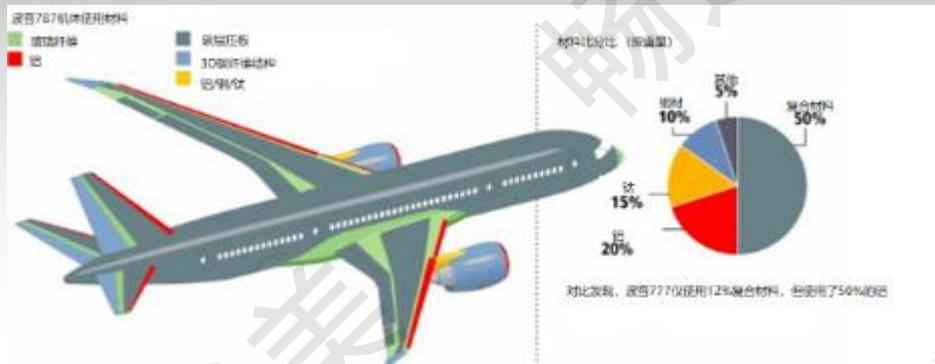


FRP（玻璃钢增强管）简介

FRP在其他行业的历史和应用

克尔维特C1款汽车-1953



100%FRP船体



本页解说词见评论框



用于PCCP管道修复的FRP的历史

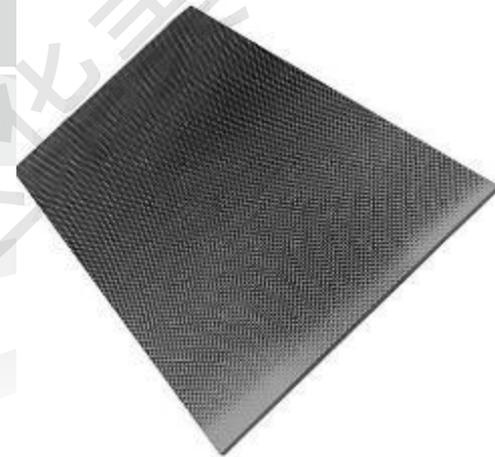
- 1980年代亚利桑那大学进行碳纤维CFRP(碳纤维增强管)的土木和结构力学实验室测试
- 1990年代CFRP获得美国工程和建筑行业以及建筑法规部门的应用批准
- 1990年代末第一次对大口径PCCP管进行CFRP维修
- 2000年代初期，开始广泛使用CFRP衬里修复破损的PCCP管道
- 2000年代末CFRP内衬施工准则公布
- 2018年美国水务协会 AWWA 颁布C305-18标准“CFRP在PCCP管道修复和内衬加强中的应用”



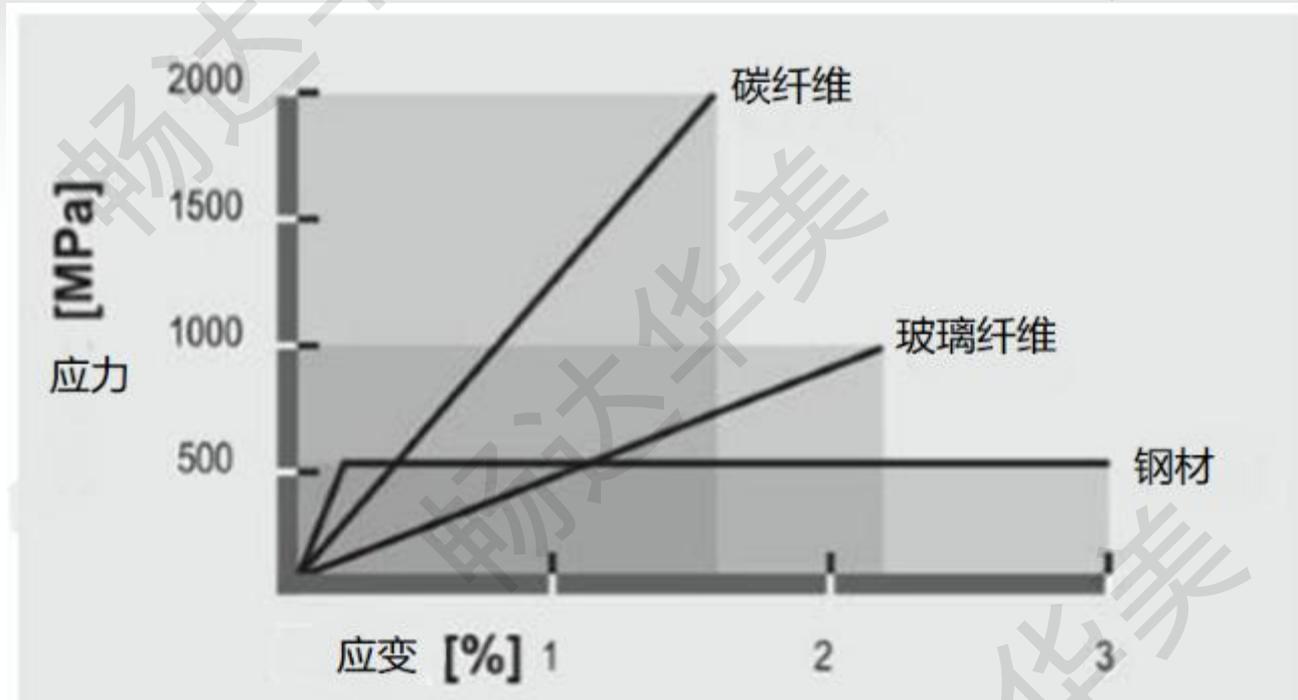
FRP碳纤维层压板性能参数- TU27C (QuakeWrap 碳纤维品牌) + J300 SR (QuakeWrap 应用于饮用水的树脂材料)

