

箱涵供水工程的结构设计与安全性分析

吕天明

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 835000

摘要: 本文旨在探讨箱涵供水工程的结构设计与安全性,从结构设计的基础处理、细部构造到安全性评估进行全面分析。通过理论推导与规范引用,本文详细阐述了箱涵供水工程的结构设计及其安全性保障措施,为相关工程实践提供理论依据和技术指导。

关键词: 箱涵供水工程; 结构设计; 基础处理; 细部构造; 安全性分析

引言

箱涵供水工程作为城市基础设施的重要组成部分,承担着输送水源、保障供水安全的重要任务。其结构设计合理性与安全性直接关系到工程的运行效率与长期稳定性。因此,对箱涵供水工程的结构设计与安全性进行深入分析,具有重要的理论意义和实践价值。

1 箱涵供水工程结构设计

1.1 基础处理设计

箱涵供水工程的基础处理设计是确保结构稳定性和承载能力的关键环节。针对工程中常遇到的古河道和其他软弱地基情况,基础处理设计必须严格依据地基承载力的实际情况进行科学规划。对于箱涵基底以下厚度小于1.0m的软弱地层,设计采用直接清除并换填的措施。这一过程中,需先对软弱地层进行彻底清理,去除其松散、承载力低的部分,然后换填具有较高承载力和稳定性的土壤或砂石材料,以确保换填层能够作为箱涵的坚实承载基层。对于厚度大于1.0m的软弱地层,设计规定换填1.0m厚的土层。这一换填层的设置旨在保护下卧的软弱土层不被破坏,同时分散箱涵荷载,维持箱涵的整体稳定。换填材料的选择应充分考虑其承载力、稳定性和与周围土层的相容性,以确保换填效果的有效性和长期性。在地基加固方面,设计可采用松木桩、砂石垫层等多种方法进行综合加固。松木桩具有较高的抗压和抗拔力,能够有效地增强地基的承载力和稳定性。砂石垫层则能够通过其良好的透水性和压实性,改善地基的排水条件,提高地基的密实度和承载力。

1.2 进口与出口设计

1.2.1 进口设计

箱涵进口的设计是确保水流平稳进入箱涵的关键环节。为了实现这一目标,设计时可采用渐变段和导流墙等措施。渐变段的设计旨在使水流在进入箱涵前逐渐调整流速和方向,减少水流对箱涵进口的冲击和能量损

失。这一设计能够有效避免水流直接冲击进口边缘,造成局部冲刷和损坏。对于无压力式涵洞,进口水深与涵洞净高的关系尤为重要^[1]。设计时需确保进口水深适当,以避免产生吸气漩涡等不利流态。吸气漩涡不仅会影响水流的平稳进入,还可能造成空气被吸入涵洞,影响涵洞的正常运行。因此,设计时需对进口水深进行精确计算,并根据实际情况进行适当调整。

1.2.2 出口设计

出口设计的主要目标是确保水流能够顺畅排出箱涵,避免产生雍水现象。为了实现这一目标,设计时可采用扩散段和消能设施等措施。扩散段的设计能够使水流在排出箱涵前逐渐扩散,降低水流速度,减少冲刷。这一设计能够有效避免水流直接冲击出口边缘,造成局部冲刷和损坏。同时,出口高程和坡度设计也是出口设计的重要组成部分。设计时需确保出口高程与下游河道或排水系统的高程相协调,以避免产生雍水现象。此外,出口坡度也需与下游河道或排水系统的坡度相衔接,确保水流能够顺利接入下游系统。这一设计能够有效避免水流在出口处产生回流或漩涡等不利流态,影响箱涵的正常运行。

1.3 水力坡度与纵坡设计

水力坡度是箱涵供水工程设计中一个至关重要的参数,它直接关联到水流在箱涵内部的能量损耗情况。具体而言,水力坡度定义为水流在箱涵内沿程的水位降落与流程长度的比值。在设计阶段,必须根据水流的具体特性和箱涵的材质等多方面因素,来科学合理地确定水力坡度的数值。这一设计过程的目的是确保水流在箱涵内部能够顺畅地流动,同时保证能量损失控制在可接受的范围内。为了实现这一目标,设计师需要深入了解水流在箱涵内的运动规律,以及不同材质对水流能量损耗的影响,从而做出精确的设计决策。

1.3.1 纵坡设计

纵坡设计是箱涵供水工程中的另一个关键要素，它主要关注箱涵沿长度方向的坡度设置。这一设计直接决定了水流在箱涵内的流动方向和速度，因此具有极其重要的意义。在进行纵坡设计时，需要综合考虑地形条件、水流特性以及箱涵结构的稳定性等多重因素。通常情况下，为了降低水流对箱涵的冲刷和沉积作用，会采用缓坡或平坡的设计方案。这样的设计不仅有助于保护箱涵结构，还能延长其使用寿命^[2]。同时，纵坡设计还需要与上下游系统进行充分的协调。这包括确保纵坡与上下游河道的坡度相衔接，以避免产生雍水或回流现象。通过这样的设计，可以确保水流在箱涵内以及与其相连的上下游系统中都能保持顺畅的流动状态，从而提高整个供水工程的运行效率和稳定性。

