

基坑土钉墙支护施工工法

(YJGF07—2000)

山西建筑工程（集团）总公司建筑工程研究所

一、前言

基坑土钉墙支护是近年来发展起来用于土体开挖和边坡稳定的一种新型挡土结构。由于其具有经济、施工快捷等优势，在我国得以迅速推广应用。所谓土钉墙支护就是用加固和锚固现场原位土体的细长杆件（土钉）作为受力构件，与被加固的原位土体、喷射混凝土面层组成的支护体系。

近几年来，土钉墙支护在我省发展较快，多次用于工业与民用建筑的基坑支护工程中，并与其他支护方法联合使用，均取得了良好的效果，获得了显著的社会效益和经济效益。

二、土钉墙支护的特点

1. 能合理地利用土体的自承能力，将土体作为支护结构的不可分割部分。
2. 结构轻型，柔性大，有良好的抗震性和延性。
3. 施工便捷、安全，土钉的制作与成孔简单易行，且灵活机动，便于根据现场监测的变形数据和特殊情况，及时变更设计。
4. 施工不需单独占用场地，对于施工场地狭小，放坡困难，有相邻建筑，大型护坡施工设备不能进场时，该技术显示出独特的优越性。
5. 稳定可靠，支护后边坡位移小，水平位移一般为基坑深度的 0.1%~0.2%，最大不超过 0.3%，超载能力强。
6. 总工期短，可以随开挖随支护，基本不占用施工工期。
7. 费用低，经济，与其他支护类型相比，工程造价降低 10%~40%左右。

三、土钉墙支护的应用范围与通用条件

1. 土钉墙支护的应用范围

- (1) 托换基础。
- (2) 基坑或竖井的支挡。

(3) 基坑工程抢险。

(4) 斜坡面的稳定。

(5) 与预应力锚杆相结合做斜面的防护。

2. 适用条件土钉墙支护一般适用于地下水位以上或进行人工降水后的可塑、硬塑或坚硬的粘性土，胶结或弱胶结（包括毛细水粘结）的粉土、砂土和角砾、填土；随着土钉墙理论与施工技术的不断成熟，在经过大量工程实践后，土钉墙支护在杂填土、松散砂土、软塑或流塑土、软土中也得以应用，并可与混凝土灌注桩、钢板桩或在地下水位以上的土层与止水帷幕等配合使用进行支护，从而扩大了土钉墙支护的使用范围。采用土钉墙支护的基坑其深度不宜超过 18m。

四、土钉墙支护的作用机理及工作性能

1. 土钉墙支护的作用机理

土钉通过滑裂面将坑周土体加固，土钉与土共同工作，形成了能大大提高原状土强度和刚度的复合土体，如同重力式挡土墙。在土体受力条件改变的情况下，土体必然发生相应变形，通过土钉加固体与土的摩擦力，使土钉被动受拉而给土体以约束加固使其稳定，它由密集土钉群、被加固的原位土体、喷射混凝土面层和必要的防水系统组成。

2. 工作性能

(1) 土钉墙支护变形较小，最大水平位移发生于墙体顶部，越往下越小。土钉墙支护体内的水平位移随离开墙面距离增大而减少。

(2) 土钉内的拉力分布是不均匀的，一般呈现中间大、两端小的规律，上体产生微小变位才能使上钉受力。

(3) 采用密集土钉加固的土钉墙支护性能类似重力式挡土墙，破坏时明显带有平移和转动的性质。

(4) 在土钉墙支护整体破坏以前，喷射混凝土面层和土钉一般不会产生破坏现象。

(5) 墙面土压力分布并不接近三角形，在坡角处土压力减少，其合力为库仑土压力的 70%，这种土压力减少是土钉将土连接成一个整体而造成的。其土压力值至少降低库仑土压力值的 30%-40%。