	碳纤维	碳纤维层压板	钢材	玻璃钢层压板
厚度 [mm]		1.27		1.016
抗拉强度 [MPa]	3790	930	372	441
弹性模量 [MPa]	230,974	89,632	204,774	20,270
极限拉伸率 [%]	1.64%	0.98%	15%	2.20%
断裂力 [lb / in]		768	748 ¹	267 lb/in

¹ 两 (2) #8 Gr. 60号钢筋相距7英寸



FRP的结构特性参数 - 与钢材的比较



视频演示

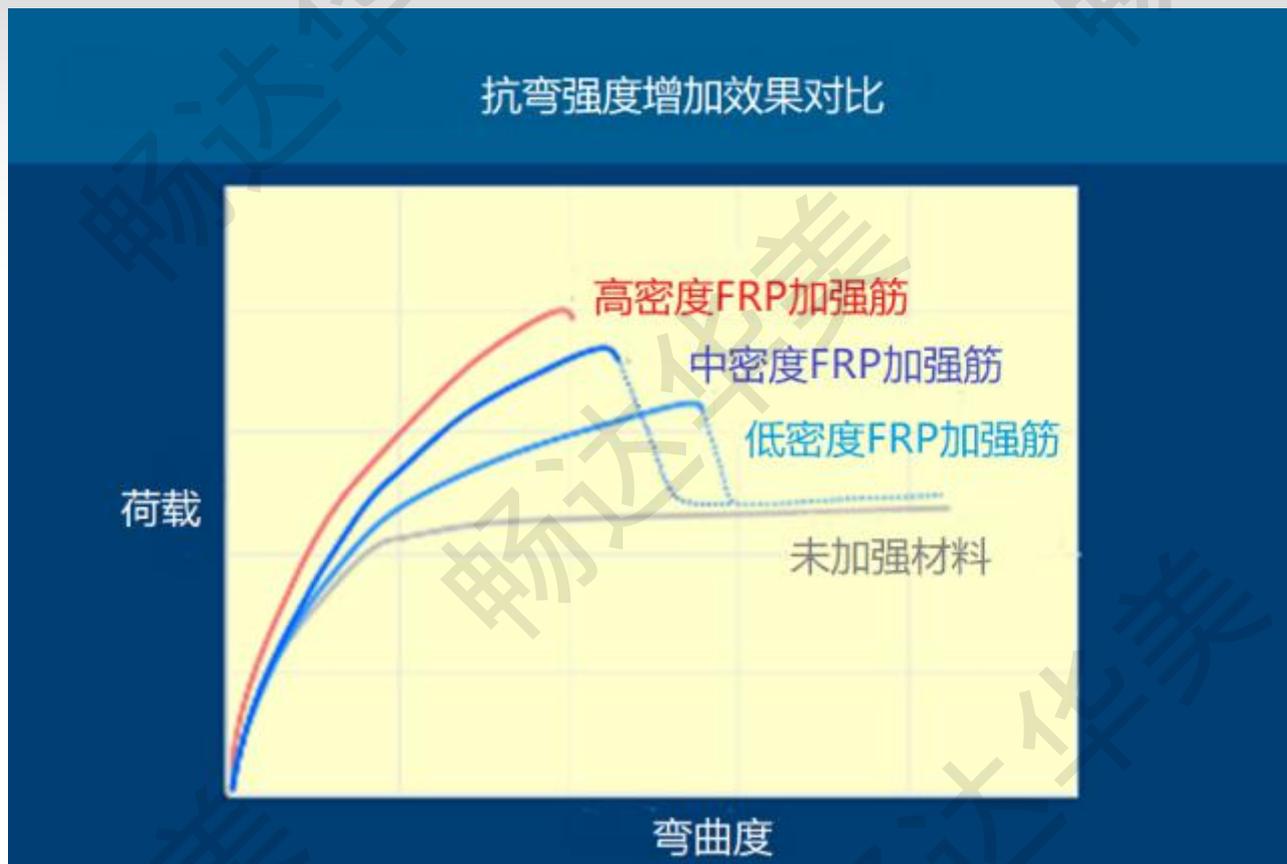
碳纤维增强筋代替钢筋（文字说明见评论栏）

QuakeWrap Brick Test



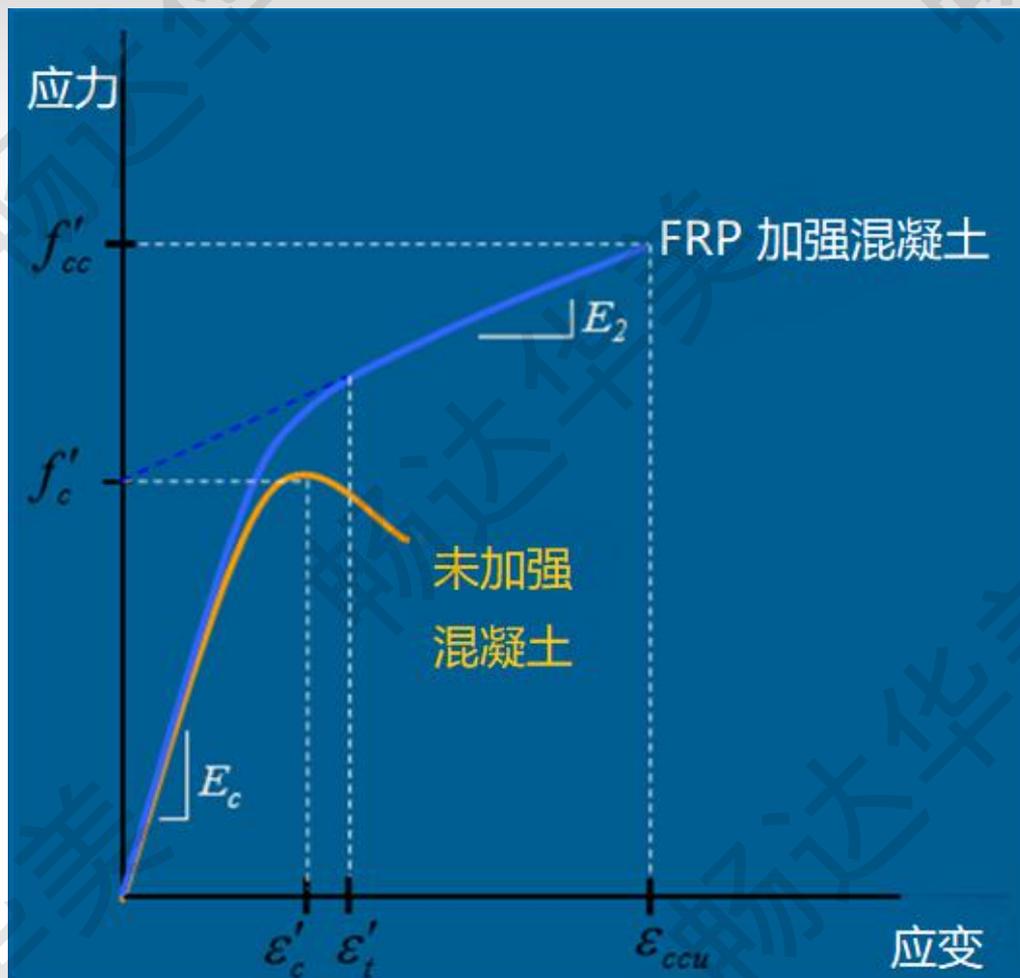
设计原理

通过增强材料张力从而提高抗弯能力



设计原则

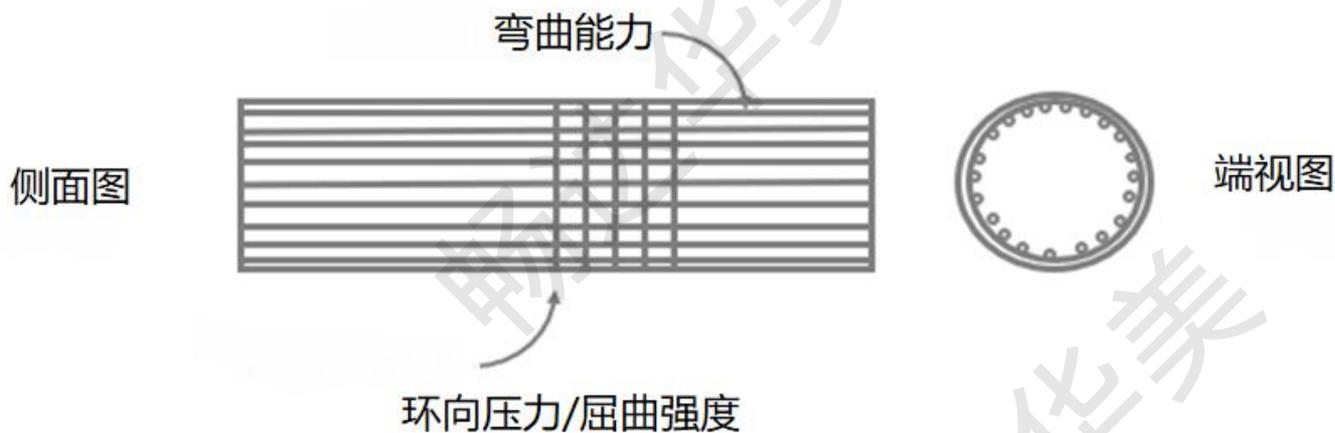
FRP的加强筋增加了抗压强度和延展性



设计原则

