

高速公路桥梁钻孔灌注桩施工质量控制及常见病害防治 技术研究

李文强

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：钻孔灌注桩施工的质量是高速公路桥梁质量的基础，其会直接影响安全性、稳定性等，但钻孔灌注桩施工技术复杂，且容易受地质环境影响，所以很容易发生包括孔壁坍塌、混凝土断桩等问题，这些问题会影响桥梁的整体施工质量，并会导致成本增加。因此，在施工阶段可根据实际情况加强对常见病害问题的处理、应对，以保证桩基施工的质量。

【关键词】：高速公路；桥梁钻孔灌注桩施工；质量控制；常见病害防治技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.01.069

高速公路是经济发展的命脉，而其建设质量则会直接影响公路网络的安全、高效，其中，桥梁工程是高速公路建设的关键，特别是钻孔灌注桩施工则属于桥梁建设的基础，钻孔灌注桩作为承载桥梁结构荷载并衔接地基的构件，质量是否能达到预期直接影响桥梁质量。但就实际情况而言，钻孔灌注桩施工本身操作复杂，涉及技术环节多等，任一工序发生异常都会造成严重的质量缺陷，包括孔壁坍塌等，所以对钻孔灌注桩施工的质量进行有效控制，并有效预防、处置常见病害，对于保证高速公路桥梁的安全有现实意义。

1 高速公路桥梁钻孔灌注桩施工质量控制的重要性

1.1 保障桥梁整体结构安全稳定

钻孔灌注桩工程中会被埋于地下，并作为关键的传力构件，其中，桥梁承受的恒载、活载最终会通过墩台传递到桩基，所以桩基如果有质量缺陷，往往会直接造成承载力、抗变形能力降低，进而引发包括桥墩不均匀沉降等问题。尤其是在特殊的地质段，桩基更扮演着重要的角色，其中，在地震带、软土地基路段，桥梁桩基要承受地层水平方向的推力，这种情况下桩基本身的完整性、混凝土强度会对桥梁稳定性带来直接影响，良好的桩基能有效应对地震波、土地滑移，从而有效避免桥梁坍塌事故的发生，进而保证桥梁结构的安全性和稳定性^[1]。

1.2 影响工程全寿命周期成本与耐久性

桥梁钻孔灌注桩施工的底层逻辑在于如何通过有效的工程技术应用，确保其长期经济性、耐久性，因为一旦发生质量缺陷，往往意味着要辅助高昂的处置成本，如桩身夹泥等问题发生后就需要报废原有桩，并进行补桩等，从而造成工期延误，增加成本，再比如保护层厚度不足等问题，极可能导致地下水的侵蚀，造成钢筋体积膨胀等问题。因此，确保桥梁钻孔

灌注桩施工的质量，可保证桩基的全周期寿命，并且可以确保其经久耐用，避免后期的成本支出，实现最理想的全寿命周期成本效益等^[2]。

1.3 应对高速公路工程特殊性与高风险性

高速公路桥梁的质量十分严苛，且作为长期工程，高速公路桥梁可能会穿越不同的地层，可能遇见软土、砂层等各类复杂的地质环境，这对成孔工艺等造成极大考验，任何误判都可能造成孔壁坍塌等事故，所以高质量的控制高速公路桥梁钻孔灌注桩施工，对于保证高速公路桥梁在复杂工程环境中的顺利开展有现实意义。另外需要特别指出的是，许多高速公路桥梁设计要考虑既有铁路、桥梁等，所以经常考虑桩基的定位、成孔质量等，如有偏差则后果难以想象，再者就是部分地区受雨季等影响，还需要保证桩基在恶劣环境下的质量控制。因此，确保高速公路桥梁钻孔灌注桩施工质量是确保工程顺利完工，同时也是应对工程施工高风险的关键所在。

2 高速公路桥梁钻孔灌注桩施工常见病害

2.1 成孔阶段常见病害

高速公路桥梁钻孔灌注桩施工的成孔阶段常见孔壁坍塌、钻孔偏斜病害，其中，孔壁坍塌发生的逻辑在于，当孔壁周围土地的力学平衡被破坏后，就会导致孔壁坍塌的出现。如护壁泥浆比重未能达到 1.05-1.15 间，抑或是粘度未达到 18-22s，就会造成泥皮无法抵抗土压力和水压力，尤其是在渗透性强的砂层中，泥浆需要>90%的胶体率，不然就会导致土颗粒流失而发生失稳^[3]。

钻孔偏斜的发生同钻机系统并不稳定、钻头地层受力失衡有关，其中，钻进过程中如果出现沉降，或是钻头从软土层进入硬岩石层，就会出现回转阻力矩异常的情况，钻头就会向柔软一侧钻进，这时如果不能调整为 5kN 下的轻压慢转的钻进

