



管道非开挖修复技术 原位固化法 (CIPP)

王云江 陈爱朝 主编

GUANDAO FEIKAIWA XIUFU JISHU
YUANWEI GUHUAFA (CIPP)

CIPP



化学工业出版社



管道非开挖修复技术 原位固化法 (CIPP)

王云江 陈爱朝 主编

阮俊安 董卫华 王 卿 王海峰 副主编

GUANDAO FEIKAIWA XIUFU JISHU
YUANWEI GUHUAFA (CIPP)

CIPP



化学工业出版社

·北京·

本书系统地介绍了管道非开挖修复技术——原位固化法（CIPP）修复管道的设计、施工与管理。全书共分为十二章，内容包括概述，材料与设备，设计，施工，质量控制，安全控制，进度控制，成本控制，环境保护，施工技术资料，原位固化法（CIPP）内衬修复技术的发展趋势、存在的问题及展望，其他非开挖管道修复方法。

本书可供市政管道养护维修与管理人员学习和参考，亦可作为市政专业师生的学习用书。

图书在版编目（CIP）数据

管道非开挖修复技术：原位固化法（CIPP）/王云江，陈爱朝主编. —北京：化学工业出版社，2015.3
ISBN 978-7-122-23035-5

I. ①管… II. ①王…②陈… III. ①地下管道-管道维修 IV. ①TU990.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 030399 号

责任编辑：吕佳丽
责任校对：边涛

装帧设计：张辉

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）
印装：北京云浩印刷有限责任公司
710mm×1000mm 1/16 印张9 $\frac{3}{4}$ 字数174千字
2015年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：55.00 元

版权所有 违者必究

编写人员名单

主 编 王云江 陈爱朝

副主编 阮俊安 董卫华 王 卿 王海峰

参编人员 (按汉语拼音排序)

董卫华 方适明 冯君悦 顾跃华 何 乐

洪辰晞 孔程吉 毛海军 秦进华 裘江林

王黎明 王宇飞 邹 颖

前言

FOREWORD

城镇排水管道多为二十世纪五六十年代开始修建，由于管道基础老化、污水及有害气体的侵蚀，加上地面荷载的严重超载等因素，导致管道结构发生破损，甚至出现局部碎裂而导致环境污染和路面坍塌等事故发生。为保护排水设施的正常运行，采用常规的开挖施工方法进行修复或更换施工，不仅施工面大、施工周期长、综合成本高、造成环境污染而且严重影响交通。

非开挖技术是一种新型管道修复技术，具有开挖量小、无接头、费用低、寿命长等优点，近年来在城镇排水管道维修中被广泛应用。非开挖管道施工方法有插眼法、原位固化法（CIPP）、折叠内衬法、缩径内衬法、机械制螺旋缠绕法、局部修复法和喷涂法等。其中原位固化法（CIPP）因质量易控制、适应性广而被大量应用。

虽已在国内被大量应用，但标准规范和施工操作规程尚不完善，没有一本完整、系统介绍该工法施工与管理的书。随着原位固化法（CIPP）的施工单位和技术人员数量迅速增长，为进一步规范和提高从业人员管理水平，推动非开挖管道修复工程新技术、新材料、新工艺的发展，我们（杭州国通建设有限公司等单位的技术人员）结合多年的原位固化法（CIPP）管道修复与管理经验，以工程实践为主编写了本书，系统阐述原位固化法（CIPP）设计、施工与管理等实践知识。

本书共十二章，其内容包括概述，材料与设备，设计，施工，质量控制，安全控制，进度控制，成本控制，环境保护，施工技术资料，原位固化法（CIPP）内衬修复技术的发展趋势、存在的问

题及展望，其他非开挖管道修复方法。

限于水平，本书难免有疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2015年3月

目录

CONTENTS

第一章	概述	1
第一节	引言	1
第二节	原位固化法 (CIPP) 综述	2
第二章	材料与设备	6
第一节	材料	6
第二节	设备	10
第三章	设计	12
第一节	管道基本情况调查与检测	12
第二节	修复工程方案设计	17
第四章	施工	27
第一节	施工的基本准备工作	27
第二节	施工现场平面管理	33
第三节	施工	36
第四节	季节性施工	47
第五节	信息化施工	49
第五章	质量控制	52
第一节	质量控制原则与程序	52
第二节	施工质量控制	54
第三节	施工质量与检测要求	57
第四节	工程竣工验收	60
第五节	CIPP 工法施工中常见的质量问题及措施	62
第六章	安全控制	66
第一节	施工安全技术保证体系与施工安全管理组织	66
第二节	安全技术措施	67

