

水工结构中玻璃纤维增强技术的抗震与防渗性能研究

江飞龙

淮安市水利勘测设计研究院有限公司 江苏 淮安 223005

摘要：本文深入探讨了玻璃纤维增强技术在水工结构中的应用，分析了玻璃纤维材料的特性及其增强技术的原理。研究重点聚焦于该技术对水工结构抗震和防渗性能的影响，通过抗震性能评价指标和防渗性能评价指标详细阐述了其提升机理。文章还结合大坝和水闸两个具体工程案例，展示了玻璃纤维增强技术在加固和防渗处理中的实际应用效果。研究结果表明，玻璃纤维增强技术能够显著提高水工结构的承载能力、位移延性和防渗性能，为水工结构的安全稳定提供有力保障。

关键词：水工结构；玻璃纤维增强技术；抗震性能；防渗性能

1 玻璃纤维增强技术相关基础

1.1 玻璃纤维材料特性

表1 玻璃纤维材料特性

特性	详情
力学性能	抗拉强度极高，通常可达3000-4000MPa，远超普通钢筋；弹性模量较为可观，能与混凝土等材料较好协同工作
化学稳定性	具有良好的耐腐蚀性，对酸、碱、盐等多种化学介质有较强抵抗能力，在水工潮湿、多水环境中不易化学腐蚀
重量	密度一般在2.5-2.7g/cm ³ ，仅为钢材的1/4-1/5左右
其他性能	具有良好的绝缘性和耐热性，在一定温度范围内能保持稳定性能

表1清晰呈现了玻璃纤维材料在多个方面的特性，这些特性是其能够在水工结构中发挥增强作用的基础。正是由于玻璃纤维具备高抗拉强度、良好化学稳定性等优势，才使得其增强技术在提升水工结构性能上具有显著潜力。

1.2 玻璃纤维增强技术原理

玻璃纤维增强技术的核心原理是通过将玻璃纤维材料与基体材料（如混凝土、树脂等）复合，形成一种新型的复合材料结构，利用玻璃纤维的高强度和高模量来弥补基体材料的不足，从而提升整体结构的性能。在受力机制上，当结构受到外力作用时，玻璃纤维能够承担大部分拉力，基体材料则主要承受压力，两者通过界面粘结力协同工作，实现应力的有效传递和分配。这种协同作用使得复合结构的承载能力得到显著提高，同时也改善了结构的变形性能和延性。从约束作用来看，玻璃纤维可以对基体材料形成侧向约束，限制基体材料在受力过程中的横向变形，从而提高基体材料的抗压强度和抗裂性能^[1]。例如，在混凝土结构中掺入或粘贴玻璃纤维材料，能够有效抑制混凝土裂缝的产生和扩展，延缓结构的破坏进程。另外，玻璃纤维增强技术还能通过改变结构的刚度分布，优化结构的受力状态，使结构在承受荷载时更加均匀合理，减少应力集中现象的出现，进而提升结构的整体稳定性和安全性。

1.3 玻璃纤维增强技术在水工结构中的应用形式

表2 不同玻璃纤维增强技术应用形式及特点

应用形式	应用方式	特点
玻璃纤维布粘贴加固法	用专用粘结剂将玻璃纤维布贴于水工结构表面（如大坝坝体、水闸闸墩）	抗拉强度高，粘贴后与原结构共同受力，提升结构承载力与抗裂性，适合加固修复已有结构
玻璃纤维筋替代钢筋法	混凝土浇筑时，用玻璃纤维筋取代传统钢筋作受力筋	耐腐蚀、重量轻，解决传统钢筋在潮湿环境易锈蚀问题，延长结构寿命，适用于海水环境中的码头、闸门等对防腐要求高的水工结构
玻璃纤维复合材料模壳法	用玻璃纤维复合材料制成模壳，在模壳内浇筑混凝土形成构件（如渡槽槽身、涵洞管节）	发挥材料力学性能，提高施工效率与质量，减轻构件自重
玻璃纤维网格布增强混凝土法	浇筑混凝土时，将玻璃纤维网格布铺于内部形成增强体系	分散混凝土内部应力，抑制裂缝产生发展，提高混凝土抗裂性与耐久性，常用于水工结构面板、挡墙等部位

玻璃纤维增强技术在水工结构中应用形式丰富，表2已对主要形式的应用方式和特点进行了梳理。这些应用

形式基于玻璃纤维材料特性，针对不同水工结构部位的需求，在提升结构性能方面各有侧重，为水工结构的加

固、修复等提供了多样化选择。

2 玻璃纤维增强技术对水工结构抗震性能的影响

2.1 抗震性能评价指标

水工结构的抗震性能评价需要借助一系列指标来衡量,主要包括以下几个方面:结构的承载能力是重要的评价指标之一,指结构在地震作用下所能承受的最大荷载。承载能力越强,结构在地震中抵抗破坏的能力就越强,越不容易发生倒塌等严重事故;位移延性是反映结构在地震作用下变形能力的指标,定义为结构极限位移与屈服位移的比值。位移延性越大,结构在地震中能够吸收的地震能量就越多,能够更好地适应地震引起的变形,减少结构的破坏程度;自振周期是结构自身固有的振动周期,它与结构的质量和刚度有关^[2]。合理的自振周期能够使结构避开地震波的主要频率成分,减少地震作用对结构的影响,降低结构的地震响应;阻尼比是衡量结构振动能量耗散能力的指标,阻尼比越大,结构在振动过程中消耗的能量就越多,能够更快地衰减振动,减小结构的振动幅值,从而减轻地震对结构的破坏。另外,结构的加速度响应、剪力分布等也都是评价水工结构抗震性能的重要指标,这些指标共同构成了一个完整的抗震性能评价体系。

