

水利工程中高边坡支护施工技术要点分析——以南窖沟施工为例

邢美静

安徽建工水利开发投资集团有限公司，安徽蚌埠，233000；

摘要：高边坡支护技术在水利工程施工中扮演着至关重要的角色。本文以南窖沟现场施工条件为基点，着重分析了土钉墙支护及微型钢管桩+预应力锚索（土钉）的施工工艺和过程控制要点。这些工程面临着地质条件恶劣、地表水土条件差、有临边房屋等复杂环境。高边坡支护技术的应用不仅关系到工程的安全施工和质量控制，还对节约资源和保护环境具有重要意义。

关键词：高边坡；土钉墙；微型钢管桩

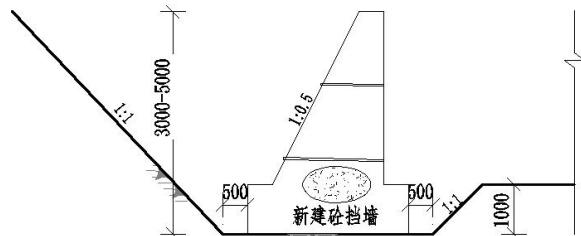
DOI: 10.69979/3041-0673.25.09.022

1 工程概况

1.1 现场周边条件

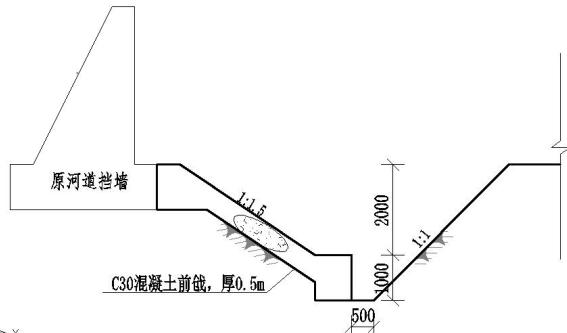
南窖沟位于房山区北部山区，为南窖沟山区段的主要支流之一。发源于房山区南窖乡北安村，流经中安、花港等村，于佛子庄乡红煤厂村入南窖沟，流域面积50km²。

该段土方开挖范围为挡墙、前戗及箱涵等，挡墙基础在河底下挖1m，但一侧边坡需顺接岸坡，高差可达5米以上。挡墙开挖断面图如下。



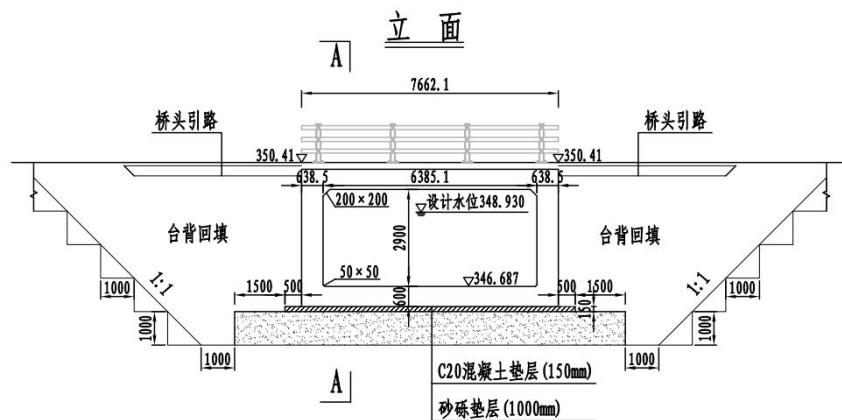
挡墙开挖典型断面

前戗开挖须在设计河底下挖3米，基坑一侧为河道原状挡墙，另一侧在河底1:1放坡开挖。前戗开挖断面如下图：



前戗基坑开挖典型断面

南窖沟部分箱涵征地受限，箱涵基坑需在设计河底向下开挖1.75m，加上河岸的高度，基坑可达5米左右，箱涵基坑两岸紧邻公路及民宅，征地条件极为有限，无法实现放坡开挖，需要改为垂直支护，采用微型钢管桩+预应力锚索（土钉）。



箱涵设计基坑开挖示意图

1.2 工程重点及难点分析

(1) 临边高处作业安全控制：边坡形成后为典型临边和高处作业，高处作业为本工程控制的重难点之一。

(2) 施工环境影响：施工场地可操作面较小，紧邻村庄段周边环境复杂，边坡支护较为复杂。

(3) 部分新建挡墙防护一侧为农田及房屋，施工时需要对农田进行临时征地，确保边坡放坡尺寸，同时一侧有房屋的，对房屋一侧的基坑尺寸进行规定，明确基坑上口距离房屋边侧的尺寸 $\geq 3.0\text{m}$ ；

