

# 澳标下悬辊机辊压离心预制管节施工工艺

孙建强, 苏义如, 王安

(中交一航局第一工程有限公司)

**摘 要:** 依托巴布亚新几内亚车道升级改造项目, 针对悬辊机辊压离心预制管节施工展开了工艺研究, 由于当地没有专业管涵预制场, 项目不同直径管涵均需自行预制。传统方法是混凝土需要手动倒入成型模具内, 且需要通过人工将混凝土摊平, 这样添加混凝土存在较高的危险性且效率较低。根据当地实际情况, 结合国内施工经验, 本项目采用悬辊机辊压离心预制管节施工技术。经实践, 该工艺具有成型速度快、成品合格率高、安全环保等优点, 能有效提高生产效率和节约成本, 可为同类项目工程积累经验, 具有借鉴指导意义。

**关键词:** 澳洲标准; 悬辊机; 离心预制; 施工工艺

## 1 项目概况

巴布亚新几内亚西高地省高地公路凯尔特格路口至芒特哈根机场路段四车道升级改造项目位于巴新西高地省, 起始于凯尔特格路口, 横穿西高地省会 MT. Hagen(芒特哈根市), 终止于芒特哈根机场。道路设计为双向四车道, 主线起讫里程桩号为 K0+000—K13+760, 总长约 13.76 km。

本工程共设计有钢筋混凝土管涵(Reinforced Concrete Pipe Culvert, 简称 RCP)14 道, 其中 DN900 的管涵 9 道, DN1050 的管涵 3 道, DN1200 的管涵 2 道; 雨水井与排水沟之间通过 DN300 的素混凝土圆管涵连接, 共计需要 Class3 级(该等级为澳标 AS4058 中要求, 静水压力 600 kPa)DN300 的混凝土管 1 250 节; 过路管采用强度等级为 Class 3, 直径 DN600 的钢筋混凝土管共计 730 节。另外加各种管径试验用管 22 节, 总计 2 160 节。结合现场施工进度及管涵预制成本综合考虑, 选用悬辊法工艺进行管涵预制, 所用混凝土为干硬性混凝土。

## 2 工艺特点及适用范围

1) 研制了一种适用于澳标条件下采用干硬性混凝土进行管节预制的施工工艺, 节约水泥用量, 提高了预制管节质量及模板周转率。

2) 悬辊机辊压离心预制工艺生产混凝土圆管涵成型速度快、成品合格率高、安全环保, 有效提高生产效率, 节约成本。

3) 该悬辊法适用于各种尺寸的钢筋混凝土圆管涵预制, 尤其适用于境外澳标条件下预制管节

施工, 同时对于其他干硬性混凝土的施工具有一定的指导意义。

## 3 工艺原理

### 3.1 悬辊工艺成型圆管涵原理

悬辊工艺成型的方法主要是在辊压力的作用下使混凝土密实成型, 利用悬辊机在电机的驱动下, 使辊轴与套在悬辊上的模具在摩擦力的作用下一起转动, 再利用钢模转动时的离心力, 使投入钢模内的干硬性混凝土均匀地附着在模具内壁上。随着投料量的增加, 混凝土管壁逐渐增厚, 当该厚度超过模口时, 模口便离开悬辊。此时停止供料, 提高辊轴转速(1 200 r/min), 增大混凝土的离心力。混凝土与旋转的辊轴直接接触, 模具依靠辊轴与混凝土之间的摩擦力继续旋转, 同时辊轴又对管内壁混凝土反复辊压。在离心力与辊压力的双重作用下, 混凝土能在较短的时间内达到要求的密实度, 并能获得光洁的内表面及外表面。预制混凝土管涵成品模型如图 1 所示。



