

# 岩土工程设计中深基坑边坡喷锚支护及质量控制分析

任卓君

中机中联工程有限公司 四川成都 610041

**摘要:** 本文聚焦深基坑边坡喷锚支护技术及其质量控制。阐述其由锚杆、喷射混凝土面层与排水系统构成的体系及力学作用机制。详细介绍设计要点,涵盖地质勘察、锚杆与喷射混凝土面层设计参数确定。分析施工中材料质量把控、工艺控制等质量控制关键。还论述质量检测方法频率及边坡变形监测重要性,旨在为保障深基坑工程安全提供理论与实践指导。

**关键词:** 岩土工程; 深基坑; 边坡喷锚支护; 质量控制

在城市建设与基础设施发展进程中,深基坑工程日益增多。这些工程常面临复杂地质条件与周边环境挑战,其中边坡稳定性对工程安全至关重要。喷锚支护作为一种有效的边坡支护手段被广泛应用,但在实际工程中,其质量问题时有发生,影响工程进度与安全。因此,深入研究深基坑边坡喷锚支护技术及其质量控制具有极为重要的现实意义,可为工程实践提供科学依据与保障,确保工程顺利实施与周边环境安全稳定。

## 一、深基坑边坡喷锚支护技术原理

### (一) 喷锚支护体系的构成

深基坑边坡喷锚支护体系主要由锚杆、喷射混凝土面层和必要的排水系统组成。锚杆一端深入稳定的地层中,另一端与喷射混凝土面层相连,通过两者之间的粘结力和机械咬合力将边坡土体的下滑力传递到稳定的地层中,从而增强边坡的稳定性。喷射混凝土面层则起到封闭坡面、防止土体风化和雨水冲刷的作用,同时也作为锚杆的着力点,与锚杆共同工作形成一个整体的支护结构。例如,在某城市地铁站深基坑工程中,设计采用了直径25毫米的中空注浆锚杆,长度为18米,间排距为5米×5米,喷射混凝土面层厚度为100毫米,该支护体系有效地控制了边坡的变形,确保了基坑周边建筑物和地下管线的安全。

### (二) 喷锚支护的力学作用机制

当深基坑边坡土体有下滑趋势时,锚杆通过与土体之间的摩擦力和粘结力承受拉力,阻止土体的下滑。喷射混凝土面层则将土体表面的松散颗粒粘结在一起,形成一个具有一定强度和刚度的薄壳结构,限制土体的侧向变形。同时,锚杆的存在也增加了土体的潜在破裂

面,提高了土体的整体稳定性。从力学角度分析,喷锚支护结构类似于一个加筋的重力式挡土墙,锚杆起到了类似土工格栅加筋的作用,增强了土体的抗剪强度和抗弯能力。以某高层建筑深基坑为例,在开挖深度达到10米时,未支护边坡出现了明显的裂缝和局部坍塌迹象,而采用喷锚支护后,通过对边坡土体压力和位移的监测发现,边坡的最大水平位移控制在30毫米以内,土体压力分布均匀,表明喷锚支护有效地改善了边坡的力学性能<sup>[1]</sup>。

## 二、深基坑边坡喷锚支护设计要点

### (一) 地质勘察与资料收集

准确的地质勘察是深基坑边坡喷锚支护设计的基础。需要详细了解场地的地形地貌、地层结构、岩土物理力学性质、地下水水位及水文地质条件等信息。例如,在某沿海地区的深基坑工程中,地质勘察发现场地内存在多层软塑-流塑状的淤泥质土,且地下水位较高,与海水存在水力联系。针对这一地质条件,设计时采用了较长的锚杆以穿透软弱土层并锚固在下部的密实砂层中,同时加强了喷射混凝土面层的防水处理,以防止海水对支护结构的侵蚀。

### (二) 锚杆设计参数确定

在现代深基坑工程中,锚杆的设计参数是确保边坡稳定与经济性的关键。锚杆长度通常依据基坑深度、土层特性及边坡稳定性要求来确定,一般需穿透潜在滑动面并锚固于稳定地层中。根据最新的研究成果和工程实践,锚杆直径的选择应综合考虑土体的承载能力和锚杆的受力特性,通常通过经验公式计算并结合现场试验数据进行调整。此外,锚杆间距和倾角也是影响支护结构

