

# 锚杆（索）+格构梁在永久边坡支护中的应用研究

赖立

广州建筑产业开发有限公司

**摘要：**地质条件不佳是导致边坡稳定性不强的主要因素，在边坡治理过程中以提供稳定性为核心的支护工作不可或缺。通常来说，边坡支护类型有临时支护和永久支护两种，具体支护方法也十分多样，工程建设人员需基于实际需求作出个性化选择。基于此，本文着眼于锚杆（索）+格构梁这一永久边坡支护方法，依托于实际工程案例对该方法的应用要点加以探究，以期与实践工作提供参考。

**关键词：**锚杆（索）；格构梁；永久边坡支护；技术要点

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.09.024

## 前言

如今，该工程建设范围不断扩大，许多地质条件复杂的区域也成了水利水电、城市建设的施工地。实际作业环节，地震、滑坡、泥石流等地质灾害对工程施工安全带来了极大威胁，其中滑坡是危害性最大、发生频率最高的地质灾害。因此，强化滑坡治理，从“防患于未然”的角度出发做好边坡支护加固至关重要；实践中，施工单位必须合理选择施工技术并加强施工要点把控。

### 一、锚杆（索）+格构梁的支护加固作用机理

随着边坡支护加固需求的持续丰富，支护加固技术方法也不断创新。在实践中，出现了越来越多的复合型、组合式施工方法，锚杆（索）+格构梁正是其中之一。这种边坡支护加固技术的主要原理是以锚杆（索）+格构梁结构为基础，通过发挥锚杆（索）以及格构梁的共同作用力来实现边坡维稳加固。实际作业环节，锚杆将直接嵌入岩层，并且与格构梁联动协作，使支护区域内形成压应力进而让土体自身受力被改变，使其稳定性得以增强，进而达到支护目的<sup>[1]</sup>。

从本质上来看，基于锚杆（索）+格构梁的边坡支护加固，可使锚杆（索）、格构梁以及边坡形成拥有稳定应力状态的整体；该整体会受到锚杆锚固力以及坡面格构梁土工效应的共同作用，所以发生土体位移、变形以及破坏的概率会大幅下降。目前，锚杆（索）+格构梁支护加固结构被广泛应用在 high 陡边坡治理领域，不仅充分满足了边坡加固维稳需求，更增强了边坡稳定性。从现实角度来看，该方法的适应性极强，在较为平缓的边坡和分级开挖的坡体上也十分适用；不过，应用这一加固方法时需要基于边坡岩土体的性质来设计锚杆（索）+格构梁的结构参数和布设方案。

### 二、锚杆（索）+格构梁支护结构的优势和特点

结合实践可知，锚杆（索）+格构梁的有效应用，为提高大规模、高难度边坡加固工程施工质量提供了有力支持。这种支护结构的实用性、美观性极强，在实践中表现出了极为突出的特点和优势。

#### （一）应用特点

在边坡支护施工中，锚杆（索）+格构梁结构主要分为两大部分：其一是主体结构；其二是附属结构。“锚杆（索）+格构梁+注浆体”共同组成了主体结构，在边坡支护加固中发挥着控制变形的作用，可对坡体的下滑力进行有效承担<sup>[2]</sup>。相比于主体结构，附属结构的功能性相对较弱，在边坡维稳加固方面扮演间接辅助角色，可对主体结构进行保护也能发挥坡体美化作用。实践中，锚杆（索）+格构梁的主体结构是边坡加固支护的“主力”，而附属结构则是保护墙身、改善环境、提高坡面美观性的“主力”。从现实角度来看，锚杆（索）+格构梁结构属于组合式边坡支护结构。实践中，这种柔性复合支护方式对施工场地的要求不高，地基承载力、边坡形状对其的影响力不大；而且，这种支护结构既可单用也可联用，能开展分段施工，可实现低耗高效的绿色安全施工。