图 1 预制混凝土管涵成品模型

### 3.2 干硬性混凝土特征

干硬性混凝土是指拌合物坍落度小于 10 mm 且须用维勃稠度表示其稠度的混凝土。用维勃稠度可以合理表示坍落度很小甚至为 0 的混凝土拌

合物稠度,GB 50164—2011《混凝土质量控制标准》中维勃稠度等级划分见表 1<sup>[1]</sup>。

表 1 混凝土拌合物的维勃稠度等级划分

等级	维勃时间/s	备注
V0	≥31	特干硬
V1	21~30	很干稠
V2	11~20	干稠
V3	6~10	低塑
V4	3~5	塑性

本项目采用悬辊工艺预制圆管涵,为保证构件成型,混凝土采用 V0 级特干硬性混凝土。

4 施工过程

4.1 施工工艺流程

悬辊制管技术主要分为干硬性混凝土配合比设计、搅拌及养护、钢筋及模板系统、悬辊法离心制管等工艺,施工工艺流程见图 2。

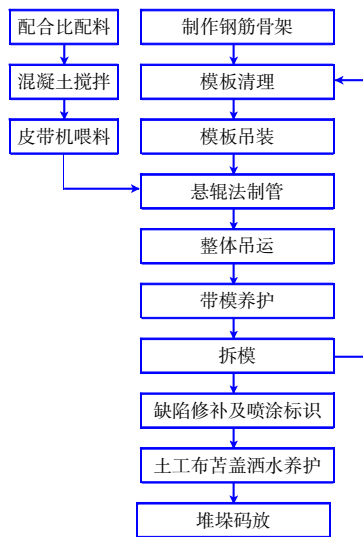


图 2 悬辊制管工艺流程图

本工艺流程是根据项目所在地特殊环境结合国内制管方法改进形成,吊装、拆模无需大型机械设备,同时降低人工使用率。

4.2 操作要点

4.2.1 钢筋骨架制作加工

将钢筋放置在滚焊机丝架上,按间距调节好环筋直径及螺距,开动滚焊机开始焊接钢筋骨架;钢筋笼在滚焊时,需采用手动调节点焊的方式,控制首圈螺距小于 3 cm;钢筋保护层垫块分层均匀布置,单节管中垫块布置 3~6 组;在钢筋骨架的端头处加焊垫块,确保在布料过程中,钢筋骨架在沿管轴线方向能够固定,从而确保端头处保

护层厚度满足要求。

4.2.2 干硬性混凝土配合比配料

采用普通硅酸盐水泥,均在项目所在地采购,砂石为项目自建碎石料场生产。砂石除提出以下要求外,其他方面的要求与塑性混凝土一样。本工程使用 5~13.2 mm 的粗集料(含泥量不得大于 1%)<sup>[2]</sup>。使用混凝土为澳标 AS/NZS-36000 中的 N40 干硬性混凝土<sup>[3]</sup>(同国标 V0 级特干硬性混凝土)。每 1 m<sup>3</sup>混凝土中材料用量为:水泥 486 kg、水 162 kg、砂子 664 kg、5~13.2 mm 的碎石 1 130 kg。管涵预制过程中,根据不同部位适当调节混凝土水灰比,但水灰比不超过 0.4<sup>[4]</sup>。

4.2.3 混凝土拌和

混凝土拌和应均匀,拌合时间必须严格控制在 120 s 左右。在混凝土拌和前,进行骨料含水率的测定,据此调节满足现场需求的配合比。

4.2.4 模板清理及涂刷脱模剂

管涵模板由上下 2 片半圆和堵头组成。模板使用前仔细清除表面水泥浆、油污、锈迹等其他杂物,使用装有钢丝刷的角磨机进行打磨,打磨完成后擦拭灰尘,并均匀涂抹脱模剂。

4.2.5 模板拼装与吊装

将钢筋笼吊装放置到模板内,检查钢筋保护层厚度,封闭上盖,紧固螺栓。将模板用吊机吊至悬辊机上。

4.2.6 悬辊机制管

启动悬辊机,等待模具达到供料转速后,方可启动供料机。先用供料机对插口端填料,压住尾端钢筋;再对承插端进行供料,承插端的混凝土水灰比稍大(水灰比 0.38 为宜),以保证承口端料的密实均匀。然后进行涵身均匀布料,涵身布料共分 2 层填充,涵身外侧的水灰比宜稍大(水灰比为 0.36),用于辊压过程中出浆,保证管涵外表面密实、光滑、无气泡及麻面;涵身内侧的水灰比宜稍小(水灰比为 0.32~0.33),主要用于成型,避免辊压完成后出现坍塌及顶部混凝土与模具分离。

