算 m_{s0} 、 m_{g0} 。

5) 配合比确定

在设计干硬性混凝土的配合比时,首先应确定最佳级配和砂率。由于干硬性混凝土用水量少、水泥用量也少,粗骨料组分多,因此,在提高混凝土密度的同时强度和耐久性也有所提高^[6]。

3 施工工艺及质量检测

3.1 施工工艺流程

采用悬辊法的管涵制作施工流程图如图 2。

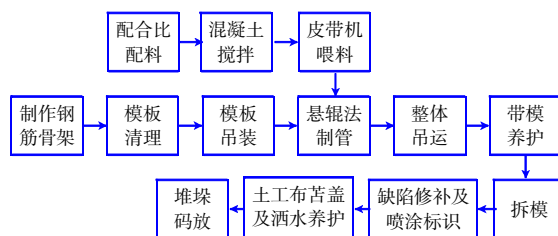


图 2 悬辊法管涵制作流程图

3.2 悬辊法制管操作要点

3.2.1 钢筋骨架制作加工

钢筋加工前需清理表面的油脂和铁锈,调直与裁断严格按图纸下料。将钢筋放置于滚焊机丝架上(见图 3),调整环形筋的直径和螺距后启动滚焊机焊接,确保焊点不扭曲。焊接完成后检查钢筋骨架尺寸及焊接牢固性,搬运和提升过程中避免钢筋笼变形。钢筋保护层垫块分层布置,每管道放置 3~6 组垫块,每组 4 个,骨料粒径不大于 10 mm,混凝土垫块需水养 7 d 以上后晾干使用。在钢筋骨架末端设置焊接垫块,确保保护层厚度满足设计要求。



图 3 钢筋滚焊机

3.2.2 配合比配料

混凝土选用 N40 干硬性混凝土, 其性能指标应满足标准^[7]要求。采用试验室认可的拌合料, 按试验室认可的配合比进行现场拌和试验, 以满足施工需要。从工程实践中可以看出, 对于不同管径、不同部位的混凝土, 其水灰比有一定的要求。为此, 进行管涵预制时, 要针对各个部分的具体条件进行适当的调整, 水灰比宜控制在 0.30~0.36 之间。

3.2.3 混凝土拌和

使用强力搅拌机搅拌, 搅拌时间 120~150 s。拌和过程中, 要保证配合比的精确, 粗、细骨料之间的偏差小于±2%, 水、水泥用量的偏差小于±1%。

3.2.4 模板清理及涂刷脱模剂

首先用配有钢丝刷的角磨机对其进行研磨, 研磨完毕后, 再用清洁的土工织物擦去尘土, 以保证表面清洁。接着均匀地涂上脱模剂。为防止后期脱模困难, 特别是 DN300 钢管, 应适当加大脱模剂用量。

3.2.5 模板拼装与吊装

起吊时, 首先要保证安全性。然后, 将钢筋笼装入模板内, 检查保护层的厚度。安装上箱盖, 旋紧螺钉, 每个螺钉均应检查 2 遍, 确保拧紧。模板的安装要紧密, 无漏浆。同时, 检查各部位的尺寸及保护层厚度, 确认满足设计要求后, 由吊机将其提升至悬辊机。

3.2.6 悬辊机制管

首先, 利用送料器对套管端部进行填充, 挤压末端的钢筋; 然后, 将输送管的端部送入。为保证接头处混凝土的密实度及均匀性, 水灰比宜控制在 0.30~0.36 之间。

对管体进行均匀布料, 将布料分 2 层进行充填。为了便于滚轧时出浆, 涵体外部的的水灰比应该略大一些, 推荐为 0.36, 这样才能使涵体外表密实、平滑, 没有气泡和麻面; 为保证成型效果, 防止浇筑后混凝土塌落、浇筑时上部混凝土与铸模脱离, 宜适当减小水灰比为 0.32~0.33。

当填充物的厚度超出管口模 5 mm 时, 停止填充。填充完毕后, 滚压时间不能太久, 否则会增加钢筋笼的变形几率, 而且由于管口与滚柱的长期摩擦, 会引起混凝土开裂。喂料过程中从模板中散落下来的混凝土不经重新搅拌不得使用。悬辊轴转速和辊压时间可参照表 1 要求。

