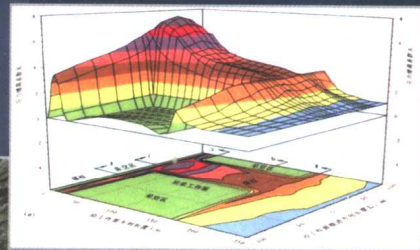


Control of Surrounding strata in Deep Mine  
Roadway and Practice in Huainan Area

● Yuan liang

# 深井巷道围岩控制理论及淮南矿区工程实践

● 袁 亮 著



煤炭工业出版社

China Coal Industry Publishing House

Control of Surrounding Strata in Deep Mine  
Roadway and Practice in Huainan Area

深井巷道围岩控制理论及  
淮南矿区工程实践

袁 亮 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·



袁亮，1960年出生，安徽金寨人。工程硕士，正高级工程师，博士生导师。1982年毕业于淮南矿业学院采矿工程专业，现任淮南矿业集团公司总工程师、常务副总经理，中国煤炭学会常务理事，中国煤炭学会岩石力学与支护专业委员会副主任委员，煤炭工业技术委员会常委。中国科学教育基金会孙越崎科学教育基金会首届“青年科技奖”和2003年度“能源大奖”获得者，国家有突出贡献的中青年管理科技专家，享受国务院政府特殊津贴。获省部级以上科技进步奖17项，其中获国家科技进步奖5项。公开发表论文60多篇，出版专著3部。

# 前 言

深井巷道支护是采矿界公认的国际性难题。20世纪80年代以来,我国矿井开采深度平均增加了200m,东部煤矿相继进入深部开采阶段,深井高应力复杂条件下的顶板灾害和巷道支护已成为当前和今后长期影响煤矿安全生产和效益的重大技术难题,并随着矿井采深的持续增加而越发突出和严重。深部岩体所处的复杂的“三高”(高地应力、高温、高渗透压)环境及强烈的时间效应导致深部岩体组织结构、基本行为特征和工程响应均发生根本性变化,地下水、瓦斯等多场、多相耦合作用均会对深层岩体的基本性质和工程响应产生破坏性影响,深部巷道的特征工程现象及顶板突发性灾害事故发生概率大幅增加。目前淮南、徐州、新汶、开滦、平顶山等矿区高地应力条件下硐室和巷道的围岩控制和支护问题已日趋显露出来。

淮南矿区位于安徽省中北部的淮南市,横跨淮河两岸。现有12处生产矿井,2005年煤炭产量达3140万t/年。淮南矿区煤田地表冲积层厚,煤层埋藏深(目前大多数矿井开拓深度都已达到了地下800m左右,有的矿井正在向900~1000m深度延伸),可采煤层多(8~15层),可采煤层总厚度大(22~34m),煤层瓦斯压力高,瓦斯含量大。突出的危险性进一步增大(主采煤层吨煤瓦斯含量为12~22m<sup>3</sup>/t,多数矿井为煤与瓦斯突出矿井),地温高(地温31~37℃),地质构造复杂,断层构造多,裂隙发育,遇水膨胀,地压大,特别是水平方向地应力大,随着采深的进一步增加。围岩松散破碎程度进一步加剧,软岩范畴的岩层约占煤系地层总厚的60%以上,特别是13槽煤层顶板为富含煤线的厚层状松散破碎复合顶板,埋藏深、构造应力显现强烈,巷道通风断面大,跨度大,维护难度十分罕见。同时由于生产集中化、综合机械化程度快速增加,生产规模迅速扩大,导致采掘工作面的瓦斯涌出量急剧加大,因受到巷道断面积和风速的限制,生产成本明显增加,构成了淮南矿区煤炭开采的极端复杂性,换句话说,巷道围岩控制技术成为制约现代化生产发展的重要技术难题。

淮南矿区软岩支护改革与创新是从20世纪50年代九龙岗矿-830m水平架设工字钢姊妹棚和微缩型装配式支架开始的;60年代开始使用U型钢可缩性拱形棚和锚喷支护;70年代开始以锚喷作为初次支护与U型钢棚联合支护;80年代中期对锚喷支护应用于软岩巷道的技术难题进行攻关;进入90年代后,持续对小直径全长锚喷支护在一些软岩巷道中替代了U型钢可缩性支护改革,取得了相当可观的经济效益和社会效益。但进入90年代末,由于开采深度进一步加大,巷道围岩控制与维护越来越困难,特别是谢桥、顾桥、丁集等新区,巷道维护特别困难,采用通常的围岩控制与支护手段已难以满足正常生产需求。虽然淮南矿区多年来一直坚持开展支护改革,并有多次煤巷锚杆支护技术应用研究的尝试,也取得一定效果,但总体支护效果不理想,支护技术水平相对落后。锚注(注浆锚杆)支护在一些巷道取得较好的效果,但注浆参数的科学设计没有解决,漏浆封堵,遇泥岩注不进浆等问题还具有普遍性。随着开采深度的增加,机械化程度的提高,对巷道

支护的安全技术要求日益加大，支护问题日趋突出，特别是新区综采综放大断面煤巷支护技术多年来一直没有突破，2000年以前基本上依赖于U型钢可缩支架支护，满足不了矿区现代化矿井建设快速发展的客观需求。实施矿区大开发客观上要求巷道围岩控制技术实现突破，为了保证该矿区煤炭开采的高产、稳产，有必要针对上述问题，在整个矿区开展较系统深入的研究，开发研究淮南新矿区复杂条件下的煤巷锚杆支护技术已迫在眉睫。

