

# 大口径海水输送管连接结构及施工方法研究

李波

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663

## Study of Large Diameter Seawater Pipe Connecting Structure and Construction Method

Li Bo

CEEC Guangdong Electric Power Design Institute Ltd, Guangzhou

**摘要:** 珠海金湾电厂 2×600MW 超临界机组海水冷却水输送管道是 2 根内圆外方的钢筋砼管, 内径为 3.45m, 单管长约 632m, 连接海水取水泵房和汽机房。电厂实施循环水系统节能运行改造需连接 2 根海水输送管道, 为满足 20 天完成改造的工期要求, 设计了具有自主知识产权的大口径海水输送管连接结构 (RCPB) 及施工方法, 通过施工水压试验验证连接结构安全可靠, 可作为改造工程参考。

**关键词:** 海水输送管道; 连接结构; 施工方法

**ABSTRACT:** 2×600MW supercritical unit seawater cooling water pipeline of Zhuhai Jinwan Power Plant is two reinforced concrete pipes with inner diameter of 3.45m and single pipe length of 632m, connecting seawater intake pump house and steam engine house. Power plant cooling water system energy conservation operation reform needs to connect two water pipeline, to meet the requirements of 20 days to complete transformation period, designed with independent intellectual property rights of large diameter water pipe connection structure(Reconstruct concrete pipe bond, RCPB) and construction method, and through the construction of the water pressure experiment verify the safe reliability of the joint, which can be taken as reference to renovation project.

**KEY WORD:** Sea water delivery pipeline; Connection structure; construction method

## 1 前言

### 1.1 研究目的

为节约淡水水资源, 大型滨海电厂采用海水作为汽轮发电机凝汽器冷却水, 输送海水管道管径为 DN3200mm~DN3800mm, 系统最大工作压力小于 0.4MPa。埋地海水输送管道宜采用现浇钢筋砼管道, 在海水冷却水泵出水管和凝汽器进水管采用钢管焊接连接, 新建现浇钢筋砼管道与钢管之间采用预埋防水钢套管或预埋法兰短管进行连接。

珠海金湾电厂 2×600MW 超临界机组扩大单元制系统改造项目需将已建钢筋砼管与新建钢管进行连接<sup>1</sup>, 由于钢筋砼管道侧壁无法预埋管, 现浇混凝土结构需要养护时间 28 天以上, 无法满足改造项目停水时间 20 天要求; 而且滨海地区大口径

海水管道拆除和施工会遭遇台风、地下水水位偏高, 以及受海水侵入等影响, 施工工期长, 风险高; 此外, 海水对钢筋砼管内的钢筋腐蚀是不可逆的, 因此海水输送管道施工期和运行中对密封性要求非常高, 这些原因导致原有钢筋砼管与钢管连接难度远高于新建与钢管连接的钢筋砼管道。

基于此, 有必要针对钢筋砼管道与钢管连接难度高、施工工期长、改造费用高的问题, 研究一种安全可靠的大口径海水输送管道连接结构及先进合理又经济的施工方法, 降低改造难度。

### 1.2 现有技术及存在的问题

1) 预埋防水钢套管、预埋法兰短管一般用于新建的现浇钢筋砼管沟, 无法在已建的旧钢筋砼管沟接口进行预埋。

2) 在新旧钢筋混凝土交界面无法预埋橡胶止水带, 混凝土两次浇筑时由于伸缩变形量不均匀,

极容易产生裂缝,造成渗水,埋地管道无法直接观察到渗漏点,堵漏处理相对复杂,如处理不及时当钢筋接触到海水被腐蚀后会造成不可逆的破坏,严重时必然影响管道结构安全<sup>2</sup>。