#### （二）应用优势

与传统的边坡支护结构相比，锚杆（索）+格构梁支护结构属于柔性支护结构，在边坡维稳加固方面具有主动受力支护的优势，能让锚杆的高强度抗拔作用得到更为彻底地发挥，所以其抗滑、维稳、控制变形的作用更为突出。不仅如此，锚杆（索）+格构梁结构还具有便捷性高、成本低、工期短和抗震性强的优势<sup>[3]</sup>。实际作业环节，依托于锚杆（索）+格构梁进行边坡支护，可大幅压缩施工成本，而且无须使用大型机械、占用大面积场地，更适合开展安全高效施工。此外，锚杆（索）+格构梁结构适应性良好，在不同类型的边坡治理工程中都可使用；结构中的格构梁还可为边坡绿化提供基础，可实现“结构+植被”的双重加固，从而兼顾边坡维稳和美化。

### 三、基于锚杆（索）+格构梁的永久边坡支护实例

为有效探讨锚杆（索）+格构梁在永久边坡加固中的应用要点，本文以实际工程为例加以探究。本文所选案例为增城区中心镇迳村A19021地块项目永久支护工程，该工程所在区域属于珠三角冲积平原，待治理边坡的总长度和最大高度分别为256m、6.4m。案例边坡的安

全等级为二级，拥有50年的支护结构使用年限。原本，施工段边坡采用了喷锚方式进行临时支护，但根据项目要求需要将其调整为永久支护。在边坡永久支护中，施工单位将运用锚杆（索）+格构梁技术，基于“悬臂桩+钢筋砼框架梁+锚杆”实现边坡维稳。实际作业环节，边坡北侧采用悬臂桩支护形式（施工参数如表1），而西侧则采用钢筋砼框架梁结合锚杆的形式（施工参数如表2）。

表1 北侧悬臂桩支护施工参数

灌注桩直径	灌注桩长度	桩间距	冠梁尺寸	混凝土强度
800mm	11-16m	1400mm	1200mm×800mm	C30
1000mm		1200mm		
1200mm				

表2 西侧锚杆（索）+格构梁支护施工参数

钢筋砼格构梁施工参数			锚杆（φ28@2500mm）施工参数		
尺寸	间距	混凝土强度	长度	孔径	标准抗拔力
400×300mm	2.5×2.5m	C30	8-12	130mm	100kN

#### 四、永久边坡支护中锚杆（索）+格构梁应用要点

案例工程施工阶段，施工单位将基于锚杆（索）+格构梁结构实现西侧边坡维稳加固。由于施工现场存在场地狭小、机械方式以及施工难度大的问题，施工单位需要在现场基于钢管脚手架搭设操作平台。除此之外，施工人员还必须保证锚杆与格构梁施工的规范性、安全性和可靠性。所以，在基于锚杆（索）+格构梁的永久边坡支护过程中必须关注如下要点。

##### （一）设计计算分析

将锚杆（索）+格构梁应用到边坡永久支护环节，必须以精准准确的受力分析和计算来保证施工质量。在本次案例中，施工人员必须结合施工地点的地质特征以及支护要求，做好岩石压力计算以及锚杆设计计算，以便为合理编制边坡治理方案提供支持。

对于施工人员来说，计算分析强调计算方法合理性以及数据真实性，否则无法保证计算结果的可用性。本次施工采用等效θ法来计算岩石压力，需要使用如下公式：

$$E_{ak} = \frac{1}{2} \gamma H^2 k_a$$

$$Kq = 1 + \frac{2q \sin \alpha \cos \beta}{\gamma H \sin(\alpha + \beta)}$$

$$\eta = \frac{2c}{\gamma h}$$

其中， $E_{ak}$ 和 $K_a$ 分别表示主动土压力合力以及压力系数，前者单位为KN/m；H和C则分别表示挡土墙高度和土的粘聚力，单位分别为m和Kpa。同时，公式中的 $\gamma$ 、 $q$ 是土体重度和地表均匀分布荷载标准值，前者以 $\text{kN/m}^3$ 为单位，后者则以 $\text{kN/m}^2$ 为单位；除此之外， $\phi$ 、 $\delta$ 、 $\beta$ 、

$\alpha$ 、 $\theta$ 则分别表示土的内摩擦角、土对挡土墙墙背的摩擦角、填土的水平面与表面夹角、支挡墙的背面与水平面夹角以及滑裂面与水平面夹角，它们的计算单位皆为°。