五、土钉墙支护工艺

1. 工序编写施工方案及施工准备→开挖→清理边坡→孔位布点→成孔→安设土钉钢筋（钢管）→注浆→铺设钢筋网→喷射混凝土面层→开挖下一步。

根据不同土性特点和支护构造方法，上述个别顺序可以变化。支护的内排水以及坡顶和基底的排水系统应按整个支护从上到下的施工过程穿插设置。

2. 施工工艺

(1) 准备工作

1) 认真学习规范,熟悉设计图纸,以书面形式让甲方出据地下障碍物、管线位置图,了解工程的质量要求以及施工中的监控内容,编写施工方案。

2) 施工前应确定基坑开挖线、轴线定位点、水准基点、变形观测点等,并在设置后加以妥善保护。

3) 组织项目管理小组及专业施工队伍,对施工人员进行班前技术、安全交底,并完成上报审批程序。

4) 按照施工方案选择施工机具与工艺,并检查设备运转情况,安排现场水、电、照明及施工工作面,材料进场后做好原材料的检验与混凝土、水泥浆的试配。

(2) 开挖

1) 土钉墙支护应按施工方案规定的分层开挖深度按作业顺序施工,在完成上层作业面的土钉与喷射混凝土以前,不得进行下一层深度的开挖。

2) 当用机械进行土方作业时,严禁边壁出现超挖或造成边壁土体松动,当基坑边线较长,可分段开挖,开挖长度 10-20m。

3) 支护分层开挖深度和施工的作业顺序应保证修整后的裸露边坡能在规定的时间内保持自立并在限定的时间内完成支护。

应尽量缩短边壁土体的裸露时间,对于自稳能力差的土体如高含水量的粘性土和无天然粘结力的砂土必须立即进行支护。

4) 为防止基坑边坡的裸露土体发生塌陷,对于易坍塌的土体因地制宜采用相应措施。

5) 开挖过程中如遇到土质与原设计有异常情况时应及时进行反馈设计。

(3) 清理边坡。基坑开挖后,基坑的边壁宜采用小型机具或铲锹进行切削清坡,以达到设计规定的坡度。

(4) 孔位布点。土钉成孔前,应按设计要求定出孔位并作出标记编号。孔位的允许偏差不大于 150mm。

(5) 成孔。根据经验及现场试验,一般采用人工洛阳铲成孔,孔径、孔深、孔距、倾角必须满足设计标准,其误差符合《基坑土钉支护技术规程》CECS 96:97 的要求。如出现边坡土体含水量较大,杂填土较厚,松散砂层等情况不宜进行人工成孔时,可采用钢管代替钢筋,利用机械打入土层,钢管上可每隔 300mm 钻直径 8-10mm 的出浆孔,梅花形布置,并以 $\angle 30$ 角钢呈倒刺状焊于孔边,以防打管时散落土粒堵塞出浆孔,同时增加其抗拔力,钢管前端宜作成锥形,以减少打入时的摩擦阻力。成孔过程中如遇障碍物需调整孔位时,不得影响支

护安全，成孔后要进行清孔检查，对塌孔处应及时处理。

(6) 置钉及注浆

1) 置钉。在直径 18~32mm 的 II 级或 III 级钢筋上设置定位架，保证钢筋处于孔中心部位，支架沿钉长的间距为 2~3m 左右，支架的构造应不妨碍注浆时浆液的自由流动。

2) 注浆。成孔后应及时将土钉钢筋置入孔中，可采用重力、低压 (0.4~0.6MPa) 或高压 (1~2MPa) 方法按配比将水泥浆或砂浆注入孔内。重力注浆以满孔为止，但需 1~2 次补浆；压力注浆采用二次注浆法，并在钻孔口设置止浆塞和排气孔；注浆导管应先插入孔底，以低压注浆，同时将导管以匀速缓慢撤出，导管的出浆口应始终处在孔中浆体的表面以下，保证孔中气体能全部逸出。导管离孔口 0.5~1m 时高压注满，并保持高压 3~5min；采用钢管时应使用高压注浆，注满后及时封堵，让压力缓慢扩散；注浆时需加入早强剂和膨胀剂以提高注浆体早期强度和增大其与孔壁土体的摩擦力。

(7) 铺设钢筋网片

钢筋网片可用直径 6~8mm 盘条钢筋焊接或绑扎而成，网格尺寸 150~300mm。在喷射混凝土之前，面层内的钢筋网片应牢固固定在边壁上并符合规定要求的保护层厚度。钢筋网片可用插入土中的钢筋固定，在混凝土喷射下应不出现振动。