现有技术公开了市政管道工程一种管道承插连接密封工艺<sup>3</sup>,第一管道为玻璃钢夹砂管,第二管道为钢管,第一管道的外壁开设有间隔设置的凹槽,在凹槽内设置两个金属橡胶密封圈,将第二管道从插口处插入第一管道承口内,相邻的两个密封圈与第一管道的内壁及第二管道的外壁形成灌浆空腔,在第一管道上钻出与灌浆空腔连通的 14mm 口径注浆孔,通过注浆孔往灌浆空腔注入弹性灌浆料。金属橡胶密封圈由于具备橡胶的弹性以及金属的拉伸性,在一定范围内具备承压和密封的双重作用,在灌浆过程中防止灌浆料从两端渗出,确保灌浆料填充密实,因此属于弹性密封连接方式。现有技术中在管道承口内采用的金属橡胶密封圈耐久性无法满足电厂输送海水的管道结构设计使用年限 50 年的要求,对于埋地大口径海水输送管道也不具备二次开挖和更换条件。

3) 由于电厂循环水系统施工改造工期仅能在一台 600MW 机组计划停机检修期间约 30 天内进行,为满足机组启停机的冷却水可用,循环水系统停用时间约 20 天,工期非常有限,一台机组非计划停机损失每天达 682 万元,因此要求施工须一次成功,不能出现返工。

4) 沿海地区为台风高发区,当遇到台风暴雨等恶劣天气,现浇钢筋混凝土管的施工周期无法控制,压力管道通水后万一出现裂缝渗漏,现浇钢筋混凝土管裂缝补漏难度大,系统无法按时通水,会严重影响机组正常运行。

## 2 技术方案

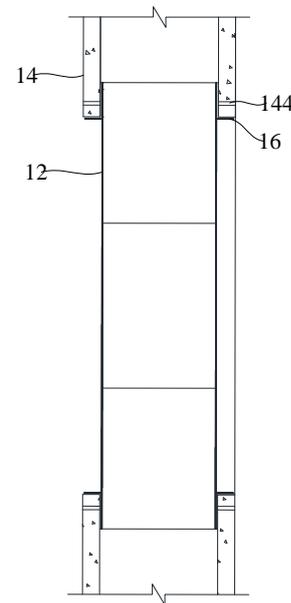
为实现大口径压力钢管与现浇钢筋混凝土管连接,系统运行安全可靠,设计了具有自主知识产权的一种大口径海水输送管连接结构及施工方法。

### 2.2.1 管道连接结构

本连接结构主要由现浇钢筋混凝土管道 14、预制焊接钢管 12、挡水环 16、灌浆孔 144、耐海水型灌浆料、加强钢制肋板等组成,结构型式见图 1。

图 1 管道连接结构

Fig1 Connecting Structure of Seawater Supply piping

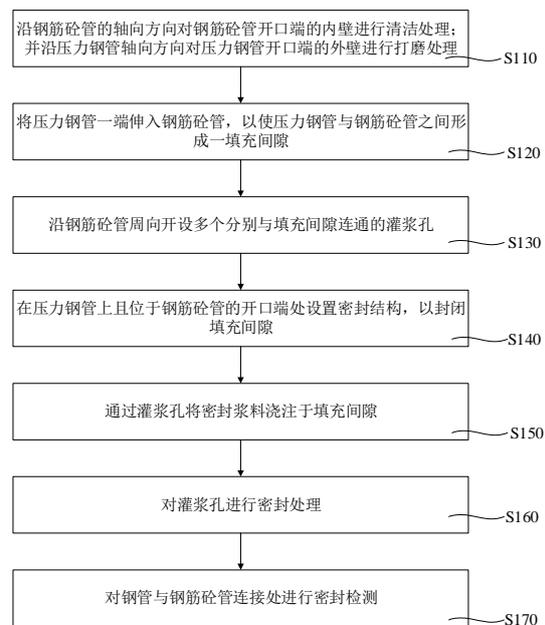


### 2.2.2 管道施工方法

分析研究灌浆料选型、开孔位置、管道安装工艺,以及系统水锤计算等要求,确定海水输送管道连接方法的施工工艺流程见图 2。

图 2 管道连接方法的施工工艺流程

Fig2 Construction Procedures of Piping



管道连接包括以下步骤:

1) 步骤 S110, 沿钢筋砼管 14 的轴向方向对钢

筋砼管 14 开口端的内壁进行清洁处理；并沿压力钢管 12 轴向方向对压力钢管 12 开口端的外壁进行打磨处理。

具体地，先对钢筋砼管内壁端部的预设长度范围内进行清除处理，以清除掉内壁预设长度范围内的异物；然后在已经进行清洁处理的钢筋砼管的内壁进行凿毛处理。同时也可以在对钢筋砼管内壁端部的预设长度范围内进行打磨除锈，除锈的精度达到 St3 级以上。

其中，预设长度为压力钢管伸入钢筋砼管的长度，可根据施工需要而定的，能保证压力钢管与钢筋砼管之间的连接强度即可。本技术应用案例预设长度为 1m。

2) 步骤 S120，将压力钢管 12 一端伸入钢筋砼管 14，以使压力钢管 12 与钢筋砼管 14 之间形成一填充间隙。

具体地，压力钢管伸入到钢筋砼管中后调整压力钢管，以使压力钢管的外壁与钢筋砼管内壁之间的间隙分布均匀，从而形成填充间隙。由于压力钢管是圆形管，而钢筋砼管外壁虽然不是圆形，但内壁截面也是圆形，因此压力钢管的外壁与钢筋砼管内壁之间的间隙是可以调整至均匀的，对于间隙分布的要求为间隙误差小于 1mm。

3) 步骤 S130，沿钢筋砼管 14 周向开设多个分别与填充间隙连通的灌浆孔 144。

进一步地，在两个相对的边侧上各开设一个灌浆孔，在顶侧间隔开设六个灌浆孔，在衔接于边侧与顶侧的两个斜侧上各开设一个灌浆孔 1。钢筋砼管外壁包括垂直于地面设置的且与地面相连的两边侧、与边侧相连的且倾斜设置的两个斜侧及水平设置的与两个斜侧相连的顶侧。实际应用中，边侧与斜侧上的灌浆孔是倾斜设置，灌浆孔在钢筋砼管外壁的孔口距地面的高度比灌浆孔在钢筋砼管内壁的孔口距离地面的高度高，顶侧的灌浆孔为竖直开设。具体地，边侧与斜侧上的灌浆孔倾斜角度为  $45^\circ$ ，且每一灌浆孔的孔径为 100mm。

灌浆孔的开设也可以是在钢筋砼管进行清洁处理之前进行，以避免开设灌浆孔时出现的异物附着在压力钢管外壁或者钢筋砼管内壁。

4) 步骤 S140，在压力钢管 12 上且位于钢筋砼管 14 的开口端处设置密封结构 16，以封闭填充间隙。

通过在压力钢管两端设置抵靠对应钢筋砼管

开口端的密封板，既实现对填充间隙的密封，阻挡密封浆向管外流动，提高密封效果，而且注入的密封浆通过重力自流充满填充间隙，无需高压注入，注浆更加方便，同时密封浆料在填充间隙内固化后，作为一种刚性连接密封方式，配合密封板的作用，也能防止压力钢管长时间使用时发生滑移，提高海水输送管道的可靠性。进一步地，将密封板套设于压力钢管，且弹性件夹持于密封板与钢筋砼管开口端之间，且被夹紧至变形，然后在密封板、弹性件及钢筋砼管之间进行麻丝封堵，并在表面涂抹环氧树脂胶泥，以进一步提高连接的密封性。具体地，密封板焊接于压力钢管外壁。

5) 步骤 S150，通过灌浆孔 144 将密封浆料浇注于填充间隙。

进一步地，在灌浆孔为偶数个，且偶数个灌浆孔以钢筋砼管的中轴线为基准两两对称设置，即如上述实施例中开设十个灌浆孔，操作步骤为自下而上依次将密封浆料浇注于灌浆孔，且每次同时浇注两两对称的两个灌浆孔。