在锚杆设计计算环节，施工人员需要做好锚杆受力计算，计算重点在于锚杆受到的水平拉力标准值（ $H_{tk}$ ）和轴向拉力值（ $N_{ak}$ ）。此时，应使用的公式如下：

$$E_{ak} = \frac{1}{2} \gamma H^2 k_a$$

$$Kq = 1 + \frac{2q \sin \alpha \cos \beta}{\gamma H \sin(\alpha + \beta)}$$

$$\eta = \frac{2c}{\gamma h}$$

其中，侧向岩土压力的水平分力标准值（ $\text{kN/m}^2$ ）以及合力水平分力标准值（ $\text{kN/m}^2$ ）分别以 $e_{hk}$ 和 $E_{ak}$ 表示，H（m）代表挡土墙的高度；而 $s_{xj}$ （m）、 $s_{yj}$ （m）则分别代表锚杆的水平和垂直间距，本次工程中二者皆为2.5m。实践中，施工人员还需要依托于公式计算锚杆

钢筋截面面积；依托于公式 $l_a \geq \frac{K N_{ak}}{\pi D f_{tk}}$ 计算锚杆段长

度、依 $A_s \geq \frac{K_b N_{ak}}{f_y}$ 托于 $l_b \geq \frac{K N_{ak}}{n \pi d f_b}$ 计算锚杆钢筋与砂浆间的锚固长度。其中，K与 $K_b$ 分别代表锚杆锚固体的抗拔安全系数和锚杆抗拉安全系数；本次施工中前者为2.4后者为2.0； $f_y$ 与 $A_s$ 分别代表钢筋抗拉设计强度和钢筋截面面积； $l_a$ 与 $l_b$ 分别表示锚固段的长度和钢筋与砂浆间锚固长度。D、 $f_b$ 、n、d以及 $f_{tk}$ 则分别代表着锚固体直径、钢筋抗拉强度设计值、钢筋数量、钢筋直径以及极限黏结强度标准值。

##### （二）锚杆施工要点

锚杆（索）+格构梁结构中，锚杆主要发挥锚固力，能为控制坡体变形、位移提供支持。锚杆施工流程相对繁琐，施工工序较多且专业性要求极高。通常来说，基于锚杆（索）+格构梁的永久边坡支护中，锚杆施工应该从整平场地开始，以注浆收尾，主要工艺流程如图1所示。案例工程中，锚杆施工后的张拉试验必须以100kN作为抗拉标准值，而且需保证注浆材料选用科学以及防腐处理有效。

###### 1. 钻前准备工作

锚杆（索）+格构梁的锚杆施工的钻前准备工作主要分为两步，第一步是场地平整、第二步测量放线。其中，场地平整要求施工人员做好现场清理以及施工平台搭建区域预留。本次施工中，应设6-8m宽的施工平台，平台位于锚杆标高以上30-50cm处。测量放线环节，必须确保各排锚杆水平标高一致，并基于设计间距做好拉线布孔，为后续钻孔注浆做好准备。实践中，需强调锚

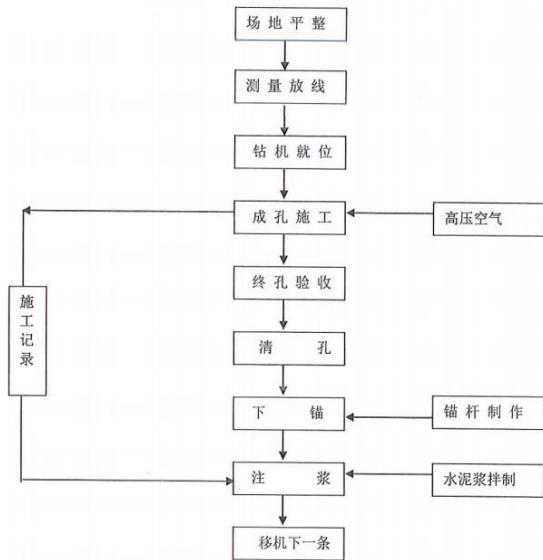


图1 锚杆施工的工艺流程

杆孔定位精准性，最大偏差不得超过50mm。

2. 钻孔注浆施工

钻孔注浆施工环节，需保证锚杆孔位移机可用，然后选用适宜成孔方法施工。本次工程基于“潜孔钻机+风动干成孔法”施工，按照钻孔、清孔、制杆、下锚、注浆的顺序施工<sup>[4]</sup>。钻孔环节，以130mm为直径，50mm最大偏差，0.8MPa为最低空气应力值；下锚时需将注浆管绑扎在锚杆上，二者下端应具有200-300mm差距，前者短于后者。本次施工以0.5-0.55水灰比的42.5R普通硅酸盐水泥净浆作为注浆材料，基于0.4-0.6MPa注浆压力完成连续泵送注浆。