表 1 辊压方式一览表

| 管涵类型 | 悬辊轴转速/(r·min ⁻¹) | | 辊压时间/min |
|--------------|------------------------------|-------|----------|
| | 喂料 | 悬辊 | |
| φ300×2 440 | 650 | 1 250 | 7.5 |
| φ600×2 440 | 650 | 1 250 | 7.5 |
| φ900×2 440 | 700 | 1 200 | 7.5 |
| φ1 050×2 440 | 650 | 1 100 | 7.0 |
| φ1 200×2 440 | 450 | 1 050 | 7.0 |

3.2.7 带模养护

在轧制完成后, 不要立即将模具从轧辊上取下, 需放置 15~20 min, 以保证混凝土的干燥硬化程度, 防止在吊装过程中, 浇口的混凝土脱离铸模。停稳后, 可用手指按压管上的混凝土, 了解混凝土干硬性。

成型好的模板用吊车慢慢吊起, 送到养护区, 用土工织物封闭。施工期间, 需要经常浇水, 使管道内壁保持潮湿, 才能达到较好的养护效果。

3.2.8 拆模

采用悬辊法生产的管涵, 需带模温养 24 h 以上, 经测试其强度满足脱模要求后, 才能脱模。在拆除模具时, 要特别注意避免与外部的撞击。拆除模具后, 要对管模、合缝口及挡环等全面清洗, 保证不留有任何杂物。将隔离剂均匀地涂在模板内壁、合缝口和挡环内壁上, 以确保后续施工的顺畅。

3.2.9 养护

拆除模板后需继续养护。在管道的末端用土工织物封闭, 再将管道盖上。养护期间, 定期浇水, 使内外均处于潮湿状态, 至少养护 6 d。

3.2.10 喷涂标识及堆放码放

产品标签一般包括制造商、制造日期、直径、重量、使用的标准。起吊、堆放时, 要用吊索吊挂; 用木楔将相邻的管道分隔开来。在堆放时, 要使喷涂标识的一面向上。同时, 对堆放场进行分区规划, 将不同规格、不同强度等级的管道分别放置, 便于管理和安全。

3.3 质量检测

AS/NZS 4058: 2007, Precast concrete pipes(pressure and non-pressure)^[8]中预制管涵检测需求主要为保护层厚度、尺寸偏差、承载力和极限承载力检测。本文着重介绍承载力和极限承载力检测。

