

大断面引水隧洞混凝土衬砌施工技术分析

赵文栋

青海黄河上游水电开发有限责任公司工程建设分公司

摘要：大断面引水隧洞混凝土衬砌施工技术是水利工程中关键的一环，不仅要求施工人员具备丰富的经验和技能，还需要运用先进的施工方法和技术。本文旨在对大断面引水隧洞混凝土衬砌施工技术进行分析，探讨施工工艺中的关键环节，如模板安装、混凝土浇筑和养护等，并介绍一些常用的质量控制方法。总结目前存在的问题和挑战，并提出相应的解决方案，以供业内人士借鉴及参考。

关键词：大断面；引水隧洞；混凝土；衬砌；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.21.023

一、工程概况

羊曲水电站位于青海省海南州兴海县与贵南县交界处，是黄河干流龙羊峡水电站上游“茨哈、班多和羊曲”三个规划梯级电站的最下一级，距上游班多水电站河道距离约75km，距下游龙羊峡水电站河道距离约100km。距离省会西宁市242km，距贵南县城50km，对外交通方便。

羊曲水电站引水发电建筑物布置在右岸，其左侧为拦河大坝，引水发电建筑物由岸塔式进水口、压力引水管道、岸边地面厂房及尾水渠等组成。进水口平面上呈“一”字型排列，共三个进水塔，为一机一塔布置型式。压力引水管道采用埋管布置，从进水口到厂房，按“一机一管”方式供水，采用垂直进厂方式，引水管道内径10.0m，三条管道长度分别为549.23m、599.90m、650.57m，引用流量394.40m³/s。

二、大断面引水隧洞混凝土衬砌施工流程及技术要点

（一）基础处理

大断面引水隧洞混凝土衬砌施工中的基础处理是确保隧道基础的稳定性和可靠性的重要环节。在进行基础处理之前，需要清理隧道基础，清除表层土壤、岩石碎片和杂物，确保基础表面干净。修整基础表面，使其平整、均匀，并满足设计要求的高程和几何形状。可以采用机械或人工方法进行修整，确保基础平整度符合要求。根据地质勘探结果和设计要求，对基础进行加固处理。为了防止地下水的渗入，对基础进行防水处理，其能有效保护混凝土衬砌免受水的侵蚀，延长隧道的使用寿命。基础处理完成后，进行基础的质量检测。常见的检测方法包括测量基础的高程和平整度、检测基础的强度和稳定性等。

（二）钢筋下料加工与绑扎

大断面引水隧洞混凝土衬砌施工中，钢筋下料加工与绑扎能够在很大程度上确保衬砌结构强度和稳定性。以下是该施工过程中钢筋下料加工与绑扎的技术操作要

点：

1. 钢筋下料加工

a. 根据设计图纸和要求，确定每根钢筋的长度和直径。b. 使用合适的工具，如钢筋剪切机、钢筋弯曲机等，对钢筋进行下料加工。确保钢筋的长度准确，并保持边缘的垂直度和平整度。c. 根据需要，对钢筋进行弯曲处理，以适应衬砌结构的曲线形状。

2. 钢筋绑扎

a. 将加工好的钢筋按照设计要求和图纸放置在预定的位置上。注意保持钢筋之间的间距和保护层的要求。b. 使用捆扎工具，如钢丝扎带、钢丝绳等，将钢筋进行绑扎。确保绑扎牢固，钢筋之间不得有松动或错位。c. 在绑扎过程中，注意避免钢筋与模板接触，以防止钢筋锈蚀和混凝土质量受损。d. 对于交叉钢筋的绑扎，应注意将其交叉点牢固绑扎，并确保交叉点处的钢筋连接紧密。

3. 质量检查与验收

a. 在钢筋下料加工和绑扎完成后，进行质量检查。检查钢筋的长度、直径、弯曲度和绑扎牢固性等方面是否符合设计要求和规范要求。b. 进行钢筋绑扎质量的验收，确保钢筋的安装符合相关标准和规范。在实际施工中，还应根据具体情况和设计要求进行合理调整，并严格按照相关规范和标准进行操作。

