

泵站前池水下钢格栅安装与结构稳定性保障技术

王晓嘉

上海市水利工程集团有限公司, 上海 201612

DOI:10.61369/WCEST.2025050002

摘 要： 本文聚焦于泵站前池水下钢格栅的安装与结构稳定性保障技术。阐述了钢格栅在泵站前池中的重要作用，介绍了安装前的各项准备工作。重点探讨了水下钢格栅的创新安装技术。同时，通过理论分析深入研究了影响钢格栅结构稳定性的因素，并提出了一系列针对性的保障措施。本文旨在为泵站前池水下钢格栅的安全、高效安装及长期稳定运行提供技术支持和参考依据。

关 键 词： 泵站前池；水下钢格栅；安装技术；结构稳定性

Installation Technology and Structural Stability Assurance Techniques for Underwater Steel Gratings in the Forebay of Pump Stations

Wang Xiaojia

Shanghai Water Conservancy Engineering Group Co., Ltd., Shanghai 201612

Abstract： This paper focuses on the installation technology and structural stability assurance techniques for underwater steel gratings in the forebay of pump stations. It elucidates the crucial role of steel gratings in the forebay of pump stations and introduces various preparatory tasks before installation. The paper primarily explores innovative installation techniques for underwater steel gratings. Meanwhile, through theoretical analysis, it delves into the factors influencing the structural stability of steel gratings and proposes a series of targeted assurance measures. This paper aims to provide technical support and a reference basis for the safe, efficient installation, and long-term stable operation of underwater steel gratings in the forebay of pump stations.

Keywords： forebay of pump stations; underwater steel gratings; installation technology; structural stability

引言

泵站作为水利工程的关键组成，承担水位调节、水流输送等核心任务，而泵闸枢纽的长期稳定运行直接关系流域防洪排涝与水资源调配效率^[1]。吴淞江工程新川沙泵闸枢纽作为长三角地区重要水利设施，已正式通水运行，但其泵站前池在实际工况中发现，水中枯枝、泥沙等杂物易随水流进入水泵机组，导致叶轮磨损、流量衰减等问题。为解决这一隐患，需在不中断通水的前提下新增水下钢格栅，而通水环境下的水下作业面临水流干扰大、能见度低、安全风险高等挑战，常规施工技术难以直接适配^[2]。因此，结合该枢纽实际工况，深入研究适配通水环境的水下钢格栅安装技术与结构稳定性保障方法，不仅能解决该工程的实际问题，更能为同类已通水泵闸枢纽的设施升级提供可借鉴的技术路径，具有重要的工程实践意义。

一、泵站前池水下钢格栅安装前准备

（一）不锈钢材质类型与检验

1. 材料检验

结合吴淞江工程新川沙泵闸枢纽前池高含沙、弱腐蚀的通水工况，钢格栅材料检验重点如下：

材质选型与验证：水下钢格栅常规材质为 Q235B 碳素钢与 304 不锈钢^[3]。本工程因枢纽重要性及长期稳定需求，主要采用 304 不锈钢，需核查材质证明，确保屈服强度 $\geq 205\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\geq 520\text{MPa}$ ，铬 18%–20%、镍 8%–10.5%，符合 GB/T3280–

2021；局部次要区域用 Q235B 时，需满足屈服强度 $\geq 235\text{MPa}$ 、抗拉强度 375–500MPa。

外观与尺寸检验：逐片排查钢格栅，用肉眼 + 磁力探伤仪检测裂纹、变形等缺陷；游标卡尺测量网孔尺寸，偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内，避免影响杂物拦截。

防腐质量检查：304 不锈钢需表面光洁无氧化皮、油污；Q235B 采用热浸镀锌 + 环氧富锌漆复合防腐，涂层测厚仪检测锌层 $\geq 85\mu\text{m}$ 、漆膜 $\geq 60\mu\text{m}$ ；304 不锈钢若加强防腐，需满足同等涂层厚度要求。

