桥梁预应力张拉压浆现场施工质量管控技术

张培成

（四川路航建设工程有限责任公司，四川 成都 610041）

摘 要 预应力张拉与孔道压浆是后张法桥梁施工的关键工序，其质量直接影响梁体承载能力和耐久性。本文结合四川地区某箱梁工程，梳理了张拉前准备、张拉工艺双控、过程控制和智能张拉等张拉管控要点，总结了压浆前准备、压浆工艺、密实度检验和真空辅助智能压浆等压浆管控措施，并通过实测数据验证了管控效果。实践表明，坚持张拉力与伸长量双控、采用智能张拉压浆和全过程参数留痕，能够保障预应力施加准确、孔道压浆饱满密实，可为同类工程提供参考。

关键词 桥梁工程；预应力张拉；孔道压浆；质量管控；智能张拉

中图分类号：U445.55 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.29.018

0 引言

后张法预应力混凝土广泛用于桥梁上部结构，钢绞线张拉建立预压应力、孔道压浆形成防护和黏结，张拉是否到位、压浆是否密实，直接关系到梁体承载能力与使用寿命。预应力施工隐蔽性强、参数控制要求高，张拉力不足或伸长量异常影响预应力效果，压浆不密实则可能导致钢绞线锈蚀，留下耐久性隐患[1]。近年来，智能张拉、真空辅助压浆和数字化记录逐步推广，为提高施工精度和质量稳定性提供了支撑。因此，研究桥梁预应力张拉压浆现场施工质量管控技术，对提升桥梁施工质量、保障结构安全耐久具有重要意义。

1 工程案例

1.1 工程概况

四川地区某高速公路桥梁工程上部结构采用后张法预应力混凝土箱梁，桥梁跨越山间沟谷，墩身较高，梁体采用现场支架现浇与预制架设相结合的方式施工。箱梁纵向、横向均布置预应力钢束，预应力钢绞线采用公称直径15.2 mm、抗拉强度标准值1 860 MPa的低松弛钢绞线，锚具采用与之配套的夹片式锚具，成孔采用塑料波纹管。工程地处山区，昼夜温差较大、湿度较高，对预应力张拉时机和孔道压浆密实度提出了较高要求。为保证预应力体系施工质量，项目部编制了预应力专项施工方案，明确张拉、压浆工艺流程和控制标准，配置智能张拉设备和智能压浆设备，并对作业班组进行技术交底和岗前培训，为后续规范施工奠定基础。施工中对每片梁建立预应力施工台账，将张拉压浆时间、设备编号和检测结果对应记录，使工序质量可逐片追溯，也为现场组织和资料归集提供统一依据[2]。

1.2 预应力体系设计与施工要求

本桥预应力体系按后张法设计，箱梁纵向钢束采用两端对称张拉，横向钢束采用单端交错张拉，张拉控制应力按设计取钢绞线抗拉强度标准值的0.75倍；设计要求梁体混凝土强度和弹性模量达到规定值且满足龄期要求后方可张拉，张拉实行张拉力与伸长量双控，以张拉力控制为主、伸长量校核为辅，实际伸长量与理论伸长量差值控制在±6%以内。张拉锚固并经检查合格后，应在规定时限内完成孔道压浆，压浆采用专用压浆料拌制的水泥浆，要求浆体密实饱满、强度达标，压浆完成后及时封锚。施工全过程要求参数可追溯、记录完整，关键工序由技术和质检人员旁站，确保预应力按设计准确建立、孔道压浆形成可靠防护。

2 桥梁预应力张拉施工质量管控

2.1 张拉前准备

张拉前准备充分是保证张拉质量的前提。首先应核验梁体混凝土同条件养护试件强度和弹性模量，确认达到设计规定值并满足龄期要求；检查预留孔道的位置、通畅情况和锚垫板、钢筋的埋设质量，清除孔道内杂物和积水，核对钢束编号。其次检查钢绞线、锚具和夹具的质量证明文件并按规定进场复验，钢绞线按设计束数和长度下料、编束，理顺绑扎、防止扭绞，穿束后两端外露长度满足张拉要求。在张拉设备方面，

作者简介：张培成（1990-），男，本科，工程师，研究方向：高速公路工程管理。

千斤顶与油压表须配套编号、配套标定，绘制标定曲线并在有效期内使用，张拉前进行试机和归零检查。各项准备经检查确认后，方可进入张拉作业，从源头上保证张拉条件具备、设备可靠。对千斤顶标定曲线和油压表读数，由技术人员复核换算关系，确保油压与张拉力对应准确；穿束完成后妥善保护外露钢绞线，防止锈蚀和污染，保持张拉作业面整洁有序。