策略就会造成偏移孔倾。此种情况下会增加施工风险，同时也会影响桩基本身的承载能力。

2.2 清孔与钢筋笼安放阶段常见病害

清孔与钢筋笼安放阶段的病害无孔壁坍塌这类病害严重，但其要更为隐蔽，并会长期影响桩基的承载力，而孔底沉渣过厚则属于主要的病害。目前的要求是沉渣厚度应控制在 30cm 内，且端承桩必须严格，不能超过 10cm，如果施工过程中未进行有效清孔，或是清孔后滞留时间超过 4 小时，就很容易导致虚渣超标沉淀，而这些沉淀物会形成侧好难过软垫层，而在桩基承受荷载时就会引发沉降，进而导致单桩的承载力降低。

而在钢筋笼安放时，很容易发生钢筋笼上浮或偏，一般情况下，导管埋置需控制在 6m 内，且速度需要控制适宜，如果出现偏差就可能影响钢筋笼的固定，造成钢筋笼被混凝土顶托上浮，如果位移量显著上升就会导致桩身偏离预定位置，造成桩基抗弯性能降低^[4]。同时如果保护层垫块数量不足、强度不佳，还会导致钢筋保护层的厚度不均。

2.3 混凝土灌注阶段常见病害

断桩的发生同混凝土灌注有关，如果前期灌注的混凝土丧失流动性，那么后续灌注的混凝土就无法与其结合，并会造成水平冷缝，并导致桩身在截面失去传力功能。另外值得注意的是，导管埋深如果超过 8m，混凝土就会受流动性影响，造成堵管的发生，从而引发断桩。

而同断桩相关的病害就是桩身夹泥、夹砂，当导管底口初始埋深不足等发生后，往往会造成底部脱离混凝土面，并让诸如塌落物等进入桩体。并且在灌注的过程中，导管埋深即时被控制在合理范围内，可混凝土坍落度如果 <180mm，就会导致混凝土流动不畅、包裹泥浆等问题，这就会导致夹泥的发生，进而对混凝土的完整性造成影响，同时也会导致桩基内部产生软弱面，削弱桩身的强度等。

3 高速公路桥梁钻孔灌注桩施工常见病害防治分析

3.1 成孔阶段病害防治技术分析

针对孔壁坍塌以预防为主，而其首要预防措施就是优化泥浆处理，确保其可以有效支撑。一般情况下，在砂层等特殊地层，可以应用优质钠基膨润土对泥浆，进行处理，建议将泥浆比控制在 1.10-1.15 间，粘度维持在 18-22s，而胶体率应不低于 95%，这样可保证坚韧性，同时要注意维持孔内稳定的水头压力，以应对外侧土体压力，所以具体施工过程中可以考虑使孔内泥浆液面超过地下水位 1.5m 以上，而在通过承压水层时高度要提高至少 2m 以上，并合理控制钻进速度，松散地层要缓慢钻进^[5]。如果因意外发生坍塌要立即进行处理，对于仅有

少量碎屑的轻度坍塌，可考虑通过调整钻速至 5-10r/min 的方式，将坍塌物处理至孔壁，若为严重的坍塌需当机立断进行回填处理。

而在钻孔偏倾的防治上，钻机在就位后需要及时经纬仪的矫正，确保铅垂线的稳定，避免偏差控制在 20mm 以内，而在钻进时应进行参数控制，如果钻头进入斜岩面时，可以考虑将钻压降低至少 5kN 下，并通过降低转速的方式缓慢钻进，确保钻头能有足够时间应对岩石。同时要注意观察钻进过程，对于复杂地质环境要每前进 4m 进行一次观察，如已发生偏移则需要回填，并使用底钻孔等进行纠偏处理等。这中间，回填纠偏是最重要的处理方法，孔内的回填强度应超过源地层的混合物，且回填到偏斜位置之上，以逐步进行修正处理。

3.2 清孔与钢筋笼安放阶段病害防治技术分析

沉渣过厚和二次清孔处理有关，所以在完成首次的清空后就需要及时进行二次清孔处理，借助灌注导管进行二次正循环清空，清孔过程中要注意将泥浆含砂率控制在 4% 以下，并进行清孔重计量的控制，其中，摩擦桩应不超过 30cm，端承桩在 10cm 内，并要避免泥渣重新沉淀，如灌注前发生沉渣超标，需进行重新清空处理，关键技术指标见表 1。

表 1 关键技术指标

技术指标	控制标准要求	备注
清孔工艺	二次清孔	二次清孔应在钢筋笼和导管放置后进行。
清孔方法	正循环处理	以 15m ³ /h 流量泵入泥浆
泥浆含沙量	≤4%	完成后进行现场测定。
沉渣厚度	摩擦桩≤30cm，端承桩≤10cm	参照《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650-2020)，用标准重锤测量
灌注间隔	≤30 分钟，最长补偿过 60 分钟	灌注前需检查沉渣厚度