第三节	安全文明施工措施与施工安全检查	70
第四节	安全信息化管理	74
第五节	应急预案	78
第七章	进度控制	84
第一节	施工进度控制的措施	84
第二节	工程横道图和网络计划图的编制	86
第八章	成本控制	88
第一节	施工成本的控制方法	88
第二节	施工成本管理的措施	89
第三节	项目成本分析	91
第九章	环境保护	95
第十章	施工技术资料	99
第一节	施工准备阶段技术资料	99
第二节	施工阶段技术资料	106
第十一章	原位固化法 (CIPP) 内衬修复技术 的发展趋势、存在的问题及展望	120
第一节	发展趋势	120
第二节	存在的问题	121
第三节	展望 (建议)	122
第十二章	其他非开挖管道修复方法	124
第一节	穿插法	124
第二节	碎 (裂) 管法 (爆管法)	128
第三节	折叠内衬法	132
第四节	缩径内衬法	135
第五节	螺旋缠绕法	139
第六节	局部修复法	144
参考文献	147

概 述

第一节 引 言

中国城区的供水排水管道多为二十世纪五六十年代开始修建的，就全国地下供水排水管道总体而言，目前，服役 20 年以上的供水排水管线总长度分别为 9.7 万千米和 5.8 万千米（2008 年数据）。由于管道基础的老化，污水及有害气体的侵蚀，加上地面承载的严重超载等因素，导致管道结构性和功能性发生破损。这些老旧管线多存在渗漏、腐蚀等现象，甚至出现管道爆裂而导致道路塌方事故。这些破损的老管线亟待修复或更换，以保证供水排水设施的正常运行。由于老管线都位于建筑物密集的内城区，道路狭窄、交通拥堵，采用常规的开槽施工方法进行修复或更换施工，不仅占用场地、施工周期长、综合成本高、造成环境污染、严重影响交通、施工安全性差，而且将带来社会、交通和环境等一系列问题。

在城市建设快速发展的今天，无污染、无噪声、质量优、工期短、造价低、安全性高、施工扰民少的非开挖技术将成为今后管道修复的主流（绿色）施工技术，更是城市管道和谐管理并使之适应可持续发展社会理念的一种良好对策。

非开挖管道修复施工方法有穿插法、原位固化法（CIPP）、碎（裂）管法、折叠内衬法、缩径内衬法、螺旋缠绕法、局部修复法和喷涂法等。其中原位固化法（CIPP）在城市排水管道的非开挖修复技术的应用越来越多。

原位固化法（cured-in-place pipe, CIPP）是由英国于 1971 年研制成功的，当时主要用于修复英国的下水道。在发展初期，CIPP 仅是一种管线施工的普通工法，用于在不扰动土层的情况下更新老化或失效的地下管线，随着不断的发展，该技术逐渐成为国外维护城市地下管线设施的首选方案。

非开挖管道修复技术在中国发展很快，随着该领域整体技术的进步和国内市场的逐步完善，目前非开挖管道修复技术在供水排水管道工程中已经大量运用，但在城市建设中所占用的比例依然较低，2009 年我国供水及排水管道采用非开

挖修复技术的长度分别仅有 41.49km 和 27.92km。

第二节 原位固化法 (CIPP) 综述

一、原位固化法 (CIPP) 原理

根据旧管道的现况尺寸和损坏程度,在仓库预制加工成一定设计厚度的浸透热固性树脂,并带有防渗膜的纤维增强软管或编织软管作衬里材料的软管,在施工现场将浸有树脂的软管一端翻转(拉入)并用夹具固定在待修复冲洗干净的旧管入口处,然后利用水压或气压使软衬管浸有树脂的内层翻转到外面并与旧管的内壁紧贴,一旦软衬管到达终点即向管内注入循环热水、热蒸汽或者紫外线的方式进行管内加热使树脂固化,形成一层紧贴管内壁的具有防腐蚀防渗功能的整体性强、高强度、寿命长、光滑的树脂内衬新管,“管中管”从而使已发生破损的或失去输送功能的地下管道在原位得到修复。原位固化法(CIPP)翻转示意图如图 1-1 所示。