为从根本上彻底扭转被动局面，淮南矿业集团开展了以瓦斯综合治理成套技术为中心的安全保障技术和以机械化采煤为中心的主导生产技术重点攻关。针对煤岩巷道支护与维护技术越来越难以适应现代化煤炭生产发展的要求的问题，就深部矿井极易离层破碎型煤岩巷道围岩控制理论与技术进行全面的攻关，通过十多年的改革实践，形成了一套具有淮南矿区特色的软岩综合支护技术体系，有效地解决了巷道掘进速度缓慢、有效断面小、维修工程量大等一系列生产建设上亟待解决的支护问题，全面促进了生产建设的稳步发展。

近几年，淮南矿区在巷道围岩控制方面取得的比较成功的理论与实践创新成果主要有：

(1) 系统地开展了矿区煤岩巷围岩地质力学和地应力测试，并对围岩稳定性分类进行了科学合理的研究。

(2) 总结出必须坚持做好“三个增强”的深部巷道围岩控制基本理论：即一是要有效增强支护体系工作阻力，特别是初始工作阻力，以阻止围岩塑性变形的发展；二是要有效增强巷道围岩自身强度，提高围岩自身承载能力，减少巷道围岩的流变与蠕变变形量；三是提高巷道围岩与支护体系的整体工作强度，以联合支护方式代替单一的被动支护形式，通过支护体与围岩间的主动和动态的相互作用，来全面保持巷道围岩与支护体系的长期稳定，延长巷道的修复周期，满足现代化高效煤炭生产发展的要求。

(3) 以埋藏深、结构复杂的离层破碎型煤巷顶板综合控制技术难题为突破口，系统研究了煤矿巷道顶板的离层失稳机理和关键控制技术，形成了一套系统的高强预应力支护新理论、新技术和新方法，成功地解决了极易离层破碎型煤巷支护技术难题，并在淮南矿区推广应用。

(4) 系统地开展了高性能预拉力锚带网及桁架组合支护、爆破卸压与锚注加固等新型综合控制技术研究及工程实践，为煤巷、深井软岩和巷道修复提供了有效的技术途径。

这些工程理论与实践研究成果获得了国内外同仁的好评，其中“煤矿极易离层破碎型顶板预应力控制理论研究及工程应用”、“高应力极软岩工程锚注支护机理及技术研究与应用”、“复杂条件下地下工程开挖支护技术的理论方法和应用研究”三个项目均获国家科技进步二等奖。作者结合上述研究成果撰写了这本专著，以期对国内深井巷道围岩控制理论和现场实际工作有所帮助。全书共6章，第一章主要论述了淮南矿区巷道支护改革进程；第二章介绍了淮南矿区深井地应力测试及围岩分类；第三、四章系统地论述了深井煤层巷道围岩控制理论、支护技术与工程实践；第五章较全面地论述了深井岩石巷道围岩控制理论、支护技术与工程实践；第六章论述了深井高应力软岩巷道爆破卸压与锚注加固技术。

在本书撰写过程中，得到了范维唐院士、钱七虎院士、钱鸣高院士、谢和平院士的指导和帮助，张农教授、刘泉声研究员、李明远高工等专家提出了很多具体有益的建议，同时淮南矿业集团众多工程技术人员，以及国家安全生产监督管理局信息院能源安全研究

所、煤炭工业出版社有关领导和同仁都从不同方面给予支持，在此一并表示衷心感谢。

淮南矿区巷道围岩控制理论与技术是一个十分复杂的课题，本书只是阶段性成果的体现，许多内容还有待于今后进一步的探索，由于作者水平所限，书中难免存在不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

**作 者**

二〇〇六年六月

# 目 录

第 1 章 导言 .....	1
1.1 深部巷道支护现状及存在问题 .....	1
1.2 淮南矿区软岩巷道支护技术回顾与评述 .....	5
1.3 深井巷道围岩控制及支护技术发展趋势 .....	47
第 2 章 淮南矿区深井地应力测试及围岩分类 .....	50
2.1 含煤岩系地质特征 .....	50
2.2 煤巷围岩物理力学性质 .....	61
2.3 煤巷围岩地应力场特征 .....	64
2.4 主采煤层煤巷围岩分类 .....	76
2.5 岩巷围岩物理力学性质 .....	79
2.6 岩巷原岩应力测定 .....	89
2.7 地应力场反演分析 .....	97
2.8 岩巷围岩分类 .....	104
第 3 章 极易离层破碎型煤巷围岩控制理论与技术 .....	117
3.1 煤巷预应力支护结构基本原理 .....	118
3.2 煤巷顶板离层控制理论 .....	122
3.3 留小煤柱沿空掘巷的围岩稳定性分析 .....	126
3.4 预应力支护材料及结构的研制 .....	134
3.5 高强预应力支护技术体系 .....	143
3.6 煤巷预应力支护设计与监测新技术 .....	149
第 4 章 淮南矿区深井煤层巷道支护工程实践 .....	152
4.1 谢桥矿 8 槽煤巷新型预拉力锚杆支护 .....	152
4.2 谢桥矿 13 槽综放煤巷预拉力锚杆支架组合支护 .....	165
4.3 潘三矿 13 槽综采煤巷组合预拉力锚索(杆)架支护 .....	180
4.4 潘一煤矿 11 槽煤层带式输送机运输下山锚杆支护 .....	197
4.5 预应力锚杆控制技术推广应用情况 .....	203
4.6 主要成果与结论 .....	208
第 5 章 淮南矿区深井岩巷围岩稳定控制理论与实践 .....	210
5.1 引言 .....	210