2. 设备调试

由于吴淞江工程新川沙泵闸枢纽已通水,新增钢格栅施工需依赖专业水下作业设备,且设备性能直接决定施工安全与质量^{[4][5]}。在施工前,必须对所有设备进行全面调试,确保其性能良好,运行安全可靠。对于潜水设备、水下焊接设备及起重设备,调试要求与前文一致,需分别检查密封性、参数匹配性及起吊稳定性。水下钻孔植筋专用设备调试:包括水下钻机、植筋胶注射枪、钢筋定位器等。调试水下钻机时,需检查其防水性能、转速调节功能;调试植筋胶注射枪时,需验证胶液混合比例及注射压力稳定性;调试钢筋定位器时,需校准其垂直度测量精度,确保植筋后钢筋轴线与设计位置偏差 $\leq 3\text{mm}$ 。

3. 施工环境勘察

详细勘察泵站前池的施工环境是确保钢格栅顺利安装的重要前提。首先,测量前池的水深、水温、水流速度等水文参数。水深测量可采用回声测深仪,准确获取不同位置的水深数据,为钢格栅的安装高度和起吊设备的选择提供依据。水流速度的测量可采用流速仪,通过测量不同深度和位置的流速,分析水流的分布情况,以便在安装过程中采取相应的措施来对抗水流的影响。对前池已浇筑的底板和侧壁墩墙进行探摸,确认有没有障碍物或者淤积,需要进行清理后再进行植筋预埋,以确保钢格栅安装后的稳定性^[6]。

二、泵站前池水下钢格栅安装技术

(一) 水下焊接工艺

针对吴淞江工程新川沙泵闸枢纽通水后水下作业的特殊性,钢格栅焊接采用局部干式水下焊接工艺。由于泵闸已通水,无法排空水体,该工艺通过在焊接区域构建临时密封舱隔绝水流,确保焊缝质量。具体操作中,密封舱选用透明聚碳酸酯材质,适配钢格栅连接节点尺寸(300mm \times 300mm),舱体与前池侧壁、钢格栅表面采用橡胶密封圈密封,通过抽水泵将舱内水抽出,保持舱内气压略高于外部水压(0.02MPa),避免通水水流渗入影响焊接。

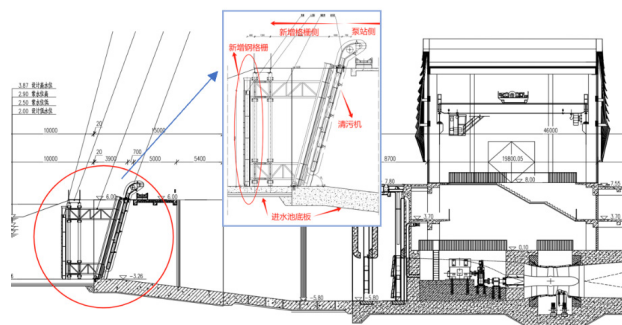


图1 新川沙泵闸枢纽水下钢格栅安装断面示意图

注:示意图展示通水环境下,潜水员在密封舱内进行焊接作业,舱体隔绝水流,水下摄像机实时监测施工质量,确保不影响泵闸正常通水。

焊接材料选用适配304不锈钢的ER308L焊丝,若局部焊接Q235B钢则选用ER50-6低合金钢焊丝,焊接前均用无水乙醇擦拭焊丝表面油污,防止水下焊接产生气孔。焊接参数根据该枢纽前池水温与水流情况调整,焊接304不锈钢时电流190-210A、电压22-23V,焊接Q235B钢时电流180-200A、电压20-22V,焊接速度均控制在80-100mm/min,采用短弧焊接方式减少弧光对水下能见度的影响。焊接完成后,待焊缝冷却至环境温度,采用水下超声波探伤仪对焊缝进行100%检测,确保焊缝无未焊透、裂纹等缺陷,其中I级焊缝合格率需达到100%,满足通水环境下钢格栅的受力要求。

(二) 精确的定位与固定方法

1. 水下钻孔植筋固定埋件的选型

水下钻孔植筋施工需搭配专用设备,核心设备及选型依据如下:

水下钻机:选用液压驱动式水下钻机,额定扭矩 $\geq 200\text{N}\cdot\text{m}$,最大钻孔直径 $\leq 50\text{mm}$,具备防水等级IP68,可适应0-30m水深作业,且配备钻渣收集装置,避免钻孔产生的混凝土碎屑污染水质或影响后续植筋质量。

