

锚喷支护工程质量检测

王祖和 王明远 吴剑平 王晓宁 乔卫国 著

煤炭工业出版社

锚喷支护工程质量检测

王祖和 王明远 吴剑平 王晓宁 乔卫国 著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

锚喷支护工程质量检测/王祖和等著. —北京: 煤炭工业出版社, 1996.9

ISBN 7-5020-1331-8

I. 锚… II. 王… III. 锚喷支护-工程质量-质量检验
IV. TD350.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 07629 号

锚喷支护工程质量检测

王祖和 王明远 吴剑平 王晓宁 秦国 著

责任编辑: 陈

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街 21 号)

北京密云春雷印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168 \text{mm}^{1/32}$ 印张 $7^{3/8}$ 插页 1

字数 192 千字 印数 4,001 - 7,000

1996 年 7 月第 1 版 1996 年 9 月第 2 次印刷

书号 4100 G0367 定价 15.00 元



内 容 提 要

本书介绍了锚喷支护工程质量的检测手段、评判方法和配套仪器，内容包括：锚喷支护工程质量概论及检验原理；喷射混凝土强度和厚度检测；锚杆间排距检测；锚杆拔出力检测；工程规格尺寸检测；锚喷工程观感质量、基础深度检测；锚喷工程质量综合评判及管理信息系统以及检测、评判的实用例子。其中点荷载法测试混凝土强度及其配套仪器，从理论研究到技术方法上都是一项重大突破，为地下工程中检测喷射混凝土质量提供了科学、实用的手段。

本书可供煤矿、铁路隧道、冶金矿山、地下建筑等部门从事井巷施工的工程技术、管理人员及质量检测人员阅读，也可作为大专院校有关专业的参考书。

序 言

工程质量关系着企业的形象与声誉。从国家整体看，工程质量不仅关系着人们的生命与财产安全，也关系着国家的形象与声誉。

但是，保证工程质量的难度很大，这是因为：

1. 影响工程质量的因素多。如地质勘察、调查研究、工程设计、材料选择、设备选型等因素，决定了工程的先天质量。再加上长时间的施工过程，因此，影响施工质量的因素多且复杂。

2. 工程建设的地点、环境条件、工艺、检测技术，甚至人的情绪等都会对工程质量产生影响，从而导致工程质量的波动性很大。

3. 工程质量很容易发生由系统变异而导致质量事故。例如，使用材料的品种、规格、性能的系统变异，材料的组配与加工工艺的系统变异，机械故障、停水停电等都可能导致质量事故。

4. 工程建设施工过程中，由于工序转换次数多、中间产品多、隐蔽工程多、工种交接多，若忽视现场检验，事后只看表面，就容易将不合格品误评为合格，给工程留下隐患。

5. 检验工程质量时，不可能对工程解体、拆卸，进行“彻底”的检验。

矿山井巷工程中，每年使用锚喷支护的井巷达数十万米，工程质量保证的难度也甚于一般的建筑工程。锚喷支护的工程质量不仅与原来岩层的稳定性、掘进爆破对围岩稳定性的破坏程度、掘进断面的尺寸与形状、巷道涌水、滴水大小等因素有关，而且与锚喷原材料的优选与合理组配、施工工艺乃至喷射手的操作密切相关。因此，保证锚喷工程的质量是一项复杂的系统化工作。

山东矿业学院“锚喷支护工程质量检测技术”课题组曾参加

国家标准 GBJ213—79《矿山井巷工程施工及验收规范》的修订工作。在调查研究与条文修订过程中，认识到锚喷支护工程质量按原规范规定的检测方法，不仅成本高、工艺复杂，而且可靠性低。目前，全国尚缺乏统一的检测标准。1984年，在煤炭部基建司的指导下，进行了为期6年的科学研究工作，创造了一套适合锚喷支护工程质量检测的机具与方法。1987年，通过了煤炭部的鉴定，1989年，获得能源部科技进步三等奖。1990年，课题组又承担了国家“八五”科技攻关项目“锚喷支护施工质量检测技术”。1995年，全面通过了煤炭部鉴定，除了检测技术方法以外，还通过取样钻机、锚杆探测仪、混凝土强度检测仪、拉拔仪、智能点荷载数显仪、超声波断面量测仪等6项机具的鉴定。该项目的理论和应用技术研究达到了国际先进水平，其方法和配套仪器具有重要的实用价值和广阔的应用前景。1996年，在煤炭部规划发展司、基本建设司等部门的指导下，由课题组主持编写的中华人民共和国行业标准 MT/T5015—96《锚喷支护工程质量检测规程》已经编制完成，即将付诸实施。该标准采纳了“八五”攻关项目的主要成果。现在，该项目主要科研成果纳入行业标准，这是科研成果转化为生产力的最佳形式。完全可以相信，这套检测技术、方法与机具在锚喷工程质量的检验中，将发挥非常重要的作用。