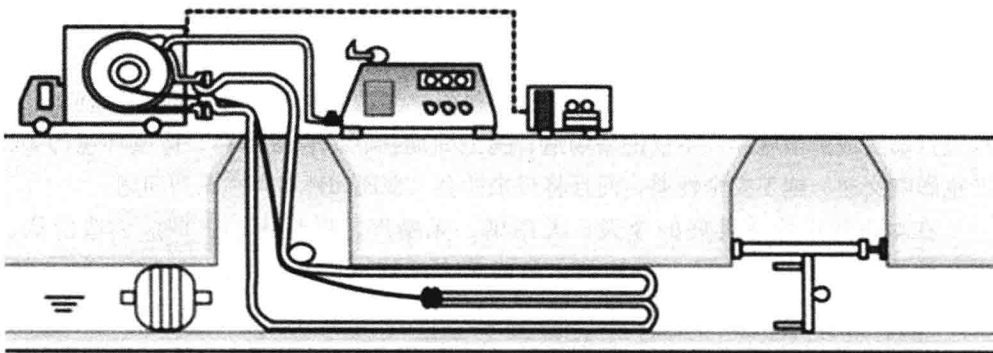


图 1-1 原位固化法 (CIPP) 翻转示意图

二、原位固化法 (CIPP) 技术的特点

(1) 内衬管耐久实用。内衬材料耐腐蚀、耐磨损、强度大、承压能力高,使用年限按设计要求不低于 30 年,最长可达 50 年。

(2) 修复后管道无接头,内壁表面光滑,连续提高了管道流量,不结垢。

(3) 适合对长距离管道(900m)修复,整管无接口,施工内径为 150~2200mm,能适应非圆形断面和弯曲管道。

(4) 占用道路面较小,对道路交通影响小,不开挖路面,保证交通畅通。

(5) 施工速度快、周期短,从内衬材料运至施工现场,准备内衬、固化现场施工周期一般不超过 24h。

(6) 施工设备占地面积小,施工设备简单。只需要小型的锅炉和热循环泵设备,噪声低。

(7) 不生产垃圾,无污染,对周边环境影响小。

(8) 减少工程投资,经济效益和社会效益好。

(9) 适用于各种管材和形状的管道修复(铸铁管、钢管、混凝土管、陶管、PVC 管材等)。

(10) 整体性强,可以封闭原有的洞孔、裂缝及缺口,阻止渗出,彻底解决地下水渗入问题。

三、原位固化法(CIPP)技术的运用

随着原位固化法(CIPP)技术的发展,应用领域越来越广。由于这种技术做出来的管道光滑、无污染、承压能力强、耐腐蚀、耐磨损、寿命长,广泛运用到供水管道、排水管道、燃气管道等,在含有高温及高浓度化学物质的工业管道中也可以正常使用。

