

山区高速公路桥梁施工中预应力技术的应用研究

缪应懂

中国十九冶集团有限公司 四川 成都 610031

摘要：文章聚焦山区高速公路桥梁施工中预应力技术的应用。先阐述预应力技术原理、材料及施工工艺，探讨了山区桥梁预应力施工关键技术，包括材料设备选型、孔道成型定位、张拉与压浆控制及特殊工况施工。介绍该技术在桥梁基础、上部结构施工以及加固维护中的应用。最后说明施工质量控制与检测要点，涵盖过程控制、验收标准及常见缺陷防治，为山区桥梁建设提供参考。

关键词：预应力技术；山区高速公路桥梁；施工应用

1 预应力技术基础

1.1 预应力技术原理

预应力技术是一种通过预先施加应力来改善结构性能的方法。在混凝土结构中，由于混凝土抗拉强度较低，在承受荷载时容易产生裂缝。预应力技术通过在结构受拉区域预先施加压应力，当结构承受外部荷载时，这部分压应力可以抵消部分或全部拉应力，从而延缓或避免裂缝的出现，提高结构的抗裂性、刚度和耐久性。预应力按施加预应力的方式可分为先张法和后张法。先张法是在浇筑混凝土前张拉预应力筋，并将其临时锚固在台座或钢模上，然后浇筑混凝土，待混凝土达到一定强度后，放松预应力筋，借助混凝土与预应力筋之间的粘结力，使混凝土产生预压应力。后张法则是先浇筑混凝土并预留孔道，待混凝土达到设计强度后，在孔道内穿入预应力筋，通过张拉设备张拉预应力筋，并用锚具将其锚固在构件端部，最后向孔道内压浆，使预应力筋与混凝土粘结成整体，共同承受外力。

1.2 预应力材料

预应力材料包括预应力筋、锚具、夹具和连接器等。预应力筋是承受预应力的主要部件，常用钢丝、钢绞线和精轧螺纹钢筋等。钢丝强度高、柔韧性好，适用于先张法和后张法；钢绞线由多根钢丝捻制，强度更高、松弛性能较好，广泛用于大型桥梁等工程；精轧螺纹钢筋可螺纹锚固，施工方便，常用于后张法构件的纵横预应力^[1]。锚具用于锚固预应力筋，影响预应力传递和结构安全，常见有夹片式、支承式和锥塞式等。夹片式靠摩擦力锚固，性能好、张拉方便；支承式靠机械咬合或支承作用锚固；锥塞式利用锥面配合锚固。夹具用于先张法施工临时固定预应力筋，要求自锚、自锁和放松性能良好。连接器用于连接预应力筋，使多根筋连续受力，常见有连接锚和连接器体等。

1.3 预应力施工工艺

先张法施工工艺主要有台座准备、预应力筋铺设、张拉、混凝土浇筑与养护、预应力筋放松等步骤。台座是主要设备，需具备足够强度、刚度和稳定性。铺设预应力筋时，要保证位置准确、顺直且与台座固定牢。张拉时，需严格控制张拉应力和伸长值，保证张拉质量。混凝土浇筑要注意振捣密实，避免碰撞预应力筋。待混凝土达设计强度，再缓慢、均匀放松预应力筋，减少构件回缩和裂缝。后张法施工工艺涵盖孔道留设、预应力筋穿束、张拉、压浆和封锚等环节。孔道留设是关键，常用预埋金属波纹管、塑料波纹管和钢管等方法。预应力筋穿束可在混凝土浇筑前或达一定强度后进行，要避免损伤筋和孔道。张拉时，依设计要求确定顺序和控制应力，采用双控指标（张拉应力和伸长值）把控。压浆是在张拉后向孔道注水泥浆，保护预应力筋并使其与混凝土粘结。封锚是将锚具外露部分用混凝土封闭，提升结构耐久性。

2 山区高速公路桥梁预应力施工关键技术

2.1 预应力材料与设备选型

山区高速公路桥梁施工环境复杂，对预应力材料和设备的选型要求较高。在选择预应力筋时，应根据桥梁的设计要求、荷载特点和使用环境等因素综合考虑。对于大跨度桥梁，宜选用强度高、松弛性能好的钢绞线；对于有特殊防腐要求的桥梁，可选用环氧涂层钢绞线或无粘结钢绞线。锚具的选型应根据预应力筋的类型、张拉力和使用要求等因素确定。夹片式锚具具有通用性强、锚固性能好等优点，广泛应用于各种类型的预应力结构；对于精轧螺纹钢筋，应选用与之配套的支承式锚具。张拉设备的选型应根据预应力筋的张拉力和张拉工艺要求确定。常用的张拉设备有千斤顶、油泵和压力表等。千斤顶的额定张拉力应大于预应力筋的最大张拉