本书全面叙述了锚喷支护工程质量检测技术、方法与机具，既有检验原理，又有检测方法；既有检测技术，又有机具的使用；既有数据的采集、整理，又有质量评判。这是迄今为止国内第一部全面叙述锚喷质量检测技术的专著，是关于锚喷工程质量配合行业标准实施的一本好书。对从事工程建设、施工的甲乙方的技术人员、管理人员，特别是质量检验人员来说，这是一本必读之书。

煤炭工业部基本建设司司长 路耀华

1996年5月

目 录

前言

第一章 锚喷支护工程质量概论	1
第一节 锚喷支护基本概念	1
第二节 锚喷支护工程质量与评价	21
第三节 锚喷支护工程质量保证	35
第二章 工程质量检验原理	42
第一节 常用名词术语	42
第二节 工程质量数据统计规律	45
第三节 抽样方法	57
第四节 抽样检验方案	60
第五节 抽检方案的可靠性	72
第六节 抽检方案的确定	79
第三章 喷射混凝土强度检测	81
第一节 喷射混凝土强度	81
第二节 点荷载试验法检测喷射混凝土强度	82
第三节 拔出试验法检测喷射混凝土强度	113
第四节 其它检测方法	136
第五节 喷射混凝土强度检测程序	144
第六节 喷射混凝土强度质量评判	148
第四章 喷射混凝土厚度检测	154
第一节 喷射混凝土厚度	154
第二节 喷射混凝土厚度检测方法	155
第三节 喷射混凝土厚度检测程序	157
第四节 喷射混凝土厚度质量评判	158
第五章 锚杆间排距检测	160

第一节 锚杆间排距	160
第二节 锚杆间排距检测方法	161
第三节 MT-2 型锚杆探测仪	162
第四节 检测程序	167
第六章 锚杆抗拔力检测	169
第一节 锚杆抗拔力	169
第二节 锚杆抗拔力检测方法	169
第三节 锚杆抗拔力检测仪器	170
第四节 检测程序	175
第七章 工程规格尺寸检测	177
第一节 工程规格尺寸	177
第二节 超声波测距技术	179
第三节 工程规格检测	183
第八章 锚喷工程观感质量及基础深度检测	186
第一节 锚喷工程观感质量检测	186
第二节 喷射混凝土工程基础深度检测	189
第九章 锚喷工程质量综合评判	192
第一节 锚杆支护工程质量评判	192
第二节 喷射混凝土支护工程质量评判	194
第三节 锚喷支护工程质量综合评判	196
第十章 锚喷工程质量管理信息系统	197
第十一章 锚喷支护工程质量检测与评定实例	203
附表	217
附表 1 随机数表	217
附表 2 正态分布表	224
附表 3 正态分布表 (横坐标表)	227
附表 4 泊松分布表	插页
附表 5 χ^2 分布表	228
参考文献	229

第一章 锚喷支护工程质量概论

第一节 锚喷支护基本概念

一、锚喷支护技术应用与发展

我国煤炭系统于 1955 年开始试用锚杆支护巷道围岩，1964 年进行喷浆、喷射混凝土支护试验，到 1974 年除部分基建矿井重点推广外，一般矿井尚在试验探索阶段。这一时期从单一的锚杆支护、喷射混凝土支护，发展到锚杆喷射混凝土联合支护。1975 年，煤炭部召开了煤炭系统光爆锚喷支护会议，正式确定锚喷支护为井巷支护技术改革的方向，并要求作为重大的技术项目在全国煤矿推广使用。

锚喷支护作为一种独立的支护技术，其应用从岩层稳定的小断面巷道逐步扩大到松软破碎不稳定岩层的大断面巷道，从平巷到斜井、立井、大硐室、交岔点，从新井开凿支护到旧巷修复，应用范围也逐步扩大。