(4) 部分基坑自身深度不深，但由于是在岸边施工，一侧岸坡连接了河岸高坡或者山体，形成较大的高低差，需对岸坡山体做好安全监测工作。

1.3 重点难点对策及方案措施

(1) 严格按动态设计，信息施工原则，加强对边坡监测和信息反馈，并根据现场开挖后边坡的岩土情况，

序号		南窖沟技术参数			
1	1: 0.5				
2	土钉类型	HRB400-Φ25 钢筋			
	土钉布置	间距 1m，梅花形布置			
	入射角度	20			
	锚杆长度	1.5m			
3	120mm, C25 喷射混凝土				
4	水泥浆或水泥砂浆，水泥浆的水灰比宜取 0.5~0.55；水泥砂浆的水灰比宜取 0.40~0.45，同时，灰砂比宜取 0.5~1.0，拌和用砂宜选用中粗砂				
5	HRB400-Φ14 钢筋@1000				

锚杆遇到特殊地质情况时，可增加锚杆密度、长度或对使用注浆技术，从而达到锚杆与特殊地质的结合力，另外施工完后定期检查锚杆的固定情况，发现问题及时处理，确保支护结构的稳定性。

2.2 工艺流程

测量放线→沟槽开挖→孔位测放→成孔→置入锚杆→注浆→挂钢筋网喷射混凝土→循环至沟槽底

2.3 施工方法及操作要点

部分不具备放坡开挖的部位采用土钉墙支护的形式，按照 1: 0.5 放坡。

(1) 支护材料加工

钢筋、锚杆加工场加工后运至现场，现场绑扎。

(2) 支护施工方法

2.3.1 孔位测放

分层、分段基坑经监理验收合格后，测量人员按照孔径Φ100mm，间距 1m，梅花形布置的要求，采用带有

裂隙及稳定性等，复核、调整各段边坡的处理措施，指导边坡工程施工。

(2) 做好安全交底，做好边坡临边防护措施，做好安全作业防护，保证作业安全。

(3) 采取合理可行的降排水施工措施。专人定期对开挖边坡进行巡查，并对排水设施定期进行检查。

1.4 工程特点分析

本工程根据工程进度进行开挖，现场采取三种支护方式，挡墙与前戗基坑采用 1: 1 放坡开挖，受限段挡墙基坑采用土钉锚喷支护 1: 0.5 放坡支护，箱涵等征地更为困难周边环境更为复杂的，采用钢管桩加土钉的垂直支护方式。

2 土钉墙支护

2.1 土钉墙技术参数

明显标记的钢筋头于槽壁定出土钉孔位位置（孔位允许偏差 $\leq 15\text{cm}$ ）。并报监理工程师验收，验收合格后方可进行下步工序施工。

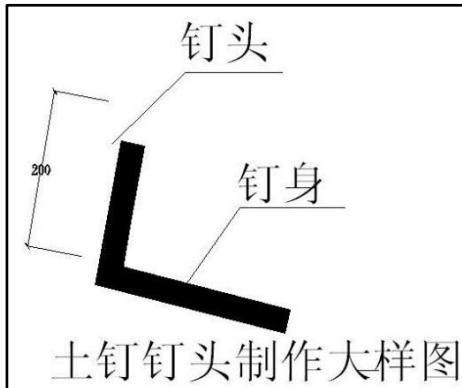
2.3.2 成孔

孔位位置测放完成后，采用人工配备挖孔机具对孔位进行成孔作业。挖孔机具与壁面往下 10° 进行挖孔钻进，成孔过程中，质检人员做好成孔记录，逐一记载每孔成孔时的土体特征、成孔质量，并配合技术人员将取出的土体与相关报告中的土体特征对比，对存在较大偏差的及时通知施工人员停止作业并修改土钉长度，以确保施工安全。成孔后，质检人员监督施工人员继续清孔，直至孔内干净无浮土和杂物。

同时，在土钉孔位全部成孔后，根据现场水情设置长度 50cm（插入深度 40cm，后包双层无纺布），直径 30mm 的 PVC 水平排水管，以便后续混凝土面层喷射时能及时将面层后的出水处的积水排出。