5.2 控制理论 .....	211
5.3 控制技术 .....	215
5.4 工程实践 .....	222
<b>第6章 深井高应力软岩巷道爆破卸压与锚注加固技术</b> .....	<b>240</b>
6.1 高应力软岩爆破卸压与锚注加固技术原理 .....	241
6.2 爆炸荷载作用下裂隙岩体内裂纹扩展规律的实验研究 .....	246
6.3 爆炸卸压的参数设计 .....	253
6.4 锚注支护技术及参数设计 .....	258
6.5 谢桥煤矿-720m西翼轨道石门修复治理工程 .....	259
参考文献 .....	270



# 第1章 导 言

## 1.1 深部巷道支护现状及存在问题

### 1.1.1 深部巷道支护现状

淮南矿区位于安徽省中北部的淮南市，横跨淮河两岸。矿区内共含可采煤层 9~18 层，可采煤层总厚度 25~34m，平均 30m。13-1、11-2、8、6、4、1 等煤层为矿区主采煤层，单层厚度一般为 2~6m，主采煤层的总厚度占可采煤层总厚度的 70% 左右。目前 -1000m（局部 -1200m）以浅有 117.3 亿 t，其中，达到精查程度的有 109.3 亿 t，达到普查程度的有 8.0 亿 t；-1000~-1500m 有预测储量 177.6 亿 t，其中较为可靠的预测储量为 81.6 亿 t。全矿区 -1500m 以浅共有煤炭储量 294.9 亿 t。

淮南矿区现有 12 处生产矿井，2005 年煤炭产量达 3140 万 t/年。随着高定位技术改造完工和新建矿井的逐步投产，2010 年生产能力将达 8000 万 t/年，2015 年生产能力将达到 9000 万 t/年。目前大多数矿井的开拓深度已达到 -800m 左右，有的矿井正在向 -900~-1000m 深度延伸。由于自然条件、历史和政策体制等多方面原因，淮南矿区煤炭开发还有许多技术难题有待攻克，主要表现在：矿区内瓦斯、地温均较高，多数为煤与瓦斯突出矿井，地温 31~37℃，局部高达 40℃ 以上；不少岩层富含水，个别钻孔涌水量可达 7~8m<sup>3</sup>/h；矿区地质条件复杂，断层构造多，软岩遇水会膨胀，深部岩层裂隙发育，地压大，局部区域水平方向地应力大，软岩巷道围岩刚开挖出来时较为坚硬，不久即风化变软，支护困难，穿越煤层时地压显现就更突出。

在以矿井瓦斯综合治理成套技术为中心的安全保障技术和以机械化采煤为中心的主导生产技术取得重大突破的形势下，作为保证煤矿安全生产的重大基础性支撑技术，煤巷支护问题愈显突出。但由于淮南矿区煤层厚度大、强度低，围岩结构复杂，特别是 13-1、11-2 等煤层顶板为富含煤线的厚层状松散破碎复合顶板，埋藏深、构造应力显现强烈，巷道通风断面大，跨度大，维护难度十分罕见。

1980 年以后，矿区各生产矿井逐步转向深部开采，地压加大，地质构造增多，地应力大幅度上升，使软岩支护成为影响安全、高效生产的主要矛盾。生产老区原普通使用的料石碛、预应力混凝土支架、刚性金属支架以及单一的锚喷支护等，均不能适应深井围岩压力增高的要求。新区建设也同样遇到了深井软岩巷道支护的难题。在这种情况下，寻求一种新的替代支护结构，势在必行。由于无具体的现场经验可借鉴，只有采用探索试验、总结提高、循序渐进的方式开展深井软岩支护改革工作。通过 10 多年的改革实践，获得了一些阶段性的成果，取得了一定的成绩，解决了一些生产建设上亟待解决的支护问题，促进了生产建设的稳步发展。但矿区属软岩范畴的岩层约占煤系地层总厚的 60%，其中大部分为黏土类岩层，遇水立即崩解、泥化，强度随之急剧下降，软化系数平均为 0.3~0.5 左右，巷道开挖后即出现围岩剧烈变形，因此如何经济合理地解决好这类软岩巷道围