1978 年，国务院转发了计委关于重点新技术推广项目的报告。该报告将锚喷列为国家新技术推广重点项目，并进入了大面积推广阶段。这一阶段以培训专业骨干队伍，组织科学研究为重点。煤炭部组织制订并颁发了《锚喷设计规范》和《施工操作技术规程》，将锚喷工作纳入有计划的管理轨道。

进入 80 年代，在大面积推广应用的基础上，在理论研究、支护材料、支护形式、支护机械、支护方法和工艺等方面均有很大的突破，配套技术更加完善，锚喷支护技术日臻成熟。目前，煤矿每年就有 2000km 的巷道采用锚喷支护，而且还有增长的趋势，锚喷支护有十分广阔的发展前景。

二、锚喷支护理论

锚喷支护技术广泛应用于地下工程，人们对其认识也由浅入深、不断深化和提高。最初认识是从锚杆或喷射混凝土单独作用于围岩开始，如锚杆的悬吊作用、挤压加固作用、组合梁作用等原理；喷射混凝土对围岩的封闭作用、改变围岩应力和共同支护作用等基本观点。

随着锚喷支护技术应用范围的扩大，人们通过试验研究发现，锚杆不仅可以锚固破碎岩石来支承自身重量，而且还可作为承载体来支承外荷载。当混凝土喷层和碎块岩体组合成拱形结构时，其承载能力要比喷层本身大几倍甚至十几倍。由此可见，锚喷支护是一种能转变承载体的结构形式。根据弹塑性理论、极限平衡理论以及有限元分析方法，对在不同锚喷支护参数条件下，围岩的应力应变分布状态、围岩加固的强度和稳定性有了新的认识。

由于地质条件和地下工程技术条件复杂多变，目前还很难有一种支护理论被大家所公认，但锚喷支护技术已被工程界接受，而且已从概念的定性分析进入实践、理论、实验研究的阶段，已能够进行定量的分析和计算，指导具体的设计和施工。

（一）锚喷支护设计的理论观点

（1）一切手段、方法和措施都以维护围岩的稳定为目的。

（2）为充分发挥支护和围岩的共同作用，把支护与围岩视为统一的复合体。这就要通过改变锚喷支护参数和结构形式来达到这个目的。

（3）围岩是荷载，但又是承载的主体，要最大限度的发挥围岩自承自稳能力，而把支护作为加固和稳定围岩的手段；同时也要充分发挥支护的承载能力。

（4）借助现场试验和监测手段，确定围岩类别等级，取得有关岩体力学参数，以便指导设计和施工。

（5）在不同地质构造和不同围岩类别及力学性质条件下，采用不同的计算、设计方法，选择不同支护方式。

（6）地质勘察、设计、施工和工程测试相结合，在设计和施

工过程中要紧密联系，不断调整设计参数，使结构形式更加符合工程实际。

以上基本理论观点对锚喷支护设计有着重要的指导意义，其具体设计方法有工程类比法、理论分析法和现场监测法。工程类比法是当前主要设计方法，已逐步向定量化、科学化的方向发展。

（二）锚喷支护的应用特点

锚喷支护技术之所以比传统的支护方式优越，主要是在机理、施工工艺和技术经济效果等方面有一些突出的特点。如及时性、柔性、粘贴性、深入性、密封性、灵活性构成了锚喷支护作用原理的基本要素。另外还有在工艺上便于机械化操作，以降低劳动强度；在经济上比其他支护方式更为合理等优点。

1. 及时性

锚喷支护比其他支护形式迅速及时，锚杆还可以超前支护，喷射混凝土的早凝、早强保证了支护的及时和有效。

由于支护及时，不因开挖后围岩风化而降低强度，并给围岩及时提供支护抗力，从而改善了围岩的应力状态。

2. 柔性

喷射混凝土本身虽然是一种脆性材料，但由于喷层较薄，喷射混凝土与岩体紧密结合，呈现一定的柔性。分层喷射以及加纤维的喷射混凝土其柔性更好。

锚杆支护的柔性更为明显，特别是可伸缩性锚杆、钢丝绳锚杆，塑料、竹、木等材料的锚杆都有较好的柔性，可允许岩体有较大的变形而不致破坏，甚至当被加固的岩体作整体位移时，仍能保持相当大的支承力。