3. 防腐处理操作

本次施工的锚杆防腐处理以端头除锈和防腐材料涂刷为主，除锈范围为端头2m以内。防腐材料选用沥青船底漆，涂刷后缠裹两层沥青纤维布。

(三) 格构梁施工要点

现场施工环节，锚杆（索）+格构梁结构中的格构梁施工同样需要经过多道工序：（1）测量放线；（2）开挖基槽；（3）垫层施工；（4）制作与安装木模板；（5）制作与安装梁钢筋；（6）砼浇筑；（7）脱模与养护；（8）处理锚杆锚头。本次施工中，以20cm作为格栅开挖深度，垫层施工阶段使用厚度为5层面的C10混凝土垫层；混凝土浇筑施工人员采用C25强度的现拌混凝土，基于0.3-0.6Mpa注浆压力，按15°喷射夹角实现格构梁的分层喷射，各层之间的喷射间隔应控制在10分钟。格构梁施工环节，必须强调质量控制，基于至少7天的淋水养护方式保证混凝土养护质效；通过严控坡度正确性、焊实锚杆头与格栅梁、使用塑料泡沫板填充变形缝来保证施工质量<sup>[5]</sup>。

(四) 脚手架施工要点

前文提到，本次施工通过脚手架来搭建施工操作平台。现场施工人员选用了Φ48×3.5双排钢管扣件连接脚手架，搭设时以单扣件连接横杆和立杆（单立管），搭设要求如表3所示。需要注意的是，本次施工中脚手架的外侧需要满设剪力撑，斜道的宽度与坡度应分别控制在3m和1:3。为保证脚手架搭建可靠性，现场施工环节必须做好边坡脚手架计算。以立杆的地基承载力为例，计算时需使用公式 $P \leq f_a$ 来计算，其中 $P=N/A$ 代表立杆基础底面的平均压力，而 $f_a$ 则表示地基承载力设计值；在本次施工中， $P=270.8\text{kN/m}^2$ ，而 $f_a=400\text{kN/m}^2$ ，这表示计算结果满足要求。

结束语

综上所述，锚杆（索）+格构梁是一种实用价值较高、应用范围较为广泛的永久边坡支护技术。在技术应用环节，施工人员必须明确锚杆（索）+格构梁支护的原理，做好二者共同作用下的边坡稳定性研究和施工设计。从现场施工角度来看，锚杆（索）+格构梁过程中加强现场施工技术应用管理，做好锚杆受力以及边坡脚手架计算。

表3 施工脚手架搭设要求与参数信息

立杆综距	立杆排距	横杆步距	斜杆间距	扣件抗滑承载力系数
1.2m	1.8m	1.2m	1.8m	0.80
脚手板	计算静荷载	标准活荷载	计算活荷载	大横杆自重标准值
0.35kN/m <sup>2</sup>	0.214kN/m	2.7kN/m	3.78kn/m	0.038kN/m

参考文献

[1] 赵世波. 复杂地质条件下基于折线滑动面法高边坡支护设计——以广东省肇庆市某边坡为例[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(06): 17-19.  
 [2] 贾强. 浅谈高边坡防护工程的勘察设计与施工[J]. 中国高新技术企业. 2016, (3). 108-109.  
 [3] 戚玉亮, 王光谱. 锚杆格构梁+土钉植草+钢管桩挡墙的组合支护方法在某半岩半土高边坡加固中的应用研究[J]. 广州建筑, 2019, 45(05): 15-18.

[4] 任壮. 锚杆支护技术应用研究[J]. 当代化工研究, 2019, (8): 81-82.

[5] 杨柏轩, 隆威. 预应力锚杆（锚索）在湖南某高速公路高边坡支护中的应用[J]. 中外建筑, 2019(09): 169-171.

作者简介：赖立（1995.05.17），男，汉，广东省河源市，建筑施工助理工程师，全日制本科。主要研究方向或主要从事工作：工程管理。