四、适用与不适用范围

1. 适用范围

(1) 原位固化法一般是翻转后固化成型,其适用于管道几何截面为圆形、方形、马蹄形等,管道材质为钢筋混凝土管、水泥管、钢管及各种塑料管的雨污排水管道。

(2) 适用于管径 150~2200mm 的排水管道、检查井井壁和拱圈开裂的局部和整体修理。紫外线加热固化比较适用于管径小于 600mm 的排水管道。

(3) 适用管道结构性缺陷呈现为破裂、变形、错位、脱节、渗漏、腐蚀,且接口错位宜小于等于管道直径的 15%,管道基础结构基本稳定、管道线形无明显变化的情况。

(4) 适用于对管道内壁局部沙眼、露石、剥落等病害的修补。

(5) 适用于管道接口处在渗漏预兆期或临界状态时预防性修理。

(6) 适用于各种材质检查井损坏修理。

2. 不适用范围

(1) 不适用于管道基础破裂、管道破裂、管道脱节呈倒栽状、管道接口严重错位、管道线形严重变形等结构性缺陷严重损坏的修理。

(2) 不适用于严重沉降、与管道接口严重错位损坏的检查井。

非开挖修复技术的选择见表 1-1。

表 I-1 非开挖修复技术的选择

修复技术	土体注浆	裂缝嵌补	不锈钢双胀环	不锈钢发泡筒	局部现场固化	原位固化内衬(CIPP)	机械制螺旋管管衬	短管焊接内衬	折叠管牵引内衬	水泥基聚合物涂层
适用管径	所有	管径 ≥ 800 mm	管径 ≥ 800 mm及特大型	管径150~1350mm	管径200~1500mm	管径150~2200mm(紫外线固化适用于管径 < 600 mm)	扩张法管径150~800mm 固定口径法管径450~3000mm	小管径350~700mm 中管径800~1500mm 大管径1600~2400mm	管径300~600mm	管径 ≥ 600 mm
适用管材	所有	钢筋混凝土管	所有	钢筋混凝土管	所有	所有	所有	钢筋混凝土管	所有	钢筋混凝土管
适用时效	临时、永久	临时、永久	临时、永久	临时、永久	所有	永久	永久	永久	永久	临时、永久
止水		○	○	○	○	○	○	○	○	
恢复强度										
适用										
损坏										
类型										
优点	施工方法简单,止水有效,可填充孔隙,增加承载力	嵌补密封料具有较好的柔性,抗变形,具有较快的经济性和可操作性,不影响流水和疏通	施工速度快,质量好,质量稳定	施工速度快,止水效果好,使用寿命长,可带水作业	施工速度快,耐腐蚀,使用寿命长	施工速度快,耐腐蚀,可防止地下水渗入问题,整体修复很好	可带水操作,施工速度快,耐腐蚀,独立承载性,使用寿命长	施工速度快,内衬管强度高,接口质量好,可靠,设备简单,价格低	速度快,相对价格低	柔韧性好,可抵抗构筑物产生的细小裂缝。施工方便,无接缝,设备简单,价格便宜
缺点	需要配合其他工使用	不适用于管径 800 mm以下管道	对水流断面和过水断面有一定影响。不适用于车疏通	材料成本很高,大口径修复成本要高。施工要求高	材料成本较高	材料成本较高	材料成本较高	管道断面较大,接口多,对管道要求高,施工工期长	内衬管对管道断面较大,接口多,对管道要求高,施工工期长	小管径对管道断面较大,接口多,对管道要求高,施工工期长
造价	低	低	高	高	较高	较高	高	中	中	中

原位固化法（CIPP）修复管道技术和传统换管法比较见表 1-2。

表 1-2 原位固化法（CIPP）修复管道技术和传统换管法比较

比较项目	原位固化法	传统换管法
施工费用	<60%	100%(含间接费)
施工时间	<50%	100%
施工范围	无需开挖	全线开挖
施工设备	设备较少	设备较多
施工材料	当日进场	占用场地长
对周边影响	小	大
使用管径	150~2200mm	各类管径
一次施工长度	长	较长
环境污染	无	涉及多方面
安全隐患	很小	大
对交通影响	小	很大
对地面损坏	无	极大
对原管道运行状况影响	短时间堵水	堵水分流

由表 1-2 可见，对于城市道路及对周边影响较大的修复工程，原位固化内衬非开挖修复技术最为经济适用。

材料与设备

第一节 材 料

原位固化法（CIPP）主要材料是聚酯纤维毡和树脂。其中辅助材料有针刺毛毡、玻璃纤维纤维、添加剂、填充剂、聚合物涂层、黏合剂等，其中，树脂是系统的主要结构元素。

一、主要材料

1. 树脂

树脂通常可以分为不饱和聚酯树脂、乙烯树脂和环氧树脂三类。每一种都有自己独特的化学耐腐蚀性能和结构性能。其中不饱和聚酯树脂是 CIPP 工艺中使用最多的固化材料。乙烯树脂和环氧树脂具有特殊的耐腐蚀、抗溶解性和高稳定性，主要用于工业管道和压力管道。各种树脂的特性见表 2-1。