3. 粘贴性

喷射混凝土与围岩全面紧贴粘结在一起，粘结力一般达 $700\text{N}/\text{cm}^2$ 。这种粘贴性可产生三种作用：

（1）“连锁”作用。将被裂隙分割开的岩块粘结在一起，保持了岩块间的整体性。

(2) “复合”作用。围岩与喷射混凝土结成一个复合体，使二者在径向和切向上都共同受力，这种效应改变了围岩的应力状态，有利于提高喷射混凝土和围岩共同承载的能力。

(3) “增强”作用。喷射混凝土充填了围岩凹处，使岩面与喷层粘贴的较为平整，因此提高了围岩的强度，也减少了围岩的集中应力。

4. 深入性

锚杆能深入岩体内部一定深度加固围岩，锚杆群体的锚固区的强度和整体性得到加强，不仅改善了围岩的应力状态，同时也阻止了围岩的松动，它与围岩共同形成承载圈。

喷射混凝土在高压喷射时，不仅使喷层紧贴岩面，而且把灰浆注入到围岩的裂隙和空洞中去，对岩层起到部分注浆加固的效果。

5. 密封性

由于喷射混凝土及时、全面的密封围岩，阻止了地下工程中潮气和水对围岩的侵蚀，同时对地下水的渗流也起到了阻止作用。喷层将水隔绝，保护原岩不受潮解和膨胀，维持了原岩强度。

6. 灵活性

灵活性表现在施工工艺上，主要有三个方面：

(1) 锚喷支护类型和参数可根据不同地质条件随时调整，充分发挥锚、喷、网、架各种支护方式的组合作用。而对整体和局部的加固可以采用不同的方式来实施，并可降低支护成本。

(2) 施工工艺的可分性。锚喷支护可一次完成，也可分次完成。锚与喷可分开实施，喷层也可以分二次或三次实施，这种方式起到了“先柔后刚”的作用，有利于发挥喷层与围岩的承载能力。

(3) 适用性强。锚喷支护在不同地质，不同深度，不同井、巷或硐体类型、尺寸，永久支护或临时支护等条件下，均可采用，对损坏的支护也便于修补。

(三) 锚喷支护基本理论

1. 围岩加固理论

该理论以岩体工程地质力学为基础。地下工程在未开挖之前, 由于岩体自重和构造运动, 岩体内部处于平衡应力状态; 开挖后, 初始应力的平衡被破坏, 开挖后的围岩应力重新分布并发生变形。开挖空洞在不同部位围岩的力学性质、应力状态都不相同。围岩的破坏从局部开始, 破坏点的应力状态与岩体强度符合岩石破坏准则条件。由于局部的破坏, 诱发其他部位围岩应力状态和岩体强度也发生变化, 直至达到破坏准则后, 围岩发生破坏, 最后导致围岩冒落或片帮。

根据这种观点分析硐体稳定性和支护加固效果, 应调整岩体应力场与岩体力学性质的变化。锚喷支护的作用原理可以概括为: 在开挖空洞发生变形破坏之前应限制围岩的变形与位移, 以改善硐体的应力状态, 提高岩体强度, 充分发挥围岩的自稳能力。

2. 突破点理论

在正常情况下, 整体硐室破坏之前, 总是从一处或几处先开始破坏作为突破点。这个突破点又使相邻围岩产生新的突破点, 可能导致另一些部位的破坏, 发展到一定的程度就引起薄弱部分发生冒落性突破。按这种观点, 说明与岩体共同地经历这一过程的锚喷结构, 可以利用自身的优点, 使岩体充分发挥自撑作用能力, 以消除突破点或及时控制破坏发展过程, 使其较快地向稳定状态转化, 这就是锚喷结构的作用原理。

3. 共同作用理论

锚喷体外的围岩既是一种荷载体, 本身又是一种结构。地下结构是一种支护与围岩共同作用的体系, 承载的荷载为可变荷载。其值大小与围岩自身承载成反比, 即围岩承载越大, 支护承载越小。要充分发挥围岩的自承能力, 一方面不允许围岩进入有害的松动状态, 另一方面允许围岩出现一定范围的塑性区或适当的位移。支护设计的基本指导思想就是要控制围岩不进入有害的