植筋胶:选用水下专用环氧基植筋胶(如Sikadur30SDC),需满足GB 50367-2013《混凝土结构加固设计规范》要求,在水下环境中固化时间 ≤ 24 小时,固化后抗压强度 $\geq 80\text{MPa}$,抗拉强度 $\geq 25\text{MPa}$,且与不锈钢钢筋及混凝土的粘结强度 $\geq 3.5\text{MPa}$ 。

辅助设备:包括水下摄像监控系统、水下清孔刷、钢筋导向器。

2. 水下钻孔植筋固定埋件的施工方法

水下钻孔植筋施工需严格遵循“定位-钻孔-清孔-注胶-植筋-固化养护”的流程,具体步骤如下:

定位标记:潜水员携带全站仪辅助定位装置,在混凝土基体上标记植筋位置,确保相邻植筋间距偏差 $\leq 10\text{mm}$,植筋中心与钢格栅连接孔中心对齐偏差 $\leq 5\text{mm}$;标记完成后,通过水下摄像系统与岸上指挥台确认定位精度,无误后进入下一步。

水下钻孔:潜水员操作水下钻机,按设计孔径和深度进行钻孔;钻孔过程中,开启钻机的钻渣收集装置,同时通过水流扰动控制减少钻渣扩散;钻孔完成后,通过水下深度尺测量孔深,确保符合设计要求。

孔壁清理:采用“高压水冲洗+清孔刷擦拭”的双重清孔方式,先用0.8MPa高压水枪冲洗孔壁,再用水下清孔刷反复擦拭孔壁,直至清孔刷无明显污物。

植筋胶注射:潜水员操作植筋胶注射枪,从孔底向孔口缓慢注射植筋胶,注射量控制为孔体积的70%-80%;注射过程中,通过水下摄像系统观察胶液填充情况,若发现气泡,需暂停注射并排出气泡后继续。

钢筋植入:将预处理后的地脚锚栓插入钻孔,通过钢筋导向器确保钢筋垂直植入;植入后轻轻旋转钢筋,使植筋胶与钢筋表面充分接触;最后用水下定位仪检查钢筋垂直度和植入深度,偏差超限时及时调整。

固化养护：根据植筋胶产品说明书要求，在水下环境中进行固化养护，养护期间禁止扰动钢筋；养护完成后，采用水下拉拔仪对植筋进行现场抽检，要求单根钢筋拉拔力 \geq 设计值，合格后方可进行钢格栅与埋件的连接施工。

三、泵站前池水下钢格栅结构稳定性影响因素分析

（一）水流冲击作用

泵站前池中的水流速度和流量会随着泵站的运行工况而发生变化，水流对钢格栅产生的冲击作用是影响其结构稳定性的重要因素之一。当水流速度较大时，会在钢格栅表面产生较大的动水压力，导致钢格栅受到周期性的冲击力。长期承受这种冲击力，钢格栅的结构容易发生疲劳损伤，出现裂纹、变形等问题，从而降低其结构稳定性。此外，水流的脉动特性还可能引发钢格栅的振动，当振动频率与钢格栅的固有频率接近时，会产生共振现象，进一步加剧钢格栅的损坏程度^[7]。为了分析水流冲击对钢格栅结构稳定性的影响，可采用计算流体力学（CFD）方法，建立泵站前池的水流模型，模拟不同工况下水流对钢格栅的作用，通过分析计算结果，了解钢格栅表面的压力分布和受力情况，为结构稳定性评估提供依据。

（二）腐蚀因素

水下环境中的腐蚀性介质，如水中的溶解氧、氯离子、微生物等，会对钢格栅的钢材产生腐蚀作用，导致钢材的强度和韧性下降，从而影响钢格栅的结构稳定性。其中，氯离子对钢材的腐蚀作用尤为明显，它能够破坏钢材表面的钝化膜，使钢材发生点蚀、缝隙腐蚀等局部腐蚀现象。随着腐蚀的发展，钢格栅的杆件截面尺寸逐渐减小，承载能力降低，最终可能导致结构失效。

（三）结构设计缺陷

钢格栅的结构设计是否合理直接关系到其在水下环境中的结构稳定性。如果结构设计存在缺陷，如格栅的杆件布置不合理、连接节点强度不足、整体刚度不够等，在水流冲击和其他外力作用下，钢格栅容易发生变形、破坏。当格栅的杆件间距过大时，可能无法有效拦截水中的较大杂物，导致杂物对钢格栅产生较大的冲击力，进而损坏钢格栅结构；连接节点的设计强度不足，在长期受力过程中容易出现节点松动、断裂等问题，影响钢格栅的整体稳定性^[8]。因此，在钢格栅的设计阶段，应充分考虑其在水下环境中的受力特点和工作条件，采用合理的结构形式和设计参数，确保结构具有足够的强度、刚度和稳定性。