岩的控制与支护问题，实属任重而道远，尤其是提高支护一次到位的成功率，减少巷道维修量，更有一段较远的路程要走。

虽然淮南矿区多年来一直坚持开展支护改革，并有多次煤巷锚杆支护技术应用研究的尝试，也取得一定效果，但总体支护效果不理想，支护技术水平相对落后。以往一些采用锚注（注浆锚杆）支护的巷道，虽然效果较好，但随着开采强度的迅猛加大，近几年也发现存在许多问题，比如如何选择注浆参数、漏浆封堵，遇泥岩注不进浆等，在淮南矿区具有典型性和代表性。1998年生产矿井掘进巷道中矿工钢、U型棚支护占44%，木棚支护占23%，锚杆支护占27.5%（其中煤巷仅占14.81%），其他类型占5.5%。特别是随着淮南矿区向谢桥、顾桥、丁集等新区扩展，所面临的开采深度将大大增加，所遇到的高应力软岩与过去老区软岩的特征及支护机理将有所不同，因此采用修复治理方法也将是多样化的，如淮南谢桥矿井-440m水平风化带岩层的回风巷道，属于极软岩层，先采用锚喷网支护掘进后不到3个月，巷道变形破坏、不得不采用普通U29型钢加强马蹄形支护修复，但围岩变形仍然剧烈，支架损坏严重，巷道断面收缩及破坏迅速，巷道稳定性完全丧失，迫使对破坏失稳巷道进行第二次修复，采用料石碛体、钢筋混凝土碛和素混凝土碛，壁后浅部注浆充填、深部注浆加固的综合治理措施，最后才使得巷道稳定。

随着开采深度增加，机械化程度提高，对巷道支护的安全技术要求日益加大，支护问题日趋突出，特别是新区综采综放大断面煤巷支护技术多年来一直没有突破，2000年以前基本上依赖于U型钢可缩支架支护，满足不了矿区现代化矿井建设快速发展的客观需求。实施矿区大开发客观上要求巷道围岩控制技术实现突破，为了保证该矿区煤炭开采的高产、稳产，十分有必要针对上述问题，在整个矿区开展较系统深入的研究。开发研究淮南新矿区复杂条件下的煤巷锚杆支护技术已迫在眉睫。

### 1.1.2 深井巷道支护存在问题

长期以来，软岩巷道围岩控制与支护一直是困扰煤矿井巷施工，尤其是井深大、围岩软弱、破碎、松散、膨胀、地压大巷道的关键技术难题之一，是煤矿工程技术重点关注的问题。虽然国内外大量专家学者对难以可靠支护的软岩巷道围岩控制问题进行大量的重点攻关，特别是对软岩巷道变形机理及支护技术作出了许多有益的探索，也取得了不少成果，为解决松软围岩巷道的围岩控制与技术应用方面奠定了深入研究的基础，但还不能满足日益增长的软岩工程需要，还迫切需要进一步研究和探索。

随着淮南矿区生产发展快速增长，尤其是在开采深度大，矿压增大，地质条件恶化，巷道断面大、穿过断层破碎带的巷道，浅部的支护形式已不适应矿井深部的围岩松散破碎的破坏特征、支护效果差、维护极为困难等问题，特别是对于高应力强膨胀节理化复合型软岩巷道以及大断面交叉点等部位，采用一般支护形式更是难以奏效，已严重影响矿井正常生产，使一些矿井长期达不到设计能力，不能实现采煤综合机械化，吨煤成本大幅度增加，事故频繁发生；并使一些基建矿井，投资猛增，投产工期一拖再拖。2002年8~11月，淮南矿业（集团）有限责任公司在有关科研院所的协助下，对淮南矿业（集团）有限责任公司新庄孜矿-812m水平、谢桥矿-720m水平、谢一矿-780m水平及潘三矿-812m水平等深部岩巷支护、巷道变形破裂及维护翻修情况作了现场调查，并收集了整个矿区及各矿井相关的地质资料。

目前淮南矿区大部分矿井开采深度在-720~-812m水平，从支护形式上来看，深井

岩巷的一次支护主要采用锚杆+喷射混凝土支护和U型钢支架支护，当巷道出现变形过大以致严重破坏时，采用外套U型钢支架+壁后注浆修复或壁后注浆修复+补打锚杆（锚索）修复。

深井岩巷变形破裂的最主要形式是两帮或某一帮收敛变形过大，导致喷射混凝土衬砌破裂或U型钢支架严重弯曲甚至扭曲变形，某些地段也出现了顶底板收敛变形过大，甚至顶底板和两帮收敛变形均过大的情况，紧挨衬砌300~500mm厚范围内的岩体因变形过大、节理裂隙严重扩展发育导致碎裂。在各矿观察到的一个普遍现象是：在喷射混凝土衬砌出现了严重收敛变形而破裂的部位，喷层与锚杆尾部垫板脱离（喷层外突，锚杆垫板内陷），说明尽管巷道围岩和衬砌出现了大变形，但锚固剂的粘结作用并未失效，锚杆与深层岩体之间仍然连为一体。同时，我们还观察到的另一个比较普遍现象，即所有巷道均出现了不同程度的底臃，有的矿底臃非常严重。上面提到的几种巷道围岩和衬砌严重变形破裂的情形，在各矿均有不同程度发生，其中最为严重的是新庄孜矿。由于受围岩和衬砌严重变形破裂的困扰，该矿-812m水平在过去十年里仅掘进了约1000m巷道；每条巷道支护后一个月就需翻修，每隔1~2个月需重复翻修一次，一年中需翻修多次。此外，在以下场合或条件下使用效果也不理想：

(1) 各矿岩巷光面爆破均不够理想，巷道成形不够规则，岩面凹凸不平；绝大部分（70%以上）锚杆的锚尾垫板均未能与岩面紧密接触，因而锚杆对围岩的支护作用主要靠粘结段锚固剂与岩体的粘结和摩擦来提供，所以对围岩实际的加固作用远远达不到应有的效果，几乎没能起到调整围岩受力状态的作用。因而，绝大部分巷道在深部高地应力作用下均出现了不同程度的变形破坏。但也有出现例外的情况。例如谢一矿-780m水平采区巷道由于成功地实现了光面爆破，锚杆安装严格按规范操作，垫板紧贴岩面，实际效果好。

