

装配式水工结构设计与施工关键技术探讨

王 飞

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 石河子 832000

摘 要：本文聚焦装配式水工结构，深入探讨其设计与施工关键技术。通过对装配式水工结构特点的分析，阐述设计过程中的结构选型、连接设计等要点，以及施工环节中的预制构件制作、运输与安装等关键技术。结合实际工程案例，分析技术应用效果及存在的问题，并提出相应改进措施，旨在为装配式水工结构的推广应用提供理论支持与实践参考。

关键词：装配式水工结构；设计技术；施工技术；工程案例

引言

水工结构作为水利工程的重要组成部分，其建设质量直接关系到水利工程的整体性能与运行安全。传统水工结构施工方式多采用现场浇筑，存在施工周期长、劳动强度大、质量控制难度高以及对环境影响较大等问题。随着建筑工业化的发展，装配式建筑技术逐渐在水工领域得到应用。装配式水工结构通过将结构构件在工厂预制，然后运输至施工现场进行组装，具有施工速度快、质量可控、节能环保等优势，符合现代水利工程可持续发展的要求。然而，装配式水工结构在设计与施工方面仍面临诸多挑战，深入研究其关键技术具有重要的现实意义。

1 装配式水工结构特点分析

1.1 结构性能特点

装配式水工结构由预制构件借助可靠的连接方式组合而成，这一特性使其结构性能与传统现浇结构存在显著差异。在受力层面，预制构件于工厂生产过程中具备诸多优势。工厂采用标准化的生产流程和严格的质量管控体系，能够更精准地控制混凝土浇筑质量。从原材料的配比、搅拌到浇筑、振捣等环节，都能按照既定的工艺参数进行操作，从而确保构件的尺寸精度和强度均匀性达到较高水平。例如，在混凝土浇筑时，通过精确的计量设备控制水泥、砂石、水和外加剂的用量，避免了现场施工中因人为因素导致的配比偏差，使得构件的强度更加稳定。

1.2 施工特点

装配式水工结构施工具有鲜明的工业化特征。预制构件在工厂内集中生产，这一模式带来了多方面的优势。工厂采用标准化模具和先进的生产工艺，能够实现大规模、高效的生产。标准化模具的使用保证了构件的尺寸一致性和形状准确性，减少了现场施工中的误差和

调整工作。同时，先进的生产工艺如自动化生产线、智能温控养护系统等，提高了生产效率，缩短了构件的生产周期。例如，自动化生产线可以实现混凝土的自动浇筑、振捣和抹面，大大提高了生产速度和质量稳定性。

1.3 经济与环境特点

从经济角度来看，装配式水工结构虽然前期预制构件的生产成本可能较高。这是因为工厂生产需要投入大量的设备、模具和技术人员，同时还需要承担一定的运输成本。然而，由于施工周期缩短，减少了人工费用和现场管理成本。传统现浇结构施工周期长，需要大量的人工进行模板安装、钢筋绑扎和混凝土浇筑等工作，而装配式水工结构的现场安装工作相对简单，所需人工较少。此外，施工周期的缩短还减少了现场管理的时间和费用，如临时设施的租赁、安全管理等方面的投入^[1]。综合来看，装配式水工结构的整体经济效益较为可观。

2 装配式水工结构设计关键技术

2.1 结构选型与布置

装配式水工结构选型需综合考量工程功能、地质、水文等因素。常见形式有装配式挡水墙、闸室、输水管道等，各有适用场景与特点。塔里木河治理工程广泛应用装配式挡水墙。该河是我国最长内陆河，流域气候干旱、降水少，径流量季节变化大，洪水期水流冲击力强。装配式挡水墙预制构件标准化程度高、施工快、适应复杂地质，有效阻挡水流、维持水位，保障防洪安全。装配式闸室常用于控制水流流量和水位的调节工程，如新疆引额济克工程。此工程旨在将额尔齐斯河水引入克拉玛依市，满足城市发展和农业灌溉用水需求。装配式闸室精准控制水流，确保水资源合理调配，保障工程稳定运行。装配式输水管道用于水资源输送，如新疆“500”水库东岸干渠工程。该工程向乌鲁木齐市输水，装配式输水管道密封性好、输水效率高、安装便

捷,保障了水资源输送。结构布置上,要合理确定预制构件尺寸与划分方式,兼顾结构受力与制作、运输、安装便利性。大型挡水结构可采用分层分段装配,将结构划为多个独立预制单元,按运输和安装能力设计尺寸重量,通过合理连接成整体。如新疆某大型水库大坝工程,借鉴国内外经验,将大坝分坝段、分层预制构件,工厂预制后运至现场用预应力筋连接,保证受力性能又方便施工,缩短工期。