密封浆料从灌浆孔重力自流注入，并充满填充间隙。具体地，通过两边侧上的两个灌浆孔将密封浆料浇注于填充间隙直至密封浆料从边侧的灌浆孔溢出，再将边侧的灌浆孔堵住；通过两斜侧上的两个灌浆孔将密封浆料浇注于填充间隙直至密封浆料从斜侧的灌浆孔溢出，再将斜侧的灌浆孔堵住；通过顶侧上的灌浆孔将密封浆料浇注于填充间隙直至密封浆料从顶侧的所有灌浆孔中溢出。灌浆孔可以通过锥度木塞进行封堵，由于顶侧的灌浆孔是竖直的，因此无需用锥度木塞堵住，而且最后在进行顶侧的灌浆时，密封浆料并非必须要从顶侧溢出，只要能保证填充间隙被密封浆料充分的填满即可。

为了保证密封浆料分布均匀，采取了倾斜设置的灌浆孔，当边侧及斜侧的灌浆孔溢出密封浆料时，填充间隙内的密封浆料的高度已经高过位于钢筋砼管内壁的灌浆孔孔口的高度，为了保证密封浆料的持续输入则需要增加一定的灌入压力，使得填充间隙内的密封浆料分布更加均匀，填充更加紧密；其次，从边侧高度较低的灌浆孔开始灌入也使得密封浆料的分布更加均匀。此外，两边侧上的两灌浆孔及两斜侧上的两灌浆孔分别是同时

进行灌浆的，也提高了密封浆料分布的均匀性。

6) 步骤 S160, 对灌浆孔 144 进行密封处理。

具体地, 待密封浆料固化后, 钢板覆盖在钢筋砼管外壁的灌浆孔开口处, 然后膨胀螺栓一端固定连接于钢板, 另一端连接于锥度木塞, 已经钢板保持在灌浆孔开口处, 从而对灌浆孔进行密封固定。顶侧的灌浆孔的密封可以是膨胀螺栓连接于已经固化的密封浆料中。

7) 步骤 S170, 对压力钢管 12 与钢筋砼管 14 连接处进行密封检测。

进一步地, 待密封浆料凝固后, 在管道内输水, 并检测压力钢管与钢筋砼管连接处是否存在冒泡渗水。若 24 小时内没有冒泡渗水现象, 则改造完成; 若检测到冒泡渗水, 对所述冒泡渗水点进行高压注浆处理。具体地, 高压注浆可反复进行, 直至密封检测时 24 小时内没有冒泡渗水现象。

通过采用上述的管道连接方法, 压力钢管与钢筋砼管通过密封浆料固定且密封的连接, 且只需要将原本的钢筋砼管进行截断, 压力钢管的两端与两段钢筋砼管均可采用该方式进行连接, 有效的降低的钢筋砼管的改造成与压力钢管连接的难度, 缩短了施工工期, 降低了改造成本。

密封浆料固化后初期抗压强度为 20MPa(g), 终期抗压强度达 60MPa(g), 属于刚性连接密封方式。

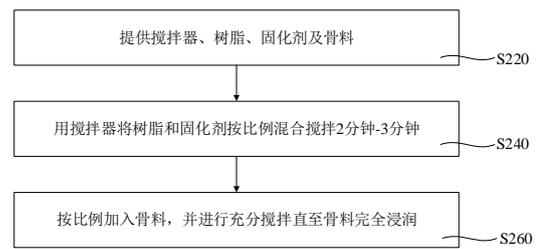
### 2.2.3 施工优化方案

#### 2.2.3.1 第一步: 管道灌浆材料选型。

管道灌浆施工时采用 TD-B5 耐海水型环氧树脂灌浆料。提前做好灌浆料备料并留有裕量, 环氧树脂灌浆料严格按照使用说明书要求进行调配, 并考虑灌浆料的流动性, 本技术应用案例经过多次试验得到最佳配合比例为: 树脂: 固化剂: 骨料=1: 0.25: 4; 搅拌顺序为用手提式搅拌器将树脂和固化剂按比例混合搅拌 2~3min 后, 再按比例加入骨料充分搅拌至骨料完全浸润。要求环氧树脂灌浆料灌浆前应先做试验, 确定调配搅拌方法正确后进行施工。密封浆料制作工艺流程见图 2。