(2) 支护体强度低，锚杆预应力小和杆体强度低是造成支护体强度低的主要原因。在锚杆承载能力及预应力普遍非常小的情况下，锚杆支护对于巷道周边应力场的影响很小，基本上可以忽略不计。这是因为巷道开挖出一瞬间，巷道围岩的弹性变形已基本完成，对于脆性特征明显的深部岩体会出现开裂、离层、滑动、裂纹扩展和松动等现象，使巷道表面围岩强度大大弱化。如果刚开挖出的巷道安装了未施加预应力的锚杆，由于锚杆极限变形量远大于围岩的极限变形量，这样锚杆不能阻止围岩的开裂、滑动和弱化。只有当巷道围岩变形达到相当的程度，锚杆才起到阻止裂纹扩展的作用，但这时巷道围岩几乎丧失了抗拉和抗剪的能力，巷道围岩已经失稳甚至破坏，巷道围岩和锚杆不同步承载。

从调查的情况来看，各矿深部开拓延伸巷道揭露出来的岩性以砂岩（多半为细粒和中粒砂岩，少数为粗粒砂岩）、砂质泥岩、砂质页岩为主。巷道刚开挖出来时围岩完整性较好，强度较高；除表面松动层外，注浆很困难。围岩节理裂隙的扩展主要发生在巷道开挖后，由于支护方式不当，围岩内的节理裂隙由表及里逐步扩展，导致岩体碎裂。

对以上观察到的现象进行力学分析可知，在淮南矿区-720~-812m水平的多数地段，围岩内水平应力较大，说明构造应力起了主要作用。当然，由于埋深大，由上覆岩体自重引起的垂直应力也自然比浅部大得多，局部地段可以明显看出由于构造应力的影响，垂直应力高于其他地段。所以，围岩内的高应力，尤其是构造应力引起的水平方向的高应力是深井岩巷的一大特点。

除断层、破碎带等特殊地段外，刚开挖暴露出来的围岩总的来说比较完整，节理、裂隙不太发育，围岩的大变形和破裂在巷道开挖支护后一定时间（一般1个月左右）才显现出来，说明是由于巷道开挖后围岩应力状态的改变（岩面处的最小主应力由十几兆帕变为0）降低了围岩强度，使其整体承载能力低于围岩应力，从而导致围岩破坏，而且这种破坏是随着围岩应力的不断调整由表及里逐渐发展的。这样的破坏使得作用在支护结构上的力由岩体应力转变为岩石破碎所产生的碎胀力，从而引起支护结构的大面积破坏。

锚杆没能发挥应有的加固和支护作用；U型钢支架没能有效地改善围岩的应力状态，同时提供的被动支护力不足以抵抗围岩内的高应力；注浆加固虽然起到了一定的加固围岩的效果，但由于目前使用的水泥浆液与围岩的粘结力太弱，围岩的整体强度提高得还不够，还难以抵御围岩内的高应力。所以，尽管采用了各种支护形式，并且反复翻修，都难以维持巷道围岩的稳定。

从矿区巷道煤巷支护的现状看，如下几个方面问题比较突出：

第一，煤巷顶板支护往往对顶板岩体结构的控制作用重视不够，对顶板岩体结构调查和研究不够深入，选择的支护形式和参数不合理，这是导致顶板失稳破坏、支护失败的主要原因之一。正确认识煤巷顶板岩体结构的工程地质特征和稳定性特点是研究实际工程岩体结构的基础。

第二，虽然锚注技术和理论有了一定的发展和进步，但是由于锚注支护工艺较复杂，还有一系列的问题有待进一步改进：一是注浆过程中的漏浆、跑浆等问题亟待解决；二是许多工程主要依据类比法和经验法来选择工艺参数，锚注的工艺参数还需要更加合理的方法来进行确定；三是锚注支护巷道的应用基础理论还缺少系统深入的研究，尤其巷道在受动压影响下的研究还很少。

第三，支护设计对策。现场支护设计往往出现两个极端情况：要么支护设计强度不足，不能有效地加固围岩，保障稳定，以致出现塌方或顶板垮落事故；要么支护设计强度过大，造成极大的经济浪费。为此实现“既安全可靠，经济合理”的支护设计是亟须通过相关的理论与工程实践来得到真正的解决。

第四，实践证明，设计科学、准确的围岩注浆加固是一种行之有效的支护方式。但注浆技术还不够成熟，许多注浆工程主要是根据类比法和经验法来选择注浆工艺和注浆参数，注浆理论缺乏系统深入的研究，注浆和锚固相结合对软岩及破碎围岩进行加固的研究就更加不成熟，因此，在软岩及煤巷锚喷支护施工的新理论、新工艺、新方法亟待取得新的突破。

第五，由于目前锚杆质量检测，多停留在用千斤顶进行机械破坏性拉拔试验阶段，无控制预警系统，这对小于设计锚固力的锚杆无一例外地被破坏，大于设计值的也无法知其极限锚固力，对后期工程无法起到提供精确修正依据和改进设计的作用。因此，要探讨和应用锚固力无损检测新手段。

