

# JPCCP顶管在水利工程上的应用

彭永彪

辽宁西北供水有限责任公司 辽宁沈阳 110041

**摘要:**通过对几种常用顶管管材优缺点的比较,从工程的适应性、材料性能、施工难易程度、工程造价等方面,说明了JPCCP预应力钢筒混凝土的优越性,为今后类似工程提供经验。

**关键词:**水利工程;排涝;管径;预应力钢筒混凝土管

## 一、JPCCP管道的结构与性能分析

### 1.管道结构组成

JPCCP管道(预应力钢筒混凝土管)由钢筒、内衬混凝土、预应力钢丝和外包混凝土四部分构成。钢筒作为核心承压构件,能有效抵抗内压,同时防止渗漏;内衬混凝土增强了耐久性与刚度;预应力钢丝紧密缠绕于钢筒外,施加环向压应力,提高结构整体稳定性;外层混凝土则起保护作用,防止钢丝腐蚀。各部分结构协同作用,使得JPCCP在承压与防护方面均优于传统管材,适用于高压长输水利系统。

### 2.力学性能与水力性能

JPCCP管道因其复合结构具备优良的力学性能,能够承受较高的内水压力和外部荷载。预应力钢丝提供环向压应力,延缓裂缝出现,有效提高抗拉强度与疲劳寿命。在水力性能方面,内壁光滑,摩阻系数低,输水效率高,减少了能量损耗。相比钢管或混凝土管,JPCCP既保持了钢材的强度,又融合了混凝土的刚性和稳定性,特别适合用于输水距离远、水压波动大的水利工程场景。

### 3.材料特性与制造工艺

JPCCP的主要材料包括高强度钢材、高性能混凝土和预应力钢丝,需满足严苛的力学和耐久性标准。在制造过程中,先制作钢筒并灌注内衬混凝土,随后进行预应力钢丝缠绕,并在外层浇筑混凝土保护壳。整个工艺需精确控制各结构层厚度、缠绕张力及养护时间,以确保最终产品质量稳定。工厂预制的形式不仅提高了管材的一致性,也便于现场快速安装,减少了施工周期,提升整体工程效率与质量保障。

## 二、JPCCP在水利工程中的优势分析

### 1.结构稳定性与使用寿命长

JPCCP管道采用钢筒与预应力混凝土组合结构,具

备极高的结构稳定性。其预应力系统能有效抵抗内水压产生的拉应力,延缓混凝土开裂,提高整体抗疲劳能力。钢筒内衬为输水提供双重防护,防止腐蚀与渗漏,外层混凝土则起到保护与缓冲作用。这种多重保障使其在恶劣水压或复杂地质条件下仍能保持稳定运行,设计使用寿命通常可达50年以上,远优于传统管道,尤其适用于长期运行的大型水利输水工程。

### 2.施工效率高

JPCCP管道一般为工厂预制,管节长度适中,接口形式标准化,有利于施工现场快速拼装与连接。其安装过程主要依赖机械化作业,降低了人工强度,也减少了因环境复杂或天气因素导致的施工延误。同时,预应力结构减少了对外包混凝土的厚度需求,使得整体重量控制在合理范围,便于吊装与运输。整体来看,JPCCP较传统钢筋混凝土管或现浇管道可显著缩短施工周期,提高施工效率,适用于大规模水利项目的快速推进。

### 3.维护成本低

由于JPCCP管道的结构密实、耐腐蚀性能强,运行过程中极少发生渗漏、破裂等结构性故障,大幅度降低了后期维护频率与维修成本。其内衬钢筒有效抵御水中杂质与化学腐蚀,外层混凝土又能延缓外界环境对钢丝的侵蚀。在日常运行中,除定期检测接缝密封情况外,基本无需大规模检修。与传统混凝土或金属管道相比,JPCCP在整个生命周期内的维护支出更小,综合经济性优势明显,符合现代水利工程对“建管结合”的长效运行要求。

### 4.环境适应能力强

JPCCP具备良好的环境适应性,可广泛应用于高原、丘陵、沙漠、软土地基等复杂地质环境。其强度高、刚度大,能抵抗地基不均匀沉降带来的结构变形风险,适应地下埋设、深埋、浅埋等多种敷设方式。管道表面

抗腐蚀能力强，不受酸性土壤、地下水化学成分影响。无论是沿海地区高盐度水域，还是严寒地区冻胀土层，JPCCP均能保持良好性能，展现出较强的通用性与工程适应性，提升整体系统的运行安全与稳定性。