参考文献

- [1] 水泵进水池旋涡研究的主要进展 [J]. 何耘. 水力发电学报, 2004(05).
- [2] 刘建龙;李志爽;陈书宁;薛铮;王翹楚;成立. 秦淮新河泵站前池流态改善措施研究 [J]. 江苏水利, 2024(12).
- [3] 李林蔚. 钢结构施工技术在高层建筑施工中的应用研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2024, (02): 186-188.
- [4] 金鹏举. 智能化监测在水利工程施工安全管理中的应用 [J]. 智能建筑与智慧城市. 2025, (07)181-183.
- [5] 于海燕;赵可锋;张莉莉. 钢板桩支护设计浅析 [J]. 城市道桥与防洪, 2007(11).
- [6] 郑长洲;张采贤;龙玉女. 浅埋小断面隧洞开挖技术在白乃水库中的应用 [J]. 云南水力发电, 2023(02).
- [7] 司涛杰;陈东兆;于庆展. 钢格栅板与钢梁焊接对钢梁稳定性的影响 [J]. 钢结构, 2013(11).
- [8] 徐彦辉. 钢格栅吊顶施工技术 [J]. 科技情报开发与经济, 2009(03).
- [9] 李盛. 泵站工程方案设计与快速演示技术研究 [J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2024(01).
- [10] 陈平. 南沙区某河涌泵站工程设计方案的分析 [J]. 珠江水运, 2024(02).

四、泵站前池水下钢格栅结构稳定性保障措施

（一）优化结构设计

为提高泵站前池水下钢格栅的结构稳定性，在设计阶段应进行优化设计^[9]。首先，合理选择钢格栅的结构形式，根据前池的水流特性、杂物拦截要求以及安装空间等因素，选择合适的格栅类型，如平面格栅、弧形格栅等。对于水流速度较大、杂物较多的前池，可采用弧形格栅，其能够更好地适应水流方向，减少水流对格栅的冲击力。其次，优化格栅的杆件布置和截面尺寸。通过力学分析，确定在各种工况下格栅杆件的受力情况，合理布置杆件，使受力更加均匀，同时根据受力大小选择合适的杆件截面尺寸，确保杆件具有足够的承载能力。对于承受较大拉力的杆件，可适当增大其截面面积，提高其抗拉强度。

（二）加强防腐处理

针对水下环境对钢格栅的腐蚀问题，应采取有效的防腐处理措施。首先，对钢格栅进行表面预处理，去除钢材表面的油污、铁锈等杂质，提高防腐涂层的附着力。常用的表面预处理方法有喷砂除锈、酸洗除锈等^[10]。喷砂除锈能够使钢材表面形成一定的粗糙度，增加涂层与钢材之间的机械咬合力，是一种较为常用且效果较好的预处理方法。其次，选择合适的防腐涂层。目前，常用的防腐涂层有环氧富锌漆、聚氨酯漆、热浸镀锌等。环氧富锌漆具有良好的阴极保护作用，能够有效防止钢材生锈；聚氨酯漆具有优异的耐水性和耐磨性，适用于水下环境；热浸镀锌则是将钢材浸入熔融的锌液中，使钢材表面形成一层锌层，起到防腐作用，其防腐效果持久，但成本相对较高。在实际工程中，可根据具体情况选择一种或多种防腐涂层进行复合使用，以提高防腐效果。

五、结论

泵站前池水下钢格栅的安装与结构稳定性保障技术是确保泵站安全、高效运行的重要环节。通过在安装前做好充分的材料检验、设备调试和施工环境勘察等准备工作，采用先进的水下焊接工艺和精确的定位与固定方法，能够实现钢格栅的安全、准确安装。同时，深入分析水流冲击作用、腐蚀因素和结构设计缺陷等对钢格栅结构稳定性的影响，并采取优化结构设计、加强防腐处理以及建立实时监测与预警系统等针对性的保障措施，能够有效提高钢格栅在水下环境中的结构稳定性，延长其使用寿命。