随着开采深度的增加，机械化程度的提高，对巷道支护的安全技术要求日益加大，支护问题日趋突出，特别是新区综采综放大断面煤巷支护技术多年来一直未有突破，2000年以前基本上依赖于U型钢可缩支架支护，满足不了矿区现代化矿井建设快速发展的客观需求。实施矿区大开发客观上要求巷道围岩控制技术实现突破，为了保证该矿区煤炭开采的高产、稳产，十分有必要针对上述问题，在整个矿区开展较系统深入的研究。开发研

究淮南新矿区复杂条件下的煤巷锚杆支护技术已迫在眉睫。

## 1.2 淮南矿区软岩巷道支护技术回顾与评述

淮南矿区软岩支护改革与实践工作是从 20 世纪 50 年代,九龙岗矿 - 830m 水平架设工字钢姊妹棚和微缩型装配式支架开始的。60 年代开始使用 U 型钢可缩性拱形棚和锚喷支护;70 年代 U 型钢可缩性支护型式逐渐增多;80 年代后,软岩支护结构逐渐合理,并开始以锚喷作为初次支护与 U 型钢棚组成联合支护体系,使用地点随着老区生产矿井向深度开采,新区建设工程大规模展开日趋增多,软岩支护工程日益复杂多样化,已成为矿区生产建设中更加突出的问题。淮南矿业集团煤巷支护过去长期依赖于金属支架,包括矿工钢梯形刚性支架和 U 型钢拱形可缩性支架,在一些围岩条件特别复杂和困难的巷道,还试验过 U 型钢可缩性圆形和方环形支架。一些巷道支护效果较好,但也有一些巷道围岩变形严重,从开掘至服务结束需多次翻修,巷道维护困难,严重影响生产,而且支护和维修费用很高。

近 20 多年来,为了改善软岩煤巷的维护困难状况,减少支护维修费用,淮南矿区围绕煤巷锚杆支护改革开展了大量的课题研究。1980 年以前,主要是在煤巷及半煤岩巷中推广金属支架,进行金属锚杆支护尝试;1981~1992 年,淮南矿业集团与煤科总院北京开采所、中国矿业大学等单位合作,在 II、III 类顶板顺槽中试验和推广锚网支护;在谢一、新庄孜等矿成功地试验、应用了软岩煤巷组合锚杆支护。1992~2000 年,矿区跟踪“九五”螺纹钢高强树脂锚杆成套支护技术成果,在一些相对复杂的煤巷中继续选点试验。从总体上说,2000 年以前没有形成适应矿区复杂煤巷条件的锚杆支护技术,依然依赖于 U 型钢金属可缩支架。

下面对淮南矿区生产过程中的巷道支护技术做一个简要回顾和评价。

### 1.2.1 软岩巷道锚喷及锚杆组合支护

锚杆支护的作用主要是加固巷道围岩,使巷道围岩浅部形成加固层,以控制围岩塑性区、破碎区的发展,减少围岩位移,保持围岩稳定。由于锚杆重量轻,加工、运输、安装简便,和金属支架相比,用钢量显著减少,通过锚杆的加固和主动支护作用,将围岩由载荷体变为承载体,控制围岩变形效果很好,因而自 20 世纪 40 年代锚杆支护在井下实际使用以来,得到了迅速发展,现已成为世界各国煤矿巷道支护的一种主要形式。

淮南矿区在岩巷中使用锚喷支护已有 40 年的历史,20 世纪 80 年代中期将锚喷支护应用于软岩巷道进行了试验,主要技术途径:一是在锚杆和喷层方面进行了改进,以适应围岩变形大的要求;二是增强支护体的整体稳固性。采用金属网和金属梁来增加喷层的承载能力,与锚杆组成整体,共同稳固围岩。现在该类支护型式结构有端锚加喷、小直径全锚加喷、锚喷加网或梁组合、可拉伸锚杆加柔性喷层、长锚杆和锚索等。例如国家“七五”攻关项目——可拉伸锚杆和柔性混凝土喷层试验。20 世纪 90 年代以来,“三小”(小直径钻头、小直径炸药、小直径锚杆)技术得到了推广和创新,进一步开发研制出了小直径全长锚固、采用螺纹钢杆体,大幅度提高了锚固力,克服了端锚存在的眼口岩石脱落、锚杆托板失效的毛病,大大提高了锚喷支护的承载能力和适用范围。小直径全长锚喷支护在一些软岩巷道中替代了 U 型钢可缩性支护,取得了可观的经济效益。

下面通过两个实例来说明这一技术在淮南矿区的应用情况。

### 1.2.1.1 潘三矿锚喷网支护

潘三矿软岩岩巷原设计用锚喷加 U 型钢支护。1991 年淮南矿业集团与中国矿业大学、合肥煤矿设计研究院合作，进行锚喷网支护试验。首先在西二采区运输石门、3 号交岔点及西二采区回风石门进行 200m 长度的试验，随后推广到了其他巷道，锚喷网支护应用巷道总计长度 2159m。

#### 1.2.1.1.1 基本条件

##### 1) 围岩特性

在西二运输石门取黏土岩试样进行物理力学性能试验，测试取得的各项力学数据见表 1-2-1。

表 1-2-1 黏土岩力学性能试验

试件	项目	岩石力学参数			
		试块尺寸/mm	单向抗压强度/MPa	弹性模量/GPa	波松比
1		φ49.92, H95.08	32.96	16.86	0.187
2		φ49.94, H101.34	36.27	21.33	0.125