FRP 增强了管道的环状强度，
屈曲强度和弯曲强度

管件



FRP的优势

- ❑ 高抗拉强度（是钢材的2-4倍）（具体说明见注释栏）
- ❑ 可以有效利用材料的各向异性（比如环向 vs. 纵向）
- ❑ 抗腐蚀性
- ❑ 防水
- ❑ 适合所有形状和大小的管网
- ❑ 符合NSF-61美国饮用水标准



设计参数

- ❑ 柔性（例如，聚合物衬里）
- ❑ 刚性（例如水泥）
- ❑ 结构性修复（独立修复）
- ❑ 非结构性修复
- ❑ 条件
- ❑ 荷载
- ❑ 环境影响
- ❑ 出入口限制



FRP管道修复方法

- 湿法铺设
- StifPipe®

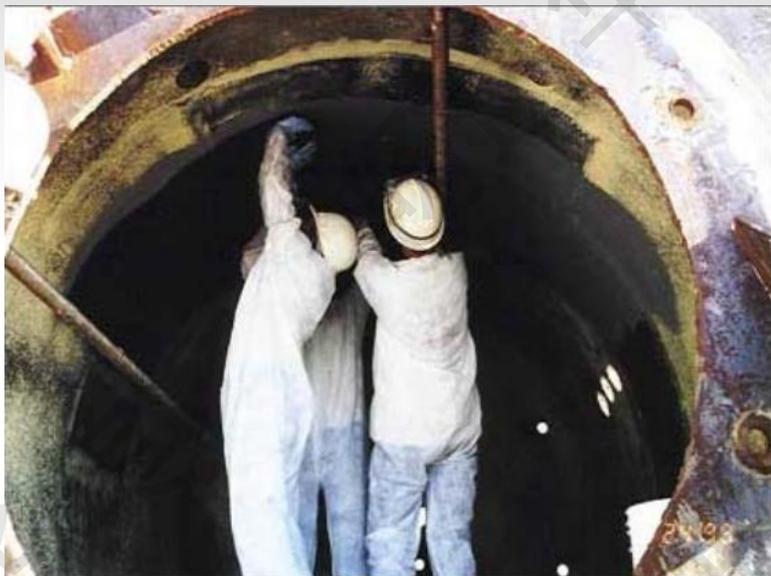


湿法铺设

- 现场将环氧树脂浸渍的饱和碳纤维织物，直接安装在管道表面
- 适用于直径36英寸（900毫米）或更大的管径
- 适用于接头/点修复或全管道修复
- 可以用于压力管道修复
- 室温下14小时固化
- 加热可以加速固化
- 符合NSF-61 美国饮用水标准