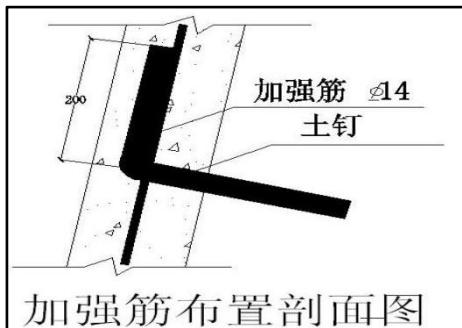
2.3.3 置入钢筋

置入钢筋前,先对Φ25钢筋进行制作,制作时按照设计孔深进行,同时,在其制作完成后端头设置“L型”弯头(弯折角度90°,弯折长度20cm)用以同与后续横向加强筋连接。制作方法如下所示。



钢筋制作完成后,进行人工置入,土钉置入孔前,先在孔口位置固定“井”型预制Φ20长度100mm钢筋支架,以保证钢筋处于孔位中心且注浆后其保护层厚度均匀、统一。

土钉置入完成后,为确保土钉防护时发挥整体性,横向每层土钉采用Φ14钢筋横向通长焊接于弯折钉头以促成一体,确保支护整体性。



2.3.4 注浆

土钉置入孔位后,将注浆导管插入孔底,打开注浆泵,在注浆的同时,匀速缓慢的将导管撤出,并保持出浆口始终处在孔内浆体的表面下10cm,确保空气气体能全部排出。在该孔浆体注满后,保持压力3~5min后方可停止注浆。

2.3.5 钢筋网混凝土面层施工

(1) 喷射混凝土施工机具的选用应符合下列规定:

喷射混凝土质量控制标准

检验项目	质量要求	检验方法	检验数量
抗压强度最小值	设计强度的85%及其以上	现场取样	每喷射50-100m³混合料不应少于一组。
喷射混凝土拌合物	检验合格		
喷射混凝土厚度	平均值不小于设计尺寸	量测	
喷层均匀性(现场取样)	无夹层、包砂	现场取样	每个断面检查
喷层表面整体性	无裂缝	观察、尺量	每个断面检查
喷层密实情况	无渗水、滴水		

1) 混凝土喷射机应密封性良好,输料连续均匀,允许输送骨料最大粒径为25mm,输送水平距离不宜小于100m,垂直距离不宜小于30m;

2) 选用的空压机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求,一般选用9m³/min以上的空压机;

3) 输料管应能承受0.8MPa以上的压力,并应有良好的耐性能;

4) 供水设施应保证喷头处足够的水压,即水压应大于0.2MPa。

(2) 喷射混凝土作业应符合下列规定:

1) 喷射作业应分段分片依次进行,同一分段内喷射顺序应自下而上,一次喷射厚度宜为40mm~70mm;

2) 喷射时,喷头与受喷面应垂直,宜保持0.6m~1.0m的距离;

3) 喷射混凝土的回弹率不应大于15%;

4) 喷射混凝土终凝2h后,应喷水养护,养护时间,根据气温环境等条件,一般为3d~7d。

(3) 喷射混凝土中的钢筋网铺设应遵守下列规定:

1) 钢筋网与土层坡面净距不应小于30mm;

2) 采用双层钢筋网时,第二层钢筋网应在第一层钢筋网被混凝土覆盖后铺设;

3) 钢筋网应与土钉或其它锚定装置连结牢固,喷射混凝土时钢筋不得晃动;

4) 按设计间距绑扎钢筋网片,避免在同一截面位置搭接钢筋;水平搭接宽度不宜小于300mm,垂向搭接宽度不宜小于0.5m,钢筋搭接宜采用弯钩或焊接形式。

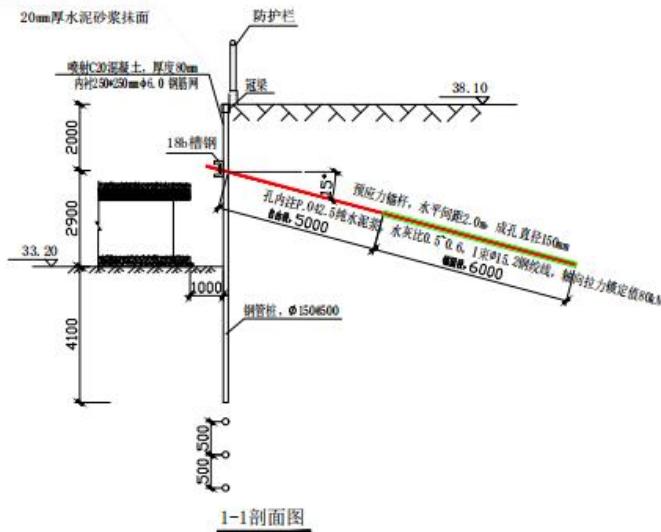
在每层土钉钢筋置入并完成注浆后,采用Φ8@200钢筋网片分别固定于壁面及土钉上。外层网片固定时,严格控制其固定位置,确保完成厚120mm;C25混凝土喷射后不出现露筋现象。