当填料厚度超出管口模具 5 mm 时停止填料。填料结束后的净辊压时间不宜过长,时间越长,钢筋笼变形概率越大,且管口处模具因长时间与辊轴摩擦温度升高导致管口处混凝土干裂。供料过程中从模板中散落混凝土不经重新搅拌不得使用。碾压方式如表 2 所示。

表 2 碾压方式一览表

管节直径/ mm	管节长度/ mm	悬辊轴转速/(r·min <sup>-1</sup> )		碾压时间/ min
		供料	定型	
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

#### 4.2.7 带模养护

净辊压结束后,需静置 15~20 min,确保混凝土干硬,避免发生吊离后顶部混凝土与模具分离。按压管涵顶部混凝土干硬后,用吊车将已成型的模板慢慢吊至养护区域,进行带模养护,并用土工布封住两端,养护过程保持管内潮湿。

#### 4.2.8 拆模

因巴新西高地区域气温常年在 15~20 ℃,故带模养护时间 24 h 后即可拆模,将完成养护的模板吊至拆模区。

#### 4.2.9 缺陷修补

拆模后,RCP 管常见的表观缺陷主要有:麻面、承插口气泡、拆模过程中造成的磕碰。1) 针对承插口气泡:使用调配好色差的白水泥、黑水泥(白水泥:黑水泥=1:2)、水、修补胶(水:修补胶=1:4)拌和的水泥浆进行填充、刮平(水灰比为 1),5~10 min 后用土工布擦拭及砂纸打磨。2) 针对拆除模板过程中的磕碰:使用调配好色差的水泥砂浆进行修补(水:修补胶=4:1),用小片的塑料布、土工布和胶带进行密封养护,完成后用砂纸打磨。

#### 4.3 质量检测

根据澳标规范 AS/NZS-4058 对预制的管涵进行检测,检测内容包括:保护层厚度检测、尺寸检测、承载力检测、极限承载力检测。

##### 4.3.1 钢筋保护层厚度检测

根据 AS/NZS-4058 中规定,钢筋混凝土保护层厚度偏差(不包括环筋端头保护层和纵向钢筋端部)应不大于表 3 中给出的值。

表 3 钢筋保护层厚度允许误差

mm		
管道设计直径 $d$	排水及污水管道	受力管道
$d < 600$	$\pm 7$	$\pm 5$
$600 \leq d < 1\ 200$	$\pm 8$	$\pm 7$
$1\ 200 \leq d < 1\ 650$	$\pm 10$	$\pm 10$
$d \geq 1\ 650$	$\pm 13$	$\pm 13$

##### 4.3.2 尺寸检测

根据 AS/NZS-4058 中规定,内径与外径偏

差、壁厚、有效长度、管道端部垂直度偏差均应满足规范要求。

##### 1) 内径与外径偏差

内径的单独测量值不得超过以下偏差<sup>[5]</sup>:设计直径小于或等于 1 200 mm,内径单独测量值偏差不得超过 10 mm,设计直径大于 1 200 mm,内径单独测量值偏差不得超过 15 mm。

内径和外径应通过 2 个相互成直角的测量来确定,测点到两端管口距离为 200 mm。对于承插口型的管涵,承插口处的第 1 个测点应距离承插口与圆筒相交点 200 mm。应取 6 个值的平均值。内径与外径不得与指定的设计直径相差超过表 4 中偏差。

表 4 直径允许偏差

mm		
管道设计直径 $d$	排水及污水管道	受力管道
$d < 600$	$\pm 7$	$\pm 5$
$600 \leq d < 1\ 200$	$\pm 8$	$\pm 7$
$1\ 200 \leq d < 1\ 650$	$\pm 10$	$\pm 10$
$d \geq 1\ 650$	$\pm 13$	$\pm 13$

##### 2) 壁厚测量

壁厚通过直接测量确定。壁厚应通过管筒进行 2 次测量,相互成直角,距离管道两端 200 mm。壁厚取 4 个值的平均值。壁厚允许偏差见表 5。

表 5 壁厚允许偏差

mm	
设计壁厚 $t$	允许误差
$t < 30$	-2,+5
$30 \leq t < 50$	-3,+5
$50 \leq t < 65$	-4,+5
$65 \leq t < 75$	$\pm 5$
$75 \leq t < 95$	$\pm 6$
$95 \leq t < 115$	$\pm 7$
$115 \leq t < 135$	$\pm 8$
$135 \leq t < 155$	$\pm 9$
$t \geq 155$	$\pm 10$