2.2 张拉工艺与双控

张拉应严格按设计和方案确定的顺序、程序进行，遵循对称、均匀、分批的原则，使梁体受力均衡，避免偏心和扭转。纵向钢束采用两端同步张拉，按先腹板、后顶板、由下至上的顺序分级进行；张拉程序为从零张拉至初应力并标记量测起点，再分级加载至张拉控制应力，持荷约 5 min 后补张至控制值并锚固。张拉实行张拉力与伸长量双控，以油压反映的张拉力为主控，同时量测各级伸长量，按初应力、张拉控制应力下的读数计算实际伸长量，与理论伸长量比较，差值超出 ±6% 时暂停张拉、查明原因后再继续。预应力张拉主要控制参数如表 1 所示。

表 1 预应力张拉主要控制参数

控制项目	控制标准 / 要求
钢绞线	1×7 标准型，公称直径 15.2 mm，fpk=1 860 MPa
张拉控制应力	0.75 fpk，即 1 395 MPa
张拉条件	混凝土强度、弹性模量达设计值并满足龄期
张拉程序	0 →初应力→分级加载→σ con 持荷 5 min →锚固
伸长量偏差	实际值与理论值差值≤ ±6%
滑丝、断丝	每束不超过 1 丝，总量不超过钢丝总数 1%
设备标定	千斤顶与油压表配套标定，有效期内使用

2.3 张拉过程控制

张拉过程中应加强现场监护和参数记录，保证张拉平稳、锚固可靠。加载和卸载均匀缓慢，使钢绞线应力逐级传递，两端张拉保持同步，油压升降速率受控；技术人员同步读取油压和伸长量，逐束、逐级填写张拉记录，做到数据真实、签字齐全。锚固后检查夹片回缩和钢绞线滑丝、断丝情况，夹片外露基本平齐、回缩量符合规定，滑丝断丝数量控制在允许范围之内；对出现异常的钢束，依据方案采取放松后重新张拉等处理并记录。张拉完成后，钢绞线外露长度按规定采用机械方法切除，严禁电弧灼伤，及时转入压浆工序，通过严密的过程控制保障预应力施加准确、锚固有效。

2.4 智能张拉技术应用

智能张拉技术是提高张拉精度和质量稳定性的有效手段。本工程采用由数控主机、电动液压泵站、千斤顶和传感器组成的智能张拉系统，一台主机同时控制两端或多顶对称张拉，系统按设定程序自动控制加载速率、持荷时间和张拉力，实时采集油压和伸长量并无线传输，张拉力控制精度可达 ±1%，两端伸长量同步性显著提高。设备自动生成张拉记录，数据不可随意更改，实现一束一档、全程留痕和远程监控，减少人工读数和操作的偏差；张拉前系统校核标定参数，超差自动报警并停止作业。借助智能张拉，预应力施加由人工经验控制转变为程序自动控制，张拉过程更加规范、数据更加可靠，为预应力质量提供了有力的技术保障。

3 孔道压浆施工质量管控

3.1 压浆前准备

孔道压浆应在张拉锚固、检查合格后及时进行，避免钢绞线长时间裸露。压浆前对孔道进行检查，采用压缩空气清除孔道内积水和杂物，确认孔道通畅、无串孔和漏浆部位，对锚具夹片间隙和可能漏浆处进行密封；按要求安装压浆管、排气管和阀门，保证进浆口、排气口设置合理。压浆材料采用合格的专用压浆料，进场检验其性能并按批准的配合比拌制，准确计量拌合水和粉料，控制水胶比、流动度和泌水率，浆体搅拌均匀并在规定时间内使用；压浆设备采用高速搅拌机和压浆泵，压力表经检定、量程适宜。准备就绪并经检查后开始压浆，为浆体饱满密实创造条件[3]。

3.2 压浆工艺控制

压浆应连续进行、一次完成，按照从孔道最低点压入、最高点和远端依次排气的顺序，使浆体沿孔道均匀推进、排出空气和泌水。压浆压力按孔道形式和长度控制，普通直线孔道压浆压力一般取 0.5 MPa ～ 0.7 MPa，竖向和较长孔道适当提高，待出浆口流出与进浆口稠度一致的浓浆后，封闭排气口并持压一定时间，保证浆体充盈、密实；同一孔道压浆连续不停顿，因故中断时按方案处理。拌制浆体随拌随用，压浆过程中留置浆体试件，检测不同龄期抗压强度，并记录压浆压力、流量和用量。通过规范的压浆工艺和持压控制，使水泥浆充满孔道、包裹钢绞线，形成有效的黏结和防护。