力，并具有一定的安全储备；油泵应与千斤顶配套使用，压力表的精度应符合要求，并定期进行校准。

2.2 预应力孔道成型与定位技术

预应力孔道的成型质量直接影响预应力筋的穿束和张拉效果。在山区高速公路桥梁施工中，常用的孔道成型方法有预埋金属波纹管和塑料波纹管法。金属波纹管具有强度高、刚度好、耐腐蚀等优点，但安装时需要注意防止变形和破损；塑料波纹管具有柔韧性好、密封性好等优点，能有效防止水泥浆渗漏，但强度相对较低，在安装过程中应注意保护。孔道定位是确保预应力筋位置准确的关键环节。在施工过程中，应根据设计图纸要求，采用钢筋支架或定位网片等措施对孔道进行定位。钢筋支架的间距应根据孔道的直径和弯曲半径确定，一般不宜大于1m；定位网片的间距不宜大于2m。在浇筑混凝土时，应安排专人负责对孔道进行检查和保护，防止孔道移位或变形^[2]。

2.3 张拉与压浆施工控制

张拉施工控制是预应力施工的核心环节，直接关系到桥梁结构的安全和耐久性。在张拉前，应对张拉设备进行校验和标定，确保张拉力的准确性。张拉时，应按照设计要求的张拉顺序和张拉控制应力进行操作，采用双控指标（张拉应力和伸长值）进行控制。实际伸长值与理论伸长值的差值应控制在±6%以内，否则应暂停张拉，查明原因并采取措施进行调整。压浆施工是保护预应力筋免受腐蚀的重要措施。在压浆前，应对孔道进行清理和湿润，确保孔道内无杂物和积水。压浆时，应采用活塞式压浆泵进行压浆，压浆压力应根据孔道的长度、直径和水泥浆的性能等因素确定，一般不宜小于0.5MPa。压浆应缓慢、均匀地进行，直至另一端冒出浓浆为止，并保持一定的压力（一般不少于0.5MPa）稳定2-3分钟，以确保孔道内水泥浆密实。

2.4 特殊工况预应力施工

山区高速公路桥梁施工常常会遇到一些特殊工况，如高墩、大跨、曲线桥等，这些工况对预应力施工提出了更高的要求。在高墩施工中，由于墩身较高，预应力筋的垂直运输和安装难度较大，应采用塔吊或电梯等设备进行辅助施工，并采取必要的安全措施，确保施工人员的安全。在大跨桥梁施工中，预应力筋的长度较长，张拉时摩擦损失较大，应采取超张拉或两端张拉等措施来减少摩擦损失，保证预应力的有效传递。在曲线桥施工中，预应力筋的弯曲半径较小，应选用柔韧性好的预应力筋和合适的锚具，并严格控制孔道的成型质量，避免预应力筋在弯曲处受到损伤。

3 预应力技术在山区高速公路桥梁施工中的应用

3.1 预应力技术在桥梁基础施工中的应用

在山区高速公路桥梁基础施工领域，预应力技术发挥着关键作用，主要应用于桩基础和扩大基础等关键部位。就桩基础而言，常采用预应力混凝土管桩或预应力混凝土方桩。在桩身制作过程中，预先施加精准的预应力，这一举措意义重大。它能显著提升桩身的抗裂性，使桩在复杂地质条件和荷载作用下，有效抵御裂缝的产生与发展。同时极大地增强了桩身的承载能力，确保桩能稳固地承受桥梁上部结构传递下来的巨大荷载。另外，还能减少桩身在受力过程中的变形，避免因过度变形影响桥梁整体稳定性。在扩大基础施工时，于基础底部巧妙设置预应力筋。通过专业设备张拉预应力筋，让基础底部产生预压应力。这一预压应力如同给基础底部加上一层“保护罩”，可有效提高基础的抗冲切能力，防止基础在承受上部荷载时发生冲切破坏。还能增强基础的整体稳定性，使基础在山区复杂的地质环境和多变的气候条件下，依然能稳固支撑桥梁，保障桥梁的安全运营。

3.2 预应力技术在桥梁上部结构施工中的应用

预应力技术在桥梁上部结构施工中的应用极为广泛，涵盖预应力混凝土梁、拱和斜拉桥等多种类型。在预应力混凝土梁施工中，简支梁、连续梁和刚构梁等是常见形式。通过科学合理地布置预应力筋，能充分发挥其优势。在抗弯方面，预应力筋产生的预压应力可有效抵消部分弯矩，提高梁的抗弯能力；在抗剪上，能增强梁体抵抗剪力的能力，减少剪切裂缝的产生；在抗扭方面，可提升梁抵抗扭矩的能力，防止梁体扭转破坏。同时还能显著减小梁的挠度，使桥梁在运营过程中保持较好的平整度，减小裂缝宽度，延长梁的使用寿命。在拱桥施工中，预应力技术应用于主拱圈和拱上结构等。在主拱圈内设置预应力筋，可改善主拱圈的受力分布，使其受力更加均匀合理，从而提高拱桥的跨越能力，满足山区复杂地形下大跨度桥梁的建设需求^[3]。在斜拉桥施工中，预应力技术主要用于主梁和索塔等。在主梁内设置纵向和横向预应力筋，能增强主梁的刚度和抗扭能力，使主梁在斜拉索的拉力和车辆荷载等作用下保持稳定；在索塔内设置预应力筋，可提高索塔的抗裂性和承载能力，确保索塔的安全可靠。