##### 3) 有效长度

有效长度偏差不得超过设计指定值 $\pm 15$  mm。有效长度应通过沿着圆筒测量,在内圆周的 1/3 点的每一处测定,并取 3 个值的平均值。

##### 4) 管道的端部垂直度

管道的端部垂直度应通过测量 3 个相隔 60°的外部端头直径的平均值确定。允许偏差见表 6。

表 6 管道端部垂直度允许偏差

设计直径 $d$	允许值
$d<450$	+2
$d\geq 450$	$d/200$ 或 10

4.3.3 承载力和极限承载力检测方法

依据澳标 AS/NZS-4058 附录 C 所示荷载检测试验方法<sup>[6]</sup>, 预制试验平台, 用以进行压管试验。  
试验平台如图 3(a)所示, 压管试验如图 3(b)所示。

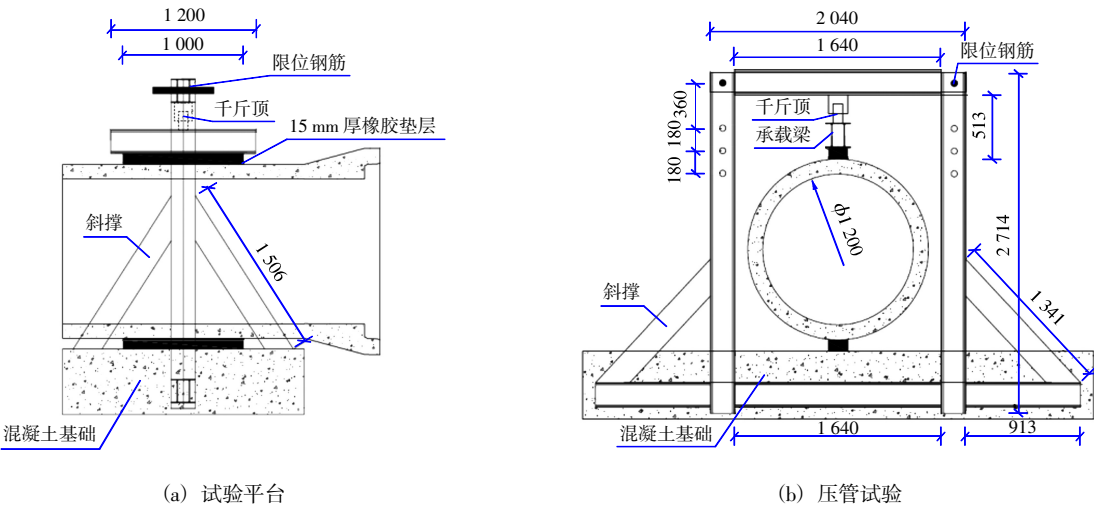


图 3 荷载检测试验

荷载试验使用油压式千斤顶进行加载。根据澳标 AS/NZS-4058 所示的不同等级的各尺寸管涵所需承受的极限荷载(见表 7), 反算出油压千斤顶所提供的压强; 并通过试验室压强测定仪对

油压千斤顶压力表读数进行率定, 进而得出压载试验荷载值对应的压力表读数。根据澳标所示荷载值<sup>[6]</sup>及率定后油压表的读数, 计算出荷载试验所对应的压力表读数, 见表8。

表 7 承载力数值表

DN/mm	Class 2(X)/MPa		Class 3(Y)/MPa		Class 4(Z)/MPa		Class 6/MPa		Class 8/MPa		Class 10/MPa	
	普通荷载	极限荷载	普通荷载	极限荷载	普通荷载	极限荷载	普通荷载	极限荷载	普通荷载	极限荷载	普通荷载	极限荷载
100	13	20	20	30	26	39	—	—	—	—		
150	13	20	20	30	26	39	—	—	—	—	—	—
225	14	21	21	32	28	42	—	—	—	—	—	—
300	15	23	23	34	30	45	45	56	60	75	75	94
375	17	26	26	39	34	51	51	64	68	85	85	106
450	20	30	30	45	40	60	60	75	80	100	100	125
525	23	35	35	52	46	69	69	86	92	115	115	144
600	26	39	39	59	52	78	78	98	104	130	130	163
675	29	44	44	65	58	87	87	109	116	145	145	181
750	32	48	48	72	64	96	96	120	128	160	160	200
825	35	52	52	78	69	104	104	129	138	173	173	216
900	37	56	56	84	74	111	111	139	148	185	185	231
1 050	42	63	63	95	84	126	126	158	168	210	210	263
1 200	46	69	69	104	92	138	138	173	184	230	230	288