2.2 连接设计

连接设计是装配式水工结构设计的核心,关乎结构安全与可靠性,常用湿连接和干连接。湿连接通过在连接部位浇筑混凝土或灌浆料使构件成整体,整体性和延性好,能更好传递荷载,类似现浇结构性能。但施工工艺复杂,要严格控制混凝土浇筑质量和养护条件,浇筑时确保填充充分,避免空洞裂缝,养护时间长,需保证规定温湿度条件下达到设计强度。新疆某水利枢纽工程部分装配式结构采用湿连接,当地昼夜温差大、气候干燥,施工团队用覆盖保湿膜、喷洒养护剂等措施保证养护质量,确保连接部位强度和耐久性。干连接采用螺栓、焊接、预应力筋等机械连接方式,施工速度快,但连接节点力学性能需精确计算和严格控制。螺栓连接要保证规格、数量和拧紧力矩符合要求;焊接连接要确保焊缝质量;预应力筋连接要精确控制预应力大小和分布。新疆另一水利工程采用螺栓连接,施工人员安装前严格检查螺栓,安装时用专业扭矩扳手按规定拧紧力矩操作并记录检查,保证连接可靠性。设计连接节点时,要充分考虑各种荷载下内力传递路径,通过力学分析和计算确定受力情况,确保节点有足够强度和刚度。同时注意连接耐久性,水工结构环境潮湿、腐蚀性强,连接部位易受侵蚀,要采取防水、防腐措施,如涂抹防水涂料、采用防腐材料。新疆某沿海水利设施工程靠近盐碱地,环境腐蚀性强,设计连接节点时用特殊防腐材料防护,涂抹高性能防水涂料,延长节点使用寿命。

2.3 抗震与抗浮设计

水工结构处于复杂地质水文环境,需考虑地震和地下水浮力作用。抗震设计要根据工程所在地地震烈度和场地条件确定抗震等级和措施。地震烈度衡量地震对地面及建筑物破坏程度,场地条件包括土壤类型、地质构造等。不同条件结构受地震作用不同,需采用相应设计方法。新疆地处欧亚大陆腹地,多地震带交汇,地震活动频繁。某大型水利枢纽工程所在地区地震烈度高,场地为软土层,地质构造复杂。设计团队设置耗能装置、加强连接节点抗震性能提高结构抗震能力。耗能装置如

金属阻尼器、摩擦阻尼器,地震时吸收耗散能量,减少结构响应。加强连接节点抗震性能,采用增加节点配筋、提高节点刚度等措施,增加钢筋数量和直径提高抗剪、抗弯能力,用高强度材料和合理构造设计增加刚度,确保地震不倒塌。抗浮设计要根据地下水位变化计算结构抗浮稳定性,考虑季节、降雨等因素确定最不利地下水位情况,可采用增加结构自重、设置抗浮桩或锚杆等措施。新疆某地下水库工程地下水位高且季节变化大,设计团队长期监测分析确定最不利水位,采用增加结构自重和设置抗浮桩结合措施。增加结构自重通过增大构件尺寸、采用高密度材料实现;设置抗浮桩将浮力传递到深层稳定地层,提高抗浮能力。经实际运行验证,抗浮设计有效可靠,保障工程安全稳定运行。

3 装配式水工结构施工关键技术

3.1 预制构件制作技术

预制构件的质量是保证装配式水工结构质量的基础。在构件制作过程中,要严格控制原材料的质量。选用符合设计要求的水泥、砂石、钢筋等材料是关键。水泥要具有良好的强度、安定性和凝结时间等性能;砂石要符合级配要求,保证混凝土的密实性;钢筋要具有足够的强度和韧性,满足结构的受力要求。对原材料进行严格的检验和试验,确保其质量符合标准。采用先进的模具技术和生产工艺,确保构件的尺寸精度和表面平整度。先进的模具技术可以采用高精度的加工设备和工艺,制作出尺寸精确、表面光滑的模具。在生产过程中,要定期对模具进行检查和维护,保证模具的尺寸精度和形状稳定性。生产工艺方面,可以采用自动化生产线和智能控制系统,实现混凝土的自动搅拌、浇筑、振捣和养护等环节的精确控制。例如,采用振动台振捣可以使混凝土更加密实,提高构件的强度和质量。对于一些特殊要求的构件,如带有预埋件或复杂形状的构件,要制定专门的制作方案。预埋件的位置准确性直接影响到后续构件的连接和安装,因此要采用精确的定位装置和固定方法,确保预埋件在构件中的位置符合设计要求。对于复杂形状的构件,要采用特殊的模具和成型工艺,保证构件的成型质量。同时,要加强构件制作过程中的质量检测。采用无损检测技术如超声波检测、射线检测等,对构件内部缺陷进行检测;对构件的尺寸、强度等性能指标进行定期抽检,及时发现和处理质量问题,确保构件质量符合设计要求。