示范工程：核电厂直径9英尺（2.7m） 的PCCP管道维修



- 预应力电缆的腐蚀
 - 高设计内压
 - 推荐更换管道
- 安装碳纤维CFRP衬板进行结构性修复



AWWA C305 指南

- 碳纤维CFRP衬里设计用于抵抗以下应力：

内部压力

外部负荷

内部真空（负压）

外部地下水压力

- 碳纤维CFRP内衬可设计为：

带有内部混凝土内芯的复合系统

独立内衬



不同失效状态下的管道设计标准

- 非结构性失效管道
考虑使用带有内芯的复合内衬设计
- 结构性失效管道
设计为独立内衬或结构性复合内衬



复合与独立内衬设计

- 根据具体工程，所有FRP内衬的厚度均可变
- 内衬设计通常需要4到10层碳纤维CFRP来承受负载
- 碳纤维CFRP层数决定工程价格



复合三明治结构衬里



StifPipe 的优势

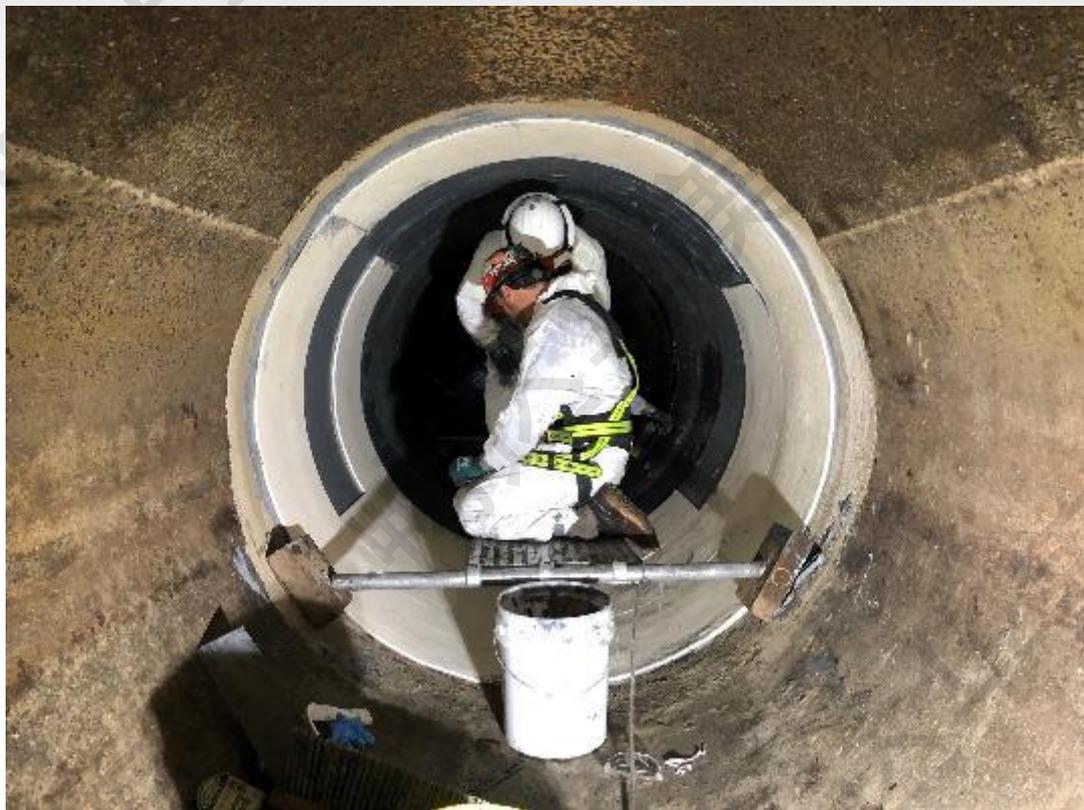
- 引入中间层（类似于工字型钢结构）可以大幅增加内衬刚度并减少所需的碳纤维CFRP的层数
- StifPipe本质上是一种任何尺寸和强度的预制FRP管
- StifPipe同时可以使用湿法铺设工艺，直接在管道内部进行铺设