### 三、JPCCP施工技术与质量控制要点

#### 1. 施工准备与运输方式

在JPCCP管道施工前，必须开展详尽的施工准备工作，确保施工顺利推进。首先应对施工现场进行地质调查和技术交底，明确土壤承载力、地下水位和地形变化，为开挖及敷设方案提供依据。随后应依据管道直径、长度及地形条件制定合理的运输与吊装计划。由于JPCCP多为大型预制构件，其运输需采用专用平板车或重型卡车，并做好管节的防滑、防震及支撑固定。进场前还需对运输路线进行规划，避开低桥、急弯等限制条件，确保运输安全。到达现场后，应设立临时堆放区，保持地面平整、排水畅通，并防止暴晒、雨淋等影响。施工准备阶段的充分与否，直接影响整个工程周期与质量，因此必须高度重视。

#### 2. 接头技术与安装工艺

JPCCP管道的接头工艺对管道系统的密封性和运行安全起着决定性作用。常见的接头形式为橡胶圈承插口，其优点在于连接简便、密封性好、适应沉降变形能力强。在安装过程中，应确保承插口表面清洁、密封胶圈位置正确，并使用专用顶推设备实现对口连接，避免因偏差导致渗漏。施工中需严格控制管道中轴线与纵坡变化，防止连接处错位或接口应力集中，影响管道结构稳定。安装完毕后，还需进行接口密封性能的检查与加固处理，尤其在高水压区域，应加强接口质量复核。整个安装工艺应由具备经验的专业人员进行操作，并配合激光测量等定位技术，确保管节对齐准确、接口稳定、受力均匀，满足长期运行的结构要求。

#### 3. 回填、压实与压力试验

管道安装完成后，回填与压实环节对管道结构保护及运行安全至关重要。首先应在管道两侧对称回填中粗砂或级配碎石，以提供均匀支撑，防止不均匀沉降引起的变形。随后分层压实，每层厚度一般控制在20~30cm内，压实度需达到设计标准，尤其在管顶50cm以内的区域，更应加强控制。回填材料不得含有大块石、杂质或有机物，以避免损伤管道或影响密实性。完成回填后，必须进行系统性压力试验，以验证管道的密封性与承压能力。试验一般采用静水试压法，保持一定水压并持续观测一定时间，看是否存在渗漏、压力衰减等问题。试

压成功是管道正式投入运行的前提，也是质量验收的重要依据，因此操作中应严格依照技术规范执行。

#### 4. 施工质量控制与检测方法

JPCCP施工质量控制贯穿整个安装过程，需从材料进场到管道试压全流程建立科学的检测与验收机制。首先，材料质量需通过出厂合格证与第三方检测报告确认，现场抽检钢筒、钢丝、混凝土等关键构件，确保其符合设计要求。抽检应遵循国家标准规定的频率，钢筒壁厚偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内，混凝土强度不低于设计值的95%，预应力钢丝张力误差应控制在 $\pm 5\%$ 范围内。

安装过程中应设置专人质检，核查管节接口密封、轴线偏差、承插深度等关键参数，必要时进行抽样复测。接口处橡胶圈应无扭曲、翻折，管节轴线偏差控制在10mm以内，承插深度应达到设计值的98%以上。对于重要节点或转弯处，应采用全站仪等精密测量设备进行定位检测，确保管道线形符合水力学要求。安装过程中还应对预留检查孔、排气阀、排泥阀等附属设施位置准确性进行检验，保证其功能正常发挥。

施工单位应建立完整的施工记录与影像资料档案，包括材料进场验收记录、隐蔽工程检查记录、施工测量数据、质量问题处理方案及效果评估等，形成可追溯的质量管理链条，以备后期审查与复查。每个管段安装完毕后，应编制专项质量报告，包含关键节点照片、测量数据及问题处理情况，并纳入工程档案管理系统。

此外，还可采用声波检测、内窥镜检查等先进技术手段，对已埋管道的完整性和接口质量进行无损检测。声波检测可发现管壁隐性裂缝或夹层，内窥镜则用于检查接口密封橡胶圈的变形情况。对于直径较大的管道，还可采用人工巡检方式，直接观察内壁状况。现代技术条件下，可考虑使用管道机器人携带高清摄像设备进行全方位检测，实现信息数字化和可视化管理。

在回填与压实环节，应检测压实度与沉降情况，确保回填质量达标。填料压实度检测应采用环刀法或灌砂法，频率为每50米检测一处，压实系数不低于0.95。管道两侧回填应同步进行，高差不超过30cm，以防止偏载引起管道位移。回填完成后，应设置沉降观测点，定期监测管道沉降量，尤其在软土地基区域，观测频率应加密，及时发现并处理异常情况。