喷射混凝土采用喷砼机自下而上分层(每层5cm)进行喷射,喷射过程中,喷头与受喷面距离不得大于1m。在完成混凝土喷射后2小时,采用连续喷水或覆盖保温养护,养护时间3~7天,并在该层强度达到设计强度后,方可进行下一层作业面开挖。

喷层养护	养护、保温好		
表面平整度	允许偏差	量测	检查检验点数不少于 10 个

3 微型桩施工

南窖沟箱涵施工由于征地受限，不具备放坡开挖条件，需要采取垂直支护方式。



3.1 施工参数

不具备开挖条件的箱涵支护采用微型钢管桩+预应力锚索（土钉）形式，钢管桩桩径为 150mm，桩间距为 0.50m，桩长 9.00m，材料采用Φ108 钢管。孔内灌入素水泥浆（水灰比为 0.55~0.65，水泥采用 P.0.42.5 水泥）。由于钢管桩间距较小，采用跳挖法施工，隔一挖一采用直径 150mm 锚杆机施工。

3.2 工艺流程

测量放线—孔距定位—就位钻孔—清孔—安装下方钢管—安装注浆管—注水泥浆—冠梁

3.3 技术要求

1) 测量放线：根据设计要求的间距、排距及设计提供的标高进行测量放线；

2) 孔距定位：根据设计的孔洞直径、间距、排距使用筷子打入地下进行定位；

3) 就位钻孔：将钻孔机安放在指定位置、安放水平、防止倾斜，将钻杆抬至钻机旁，钻机与钻杆连接在一起，启动钻机与水管，慢慢钻进；每钻深 2m 接一次钻杆，直至达到设计深度 10m；

4) 清孔：在注水泥浆前，需要对桩孔进行清孔，使孔内泥浆全部排出，保证孔底沉渣不大于 50mm；

5) 安装下放钢管：待孔清洗后及时安装预制好的钢管，钢管露出地面 200mm，便于插入注浆管；

6) 安装注浆：注浆管由注浆机直接接入到孔内钢管上，接口采用丝口连接，注浆管采用橡胶管输送；

7) 注水泥浆：水泥浆水灰比 0.5~0.55 之间，注浆压力 0.5MPa，注浆后暂不拔管，直至水泥浆流出管外为止，拔出注浆管，密封钢管端部，加压数分钟，待水泥浆再次从钢管流出为止。因一次注浆难以达到充盈系数要求，需要多次间隙注浆，一般为一到三次。

8) 冠梁：①护坡桩按设计要求剔凿至设计标高，桩头钢管调直。冠梁尺寸为 250mm(宽)×300mm(高)。

②冠梁钢筋箍圈末端弯钩部位交错布置。

③冠梁主筋采用绑扎搭接，搭接长度为 35D，搭接接头错开距离为 600mm，同一断面接头数量不大于 50%。

④模板采用木模或钢模，单侧支模，利用开挖后的坑壁做为另一侧模板。固定好模板及角度，防止在浇筑时出现跑模现象。

⑤冠梁砼浇筑采用砼罐车自卸方式，如遇雨天或场地情况砼车无法靠位，则采用砼泵车进行浇筑。浇筑期间采用振捣棒密实，冠梁顶部抹平。

⑥砼初凝后进行拆模。

3.4 预应力锚杆施工

3.4.1 施工参数

预应力锚杆长度 11.0m，孔径 Φ150，水平间距 200，机械成孔，纵筋采用 1 束 75 钢绞线，注 P.042.5 素水泥浆，水灰比 0.50~0.60，轴力拉力锁定值 80KN。