工字型钢



湿法铺设工艺StifPipe®案例 Edison, NJ 爱迪生市, 新泽西



湿法铺设工艺StifPipe®案例 Edison, NJ 爱迪生市, 新泽西



明尼苏达州明尼阿波利斯市雨水隧道维修



明尼苏达州明尼阿波利斯市雨水隧道维修



明尼苏达州明尼阿波利斯市雨水隧道维修



悉尼砂石结构方涵维修

- **600mm x 600mm x 13m** 铁路方涵
- 采用玻璃钢增强板

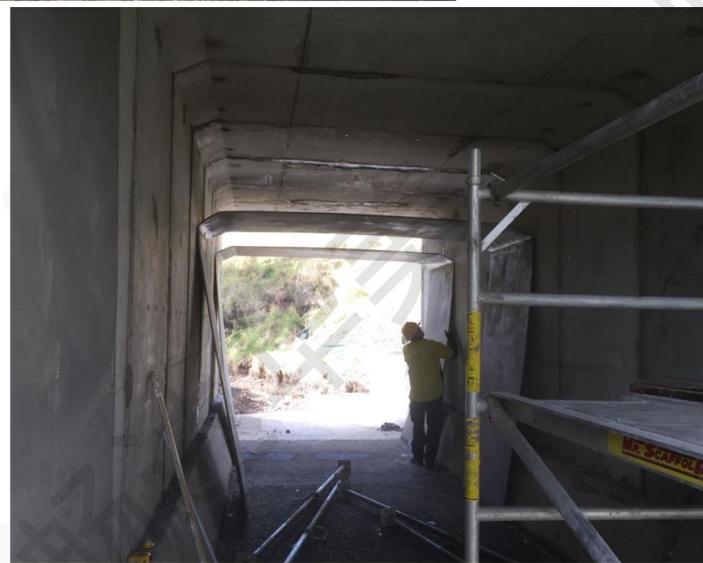


澳大利亚大型方涵维修

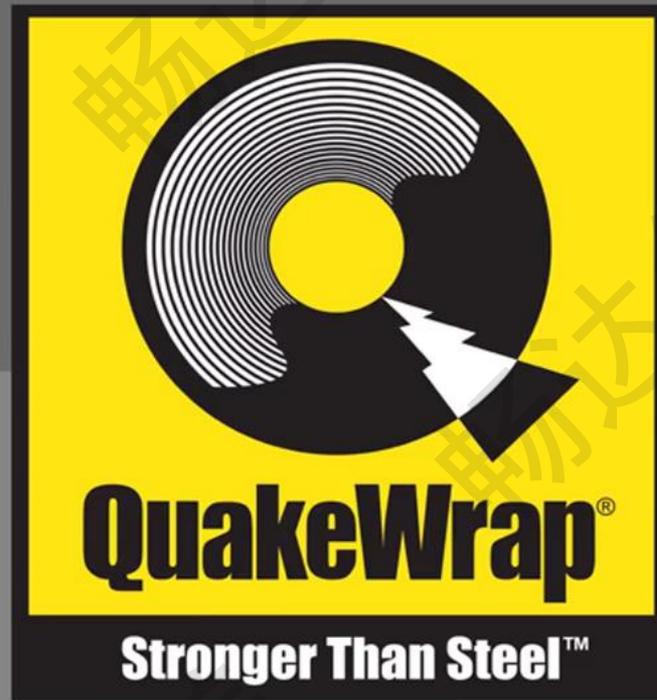
- 3m x 3m 公路方涵



- 18组定制的玻璃钢增强模块



StifPipe® 环状刚度测试视频



方涵砖混污水管道示范工程施工工艺

- 填充砖混管道的受损部分并覆盖受损区域。
- 进行砖墙表面预处理。
- 锚固钢筋加强网，并在管道内层喷涂环氧树脂除湿。
- 在钢筋加强网表面喷射3英寸厚混凝土。
- 安装(2)层QuakeWrap工程碳纤维。在环向方向上一层，在纵向上一层。
- 安装完所有碳纤维后，涂上保护层。

示例工程图片和施工工艺：亚利桑那大学地下隧道修复



亚利桑那大学人行道下方
波纹金属管隧道发生塌方，
使用钢梁临时支撑。



用金属片填充塌方处



安装钢筋加强网作为加强筋。

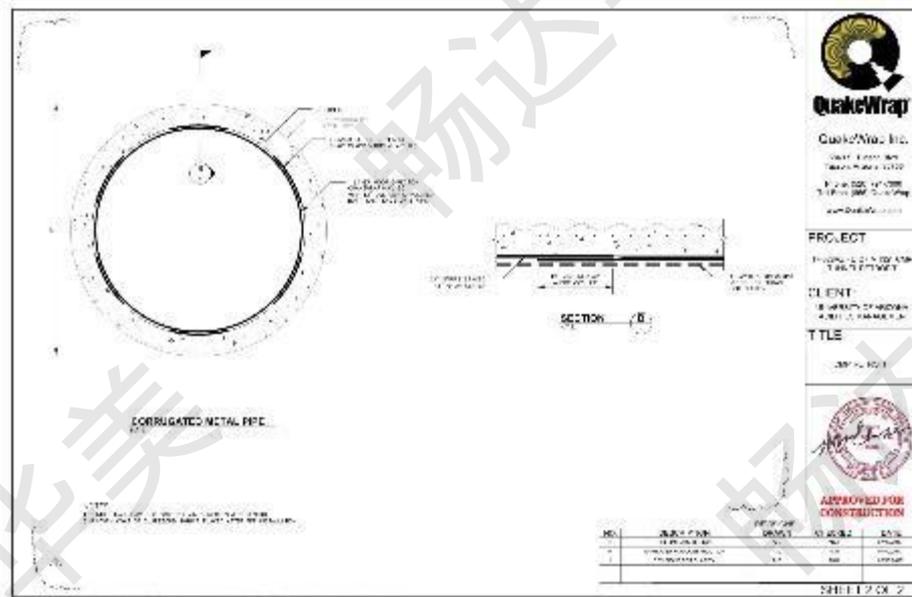
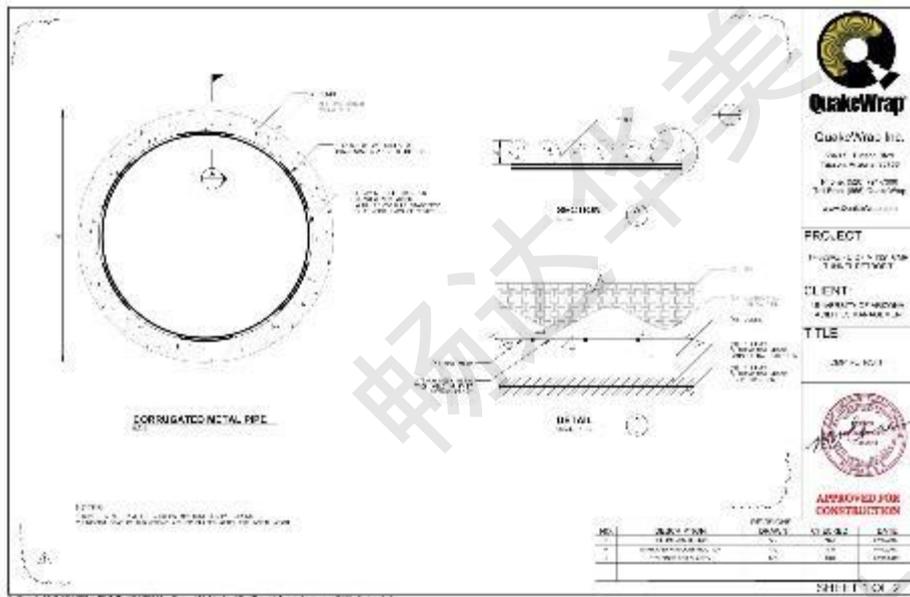