#### 四、优化策略与发展建议

##### 1. 技术创新与工艺改进

随着水利工程规模的不断扩大和环境条件的复杂化，JPCCP管道在结构设计和施工应用中也需持续推进技术

创新与工艺改进,以适应更严苛的工程需求。当前,部分制造企业仍采用传统工艺进行预应力钢筒混凝土管的生产,存在产品标准化程度不高、性能稳定性不足等问题。建议加大在高性能材料方面的研发投入,如应用耐腐蚀性更强的新型钢材、高强度自密实混凝土等,提升整体结构的耐久性与抗渗能力。同时,应加强智能化制造工艺的推广应用,例如通过自动缠绕钢丝、智能养护系统与在线质量监测设备等,提升生产精度和一致性。在安装施工方面,也可引入自动对接系统、激光导向技术以及数字化施工平台,实现从设计到铺设全过程的信息化管理。通过持续创新,JPCCP将更具竞争力,满足水利工程对高质量、高效率管道产品的需求。

## 2. 标准体系建设

目前JPCCP管道在我国虽已被广泛应用于水利、市政工程领域,但整体标准体系尚不健全,区域性差异和施工单位操作习惯仍导致工程质量存在波动。为提高其在行业内的规范化应用水平,亟需建立统一、系统、可操作性强的标准体系。首先,应在国家层面出台涵盖设计、生产、运输、施工、验收等全过程的技术标准与规范,特别是对承插口型式、预应力钢丝配置、混凝土配比、压力试验方法等关键环节加以明确。其次,推动现有行业标准与国际标准接轨,借鉴美、日等国成熟标准体系经验,形成具有国际影响力的标准框架。此外,应建立基于实际工程数据反馈的标准动态更新机制,鼓励企业参与标准修订与优化。通过标准体系建设,不仅有助于保障工程质量、推动技术进步,也将为JPCCP的大规模推广应用奠定制度基础。

## 3. 产业协同与产业链完善

JPCCP的发展不仅依赖于单一制造技术的进步,更需要产业链上下游的深度协同与整体布局优化。目前,部分地区的JPCCP生产企业仍存在原材料采购不稳定、配套设备落后、运输与施工脱节等问题,制约了产品性能的稳定发挥与工程进度的高效推进。因此,应推动建立以龙头企业为核心的产业联盟,整合原材料供应、设备制造、工程设计与施工等关键环节,构建互联互通、资源共享的产业生态系统。一方面,加强与钢材、水泥、机械设备等供应链企业的长期合作,保障材料品质与交付效率;另一方面,通过数字化平台实现从制造到工程应用的全过程信息流贯通,提高管道使用的适配性与可追溯性。同时,可推动区域性产业集群建设,形成集中

化生产与就近配套施工的良性循环,降低综合成本,提升产业整体效率与竞争力。

## 4. 推广机制建设

尽管JPCCP在技术性能上具有显著优势,但在推广应用过程中仍面临认知度不足、市场覆盖不均等问题,尤其在一些中小型水利工程中,其应用比例仍偏低。因此,有必要建立科学、系统的推广机制,提升其行业影响力和市场占有率。首先,应加强政策引导,鼓励政府在重大水利基础设施项目中优先采用JPCCP,并通过财政补贴、技术示范等方式推动其在欠发达地区的普及。其次,可依托科研院所、行业协会等平台组织技术交流会、现场观摩活动,增强设计单位与施工方对JPCCP性能与优势的认知。同时,建议开发标准化设计模板和施工指南,降低初学成本,提高应用便捷性。此外,可引入典型案例库和第三方评估机制,提供真实可参考的工程效果数据。通过多维度、系统化的推广机制,能够逐步打破应用壁垒,加速JPCCP在各类水利工程中的规模化应用。

## 结束语

综上所述,JPCCP预应力钢筒混凝土管道凭借其结构稳固、耐久性强、施工高效及维护成本低等显著优势,已在水利工程领域展现出广阔的应用前景。随着技术创新不断深入、标准体系日益完善、产业链协同逐步加强以及推广机制持续优化,JPCCP管道必将在大型水利输水工程中发挥更加重要的作用。面对日益复杂的水资源调配需求与严苛的工程环境挑战,推广应用这一高性能管材不仅能够有效提升工程质量与运行安全性,还能为水利基础设施建设带来长期经济与社会效益。期待通过行业各方共同努力,使JPCCP管道技术在我国水利现代化建设中取得更加广泛而深入的应用,为国家水安全战略实施提供坚实的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 余彬泉, 陈传灿. 顶管施工技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 1981.
- [2] 毛文明, 文勇, 杨婷. 提高PCCP工程安全可靠性的主要措施[J]. 水利电力科技, 2011(3): 23-26.
- [3] 于厚文, 谷凤涛. 大型PCCP管道工程项目划分实践与探索[J]. 水利技术监督, 2016(2): 101-102, 107.