图 3 密封浆料的制作工艺流程

Fig3 Sealing Slurry Production Process



密封浆料制作包括以下步骤:

- 1) 步骤 S220, 提供搅拌器、树脂、固化剂及骨料。
- 2) 步骤 S240, 用搅拌器将树脂和固化剂按比例混合搅拌 2min-3min。
- 3) 步骤 S260, 按比例加入骨料, 并进行充分搅拌直至骨料完全浸润。

密封浆料应具有可流动性, 要求密封浆料从灌浆孔灌入后靠重力自流能在短时间内充分的填满填充间隙, 且能够在遇到空气后短时间内发生固化, 以避免密封浆料流入钢筋砼管内部。为确定密封浆料制作的原料的最佳比例, 需要多次进行现场试验, 因此树脂、固化剂及骨料应留有裕量。

#### 2.2.3.2 第二步: 优化灌浆施工工艺。

在钢管与钢筋砼管有 1m 长的重叠配合部位, 对钢筋砼管表面进行打磨, 清除表面异物至光洁, 伸入钢筋砼管 1m 范围钢管使用电动工具, 打磨除锈彻底, 见金属光泽, 精度要求至少达到 Sta3 级以上, 再对砼表面进行凿毛处理, 确保灌浆料与原砼壁有良好的粘结性。

钢管安装工艺应打磨坡口角度  $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ , 对口间隙 1mm~2mm, 内外露出金属光泽 10mm~15mm, 错口不超过 1mm, 钢管与钢筋砼管间隙调整均匀, 四角间隙误差应小于 1mm, 焊接管道, 对焊缝都应进行 PT 着色检查表面无气孔、无裂纹、无夹渣, 涂刷重防腐涂料防腐。

确定灌浆开孔的具体位置, 在钢管与钢筋砼管 1m 长的重叠配合部位, 在钢筋砼管上方水平面中间位置开 6 个孔, 倒角位置两侧各开 1 个孔, 从倒角向下 500mm 位置处各开 1 个孔, 孔径均为 100mm, 开孔角度  $45^{\circ}$ , 每侧共开孔 10 个。

在灌浆前, 挡水环安装牢固, 管道两端挡水环有间隙的部位用麻丝封堵填实, 再对表面涂抹环氧树脂胶泥, 开始进行灌浆, 先从倒角向下 500mm 位置两侧开孔同步灌浆, 灌浆应连续进行, 严格控

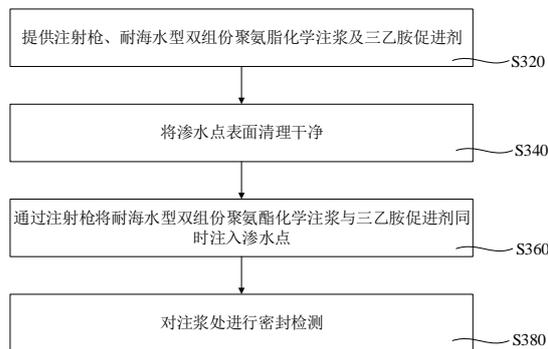
制灌浆速度，直到该孔位置有浆溢出浆后，及时用锥度木塞封堵，固化达到强度后用钢板与膨胀螺栓在钢筋砼管密封固定，依次顺序往上灌浆。