表 2-1 各种树脂的特性

特点	ASTM 试验方法	聚酯树脂 /psi(MPa)	乙烯树脂 /psi(MPa)	环氧树脂 /psi(MPa)
抗拉强度	D638	2000~3000(14~21)	2500~3500(17~24)	4000(28)
抗弯强度	D790	4000~5000(28~35)	4000~5000(28~35)	5000(35)
弯曲模量	D790	250000~500000 (1724~3488)	250000~500000 (1724~3448)	300000(2069)

原位固化法所采用的树脂应符合以下要求：

(1) 具有良好的耐久性、耐腐蚀、抗拉伸、抗裂性，与软管有良好的相容性。应以满足施工和固化后强度要求为前提。

(2) 树脂应能在热水、热蒸汽或者紫外线的作用下固化，且初始固化温度应

低于 80℃。

(3) 黏度在 1500~2500MPa·s，低于 1500MPa·s，树脂黏度不够，毡体本身又比较薄，内衬时携带树脂少，会出现树脂分布不均匀现象，造成内衬复合材料气泡甚至塌落。树脂黏度高于 2500MPa·s，会造成树脂浸渍物困难，而且内衬复合材料容易粘连，给内衬施工造成困难。

(4) 黏结强度要求高，树脂应能将内衬复合材料与待修复的管道黏结在一起。

2. 聚酯纤维毡

(1) 聚酯纤维毡与树脂应紧密溶合，固化后，不得产生分离现象。

(2) 有良好的耐酸碱性，有足够的抗拉伸、抗弯曲性能，有足够的柔性以确保能承受安装压力，内衬时适应不规则管径的变化或弯头；有良好的耐热性，能够承受树脂固化温度。

二、软管

软管由一层或多层聚酯纤维毡缝制而成，且尚未浸渍树脂的管材。主要功能是携带和支持树脂，要求软管在一定拉伸变形的情况下，能够承受内衬管铺设过程中的拉伸应力，同时还应具有柔性，以满足侧向连接和产生一定的膨胀，以适应原有管道的不规则性。

软管的材料大部分采用非编织材料，但是也可以采用编织材料。为了在工程施工中保护树脂材料，在软管的内外表面通常要涂覆非渗透性的聚丙烯或聚乙烯材料涂层。

增加纤维与毛毡的层数可以有效提高内衬材料的抗拉强度。增强纤维可以是聚酯、丙纶或玻璃丝纤维。

1. 原位固化法所采用的软管应符合以下要求：

(1) 软管应包含单层或多层聚酯纤维毡或同等性能的材料，其应能浸渍树脂并不与树脂发生反应，且能承受施工拉力、压力和固化温度。

(2) 软管的外表面应包覆一层与所采用的树脂相容的非渗透性的透明塑料膜。

(3) 当软管由多层毡叠加而成时，各层之间的接缝必须错开，不得叠加。接缝连接必须牢固。软管及其接缝的横向与纵向抗拉强度按照《GB/T 3923.1—2013》纺织品 织物拉伸性能 第1部分：断裂强力和断裂伸长率的测定（条样法）》（GB/T 3923.1—2013）的要求测试，均不得低于 5MPa。

(4) 玻璃纤维增强的纤维软管应至少包含两层由抗腐蚀的玻璃纤维形成能够

浸渍树脂的软管，内表面应为聚酯黏毡层，外表面应为单层或多层抗苯乙烯并不透光的薄膜。

(5) 软管应能够伸展具有足够的柔性，并具有一定的韧性，翻转内衬时应能够适应待修复管道内局部管径的略微变化，其长度应大于待修复管道的长度。软管直径的大小应保证在固化后能恰好与旧管道的内壁紧贴在一起。

(6) 生产商应提供软管固化后的初始结构性能的检测报告，其应符合规范和要求。

2. 软管制作

(1) 软管的施工制作长度必须同时满足修复管段两检查井中心距离，检查井井深两端部所需长度及施工时静水压力所需高度。

(2) 在确定软管外径时，应考虑到软管材料有横向的伸长性，确保其固化后外壁紧贴。故应根据软管材料的横向伸长率，确定软管的外径与待修复管道的内径之间的修正关系。一般情况下，软管外径应略少于待修复管道的内径。

(3) 聚酯纤维毡及树脂均属易燃材料，应使其远离火源，避免燃烧。热固性树脂在紫外线的照射下会固化，因此热固性树脂浸渍场地必须防止日光照射。软管制作及树脂浸渍场地应选在室内，并具有防尘、防火等设施。