松动状态，调节围岩变形至适当位置。采用及时支护、柔性支护、可缩性支护、分次支护等方法来增加支护的可变性，在围岩不出现有害松动的情况下，允许有一定变形。当调节变形不当，如支护太晚，喷层太薄等，都可能导致围岩产生有害松动，以致造成工程支护失败，所以调节围岩变形是十分重要的。

4. 围岩控制理论

由于煤矿多为火成岩沉积地层，其流变和变形都较大，采用锚喷支护对围岩变形进行抑制和控制。煤矿巷道有不变形、小变形和大变形两大类。井巷围岩的变形又分为稳定流变变形和不稳定流变变形两种。

巷道围岩之所以产生大变形、大流变，主要原因是围岩强度较低，地应力较大，围岩处于强度超限的应力状态，掘进巷道后，围岩向巷道空间位移。围岩流变是一种张拉、扩容性的变形，以挤压剪切和失稳形式表现，应以锚为主，依靠锚杆的挤压加固作用控制围岩变形；同时及时喷射混凝土，控制围岩松动变形。在大变形、大流变的地下工程中，除允许喷层发生开裂、分次支护外，也可用砌碛、金属拱形支架等强度高的联合支护形式。

5. 不同条件下的不同支护理论

因为地下岩层地质和水文地质条件差别很大，所以在支护问题上也相应有多种理论和观点，即在不同岩层条件下采用不同的支护理论。

在层状岩层中，用锚杆的悬吊作用和组合梁原理设计计算较合适。同样道理，喷层的剪切破坏理论和喷射混凝土支护的加劲环解法等力学分析方法，也只是在与其相适应的地质条件和工程技术条件下，用来进行支护的设计和施工。

从地下工程的稳定分析着手研究锚喷支护，改善围岩应力状态，限制围岩位移和变形，充分发挥围岩的自稳性能，是锚喷支护的本质问题。

以上理论基本上建立在相同的力学基础上，但在说明问题时

又不完全相同。共同作用理论观点认为，围岩与支护共同作用是客观存在；这种共同作用又分为支承作用和加固作用。支承作用是因为支护对围岩施加压力，从而改变围岩受力状态；反之，也使支护受力得到改善。加固作用是指锚喷支护加强了围岩的承载能力。

从支撑结构观点出发，悬吊理论以及组合梁、组合拱都可解释锚喷支护的作用效果，并提出相应的计算方法。支护概念、计算方法，是从简单到复杂再到简单的发展过程，这样容易被设计和施工人员所接受。

煤系地层膨胀、流变软岩的支护方法和原理，反映煤矿采动影响下巷道的锚喷支护特点，采用“躲、放、让、抗、综合治理”等支护措施，多年经验证明，效果较好。

三、锚喷支护类型

(一) 锚杆的种类和结构

锚杆的种类和结构很多，按杆体的材料分有木锚杆和竹锚杆、金属锚杆、塑料锚杆等。根据工程的类型和服务年限可分别选用几种类型的锚杆。

(1) 普通木锚杆。锚杆的抗拔力一般为 10kN ，多用于服务年限 1 年左右的采区巷道。

(2) 压缩木锚杆。锚杆的抗拔力一般在 20kN 左右，多用于服务年限 2~3 年的采区巷道。

(3) 竹锚杆。竹锚杆又分片竹锚杆和百夹竹锚杆，抗拔力一般在 $10\sim 20\text{kN}$ ，多用于服务年限较短的采区巷道。

木、竹锚杆经防腐处理，喷浆封闭后其服务年限可延长 2~3 倍。

(4) 金属楔缝式锚杆。锚杆结构简单，抗拔力一般为 40kN ，加大锚头可达 $60\sim 80\text{kN}$ ，由于杆体较粗，使用材料较多，常用永久性地下工程，在中硬中抗拔力更大。

(5) 倒楔式金属锚杆。这种锚杆抗拔力为 $30\sim 50\text{kN}$ ，杆体可以回收。不仅可作永久工程，还可作临时支护或服务年限较短

的工程。

(6) 胀圈式金属锚杆。锚固力在 50kN 以上，因结构复杂，加工费用高，使用量受限，但可回收。多用于地下永久或临时支护工程。

(7) 管缝式金属锚杆。是 80 年代初开始试用并推广的一种全长锚固锚杆，抗拔力 40~50kN。这种锚杆初锚力大，安全性好，安装质量易于保证，尤其在松软岩层中其锚固效果更显突出。