（三）模板支拆

在大断面引水隧洞混凝土衬砌施工过程中，模板支拆是一个关键的技术操作。第一，确定支拆时机。模板的支拆时间应根据混凝土的强度和稳定性来确定。一般情况下，混凝土达到设计强度的70%左右时可以进行支拆。可通过混凝土强度试块试验来确定混凝土的强度。第二，合理安排支拆顺序：支拆应按照逆序进行，即从最后一节模板开始拆除，逐节向前进行。这样可以保证模板的稳定性和整体结构的完整性。第三，使用合适的工具：支拆过程中，需要使用合适的工具和设备进行操作。在支拆模板时，要注意安全，避免发生意外事故。第四，控制支拆力度。在拆除模板时，要控制拆除力度，避免对混凝土衬砌造成损坏或破坏。可采用逐节支撑的方式，先拆除模板的一部分，再进行支撑，然后再继续拆除下一部分。第五，拆除过程中的检查。支拆过程中，要不断检查混凝土的状态和结构的稳定性。如发现混凝土存在裂缝、变形或其他异常情况，及时采取措施进行修复或加固。最后是清理工作，在模板支拆完成后，及时清理拆除下来的模板和杂物，保持施工现场的整洁和安全。

（四）止水带、挡头板及预埋管安装

在大断面引水隧洞混凝土衬砌施工过程中，止水带、挡头板和预埋管的安装是关键的技术操作。

1. 止水带安装

首先要确定好止水带的类型和规格，根据设计要求选择适当的止水带材料。在混凝土衬砌施工前，将止水带安装在洞壁和洞顶的交界处，并确保止水带与洞壁的紧密贴合。同时使用适当的固定装置（如螺栓、夹具等）将止水带固定在洞壁上，以确保其位置和稳定性。对于止水带的接缝处，使用专用的密封材料进行密封处理，以防止水的渗漏。

2. 挡头板安装

确定挡头板的尺寸和材料，根据设计要求选择适当的挡头板。在混凝土衬砌施工前，将挡头板安装在洞口或需要进行分段施工的位置。使用适当的支撑装置和螺栓将挡头板固定在洞壁上，确保其稳定性和垂直度。对于挡头板与洞壁之间的缝隙，使用密封材料进行密封处理，以防止水的渗漏和泥浆流失。

3. 预埋管安装

根据设计要求和隧洞结构的需要，确定预埋管的类型、规格和位置。在混凝土衬砌施工前，将预埋管安装在洞壁和洞顶的预留孔洞中，使用适当的固定装置将预埋管固定在洞壁上，确保其位置和稳定性。对于预埋管的接口处，使用密封材料进行密封处理，以防止水的渗漏。

在进行止水带、挡头板和预埋管的安装时，需要注意以下几点：①操作人员应具备相关的安装经验和技能，并佩戴合适的个人防护用具。②安装过程中要严格按照设计要求和相关规范进行操作，确保安装的准确性和质量。③定期检查已安装的止水带、挡头板和预埋管的状态，确保其完整性和有效性。④如果发现任何问题或异常情况，应及时采取措施进行修复或更换，确保止水结构和结构的安全性。

（五）设置伸缩缝

在大断面引水隧洞混凝土衬砌施工过程中，设置伸缩缝是非常重要的，它可以缓解混凝土衬砌由于温度和湿度变化而引起的应力和变形。以下是设置伸缩缝的技术操作要点：一是要确定伸缩缝位置。根据设计要求和工程实际情况，确定伸缩缝的位置。通常，伸缩缝设置在隧洞纵向和横向的交叉处、转弯处以及隧洞的起止点等位置。二是设计伸缩缝尺寸。根据工程的温度变化范围、混凝土的收缩性能以及其他因素，确定伸缩缝的尺寸。伸缩缝的宽度一般为混凝土衬砌厚度的1.5倍到2倍，深度通常为混凝土衬砌厚度的1/3到1/2。三是打开伸缩缝模具。在混凝土衬砌施工过程中，当需要设置伸缩缝时，需要在模板上安装伸缩缝模具。伸缩缝模具的开口应与设计要求一致，并确保模具的平整度和垂直度。四是浇筑混凝土。在设置好伸缩缝模具后，可以进行混凝土的浇筑。在浇筑混凝土时，要注意控制混凝土的流动性和坍落度，确保混凝土充分填满伸缩缝模具，并采取振捣等措施以排除空隙和气泡。最后是完善伸缩缝处理。在混凝土初凝后，需要对伸缩缝进行处理。在伸缩缝两侧的混凝土表面涂刷伸缩缝专用的防水剂，以防止水分渗透。使用伸缩缝填料填充伸缩缝，填料的选