在钢筋加强网表面喷射
3英寸厚混凝土。

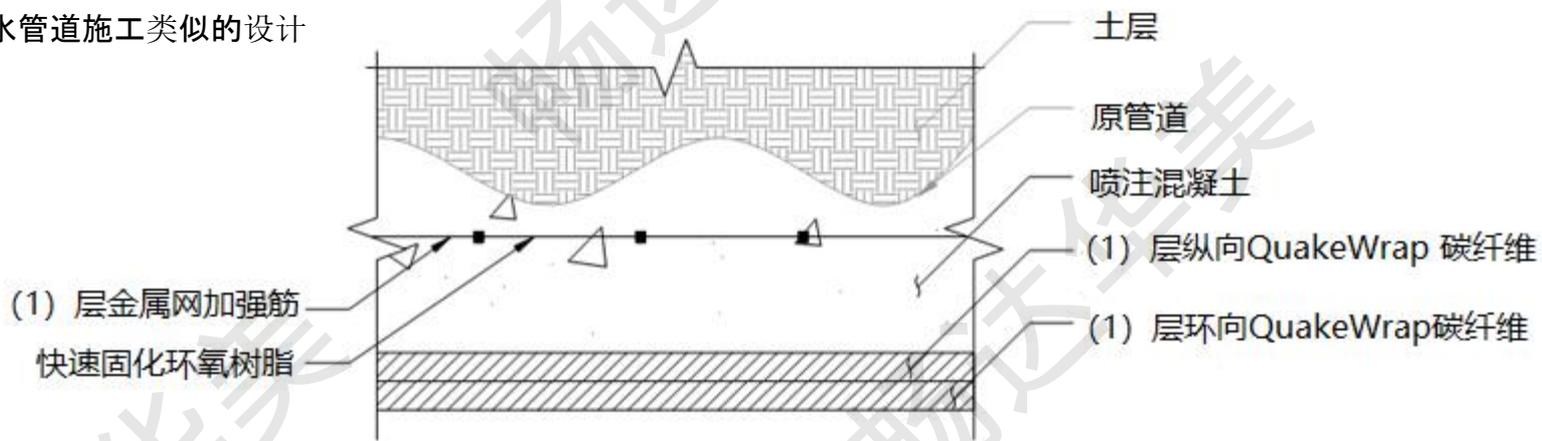
安装(2)层QuakeWrap工程碳纤维，
安装完所有碳纤维后，涂上保护层。



示例工程图片和施工工艺：亚利桑那大学地下隧道修复设计方案(续)



细节1是湖南污水管道施工类似的设计



细节图
SCALE: N.T.S.



示例工程设计图:美国盐湖城矩形涵洞修复



North American Society for Trenchless Technology (NASTT)
 NASTT's 2018 No-Dig Show
 Palm Springs, California
 March 25-29, 2018

MM-T3-05

Is it Round, Square or Oval: Repair of a Culvert with Multiple Cross Sections

Mo-Ekani, PhD, PE, President QuakeWrap, Inc. and Professor Emeritus of Civil Eng. U. of Arizona, Tucson, AZ www.quakewrap.com
 Alex Christensen, PE, Dept. of Public Utilities, Salt Lake City Corporation, and Marvin Murphy, FRP Construction, LLC, Tucson, AZ

1. ABSTRACT
 A rectangular concrete culvert in Salt Lake City, Utah, that carries water from a creek into a city sewer, had a large crack through the crown of pipe. The concrete masonry section was the oldest and in the worst condition with visible aggregate and a large crack throughout the crown of pipe. The repair consisted of filling the crack with grout, installing a metal mesh reinforcement, and applying a layer of FRP. The repairs were carried out in winter 2017 and consisted of implementing grout, Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) rods, and FRP. The repairs were completed in the end of February 2017 with a repair that minimized the loss of flow capacity through the culverts and was also unobtrusive to the environment and public.

The construction proved to be very challenging with an unusually warm winter season in February. The repairs were completed in the end of February 2017 with a repair that minimized the loss of flow capacity through the culverts and was also unobtrusive to the environment and public.

2. INTRODUCTION

In Salt Lake City, Utah, there are four main creek systems that convey water from the Wasatch Mountain Range through the Salt Lake Valley and into the Jordan River. These creek systems

Paper MM-T3-05 - 1

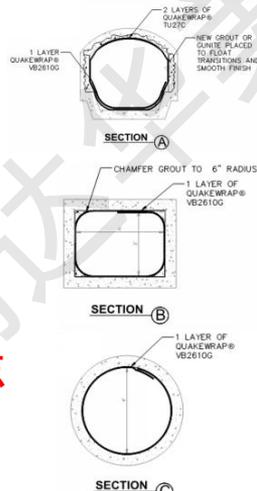
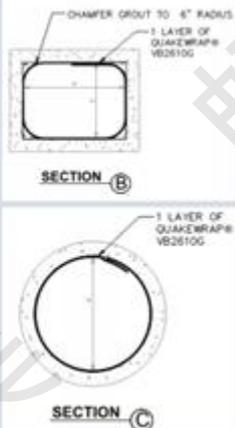
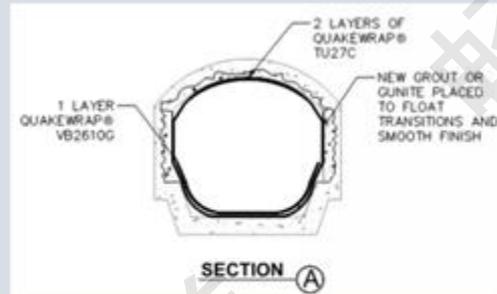