3.2 预制构件运输与堆放技术

预制构件的运输和堆放需要采取专门的措施,以防止构件在运输过程中损坏。根据构件的尺寸、重量和形

状,选择合适的运输车辆和运输方式。对于大型、重型构件,要采用专用的平板拖车进行运输,并配备专业的吊装设备进行装卸。在运输过程中,要对构件进行牢固的固定,避免构件晃动和碰撞。可以采用钢丝绳、木楔等固定装置,将构件固定在运输车辆上,确保运输安全。构件堆放场地应平整坚实,排水良好。不平整的场地会导致构件受力不均,产生变形;排水不畅会使场地积水,影响构件的质量。按照构件的类型、规格和安装顺序进行分类堆放,并设置明显的标识。这样可以方便构件的查找和管理,提高施工效率。堆放层数要根据构件的强度和稳定性确定,避免构件因堆放过高而发生变形或损坏。对于强度较低的构件,要减少堆放层数;对于形状不规则的构件,要采用特殊的堆放方式,保证构件的稳定性^[4]。

3.3 预制构件安装技术

预制构件的安装是装配式水工结构施工的关键环节。安装前,要对施工现场进行清理和平整,确保安装基准线的准确。施工现场的杂物和障碍物会影响构件的安装精度,因此要进行彻底清理。安装基准线是构件安装的依据,要采用精确的测量仪器进行放线,确保基准线的准确性和垂直度。根据构件的重量和尺寸,选择合适的起重设备进行吊装。起重设备的选型要根据构件的最大重量和起吊高度进行确定,确保起重设备具有足够的起重能力和安全系数。在吊装过程中,要严格控制构件的起吊速度和角度,避免构件发生碰撞和扭曲。起吊速度过快会使构件产生较大的惯性力,容易导致构件损坏;起吊角度不当会使构件受力不均,影响安装质量。构件就位后,要及时进行临时固定,然后按照设计要求进行连接施工。临时固定可以采用支撑、拉索等方式,确保构件在连接施工过程中不发生位移。对于湿连接,要保证混凝土或灌浆料的浇筑质量,严格控制养护条件。混凝土或灌浆料的配合比要符合设计要求,浇筑过程中要充分振捣,确保密实性^[5]。养护条件包括温度、湿度和养护时间等,要按照规范要求进行了养护,保证混凝土或灌浆料达到设计强度。对于干连接,要确保螺栓拧紧力矩符合设计要求,焊接质量达到规范标准。螺栓拧紧力矩要用扭矩扳手进行检测,焊接质量要进行外观检

查和无损检测。

3.4 施工质量控制与监测技术

在装配式水工结构施工过程中,要建立完善的质量控制体系,加强对原材料、预制构件制作、运输、安装等各个环节的质量检测。质量控制体系要明确各部门和人员的职责,制定详细的质量检测计划和标准。对原材料进行严格的进场检验,对预制构件制作过程进行全程监控,对运输和安装环节进行定期检查,确保每个环节的质量都符合要求。采用先进的无损检测技术,如超声波检测、射线检测等,对构件内部缺陷和连接质量进行检测。无损检测技术可以在不破坏构件的情况下,检测构件内部是否存在裂缝、空洞等缺陷,以及连接部位的质量是否符合要求。同时,要设置施工监测点,对结构的变形、应力等参数进行实时监测。通过安装传感器和数据采集系统,实时获取结构的变形和应力数据,及时发现施工过程中的异常情况并采取相应的处理措施。例如,如果发现结构的变形超过设计允许值,要及时调整施工方案或采取加固措施,确保施工质量和结构安全。

结束语

随着科技的不断进步和建筑工业化的深入发展,装配式水工结构将迎来更广阔的发展前景。未来,应进一步加强装配式水工结构的基础理论研究,完善设计规范和施工标准。研发新型的预制构件材料和连接技术,提高结构的性能和耐久性。同时,加强信息化技术在装配式水工结构设计、施工和管理中的应用,实现全过程的智能化控制,推动装配式水工结构向更高水平发展。

参考文献

- [1]牛君青.分析预制装配式建筑结构体系与设计[J].建材与装饰,2020(05):85-86.
- [2]龚辉.基于模块化的装配式结构设计要点分析[J].建筑技术开发,2020,47(01):5-6.
- [3]刘政委.装配式建筑结构设计及施工技术研究[J].工程技术研究,2020,5(01):32-33.
- [4]刘洋.基于装配式建筑结构设计要点分析[J].门窗,2019(24):160.
- [5]车姗,李梦琦,刘海琳.装配式建筑设计要点分析与优化策略[J].居舍,2019(35):97.