择应符合设计要求。最后将伸缩缝模具拆除，使伸缩缝形成预定的空隙。

（六）混凝土拌制及运输

在大断面引水隧洞混凝土衬砌施工过程中，混凝土的拌制和运输是关键的一环。首先，准备所需的水泥、骨料、砂子和其他混凝土掺合料。确保原材料的质量符合设计要求，并进行充分的检验和试验。同时准备混凝土拌合设备，例如搅拌车、搅拌站或搅拌机。确保设备的清洁和正常运行，以避免混凝土质量受到污染或设备故障影响。根据工程设计要求和混凝土性能要求，确定混凝土的配合比。配合比应包括水灰比、骨料含量、掺合料用量等参数，并进行充分的试验和调整。按照配合比要求，将水泥、骨料、砂子和掺合料按比例加入拌合设备中。在拌合过程中，应控制适当的搅拌时间和搅拌速度，确保混凝土均匀混合，并达到所需的坍落度和流动性。在混凝土拌制过程中，需要进行质量检验。包括对原材料的检验、混凝土的坍落度、强度和密实度等指标的检测，以确保混凝土质量符合设计要求。随后将拌制好的混凝土装载到运输工具中，如搅拌车或运输车辆。在运输过程中，应控制混凝土的温度、坍落度和流动性，避免混凝土质量的变化。

（七）混凝土浇筑及养护

在大断面引水隧洞混凝土衬砌施工过程中，混凝土的浇筑和养护是至关重要的环节。在混凝土浇筑前，需要对施工区域进行清理和处理，确保基础平整、洞壁清洁，并进行必要的防水处理。准备好所需的浇筑工具和设备。根据具体情况选择合适的浇筑方式，常见的有自流式浇筑、抛掷式浇筑、喷射式浇筑等。选择适合的浇筑方式可以确保混凝土均匀分布，减少气泡和空隙的产生。根据设计要求和施工方案，确定混凝土的浇筑顺序和分层次。通常，从洞顶向洞底依次进行浇筑，每层的厚度和浇筑面积应控制在可操作的范围内。在浇筑过程中，应控制混凝土的流动性和坍落度，确保混凝土充分填满模板，避免空隙和孔洞的产生。同时，进行适度的振捣或震动，以排除混凝土中的气泡和减少固结时间。在混凝土浇筑完成后，需要进行养护措施，以保持混凝土的湿润和温度稳定，促进混凝土的强度发展。常见的养护措施包括覆盖防护层、喷水养护、覆盖湿布等。养护时间根据混凝土的强度发展情况和环境条件确定，通常为7天到28天。在养护过程中，需要监控混凝土的养护质量。包括对养护措施的执行情况进行检查和记录，定期检测混凝土的强度和湿度，以确保养护效果和混凝土的质量。

三、大断面引水隧洞混凝土衬砌施工存在的问题及解决措施

（一）混凝土浇筑质量问题

1. 不均匀浇筑

不均匀的混凝土浇筑可能导致衬砌的强度不均匀，影响隧洞的稳定性。应在浇筑过程中采用适当的振捣设备，并合理安排浇筑顺序，确保混凝土能够均匀地填充到衬砌空间中。

2. 振捣不充分

振捣是确保混凝土密实性的关键步骤。振捣不充分会导致混凝土内部存在空洞和孔隙，降低衬砌的强度和密实性。在振捣过程中可以使用适当类型和规格的振捣设备，并进行充分的振捣，确保混凝土能够充分填充衬砌空间并排除空气。

3. 渗漏和裂缝

不正确的混凝土浇筑可能导致渗漏和裂缝的产生，从而影响隧洞的防水性能和结构稳定性。因此，在混凝土浇筑前，对隧洞表面进行充分清洁和润湿处理，使用适当的防水剂或添加剂，控制混凝土的水灰比和骨料粒径，以提高混凝土的抗渗性能和抗裂性能。

4. 混凝土坍落度控制不当

混凝土坍落度的控制直接影响到浇筑质量。坍落度过高或过低都会影响混凝土的流动性和密实性。针对这个问题可以根据实际情况调整混凝土的配合比，控制水灰比和粉砂比，合理控制混凝土的坍落度，以确保混凝土在浇筑过程中能够均匀流动并充分密实。

5. 温度和湿度控制不当

混凝土的温度和湿度对其硬化过程和强度发展有重要影响。施工过程中如果对温度和湿度控制不当，可能导致混凝土的早期龄期强度低、收缩和开裂等问题。应合理安排施工进度，避免在极端温度和湿度条件下施工；采取适当的保温、湿养措施，控制混凝土的温度和湿度，促进其正常硬化和强度发展。