1.4 细部结构设计

箱涵的细部结构设计是确保箱涵密封性和耐久性的关键环节。其中，结构缝及止水设计是细部结构设计的核心内容。在结构缝布置方面，设计规定结构缝的宽度一般设置为2cm，并采用双止水结构以确保其密封性。止水带作为主要的止水措施，能够有效地阻止水分渗透，保证箱涵内部的干燥。同时，辅以双组份聚硫胶进行嵌缝止水，进一步增强了结构缝的密封效果。在边墩（包括顶板、底板）和中墩部位，根据实际运用中止水方向的不同，设计采用了不同的止水布置形式，以确保各个部位都能达到良好的止水效果。在材料选择方面，箱涵一般采用现场浇筑的钢筋混凝土结构。混凝土的强度等级根据不同部位的要求而有所差异，除垫层采用C15等级的混凝土外，其余部位均采用C30等级的混凝土，以确保箱涵的整体承载能力。同时，混凝土的抗渗等级设置为P6，以有效抵抗水分的渗透，保证箱涵的耐久性。钢筋的选用也经过了精心的考虑，主要选用HPB300和HRB400E两种类型的钢筋，它们具有良好的力学性能和抗腐蚀性能，能够进一步增强箱涵结构的承载能力和耐久性。

2 箱涵供水工程安全性分析

2.1 荷载计算与内力分析

箱涵供水工程在运营过程中，必须能够承受来自多个方面的荷载，这些荷载主要包括土压力、水压力以及车辆荷载等。为了确保结构的安全性，需要进行精确的荷载计算与内力分析。

(1) 荷载计算

在荷载计算方面，首先要考虑的是垂直土压力。这是由土壤自重和地面附加荷载共同产生的，其大小取决于土壤的容重、箱涵的埋深以及地面荷载的大小。垂直土压力

的计算可以采用朗肯土压力理论或库仑土压力理论。例如，根据朗肯土压力理论，垂直土压力 P_v 可以表示为：

$$P_v = \gamma \times z \times K_a$$

其中， γ 是土壤的容重， z 是箱涵的埋深， K_a 是主动土压力系数，它取决于土壤的摩擦角和墙背的倾斜角度。其次，侧向土压力也是一个重要的考虑因素。它主要由土壤侧向变形引起，其大小与土壤的侧向变形系数、箱涵的几何形状以及埋深有关。侧向土压力的计算可以采用弹性理论或半无限空间体理论。此外，对于位于交通要道的箱涵，还需要考虑汽车荷载产生的垂直压力。这种压力的大小和分布取决于车辆的重量、轮胎的接地压力以及车辆的行驶速度等因素。汽车荷载的计算可以根据交通流量、车辆类型以及轴重等数据进行统计和分析。

(2) 内力分析

在内力分析方面，主要利用电子表格Excel等工具进行单孔箱涵内力计算。通过输入各种荷载的大小和分布，以及箱涵的几何形状和材料参数，可以计算出箱涵在不同荷载组合下的弯矩、剪力、轴力等内力分布情况。具体来说，可以使用Excel的电子表格功能，建立箱涵内力计算的模型。该模型可以包括箱涵的几何尺寸、材料性质、荷载大小等参数。通过输入这些参数，模型可以自动计算出箱涵在不同荷载组合下的内力分布情况，如弯矩图、剪力图和轴力图。例如，对于弯矩的计算，可以使用以下公式：

$$M = \sum (P_i \times y_i)$$

其中， P_i 是作用在箱涵上的第*i*个荷载， y_i 是该荷载作用点到箱涵截面形心的距离。通过累加所有荷载对截面形心的力矩，我们可以得到箱涵的弯矩分布情况。

2.2 安全性保障措施

2.2.1 优化结构设计

在箱涵供水工程的安全性保障方面，优化结构设计是一项核心策略。具体而言，建议采用合理的结构形式，以双止水带结构缝设计为典型例子，这种设计能显著提升箱涵的防水性能。通过设置两道止水带，形成双重防水屏障，即使在极端天气或地质条件下，也能有效阻止水分渗透，确保箱涵内部的干燥和稳定。同时，断面尺寸和配筋设计的优化也是至关重要的。在断面尺寸方面，需要充分考虑箱涵的受力特点和使用要求。通过精确的力学分析和计算，确定合理的断面尺寸，以确保箱涵在承受土压力、水压力以及车辆荷载等多种荷载时，具有足够的强度和刚度，防止结构变形或破坏。配筋设计的优化同样不容忽视。钢筋作为箱涵结构的主要承力部件，其布置和数量设置直接关系到结构的承载能