在载荷试验中, 以液压千斤顶为加载装置。液压千斤顶所需要的压力, 可以通过文献[8]中列

出的各种型号、各种规格的管道所能承受的极限载荷逆向计算。然后,用室内压力计标定液压千斤顶压力计的读数,由此得到与压载测试载荷相

对应的压力计读数。

荷载检测试验方法参考文献[8],为了压管试验的需要,必须提前预制图 4 所示的试验平台。

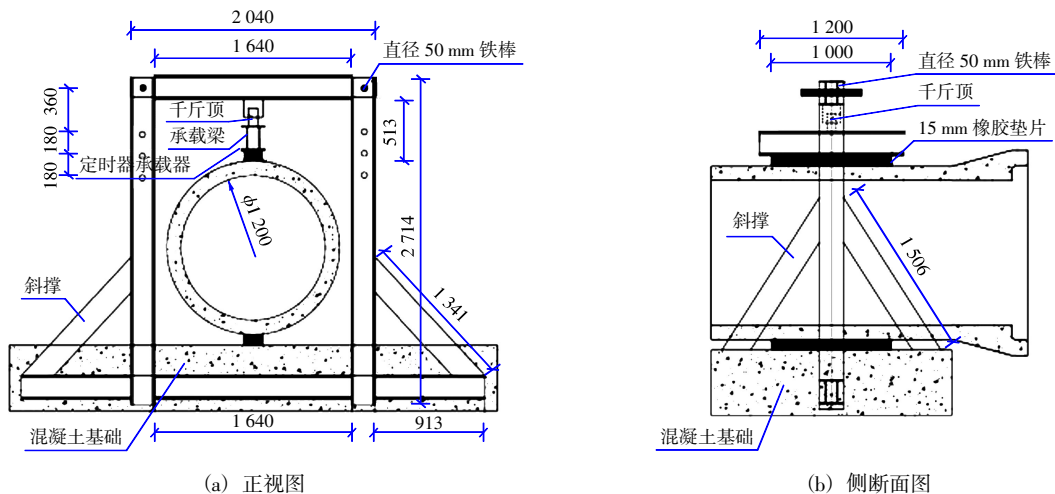


图 4 承载力试验反力架结构示意图

3.3.1 承载力试验

当管道被安放在试验台上之后,需要把负荷提高到合适的程度,并维持。在这段时间里,要对管道内外有无裂纹和裂纹的最大宽度进行测定。之后移除测试负荷,并重新测量加固混凝土管道,以记录卸载后剩余的裂纹宽度。

若在测试荷载作用下,发现明显的裂纹宽度大于 0.05 mm 或大于管涵长度的 1/2,或者整个管壁都被破坏,则判定为不合格。

对于钢筋混凝土管,在试验载荷和拆除试验载荷后,选择和测量钢筋混凝土管中的最大裂缝,见表 2。

1) 在管道表面以下深度小于 3 mm 处遇到阻碍,则裂缝的宽度应小于塞尺的厚度,并应将管道报告为符合要求;

2) 在任何 6 个相邻的连续测量点处遇到深度

表 2 裂缝尺寸评定表

| 指定保护层厚度 c | 塞尺厚度 mm | |
|---------------------|------------|--------|
| | 管负载 | 卸载后的管道 |
| $c < 10$ | 0.15 | 0.10 |
| $10 \leq c \leq 20$ | 0.20 | 0.15 |
| $c > 20$ | 0.25 | 0.20 |

大于 3 mm 的管道表面以下的阻碍,则裂缝应视为大于试验裂缝,并且管道应报告为不合格。

3.3.2 极限承载力试验

把管道放到试验台上后,加载的荷载应至极限荷载。如果管道在承受极限荷载时没有荷载损失,那么管道就被视为满足了承载能力测试的要求;反之,其极限承载力试验不合格。在该项目中总共对 22 个不同管径不同等级的管涵进行了极限承载力测试,部分对比结果见表 3。

表 3 部分管涵极限承载力对比表

| 管径 | Class 3 | | Class 4 | | Class 6 | |
|--------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 标准值/(kN·m ⁻¹) | 实测值/(kN·m ⁻¹) | 标准值/(kN·m ⁻¹) | 实测值/(kN·m ⁻¹) | 标准值/(kN·m ⁻¹) | 实测值/(kN·m ⁻¹) |
| DN300 | 34 | 37 | — | — | — | — |
| DN900 | 84 | 86 | 111 | 113 | — | — |
| DN1050 | 95 | 96 | 126 | 128 | 158 | 159 |
| DN1200 | 104 | 109 | — | — | — | — |

通过实测值与标准值对比可以发现:通过悬辊法制造的管涵极限承载力均满足文献[8]中的要求,这也验证了悬辊法的可行性。

4 应用效果

根据已完成的管涵预制工作,从现场预制的操作性、施工效率、管涵质量、成本对比等方面

进行分析,得出如下结论:

1) 悬辊法辊压制管操作性强,普通属地劳工2~3 d即可熟练掌握操作技能;

2) 施工效率高,每节管涵预制从喂料到结束静置吊离辊轴的时间为30~45 min;

3) 管涵质量有保证,管涵的外观质量良好,各型号尺寸及强度等级的管涵其荷载试验均满足且高于设计及文献[8]要求;

4) 其预制成本远低于当地市场的采购价格,同时自供自给的生产模式避免因第三方的供货周期及质量等问题造成的窝工现象。

5 质量问题及预防措施

通过此实例反映出来的缺陷主要集中在以下几方面:

1) 悬辊制管机送料皮带容易断裂。解决措施为将送料皮带机的辊轴替换成直径为100 mm的辊轴(厂家提供的皮带机辊轴为50 mm);