表 8 20 t 千斤顶压力表读数表

管节直径/ mm	Class 3/MPa		Class 4/MPa		Class 6/MPa	
	普通 荷载	极限 荷载	普通 荷载	极限 荷载	普通 荷载	极限 荷载
φ300	13.8	20.8				
φ600	23.9	36.6				
φ900	34.7	52.3	46.0	69.4		
φ1 050	39.1	59.3	52.3	78.9	78.9	99.1
φ1 200	42.9	65.0				

注：每分钟油表读数增加量不得低于 2.47 MPa。

#### 4.3.4 承载力和极限承载力检测结果

##### 1) 普通承载力试验

将管道放置在试验台后，载荷应增加到并保持确定的适当值。在保持试验载荷的同时，检查管道是否有裂缝，并测量最大裂缝宽度，然后应移除试验载荷。不同覆盖面裂缝尺寸评定方式见表 9。

表 9 用于确定裂缝宽度的塞尺厚度

裂缝宽度 $\delta$	塞尺厚度 mm	
	承载管节	非承载管节
$\delta < 10$	0.15	0.10
$10 \leq \delta < 20$	0.20	0.15
$\delta \geq 20$	0.25	0.20

对于素混凝土管，在试验载荷下进行检查时，如果素混凝土管产生的可见裂缝宽度大于 0.05 mm 或大于管筒长度的一半或完全穿过管壁，则管道应报告为不合格。

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：

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 个月内生产小于 50 根管，取 1 根做普通承

载力试验；3 个月内生产大于 50 根管，取 5 根做普通承载力试验；连续 5 个批次中若有 2 个批次不合格，则单批次抽取检验数量由 5 个变为 8 个。

##### 2) 极限承载力试验

将管道放置在试验台后，载荷应增加到表 8 对应的极限荷载值。如果在不损失管道负载的情况下达到表 8 所示的极限荷载，则应认为管涵已经满足极限荷载试验，并应报告为符合要求；否则，则视为未通过极限荷载测试。

3 个月内生产小于 100 根管，取 1 根；大于 100 取 2 根，单根不合格，再在此批次中抽取 2 根，若 2 根均未通过试验，则该批次不合格。连续 5 个批次中若有 3 个批次不合格，则停止生产。

#### 5 结语

澳标条件下悬辊机辊压离心预制管节施工工艺是根据项目所在地特殊环境及施工需要开展科技研发攻关而成，本文详细介绍了工艺背景、特点、原理、流程、操作要点及质量检测要点，本技术在巴布亚新几内亚西高地省高地公路成功应用，克服了传统预制方法耗时长、用工多的难题，为海外物资匮乏区域的圆管涵预制提供了一种新的可靠思路，相较外购预制管涵，本技术在成本节约方面有极大的优势，在质量管控、进度控制方面给出了明确的控制指标。本工艺成熟的施工经验还可拓展至公路、市政、机场等境外项目的混凝土管涵预制中，经济效益显著，推广应用前景较为广阔。

#### 参考文献：

- [1] GB 50164—2011, 混凝土质量控制标准[S].
- [2] Specification for Road and Bridge Works[S]. Department of Works, 1995.
- [3] AS/NZS-3600, Concrete Structures[S].
- [4] 张江. 钻埋式预制管桩基础灌浆浆液配比研究[J]. 电工技术, 2022(19):94.
- [5] 高和平, 林震, 王增海, 等. 三辊连轧管机附加壁厚公差率研究[J]. 包钢科技, 2021, 47(3):90.
- [6] AS/NZS-4058, Precast concrete pipes (pressure and non-pressure) [S].