(8) 喷射混凝土面层

1) 喷射混凝土时喷射顺序应自下而上，喷头与受喷面距离宜控制在 0.8~1.5m 范围内，射流方向垂直指向喷射面，在钢筋部位应先喷钢筋后方，然后再喷填钢筋前方，防止在钢筋背面出现空隙。也可在铺设钢筋网片之前初喷一次，铺设网片之后再进行复喷，一次喷射厚度不宜小于 40mm，喷射混凝土前应先向边壁土层喷水润湿；喷射时应加入速凝剂以提高混凝土的凝结速度，防止混凝土塌落。

2) 为保证喷射混凝土的厚度，可用插入土内用以固定钢筋网片的钢筋作为标志加以控制。当面层厚度超过 100mm 时应分二次喷射，每次喷射厚度宜为 50~70mm。继续进行下步喷射混凝土作业时，应仔细清除预留施工缝结合面上的浮浆层和松散碎屑，并喷水使之潮湿，为使施工缝搭接方便，每层下部 300mm 可喷成 45° 的斜面形状。

3) 喷射混凝土终凝后 2h，应根据当地条件，采取连续喷水养护 5~7d。

4) 土钉墙支护最下一步的喷混凝土面层宜插入基坑底部以下，深度不小于 0.2m，在基坑顶部也宜设置宽度为 1~2m 的喷混凝土护顶。

(9) 排水系统

1) 土钉墙支护宜在排除地下水的条件下施工，应采取的排水措施包括地表排水，支护内部排水，以及基坑排水，以避免土体处于饱和状态并减轻作用于面层上的静水压力。

2) 基坑顶部四周可做散水和排水沟,坑内应设置排水沟和集水坑,并与边壁保留 0.5- 1m 的距离,集水坑内积水应及时抽出。

3) 如基坑侧壁水压较大时可在支护面层背部插入长度为 400-600mm,直径不小于 40mm 的水平导水管,外端伸出支护面层,间距 1.5~2m,以便将混凝土面层后积水排出。

六、原材料

水泥：采用强度等级为 32.5MPa 的普通硅酸盐、矿渣硅酸盐水泥。

砂、石子：采用细度模数不小于 2.3 的中砂和粒径不大于 12mm 的细石,砂含泥量不大于 3%,石子含泥量不大于 2%。

钢筋、钢管：Ⅱ级或Ⅲ级钢筋,直径 18-32mm;盘条钢筋 6-8mm,直径 48mm 的钢管。

外加剂：采用符合有关规范要求的早强剂。膨胀剂和速凝剂,在冬季施工时喷射混凝土中应加入防冻剂。

七、施工机械设备（见表 1）

表 1 机械设备一览表

设备名称	型号	数量	用途
空压机	9m³/min	1 台	喷射混凝土及机械锤击打管用
注浆机	1.8m³/h	1 台	土钉注浆用
喷混凝土机	5m³/h	1 台	喷射混凝土用
切割机	普通	1 台	钢筋下料,加工土钉钢筋用
经纬仪、水准仪	普通	2 台	放线、监测用
洛阳铲	直径 7-10cm	5 把	土钉墙支护人工成孔用
锤击器	自制	1 台	土钉墙支护机械成孔用
电焊机	普通	2 台	钢筋焊接,加工土钉钢筋用
搅拌机	普通	1 台	搅拌水泥浆用

八、劳动组织及安全

1. 劳动组织（见表 2）

每班配置管理人员 4 名,施工人员 25-30 名。

表 2 人员配备一览表

人员组成	人数	职责
项目经理	1	负责组织施工、协调现场
技术员	1	负责施工技术工作及施工安全
质量员	1	负责施工质量
材料员	1	负责组织材料进场及管理
班组长	1	负责指挥具体施工人员的工作
电工	1	负责现场用电
焊工	2	负责钢筋焊接，制作土钉钢筋、钢管
测量员	1	负责放线及监测工作
钢筋工	6-8	负责钢筋绑扎
成孔工	6-8	负责成孔
注浆工	2	负责注浆
喷射工	2	负责喷射混凝土