(4) 制作软管时，采用单层或多层聚酯纤维毡叠加缝制而成，聚酯纤维毡厚度可能与软管设计厚度有所偏差，故必须控制其制作厚度，只允许出现正偏差，软管制作厚度应大于固化的内壁设计厚度 t ，宜为 $1.1 \sim 1.3t$ ，确保浸渍热固性树脂并加热固化后壁厚满足验收要求。

(5) 软管缝制的接合缝应平整、密实、牢固，多层聚酯纤维毡叠加缝制的接合缝应错开，不得重叠，接合缝必须是平缝。

(6) 软管外层应粘贴或喷涂一层与热固性树脂相溶且具有一定耐磨性的且强度满足施工静水压力的塑料涂层或薄膜，起到保护和防水作用。

(7) 聚酯纤维毡缝制的软管应具有耐腐蚀及足够抗拉伸的强度，翻转时能够承受翻转压力。

三、树脂浸渍软管

在真空的条件下浸渍树脂的软管应满足以下要求：

(1) 日光和强光源中的紫外线长时间照射，会引起热固性树脂逐渐固化，从而导致软管材报废，所以浸渍树脂过程应安排在合适的室内场地，并应采取措施避免阳光、强光源照射。

(2) 浸渍热固性树脂时，室内温度不宜高于 18°C 。若室内温度高于 18°C ，

有条件的情况下，宜采用空调设备降低室温，防止树脂固化。若无人工降温设备，可采用在软管上加敷冰块的方式替代。

(3) 为避免树脂浸渍不均匀及浸渍后产生干斑或者气泡等问题，在浸渍树脂前，应对软管进行抽真空处理，不得在未抽真空或抽真空时间不足的条件下盲目浸渍树脂，并保证软管材料充分浸渍树脂。抽真空的布点选择可以根据软管的长度和厚度，选择抽真空速度，均匀选点，确保软管各部位在树脂浸渍过程中，边浸渍边抽真空。抽真空时需切开塑料涂层或膜。

(4) 浸渍热固性树脂前及浸渍过程中应用真空表进行真空度测量，软管真空度应达到 8×10^{-2} MPa。

(5) 树脂、填料、固化剂等混合次序及搅拌方法和时间应严格按照操作程序进行，控制搅拌速度和时间，搅拌过程中应避免搅拌过快或不均匀，造成空气进入树脂，易使浸渍后的软管产生气泡，影响固化管的强度。

(6) 热固性树脂的浸渍量应满足固化管管壁设计厚度要求。用量应要求精确称量，考虑到树脂的聚合作用及渗入待修复管壁缝隙和连接部位的可能性，宜增加 5%~10% 热固性树脂的余量。

(7) 树脂浸渍软管应采用机械碾压设备碾压平整。

(8) 树脂混合后应及时进行浸渍，停留时间不得超过 20min；如不能及时浸渍，应将树脂冷藏，冷藏温度不宜低于 15℃，冷藏时间不得超过 3h。

(9) 树脂浸渍过程完成后，塑料涂层或膜表面抽真空时留下的切口应采用一定强度和密封性能的塑料膜胶贴封固。

四、材料贮运

(1) 树脂及聚酯毡材料的运输可以在常温下进行，应在 25℃ 以下阴凉干燥，在通风良好的环境下保存。其他的引发剂、固化剂等配料中过氧化物必须在 0~10℃ 之间运输保存，其余的填料及添加剂可在常温下运输，在通风干燥的室内保存。

(2) 当室外温度高于 18℃ 时，树脂浸渍软管在贮运过程中应叠放在冰水槽或冷柜中。

(3) 树脂浸渍软管在贮运过程中，应避免日光及强光源照射。

(4) 树脂浸渍软管在贮运与装卸过程中，应避免与硬质、尖物体发生刮擦与碰撞，避免外部塑料涂层或膜破损后使树脂外溢及施工过程中的水直接进入树脂。

(5) 树脂浸渍软管在安装完成前不得产生固化现象。贮运树脂浸渍软管应充分考虑运输及安装时间，应记录储存和运输过程中的温度和时间。长时间运输应