Fig. 5. Design of retrofit for different sections of the culvert



Fig. 7. Finished culvert after the installation of FRP

- 方涵混凝土和石材部分破损严重
- 使用混凝土填充孔洞
- 使用金属加强网和喷注混凝土加固表面
- FRP:
 一层纵向
 一层环向
 一层双向



作为方涵修复的成功设计施工案例发表在非开挖技术杂志 Trenchless Technology

- 铺设完FRP后，成完美方形
- 环状间隙注浆
- 安装一层玻璃纤维作为防水层
- 最后安装防腐涂层

这是4尺X4尺的方涵，成功使用湿法工艺修复



示例工程: 碳纤维(FRP)加固混凝土箱涵



图1: 美国凤凰城Ector涵洞出口

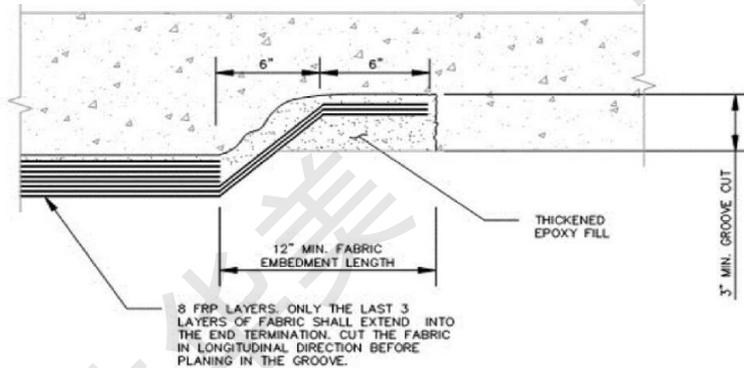


图2: 碳纤维GFRP湿法修复



图3: GFRP湿法修复在涵洞中施工

混凝土箱形涵洞的总长度约为375英尺，由两个3尺 * 7尺（0.9米*2.1米）涵洞组成。



针对方涵90度直角的特殊设计

- 金属网加强筋可以在拐角处弯曲90度
- 在90度弯角处，FRP将有6英寸重叠部分延伸到相邻面



$$(\phi R_u)_{existing} \geq (1.1S_{DL} + 0.75S_{LL})_{new} \quad (9-1)$$

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad \text{计算公式} \quad (9-3)$$

$$\epsilon_s = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{br}) \left(\frac{d-c}{d_j-c} \right) \quad (10-10)$$

$$v_{sa} = 0.083 \sqrt{\frac{f'_c}{nE_s I_r}} < 0.9v_{sa} \quad \text{in in.-lb units}$$

$$f_{fe} = E_f \epsilon_{fe} \quad (10-4)$$

$$f_{fs} \leq \text{sustained plus cyclic stress limit} \quad (10-8)$$

$$\phi = \begin{cases} 0.90 & \text{for } \epsilon_s \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\epsilon_t - \epsilon_{sy})}{0.005 - \epsilon_{sy}} & \text{for } \epsilon_{sy} < \epsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{for } \epsilon_t \leq \epsilon_{sy} \end{cases} \quad (10-5)$$

$$f_{cs} \leq 0.80f_y \quad (10-6)$$

$$f_{cs} \leq 0.45f'_c \quad (10-7)$$

ACI 440.1R-15

设计标准

Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars

Reported by ACI Committee 440

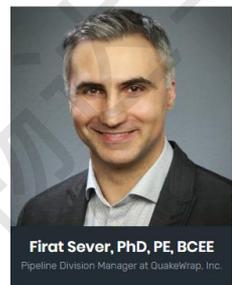
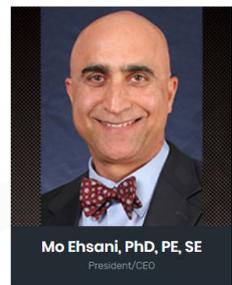
美国混凝土协会 440标准：
外部粘结玻璃纤维增强
混凝土结构设计和施工指南