### 2.2.3.3 第三步：优化管道渗漏补漏工艺。

本技术应用案例 2×600MW 汽轮发电机组，每台机组设置两台海水取水泵及一条海水输送管道，两条海水输送管道互相连通。经系统水锤计算分析，当联络阀门开启状态，两机四泵切换到两机三泵运行时最大瞬态压力为 0.2379 MPa(g)。钢筋砼管连接段钢管安装完毕后，需对管道进行水压试验，水压试验压力取 0.4MPa(g)，待检查 24h 无渗水、漏水现象，经验收合格后，接口处方可进行土方回填。现场调试反馈灌浆凝固后，钢筋砼管与钢管的密封处存在几处冒泡渗水点，应首先现场确认钢筋砼管密封处无渗水裂缝，针对局部的渗水点，采用高压注浆管道补漏施工工艺见图 4。

图 4 高压注浆的施工工艺流程

Fig4 High Pressure Grouting Construction Process



高压注浆管道补漏包括以下步骤：

- 1) 步骤 S320，使用注射枪、耐海水型双组份聚氨酯化学注浆及三乙胺促进剂。经工程验证，注浆料用于海水其粘结强度高、可注性好，三乙胺促进剂用于加速化学注浆的固化速度。
- 2) 步骤 S340，将渗水点表面清理干净。采用压缩空气将渗水点的表面吹扫干净，用丙酮清洗。
- 3) 步骤 S360，通过注射枪将化学注浆料与促进剂同时注入渗水点。注浆压力不大于 5MPa，注浆孔间距不大于 20cm。
- 4) 步骤 S380，对注浆处进行密封检测。检测方法与上述压力钢管与钢筋砼管连接处密封检测的方法相同，无冒泡，无渗水。如果第一次封闭未完全达到封闭效果，则重复以上高压注浆步骤，并控制好时间间隔，直至注浆密实，性能质量达

到设计要求。

## 3 结论

本技术应用于珠海金湾电厂 2×600MW 机组循环水扩大单元制改造工程采用两个阶段施工：第一阶段(2013 年 9 月 1 日~2013 年 11 月 1 日)，完成 4 号机组循环水管改造；第二阶段(2014 年 3 月 1 日~2014 年 4 月 20 日)，完成 3 号机组循环水管改造。3 号机组拆除的钢筋砼管比 4 号机组缩短了 8m，缩短工期 10 天，节省停机费用达 6820 万元，见图 5。改造完工投运至今，管道系统运行安全可靠，节能效益显著。

- 1) 大口径压力钢管与现浇钢筋砼管连接结构型式安全可靠，止水效果优良，显著降低现浇钢筋混凝土土建和压力钢管安装施工难度，有效防止海水腐蚀，适用于海水输送管道的连接。
- 2) 大口径海水输送管连接结构解决了新旧混凝土二次浇筑分界面极容易产生裂缝的难题，实现了不同时期、不同材质、任意连接长度的大口径压力钢管与现浇钢筋砼管连接。
- 3) 大口径现浇钢筋混凝土管连接段重力自流灌浆密封和高压注浆补漏施工方法先进合理，施工周期缩短至 20 天内，经济效益显著，满足海水输送管道结构设计使用年限要求。

图 5 管道切割与连接改造

Fig5 Pipe Cutting and Connection Renovation





## 参 考 文 献

- [1] 李波. AFT 稳态分析在电厂循环水系统节能改造的应用研究[J]. 2021 年中国电机工程学会年会论文集, 2021, 11:32.
- [2] 刘锋. 珠海电厂循环水管裂缝的分析及处理[J]. 广东土木与建筑, 2001, 5: 71-72.
- [3] 邓学让, 黄琼, 罗来辉等. 一种管道承插连接密封工艺: 中国, 201611024701. 4[P]. 2017-03-15.

收稿日期: 2022-7-28

作者简介:

李波(1976-), 男, 陕西西安人, 正高级工程师, 从事发电厂水工设计咨询。