3.3 预应力技术在桥梁加固与维护中的应用

随着山区高速公路桥梁使用年限的逐步增长，桥梁结构不可避免地会出现不同程度的损伤和病害，如裂缝、混凝土剥落、钢筋锈蚀等，严重影响桥梁的安全性

和耐久性，因此需要及时进行加固和维护。预应力技术作为一种行之有效的桥梁加固方法，通过在原有结构上巧妙施加预应力，能够显著改善结构的受力性能。预应力产生的压应力可以抵消部分拉应力，从而降低结构内部的应力水平，提高结构的承载能力，使其能够承受更大的荷载。同时，还能增强结构的耐久性，减少裂缝的产生和发展，防止水分和有害物质侵入结构内部，延缓钢筋锈蚀等病害的进程。常用的预应力加固方法有体外预应力加固法和粘贴碳纤维板预应力加固法等。体外预应力加固法是在梁的底部或侧面合理设置体外预应力筋，通过精确张拉预应力筋对梁体施加预应力，有效提高梁的抗弯能力，使梁在承受荷载时更加稳固。粘贴碳纤维板预应力加固法是将高强度的碳纤维板用专用结构胶牢固粘贴在梁的受拉区域，然后对碳纤维板施加预应力，使碳纤维板与梁体紧密结合、共同受力，从而大幅提高梁的承载能力，延长桥梁的使用寿命。

4 山区桥梁预应力施工质量控制与检测

4.1 施工过程质量控制

施工过程质量控制是确保山区桥梁预应力施工质量的关键。在施工过程中，应建立健全质量管理体系，加强对原材料、构配件和设备的质量检验，严禁使用不合格的产品。加强对施工工艺的控制，严格按照设计要求和施工规范进行操作，确保每一道工序的质量符合要求。在预应力筋制作和安装过程中，应严格控制预应力筋的下料长度、编束和穿束等环节，确保预应力筋的位置准确、顺直。在张拉施工过程中，应严格按照张拉顺序和张拉控制应力进行操作，加强对张拉应力和伸长值的监测，及时发现和处理异常情况。在压浆施工过程中，应严格控制水泥浆的配合比、压浆压力和压浆时间等参数，确保孔道内水泥浆密实。

4.2 成品质量验收标准

成品质量验收是保证山区桥梁预应力施工质量的重要环节。在验收时，应按照设计要求和相关规范标准进行检验，主要检查项目包括预应力筋的规格、数量和位置，锚具、夹具和连接器的性能，张拉应力和伸长值，孔道压浆质量等。预应力筋的规格、数量和位置应符合设计要求，偏差应在允许范围内；锚具、夹具和连接器

的性能应符合相关标准的规定，锚固效率系数和总应变应满足设计要求；张拉应力和伸长值应符合设计要求，实际伸长值与理论伸长值的差值应控制在 $\pm 6\%$ 以内；孔道压浆应密实，水泥浆强度应符合设计要求。

4.3 常见质量缺陷与防治措施

山区桥梁预应力施工常见的质量缺陷有预应力筋滑丝和断丝、锚具变形、孔道堵塞、压浆不密实等。预应力筋滑丝和断丝主要是由于锚具质量不合格、张拉操作不当等原因引起的，防治措施包括选用质量合格的锚具、加强张拉操作人员的培训、严格控制张拉应力等^[4]。锚具变形主要是由于锚具硬度不足或张拉力过大等原因引起的，防治措施包括选用硬度符合要求的锚具、合理确定张拉力等。孔道堵塞主要是由于孔道清理不干净或混凝土浇筑过程中振捣不密实等原因引起的，防治措施包括加强孔道清理、在混凝土浇筑过程中加强振捣等。压浆不密实主要是由于水泥浆配合比不合理、压浆压力不足或压浆时间不够等原因引起的，防治措施包括优化水泥浆配合比、提高压浆压力、延长压浆时间等。

结束语

山区高速公路桥梁施工环境复杂，预应力技术的应用对保障桥梁质量与安全至关重要。通过合理选型材料设备、精准控制施工工艺、有效应对特殊工况，可充分发挥预应力技术的优势。同时，严格的质量控制与检测是确保施工质量的必要手段。未来，随着技术不断发展，需持续优化预应力施工工艺，加强质量管控，以适应山区桥梁建设日益增长的需求，推动山区交通基础设施的高质量发展。

参考文献

- [1] 宋吉伟.山区高速公路桥梁施工中预应力技术的应用研究[J].建筑机械,2025(8):338-340,345.
- [2] 白尚清,余亚娥,余亚玲.预应力技术在公路桥梁施工中的应用[J].工程建设与设计,2025,(07):254-256.
- [3] 刘清生.预应力技术在公路桥梁工程施工中的应用[J].交通世界, 2025,(Z2): 175-177.
- [4] 王篷.桥梁工程中预应力施工技术分析[J].江西建材,2021(11):205+207+209.