在大断面引水隧洞混凝土衬砌施工中，要重视混凝土浇筑质量问题，采取合理的解决措施，确保混凝土的均匀性、密实性和强度，以保证隧洞工程的安全和稳定。

（二）衬砌接缝处理问题

大断面引水隧洞混凝土衬砌施工中，衬砌接缝处理是一个重要的环节，可能存在以下问题：第一，接缝不准确。衬砌块的拼接接缝不准确可能导致接缝间存在空隙，影响隧洞的防水性能和结构稳定性。在进行衬砌块拼接前，进行精确的测量和标记，确保衬砌块的准确对接，避免接缝间存在空隙。第二，接缝填充不当。接缝填充材料选择不当或填充不到位可能导致渗漏问题。解决措施是选择合适的接缝填充材料，如聚氨酯密封剂、硅酮密封胶等，确保填充材料能够充分填满接缝，并具有良好的密封性能。第三，接缝压浆不充分。衬砌接缝处的压浆处理不充分可能导致接缝处的强度不够，容易发生渗漏和结构松动。在衬砌接缝处应进行充分的压浆处理，使用适当的压浆设备，确保压浆材料能够充分填满接缝，并达到设计要求的密实度和强度。第四，接缝处理缺乏密封性能。衬砌接缝处理缺乏密封性能可能导致水压力下的渗漏问题。解决措施是在接缝处理中使用适当的密封材料，如橡胶密封条、聚氨酯密封剂等，确保接缝的密封性能，有效防止水的渗透。第五，接缝处理缺乏稳定性：衬砌接缝处理缺乏稳定性可能导致接缝的变形和开裂。在接缝处理前，对接缝周围的支护进行加固，采取适当的支撑和固定措施，确保接缝的稳定

性，并防止接缝处的变形和开裂。在大断面引水隧洞混凝土衬砌施工中，衬砌接缝处理的质量关系到隧洞的安全和防水性能。要注重衬砌接缝处理的准确性、填充性、压浆性、密封性和稳定性，采取相应的解决措施，确保接缝处的质量符合要求。

（三）钢筋外露问题

1. 钢筋过长或凸出

施工中，如果钢筋的长度超过设计要求或者在混凝土表面凸出，会导致钢筋外露。在施工前应精确测量和标记钢筋的长度，确保其符合设计要求，并在混凝土浇筑前将钢筋正确埋入混凝土中，避免在表面凸出。

2. 钢筋保护层不足

混凝土衬砌中，钢筋需要有足够的保护层来防止腐蚀和损坏。如果保护层不足，钢筋容易暴露在外部环境中，导致钢筋外露。因此应在施工过程中，严格按照设计要求控制混凝土的覆盖厚度，确保钢筋有足够的保护层。

3. 钢筋混凝土浇筑不牢固

如果钢筋在混凝土浇筑过程中没有得到正确的固定，容易造成钢筋移位和外露。解决措施是在浇筑混凝土前，使用合适的支撑和固定装置将钢筋正确固定在位，避免钢筋的移动和外露。

4. 施工过程中的损伤

施工过程中，如果钢筋受到意外损伤或者被施工设备误碰，可能导致钢筋外露。需加强施工现场的管理，确保施工设备和人员对钢筋的保护，避免钢筋受到损伤。

5. 混凝土表面处理不当

施工完成后，如果混凝土表面的处理不当，如未进行充分的修整和抹光，容易造成钢筋外露。因此，要在混凝土表面进行充分的修整和抹光，确保钢筋被完全覆盖在混凝土之下，防止外露。在大断面引水隧洞混凝土衬砌施工中，钢筋外露问题会对结构的耐久性和安全性产生负面影响。要加强钢筋的精确安装、保护层控制、固定和表面处理工作，确保钢筋能够被充分保护，不发生外露现象。

四、结束语

大断面引水隧洞混凝土衬砌施工技术的研究和应用对于水利工程的安全运行具有重要意义。文章通过对衬砌材料选择、施工工艺和质量控制等方面进行详细分析，提出了相应的解决方案，为相关工程的实施提供了参考和指导。随着工程规模和复杂性的增加，仍然存在一些挑战和难题需要解决。我们应不断加强研究，改进技术，提高施工质量，以确保大断面引水隧洞混凝土衬砌施工技术的可靠性和安全性。

参考文献

- [1]王新杰.关于大断面引水隧洞混凝土衬砌施工的探讨[J].工程建设与设计,2019,(16):174-175.
- [2]任明武.大断面引水隧洞混凝土衬砌施工技术[J].山西建筑,2016,(19):152-154.