测试结果表明，黏土岩强度较低，易破碎，但破碎后存在明显的残余强度。矿物主要成分是高岭石和伊—蒙混层矿物，具有一定的膨胀性。

##### 2) 巷道围岩松动圈测试

巷道围岩的稳定状况取决于围岩岩石力学性质及地应力两个主要因素，两个因素的综合作用集中表现为塑性区、破碎区（亦称松动圈）的大小及形状。根据实测松动圈的大小及形状来进行锚杆支护设计或者调整、修正过去的设计是科学的，符合巷道的实际情况。

采用煤科总院抚顺分院研制的 KH 超声波围岩裂隙探测仪，对围岩松动圈进行了测试，结果见表 1-2-2。

表 1-2-2 巷道围岩松动圈测试数据

序号	测试地点	巷道围岩岩性	松动圈数值/m
1	西一采区火药库通道	砂质黏土岩	2.4
2	西一采区火药库通道	灰色黏土岩	2.55~2.58
3	西风井西二回风石门	深灰色黏土岩	2.03~2.33
4	西二采区运输石门	黏土岩	2.41~2.65
5	西二采区运输石门	砂质黏土岩	2.84

依据围岩松动圈分类原则，表 1-2-2 所列松动圈数量，均属 V 类较软围岩。

#### 1.2.1.1.2 支护设计

巷道支护的作用就是要控制塑性区、破碎区（松动圈）的发展，将巷道变形控制在能够保持围岩稳定的范围内。在锚喷网支护中，锚杆是支护的主体构件，控制塑性区、破碎区的发展和围岩的变形；喷层与钢筋网只起局部作用。喷层能及时封闭围岩，防止围岩风

化与潮解；喷层加设钢筋网是为了提高喷层的抗弯与抗大变形的能力。

圆形巷道断面受力条件最好，但巷道底板施工难度较大，因此决定选用缺圆拱形断面。巷道最大允许收缩量定为 200mm。

锚杆间排距均选取 500mm，为了获得巷道围岩整体的组合拱结构，锚杆沿巷道全断面封闭布置。考虑到施工单位实践经验仍选用缝管锚杆，其规格性能见表 1-2-3。

表 1-2-3 缝管锚杆的规格性能

杆 体					托 盘		圆 环			
外径/m	长度/m	缝宽/mm	壁厚/mm	材质	拉断 负荷/kN	规格/mm	抗压缩 负荷/kN	圆环 内径/mm	圆钢 直径/mm	拉断 负荷/kN
43	1.8	16	2.5	Q235	100	140×140	200	45	6.5	90

为了保证锚杆工作阻力达到 50kN 以上，在不同岩层中要用不同直径  $D$  的钻头打眼，粘土岩中钻头直径  $D$  为 39~40mm；砂质黏土岩中  $D$  为 41mm；砂岩中先用  $D$  为 43mm 的钻头打 900~1000mm 深，剩下再用  $D$  为 42mm 的钻头打眼。这样，每根锚杆的安装时间都在 1min 左右，锚固力都可达到 50kN 以上。

喷层总厚度为 120mm，初喷 70mm，当围岩变形稳定后再复喷，厚度 50mm。喷料配比（重量比）：水泥：砂子：瓜子石为 1:2:2；水泥为 525 号；速凝剂用量为水泥重的 4%；水灰比为 0.4~0.5。

钢筋选用  $\phi 6$ mm 圆钢，网格 125mm×125mm，每片网规格：长×宽=1625mm×1125mm。巷道圆周方向为搭接式，搭接长度 125mm；巷道轴向为挂钩式。锚喷网支护主要参数见表 1-2-4。西二采区运输石门断面施工图见图 1-2-1。

表 1-2-4 锚喷网支护主要参数

序号	名 称		参 数	备 注	
1	缝管锚杆		$\phi 43$ mm×1800mm	摩擦式全长锚固	
2	锚杆间、排距		500mm×500mm		
3	钢筋网		6mm×125mm×125mm	网片规格长×宽=625mm×1125mm	
4	喷 层	总 厚 度		120mm	普通混凝土
		一 次	初 喷	30mm	
			复 喷	40mm	
		二 次	最后喷	50mm	

### 1.2.1.1.3 支护效果

巷道掘出后，围岩应力集中，围岩变形量和变形速度较大。随着时间的推移，变形速度逐渐减少下来而趋于稳定。应力调整期一般为 3 个月左右，此期间的围岩变形量为 15~55mm，稳定后的围岩变形速度为 0.01~0.018mm/d。在软岩岩巷中，这个结果是比较理