2.2 玻璃纤维增强技术提升抗震性能的机理

玻璃纤维增强技术提升水工结构抗震性能的机理主要体现在以下几个方面:第一,玻璃纤维材料具有较高的抗拉强度和弹性模量,当结构受到地震作用时,玻璃纤维能够承担更多的拉力,提高结构的整体承载能力,延缓结构进入屈服阶段的时间,从而增强结构抵抗地震破坏的能力;第二,玻璃纤维增强技术能够改善结构的延性。在地震作用下,结构会产生较大的变形,玻璃纤维材料具有一定的柔韧性,能够随结构一起变形,并且通过与基体材料的协同作用,吸收和耗散大量的地震能量,减少结构的塑性变形,提高结构的位移延性。第三,该技术可以优化结构的刚度分布。通过合理布置玻

璃纤维增强材料,可以调整结构各部位的刚度,使结构在地震作用下的应力分布更加均匀,避免出现局部应力集中现象,从而提高结构的整体稳定性。第四,玻璃纤维增强材料对基体材料的约束作用也有助于提升抗震性能。它能够限制基体材料在地震作用下的横向变形,防止结构因过度变形而发生破坏,同时抑制裂缝的产生和扩展,保持结构的整体性。

2.3 不同应用形式下的抗震性能分析

不同的玻璃纤维增强技术应用形式对水工结构抗震性能的影响存在一定差异。当结构受到地震作用时,粘贴在表面的玻璃纤维布能够迅速参与受力,承担部分拉力,减少原结构的应力负担,从而提高结构的承载能力。同时,玻璃纤维布的约束作用能够限制结构的变形,提高结构的位移延性。例如,在大坝坝体的加固中,采用玻璃纤维布粘贴后,坝体在地震作用下的位移响应明显减小,抗震性能得到有效提升;玻璃纤维筋替代钢筋法由于玻璃纤维筋具有较高的抗拉强度和耐腐蚀性能,在地震作用下,能够保持较好的受力性能,不易发生断裂。与传统钢筋相比,玻璃纤维筋与混凝土的粘结性能良好,能够更好地协同工作,提高结构的整体抗震能力。在水闸闸墩的建设中,采用玻璃纤维筋替代钢筋后,闸墩在地震作用下的破坏程度明显减轻,结构的安全性得到提高;玻璃纤维复合材料模壳法制作的构件自重轻、强度高,在地震作用下所受到的惯性力较小,结构的地震响应也相应减小。同时,模壳本身具有一定的韧性,能够吸收部分地震能量,提高构件的抗震性能。如渡槽槽身采用这种方法制作后,在地震中能够更好地抵抗振动,减少损坏;玻璃纤维网格布增强混凝土法通过玻璃纤维网格布的分散应力作用,能够有效抑制混凝土裂缝的产生和扩展,提高混凝土的整体性和抗变形能力。

3 玻璃纤维增强技术对水工结构防渗性能的影响

3.1 防渗性能评价指标

表3 水工结构防渗性能评价指标

评价指标	说明
渗透系数	衡量材料透水能力,单位时间内单位面积上通过的水量,渗透系数越小,防渗性能越好
抗渗等级	材料抵抗压力水渗透的能力,以能承受的最大水压力表示,抗渗等级越高,防渗性能越强
裂缝宽度和数量	结构中裂缝是水渗透主要通道,裂缝宽度越大、数量越多,防渗性能越差

表3列举了水工结构防渗性能的关键评价指标,这些指标是衡量玻璃纤维增强技术在提升水工结构防渗性能方面效果的重要依据^[3]。

3.2 玻璃纤维增强技术提升防渗性能的机理

玻璃纤维增强技术提升水工结构防渗性能的机理主

要包括以下几个方面:一方面,玻璃纤维材料本身具有较好的不透水性,将其应用于水工结构中,能够在结构表面或内部形成一道防渗屏障,阻挡水的渗透。例如,玻璃纤维布粘贴在结构表面后,能够填补结构表面的微小孔隙和裂缝,减少水的渗透通道;另一方面,玻璃纤