力和抗裂性能。因此,建议根据箱涵的实际受力情况,进行精细化的配筋设计^[3]。通过合理的钢筋布置和数量控制,确保箱涵在受力时能够有效地传递和分散荷载,提高结构的整体稳定性和耐久性。在实施这些优化措施时,建议充分利用现代计算技术和分析方法。例如,可以利用有限元分析软件对箱涵结构进行精确的模拟和分析,以评估不同设计方案的性能和安全性。通过多次的迭代和优化,最终确定出满足所有安全性和使用要求的设计方案。

2.2.2 监测与维护

为了确保箱涵供水工程的安全性,实施有效的监测与维护策略是至关重要的。这一策略包括两个主要方面:实时安全监测和定期维护检查。在安全监测方面,建议安装专业的安全监测仪器,这些仪器能够实时监测箱涵结构的变形、应力等关键参数。通过连续的数据采集和分析,可以及时发现结构中的任何异常情况,如微小的变形或应力的异常分布。一旦发现这些问题,可以立即采取相应的措施进行处理,防止问题进一步恶化,确保箱涵结构的安全性和稳定性。同时,定期对箱涵进行维护检查也是必不可少的。维护检查应该包括对所有结构部件的详细检查,特别是那些容易受到磨损或腐蚀的部件,如止水带、钢筋连接处等。在检查过程中,应使用专业的检测工具和方法,确保检查的准确性和全面性。如果发现任何损坏或老化的部件,应及时进行修复或更换,以防止其对整个结构的安全性造成影响。除了上述的监测和维护措施,还应建立完善的监测数据分析和维护记录系统。通过对监测数据的分析,可以评估箱涵结构的安全性能,并为未来的维护计划提供依据。同时,详细的维护记录可以帮助追踪结构的维护历史,及时发现并处理潜在的安全问题。通过实施实时的安全监测和定期的维护检查策略,可以确保箱涵供水工程的安全运行。这些措施能够及时发现并处理结构中的异常情况,防止问题的进一步恶化,从而保障供水事业的稳定和安全。

2.2.3 应急处理预案

为了确保箱涵供水工程在突发情况下的安全稳定,制定一套完善且专业的应急处理预案是至关重要的。这一预案需要针对可能出现的各种突发情况,如极端天气条件、水锤现象、地质变动等,进行详细的规划和准

备。首先,预案应明确各种突发情况的定义、可能的影响范围以及相应的预警级别。例如,对于极端天气条件,预案应规定在何种气象条件下启动应急响应,并明确相应的监测和预警机制。其次,预案需要详细列出在突发情况下应采取的应对措施。这些措施应包括技术性的操作指南,如调整供水压力、关闭特定阀门等,以及非技术性的应对措施,如疏散人员、通知相关部门等。每一项措施都应明确其执行的责任人和执行时间,以确保在紧急情况下能够迅速、有序地实施^[4]。此外,预案还应包括应急资源的调配方案。这包括应急设备、物资和人员的调配,以及与外部救援机构的协调和合作。预案应确保在紧急情况下,这些资源能够迅速到位,并得到有效利用。最后,预案的制定和实施需要得到相关部门的支持和配合。因此,预案应明确各部门的职责和协作机制,以确保在突发情况下能够形成合力,共同应对问题。制定一套完善、专业的应急处理预案,并确保其得到有效实施,是保障箱涵供水工程在突发情况下安全稳定重要措施。通过明确的预警机制、详细的应对措施、有效的资源调配以及各部门的紧密协作,我们可以确保在紧急情况下能够迅速、有效地处置问题,保障城市的供水安全。

结语

箱涵供水工程的结构设计与安全性分析是一个复杂而系统的工程。通过合理的基础处理设计、细部结构设计以及全面的安全性分析,可以确保箱涵供水工程在运营过程中具有良好的承载能力和稳定性。未来,随着科技的不断进步和工程实践的不断积累,箱涵供水工程的结构设计与安全性分析将更加完善和科学。

参考文献

- [1]陈明进.青衣江水源地“双箱涵、互备用、反冲洗”取水工程设计建设实例[J].工程建设与设计,2020,(21):101-103.
- [2]白守银.箱涵工程施工组织设计探讨[J].农业科技与信息,2018,(19):123-124.
- [3]戴晶.岗头河综合整治一期工程坂雪岗大道箱涵涉铁段设计方案[J].陕西水利,2021,(11):162-163.
- [4]胡兴乔.穿越南水北调工程箱涵的监测方案设计[J].工程技术研究,2023,8(15):192-194.