2. 安全管理

除遵守国家有关建筑工程安全操作规程外，还应特别注意以下事项：

- (1) 所有现场施工人员必须戴安全帽，以防高空坠物伤人及其他意外事故。
- (2) 注浆、喷射混凝土工人作业时，必须戴防护眼镜，以防因高压喷射造成的人身伤害。
- (3) 电源线的搭接应符合安全要求，电路操作必须有专人负责，禁止非专业人员进行电路操作。
- (4) 在需要搭接脚手架的施工部位，脚手架应搭接牢靠、稳固，以防止倒塌伤人。
- (5) 在使用空气锤进行土钉施工时，施工人员应注意双手远离锤头，以防止锤头振动伤人。

九、质量要求

1. 质量管理

技术员负责进行技术交底，按设计施工参数施工，整理技术资料及处理施工时发生的变更情况，及时与设计单位、建设单位联系；质量员监督施工质量，并作好质量记录，发现问题及时与技术人员联系解决。具体操作应执行《基坑土钉支护技术规程》CECS 96：97 中的有关规定（见表 3）。

表 3 土钉支护工程质量检验评定表

	项 目		质 量 情 况												
保 证 项 目	1. 施工方案及施工图 2. 土钉钢筋（钢管）的长度、注浆压力、注浆配合比等符合施工规范和方案的规定 3. 喷射混凝土配合比、上口收边、引排水符合要求 4. 钢筋、水泥、外加剂、砂石等材料出厂合格证及检验报告														
基 本 项 目	项 目		质 量 情 况												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
	土钉钢筋（钢管）的加工与接头														
	钢筋网														
允 许 偏 差 项 目	项 目		允许偏差		实 测 值										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	土钉孔深度（mm）		+200 -50												
	土钉孔位置（mm）		≤150												
	土钉孔倾角（°）		≤3												
	钢筋网眼尺寸（mm）		±10												
	喷射混凝土厚度	平均值		>设计值											
		最小值		>设计值 80%											
检 查 结 果	保证项目 基本项目 允许偏差项目	检查 项，其中优良 项，优良率% 实测点 ，其中合格 点，合格率%													
评 定 等 级	班 组 长： 工 程 负 责 人： 建设单位或监理：	核定等级				质量检查员：									

2. 质量检验

(1) 原材料检验。土钉墙支护施工所用原材料（水泥，砂石，混凝土外加剂，钢筋等）的质量要求以及各种材料性能的测定，均应以现行的国家标准为依据。

(2) 注浆强度及喷射混凝土强度检验。用于注浆时的水泥浆或水泥砂浆强度用 $70\text{mm} \times 70\text{mm} \times 70\text{mm}$ 立方体试件经标准养护后测定，每批至少留取 3 组（每组 3 块）试件，给出 3d 和 28d 强度，注浆强度等级不低于 12MPa，3d 不低于 6MPa；喷射混凝土强度可用边长 100mm 立方体试块进行测定，制作试块时应将试模底面紧贴边壁，从侧向喷入混凝土，每批至少取 3 组（每组 3 块）试件，强度等级不低于 C20，3d 不低于 10MPa。

(3) 喷射混凝土厚度检验。喷射混凝土厚度，可采用凿孔法作为检查依据，也可以用混凝土厚度标志或其他方法检查，有争议时以凿孔法为准。检查数量为每 100m^2 取一组，每组不少于 3 个点，其合格条件可定为：全部检查处厚度平均值应大于设计厚度，最小厚度不应小于设计厚度的 80%。

(4) 土钉抗拔力试验。每一典型上层中，至少留 3 根非工程土钉进行抗拔试验，其孔径注浆材料等参数及施工方法应与工程土钉完全相同，在注浆体强度不低于 6MPa 时检验土钉的抗拔力是否满足设计要求，一般加荷至设计抗拔力的 1.5 倍，观察其抗拔力和变形，一旦发现异常情况，及时采取措施或给设计单位反馈修改设计加以改进。抗拔试验操作方法按《基坑土钉支护技术规程》CECS 96：97 执行。

3. 施工监测

土钉墙支护的施工监测至少应包括下列内容：

- (1) 支护位移的测量。
- (2) 地表开裂状态（位置、裂缝宽度）观察。
- (3) 附近建筑物和重要管线等设施的变形测量和裂缝观察。
- (4) 基坑渗漏水 and 基坑内外的地下水位变化。