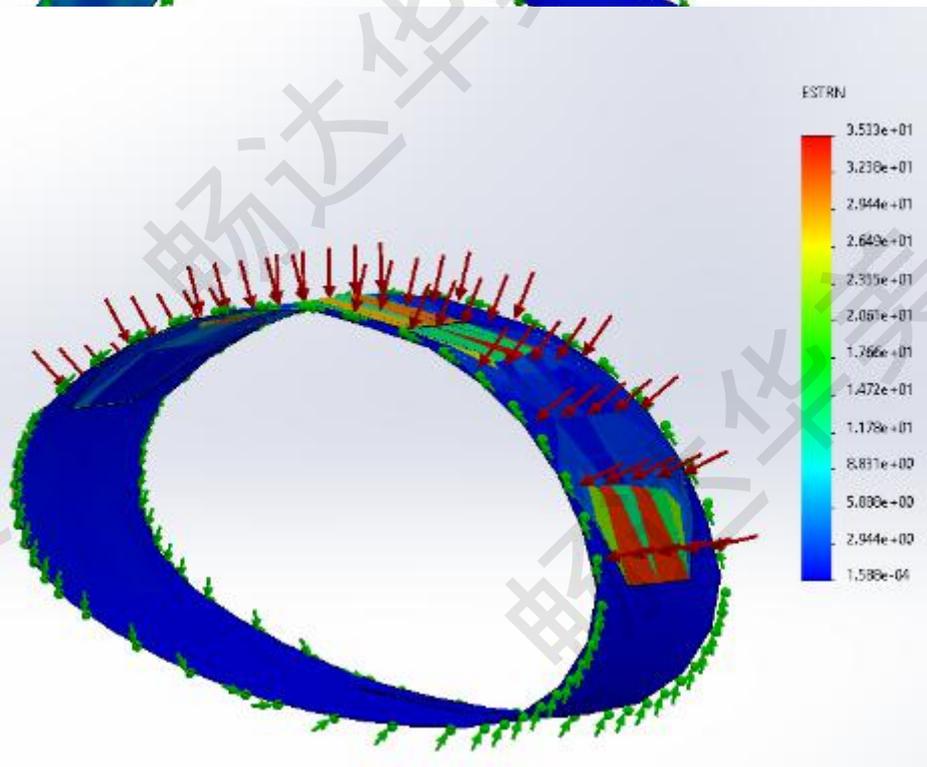
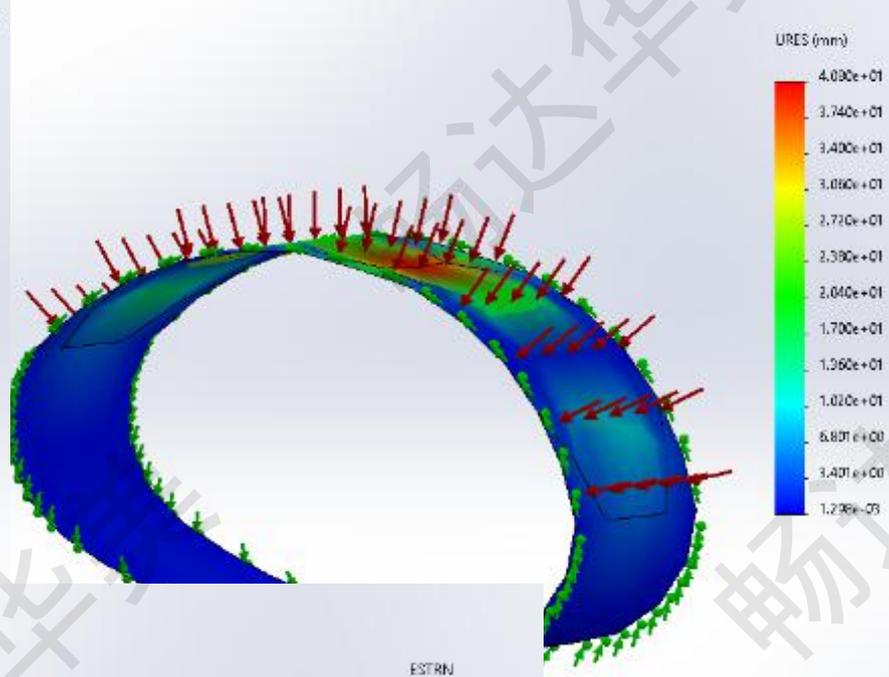
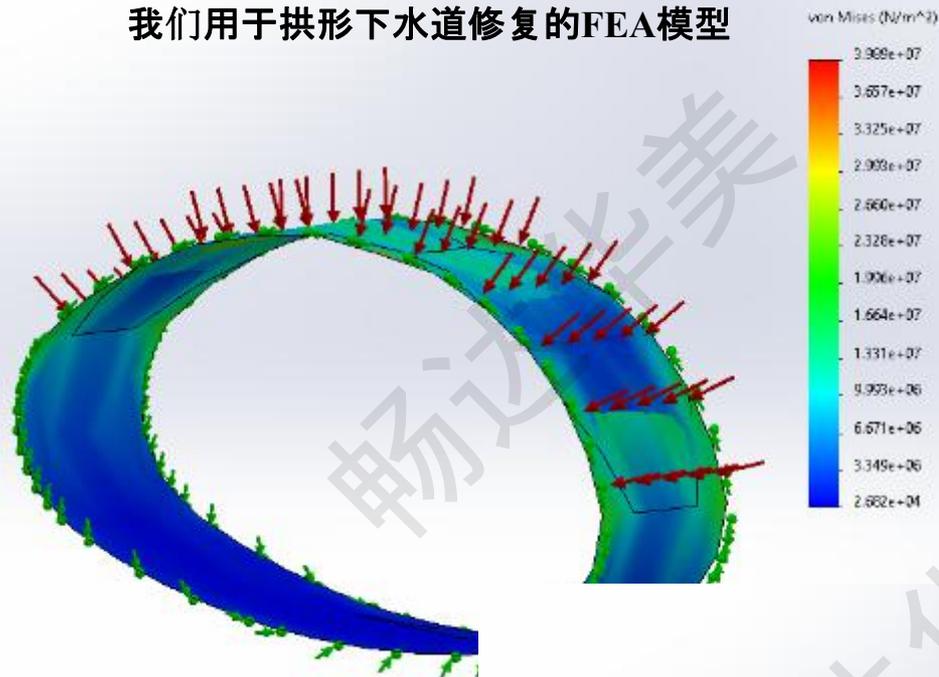
AWWA美国水务协会 C305-18
CFRP应用于预应力混凝土圆柱管
(PCCP)的加固标准

Effective date: Dec. 1, 2018.
First edition approved by AWWA Board of Directors June 9, 2018.
Approved by American National Standards Institute Aug. 23, 2018.

我们的团队很强大，其中，Sever博士领导着美国国家下水道服务公司协会(NASSCO)小组委员会，负责制定纤维增强聚合物(FRP)下水道修复的准则规范。



我们用于拱形下水道修复的FEA模型



谢谢观看

亚太总代理

畅达华美新材料科技有限公司

+86 18621263258