3.3 压浆质量检验

压浆质量检验是确认孔道密实的重要环节。现场首先检查压浆记录和浆体试件强度，核对浆体流动度、

泌水率和抗压强度等性能指标满足标准要求，压浆口、排气口封堵饱满；对孔道压浆密实度，可采用无损检测方法进行抽检，利用冲击回波、超声波等手段结合孔道位置判断密实程度，对存疑部位辅以内窥镜检查或局部开孔验证，发现不密实处按规定补浆处理。封锚前检查锚具部位混凝土凿毛、钢筋安装和封锚混凝土质量，使封锚混凝土与梁体结合密实。通过浆体性能、密实度和封锚质量的系统检验，确认孔道压浆饱满、钢绞线防护可靠，保障预应力体系耐久性。

3.4 真空辅助智能压浆技术

真空辅助压浆与智能压浆相结合，是提升孔道压浆密实度的技术措施。真空辅助工艺在压浆前封闭孔道，用真空泵从排气端抽真空，使孔道内形成规定的负压，再从压浆口压入浆体，负压作用可减少孔道内气泡和空隙，提高浆体充盈度和密实性，对长束、曲线束效果尤为明显。智能压浆设备自动完成上料、计量、高速搅拌和压浆，精确控制水胶比、搅拌时间、压浆压力和流量，实时显示真空度和压力并自动记录，参数超标自动报警，减少人为配料和操作误差。压浆数据与张拉记录统一归档，实现预应力工序数字化闭环；通过真空辅助与智能控制相结合，孔道压浆更加饱满均匀、质量稳定可控，为钢绞线防护和梁体耐久提供了可靠保障[4]。

4 桥梁预应力张拉压浆现场施工质量管控效果分析

4.1 质量管控效果

为评价预应力张拉压浆质量管控效果，项目部对箱梁预应力施工进行了全过程检测和数据统计，张拉设备按规定标定，张拉力和伸长量逐束记录，孔道压浆按批次留置试件并开展密实度抽检。各项检测指标及结果如表2所示。

表2 预应力张拉压浆施工质量控制效果

质量指标	标准/目标值	检测结果	判定
张拉力偏差	±1%以内	平均0.6%	合格
伸长量偏差	±6%以内	抽查均在±4%以内	合格
滑丝、断丝率	不超过1%	0	合格
浆体28 d抗压强度	不低于50 MPa	53.6 MPa	合格
孔道压浆密实度	饱满密实	抽检合格率100%	合格
封锚质量	结合密实、强度达标	验收合格	合格

从表2可以看出，采用智能张拉、真空辅助智能压浆并坚持双控和全过程留痕后，张拉力、伸长量、滑丝断丝和浆体强度等指标均满足标准要求，孔道压浆密实度抽检全部合格，预应力体系建立准确、防护可靠，质量管控取得良好效果。

4.2 综合效益

在质量提升的同时，预应力施工管控也带来了良好的综合效益。智能张拉压浆实现程序自动控制和数据自动采集，减少了人工读数、记录和返工处理，提高了作业效率，缩短了张拉压浆占用的工序时间；过程参数实时监控和超限报警，使质量问题在施工中即可发现和纠正，降低了返工和后期处理费用。统一的数字化记录便于质量追溯和验收归档，提升了现场标准化、规范化水平，也为后续梁片施工和同类工程积累了可靠数据与经验，整体实现了质量可靠、效率提高和管理规范的协调统一[5]。从全工序看，张拉压浆一次成优还减少了后期缺陷处理和保修投入，延长了预应力体系的有效服役时间，使质量管控成果在桥梁全寿命周期中持续体现。

5 结束语

预应力张拉压浆现场施工质量直接决定桥梁最终质量。本文详细阐述了预应力张拉施工质量管控要点，以及孔道压浆管控措施，并以四川地区某箱梁工程为例，通过实测数据验证了管控效果。实践表明，有效的桥梁预应力张拉压浆现场施工质量管控措施，能够提高桥梁施工质量，进而保障桥梁长期稳定运行。随着智能装备、无损检测和数字孪生技术不断发展，预应力施工的精度控制、密实度判别和质量追溯将更加智能、精准和高效，为桥梁结构安全耐久、预应力施工技术进步和工程建设高质量发展提供更加坚实的保障。

参考文献：

[1] 王路,韦青,张家琪.公路桥梁预应力张拉压浆施工常见质量问题分析[J].交通科技与管理,2024,05(19):112-114.
[2] 王仙红.桥梁预应力智能张拉压浆技术分析[J].运输经理世界,2023(26):101-103.
[3] 崔长宇.公路桥梁施工中预应力技术施工质量控制[J].中国住宅设施,2023(06):163-165.
[4] 刘臻.桥梁预应力智能张拉压浆技术分析[J].运输经理世界,2023(18):78-80.
[5] 李岩.公路桥梁智能预应力张拉和压浆施工质量控制[J].山东交通科技,2022(05):34-38.