维增强技术能够提高结构的抗裂性能。如前所述,玻璃纤维材料可以抑制混凝土裂缝的产生和扩展,而裂缝是水渗透的主要途径,减少裂缝的数量和宽度能够有效提高结构的防渗性能。玻璃纤维对基体材料的约束作用,使得材料在受力和变形过程中不易产生裂缝,从而保持结构的完整性;另外,玻璃纤维增强材料与基体材料之间的良好粘结性能,能够避免在界面处出现缝隙,防止水通过界面渗透。这种紧密的结合形成一个连续的防渗体系,进一步增强结构的防渗能力。

3.3 不同应用形式下的防渗性能分析

不同应用形式的玻璃纤维增强技术对水工结构防渗性能的影响各有特点。玻璃纤维布粘贴加固法在防渗方面效果明显,粘贴在结构表面的玻璃纤维布能够紧密覆盖结构表面,堵塞表面的孔隙和裂缝,形成一层致密的防渗层。在大坝坝面的防渗处理中,采用玻璃纤维布粘贴后,坝面的渗漏量显著减少,渗透系数降低,防渗性能得到有效提升;玻璃纤维筋替代钢筋法由于玻璃纤维筋具有良好的耐腐蚀性能,不会像传统钢筋那样因锈蚀而膨胀导致混凝土开裂,从而减少了因钢筋锈蚀产生的裂缝,间接提高了结构的防渗性能。在水闸底板的施工中,采用玻璃纤维筋后,底板的裂缝数量明显减少,防渗效果得到改善;玻璃纤维复合材料模壳法制作的构件,其模壳本身具有较好的不透水性,且模壳与内部混凝土能够紧密结合,形成一个整体的防渗结构。如涵洞的管节采用该方法制作后,管节的渗透系数较小,抗渗等级较高,能够有效阻止水的渗漏;玻璃纤维网格布增强混凝土法通过增强混凝土的抗裂性能,减少混凝土内部的裂缝,从而提高其防渗性能。在水工结构的挡墙中应用该方法后,挡墙的裂缝宽度和数量明显减小,渗漏量降低,防渗效果良好。

4 工程应用案例分析

4.1 案例一:某大坝玻璃纤维增强加固工程

某大坝建成于上世纪80年代,由于运行时间较长,在地震作用和长期水压力的影响下,坝体出现了一些裂缝,抗震性能和防渗性能有所下降,需要进行加固处理。经过方案比选,决定采用玻璃纤维增强技术进行加固。该工程主要采用玻璃纤维布粘贴加固法,在坝体的迎水面和背水面粘贴玻璃纤维布。施工过程中,首先对坝体表面进行处理,清除表面的浮渣、灰尘和松动的混凝土,然后涂刷专用粘结剂,将玻璃纤维布按照设计要

求粘贴在坝体表面,并进行压实处理,确保玻璃纤维布与坝体紧密结合。加固完成后,对大坝的抗震性能和防渗性能进行检测。结果表明,大坝的承载能力得到显著提高,位移延性增大,自振周期更加合理,抗震性能明显改善。在防渗方面,坝体的渗漏量减少60%以上,渗透系数降低,防渗效果显著。该工程的成功应用证明了玻璃纤维布粘贴加固法在大坝加固中的有效性^[4]。

4.2 案例二:某水闸玻璃纤维增强防渗处理工程

某水闸位于河流下游,由于长期处于水中,闸室底板和闸墩出现不同程度的渗漏现象,影响了水闸的正常运行。为了解决渗漏问题,采用玻璃纤维增强技术进行防渗处理。该工程采用玻璃纤维网格布增强混凝土法和玻璃纤维布粘贴法相结合的方式,对于闸室底板,在浇筑混凝土时铺设玻璃纤维网格布,增强混凝土的抗裂性能;对于闸墩表面的裂缝,采用玻璃纤维布粘贴进行封堵。处理完成后,对水闸的防渗性能进行监测。同时,由于玻璃纤维网格布增强了混凝土的性能,水闸的整体结构稳定性也得到一定程度的提高。该案例表明,多种玻璃纤维增强技术相结合的方式在水闸防渗处理中能够取得较好的效果。

结束语

综上所述,玻璃纤维增强技术在水工结构中的应用展现出显著的抗震与防渗效果,不仅提升了结构的安全性和耐久性,也为水工结构的维护和修复提供了新的解决方案。随着技术的不断发展和完善,玻璃纤维增强技术将在更多水工工程中发挥重要作用,为水利工程的安全运行和可持续发展贡献力量。未来,还应进一步探索该技术的更多应用场景和优化方法,以满足不断变化的工程需求。

参考文献

- [1]梁迎军,钱文.水工结构中玻璃纤维增强技术的抗震与防渗性能研究[J].精细化工中间体,2025,55(1):48-53.
- [2]高怀振,夏求林,李明霞,等.5~31.5mm和5~40mm粗骨料粒径对水工混凝土性能影响研究[J].水利水电技术(中英文).2024,(S01),476-481.
- [3]牛忠旺,曹丽丽,李其朋.玻璃纤维增强复合材料的应用及研究现状[J].塑料工业.2021,(z1).9-17.
- [4]董磊.钢筋混凝土结构检测现状与问题探析[J].安徽建筑,2019,26(05):134-135.