整体稳定性和经济性的重要因素，合理的间距能够避免土体局部失稳，而适当的倾角则有助于提高锚杆的抗拔力和整体稳定性<sup>[2]</sup>。为了更直观地展示不同设计参数对深基坑边坡稳定性的影响，我们整理了以下数据表：

表1 不同设计参数下深基坑边坡稳定性对比

参数	值	描述	稳定性评级
锚杆长度	20-25米	根据不同位置的土层情况调整	高
锚杆直径	150毫米	考虑土体承载能力与受力特性选择	中
间排距	2米×2米	保证整体稳定性与经济效益	高
倾角	15° -20°	提高抗拔力与整体稳定性	中

注：稳定性评级分为“高”、“中”、“低”三个等级，分别对应不同的稳定性水平。

该数据表基于最新的研究成果和实际工程案例编制而成，旨在为深基坑边坡喷锚支护设计提供参考。通过合理选择和优化设计参数，可以在确保边坡稳定性的同时，实现较好的经济效益。

### （三）喷射混凝土面层设计

喷射混凝土面层的设计厚度应根据边坡高度、土体性质和工程经验确定，一般不宜小于80毫米。面层配筋可采用钢筋网或纤维网格布，以提高其抗裂性能和整体强度。在喷射混凝土材料选择方面，应优先选用早强、高强、耐久性好的材料，并加入适量的外加剂来改善其性能。例如，在某工业厂房深基坑支护工程中，考虑到周边环境对支护结构的外观要求较高，采用了C30高性能喷射混凝土，内配直径6毫米、间距200毫米×200毫米的钢筋网，面层厚度为120毫米。经过养护和后期观测，面层表面平整、无裂缝，有效地保护了边坡土体，并与周边环境相协调。

## 三、深基坑边坡喷锚支护施工过程质量控制

### （一）材料质量控制

#### 1. 锚杆材料质量检验

锚杆材料的质量直接关系到喷锚支护结构的承载能力和耐久性。在采购时，应严格按照设计要求选择符合国家标准的产品，并对进场的锚杆进行质量检验。检验内容包括锚杆的规格尺寸、材质成分、力学性能等。例如，对一批用于深基坑支护的中空注浆锚杆进行检验时，发现部分锚杆的壁厚偏差超出允许范围，及时要求厂家退换货物，避免了因锚杆质量问题导致的工程质

量隐患。同时，在锚杆加工过程中，要确保锚杆的切割、焊接、注浆等工序符合规范要求，保证锚杆的质量和性能。

#### 2. 喷射混凝土材料质量控制

喷射混凝土材料的质量对支护面层的强度和耐久性有着重要影响。水泥应选用质量稳定、强度等级符合要求的普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥；砂石骨料应干净、级配良好，含泥量控制在规定的范围内；外加剂应与水泥相适应，并按照规定剂量添加。在材料进场时，需进行严格的检验和试验，确保材料质量合格后方可使用。例如，在某住宅小区深基坑工程中，由于施工现场管理不善，导致部分砂石骨料含泥量过高，在喷射混凝土施工后出现局部剥落现象。经及时发现并更换合格骨料后，重新喷射混凝土，保证了面层的质量和稳定性<sup>[3]</sup>。

### （二）施工工艺质量控制

#### 1. 锚杆施工工艺控制

锚杆施工是喷锚支护工程的关键工序之一。在钻孔过程中，要严格控制钻孔的位置、角度、深度和孔径等参数，确保钻孔垂直度偏差和孔径偏差在允许范围内。例如，在某大型桥梁基础深基坑工程中，采用跟管钻进工艺进行锚杆钻孔，钻孔过程中利用全站仪等测量仪器对钻孔位置和角度进行实时监测和调整，保证了钻孔精度。注浆环节要保证注浆压力、注浆量和浆液配合比符合设计要求，使浆液充分填充钻孔并渗透到周围土体中，形成良好的锚固体。如在上述桥梁工程中，注浆压力控制在0.5-0.8MPa之间，注浆量根据钻孔体积和吸浆量确定，注浆完成后采用超声波检测等方法对注浆效果进行检查，确保锚杆的承载能力满足设计要求。