而在避免钢筋笼上浮时，应根据情况进行有效抗浮、灌注控制等，所以要进行刚性抗浮固定。因此，可以根据现实情况将钢筋笼顶部延伸至能进行焊接的护筒之上，抑或是通过应用 2 根 Φ20mm 的吊筋进行紧锁，同时在灌注时，应注意将导管埋在 2-6m 的规范区间，防止埋深过大造成混凝土压力增加，并且灌注速度可控制在每小时 10 立平方米左右，防止顶托力

的过快产生等。

表 2 技术处理

3.3 混凝土灌注阶段病害防治技术分析

断桩的预防是系统性工程,施工人员首要任务就是应保证混凝土供应的连续,所以应进行现场搅拌等,并且要同灌注速度有效衔接,规避可能发生的灌注中断等,如果中断时间超过初凝的 4-6 小时,灌注的混凝土即会丧失流动性。因此,可以按照要求进行混凝土面的导管埋入处理,这一过程可以进行通过流体力学计算,如果埋深过浅,即可能导致导管剥离混凝土面,并造成泥浆涌入的情况,反之,埋深过大则可能引发流动性的降低,出口压力增加相关的堵塞问题发生。因此,这就需要对接盘的混凝土方量进行严谨计算,具体计算方法如下:

$$V \geq \pi D^2 / 4 \times (h1 + h2) + \pi d^2 / 4 \times H1$$

其中, D 是桩径, d 是导管直径, h1 是导管至孔底的距离, h2 是导管初次埋深, H1 是孔内混凝土高度达到 h2 是导管内混凝土柱和管外泥浆压力平衡要达到的高度。基于这一方式进行计算,可获得精确的首盘混凝土方量,并为后续预防提供支持。但应该注意的是,如果发生了断桩,且位置在 5m 以内,可以将桩头挖除,并重新进行处理,反之,如果断桩位置过深则应进行其他处理,包括高压注浆,抑或是在其侧位进行补桩,具体根据工程实践进行确定^[6]。

另外还包括桩身夹泥、夹砂的防治,这一问题防范的关键在于保证导管连接的密封性,并且每次下管前应进行严格检查,确保密封圈的完好,并且要使用扳手固定螺栓,避免泥浆渗入的发生。而在灌注时需进行有效测量,每 15-20 分钟进行 1 次导管埋深测量,并依据的实际测量过程进行分节处理。同时在进进行拔管操作时,应保证导管的底口可以埋到混凝土面的 2m 下,另外要注意的是,应注意保证混凝土的坍落度维持在 180-220mm 内,防止灌注不良的问题发生,详细技术处理见表 2。

关键控制节点	指标或要求	备注
导管密封性	保证螺栓扭矩 300-500N·m	确保可承受 1.5MPa 的内部压力
灌注过程控制	导管底口埋入深度 2.0-6.0m	避免埋深过大或过小造成的堵管、 流通不畅
混凝土性能	入孔坍落度 180-220mm	保证混凝土流动性、润滑性
	初凝时间≥6 小时	避免形成冷缝

如果在实践环节中已经发生桩身夹泥、夹砂的问题,可以先运用声波透射法对缺陷位置进行确定,而后对小缺陷位置进行钻孔处理,并进行管道的埋设,同时使用注浆机向有问题的区域进行注浆,恢复桩身混凝土本身的整体性。这里要特别指出的是,在进行钻孔处理后要运用专用的注浆管,并使用高压注浆泵,其强度应不低于 42.5MPa,并且水灰比应控制在 0.5-0.6 间,且注浆压力应合理控制,最高压力不超过 3.0MPa,这样就可以使浆液充分渗透,并置换出内部的杂质,同时应保证注浆过程间歇、慢注,如有需要可以考虑间歇注浆的方式处理。

4 结语

综上所述,钻孔灌注桩施工的质量控制涉及成孔时的泥浆参数控制、钻孔偏斜纠偏,清孔钢筋阶段的沉渣处理、抗浮规定等。因此,在施工实践中应依据实际情况制定灵活的防治方案,以规避可能发生的问题,这对于确保桩基完整性、强度,实现高速公路工程的长期稳定运行有现实意义。

参考文献:

[1] 余科宏.山区公路桥梁钻孔灌注桩施工关键技术研究[J].工程技术研究,2025,10(11):77-79.
[2] 卢杰.桥梁工程钻孔灌注桩施工技术研究[J].交通世界,2025,(08):176-178.
[3] 曾军.道路桥梁工程钻孔灌注桩施工问题分析[J].石材,2023,(06):66-68.
[4] 杨磊.公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工质量控制问题探讨[J].交通世界,2022,(21):66-69.
[5] 黎霖.钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的问题及防治措施[J].黑龙江交通科技,2021,44(07):163-164.
[6] 张弛.桥梁钻孔灌注桩施工中若干问题及质量管理策略[J].建筑技术开发,2021,48(10):55-56.