监测过程中应特别加强雨天和雨后的监测，以及对各种可能危及支护安全的水源进行仔细观察。

在支护施工阶段，每天监测不少于 1-2 次，在完成基坑开挖，变形趋于稳定的情况下可适当减少监测次数。施工监测过程应持续至整个基坑回填结束，支护退出工作为止。

4. 施工质量验收

支护工程竣工后，应由工程建设单位、监理和支护的施工单位共同按设计要求进行工程质量验收，认定合格后予以签字。工程验收时，支护单位应提供以下竣工资料：

- (1) 施工方案及施工图。

- (2) 各种原材料的出厂合格证及材料试验报告。
- (3) 工程开挖记录。
- (4) 土钉墙支护工程质量检验记录。
- (5) 设计变更报告及重大问题处理文件, 反馈设计图。
- (6) 土钉抗拔测试报告。
- (7) 支护位移、沉降及周围地表、地物等各项监测内容的量测记录与观察报告。

十、效益分析

经大量工程对比及综合分析, 土钉墙支护技术具有良好的社会效益和经济效益:

- 1. 边开挖, 边支护, 工期很短。
- 2. 支护后, 与其他支护方法相比, 边坡稳定, 对相邻建筑和道路影响小。
- 3. 与其他支护类型相比, 可降低造价 10%~40%。

十一、工程实例

1. 1998 年 4 月, 太原某大厦基坑支护工程。该大厦 22 层, 建筑面积 27000m²。基坑垂直开挖 46×40m, 深度 6.5~7.2m, 自然水位在地下 4.5m。场地土质上部 2m 为杂填土, 以下 14m 为中细砂层。基坑边缘距东围墙仅 0.5m。采用土钉墙支护技术对基坑东、西、北侧边坡进行支护, 支护面积 800m²。沿垂直方向布置 5 层土钉, 水平间距 1.3m, 呈梅花状布置, 钉长 5~8m, 采用直径 6.5mm 的圆钢编制钢筋网。注浆等级 M15, 喷射 C20 混凝土, 厚度为 80mm。施 11 期 20d, 比原计划使用的混凝土灌注桩节约支护费用 30%~40%, 工期提前 50%。

2. 1999 年 4 月施工的太原飞云大厦基坑支护工程。该大厦地下 1 层, 地上 12 层, 高约 42m。基坑深 5.8m, 地下水位在-4.8m。地基土自上而下分两层, 第一层为杂填土及素填土, 厚度为 2.4m; 第二层为粉质粘土, 呈中密-密实, 软塑-可塑状态。沿基坑竖直方向设置 4 排土钉, 钉长 6.5~7m, 共 695 根, 注浆 M15。喷射混凝土强度为 C20, 厚度为 100mm, 编网钢筋采用直径 6.5mm 的圆钢, 网眼 200mm×200mm, 支护面积为 1000m²。施工工期 20d。

3. 1999 年 9 月施工的山西省国防科技交流中心基坑支护工程, 采用了土钉-防渗墙联合支护技术。基坑深 5.9m, 局部深 6.5m, 垂直开挖。地表下 5m 内为人工填土, 且大部分是杂填土, 地下水位在-2.6m 处。沿基坑竖直方向设置 4 排土钉, 共 568 根, 钉长 5.5~7.5m, 注浆等级为 M15。喷射强度为 C20, 厚度为 100mm。编网钢筋采用直径 6.5mm 的圆钢, 网眼 200mm×200mm, 支护面积为 866m²。工期 21d。

4. 2000 年 7 月山西万家寨引黄工程调度大楼基坑支护工程, 基坑深 10m, 地基土自上而下分别为粉土与细砂层、粉上层, 饱和中密至密实中砂层组成。基坑边坡 80 度, 沿竖直方向设置 6 排土钉, 钉长 8~10m, 共 440 根, 注浆等级 M15。喷射混凝土强度为 C20, 喷射厚度为

100mm，编网用直径 6.5mm 的圆钢，网眼 200mm×200mm，支护总面积 750m²。工期 13d，用土钉支护技术进行基坑支护比灌注桩支护节约资金 50 万元。

近年来山西建工（集团）总公司建工研究所还在霍州电厂职工活动中心、长治市行政学院综合楼、太原双龙大厦、阳泉人民医院门诊楼、金港国际商务中心等 30 余项工程中进行了基坑土钉墙支护施工，均获得成功。

（执笔人：徐秀清 张循当 梁建民 沙克非 弓晓丽）