#### 2. 喷射混凝土施工工艺控制

喷射混凝土施工前，应对边坡表面进行清理和修整，去除杂物、松动土体和危岩，保证坡面的平整度和粗糙度符合要求。在喷射混凝土过程中，要控制好喷射机的工作参数，如喷射压力、喷射距离、喷射角度等。例如，在某停车场深基坑工程中，喷射压力控制在0.4-0.6MPa之间，喷射距离保持在0.6-0.8米之间，喷射角度垂直于坡面，这样可以使混凝土均匀地喷射在坡面上，避免出现空洞和流淌现象。同时，要注意分层喷射的厚度和间隔时间，每层喷射厚度不宜超过50毫米，间隔时间根据混凝土的初凝时间确定，一般不少于2-3小时。在混凝土终凝后，要及时进行养护，养护时间不少于7天，以保证混凝土的强度增长和耐久性。

#### 四、深基坑边坡喷锚支护质量检测与监测

##### (一) 质量检测方法与频率

###### 1. 锚杆质量检测

锚杆质量检测主要包括锚杆抗拔试验和非破坏性检测。锚杆抗拔试验是一种直观有效的检测方法，通过在锚杆上施加逐渐增大的拉力，直到锚杆破坏或达到设计的极限承载力，从而确定锚杆的抗拔力是否满足设计要求。例如，在某商业综合体深基坑工程中，按照规范要求对每300根锚杆抽取一组（3根）进行抗拔试验，试验结果表明锚杆的平均抗拔力达到了设计值的2倍，满足工程要求。非破坏性检测方法如声波反射法、电磁感应法等可以快速、准确地检测锚杆的长度、注浆密实度等参数，且不会对锚杆造成损坏。一般在锚杆施工完成后立即进行非破坏性检测，以便及时发现问题并采取补救措施<sup>[4]</sup>。

###### 2. 喷射混凝土面层质量检测

喷射混凝土面层质量检测主要检查其强度、厚度、平整度和外观质量等指标。强度检测可采用回弹法、钻芯法等无损检测方法进行。例如，在某工业园区深基坑工程中，在喷射混凝土养护28天后，采用回弹仪对其强度进行检测，每个基坑边坡随机选取10个测区，每个测区布置16个回弹测点，根据回弹值计算出混凝土的强度换算值，并与设计强度进行对比，结果表明混凝土强度全部满足设计要求。厚度检测可采用钻孔取芯法或超声检测法，平整度和外观质量检测则采用目测法和靠尺检查。检测频率根据工程规模和重要性确定，一般每500-1000平方米检测一次。

##### (二) 边坡变形监测

边坡变形监测是深基坑边坡喷锚支护工程中最重要监测项目之一。通过在边坡上设置基准点和监测点，采用全站仪、水准仪、GPS等测量仪器定期对边坡的水平位移、垂直位移和沉降进行观测。例如，在某地铁车站

深基坑工程中，在边坡顶部和中部设置了多排监测点，每天进行一次水平位移和垂直位移观测，每周进行一次沉降观测。监测数据显示，在基坑开挖初期，边坡变形速率较小，随着开挖深度的增加，变形速率逐渐增大，但在采取相应的加固措施后，变形速率得到有效控制，边坡保持稳定<sup>[5]</sup>。

##### 结束语

深基坑边坡喷锚支护工程的质量控制是多环节、全方位的系统工程。从设计之初的地质勘察、参数确定，到施工过程中的材料质量与工艺把控，再到后期的质量检测监测，每一步都紧密相连、缺一不可。通过严格的质量控制措施，能确保喷锚支护结构稳定可靠，有效控制边坡变形，保障深基坑工程及周边环境安全。未来应不断总结经验，持续优化技术与管理，进一步提升深基坑边坡喷锚支护工程的质量水平，推动岩土工程领域相关技术的不断发展与进步，为城市建设与基础设施建设筑牢坚实的基础。

##### 参考文献

- [1] 何晓东. 岩土工程设计中深基坑边坡喷锚支护及质量控制[J]. 散装水泥, 2024, (01): 27-29+32.
- [2] 马宁. 岩土工程施工中深基坑边坡喷锚支护技术及其质量控制[J]. 有色金属设计, 2021, 48(01): 66-70.
- [3] 刘智宇, 舒志乐. 深基坑边坡喷锚支护在岩土工程施工中的应用分析[J]. 中国金属通报, 2020, (11): 153-154.
- [4] 范坤诚. 深基坑边坡喷锚支护在岩土工程中的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2024(35): 24-26.
- [5] 何鑫. 深基坑边坡喷锚支护技术在岩土工程中的应用探讨[J]. 门窗, 2024(9): 190-192.