3.4.2 工艺流程

成孔→锚杆安放→注浆→腰梁安装→预应力张拉

3.4.3 技术要求

成孔：待施工场地平整后，锚杆机进场，调整好角度，对准孔位中心开始钻进，成孔至设计深度后进行下步工序。

锚杆制作：杆体采用钢绞线。钢绞线骨架每间隔2m设一固定管架。骨架长：自由段+锚固段+锚锁张拉长度。

注浆：注水灰比0.50~0.60的P.042.5素水泥浆。第一次注浆后3~6小时后进行二次补浆。

锚杆注浆1~2天后进行腰梁安装，安装时要求腰梁与桩密贴，有空隙时用垫铁焊连。根据水泥浆试块强度，达到设计强度的75%后，进行试拉，根据试拉结果确定是否正式张拉。

3.5 质量保证措施

1) 钻孔施工期间，若出现孔内渗水严重、冒水或桩壁塌孔时，应立即停止作业，调整泥浆比重后，再进行钻孔施工。

2) 水泥浆体初凝后，若明水从注浆体与土体之间空隙渗出时，先用水泥浆与水玻璃的混合物固化渗漏点的范围，采用水管引流渗水，水管一端与固化物固定引水，水管一端引流排水。待混合物凝结固化后，封堵排水管，达到截水目的。

3) 水泥浆体初凝后，若明水从锚杆的钢绞线之间的空隙渗出时，先用水泥浆与水玻璃的混合物固化渗漏点的范围，采用水管引流渗水，水管一端与固化物固定引水，水管一端引流排水。待混合物凝结固化后，封堵排水管，达到截水目的。

4) 若明水渗漏点采用固化周边引水堵漏的方法失效时，可采用注水泥浆加工土体的方法。先引流动明水，分步注浆，由浅部逐渐深部，达到截水目的。

3.6 垂直支护施工对房屋扰动控制措施

1) 减少每天成桩数量，降低压桩速率：通过减少每天成桩数量和降低压桩速率，可以减少土中的超孔隙水压力，从而减少挤土现象，控制土体位移的发展。

2) 制定合理的打桩顺序：根据建筑形状和施工进度要求，选择合理的打桩顺序，如由中间向两侧施打、由中部向四周施打、逐排施打或由两侧向中间施打，以减小挤土效应。

3) 布设应力释放孔：在相邻建筑之间设消挤孔，

布设应力释放孔，以降低孔隙水压力，减轻土体挤压产生的位移。通过不断抽出受挤压的水，保持最低水位，缓解孔隙水压力的上升趋势，从而控制土体位移。

4) 优化施工工艺：在施工路线上采用先施工临近房屋的方向，再往远向施工，使得已施工的管桩在土体中形成相对的帷幕，一定程度改变震动波的传播介质，削弱震动波的传播距离。同时采用跳打的施工工艺，减小土质中超孔隙水压力的影响。

5) 开挖防震沟：在往居民房屋的方向，离基坑坡底边约3米左右的场地内，开挖宽约70公分、深度2.5~3米深的防震沟，以减小震动传播。

6) 及时沟通与反馈：及时与周边居民沟通，争取受影响居民的理解，并认真跟踪打桩扰民的问题，做好减小打桩扰民的后续工作。

4 结论

高边坡支护技术能够显著提升水利工程的施工效率和经济性。合理的支护技术可以有效地提高施工效率，减少施工周期，降低施工成本。施工现场可以根据边坡的具体情况选择和应用，确保工程的安全性。

参考文献

- [1] 胡柏庆. 高边坡支护锚索施工质量控制要点. 建设监理, 2024(08): 85~87+91.
- [2] 谭宗辉. 高边坡支护设计要点应用研究. 工程建设与设计, 2024(09): 43~45.
- [3] 巫来水. 锚杆支护在边坡治理中的应用[J]. 江西建材, 2023(09).
- [4] 张迪, 吴其泰, 肖敬彩, 符婉靖. 高填方空间受限边坡支护选型设计与实践运用. 低温建筑技术, 2024(11): 127~130.
- [5] 王兴强. 基于山区高边坡支护施工思路的探索. 居业, 2022(09): 55~57.
- [6] 徐力泽. 水利工程中高边坡开挖与支护工程的施工要点分析. 黑龙江水利科技, 2022(10): 73~75.
- [7] 蒋炳林. 试分析高边坡支护预应力锚索施工. 科技资讯, 2024.22(01): 114~117.

作者简介：邢美静（1988, 01），性别：女，民族：汉，籍贯：安徽省蚌埠市，职称：工程师，职务：项目经理，学历：本科，学位：学士；水利工程施工管理。