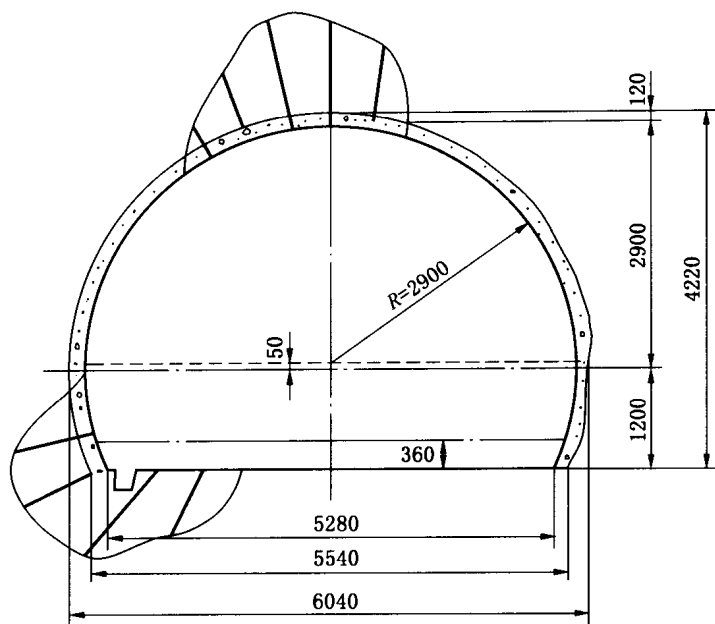


图 1-2-1 西二采区运输石门断面施工图

想的。底臃量和底臃速度较大，这是因为底板受到水的长期浸泡所致。除了应将底板积水及时排出外，还应增加防治底臃的技术措施。综合评价锚喷网支护效果很好。

在西二运输石门左右两帮各设置了三点深部位移计，以测量两帮围岩深部 1m、2m、3m 的位移。现场实测围岩表面点位移结果显示，巷道围岩表面点与 1m 点、2m 点的位移差很小，只有 0.98~4.63mm。1m 点、2m 点、3m 点的位移量分别为表面点位移量的 96%~97%、92%~94% 和 63%~73%，这说明，锚杆区域围岩近似整体移动。

#### 1.2.1.1.4 锚喷网支护经济分析

所试验的西二采区运输石门、3 号交叉点、回风石门共 200m 巷道，锚喷网支护与原设计的锚喷支护相比，虽然锚杆增加了 9724 根，喷射混凝土增加了 165.64m<sup>3</sup>，但节省了 287t U 型钢，锚喷网支护总费用 141.47 万元，较锚喷架支护总费用 204.85 万元减少了 63.37 万元，降低了 30.9%。

#### 1.2.1.1.2 新庄孜矿锚喷网支护

淮南矿业集团与煤科总院北京建井所、中国矿业大学、中科院武汉岩土力学研究所合作，在新庄孜矿五水平北运道西二石门开展了国家“七五”重点科技攻关项目“可拉伸锚杆和柔性喷层支护软岩巷道”的研究任务。该项目共进行了 110m 锚喷网支护试验。采用可拉伸锚杆与柔性喷层的目的是为了适应软岩巷道围岩较大的变形。

##### 1.2.1.2.1 试验巷道基本情况

五二石门距地表深度 640m，掘进断面 26.01m<sup>2</sup>，净断面积 19.82m<sup>2</sup>，石门全长 680m，服务年限 30 余年。巷道断面形状见图 1-2-2。

试验段巷道处于 B<sub>4</sub> 槽底板到 B<sub>6</sub> 槽底板岩石中，巷道穿过炭质泥岩、泥岩、砂质泥岩、铝土岩、煤层、砂岩等岩层，由于受到两条大断层影响，围岩节理、裂隙发育，岩体



结构松散。

试验巷道围岩大部分为松软岩层，其中有的岩层有一定强度，岩块单向抗压强度达30~40MPa，但岩体破碎，整体强度低。井下对巷道围岩为砂岩和泥岩等层状互层的岩体强度进行了实测，其单轴抗压值约2.2MPa，极限应变达3%左右。岩块强度为岩体强度的十几倍。

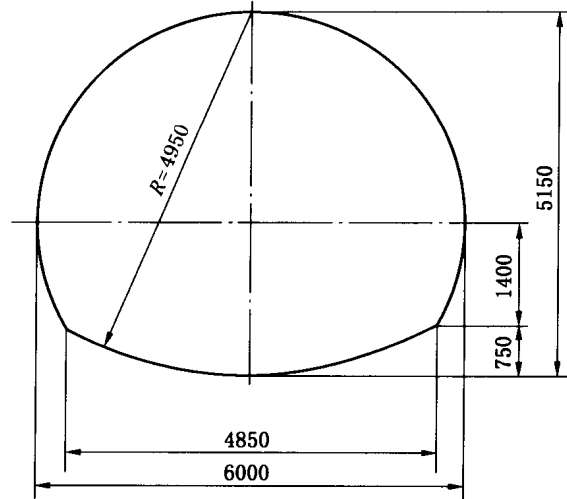


图 1-2-2 巷道断面形状及尺寸

现场地应力实测结果是：垂直原岩应力 19.5MPa，为自重应力  $\gamma H$  的 1.27 倍，两个水平应力为 15.7MPa 和 12.8MPa，说明岩体中存在构造应力。最大主应力为 23.6MPa，其方向与西二石门走向一致，但与水平面有  $55^\circ$  夹角。从应力条件看，对巷道两侧的稳定性有利，但对顶板的维护不利。

#### 1.2.1.2.2 可拉伸锚杆

沿巷道周长，全部布置可拉伸锚杆。采用的可拉伸锚杆有下述三种类型。

##### 1) 北京建井所研制的杆体可伸孔口可缩式拉伸锚杆

杆体可伸孔口可缩式拉伸锚杆结构如图 1-2-3 所示，它由树脂锚固剂、可伸杆体、压缩管、垫板、螺母及锚条等组成。



图 1-2-3 杆体可伸孔口可缩式拉伸锚杆

a—杆体；b—压缩管；c—垫板；d—锚条