(8) 水力膨胀式管子锚杆。是一种用无缝钢管加工成的双层异型管状锚杆。用高压水充液，锚杆与钻孔壁紧固相贴，为全长锚固方式，具有锚固力大（抗拔力可达 100kN 以上）、安装速度快、可立即承载的特点，安装质量十分可靠。可用于巷道、大断面硐室或动压较大、岩层松软破碎的围岩支护，也可用于安装、悬吊设备。但由于加工和操作工艺要求高，其安装成本也较高。

(9) 注浆锚杆。这种锚杆是将锚杆和注浆管结合在一起，兼有注浆和锚固作用。锚杆体就是钢管，注浆后钢管留在钻孔内作为锚杆，注浆液将钢管和围岩紧密结合在一起。在注浆压力作用下，浆液渗透到围岩的裂隙和空洞中去，提高了围岩的整体性和承载能力。特别适用于松软破碎、裂隙发育需要加固的地下工程。

(10) 砂浆锚杆。是全长锚固的锚杆，其杆体为钢筋和钢丝绳金属体，另外还有竹筋砂浆锚杆；前者抗拔力一般为 50kN，70 年曾广泛用地下永久工程，成本较低，但由于初锚力太小，近几年已很少使用。竹筋锚杆与木锚杆的使用范围相同。其原理是锚杆体与砂浆粘结岩层锚固在一起，只要水泥砂浆密实，锚固性能很好。

(11) 树脂锚杆。由树脂锚固剂和杆体两部分组成。树脂锚固剂是一种粘结力很强的高分子，合成材料，用它作锚固剂，承载快、锚固力大，而且适应各种杆体材料，不仅可作为地下工程的永久支护，也可作为井筒或安装工程的固定和悬挂点；并具有安

装方便，支护效率高，杆体结构简单，操作方便，安装质量容易保证等优点。

树脂锚杆的抗拔力一般在 60kN 以上，有的可达 80 ~ 100kN，根据工程需要可选用端锚或全锚，是一种很有推广前景的锚固方式。

(12) 快硬水泥卷锚杆。其锚固剂是快硬水泥卷，杆体与杆头结构与树脂锚杆相同。这种锚固剂成本较低，取材容易，加工方便，锚固力在 1h 左右可达 50kN 以上，80 年代被许多矿山所采用。但由于对快硬水泥卷加工、保存、安装要求较高，故在重要工程使用受到一定的限制。

(13) 塑料锚杆、玻璃钢锚杆。这种锚杆的杆体或锚头部分是塑料或玻璃钢材料，具有轻便、耐腐蚀等优点，一般抗拔力也可达 40kN 以上。但目前仍处于试用和研究阶段。

(14) 锚索。是锚杆的发展和延深，其主要材料是钢丝绳，长度可达 10m 甚至 20m 以上，抗拔力可达几百 kN，是地下大断面硐室、深基础挖边坡加固、建筑基础加固的有效支护手段。近十几年得到了大力发展和应用。

(15) 拉杆支架（桁架锚杆）。是锚杆和拉杆的组合，在矩形或梯形巷道肩窝顶板上沿 45° 安装锚杆，并用拉紧螺丝将锚杆的外露部分连接起来对岩层施加预应力的支护结构。其结构形式有单式和复式两种，适用 2~5 年的采区巷道。

(16) 锚、网、带结构。用锚杆加钢筋（丝）网、锚杆加钢带（或钢筋带）、锚杆与钢丝网加钢带组合在一起的支护结构形式，这种方式整体性好，有柔性，同时能阻止危岩碎石的冒落。

(17) 锚梁结构。锚杆与钢梁相结合的支护形式，钢梁可采用工字钢、槽钢等型钢，这种结构主要用于地压大（拱形或梯形巷道均可采用）的地下工程。承载能力大，相应造价也高。

另外，还有可伸缩锚杆、等强锚杆、异形、全螺纹锚杆、高强头锚杆等，均具有较高柔性或抗拔力，但由于加工复杂，目前仅在特殊工程中有少量使用。