2) 承插口内壁漏浆、蜂窝等缺陷的产生,其原因是管壁厚而密闭,不利于气泡的排除。可以考虑加大混凝土的水灰比,在同一根管上同时使用2种水灰比,并使承插管的水灰比大于管体,使软质材料更容易被挤进管头。同时,骨料粒度要适中,要保证合理的级配,防止相同尺寸的小石子过多或过少,防止出现蜂窝;

3) 钢管外表面出现麻面和不平整,其原因主要是由于混凝土在模膛内壁的干燥浆液所致。为此,拆除模后的预制管节,需要用钢丝刷对模内壁进行清扫,并将隔离剂均匀地涂上。此外,由于水灰比的控制不当,也会引起混凝土的干燥,所以在施工时要严格控制水灰比^[9];

4) 钢筋笼放入模具前必须检查其尺寸,长度太大或直径不当都会导致混凝土疏松。此外,在滚轧工艺中,钢筋骨架未焊牢或未焊透也会造成缺陷。正确的做法是用滚焊机将钢筋骨架制成后,逐一进行焊接;投料的时间要短而均匀,以免出现抖动;清洁辊轴的旋转速度与时间的控制,不能超出规定的范围;

5) 成形后管节内壁出现收缩裂纹的问题。一是生产时操作不当,管壁达到密实状态后,由于使用不当,造成了管节内壁的收缩开裂,因此需要操作者严格遵守规范。二是养护不到位,控制

养护时间并保持管内湿润,保证混凝土水化过程中,有足够潮湿的环境^[10];

6) 针对DN300管涵拆模过程中,由于管壁只有3 cm厚的素混凝土管,在没有高温蒸养的情况下,其抗拉强度较低,容易产生裂纹。处理办法是将DN300管道拆除模具的时间延长到48 h,并且在承插式模板上涂上少许黄油。

6 结语

通过研究证明在小管径管道工程中采用悬辊法预制管涵具有显著的操作性和经济性,生产效率高。并且通过对混凝土配合比、钢筋骨架制作和保护层厚度的检测可保障质量。由此可见,该工法在南太平洋地区的小规模工程中具备良好的适用性,可为类似工程项目提供指导。然而,悬辊法在实际应用中也暴露出一些问题,如设备维护和工艺参数控制的不足,这些问题需要通过设备优化和施工人员培训来解决。未来的研究方向可集中于混凝土材料配比的进一步优化、设备标准化设计以及智能化施工技术的引入,以进一步提升施工质量和效率。悬辊法在预制管涵施工领域具有广阔的发展前景,为管道工程质量的提升和成本的控制提供了重要的技术支持。

参考文献:

- [1] 谭冬莲. 高等级公路中钢筋混凝土圆管涵受力性能理论与试验研究[D]. 长沙:湖南大学,2002.
- [2] 2020年度水泥混凝土管涵行业发展报告[J]. 混凝土世界,2021(2):15-21.
- [3] 郑华. 对钢筋混凝土管涵施工工艺的探讨[J]. 黑龙江科技信息,2010(15):246.
- [4] ERKINARO J, ERKINARO H, NIEMELÄ E. Road culvert restoration expands the habitat connectivity and production area of juvenile Atlantic salmon in a large subarctic river system[J]. Fisheries Management and Ecology, 2017, 24(1):73-81.
- [5] 马运朝, 李修坤, 王双喜. 钢筋混凝土圆管涵管壁混凝土强度的试验研究[J]. 中外公路, 2019, 39(2):181-185.
- [6] 郭傲, 赵铁军, 刘洪珠, 等. 干硬性混凝土力学及吸水性能研究[J]. 混凝土, 2015(4):41-43, 48.
- [7] AS/NZS 3600:2018, Concrete structures[S].
- [8] AS/NZS 4058:2007, Precast concrete pipes (pressure and non-pressure)[S].
- [9] 崔升波, 李贵清. 高等级公路圆管涵开裂原因及防治措施[J]. 中国新技术新产品, 2009(3):63.
- [10] 张广. 钢筋混凝土圆管涵开裂原因分析[J]. 公路交通科技, 2006(3):133-135.